

Ilmastonmuutoksen vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin

Tommi Kantala

Jarkko Jalovaara

Sami Mäkinen

Julkaisun nimi			
Ilmastonmuutoksen vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin			
Tekijät			
Tommi Kantala, Jarkko Valovaara, Sami Mäkinen			
Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä			
Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 03.12.2024			
Julkaisusarjan nimi ja numero		ISSN (verkkojulkaisu) 2669-8781	
Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 12/2025		ISBN 978-952-311-968-0	
Asiasanat			
ilmastonmuutos, sopeutuminen, mittari, indikaattori, vaikutus, tieto- ja viestintäverkot, tieto- ja viestintäteknologia, varautuminen, resilienssi			
Tiivistelmä			
Ilmastonmuutoksen aiheuttamat säätilojen muutokset vaikuttavat tieto- ja viestintäverkkojen toimintaan useilla eri tavoilla. Myrskyjen ja rajuilmojen määrän kasvu aiheuttaa tulevaisuudessa sähkönsyötön häiriöiden kasvua, mikä vaikuttaa tieto- ja viestintäpalveluiden palvelutasoon heikentävästi. Keskilämpötilojen nousu kesällä aiheuttaa konesaleissa ja tukiasemien laitetoissa suurempaa jäähdytystarvetta, ja tulvien yleistyminen muodostaa riskin erityisesti kaupunkiympäristöihin sijoitettujen laitetojen toiminnalle. Tieto- ja viestintäteknologian alalla ilmastonmuutoksen vaikutusten seuranta tieto- ja viestintäverkkoihin ei toteuteta kattavasti, mutta tieto- ja viestintäverkkojen resilienssiä parantaviin toimenpiteisiin sekä kestävä kehityksen mukaisen tieto- ja viestintäpalveluiden kehittämiseen käytetään merkittävästi resursseja. Ilmastonmuutoksen vaikutusten seurannan haasteet liittyvät pääosin siihen, että vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin on haastavaa kytkeä suoraan ilmastonmuutokseen. Myös ilmastonmuutoksen aiheuttamien säätilamuutosten ennustamiseen liittyy epävarmuutta erityisesti pitkällä aikavälillä. Kansainvälisesti ilmastonmuutoksen vaikutusten seurannassa tieto- ja viestintäverkkojen osuus on pääosin rajattua, vaikka ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit viestintäpalveluiden toimivuudelle on tunnistettu. Työssä on laadittu mittaristo, jolla voidaan seurata ilmastonmuutoksen vaikutuksia tieto- ja viestintäverkkoihin. Rajallista tietoaaineistoista johtuen kokonaisvaltainen vaikutusseuranta on haastavaa, mutta ehdotettu mittaristo kuvaa kuitenkin merkittävimpiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia tieto- ja viestintäverkkoihin luotettavasti. Mittaristoa voidaan lisäksi kehittää kuvaamaan sopeutumistoimien vaikutusta ilmastonmuutokseen liittyviin haavoittuvuuksiin. Mittariston käyttöönotossa keskeistä on mittarien ja niitä tukevien tietoaaineistojen analyysimenetelmien laatiminen.			
Yhteyshenkilö		Raportin kieli	Luottamuksellisuus
Katja Lohko-Soner, Traficom		Suomi	Julkinen
Kokonaissivumäärä		42	
Jakaja		Kustantaja	
Liikenne- ja viestintävirasto Traficom		Liikenne- ja viestintävirasto Traficom	

Publikation			
Klimatförändringens påverkan på informations- och kommunikationsnätverk			
Författare			
Tommi Kantala, Jarkko Valovaara, Sami Mäkinen			
Tillsatt av och datum			
Transport- och kommunikationsverket Traficom 03.12.2024			
Publikationsseriens namn och nummer		ISSN (elektronisk publikation) 2669-8781	
Traficoms forskningsrapporter och utredningar 12/2025		ISBN 978-952-311-968-0	
Ämnesord			
klimatförändringar, anpassning, indikator, effekt, informations- och kommunikationsnät, informations- och kommunikationsteknik, beredskap, resiliens			
Sammandrag			
De väderförändringar som klimatförändringen medför påverkar informations- och kommunikationsnätverk på flera olika sätt. Ökningen av stormar och oväder leder i framtiden till fler störningar i elförsörjningen, vilket kommer att påverka servicenivån för informations- och kommunikationstjänster. Den stigande medeltemperaturen under sommaren ökar behovet av kylning i datacentrum och i basstationernas utrustningsrum och den allt vanligare förekomsten av översvämningar utgör en risk särskilt för utrustningsrum som är belägna i stadsmiljöer. Inom informations- och kommunikationsteknologisektorn sker ingen omfattande uppföljning av klimatförändringens konsekvenser på informations- och kommunikationsnätverk, men en betydande mängd resurser används för åtgärder som förbättrar nätverkens motståndskraft och för utveckling av hållbara informations- och kommunikationstjänster. Utmaningarna med att följa upp klimatförändringens konsekvenser beror främst på att det är utmanande att direkt koppla effekterna på informations- och kommunikationsnätverk till klimatförändringarna. Det råder också osäkerhet kring att förutsäga väderförändringar orsakade av klimatförändringar, särskilt på lång sikt. Internationellt sett är informations- och kommunikationsnätverkens roll för uppföljning av klimatförändringens konsekvenser huvudsakligen begränsad, även om de risker som klimatförändringar orsakar för kommunikationstjänsternas funktionalitet har identifierats. I arbetet har en uppsättning indikatorer som kan användas för att följa upp klimatförändringens konsekvenser på informations- och kommunikationsnätverk utarbetats. På grund av begränsad data är en omfattande konsekvensuppföljning utmanande, men den föreslagna uppsättningen av indikatorer ger ändå en tillförlitlig bild av de mest betydande konsekvenserna som klimatförändringen har på informations- och kommunikationsnätverk. Indikatorerna kan även vidareutvecklas för att beskriva hur anpassningsåtgärder påverkar sårbarheter relaterade till klimatförändringen. En central del av implementeringen av indikatoruppsättningen är att utveckla analysmetoder för indikatorerna och de datamängder som stödjer dem.			
Kontaktperson		Språk	Sekretessgrad
Katja Lohko-Soner, Traficom		Finska	Offentlig
Distribution		Förlag	
Transport- och kommunikationsverket Traficom		Transport- och kommunikationsverket Traficom	

Title of publication Impacts of climate change on information and communication networks			
Author(s) Tommi Kantala, Jarkko Valovaara, Sami Mäkinen			
Commissioned by, date Finnish Transport and Communications Agency Traficom 03.12.2024			
Publication series and number Traficom Research Reports 12/2025		ISSN (e-publication) 2669-8781 ISBN (e-publication) 978-952-311-968-0	
Keywords climate change, adaptation, indicator, impact, information and communication networks, information and communication technology, preparedness, resilience			
Abstract Changes in weather conditions caused by climate change affect the operation of information and communication networks in several ways. The increase in the number of storms and severe weather events will cause an increase in power supply disruptions, which will have a negative impact on the service level of information and communication services. The increase in average summer temperatures will cause a greater need for cooling in datacenters and in the equipment rooms of base stations, and the increase in flooding will pose a risk especially to the operation of equipment rooms located in urban environments. In the field of information and communication technology, the effects of climate change on information and communication networks are not comprehensively monitored, but significant resources are used for measures to improve the resilience of information and communication networks and for the development of information and communication services in line with sustainable development. The challenges in monitoring the effects of climate change on information and communication networks are mainly related to the fact that it is challenging to directly link these effects to climate change. There is also uncertainty in predicting changes in weather caused by climate change, especially in the long term. Although the risk posed by climate change on information and communication networks has been identified, the investigation of these effects globally is limited. This work has developed a set of indicators that can be used to monitor the impacts of climate change on information and communication networks. Due to limited data, comprehensive impact monitoring is challenging, but the proposed set of indicators nevertheless describes the most significant impacts of climate change on information and communication networks reliably. The set of indicators can also be developed to describe the impact of adaptation measures on climate-change-related vulnerabilities. The development of a method of analysis for the indicators and supporting data is essential in the implementation of the set of indicators.			
Contact person Katja Lohko-Soner, Traficom	Language Finnish	Confidence status Public	Pages, total 42
Distributed by Finnish Transport and Communications Agency Traficom		Published by Finnish Transport and Communications Agency Traficom	

ALKUSANAT

Tässä selvityksessä tarkasteltiin, miten ilmastonmuutoksen vaikutuksia tieto- ja viestintäverkkoihin voidaan seurata. Selvitys koostui katsauksesta Suomen verkkomaiden käytäntöihin ja hallinnonalan muuhun kirjallisuuteen, asiantuntijoiden haastatteluista sekä käytettävissä olevien seuranta-aineistojen tunnistamisesta. Katsauksen, haastattelujen ja tietoaaineistojen tunnistamisen perusteella rakennettiin ilmastonmuutoksen vaikutusten seurantaan suositus seurantamittaristosta. Kiitämme Suomen Erillisverkot Oy:n, Telia Finland Oy:n, DNA Oy:n, Digita Oy:n, FiCom Ry:n, Finnet-liitto Ry:n sekä Ilmatieteen laitoksen ja Traficomin asiantuntijoita haastatteluista.

Selvityksen toteuttivat Tommi Kantala, Jarkko Jalovaara ja Sami Mäkinen FLOU Oy:stä. Työn ohjausryhmän muodostivat Traficomilta Katja Lohko-Soner, Taru Pakkanen, Heidi Kivekäs, Marja Heinonen ja Lasse Laine.

Helsinki, 16. huhtikuuta 2025

Katja Lohko-Soner

Johtava asiantuntija

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

FÖRORD

Denna rapport undersökte hur klimatförändringarnas effekter på informations- och kommunikationsnätverk kan övervakas. Rapporten bestod av en genomgång av referensländernas praxis i Finland och annan litteratur på förvaltningsområdet, intervjuer med experter och identifiering av tillgängligt övervakningsmaterial. På basis av granskningen, intervjuer och identifiering av datamängder byggdes ett rekommenderat övervakningsinstrument för att övervaka effekterna av klimatförändringar. Vi tackar experterna från Suomen Erillisverkot Oy, Telia Finland Oy, DNA Oy, Digita Oy, FiCom Ry, Finnet-liitto Ry samt Meteorologiska institutet och Traficom för intervjuerna.

Undersökningen är gjord av Tommi Kantala, Jarkko Jalovaara och Sami Mäkinen från FLOU Oy. Insatsstyrgruppen bestod av Traficom's Katja Lohko-Soner, Taru Pakkanen, Heidi Kivekäs, Marja Heinonen och Lasse Laine.

Helsingfors, den 16 april 2025

Katja Lohko-Soner

Ledande sakkunnig

Transport- och kommunikationsverket Traficom

FOREWORD

This study examined how the impacts of climate change on information and communication networks can be monitored. The study consisted of a literature review of the practices of countries comparable to Finland, a review of other literature in the administrative sector, interviews with experts, and identification of available

monitoring data sources. Based on the review, interviews, and identification of the data sources, a recommended set of indicators was constructed for monitoring the impacts of climate change. We wish to thank the experts from Suomen Erillisverkot Oy, Telia Finland Oy, DNA Oy, Digita Oy, FiCom Ry, Finnet-liitto Ry, as well as the Finnish Meteorological Institute and Traficom for the interviews.

The study was carried out by Tommi Kantala, Jarkko Jalovaara and Sami Mäkinen from FLOU Oy. The steering group for the work consisted of Katja Lohko-Soner, Taru Pakkanen, Heidi Kivekäs, Marja Heinonen and Lasse Laine from Traficom.

Helsinki, 16 April 2025

Katja Lohko-Soner

Chief Adviser

Finnish Transport and Communications Agency Traficom

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	8
1.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	8
1.2	Ilmastonmuutos Suomessa	9
2	Ilmastonmuutoksen vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin ja seurannan nykytila Suomessa.....	11
2.1	Haavoittuvuudet ja vaikutukset	14
2.1.1	Tieto- ja viestintäverkon sähkösaanti.....	15
2.1.2	Maakaapelit.....	16
2.1.3	Antennit ja liittimet	16
2.1.4	Tukiasemien laitetilat.....	17
2.1.5	Mastot	17
2.1.6	Datakeskukset (konesalit).....	18
2.1.7	Merikaapelit	19
2.1.8	Kunnossapitotoiminta	19
2.1.9	Toimitusketjujen riskit	19
2.2	Vaikutusten seuranta ja tietoaineistot.....	20
3	Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja seurannan mittarit kansainvälisesti tieto- ja viestintäverkkoihin	22
3.1	Ilmastonmuutoksen vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin kansainvälisesti ...	22
3.2	Mittarit kansainvälisessä kirjallisuudessa	24
4	Mittariston muodostaminen.....	27
4.1	Ehdotus mittaristosta	28
4.2	Täydentävät sää- ja kelitiedot	30
4.3	Mittariston rajoitteita.....	31
4.4	Kehityskohteet	32
5	Johtopäätökset.....	34
5.1	Yhteenvedo	34
6	Lähdeluettelo.....	36

Taulukot

Taulukko 1: Sää- ja ilmastotekijöiden muutokset esimerkkialueilla 2050-luvulle mentäessä. Selitteet: kasvaa huomattavasti ++, kasvaa +, vähenee huomattavasti --, vähenee -, ei juurikaan muutosta /, muutos epävarma (), ei osata sanoa tai merkityksetön *. (Gregow ym. 2021)	10
Taulukko 2: Ehdotus tieto- ja viestintäverkkojen mittareista.....	29
Taulukko 3: Esimerkkejä täydentävistä sää- ja kelitiedoista.....	31
Taulukko 4: Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja ilmastonmuutoksen suoria vaikutuksia	40

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämän selvityksen tavoitteena oli tuottaa kokonaiskuva ilmastonmuutoksen vaikutuksista tieto- ja viestintäverkkoihin, ja tuottaa käsitys ilmastonmuutoksen vaikutusten seurantakeinoista tieto- ja viestintäverkkoihin. Selvitykseen sisältyi katsaus suomalaiseen ja kansainväliseen kirjallisuuteen ilmastonmuutoksen vaikutuksista tieto- ja viestintäverkkoihin, kokoelma asiantuntijoiden haastatteluja sekä kooste alalla käytössä olevista riskien ja vaikutusten seuranta-aineistoista. Haastattelujen, kirjallisuuskatsauksen ja tunnistettujen seuranta-aineistojen perusteella työssä luotiin suositus ilmastonmuutoksen vaikutusten seurantamittaristosta, joka tukee suunnittelua ja päätöksentekoa tieto- ja viestintäverkkojen toiminnan ylläpitämisessä.

Työ on osa ilmastolain mukaista ilmastonmuutokseen sopeutumista tieto- ja viestintäverkkojen hallinnonalalla. Työ tukee varautumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin tieto- ja viestintäverkoissa sekä mukautumista ilmastonmuutoksen aiheuttamiin säätilamuutoksiin lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Työssä tunnistetaan mekanismeja, joilla ilmastonmuutos vaikuttaa tieto- ja viestintäverkkojen toimintaan, sekä tuotetaan tietoa siitä, miten näitä vaikutuksia voidaan mitata. Varsinaisten sopeutumistoimenpiteiden laatiminen ilmastonmuutoksen vaikutuksille jätetään tässä työssä tarkasteluiden ulkopuolelle.

Ilmastonmuutokseen liittyvien sääilmiöiden vaikutukset näkyvät jo nyt tieto- ja viestintäverkoissa, ja erilaisten palveluihin ja infrastruktuuriin kohdistuvien haittojen oletetaan kasvavan tulevaisuudessa. Erilaisten vaikutusten merkittävytydessä tieto- ja viestintäverkkoihin on kuitenkin selkeitä eroja. Työssä selvennetään erilaisten haavoittuvuuksien ja vaikutusten vakavuusasteita toisiinsa nähden ja luodaan käsitys siitä, mitkä ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat tieto- ja viestintäverkkojen näkökulmasta kaikista merkittävimpiä ja olennaisimpia mitata.

