



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
27/2023

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen väyläpidossa

Nykytilaselvitys



Sini Haulos, Pirita Meskanen, Kim Brander, Saara Vauramo,
Taavi Dettenborn, Jere Metsävuo

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen väylänpidossa

Nykytilaselvitys

Väyläviraston julkaisuja 27/2023

Kannen kuva: Jussi Helttunen, Kelirikko. Väylävirasto

Verkkajulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-063-0

Tämän dokumentin sisältö ei ole kaikilta osin saavutettava.

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Sini Haulos, Pirita Meskanen, Kim Brander, Saara Vauramo, Taavi Dettenborn, Jere Metsävuori: Ilmastonmuutokseen sopeutuminen väylänpidossa - Nykytilaselvitys. Väylävirasto Helsinki 2023. Väyläviraston julkaisuja 27/2023. 81 sivua ja 3 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-063-0.

Avainsanat: ilmastonmuutos, sopeutuminen, ilmastokestävyys, resilienssi

Tiivistelmä

Väylävirastossa on suunniteltu ja toteutettu ilmastonmuutoksen sopeutumiseen liittyviä toimenpiteitä vuodesta 2007 lähtien, kuten tiedonkeruun ja tietojen hyödyntämisen kehittäminen (mm. sää- ja olosuhdetiedot), teiden kuivatusjärjestelmien kehittäminen, mitoitus- ja suunnitteluohjeiden päivittäminen, ilmastonmuutoksen huomioiminen ohjeissa ja toimintalinjoissa (mitoitus- ja suunnitteluohjeet, kunnossapidon toimintalinjat, talvihoidon toimintalinjat jne.) sekä turvalaitteiden kehittäminen. Esitettyjen toimenpiteiden toteutumista ei ole kuitenkaan järjestelmällisesti seurattu, minkä vuoksi kokonaisvaltainen tilannekuva ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ei ollut selvillä. Lisäksi koti- ja ulkomaisten selvitysten ja tutkimusten hyödyntämismahdollisuuksia esimerkiksi vaikutusten ja haavoittuvuuden arvioinnissa sekä sopeutumistoimien määrittelyssä, kohdentamisessa ja merkittävyyden arvioinnissa ei ollut selvitetty.

Työssä tehtiin nykytilannekatsaus Väyläviraston eri väylämuotojen ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja tuotettiin tutkimuskatsaukseen, aiempiin selvityksiin ja Väyläviraston asiantuntijoiden näkemyksiin perustuen toimenpide-ehdotuksia väyläverkon ilmastoresilienssin kehittämiseksi. Näiden toimenpide-ehdotusten toteuttamisen edellytyksiä ja vaatimuksia sekä vaikuttavuutta, toteuttamisen aikataulua ja alustavaa priorisointia työstettiin asiantuntijatyöpajoissa, joissa tuotettiin myös arviot toteutukseen liittyvistä riskeistä ja mahdollisuuksista.

Yhteenvedon voidaan todeta, että työ ilmastonmuutokseen sopeutumisen osalta on Väylävirastossa aloitettu ja monia tärkeitä ja relevantteja toimenpiteitä on tunnistettu ja määritetty jo vuosia sitten. Työtä tulee jatkaa yhä aktiivisemmalla ja koordinoidummalla otteella. Asetettuja toimenpiteitä seuraamalla ja tuloksia mitaamalla, tiedonhallinnan kehittämisellä, yhteistyöllä ja vuoropuhelulla eri väylämuotojen kesken sekä resursseja kohdistamalla saadaan luotua hyvät edellytykset ilmastonmuutokseen sopeutumisen työlle. Säännöllinen viestintä saavutetuista tuloksista ja onnistumisista on tässäkin työssä tehokas tapa lisätä sitoutuneisuutta. Ilmastonmuutoksen sopeutumisen työssä on varmistettava, että toteuttamiseen valitut keinot ja toimenpiteet ovat linjassa myös ilmastonmuutoksen hillinnän sekä luonnon monimuotoisuuden tukemiseen liittyvien tavoitteiden kanssa.

Sini Haulos, Pirita Meskanen, Kim Brander, Saara Vauramo, Taavi Dettenborn, Jere Metsävuori: Anpassning till klimatförändringen i trafikledsunderhållet - Redovisning av nuläget. Trafikledsverket. Helsingfors 2023. Trafikledsverkets publikationer 27/2023. 81 sidor och 3 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-063-0.

Sammanfattning

I Trafikledsverket har det sedan 2007 planerats och genomförts åtgärder för anpassning till klimatförändringen, såsom informationsinsamling och utveckling av informationsutnyttjandet (bl.a. information om väder och väglag), utveckling av torkningssystem för vägarna, uppdatering av dimensionerings- och planeringsanvisningar, beaktande av klimatförändringen i anvisningar och handlingslinjer (dimensionerings- och planeringsanvisningar, handlingslinjer för underhåll, handlingslinjer för vinterväghållning osv.) samt utveckling av säkerhetsanordningar. Genomförandet av de föreslagna åtgärderna har dock inte följts upp systematiskt, och därför har det inte funnits någon heltäckande lägesbild av anpassningen till klimatförändringen. Dessutom var möjligheterna att utnyttja inhemska och utländska studier och utredningar, till exempel vid bedömning av konsekvenser och sårbarhet samt vid definiering, inriktning och signifikansbedömning av anpassningsåtgärder inte undersökta.

I arbetet gjordes en nulägesgranskning av anpassningen av Trafikledsverkets olika trafikledsformer till klimatförändringen och baserat på studiegranskningen, tidigare utredningar och synpunkter från Trafikledsverkets experter producerades det åtgärdsförslag för utveckling av trafikledsnetzets klimatresiliens. Förutsättningarna och kraven för genomförande av dessa åtgärdsförslag samt effektiviteten, tidsplanen för genomförande och en preliminär prioritering utarbetades i expertworkshoppar, vid vilka det också togs fram bedömningar av risker och möjligheter med anknytning till genomförandet.

Som sammanfattning kan man konstatera att vid Trafikledsverket har man inlett arbetet med anpassning till klimatförändringen, och många viktiga och relevanta åtgärder har identifierats och definierats redan för flera år sedan. Arbetet måste därför fortsätta med ett ännu mer aktivt och samordnat grepp. Genom uppföljning av de fastställda åtgärderna och mätning av resultaten, utveckling av informationshanteringen, samarbetet och dialogen mellan de olika trafikledsformerna samt inriktning av resurserna kan goda förutsättningar skapas för arbetet med anpassning till klimatförändringen. Även i detta arbete är regelbunden kommunikation om uppnådda resultat och framgångar ett effektivt sätt att öka engagemanget. I arbetet med anpassning till klimatförändringen måste det säkerställas att de metoder och åtgärder som väljs för genomförandet också är i linje med mål som anknyter till begränsning av klimatförändringen samt stöd till biologisk mångfald.

Sini Haulos, Pirita Meskanen, Kim Brander, Saara Vauramo, Taavi Dettenborn, Jere Metsävuori: Adapting to climate change in transport infrastructure management - Report on current status. Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2023. Publications of the FTIA 81 pages and 3 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-063-0.

Abstract

Since 2007, the Finnish Transport Infrastructure Agency has planned and implemented measures related to climate change adaptation. These have included the development of data collection and utilisation (including weather and traffic condition data), the development of road drainage systems, updates of design dimension and planning guidelines, addressing climate change in guidelines and policies (design dimension and planning guidelines, maintenance policies, winter maintenance policies, etc.) and the development of safety devices. However, the implementation of the listed measures has not been systematically monitored, which is why a comprehensive understanding of the state of adaptation to climate change has not been available. In addition, the possibilities of using Finnish and international reports and studies in areas such as impact and vulnerability assessments and the definition, targeting and impact assessment of adaptation measures had so far been unexplored.

The project produced a report on the current status of climate change adaptation measures by road, rail and water transport administered by the Finnish Transport Infrastructure Agency and proposals for measures to improve the climate resilience of the transport network based on a literature review, previous studies and the views of the Agency's experts. The prerequisites and conditions for the implementation of the proposed measures, as well as their effectiveness, timetable for implementation and preliminary prioritisation were discussed in workshops with experts. Assessments of the risks and opportunities of the implementations were also produced in the workshops.

In summary, it can be stated that efforts to adapt to climate change have begun at the Finnish Transport Infrastructure Agency and many important and relevant measures have been identified and defined years ago. To build on this foundation, work must continue with an increasingly active and coordinated approach. By tracking the implemented measures and their results, developing information management, cooperation and dialogue between different modes of transport and allocating resources, it is possible to create good conditions for the efforts to adapt to climate change. Regularly communicating on results and successes is an effective way to increase commitment to the efforts. As steps are taken to adapt to climate change, it must be ensured that the chosen measures are also in line with goals related to climate change mitigation and protection of biodiversity.

Esipuhe

Väylävirasto tilasi kesäkuussa 2022 Ramboll Finland Oy:ltä selvitystyön Väyläviraston ilmastomuutoksen sopeutumisen tilannekuvan selvittämiseksi sekä sopeutumistarpeiden tunnistamiseksi. Tavoitteena oli sopeutumisen nykytilatietoa koskevan tarkastelun pohjalta muodostaa kokonaiskuva ilmastomuutokseen sopeutumisen ja väyläverkon ilmastokestävyyden edistämisen edellyttämistä selvitys-, kehittämis- ja toimenpidetarpeista.

Työn laatimiseen ovat osallistuneet Sini Haulos, Pirita Meskanen, Kim Brander, Saara Vauramo, Taavi Dettenborn ja Jere Metsävuori Ramboll Finland Oy:stä. Väylävirastosta työtä ovat ohjanneet Soile Knuuti ja Marketta Hyvärinen. Työtä ohjasi myös ohjausryhmä, johon kuuluivat Väylävirastosta lisäksi Paula Kajava, Jaakko Knuutila, Otto Kärki, Vesa Männistö, Laura Noukka, Tapio Ojanen, Jarkko Toivola ja Jukka P. Valjakka.

Helsingissä huhtikuussa 2023

Väylävirasto
Väylänpito

Sisältö

1	JOHDANTO.....	8
2	TUTKIMUSKATSAUS ILMASTONMUUTOKSEEN SOPEUTUMISESTA VÄYLÄNPIDOSSA JA LIIKENTEESSÄ.....	10
2.1	Virastotasoiset selvitykset	10
2.1.1	Sopeutuminen ja varautuminen tienpidossa	10
2.1.2	Sopeutuminen ja varautuminen radanpidossa	12
2.1.3	Sopeutuminen ja varautuminen vesiliikenteessä ja vesiväylillä	14
2.1.4	Liikennesektorin sopeutumisen tutkimustarpeet	15
2.2	Kansalliset suunnitelmat ja selvitykset.....	17
2.2.1	Kansallinen ilmastomuutoksen sopeutumisen suunnitelma.....	17
2.2.2	Sää- ja ilmatoriskit Suomessa.....	20
2.2.3	Ilmastomuutoksen kustannusvaikutusten arviointi	20
2.3	Kansainvälinen sopeutumistyö.....	22
2.3.1	Kanada	22
2.3.2	Ruotsi.....	25
2.3.3	Norja.....	28
2.3.4	Monikansalliset tutkimukset.....	31
3	TOIMENPITEET SOPEUTUMISEN EDISTÄMISEKSI.....	40
3.1	Aiemmat toimenpide-esitykset ja niiden toteutuminen	40
3.1.1	Kuvaus työvaiheen työmenetelmistä.....	40
3.1.2	Väylämuotokohtaiset sopeutumisselvitykset ja toimenpiteiden toteutumisen tilanne.....	40
3.2	Selvitys-, kehittämis- ja toimenpide-ehdotukset	48
3.2.1	Kuvaus työvaiheen työmenetelmistä.....	48
3.2.2	Toimenpide-ehdotukset.....	51
4	YHTEENVETO	71
4.1	Tutkimuskatsaus ilmastomuutokseen sopeutumisesta väylänpidossa ja liikenteessä.....	71
4.2	Toimenpiteet sopeutumisen edistämiseksi	72
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	74
	LÄHDELUETTELO.....	75

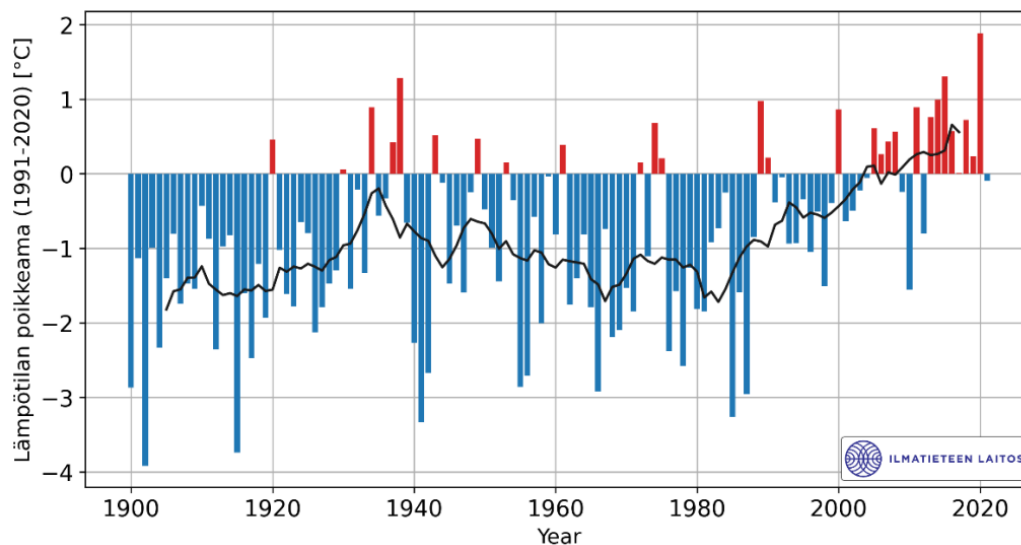
LIITTEET

Liite 1	Ruotsin ilmastomuutoksen tunnistetut ja odotetut vaikutukset ja seuraukset liikenteelle ja infrastruktuurille
Liite 2	Katsaus tieteellisiin tutkimuksiin
Liite 3	Työpajojen osallistujat

1 Johdanto

Ilmastomme tulee muuttumaan sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä arvaamattomammaksi ja monella tapaa rankemmaksi. Muuttuva ilmasto vaikuttaa liikenneinfrastruktuurin kaikkiin väylämuotoihin tulevana vuosina, mutta etenkin pitkän aikavälin hitaasti tapahtuvilla muutoksilla arvioidaan olevan merkittäviä vaikutuksia liikenneinfrastruktuuriin. Väylänpitoa ja väyläinfraa on sopeutettava, ja näistä vastaavien organisaatioiden on otettava sopeutuminen huomioon toiminnassaan.

Tulevien muutosten yksityiskohtaisia on vaikea ennakoida ja ennustaa, koska historiallisen ilmastotiedon perusteella vain trendi on nähtävissä. Suomen keskilämpötila on jo noussut viime vuosikymmeninä, kuten alla oleva kuva havainnollistaa (Kuva 1). Ilmatieteen laitoksen mukaan Suomen vuosikeskilämpötila on kohonnut viimeisen 40 vuoden aikana 0,2...0,4 astetta vuosikymmenessä (n.d.). Ilmatieteen laitoksen syyskuussa 2021 julkaistun ilmastokatsauksen mukaan lämpötilan kohoaminen on pääosin tapahtunut viimeisen 10–15 vuoden aikana, eli vauhti on kiihtynyt. Lämpötilan nousu ei ole tapahtunut vuositasolla tasaisesti ja talvikuukausien lämpötilanousu on ollut suhteellisesti suurempi kuin kesällä, minkä ennustetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa (Jylhä & Lehtonen, 2022).



Kuva 1. Suomen keskilämpötilojen kehitys vuosina 1900–2020, jossa siniset palkit ovat alle 0-asteen ja punaiset yli 0-asteen vuosittaiset keskilämpötilat (Ilmatieteen laitos, 2021).

Ilmastonmuutoksella on ennen kaikkea vaikutuksia Suomen talviolosuhteisiin. Talven kovat pakkasjaksot käyvät harvinaisemmiksi ja kesäisin helleaallot yleistyvät ja kestävät pidempään, sekä lumiset talvet muuttuvat harvinaisemmiksi ja leutojen talvien todennäköisyys kasvaa. Myrskyjen ei arvioida juuri voimistuvan, mutta tuulituhossa voi tapahtua silti lisääntymistä maaperän routaisuuden vähentyessä. Sadepäivien kokonaismäärä ei välttämättä kasva, mutta sateisuus lisääntyy, eli keralla sataa enemmän. (Ilmatieteen laitos, 2021)

Liikenteen infrastruktuuri ja eri kulkuvälineet ovat jatkuvasti sään armoilla, ja niiden vaurioituminen voi lisääntyä. Liikenteen sää- ja ilmatoriskien hallinnassa on kyse yhteiskunnan kokonaisturvallisuudesta ja toimintavarmuudesta, sillä liikenne

nivoo yhteen monia yhteiskunnan toimintoja. Sää ja ilmasto aiheuttavat onnettomuus-, vaurioitumis- ja myöhästymisriskejä, jotka kaikki aiheuttavat kustannuksia ja arvonmenetyksiä toimijoille ja koko yhteiskunnalle. Ilmastonmuutos vaikuttaa kuljetusjärjestelmiin, liikenteen kehitysnäkymiin, ratarakenteisiin, kunnossapitoon ja sopeutumistarpeeseen (Saarelainen & Makkonen, 2007; Tuomenvirta ym. 2018).

Tämä työ on jaettu kahteen osaan, joista ensimmäinen on tutkimuskatsaus ilmastomuutokseen sopeutumiseen väylänpidossa ja liikenteessä. Katsauksessa on käyty läpi Väyläviraston ja sen edeltäjien selvityksiä sekä koti- ja ulkomaisia sopeutumiseen liittyviä selvityksiä ja suunnitelmia. Toisessa osassa käsitellään ilmastomuutokseen sopeutumisen toimenpide-ehdotuksia. Toinen osa sisältää Väyläviraston teettämien aikaisempien julkaisujen toimenpide-ehdotusten koontia ja toteutumisen tilanteen sekä uudet, työn aikana kootut toimenpide-ehdotukset. Uudet toimenpide-ehdotukset perustuvat aikaisempiin selvityksiin, tämän työn aikana tehtyyn arvioon niiden toteutumisen tilanteesta, tutkimuskatsaukseen sekä työn aikana järjestettyihin syvähaastatteluihin ja asiantuntijatyöpajoihin. Työn lopussa kootaan yhteen keskeiset tulokset ja johtopäätökset.

2 Tutkimuskatsaus ilmastonmuutokseen sopeutumisesta väylänpidossa ja liikenteessä

Tutkimuskatsauksen tavoitteena oli muodostaa yhteenveto ilmastonmuutoksen sopeutumisen ja varautumisen toimista väylänpidossa ja liikenteessä aikaisempiin selvitys- ja tutkimustietoihin pohjautuen. Tutkimuskatsauksessa tarkasteltiin ulkomaista ja kotimaista tutkimus- ja selvitysaineistoa. Tässä luvussa käsitellään aluksi virastotasoisia selvityksiä, sitten kansallisia suunnitelmia ja selvityksiä, ja lopuksi ulkomaisia selvityksiä ja monikansallisia tutkimuksia.

2.1 Virastotasoiset selvitykset

Ilmastonmuutokseen varautumisen ja sopeutumisen tarpeisiin on alettu kiinnittää huomiota yli kymmenen vuotta sitten tienpidossa (Saarelainen ja Makkonen, 2007; Tiehallinto, 2009), radanpidossa (Saarelainen ja Makkonen, 2008) sekä merenkulun toimintaympäristössä (Merenkululaitos, 2009). Resilienssin eli sopeutumiskyvyn kasvattaminen on nähty yhteiseksi haasteeksi ja tavoitteeksi kaikilla väylänpidon ja liikenteen osa-alueilla.

Ojalan ja Leviäkankaan (2022) mukaan väyläverkon resilienssin vahvistamisen toimenpiteet ovat Suomessa pääosin pitkän aikajänteen toimenpiteitä, joihin liittyvät hitaasti tai hyvin hitaasti ilmenevät ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset. Hitailla muutoksilla Ojala ja Leviäkangas (2022) tarkoittavat sellaisia muutoksia, jotka ilmenevät kuukausien ja vuosien saatossa, kuten väylärakenteiden epänormaali rapeutuminen ja lisääntyvä jäätymis-sulamissykli talviaikaan, joka vaikuttaa myös päivittäiskunnossapidon ja erityisesti liukkaudentorjunnan tarpeeseen. Palautumisaika näistä hitaista muutoksista on päiviä, viikkoja tai kuukausia riippuen vaikutuksen suuruudesta. Hyvin hitaita muutoksia puolestaan ovat vähintään viiden vuoden aikana tapahtuvat muutokset, kuten väylärakenteiden normaali rapautuminen, jonka palautumisaika voi olla vuosia tai väylästä normaali kulumisen, jonka palautumisaika on yleensä kuukausia (Ojala ja Leviäkangas, 2022).

Muutosten huomioiminen resilienssin vahvistamiseksi liittyy väyläverkon suunnitteluun, toteutukseen ja erityisesti ylläpitoon (Ojala ja Leviäkangas, 2022). Ilmastonmuutoksen asteittain etenevät vaikutukset on arvioitu todennäköisesti taloudellisesti merkittävämmiksi kuin äkilliset vahingot (Gregow ym. 2021), joten hitaisiin ja hyvin hitaasti ilmeneviin muutoksiin varautuminen on tärkeää ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi väylänpidossa.

Seuraavissa luvuissa käsitellään sopeutumisen ja varautumisen tarpeita väylämuodoittain. Ensin käsitellään tienpitoa, sitten radanpitoa ja lopuksi vesiliikennettä. Lopuksi käsitellään liikennesektorin sopeutumisen ja varautumisen tutkimustarpeita, joita on koottu Liikenneviraston esiselvityksessä vuonna 2015.

2.1.1 Sopeutuminen ja varautuminen tienpidossa

Tiehallinto käynnisti selvitykset ilmastonmuutoksen varautumisesta pian ensimmäisen kansallisen ilmastonmuutoksen strategian laatimisen jälkeen (Saarelainen ja Makkonen, 2007). Tieliikenteen haavoittuvuuteen vaikuttavat useat seikat, kuten

kulkuneuvojen ja kuljettajien ominaisuudet, väylien ominaisuudet ja muun liikenteen vuorovaikutus sekä käytettävissä oleva sää- ja kelitieto. Erityisesti alemmat tieluokat ovat heikompien rakenteidensa ja vähäisemmän kunnossapitonsa kannalta alttiita vaurioille (Liikennevirasto, 2015). Taulukossa 1 kuvataan Saarelaisen ja Makkosen (2007) selvityksessä tunnistetut keskeiset ilmastovaikutukset tienpidon kannalta ja näiden torjumiseksi ehdotetut sopeutumis- ja varautumistoimet.

Keskeisimmät tunnistetut muutokset, jotka Saarelaisen ja Makkosen (2007) mukaan vaikuttavat tienpitoon ilmastomuutoksen myötä ovat sademäärien lisääntyminen, rankkasateiden yleistyminen, talviaikaisen sadannan kasvu, jäätymis-sulamissykliä lisääntyminen sekä lämpimän ajan pidentyminen ja siitä seuraava lumi- ja jäätymisen väheneminen. Lisäksi tienpitoon vaikuttaa ääri-ilmiöiden seurauksena kustannusriskien hallinnan tarve, jonka huomioon ottamiseksi on tärkeää koesuunnittelu ja -rakentaminen sekä pilottikohteiden huolellinen dokumentointi, jossa valituissa kohteissa dokumentoitaisiin tarkasti ilmastoperäisten rasitusten huomiointia tierakenteiden ja rakenneosien suunnittelua sekä mitoitusta, rakentamistapaa ja kustannuksia (Saarelainen ja Makkonen, 2007).

Taulukko 1. Tienpidon tunnistetut muutokset ja esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet (mukaillen Saarelainen ja Makkonen 2007 sekä Tiehallinnon selvityksiä 8/2009).

