

Ilmastonmuutoksen vaikutusten seuranta liikenteen hallinnonalalla

Tommi Kantala

Taina Haapamäki

Julkaisun nimi Ilmastomuutoksen vaikutusten seuranta liikenteen hallinnonalalla				
Tekijät Tommi Kantala, Taina Haapamäki				
Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 20.10.2023				
Julkaisusarjan nimi ja numero Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 22/2024		ISSN (verkkojulkaisu) 2342-0294 ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-311-941-3		
Asiasanat ilmastonmuutos, ilmastomuutokseen sopeutuminen, mittari, indikaattori, vaikutus, liikennejärjestelmä				
Tiivistelmä Ilmastomuutos vaikuttaa liikennejärjestelmään monella tavalla. Keskilämpötilan nousu ja talven lyhen- tyminen voivat vähentää talvikunnossapidon tarvetta erityisesti Etelä-Suomessa sekä lisätä aktiivisten kulkumuotojen houkuttelevuutta. Toisaalta sadannan lisääntyminen, lämpötilan vaihtelu lisääntyminen sekä sään ääri-ilmiöiden voimistuminen ja yleistyminen voivat lisätä liikenteen häiriöitä ja lisätä kunnos- sapidotarvetta sekä lyhentää infrastruktuurin elinikää. Ilmastomuutoksen vaikutusten seuranta ei juurikaan toteuta liikenteen hallinnonalalla, vaan painopiste on liikenteen päästöjen hillinnässä sekä ilmastomuutokseen sopeutumisen ja liikenneinfrastruktuurin resilienssiä parantavien toimenpiteiden toteuttamisessa. Ilmastomuutoksen vaikutusten seuranta on tunnistettu puutteeksi, mutta seurannan toteuttamiseen liittyy useita haasteita. Monet tunnistetuista vai- kutuksetjuista ovat pitkiä ja liikennejärjestelmässä havaittavat muutokset on vaikea kytkeä juurisyyn osalta ilmastomuutokseen. Ilmastomuutoksen vaikutusten seuranta on myös kansainvälisesti tarkas- teltuna suppeaa ja painopisteet ovat haavoittuvuuksien tunnistamisessa, resilienssin parantamisessa ja päästöjen hillinnässä. Työssä on tunnistettu mittaristo, jolla ilmastomuutoksen liikenteellisiä vaikutuksia voidaan seurata. Inf- rastruktuurin vaikutusseuranta on todettu haasteelliseksi eikä mittareiden laatimiseksi ole tunnistettu ny- kytilanteessa riittävän luotettavia aineistoja tai menetelmiä. Ehdotettu mittaristo tarjoaa kuitenkin lähtö- kohdan seurannalle. Mittariston toimivuus tulee testata. Lisäksi seurannan vastuut ja raportoinnin resur- sointi tulee määrittää ja sopia.				
Yhteyshenkilö Taru Pakkanen, Traficom		Raportin kieli Suomi	Luottamuksellisuus Julkinen	Kokonaissivumäärä 51
Jakaja Liikenne- ja viestintävirasto Traficom		Kustantaja Liikenne- ja viestintävirasto Traficom		

Publikation			
Övervakning av effekterna av klimatförändringar inom den transportadministrativa sektorn			
Författare			
Tommi Kantala, Taina Haapamäki			
Tillsatt av och datum			
Transport- och kommunikationsverket Traficom 20.10.2023			
Publikationsseriens namn och nummer		ISSN (elektronisk publikation) 2342-0294	
Traficoms forskningsrapporter och utredningar 22/2024		ISBN (elektronisk publikation) 978-952-311-941-3	
Ämnesord			
klimatförändringar, anpassning till klimatförändringar, mått, indikator, påverkan, transportsystem			
Sammandrag			
Klimatförändringarna påverkar transportsystemet på många sätt. Ökningen av medeltemperaturen och vinterns förkortning kan minska behovet av vinterunderhåll, särskilt i södra Finland, och öka attraktiviteten för aktiva transportsätt. Å andra sidan kan ökad nederbörd, ökad temperaturvariation och intensifiering och förekomst av extrema väderfenomen öka trafikstörningarna och öka behovet av underhåll samt förkorta infrastrukturens livslängd. Övervakningen av effekterna av klimatförändringar görs inte så mycket inom transportadministrationen, utan fokus ligger på att stävja transporters utsläpp och genomföra åtgärder för att förbättra anpassningen till klimatförändringarna och motståndskraften i transportinfrastrukturen. Övervakning av effekterna av klimatförändringar har identifierats som en brist, men genomförandet av övervakning innebär flera utmaningar. Många av de identifierade påverkanskedjorna är långa och det är svårt att koppla de observerade förändringarna i klimatsystemet till klimatförändringarna när det gäller grundorsaken. Övervakningen av effekterna av klimatförändringar är också snäv internationellt sett och prioriteringarna är att identifiera sårbarheter, förbättra motståndskraften och minska utsläppen. Arbetet har identifierat en uppsättning indikatorer som kan användas för att följa trafikeffekterna av klimatförändringarna. Att övervaka infrastrukturens inverkan har visat sig vara utmanande, och i den nuvarande situationen har tillräckligt tillförlitliga data eller metoder inte identifierats för att förbereda måtten. Den föreslagna uppsättningen indikatorer utgör en utgångspunkt för övervakning. Instrumentklustrets funktionalitet bör testas. Dessutom måste övervakningsansvar och rapporteringsresurser fastställas och överenskommas.			
Kontaktperson		Språk	Sekretessgrad
Taru Pakkanen, Traficom		Finska	Offentlig
Distribution		Sidoantal	
Transport- och kommunikationsverket Traficom		51	
		Förlag	
		Transport- och kommunikationsverket Traficom	

Title of publication Monitoring the effects of climate change within the transport administrative sector			
Author(s) Tommi Kantala, Taina Haapamäki			
Commissioned by, date Finnish Transport and Communications Agency Traficom 20.10.2023			
Publication series and number Traficom Research Reports 22/2024		ISSN (e-publication) 2342-0294 ISBN (e-publication) 978-952-311-941-3	
Keywords climate change, adaptation to climate change, indicator, impact, transport system			
Abstract Climate change affects the transport system in many ways. The increase in average temperature and the shortening of winter can reduce the need for winter maintenance, especially in southern Finland, and increase the attractiveness of active modes of transportation. On the other hand, an increase in precipitation, an increase in temperature variation, and the intensification and prevalence of extreme weather phenomena can increase traffic disruptions and increase the need for maintenance, as well as shorten the life of the infrastructure. The monitoring of the effects of climate change is not carried out much in the field of transport administration, but the focus is on curbing transport emissions and implementing measures to improve adaptation to climate change and the resilience of transport infrastructure. Monitoring the effects of climate change has been identified as a deficiency, but the implementation of monitoring involves several challenges. Many of the identified impact chains are long, and it is difficult to connect the observed changes in the climate system to climate change in terms of the root cause. The monitoring of the effects of climate change is also narrow when viewed internationally, and the priorities are in identifying vulnerabilities, improving resilience and curbing emissions. The work has identified a set of indicators that can be used to monitor the traffic effects of climate change. Monitoring the impact of the infrastructure has been found to be challenging, and in the current situation, sufficiently reliable data or methods have not been identified to prepare the metrics. The proposed set of indicators provides a starting point for monitoring. The functionality of the instrument cluster should be tested. In addition, monitoring responsibilities and reporting resourcing must be determined and agreed upon.			
Contact person Taru Pakkanen, Traficom	Language Finnish	Confidence status Public	Pages, total 51
Distributed by Finnish Transport and Communications Agency Traficom	Published by Finnish Transport and Communications Agency Traficom		

ALKUSANAT

Tässä selvityksessä tarkasteltiin, miten liikenteen hallinnonalalla voidaan seurata ilmastomuutoksen vaikutuksia liikennejärjestelmään. Selvitys koostui katsauksesta Suomen verrokkimaiden käytäntöihin ja hallinnonalan muuhun kirjallisuuteen, asiantuntijoiden haastatteluista sekä käytettävissä olevien seuranta-aineistojen tunnistamisesta. Katsauksen, haastattelujen ja tietoaaineistojen tunnistamisen perusteella rakennettiin ilmastomuutoksen vaikutusten seurantaan suositus seurantamittaristosta.

Selvitystä varten perustettiin ohjausryhmä, johon kuuluivat Taru Pakkanen ja Hanna Strömmer Liikenne- ja viestintävirasto Traficomista sekä Heikki Tuomenvirta Ilmatieteen laitokselta. Selvityksen toteuttivat Tommi Kantala ja Taina Haapamäki FLOU Oy:stä.

Helsinki, 9. syyskuuta 2024

Taru Pakkanen

Erityisasiantuntija

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

FÖRORD

I denna utredning granskades hur man inom förvaltningsområdet för transport kan följa klimatförändringens inverkan på transportsystemet. Utredningen bestod av en översikt över praxis i Finlands referensländer och annan litteratur inom förvaltningsområdet, intervjuer med sakkunniga samt identifiering av tillgängligt uppföljningsmaterial. På basis av översikten, intervjuerna och identifieringen av informationsmaterial skapades en rekommendation om en uppsättning indikatorer för uppföljning av klimatförändringens effekter.

En styrgrupp tillsattes för utredningen, där Taru Pakkanen och Hanna Strömmer från Traficom och Heikki Tuomenvirta från Meteorologiska institutet ingick. Utredningen utfördes av Tommi Kantala och Taina Haapamäki från FLOU Oy.

Helsingfors, den 9 september 2024

Taru Pakkanen

Specialsakkunnig

Transport- och kommunikationsverket Traficom

FOREWORD

This study examined how the impact of climate change on the transport system can be monitored within the transport administrative sector. The study consisted of an overview of practices in Finland's reference countries and other literature in the administrative sector, expert interviews and identifying available follow-up material. Based on the overview, the interviews and the identification of information material, a recommendation for a set of indicators for monitoring the effects of climate change was built.

A steering group was established for the study, which included Taru Pakkanen and Hanna Strömmer from the Finnish Transport and Communications Agency Traficom and Heikki Tuomenvirta from the Finnish Meteorological Institute. The study was carried out by Tommi Kantala and Taina Haapamäki from FLOU Oy.

Helsinki, 9 September 2023

Taru Pakkanen

Special 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 liikennejärjestelmään ja seurannan nykytila Suomessa	11
2.1	Tieliikenne	14
2.2	Rautatieliikenne.....	16
2.3	Kaupunkiliikenne	19
2.4	Vesiliikenne.....	21
2.5	Ilmailu	23
3	Ilmastonmuutoksen seurannan mittarit kansainvälisesti	26
3.1	Ruotsi	26
3.2	Norja.....	26
3.3	Muut maat	28
4	Mittariston muodostaminen.....	33
4.1	Ehdotus mittaristosta	34
4.1.1	Tieliikenne	34
4.1.2	Rautatieliikenne	35
4.1.3	Ilmailu	36
4.1.4	Vesiliikenne	37
4.1.5	Kävely ja pyöräily	37
4.1.6	Täydentävät sää- ja kelitiedot.....	38
4.2	Mittariston rajoitteita.....	39
5	Johtopäätökset ja suositukset	40
5.1	Jatkokehitys.....	40
6	Lähdeluettelo.....	42

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. Globaaleja ilmastonmuutoksen osa-alueita ja vaikutuksia liikennejärjestelmään. (Wang ym. 2020)	12
Taulukko 3. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia tieliikenteessä.	15
Taulukko 4. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia rautatieliikenteessä.	17
Taulukko 5. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia kaupunkiliikenteessä sekä kävelyssä ja pyöräilyssä	20
Taulukko 6. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia vesiliikenteessä.	22
Taulukko 7. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia ilmailussa.	24
Taulukko 8. Ehdotus tieliikenteen mittareista	34
Taulukko 9. Ehdotus rautatieliikenteen mittarista	36
Taulukko 10. Ehdotus ilmailun mittarista	37
Taulukko 11. Ehdotus vesiliikenteen mittarista	37
Taulukko 12. Ehdotus kävelyn ja pyöräilyn mittarista	38
Taulukko 13. Esimerkkejä täydentävistä sää- ja kelitiedoista.	38
Taulukko 14. SILVA-hankkeessa koostettu vaikutustietokanta	45
Taulukko 15. Työssä tunnistettuja mittariaihioita.....	46
Taulukko 16. Mahdollisia tietoaaineistoja seurannan toteuttamiseksi	50

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Selvityksen päätavoitteena oli tuottaa käsitys siitä, miten ilmastonmuutoksen vaikutuksia liikennejärjestelmään on mahdollista seurata liikenteen hallinnonalalla. Selvitys koostui katsauksesta Suomen verrokkimaiden käytäntöihin ja hallinnon-alan muuhun kirjallisuuteen, asiantuntijoiden haastatteluista sekä käytettävissä olevien (mieluusti päivittyvien) seuranta-aineistojen tunnistamisesta. Katsauksen, haastattelujen ja tietoa-aineistojen tunnistamisen perusteella rakennettiin ilmastonmuutoksen vaikutusten seurantaan suositus seurantamittaristosta, joka tukee liikennehallinnon päätöksentekoa ja suunnittelua, esimerkiksi valtakunnallista liikennejärjestelmäsuunnittelua.

Tämä työ antaa syötteitä valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman (Liikenne 12) tavoitteiden toteutumisen seurannan kehittämiseen, josta Liikenne- ja viestintävirasto Traficom vastaa. Liikenne 12 -suunnitelman tavoitteiden toteutumisen seuranta tehdään vuosittain yhteistyössä liikenteen hallinnonalan toimijoiden kanssa. Seurannassa pyritään huomioimaan lain viranomaisten suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvioinnista (2005/200) kohdan 12 § mukaiset seurantavelvoitteet sisältäen suunnitelman tavoitteiden seurannan sekä suunnitelmasta johtuvien ympäristövaikutusten seurannan. Seuranta sisältää noin 30 erilaista määrällistä mittaria, joita analysoimalla tuotetaan käsitys liikennejärjestelmän tilasta voimassa olevan Liikenne 12 -suunnitelman tavoitteiden (saavutettavuus, kestävyys, tehokkuus) mukaisesti. Tässä työssä kehitettävällä ilmastonmuutoksen vaikutusten seurannan mittareilla pyritään täydentämään jo olemassa olevaa mittaristoa.

Ilmastolain mukaan ilmastonmuutokseen *sopeutumisella* tarkoitetaan toimia, joilla varaudutaan ja mukaudutaan ilmastonmuutokseen ja sen vaikutuksiin sekä toimia, joiden avulla voidaan myös hyötyä ilmastonmuutokseen liittyvistä vaikutuksista. Ilmastonmuutos vaikuttaa laajalti kansainväliseen ja kansalliseen liikennejärjestelmään, esimerkiksi globaaleihin logistiikan, kaupan ja teollisuuden tuotantoketjuihin sekä kaupunkien joukkoliikenteeseen.

Ilmastonmuutoksen hillitsemisellä tarkoitetaan ilmastolaissa ihmisten toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen syntymisen ja niiden ilmakehään pääsemisen estämistä, nielujen vahvistamista sekä muuta ilmastonmuutoksen vaikutusten lieventämistä tai poistamista. Ilmasto muuttuu hillintätoimista huolimatta. Tämä vaikuttaa jo nyt liikenteen alalla ja vaikutusten odotetaan aikaa myöden kasvavan mm. sään ääri-ilmiöiden ja siten liikennehäiriöiden lisääntyessä sekä infrastruktuurin kunnossapidon haasteiden kasvaessa, vaikka osa vaikutuksista voi olla myös positiivisia, kuten talvien lyhentymisestä seuraava talvikunnossapidon tarpeen vähentyminen. Toisaalta lämpötilan jatkuva vaihtelu nolla-asteen molemmin puolin voi myös luoda haastavat olosuhteet talvikunnossapidolle ja kuormittaa infrastruktuuria sekä mahdollisesti lisätä esimerkiksi liukkaudentorjunta-aineiden käyttöä. Siten ilmastonmuutoksen hillinnän ohella sopeutuminen, eli ilmastonmuutoksen negatiivisten vaikutusten ennaltaehkäisy ja vähentäminen sekä vaikutuksiin varautuminen on entistä tärkeämpää.

Valtioneuvosto hyväksyi kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelman 2030 (KISS2030) joulukuussa 2022. Sen toimeenpano käynnistyi keväällä 2023. Sopeutumissuunnitelman tavoitteen 7 mukaan liikenne- ja viestintäinfrastruktuurin haavoittuvuudet tulee tunnistaa vuoteen 2026 mennessä ja ilmasto-kestävyyttä vahvistaa vuoteen 2030 mennessä. Ilmastomuutokseen sopeutumisen toimet tulee sisällyttää keskeisiin strategisiin ohjausasiakirjoihin, kuten valtakunnalliseen liikennejärjestelmäsuunnitelmaan (Liikenne 12). Ilmastomuutokseen sopeutumisesta on aiemmin selvitetty liikenteen ja viestinnän hallinnonalalla lähinnä väylänpidon näkökulmasta, esimerkiksi Väyläviraston toimesta (Väylävirasto 2023a).

1.2 Ilmastomuutos Suomessa

Ilmasto on jo muuttunut Suomessa. Pitkän aikavälin seuranta-aineistoon verrattuna Suomen keskilämpötila on noussut yli 2 astetta. Helleaaltojen määrä on lisääntynyt ja kasvukauden lämpösumma kasvanut. Erityisesti ilmastomuutos on vaikuttanut talviolosuhteisiin Suomessa. Talvi on lyhentynyt ja etelän lumipeite on vähentynyt. Sademäärien ja kuivuuden muutokset eivät ole yhtä selkeitä. Sademäärät ovat hieman kasvaneet pitkällä aikavälillä, mutta vuosittainen vaihtelu on huomattavaa. Tuulisuus ja myrskyt vaihtelevat huomattavasti eikä selkeä kuvaa kehityksestä ole. Rajuilmojen syntyä edistävissä olosuhteissa on tapahtunut havaittava kasvu. Matalapainemyrskyjen lukumäärässä ei ole havaittavissa trendimuutosta ja tuulisuus on hieman heikentynyt viime vuosikymmeninä. (Tuomenvirta ym. 2018, Hildén ym. 2022, Valtioneuvosto 2022, Maa- ja metsätalousministeriö 2023)

Helleaaltojen odotetaan pitenevän ja voimistuvan tulevaisuudessa ja hellepäivien lukumäärä kasvaa. Sateiden määrä kasvaa, mutta myös kuivuuskaudet yleistyvät. Talvien kovat pakkasjaksot harvenevat ja lämpötilavaihtelut pienenevät. Tällöin myös keskimäärin roudan syvyys vähenee ja routakausi lyhenee. Talvella vesisateiden määrä kasvaa, mikä lisää jokien ja vesistöjen tulvariskiä. Kevättulvat voivat pienentyä eteläisestä Suomesta alkaen. Merenpinnan nousu uhkaa rannikkoa varsinkin itäisellä Suomenlahdella. Perämerellä maankohoaminen kompensoi merenpinnan nousua. Vaikka Itämeren jääpeiteajan ennakoita lyhenevän, sahaava lämpötila (nollarajan ohitukset) aiheuttaa haastavia jäätilanteita. Tuulisuus ja matalapainemyrskyjen ei arvioida muuttuvan merkittävästi ja muutokset keskimääräisessä tuulennopeudessa ovat pieniä. Myöskään rajuilmoihin ei odoteta lyhyellä tähtäimellä muutoksia. Mikäli ilmasto lämpenee pessimististen skenaarioiden mukaisesti, erityisesti Pohjois-Eurooppaan odotetaan huomattavaa myrskyjen lisääntymistä. (Tuomenvirta ym. 2018, Hildén ym. 2022, Valtioneuvosto 2022, Maa- ja metsätalousministeriö 2023)

Yleisesti ottaen ilmastotekijöiden aiheuttamat muutokset ovat lähes samansuuntaisia koko maassa, vaikka alueellista vaihtelua esiintyy (Ilmastopaneeli 2023). Liikenteen näkökulmasta tarkasteltuna esimerkiksi talven olosuhteet poikkeavat jo nykyisin merkittävästi esimerkiksi Pohjois- ja Itä-Suomen sekä Etelä- ja Länsi-Suomen rannikkoseutujen välillä. Taulukossa 1 on kuvattu maantieteellisten ääripäiden arvioituja ilmastomuutoksen ilmentymiä Lapissa ja Uudellamaalla.