Valtioneuvosto hyväksyi kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumis suunnitelman 2030 (KISS2030) joulukuussa 2022. Sen toimeenpano käynnistyi keväällä 2023. Sopeutumis suunnitelman tavoitteen 7 mukaan liikenne- ja viestintäinfrastruktuurin haavoittuvuudet tulee tunnistaa vuoteen 2026 mennessä ja ilmastokestävyyyttä vahvistaa vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteen 7.2 mukaan kehitetään tietoperusteista päätöksentekoa (tieto, vaikutusarvioinnit ja kustannukset) ja toimintamalleja viestintäverkkojen riskejä, haavoittuvuuksia ja haittoja vähentävien toimenpiteiden tunnistamiseen ja niiden suuntaamiseen. Seurannan keinoja on, että viestintäinfrastruktuurin tunnistetut haavoittuvuudet on dokumentoitu ja haavoittuvuuksien seuranta järjestetty. Infrastruktuurin sietokyky on hyvällä tasolla ja häiriötilanteista palautuminen täyttää infrastruktuurin palvelutasolle asetetut vaatimukset.

Työn toteuttamista on tukenut joukko asiantuntijoita seuraavista yrityksistä: Suomen Erillisverkot Oy, Telia Finland Oyj, DNA Oyj, Digita Oy, FiCom Ry, Finnet-liitto Ry sekä Ilmatieteen laitos. Työssä tieto- ja viestintäverkkoihin kohdistuvien ilmastonmuutoksen vaikutusten käsittely pohjautuu asiantuntijoiden haastatteluihin. Asiantuntijahaastattelut luovat siten pohjan työn tuloksille ja tukevat työn keskeisiä havaintoja vaikutusten seurannassa.

1.2 Ilmastomuutos Suomessa

Ilmastomuutoksen vaikutukset näkyvät jo Suomen nykyisessä ilmastossa. Suomen keskilämpötila on noussut yli 2 astetta pitkän aikavälin seuranta-aineistoon verrattuna, ja helleaaltojen määrä Suomessa on lisääntynyt. Myös kasvukauden lämpösumma Suomessa on kasvanut. Selkeimmät ilmastomuutoksen vaikutukset näkyvät jo Suomen muuttuneissa talviolosuhteissa. Talvikauden pituus on lyhentynyt ja lumipeite eteläisessä Suomessa on vähentynyt (Tuomenvirta ym. 2018, Hildén ym. 2022, Valtioneuvosto 2022, Maa- ja metsätalousministeriö 2023). Kaikki sääolosuhteiden muutokset eivät kuitenkaan ole yhtä selkeitä, sillä esimerkiksi tuulisuus, sademäärät ja myrskyjen määrät vaihtelevat vuosittain merkittävästi. Pitkällä aikavälillä Suomessa sademäärät ovat hieman kasvaneet, ja toisaalta tuulisuus on hieman heikentynyt. Matalapainemyrskyjen määrässä ei ole pitkällä aikavälillä havaittavissa lainkaan muutosta (Pilli-Sihvola ym. 2023).

Taulukossa 1 on listattuna ilmastomuutoksen aiheuttamia sää- ja ilmastotekijöiden muutoksia tulevaisuudessa. Taulukon 1 perusteella tulevaisuudessa ilmastomuutoksen vaikutuksesta hellepäivien lukumäärä kasvaa, kuivuuskaudet yleistyvät, ja toisaalta sateiden määrä kasvaa. Lisäksi helleaalloista odotetaan tulevaisuudessa pitempiä ja voimakkaampia. Talvella kovia pakkasjaksoja on harvemmin ja lämpötilavaihtelut ovat pienempiä. Tämän seurauksena keskimääräinen roudan syvyys pienenee ja routakausi lyhenee. Vesisateiden määrä talvella kasvaa, jolloin jokien ja muiden vesistöjen tulvariski kohoaa. Myös hulevesitulvan riski kasvaa sademäärien noustessa. Lämpötilan nollarajan ohitusten määrän kasvaessa merijään odotetaan paksuuntuvan ja ahtojäiden lisääntyvän, vaikka Itämeren jääpeiteajan ennakkoidaan lyhenevän (Gregow ym. 2021). Matalapainemyrskyjen ja tuulen nopeuden muutokset arvioidaan erittäin pieniksi, eikä rajuilmoihin odoteta merkittäviä muutoksia lähitulevaisuudessa. Ilmaston lämpenemisen pessimististen skenaarioiden toteutuessa Pohjois-Eurooppaan on kuitenkin odotettavissa huomattavaa myrskyjen lisääntymistä (Pilli-Sihvola ym. 2023).

Ilmastomuutoksen aiheuttamat vaikutukset sääolosuhteisiin ovat pääosin samansuuntaisia koko maassa. Alueellista vaihtelua esiintyy kuitenkin esimerkiksi talven liikenneolosuhteissa rannikkoseutujen ja sisämaan välillä. Lisäksi merenpinnan nousu uhkaa tulevaisuudessa pääosin itäistä Suomenlahtea, sillä esimerkiksi Perämerellä maankohoaminen kompensoi merenpinnan nousun vaikutuksia (Gregow ym. 2021). Ennusteisiin liittyy epävarmuuksia esimerkiksi lumen määrään talvella. Arviot riippuvat käytettävästä ilmastoskenaariosta sekä tarkasteluajanjaksosta sekä -alueesta. Ilmastomuutos on esimerkiksi vähentänyt lumen määrää Suomessa viime vuosikymmeninä, erityisesti eteläisillä alueilla. Pohjois-Suomessa vaikutukset ovat olleet pienempiä, ja on jopa mahdollista, että talvet voivat muuttua entistä lumisemmiksi tulevaisuudessa (Pilli-Sihvola ym. 2023). Tämä johtuu osittain siitä, että pohjoisessa talvilämpötilat pysyvät tulevaisuudessakin pakkasen puolella ja kasvaneet sademäärät satavat muuta Suomea useammin lumena (Lehtonen ym. 2024).

*Taulukko 1: Sää- ja ilmastotekijöiden muutokset esimerkkialueilla 2050-luvulle mentäessä. Selitteet: kasvaa huomattavasti ++, kasvaa +, vähenee huomattavasti --, vähenee -, ei juurikaan muutosta /, muutos epävarma (), ei osata sanoa tai merkityksetön *. (Gregow ym. 2021)*

Muuttuja	Lappi					Uusimaa				
	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Vuosi	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Vuosi
Keskilämpötila	++	++	+	++	++	++	++	+	++	++
Sademäärä	++	+	+	+	+	+	+	/	+	+
Termisen vuodenajan pituus	-	/	+	/	*	--	+	+	+	*
Vuorokauden ylin lämpötila	++	++	+	++	++	++	++	+	++	++
Vuorokauden alin lämpötila	++	++	+	++	++	++	++	+	++	++
Pakkaspäivien määrä	-	-	-	-	-	-	--	-	--	--
Lumi	-	--	*	--	-	--	--	*	--	--
Sadepäivien määrä	+	+	()	+	+	+	()	-	()	+
Rankkasateiden voimakkuus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Suhteellinen kosteus	+	+	/	()	()	+	/	/	/	+
Tuulen nopeus	/	/	/	/	/	+	+	/	/	/
Roudan määrä	-	-	*	--	-	--	--	*	*	--

2 Ilmastomuutoksen vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin ja seurannan nykytila Suomessa

Ilmastomuutoksen vaikutukset voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: suorat, ketjuuntuvat ja siirtymävaikutukset. Suorat vaikutukset ovat esimerkiksi sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia häiriöitä tai vahinkoja. Ketjuuntuvien ja siirtymävaikutusten seuranta on huomattavasti haastavampaa. Ketjuuntuvissa vaikutuksissa poliittiset, taloudelliset sekä valtiorajat ylittävät ilmiöt yhdistyvät ilmastotekijöihin. Tällaisia ovat esimerkiksi globaalien toimitusketjujen häiriintyminen luonnonkatastrofien seurauksena. Siirtymävaikutukset kuvaavat ilmastomuutoksen hillinnästä ja sopeutumisesta syntyneitä seurauksia. Tieto- ja viestintäteknologian alalla esimerkiksi energiajärjestelmän siirtyminen uusiutuviin energialähteisiin kuten tuuli- ja aurinkovoimaan voi aiheuttaa toimitushäiriöitä, jotka aiheuttavat palvelututannon häiriöitä. Ketjuuntuvat ja siirtymävaikutukset muodostavat yhdessä ilmastomuutoksen epäsuorat vaikutukset, jotka eivät suoraan aiheudu ilmastomuutokseen liittyvistä sääilmiöistä toisin kuin suorat vaikutukset. Suomessa on varauduttu melko hyvin suoriin vaikutuksiin, vaikka epäsuorat vaikutukset voivat olla vaikutuksiltaan merkittävämpiä. Ketjuuntuvien ja siirtymävaikutusten ennakointi on usein kuitenkin vaikeaa (Hakala & Räisänen 2024).

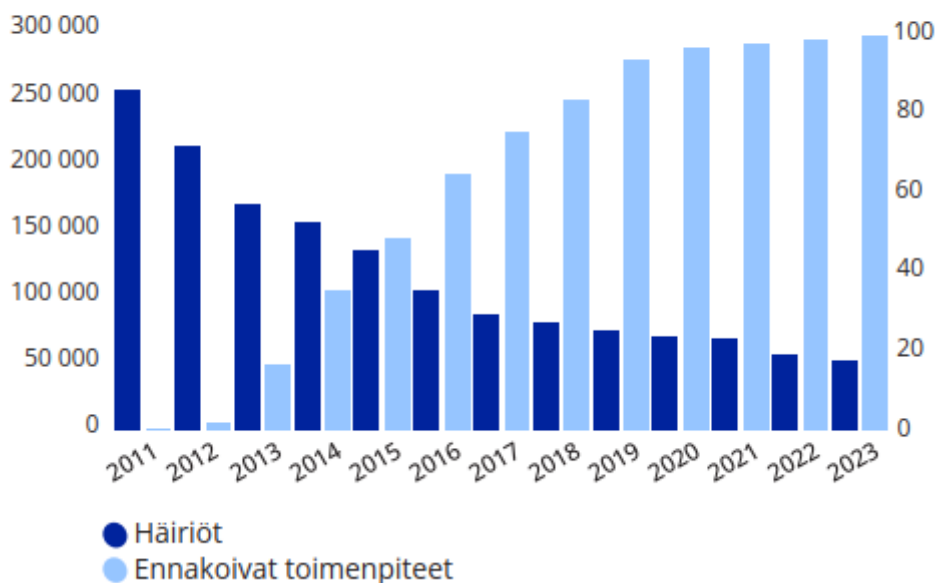
Teleoperaattorit ovat kirjallisuuslähteiden perusteella tunnistaneet ilmastomuutoksen suorat, fyysiset riskit, jotka liittyvät sään ääri-ilmiöihin ja ne ovat osa yritysten riskienhallintaprosessia. Merkittävimiksi riskeiksi teleoperaattorit nostavat sään ääri-ilmiöistä aiheutuvan infrastruktuurin korjaustarpeiden kasvun sekä lämpötilojen kasvusta aiheutuvan lisääntyneen jäähdytyksen sähkönkulutuksen. Riskeihin liittyviä häiriötilanteita seurataan, ja ennakoivia toimenpiteitä toteutetaan aiempien häiriötietojen pohjalta. Lisäksi verkkojen energiatehokkuutta ja laitteiden hukkalämmön hyötykäyttöä kehitetään jatkuvasti (DNA Oyj 2024, Telia Company 2024, Elisa Oyj 2024). Myös muut toimijat, kuten Erillisverkot, ovat tunnistaneet sään ääri-ilmiöt ja niiden vaikutukset. Yritykset toteuttavat häiriöiden seurantaan ja viankorjausta osana normaalia toimintaa sekä toteuttavat sopeutumistoimenpiteitä, kuten kuvassa 1 havaitaan Elisan tilastoinnista. On kuitenkin huomioitava, että kuvassa 1 esitetyt häiriöt ja ennakoimistoimenpiteet eivät kaikki välttämättä ole ilmastomuutoksen vaikutuksiin liittyviä. Seuraavaan listaan on koostettu joitakin poimintoja suurimpien teleoperaattoreiden vuosikertomuksista liittyen ilmastomuutoksen vaikutuksiin niiden toiminnassa:

- DNA Oyj on tunnistanut osana riskienhallintaprosessia ilmastomuutokseen liittyvät mahdolliset sään ääri-ilmiöiden fyysiset riskit ja vaikutukset verkkoihin. DNA ei kuitenkaan avaa riskienhallintaprosessinsa toimintaa tarkemmin vuosikertomuksessaan.
- Telia Finland Oyj:n 2023 vuosikertomuksen mukaan fyysisten riskien osalta keskeisimpiä indikaattoreita olivat hellejaksot, maksimituulennopeuksien kasvu sekä sadannan kasvu.
- Telia on laatinut vuonna 2022 ilmastoriskikartoituksen ja päivittänyt sitä 2023. Riskikartoitus on tehty lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä. Telia on laatinut riskiarviot neljällä erilaisella ilmaston kehityskuvalla.
- Telia kartoitti vuonna 2023 datakeskusten riskejä aiempaa tarkemmin. Pitkät kokemukset sään ääri-ilmiöiden vaikutuksista ovat muuttaneet

ennakoivia toimenpiteitä. Esimerkiksi Telia Helsinki Data Centerissä otettiin käyttöön vuonna 2023 lämmönsiirtojärjestelmä, jolla osa hukkalämmöstä voidaan siirtää kaukolämpöverkkoon. Toimintaa kehitetään jatkuvasti.

- Elisa on arvioinut, että keskilämpötilan nousu ja lämpöaallot lisäävät laite-tilojen jäähdytystarvetta. Arvion mukaan sähkötulutus kasvaa noin 2 %, jolla on vähäinen vaikutus yritystoimintaan, mutta jäähdytystarpeen kasvu on pitkällä aikavälillä arvioitu erittäin todennäköiseksi.
- Lisäksi Elisa arvioi, että ilmastonmuutoksen aiheuttamat sään ääri-ilmiöt aiheuttavat esimerkiksi sähkökatkoksia ja logistiikan häiriötä. Ilmiöiden arvioidaan olevan lyhyellä aikajänteellä todennäköisiä, mutta vaikutuksiltaan vähäisiä. Elisa arvioi, että sään ääri-ilmiöt kasvattavat lyhyellä aikavälillä henkilöstökustannuksia ja laitteiden korjauskustannuksia 0,2–2 miljoonaa euroa vuodessa riippuen häiriöiden määrästä ja muista olosuhteista.

Elisan verkon häiriöhallinnan kehitys



Kuva 1: Elisan verkon häiriöiden määrä ja ennakoivien toimenpiteiden määrän kehitys vuosina 2011–2023. Oikea pysty akseli kuvaa toimenpiteiden määrää ja vasen pysty akseli kuvaa häiriöiden määrää. (Elisa Oyj 2024)

Asiantuntijahaastatteluiden perusteella myös epäsuorat vaikutukset, kuten toimitusketjuihin liittyvät riskit on tunnistettu, mutta näkökulmat liittyvät enemmän sääntelyyn ja geopoliittiseen tilanteeseen. Viimeaikaiset globaalit ilmiöt, kuten Venäjän hyökkäyssota Ukrainassa ja koronapandemia, ovat aiheuttaneet merkittäviä häiriöitä toimitusketjuihin, ja ovat siten vaikuttaneet myös tieto- ja viestintäverkkoihin. Globaalien ilmiöiden aiheuttamat vaikutukset ovat nostaneet epäsuorat haitat aiempaa vahvemmin tieto- ja viestintäteknologian alan huoltovarmuuskusteluihin. Ilmastonmuutoksen osuus tieto- ja viestintäverkkoja koskeissa epäsuorissa vaikutuksissa on pääosin pieni, eikä ilmastonmuutoksen roolia epäsuorissa vaikutusketjuissa ole helppoa todentaa yksiselitteisesti.

Huomioitavaa on, että tieto- ja viestintäverkkojen sähkönsyötön häiriöt voidaan tulkita epäsuoriksi vaikutuksiksi. Tässä raportissa sähkönsyötön toimintavarmuutta on tarkasteltu suorien vaikutusten yhteydessä, koska sähkönsyöttö on keskeinen osa infrastruktuurin toimivuutta.