Tunnistetut keskeisimmät muutokset tienpidolle	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet
Sademäärien lisääntyminen	<p>Alueellinen kuivatussuunnittelu ja kuivatusrakenteet</p> <p>Mitoitus- ja suunnitteluohjeet: tierakenteen mitoituksessa vuodenaikajaksotuksen kehitys ja käyttöönotto</p> <p>Pohjarakenteen mitoituksessa sateiden ja kohonneen pohjaveden aiheuttama kapasiteetin pieneneminen</p> <p>Päällystenormien mukaiset vaatimukset päällysteen vedenkestävyydelle tulee tarkistaa</p>
Rankkasateiden yleistyminen	<p>Tulvien ennakointi ja torjunta</p> <p>Kuivatuksen suunnitteluohjeet suuremmalle sademäärälle</p>
Talviaikaisen sadannan kasvu ja jäätymis-sulamissykliä lisääntyminen	<p>Liukkauden ennakointi, tunnistaminen ja torjunta</p> <p>Lumisateen ja kinostumisen ennakointi, tunnistaminen ja torjunta</p> <p>Päällysteiden sekä sorateiden ylläpitotarpeen ja kustannusten lisääntymiseen varautuminen</p> <p>Kelirikon ennakointi, tunnistaminen ja torjunta</p>

Tunnistetut keskeisimmät muutokset tienpidolle	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet
Lämpimän ajan pidentyminen	Pölyntorjunnan edistäminen. Lisääntyvä sorastusmateriaalikulutus sorateilla. Kelirikon yleistyminen kevätkauden ulkopuolella (syyskelirikko ja talvikelirikko).
Lumipeitteen väheneminen	Lumipeite lisää tievalaistuksen tehoa, joten peitteen väheneminen lisää valaistuksen tarvetta. Valaistuksen määrää tulisi voida lisätä näkyvyyden ylläpitämiseksi
Äärisääliö	Kustannusriskien hallinnan korostuminen. Koesuunnittelu ja -rakentaminen sekä pilottikohteiden huolellinen dokumentointi kustannusriskien huomioon ottamiseksi.

Ilmaston lämpenemisen myötä talvien sateisuus ja märkyys voi luoda ajoittain erittäin vaikeita keliolosuhteita tieverkolla. Tällä voi olla varsin mittavia elinkaarivaikutuksia, jotka näkyvät jopa kansantalouden tasolla (Ojala ja Leviäkangas, 2022). Ruotoistenmäki ja muut pyrkivät selvittämään ilmastonmuutoksen aiheuttamia kustannusvaikutuksia ja keskeisiä varautumistoimenpiteitä Tiehallinnon vuonna 2009 julkaisemassa selvityksessä. Tienpidon kokonaiskustannusten arvioitiin ilmastonmuutoksen myötä kasvavan lisääntyvien hoito- ja ylläpitotoimenpidetarpeiden vuoksi, vaikka joiltakin osin voidaan saada myös kustannussäästöjä (Ruotoistenmäki ym. 2009).

Lisäkustannuksia arvioitiin syntyvän erityisesti sorateiden hoidossa hoitokauden pidentyessä sekä päällysteiden uusimisessa ja paikkauksissa (Ruotoistenmäki ym. 2009). Selvityksen mukaan jonkin verran lisäkustannuksia syntyy myös talvihoidossa, siltakorjauksissa sekä kelirikkokorjauksissa. Välillisiä kustannuksia arvioitiin syntyvän monien toimijoiden keskuudessa. Selvityksessä (Ruotoistenmäki ym. 2009) todettiin, että ilmastonmuutos voi tuoda metsäteollisuuden logistiikkaan merkittäviä kustannusvaikutuksia, kun jäätyneen maan kantokykyä ei pystytä tulevaisuudessa hyödyntämään samassa määrin kuin aiemmin on tehty.

Tienpidon voidaan nähdä hyötyneen teknologian kehityksestä, jonka myötä ennakkoivasta kunnossapidosta on tullut entistä enemmän arkipäivää. Ilmastomallien kehittyessä alueellisesti yhä tarkemmaksi voidaan kunnossapidossa huomioida sääolosuhteiden lisäksi myös alueellisesti toisistaan poikkeavia pitkän aikavälin ilmastovaikutuksia (Saarelainen ja Makkonen, 2007).

2.1.2 Sopeutuminen ja varautuminen radanpidossa

Varautuminen erilaisiin muuttuviin sääolosuhteisiin on osa kriittisen infrastruktuurin riskienhallintaa. Ilmastonmuutoksen riskejä sekä varautumisen tarpeita ja toimenpiteitä rataverkostolle tutkittiin esiselvityksessä vuonna 2008 (Saarelainen ja Makkonen, 2008). Taulukossa 2 kuvataan Saarelaisen ja Makkosen (2008) selvityksessä tunnistetut keskeiset ilmatoriskit radanpidon ja -liikenteen kannalta ja näihin liittyvät sopeutumis- ja varautumistoimet. Keskeisimmät muutoksen radanpidolle ja rataliikenteelle ovat Saarelaisen ja Makkosen mukaan (2008) tulvat ja

rankkasateet, sadannan lisääntyminen sekä talvisateisuuden ja jäätymis-sulamissykliä lisääntyminen, lumimyrskyjen voimistuminen, myrskyjen ja ukkosten yleistyminen, helteiden yleistyminen sekä sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat liikennehäiriöt.

Taulukko 2. Radanpidon ja rataliikenteen keskeiset muutokset ja esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet (mukaillen Saarelainen ja Makkonen 2008).

Tunnistetut keskeisimmät muutokset radanpidolle ja -liikenteelle	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet
Tulvat ja rankkasateet	Ratarakenteiden sijoittamista tulvanaroille alueille on syytä välttää. Tulvanaroissa kohteissa on selvitettävä toimenpiteet, joilla mahdollinen tulvan vaikutus voidaan rajata ja estää. Tulvainventoinnit ja eroosioaurioiden inventoinnit nykyisessä rataverkossa.
Sadannan lisääntyminen	Kuivatusjärjestelmien sekä silta- ja rumpurakenteiden mitoituksen tarkastaminen ja tarvittavat muutokset.
Talvisateisuus ja jäätymis-sulamissykliä lisääntyminen	Ratapihojen ja jalankulkualueiden liukkausongelman hallinta. Vaihteiden jäätyksen ehkäisy. Tarve tehostaa kelin tarkkailua ja ennusteita talven vesisateiden tai alijäähtyneiden sateiden aikaan.
Lumimyrskyjen voimistumisen aiheuttama ratapihojen ja laitteiden tukkeutuminen	Lumimyrskyjen ennakkoinnin tehostaminen. Tehokkaammat lumen poiston menetelmät, joilla estetään ratapihalaitteiden toimintahäiriöt.
Helteiden yleistyminen	Turvalaitteiden laittilojen jäähdytyksen lisääminen helteiden yleistyessä.
Myrskyjen ja ukkosten yleistyminen	Parhaiden ratkaisujen huomioiminen maadoitusratkaisuihin ja ylijännitesuojauksissa ja investointitarpeet laitekannan suojaukseen. Myrskyn aiheuttamia tuulenkaatoja voidaan vähentää lisäämällä rata-alueen leveyttä ja kaatamalla riskipuita.
Ääri-ilmiöiden aiheuttamat liikennehäiriöt	Sähkönsyötön ja liikenteen ohjauslaitteiden varmennustason lisääminen mm. parantamalla suojauksia ja lisäämällä turvalaitteiden riippumattomuutta paikallisesta sähkönsyötöstä.

Tunnistettut keskeisimmät muutokset merenkululle	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet
Lumimyrskyt	Väylänpidossa tutkamerkkien näkyvyyden parantaminen huonoissa olosuhteissa. Alusliikennepalveluissa korvaavat anturijärjestelmät.
Jääpeitteen muutokset	Väylänhoito on vaikeinta kelirikkokelillä. Kalustovaatimukset huoltokalustolle ja ennakoivat huoltotoimet. Konetehomääräysten muutokset ja jääluokkamääräykset, vaikuttaminen IMOssa.
Merenpinnan nopea lasku	Tiedottaminen ja ennustemallit
Meritulvat ja vesistötulvat	Alusliikennepalveluissa laittilojen suunnittelu ja riskikohteiden kartoitus. Satamien turvallisuus selvitykset
Kova hellejakso	Alusliikennepalveluiden hankinnassa huomioidaan lämpötilarajat, joka varmistaa laitteiden toimintavarmuutta hellejakson aikana. Satamien turvallisuus selvitykset ja palovaarallisten aineiden syttymisonnettomuuksien välttäminen.
Veden lämpötilan nousu	Osallistutaan IMO:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen liittyen alusten pohjaan kiinnittyvien lajien eliminoiduksiin ja tulokaslajien painolastivesissä. Merenmittauksen laitekehitystarpeiden huomiointi urakoissa.

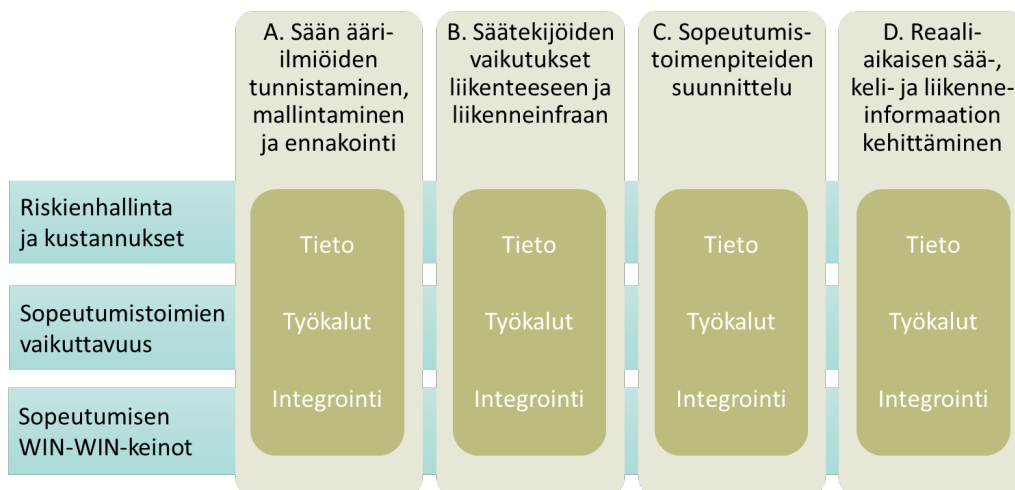
Vuonna 2009 toteutettu selvitys antoi varsin kattavan kuvan ilmastonmuutoksen riskeistä merenkululle sekä vaadittavista sopeutumistoimista. Valtaosa tunnistetuista riskeistä kohdentuu väylänpitoon, merikartoitukseen sekä meriliikenteen palveluihin, erityisesti alusliikennepalveluihin. Tunnistettujen sopeutumistoimien osalta merkille pantavaa oli huomio siitä, että lähes kaikki vaadittavat toimenpiteet näiden toteuttamiseksi ovat myös nykyisen Väyläviraston omissa käsissä, lukuun ottamatta merikartoitusta, josta vastaa Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Merenkululaitoksen vuonna 2009 teettämä selvitys ei koskenut sisävesiliikenneympäristöjä ja näiltä osin selvitystietopohja onkin suppeampi.

2.1.4 Liikennesektorin sopeutumisen tutkimustarpeet

Väyläverkon ilmastonmuutokseen sopeutumisesta on teetetty edellä kuvattu liikennemuotokohtaisia selvityksiä, joissa sopeutumiseen ja varautumiseen liittyviä muutoksia ja toimenpiteitä näihin muutoksiin varautumiseksi on tunnistettu. Liikenne-

muotokohtaisista selvityksistä huolimatta ilmastonmuutoksen varautuminen ja sopeutuminen on jäänyt liikennesektorin keskustelussa ilmastonmuutoksen hillinnän varjoon. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että ilmastonmuutoksen vaikutukset liikennesektoriin ovat laajoja ja kustannuksiltaan merkittäviä. Näistä lähtökohdista Liikennevirasto käynnisti yhteistyössä Fintrip-verkoston kanssa esiselvityksen (2015) tutkimustarpeiden ja yhteistyötahojen selvittämiseksi loppuvuodesta 2013. Esiselvitys toteutettiin haastattelemalla Liikenneviraston ja Fintrip-verkoston osapuolien (LVM, IL, Syke) asiantuntijoita sekä järjestämällä yhteinen työpaja ja yleinen seminaari.

Vuonna 2015 valmistuneessa esiselvityksessä nousi esille paljon tarpeita liikennesektorin sopeutumistyön kehittämiseksi (Liikennevirasto, 2015). Kehittämisaihioiden pohjalta muodostettiin taustakehikko tutkimustarpeita koskevien jatkokeskustelujen pohjaksi. Tutkimustarpeet jakaantuivat neljään teemaan (Kuva 2), jotka ovat A. Sään ääri-ilmiöiden tunnistaminen, mallintaminen ja ennakointi, B. Säätekijöiden vaikutukset liikenteeseen ja liikenneinfraan, C. Sopeutumistoimenpiteiden suunnittelu sekä D. Reaaliaikaisen sää-, keli- ja liikenneinformaation kehittäminen. Läpileikkaavina taustateemoina sopeutumistyön kehittämisessä tulisi selvityksen mukaan ottaa huomioon riskienhallinta ja kustannukset, sopeutumistoimien vaikuttavuus sekä sopeutumisen WIN-WIN-keinot (Liikennevirasto, 2015).



Kuva 2. Tutkimustarpeista koostettiin taustakehikko Liikenneviraston 2015 toteuttamassa esiselvityksessä.

Liikenneviraston esiselvityksessä (2015) ehdotettiin jatkotoimenpiteitä, joiden kautta ilmastonmuutokseen sopeutumista ja varautumista voidaan edistää. Esiteytyt jatkotoimenpiteet olivat:

1. Sopeutumistoiminnan ja tutkimuksen vastuiden määrittäminen ja tavoitteiden asettaminen
2. Liikenneviraston ja mahdollisuuksien mukaan koko liikennesektorin sopeutumissuunnitelman laatiminen
3. Riskien arviointi ja hallinta
4. Sopeutumissuunnitelman ja riskienhallinnan tietopohja
5. Ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi
6. Vahvistetaan ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusta

Sektorikohtaisten selvitysten jälkeen työn painopisteeksi määriteltiin yhteistyön kehittäminen eri toimijoiden kesken sekä hallinnonalan eri virastojen välillä että valtakunnallisen ja alueellisen tason välillä.

2.2 Kansalliset suunnitelmat ja selvitykset

2.2.1 Kansallinen ilmastonmuutoksen sopeutumisen suunnitelma

Strategiatasolla Suomi on ollut ilmastonmuutoksen sopeutumisessa edelläkävijämaa. Suomi laati ensimmäisenä EU-maana kansallisen sopeutumisstrategian vuonna 2005 maa- ja metsätalousministeriön valmisteluvastuulla (Marttila ym, 2005). Ilmastonmuutoksen kansallisen strategian toimeenpanoa arvioitiin vuosina 2009 ja 2013 ja vuonna 2014 laadittiin kokonaan uusi, vuoteen 2022 ulottuva Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma, joka korvasi aiemman ilmastonmuutoksen sopeutumisen strategian. Tämän ilmastonmuutoksen sopeutumissuunnitelman toimeenpanon väliarviointi tehtiin vuonna 2019. Sopeutumissuunnitelmalla toimeenpannaan kansallisesti EU:n sopeutumisstrategiaa (Maa- ja metsätalousministeriö, MMM, 2015).

2.2.1.1 Sopeutumissuunnitelma vuoteen 2022

Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman 2022 päämääränä on, että suomalaisella yhteiskunnalla on kyky hallita ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja sopeutua ilmastossa tapahtuviin muutoksiin. Alla olevassa taulukossa on kuvattu sopeutumissuunnitelman tavoitteet sekä Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) vastuut tavoitteiden toteuttamisessa (taulukko 4). Tavoitteita ovat sisällyttää sopeutuminen osaksi toimialojen ja toimijoiden suunnittelua ja toimintaa (tavoite A), toimijoilla on käytössään tarvittavat ilmatoriskien arviointi- ja hallintamenetelmät (tavoite B) sekä se, että tutkimus- ja kehitystyöllä sekä viestinnällä ja koulutuksella lisätään yhteiskunnan sopeutumiskykyä, kehitetään innovatiivisia ratkaisuja ja kansalaisten tietoisuutta ilmastonmuutokseen sopeutumisesta.

Taulukko 4. Kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumissuunnitelman 2022 tavoitteet ja LVM:n vastuut.

Kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumissuunnitelman 2022 tavoitteet	LVM:n hallinnonalan vastuut
TAVOITE A: Sopeutuminen on sisällytetty osaksi toimialojen sekä toimijoiden suunnittelua ja toimintaa	Sisällytetään ilmastokestävyyden tarkasteluja hallinnonaloittaisiin strategioihin, ohjelmiin sekä muihin ohjauskeinoihin (ml. taloudellinen ohjaus). Toimialojen säädösvalmistelussa ja säädösten toimeenpanossa arvioidaan ilmaston muuttumisen vaikutukset sekä ilmatoriskit Kehitetään ELY-keskusten kuntiin suuntautuvaa ohjausta ilmastokestävyyden tarkasteluissa vastuualueiden yhteistyönä. Laaditaan tai päivitetään sekä toimeenpannaan ilmastokestävyyden tarkastelujen perusteella tarvittavat hallinnonalakohtaiset sopeutumissuunnitelmat tai toimintaohjelmat hyödyntäen uusinta ilmastonmuutostietoa.

Kansallisen ilmastomuutoksen sopeutumissuunnitelman 2022 tavoitteet	LVM:n hallinnonalan vastuut
TAVOITE B: Toimijoilla käytössään tarvittavat ilmatoriskien arviointi- ja hallintamenetelmät	<p>Vahvistetaan nykyisiä riskien arvioinnin ja hallinnan menettelyjä, jotta ne ottavat nykyistä paremmin huomioon ilmastomuutoksen vaikutukset mukaan lukien ilmastomuutoksen kansainväliset heijastevaikutukset.</p> <p>Täydennetään tietopohjaa ilmastomuutoksen riskeistä ja haavoittuvuuksista erityisesti niillä toimialoilla, joilla tarvitaan lisää tietoa ilmastomuutoksen vaikutuksista.</p> <p>Kehitetään toimialojen, paikallisten ja alueellisten toimijoiden ja yritysten käyttöön soveltuvia ilmastomuutoksen vaikuttavuusarvioinnin sekä riski- ja haavoittuvuustarkastelun menetelmiä.</p> <p>Edistetään ilmastokestävyyden tarkasteluja tukevaa riskiarvioinnin ja -hallinnan osaamista ja koulutusta toimijoille.</p> <p>Selvitetään ilmastomuutokseen liittyvien taloudellisten riskinhallintainstrumenttien, esim. vakuutusten, riittävyys ja kehittämistarpeet.</p>
TAVOITE C: Tutkimus- ja kehitystyöllä, viestinnällä ja koulutuksella on lisätty yhteiskunnan sopeutumiskykyä, kehitetty innovatiivisia ratkaisuja ja kansalaisten tietoisuutta ilmastomuutokseen sopeutumisesta.	Osallistuminen tutkimusohjelman valmisteluun, jolla voidaan tuottaa tietoa sopeutumissuunnitelman toimeenpanoa varten. Päätös tutkimusohjelman käynnistämisestä tehdään erikseen laaja-alaisen valmistelun pohjalta.

Kansallisen sopeutumissuunnitelman toimenpiteet koskevat pääosin valtionhallintoa. Sopeutumissuunnitelman väliarvioinnissa (Mäkinen ym. 2019) kiinnitettiin huomiota ilmastomuutokseen sopeutumiseen liittyvien toimenpiteiden toimeenpanon haasteisiin. Yleisimmiksi suunnitelman toimeenpanoa vaikeuttaviksi tekijöiksi nousivat puutteellinen ilmatoriskien tunnistaminen, ilmastotyön ja sopeutumisen heikko painoarvo, taloudellisten resurssien tai tiedon ja osaamisen puuttaminen, käytettävissä olevan tiedon heikko sovellettavuus käytännön työhön ja poliittisen yhteisymmärryksen puute sopeutumisesta osana ilmastopolitiikkaa (Mäkinen ym. 2019).

Jatkossa erityistä huomiota on kiinnitettävä roolien ja vastuiden selkiyttämiseen, resursointiin, yhteistyön lisäämiseen, työn sitomiseen osaksi muuta varautumis- ja valmiustyötä sekä eri politiikkatoimien väliseen koheesioon (Mäkinen ym. 2019).

2.2.1.2 Sopeutumissuunnitelma vuoteen 2030 (KISS2030)

Ensimmäinen ilmastolakiin perustuva kansallinen ilmastomuutokseen sopeutumisen suunnitelma valmisteltiin maa- ja metsätalousministeriön johdolla vuosina 2021–2022. Valtioneuvosto antoi eduskunnalle 15.12.2022 hyväksymänsä selonteon uudesta kansallisesta ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelmasta

(KISS2030). Eduskunta on käsitellyt selonteon ja kannanotossaan 22.2.2023 todennut, ettei sillä ole huomautettavaa selonteon johdosta. Sopeutumissuunnitelman tavoitteena on vahvistaa ilmatoriskien hallintaa ja yhteiskunnan ilmastonkestävyyttä määrittämällä tarkemmat tavoitteet ilmastonmuutokseen varautumiseksi ja sopeutumiseksi sekä politiikkatoimet tavoitteiden saavuttamiseksi (MMM, 2022).

Kansallisessa ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelmassa (MMM, 2022, s.53) todetaan, että liikenneinfrastruktuurin haavoittuvuuksia ei vielä tunneta riittävästi, ja sopeutumiseen liittyvien tietotarpeiden tunnistaminen ja tiedon koonti on tunnistettu olennaiseksi sopeutumistoimenpiteiden suunnittelussa ja kohdentamisessa. Suunnitelmassa todetaan, että ilmastonmuutoksen sopeutumistoimet tulevat vaatimaan lisärahoitusta. Vaikuttavuus ja ennakoivien toimenpiteiden hyödyt yhteiskunnan toimintavarmuuteen ja Suomen kilpailukykyyn sekä omaisuuden kustannustehokkaaseen kunnossapitoon ovat kuitenkin moninkertaisia, joten panostus on tärkeää ja kustannustehokasta. (MMM, 2022, s.54)

KISS 2030 -suunnitelman tavoite 7 koskee liikenne- ja viestintäinfrastruktuurin haavoittuvuuksia. Suunnitelmassa esitetään tavoite haavoittuvuuksien tunnistamisesta vuoteen 2026 mennessä ja infrastruktuurin ilmastokestävyyden vahvistamisesta vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteen toteuttamiseksi esitetään seuraavat toimenpiteet (MMM, 2022, s. 54–55):

- Toimenpide 7.1: Viedään ilmastonmuutokseen sopeutumisen edellyttämät toimet osaksi liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan vakiintuneita strategisia ohjausasiakirjoja. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimet sisällytetään keskeisiin strategisiin ohjausasiakirjoihin, kuten valtakunnallinen liikennejärjestelmäsuunnitelma (Liikenne 12) ja Digikompassi. Toimenpiteellä varmistetaan ilmastonmuutokseen sopeutumisen huomiointi kaikessa toiminnassa.
- Toimenpide 7.2: Kehitetään liikennejärjestelmän ja liikenne- ja viestintäverkkojen tietoperusteista päätöksentekoa ja toimintamalleja. Kehitetään liikennejärjestelmätason analyysiin perustuen tietoperusteista päätöksentekoa (tieto, vaikutusarvioinnit, kustannukset) ja toimintamalleja liikennejärjestelmän ja liikenne- ja viestintäverkkojen riskien ja haavoittuvuuksien sekä haittoja vähentävien toimenpiteiden tunnistamiseen ja niiden suuntaamiseen.
- Toimenpide 7.3: Toteutetaan yksityisteiden- ja siltojen kuntokartoitus ja aktivoidaan sen pohjalta tiekuntia teiden perusparannukseen ja kunnossapitoon. Kartoitetaan Suomen yksityisteiden ja niiden siltojen kuntoa, selvitetään energiapuuterminaalien tilanne ja tarve sekä kannustetaan tiekuntia teiden perusparannukseen ja kunnossapitoon. Kartoitettua tietoa yksityisteiden ja -siltöjen kunnosta ja energiapuuterminaaleista kerätään sähköiseen palveluun. Tietoa voivat lähitulevaisuudessa hyödyntää muun muassa tienpitäjät, tienkäyttäjät, rahoittajat ja palveluntuottajat. Tiekuntia kannustetaan yksityisteiden perusparannukseen ja kunnossapitoon sekä tuotetaan tietoa koulutuksen ja neuvonnan tueksi. Yksityisteiden tienpidon aktivoiminen perustaksi kehitetään toimintamalleja ja työkaluja tiekuntien käyttöön.