*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)*

	Lappi					Uusimaa				
Muuttuja	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 liikennejärjestelmään ja seurannan nykytila Suomessa

Liikennejärjestelmä on jatkuvasti alttiina sää- ja keliolosuhteille, jotka voivat vaurioittaa infrastruktuuria, aiheuttaa myöhästymisiä ja onnettomuuksia tai estää liikkumispalveluiden toteuttamisen. Ilmastomuutoksen aiheuttamat hitaat ja nopeat ilmasto-, sää-, ja keliolosuhteiden muutokset vaikuttavat liikennejärjestelmässä sekä infrastruktuuriin, ajoneuvoihin, aluksiin ja laitteisiin että ihmisiin. Karkeasti jaoteltuna ilmastomuutoksen vaikutukset liikennejärjestelmään voidaan jaotella kolmeen eri luokkaan: onnettomuudet, ylläpito ja liikennejärjestelmän toimivuus (myöhästymiset). Väylien elinkaari voi jäädä suunniteltua lyhyemmäksi muuttuneista olosuhteista aiheutuvan kulumisen ja lisärasituksen takia. Tämä voi johtaa liikennejärjestelmän palvelutason heikkenemiseen, mikä puolestaan heijastelee vaikutuksia muille toimialoille. Ilmastomuutos aiheuttaa sopeutumishaasteita kaikille kulkumuodoille maalla, merellä ja ilmassa. Liikennejärjestelmän haavoittuvuuksia ei kuitenkaan tunneta riittävästi. Lisäksi riski- ja haavoittuvuustekijät vaihtelevat alueellisesti Suomessa ja maailmalla. Esimerkiksi Suomen liikennejärjestelmän haavoittuvuuksia kansainvälisten toimitusketjujen sää- ja ilmastohäiriöille on vasta aloitettu selvittämään. (Leviäkangas ym. 2013, Tuomenvirta ym. 2018, Maa- ja metsätalousministeriö 2023, Valtioneuvosto 2022)

On todennäköisempää, että ilmastomuutoksen hitaasti aiheuttamat olosuhde-muutokset, kuten lämpötilan nousu ja sademäärien muutokset aiheuttavat suurimmat kustannusvaikutukset, kun tarkastelun kohteena on liikenteen infrastruktuuri. Sään ääri-ilmiöt eivät ole toistaiseksi aiheuttaneet merkittäviä lisäkustannuksia ja tutkijoiden mukaan ilmastomuutos ei välttämättä kasvata riskiä merkittävästi nykytasoon verrattuna. (Väylävirasto 2023) Infrastruktuuria ei ole usein suunniteltu sietämään voimakkaita sääolosuhteita, ainakaan toistuvasti. (Traficom 2023a) Toisaalta ilmastomuutoksen aiheuttamaa lisäkuormitusta on haasteellista erottaa muista vaikutuksista.

Kirjallisuudessa ilmastomuutoksen vaikutuksia liikennejärjestelmään on tarkasteltu useissa tutkimuksissa. Ilmastomuutoksen vaikutuksia liikennejärjestelmään voidaan jäsentellä esimerkiksi taulukon 2 mukaisesti. Ilmastomuutos näkyy eri ilmastoalueilla eri tavoin: osa ilmiöistä kehittyy hitaasti ja osa vaikutuksista on äkillisiä. Suomi kuuluu pohjoiseurooppalaiseen ilmastotyyppiin, kun tarkastelun kohteena ovat sään ääri-ilmiöt. Tällaisessa ilmastossa kovalle tuulille altistuu erityisesti lyhytmatkainen meriliikenne. Kovat lumi- ja vesisateet aiheuttavat haasteita erityisesti tie- ja raideliikenteelle, kuten myös erittäin kylmä sää. Helleaallot eivät vielä vaikuta mihinkään liikennemuotoon merkittävästi. Lumimyrskyt vaikuttavat käytännössä kaikkiin kulkumuotoihin. (Leviäkangas ym. 2013)

Taulukko 2. Globaaleja ilmastomuutoksen osa-alueita ja vaikutuksia liikennejärjestelmään. (Wang ym. 2020)

Ilmastomuutoksen osa-alue	Kategoriat	Vaikutukset
Sadanta	Tulvat, jäätävä sade, lumi, sade, vesihöyry, vedenpinnan korkeus, maaperän kosteus.	Märät ja liukkaat pinnat, myöhästymiset, alhaisemmat ajonopeudet, ajoneuvon hallinnan menettäminen, ajoneuvojen kulumisen/vaativuuden kasvaminen, jarrutusmatkojen kasvu, teiden tulviminen, teiden ja raiteiden alusrakenteiden syöpyminen, ratapenkereiden pehmeneminen.
Lämpötila	Ilman lämpötila, pintojen lämpötila, lämpöindeksi, lämmitys- ja jäähdytyskausien pituudet.	Rakenteiden ja ajoneuvojen kulumisen kiihtyminen, kuljetusten lämpötilanhallinnan haasteet, kiskojen vääntyminen, nopeusrajoitukset raideliikenteessä, talvikunnossapidon kustannusten lasku.
Merenpinta	Poikkeuksellisen korkea tai matala merenpinnan korkeus, ahtojää, aallonkorkeudet, myrskyvuoksi, trooppiset hirmumyrskyt.	Teiden ja rautateiden sulkeminen, toimitusketjujen häiriöt, korkea merivedentaso, muutokset rahtikuljetuksissa, omaisuusvahingot, uudet kauppamerenkulun reitit.
Ukkosmyrskyt	Salamointi, rakeet, ukkosrintamat.	Omaisuusvahingot, kaatuneet puut rautateillä, onnettomuudet ajoneuvon hallinnan menettämisen vuoksi, näkyvyyden lasku, maanvyöryt ja niiden aiheuttamat onnettomuudet sekä myöhästymiset.
Tuuli	Tuulen nopeus.	Ajoneuvojen epävakaus, hallinnan menetyt, ajoneuvojen kaatuminen.
Näkyvyys	Sumu, pöly, usva, häikäisy, savusumu, hiekka.	Onnettomuusriksi kasvaa, ajonopeudet laskevat, uudelleenreititys, aikataulumyöhästymiset.

Suomessa kansalliset ilmastomuutokseen 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. Varsinainen priorisoitu indikaattorilistaus ei sisällä liikennettä koskevia indikaattoreita, mutta luonnonilmiöistä johtuvien pelastustehtävien lukumäärä ja keston kokonaissumma voivat pitää näitä tietoja sisällään. Raportissa on tunnistettu myös muita mahdollisia indikaattoreita. Mahdolliseksi riski-indikaattoriksi on tunnistettu liikenneverkon toimintahäiriöt, joka kattaa sekä maantiet että rautatiet. Indikaattoriksi tunnistettiin häiriöiden väyläpituus (km) ja lukumäärä

vuosittain. Kriittisen perusinfrastruktuurin indikaattoreiden merkittävä haaste on eri tekijöiden sekoittuminen, jolloin ne kuvaavat useita sopeutumisen elementtejä. (Arnkil ym. 2017)

Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI) -tutkimuksessa on tarkasteltu ilmastonmuutoksen vaikutusten suoria ja välillisiä riskejä yhteiskunnan eri sektoreilla Suomessa, myös liikenteessä. Tutkimuksen mukaan merkittävimmät kustannusvaikutukset syntyvät rakennetun ympäristön tulvariskeistä, sähköjakeluveron häiriöistä sekä maa- ja metsätalouden tuotoksista. Liikennettä on käsitelty osana rakennettua ympäristöä erityisesti tieliikenteen näkökulmasta. Muista kulkumuodoista tietoa on saatavilla vähäisesti Suomelle relevanteista kohteista. Kokonaisuudessaan liikenteeseen kohdistuvien vaikutusten arvioidaan olevan vähäisiä, mutta aihepiiri vaatii lisää tietoperustaa ja tutkimusta. (Perrels ym. 2022)

Ilmatieteen laitos ja Huoltovarmuuskeskus ovat tutkineet vuosina 2020–2022 käynnissä olleessa SILVA-kehityshankkeessa sään ja ilmaston aiheuttamia vaikutuksia jopa 20 vuoden ajalta. Hankkeessa luotiin energia-, liikenne-, pelastus- ja vakuutusalan tilastoista tietokanta, joka yhdistettiin säähavaintoaineistoon, josta koneoppimisen avulla laadittiin malleja, joiden avulla sääennusteen perusteella ennakoitiin vahinkotapahtumia viikko nykyhetkestä eteenpäin. Vaikutusennusteet ovat turvallisuus- ja huoltovarmuuskriittisten alojen toimijoiden käytössä. SILVA-hankkeen vaikutustietokanta on kuvattu liitteessä 1 (taulukko 8). Vaikutusennusteita laadittiin vain tuulivahinkojen raivaustehtävistä, metsäpalotehtävistä, tieliikenneonnettomuuksista ja liukastumistapaturmista. Ennusteiden pohjalta laaditaan vaikutuskarttoja, jotka ennakoivat tulevien tapahtumien lukumäärää alueellisesti. (Ilmatieteen laitos 2023, Punkka & Kämäräinen 2023)

Seuraavissa luvuissa on jäsennelty ilmastonmuutoksen aiheuttamien ilmiöiden vaikutuksia erityisesti Suomen olosuhteissa eri kulkumuotoihin ja kuvattu vaikutusseurannan nykytilaa ja siihen liittyviä kehityskohteita sekä haasteita. Vaikutuksia ja ilmiöitä on jäsennelty perustuen useisiin lähteisiin: Liikenne- ja viestintäministeriö (2010), Nemry & Demirel (2012), Leviäkangas ym. (2013), Vajda ym. (2013), Christodoulou & Demirel (2018), Gössling ym. (2023), Ilmasto-opas (2023), Väylävirasto (2023), Ympäristöministeriö & Tilastokeskus (2023) sekä työn aikana toteutettuihin asiantuntijoiden haastatteluihin: Väylävirasto, Finavia, Traficom, Fintraffic, Kaupunkiliikenne Oy, VR, VR Transpoint, HSL, Ilmatieteen laitos, Huoltovarmuuskeskus, Suomen Satamaliitto (Suomen Satamat ry). Lisäksi haastateltiin Norjan Jernbanedirektoratetin asiantuntijaa, sillä Norjassa on käynnissä rautateiden ilmatoriski- ja vaikutuskartoitus.

Haastattelujen perusteella liikenteen hallinnonalalla ilmastonmuutoksen sopeutumisen pääpaino on liikenteen hiilijalanjäljen pienentämisessä ja seurannassa sekä infrastruktuurin kunnossapidon, peruskorjausten ja investointien yhteydessä resilientin infrastruktuurin toteuttamisessa, eli sopeutumistoimenpiteiden toteuttamisessa. Ilmastonmuutoksen vaikutusten seurannan haasteeksi mainittiin juuri-syyn tunnistamisen vaikeus, erityisesti infrastruktuuriin liittyen. Liikenteelliset häiriöt ovat helpommin kytkettävissä sään ääri-ilmiöihin, mutta myös tällöin kytkentä ilmastonmuutokseen on haasteellinen. Suomen sää- ja keliolosuhteet ovat vaihtelevia niin alueellisesti kuin vuosien välillä, eivätkä haastavat sää- ja keliolosuhteet ole uusi ilmiö.

2.1 Tieliikenne

Ilmastomuutos vaikuttaa teillä sekä infrastruktuuriin että liikenteeseen. Lämpimän ajan pidentyminen lisää syys- ja talvikelirikkoa, sahaavat lämpötilat ja sademäärien kasvu rapauttavat rakenteita sekä päällysteitä ja tulvat aiheuttavat rakenteiden eroosiota. Tieinfrastruktuurin kulumisen lisää kunnossapidon kustannuksia, lyhentää sen elinkaarta ja aiheuttaa häiriöitä liikenteelle. Osa ilmiöistä, kuten talvimyrskyjen voimistuminen ja rankkasateet nostavat onnettomuusriskiä ja heikentävät liikenteen sujuvuutta. Sahaavat lämpötilat aiheuttavat myös liisääntynyttä liukkaudentorjunnan tarvetta erityisesti Pohjois-Suomessa. Toisaalta talven lyhentyminen mahdollistaa päällystetöiden toteuttamisen pidemmällä ajanjaksolla ja vähentää tai muuttaa talvikunnossapitoa varsinkin Etelä-Suomessa. Ilmastomuutoksen vaikutuksia tieliikenteeseen on koostettu laajemmin taulukoon 3.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia infrastruktuurin elinkaareen on haastavaa arvioida. Infrastruktuuri on alueittain hyvin eri ikäistä ja sen sietokyky vaihtelee merkittävästi. Käytettävät materiaalit ja rakenteet ovat vuosikymmenten aikana muuttuneet merkittävästi ja ne ottavat jatkuvasti ilmastomuutoksen vaikutukset paremmin huomioon. Sopeutumistyön pohjana ovat pitkän aikavälin skenaariot sekä jatkuvat havainnot liikenteen infrastruktuurin haasteista, joiden pohjalta toimintamalleja ja infrastruktuurin suunnitteluperusteita muutetaan resilientimmiksi. Tämän vuoksi kunnossapidon ja elinkaaren kustannukset eivät täysin heijastele vaikutusten laajuutta, mikäli sopeutumistoimenpiteet ovat onnistuneet.

Perusväylänpidon kustannusten muutosten arvioidaan seuraavan pääasiassa poliittisia budjettiarvioita ja sääolosuhteiden muutoksilla on vain vähäisiä vaikutuksia vuosittaisiin eroihin. Kunnossapidon kustannukset reagoivat vain vähän tai eivät lainkaan talviolosuhteisiin. Liukkaudentorjunnan kustannukset eivät vaihtele yhtä voimakkaasti kuin vuotuiset lumimäärät. Vaihtelujen vaihtelevuutta selittää myös huoltosopimusten luonne ja työn suorittaminen kaupungeissa kuntien omalla työvoimalla. Kustannusseuranta vaihtelee alueellisesti ja kuntien välillä varsinkin, kun tarkastelujännettä kasvatetaan, mikä vaikeuttaa luotettavien aikasarjojen muodostamista ja heikentää muutosten vertailukelpoisuutta. (Perrels ym. 2022) Kunnossapitourakoiden kilpailutukset ja toiminnan tehostuminen selittävät osaltaan haastetta kytkeä ilmastomuutoksen vaikutukset kunnossapitokustannuksiin.

Liikenneonnettomuuksien ja pitkän aikavälin sääolosuhteiden välillä ei ole havaittu olevan trendiä. Liikenneonnettomuudet ovat vähentyneet turvallisuusteknologian ja liikennesääntöjen edesauttamana. Aiemmissa selvityksissä on esitetty arvioita, että 10 % tieliikenneonnettomuuksista on ensisijaisesti keliolosuhteiden seurausta. Ilmastomuutoksen on arvioitu vaikuttavan vain vähäisesti liikenneonnettomuuksien määrään ja siten onnettomuuskustannuksiin (Perrels ym. 2022). Nykytilanteessa Väyläviraston arvioiden mukaan liukkaudesta aiheutuvien liukastumis- ja kaatumistapaturmien kustannukset ovat korkeammat kuin liikenneonnettomuuksien kustannukset. (Väylävirasto 2023)

Liikenteen häiriöiden yleistyminen, erityisesti liikenteen hidastuminen talvikaudella, on tunnistettu yhdeksi kasvavan sadannan vaikutuksista. Esimerkiksi runsaslumisten talvien on arvioitu alentavan liikenteen keskinopeutta noin 1 %:lla,

joka laskennallisesti aiheuttaa 23 miljoonan euron matka-aikatappiot vuodessa. Eri tietyyppien keskinopeustilastojen mukaan kelivaikutukset ovat toteutumatie-
doissa vähäisiä ja ilmastonmuutoksen seurauksena liikenteen sujuvuuden arvioi-
daan kärsivän vain vähän. Vaihtelevien lumisateiden vuoksi liikenteen häiriöitä
voivat aiheuttaa tulvat ja myrskyjen aiheuttamat väylille kaatuneet esteet. (Per-
rels ym. 2022)

Tieliikenteessä ilmastonmuutoksen vaikutusten seuranta ei ole systemaattista. Il-
mastomuutoksen kannalta relevantteja ilmiöitä, kuten sään ääri-ilmiöitä seura-
taan osana operatiivista toimintaa muun muassa keliennusteiden ja -varoitusten
laadintaa varten. Seurannan tarpeita on tunnistettu ja mahdollisia tietoaineistoja
on saatavilla niin liikenteenohjauksen kuin väyläinfrastruktuurin osalta. Keskeisiä
tunnistettuja haasteita ovat juurisyiden kytkentä esimerkiksi kustannustietoon,
tiedon hajautuminen eri järjestelmiin ja mittareiden määrittely.

Taulukko 3. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia tieliikenteessä.

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
Sademäärän kasvu	Tierakenteiden kuivatusten vaatimusten kasvu/kuivatusrakenteiden mitoitus ylitetään. Päällysteiden vedenkestävyyden vaatimusten kasvu. Tienpinnan kulumisen kiihtyy. Alemman tieverkon kunnossapitotarve kasvaa.	Onnettomuusriskin kasvu. Ajonopeudet laskevat, ruuhkat lisääntyvät ja matka-ajat pidentyvät.
Rankkasateiden yleistyminen	Eroosioauriot, maanvyöryt, sortumat. Teiden tulviminen. Tierakenteiden kuivatusten vaatimusten kasvu/kuivatusrakenteiden mitoitus ylitetään.	Onnettomuusriskin kasvu. Ajonopeudet laskevat, ruuhkat lisääntyvät ja matka-ajat pidentyvät.
Sumun yleistyminen		Onnettomuusriskin kasvu. Ajonopeudet laskevat, ruuhkat lisääntyvät, matka-ajat pidentyvät.
Lämpimän ajan pidentyminen	Syys- ja talvikelirikko yleistyy. Sorateiden materiaalin kulu- tus kasvaa. Päällystetöitä voidaan tehdä pidemmällä ajanjaksolla.	Pölyn lisääntyminen, näkyvyys heikkenee.
Helleaaltojen määrän ja pituuden kasvu	Siltojen ym. betonirakenteiden elinkaaren lyhentyminen.	Ajoneuvojen toimintahäiriöt (ylikuumentuminen). Pölyn lisääntyminen.
Lumipeitteen väheneminen	Valaistuksen tarve kasvaa. Tienpinnan kulumisen kiihtyy.	