Siirtymävaikutuksiksi on tunnistettu sääntelyn muutokset, jotka ovat seurausta EU:n Green Deal -sopimuksesta, EU:n kiertotaloussuunnitelmasta sekä kansallisesta lainsäädännöstä. Elisan ja Telian vuosikertomusten perusteella sääntelyn ja ilmastomuutoksen vaikutuksesta myös markkinat muuttuvat esimerkiksi toimitusketjujen ilmastositoumusten ja sidosryhmien odotusten osalta. Sidosryhmien odotukset tulevaisuudessa liittyvät erityisesti ICT-palveluiden energiankulutukseen ja energiatehokkuuteen. Kysyntä kiertotalousratkaisuille ja ilmastotehokkaille ratkaisuille kasvavat sekä yritys- että kuluttajamarkkinoilla. Siirtymävaikutusten arvioidaan selkeästi voimistuvan vuoteen 2025–2027 mennessä.

Suomessa teleoperaattorit luokittelevat liiketoimintansa osa-alueita Euroopan unionin taksonomia-asetuksen mukaisesti taksonomian mukaisiin, taksonomiakelpoiisiin ja taksonomian ulkopuolisiin liiketoimintoihin. EU-taksonomian tarkoituksena on kehittää kestävä kehityksen mukaista liiketoimintaa määrittämällä yhdenmukaiset arviointikriteerit ympäristön kannalta kestäville taloudellisille toiminoille. Teleoperaattoritoiminta ei vielä kokonaan kuulu EU-taksonomian piiriin, joten merkittävää osaa teleoperaattorien liiketoiminnasta ei voida luokitella taksonomian mukaisten indikaattorien perusteella taksonomiakelpoiisiin tai taksonomian mukaisiin liiketoimintoihin. Operaattoritoimintaa tukevia liiketoimintoja voidaan kuitenkin jo luokitella taksonomian indikaattorien pohjalta (DNA Oyj 2024, Telia Company 2024, Elisa Oyj 2025).

EU-taksonomiassa määritellään osittaiset informaatio- ja viestintäteknologian alan liiketoiminnoille ilmastomuutokseen liittyvien sopeutumistoimien kriteerit, joiden perusteella liiketoimintojen sopeutumistoimia voidaan arvioida. Kriteerien perusteella ilmastomuutoksen sopeutumistoimet liiketoiminnalle tulee määritellä kattavan riski- ja haavoittuvuusarvioinnin pohjalta ensin listaamalla mahdolliset sääilmiöihin liittyvät riskit ja yhdistämällä ne sitten liiketoiminnan haavoittuvuuksiin. Toteutettujen sopeutumistoimien tulee olla laajuudeltaan yhteneviä liiketoiminnan laajuuden kanssa, ja sopeutumistoimien tulee merkittävästi ilmatoriskien vaikutuksia vähentäviä. Toimien tulee myös olla kestävä kehityksen mukaisia, ja niiden käytössä ja ylläpidossa tulee hyödyntää tarkoituksenmukaista mittaristoa ja indikaattoreita (Euroopan komissio 2021).

Konkreettisia sääilmiöihin liittyviä ilmastomuutoksen sopeutumistoimia ei EU-taksonomiassa vielä listata, mutta sopeutumistoimien kriteerinä määritellään kuitenkin Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin mukainen asetus datakeskuksille (Euroopan komissio 2024). Asetuksen mukaan datakeskusten keskeiset suorituskykyindikaattorit ja sijaintitiedot tulee vuosittain raportoida Euroopan Unionin tietokantaan. Suorituskyky indikaattorit osaltaan kuvaavat sopeutumistoimien vaikutuksia esimerkiksi energiankulutuksen, lämpötilan ja hukkalämmön käytön näkökulmasta, mutta sopeutumistoimien määrää on hankala arvioida pelkästään indikaattorien perusteella (Euroopan komissio 2021). EU-taksonomian kehittyessä myös tieto- ja viestintäteknologiaan liittyvien sopeutumistoimien ja raportoinnin vaatimuksia tullaan tarkentamaan ja laajentamaan, jolloin teleyritysten on EU-taksonomian näkökulmasta kehitettävä omia sopeutumistoimiaan taksonomian standardin mukaisiksi, ja erityisesti kehitettävä sopeutumistoimiin

liittyviä indikaattoreita ja mittareita sopeutumistoiminnan toteuttamisen raportointiseksi (Elisa Oyj 2025).

Elisa ja Telia raportoivat vähintään taksonomiakelpoisen liiketoimintansa olevan noin 5-10% luokkaa koko yrityksen liikevaihdosta. DNA arvioi oman vastaavan osuuden olevan noin 1%. Vähintään taksonomiakelpoisiksi toiminnoiksi teleoperaattorit raportoivat esimerkiksi kiertotaloutta tukevia käytettyjen laitteiden kaupapaikkoja ja korjauspalveluita, ohjelmistopohjaisia energiankulutuksen vähentämiseen liittyviä palveluita sekä energiankulutuksen näkökulmasta tehokkaita datakeskuspalveluita. Lisäksi merkittävä osa Product-as-a-Service -palveluista ja Internet of Things -palveluista voidaan luetella taksonomian mukaisiksi. Elisa mainitsee erikseen taksonomiakelpoisiksi liiketoimintansa osiksi mm. sähkönvarastointijärjestelmän, hukkalämmön hyötykäytön, henkilöstön leasing-autoedun sekä aurinkopaneelien käytön osana sähköntuotantoa. Yleisesti operaattorit pyrkivät jatkossa edistämään liiketoimintojensa kestävän kehityksen mukaista ilmastomuutokseen sopeutumista ja lisäämään taksonomian mukaisten liiketoimintojen osuutta omassa liiketoiminnassaan (DNA Oyj 2024, Telia Company 2024, Elisa Oyj 2025).

2.1 Haavoittuvuudet ja vaikutukset

Tieto- ja viestintäverkkojen haavoittuvuudet kuvaavat niitä tieto- ja viestintäverkkojen infrastruktuurin osia, joihin kohdistuu riski ilmastomuutokseen liittyvien sääilmiöiden aiheuttamista haittavaikutuksista. Suomen olosuhteissa tunnistettiin kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella useita haavoittuvuuksia. Osa niistä on suoria infrastruktuurin osatekijöitä, joihin ilmastomuutoksen ilmiöt kohdistuvat, toiset taas ovat tyypiltään epäsuoria ja ne liittyvät arvo- ja toimitusketjuihin. Haavoittuvuuksiin lukeutuvat sähkönsaannin ongelmat, alueittaiset tulvariskit, laittilojen olosuhdehallinnan haasteet, antennien toiminta eri sääolosuhteissa, metsäpalot, kunnossapitotoiminnan haasteet ja toimitusketjujen haasteet.

Tietoliikenteen toimivuus on nykyisin kriittistä monille yhteiskunnan toiminnoille, kuten viestintäpalveluille, maksujärjestelmille, pelastuspalveluille sekä liikenteen ohjausjärjestelmille, ja sääriskit voivat merkittävästi vaikuttaa palveluiden toimitusvarmuuteen. Ilman sopeutumistoimia ilmastomuutoksesta aiheutuvat sääolosuhteet lisäävät vaurioita ilmajohtoverkoille tai katkoksia maakaapeleissa, mikä puolestaan kasvattaa vikojen korjaus- ja varautumiskustannuksia. Tietoliikenteen häiriöt voivat myös vaikuttaa muiden toimialojen kuten vesihuollon toimintaan.

Haastatteluiden mukaan tieto- ja viestintäverkkojen haavoittuvuudet sijaitsevat erityisesti loppukäyttäjää lähellä olevissa verkon häntäosissa. Verkon kriittiset osat, kuten runkoverkot laitetiloihin, muodostavat silmukoita, jolloin yhden kaapelin tai laittilan häiriö ei aiheuta merkittävää häiriötä. Verkon hännät ovat kuitenkin usein yhden yhteyden tai esimerkiksi tukiaseman varassa, jolloin vikaantuminen aiheuttaa alueellisia häiriöitä. Valtakunnalliset häiriöt ovat harvinaisia. Runkoverkon osien suunnittelussa ja kunnossapidossa voidaan huomioida paremmin haavoittuvuuksien hallinta – verkon reunaosassa haavoittuvien komponenttien määrä kasvaa moninkertaisesti, eikä haavoittuvuuksien hallintaa voida yhtä tehokkaasti toteuttaa. Toisaalta olosuhteiden seuranta (esimerkiksi laittilojen lämpötilat ja kosteus) paranee jatkuvasti.

Tieto- ja viestintäverkkojen vaurioiden korjaaminen aiheuttaa kustannuksia. Usein

merkittävä osa kustannuksista koostuu vian korjaamisen käytettävästä työajasta, koska yksittäinen vikaantunut komponentti voi olla melko edullinen korvata, kunhan vika on diagnosoitu. Häiriötilanteiden korjaamiskustannukset vaihtelevat merkittävästi; ne voivat olla tuhansista euroista miljooniin euroihin (Pilli-Sihvola ym. 2023).

Seuraavissa luvuissa on jäsennelty ilmastonmuutoksen aiheuttamien ilmiöiden vaikutuksia erityisesti Suomen olosuhteissa eri tieto- ja viestinteknologian osa-alueisiin. Ilmiöt, haavoittuva infra ja vaikutukset perustuvat sekä kirjallisuuslähteisiin että haastatteluissa saatuihin asiantuntija-arvioihin. Taulukkomuotoinen yhteenveto ilmastonmuutoksen aiheuttamista vaikutuksista tieto- ja viestintä-verkkoihin on laadittu liitteessä 1.

2.1.1 Tieto- ja viestintäverkon sähkönsaanti

Asiantuntijahaastatteluiden mukaan ilmasto-olosuhteisiin suoraan liittyvistä häiriöistä tieto- ja viestintäverkkojen sähkönsaannin häiriöt ovat yksi merkittävimmistä syistä operaattorien tarjoamien palvelujen häiriöihin. Myrskyt ja kova tuuli ovat yleisimmät sääilmiöt, jotka aiheuttavat sähkökatkoja koko Suomen mitta-kaavassa (Yle 2020). Myös tykkylumi voi aiheuttaa ilmajohtojen vioittumisen (Pilli-Sihvola ym. 2023).

Haastatteluiden perusteella Suomessa keskijänniteverkkojen toimivuutta on parannettu ja teleoperaattorit ovat investoineet varavoimalähteisiin, jotta myrskyistä aiheutuvat häiriöt olisivat jatkossa vähäisempiä. Tästäkin huolimatta sähköverkon epäluotettavuus on edelleen merkittävä häiriötekijä tieto- ja viestintä-verkoissa. Sähkönsaannin häiriöt vaikuttavat paitsi yhteyksien toimintaan, myös esimerkiksi laittilojen olosuhdehallintaan, jolloin häiriöt voivat aiheuttaa tukiasemille vaurioita puutteellisen lämmityksen, viilennyksen tai kosteuden ylläpidon takia. Keskeisimmät laittilat ovat aina kuitenkin tilapäisesti suojattu varavirtalähteillä suurempien vahinkojen estämiseksi. Tämän lisäksi Traficom määrää viestintäverkkolaitteiden varateholähteiden vähimmäisvarakäyntiajat sähkökatkojen varalta, jotka ovat muuhun Eurooppaan suhteutettuna verrattain korkealla tasolla (Traficom 2021) (Traficom 2022).

Myrskyt ovat yleisin syy pitkille yli minuutin kestäville sähkökatkoille Suomen ilmastossa (Yle 2020). Tällä hetkellä on kuitenkin osin epävarmaa, aiheuttaako ilmastonmuutos myrskyjen määrän lisääntymistä tai tuulien voimistumista Suomen ilmastossa. Voimakkaita rajuilmoja suosivien olosuhteiden oletetaan kasvavan, joten myrskyjen vaikutuksiin on syytä varautua myös tulevaisuudessa. Ilmastomallien perusteella esimerkiksi yläilmakehän lämpötilaerot napa-alueiden ja eteläisten leveysasteiden välillä kasvavat, millä voi olla myrskyjä voimistava vaikutus. Myös matalapaineiden tyypillisten liikeratojen ennakoitua siirtyvän tulevaisuudessa pohjoisemmaksi (Lehtonen ym. 2024). Haastattelussa Telian huoltovarmuusasiantuntijoiden arvion mukaan tulevaisuudessa on huomioitava myös sähkönsaannin kysyntäpiikkeihin liittyvät sähkönsaannin epävarmuudet uusiutuvan energian yleistyessä tulevaisuudessa merkittävästi. Nämä epävarmuudet liittyvät usein myös sääolosuhteisiin, sillä esimerkiksi pitkät vähätuuliset jaksot voivat merkittävästi vähentää tuulivoimalla tuotetun energian määrää.

2.1.2 Maakaapelit

Maanvyörymät ja maan vajoaminen voivat vahingoittaa maakaapeleita (Pilli-Sihvola ym. 2023). Haasteltavat tunnistivat myös maaperän muutosten olevan riski kiinteälle viestintäverkolle, mikäli maaperän kantavuus muuttuu merkittävästi ja esimerkiksi työkoneet painuvat normaaliin asennussyvyYTEEN saakka. Haavoittuvuudet ovat kuitenkin maantieteellisesti pistemäisiä. Myös metsäpalot voivat haastattelujen mukaan vaurioittaa maakaapeleita, mikäli maakaapelit kulkevat lähellä maan pintaa. Roudan aiheuttamia suoria vaikutuksia maakaapeleihin ei haastatteluissa tunnistettu, mutta huoltotoimenpiteiden helpottuminen roudan määrän mahdollisen vähenemisen myötä tunnistettiin.

2.1.3 Antennit ja liittimet

Haastatteluiden perusteella Suomessa sääilmiöiden aiheuttamat haittavaikutukset antenneihin painottuvat rankkojen lumisateiden ja jään aiheuttamiin häiriöihin. Antennien pintoihin kertynyt jää ja lumi aiheuttaa signaalin vaimentumista ja sen myötä palvelualueen pienentymistä tai yhteyden hidastumista. Haastavimmissa tilanteissa lunta ja jäätä joudutaan poistamaan kohteesta mekaanisesti yhteyden korjaamiseksi. Uusimpien arvioiden mukaan ilmastonmuutoksen vaikutuksesta lumisateiden määrä ei tulevaisuudessa tule kasvamaan merkittävästi, vaan talvisateiden osuus talven sademäärästä kasvaa (Gregow ym. 2021). Kuitenkin Ilmatieteen laitoksen asiantuntijahaastattelun pohjalta lumimäärä pohjoisimmassa Lapissa voi kasvaa, jolloin lumesta johtuvien ongelmien alueelliset erot Suomessa voivat kasvaa. Toisaalta nollanohituspäivien lisääntymisen myötä paakkuuntuvan lumen osuus kaikesta lumisateesta kasvaa. Haastatteluissa myös jäätävän sateen aiheuttamat häiriöt antennien toimintaan on tunnistettu, mutta todennäköisyys jäätäviin sateisiin Suomessa on tulevaisuudessakin verrattain pieni. Kokonaisuutena voidaan todeta, että ilmastonmuutoksen aiheuttamien säämuutosten haittavaikutukset viestintäverkkojen antenneihin ovat tulevaisuudessa epävarmoja. Lumisateiden määrän alueellisista eroista johtuen myös haittavaikutusten alueelliset erot voivat olla merkittäviä. Oletettavasti pitkällä aikavälillä tarkasteltaessa antenneihin kohdistuvat sään haittavaikutukset eivät kuitenkaan merkittävästi kasva.

Haastatteluissa ilmeni, että uusimman tiedon perusteella ilmastonmuutos aiheuttaa Suomeen tulevaisuudessa sademäärien kasvua ja rankkasateiden määrän kasvua. Lisäksi ilmankosteuden ja rankkasateiden on todettu vaikuttavan langattomien verkkojen kantoalueeseen heikentävästi. Heikentävä vaikutus on suurin korkeataajuuksisilla nopeaan datansiirtoon tarkoitetuilla verkoilla. Vastaavasti matalataajuuksisilla hitaammilla verkoilla heikentävä vaikutus ei ole yhtä merkittävä. Korkea ilmankosteus vaikuttaa haastattelujen perusteella heikentävästi myös radio- ja TV-lähetysten kantamaan. Loppukesän aikaan lämpimän ilman nouseminen yläilmakehään voi parantaa TV- ja radiokanavien kuuluvuutta jopa niin paljon, että ulkomaiden lähetykset häiritsevät kotimaisia samojen taajuuksialueiden lähetyksiä. Näiden ilmiöiden merkittävät häiriövaikutukset ovat vuorokauden aikana korkeimmillaan tuntien mittaisia.