2.2.2 Sää- ja ilmatoriskit Suomessa

Ilmatieteen laitoksen Sää- ja ilmatoriskien arviointi ja toimintamallit (SIETO)-hanke koosti raportin uusimman tutkimustiedon perusteella merkittävimmistä sää- ja ilmatoriskeistä sekä haavoittuvuuksista (Tuomenvirta ym. 2018). Raportissa keskityttiin ilmastonmuutoksen aiheuttamiin negatiivisiin riskeihin eli säähän, ilmastoon ja ilmastonmuutokseen liittyvien ilmiöiden kielteisiin vaikutuksiin.

Selvityksessään Tuomenvirta ja muut (2018) totesivat, että sää ja ilmasto aiheuttavat onnettomuus-, vaurioitumis- ja myöhästymisriskejä, jotka kaikki aiheuttavat kustannuksia ja arvonmenetyksiä liikennealan toimijoille ja koko yhteiskunnalle. Ilmastonmuutos vaikuttaa kuljetusjärjestelmiin, liikenteen kehitysnäkymiin, ratarakenteisiin, kunnossapitoon ja sopeutumistarpeeseen. Vaikka esimerkiksi ylläpito-kustannukset pitkällä aikavälillä pienenisivätkin ilmastonmuutoksen myötä, ovat muut sään ääri-ilmiöiden haittavaikutukset liikenteelle silti merkittäviä ja kustannuksia lisääviä tekijöitä. Erilaiset sääilmiöt voivat kohdella liikennemuotoja myös eri tavoin. Esimerkiksi Valio-myrsky (2015) ja Helena-rajuilma (2014) aiheuttivat enemmän häiriötä rautatieliikenteelle kuin tieliikenteelle, mutta tykkylumen aiheuttamia liikennehäiriötä havaittiin molemmilla. Uutena mahdollisesti lisääntyvänä vaaratekijänä esiin nousee jäätävä sade, joka aiheuttaa liukkaita ja sähkölinjojen katkoksia ja siten liikennehäiriötä.

Tutkimuksessaan Tuomenvirta ja muut (2018) tulivat johtopäätökseen, että äärimmäiset ja poikkeavat sääolosuhteet heikentävät liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta. Ilmastonmuutoksen myötä teiden romahtamisen riski voi kasvaa, kuljetusreittien tulvariski lisääntyy ja pohjavedenpinnan nousun aiheuttamat riskit ja ilmastonmuutoksen vaikutukset yleisesti lisääntyvät (Tuomenvirta ym. 2018). Merkittävänä haavoittuvuustekijänä Suomessa on myös teiden kunto. Ilmastonmuutos todennäköisesti entisestään kasvattaa tieinfrastruktuuriin liittyvää painetta ja voi merkittävästi lisätä teiden korjausvelkaa.

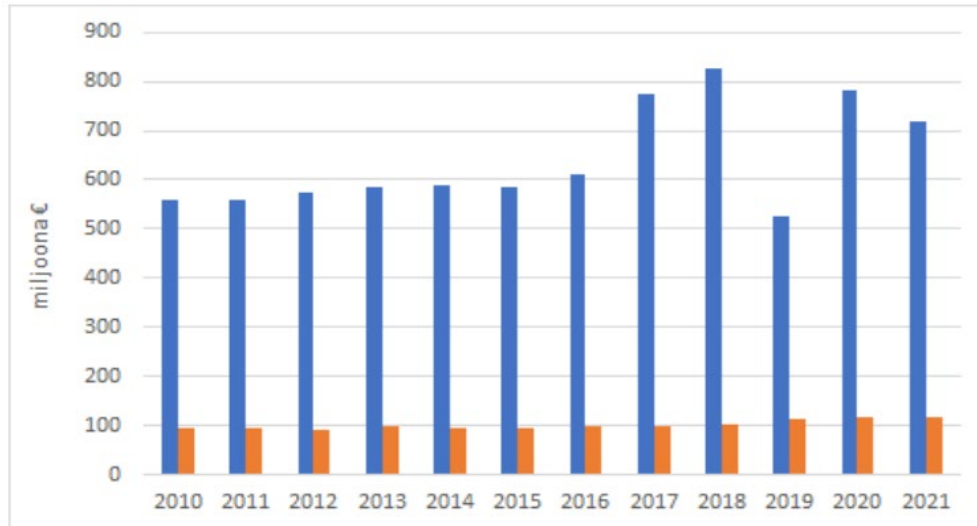
Tuomenvirran ja muiden (2018) mukaan raideliikenne on herkkä ilmastonmuutoksen aiheuttamille vaikutuksille, sillä sää ja ilmastonmuutos hankaloittavat raideliikenteen sujuvuutta. Sääriskit voivat toteutuessaan aiheuttaa myöhästymisiä ja viivästyksiä esimerkiksi rahtikuljetuksille tai junavuorojen perumisen (Tuomenvirta ym. 2018). Raideliikenteen haavoittuvuuteen sääolosuhteiden aiheuttamille häiriöille voivat vaikuttaa henkilö- ja tavaraliikenteen määrä, yksiraiteisuus sekä käytössä oleva teknologiat ja sähköverkot (Tuomenvirta ym. 2018).

2.2.3 Ilmastonmuutoksen kustannusvaikutusten arviointi

VN-TEAS rahoitteisessa, Ilmatieteenlaitoksen koordinoimassa KUITTI-projektissa arvioitiin ilmastonmuutosriskin suoria ja välillisiä kustannuksia Suomelle, huomioiden ennakoivan ja reaktiivisen sopeutumisen väliset erot (Perrels ym. 2022). Kyseessä ei ole ensimmäinen tutkimus ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista, mutta aiempien hankkeiden (Kinnunen, 1992; Kuoppamäki, 1996 ja Perrels ym., 2005) tulokset ovat ajan myötä vanhentuneet. Ilmastonmuutoksen aiheuttamista kustannuksista tai taloudellisista vaikutuksista Suomessa on tähän mennessä koottu vain vähän tietoa.

Perrelsin ja muiden (2022) mukaan sääolosuhteiden ei todettu aiheuttaneen merkittäviä kustannusvaikutuksia tieliikenteelle. Perusväylänpidon menot vaihtelevat kohtuullisen paljon vuosittain. Selvityksen mukaan vaihtelevat sääolosuhteet eivät

välttämättä ole vaikuttaneet juurikaan vuosittaisiin väylänpidon kustannuksiin. Talvihoidon menot eivät näytä reagoineen vaihteleviin talviolosuhteisiin (Kuva 3, Perrels ym. 2022).



Kuva 3. Valtion perustienpidon menot (miljoonaa euroa) ja menot tiestön talvihoidolle (Perrels ym, 2022).

Suomessa tieliikenteen haavoittuvuuteen vaikuttaa erityisesti teiden kunto ja korjausvelan kehittyminen (Tuomenvirta ym. 2018). Väylävirastolta löytyy tieinfrastruktuurin vuosittaiset käyttötilastot (Kiiskilä ym. 2020). Keskinopeus liittyy suoraan keskimääräiseen matka-aikaan ja näin ollen taloudelliseen vaikutukseen. Kiiskilän ja muiden (2020) perusteella karkea arvio on, että runsasluminen talvi voi alentaa liikenteen keskinopeutta noin yhdellä prosentilla. Jos koko talvikauden henkilö- ja pakettiautojen matkustusaika nousee samalla prosenttimäärällä, lisääntyneen matkustusajan laskennallinen arvo on noin 23 miljoonaa euroa.

KUITTI-hankkeessa tarkasteltiin myös ilmastonmuutoksen ja sopeutumisen taloudellisten vaikutusten arvioimiseen tarvittavan tiedon saatavuutta Suomessa. Hankkeessa tuotettiin katsaus innovaatiotarpeista ja vaihtoehtoista, jotka palvelevat ilmastonmuutokseen sopeutumista. Selvityksessä todettiin, että aineellisista vaikutuksista on suhteellisen paljon tietoa saatavilla, mutta tiedot ovat hajallaan ja monimutkaisista yhdistelmä- ja takaisinkytkentävaikutuksista puuttuu edelleen paljon tietoa ja ymmärrystä. Toisaalta tietopohja kustannusten osalta on melko puutteellista. Kustannustietojen puuttuessa riskimarkkinat (ilmastonmuutoksen varautumisen ja sopeutumisen toimiin liittyvät investoinnit riskienhallinnan näkökulmasta) eivät voi toimia tehokkaasti tai lainkaan.

Perrels ja muut (2022) totesivat johtopäätöksensä, että Suomessa luonnon ääri-ilmiöt eivät ole toistaiseksi aiheuttaneet merkittävästi lisäkustannuksia. Tutkijaryhmän näkemyksen mukaan ilmastonmuutos ei todennäköisesti lisää merkittävästi sään ääri-ilmiöiden kautta tulevaa kustannusriskiä. Perrels ja muut (2022) yhtyivät kuitenkin näkemyksessään muiden tutkijoiden käsitykseen, että merkittävimmät kustannusvaikutukset voivat syntyä hitaasti muuttuvista olosuhteista lämpötilan nousun ja sadannan muutosten takia. Niinpä näihin hitaasti tai erittäin hitaasti muuttuviin olosuhteisiin varautuminen on perusteltua myös taloudellisista syistä.

On huomionarvoista, että VTT:n toteuttamassa selvityksessä (Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2022:2) todettiin liukastumis- ja kaatumistapaturmien kustannusten olevan jo nyt kokonaisuutena suuremmat kuin liikenneonnettomuuksista syntyvien kustannusten.

Perrelsin ja muiden (2022) tutkimuksen mukaan ennakoiva ja ennaltaehkäisevä sopeutuminen tuo suurempia hyötyjä kuin reaktiivinen sopeutuminen vähentämällä tehokkaammin ilmastonmuutoksen aiheuttamia menetyksiä. Ennakoivan sopeutumisen eduksi arvioidaan Suomessa 5–8 miljardia € vuoteen 2070 mennessä ilmastoskenaariosta riippuen (Perrels ym, 2022). Pitkällä aikavälillä vähittäiset muutokset lämpötilaan ja sademääriin vaikuttavat Suomen talouteen enemmän kuin satunnaiset luonnon ääri-ilmiöt, koska Suomi kykenee elpymään nopeasti sään ääri-ilmiöiden vaikutuksista, joten on tärkeää varautua erityisesti pysyviin toimintaolosuhteiden muutoksiin (Perrels ym, 2022). Erillisessä esityksessä KUITTI-projektin tuloksista nostettiin esiin, että tutkimuksen tuloksissa ei voitu ottaa huomioon kaikkien toimialojen vaikutuksia, mikä aiheuttaa epävarmuutta tutkimustuloksiin tietojen puutteen lisäksi. Suosituksena esitetäänkin mm. ilmastonmuutoksen aineellisiin ja sosioekonomisiin vaikutuksiin liittyvän tiedon saatavuuden lisäämistä sekä koordinoitua.

2.3 Kansainvälinen sopeutumistyö

Kansainvälisen tutkimus- ja selvitystiedon tietolähteinä on tässä katsauksessa käytetty seuraavien tahojen julkaisemia selvityksiä ja julkaisuja: IPCC (eng. Intergovernmental Panel on Climate Change / Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli), OECD (eng. Organisation for Economic Co-operation and Development / Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö), EU (Euroopan Unioni) ja IFT (eng. International Transport Forum / Kansainvälinen liikennefoorumi).

Tässä selvitystyössä perehdyttiin myös tarkemmin Kanadan, Ruotsin ja Norjan liikenneinfrastruktuuriin liittyvään ilmastonmuutokseen sopeutumisen työhön. Näiden maiden ilmasto on maantieteellisen sijainnin perusteella samankaltainen kuin Suomessa. Lisäksi tässä työssä etsittiin ilmastonmuutoksen sopeutumiseen viittavia tutkimuksia liikenneinfrastruktuurin osalta neuroverkkopohjaisen tekoälyn ([IRIS.AI](#)) avulla.

Väylävirasto on julkaissut diplomityön pohjalta laajennetun selvityksen *Muuttuvien tulvien vaikutus siltoihin ja niiden suunnitteluun* (Määttä, 2022). Selvitystyössä tarkasteltiin ilmastonmuutoksen seurauksena muuttuvien tulvien vaikutuksia vesistösiltoihin, joissa alittava vesistö on joki sekä tarkasteltiin muuttuvien tulvien vaikutuksia työnaikaisiin rakenteisiin.

2.3.1 Kanada

Kanadassa on valmistumassa ensimmäinen kansallinen ilmastonmuutoksen sopeutumisstrategia (National Adaptation Strategy). Kanadan ilmasto lämpenee kaksi kertaa nopeammin kuin maapallolla keskimäärin ja Kanadan pohjoisosat lämpenevät kolme kertaa nopeammin, mikä aiheuttaa muun muassa lämpöaaltoja, tulipaloja, tulvia, merenpinnan nousua ja ikiroudan sulamista (Kanada, 2022). Nämä toistuvat ja tuhoisat ilmiöt vaikuttavat merkittävästi esimerkiksi tie-, rata- ja satainfrastruktuuriin. Kaikesta huolimatta Kanadassa eri tahojen välinen koordinaatio ja tiedon jakaminen on riittämätöntä ja kansallisessa sopeutumisstrategiassa

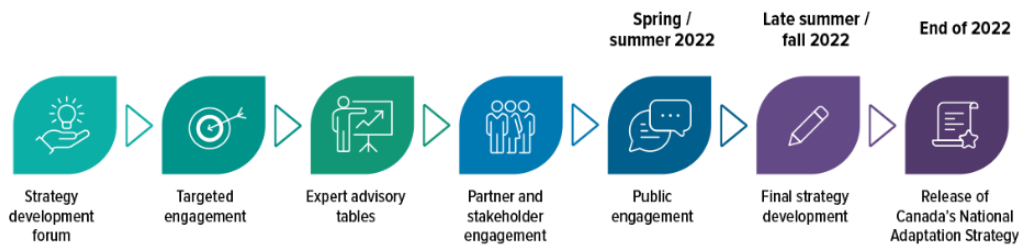
todetaan, että nykyinen toiminta on siilomaista, tavoitteet ovat toisinaan ristiriitaisia ja eriävät politiikat sekä prosessit toimijoiden välillä estävät joustavan edistämisen kestävien ja uudenlaisten toimintatapojen kehittymisen (Kanada, 2022).

Maaliskuussa 2022 valmistuneessa sopeutumisstrategian ensimmäisessä vaiheessa luotiin puitteet (eng. framework) pitkän ja keskipitkän aikavälin tavoitteille. Vaiheessa II luodaan tarkemmat ja mitattavat sekä saavutettavat toimenpiteet lyhyelle aikajänteelle. Strategia koostuu kahdesta vaiheesta sekä viidestä osa-alueesta, jotka on lueteltu alla ja joiden aikataulu on esitetty Kuva 4.

Sopeutumisstrategian osa-alueet (Kanada, 2022):

1. Terveys ja hyvinvointi (eng. Health and Wellbeing)
2. Kestävä luonnollinen ja rakennettu infrastruktuuri (eng. Resilient Natural and Built Infrastructure)
3. Kukoistava luonnonympäristö (eng. Thriving Natural Environment)
4. Vahva ja kestävä talous (eng. Strong and Resilient Economy)
5. Katastrofikestävyys ja -turvallisuus (eng. Disaster Resilience and Security).

Development of the National Adaptation Strategy



Kuva 4. Kanadan kansallisen sopeutumisstrategian aikataulu (Kanada, 2022).

Vuonna 2021 julkaistussa raportissa *Canada in a Changing Climate* todetaan, että laajoista ja kattavista ohjelmista huolimatta esimerkiksi liikenneinfrastruktuurin omistajat ja operaattorit toteuttavat ilmastonmuutoksen huomioimista usein hyvin itsenäisesti (Warren & Lulham, 2021). Tämä johtaa raportin mukaan siihen, että kokonaisvaltaisten sopeutumisstrategioiden puuttuessa yksittäiset sopeuttamiseen tähtäävät investoinnit voivat olla teholtaan rajallisia ja voivat aiheuttaa odottamattomia ja tahattomia kielteisiä vaikutuksia viereisiin tai toisistaan riippuvaisiin omaisuuseriin ja järjestelmiin (Warren & Lulham, 2021).

Swanson ja muut (2021) listaavat julkaisussaan maanpäälliseen infrastruktuuriin kohdistuvat vahingot ja mahdolliset vaikutukset sekä tuovat esiin esimerkkejä sielokyvyn lisäämisestä. Alla olevassa kuvassa (Kuva 5) on esitetty Kanadan maaliikenteeseen kohdistuvat ilmastouhat ja esimerkkejä vaikutuksista infrastruktuuriin. Ilmastouhkia ovat kuumuus, muuttuvat sademäärät ja sadanta, lämpötilojen muutokset vuodenaikavaihtelussa, myrskyt ja kovat tuulet.

Infrastructure type	Climate hazard	Examples of infrastructure impacts	Examples of resilience options
Land transportation	Heat	<ul style="list-style-type: none"> Pavement softening, rutting, and bleeding Thermal rail expansion (buckling due to heat) 	<ul style="list-style-type: none"> Use heat-tolerant pavement mixtures Use low-solar absorption rail coatings
	Changing precipitation patterns	<ul style="list-style-type: none"> Increased risk of critical events (e.g., washouts) Increased ice accretion on cable-stayed bridges 	<ul style="list-style-type: none"> Increase culvert capacities Use of cable coverings to shed accreted ice
	Seasonal temperatures changes	<ul style="list-style-type: none"> Shortened winter ice road season Soil and slope instability plus ground movement/settlement 	<ul style="list-style-type: none"> Transform ice roads into all-season roads Install geotextiles
	Storm surges	<ul style="list-style-type: none"> Causeways, bridges, and low-lying roads inundated or damaged 	<ul style="list-style-type: none"> Build riprap and dikes
	High winds	<ul style="list-style-type: none"> Blocked roads, bridges, and railways due to debris or snow 	<ul style="list-style-type: none"> Update vegetation management-related standards (e.g., plant different trees species along roads)

Kuva 5. Kanadan maaliikenneinfrastruktuuriin kohdistuvia ilmaston aiheuttamia vaikutuksia sekä esimerkkejä sietokyvyn lisäämisen mahdollisuuksista (Swanson ym., 2021).

Swanson ja muut (2021) toteavat, että ilmastonmuutos vaikuttaa maanpäälliseen infrastruktuuriin (tiet, sillat ja rautatie) kolmella tavalla:

1. Kriittiset tapahtumat. Teiden "huuhtoutuminen" (eng. road washout), erilaiset viat silloissa, epäonnistuneet pengerrykset ja maanvyörymät.
2. Vaarantunut rakenteellinen eheys. Siltojen perustusten heikkeneminen (eng. bridge scour), eroosio teillä ja rautateillä, siltojen ja rautateiden lämpölaajeneminen sekä päällysteen halkeilu, urautuminen ja pehmeneminen.
3. Lyhentynyt käyttöikä. Ilmastonmuutos saattaa lyhentää infrastruktuurin käyttöikää, koska infrastruktuuri on aikanaan suunniteltu toisenlaisiin ja pysyvämpiin ilmasto-olosuhteisiin.

Raportti nostaa myös kolme sopeutumisstrategiaa, joiden avulla voidaan vähentää tai poistaa ilmastonmuutoksen vaikutuksia maanpäälliseen infrastruktuuriin: 1. infrastruktuurin suunnittelu, sijoittaminen ja riskien arviointi, 2. rakenteelliset ratkaisut, rakennustekniikat ja -teknologiat sekä 3. Seuranta- ja ylläpitökäytännöt (Swanson ym., 2021). Swanson ja muut (2021) nostavat esiin esimerkkejä toteutuksesta, jotka on kuvattu alla.

1. Infrastruktuurin suunnittelu ja sijoittaminen, mukaan lukien riskien arviointi. Esimerkiksi
 - a. Laatomalla riskienarviointi ISO31000 ja/tai PIEVC Protokollan mukaisesti
 - b. Kartoittaa ikirouta nykyistä tarkemmin
 - c. Suunnitella rakenteet huomioimalla ilmastonmuutoksen ennusteita. Tapahtumat, joiden arvioitiin aikanaan tapahtuvan noin yhden keran 100 vuodessa, tapahtuvat nykyisin useammin. Aikaisemmin harvinaisten ääri-ilmiöiden voi olettaa tapahtuvan nyt ja tulevaisuudessa yhä useammin.

2. Rakenteelliset ratkaisut, mukaan lukien rakennustekniikat ja -teknologiat. Esimerkiksi:
 - a. Penkereiden paksuuksien kasvattaminen
 - b. Innovatiivisten materiaalien ja tekniikoiden käyttö, kuten geotekstiilit, kestävät ja läpäisemättömät betoniseokset, nivelbetonimatot (eng. articulated concrete mats) ja termosifonit (eng. thermosyphon)
3. Seuranta- ja ylläpitökäytännöt. Esimerkiksi:
 - a. Laitteiden asentaminen siltojen perustusten heikkenemisen (eng. bridge scours) tarkkailuun
 - b. Roskien puhdistaminen rummuista
 - c. Liikenteen uudelleen reitittäminen, mikäli väyläverkon osia joudutaan sulkemaan tai liikenne katkaisemaan

Kriittisen infrastruktuurin suunnittelussa ja kunnossapidossa ei voi enää luottaa kokemukseen aikaisemmasta ilmastosta vaan pitkän aikajänteen infrastruktuuria täytyy tarkastella tarkemmin ja monipuolisemmin kuin aikaisemmin, jotta siitä saadaan ilmastomuutoksen kestävä (Swanson ym., 2021). Tarkastelua on tehtävä aluesuunnittelussa, infrasuunnittelussa, rakentamisessa ja kunnossapidossa ja mikä tärkeintä nämä kaikki on otettava huomioon elinkaaren alusta alkaen ja huomioiden infrastruktuuriin liittyvät muut toimijat ja käyttäjät (Swanson ym., 2021).

2.3.2 Ruotsi

Ruotsissa on julkaistu sivusto Klimatanpassning (n.d.), jonka tarkoituksena on auttaa yhteiskuntaa ja kansalaisia ilmastomuutokseen sopeutumisessa. Kuten aikaisemminkin on todettu, ilmastomuutos vaikuttaa moneen yhteiskunnan osa-alueeseen, kuten kuljetukseen ja liikkumiseen.

Ruotsissa ilmastomuutoksen vaikutuksia liikkumisen ja liikenteen sopeutumiseen on tuotu esiin useissa yhteyksissä, joissa korostetaan usein toimenpiteiden paikakakohtaisuutta. Liitteessä 1 on kooste Ruotsissa havaituista liikenteeseen ja infrastruktuuriin vaikuttavista ilmastomuutoksen ilmiöiden vaikutuksista ja seurauksista. Lista on koostettu useista lähteistä, joita tässä katsauksessa on käyty läpi (Klimatanpassning, 2019b, 2020, n.d; European Commission & EEA, 2022a, 2022b; Liljegren, 2018; Trafikverket, 2014).