	Kunnossapitotarve pääteillä vähenee, painopiste siirtyy pohjoisemmaksi. Kelirikko aikaistuu ja lyhenee. Perusväylänpidon kustannukset kasvavat tai painotus muuttuu.	
Runsaiden lumisateiden/-myrskyjen yleistyminen	Kunnossapitotarve kasvaa.	Onnettomuusriskin kasvu. Ajonopeudet laskevat, ruuhkat lisääntyvät ja matka-ajat pidentyvät.
Myrskyjen ja rajuilmojen yleistyminen	Tielle kaatuneet puut tai rakenteet, raivaustarpeet.	Onnettomuusriskin kasvu. Ajonopeudet laskevat.
Jäätymisen, jäätävän sateen yleistyminen	Tienpintojen jäätyminen ja liukkaus. Rakenteiden elinkaaren lyhentyminen.	Liukkauden lisääntyminen, liukastumisonnettomuuksien kasvu. Ajoneuvojen toimintahäiriöt.
Talvisateisuuden ja jäätymis-sulamissykliin liittäminen	Kinostumisen lisääntyminen, lumi hankalampaa poistaa. Kelirikon pahentuminen. Päällysteiden ja alusrakenteiden elinkaaren lyhentyminen, siltojen ja tunnelien elinkaaren lyhentyminen.	Tienpintojen liukkaus, onnettomuusriskin kasvu. Ajonopeudet laskevat.
Kova tuuli yleistyminen	Kaatuneet liikenteenohjauslaitteet, puut ym. Liikenteenohjauslaitteiden virransyöttö katkeaa kaatuvien puiden vuoksi.	Ajonopeuden lasku. Onnettomuusriskin kasvu.
Vedenkorkeuden muutokset	Pohjaveden nousu alentaa kantavuutta, tierakenteiden vaurioriski.	
Tulvien yleistyminen	Pohjarakenteiden vaurioituminen, tien sortuminen. Kuivatuksen vaatimusten kasvu.	

2.2 Rautatieliikenne

Ilmastonmuutos vaikuttaa rautatieinfrastruktuuriin monin tavoin. Kasvavat sademäärät sekä rankkasateet kasvattavat rakenteiden vaatimuksia ja helleaallot voivat aiheuttaa turvalaitteiden ja sähkönsyötön laittilojen ylikuumenemista sekä hellekäyriä kiskoihin. Lumi ja jää aiheuttavat häiriöitä vaihteiden toimivuuteen. Uusilla ja peruskorjatuilla rataosuuksilla infrastruktuurin resilienssi on vähäliikenteisiä sivuratoja parempi. Haastavat sääolosuhteet ja mahdolliset infrastruktuurin vauriot näkyvät liikenteessä myöhästymisinä ja vuorojen peruutuksina sekä kaluston suurempana kunnossapitotarpeena, mikä nostaa kunnossapitokustannuksia. Liikenteen häiriöt vaikeuttavat myös muun muassa henkilöstöresurssien suunnitteluun ja lisäävät henkilöstön kuormitusta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia rautatieliikenteeseen on koostettu taulukkoon 4.

Sään ääri-ilmiöiden vaikutusta tavaraliikenteen toimivuuteen on tutkittu esimerkiksi Ludvigsen & Klæboe (2013) toimesta. Heidän mukaansa vaikeat sääolosuhteet liittyivät jopa 60 %:iin junaliikenteen myöhästymisistä vuosien 2008 ja 2010 välillä. Sään vaikutusta myöhästymisiin on kuitenkin vaikea tutkia ja myöhästymisen syykuvauksen ja valliinneiden sääolosuhteiden perusteella on vaikea kytkeä näitä toisiinsa luotettavasti.

Ilmastomuutoksen epäsuorana vaikutuksena tavaraliikenteen kuljetusmuotojakauma voi muuttua teollisuuden kysynnän mukaan. Teollisuudessa on ilmaistu kiinnostusta vähäpäästöisiin tai päästöttömiin kuljetusketjuihin osana päästövähennystoimenpiteitä, mikä voi lisätä kysyntää ja kuljetusmäärien tai junavuorojen määrää. Toisaalta toimialoille voi tulla toimintarajoituksia (esim. metsäteollisuuden raakapuuhankinnat), mikä vähentää junakuljetusten kysyntää.

Tieliikenteen kohdalla mainitut kuvaukset ilmastomuutoksen seurannasta pätevät myös raideliikenteeseen. Infrastruktuurin ja liikennöinnin seuranta-aineistojen kannalta tärkeimpiä toimijoita ovat Väylävirasto ja Fintraffic. Raideliikenteen operaattoreilla on operatiivista tietoa, mikä voi soveltua seurantaan, esimerkiksi logistiikkajärjestelmän toimivuudesta tai työtapaturmista. Tieto syntyy muun muassa kaluston kunnossapidosta ja matkustamisesta. Myös työskentelyolosuhteiden ja matkustusmukavuuden seuranta on tunnistettu mahdollisiksi seurantakohteiksi. Säähän liittyvien raideliikenteen häiriöiden arvioidaan olevan melko vähäisessä roolissa suhteessa operatiivisen toiminnan, infrastruktuurin ja kaluston aiheuttamiin häiriöihin.

Taulukko 4. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia rautatieliikenteessä.

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
Sademäärän kasvu	Kuivatuksen vaatimusten kasvu. Silta- ja rumpurakenteiden mitoitusvaatimukset kasvavat, kunnossapitotarve kasvaa. Maanalaisten asemien tai alikulkujen tulvat. Uusilla ja peruskorjatuilla radoilla vaikutukset vähäisempiä kuin sivuradoilla.	Infrasta johtuvat liikennehäiriöt, myöhästymiset ja vuorojen peruutukset. Kuormausrajoitukset tai nopeusrajoitukset.
Rankkasateiden yleistyminen	Eroosiovauriot. Maanalaisten asemien tulvat. Kiskojen liukkaus, kiihdytys-/jarrutusongelmat. Kuivatusrakenteiden mitoitustason ylittyminen, vahingot ratapenkereille ym. alusrakenteille.	Viivästymät liikenteessä, täsmällisyys laskee.
Lämpimän ajan pidentyminen	Laitetilojen ylikuumeneminen. Kaatuneet puut routa-ajan lyhentyessä.	Infrasta johtuvat nopeusrajoitukset sivuradoilla ja ratapihoilla. Liikennehäiriöt.

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
		Matkustusmukavuuden heikkeneminen.
Helleaaltojen määrän ja pituuden kasvu	Turvallitteiden laitetilojen ylikuumeneminen. Kiskojen vääntyminen, suistumisonnettomuuden riskin kasvu. Nopeusrajoitukset sivuraidoilla ja ratapihoilla. Ajolankojen viat (roikkuminen). Siltojen ym. betonirakenteiden elinkaaren lyhentyminen.	Infrasta johtuvat nopeusrajoitukset Veturien toimintahäiriöt (erityisesti vanhempi kalusto). Matkustusmukavuuden heikkeneminen matkustustilojen kuumentuessa. Henkilöstön kuormitus kasvaa sään ääri-ilmiöiden aiheuttaman kuormituksen vuoksi. Ylitöiden määrä ja henkilöstökustannukset sekä sairaspöissaolat yleistyvät.
Lumipeitteen väheneminen		
Runsaiden lumisateiden/-myrskyjen yleistyminen	Ratapihalaitteiden toimintahäiriöt. Vaihteiden toimintahäiriöt.	Viivästymät liikenteessä, täsmällisyys laskee.
Myrskyjen ja raajuilmojen yleistyminen	Radalle kaatuneet puut. Sähköradan viat. Turvallitteiden sähkönsyötön viat.	
Jäätymisen, jäätävän sateen yleistyminen	Vaihteiden jäätyminen. Ratapihojen ja jalankulkualueiden liukkaus.	Kaluston jääkertymät, kuormakapasiteetin lasku. Jäänpoiston kustannukset kasvavat. Liukkaus, kalusto jää jumiin ja liikenteeseen syntyy häiriöitä.
Talvisateisuuden ja jäätymis-sula-missykliäen lisääntyminen	Radän routavauriot, ajonopeuden alentaminen. Siltojen ym. betonirakenteiden elinkaaren lyhentyminen.	Infran korjausvelan kasvu aiheuttaa kuormausrajoituksia tai nopeusrajoituksia, jolloin matka-ajat pidentyvät ja kalustokierto ei toteudu.
Kova tuuli yleistyminen	Kaatuneet puut radalla tai sähköradan rakenteille vaativat raivaamista.	Sähköradan häiriöt aiheuttavat liikennekatkoksia. Radalla kaatuneet esteet aiheuttavat liikennekatkoksia.
Vedenkorkeuden muutokset	Pohjaveden nousu alentaa kantavuutta, alusrakenteiden vaurioriski. Ratapenkereen vettäminen, painamat, sortumavaara.	
Tulvien yleistyminen	Rakenteiden sijoittelu vaikeutuu. Eroosioauriot.	Liikennöinti estyy.

2.3 Kaupunkiliikenne

Kaupunkiliikenteessä yhdistyvät monin osin ilmastomuutoksen vaikutukset tie- ja rautatieliikenteeseen. Lisäksi kävelyn ja pyöräilyn rooli osana matkaketjuja ja omina kulkumuotoinaan ovat keskeisessä osassa kaupunkiliikennettä. Kaupunkien liikennejärjestelmässä erityispiirteitä ilmastomuutoksen aiheuttamien vaikutusten näkökulmasta ovat rankkasateiden aiheuttamat ongelmat. Tiiviisti rakennetussa ympäristössä hulevesien hallinta on haasteellisempaa. Maanalaiset asemat ovat erityinen haaste sademäärien, rankkasateiden sekä sulamisvesien näkökulmasta. Kaupunkiraideliikenteessä vaihteiden toiminta on kaukojunaliikenteen tavoin epävarmaa esimerkiksi rankkojen lumisateiden aikana. Myös linja-autoliikenne on usein epäluotettavampaa liukkaalla kelillä. Ilmastomuutos vaikuttaa myös esimerkiksi liityntämatkoihin ja joukkoliikennevälineiden odottamiseen. Talven lyhentyminen voi parantaa kävelyn ja pyöräilyn sekä joukkoliikenteen olosuhteita, jolloin aktiivisten kulkumuotojen kysyntä voi kasvaa ja liikenteen täsmällisyys parantua. Lauttaliikenne poikkeaa muista kulkumuodoista, sillä jäätilanne vaikuttaa oleellisesti liikennöintiin. Ilmastomuutoksen vaikutuksia kaupunkiliikenteeseen on koostettu taulukkoon 5. Lisäksi tie- ja rautatieliikenteen vaikutukset liittyvät monilta osin myös kaupunkiliikenteeseen.

Huono sää ja sään ääri-ilmiöt lisäävät joukkoliikenteen sekä autoilun kysyntää ja vähentävät aktiivisten kulkumuotojen kysyntää. Toisaalta kuumalla säällä joukkoliikenteen käyttö voi olla matkustajalle houkutteleva vaihtoehto, mikäli esimerkiksi odottamis- ja matkustusolosuhteet ovat suotuisat. Kävelyn ja pyöräilyn edellytykset paranevat, mikäli kylmä ja liukas aika vuodesta lyhenee.

Kaupunkien liikennejärjestelmien osalta ei ole toteutettu ilmastovaikutusten seuranta. Ilmastomuutokseen liittyvä toiminta keskittyy erityisesti päästöjen pienentämiseen, haavoittuvan infran tunnistamiseen ja sopeutumistoimenpiteiden toteuttamiseen niin uudisrakennushankkeissa kuin peruskorjausten muodossa. Liikenteen täsmällisyys on tunnistettu merkittäväksi osa-alueeksi, jota tulisi seurata.

Seurannan toteuttamisedellytykset myös vaihtelevat kulkumuodoittain sekä liikenteen palvelusopimustyypeittäin. Netto- ja bruttosopimuksissa tarpeet seurata toteutunutta palvelutasoa eroavat toisistaan: nettosopimuksissa intressit seurata häiriöiden syitä ovat alhaisempia. Myös kirjausvastuut vaihtelevat kulkumuodoittain. Lähi- ja taajamajunaliikenteessä on mahdollista seurata junien myöhästymisiä tai peruutuksia sekä näihin liittyviä syykoodeja. Raitiovaunu- ja metroliiikenteessä häiriöiden syykoodikirjausten taso ei ole yhtä kattava ja linja-autoliikenteen tavoin keskeistä on kyetä erottamaan liikenteenharjoittajasta/palveluntarjoajasta johtuneet syyt ulkoisista syistä, sillä juurisyy vaikuttaa muun muassa korvauksiin ja sanktioihin. Osa joukkoliikenneviranomaisista (esimerkiksi HSL) julkaisee häiriötiedotteissa syytietoa, jonka avulla häiriöfrekvenssien ja syiden seuranta on mahdollista. Julkisista lähteistä saatavien häiriötiedotteiden kattavuudessa on kuitenkin alueellisia eroja, mikä heikentää valtakunnallisen kokonaiskuvan muodostamista.

Kävelyn ja pyöräilyn seuranta-aineistot ovat yleisesti kaikista kulkumuodoista heikoimmalla tasolla. Kunnossapidon näkökulmasta erityistä haastetta aiheuttaa infrastruktuurin omistajuuden ja kunnossapitovelvoitteiden hajautuminen lukuisille

eri toimijoille, jolloin yksittäisen kaupungin sisällä kunnossapitotavat ja -seuranta vaihtelevat merkittävästi.

Ajoneuvot tuottavat merkittäviä määriä sijaintitietoa, jota on mahdollista analysoida esimerkiksi ajoaikojen osalta. Lisäksi asiakaskyselyillä on teoriassa mahdollista kerätä tietoa, mutta aineisto on vapaata tekstiä, jonka analysointi on haasteellista eikä ilmastomuutoksen vaikutuksista esimerkiksi matkustajakokemukseen ole systemaattista keräystapaa. Lisäksi esimerkiksi joukkoliikennevälineiden sisälämpötilaa seurataan mittauksin, mutta yleisin syy poikkeamille on vanhasta kalustosta johtuvat ilmastointilaitteiden viat. Onnettomuuksia tilastoidaan ja kirjauksiin sisältyy syykoodi ainakin HSL-alueella. Mahdollista raportointivelvoitteista tulee tiedottaa joukkoliikenneviranomaisia riittävän aikaisin ja mahdolliseen tiedonkeruun resurssointiin tulee tarvittaessa saada lisärahoitusta.

Taulukko 5. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia kaupunkiliikenteessä sekä kävelyssä ja pyöräilyssä.

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
Sademäärän kasvu	Maanalaisten asemien tulvat. Viemärien tukkeutuminen, tulvat. Hulevesien hallinnan vaatimukset kasvavat.	Liikennehäiriöt, myöhästymiset, vuorojen perumiset. Aktiivisten kulkumuotojen kysyntä laskee. Joukkoliikenteen kysyntä laskee.
Rankkasateiden yleistyminen	Maanalaisten asemien tulvat. Viemärien tukkeutuminen, tulvat.	Logistiikan onnettomuus-/työtaturmariski kasvaa. Aktiivisten kulkumuotojen kysyntä laskee. Joukkoliikenteen kysyntä laskee.
Sumun yleistyminen		Logistiikan onnettomuus-/työtaturmariski kasvaa.
Lämpimän ajan pidentyminen	Kunnossapitotarve keväisin ja syksyisin vähenee.	Pyöräilykausi jatkuu pidempään. Lisää aktiivisten kulkumuotojen osuutta.
Helleaaltojen määrän ja pituuden kasvu	Päällysrakenteiden elinkaarien lyhentyminen. Kiskojen vääntyminen. Varjostavien kasvien ja rakenteiden tarve kasvaa.	Vaatimukset joukkoliikennevälineiden ilmastoinnille kasvavat. Matkustusmukavuus voi heikentyä. Joukkoliikenteen tai aktiivisten kulkumuotojen kysyntä voi laskea.
Lumipeitteen väheneminen	Vaihteiden ja muun infran toimintavarmuus paranee.	Liikenteen luotettavuus paranee.
Runsaiden lumisateiden/-myrskyjen yleistyminen	Vaihteiden ja muun infran toiminta estyy. Varikkojen toiminta vaikeutuu.	Liikennehäiriöt, myöhästymiset, vuorojen perumiset. Onnettomuusriski kasvaa.

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
Myrskyjen ja ra-juilmojen yleistyminen		Aktiivisten kulkumuotojen kysyntä laskee.
Jäätymissen, jäätävän sateen yleistyminen	Vaihteiden ja muun infran toiminta estyy.	Aktiivisten kulkumuotojen kysyntä laskee. Liukastumisonnettomuuksien määrä kasvaa. Matka-ajat pidentyvät, nopeustaso laskee. Logistiikan onnettomuus-/työtaturmariski kasvaa.
Talvisateisuuden ja jäätymissulamissykliin liittäminen	Infran elinkaari lyhenee. Kunnossapitotarve kasvaa.	Liikennehäiriöt. Lauttaliikenteen häiriöt jäätälanteen vuoksi.
Kovan tuulen yleistyminen		Pyöräilyn kysyntä laskee.
Vedenkorkeuden muutokset	Tulvat.	
Tulvien yleistyminen	Maanalaisten asemien tulvat.	Liikennehäiriöt, vuorojen perumiset.

2.4 Vesiliikenne

Vesiliikenteen tarkastelussa on painotettu kauppamerenkulkua, joka on liikennemääriltään ja Suomen talouden sekä huoltovarmuuden kannalta keskeisintä vesiliikennettä. Meriliikenteessä ilmastonmuutoksen vaikutukset keskittyvät olennaisesti Itämeren jääolosuhteiden muutokseen. Jääpeite voi ohentua ja jääpeitteen levinneisyys pienentyä, mutta ahtojään määrä voi kasvaa, mikä muuttaa jäänmurron tarvetta ja toimintamalleja merkittävästi. Lisäksi aluskannan jäälukitukset muuttuvat päästövähennystavoitteiden vuoksi, jolloin vaikeat talvet voivat aiheuttaa aiempaa enemmän ongelmia. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tavaraliikenteeseen ovat kuitenkin vähäisempiä kuin matkustaja-aluksiin, mikäli tarkastelun kohteena ovat perutut lähdöt tai viiveet. Monet Itämerellä liikennöivistä aluksista soveltuvat myös valtamerikäyttöön, jolloin kovat tuulet tai aallokko eivät merkittävästi vaikeuta liikennöintiä. Meriliikenteessä myös muualla maailmassa tapahtuvat häiriöt heijastuvat meriliikenteeseen Suomessa, joka edelleen voi heijastua muuhun liikennejärjestelmään (Perrels ym. 2022). Satamissa meritulvat ja ahtojää voivat aiheuttaa tulevaisuudessa nykyistä enemmän ongelmia. Satamissa sään ääri-ilmiöt aiheuttavat kunnossapitokustannusten kasvua ja heikentävät toiminnan ennakoitavuutta, joka johtaa viiveisiin liikenteessä. Myös työtaturmat (esimerkiksi liukastumiset) voivat yleistyä liukkauden yleistymisen takia. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesiliikenteeseen on koostettu taulukkoon 6.