Haastattelujen perusteella nopeiden korkeataajuuksisten osuus langattomien verkkojen kokonaismäärästä kasvaa tulevaisuudessa edelleen, ja toisaalta verkkoyhteyksien nopeudet ja siirtotaajuudet kasvavat entisestään. Tulevaisuudessa onkin huomioitava ilmastonmuutoksesta aiheutuvat ilmankosteuden vaikutukset

erityisesti tulevaisuuden yhä korkeampitaajuuksiin langattomiin yhteyksiin. Suurin osa datan siirtoon käytettävistä langattomista verkoista reagoivat automaattisesti paikallisiin ilmankosteuden muutoksiin esimerkiksi muuttamalla verkkojen siirtonopeutta tilapäisesti pienemmäksi verkon toiminnan ylläpitämiseksi. TV-lähetysten kohdalla siirtonopeutta ei voi laskea vastaavalla tavalla helposti. Radiolähetysten kohdalla päällekkäisten verkkojen käyttö huonoilla radiokeleillä parantaa toimintavarmuutta merkittävästi.

2.1.4 Tukiasemien laitetilat

Suomessa mastojen laitetilat ovat haastattelujen perusteella haavoittuvia monenlaisille sääilmiöille. Voimakkaat myrskyt ja rajuilmat voivat esimerkiksi löystää tai rikkoa mastosta tukiasemiin johdettujen ulkoisten kaapelien liitoksia. Erityisesti kaupunkiympäristöissä rakennusten kellareihin sijoitetut tukiasemat eivät ole tulvatiiviitä, joten rankkasateiden ja myrskyjen aiheuttamat tulvat saattavat aiheuttaa laitetoille haittaa. Maaseudulla tulvien aiheuttamat riskit ovat pienempiä, sillä suurin osa tukiasemista rakennetaan mahdollisimman korkealle paikalle. Kuumien keliä aikana tukiasemien sähköpohjaisen jäähdytyksen suorituskyky on alalla nostettu riskitekijäksi.

Haastatteluissa ilmeni, että vaikka erilaiset sääilmiöt aiheuttavatkin häiriöitä tukiasemien ja langattoman verkon toiminnassa, sääilmiöt erittäin harvoin rikkovat tukiasemia kokonaan. Lisäksi tukiasemiin liittyvät toimintahäiriöt aiheuttavat pääosin vain paikallisia häiriöitä verkossa, jolloin vain tukiaseman lähiympäristössä verkon toimivuus heikkenee tai katkeaa. Haastatteluiden perusteella tukiasemien määrä on Suomessa tällä hetkellä niin suuri, että kaikkien tukiasemien suojaaminen konesaleissa käytetyllä suojaustasolla ei ole resurssien puolesta mahdollista. Verrattain pienien haittojen takia suojaamiselle ei myöskään nähdä suurta intressiä.

Haastatteluiden perusteella tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen aiheuttama keskilämpötilojen nousu ja helleaaltojen voimakkuuden ja määrän kasvu aiheuttaa tukiasemille merkittävän kasvavan riskin tukiasemien jäähdytyksen näkökulmasta. Sopeutumisen toimia kasvaneeseen lämpökuormaan on tehty jo aikaisemmin, sillä osa tukiasemien teknologiasta on siirretty laitetojen ulkopuolelle mastoon. Jäähdytyksen toteuttamiseen ja poikkeuksellisiin lämpöolosuhteisiin varautumiseen on tulevaisuudessa todennäköisesti käytettävä enemmän resursseja. Sademäärien kasvun aiheuttavaan kasvaneeseen tulvarisktiin on tulevaisuudessa varauduttava myös selvästi enemmän erityisesti kaupunkiympäristöissä, joissa mahdollisten tulvavesien kulkeutumista ja kasautumista on selvästi hankalampi ennakoida kuin maastossa. Tieto- ja viestintäverkkojen toiminnan näkökulmasta erityisesti teleyritysten tulee varmistaa, että kaupunkialueelle sijoitetut laitetilat ovat suojassa tulvahaitoilta. Tulevaisuudessa muiden ilmastonmuutokseen liittyvien sääilmiöiden vaikutuksia tukiasemiin on hankalaa arvioida, sillä ilmastonmuutoksen vaikutuksista esimerkiksi myrskyjen määrään liittyy vielä suurta epävarmuutta. Myös metsäpalot aiheuttavat riskin maastoon sijoitetuille verkkolaitteille, vaikka usein esimerkiksi telemaston ympäristöstä onkin kaadettu metsää tietyltä säteeltä.

2.1.5 Mastot

Mastojen toimintaan ei haastatteluiden perusteella liity merkittäviä haavoittuvuuksia Suomen sääolosuhteissa. Haavoittuvuudet liittyvät useammin mastoihin

kiinnitettyihin laitteisiin. Vaikka lumikuormat, kovat tuulet ja rajuilmat voivat vaikuttaa mastoihin, on mastojen tukeminen nykyään erittäin luotettavalla tasolla. Eurocode-standardin mukaisesti rakennettuja mastoja ei ole Suomessa kaatunut ja tulevassa Eurocode-standardissa mastojen lujuuslaskelmiin on tulossa päivityksiä. Asiantuntijahaastattelujen mukaan mastojen rakenteiden lujuudet ovat Suomessa riittäviä ja varmuuskertoimet ovat nähtävissä olevan kehityksen kannalta riittäviä. On perusteltua olettaa, että ilmastonmuutoksen osuus sääilmiöiden aiheuttamissa riskeissä mastojen kestävyyyteen on verrattain pieni, sillä mastoihin vaikuttavien sääilmiöiden kehitys on pitkällä aikavälillä epävarmaa (kovat tuulet). Vanhat tai väliaikaiset mastot voivat kuitenkin olla haavoittuvia. Väliaikaisia mastoja on Suomessa kaatunut esimerkiksi rajuilmojen seurauksena.

2.1.6 Datakeskukset (konesalit)

Haastatteluiden perusteella datakeskusten sääolosuhteilta suojaamiseen käytetään Suomessa tällä hetkellä merkittävästi resursseja, sillä suurien datakeskusten vaurioitumisesta voi olla suurta pitkäkestoista haittaa koko Suomen viestintäverkolle. Datakeskusten rakentaminen on hidasta ja kallista, eikä vaurioituneiden datakeskusten korjaaminen ole aina ylipäättään mahdollista. Kokonaisvaltaisista suojaustoimista johtuen Suomen datakeskuksissa riski säästä johtuville suurille vaurioille on erittäin pieni. Datakeskusten suojaustoimenpiteisiin kuuluu esimerkiksi suoja tulvilta, eivätkä ilmastonmuutokseen mahdollisesti liittyvien rankkasateiden ja myrskyjen haitat näy datakeskusten toiminnassa käytännössä ollenkaan.

Haastatteluissa ilmastonmuutokseen pohjautuva vuosittainen keskilämpötilan nousu ja helleaaltojen voimakkuuden ja määrän kasvu nähtiin tulevaisuudessa merkittävänä vaikuttavana tekijänä datakeskusten toiminnassa erityisesti jäähdytyksen näkökulmasta. Korkeammat lämpötilat saattavat tulevaisuudessa vaatia datakeskuksiin investointeja parempaan ilmanvaihtoon ja tilan viilennykseen. Tulevaisuudessa datakeskusten lämpötilaa nostaa mahdollisesti myös teknologian kehitys, jossa datakeskusten laskentakapasiteetti kasvaa esimerkiksi tekoälyn ja muiden raskasta laskentaa vaativien tehtävien johdosta. Lisäksi verkon laajentumisessa yksittäisessä konesalissa olevien eri operaattorien laitteiden lukumäärä kasvaa, ja vapaa tila konesaleissa pienenee.

Suomessa teholtaan yli 500 kW datakeskusten on energiatehokkuuslain mukaan vuosittain raportoitava datakeskusten sijaintitiedot ja keskeiset suorituskykyindikaattorit Euroopan Unionin tietokantaan. Suorituskykyindikaattorit mittaavat datakeskusten energiankulutusta, lämpötilaa sekä veden, uusiutuvan energian ja hukkalämmön käyttöä. Laki perustuu Euroopan Union energiatehokkuusdirektiiviin, jonka tarkoituksena on edistää energiatehokkaiden ja ympäristön kannalta kestävien tieto- ja viestintäpalveluiden kehitystä (Euroopan komissio 2024) (Energiavirasto 2024).

Vaikka ilmaston lämpenemiseen liittyvien sääilmiöiden suuruus on tulevaisuudessa epätarkkaa, on selvää, että konesalien ylläpitokustannukset, olosuhdehallintaan tehtävän investoinnit ja muut sääolosuhteisiin liittyvät varautumistoimet tulevat viemään enemmän resursseja kuin ennen. Ilmaston lämpenemisen vaikutukset ilmenevät pääosin datakeskusten kasvaneen energiantarpeen myötä datakeskusten ympäristövaikutuksina. Todennäköisyys konesalien vakavaan vaurioitumiseen tulevaisuuden sääolosuhteissa oletetaan asiantuntijahaastatteluiden perusteella erittäin pieneksi.

2.1.7 Merikaapelit

Pakkautuneet ahtojäät voivat aiheuttaa häiriötä sähköverkossa ja tietoliikenneyhteyksissä (Pilli-Sihvola ym. 2023). Haastatteluissa merikaapeleiden toimintaan ei ole tunnistettu merkittäviä haavoittuvuuksia Suomen sääolosuhteissa. Merikaapelit on asennettu merenpohjaan, jonne merijää ei ylety. Vastaavasti rantautumiskohdat ovat jäältä hyvin suojattuja.

2.1.8 Kunnossapitotoiminta

Haastatteluiden perusteella sään ääri-ilmiöiden kohdalla tieto- ja viestintäverkkojen huollettavien ja korjattavien kohteiden saavutettavuus voi heikentyä. Esimerkiksi metsäpalot, paksu merijää ja myrskyt voivat osaltaan vaikeuttaa pääsyä huollettavan infrastruktuurin läheisyyteen. Suomessa toimivat teleoperaattorit ja niiden urakoitsijat käyttävät kuitenkin jo valmiiksi resursseja sääilmiöihin sopeutumiseen, ja suurin osa infrastruktuurista voidaan tarvittaessa korjata ankarissakin sääolosuhteissa. Esimerkiksi Suomen Erillisverkoilla on häiriöiden korjaamisessa mahdollisuus rajavartiolaitoksen virka-apuun, jotta henkilöstö ja korjaustarvikkeet voidaan tuoda kohteeseen helikopterilla. Roudan väheneminen voi aiheuttaa erityisesti pistemäisiä haasteita kunnossapidolle, sillä alemman tieverkon kunto todennäköisesti heikkenee tulevaisuudessa valtion ja yksityisen sektorin rahoitusvajeen johdosta. Osa infrastruktuurista, erityisesti Lapissa, voi olla saavutettavissa vain osan ajan vuodesta, esimerkiksi talvella moottorikelkoilla. Talven lyheneminen tai roudan väheneminen voi vaikeuttaa joidenkin yksittäisten infra-kohteiden saavutettavuutta. Merialueilla sääolosuhteet voivat pahimmillaan estää huolto- ja korjaustoimenpiteiden toteuttamisen paikallisesti, ja tästä syystä ennakoitavat huoltotoimenpiteet pyritään ajoittamaan vaikeiden sääolosuhteiden ulkopuolelle. Vaikeimmin saavutettavissa oleva infrastruktuuri on suurelta osin last mile-yhteyksiin liittyvää infrastruktuuria, jonka häiriöt vaikuttavat ainoastaan lokaalisti. Kokonaisuutena voidaan todeta, että ilmastonmuutoksesta aiheutuvien sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen aiheuttaa vain vähän lisähaasteita tieto- ja viestintäverkkojen huoltotoimenpiteiden vaikeutumisen näkökulmasta. Sopeutumistoimien kehittäminen vastaamaan lisääntyntä huoltotoimenpiteiden vaikeutumista nähdään alalla realistisena, ja toisaalta vaikeimmin saavutettavien kohteiden häiriöiden vaikutukset ovat erittäin paikallisia.

2.1.9 Toimitusketjujen riskit

Haastatteluiden perusteella tieto- ja viestintäteknologian alan toimitusketjujen luotettavuuteen liittyvät epäsuorat riskit ovat yleisesti tunnistettu alalla. Toimitusketjujen luotettavuuteen liittyvät riskit voivat näkyä esimerkiksi varaosien ja muun kaluston hankkimisen hitaudessa. Tieto- ja viestintäteknologian alan toimitusketjuissa on tyypillistä teknologian nopea kehitys ja alan kaupallisten toimijoiden verrattain pienet varastot. Tämä tarkoittaa, että laitteiden ja varaosien hankkimiseen ei ole käytettävissä erityisen suurta puskuria, joka lisää toimitusketjujen epäluotettavuutta entisestään.

Haastatteluissa ilmeni, että ilmastonmuutoksen osuus toimitusketjuihin liittyvistä riskeistä koetaan alalla erittäin pieneksi verrattuna esimerkiksi geopolitiikasta aiheutuviin riskeihin. Venäjän hyökkäyssodan ja koronapandemian myötä toimitusketjujen riskienhallintaan on kulutettu selvästi enemmän resursseja kuin ennen. On epätodennäköistä, että tulevaisuudessakaan ilmastonmuutoksen vaikutus olisi merkittävä muihin toimitusketjuihin liittyviin riskeihin suhteutettuna. Ei ole

myöskään selkeää varmuutta, onko ilmastonmuutoksesta aiheutuvat toimitusketjujen riskit kasvamassa erityisesti Suomen olosuhteissa tulevaisuudessa.

2.2 Vaikutusten seuranta ja tietoaineistot

Ilmastonmuutoksen kansallisessa sopeutumisstrategiassa vuodelta 2005 on nostettu esiin tietoliikenteen haavoittuvuuksien suuruusluokkaa kuvaavia tekijöitä, kuten matkapuhelin- ja internetkäyttäjien määrää, sähköverkkojen rakenteita ja yhteiskunnan riippuvuutta tietoliikenneverkkoista. Lisäksi esiin on nostettu tietoliikenteen haavoittuvuuksien ennaltaehkäisyyn ja tietoliikenteen toimintavarmuuteen liittyviä tekijöitä, kuten järjestelmien vikasietoisuus, varalaitteet sekä varavaimakoneiden toiminta (Tuomenvirta ym. 2018).

Suomessa kansalliset ilmastonmuutokseen sopeutumisen seurantamittarit on laadittu vuosina 2015–2017 osana kansallisen sopeutumissuunnitelman laatimista. Mittareita laadittiin kolmeen kategoriaan: ilmastovaikutuksia kuvaavat indikaattorit, riski-indikaattorit sekä toimenpiteiden toteutumista ja päätöksentekoa kuvaavat indikaattorit. Tieto- ja viestintäverkoille mahdolliseksi riski-indikaattoriksi on tunnistettu ”sähkökatkoksista johtuvat viestintäverkkojen toimintahäiriöt”, joka kuvaa sään ääriolosuhteiden vaikutuksia. Mittaria ei ole valittu lopulliseen indikaattorikoriin, vaan luonnonilmiöistä johtuvien toimintahäiriöiden mittariksi on valittu tuulten ja myrskyjen aiheuttama keskeytysaika sähkönjakelussa (tuntia vuodessa). Vedenpinnan nousun riski-indikaattoriksi tunnistettu ”tulvat riskialueiden ulkopuolella” -indikaattori voisi haastattelujen perusteella toimia tieto- ja viestintäverkkojen riski-indikaattorina. Tiedot tulvariskeistä tulva-alueiden ulkopuolella auttaisivat esimerkiksi verkkojen suunnittelussa ja laittilojen sijoittelussa (Arnkil ym. 2017).

Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI) -tutkimuksessa on tarkasteltu ilmastonmuutoksen vaikutusten suoria ja välillisiä riskejä yhteiskunnan eri sektoreilla Suomessa. Tutkimuksen mukaan merkittävimmät kustannusvaikutukset syntyvät rakennetun ympäristön tulvariskeistä, sähkönjakeluverkkojen häiriöistä sekä maa- ja metsätaloustuotteiden tuotannon vähenemisestä. Tulvien seuraukseksi on tunnistettu esimerkiksi sähkö-, puhelin- ja tietoliikenneverkkojen vauriot, jolloin tiedonkulku ja pelastustoiminta vaikeutuvat. Sopeutumiskeinoiksi on tunnistettu esimerkiksi tulvasuojaukset ja toimintojen sijoittelu tulva-alueen ulkopuolelle tai tulvankestävästi (Perrels ym. 2022). Tieto- ja viestintäverkot ovat erittäin riippuvaisia sähkönjakelun toiminnasta. Perrels ym. (2022) mukaan erityisesti kaatuvat puut myrskytuulten tai lumikuorman takia voivat varsinkin maaseutuolosuhteissa aiheuttaa pitkiä tuntien tai päivien mittaisia häiriöitä. Ilmastonmuutoksen myötä on mahdollista, että sähkönjakelun häiriöt voivat lisääntyä nykyisestä.

Huoltovarmuuskeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen SILVA-kehityshankkeessa on tarkasteltu sään ja ilmaston vaikutuksia huoltovarmuuskriittisiin aloihin energia-, liikenne-, pelastus-, ja vakuutusalojen tietokantojen avulla. Hankkeessa laadittiin koneoppimiseen perustuva ennustemalli, joka ennakoi sääolosuhteiden perusteella vahinkotapahtumia lähitulevaisuudessa. Vaikutusennusteita on laadittu alueellisesti tuulivahinkojen raivaustehtävistä, metsäpalotehtävistä, tieliikenneonnettomuuksista ja liukastumistapaturmista. Laaditut ennusteet ovat turvallisuus- ja huoltovarmuuskriittisten alojen toimijoiden käytössä (Ilmatieteen laitos 2023, Punkka & Kämäräinen 2023).

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom ylläpitää julkista tietoaaineistoa viestintäverkkojen- ja palveluiden merkittävistä toimivuushäiriöistä. Suomessa toimivat teleyritykset ilmoittavat omien palveluidensa ja infran toimintahäiriöistä Traficomille. Tietoaaineistossa raportoidaan puolen vuoden tarkkuudella häiriöiden määrä vakavuusluokittain. Tietoaaineistossa raportoidaan lisäksi toimivuushäiriöiden eri palveluvaikutusten prosentuaalista osuutta vuosittain, sekä toimivuushäiriöiden eri syiden prosentuaalista osuutta vuosittain. Huomioitavaa on, että tietoaaineisto ei sisällä alimman vakavuusluokan häiriöitä, joita on oletettavasti määrällisesti eniten kaikista häiriöistä. Tietoaaineistossa palveluvaikutukset jaetaan kuuteen eri kategoriaan, joissa eritellään kiinteän verkon puhelin- ja internetyhteyspalvelut, radio- ja televisiopalvelut, matkapuhelinverkkoon ja muihin langattomiin verkkoihin liittyvät palvelut, sekä sähköpostipalvelut. Toimivuushäiriöiden syyt jaetaan yhdeksään eri kategoriaan, joissa eritellään sähkökatkokset, kaapelikatkokset, ohjelmistoviat, huoltotyöt, laiteviat sekä laitetilaongelmat (Traficom 2024).

Energiateollisuus ylläpitää julkista sähkökatkokarttaa, jossa sähkökatkoista aiheutuneiden häiriöiden ja häiriöiden piirissä olevien asiakkaiden määrä raportoidaan sekä kunnittain, että sähköyhtiöittäin reaaliajassa. Sähkökatkojen tyypit eritellään ulkoisista vioista johtuviin katkoihin ja huoltotöistä johtuviin katkoihin. Monet sähköyhtiöistä ylläpitävät myös omia samankaltaisia sähkökatkokarttoja, joissa sähkökatkojen alueittaiset vaikutukset näkyvät tarkemmin (Energiateollisuus 2024).

3 Ilmastomuutoksen vaikutukset ja seurannan mittarit kansainvälisesti tieto- ja viestintäverkkoihin

3.1 Ilmastomuutoksen vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin kansainvälisesti

Euroopan unionin kyberturvallisuusvirasto ENISAn mukaan luonnonilmiöiden vuoksi menetetyt käyttäjätunnit saavuttivat ennätysmäärän vuonna 2022, 168 miljoonaa tuntia. Vuonna 2021 vastaava luku oli 41 miljoonaa tuntia ja vuonna 2019 58 miljoonaa tuntia. Vuonna 2022 luonnonilmiöt muodostivat 6 prosenttia telealan yritysten häiriöistä, kun vuonna 2021 se oli kymmenen prosenttia ja vuonna 2020 yhdeksän prosenttia. Vaikka osuus häiriöistä on laskenut hieman, luonnonilmiöiden aiheuttamien häiriöiden kesto on kasvanut merkittävästi. Valtaosa häiriöistä liittyi kovaan tuuleen ja/tai sähkönsyötön häiriöihin. Häiriöiden määrä kiinteissä verkoissa (puhelin, internet ja televisio) on viime vuosina laskenut huomattavasti (Euroopan unionin kyberturvallisuusvirasto 2024a). Luonnonvoimien aiheuttamat häiriöt on tunnistettu ENISAn 2030-luvun riskikartoitukseen osaksi digitaalisen infrastruktuurin kyberturvallisuusuhkia (Euroopan unionin kyberturvallisuusvirasto 2024b). Kuvassa 2 on arvioitu globaalista näkökulmasta ilmastomuutoksen aiheuttamien sääilmiöiden vaikutusten suuruusluokkaa eri viestintäverkon osiin. Huomioitavaa on, että havainnot vastaavat pääosin Suomeksi havaittuja vaikutuksia ja niiden suuruusluokkia sellaisten sääilmiöiden osalta, joita Suomen ympäristössä voi esiintyä (ks. Kappale 1.2).

INFRASTRUCTURE/HAZARD	 INLAND/COASTAL FLOODS	 HIGH WINDS/STORM	 SEA LEVEL RISE	 HIGH TEMP	 WILDFIRE	NON-CLIMATIC HAZARDS	
						EARTHQUAKE	TSUNAMI
Submarine Cable (deep sea)	L	L	L	L	N/A	H	M
Submarine Cable (near shore)	L	L	L	L	L	H	H
Submarine Cable Landing Station	H	L	H	L	L	H	H
Terrestrial Cables (underground)	M	L	L	L	L	H	L
Terrestrial Cables (overland/aerial)	L	M	L	L	M	M	L
Network Nodes, IXPs, Data Centers	H	L	L	M	L	M	L
Wireless Transmission Antennas/Base Transceiver Station	M	H	L	L	M	M	L

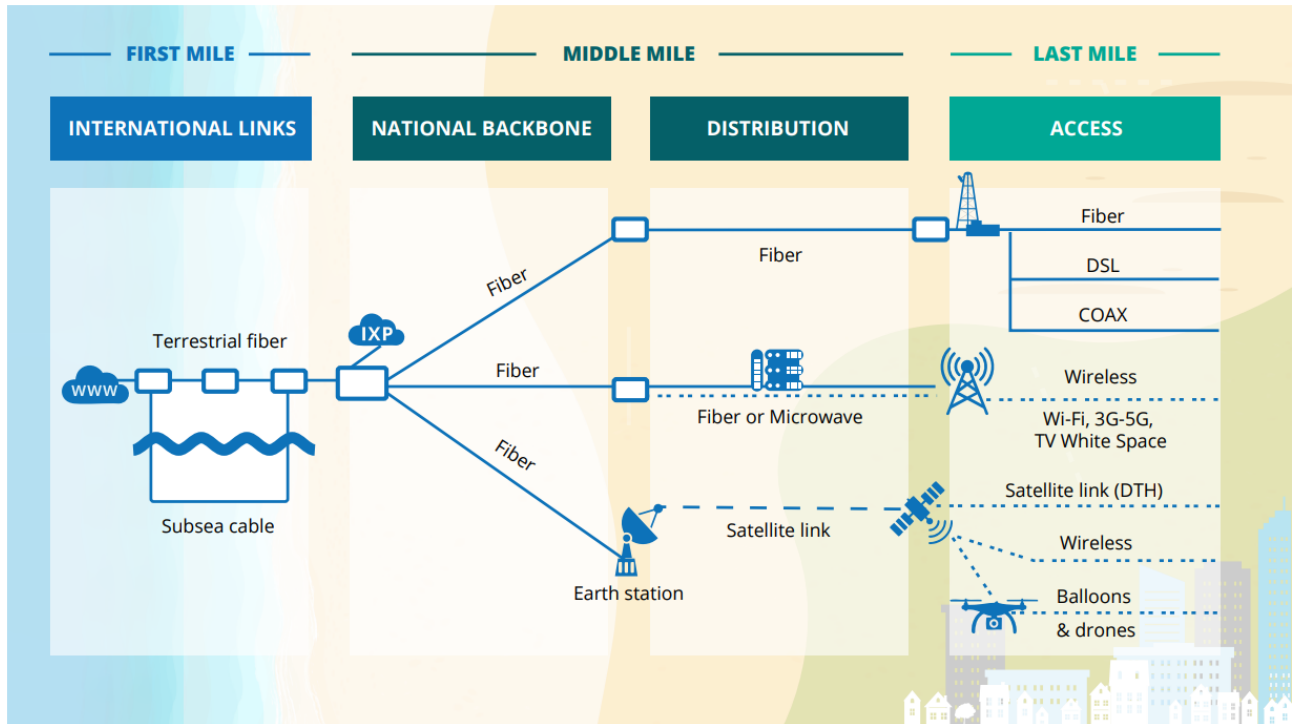
Kuva 2. Ilmastomuutoksen aiheuttamien sääilmiöiden ja luonnonkatastrofien vaikutusten suuruusluokka eri viestintäverkon osatekijöihin. Selite: H (punainen) tarkoittaa vakavaa vaikutusta, M (keltainen) kohtalaista vaikutusta ja L (vihreä) vähäistä vaikutusta. (Maaailmanpankki 2024).

Kööpenhaminan keskustassa vuonna 2011 tapahtunut rankkasade aiheutti mittavan hulevesitulvan ja suuret vahingot. Sateen seurauksena kaupungin kriittiset ICT-järjestelmät joutuivat vakavaan vaaraan. Tulva aiheutti merkittäviä ongelmia infrastruktuurille, mukaan lukien kommunikointi- ja tietokonejärjestelmät poliisissa, vankilassa ja hätäkeskuksessa. Arvion mukaan 70 % Kööpenhaminan

kaupungin kriittisistä ICT-järjestelmistä oli lähellä romahtamista. Hätäkeskuksen konehuoneen tulviminen aiheutti riskin hätäkeskusjärjestelmän täydellisestä romahtamisesta, mutta tältä vältyttiin ja hätänumero toimi koko tilanteen ajan. Tapaus korostaa kriittisten ICT-järjestelmien haavoittuvuutta luonnonkatastrofeissa ja tarvetta parantaa niiden kestävyyttä. Kööpenhaminan esimerkki osoittaa, että vastaavanlainen rankkasade esimerkiksi Helsingissä voisi aiheuttaa merkittäviä taloudellisia, yhteiskunnallisia ja terveydellisiä vaikutuksia, mukaan lukien ICT-järjestelmien toiminnan vaarantuminen. Tämän vuoksi on tärkeää, että kriittisten ICT-järjestelmien riskianalyysihin ja varautumissuunnitelmiin sisällytetään ilmastomuutoksen tuomia haasteita. Vaikka Kööpenhaminan kaltaista rankkasadetta ei ole vielä mitattu Suomessa, on sen mahdollisuus olemassa jo nykyilmastossa. Sen vuosittainen todennäköisyys nykyilmastossa on hyvin pieni, huomattavasti alle yksi prosenttia (Pilli-Sihvola ym. 2018).

Ilmastomuutoksen seurauksena monenlaiset ICT-järjestelmien kannalta haitalliset luonnonilmiöt yleistyvät kansainvälisesti. Kaikki ilmastomuutoksen haitalliset vaikutukset eivät kuitenkaan ole merkittäviä Suomen ympäristössä. Esimerkiksi Etelä- ja Keski-Euroopassa jäätävien sateiden yleistyminen muodostaa tulevaisuudessa merkittävän riskin tietoliikenneverkoille ja sähkönjakelulle. Suomessa nykyisissä ilmasto-olosuhteissa runsaan jäätävän sateen todennäköisyys on erittäin pieni. Lisääntynyt sade lisää maavyöryjen riskiä maavyöryille otollisissa ympäristöissä muodostaen merkittävän riskin kaikelle ICT-järjestelmiin liittyvälle infrastruktuurille. Suomessa maanvyöryjen riskit ovat nykyään ja tulevaisuudessa maasto- ja ympäristöolosuhteista johtuen vähäisiä. Ilmastomuutoksesta aiheutuva merenpinnan nousu muodostaa merkittävän riskin globaalisti kaikelle rakennetulle infrastruktuurille ICT-järjestelmät mukaan lukien. Suomessa merenpinnan nousun aiheuttamat riskit ovat kuitenkin globaalisti suhteutettuna erittäin pieniä. Huonoimmissakin tulevaisuuden skenaarioissa merenpinnan nousun riskit kohdistuvat vain rajattuun osaan itäisellä Suomenlahdella (Tuomenvirta ym. 2018).

Tieto- ja viestintäverkkojen osalta kyky sopeutua muutoksiin on kuitenkin monia muita sektoreita nopeampaa ja toimintaan sisäänrakennettua. Vaikka infraa on paljon, se on segmentoitua ja yksittäiset komponentit ovat pieniä ja melko helposti korvattavissa. Teknologia kehittyy nopeasti ja laitteiden elinkaari on lyhyt, usein vain joitakin vuosia. Toiminta perustuu varmistettuihin verkkoihin, jolloin yhden komponentin tai linkin vikaantuminen ei useinkaan aiheuta merkittävää palveluhäiriötä (Kansainvälinen televiestintäliitto 2014). Kuvassa 3 on esitetty esimerkki viestintäverkon teknisestä rakenteesta. Haastattelujen perusteella suurin osa verkkojen häiriöistä tapahtuu kuvan last mile -osassa, jotka ovat lähimpänä palveluiden käyttäjiä. Last mile -osan häiriöt eli verkon häntäosien häiriöt eivät kuitenkaan kohdista merkittävää riskiä koko verkon toiminnalle, ja häiriölle altistuneiden käyttäjien määrä on pääosin pieni.



Kuva 3. Esimerkki tieto- ja viestintäverkoista. Kuvasta puuttuvat esimerkiksi sähkönsyöttö, datakeskukset, konesalit ja muut laittilat sekä päätelaitteet, joita tarvitaan palveluiden tuottamiseen. (Maailmanpankki 2024)

3.2 Mittarit kansainvälisessä kirjallisuudessa

Ilmastonmuutoksen vaikutusten seurannan mittareista kansainvälisesti on melko rajallisesti löydettävissä kirjallisuutta. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen mitta-ristojen keskiössä ovat infrastruktuurin näkökulmasta huomattavasti useammin sähköverkko, rakennukset, vesihuolto ja liikenne. Tieto- ja viestintäverkkojen painotus on vähäinen. Osittain tämä voi johtua siitä, että tieto- ja viestintäverkkoihin liittyvä infrastruktuuri eroaa esimerkiksi liikenteestä; infrastruktuuri on yksityisomisteista, jolloin tiedon jakaminen on rajallisempaa ja toisaalta toimiala on laitteiden lyhyen käyttöajan ja verkkojen rakenteen vuoksi muuta kriittistä infrastruktuuria paremmin sopeutuvainen muutoksiin. Esimerkiksi Irlannissa on todettu, että tieto- ja viestintäverkkojen tietolähteitä on erittäin rajallisesti (Bernardini ym. 2023). Seuraavassa on koostettuna tunnistettuja kirjallisuuslähteisiin perustuvia näkökulmia tieto- ja viestintäverkkojen mittareista ja ilmiöistä. Kirjallisuudessa on painotettu länsimaisia lähteitä. Lisäksi Pohjoismaiden osalta pyrittiin eri virastojen sivustoilta löytämään aihepiiriä koskevaa kirjallisuutta.

Maailmanpankin vuonna 2024 julkaistussa kestävästä infrastruktuurin oppaassa suositellaan tieto- ja viestintäverkkojen suorituskyvyn ja resilienssin mittaamiseen esimerkiksi seuraavan tyyppisiä mittareita (Maailmanpankki 2024):

- Sopeutumistoimenpiteiden mittarit: Resilientin infrarakentamisen toteutunut määrä tai suunnitelmien määrä
- Reaktiiviset mittarit: Vasteaika häiriötapauksiin, eli keskimääräinen aika korjaus- tai palautustoimien suorittamiseen

- Seurantamittarit: Digitaalisen infran vikatilanteita ja vallitsevia sääolosuhteita tunnistavien ilmaisimien asennusmäärät tai käyttö.