Ruotsin selvitysten perusteella ilmastomuutokseen sopeutumisen tarpeeseen liikenteessä ja infrastruktuurissa vaikuttavat sade ja lumi, myrskyt, maanvyöryt, lumivyöryt, meren- ja järvien pinnannousu sekä virtavedet, pohjaveden pinnanvaihtelut, jääolosuhteet, nousevat keskilämpötilat, lämpöaallot ja kuivuus, tulipalot ja lisääntyvä kunnossapidon tarve.

Teiden ja rautateiden osalta ilmastomuutokseen sopeutuminen Ruotsissa edellyttää muun muassa riskien tunnistamista olemassa olevassa tieverkostossa sekä keinoja riskien vähentämiseen (Klimatanpassning, 2019a). Riskien vähentämisen keinoja voivat olla esimerkiksi matalalla olevien teiden korottaminen tulvien välttämiseksi, pienten rumpujen suurentaminen sekä eroosiosuojauksien lisääminen tarpeellisiin kohteisiin (Klimatanpassning, 2019a). Lisäksi tarvitaan vesien (meri, järvi, virtavedet, pohjavedet) pinnankorkeuksien muutosten huomioimista suunnittelussa nykyistä tarkemmin ja sen huomioimista, että muutokset vesiolosuhteissa vaikuttavat merkittävästi myös kuivatukseen ja hulevesien suunnitteluun.

2.3.2.1 *Climate-ADAPT*

Euroopan Unioni (EU) on luonut kaikkien jäsenvaltioiden ja Schengen-maiden ilmastonmuutostiedon yhteiseksi tietolähteeksi Climate-ADAPT-sivuston (European Commission, myöh. EC, & EEA, 2022a). Sivustolla on jokaiselle jäsenvaltiolle omat sivut, joiden kautta on mahdollista tutustua kunkin jäsenvaltion ilmastonmuutokseen liittyvään työhön. On kuitenkin huomattava, että maakohtaisella sivustolla tieto ja linkit eivät välttämättä ole ajantasaisia. Climate-ADAPT-sivuston jäsenvaltioiden sivut sisältävät yhteenvedon, arvioinnin, laki- ja politiikan kehikot, strategiset suunnitelmat ja tavoitteet, monitoroinnin ja arvioinnin, hyvät käytänteet, yhteistyön ja synergiat sekä yhteystiedot. Yhteenvetosivulla on kuvattu muun muassa se, mistä kansalliset sopeutumisstrategiat ja suunnitelmat sekä sektorikohtaiset sopeutumissuunnitelmat löytyvät.

Ruotsin valtion sivulle Climate-ADAPT-sivustolle (EC & EEA, 2022b) on kirjattu muun muassa havaitut ilmatoriskit (eng. observed climate hazard) sekä tulevaisuuden avainriskit (eng. key future climate hazards). Havaittuja ilmatoriskejä nyt ja tulevaisuudessa ovat lämpötilan, tuulen, veden ja maaperän muutokset, joista seuraa esimerkiksi metsäpaloja, myrskyjä, lumi- ja jääkuorman muutoksia sekä maaperän vajoamista (EC & EEA, 2022b). Havaittujen ilmatoriskien pitkäaikaisvaikutuksena syntyy maaperän happamoitumista, ikiroudan sulamista, veden samentumista ja hydrologista vaihtelua sekä pitkällä aikavälillä merenpinnan nousua (EC & EEA, 2022b).

Kuljetus (eng. transport) on kuvattu yhdeksi avainsektoriksi, jota ilmastonmuutos tulee koskemaan (EC & EEA, n.d.2022b). Climate-ADAPT-sivustolla kuvataan, että äärimmäisiä lämpötapauksia, joita esiintyy nykyään keskimäärin 20 vuoden välein, voi vuosisadan loppuun mennessä esiintyä kolmen tai viiden vuoden välein. Etelä-Ruotsissa saattaa esiintyä jopa 40 °C:n lämpötiloja 20 vuoden välein (EC & EEA, 2022b). Ilmastonmuutoksen aiheuttamia haitallisia vaikutuksia tulevaisuudessa voi olla useita ja kaikilla väylämuodoilla vaihtelevissa määrin.

Maantie- ja rautatieliikenne todennäköisesti lisääntyvät tulevaisuudessa, mikä asettaa vaatimuksia kestäväälle infrastruktuurille (EC & EEA, 2022b). Samaan aikaan ilmaston muutokset lisäävät rankkasateita sekä tulvien ja maanvyörymien riskiä, jotka vaikuttavat teihin ja rautateihin, mikä puolestaan voi johtaa onnettomuuksien lisääntymiseen (EC & EEA, 2022b). Sivuston mukaan myös kaatuvat puut voivat aiheuttaa liikennehäiriöitä. Pohjaveden pinnankorkeuden muutokset voivat vaikuttaa muun muassa kuivatukseen, minkä seurauksena matalat sillat on mahdollisesti rakennettava korkeammiksi (EC & EEA, 2022b).

Lämpimät talvet vähentävät Ruotsissa teiden liukkauden torjunnan tarvetta ja luultavasti lumen poiston tarvetta (EC & EEA, 2022b), mutta Suomessa lähellä nollalämpötilaa olevat lämpötilat lisäävät liukkauden torjunnan tarvetta. Ruotsin pohjois- ja keskiosissa voi olla enemmän lämpötilan vaihteluita 0°C:een molemmin puolin, mikä lisää riskiä vaikeisiin ajo-olosuhteisiin sekä teiden ja muun infrastruktuurin vaurioitumiseen (EC & EEA, 2022b). Pitkät lämpimät sääjaksot vaikuttavat rautateihin negatiivisesti, sillä rautatiekiskot ja monet muut komponentit voivat laajentua helteessä ja aiheuttaa häiriöitä liikenteeseen (EC & EEA, 2022b).

Sivuston mukaan ilmastonmuutos ei juurikaan vaikuta laivaliikenteeseen Ruotsin vesillä, joskin eteläisen Ruotsin laitureita saatetaan joutua korottamaan korkeam-

paan vedenkorkeuteen. Lisääntyneet vesivirrat voivat aiheuttaa vaikeuksia lisääntyneen eroosion ja maanvyörymien riskin vuoksi kapeikoissa, kuten kanavissa. Maanvyörymien riski on suuri Göta-joella, joka on tärkeä laivareitti Länsi-Ruotsissa. Vähentynyt jääpeite ja lyhyempi jääpeitteinen kausi ovat positiivisia ilmiöitä merenkululle. (EC & EEA, 2022b).

2.3.2.2 Ruotsin liikennevirasto Trafikverket

Ruotsin liikennevirasto (ruots. Trafikverket) on aloittanut strategisen ilmastonmuutokseen sopeutumistyön jo vuonna 2014. Trafikverketin strategia (2014) koostuu kolmesta osasta ja kuvaa ilmastonmuutokseen sopeutumistoimintaa. Strategian tavoitteena on luoda edellytykset tehokkaalle työlle ilmastonmuutokseen sopeutumisen parissa, ehkäistä ilmastonmuutoksen kielteisiä vaikutuksia toteuttamalla kestäviä infrastruktuurirakenteita ja hallita vaikutuksia, joita ilmastonmuutos aiheuttaa (Trafikverket, 2014). Strategiaa seurasi 18 toimenpiteen toimintasuunnitelma vuonna 2016. Kun ensimmäisen toimintasuunnitelman toimenpiteet oli toteutettu, laadittiin vuonna 2017 toinen toimintasuunnitelma, joka oli tarkoitus toteuttaa vuosina 2018–2019.

Trafikverket julkaisi päivitetyn raportin ilmastonmuutokseen sopeutumisesta syyskuussa 2018 (Liljegren, 2018). Siinä on hyödynnetty aikaisempien vuosien sopeutussuunnitelmia ja seurantaraportteja sekä tuotu esiin ilmastonmuutoksen haittavaikutuksia, jotka kohdistuvat Trafikverket:n ja Ruotsin infrastruktuuriin. Ruotsin liikennevaliokunta on verkkosivujensa mukaan seurannut sopeutumistoimenpiteiden edistymistä vuoden 2018 ilmastosopeutumisstrategian perusteella ja sen tavoitteena on toteuttaa sopeutumisen toimenpiteitä vuosina 2018–2029 (Sveriges Riksdag, n.d.).

Ruotsin kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumisstrategia on tehty vuonna 2018 (SMHI, 2022) ja sen ensimmäisessä arvioreportissa Schultze ja muut (2022) tuovat esiin kokemuksia ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia infrastruktuuriin esimerkein; kesällä 2018 Ruotsissa junaliikenne oli pysäytettynä useampaan kertaan suistumisten välttämiseksi raiteen hellekäyrien (ruot. solkurvor) vuoksi. Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumisstrategian arvioreportissa todetaan muun muassa seuraavaa (Schultze ym., 2022):

- Kaupunkien ulkopuolisten alueiden, maaseudun tulvariskejä ei yleensä arvioida ja analysoida vaikka se olisi erittäin tarpeellista tehdä maaseudun infrastruktuurin, ekosysteemien ja ihmisten kannalta.
- Tehokas ilmastonmuutokseen sopeutuminen edellyttää koordinoitua useiden eri toimijoiden välillä (valtion ja kuntien infrastruktuurin omistajat, maanomistajat jne.), koska infrastruktuuri vaikuttaa kaikkiin ja on yhteydessä moneen toimintaan. Tiivis dialogi asianosaisten välillä on äärimmäisen tärkeää etenkin suunniteltaessa uutta infrastruktuuria mahdollisimman hyvän kokonaisratkaisun saamiseksi.
- Tarve kansalliselle strategialle, joka koskee vain liikenneinfrastruktuuria ja -järjestelmiä.
- On todellinen tarve tunnistaa ja priorisoida tie- ja rataosuudet, jotka ovat erityisen haavoittuvia.

- Tarve laajemmalle, paremmalle ja nopeammalle tietojärjestelmälle (eng. information system) varautumisen parantamiseksi ja haavoittuvuuksien vähentämiseksi tulevaisuuden äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamien vaikutusten vuoksi.
- Yhä sähköistyvä liikenneinfrastruktuuri saattaa myös vaatia joitakin erityisiä ilmastonmuutossopeutumistoimenpiteitä.

Trafikverket on kehittänyt riskianalyysimenetelmäkäsikirjoja erilaisille ilmastonmuutoksen aiheuttamille tapahtumatyypeille, kuten maan- ja lumenvyörymille, tulville, eroosiolle ja huuhtoutumille (Karlsson, 2019; Schultze ym, 2022). Esimerkiksi vuonna 2019 on julkaistu käsikirja rataosuuden riskianalyysistä (Karlsson, 2019) ja raiteiden hellekäyristä on laadittu käsikirja (Schultze ym, 2022, s.344–345).

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen vaikuttaa Trafikverketin kaikkeen toimintaan (suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito, liikenteenohjaus) ja työtä on tehtävä yhteistyössä kaikkien sidosryhmien kanssa (Liljegren, 2018). Ilmastonmuutokseen sopeutuminen on pitkäjänteistä työtä ja vaati aikaa. Sopeutumisen toimintasuunnitelmatyö on vaatinut Ruotsin liikennevirastossa sisäisesti paljon työtä, mutta sen myötä tietoisuus ilmastonmuutoksen vaikutuksista Trafikverketin sisällä on lisääntynyt merkittävästi. Tavoitteena on, että ilmastonmuutokseen sopeutuminen huomioidaan Trafikverketin päivittäisessä työssä sekä lyhyellä että pitkällä aikajännteellä ja sen kaikilla organisaatiotasoilla (Liljegren, 2018, s. 37).

Trafikverketin (2021) kansallisessa liikenneinfrastruktuurin suunnitelmaehdotuksessa vuosille 2022–2033 ilmastonmuutokseen sopeutuminen on otettu huomioon muun muassa taloudellisesta näkökulmasta, ja investoinnit tähtäävät esimerkiksi tieverkoston mukauttamiseen muuttuvaan ilmastoon. Ilmastonmuutokseen on ehdotettu varattavan vuosille 2022–2033 1,1 mrd. kruunua (Trafikverket, 2021, s. 99).

2.3.3 Norja

Norjassa teiden, rautateiden ja vesiväylien ilmastonmuutokseen sopeutumisesta vastaavat valtion tiehallinto (no. Statens vegvesen, tiet), BaneNOR (rautatiet) ja Norjan merenkulkulaitos (no. Kysteverket, vesiväylät). Norjan ympäristöviraston (no. Miljodirektoratet) verkkosivuille on koottu tietoa ilmastonmuutokseen sopeutumisesta. Sivuston mukaan teiden ja rautateiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä ilmastonmuutoksen aiheuttamia haasteita ja toimenpiteitä niiden hillitsemiseksi ovat (2022):

- Vesihuollon toimenpiteiden ja mitoituksen huomiointi varhaisessa suunnitteluvaiheessa jo kuntasuunnittelutasolla huomioiden myös tulevat aluemuutokset. Tulva-analyysit ja haavoittuvien alueiden kartoitus ovat hyvä perusta varoituskartoille, minkä takia aiempien vesivahinkojen ja olemassa olevien kuivatustoimenpiteiden (esim. rummut) kartoitus on tärkeää.
- Eroosio ja sedimenttien kulkeutuminen, joka voi johtaa kourujen ja salaojitusreittien tukkeutumisriskiin ja veteen liittyviin maanvyörymiin, minkä takia sedimenttien käsittely tulee tehdä hyvällä etäisyydellä rummuista.
- Lämpimämpi ja kosteampi ilmasto lisää maanvyörymien riskiä pienillä valuma-alueilla ja uusilla paikoilla

- Merenpinnan nousun ja myrskytulvien riskit rannikolla, mikä on huomioitava kaikessa rannikon suunnittelussa
- Kokonaisvaltainen tulva- ja sadevesisuunnitelma, jossa huomioidaan se, mistä vesi poistuu sekä normaali- että tulvatilanteissa. Tehtävä kaavoitusvaiheen varhaisessa vaiheessa infrastruktuurin sijaintia koskevien ehdotusten kanssa niin, että tulvaveden käsittely puroissa, joissa ja pintavedet huomioidaan suunnittelualueella. Sivustolla on myös määritelty yleiset periaatteet tulva- ja sadevesisuunnitelman laatimiselle.
- Käyttö- ja huoltosuunnitelman laatiminen. Suunnitelmat tulee tehdä mahdollisimman yksinkertaisesta kunnossapidosta ja kokonaiskäyttö-/huoltosuunnitelma tulee tehdä jo kaavoitustasolla. Käyttö- ja huoltosuunnitelman tulisi sisältää vastuu rutiinitarkastuksista ja yksinkertainen kuvaus niistä sekä siitä, kuinka usein huoltoa tarvitaan. Lisäksi on ilmoitettava, kuka rahoittaa tämän ja mahdolliset suuret kunnossapitotoimenpiteet.
- Yhteistyön suunnittelu, sillä on tärkeää ottaa kaikki asiaankuuluvat toimijat ja maanomistajat mukaan suunnitteluprosessiin varhaisessa vaiheessa, jotta saadaan paikallisiin olosuhteisiin nähden hyviä ilmastoon sopeutumisen ratkaisuja.
- Ilmastonmuutos lisää rakennusvaiheen haasteita erityisesti lisääntyvän lyhytaikaisen voimakkaan sateen riskin vuoksi, jonka ennustettavuus on heikkoa. On tärkeää, että sitä, mitä suunnitteluprosessissa vesihuollosta ja eri toimenpiteistä päätetään, seurataan tarkasti, jotta rakentamisen aikana ei tapahdu muutoksia. On myös varmistettava, että rakennusvaiheen kuitustoimenpiteet ovat riittävän kapasiteetiltaan.

Norjan kansallisen liikennesuunnitelman (no. Transport Plan) englanninkielisessä yhteenvedossa ilmaston muutokseen sopeutuminen on mainittu vain yhden kerran (Norwegian Ministry of Transport, NMT, 2021). Julkaisussa todetaan, että kuljetusalan on oltava valmis sekä estämään että käsittelemään suurempia ja tiheämpiä luonnononnettomuuksia ja se, että ilmastonmuutokseen sopeutuminen on keskeinen painopistealue pelastuspalvelustrategiassa (NMT, 2021, s. 31).

Hauge ja muut laativat vuonna 2017 tutkimuksen Norjan rakennusten ja infrastruktuurin ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja selvittivät käyttöoppaiden ominaispiirteitä ja vaikutuksia sopeutumiseen rakennetussa ympäristössä. Tutkimuksessa havaittiin, että tyypillisesti käyttöoppaat sisältävät runsaasti taustatietoja ilmastonmuutoksesta ja sen seurauksista, riskeistä ja epävarmuuksista, mutta käyttäjät tarvitsevat kuitenkin enemmän tietoa ja kuvauksia käytännön toimenpiteistä ilmastonmuutokseen sopeutumisen toteuttamisesta (Hauge ym. 2017). Johtopäätös on, että käyttöoppaiden runsaus ei automaattisesti johda parempaan ilmastoon sopeutumiseen (Hauge ym., 2017).

Julkaisun perusteella suositellaan (Hauge ym. 2017):

- Tulevien käyttöoppaiden tulee viestiä konkreettisista teknisistä toimenpiteistä mahdollisimman tehokkaasti. Konkreettisia toimenpiteitä tarvitaan myös päätöksentekoprosessien kehittämistä varten, kuten tietoa siitä, minkä sidosryhmien tulisi osallistua mihinkin kokouksiin ja miten päätöksentekoprosessin tulisi toimia eri toimialoilla ja aihekokonaisuuksien kohdalla.

- Web-pohjaiset käyttöoppaat tulisi toteuttaa siten, että ne mahdollistavat oleellisen tiedon ja toimenpiteiden löytymisen intuitiivisesti ja välittömästi ilman, että käyttäjän tarvitsee etsiä tietoa useista eri lähteistä. Ilmastonmuutoksen taustatiedot pitäisi järjestää mieluummin tukiaineistoksi kuin itse pääasiaksi. Vuorovaikutteinen verkko-opastus voisi mahdollistaa tiedon helpompaa löytymistä.
- Vuorovaikutteisia verkkosivuja, jotka sisältävät käytännöllisiä esimerkkejä ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja mahdollistaa ideoiden ja ajatusten vaihtoa sekä keskustelua toimittajista ja tuotteista.
- Käyttöoppaat tulisi myös mukauttaa käyttäjien jo olemassa oleviin työkaluihin ja työmenetelmiin.
- Perustettava mieluummin yksittäisiin aihealueisiin keskittyviä verkkosivuja yleisten ilmastoaiheisten sivustojen sijaan, koska tämän tutkimuksen havaintojen perusteella yksittäisiin aihealueisiin perustuvia verkkosivuja käytetään useammin kuin yleisiä sivustoja.
- Sivustoilla olevien tekstien on oltava mahdollisimman lyhyitä ja niissä olisi hyvä välttää akateemista kieltä.
- Käyttöoppaiden käyttäjien ja kohderyhmien tarpeenmukaista määrittämistä.

Norjassa Klima2050 -keskuksen hankkeessa (WP4) ohjemateriaaleja ja päätöksentekoprosesseja on tarkoituksena tutkia käyttäjien näkökulmasta. Klima2050:n tarkoituksena on vähentää ilmastonmuutoksen sade- ja tulvavesialtistukseen liittyviä yhteiskunnallisia riskejä rakennetussa ympäristössä (Hauge ym., 2017; Klima2050, n.d.).

Norjan tilintarkastusvirasto (Riksrevision) laati selvityksen viranomaisten työstä infrastruktuurin ja rakennusten sopeuttamisesta ilmastonmuutokseen (Schjøtt-Pedersen, 2021). Selvityksen yhteenvedossa todetaan seuraavaa:

- Liikenne- ja viestintäministeriöllä ei ole yleiskuvaa nykyisen liikenneinfrastruktuurin haavoittuvuudesta tulevaisuuden ilmastonmuutokselle.
- Ilmastonmuutostyön koordinointi kansallisten viranomaisten välillä on heikkoa.
- Rakennusten määrä kartoitetuilla vaara-alueilla lisääntyy ilmastonmuutoksen seurauksena.
- Viranomaisilla ei ole tarvittavaa yleiskuvaa luonnonilmiöiden vaarallisuudesta tulevassa ilmastossa.
- Olemassa olevien rakennusten turvaamista tulevaa ilmastonmuutosta varten ei ole huolehdittu riittävästi.
- Ministeriöillä ei ole tarpeeksi hyvää tietopohjaa arvioida ilmastonmuutoksen sopeutumisen tilaa Norjassa.

- Ilmasto- ja ympäristöministeriön vuosibudjettilaskelman raportointi ei anna tietoa tavoitteiden saavuttamisesta ja tunnetuista haasteista.

Norjan liikenne- ja viestintäministeri toteaa vastineessaan tilintarkastusviraston raporttiin, että ministeriö on antanut vuoden 2022 määrärahojen jakamisen yhteydessä Statens Vegvesenille ja Norjan rautatieviranomaiselle ohjeet, joiden avulla infrastruktuurin haavoittuvuutta ilmastonmuutokseen on mahdollista seurata (Schjøtt-Pedersen, 2021).

Statens Vegvesen on saanut muun muassa ohjeistusta yleisen turvallisuuden analysointimenetelmien kehittämiseen tulevaisuuden liikennejärjestelmän suunnittelussa ja sitä on pyydetty aloittamaan valtakunnallisen tieverkon kuntoindikaattorien kehittäminen kunnon kehittymisen seurannan mittaamiseksi (Schjøtt-Pedersen, 2021). Valtion suoraomistuksessa olevien yritysten, kuten Bane NOR:n ilmastonmuutoksen sopeutuminen tulee olemaan osa yritysten systemaattista seuranta mm. EU taksonomian kautta, missä ilmastonmuutokseen sopeutuminen on yksi kuudesta ympäristötavoitteesta (Schjøtt-Pedersen, 2021, s.9 ja 27–28).

2.3.4 Monikansalliset tutkimukset

2.3.4.1 IPCC

Hallitusten välinen ilmastopaneeli IPCC toteaa raportissaan *IPCC WGII Sixth Assessment Report* yhdeksi ratkaisuksi tutkimuksen lisäämisen ilmaston muutosta kestävästä infrastruktuurin (eng. climate resilience infrastructure) tuottamiseksi (IPCC, 2022a). Fyysinen, liikkumista (eng. transportation) tukeva infrastruktuuri on IPCC:n (2022a) mukaan yksi kriittinen osa yhteiskuntien toimintaa, johon kohdistuu napa-alueilla, joihin Suomikin kuuluu, ilmastonmuutoksen osalta merkittäviä muutoksia. Suorat ja epäsuorat riskit kohdistuvat julkiseen ja yksityiseen infrastruktuuriin, kuten teihin, rautateihin, asemiin, meriväyliin, sekä lumi- ja jääreitteihin. Raportissa kuvattuja muutoksia ovat muun muassa merijään muutokset, roudan sulaminen, rannikoilla myrskyäallot ja eroosio sekä sateisuuden merkittävät muutokset kaikkina vuodenaikoina. Lämpötilojen suuret ja nopeat muutokset ja vaihtelut tulevat todennäköisesti aiheuttamaan maaperän eroosiota. (IPCC, 2022b, 2022d, 2022e)

Infrastruktuurin mukauttamista nopeasti muuttuvaan ilmastoon rajoittavat tällä hetkellä saatavilla olevat tekniikat ja infrastruktuurin päivittämiseen liittyvät suhteellisen korkeat kustannukset (IPCC, 2022e, s. 2351). Euroopassa ilmastonmuutoksen aiheuttamat euromääräiset vahingot liikenteelle, energian tuotannolle, teollisuudelle ja sosiaaliselle infrastruktuurille voivat nousta kymmenkertaiseksi vuoteen 2080 mennessä ja etenkin liikenneinfrastruktuurin osalta 15-kertaiseksi, kun tarkastellaan ns. keskinkertaista lämpenemistrendiä $\sim 3^{\circ}\text{C}$ vuoteen 2100 mennessä.