Osa satamista ei ole käytettävissä talvikaudella, mikäli avustusta ei ole saatavilla. Väylävirasto nimeää talvisatamat, joissa jäänmurtaja-avustuksella mahdollistetaan väylien käytettävyyden. Jäänmurtaja-avustus perustuu lakiin alusten jäälukista ja jäänmurtaja-avustuksesta (1121/2005). Avustusta saavien alusten

tulee täyttää jääluokkamääräykset ja alus tulee olla lastattu jääluokan edellyttämälle syvyydelle. Väylävirasto voi asettaa avustusrajoituksia satama- ja aluekohtaisesti. Avustusrajoitukset annetaan sää- ja jääolosuhteiden sekä aluksen jääluokan ja kantavuuden perusteella. Avustusrajoitusten ollessa voimassa avustettavilta aluksilta vaaditaan satamakohtaisesti lastimäärää. Esimerkiksi merkintä II 2000 tarkoittaa, että aluksen jääluokan tulee olla IAS, IA, IB tai II ja kantavuuden vähintään 2000 dwt. (Väylävirasto 2023b) Satamissa mahdollisesti hyödynnettävät tietoaaineistot ovat operatiivista tietoa, jota jokainen satama käsittelee eri tavoin. Keskitettyä tietoa ei ole saatavilla.

Meriliikenteen toimijoilla ei ole ilmastonmuutoksen vaikutusten seuranta. Meriliikenteessä myös välillisillä vaikutuksilla, kuten vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttövelvoitteilla ja päästövähennystavoitteilla on merkittäviä vaikutuksia liikenteeseen ja näiden vaikutusten seuranta liikennejärjestelmään on relevanttia. Meriliikenteessä seurataan myös onnettomuus- ja vaaratilanteita, joissa ilmastonmuutokseen liittyvät tekijät voivat olla yksi taustatekijä. Satamissa on myös toteutettu sopeutumistoimenpiteitä, jotka liittyvät esimerkiksi hulevesien ja meritulvien aiheuttamien ongelmien pienentämiseen. Meriliikenne on myös huoltovarmuuden ja logistiikkajärjestelmän toimivuuden näkökulmasta merkittävin toimiala. Häiriötilanneseuranta ei kuitenkaan ole toteutettu logistiikan tai huoltovarmuuden näkökulmasta.

Taulukko 6. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia vesiliikenteessä.

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
Sademäärän kasvu	Hulevesien hallinnan vaatimukset kasvavat satamissa.	
Rankkasateiden yleistyminen	Kanavarakenteiden vauriot. Satamien toiminta vaikeutuu.	Hulevesien hallinnan vaatimukset kasvavat.
Sumun yleistyminen	Satamien toiminta vaikeutuu merisumun takia.	
Lämpimän ajan pidentyminen		Ahtojäiden yleistyminen muuttaa jäänmurron tarpeita ja painopisteitä. Jääpeite ohenee, alhaisemman jääluokan alukset voivat käydä Suomessa. Jäänmurtotarve vähenee, kustannukset laskevat. Väylien ja satamien käyttö talvella onnistuu aiempaa useammassa satamassa tai jääluokkavaatimukset laskevat. Sisävedet sulana pidempään. Ahtojää voi estää moottorien jäähdytyksen.
Helleaaltojen määrän ja pituuden kasvu	Palovaarallisten aineiden syttymisriski kasvaa satamissa.	

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
	VTS ¹ :n toimintavarmuus (laitetilat).	
Runsaiden lumisateiden/-myrskyjen yleistyminen	Tutkamerkkien näkyvyys heikkenee. VTS toimintahäiriöt.	Navigointi vaikeutuu. Onnettomuusriski kasvaa.
Myrskyjen ja rajuilmojen yleistyminen	Väylänpidon kaluston olosuhdevaatimusten kasvu. Turvalaitteiden huoltotarpeen kasvu. VTS:n toimintahäiriöt.	Lauttaliikenteen peruutukset. Tiedotuksen lisäämisen tarpeet. (Myrskyt muualla vaikuttavat aikatauluissa pysymistä saapuvilla aluksilla.)
Jäätymisen, jäätävän sateen yleistyminen	Kanavalaitteiden ja satamalaitteiden jäätymisen ja toimintahäiriöt.	Työtaturmat liukkauden vuoksi.
Talvisateisuuden ja jäätymis-sulamissykliä lisääntyminen	Työtaturmat liukkauden vuoksi.	Ahjojään ja sohjon muodostuminen voimistuu. Jäänmurron toimintamalli ja tarpeet muuttuvat.
Kovan tuulen yleistymisen ja aallokon voimistuminen	Ahtojäiden yleistymisen. Kunnossapitokaluston olosuhdevaatimusten kasvu. Laituriin ajo vaikeutuu.	Lauttaliikenteen peruutukset. Vaikutus merkittävämpi matkustaja-aluksilla ja Itämerelle suunnitellussa pienemässä kalustossa.
Vedenkorkeuden muutokset		Karilleajon riski kasvaa, mikäli vedenkorkeus laskee. Tiedottamistarpeen kasvu. Sisävesitulvat voivat lisätä alikulkukorkeusrajoituksia.
Tulvien yleistymisen	VTS:n laitetilojen vaatimusten kasvu. Tulvat satamissa ja maa- väylillä. Viemäroinnin parantamisen tarve.	

2.5 Ilmailu

Ilmailussa ilmastonmuutos vaikuttaa sekä lentotoimintaan että lentoasemien infrastruktuuriin. Voimakkaat lumisateet tai -myrskyt voivat aiheuttaa viiveitä liikenteelle lumenpoiston ajaksi. Ilma-alusten jäänpoistotarpeiden muutokset ilmastonmuutoksen vuoksi ovat vaikeasti ennakoitavia. Pitkät hellejaksot voivat heikentää kiitoteiden päällysteitä ja tulvat voivat uhata osaa Suomen lentoasemista. Lento-liikenne toimii usein haastavissakin olosuhteissa, mutta kovat tuulet, jäätävien sateiden aiheuttama liukkaus tai rajuilmat voivat aiheuttaa liikennehäiriöitä. Ilmaston muutoksen vaikutuksia ilmailuun on koostettu taulukkoon 7.

¹ VTS = Alusliikennepalveluista käytettävä kansainvälinen nimi.

Ilmastomuutoksen vaikutuksesta lentoasemilla talvikunnossapidon painopisteet voivat muuttua alueellisesti. Mekaaninen lumenpoisto (auraus) mitoitetaan kuitenkin ääriolosuhteiden mukaisesti, koska vuosien välillä vaihtelu on suurta. Ilmaston lämpeneminen voi aiheuttaa päällysterakenteiden vaurioitumista. Operaatiivisessa toiminnassa seurataan keli- ja säätietoja tarkasti. Myös talvikunnossapitoa seurataan esimerkiksi liukkaudentorjunta-ainemäärien kulutuksen (suhteessa keliin) sekä ilma-alusten jäänestotoiminnan osalta. Palvelutasopuutteet ovat usein hetkellisiä, mutta vähäliikenteisillä kentillä, joilla ei ole jatkuvaa kunnossapitoa, esimerkiksi paksu jääkerros voi estää liikenteen. Kiitotierajoitusten ja lentoliikenteen säästä johtuvien myöhästymisten määrä voivat pitkällä aikavälillä kuvata parhaiten ilmastomuutoksen vaikutuksia.

Ilmastomuutoksen vaikutus ilmailuun on tunnistettu toimijakentällä. Ilmastomuutokseen liittyvän toiminnan pääpaino on ilmailussa tulevaisuusskenaarioiden tunnistamisessa, haavoittuvuuksien tunnistamisessa ja sopeutumistoimenpiteiden toteuttamisessa sekä ilmastovaikutusten hillinnässä toteuttamalla päästövähennystoimenpiteitä. Sopeutumisen näkökulmasta kaupallisen ilmailun rooli on keskeinen. Yleisilmailu tai miehittämätön ilmailu (dronet) eivät ole seurannan piirissä. Yleisilmailun merkitys liikennejärjestelmään on vähäinen. Miehittämättömän ilmailun rooli voi kasvaa tulevaisuudessa, mutta liikennejärjestelmän näkökulmasta rooli on vielä marginaalinen.

Taulukko 7. Kirjallisuudessa ja haastatteluissa tunnistettuja vaikutuksia ilmailussa.

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
Sademäärän kasvu	Hulevesien hallinnan vaatimukset kasvavat.	Huurtumisen lisääntyminen lisää jääneston tarvetta ilma-aluksissa.
Rankkasateiden yleistyminen	Liikennealueiden, kuten (kiitoteiden) tulviminen.	Lentojen peruminen/myöhästymiset, heikko näkyvyys. Ilma-alusten ohjaaminen varakentille. Miehittämättömien ilma-alusten toimintakyvyn asettamat rajoitteet.
Sumun yleistyminen		Lentojen peruminen/myöhästymiset, heikko näkyvyys. Miehittämättömien ilma-alusten operointi vaikeutuu näköyhteydessä.
Lämpimän ajan pidentyminen	Liukkaudentorjunnan tarve vähenee.	Jäänesto- ja lumenpoistotarve voi vähentyä.
Helleaaltojen määrän ja pituuden kasvu	Kiitoteiden pehmeneminen, urautuminen ja deformaatio. Rakenteiden elinkaari lyhenee.	Ilma-aluksen maksimilento- lähtömassan pienentyminen, nousumatkan pidentyminen.
Lumipeitteen väheneminen	Mekaanisen lumenpoiston tarve voi muuttua, mutta mitoitus tehtävä ääriolosuhteiden mukaisesti.	

Ilmiö	Vaikutus infrastruktuuriin	Vaikutus liikenteeseen
Runsaiden lumisateiden/-myrskyjen yleistyminen	Väliaikaiset kiitotien sulkemiset, kiitotierajoitukset.	Lentojen peruminen/myöhästymiset.
Myrskyjen ja raajuilmojen yleistyminen		Lentojen peruminen/ myöhästymiset, heikko näkyvyys. Ilma-alusten ohjaaminen varakentille. Miehittämättömien ilma-alusten toimintakyvyn asettamat rajoitteet.
Jäätymisen, jäätävän sateen yleistyminen	Liukkaudentorjunnan kustannukset kasvavat. Jäänpoistokustannukset kasvavat.	Lentojen peruminen/myöhästymiset. Miehittämättömien ilma-alusten toimintakyvyn asettamat rajoitteet.
Talvisateisuuden ja jäätymis-sulamissykliä lisääntyminen	Rakenteiden elinkaari lyhenee.	Lentojen peruminen/myöhästymiset.
Kovan tuulen yleistyminen		Lentojen peruminen/myöhästymiset. Miehittämättömien ilma-alusten toimintakyvyn asettamat rajoitteet.
Tulvien yleistyminen	Liikennealueiden, kuten kiitoteiden, tulviminen.	Lentojen peruminen/ myöhästymiset, heikko näkyvyys. Ilma-alusten ohjaaminen varakentille. Miehittämättömien ilma-alusten toimintakyvyn asettamat rajoitteet.

3 Ilmastomuutoksen seurannan mittarit kansainvälisesti

Yleisesti ottaen kirjallisuus ilmastomuutoksen vaikutusten seurannasta liikenteen osalta on rajallista, eikä seurantamittareita ole laajasti käytössä tai tarkasti määriteltynä. Goonesekera & Olazabal (2022) ovat koostaneet lähes 2000 ilmastomuutoksen sopeutumista kuvaavan indikaattorin kokoelman 11 kaupungin sopeutumissuunnitelmista. Näistä mittareista vain 12 mittaa vaikutuksia, eikä yksikään mittareista liity liikenteeseen. Seuraavissa luvuissa on laadittu katsaus Ruotsin ja Norjan sopeutumistyöhön ja vaikutusseurannan nykytilaan sekä tarkasteltu laajemmin myös muissa verrokkimaissa tehtävää ilmastomuutoksen liikennejärjestelmävaikutusten seurantaa.

3.1 Ruotsi

Ruotsissa ilmastomuutokseen sopeutuminen keskittyy liikenneinfran resilienssin lisäämiseen. Ruotsissa on ilmastomuutokseen sopeutumisen asiantuntijapaneeli, joka on antanut suosituksia sopeutumista liikennesektorilla. Asiantuntijapaneeli on myös koostanut tietoa ilmastomuutoksen vaikutuksista, sopeutumisesta ja sopeutumisen toteuttamisesta sekä haasteita liikennesektorilla.

Ilmastomuutoksen huomiointi keskittyy vaikutusten ja haavoittuvuuksien tunnistamiseen sekä sopeutumiskeinojen toteuttamiseen. Vaikutusten seuranta on vielä rajallista tai puutteellista. Esimerkiksi Trafikverket on tunnistanut, että sen tiedot tie- ja rautatieverkolta myrskysateiden sopeutumistoimista ovat puutteellisia. Ruotsissa ei ole määritelty raja-arvoja sille, millaiset vaikutukset ovat hyväksyttäviä esimerkiksi liikennekatkosten, kustannusnousun tai onnettomuuksien määrän osalta. Kansallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman 15 indikaattoria eivät kata ilmastomuutoksen vaikutuksia ja liikennejärjestelmän luotettavuuden käsittely on melko suppeaa. (Nationella expertrådet för klimatanpassning 2022). Tarve kehittää tietopohjaa ja -järjestelmiä äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamien vaikutusten vähentämiseksi on nostettu ilmastomuutoksen sopeutumisstrategiassa yhdeksi kehityskohteeksi Trafikverketin selvityksessä (Väylävirasto 2023a). Osana Trafikverketin ilmastosopeutumistyötä luonnononnettomuuksien seuranta ja analysointi on käynnistetty vuosien 2015 ja 2016 aikana. Luonnononnettomuuksien seuranta ei ole kuitenkaan toteutunut tavoitteiden mukaisesti. Myös rautatieriskien tunnistamisessa on ollut haasteita. Ilmiöiden ja vaikutusten tutkimusta on vuodesta 2018 alkaen lisätty osana toista sopeutumistoiminnan suunnitelmaa. Vuoden 2018 poikkeukselliset sääolosuhteet sekä kesällä että talvella ovat olleet tutkimuksen kohteena ja niiden vaikutuksia esimerkiksi lumenpoiston kustannuksiin on tutkittu. Kesällä junaliikenne oli pysäytetty useita kertoja suistumisia aiheuttaneiden raiteiden hellekäyrien vuoksi. (Liljegren 2018, Väylävirasto 2023a)

3.2 Norja

Norjassa ilmastomuutoksen vaikutukset säähän ja liikenteeseen poikkeavat Suomesta ja Ruotsista. Norjassa liikenteen näkökulmasta suurimpia ilmastomuutokseen liittyviä riskejä ovat sadannan ja rankkasateiden voimistumisen aiheuttamat tulvat, maanvyöryt, lumivyöryt sekä tunneleiden tulviminen. Lisäksi merenpinnan nousu ja maaperän eroosio aiheuttavat haasteita liikenteelle. Lisäksi

kunnossapitoon ja infrastruktuurin elinkaaren lyhenemiseen liittyy vastaavanlaisia haasteita kuin Suomessa ja Ruotsissa. (Petkovic ym. 2019)

Norjassa ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutusten arvioidaan näkyvän jo nyt liikennejärjestelmässä. Kohtalaiset ja voimakkaat sateet ovat yleistyneet ja sademäärät ovat kasvaneet 2000-luvulla. Lumisateiden arvioidaan yleistyvän erityisesti Norjan pohjoisosissa, eteläosissa vesisateiden määrä talvella kasvaa. Keskimääräisen lämpötilan nousu vähentää nollan asteen ympärillä tapahtuvaa sahaavaa lämpötilanvaihtelua, mikä vähentää kivivyöryjen määrää. Noin 30 % Norjan tie- ja rataverkosta on alttiina lumi- ja kivivyöryille. Luonnonuhkien arvioitiin aiheuttavan vuosittain noin 10 miljoonan euron (100 miljoonan Norjan kruunun) vahingot pääteillä. Suurin osa kustannuksista syntyy tien sulkemisesta aiheutuvista kustannuksista. (Frauenfelder ym. 2017)

Ilmastonmuutokseen varautuminen nojaa erityisesti riskitekijöiden tunnistamiseen, väyläverkon riskikohteiden analysointiin ja infrastruktuurin suunnitteluun ja suojaamiseen liittyviin toimenpiteeseen. Varautumisen tueksi on muun muassa luotu tietoaaineistoja ja palveluita, joiden avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi alueita, joilla on korkea tulva- tai maanvyöryriski, tulvatapahtumia koostava tietokanta sekä karttoja merenpinnan noususta eri alueilla. Lisäksi maanvyöryjä ja muita muutoksia seurataan satelliittikuvista. Lisäksi Norjan ilmatieteen laitos tuottaa tilastotietoa sää- ja keliolosuhteista. Tiedonkeruuta on myös joukkoistettu. Verkkosivustolle <https://RegObs.no> voi ilmoittaa esim. kivivyöryistä, jää- ja lumitilanteesta tai tielle kaatuneista esteistä. (Petkovic ym. 2019)

Jernbanedirektoratet on aloittanut ilmastonmuutokseen sopeutumisen arvioinnin tietojen keräämisen Norjan rataverkolta. Vuonna 2024 valmistuvassa hankkeen ensimmäisessä vaiheessa tavoitteena on tunnistaa vaikutukset rataverkkoon häiriöitä koskevan poikkeustiedon perusteella ja tunnistaa poikkeuksille haavoittuvainen ratainfrastruktuuri. Rataverkon häiriöistä on tavoitteena tunnistaa 10x10 km ruudukolle tiedot onnettomuuksien määrästä ja tyypistä per ratakilometri per vuosi. Myös sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia onnettomuuskustannuksia on tarkoitus analysoida, mutta hankkeen tavoitteena on luoda tietoperusta, jonka avulla on toisessa vaiheessa mahdollista toteuttaa arvioita sopeutumistoimenpiteiden yhteiskuntataloudellisesta kannattavuudesta. Pitkän tähtäimen seurannan tavoitteena on seurata toteutettuja sopeutumistoimenpiteitä sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Esimerkiksi kustannusraportointia on tarkoitus tulevaisuudessa kehittää. Pitkän tähtäimen seurannan mittareita ei ole vielä päätetty. Tavoitteena on kytkeä mittarit osaksi valtakunnallista liikennejärjestelmäsuunnittelua.