Yhdysvaltojen standardisointi- ja teknologiainstituutti NIST on koostanut eri resilienssi- ja viestintäkehyksistä indikaattoreita ja mittareita. Mittareita on kaikkiaan lähes 8000 kappaletta. Aineistosta tunnistettiin tieto- ja viestintäverkkoja käsitteleviä indikaattoreita. Osalle indikaattoreista ei ole määritetty mittaria, jolla sitä voitaisiin systemaattisesti mitata. Osa indikaattoreista on suunnattu luonnonkatastrofien jälkeisen palautumisen seurantaan (Dillard 2021). Alla olevaan listaan on koostettu esimerkkejä tieto- ja viestintäverkkoja käsittelevistä mittareista, jota on täydennetty lähteestä (Goonesekera & Olazabal 2022) New Yorkin ilmastomuutokseen sopeutumisen ICT-mittarilla.

- Häiriön jälkeinen palautumisaika kaikille palveluille/minimipalveluille/tekni-selle toimivuudelle
- Viestintäverkkojen kriittisen omaisuuden häviökerroin
- Palveluhäiriön ja siitä palautumisen oletettu kustannus suhteessa vuotui-seen liikevaihtoon
- Vahingoittuneiden viestintälaitetilojen lukumäärä
- Tieto- ja viestintäverkkojen laitetilojen rakennuskannan ikä
- Rahalliset vahingot tieto- ja viestintäverkkojen laitetoille
- Palveluiden käyttäjämäärät (puhelinverkot, internet, tv, radio)
- Säästä aiheutuneiden häiriöiden kesto asiakastunteina mitattuna

Irlannin viestintäalan sääntelyviranomaisen teettämässä viestintäverkkoja käsittelevässä raportissa on kuvattu kattavasti tieto- ja viestintäverkkojen haavoittuvuuksia, riskejä sekä vaikutusten seurannan haasteita. Irlannissa sähköverkon häiriöt ovat suurin tieto- ja viestintäverkkojen haavoittuvuus. Keskeisimmiksi resilienssiä lisääviksi toimenpiteiksi on tunnistettu ilmastomuutokseen ja sään ääri-ilmiöihin sopeutumisen suunnitelmat, sähkönsyötön toimintavarmuuden parantaminen sekä kestävien verkkojen rakentaminen (kuituverkot langattomien sijaan). Raportissa on analysoitu esimerkiksi erilaisia säähän liittyviä vaikutuksia tarkastelemalla häiriöiden käyttäjätuntivaikutuksia sekä vertailtu tuloksia ENISAn lukuihin. Vaikutusten ja sopeutumisen seurannan haasteeksi on tunnistettu, että säästä aiheutuneiden tapahtumien kirjaamisessa on eroja yritysten välillä. Ope-raattoreiden myrskyvarautumissuunnitelmat eroavat toisistaan. Irlannissa tele-operaattoreiden toteuttamat akkuvarmennukset eroavat toisistaan. ENISA julkai-see ohjeistuksia televerkkojen- ja palveluiden häiriöiden luokittelusta merkittä-vyyden mukaan sekä ohjeistuksia häiriöiden merkittävyyden arvioimismenetel-mistä (Frontier Networks 2022).

Ruotsissa erityisesti tulvien on arvioitu vaikuttavan viestintäverkkoihin. Mikäli sa-danta kasvaa ja tulvat yleistyvät, sillat voivat vaurioitua, jolloin niitä pitkin kulke-vat kuituyhteydet voivat vioittua (Klimatanpassing.se 2023). Lisäksi sähköverkon häiriöt on tunnistettu riskiksi. Ilmajohtoja tullaan erityisesti Pohjois-Ruotsissa käyttämään pitkään, vaikka kaapelointia on muualla jo viety runsaasti maan alle. Myös metsäpalot on tunnistettu kansallisessa sopeutumissuunnitelmassa riskiksi,

maan- ja lumivyöryjen ohella (Unger ym. 2023). Vaikutusten arvioidaan kuitenkin olevan keskitasoa, koska ala tekee sopeutumistoimenpiteitä.

Ruotsissa Klimatanpassing.se -sivuston mukaan Ruotsin posti- ja televiestintäviranomainen (PTS) vaatii tieto- ja viestintäverkkojen säästä aiheutuvien häiriöiden määrän ja keston vähentämistä (Post- och Telestyrelsen 2023). PTS raportoi tieto- ja viestintäverkkojen häiriöistä ja niiden taustasyistä vuosittain. Valtaosa häiriöistä johtuu muista kuin sääolosuhteista.

Norjan tutkimusneuvoston rahoittamassa Klima2050-tutkimushankkeessa on laadittu kriittisen infrastruktuurin resilienssi-indikaattoreita (Depina & Øien 2021). Näistä indikaattoreista kaksi käsittelee tieto- ja viestintäverkkoja:

- Maanalaisen infrastruktuurin (esim. putkistot, kuitu, voimakapelit) osuus riskialttiilla alueilla (maanvyörymät, tulvat jne.)
- Kunnan kotitaloustuntien määrä vuodessa, jolloin ei ole pääsyä kuituverkoon äärimmäisten sääolosuhteiden vuoksi.

Traficomin vuonna 2024 julkaistussa liikenteen hallinnonalan ilmaston muutoksen vaikutusten seurannan mittariston laadinnassa käytettiin esimerkkinä Saksan ilmastosopeutumisraportin liikenneosiota. Saksan raportissa on laadittu mittareita myös useille muille sektoreille, mutta tieto- ja viestintäverkot eivät ole mukana seurannassa. Lähin esimerkki on energiasektori, jonka mittareita ovat sääilmiöiden aiheuttamat yli kolmen minuutin mittaiset häiriöt sähköverkossa sekä suunnittelemattomien sähkökatkojen keskimääräinen kesto asiakasta kohti (Umweltbundesamt 2024). Euroopan unionin Climate ADAPT -sivuston (2024) mukaan Unkarissa on käytössä mittari, jolla seurataan sään ääri-ilmiöihin varautumista teknisten verkkojen suunnitelmissa ja käytössä.

4 Mittariston muodostaminen

Kirjallisuuden ja asiantuntijahaastattelujen perusteella infrastruktuurin ja palveluiden hiilineutraalisuuden edistäminen sekä palveluiden luotettavuuden ja resilienssin kehittäminen sopeutumistoimenpiteillä kattavat merkittävimmän osan alan toimijoiden ilmastonmuutokseen liittyvästä toiminnasta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia palveluiden tuottamisessa ei seurata systemaattisesti, mutta vaikutukset on tunnistettu sopeutumisesta vaativaksi riskiksi, koska sääilmiöt aiheuttavat häiriöitä palveluihin. Kirjallisuuskatsauksen esimerkit ja käytännöt, tietoaineistojen helppokäyttöisyys ja saatavuus sekä asiantuntija-arviot mittarien tarkkuudessa huomioitiin mittariston suunnittelussa.

Mittariston laadinnassa selkein painoarvo on annettu tieto- ja viestintäpalveluiden toimintavarmuuteen ja palvelutasoon. Selkeästi suurin osa ilmastonmuutoksen aiheuttamista sään ääri-ilmiöistä vaikuttaa hetkellisesti palvelutasoon yksittäisillä alueilla. Suoraan infraan kohdistuvat vakavat vauriot ovat palvelutasohaittoihin verrattuna harvinaisia, ja ne johtuvat lähinnä sääilmiöistä aiheutuvista tapahtumista, kuten metsäpaloista ja tulvista. Hyödyntämällä ilmastonmuutokseen läheisesti liittyvien sääolosuhteiden tilastointia osana mittaristoa voidaan ilmastonmuutoksen vaikutus tieto- ja viestintäteknologian alan infrastruktuurin haavoittuvuuksiin selvittää paremmin. Mittariston muodostamisessa on myös huomioitu saatavilla olevien tietoaineistojen rajallisuus ja mahdollisuudet hyödyntää olemassa olevia tietoaineistoja resurssitarpeen (sekä Traficomin että alan yritysten) minimoimiseksi.

Keskeinen ilmastonmuutoksen vaikutus tieto- ja viestintäverkkojen toimintaan tulevaisuudessa on sopeutustoimenpiteisiin käytettävien resurssien kasvu sekä energiankulutuksen kasvu. Haastatteluiden ja kirjallisuuslähteiden pohjalta energiankulutuksen kasvu johtuu paitsi laitteiden määrän ja tehon kasvusta datakeskuksissa ja laitetoissa, myös keskilämpötilan kasvusta johtuvan jäähdytystarpeen lisääntymisestä. Mittaristossa on tästä syystä painotettu myös laitetojen olosuhdehallintaan liittyvää näkökulmaa, koska se kuvaa kohtalaisesti edellä mainittuja ilmiöitä. Myös ilmastonmuutoksesta aiheutuva helleaaltojen määrän kasvu aiheuttaa asiantuntijoiden mukaan tulevaisuudessa laitetojen ja datakeskusten jäähdytystarpeen kasvua, mikä on olennaista huomioida mittaristossa. Mittariston lähtökohdiksi valikoitui:

1. Palvelutasoa kuvaavat mittarit (esimerkiksi toimivuushäiriöiden vakavuus ja häiriöiden kesto)
2. Infrastruktuurin kunnossapitotarvetta ja sopeutumisen kustannuksia kuvaavat mittarit

Edellä mainittujen näkökulmien lisäksi pääasiallisen mittariston tueksi on tunnistettu kokonaiskuvaa täydentäviä sää- ja kelitietoja, joiden tarkoituksena on tukea vaikutusten kytkentää ilmastonmuutoksen aiheuttamiin sään ääri-ilmiöihin tai pitkän ajan trendeihin. Pelkät palvelutasoon tai olosuhdehallintaan liittyvät indikaattorit eivät yksinään määritä, kuinka suuri osa vaikutuksesta liittyy ilmastonmuutokseen. Täydentävä mittaristo auttaa pääasiallisten indikaattorien tulkinnessa ja tarkkojen johtopäätösten tekemisessä, sillä myös ilmastonmuutoksesta riippumattomat tekijät saattavat vaikuttaa infran toimintaan pitkällä aikavälillä.

4.1 Ehdotus mittaristosta

Ehdotettu mittaristo on esitetty taulukossa 2, ja se on jaettu kahteen kategoriaan ilmastomuutokseen liittyvien tieto- ja viestintäverkkojen haavoittuvuuksien mukaan. Mittaristossa hyödynnetään Traficomin julkisesti saatavilla olevaa tietokantaa. Traficomin (2024) koostama viestintäverkkojen ja -palveluiden toimivuushäiriöiden tietokanta on tämän hetken jatkuvasti päivittyvistä tietokannoista selvästi kattavin ja luotettavin, sillä se kokoaa yhteen eri teleyritysten palveluihin liittyvät toimintahäiriöt. Muita julkisesti saatavilla olevia tietolähteitä tieto- ja viestintäverkkojen vaurioista tai palvelujen toimivuushäiriöistä ei aktiivisesti kerätä.

Asiantuntijahaastatteluiden pohjalta ilmastomuutokseen liittyvistä vaikutuksista selvästi merkittävimmät ovat sähkökatkoista johtuneet palvelukatkot ja laitetilojen toimintaan liittyvät häiriöt. Traficomin koostaman aineiston avulla voidaan seurata merkittävimpiä ilmastomuutoksen aiheuttamien verkkojen ja palveluiden toimivuushäiriöiden kehitystä, sillä aineistossa toimivuushäiriöiden syiden avulla häiriöt voidaan luokitella sähkökatkojen häiriöihin ja laitetilojen olosuhteista seuranneisiin häiriöihin. Aineisto sisältää myös tiedon toimivuushäiriöiden vakavuudesta häiriölle altistuneiden henkilöiden mukaan, jolloin lopullisessa mittarissa vaikutuksia voidaan painottaa häiriöiden vakavuuden mukaan. Aineistosta ilmenee myös palvelun tyyppi ja häiriön maantieteellinen vaikutus. Ehdotettu mittaristo arvioi kokonaisuutena luotettavasti tieto- ja viestintäverkkoihin kytkeytyvien palveluiden palvelutasoa.

Ehdotettu mittaristo pyrkii kuvaamaan ilmastomuutoksesta aiheutuvia vaikutuksia tieto- ja viestintäverkkoihin palvelutason näkökulmasta. Huomioitavaa on, että häiriöitä ennaltaehkäisevillä toimilla, ja ilmastomuutoksen sopeutumistoimilla on häiriöiden määrää pienentävä ja palvelutasoa parantava vaikutus. Palvelutasoa tukevien sopeutumistoimien laajuuden mittaamisella yhdessä häiriömäärien kanssa ilmastomuutoksen vaikutusta tieto- ja viestintäverkkojen toimintaan voidaan analysoida tarkemmin. Valitun mittariston kehityskohteisiin on laadittu esimerkkejä sopeutumistoimia kuvaavista mittareista. Teleyritysten sopeutumistoimia mittaavia julkisia tietoaaineistoja ei tällä hetkellä kuitenkaan ole helposti saatavilla, eikä mittareita siksi sisällytetä varsinaiseen mittaristoon. Myös mittariston tarkkuuden parantamiseen liittyviä kehitysehdotuksia on laadittu, mutta suurin osa laadituista kehitysehdotuksista vaatii uudenlaisen tietoaaineiston koostamista esimerkiksi palvelukatkosten luokitteluun sääilmiöiden perusteella. Lopulta mittaristoa tukevilla sää- ja kelitiedoilla voidaan arvioida, kuinka suuri osa viestintäverkkojen havaituista häiriöistä selittyy ilmastomuutoksen vaikutuksella sääolosuhteisiin.

Mittariston päivityssykliksi ja esitystarkkuudeksi suositellaan kolmea kuukautta. Tällä hetkellä Traficomin tietoaaineisto päivitetään puolen vuoden välein. Vähintään kolmen kuukauden esitystarkkuus on perusteltua erityisesti eri vuodenaikoihin liittyvien sääolosuhteiden vaikutusten erotteluun. Mittariston kehittämisen näkökulmasta aineistojen esittäminen tiheämmällä aikavälillä, esimerkiksi kuukausittain, voi olla perusteltua erityisesti lyhytaikaisten sääilmiöiden vaikutusten eristämiseen muista häiriöistä. Laajempi aineistojen raportointi suositellaan toteutettavaksi neljän vuoden välein, jotta pitkän aikavälin sää- ja kelitietojen vaikutusta ja mahdollista korrelaatiota mittariston indikaattoreihin voidaan seurata esimerkiksi aikasarja-analyysin keinoin. Katsaus mittariston päivitykseen suositellaan

toteuttamaan vuoden välein, jotta mahdollisten kehittämisprosessien implemen-
tointi ja toteutus voidaan suorittaa tehokkaasti.

Taulukko 2: Ehdotus tieto- ja viestintäverkkojen mittareista.

	Sääilmiöistä seuranneet häiriöt	Laitetilojen olosuhteista seuranneet häiriöt
Mittari	Sähkönkäytöstä johtuneet palvelukatkokset.	Laitetiloista tai laitevirioista johtuneet palvelukatkokset.
Yksikkö	Palvelukatkoksen ja sähkökatkoksen lukumäärä. Palvelukatkoksen ja sähkökatkoksen kesto ja vakavuus.	Palvelukatkoksen määrä. Palvelukatkoksen kesto ja vakavuus.
Kuvaus	Mittari kuvaa sääilmiöistä seuranneiden viestintäverkkojen ja -palveluiden toimivuushäiriöiden kehitystä. Merkittävin osa sääilmiöistä johtuvista toimivuushäiriöistä ovat sähkönkäytön häiriöitä ja sähkönkäytön häiriöihin liittyvien sääilmiöiden (esim. myrskyt) pitkän aikavälin trendit ovat pääosin ilmastonmuutoksen ajamia. Mittari määrittää yksittäisten ilmastonmuutokseen liittyvien sääilmiöiden vaikutusta verkon toimivuuteen ja luotettavuuteen.	Mittari kuvaa laitetilojen olosuhteista seuranneiden häiriöiden kehitystä tulevaisuudessa. Muut kuin sähkökatkoihin liittyvät sääilmiöt (esim. tulvat ja helleaallot) vaikuttavat pääasiallisesti laitetilojen toimintaan ja vaativat sopeutumistoimia olosuhdehallinnassa. Mittari määrittää myös pitkän aikavälin säätrendien (keskilämpötilan kasvu, hellepäivien määrä ja ilmankosteuden muutokset) vaikutuksia laitetilojen toimintaan, palveluiden resilienssiin sekä laitetiloissa ja datakeskuksissa toimivan infrastruktuurin ylläpitoon.