Toimivimpina sopeutumiskeinoina todetaan yhteistyö kaupunkien, kuntien, valtionhallinnon, tutkimuslaitosten, yritysten ja kolmannen sektorin kesken. Ilmastonmuutokseen sopeutumista ei voi pitää vain lisä- tai sivutehtävänä muiden tehtävien ohessa vaan toimenpiteet ilmastonmuutokseen sopeutumisessa täytyy sisällyttää olemassa oleviin prosesseihin. Tieto ilmastonmuutoksen aiheuttamista riskeistä on sisällytettävä muun muassa suunnitteluun (arkkitehtuuri ja infrastruktuuri) sekä aluesuunnitteluun siten, että suunnittelu koskee useammalla tasolla laajempia alueita kuin vain yksittäisiä kaupunkeja. Myös luontopohjaiset suunnitteluperiaatteet

(eng. nature based) on sisällytettävä perinteiseen, niin kutsuttuun harmaaseen in-sinöörisuunnitteluun. Strategiset investoinnit teknologisesti innovatiivisiin infrastruktuureihin, jotka tuottavat sopeutumisen monihyötyjä, nähdään erittäin suurella todennäköisyydellä lisäävän sopeutumisen tehokkuutta kuljetuksen toimialalla (eng. transportation). Lisäksi infrastruktuurien teknologiset ratkaisut nähdään tärkeänä riskien hallinnassa. (IPCC, 2022b, s. 118–119; 2022e, s. 2347).

IPCC:n Eurooppaa koskeva raportti (2022c) nostaa esiin keskeisinä kehittämiskohteina ilmastomuutokseen sopeutumisessa muun muassa tutkimustiedon puuttumisen. Raportissa todetaan, että vaikkakin ilmastomuutoksen ilmiöt tulevat yhä yleisemmiksi, tietämys riskeistä, jotka kohdistuvat eri sektoreihin ja ilmenevät välillisesti sektoreiden välillä (kaskadivaikutus), on puutteellista esimerkiksi liikenteen (eng. transport) toimialalla (IPCC, 2022c, s. 1859). Myöskään empiiristä tietoa vahingoista liikkumisen infrastruktuurille ei ole kerätty Euroopan maissa systemaattisesti, eikä epäsuoria taloudellisia vaikutuksia liikkumisen infrastruktuurin käytön keskeytymisistä ole tutkittu riittävästi (IPCC, 2022c, s. 1859).

2.3.4.2 OECD

OECD määrittelee raportissaan *Climate-resilient Infrastructure, Policy perspective, OECD Environment Policy Paper No.14* (2018, s. 4) ilmastokestävän infrastruktuurin (eng. climate resilient infrastructure) seuraavasti: ”The defining characteristic of climate-resilient infrastructure is that it is planned, designed, built and operated in a way that anticipates, prepares for, and adapts to changing climate conditions”. Suomen kielelle käännettynä määritelmä kuvaa, että ilmastokestävää infrastruktuuria yhdistävät piirteet ovat infrastruktuurikohteen suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito siten, että ratkaisuilla ennakoidaan, valmistaudutaan ja sopeudutaan muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin. Tavoitteena on, että infrastruktuuri toteutetaan muuttuvia ympäristö- ja ilmasto-olosuhteita kestäväksi koko sen elinkaaren ajalta esimerkiksi korottamalla siltoja siten, että niissä huomioidaan mahdollinen merenpinnan nousu tai suojelemalla ja parantamalla luonnollisia hulevesisysteemeitä.

OECD:n ilmastokestävän infrastruktuurin raportissa (2018) kuvataan, että poliittisessa keskustelussa tulee tarjota mahdollisimman monipuolista ja luotettavaa tietoa päätöksenteon tueksi. Infrastruktuuriprojekteissa tulee käyttää strategisia ympäristövaikutusten arviointiin soveltuvia työkaluja ja olemassa olevia standardeja (OECD, 2018, s 2–3). Lisäksi yleisesti sovittuja koodistoja on käytettävä. Ilmastomuutoksen haitallisia vaikutuksia infrastruktuurille voi vähentää muun muassa sijoittamalla infrastruktuuria sellaiseen paikkaan, joka on vähemmän altis muutoksille (esim. välttää rakentamista tulviville alueille) ja valitsemalla materiaaleja siten, että ne kestävät muutoksia mahdollisimman hyvin.

OECD:n raportissa (2018, s. 4) muutokset jaetaan rakenteellisiin ja hallinnollisiin toimenpiteisiin:

- **Rakenteelliset** mukautustoimenpiteet esim. valitsemalla teiden pintarakenteet siten, että ne eivät vahingoitu nopeiden ja suurien lämpötilamuu-
tosten myötä.
- **Hallinnolliset** mukautustoimenpiteet esim. suunnitteleamalla kunnossapito-
toimenpiteiden ajoitus parhaiten olosuhteisiin, kustannuksiin ja energian
saantiin soveltuvimmaksi, investoimalla erilaisiin varoitusjärjestelmiin tai
hankkimalla soveltuvia vakuutuksia.

Yksi merkittävä ongelma ilmastonmuutoksen mallintamisessa on OECD:n (2018) mukaan mallien erittäin suuri epävarmuus sekä yleisellä että etenkin tarkemmalla paikallisella tasolla. Ilmastonmuutosmallien avulla on erittäin vaikea ennustaa erilaisten ilmastonmuutoksen ilmiöiden vaikutusta infrastruktuuriin. Ilmastonmuutoksessa itse ilmaston muuttuminen on vain yksi osa kokonaisuutta. Esimerkiksi sateisuuden epävarmuudet ja kuivuus voivat johtaa vesivarantojen vähenemiseen, joka vaikuttaa talouteen, ihmisten muuttoliikkeisiin ja sitä kautta jälleen infrastruktuurin tarpeellisuuteen. (OECD, 2018, s. 8–10)

Ilmastonkestävyyden arviointia varten on olemassa useampia erilaisia työkaluja (OECD, 2018, s. 22). Esimerkiksi Australiassa ja Uudessa-Seelannissa käytetään IS Rating Scheme -työkalua (ISC, 2022) ja UK:ssa on käytössä Ceequal (BRE, n.d.). Julkisissa tarjouskilpailuissa on tärkeää tarkastella rakennettavan kohteen kustannuksia koko elinkaaren ajalta (OECD, 2018, s. 24). On tarkasteltava sekä investointikustannuksia (capex) että operatiivisia kustannuksia (opex).

2.3.4.3 EU – Ilmastokestävä Eurooppa ja EEA (European Environment Agency)

Euroopan komissio hyväksyi uuden strategian EU:n ilmastonmuutokseen sopeutumisesta 24.1.2021. Uusi strategia määrittelee, miten Euroopan unioni voi sopeutua ilmastonmuutoksen väistämättömiin vaikutuksiin ja tulla sietokykyisemmäksi vuoteen 2050 mennessä (European Commission, 2021). Strategiassa on neljä päätaavoitetta: tehdä sopeutumisesta älykkäämpää, nopeampaa ja järjestelmällisempää sekä tehostaa kansainvälistä toimintaa ilmastonmuutokseen sopeutumisessa (European Commission, 2021).

Uudessa EU:n strategiassa ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi (2021) todetaan, että tieto ilmastoon liittyvistä riskeistä sekä menetyksistä on keskeisessä roolissa ilmastoon liittyvien riskienarviointien tarkkuuden parantamisessa. Tässä yhteydessä tiedolla tarkoitetaan mm. ilmastonmuutoksen vaikutuksista johtuvia vahinkoja infrastruktuurille. Tällä hetkellä strategian mukaan ei ole käytettävissä riittävästi tietoa tai dataa, joka kuvaisi vahingoista koituneita menetyksiä määrällisesti, sillä tietoja ei tallenneta tai tieto ei ole käytettävissä muodossa. Strategiassa todetaan, että infrastruktuurikohteiden ilmastokestävyyteen kannattaa investoida vaikkakin hankekohtaiset kustannukset voivat nousta noin 3 % (European Commission, 2021).

Strategiassa todetaan myös, että luontopohjaisten ratkaisujen laajempi käyttö parantaisi ilmastokestävyyttä ja edistäisi samalla vihreän kehityksen ohjelman tavoitteita. Sinivihreät infrastruktuurit ovat erittäin tärkeitä osia ilmastokestävyyden toteuttamisessa harmaan infrastruktuurin rinnalla.

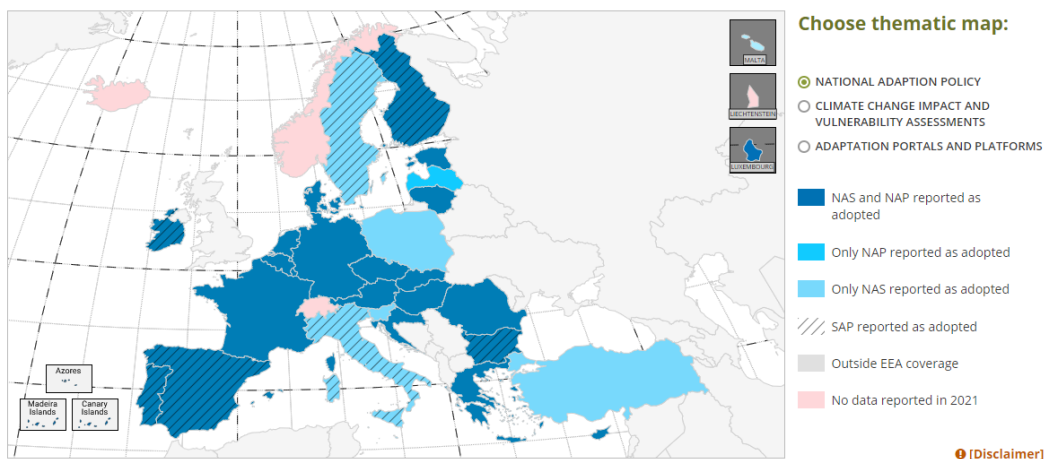
Liikenne on riippuvainen infrastruktuurin (tiet, rata, sillat, satamat) toiminnasta ja on kriittinen tukijärjestelmä yhteiskuntien ja talouden toiminnassa. Lämpötilojen nousu, lisääntyvät sademäärät sekä sateiden intensiteetin ja taajuuden muutokset ym. säiden ääri-ilmiöt tulevat olemaan vakava haaste liikennealalle. Pitkittyneet hellejaksot vaikuttavat mm. ratakiskojen vääntymiseen (hellekäyrä) sekä teiden päällysteisiin. (EEA, 2014, s. 5–7)

Meriväyliin voi kohdistua myös merkittäviä ilmastonmuutoksesta koituvia vahinkoja, ja vaikka ne voivat olla hyvin paikallisia, voi niillä olla kuitenkin merkittäviä

vaikutuksia jopa globaalin kaupankäyntiin, sillä esimerkiksi merenkulun turvalaitteiden yllättävällä toimimattomuudella voi olla kauaskantoiset vaikutukset. (Euroopan komissio, 2021, s.6, 8, 14, 18, 20, 26)

2.3.4.4 Suomen maaprofiili EU:n Climate Adapt -palvelussa ja tunnistetut keskeiset kehitystarpeet

Euroopan unionin jäsenmaiden ilmastonmuutoksen sopeutumisen ja varautumisen suunnittelutasoa voi vertailla EU:n Climate Adapt-palvelussa. Suomi kuuluu joukkoon jäsenmaita, joka on tehnyt eniten strategisen tason varautumis- ja sopeutussuunnittelua: strategiatyötä on tehty sekä kansallisella että sektoritasolla (Kuva 6). Suomessa on laadittu kansallinen sopeutumisen strategia ja kansallinen ilmastonmuutoksen sopeutumisen suunnitelma sekä asetettu sektorikohtaiset sopeutumisen tavoitteet eri ministeriöiden hallinnonalueilla (sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, puolustusministeriö, ympäristöministeriö sekä liikenne- ja viestintäministeriö).



Kuva 6. Euroopan maaprofiili EU:n Climate Adapt -palvelussa (EEA, n.d, 9/22).

EU:n Climate Adapt -palvelun kautta syntyy kuva sopeutumisen toimenpiteiden toteuttamisen ja seurannan haasteista. Koska Suomessa on valittu linjaksi ilmastonmuutoksen sopeutumisen toimien valtavirtaistaminen kaikkeen toimintaan, ei toteutettuja sopeutumisen toimia kyetä täysinmittaisesti tai juuri lainkaan erottelemaan eri virastojen taloudenpidossa ja toiminnan ohjauksessa. Puutteita on edelleen myös sektorikohtaisissa riskienarvioinnissa, ilmastonmuutoksen varautumistoimien painoarvossa, talousresursseissa sekä yleisessä tietoisuudessa. Ministeriötasoisilla, sektorikohtaisilla ilmastonmuutoksen sopeutumisen ohjelmilla on haluttu tuoda kansallisia tavoitteita lähemmäs eri sektoreiden toimintaa, mutta osa näistä toimintaohjelmista on jo selvästi vanhentuneita eivätkä kaikki ministeriöt ole tehneet hallinnonalakohtaisia sopeutussuunnitelmia.

2.3.4.5 ITF – International Transport Forum

Kansainvälisen liikennefoorumi ITF:n raportti (2016) liikkumisen sopeutumisesta ilmastonmuutokseen ja sään ääri-ilmiöihin nostaa samoja asioita esiin kuin muut aiheita tutkineet tahot. Kesän lämpötilat nousevat, äärimmäiset kuumuudet lisääntyvät ja ne pitkittyvät sekä esiintyvät nykyistä useammin. Talven keskilämpötilat

voivat laskea, mutta toistuvat lämpötilan vaihtelut nollan molemmin puolin (sulaminen ja jäätyminen) lisääntyvät. Lisäksi raportin mukaan pohjoisella pallonpuoliskolla sateisuus lisääntyy etenkin talvisin (ITF, 2016).

Liikenneinfrastruktuurin sopeutuminen näihin oletettuihin muutoksiin on erittäin monimutkaista, koska ilmastonmuutoksen mallit eivät pysty luotettavasti osoittamaan vaikutuksia infrastruktuuriin, eivätkä etenkin paikallisiin olosuhteisiin. Historiallinen ilmastodata ei anna vastauksia käsillä oleviin äkillisiin ja nopeisiin muutoksiin. ITF:n raportissa (2016, s.12–13) luetellaan seuraavia toimenpide-ehdotuksia:

- Toimi nyt. Infrastruktuuri, jonka elinkaaren odotetaan olevan yli 50 v., täytyy suunnitella nyt vastaanottamaan hyvin poikkeuksellisia sääolosuhteita mm. materiaalivalintojen osalta. Materiaalien on oltava vahvoja. Infrastruktuuria, jonka elinkaari on alle 50 v., on tarkasteltava kunnossapidon ja uusimisen yhteydessä ilmastokestävyyden näkökulmasta.
- Hyvä kunnossapito. Huolellinen ja ennakoiva kunnossapito suojaa infrastruktuuria ja vähentää ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia. Sensorit saattavat helpottaa kunnossapidon oikea-aikaisuuden arviointia ja toteutusta.
- Varaudu ja tee yhteistyötä. Liikenneväylien, esim. siltojen, yhteydessä on usein myös muita kriittisen infrastruktuurin (esim. tietoliikenne-, energia- ja vesihuoltokaapelit) kohteita, joten kunnossapidossa on tehtävä yhteistyötä kaikkien infran omistajien kanssa. Vahingot usean toimialan infrastruktuurikohteissa vaikuttavat moneen ja ovat sen vuoksi erittäin kriittisiä.
- Vaihtoehtoiset reitit infran vaurioituessa (jatkuvuus). Äärimmäiset sääolosuhteet voivat vahingoittaa jotakin tai useaa infrastruktuurikohtetta samanaikaisesti. Kestävä palvelusuunnittelu erilaisilla skenaarioilla mahdollistaa uudelleen reitityksen, tilapäisten palveluiden tuottamisen ja nopeamman palautumisen.
- Riskien arviointi. Haavoittuvuuksien arviointi mahdollistaa sopeutumisen priorisoinnin vaurioitilanteissa. Riskien arviointi on tässä osiossa avainasemassa. Omaisuudenhaltijan on kysyttävä mm.: Mitä voi tapahtua? Kuinka todennäköistä se on? Mitkä ovat seuraukset?
- Joustavuus / resilienssi. Joustavuuteen perustuva lähestymistapa hyväksyy ilmastonmuutoksesta johtuvia rikkoutumisia. Joustava lähestyminen ei pyri poistamaan kaikkia rikkoutumisen mahdollisuuksia vaan pyrkii minimoimaan mahdolliset rikkoutumiset. Tämä on mahdollista ennakoivan toiminnan ja valmiussuunnittelun (eng. contingency planning) avulla, joka mahdollistaa infraomaisuuden turvallisen rikkoutumisen.
- Jokaisella infran omistajalla on myös ns. tarpeetonta / käyttämätöntä infraa. On tärkeää arvioida infran olemassaolon tarpeellisuus ja mahdollinen käyttökelpoisuus tilanteissa, jolloin jokin toinen infran osa ei ole käytettävissä.
- Kustannus-hyötyanalyysi (CBA) ja riskien huomioiminen (esim. ISO31000 / PIEVC). Ilmastonmuutoksen vaikutukset tunnetaan huonosti ja ne ovat

epävarmoja, minkä vuoksi CBA-analyysin rinnalla kannattaa käyttää arviointimenetelmää, missä riskien vaikutukset ja kustannukset voidaan huomioida.

- Arviointitekniikat. Arviointitekniikat, kuten ROA (Real Option Analysis) ja RDM (Robust Decision Making) on tarkoitettu tilanteisiin, jolloin luotettavaa tietoa vaikutuksista tai tuloksista ei ole olemassa. Nämä työkalut täydentävät CBA-työkaluja. ROA- ja RBA-työkaluja ei tällä hetkellä käytetä infrastruktuurihankkeissa, joten niiden käyttöönotto ja integrointi infrastruktuurihankkeisiin edellyttää lisätutkimuksia.

2.3.4.6 FORESEE EU -project

FORESEE (Future proofing strategies FOR RESilient transport networks against Extreme Events) on EU:n tutkimusyhteistyöprojekti, joka tuottaa työkalupakin (eng. toolkit) tie- ja rautatieomaisuuden hallinnan parantamiseksi viranomaisille ja infrastruktuurin haltijoille. FORESEE-hankkeessa oli mukana tie- ja rautatieviranomaisia (23 kpl), yrityksiä, yliopistoja ja muita tutkimusorganisaatioita (FORESEE, 2022). FORESEE-projekti on päätynyt 28.2.2022 (1.9.2018-28.2.2022) ja siitä on julkaistu erillisten työryhmien (WP) mukaisia lopputuloksia, mutta tätä työtä kirjoitettaessa lopullista yhteenvetoraporttia ei ollut saatavilla (European Commission, 2022).

FORESEE (2022) projektin tavoitteena oli luoda ennaltaehkäiseviä huolto- ja kunnossapitostrategioita, joilla voidaan parantaa liikenneinfrastruktuurien kestävyyttä ja vähentää vahinkoja ihmisille (onnettomuudet) ja pienentää ilmastonmuutoksen riskejä (äärimmäiset sääilmiöt, maanvyörymät ja maanjäristykset). Lisäksi tavoitteena oli, että järjestelmän avulla voisi ennustaa ja varoittaa mahdollisista riskikenaarioista eri aikaskaaloilla ottaen huomioon teknisten komponenttien iän, olosuhteet ja jäljellä olevan käyttöiän sekä vähentää kriittiseen liikenneomaisuuteen, kuten siltoihin, tunneliin, jalkakäytäviin, penkereisiin ja terminaaleihin kohdistuvia sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia vahinkotapahtumien jälkeen.

FORESEE-järjestelmän on tarkoitus olla luotettava ja helposti käytettävä työkalupakki. Sen avulla voidaan helpottaa valmiuskäytäntöjen käyttöönottoa, jotta voidaan varmistaa sekä henkilö- ja tavaraliikenteen liikkuvuus, evakuointi ja hätätoimet. Järjestelmän tavoitteena on osoittaa kustannusten ja hyötyjen keskinäisen tasapainon positiivisia vaikutuksia resilienssiä lisäävissä investoinneissa suhteessa infrastruktuurin koko elinkaareen. FORESEE-työkalupakki sisältää:

- a. Luotettavan tiedonkeruujärjestelmän, satelliitti- ja maanpäällisen järjestelmän
- b. Tilannetietojärjestelmän ääritapahtumien ennustamiseen ja varoittamiseen
- c. Uudet materiaalit ja järjestelmät läpäiseviin päällysteisiin; viemärointi- ja rumpujärjestelmät sekä kaltevuuden vakautusjärjestelmät
- d. Päätöksenteon tukijärjestelmän, joka tarjoaa tietoon perustuvia resilienssi-järjestelmiä
- e. Standardeja, suunnittelua ja teknisiä suosituksia koskevia ohjeita.

FORESEE-projektin yhdeksästä osaprojektista (WP1-WP9) osa on tuottanut loppuraportin tai -yhteenvedon ja osa ei. Alla yhteenvedo työprojekteista ja niiden tuotoksista (Taulukko 5).

Taulukko 5. Yhteenvedo FORESEE-projektin työprojekteista ja niiden tuotoksista.

WP	Kuvaus	Loppuraportti /-yhteenvedo
WP1: Prosessit ja menetelmät palvelutason, riskin ja sietokyvyn mittareiden ja tavoitteiden määrittämiseksi	Tässä työryhmässä keskitytään pääasiassa palvelutason ja kestävyden mittaamiseen tarkoitettujen mittareiden määrittämiseen sekä näiden parametrien tavoitearvojen asettamiseen.	Ohje infrastruktuurin palvelutason ja kestävyden mittaamiseksi (Guideline to measure Levels of Service and resilience in infrastructures) Ohjeet infrastruktuurin palvelun ja kestävyden tavoitetasojen asettamiseen (Guideline to set target levels of service and resilience for infrastructures) Esimerkkejä palvelutasojen käytöstä ja hallinnon kestävydestä (Examples of using Levels of Service and resilience in governance)
WP2: Tiedonhankinta-, keuru-, integrointi- ja hallintajärjestelmä.	Työprojekti on vahvasti riippuvainen sekä paikallisten (in situ) maanpäällisten että satelliittihavainnointijärjestelmien hybridi-integraatiosta luonnonriskialttiilla alueilla sijaitsevien avaininfrastruktuurien tarkkailussa.	Ei loppuraporttia tai -yhteenvedoa
WP3: Uusien sopeutumistoimenpiteiden suunnittelu ja kehittäminen.	Uudet materiaalit ja järjestelmät. Tämä osaprojekti keskittyy uusien sopeutumistoimenpiteiden suunnitteluun, kehittämiseen ja arviointiin (uusien materiaalien, teknikkoiden ja järjestelmien muodossa) ilmastomuutoksen vaikutusten ja ihmisten uhkien lieventämiseksi liikenneinfrastruktuureissa.	Perinteisten kuivatusratkaisujen ja kestävien kuivatusjärjestelmien arviointi lineaarisessa infrastruktuurissa (tiet, rautatiet jne.) (Assessment of traditional solutions in drainage and sustainable drainage systems in linear infrastructures)
WP4: Päivitetty menetelmä, käytännöt ja ratkaisut.	Tämä osaprojekti keskittyy menetelmien, käytäntöjen ja ratkaisujen päivittämiseen sekä edeltävien työryhmien saavutusten käyttöönottoon, tuottaakseen tuloksia FORESEE-työkalupakin kehittämiseen seuraavassa työryhmässä (WP5).	Olemassa olevien ilmastotietokantojen arviointi (Assesment of existing climate databases) Hybriditietojen arvioinnin teoreettinen kehys (Theoretical framework on hybrid data assessment) Erialaisten SHM-algoritmien (Structural Health Algorithms) arviointi ja tarkastelu (Assessment and review of the different SHM algorithms) Algoritmien lopullinen versio optimaalisten ennallistamis- ja riskienvähentämishjelmien määrittämiseksi (Final versions of the algorithms to determine optimal restoration and risk reduction intervention programs)
WP5: FORESEE reagointi-, lieventämis- ja sopeutumistyökalu (Toolkit).	Tämän työohjelman yleisenä tavoitteena on kehittää integroitu ja modulaarinen alusta (FORESEE Response, Mitigation and Adaptation Toolkit), joka isännöi, korreloi, integroi ja tekee yhteentoimiviksi WP4:ssä kehitetyt työkalut.	Ei loppuraporttia tai -yhteenvedoa

WP	Kuvaus	Loppuraportti /-yhteenveto
WP6: Tapaus-tutkimussovellus	Testitapausten validointi. Tämä osaprojekti keskittyy WP5:ssä kehitetyn työkalupakin validointiin ja demonstroiintiin erilaisten tapaus-tutkimusten avulla, jotka kattavat eri mittakaavat, riskit, valtiot ja omaisuuslajit.	Sidosryhmien palautteen validointiraportti (Stakeholders Feedback Validation Report)
WP7: Resilienssijärjestelmän sovellus	Tässä osaprojektissa keskitytään määrittelemään toiminnallisia resilienssiskeemoja, jotka kattavat infrastruktuurin koko elinkaaren ja jotka pystyvät vähentämään äärimmäisten tapahtumien vaikutuksia ja seurauksia.	Ei loppuraporttia tai -yhteenvetoa
WP8: Hyödyntäminen, viestintä ja jakaminen	Tämä osaprojekti varmistaa hankkeen näkyvyyden kehittämällä tuloksiin liittyviä viestintä- ja jakamistoimintoja.	Ensimmäinen versio levitys- ja viestintäsuunnitelmasta (Dissemination and Communication Plan) Standardisointiraportti (Standardization Landscape Report)
WP9: Koordinaointi ja hallinta	Tämä osaprojekti käsittelee hankkeen yleistä hallintaa, mukaan lukien Konsortion hallintaa ja kaikkien panosten laatua FORESEE:n koko elinkaaren aikana.	Ei loppuraporttia tai -yhteenvetoa

Resilienssijärjestelmien ja -välineiden käyttöönotto EU:n infrastruktuurin hallintaprosesseissa on vielä hyvin varhaisessa vaiheessa. Vaikka menetelmiä ja tiettyjä teknologioita on kehitetty FORESEE-projektin tutkimuksissa ja hankkeissa, on niiden integroimisessa todellisiin ylläpito- ja päivitysprosesseihin vielä hyvin selkeitä puutteita. Erytisen suuri puute on lisäarvon tuottamisessa infrastruktuurin haltijoille ja omistajille, joka näkyy mm siten, että tällä hetkellä ei pystytä toimittamaan päätöksenteon pohjaksi luotettavia tietoja ja ohjeita, joiden avulla parannettaisiin kestävyttä ja toimintaa hätätilanteissa (European Commission, 2022).