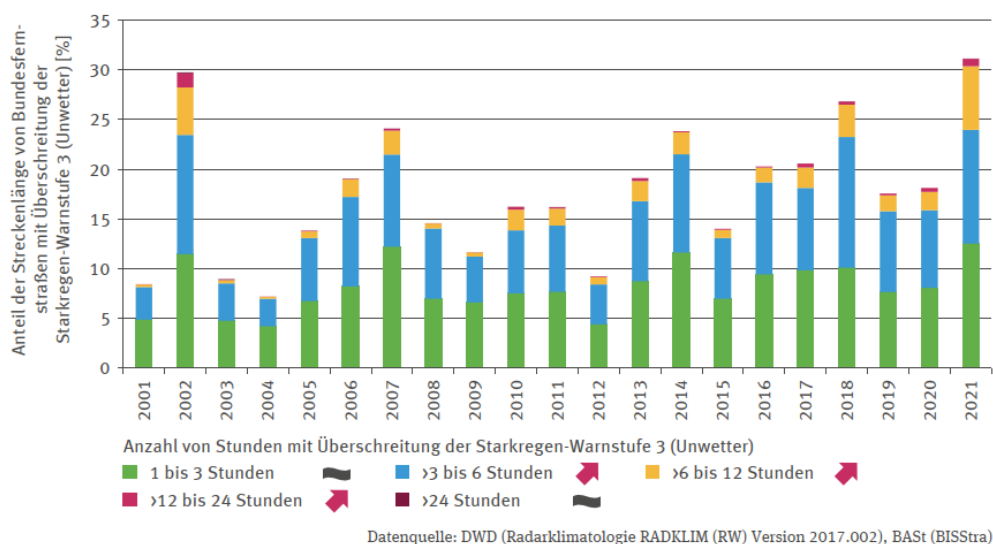
Osana hanketta Jernbanedirektoratet on tutkinut rankkasateiden aiheuttamien tulvien ja maanvyöryjen/-sortumien, vesistöjen ja vedenkorkeuden muutosten aiheuttamien tulvien sekä esimerkiksi juoksusaven ja muiden, ei-rankkasateista aiheutuvien maanvyöryjen ja sortumien esiintymistiheyttä. Tarkastelun kohteena ovat yli vuorokauden mittaiset liikennekatkokset, koska Norjassa lyhyet liikennekatkokset ovat hyvin yleisiä esimerkiksi radalle pudonneiden kivien vuoksi. Osana toimintaansa Jernbanedirektoratet seuraa rautatieliikenteen täsmällisyyttä, rataosakohtaisia myöhästymisiä (tunneissa) sekä rataverkon liikennöitävyyttä ((junatunnit – myöhästymiset) / junatunnit x 100) (Jernbanedirektoratet 2021). Arvioiden mukaan luonnonkatastrofien osuus myöhästymisistä on vähäinen.

3.3 Muut maat

Saksan kansallisen sopeutumisohjelman seurantasuunnitelmassa vuodelta 2023 seurantamittarit ovat pääasiassa tie- ja vesiväyliä koskevia. Raideliikenne on vuonna 2023 ensimmäistä kertaa mukana. Ilmailua ei huomioida osana mittaristoa. Vesiliikenteen vaikutusmittari on Reinin alhaisesta vedenkorkeudesta seuranneet liikennerajoitukset (VE-I-2). Myös tulvaporttien sulkeminen aiheuttaa liikennerajoituksia, joita seurataan (VE-I-1). Päätieverkolta (VE-I-3, kuvassa 1) seurataan rankkasateista aiheutuvien varoitusten määrää ja kestoä. Indikaattori mittaa sekä tieosuuksien määrää, joille on vuoden aikana annettu yli kolmannen luokan rankkasadevaroitus että varoituksen kestoä. Toisella tieverkon indikaattorilla (VE-I-4, kuvassa 2) seurataan vaikeiden talvisääolosuhteiden ja sateesta johtuvan liukkauden aiheuttamien henkilövahinkoon johtaneiden onnettomuuksien osuutta. Lisäksi seurataan heinä-elokuussa tapahtuneiden onnettomuuksien kokonaislukumäärää. Myrskytuhojen ja muiden sään ääri-ilmiöiden kunnossapitotapahtumat tieverkolla muodostavat viidennen mittarin (VE-I-5, kuvassa 3). Myrskytuhojen korjaamiseen on luotu kansallisella tasolla oma kustannuskoodi, jonka avulla kustannukset voidaan kohdentaa. Kustannustietoa on ollut saatavilla alueellisesti eri tavoin kirjattuna, mutta kirjauksia on yhtenäistetty. Uutena mittarina (VE-I-6, kuvassa 4) käyttöön on otettu rautatieverkon säähäiriöiden indeksi, joka mittaa säästä aiheutuneiden myöhästymisten tai junien perumisten osuutta kaikista myöhästymisistä tai perumisista. (Umweltbundesamt 2023)

VE-I-3: Starkregen und Straße

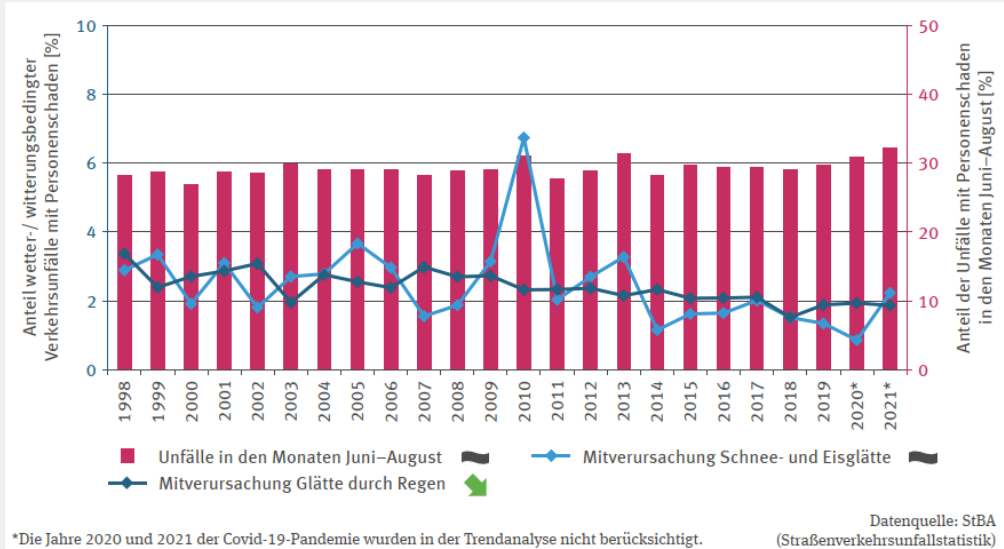
Starkregen können für den Straßenverkehr schwerwiegende Folgen haben. Jedes Jahr sind in Deutschland zwischen 5 bis über 30% der Bundesfernstraßen von unweatherartigen Starkregen der Warnstufe 3 betroffen. Der gesamte zeitliche Umfang dieser Ereignisse beläuft sich für die meisten betroffenen Straßenabschnitte auf 1 bis 6 Stunden je Jahr.



Kuva 1. Saksan rankkasateiden aiheuttamien ajokelivaroitusten seurantamittari. (Umweltbundesamt 2023)

VE-I-4: Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle

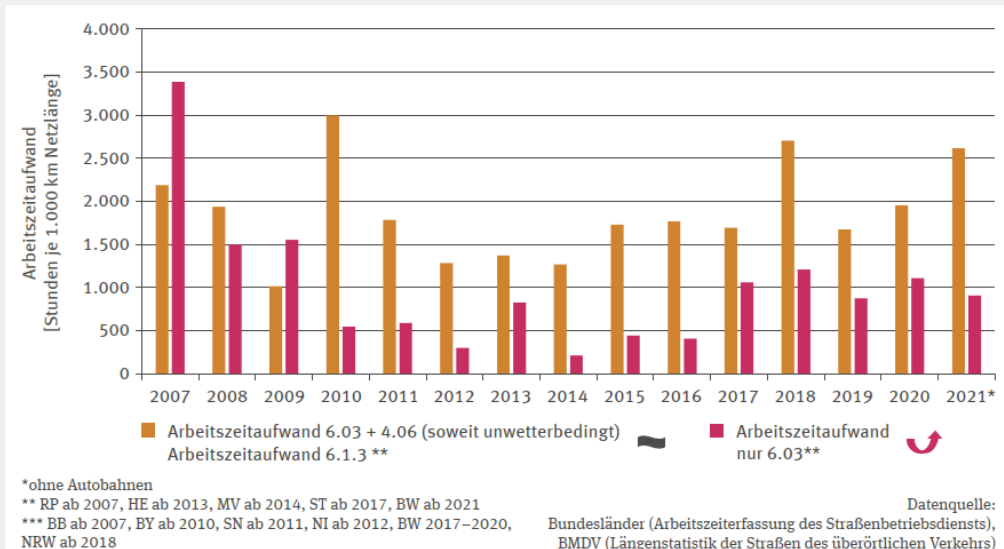
Stark winterliche Straßenverhältnisse sowohl in Januar und Februar als auch im Dezember waren im Jahr 2010 die Ursache für eine außergewöhnlich hohe Zahl von Unfällen, die durch Schnee- und Eisglätte mitverursacht wurden. Ein signifikanter Trend zeichnet sich hier nicht ab, ebenso wenig für Unfälle mit Personenschaden in den Monaten Juni bis August. Glätte durch Regen nahm als mitverursachender Faktor von Unfällen signifikant ab.



Kuva 2. Saksan liukkaudesta aiheutuneiden tieliikenneonnettomuuksien seurantamittari. (Umweltbundesamt 2023)

VE-I-5: Wetter- und witterungsbedingte Beeinträchtigungen von Straßen

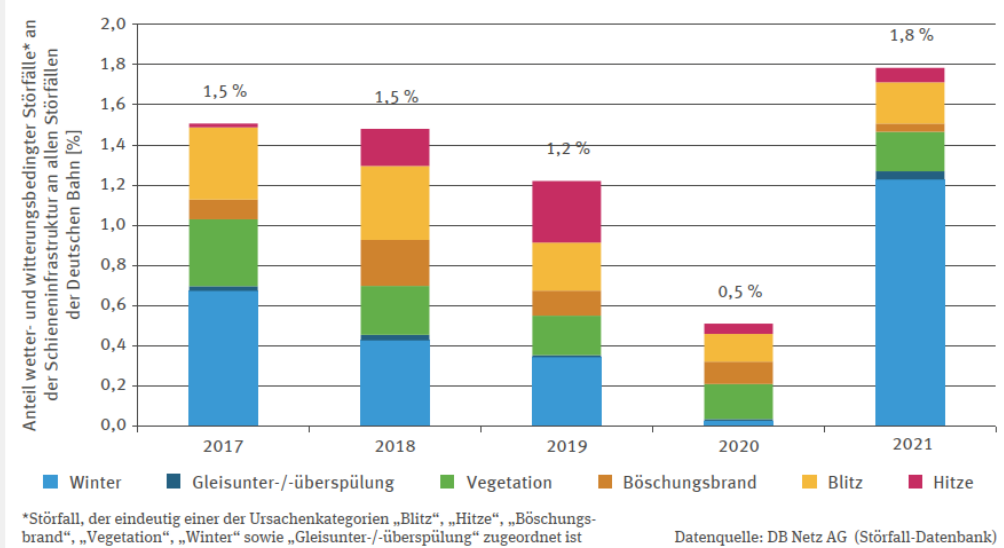
Besonders viel hatte der Straßenbetriebsdienst in den Jahren 2007, 2010, 2018 und 2021 zu tun. In 2007 und 2010 waren vor allem die Schäden der Orkane Kyrill beziehungsweise Xynthia zu beseitigen. 2018 beschäftigten die Folgen von Sturm, Hagel und Starkregen den Straßenbetriebsdienst in Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen außergewöhnlich stark, 2021 war Tief Bernd für den hohen Arbeitszeitaufwand verantwortlich.



Kuva 3. Saksan poikkeuksellisten sääilmiöiden aiheuttamien moottoritieverkon kunnossapitotehtävien seurantamittari. (Umweltbundesamt 2023)

VE-I-6: Wetter- und witterungsbedingte Störungen der Schieneninfrastruktur

Das Jahr 2021 fällt nicht nur im Vergleich zu den niedrigen Zahlen des Pandemie-Jahres 2020 durch viele wetter- und witterungsbedingte Störungen an der Schieneninfrastruktur auf. Damals behinderte Wintersturm Tristan durch Eisregen, Schneefall und -verwehungen den Bahnverkehr massiv. In den Jahren 2018 und 2019 sorgte die sommerliche Hitze für auffällig viele Störungen. Eine Trendschätzung ist für die kurze Zeitreihe noch nicht möglich.



Kuva 4. Saksan sääilmiöiden aiheuttamien raideliikenteen myöhästymisten seurantamittari.

Euroopan ympäristökeskuksen selvityksessä vuodelta 2018 on koostettu viideltä eri alueelta ilmastomuutoksen sopeutumisen indikaattoreita. Isossa-Britanniassa kansallisen tason mittareiksi oli valittu teiden kuntoluokituksen seuranta (prosenttimuutokset vuositasona) sekä strategisesti merkittävien maanteiden ja rautateiden säästä johtuvien häiriöiden määrä (päivien lukumäärä). Päivien lukumäärän lisäksi seurataan häiriöiden kestoa. Skotlannissa seurantamittareita ovat pääteiden ja rautateiden tulvatapahtumien lukumäärä, tulvista aiheutuneiden liikennehäiriöiden lukumäärä sekä maanvyöryistä aiheutuneiden teiden sulkemisten lukumäärä. Seurantasykliä ei ollut saatavilla. Itävallassa ilmastomuutoksen vaikutuksia seurataan infrastruktuuriin kohdistuneiden vahinkojen sekä kulkumuoto-osuuksien perusteella. Kulkumuoto-osuuksien seuranta on vuositasona toteuttavissa, mutta infrastruktuurin vahinkojen mittaamiseen ei ole standardoitua menetelmää eikä toteutusykyistä ollut saatavilla tietoja. Myös Suomen kansalliset mittarit koostettiin työhön (Mäkinen ym. 2018). Saksan mittarit on kuvattu edellä ja ne ovat päivittyneet verrattuna vuoteen 2018.

Sää- ja keliolosuhteiden kustannusvaikutuksia on tarkasteltu EU-tasolla esimerkiksi WEATHER-hankkeessa. Suurin osa sään aiheuttamista kustannuksista liittyy infrastruktuuriin. Myös käyttäjiin kohdistuvat kustannukset, kuten matka-aikatapiot ja onnettomuuskustannukset ovat merkittäviä. Pohjoismaissa on esitetty arvioita, joiden mukaan noin 9 % kunnossapitokustannuksista liittyy sään ääri-ilmiöiden aiheuttamiin vahinkoihin. Kustannusseurantaan ja normaalin kulumisen osuuden arviointiin liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia. (Nemry & Demirel 2012). Sään ääri-ilmiöiden tuhoaman infrastruktuurin seuranta soveltuu Suomeen huonosti, sillä tilanne on Suomessa vielä hyvä, eivätkä sään ääri-ilmiöt ole

aiheuttaneet laajoja vahinkoja infrastruktuurille. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2023).

Euroopan ympäristökeskuksen (2022) mukaan sään ääri-ilmiöiden aiheuttamien taloudellisten vahinkojen ja henkilövahinkojen määrät ovat kasvussa. Henkilövahingot liittyvät erityisesti helleaaltoihin. Materiaalisia vahinkoja aiheuttavat poikkeukselliset sääolosuhteet sekä tulvat tai kuivuusjaksot. Kansainvälisesti tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista saadaan monilla osa-alueilla vakuutusyhtiöiltä. Suomessa suurin osa liikenteen infrastruktuurista on julkisen sektorin omaisuutta, jolloin sitä ei ole vakuutettu samalla tavalla kuin yksityisomisteista infrastruktuuria, kuten kiinteistöjä. Liikennepalveluiden ja logistiikan toteuttamiseen käytettävä infrastruktuuri ja kalusto, minkä yksityiset toimijat omistavat, on kuitenkin lähes poikkeuksetta vakuutettu. (Nemry & Demirel 2012). Täten vakuutusyhtiöillä on merkittäviä tietovarantoja, jotka liittyvät sää- ja keliolosuhteiden aiheuttamiin henkilö- ja omaisuusvahinkoihin. Euroopassa 3 % tapahtumista aiheuttaa 60 % taloudellisista vahingoista, eli yksittäisellä tapahtumalla voi olla merkittävä vaikutus. Taloudellisten vahinkojen määrä on Suomessa monia muita Euroopan alueita vähäisempi. (Euroopan ympäristökeskus 2022)

Euroopan ympäristökeskus ja sen yhteistyökumppanit tuottavat ilmastonmuutoksen seurantaan liittyvää tietoa ja indikaattoreita. Tällä hetkellä seurattavia ilmastonmuutoksen vaikutuksia ovat Itämeren ja Jäämeren jäätilanne, kuivuuden vaikutukset, sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat taloudelliset vahingot, meren pintalämpötila, merenpinnan korkeus ja rannikkotulvat, tulvien ja metsäpalojen aiheuttamat kuolemat, metsäpalot, merenpinnan korkeus, lämpötilat, merten happamointuminen, merten happipitoisuus, maaperän kuivuus sekä makeanveden käyttö. (Climate-ADAPT 2023). Suomessa Ilmatieteen laitos tuottaa tietoa ilmastonmuutoksen ilmiöistä.

YK:n tilasto-osasto on julkaissut vuonna 2023 ohjeistuksen ilmastonmuutoksen tilastointiin ja indikaattoreiksi. Kriittisen infrastruktuurin ja liikenteen indikaattoreiksi kansallisella tasolla seurattavaksi on ehdotettu seuraavia indikaattoreita (YK:n tilasto-osasto 2023): luonnononnettomuuksien aiheuttamat vahingot kriittiselle infrastruktuurille, suorat taloudelliset vaikutukset kriittisen infrastruktuurin vahingoista, vaikutukset liikennejärjestelmään (tieverkon pituus²). Liikennejärjestelmän indikaattori on ns. kolmannen luokan mittari, eli se vaatii edelleen merkittävää metodologista kehittämistä ollakseen käyttökelpoinen (YK:n tilasto-osasto 2023).