Toteutus	Mittari voidaan toteuttaa joko määrittämällä palvelukatkosten lukumäärä, tapausten kestot ja vakavuudet erillisenä, tai määrittää palvelukatkosten kokonaisvaikutus painottamalla yksittäisiä katkoksia keston ja vakavuuden perusteella. Mittari voidaan myös laatia määrittämällä sähkökatkoihin liittyvien palvelukatkosten osuus kaikista merkittävistä katkoksista.	Mittari voidaan toteuttaa joko määrittämällä palvelukatkosten lukumäärä, tapausten kestot ja vakavuudet erillisenä, tai määrittää palvelukatkosten kokonaisvaikutus painottamalla yksittäisiä katkoksia keston ja vakavuuden perusteella. Mittari voidaan myös laatia määrittämällä laitteiden olosuhteisiin liittyvien palvelukatkosten osuus kaikista merkittävistä katkoksista.
Tietoaineisto	Viestintäverkkojen ja -palveluiden merkittävät toimivuushäiriöt (Traficom). Sähkökatkokartat (Energiateollisuus ja sähköyhtiöt).	Viestintäverkkojen ja -palveluiden merkittävät toimivuushäiriöt (Traficom).
Kehitysmahdollisuudet	Mittarien tarkentaminen: - Palvelukatkosten luokittelu katkoksen aiheuttaneen sääilmiön perusteella. - Palvelukatkosten määrän maantieteellinen ja alueellinen jakauma. - Teleyritysten kohdalla sateesta ja ilmakehän kosteudesta aiheutuneet signaalin laadun häiriöt ja katkokset asiakaspalautteen määrään perustuen. Mittariin liittyvät sopeutumistoimet: - Ilmassa olevien sähkökaapeliin määrä suhteessa maanalaisten sähkökaapeliin määrään. - Teleyritysten laitteiden varavaroimälähteiden toiminta-ajat.	Mittarien tarkentaminen: - Palvelukatkosten luokittelu katkoksen aiheuttaneen sääilmiön perusteella. - Palvelukatkosten määrän maantieteellinen ja alueellinen jakauma. Mittariin liittyvät sopeutumistoimet: - Teleyritysten laitteiden ja datakeskusten energiankulutus heljaksojen aikana tai kausittain. - Teleyritysten laitteiden säätöiden ennaltaehkäisyyn liittyvien päivitys- ja muutostöiden lukumäärä. - Teleyritysten laitteiden jäähdytyskapasiteetti ja jäähdytyksen energiatehokkuus

4.2 Täydentävät sää- ja kelitiedot

Mittareiden analysoinnin tueksi on tunnistettu täydentäviä sää- ja kelitietoja. Ne auttavat mittarien tulkinnessa ja mahdollistavat aikasarjojen vertailun korrelaatioiden tunnistamiseksi, mikä edesauttaa mittareiden tulosten kytkemistä

ilmastonmuutokseen. Ilmatieteen laitoksen havaintohistoria mahdollistaa tietojen koostamisen. Esimerkkejä täydentävistä sää- ja kelitiedoista on kerätty taulukkoon 3.

Taulukko 3: Esimerkkejä täydentävistä sää- ja kelitiedoista.

Infrastruktuurin osa	Täydentävät sää-/kelitiedot
Sähköverkot	Myrskyjen ja rajuilmojen määrä. Tuulen nopeus. Ukkosmyrskyjen määrä. Lumimyrskyjen määrä. Puuvahingot ja kaatuneiden puiden määrä. Metsäpalojen määrä/laajuus.
Antennit ja mastot	Sademäärät. Myrskyjen ja rajuilmojen määrä. Lumimäärät. Tuulen nopeus. Puuvahingot ja kaatuneiden puiden määrä. Metsäpalojen määrä/laajuus.
Datakeskukset	Hellejaksojen pituudet ja lämpötilat. Metsäpalojen määrä/laajuus.
Laitetilat	Hellejaksojen pituudet ja lämpötilat. Tulvien määrä. Sademäärä. Metsäpalojen määrä/laajuus.
Kaapelit	Sademäärä. Tulvien määrä. Metsäpalojen määrä/laajuus. Myrskyjen ja rajuilmojen määrä. Tuulen nopeus.

4.3 Mittariston rajoitteita

Tieto- ja viestintäverkkojen rakentaminen ja hallinnointi on pääasiassa yksityisten yritysten vastuulla, jolloin infrastruktuuriin ja palveluihin liittyvät tiedot ovat pääasiassa yrityssalaisuuksia. Esimerkiksi huoltokäynneistä syntyy vaihtelevalla tarkkuudella tietoa yritysten tikettijärjestelmiin, jonka avulla voitaisiin analysoida ilmastonmuutoksen vaikutuksia kunnossapitoon. Tiedot ovat kuitenkin hajanaisia ja on todennäköistä, että tietojen julkaisemiseen suhtauduttaisiin nuivasti.

Ehdotetussa mittaristossa seurataan häiriöiden kestoa ja vaikutusta. Käytännössä tämä kuvaa myös häiriöistä palautumisaikaa. Se ei kuitenkaan kuvaa esimerkiksi kustannuksia, joita häiriöstä palautuminen vaatii tai sitä, onko kaikki palvelut saatu palautettua täydellä kapasiteetilla. Laajoissa häiriöissä henkilöstökustannukset ovat yleensä merkittävämpiä kuin laitteiston uusimisen kustannukset, erityisesti, jos vikaa joudutaan etsimään. Tällöin häiriöiden kustannusvaikutusta voidaan arvioida ainakin karkealla tasolla hyödyntämällä esimerkiksi arviota tunti-kohtaisesta työvoimakustannuksesta.

Ilmastonmuutoksesta aiheutuvia epäsuoria vaikutuksia kuvaavaa mittaria ei ole sisällytetty ehdotettuun mittaristoon. Kirjallisuuslähteiden perusteella toimitusketjuihin liittyvät haitat voivat tulevaisuudessa olla merkittäviä erityisesti kunnossapidon ja toimintavarmuuden ylläpidon näkökulmasta. Epäsuoriin vaikutuksiin liittyviä tietoaineistoja ei kuitenkaan käytännössä ole saatavilla, sillä esimerkiksi toimitusketjuihin liittyvä informaatio on pääosin yritysten sisäistä tietoa. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia kuvaavaa tietoa toimitusketjuista ei ole.

Asiantuntijat ovat haastatteluiden perusteella verrattain yksimielisiä siitä, että ilmastonmuutoksen osuutta toimitusketjuihin toimintaan on erityisesti globaalilla tasolla erittäin hankala todentaa, sillä toimitusketjut harvoin rajoittuvat

yksittäisten valtioiden alueille. Nykytilanteessa ilmastonmuutokseen liittymättömät ilmiöt ovat aiheuttaneet merkittävästi suurimmat vaikutukset toimitusketjuihin ja varautumistyötä tehdään näistä näkökulmista, joka parantaa myös ilmastonmuutokseen sopeutumista.

Valittu mittariston kattavuus perustuu oletukselle, että ainoastaan tietyt sääilmiöihin liittyvät haittavaikutukset ovat tulevaisuudessa merkittäviä tieto- ja viestintäverkkojen toiminnan luotettavuuden näkökulmasta. Asiantuntijoiden ja kirjallisuuslähteiden pohjalta on perusteltua olettaa, että mittaristo kuvaa erityisesti lähitulevaisuudessa ilmastonmuutokseen liittyvien vaikutusten kehitystä pääosin luotettavasti. Kauempana tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen aiheuttamien säätilaennusteiden luotettavuus heikkenee merkittävästi, jolloin aiemmin merkityksetön haittavaikutus voi muuttua merkittäväksi. Mittariston pitkän aikavälin luotettavuuden näkökulmasta kaikkien häiriöiden tarkka luokittelu sääilmiön tai muun ilmastonmuutokseen liittyvän ilmiön mukaan saattaa olla tarpeellista.

4.4 Kehityskohteet

Ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset ovat tällä hetkellä sopeutumisen keskiössä, koska lyhyellä aikavälillä tällaisten ilmiöiden vaikutusten vähentäminen parantaa suoraan palveluiden luotettavuutta ja vähentää esimerkiksi verkkojen ja laitteiden kunnossapidon kustannuksia. Pitkällä aikavälillä epäsuorien vaikutusten osuus ilmastonmuutokseen liittyvissä riskeissä voi jonkin verran kasvaa. Työssä ei tunnistettu kattavia, systemaattisesti kerättyjä tietoaineistoja, joiden avulla esimerkiksi toimitusketjujen häiriöiden seuranta olisi mahdollista. Lisäksi toimitusketjuriskit tai esimerkiksi laitteiden elinkaaren muutokset ovat liiketoimintakriittisiä toimintoja, jolloin tietojen saatavuus on heikko, jos ne luetaan yrityssalaisuuksiksi. Tulevaisuudessa epäsuorien vaikutusten seuranta voi kuitenkin muuttua suoria vaikutuksia tärkeämmäksi, mikäli toimitusketjut alalla harvenevat merkittävästi ilmastonmuutoksesta johtuen. Tällöin tietoaineistoja on mahdollisesti koostettava yrityksiltä enemmän. Ilmastonmuutos ja vastuullisuus voivat myös muuttaa tieto- ja viestintäteknologian alan asiakasvaatimuksia ja tarjottavia palveluita. Muutokset ovat kuitenkin oletettavasti enemmän liiketoiminnallisia, jolloin niiden seuranta ei välttämättä tarpeellista resilienssin näkökulmasta.

Mittariston valinnassa huomioitiin mahdollisuudet tietoaineiston kehittämismahdollisuuteen erityisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamiin pitkän aikavälin vaikutuksiin tieto- ja viestintäteknologian alalla. Vaikka infrastruktuurin kunnossapitoon tai sopeutumisen toimenpiteisiin liittyviä tietoaineistoja ei ole julkisesti saatavilla, on Traficomin keräämää tietokantaa tarpeen mukaan luontevaa kehittää sisältämään myös infrastruktuurin kunnossapitotarvetta tai sopeutumisen toimia kuvaavia mitareita. Koska sopeutumistoimien laajuudella on selkeä vaikutus tieto- ja viestintäverkkojen palvelutasoon, saavutetaan mittariston laajentamisella merkittävästi tarkempi kuvaus ilmastonmuutoksen vaikutuksista yrityskohtaisesti. Esimerkki tällaisesta kehitysmahdollisuudesta olisi kerätä päivitys- tai muutostöihin liittyvistä toimivuushäiriöistä tieto, liittykö päivitys- tai muutostyö jotenkin sääilmiöiden ennaltaehkäisyyn, esimerkiksi laittilan jäähdytyksen parantamiseen. Lisäksi ilmastonmuutoksen liittyvien pitkän aikavälin trendien osalta laittilojen ja datakeskusten energiankulutus toimisi ilmastonmuutoksen sopeutumisen kustannusten mittarina. Viranomaisena Traficom pystyy keräämään esimerkiksi energiankulutukseen liittyvät tiedot yrityksiltä, mutta energiankulutuksen seurantaa viranomaisen valvontatoiminnan tukena ei nähdä olennaisena. Teleyritysten oma

energiankulutuksen seuranta nähdään hyödyllisenä teleyrityksille itselleen erityisesti kestävästä kehityksen näkökulmasta. Suurin osa yrityksistä käyttääkin resursseja energiankulutuksen seuraamiseen ja energiatehokkuuden parantamiseen, ja monella yrityksellä energiankulutuksesta aiheutuvien ilmastovaikutusten pienentäminen määritellään merkittäväksi tulevaisuuden tavoitteeksi. Energiankulutuksen käyttö luotettavana sopeutumisen kustannusten mittarina kuitenkin edellyttää, että ilmaston lämpenemisen vaikutus laittilojen jäähdytystarpeeseen voidaan erottaa laitteiden kokonaistehon kasvamisen vaikutuksesta laitteilojen jäähdytystarpeeseen.

Selkeisiin mittariston kehittämismahdollisuuksiin lukeutuu lisäksi säästä aiheutuvien toimintahäiriöiden tarkempi alueellinen luokittelu ja ilmastokosteuteen liittyvien signaalien laadun häiriöiden koostaminen erityisesti teleyritysten toimesta. Mittariston kuvaamien verkon toimintahäiriöiden alueellista kehitystä voidaan teleyritysten toimesta arvioida tarkemmin raporttoimalla mittarit alueellisesti esimerkiksi maakunnittain. Sateesta ja ilmastokosteuden muutoksista aiheutuvien langattomien yhteyksien häiriöiden vakavuutta voi olla haastavaa arvioida pelkästään toimittajan näkökulmasta, mutta signaalien laatuun liittyvän kuluttajapalautteen käyttö yhdessä säätietojen kanssa voi merkittävästi parantaa ilmastokosteuteen liittyvien vaikutusten arviointia erityisesti langattomien yhteyksien näkökulmasta. Lopulta kattavin tapa ilmastomuutoksesta aiheutuvien infrastruktuurin toimintahäiriöiden seurantaan on palvelukatkosten luokittelu katkosten aiheuttaneen sääilmiön perusteella. Laajojakin kehittämistoimenpiteitä on mahdollista toteuttaa laadittuun mittaristoon, ja siksi uuden tietoaaineiston kokoamisprosessista saadut hyödyt tuleekin arvottaa mittariston kehittämistoimenpiteistä saadun lisäarvon mukaan.

5 Johtopäätökset

5.1 Yhteenveto

Tieto- ja viestintäverkkoihin kohdistuvia ilmastonmuutoksen vaikutuksia on haastavaa mitata tarkasti. Ilmastonmuutoksen osuutta sääilmiöiden pitkän aikavälin muutoksissa on haastavaa arvioida, ja toisaalta yksittäisten sääilmiöiden ennustamiseen lyhyelläkin aikavälillä liittyy merkittävää epävarmuutta. Ilmastonmuutokseen liittyvät vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin ovat moninaisia ja niiden suuruusluokka vaihtelee. Vaikutukset eroavat jonkin verran alueellisesti, mutta pääosin vaikutukset ovat samansuuntaisia. On tärkeää huomata, että ilmastonmuutoksen aiheuttamien haittavaikutusten suuruuteen vaikuttavat merkittävästi ilmastonmuutoksen sopeutumisen toimet alalla ja yleisesti viestintäverkkojen ja palveluiden toimintavarmuutta parantavat toimet. Palveluiden toimintavarmuus Suomessa on korkealla tasolla ja teleyrityksissä häiriöitä ennaltaehkäisevät toimet vastaavat osaltaan jo suurelta osin ilmastonmuutokseen aiheuttamiin haasteisiin.

Tässä työssä määritettiin yksinkertainen mittaristo tieto- ja viestintäverkkoihin liittyvien ilmastonmuutoksen vaikutusten seurannalle valmiiksi käytössä olevien aineistojen pohjalta. Työssä ehdotetuissa mittareissa on huomioitu merkittävimmät infrastruktuurin palvelutasoon ja toimintaan liittyvät haavoittuvuudet ja mittarit kuvaavat näihin haavoittuvuuksiin liittyviä ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkasti. Mittariston määrittämisessä on myös analysoitu infrastruktuurin kunnossapidon ja sopeutumistoimien kehityksen seuraamista tulevaisuudessa. Vaikka kunnossapidon ja sopeutumistoimien mittaamiseen tarvittavaa aineistoa ei kuitenkaan vielä ole helposti saatavilla, mittariston kehitysehdotukset määrittävät selkeän suunnan seurannalle, mikäli aineiston keräämiseen löytyy tulevaisuudessa resursseja. Tulevaisuudessa EU-taksonomian kehityksen myötä tieto- ja viestintäverkkoihin liittyviä ilmastonmuutoksen sopeutumistoimia raportoidaan alan yritysten toimista yhä tarkemmin, jolloin sopeutumistoimia kuvaavien tietoaineistojen laatiminen muuttuu yksinkertaisemmaksi. Ehdotetun mittariston vaikutustyypit keskittyvät pääosin ilmastonmuutoksen aiheuttamien sääilmiöiden suoriin vaikutuksiin, sillä näihin vaikutuksiin liittyvät nykyiset aineistot ovat kattavia, eikä epäsuorien vaikutusten kokonaisvaltaiselle arvioinnille ole edellytyksiä tarvittavien tietojen ollessa yritysten yksityisomaisuutta.