2.3.4.7 CEDR Action Plan 2022-2024

CEDR:n (Conference of European Directors of Roads) toimintasuunnitelmassa 2022–2024 määritellään organisaation toimet ja kohdennetaan resurssit sen mukaisesti. CEDR toimintasuunnitelma (eng. Action Plan) koostuu viidestä osa-alueesta, joista yksi on FA2 Ympäristö ja resilienssi. FA2 Ympäristö ja resilienssi -osio koostuu 13 osakokonaisuudesta, joista alla luetellut liittyvät ilmastonmuutoksen sopeutumistyöhön (CEDR, n.d.a).

2.1 projekti käsittelee sopeutumisstrategioita ja kestävyttä (Liaison with PIARC Technical Committee E.1: Adaptation Strategies / Resiliency) (CEDR, n.d.b). Tarkoituksena on tunnistaa vaarat ja ympäristöuhat tieinfrastruktuurin resilienssin osalta. Aiheesta ei ole kirjoitushetkellä löytynyt raportteja tai yhteenvetoja.

2.2 projektin tavoitteena oli tehdä tutkimusta ilmastonmuutoksen integroimisesta päätöksentekoprosesseihin ja olemassa olevan tutkimuksen toteuttamiseen

käytännössä. Ohjelman nimi on Climate Change: From Desk to Road. Ohjelma toteutettiin 2016–2019 vuosina ja se sisälsi kolme projektia:

1. Decision support tools for embedding climate change thinking on road (DETECToR) (2016-2018)
2. Water management for road authorities in the face of Climate Change (WATCH) (2016-2018)
3. Mobility Management and Driver Behaviour Research (MoDBearR) (päättynyt 2019)

2.4 projekti on WG Environment (ympäristö). CEDR WG Environment keskittyy monenlaisiin aiheisiin, mukaan lukien muun muassa ilmastonmuutos, vesi, ilman ja maaperän laatu, biologinen monimuotoisuus, melu, kestävyys ja arkeologia. Työryhmän tavoitteena on antaa kansallisille sääntelyviranomaisille asiaankuuluvaa tietoa sen jälkeen, kun ovat analysoineet ympäristökysymyksiä ja -politiikkoja, joilla on merkittäviä vaikutuksia tieverkkoihin.

Väylävirasto on mukana ICARUS-hankkeessa (Improving the uptake of Climate change Adaptation in the decision-making processes of Road aUthoritieS), joka rahoitetaan CEDR:n kansainvälisen tietutkimusohjelman vuoden 2021 Climate Change Resilience -tutkimusrahoitushaun kautta yhteistyössä kansallisten tieviranomaisen kanssa (NRA). Hankkeeseen osallistuvat Väyläviraston lisäksi Irlannin, Alankomaiden, Norjan, Ruotsin ja UK:n kansalliset tieviranomaiset. Hankkeen on määrä tuottaa lisätietoa mm. ilmastonmuutoksen sopeutumisen kustannuksista, vaikutusten arvioinnista sekä luontopohjaisten ratkaisujen toimivuudesta tienpidon sopeutumistoimissa vuosien 2022–2024 aikana. Väyläpidossa luontopohjaisilla ratkaisuilla tarkoitetaan mm. hulevesien määrällisen ja laadullisen hallinnan menetelmiä hyödyntäen luonnon ekosysteemien toimintamalleja sekä eläviä kasveja, maaperää sekä mikrobeja. Luontopohjaiset ratkaisut ovat usein monihyötyratkaisuja, joissa samalla kertaa voidaan edistää esimerkiksi hiilen sidontaa, hulevesien hallintaa ja ympäristön yleistä viihtyisyyttä.

2.3.4.8 Kansainvälinen rautatieliitto UIC, ReRa-Rain

ReRa-Rain (REsilient RAilways facing Heavy Rain due to Climate Change, RERA-Rain) on UIC:n (The International Union of Railways, Kansainvälinen rautatieliitto) aloittama hanke. Kuluvalla kaudella 2022–2025 hankkeen tavoitteena on tutkia rautatieinfrastruktuurin kestävyyttä ja olla suunnannäyttäjä äärimmäisiin sääolosuhteisiin ja ilmastonmuutokseen sopeutumisessa (UIC, 2022a, 2022b).

Hankkeessa tunnistetaan ja arvioidaan haavoittuvuuksia, suunnitellaan niiden hallintaa ja ratkaisuja sopeutumiseen ja kestävyteen (UIC, 2022a). Hankkeessa arvioidaan rankkasateista kärsiviä rautatiejärjestelmän osia, analysoidaan maanvyörymiä ja geotekniikan ongelmia, infrastruktuuriongelmia ja mahdollisia merkinanto- ja viestintälaitteiden vaurioita. Lisäksi tutkitaan ja kvantifioidaan ankaran sateen aiheuttamia viivästyksiä ja rataosien tilapäisiä sulkemisia, laaditaan skenaarioita oikeanlaisten toimenpiteiden toteuttamiseksi ja tunnistetaan käyttötapauksia, joissa rautatieinfrastruktuuri auttaa ympäristöä kestävämpään äärimmäisiin sääolosuhteita (UIC, 2022a).

3 Toimenpiteet sopeutumisen edistämiseksi

3.1 Aiemmat toimenpide-esitykset ja niiden toteutuminen

Työvaiheessa selvitettiin vuosien 2007–2009 väylämuotokohtaisten sopeutumisselvitysten toimenpide-esitysten toteutumisen tilanne. Lisäksi päivitettiin toimenpide-ehdotuksia siltä osin, kun ehdotukset eivät olleet edenneet. Sopeutumistoimenpiteet jaoteltiin ensin ilmastonmuutoksen ilmiöiden perusteella. Työssä huomioitiin kirjallisuuskatsaukseen ja aikaisempiin sopeutumistoimenpiteisiin perustuen ne ilmiöt, jotka tulevat ilmastonmuutoksen myötä vaikuttamaan sopeutumiseen väylänpidossa ja liikenteessä. Sopeutumistoimenpiteet on tässä raportissa myöhemmin ryhmitelty väylämuodoittain, jotta toimenpiteiden käsittely olisi sujuvampaa.

3.1.1 Kuvaus työvaiheen työmenetelmistä

Vuosien 2007–2009 toimenpide-esitysten toteutumisen tilanne selvitettiin asiantuntijatyönä sekä työpajatyöskentelynä.

Työpaja järjestettiin MS Teamsin välityksellä etätyöpajana 12.8.2022. Työpajaan osallistuneet Väyläviraston asiantuntijat on lueteltu liitteessä (Liite 3). Työpajassa käytiin läpi Väyläviraston nykytilannetta ilmastonmuutoksen sopeutumisen toimenpiteiden toteutuksessa väylämuotokohtaisten esiselvitysten perusteella ja pohdittiin ilmastonmuutoksen kustannusvaikutuksia. Lisäksi pohdittiin, mitä uusia toimenpidetarpeita on ilmennyt. Työpajan lisäksi toimenpiteiden toteutumista selvitettiin Väyläviraston eri asiantuntijoilta sähköpostin välityksellä.

3.1.2 Väylämuotokohtaiset sopeutumisselvitykset ja toimenpiteiden toteutumisen tilanne

Asiantuntijatyöpajan keskeisenä havaintona voidaan todeta, että sopeutumisen toimenpiteitä huomioidaan jo väylänpidossa uusien rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Esimerkiksi rataverkoston uusien rakenteiden suunnittelussa otetaan huomioon tulvaherkät alueet. Merkittävimmät haasteet piilevät olemassa olevissa ja vanhemmissa rakenteissa, joissa sopeutumisen toimenpiteiden toteuttaminen on hankalampaa. Toimenpiteitä voidaan kuitenkin toteuttaa osana kunnossapitoa. Kaluston ja laitteiden tarvittavat uusimiset nähtiin keskusteluissa asioina, jotka toteutuvat ajan mittaan, kun kalustoa uusitaan.

Kaikki väylämuotokohtaiset esiselvitykset ovat jo melko vanhoja (yli 10 vuotta) ja kuvastavat laatimisajankohtaansa. Ilmastonmuutoksen ilmiöt ovat ajan tasalla, mutta osaa toimenpiteistä ja niiden toteutumista on vaikeaa arvioida, koska oletettavasti 10 vuodessa esimerkiksi kunnossapito on jo muutoinkin tehostunut. Ilmastonmuutoksen ilmiöt on myös esitetty esiselvityksissä yleisellä tasolla. Olisi hyödyllistä selvittää, missä ovat pahimmat tietoaukot niiden suhteen.

Toimenpiteiden toteutumista on hankalaa arvioida, sillä systemaattinen seuranta niiden osalta puuttuu. Ilmastonmuutoksen sopeutumisen tilannekuva on jäsenymätön, sillä asiaan liittyvä tieto on hajallaan ja sopeutumistoiminta kaikkineen perustuu yksittäisten toimenpiteiden toteutukseen. Lisäksi nähtiin tarpeellisena selvittää sopeutumistoimenpiteiden toteuttamisen haasteet eri väylämuodoissa.

Muutosten ennakkoinnin tärkeyden lisäksi tuotiin esiin se, miten muuttuvissa tilanteissa, kuten häiriötilanteissa, toimitaan. Työpajan asiantuntijat kokivat, että on tarpeen suunnitella myös toipumissuunnittelua ja häiriönhallintaa niin, että palvelutaso on mahdollisimman hyvällä tasolla, vaikka häiriöitä ilmenisi.

Alla olevissa luvuissa on esitetty tarkemmat tiedot väylämuotokohtaisissa selvityksissä Saarelainen & Makkonen (2007, 2008), Merenkulkulaitos (2009) ja Tiehallinto (2009) tunnistetuista keskeisimmistä ilmastoriskeistä ja esitetyistä sopeutumis- ja varautumistoimenpiteistä.

3.1.2.1 Tienpidon ja tieliikenteen sopeutumistoimien toteuma

Alla olevassa taulukossa kuvataan tienpidon kannalta keskeisimpien ilmatoriskien ja niiden esitettyjen sopeutumis- ja varautumistoimenpiteiden toteuma vuonna 2022 asiantuntijatyöpajan perusteella (Taulukko 6).

Taulukko 6. Tienpidon ja tieliikenteen sopeutumistoimien toteuma vuonna 2022.

Tunnistetut keskeisimmät ilmiöt tienpidolle	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet	Toimenpiteiden toteuma vuonna 2022
Sademäärien lisääntyminen	Alueellinen kuivatussuunnittelu ja kuivatusrakenteet	<p>Hankesuunnittelussa toteutuu ohjeistuksen mukainen suunnittelu (Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu 5/2013, Liikennevirasto; Maanteiden kuivatuksen kunnossapidon hallinta 6/2019, Väylävirasto).</p> <p>Kuivatuspuutteiden kartoitus tehdään hoitourakoiden kilpailutusaikataulun mukaan tai erillisinventointeina.</p> <p>Päällystettyjen teiden vaurioitumisen hidastamiseksi tehtävään kuivatuksen kunnossapitoon panostetaan erillisrahoituksen turvin; kuivatuspuutteet kartoitetaan, korjaukset tehdään ohjelmoidusti.</p> <p>Pidempään avoinna olevat vesistöt voivat osaltaan myös vaikuttaa tiestön jäätymisalttiuteen ja sateiden muodostumiseen.</p>
	Mitoitus- ja suunnitteluohjeet: tierakenteen mitoituksessa vuodenaikajaksotuksen kehitys ja käyttöönotto. Pohjarakenteen mitoituksessa (vakavuuslaskelmat) on huomioitava sateiden ja kohonneen pohjaveden aiheuttama kapasiteetin pieneneminen.	Hankesuunnittelussa toteutuu ohjeistuksen mukainen suunnittelu. Tieteknisien ohjeiden merkitys korostuu ja tärkeää on se, miten niissä ja mitoituksessa huomioidaan esimerkiksi sadanta.
	Päällystenormien mukaiset vaatimukset päällysteen vedenkestävyydelle tulee tarkistaa.	Päällysteiden vedenkestävyysvaatimukset on tarkistettu mm. Asfalttinormit 2023 -julkaisussa
Rankkasateiden yleistyminen	Tulvien ennakointi ja torjunta	<p>Tulvan vuoksi liikenteeltä suljetut tiekohdat kartoitetaan systemaattisesti ja tiedot viedään Velhoon.</p> <p>Kuivatuksen toimintalinjat ja kuivatus-toimenpiteet yhteensovitetaan päällysteohjelmien kanssa.</p> <p>Suunnittelussa huomioidaan tulvariski-alueet.</p>

Tunnistetut keskeisimmät ilmiöt tienpidolle	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet	Toimenpiteiden toteuma vuonna 2022
		Ilmastonmuutos on huomioitu kunnossapidon toimintalinjoissa.
	Kuivatuksen suunnitteluohjeet suuremmalle sademäärälle	Huomioitu esimerkiksi sorateissa, joissa kesähoitokausi pitenee ja kunnostus talvea varten hankaloituu.
Talviaikaisen sadannan kasvu ja jäätymis-sulamis-syklien lisääntyminen	Liukkauden ennakointi, tunnistaminen ja torjunta	Talvihoidon toimintalinjoissa korostuu liukkauden torjunta ja poikkeukselliset vesisateet talvella.
	Lumisateen ja kinostumisen ennakointi, tunnistaminen ja torjunta	Suunnittelussa huomioidaan tarkoituksenmukainen lumitila. Sää- ja sade-ennusteita seurataan.
	Päällysteiden korjaustarpeen ennakointi ja muutoksiin varautuminen.	Päällysteiden korjaustarpeen ennakointi ja muutoksiin varautuminen edellyttää kunnon seurantaa ja ennustamista säännöllisiin mittauksiin perustuen sekä nopeisiin korjauksiin varautumista esim. päällysteiden paikkausurakoiden avulla
	Kelirikon ennakointi, tunnistaminen ja torjunta	Kelirikkoo voi olla eri vuodenaikoina, kelirikkoinventointia pyritään uudistamaan pintakelirikkopainotteisemmaksi. Soratiet ovat olleet paljaana jopa tammi-kuussa, minkä vuoksi sorateilla tehdään talvella kesähoitotoimenpiteitä.
Lämpimän ajan pidentyminen (pitkien kuivien kausien lisääntyminen)	Pölyntorjunnan edistäminen	Lumettoman kauden pituus on kasvanut. Lisääntyvä sorastusmateriaalikulutus sorateilla. Kelirikon yleistyminen kevätkauden ulkopuolella (syyskelirikko ja talvikelirikko).
Lumipeitteen väheneminen	Lumipeite lisää tievalaistuksen tehoa, joten peitteen väheneminen lisää valaistuksen tarvetta. Valaistuksen määrää tulisi voida lisätä näkyvyyden ylläpitämiseksi	Huomioidaan mahdollisuuksien mukaan. Energian hinta määrää tällä hetkellä eniten.
Kustannusriskien hallinta	Koesuunnittelu ja rakentaminen sekä pilottikohteiden huolellinen dokumentointi kustannusriskien huomioon ottamiseksi.	Huomioidaan mahdollisuuksien mukaan.

3.1.2.2 Radanpidon ja raideliikenteen sopeutumistoimenpiteiden toteuma

Alla olevassa taulukossa kuvataan radanpidon ja raideliikenteen kannalta keskeisimpien ilmatoriskien ja niiden esitettyjen sopeutumis- ja varautumistoimenpiteiden toteuma vuonna 2022 asiantuntijatyöpajan perusteella (Taulukko 7).

Taulukko 7. Radanpidon ja raideliikenteen sopeutumistoimien toteuma vuonna 2022.

Tunnistetut keskeisimmät ilmiöt radanpidolle ja raideliikenteelle	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet	Toimenpiteiden toteuma 2022
Tulvat ja rankkasateet	Ratarakenteiden sijoittamista tulvanaroille alueille on syytä välttää. Tulvanaroissa kohteissa on selvitettävä toimenpiteet, joilla mahdollinen tulvan vaikutus voidaan rajata ja estää. Tulvainventoinnit ja eroosio- vaurioiden inventoinnit nykyisessä rataverkossa.	Tulvariskit on hyvin huomioitu nykyisissä ja valmistuvissa ratasuunnitelmissa. Olemassa oleva rataverkko "on siellä missä on", joten toimenpiteitä on vaikea soveltaa nykyisiin rataverkkoihin. Sopeutuminen huomioidaan uusissa rataosuuksia rakennettaessa. Inventoinnit tulisi toteuttaa osana kunnossapidon normaaleja käytäntöjä. Kunnossapidon asiantuntijuus olennaista. Tulvatilanteista ei ole kaiken kattavaa inventointia, vaan tietoa saadaan tilanne- ja paikkakohtaisesti, kun jossain tulvii. Tulvapaikat ovat tiedossa, mutta ei ole käytössä yhteistä järjestelmää. Eroosiovaurioita inventoidaan ja niistä saadaan tietoa. Eroosiovaurioiden inventointia tehdään mm. kun rataverkkoa käydään läpi kunnossapidon tarkastuksessa.
Sadannan lisääntyminen	Kuivatusjärjestelmien sekä silta- ja rumpurakenteiden mitoituksen tarkastaminen ja tarvittavat muutokset.	Uusissa ratahankkeissa mitoitus ja muutostarpeet on helppo huomioida, mutta nykyisissä vaikeaa. Esimerkiksi olemassa olevan sillan korottaminen on vaikeaa ja kallista.
Talvisateisuus ja jäätymis- sulamissykliin lisääntyminen	Ratapihojen ja jalankulku- alueiden liukkausongelman hallinta. Vaihteiden jäätymisen ehkäisy.	Liukkausongelmaan on kiinnitetty huomiota talvihoidon ohjeissa. Keskeisimpiin vaihteisiin on asennettu vaihdellämmityksiä, jotka estävät jäätymistä. Tarve tehostaa kelin tarkkailua ja ennusteita talven vesisateiden tai alijäähtyneiden sateiden aikaan.
Lumimyrskyjen voimistuminen	Aiheuttaa ratapihojen ja laitteiden tukkeutumista, joten tärkeää on lumimyrskyjen ennakkoinnin tehostaminen. Tehokkaammat lumen poiston menetelmät, joilla estetään ratapihalaitteiden toimintahäiriöt.	Lumenpoisto on kunnossapitourakoitsijan resursseista kiinni.
Helteiden yleistyminen	Turvalaitteiden laitetilojen jäähtytyksen lisääminen helteiden yleistyessä.	Jäähtytys on otettu suunnitteluohjeissa huomioon, ja varaudutaan vähän enempiin kuin sen hetkinen maksimi.

Tunnistetut keskeisimmät ilmiöt radanpidolle ja rai-deliikenteelle	Esitetyt sopeutumis- ja va-rautumistoimenpiteet	Toimenpiteiden toteuma 2022
Myrskyjen ja ukkosten yleistyminen	Parhaiden ratkaisujen huomioiminen maadoitusratkai-suissa ja ylijännitesuojauk-sissa ja investointitarpeet laitekannan suojaukseen. Myrskyn aiheuttamia tuulen-kaatoja voidaan vähentää li-säämällä rata-alueen le-veyttä ja kaatamalla riski-puita.	Häiriötilanteissa ei välttämättä saada tietoon, johtuvatko ne myrskyistä. Rataverkon läheisyydessä olevaa puus-toa kaadetaan. Rautateiden suoja-alueet on määritelty riittäviksi.
Sään ääri-il-miöt	Liikennehäiriöiden yleistymi-nen eri tekijöiden vuoksi. Sähkönsyötön ja liikenteen ohjauslaitteiden varmennus-tason lisääminen mm. pa-rantamalla suojauksia ja li-säämällä turvalaitteiden riip-pumattomuutta paikallisesta sähkönsyötöstä.	Ennakoinnin lisäksi on tärkeää, miten tilanteissa toimitaan ja toipumissuun-nittelu. Keskustelua tulisi lisätä ratakunnossa-pidon asiantuntijoiden kanssa.

3.1.2.3 Vesiväylien ja vesiliikenteen sopeutumistoimenpiteiden toteuma

Alla olevassa taulukossa kuvataan vesiväylien pidon ja vesiliikenteen kannalta keskeisimpien ilmatoriskien ja niiden esitettyjen sopeutumis- ja varautumistilanteiden toteuma vuonna 2022 asiantuntijatyöpajan perusteella (Taulukko 8).

Taulukko 8. Vesiväylien pidon ja vesiliikenteen sopeutumistoimien toteuma vuonna 2022.