Yhdysvalloissa toteutettu tutkimus ilmastonmuutoksen vaikutuksista liikenneinfrastruktuuriin painottaa indikaattoreiden valinnassa luotettavuuden, resilienssin, riippuvuuksien ja sopeutumisen mittaamista. Luotettavuuden osalta suositetaan seuraamaan muutoksia palvelutasossa mittaamalla palvelukatkoja. Esimerkiksi palvelutasolle määritellyt KPI:t tai laatuvaatimukset voivat osaltaan kuvata myös ilmastovaikutuksia. Niiden kytkentä ilmastomuutokseen tai edes sääilmiöihin voi olla haasteellista, mikäli tietoaineistot eivät ole kattavia ja sisällä juurisyytä luotettavalla tasolla. Tietoa voidaan rikastaa hyödyntämällä onnettomuuksiin liittyvää

² "The length of the combined national road network of both local and central government in a country. That is, the length of a set of roads maintained by local authorities and those in custody of the central government."

tietoa. Myös myrskytuhojen kustannusarviot antavat osviittaa ilmastonmuutoksen vaikutusten kehityksestä. Resilienssin kohdalla tarkastelukohteiksi on esitetty infrakorttien seuranta, joissa kuvataan muun muassa infrastruktuurin kuntoa, kapasiteettia ja kunnossapitoa. Yhdysvalloissa on liikennealalla tarkasteltu myös komponenttikohtaisia mittareita ja niiden osa-alueiden mittareita, kuten muutoksia siltojen alikulkukorkeuksiin, tulville alttiin infrastruktuurin määriä ja tulvien trendiseuranta. Ristiriippuvuuksien tarkastelun avulla voidaan ymmärtää merkittävien häiriöiden leviämistä eri infrastruktuurin osa-alueelta toiseen sekä tarkastella palautumisen nopeutta. Sopeutumisen indikaattoreiden osa-alueiksi on tunnistettu muutokset suunnitteluohjeissa ja -vaatimuksissa sekä muutokset infrastruktuurin investoinneissa ja peruskorjaushankkeissa. (Willbanks ym. 2020). Yhdysvaltojen kehitysyhteistyöviraston selvityksessä ilmastonmuutoksen vaikutusten seurannan kohteiksi esitettiin kunnossapitotarpeiden ja kunnossapidon aika-tilatutuksen tai ajankohtien muutoksia, kun ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimenpiteitä toteutetaan. Lisäksi suositeltiin ilmasto-, sää- tai kelitekijöiden, kuten eroosion esiintymisen ja tulvien vakavuuden seuranta, jotta sopeutumisen toimenpiteitä voidaan muokata vastaamaan tarpeita. (USAID 2012).

4 Mittariston muodostaminen

Kirjallisuuden perusteella ilmastonmuutokseen liittyvän toiminnan pääpaino on infrastruktuurin ja liikennepalveluiden sekä logistiikan hiilineutraaliuden edistämässä ja infrastruktuurin resilienssin varmistamisessa sopeutumistoimenpiteillä ja haavoittuvuuksia tunnistamalla. Ilmastonmuutoksen vaikutusten seuranta ei juurikaan toteuteta eikä kattavaa listaa vertailukohteista ole. Mittariston suunnittelussa huomioitiin tietoaineistojen saatavuus ja käytännöllisyys, kirjallisuudesta löytyneet esimerkit ja käytännöt sekä asiantuntijoiden arviot mittareiden tarkkuudesta. Työn aikana tunnistettiin useita mittariaihioita sekä tietoaineistoja ja listaus niistä löytyy liitteen 1 taulukoissa 15 ja 16.

Mittariston laadinnassa on painotettu erityisesti liikenteen sujuvuutta ja täsmällisyyttä. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat sään ääri-ilmiöt ovat kestoaltaan hetkellisiä ja mahdolliset korrelaatiot liikenteen häiriöihin ovat tunnistettavissa, kun häiriötilastointia täydennetään sää- ja keliolosuhdetietojen tilastoinnilla, mikä helpottaa kytkentää ilmastonmuutokseen verrattuna liikenteen infrastruktuurin vaikutusketjuihin. Mittariston valinnassa on painotettu myös soveltuvuutta liikennejärjestelmäsuunnittelun tukitiedoksi sekä mittarien toteutettavuutta. Valikoiduissa mittareissa on painotettu mahdollisuuksia automatisoida seuranta. Mittariston priorisoinnissa on myös painotettu yksinkertaisuutta ja ymmärrettävyyttä sekä saatavilla olevien aineistojen otosten määrää ja aikasarjojen pituutta. Näistä lähtökohdista mittariston lähtökohdiksi on valittu:

1. Palvelutasoa kuvaavat mittarit (esimerkiksi liikenteen sujuvuus tai täsmällisyys)
2. Kunnossapitotarvetta ja -kustannuksia sekä infrastruktuurin elinkaarta kuvaavat mittarit
3. Välillisiä vaikutuksia kuvaavat mittarit (esimerkiksi suoritteet tai kulkumuotojakauma)
4. Onnettomuuksia ja tapaturmia kuvaavat mittarit.

Mittarit on valittu ensisijaisesti liikenteen palvelutason näkökulmasta, koska liikenneinfrastruktuurin mittareiden muodostamiseen liittyy tietopohjaan ja vaikutusketjujen päällekkäisiin ilmiöihin liittyviä haasteita. Lisäksi on tunnistettu kokonaisuutta täydentäviä sää- ja keli tietoja, jotka auttavat indikaattoreiden tulkinnaissa ja oikeiden johtopäätösten tekemisessä, sillä useimmat indikaattoreista ovat vaikutuksiltaan sekoittuneita ja kytkentä ilmastonmuutoksen aiheuttamiin sään ääri-ilmiöihin tai hitaisiin muutoksiin voi olla epävarma, koska myös muut tekijät vaikuttavat lähtötasoon.

Useimpien liikenteellisten mittareiden tietoperusta päivittyy automaattisesti ja nojaavat liikenteenhallintaan käytettäviin aineistoihin, mikä parantaa aineistojen kattavuutta ja helpottaa tiedonkeruuta. Vaikka mittarit raportoitaisiinkin kootusti vuositason tasolla, tulee tausta-aineistoa kerätä tarkemmalla tasolla jatkoanalyysien mahdollistamiseksi. Esimerkiksi päivä- tai tuntitaso raportointi mahdollistaa tietojen vertailun sää- ja kelihavaintojen aikasarjoihin, jolloin indikaattoreiden tuottamien johtopäätösten validointi on mahdollista.

4.1 Ehdotus mittaristosta

Mittaristo on jaettu kulkumuodoittain kategorioihin ja ne on esitelty luvuissa 4.1.1–4.1.5. Jokaisessa kategoriassa on tunnistettu 1–2 mittaria ja näille on laadittu tarkemmat kuvaukset. Lisäksi luvussa 4.1.6 on kuvattu mittareiden analyysiä tukevia sää- ja kelitietoa koostavia mittareita. Mittariston esitystarkkuudeksi on määriteltä vuosi, joka kuvaa myös päivityssykliä. Aineistoja tulee koota tunti-, vuorokausi- tai kuukausitasolla, mutta yksinkertaisessa esitysmuodossa mittaristo voidaan esittää Saksan esimerkkien mukaisesti vuositasolle koostettuna, jolloin se vastaa myös muita Liikenne 12 -seurantamittariston mittareita raportointitarkkuudeltaan. Laajempi raportointi voidaan toteuttaa esimerkiksi neljän vuoden välein, jolloin voidaan tarkastella mittareittain, millaisista tapahtumista havainnot ovat syntyneet ja millaiset ilmiöt niiden taustalla vaikuttavat. Kevyempi päivitys mittareihin suositellaan toteuttamaan vuosittain, koska mittariston päivittämisen voi monien mittarien kohdalla automatisoida.

Ehdotettuun mittaristoon ei ole sisällytetty kaupunkiliikenteen mittaria. Työssä tunnistettiin mahdollisuudeksi seurata kaupunkiliikenteen häiriötiedotteista esimerkiksi peruttujen tai viivästyneiden vuorojen osalta. Tiedot ovat jo osittain saatavilla Digitransitin kautta, mutta mittarin laatimisen vastuut ja tietoperustan kattavuus vaatii jatkoselvittelyä. Alueellisten toimintatapojen erojen vuoksi aineistot eivät yhteisestä tietoperustastaan huolimatta ole yhtä kattavia ja vertailukelpoisia. Junaliikenteestä tiedot ovat jo nykyisin saatavilla kattavasti, mutta linja-auto-, metro- ja raitiovaunuliikenteen kirjaustarkkuuksissa ja aineiston saatavuudessa on puutteita. Mahdollisista muutostarpeista kirjauskäytännöissä tai häiriöiden tilastoinnissa tulee olla yhteydessä alueellisiin joukkoliikenneviranomaisiin riittävän ajoissa. Historiatietojen saatavuutta ja vastuukysymyksiä ei kuitenkaan määriteltä työn aikana, vaan ne tulee ratkaista erikseen.

4.1.1 Tieliikenne

Ilmastonmuutoksen vaikutusta tieliikenteeseen voidaan mitata seuraamalla maanteiden ajokelin pitkän aikavälin trendiä. Mittarin avulla voidaan havaita muutokset erittäin huonon ajokelin yleisyydessä laskemalla kumulatiivinen tuntimäärä tai päivien lukumäärä, jolloin erittäin huonon ajokelin varoitus on annettu tieverkon eri osille.

Tieliikenteessä sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia kunnossapitotarpeita voidaan tutkia myös tapaustutkimuksilla merkittävien tapahtumien jälkeen. Kunnossapitotapahtumista on saatavissa melko systemaattista tietoa, mutta ilmastonmuutoksen vaikutusta infrastruktuurin elinkaareen on haastavaa tutkia, joka liittyy liikenneinfrastruktuuriin hitaasti vaikuttavien ilmiöiden tunnistamiseen. Tieliikenteen mittarit on kuvattu taulukossa 8.

Taulukko 8. Ehdotus tieliikenteen mittareista.

	Liikenne	Infrastruktuuri
Mittari	Maanteiden ajokeli.	Huonokuntoiset päällystetyt maantiet.

Yksikkö	Kumulatiivinen kesto (tuntia) ajokeliluokittain.	Kaistakilometriä per luokka.
Kuvaus	Mittari kuvaa tieliikenteen riskitekijän, eli huonon ajokelin kehitystä. Mikäli ajokelit ovat aiempaa parempia, liikenne on sujuvampaa ja turvallisempaa. Huono ajokeli aiheuttaa matka-aikatappioita ja onnettomuuskustannuksia. Mittari voidaan laatia tiekohtaisesti tai laskemalla kesto tunteina, joita on kerrottu vaikutuksen kohteena olleen tieverkon pituudella.	Päällysteiden kunto heikenee ilmastonmuutoksen vaikutuksena useista syistä, esimerkiksi sademäärien kasvun ja vähäisemmän lumipeitteen vuoksi. Alueelliset erot voivat olla merkittäviä. Päällysteiden kuntoon vaikuttavat merkittävästi myös liikennemäärät ja päällysteiden uusimisen kustannukset ja käytettävissä oleva budjetti.
Tietoaaineisto	Tiejaksojen keliennusteet, Digitraffic/Fintraffic.	Suomen Väylät/Väylävirasto.
Kehitysmahdollisuudet	Liikenne- ja onnettomuusmäärät täydentävät kokonaiskuvan luomista. Liikenteen sujuvuuden seuranta on mahdollista Fintrafficin aineistoista ja tarjoaa lisää näkökulmia seurauksista. Myös matka-aikasäästöjen/-tappioiden seuranta tai mallintaminen täydentää kokonaiskuvaa.	Rahoituksen, päällysteiden uusimisen kustannusmuutosten, käytettävien päällystämateriaalinen, väyläverkon muutosten ja vuotuisten uusien päällystekilometrien vaikutus tulee poistaa tilastollisilla menetelmillä aineistoista erottelukyvyn parantamiseksi. Trendin erottamista helpottaa vuosimuutoksen analysointi.

4.1.2 Rautatieliikenne

Rautateiden infrastruktuurin seurannalle ei tunnistettu luotettavaa mittaria. Esimerkiksi rajuilmojen kaatamat puut, metsäpalot tai voimakkaat lumisateet aiheuttavat junaliikenteeseen viivästyksiä ja vuorojen peruutuksia. Sopeutumistoinen menpiteet muuttavat rautateiden resilienssiä, jolloin infrastruktuurilähtöiset häiriöt rautatieliikenteessä, jotka ovat seurausta ilmastonmuutoksen hitaista vaikutuksista, eivät välttämättä yleisty. Liikennöinnin näkökulmasta henkilöliikenne on seurannan kannalta luotettavampi mittari, sillä tavarajunaliikenteessä varatun kapasiteetin peruutuksia tapahtuu usein. Junien ajojärjestystä priorisoidaan tarvittaessa siten, että eniten myöhässä olevat junat väistävät aikataulussa olevia junia ja henkilöjunia priorisoidaan useissa tapauksissa tavarajunien edelle, koska tavaraliikenteen aikataulurakenteet on laadittu huomioimaan viivästyksyet eikä tavarantoimitustsämällisyydelle yleensä ole korkeita vaatimuksia. Vuotuisia myöhästyminuutteja on kuvattu esimerkiksi Väyläviraston vuoden 2020 selvityksessä.

Rautatieinfrastruktuurin kohdalla yksi kehitysmahdollisuus on seurata rataverkon liikennöitävyyttä. Esimerkiksi Norjassa seurataan pitkien häiriöiden määrien kehitystä. Toisaalta rataverkkoon vaikuttavia luonnonilmiöitä esiintyy Suomessa merkittävästi Norjaa vähemmän. Infrastruktuurin kunnossapidossa ja elinkaaren

hallinnassa juurisyiden tunnistaminen on haasteellista ja eri aikakausien infrastruktuurilla on eri mittaisia elinkaaria, jotka liittyvät materiaali- ja suunnitteluratkaisuisin, kuormitukseen ja liikennemääriin. Rautatieliikenteen mittari on kuvattu taulukossa 9.

Taulukko 9. Ehdotus rautatieliikenteen mittarista.

	Liikenne
Mittari	Poikkeuksellisista sääolosuhteista tai liukkaudesta aiheutuneet viiveet.
Yksikkö	Kumulatiivinen viivästyminen (minuuttia). Peruttujen vuorojen lukumäärä.
Kuvaus	Poikkeuksellisten sääolosuhteiden aiheuttamia myöhästymiä voidaan seurata syykoodeilla "I1 Poikkeukselliset sääolosuhteet", "I2 Lehtikeli tai muu liukkaus", "A102 Lehtikeli/liukkaus", "S204 Puu tms. sähköratarakenteissa", "T303 Muu este" tai "O403 tulipalot, metsäpalot". Suuren aineistomäärän vuoksi lähtökohtana voi toimia esimerkiksi myöhästymisten laskeminen pääteasemittain, jolloin vältetään myöhästymisen laskeminen useaan kertaan. Talviolosuhteet vaikuttavat junaliikenteen täsmällisyyteen selvästi, kesällä ratatyöt aiheuttavat viiveitä. Mittari ei huomioi sekundäärisiä myöhästymiä tai ilmastomuutoksen infrastruktuurivaikutuksista seuranneita vaikutuksia.
Tietoaineisto	Digitrafficin rautatieliikenteen aineistot (Fintraffic). Aineisto päivittyy jatkuvasti ja historiatiedot ovat saatavilla.
Kehitysmahdollisuudet	Myöhästymisten kokonaismäärän mittaaminen on täsmällisyyttä tarkempi mittari, koska se kuvaa myös myöhästymisten suuruutta. Rullaava keskiarvo tai muu menetelmä trendin tunnistamiseksi.

4.1.3 Ilmailu

Ilmailussa ilmastomuutos vaikuttaa sekä liikennöintiin että infrastruktuuriin. Tieverkon tavoin päällysteiden kunto voi heikentyä ilmastomuutoksen vuoksi. Mahdolliset infrastruktuurin poikkeustilanteet heijastuvat kuitenkin lentoliikenteeseen. Tämän vuoksi infrastruktuurin elinkaareen tai kunnossapitoon liittyvää mittaria ei ole muodostettu. Kiitotierajoitukset ovat lentoasemien asettamia ja ne perustuvat kiitoteiden tai muun lentoasemainfrastruktuurin palvelutasopuutteeseen tai kapasiteettirajoitteeseen. Kiitotierajoitukset ja niiden juurisyöt ovat lentoasemien ja lennonvarmistuspalvelutarjoajan operatiivista tietoa ja niiden luovuttamisesta mittarikäyttöön tulee sopia erikseen. Lisäksi mittarin julkisuutta tulee arvioida erikseen. Ilmailun mittari on kuvattu taulukossa 10.

Taulukko 10. Ehdotus ilmailun mittarista.

	Liikenne
Mittari	Sää- ja keliolosuhteista aiheutuvat kapasiteettirajoitukset.
Yksikkö	Kumulatiivinen kesto (minuuttia).
Kuvaus	Sää- ja keliolosuhteista johtuvat viiveet lentoliikenteelle. Rajoitusten lisääntyminen kuvaa ilmailun kannalta haastavien sääolosuhteiden kehitystä. Ensisijaisesti seurannan kohteena on Helsinki-Vantaan lentoasema.
Tietoaaineisto	Finavia ja Fintraffic ANS. Aineistojen julkisuus ja käyttö tulee sopia erikseen.
Kehittämismahdollisuudet	Rullaavan keskiarvon tai muun menetelmän hyödyntäminen trendin tunnistamiseksi.

4.1.4 Vesiliikenne

Vesiliikenteessä liikennejärjestelmän kannalta merkittävin ilmatorisiki liittyy talvi-merenkulkuun, jota on painotettu myös mittarin valinnassa. Vaikka jääpeitteen laajuus voi vähentyä, ahtojäiden yleistymisen voi aiheuttaa aiempaa enemmän avustustarvetta ja haasteita liikenteelle. Esimerkiksi jäätalvi 2021/2022 oli jään laajuudella mitattuna leuto, mutta ahtojää aiheutti ongelmia. Mittarin valinnassa on painotettu meriliikennettä. Meriliikenteen mittari on kuvattu taulukossa 11.

Taulukko 11. Ehdotus vesiliikenteen mittarista.

	Liikenne
Mittari	Satamien avustusrajoitukset.
Yksikkö	Kumulatiiviset päivät.
Kuvaus	Mittari kuvaa talvimerenkulun jäänmurtotarpeen kehitystä. Mittari voidaan laatia alueellisesti eri merialueiden muutosten tunnistamiseksi.
Tietoaaineisto	Ilmatieteen laitoksen/Väyläviraston jäätalven maksimikartta ja liikennetiedot (Lisäksi: Väylävirasto, Baltice).
Kehitysmahdollisuudet	Painottaminen satamien liikenne- tai kuljetusmäärillä. Päivien painottaminen rajoitusluokalla.

4.1.5 Kävely ja pyöräily

Kävelyn ja pyöräilyn kulkumuoto-osuuden seuranta ei kuvaa ensisijaisesti ilmastomuutoksen vaikutuksia, vaan useat muut tekijät vaikuttavat siihen enemmän. Vertailemalla talvikauden pyöräilymääriä suhteessa kesäkauden liikennemääriin voidaan saada kuvaa olosuhteiden muutoksesta. Toisaalta pyöräilyinfrastruktuurin ja talvikunnossapidon kehitys vaikuttavat merkittävästi pyöräilyyn. Yksi mahdollisuus seurata ilmastomuutoksen vaikutusta infrastruktuurin kuntoon on seurata

kävelyn ja pyöräilyn liukkaan kelin varoituksia, joita Ilmatieteen laitos antaa. Kävely- ja pyöräilytietojen koostaminen ei ole systemaattista. Esimerkiksi Digitrafficin avoimen rajapinnan kautta on saatavilla vain Oulun alueen mittaustiedot. Kävelyn ja pyöräilyn mittari on kuvattu taulukossa 12.