Mittariston kokonaisvaltainen raportointi yhdessä täydentävien sää- ja kelitietojen kanssa suositellaan toteutettavaksi vuosittain, ja päivityssykliksi ehdotetaan jo olemassa olevan aineiston mukaista kolmea kuukautta. Tiedon keräämistä tiheällä aikavälillä suositellaan jatkettavan, jotta esimerkiksi yksittäisiä sääilmiökohtaisia vaikutuksia infrastruktuuriin voidaan analysoida tarkemmin. Laajemmat analyysit vaikutusten kehityksestä pitemmällä aikavälillä ja mittarien toimivuuden validointi suositellaan suoritettavaksi neljän vuoden välein. Aikaisempia historiatietoja hyödyntämällä on suositeltavaa toteuttaa ennakkoarvio mittariston ja täydentävien sää- ja kelitietojen välisen analyysin toteutustavoista ja arvio analyysimenetelmän toimivuudesta.

Mittariston käyttöönotto voidaan olettaa verrattain yksinkertaiseksi, sillä tietojärjestelmä käytettyjen mittareiden keräämiseen on jo olemassa. Mittariston käytössä merkittäviä kustannuksia syntyy datan tarkemmasta analysoinnista ja

mittareihin pohjautuvien tulosten raportoinnista. Myös ilmastolähtöisten häiriöiden erottelu koko häiriötilastoista ja datan jatkokäsittely vaativat resursseja.

Koska merkittävä osa ilmastomuutoksen vaikutuksista tieto- ja viestintäverkkoihin liittyy sähkönsyöttöön, vaaditaan osana seuranta yhteistyötä eri virastojen, etujärjestöjen, yhteistyöelinten ja yritysten välillä. Tietoja on tarvetta jakaa ja koostaa yli toimijarajojen. Mikäli vaikutusseurannan pohjalta suunnitellaan esimerkiksi vaatimuksia toimijoille, tulee tarkastella koko infrastruktuuria kokonaisuutena ja tarvittaessa tehdä hallinnonrajat ylittävää yhteistyötä, jotta toimenpiteet saadaan suunnattua oikein.

6 Lähdeluettelo

- Arnkil N., Lilja-Rothsten S., Juntunen R., Koistinen A. & Lahti E. 2017. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen indikaattorit seurannan työkaluna. Tapion raportteja nro 17. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/12/Ilmastonmuutokseen-sopeutumisen-indikaattorit_Tapion-raportteja-17.pdf
- Bernardini I., Tucker M., Stellini M. & Kakouris E. 2023. Infrastructure Climate Change Risk Considering Interdependencies and Cascading Hazards. EPA Research Report 450. https://www.epa.ie/publications/research/climate-change/Research_Report-450.pdf
- Climate ADAPT. 2024. Measuring progress towards climate resilience. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/measuring-progress-towards-climate-resilience>
- Depina I., Øien K. 2021. Klima-resilient infrastruktur. SINTEF. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2766877/Klima-resilient%2binfrastruktur.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dillard M. 2021. Inventory of Community Resilience Indicators & Assessment Frameworks. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.18434/mds2-2297>
- DNA Oyj. 2024. Vuosikertomus 2023. <https://corporate.dna.fi/documents/94506/120817/DNA%20Vuosikertomus%202023%20FI.pdf/c2f7cc63-e0f4-2af6-2603-43202f41e1bf?t=1709801778803>
- Elisa Oyj. 2024. Vuosikertomus 2023. https://static.elisa.com/v2/image/2tqybbhjs47b/4utNF1WDjUN1q50U58kJBu/Elisa_Vuosikertomus_2023.pdf
- Elisa Oyj. 2025. Vuosikertomus 2024. https://static.elisa.com/v2/image/2tqybbhjs47b/6HCDFOFyQTWwwfGdD86eun/Elisa_Vuosikertomus_2024.pdf
- Energiatallisuus. 2024. Sähkökatkokartta. <https://sahkokatkokartta.fi/#/nyt>
- Energiavirasto. 2024. Datakeskusten tietojen raportointi eurooppalaiseen tietokantaan on käynnistynyt. <https://energiavirasto.fi/-/datakeskusten-tietojen-raportointi-eurooppalaiseen-tietokantaan-on-kaynnistynyt>
- Euroopan unionin kyberturvallisuusvirasto. 2024a. Telecom security incidents 2022. ENISA. https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2024-11/ENISA_Telecom%20Incident%20Reporting_en_1.pdf
- Euroopan unionin kyberturvallisuusvirasto. 2024b. Foresight 2030 Threats. ENISA. https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2024-11/Foresight%20Cybersecurity%20Threats%20For%202030%20Update%202024_0.pdf
- Euroopan komissio. 2024. Komission Delegoitu Asetus (EU) 2024/2139 datakeskuksia koskevan unionin yhteisen luokitusjärjestelmän perustamisen

ensimmäisestä vaiheesta. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2024/1364/oj?eliuri=eli%3Areg_del%3A2024%3A1364%3Aoj&locale=fi

Euroopan komissio. 2021. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2020/852 täydentämisestä vahvistamalla tekniset arviointikriteerit, joilla määritetään, millä edellytyksillä taloudellista toimintaa pidetään ilmastomuutoksen hillintää tai ilmastomuutokseen sopeutumista merkittävästi edistävänä ja aiheuttaako kyseinen taloudellinen toiminta merkittävää haittaa millekään muulle ympäristötavoitteelle. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2021/2139/oj/

Frontier Networks. 2022. Climate change and its effect on network resilience. Commission for Communications Regulation. <https://www.comreg.ie/media/2022/12/ComReg-22100a.pdf>

Goonesekera S.M. & Olazabal M. 2022. Climate adaptation indicators and metrics: State of local policy practice. Ecological Indicators 145. <https://zenodo.org/records/5705687>

Gregow H., Mäkelä A., Tuomenvirta H., Juhola S., Käyhkö J., Perrels A., Kuntsi-Reunanen E., Mettiäinen I., Näkkäläjärvi K., Sorvali J., Lehotnen H., Hildén M., Veijalainen N., Kousa H., Sihvonen M., Leijala U., Ahonen S., Johansson M., Haapala J., Korhonen H., Ollikainen M., Lilja S., Ruuhela R., Särkkä J. & Siiriä S.-M. 2021. Ilmastomuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/3fc3135e-2499-459c-8e51-60a73c0a4f40/content>

Hakala E & Räisänen H. 2024. Ilmastomuutoksen ketjuuntuvia ja siirtymävaikutuksia huoltovarmuudelle. Kirjallisuuteen perustuva tilannekuva. Huoltovarmuuskeskus. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/c12400c49a9a8ef85bcfa05565887acb5c12478a/hvk-ilhu-tilannekatsaus-saavutettava.pdf>

Ilmatieteen laitos. 2023. Varautuminen vaaraa aiheuttavien sääilmiöiden vaikutuksiin paranee – taustalla ainutlaatuinen sää- ja ilmastotietokanta. Tiedote. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1HySJBysC48GS5OGpoZrv>. Päivitetty 7.4.2023.

Kansainvälinen televiestintäliitto. 2014. Resilient pathways: the adaptation of the ICT sector to climate change. https://www.itu.int/en/ITU-T/climatechange/Documents/Publications/Resilient_Pathways-E.PDF

Klimatanpassing.se. 2023. Elektronisk kommunikation. <https://www.klimatanpassning.se/hur-samhallet-paverkas/elektronisk-kommunikation/elektronisk-kommunikation-1.107436>

Lehtonen I., Utriainen L., Seppänen J., Leijala U., Särkkä J., Pettersson H. & Jylhä K. Ilmastomuutoksen skenaariot väylänpidossa. Väyläviraston julkaisuja 15/2024. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/188761/vj_2024-15_978-952-405-153-8.pdf

Maailmanpankki. 2024. Resilient telecommunications infrastructure: A practitioner's guide. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/875eff6e-5a5d-48e9-8af8-9546917647ca/content>

Perrels A., Haakana J., Hakala O., Kujala S., Lång-Ritter I., Lehtonen H., Lintunen J., Pohjola J., Sane M., Fronzek S., Luhtala S., Mervaala E., Luomaranta A., Jylhä K., Koikkalainen K., Kuntsi-Reunanen E., Rautio T., Tuomenvirta H., Uusivuori J. & Veijalainen N. 2022. Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI) https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164032/VNTEAS_2022_37.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pilli-Sihvola K., Haavisto R., Leijala U., Luhtala S., Mäkelä M., Ruuhela M. & Votsis A. 2018. Sään ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit Helsingissä. Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön julkaisuja 2018:6. <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-06-18.pdf>

Pilli-Sihvola K., Haanpää S. & Virtanen K. (toim.) 2023. Ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa. Tarkastelu kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelman 2030 taustaksi. Maa- ja metsätalousministeriö. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-566-5>

Post- och Telestyrelsen 2023. Säkerhetsincidenter och integritetsincidenter på området elektroniska kommunikationer. https://pts.se/contentassets/sets/1798a88e81cf41eebda707dc181e2ebd/incidentsammanstallning-2023724301-0_tmp2.pdf

Punkka A.-J. & Kämäräinen M. 2023. Severe Weather Impact Database and Impact-based Forecasts by Utilizing Machine-Learning Technology. 11th European Conference of Severe Storms.

Telia Company. 2024. Annual and Sustainability Report 2023. <https://www.teliacompany.com/assets/u5c1v3pt22v8/sdS-KIw4u0YrvJ6N6vxNQ7/cc6658c2897abd8b497db54fe0241a44/telia-company-annual-and-sustainability-report-2023.pdf>

Traficom. 2021. Määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista. https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/sites/default/files/media/regulation/Määräys_viestintäverkkojen_ja_-palvelujen_varmistamisesta_sekä_viestintäverkkojen_synkronoinnista.pdf

Traficom. 2022. Teleyritysten verkkojen ja palvelujen toimivuus kiertävissä sähkökatkoissa. <https://kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/teleyritysten-verkkojen-ja-palvelujen-toimivuus-kiertavissa-sahkokatkoissa>

Traficom. 2024. Viestintäverkkojen ja -palvelujen merkittävät toimivuushäiriöt. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/viestintaverkkojen-ja-palvelujen-merkittavat-toimivuushairiot>

Umweltbundesamt. 2023. Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/das-monitoringbericht_2023_bf_korr.pdf

Unger A., Blomqvist A., Hausget T. & gren L. 2023. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Myndigheters arbete med klimatanpassning.

<https://www.smhi.se/publikationer/publikationer/myndigheters-arbete-med-klimatanpassning-2023-1.207119>

Yle. 2020. Sähkökatkot ovat vähentyneet, vaikka myrskyt ovat lisääntyneet – haja-asutusalueilla koetaan silti keskimäärin yli 10 tunnin verran sähkökatkoja. STT. <https://yle.fi/a/3-11707337>

Liite 1. Yhteenveto ilmastonmuutoksen aiheuttamista vaikutuksista infrastruktuuriin

Työssä tarkasteltiin ilmastonmuutokseen liittyvien sääilmiöiden suoria vaikutuksia tieto- ja viestintäverkkoihin. Tarkastelu pohjautui alan asiantuntijoiden haastatteluihin sekä kirjallisuuslähteisiin. Taulukossa 4 on koostettu sääilmiöt ja niiden tunnistetut suorat vaikutukset tieto- ja viestintäverkkoihin.

On huomattavaa, että suorien vaikutusten lisäksi ilmastonmuutokseen liittyvillä sääilmiöillä on myös epäsuoria vaikutuksia tieto- ja viestintäteknologian alaan muun muassa toimitusketjuihin liittyvien haasteiden muodossa. Ilmastonmuutokseen liittyvien epäsuorien vaikutusten osuutta kaikista epäsuorista vaikutuksista on kuitenkin hankalaa erotella yksiselitteisesti.

Taulukko 4: Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja ilmastonmuutoksen suoria vaikutuksia

Ilmastonmuutokseen liittyvä sääilmiö	Vaikutukset infrastruktuuriin ja toimintavarmuuteen
Sademäärän kasvu	Suuresta ilmankosteudesta aiheutuva langattomien yhteyksien laadun ja toimintavarmuuden heikkeneminen Pitkän aikavälin kosteusmuutosten vaikutus laittilojen ja datakeskusten käyttöikään, toimintavarmuuteen ja ylläpitokustannuksiin
Tulvien lisääntyminen rankkasateiden lisääntymisen takia	Tulvaveden aiheuttamat toimintahäiriöt ja laiterikot laittiloissa ja datakeskuksissa erityisesti alavilla alueilla ja kaupunkiympäristöissä Huoltotoimenpiteiden hankaloituminen tulvavesien seurauksena Tulvien aiheuttamat sähkönsyötön häiriöt
Lämpimän ajan pidentyminen	Pitkän aikavälin lämpötila- ja kosteusmuutosten vaikutus laittilojen ja datakeskusten käyttöikään, toimintavarmuuteen ja ylläpitokustannuksiin
Helleaaltojen määrän ja pituuden kasvu, sekä kuivien kausien lisääntyminen	Lisääntyneiden metsäpalojen aiheuttamat sähkönsyötön häiriöt sekä laiterikot laittiloissa ja datakeskuksissa Pitkän aikavälin lämpötila- ja kosteusmuutosten vaikutus laittilojen ja datakeskusten käyttöikään, toimintavarmuuteen ja ylläpitokustannuksiin
Runsaiden lumisateiden ja lumi-myrskyjen yleistyminen	Huoltotoimenpiteiden hankaloituminen lumimassojen seurauksena erityisesti haja-asutusalueilla Lähtetimiin kerääntyneen tykkylumen aiheuttamat signaalin laatuhäiriöt ja yhteyksien toimintahäiriöt
Myrskyjen ja rajuilmojen yleistyminen	Huoltotoimenpiteiden hankaloituminen kovien myrskyjen seurauksena erityisesti haja-asutusalueilla

Ilmastonmuutokseen liittyvä sääilmiö	Vaikutukset infrastruktuuriin ja toimintavarmuuteen
	Myrskyjen aiheuttamat sähkönsyötön häiriöt Kovan tuulen aiheuttama lisääntynyt tuulikuorma mastoille. Kaatumisten puiden ja oksien aiheuttamat laiterikot ja yhteyshäiriöt laitetoimissa ja mastoissa
Jäätävän sateen yleistymisen ja viistosateet	Jäätävän sateen aiheuttamat sähkönsyötön häiriöt Jäätävän sateen aiheuttamat antennien laiterikot ja yhteyshäiriöt Viistosateista aiheutuva korroosioriski infrastruktuurille
Talvisateisuuden ja jäätymis-sulamissykliin lisääntyminen	Suuresta ilmankosteudesta aiheutuva langattomien yhteyksien laadun ja toimintavarmuuden heikkeneminen Pitkän aikavälin kosteusmuutosten vaikutus laitetoimien ja datakeskusten käyttöön, toimintavarmuuteen ja ylläpito-kustannuksiin
Vedenkorkeuden muutokset	Veden aiheuttamat toimintahäiriöt ja laiterikot
Lumivyöryjen yleistymisen Lapissa	Lumivyöryistä aiheutuva huoltotoimenpiteiden hankaloituminen
Salamoinnin lisääntyminen	Salamoinnista aiheutuvat antennien, mastojen tai laitetoimien laiterikot. Salamoinnin aiheuttamat sähkönsyötön häiriöt. Kaatumisten puiden ja oksien aiheuttamat laiterikot ja yhteyshäiriöt laitetoimissa ja mastoissa
Nollanohituspäivien määrän kasvu talvella, mutta pienentyminen keväällä ja syksyllä	Lisääntyneen pakkautuneen ahtojään aiheuttamat vauriot merikaapeleille Huoltotoimenpiteiden hankaloituminen lisääntyneen ahtojään seurauksena
Roudan syvyyden väheneminen ja routakauden lyheneminen	Maakaapelirikkojen väheneminen roudan pienentymisen seurauksena Yksittäisten infrastruktuurin osien korjaustoimenpiteiden hankaloituminen esimerkiksi suoalueilla

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

PL 320, 00059 TRAFICOM

p. 029 534 5000

traficom.fi

ISBN 978-952-311-968-0

ISSN 2669-8781 (verkkojulkaisu)

TRAFICOM
Liikenne- ja viestintävirasto