Tunnistetut keskeisimmät ilmatoriskit	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet	Toimenpiteiden toteuma 2022
Myrskytuulet ja aallokko	Väylänpidossa käytettävän kaluston olosuhdevaatimusten korottaminen. Tiedotuksen lisääminen. Turvalaitteiden tuotekehitys ja ennakkoiva huolto.	<p>Aluskoon kasvaessa myös riskit kasvavat. Väylävirasto vastaa kiinteistä turvalaitteista, joihin on satsattava, sillä niissä on korjausvelkaa.</p> <p>Turvalaitekehitys: hehkulampuista on siirrytty ledeihin, jolloin turvalaite ei tuota lämpöä eikä sulata jäätä. Turvalaitteiden ja mastojen tarkastustoimintaa tulisi tehostaa, jotta voidaan ennalta estää vaurioita tai toimimattomuutta.</p> <p>Turvalaitteista on hyvin vaurioitumis- ja korjaustietoa ja näistä on olemassa kunnostusohjelmat. Turvalaite- ja mastorakennetekniikka kehittyy, toisaalta myös uusia mitoituksia tulee jatkuvasti. Myös laitteet ja mastot ovat mitoitustarvojen mukaisessa kunnossa.</p>
	Talvimerenkulussa vahinkojen minimointi operationaalisisessa toiminnassa. Murta-jakaluston sijoittaminen.	<p>Avustettavan kaluston koko kasvaa, joten avustavan kaluston on kasvettava myös jäänmurrossa. Yhteistyö Ruotsin kanssa on tärkeää. Kauppa-alukset ovat ympäristövaikutusten kannalta heikompia ja myös suurimpia.</p> <p>Tieto on toiminnanohjauksen perustana: tiedotus on tärkeää etenkin asiakkaan näkökulmasta, ja sitä on kehitetty paljon viim. 10 v. aikana.</p>
	Alusliikennepalveluissa varautumistoimet kriittisiin kohteisiin (akustot, generaattorit, reittien kohdentaminen, keulaporttien kuoritus jne).	<p>Tekniikassa on otettava huomioon myös kuumuus; myrskyt lisääntyvät, jolloin varavoimat, akut, energiansaanti yleensä varmistettava.</p> <p>Olosuhteet on tunnettava; nykyisin alukset eivät aina riittävästi ilmoita sijaintiaan, joten voi tulla kohtaamis- ja vaaratilanteita.</p>

Tunnistetut keskeisimmät ilmastoriskit	Esitetyt sopeutumis- ja varautumistoimenpiteet	Toimenpiteiden toteuma 2022
Navakka ja kova tuuli sekä aallokko	<p>Merenmittaustietojen hankinnassa sääriskin jakaminen tilaajan ja toimittajan välillä. Mittausalusten liikesensoreiden kehittäminen (aallokon ja maininkien vaikutuksen poistaminen).</p> <p>Mittausalusten liikesensorien kehittäminen (aallokon ja maininkien vaikutuksen poistaminen).</p>	<p>Vastuu on Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilla. Tuulet ja myrskyt on otettava huomioon mitoituksissa ja materiaaleissa. Merenpohjan mittaustietojen pohjalta mallinnetaan pohja, jolloin laivan käyttäytymisen simulointi ja ennustaminen on mahdollista.</p> <p>Olosuhdetietoja (sää / tuuli, aallokko) saadaan automaattisen tiedonkeruun (sensorit, poijut) avulla. Kauko-ohjattavia turvalaitteita tarvitaan lisää, esim. valaistuksen voimakkuutta tulee pystyä säätämään olosuhteiden mukaan. Yhteydenpitovälineiden toimivuus on huonossa kelissä erityisen tärkeää.</p> <p>Kauko-ohjattavia turvalaitteita tarvitaan lisää, että voidaan toteuttaa esim. valaistuksen voimakkuuden säätö olosuhteiden mukaan.</p>
Lumimyrskyt	<p>Väylänpidossa tutkamerkkien näkyvyyden parantaminen huonoissa olosuhteissa.</p> <p>Alusliikennepalveluissa korvaavat anturijärjestelmät.</p>	<p>Tekniikkaa on kehitetty jatkuvasti, ja nykyisin tutka näyttää todellisen sijainnin. Esim. kelluvat turvalaitteet on varustettu tutkalaitteilla. Tekniikka voi pettää, minkä takia turvalaitteet ovat tärkeitä.</p>
Jääpeitteen muutokset	<p>Väylänhoito on vaikeinta keilirikkelillä. Kalustovaatimukset huoltokalustolle ja ennakoivat huoltotoimet. Konetehomääräysten muutokset ja jääloukkamääräykset, vaikuttaminen IMOssa.</p>	<p>Väylänhoidon vaatimuksissa otetaan huomioon väylänhoito kaikilla keleillä. Kalustovaatimuksissa on jäissäkulkuvaatimus; jos väylä on ympärivuotinen, kp-kaluston on oltava kelvollinen. Eri urakoissa on erilaiset vaatimukset. Riittävän jäänmurtokapasiteetin varmistaminen.</p>
Merenpinnan nopea lasku	<p>Tiedottaminen ja ennustemallit</p>	<p>Tuloväylien syvyys on kriittinen. Merenpinnan nopean laskun sattuessa vastuu on kapteenilla (esim. suuret alukset). Tiedottaminen ja anturit ovat tärkeitä.</p>
Meritulvat ja vesistötulvat	<p>Alusliikennepalveluissa laiteilojen suunnittelu ja riskikohteiden kartoitus. Satamien turvallisuusselvitykset</p>	<p>Jatkuvaa kehittämistä tehdään varautumisen sekä kyberasioiden osalta. Myös ilkivalta ja rikollisuus huomioidaan varautumisessa.</p>
Kova hellejakso	<p>Alusliikennepalveluiden hankinnassa huomioidaan lämpötilarajat, joka varmistaa laitteiden toimintavarmuutta hellejakson aikana.</p>	<p>Työn aikana ei tullut tietoon toimenpiteitä, joita olisi tehty tämän osalta.</p>

Tunnistetut keskeisimmät ilmasto-riskit	Esitetyt sopeutumis- ja vaurautumistoimenpiteet	Toimenpiteiden toteuma 2022
	Satamien turvallisuusselvitykset ja palovaarallisten aineiden syttymisonnettomuuksien välttäminen.	
Veden lämpötilan nousu	Osallistutaan IMO:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen liittyen alusten pohjaan kiinnittyvien lajien eliminomahdollisuuksiin ja tulokaslajien painolastivesissä. Merenmittauksen laitekehitystarpeiden huomiointi urakoissa.	IMOssa vaikuttaminen on edelleen hyvin tärkeää; päästövaatimukset tiukentuvat.

3.2 Selvitys-, kehittämis- ja toimenpide-ehdotukset

Työvaiheen tuloksena tuotettiin esitys selvitys-, kehittämis- ja toimenpide-ehdotuksista. Toimenpiteitä koottiin työn aikana ja ne perustuvat tutkimuskatsaukseen, nykytila-analyyysiin, jossa selvitettiin Väyläviraston ilmastonmuutokseen sopeutumista, sekä syvähaastatteluihin ja asiantuntijatyöpajoihin.

3.2.1 Kuvaus työvaiheen työmenetelmistä

3.2.1.1 Syvähaastattelut

Työvaiheessa pidettiin kolme syvähaastattelua. Haastateltavat Väyläviraston asiantuntijat olivat vesiliikennejohtaja Jarkko Toivola, väyläomaisuuden hallinnan johtava asiantuntija Vesa Männistö ja radan kunnossapidon ohjaus ja kehittäminen -yksikön päällikkö (2022) Jukka P. Valjakka. Syvähaastatteluissa käytiin läpi seuraavia näkökulmia väylämuodoittain: ilmastonmuutoksen vaikutukset korjausvelkaan ja kunnossapitoon, strategisen tason muutostarpeet ilmastoresilienssin parantamiseksi, ilmastonmuutoksen vaikutukset palvelutasoon, ilmastonmuutoksen välilliset vaikutukset, innovaatiotoiminta sekä riskienhallinta. Kaikissa syvähaastatteluissa korostui kolme teemaa: ilmastonmuutoksen sopeutumisen johtaminen ja resursointi, yhteistyö eri väylämuotojen sekä sidosryhmien välillä ja tiedonhallinnan kehittäminen.

Ylimmän johdon tuki ilmastonmuutoksen johtamiseksi nähtiin erittäin tärkeäksi, samoin kuin ilmastonmuutoksen johtaminen kokonaisuutena. Lisäksi koettiin, että ilmastonmuutoksen sopeutumistoimien kehittäminen vaatii resursointia.

Yhteistyö eri väylämuotojen ja sidosryhmien välillä koettiin olevan avainasemassa ilmastonmuutostyössä. Erityisesti sopeutumistoimenpiteiden edistämiseksi on tärkeää tunnistaa ne asiat, joissa yhteistyön lisäämisellä on eniten vaikutusmahdollisuuksia. Lisäksi tulisi huomioida väylämuotojen eroavaisuudet sekä toisaalta ottaa

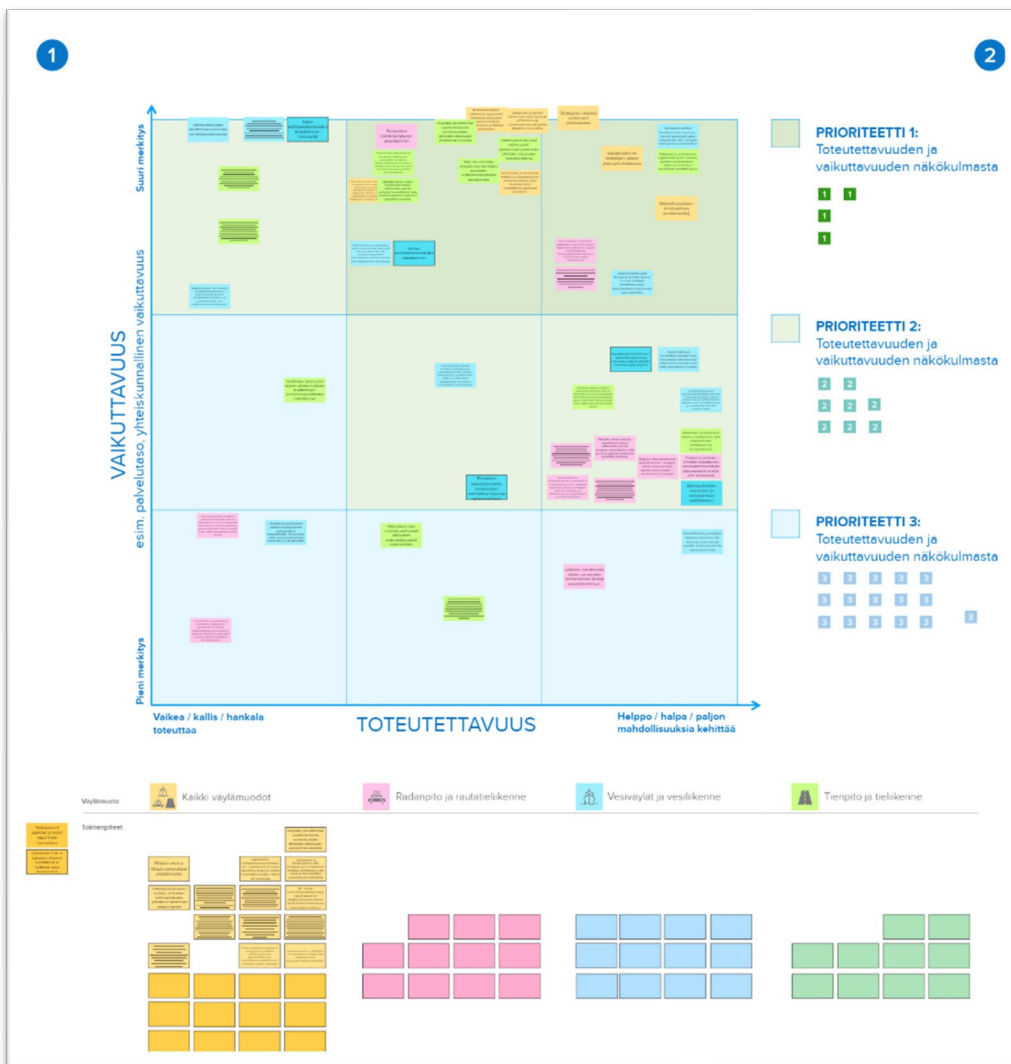
huomioon koko liikennejärjestelmätaso, jossa keskiössä ovat erilaisten ihmisryhmien liikkuminen, elinkeinoelämän kuljetukset ja sen toimijoiden liikkumistarpeet. Liikennejärjestelmätasolla tärkeitä ovat myös liikennevälineet, liikenteen infrastruktuurin hallinta ja liikenteen ohjaus, liikennetieto ja -palvelut sekä viestintäyhteydet.

Asiantuntijat näkivät, että tiedonhallinnan kehittämällä voitaisiin edistää ilmastomuutokseen sopeutumista useilla eri tavoilla. Säädataa on mahdollisuus hyödyntää nykyistä laajemmin, jonka lisäksi paikkatietoja sekä kunnossapitotietoja keräämällä, yhdistämällä ja analysoimalla voitaisiin saada tietoa äärisääilmiöiden vaikutuksista paikallisesti sekä siten varautua sääilmiöiden vaikutuksiin nykyistä paremmin.

3.2.1.2 Työpajat

Projektin toisessa työpajassa 4.11.2022 arvioitiin ehdotettujen toimenpidetarpeiden vaikuttavuutta ja priorisointia väylämuodoittain, sekä tehtiin alustava toimenpiteiden aikataulutus ja ohjelmointi. Työpaja toteutettiin etätyöpajana hyödyntäen Mural-alustaa. Työpajassa arvioitiin myös toimenpiteisiin liittyviä riskejä ja mahdollisuuksia. Kolmas työpaja järjestettiin 21.11.2022 etätyöpajana. Työpajoihin osallistuneet Väyläviraston asiantuntijat on lueteltu liitteessä (Liite 3).

Toimenpiteiden priorisointi tehtiin arvioimalla toimenpiteen vaikuttavuutta ja toteutettavuutta. Toteutettavuuden ja vaikuttavuuden kehikosta muodostettiin karkea, suhteellinen priorisointi toimenpiteille painottaen vaikuttavuutta. Kuva 7 on kuva-kaappaus työpajan arviointikehikosta, jossa oranssit laput ovat väylämuotojen yhteisiä, vaaleanpunaiset radanpidon ja rautatieliikenteen, siniset vesiväylien ja vesiliikenteen ja vihreät tienpidon ja tieliikenteen toimenpiteitä.



Kuva 7. Kuvakaappaus toimenpiteiden sijoittumisesta vaikuttavuuden ja toteutettavuuden kehittöön toisen työpajan jälkeen.

Priorisoinnin asteikkona käytettiin tässä vaiheessa numeroasteikkoa 1–3, jossa 1 on arvioitu olevan tärkein prioriteetti, kun huomioidaan toimenpiteen vaikuttavuus ja toteutettavuus sen mukaan, koettiin ko toimenpide helpoksi vai vaikeaksi, vähäisiä tai merkittäviä kustannuksia aiheuttavaksi tai koettiin ko sen kehittämiseksi paljon vai vähän mahdollisuuksia. Kukin toimenpide arvioitiin siis erikseen eikä priorisointia tehty eri toimenpiteiden välillä. Työpajassa syntyneestä toimenpiteiden priorisoinnista on huomattavissa, että väylämuotokohtaiset toimenpiteet hajautuvat matriisiin, painottuen kuitenkin vaikuttavuudeltaan merkittäviin tai toteutettavuudeltaan suhteellisen helppoihin toimiin.

Useat tienpidon ja tieliikenteen toimenpiteet koettiin vaikuttavuudeltaan merkittäväksi ja toteutettavuudeltaan vaihteleviksi. Suurin osa tienpidon ja tieliikenteen toimenpiteistä sijoittui prioriteettiluokkaan 1, muiden jakautuessa melko tasaisesti 2 ja 3 luokkiin.

Radanpidon ja rautatieliikenteen osalta toimenpiteet puolestaan koettiin pääosin toteutettavuudeltaan hyväksi, mutta hajontaa syntyi toimenpiteiden vaikuttavuuden suhteen. Suurin osa toimenpiteistä koettiin toteutettavuudeltaan helpoksi ja vaikuttavuudeltaan keskitasoiseksi, jolloin ne sijoittuvat prioriteettiluokkaan 2.

Vesiväylien ja vesiliikenteen osalta hajontaa syntyi muita väylämuotoja enemmän ja toimenpiteet jakoutuivat melko tasaisesti eri prioriteettiluokkiin, painotuksen jäädessä kuitenkin 2 ja 1 prioriteettien toimiin.

Työpajoissa tehtiin myös toimenpiteiden alustavaa ajoitusta perustuen asiantuntija-arvioon. Ajoitukselle olivat vaihtoehtoina: 1) toteutus seuraavan hallituskauden 2023-2027 aikana, 2) vuoteen 2032 mennessä, joka on nykyisen valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman (2021–2032) päättymisvuosi, tai 3) vuoteen 2050 mennessä, joka on liikennejärjestelmän kehittämisen vision vuosi. Alustava ajoitus tehtiin toimenpiteille, jotka arvioitiin vaikuttavimmiksi.

Kaikkia väylämuotoja yhdistäviä ja toimintaa organisoivia toimenpiteitä on tunnistettu määrällisesti eniten ja niiden toteuttaminen koettiin merkittäväksi. On huomattava, että toimenpiteiden sisältö vaihteli huomattavasti, osan ollessa pieniä ja yksinkertaisia ja osan laajoja kokonaisuuksia. Toimenpiteitä ei tämän vuoksi voi vertailla keskenään eikä liikennemuotojen välillä. Myöskään priorisointia ei ole tehty vertailemalla eri toimenpiteitä keskenään.

3.2.2 Toimenpide-ehdotukset

Tämän selvitystyön yhteydessä esiin nousseet selvitys-, kehittämis- ja toimenpide-ehdotukset on esitetty seuraavissa luvuissa. Aluksi esitellään kaikkia väylämuotoja yhdistävät toimenpiteet ja sen jälkeen väylämuotokohtaisesti tieverkkoon, rautateihin ja vesiväyliin liittyvät toimenpiteet.

Kaiken kaikkiaan toimenpide-ehdotuksia tunnistettiin 73 kpl. Toimenpiteissä nousi esiin paljon strategisen tason toimenpiteitä, jotka tuovat esiin tarpeen ilmastonmuutoksen sopeutumisen toiminnan organisoimiselle, johtamiselle (mm. seuranta) ja toimenpiteiden toteutumisen seurannalle Väylävirastossa kaikkia väylämuotoja läpileikkaavasti. Kokonaisuuden hallinta ja johtaminen koettiin sekä haastatteluissa että työpajoissa tärkeäksi kehityskohteeksi.

Resurssoinnin haasteet nousivat esiin sekä haastatteluissa että työpajoissa ja resurssoinnin riittävyys koettiin riskinä monien toimenpiteiden toteuttamiselle. Resurssointia tarvitaan ilmastotyön johtamiseen ja toiminnan kokonaisvaltaiseen organisointiin sekä väylämuotojen yhteisiin ja sisäiseen sopeutumistoimenpiteiden toteuttamiseen.

Erityisenä Väyläviraston vahvuutena sopeutumistoimien toteuttamiselle nousi esiin hyvä kansallinen yhteistyö ja sidosryhmiä osallistavat menetelmät, jotka ovat saaneet tunnustusta ulkomaillakin.

Toimenpiteet on ryhmitelty seuraaviin toimenpideluokkiin:

- Omaisuudenhallinta
- Strategiset toimenpiteet
- Selvitykset, ohjeet ja ohjelmointi
- Yhteistyö
- Tiedonhallinta

- Infran tekninen toimivuus

Toimenpidetaulukoissa seuraavissa luvuissa on kuvattu toimenpide, toteuttamisen ajankohta ja alustava prioriteetti luokka sekä muut huomiot, kuten riskit ja mahdollisuudet. Toimenpiteen yhteydessä on mainittu viite, josta toimenpide on peräisin. Tutkimuskatsaus-merkintä tarkoittaa, että toimenpide on peräisin virastotasoisista esiselvityksistä, kansallisista selvityksistä tai ulkomaisista sopeutumistyötä koskevista lähteistä. Viitteet on numeroitu ja ne ovat: 1) tutkimuskatsaus, 2) työpaja I, 3) työpaja II, 4) työpaja III, 5) syvähaastattelu ja 6) Väyläviraston asiantuntijan kommentit raporttiin. Kaikkien toimenpiteiden toteuttamisen ajankohtaa, priorisointia tai toteuttamiseen liittyviä riskejä ja mahdollisuuksia ei saatu selvitettyä tämän työn puitteissa, sillä kyseisiin toimenpiteisiin liittyvää sisältöä ei tullut esiin työn aikana järjestetyissä työpajoissa tai haastatteluissa.

3.2.2.1 Kaikille väylämuodoille yhteiset toimenpiteet

Väylämuotoja yhdistävät organisaatiotasoiset toimenpiteet on kuvattu alla olevassa taulukossa (Taulukko 9). Kaikille väylämuodoille yhteisiä toimenpiteitä tunnistettiin 28 kpl. Toimenpiteet liittyvät strategiseen ilmastotyöhön (14 kpl), omaisuudenhallintaan, selvitystarpeisiin, tiedonhallintaan ja yhteistyön kehittämiseen. Toimenpiteiden toteuttaminen arvioitiin tärkeäksi ja niistä moni arvioitiin sijoittuvan vaikuttavuudeltaan ja toteutettavuudeltaan prioriteetti luokkaan 1 (asteikolla 1–3, joista 1 on tärkein).

Taulukko 9. Väylämuotoja yhdistävät toimenpiteet ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi sekä toimenpiteiden kuvaus ja alustava ohjelmointi.