Taulukko 12. Ehdotus kävelyn ja pyöräilyn mittarista.

	Liikenne
Mittari	Talvi- ja kesäkauden kävely- ja pyöräilymäärien suhde.
Yksikkö	prosentti (%)
Kuvaus	Mittari kuvaa aktiivisten kulkumuotojen talvikauden määrien kehitystä. Lasketaan skaalaamalla talvikauden kävely-/pyöräilymäärä kesäkauden kävely- ja pyöräilymäärällä. Skaalaaminen kesäkauden määriin auttaa poistamaan yleistä trendikehitystä. Talvikuukaudet tulee määrittää riittävän usean kuukauden mittaiseksi, jotta pitenevän syksyn ja kevään osuus voidaan huomioida.
Tietoaaineisto	Jalankulun ja pyöräilyn mittaustiedot Digitraffic/Fintraffic, kuntien ja kaupunkien laskennat.
Kehitysmahdollisuudet	Mittarin käytössä tulee huomioida laskentojen kattavuus. Yleinen aktiivisten kulkumuotojen kehitys tulee huomioida osana mittaria: kesäkauden olosuhteet voivat parantua tai heikentyä pitkällä aikajänteellä ilmastonmuutoksen takia, mikä vaikuttaa kesäkauden määriin. Myös kunnossapito vaikuttaa aktiivisten kulkumuotojen käyttäjämääriin.

4.1.6 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. Ilmatieteenlaitoksen havaintohistoria mahdollistaa tietojen koostamisen. Tiesääasemien tiedot tieliikenteen analyysiin ovat saatavilla Digitrafficin kautta. Jääkarttojen tietoja on saatavilla Ilmatieteen laitoksen lisäksi Väylävirastolta. Esimerkkejä täydentävistä sää- ja kelitiedoista on kerätty taulukkoon 13.

Taulukko 13. Esimerkkejä täydentävistä sää- ja kelitiedoista.

Kulkumuoto	Täydentävät sää-/kelitiedot
Tieliikenne	Nollarajan ohitukset, ajokelivaroitukset, lumikertymä, sadekertymä, tienpinnan lämpötila.
Rautatieliikenne	Lumikertymä, tuuli, myrskyt ja rajuilmat, sadekertymä, nollarajan ohitukset, termisen talven pituus.
Ilmailu	Lumikertymä, myrskyt ja rajuilmat, nollarajan ohitukset, helleaallot.
Vesiliikenne	Jääpeitteen laajuus (km ²).

Kulkumuoto	Täydentävät sää-/kelitiedot
Kävely ja pyöräily	Keskilämpötila, talven keskilämpötila, termisen talven pituus, lumikertymä, sademäärä.

4.2 Mittariston rajoitteita

Ilmastomuutoksen liikennejärjestelmävaikutusten taustalla ovat ilmastomuutoksen aiheuttamat muutokset ympäristössä, jotka näkyvät sää- ja keli-ilmiöiden voimakkuuden tai ilmentymistiheyden muutoksina. Muutokset voivat olla hitaita (esimerkiksi keskilämpötila) tai ilmentyä äkillisinä ja hetkellisinä ilmiöinä (esimerkiksi rajuilmat). Liikenteen hallinnonalalla ilmastomuutoksen päävaikutuslajit liikenteeseen ovat kunnossapidon ja korjauskustannusten kasvu, palvelutasopuutteiden aiheuttamat kustannukset (matka-aikatappiot, liikennöintikustannusten kasvu) ja onnettomuuskustannukset, joita voidaan seurata liikenteen tietolähteistä. Ilmastomuutoksen aiheuttamien vaikutusten näkökulmasta keskeisimpiä liikenteen hallinnonalalle asetettuja tavoitteita edellisellä hallituskaudella olivat monipuolistuviin uhkiin varautuminen sekä toimiva liikenteen infrastruktuuri. (Traficom 2023b). Vaikka infrastruktuurin toimivuutta ei ole mittaristossa painotettu, heijastuvat infrastruktuurin mahdolliset ongelmat myös liikenteeseen, jolloin merkittävien infrastruktuurin toimintahäiriöiden tulisi näkyä mittareissa.

Osa vaikutusketjuista on hyvin pitkiä. Esimerkiksi kunnossapidon kustannusten muutoksiin vaikuttavat rahoitustaso, liikennemäärien kehitys, investoinnit infrastruktuuriin, kunnossapidon laatuvaatimukset sekä kustannustason muutokset. Lisäksi kunnossapidon tarpeessa on vuosittain huomattavia vaihteluja, jotka eivät liity suoraan ilmastomuutokseen. Operatiivisen toiminnan mittareiden, kuten liukkaudentorjunta-aineiden kulutuksen ja infrastruktuurin kunnossapitotehtävien lukumäärän mittarit voivat kuvata ilmastomuutoksen vaikutuksia, vaikka niiden pääasiallinen käyttötarkoitus on eri toimijoiden toiminnan kehittäminen ja sopimusten mukaisen palvelutason seuraaminen.

Vaikutusketjujen juurisyiden tunnistamisen haaste näkyy onnettomuuksien mahdollisessa käytössä mittarina. Vaikka sää- ja keliolosuhteet voivat olla yksi muuttuja onnettomuuden taustalla, usein juurisyys on inhimillisessä (esimerkiksi tiiliikenneonnettomuudet) tai teknisessä virheessä (esimerkiksi meriliikenteen onnettomuudet) tai puutteellisessa päätöksenteossa (esimerkiksi päätös lähteä liikenteeseen liian haastavissa keliolosuhteissa). Traficomilla on historiallisesti pitkät perinteet liikenteen turvallisuuden seurannassa. Liikenteen onnettomuustiedon hyödyntämisen haasteeksi tunnistettiin työssä epävarma kytkentä ilmastomuutokseen. Inhimilliset tekijät, infrastruktuurin kunto ja liikenneturvallisuus kulttuuri selittävät osaltaan toteutuneita onnettomuuksia, toisaalta kehittyvä ajoneuvojen turvatekniikka ehkäisee onnettomuuksien syntymistä.

5 Johtopäätökset ja suositukset

Ilmastomuutoksen liikennejärjestelmävaikutusten mittaaminen on haastavaa. Vaikutukset ovat sekoittuneita ja ilmastomuutoksen aiheuttamien hitaiden muutosten tunnistaminen on erityisen haastavaa. Vaikutukset jakautuvat myös liikennejärjestelmän eri osa-alueille ja vaikutusten mittakaava vaihtelee.

Työssä ehdotetut mittarit tarjoavat lähtökohdan ilmastomuutoksen vaikutusten seurannalle valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnittelun tasolla. Ehdotettu mittaristo kattaa eri kulkumuodot ja mittareiden valinnassa on painotettu liikenteen palvelutason näkökulmia. Vaikutustyyppit ovat pääasiassa liikenteellisiä vaikutuksia, koska saatavilla olevat aineistot ovat kattavampia ja niiden arvioitiin kuvaavan paremmin ilmastomuutoksen vaikutuksia.

Mittareiden raportointitarkkuudeksi on määritetty vuosi, joka luo lähtökohdan myös mittariston päivittämiselle. Tietoja tulee kuitenkin kerätä mahdollisuuksien mukaan myös tiheämmin tarkempien analyysien toteuttamiseksi. Lisäksi mittareiden toimivuutta ja ilmiöiden kehitystä tulee seurata esimerkiksi neljän vuoden välein toteutettavalla tarkemmalla ja laajemmalla analyysillä. Ennen mittareiden käyttöönottoa voidaan suorittaa historiatietojen perusteella ennakoarvio toimivuudesta ja neljän vuoden välein seurata ilmiöiden kehitystä. Mittareiden tuottama vuosittainen seuranta on huomattavasti luotettavampaa, mikäli taustalla on asiantuntija- ja tilastoarvioita, jotka vahvistavat mittareiden osoittamien ilmiöiden oikeellisuuden tai virheellisyyden. Koska yksittäisillä erittäin poikkeuksellisilla sääolosuhteilla (esimerkiksi laaja ukkosrintama tai pitkäkestoinen talvimyrsky) on yhteys merkittäviin taloudellisiin vahinkoihin ja liikenteellisiin häiriöihin, tulee analyysiä täydentää tapaustutkimuksilla. Vaikutusarviointia voidaan edistää raportoidalla mittarit alueellisesti, esimerkiksi maakuntatasolla.

Mittarit kuvaavat liikenteellisiä vaikutuksia, mutta niiden pohjalta on mahdollista arvioida myös taloudellisia vaikutuksia. Esimerkiksi myöhästymisten taloudellinen arvo voidaan arvioida ajan arvon yksikköarvoilla. Mittareiden kykyä mitata ilmastomuutoksen sosiaalisia vaikutuksia ei ole arvioitu, mutta lähtökohtaisesti kyky mitata niitä on rajallinen. Mittareiden yhteismitallisuus ei toteudu täysin, koska käytettävät tietoaaineistot perustuvat eri lähteisiin ja mitattavat ilmiöt ovat erilaisia. Toisaalta mittarit eivät ole päällekkäisiä, vaan ne mittaavat eri liikennejärjestelmän osa-alueita. Kaikkia mahdollisia vaikutusketjuja ei ole kuitenkaan katettu, jotta mittareiden määrä pysyy hallittavana. Ehdotetut mittarit ovat otettavissa käyttöön ilman laajoja investointitarpeita tietojärjestelmiin. Kustannukset syntyvät datan käsittelystä ja raportoinnista.

5.1 Jatkokehitys

Ilmastomuutoksen vaikutusten seurannan kehittäminen eri organisaatioissa mahdollistaa sopeutumiskeinojen tehokkuuden vaikutusarvioinnin. Haasteena on kyky erottaa ilmastomuutoksen aiheuttamat vaikutukset muista vaikutuksista, kuten toiminnan tehostumisesta, liikennemäärien kehityksestä, rakentamisen laadusta ja käytetyistä materiaaleista tai normaalista vaihtelusta mittareissa. Sopeutumistavoitteita määrittäessä myös mittaristoa tulee muuttaa vastaamaan tavoitteita ja mahdollistamaan tavoitteiden toteutumisen arviointi. Ilmastomuutoksen

vaikutusten seurannan avulla voidaan kohdentaa ilmastonmuutoksen sopeutumis-toimenpiteitä sekä seurata toteutettujen toimenpiteiden vaikuttavuutta.

Mittareiden laadinnan yhteydessä ei ole suoritettu testilaskentoja, joiden avulla historiatiedon avulla voitaisiin validoida mittareiden kyky erotella vaikutuksia. Laatomalla saatavilla olevista vaikutusmittareista yksityiskohtaiset aikasarjat ja vertaamalla näitä tietoja sää- ja kelihavaintojen aikasarjoihin on mahdollista tunnistaa, onko havaintosarjojen välillä korrelaatioita.

Mittareiden lisäksi ilmastonmuutokseen sopeutumisessa ja vaikutusten seurannassa tulee hyödyntää myös muuta tietoa, sillä mittarit tarjoavat vain yhden näkökulman vaikutuksiin. Esimerkiksi sopeutumistoimenpiteiden tai -investointien seuranta tuottaa vaikutusseurantaan tukevaa tietoa, joka mahdollistaa paremman kokonaiskuvan luomisen. Työssä priorisoiduille mittareille on useita vaihtoehtoisia mittareita, jotka voivat kuvata samaa ilmiötä tai eri vaikutusketjua. Esimerkiksi sorateiden painorajoitukset keliarikon vuoksi kuvaavat maa- ja metsätalouden kannalta keskeisen tieverkon kuntoa. Onnettomuuksien ja työtapa-urmien seuranta osaltaan tukisi vaikutusten arviointia sosiaalisesta näkökulmasta. Mittariston kehittämisen ja sopeutumistoimien kustannustehokkuuden arvioinnin näkökulmasta keskeinen tulevaisuuden haaste on tunnistaa, miten mitataan toteutumatta jäänyttä haittaa tai vaikutusta (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2023).

Tietoaineistojen määrätietoinen kehittäminen on tärkeää. Vaikutusseurannan tietoperustan vahvistaminen auttaa toimijakenttää todentamaan tehtyjen toimenpiteiden vaikuttavuutta ja onnistumista. Tietoperustan parantamistarve korostuu infrastruktuurin kohdalla. Jatkossa esimerkiksi liikenneinfrastruktuurin kunnossapito-, kustannus- ja elinkaariseurannan käytäntöjen ja tiedonhallinnan kehittämällä voidaan parantaa kykyä seurata ilmastonmuutoksen vaikutuksia infrastruktuuriin ja kunnossapitoon eri kulkumuodoissa, ainakin valtion väyläverkon osalta. Kaupunkien joukkoliikenteen häiriöiden syykoodien keräämisen tehostaminen ja kattavuuden parantaminen koko maahan edesauttaa kaupunkien liikennejärjestelmien seuranta.

Mittariston kehittämistä tulee jatkaa aktiivisesti. Ilmastonmuutoksen vaikutukset liikennejärjestelmään ovat haastavia seurantakohteita, koska sään ääri-ilmiöiden ja liikennejärjestelmävaikutusten keskinäiset riippuvuudet ovat epäsuoria. Liikenteen rahoitustasot, säätiedotukset ja liikenneturvallisuuskulttuuri sekä ajoneuvoteknologian kehitys, infrastruktuurin resilienssin parantaminen ja toimintamallien kehitys vaikuttavat huomattavasti mitattaviin ilmiöihin. Tulevaisuudessa MMTIS-asetus lisää raportointivelvoitteita pitkänmatkaisen liikenteen myöhästymisten syistä, jolloin eri henkilöliikenteen kulkumuotojen (linja-autoliikenne, lentoliikenne, junaliikenne) voi syntyä vertailukelpoisia aineistoja myöhästymisistä ja niiden taustasyistä. Juurisyiden tunnistaminen vaatii pelkkiä mittareita syvällisempää tilastollista mallintamista sekä asiantuntija-arvioita.

6 Lähdeluettelo

- Arnkil N., Lilja-Rothsten S., Juntunen R., Koistinen A., & Lahti E. 2017. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen indikaattorit seurannan työkaluna. Tapion raportteja nro 17. Saatavilla: https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/12/Ilmastonmuutokseen-sopeutumisen-indikaattorit_Tapion-raportteja-17.pdf
- Christodoulou A. & Demirel H. 2018. Impacts of climate change on transport – A focus on airports, seaports and inland waterways. JRC Scientific and Policy Reports. Euroopan unionin julkaisutoimisto. Saatavilla: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC108865/jrc108865_final.pdf
- Climate-ADAPT. 2023. Indicators in Climate-ADAPT. Euroopan ympäristökeskus. Saatavissa: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/c-a-indicators/c-a-indicators>. Viitattu 15.12.2023.
- Euroopan ympäristökeskus. 2022. Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/publications/economic-losses-and-fatalities-from>.
- Frauenfelder R., Solheim A., Isaksen K., Romstad B., Dyrddal A. V., Ekseth K. H. H., Harbitz, A., Harbitz C.B., Haugen J. E. Hygen H. O., Haakenstad H., Jaedicke C., Jónsson Á., Klaebo, R., Ludvigsen J., Meyer N. M., Rauken T., Skaland R. G., Sverdrup-Thygeson K., Aaheim A., Bjordal H. & Faveng P-A. 2017. Impacts of extreme weather events on transport infrastructure in Norway. Natural Hazards Eather System Sciences Discussions.
- Gooneseckera S.M. & Olazabal M. 2022. Climate adaptation indicators and metrics: State of local policy practice. Ecological Indicators 145. Saatavilla: <https://zenodo.org/records/5705687> (mittaristo).
- 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. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021.
- Gössling S., Neger C., Steiger R. & Bell R. 2023. Weather, climate change, and transport: a review. Natural Hazards 118, s. 1341–1360.
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2023. Sopeutuminen. Saatavilla: <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/sopeutuminen/>. Viitattu 29.11.2023.
- Hildén M., Tikkakoski P., Sorvali J., Mettiäinen I., Käyhkö J., Helminen M., Määttä H., Berninger K., Merläinen P., Ahonen S., Kolstela J., Juhola S., Tynkkynen O., Gregow H., Groundstroem F., Halonen J.I., Munck af Rosenschöld J., Tuomenvirta H., Carter T., Lehtonen H., Luomaranta A., & Mäkelä A. 2022. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen Suomessa – nykytila ja kehitysnäkymät.
- Ilmatieteen laitos. 2023. Varautuminen vaaraa aiheuttavien sääilmiöiden vaikutuksiin paranee – taustalla ainutlaatuinen sää- ja ilmastotietokanta. Tiedote. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1HySJByssC48GS5OGpoZrv>. Päivitetty 7.4.2023.

Ilmasto-opas 2023. Ilmastomuutos aiheuttaa haasteita maantieliikenteelle. Saatavilla: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastonmuutos-aiheuttaa-haasteita-maantieliikenteelle>. Viitattu 23.10.2023.

Jernbanedirektoratet 2021. Jernbanestatistikk 2020. Saatavilla: [https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets-ddf168e9966a4312aae17d86c8b8f91a/jdir-arsrapport-2020.pdf](https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/ddf168e9966a4312aae17d86c8b8f91a/jdir-arsrapport-2020.pdf).

Leviäkangas P., Molarius R., Könönen V., Zulkarnain Z., & Hietajärvi A.-M.. 2013. Devising and Demonstrating an Extreme Weather Risk Indicator for Use in Transportation Systems. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2329, s. 45-53.

Liljegren E. 2018. Regeringsuppdrag om Trafikverkets klimatanpassningsarbete. Trafikverket 2018:195. Saatavilla: <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1364649/FULLTEXT01.pdf>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2023. Ilmastomuutokseen liittyvät alueelliset ominaispiirteet ja haavoittuvuudet Suomessa. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2023:11.

Mäkinen K., Prustsch A., Karali E., Leitner M., Völler S., Lyytimäki J., Pringle P., & Vanneuville W. 2018. Indicators for adaptation to climate change at national level – Lessons from emerging practice in Europe. Saatavilla: https://www.eionet.europa.eu/etc/etc-cca/products/etc-cca-reports/tp_3-2018 (raportti ja liiteaineisto).

Nemry F. & Demirel H. 2012. Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures. JRC Scientific and Policy Reports. Euroopan komission julkaisutoimisto. Saatavilla: <https://core.ac.uk/download/pdf/38625027.pdf>

Perrels A., Haakan 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. Kustannusarviointi ilmastomuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:37. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164032/VNTEAS_2022_37.pdf

Punkka A.-J. & Kämäräinen M. Severe Weather Impact Database and Impact-based Forecasts by Utilizing Machine-Learning Technology. 11th European Conference of Severe Storms. Saatavilla: <file:///C:/Users/TommiKantala/Downloads/ECSS2023-83-print.pdf>.

Tuomenvirta H., Haavisto R., Hildén M., Lanki T., Luhtala S., Meriläinen P., Mäkinen K., Parjanne A., Peltonen-Sainio P., Pilli-Sihvola K., Pöyry J., Sorvali J. & Veijalainen N. 2018. Sää- ja ilmastoriskit Suomessa – Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018.

Traficom 2023a. Liikennejärjestelmän ympäristöllinen kestävyys. Saatavilla: <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikennejarjestelman-ymparistollinen-kestavyys>. Päivitetty 11.9.2023.

Traficom 2023b. Hallitusohjelmaa toteuttava liikenne- ja viestintäministeriön ja Liikenne- ja viestintäviraston välinen tulossopimus 2020–2023. Tulossopimus 26.1.2023, VN/2753/2020.

USAID 2012. Transportation – Addressing climate change impacts on infrastructure: preparing for change. Saatavilla: https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/Infrastructure_Transportation.pdf.

Vajda A., Tuomenvirta H., Juga I., Nurmi P., Jokinen P. & Rauhala J. 2013. Severe Weather affecting European transport systems: the identification, classification and frequencies of events. *Natural Hazards*, 72(1), 169–188.

Umweltbundesamt 2023. Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Saatavilla: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/das-monitoring-bericht_2023_bf.pdf

Valtioneuvosto 2022. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta ilmastomuutoksen sopeutumis suunnitelmasta 2030. Valtioneuvoston selonteko 15/2022.

Väylävirasto 2020. Rautateiden aikataulusuunnittelu ja ratakapasiteetin hallinta Suomessa. Väyläviraston julkaisu 28/2020.

Väylävirasto 2023a. Ilmastomuutokseen sopeutuminen väylänpidossa. Nykytilaselvitys. Väyläviraston julkaisu 27/2023.

Väylävirasto 2023b. Suomen talvimerenkulku – Ohjeita talvimerenkulun toimijoille. Talvi 2023–2024.

YK:n tilasto-osasto. 2023. Climate Change Statistics and Indicators Self-Assessment Tool (CISAT). Saatavilla: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/53rd-session/documents/BG-3m-Globalsetandmetadata-E.pdf>. Päivitetty 31.1.2023

Ympäristöministeriö & Tilastokeskus 2023. Finland's Eight National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavilla: https://www.stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/fi_nc8_final.pdf

Wang T., Qu T., Yang Z., Nichol T., Clarke G. & Ge Y.-E. 2020. Climate change research on transportation systems: Climate risks, adaptation and planning. *Transportation Research Part D*, 88.

Willbanks T., Zimmerman R., Julius S., Kirshen P., Smith J., Moss R., Solecki W., Ruth M., Conrad S., Fernandez S., Matthews M., Savonis M., Scarlett L., Schwartz H. jr. & Toole L. 2020. Toward indicators of the performance of US infrastructures under climate change risks. *Climate Change* 163, s. 1795–1813.

Liite 1. Työn aikana tunnistettuja vaikutuksia kuvaavia aineistoja ja mittariaihioita

Ilmatieteen laitoksen ja Huoltovarmuuskeskuksen SILVA-hankkeessa koostettiin useista lähteistä ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyviä tietokantoja. Taulukossa 14 on kuvattu aineistot, niiden lähteet sekä aikasarjan pituus sekä havaintojen lukumäärä.

Taulukko 14. SILVA-hankkeessa koostettu vaikutustietokanta

Aineisto	Lähde	Aikasarjan pituus	Havaintojen lkm
Säästä aiheutuneet vahingontorjuntatehtävät	Pronto-tietokanta (Pelastustoimi)	22 vuotta	130 tuhatta
Maastopalotehtävät	Pronto-tietokanta (Pelastustoimi)	22 vuotta	63 tuhatta
Liikenneonnettomuustehtävät (raivaus)	Pronto-tietokanta (Pelastustoimi)	22 vuotta	281 tuhatta
Meripelastustehtävät	Rajavartiolaitos	7 vuotta	11 tuhatta
Vesipelastustehtävät (meri- ja järvialueet)	Meripelastusseura	20 vuotta	1 tuhat
Tieliikenneonnettomuudet ³	Vakuutusyhtiöt	24 vuotta	1,1 miljoonaa
Liukastumistapaturmat ⁴	Vakuutusyhtiöt	17 vuotta	78 tuhatta
Tulvavahinkoraportit	Vakuutusyhtiöt	21 vuotta	4,2 tuhatta
Kiitotierajoitukset	Finavia (Helsinki-Vantaa)	8 vuotta	0,3 tuhatta
Sähkökatkokset	Enerity Solutions/Energiäteollisuus	2 vuotta ⁵	1,3 miljoonaa
Junaliikenteen myöhästymiset	Digitraffic/Fintraffic	6 vuotta	210 tuhatta
Maanteiden kunnossapitotoimet	Digitraffic/Fintraffic	6 vuotta	27 miljoonaa

³ Vain maantienopeuksissa tapahtuneet onnettomuudet

⁴ Työ-/työssäkäyntimatkoilla tapahtuneet tapaturmat

⁵ Verkossa tapahtuvien muutosten (esimerkiksi maakaapeloinnin) vuoksi vanhat tiedot eivät anna oikeaa kuvaa vaikutuksista

Taulukkoon 15 on listattu kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella tunnistettuja mittariaihioita, jotka voivat joiltain osin mitata ilmastonmuutoksen vaikutuksia liikennejärjestelmässä. Osa mittareista ovat sovellettavissa useisiin kulkumuotoihin. Mittariaihioita ei ole määritelty tarkasti ja osa mittariaihioista voi sisältää useita alimittareita tai toteutus on mahdollista useilla eri tavoilla tai aineistoilla.

Taulukko 15. Työssä tunnistettuja mittariaihioita.

Kategoria	Mittari	Huomiot
Onnettomuudet	Liukastumis- ja kaatumisonnettomuudet	Kävely ja pyöräily. Seuranta voi katata määriä tai kustannuksia. Tiedollisia ongelmia, syy-yhteys ilmastonmuutokseen ja keliin on epävarma. Ilmatieteen laitokselta saatavilla ilmaston kehityksestä.
Onnettomuudet	Meriliikenteen läheltä piti tapahtumamäärät	Haasteita seurausketjussa. Yleensä inhimillinen virhe, keli on voinut myötävaikuttaa.
Onnettomuudet	Meriliikenneonnettomuusilmoitusten kasvu sää-syykoodilla	Tieto perustuu laivan kapteenien ilmoitukseen, vuositasolla onnettomuuksia sattuu vähän.
Onnettomuudet	Työterveysvaikutukset	Haasteellinen mitattava, aineistot pääosin liikenteen hallinnon ulkopuolella.
Onnettomuudet	Pelastuslaitosten onnettomuustilastojen trendit	Havaintoja paljon, lisäksi alueellinen seuranta mahdollista.
Onnettomuudet	OTKES tutkimukset	Havaintojen määrä pieni.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Korjausvelan kasvu	Liikenteen rahoitustaso vaikuttaa ilmastonmuutosta enemmän.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Sorateiden materiaalin kulutusmäärät	Valtion tieverkon kuntoa seurataan Väyläviraston toimesta. Yksityisen tieverkon tietoja ei ole kattavasti saatavilla.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Kunnossapitourakoiden lisätyökustannukset	ELY-keskusten välillä eroja kirjauksissa. SAMPO yhteyshenkilöt ELYissä.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Kunnossapitotehtävät	Tie- ja katuverkolta kootusti saatavilla Fintrafficilta.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Liukkaudentorjunta-aineiden määrät (suola, hiekka jne.)	Määrät vaihtelevat vuositasolla merkittävästi, yhteys ilmastonmuutokseen epävarma. Toimintamallit ja rahoitus sekä kunnossapidon yleinen kustannuskehitys vaikuttavat hintaan.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Lentokoneiden jäänpoistotoiminta	Jäänpoistotoiminta-aineiden määrät.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Traficomin kunnossapidon laatuseuranta, palvelutaso-poikkeamat (liukaus ja lumi)	Poikkeamat asetetusta kunnossapidon laatutasosta.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Asfaltin kunto	Väylävirasto toteuttaa paljon erilaisia mittauksia asfalttipinnoille.

Kunnossapito ja infrastruktuuri	Ratamittausten tulokset	Kiskojen sijaintitieto ja poikkeamat. Kytkeäntä ilmastomuutokseen haasteellista, korjausvelka ja puutteellisesti suunnitellut rakenteet, liikennemäärät ja tavaraliikenteen akselimasat aiheuttavat enemmän muutoksia.
Kunnossapito ja infrastruktuuri	Myrskyjen aiheuttamien vaurioiden kustannukset/korvauskustannukset	Yksilöinti kunnossapitotiedoista haastavaa. Kirjausten taso vaihtelee.
Palvelutaso	Talvikauden avustustehtävät meriliikenteessä	Ilmatieteen laitoksen ja Väyläviraston vuosittainen raportointi kuvaa avustuspäivien kumulatiivista summaa.
Palvelutaso	Rataverkon häiriöiden väyläpituus	Häiriötiedotteiden perusteella vaikutuksen kohteena olevan tieverkon pituus (vaikutusalue). Vaikutusten laajuudesta saatavilla oleva tieto on pistemäistä lukumäärätietoa heikommalla tasolla.
Palvelutaso	Rataliikenteen nopeus- tai painorajoitukset	Rajoituksia asetetaan infran ikääntymisen, melun, tärinän tai turvallisuuden vuoksi. Ilmastomuutoksen vaikutus vähäinen.
Palvelutaso	Tieverkon häiriöiden väyläpituus	Häiriötiedotteiden perusteella vaikutuksen kohteena olevan tieverkon pituus (vaikutusalue). Vaikutusten laajuudesta saatavilla oleva tieto on pistemäistä lukumäärätietoa heikommalla tasolla.
Palvelutaso	Perutut vuorot	Junat, metro, lentoliikenne, raitiovau- nut, pitkän matkan bussiliikenne, lauat/laivat. MMTIS/MDMS-asetus vaatii seuraamista myöhästymisistä. Traficom käy läpi lentojen peruuntumiset korvaustapausten vuoksi.
Palvelutaso	Tieliikenteen säästä johtuvat häiriötiedotteet	Trendien seuranta, alueellinen seuranta. Häiriötiedotteita voidaan seurata sääilmiön mukaan jaoteltuna, koska kesä- ja talvikauden ilmiöt ovat erilaisia. Kesällä vaikutukset ovat usein lyhytkestoisia ja paikallisia, talvella esimerkiksi runsas lumisade voi vaikuttaa laajoille alueilla ja aiheuttaa pitkäkestoisia häiriöitä.
Palvelutaso	Täsmällisyys tai viiveet liikenteessä	Sään ääri-ilmiöt näkyvät liikenteen täsmällisyydessä. Kelitiedon ja täsmällisyydestietojen korrelaatiot. Tieliikenteessä esim. LAM-piste nopeudet suhteessa laskennallisiin maksimeihin. Junaliikenteessä myöhästymiset ja syykoodit ("sää"). Ilmailussa myöhästymiset tai lentojen perumiset. Kaupunkiliikenteessä ajamattomat vuorot, juurisyytä saatavilla junaliikennettä heikommin.

Palvelutaso	Matkustajamäärät	Kytkentä ilmastonmuutoksen pitkä vaikutusketjun tulos.
Palvelutaso	Kulkumuoto-osuudet	Kytkentä ilmastonmuutoksen pitkä vaikutusketjun tulos.
Palvelutaso	Kuljetusmuoto-osuudet	Kytkentä ilmastonmuutoksen pitkä vaikutusketjun tulos.
Palvelutaso	Ajoneuvojen sisälämpötilat	Matkustusmukavuus esim. helleaaltojen aikana, kuljettajien työturvallisuus ja onnettomuusriskit (esim. heliupumiset).
Palvelutaso	Kaupunkipyörien käyttökauden pituus	Kauden pituus ei ole täysin riippuvainen sää- ja keliolosuhteista.
Palvelutaso	Talvisin käytössä olevien satamien tai satamalaitteiden lukumäärä	Aiheesta ei ole tilastointia.
Palvelutaso	Satamien avustusrajoitukset	Avustusrajoitusten määrän muutokset. Tiedot saatavilla Ilmatieteen laitoksen raporteista.
Palvelutaso	Matkustusmukavuus palautteet, erityisesti lämpötila	Matkustajakokemuksen seuraaminen asiakastyytyväisyysaineistoista. Aineistot ovat vapaata tekstiä, analysointi haastavaa.
Palvelutaso	Suomeen suuntautuvan matkailun kehitys	Ilmastonmuutos voi muuttaa turismia.
Palvelutaso	Liikenteen sujuvuus	Fintrafficin tieosuuskohtaiset liikenteen sujuvuustiedot. Laskentatapaa ollaan uudistamassa ja tällä hetkellä raportointi on vain kokonaiskuvasta.
Palvelutaso	Alusten jääluokkien kehitys	Traficomin rekisteritiedot. Aluskannan kehitys on riippuvainen muista tekijöistä, kuin Itämeren jäätilan-teen kehityksestä.
Palvelutaso	Muuttuvat nopeusrajoitukset	Muuttuvien nopeusrajoitusten alentaminen sää- ja keliolosuhteiden vuoksi.
Palvelutaso	Tieverkon painorajoitukset	Sisältää myös vaikutusalueen (pituus, km).
Palvelutaso/Sää- ja kelitiedot	Liikennesäävaroitukset	Fintraffic
Palvelutaso/Sää- ja kelitiedot	Ajokeli	Ilmatieteen laitos / Fintraffic
Sää- ja kelitieto	Nollarajan ohitukset	Ilmatieteen laitos
Sää- ja kelitieto	Tulvien esiintymistiheys	Ilmatieteen laitos
Sää- ja kelitieto	Lumisumma	Ilmatieteen laitos
Sää- ja kelitieto	Jäättilastot	Ilmatieteen laitos / Väylävirasto / Baltice
Sää- ja kelitieto	Vuotuinen sademäärä	Ilmatieteen laitos

Sää- ja kelitieto	Hellepäivien lukumäärä	Ilmatieteen laitos
Sää- ja kelitieto	Termisen talven pituus	Ilmatieteen laitos
Sää- ja kelitieto	Sademäärä	Ilmatieteen laitos

Työn aikana tunnistettiin tietoaineistoja, joiden avulla ilmastonmuutoksen vaikutusten seuranta voi olla mahdollista. Tunnistetut tietoaineistot on koostettu taulukkoon 16.

Taulukko 16. Mahdollisia tietoaineistoja seurannan toteuttamiseksi

Tietoaineisto	Omistaja	Kuvaus
Poliisin tietojärjestelmä PATJA	Poliisi/Tilastokeskus	Tieliikenneonnettomuudet.
Liikennevahinkorekisteri (LVK)	Vakuutusyhtiöt	Tieliikenneonnettomuudet. Hyödynnetty esimerkiksi SILVA-hankkeessa.
Työmatkojen liukastumistapaturmat	Vakuutusyhtiöt	Hyödynnetty esimerkiksi SILVA-hankkeessa.
Hoitoilmoitusrekisteri HILMO	Sairaalat	Liukastumistapaturmat, tieliikenneonnettomuudet.
Onnettomuustutkimintaraportit	Onnettomuustutkimintoinstituutti	Eryteisesti kuolemaan johtaneet onnettomuudet.
Tutkintaselostukset	Onnettomuustutkimintakeskus	Kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien tutkintaselostukset.
Turvallisuuspoikkeamine ja riskienhallinnan tietojärjestelmä TURI	Väylävirasto	Väyläviraston ja ELY-keskusten hankkeiden ja urakoiden turvallisuuspoikkeamien seuranta.
HARJA-kunnossapitotiedot	Väylävirasto	Maanteiden kunnossapidon reaaliaikaiset tiedot. Väylien olosuhteet, tiedot toimenpiteistä.
Talvimerenkulun avustusrajoitukset	Väylävirasto	Tiedot talvisatamien avustusrajoituksista.
Digitraffic -avoimet tietoaineistot	Fintraffic	Tiesääasemien mittaustiedot, ke- liennusteet, liikenteen automaattiset mittaustiedot (LAM), liikennetiedotteet, maanteiden kunnossapitotiedot, jalankulun ja pyöräilyn mittaustiedot, junien syykoodit, perutut vuorot ja myöhästymiset aikataulusta, varoitukset merenkuljoille, talvikaudeksi vesiliikenteeltä suljetut väylät, satamakäynnit (Portnet).
Digitransit -avoimet tietoaineistot	Fintraffic	Joukkoliikenteen tiedot. Perutut vuorot, aikataulupoikkeamat.
Tieliikennekeskuksen tietoaineistot	Fintraffic Tie	Esimerkiksi liikennetiedotteet ja sujuvuustieto.
Rataliikennekeskuksen häiriötiedotteet	Fintraffic Raide	Raideliikenteen liikenne- ja poikkeamatiedot.
Meriliikennekeskukset (VTS) tietoaineistot	Fintraffic VTS	Meriliikenteen liikenne- ja poikkeamatiedot.
Lennonvarmistuksen tietoaineistot	Fintraffic ANS	Ilmailun turvallisuuspoikkeamat ja ilmatilarajoitukset.
PRONTO	Pelastustoimi	Liikenneonnettomuudet, väylille kaatuneiden puiden ym. esteiden poisto.

Säähavaintojen aika-sarjat	Ilmatieteen laitos	Säähavaintoasemien mittauksista ja havainnoista laskettuja arvoja vuorokausi- ja kuukausitasolla. Keski- ja ääriarvotilastot.
Jäätilastot	Ilmatieteen laitos	Sanalliset jäätalvikuvaukset ja tuoreemmissa raporteissa myös avustustilastot.
Sää- ja ilmastovaikutustietokanta (SILVA)	Ilmatieteen laitos	Aikasarjoja liikenneonnettomuuksista, työmatkojen liukastumistapaturmista, pelastustoimen tehtävistä ja tieverkon kunnossapitotehtävistä päiväkohtaisesti. Osittain avoimesti saatavilla.
Varoitusarkisto	Ilmatieteen laitos	Aineisto on saatavilla 29.6.2020 alkaen.
Vesiliikenneonnettomuudet	Traficom	Tiedot vesiliikenteen onnettomuuksista ja läheltä piti -tilanteista.
Kauppamerenkulun vaaratilanteet ja onnettomuudet	Traficom	Yksi syykoodeista on ”ympäristö”. Kapteenien tuottamat tiedot ja arviot syistä.
Kauppalaivastoon kuuluvat alukset jääluokittain	Traficom	Erityisesti eri jääluokkiin kuuluvien alusten lukumäärät ja niiden kehitys.
Ilmailun poikkeukselliset olosuhteet	Traficom	Lentoliikenteen harjoittaja voi vapautua EU:n lentomatkustajille takaamien oikeuksien mukaisten korvausten maksamisesta, mikäli lennon viivästyminen tai peruuntuminen johtuu poikkeuksellisista olosuhteista (sää). Traficom käy tapaukset läpi ja määrittää, ovatko olosuhteet olleet poikkeukselliset.
Ilmailun poikkeamatiedot	Traficom	Ilmailun ”läheltä piti” -ilmoitukset.
Pooki	Väylävirasto	Vesiväylätietojen järjestelmä. Häiriötietojen kirjaaminen.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

PL 320, 00059 TRAFICOM

p. 029 534 5000

traficom.fi

ISBN 978-952-311-941-3

ISSN 2342-0294 (verkkojulkaisu)

TRAFICOM
Liikenne- ja viestintävirasto