Toimenpide	Toteuttamisen ajan-kohta, alustava priorisointi (1–3)	Huomiot (Riskit ja mahdollisuudet)
OmaisuuDENhallinta		
Huolellinen ja ennakoiva kunnossapito suojaa infrastruktuuria ja vähentää ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia. Sensorit saattavat helpottaa kunnossapidon oikea-aikaisuuden arviointia ja toteutusta. (1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Rahoitus ja toteuttaminen vaativat ohjeistusta ja valvontaa (esim. pidetään rummut auki, ettei vesi seiso tiellä). Urakoitsijoiden ohjeistaminen ja vaatimukset kunnossapitoon. Vaikutus kertautuu, joten kokonaisvaikutusten esiin tuominen urakoitsijoille on tärkeää. Hyvällä kunnossapidolla saadaan palvelutaso pysymään hyvänä ja asiakkaat tyytyväisenä. Korjausvelan ehkäisy ja infran elinkaaren pidentäminen ovat toimenpiteestä syntyviä hyötyjä.
Infraomaisuuden joustavuuden ja resilienssin parantaminen ennakoivan toiminnan ja valmiussuunnittelun avulla vaurioitumisen hallitsemiseksi (1,3)	Prioriteetti 1	Joustavuuteen perustuva lähestymistapa hyväksyy ilmastonmuutoksesta johtuvia vaurioitumisia. Joustava lähestyminen ei pyri poistamaan kaikkia vaurioitumisen mahdollisuuksia vaan pyrkii minimoimaan mahdolliset vauriot. Tämä on mahdollista ennakoivan toiminnan ja valmiussuunnittelun (eng. contingency planning) avulla, joka mahdollistaa infraomaisuuden hallitun vaurioitumisen.
Muutos-, vaurio- ja vahinkotietojen systemaattinen kerääminen (1)		

Strategiset toimenpiteet		
Ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi (1,2)		Kokonaiskuva ja liikennejärjestelmätaso pimennossa osittain. Asiakasnäkökulma: kustannusvaikutukset Väylävirastossa tietyt, mutta asiakkaalla voi olla moninkertaiset. Tietoa vaikutuksista on käytännön tasolla sekä päivittäisen toiminnan ja hankkeiden tasolla. Arviointia tehdään hankearvioinnin yhteydessä. Mikäli määrällistä arviointia ei voi tehdä, voisi tehdä laadullisen arvioinnin.
Ilmastonmuutoksen sopeutumisen riskiskenaarioiden ja tulevaisuusskenaarioiden selvittäminen (5)	Prioriteetti 1	Millaiseen riski- ja tulevaisuusskenaarion tulee varautua ilmastonmuutoksen sopeutumisessa? Vahvistetaan ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusta ja hyväksyttävä riskitaso on määriteltävä.
Johtamisen ja ylimmän johdon tuen tarve toiminnan johtamisessa ja toimeenpanossa sekä pitkän aikajänteen suunnittelu (1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	
Johtamisen organisointi ja resursointi ilmastonmuutoksen sopeutumisen ja hillinnän johtamiseen (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Edellytys monien toimenpiteiden toteuttamiselle. Mahdollistaa muiden sopeutumistoimien suunnitelmallisen ja vaikuttavan toteuttamisen.
Riskien ja haavoittuvuuksien arviointi ja hallinta. Arviointi mahdollistaa sopeutumisen priorisoinnin mahdollisissa haitallisissa tapahtumissa. (1, 3)	Prioriteetti 1	Riskienhallinnassa nousee esiin hankesuunnittelun haaste, sillä suunnitteluvaiheessa on oletuksena, että riskit on huomioitu jo aiemmissa vaiheissa ja ovat mukana esimerkiksi suunnitteluohjeissa. Suunnitteluprosesseihin kuuluu riskienarviointi, mutta ilmatoriskejä ei toistaiseksi välttämättä arvioida laajasti kokonaisuutena. Menettelytavat ovat kehittyneet (10 v aikana), riskien arviointi muuttuu. Kustannustieto puuttuu. Mallintamistyökalut oleellisia, nykyiset työkalut ovat olleet heppoisia. Omaisuuden omistajan on kysyttävä mm.: Mitä voi tapahtua? Kuinka todennäköistä se on? Mitkä ovat seuraukset? Ilmastonmuutokseen sopeutumisen riskienhallintaa ei ole toteutettu läpileikkaavasti ja kokonaisuutena,

		<p>mutta riskienhallintaa tehdään osana toimintaa. Haavoittuvuuksien arviointi mahdollistaa sopeutumisen priorisoinnin mahdollisissa haitallisissa tapahtumissa.</p> <p>Suunnitteluun liittyvien riskien määrittely ja tunnistaminen tehtävä raja-arvojen määrittelyn ja kehitystyön yhteydessä, jotta toimintamallit siirtyvät suunnitteluun.</p>
Riskitasojen määrittely ja varautumisen toimenpiteiden kohdentaminen riskitasojen kautta (3)	Prioriteetti 1	Riittävä rahoitus riittävän palvelutason ylläpitämiseksi liittyy tähän. Riskitasot ja varautumisen keinot: palvelutaso tulisi näkyä niin, että sopeutumistoimenpiteiden kohdentaminen eri tasoihin ja eri tason riskien toimenpiteisiin tehdään eri tavalla väyläverkon eri tasoilla. Esim strateginen taso ja väyläkohtainen, joilla eri vaikutusmahdollisuus palautua.
Sopeutumis suunnitelman laatiminen (1, 5, 2)	Prioriteetti 1	Ilmastonmuutoksen sopeutumisen strateginen ohjelma, joka edistää resilienssiä kokonaisvaltaisesti. Kaipaa vastuutahon määrittystä ja toiminnan koordinoitua. Sopeutumisen aikajänne on pitkä, joten tarvitaan pitkän aikavälin suunnitelmaa (ainakin 30 vuotta). Sopeutumis suunnitelma edellyttää myös pitkän tähtäimen strategista näkemystä: mitä tapahtuu ja mitä pitäisi tehdä? Tavoitteiden määrittely aluksi. Sopeutuminen on mukana toiminnassa, mutta iso kuva puuttuu. Hankekohtaista tietoa tarvitaan kokonaisuuden hahmottamiseksi.
Sopeutumistoiminnan ja tutkimuksen vastuiden määrittäminen ja tavoitteiden asettaminen (1, 2)	Prioriteetti 1	Liittyy sopeutumistutkimuksen vahvistamiseen sekä ilmastonmuutoksen riski- ja tulevaisuuskenaarioiden tekemiseen. Sopeutumisnäkökulmia tuodaan vuoden 2023 toiminnan suunnitteluun. Teeman yhdistäminen muihin toimintaan, sopeutuminen yhtenä näkökulmana mukana.
Vahvistetaan ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusta (1, 2)	Prioriteetti 1	Konkreettiset ilmiöt ovat perustutkimuksen tasolla (Aalto yo, ilmatieteenlaitos ym). Osatekijöiden vaikuttavuuden merkitys on oleellista, myös alueellisten vaikutusten kannalta. On tärkeää, että mallinnuksella voidaan arvioida osatekijöitä. Tarvitaan liikennemuotojen ylittävää mallinnusnäkökulmaa. Liittyy monen toimenpiteen toteuttamiseen. Sopeutumistutkimuksessa liikennejärjestelmän kokonaisuus voi hahmottaa mallintamistyökalujen kautta, jotta vaikutuksia voi ymmärtää. Tärkeää huomioida, miten kokonaisuus nivoutuu. Heikkoudet voidaan tunnistaa/todentaa, jolloin saadaan tietoa todellisista vaikutuksista.

Ympäristöllisen tiedonhallinnan resursointi (5, 3)	Prioriteetti 1	Tietoa on saatavilla paljon, mutta resursoinnin kautta saataisiin tarvittavat ratkaisut sujuvasti osaksi normaalia toimintaa.
Kustannus-hyötyanalyysi (CBA) ja riskien huomioiminen (esim. ISO31000 / PIEVC) (1)	Prioriteetti 2	Kustannus-hyötyanalyysi (CBA) ja riskien huomioiminen (esim. ISO31000 / PIEVC). Ilmastonmuutoksen vaikutukset tunnetaan huonosti ja ne ovat epävarmoja, minkä vuoksi CBA-analyysin rinnalla kannattaa käyttää arviointimenetelmää, missä riskien vaikutukset ja kustannukset voidaan huomioida.
Riittävä rahoitus riittävän palvelutason ylläpitämiseksi (5)	Prioriteetti 2	Vaikuttavuuden arvioimiseksi tarvitaan tieto, mikä tulee riittävän palvelutason ylläpitämisen osalta karkeaksi kustannusvaikutukseksi. Rahoituksen allokoinnissa tulisi olla mukana myös sopeutumistarpeet. Onko palvelutason määritelmää tarpeen tarkistaa?
Tarpeettoman infrastruktuurin tarvekartoitus ja tarpeellisuuden arviointi vähäliikenteisen verkon toteutuksessa sopeutumisen näkökulmasta (1, 4)	Prioriteetti 2	Jokaisella infran omistajalla on myös ns. tarpeetonta / käyttämätöntä infraa. On tärkeää arvioida infran olemassaolon tarpeellisuus ja mahdollinen käyttökelpoisuus tilanteissa, jolloin jokin toinen infran osa ei ole käytettävissä.
Selvitykset, ohjeet ja ohjelmointi		
Ohjeiden päivittäminen vaaditulle tasolle ja vanhentuneiden teknisten ratkaisujen poistaminen ohjeista (5)	Prioriteetti 1	Monenlaiset ohjeet voivat vaikuttaa eri väylämuodoissa (esim. ratatekniset ohjeet). Pohjalle tarvitaan tieto siitä, mihin riskeihin suunnitteluohjeissa pitää varautua, mikä kustannusriski syntyy ja mihin kustannuksiin pitää varautua tulevaisuudessa. Tulevaisuuden muuttajat vaikuttavat siihen, mitkä ovat tulevaisuuden varautumistarpeet ja on määriteltävä hyväksyttävä riskitaso.
Luontopohjaisten ratkaisujen (eng. Nature based solutions) tarkastelu ratkaisuvaihtoehtona (1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Luontopohjaiset, vihreät suunnitteluratkaisut (eng. Nature Based Solutions) on sisällytettävä perinteiseen insinöörisuunnitteluun. Edellyttää käsitteen määrittelyä suhteessa väylänpitoon ja osaamisen kartuttamista. Luontopohjaisia ratkaisuja ohjaavat tavoitteet ovat jo osittain mukana toiminnassa ja suunnitteluratkaisuissa. Rahoitusmekanismien kautta syntyvä ohjausvaikutus ja tavoiteohjaus voivat olla toteutuksen kiihdyttäjää. Toimenpiteiden arvotus pitää tehdä muualla kuin itse suunnittelussa. Lainsäädännön seuraaminen aiheesta on tärkeää.

Ilmastonmuutoksen näkökulmat omaisuudenhallintasuunnitelmiin (1)		
Vesien pinnankorkeuksien muutosten huomiointi suunnittelussa ja kuivatuksen suunnittelussa (1)		
Yhteistyö		
Liikenteen uudelleen reitittämisen jatkuvuus ja vaihtoehdot reitit infrastruktuurin vaurioituessa. Äärimmäiset sääolosuhteet voivat vahingoittaa jotakin tai useaa infrastruktuurikohdetta samanaikaisesti. Kestävä palvelusuunnittelu erilaisilla skenaarioilla mahdollistaa uudelleen reitityksen, tilapäisten palveluiden tuottamisen ja nopeamman palautumisen. (1)	Prioriteetti 1	Vaihtoehtoisia reittejä ei välttämättä ole. Toteutuksessa huomioitava syntyvät kustannukset, kuten rinnakkaisteiden mahdollinen päällystäminen ja vaihtoehtoisten reittien kestävyys sadannalle. Edellyttää tarpeettoman infrastruktuurin tarvekartoitusta, sillä on tärkeää arvioida infran olemassaolon tarpeellisuus ja mahdollinen käyttökelpoisuus tilanteissa, jolloin jokin toinen infran osa ei ole käytettävissä. Kestävä palvelusuunnittelu erilaisilla skenaarioilla mahdollistaa uudelleen reitityksen, tilapäisten palveluiden tuottamisen ja nopeamman palautumisen.
Varautuminen vahinkoihin ja yhteistyö kriittisen infrastruktuurin kunnossapidossa. Liikenneväylien, esim. siltojen, yhteydessä on usein myös muita kriittisen infrastruktuurin (esim. tietoliikenne-, energia- ja vesihuoltokaapelit) kohteita, joten kunnossapidossa on tehtävä yhteistyötä kaikkien infran omistajien kanssa. (1)	Prioriteetti 1	Lainsäädäntö sallii muiden toimijoiden infran sijoittamista rautatiealueelle, joten kyseiset toimijat huolehtivat varautumisesta vallitseviin olosuhteisiin. Esimerkiksi kunnan hulevesi-infrastruktuurin sietokyky voi vaikuttaa radanpitoon. Kokonaiskuvaa voisi muodostaa siten, että kaikki osapuolet tunnistaisivat omaan toimintaan liittyviä riskejä.

Väyläviraston eri toimialojen välisen yhteistyön lisääminen. (5)	Prioriteetti 1	
Yhteistyö kaupunkien, kuntien, hallituksen, tutkimuslaitosten, yritysten ja kolmannen sektorin kesken (1)	Prioriteetti 2	Vaikuttavuus riippuu mm sidosryhmien tavoitteista ja siitä, mitä tietoa sidosryhmillä on saatavilla. Tarvitaan tilannekuva siitä, mihin pitää varautua. Mahdollisuutena on yhteisrahoitteiset hankkeet, kuten asemanseutujen kehittämishankkeet.
Tiedonhallinta		
Kriittisten ja haavoittuvien infrastruktuuriosien tunnistaminen ja kartoitus sekä muutosten seuranta. (1)	Prioriteetti 1	
Väyläverkoston haavoittuvuuskien tunnistaminen verkkotasolla. (5)	Prioriteetti 1	Tutkitaan ja luokitellaan tärkeimmät vaarat ja haavoittuvuudet huomioiden toisiaan seuraavat vaikutukset verkkotasolla.
Operatiivisen ja kustannustason sekä strategisen ja suunnittelutason työkalujen kehittäminen, jotta nämä eri tasot yhdistävä suunnittelu olisi mahdollista. (5)	Prioriteetti 2	Tarvitaan tietoa hankekohtaisesti hankkeiden vaikutuksesta sopeutumiseen. Tarve kokonaisvaltaiselle työkalulle, joka kytkeytyy operatiiviselta tasolta strategiselle tasolle. Hankearvioinnin työkalu tai mahdollisesti mukaan hankearvioinnin herkkyyystarkasteluun. Kaipaa tietopohjaa muista elinkaaren aikaisista hyödyistä, mikä mahdollistaisi ratkaisujen vertailukelpoisen arvioinnin. Haasteena on tunnistaa oleellinen tieto, mikä pitäisi olla hankearvioinnissa mukana. Hankearviointia voidaan hyödyntää hanketasolla ja ohjelmatasolla PRIO-työkalulla.

3.2.2.2 Tieverkon toimenpiteet

Tieverkon ilmastoressilienssiä edistävät toimenpiteet on kuvattu alla olevassa taulukossa (Taulukko 10). Toimenpiteitä tunnistettiin 17 kpl ja ne liittyvät pitkälti omaisuudenhallintaan sekä selvitysten ja ohjeiden laadintaan. Lisäksi toimenpiteet liittyvät infran tekniseen toimivuuteen, tiedonhallintaan ja yhteistyöhön.

Taulukko 10. Tieverkon toimenpiteet ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi ja niiden alustava ohjelmointi.

Toimenpide	Toteuttamisen ajankohta ja alustava priorisointi (1–3)	Huomiot (Riskit ja mahdollisuudet)
OmaisuuDENhallinta		
Sään ääri-ilmiöiden aiheuttamien häiriöiden ja vaurioiden kustannusvaikutusten selvittäminen (Syvähaastattelu5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Kustannustiedon irrottamisen hyötyjä ei ehkä ole, mikä tuo ristiriidan toimenpiteen tarpeellisuuteen. Riskien tunnistaminen helpottaa kustannustiedon saamista.
Infrastruktuurin, jonka elinkaari on alle 50 v, tarkastelu kunnossapidon ja uusimisen yhteydessä ilmastokestävyyden näkökulmasta. Hallinnolliset mukautustoimenpiteet esim. suunnittelemalla kunnossapito-toimenpiteiden ajoitus parhaiten olosuhteisiin, kustannuksiin ja energian saantiin soveltuvimmaksi tai investoimalla erilaisiin varoitusjärjestelmiin (Tutkimuskatsaus1, Työpaja II3)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Haasteeksi saattaa nousta se, ovatko vaikutukset selkeästi tiedossa. Lyhyen aikavälin (elinkaari alle 50 v) osalta sykli on nopeampi ja valinnat tulevat nopeasti esiin. Toimenpiteen toteutus osissa on mahdollista ja toteutusta voi tehdä osana kunnossapidon suunnittelua. Kunnossapidon ohjeistuksen päivittäminen toteuttaa tätä toimenpidettä. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.
Infrastruktuuri, jonka elinkaa-ren odotetaan olevan yli 50 v., täytyy suunnitella nyt vastaanottamaan hyvin poikkeuksellisia sääolosuhteita mm. materiaali-valintojen osalta. Materiaalien on oltava vahvoja. (Tutkimuskatsaus1, Työpaja II3)	2032 mennessä, Prioriteetti 2	Rakenteelliset mukautustoimenpiteet esim. valitsemalla teiden pintaraken-teet siten, että ne eivät vahingoitu nopeiden ja suurien lämpötilamuutosten myötä. Jatkuvaa työtä ja toteutusta tehdään, kun rakennetaan uutta ja kor-jataan nykyistä infrastruktuuria. Haasteena voi olla riittävän tutkimustiedon ja linjausten saatavuus. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.

Yksittäisten väylänpidon toimien välisten hyötyjen arvottaminen (Syvähaastattelu5)	Prioriteetti 3	
Koesuunnittelu ja rakentaminen sekä pilottikohteiden huolellinen dokumentointi kustannusriskien huomioon ottamiseksi. (Tutkimuskatsaus1)		
Selvitykset, ohjeet ja ohjelmointi		
Matalalla olevien teiden korottaminen tulvan vaikutusten välttämiseksi, pienten rumpujen suurentaminen sekä eroosiosuojauksien lisääminen tarpeellisiin kohteisiin (Tutkimuskatsaus1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Toteutus vaatii tarpeen paikantamista. Työtä tehdään jo, mutta jatkossa tarvitaan enemmän sopeutumisnäkökulman huomiointia.
Innovatiivisten materiaalien ja tekniikoiden käyttö (Tutkimuskatsaus1, Työpaja II3)	2032 mennessä, Prioriteetti 1	<p>Kustannusvaikutuksista hyvä saada tieto, sillä toteuttaminen mahdollisesti nostaa rakentamisen kustannuksia. Haasteena voi olla riittävän tutkimustiedon puuttuminen ja tiedon puute siitä soveltuuko materiaali tai tekniikka suunniteltuun käyttökohteeseen.</p> <p>Sensoreista voi olla hyötyä, kun ympäristöä voidaan joutua tarkkailla enemmän (esim tulvii jatkuvasti), jolloin uutta teknologiaa voidaan käyttää tarkkailuun ja toimenpiteiden ajoittamiseen. Toteuttamisessa voi olla mahdollinen ristiriita sopeutumisen ja hillinnän välillä, sillä vähähiilisten ratkaisujen käytöstä voi syntyä ristiriita uusien teknologioiden käyttöön.</p> <p>Mahdollisuuksia ovat esim. riskialttiilla paikoilla geotekstiilit, jotka tekevät rakenteet tukevammiksi, kestävätkin ja läpäisemättömät betoniseokset, nivelbetonimatot (eng. articulated concrete mats) ja termosifonit (thermosyphon). Mahdollisuus myös kehittää infran korjaustarpeen seurannan käyttöön uusia kuvausmenetelmiä. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.</p>

Infrastruktuurin sijoittaminen ilmastoresilienssiltään kestävään paikkaan (Tutkimuskatsaus1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Uuden väyläinfran sijoittamista ohjaavat vahvasti maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset oikeusvaikutteiset kaavat; sopeutumistarve huomioitava siis jo kaavoitusvaiheessa. Uuden suunnittelussa otetaan huomioon paikalliset olosuhteet, mikä on kaupunkisuunnittelun lähtökohta (esim. rannan etäisyys rakentamisesta). Ilmastoresilienssi on vain yksi osa sijoittamista/suunnittelua. Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia infrastruktuurille voi vähentää muun muassa sijoittamalla infrastruktuuria sellaiseen paikkaan, joka on vähemmän altis muutoksille, kuten välttää rakentamista tulviville alueille. Paikkatietoaineisto ilmastonmuutoksen riskialueista on tarpeen. Toimenpide linkittyy tulvat kartalle -toimenpiteeseen. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.
Infrastruktuuriosien modulaarisuuden, eli muunneltavuuden ja vaihdeltavuuden huomiointi jo suunnitteluvaiheessa (Tutkimuskatsaus1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 3	Muunneltavuus ja vaihdeltavuus on huomioitava suunnitteluvaiheessa esimerkiksi huomioimalla vaihtuvat nopeusrajoitukset ja valaistuksen säätö. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.
Kuivatuksen suunnitteluohjeet suuremmalle sademäärälle (Tutkimuskatsaus)		
Tiedonhallinta		
Riskialttiiden ja herkkien alueiden tunnistaminen paikkatietojen avulla (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Tarvitaan tietoa siitä, mitä paikkatietoa tarvitaan. Väylätiedoissa on jo paikkatietoa ja esimerkiksi tiestön tulvariskikohteet ovat tiedossa. Kansainväliset referenssit, kuten Puola ja Alankomaat.
Tiedon jakaminen ja sen saatavuuden kehittäminen haitallisten välillisten vaikutusten lieventämiskeinona. (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	

Säätiöiden yhdistäminen muuhun väylätietoon sekä kunnossapitotietojen kerääminen ja hyödyntäminen. (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Kansainväliset referenssit, kuten Puola ja Alankomaat. Esim. Puolassa paikannetaan sääilmiöitä ja tunnistettu sadanta ja muut säätiötiedot.
Infran tekninen toimivuus		
Riittävä rahoitus vähäliikenteisten päällystettyjen maanteiden korjaukseen (6)	Seuraavan hallituskauden aikana, prioriteetti 2	Vähäliikenteisempien päällystettyjen maanteiden korjauksiin ei ole ollut käytettävissä riittävää rahoitusta, minkä takia leudoista talvista johtuvat vauriot etenevät niillä silloin, kun raskaan liikenteen aiheuttama rasitus ylittää tien kantavuuden sen ollessa aiempaa pidempään heikossa tilassa (ei jäässä eikä kuivana).
Laitteiden asentaminen siltojen perustusten heikkenemisen (eng. bridge scours) tarkkailuun (1)	2022 mennessä, prioriteetti 3	Tiedon hyödyntäminen Väyläviraston omaisuudenhallinnan prosessissa (uhka/riskianalyysit). Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.
Parhaiden ratkaisujen huomioiminen maadoitusratkaisuihin ja ylijännitesuojauksissa ja investointitarpeet laitekannan suojaukseen. (1)		
Päällystenormien mukaiset vaatimukset päällysteen vedenkestävyydelle tulee tarkistaa (Syvähaastattelu5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 3	Asfalttinormien päivitystyö on valmistunut (PANK Ry). Haasteena voi olla tutkimustiedon saatavuus.
Sähkönsyötön ja liikenteen ohjauslaitteiden varmennustason lisääminen mm. parantamalla suojauksia ja lisäämällä turvalaitteiden riippumattomuutta paikallisesta sähkönsyötöstä. (1)		

3.2.2.3 Rautateihin liittyvät toimenpiteet

Ehdotetut toimenpiteet rataverkon ja raideliikenteen ilmastoiresilienssin parantamiseksi on kuvattu alla (Taulukko 11). Toimenpide-ehdotuksia rautateihin liittyen on tunnistettu 15 kpl. Toimenpiteet liittyvät infran tekniseen toimivuuteen, selvityksiin, ohjeisiin ja ohjelmointiin, omaisuudenhallintaan, omaisuudenhallintaan ja yhteistyöhön.

Taulukko 11. Rautateihin liittyvät toimenpiteet ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi ja niiden alustava ohjelmointi.

Toimenpide	Toteuttamisen ajankohta ja alustava priorisointi (1–3)	Huomiot (Riskit ja mahdollisuudet)
Omaisuudenhallinta		
Infrastruktuurin, jonka elin-kaari on alle 50 v, tarkastelu kunnossapidon ja uusimisen yhteydessä ilmastokestävyyden näkökulmasta. Hallinnolliset mukautustoimenpiteet esim. suunnitteleamalla kunnossapito-toimenpiteiden ajoitus parhaiten olosuhteisiin, kustannuksiin ja energian saantiin soveltuvimmaksi tai investoimalla erilaisiin varoitusjärjestelmiin (1, 3)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Haasteeksi saattaa nousta se, ovatko vaikutukset selkeästi tiedossa. Lyhyen aikavälin (elin-kaari alle 50 v) osalta sykli on nopeampi ja valinnat tulevat nopeasti esiin. Toimenpiteen toteutus osissa on mahdollista ja toteutusta voi tehdä osana kunnossapidon suunnittelua. Kunnossapidon ohjeistuksen päivittäminen toteuttaa tätä toimenpidettä. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.
Infrastruktuuri, jonka elinkaa-ren odotetaan olevan yli 50 v., täytyy suunnitella nyt kestä-mään hyvin poikkeuksellisia sääolosuhteita mm. materiaali-valintojen osalta. Materiaalien on oltava vahvoja. (1, 3)	2032 mennessä, Prioriteetti 2	Jatkuvaa työtä ja toteutusta tehdään, kun rakennetaan uutta ja korjataan nykyistä infrastruktuuria. Haasteena voi olla riittävän tutkimustiedon ja lin-jausten saatavuus. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.

Selvitykset, ohjeet ja ohjelmointi		
Kunnossapidon ohjeistuksen päivittäminen ilmastonmuutoksen vaikutusten osalta (esim. kiskojen neutraalilämpötila, kuivatusjärjestelmän toimivuus, runsaslumisten talvien li sääntyminen) (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Haasteena voi olla riittävä tietopohja teknisten asioiden ohjeistamiseen. Olosuhteet vaihtelevat vuosittain, joten oikeanlaisten ohjeiden tekeminen kaikkiin olosuhteisiin on tärkeää. Haasteena voi olla ohjeiden noudattaminen ja valvominen sekä rahoitus. Vaikutuksia on mahdollista saada suhteellisen nopeasti koko maahan.
Suunnitteluperusteiden päivittäminen. Uudishankkeiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon, miten ilmastonmuutokseen varaudutaan ja miten se vaikuttaa radan elinkaaren eri vaiheissa, sään ääri-ilmiöiden huomiointi (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	
Infrastruktuuriosien modulaarisuuden, eli muunneltavuuden ja vaihdeltavuuden huomiointi jo suunnitteluvaiheessa (1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Muunneltavuus ja vaihdeltavuus on huomioitava suunnitteluvaiheessa esimerkiksi huomioimalla vaihtuvat nopeusrajoitukset ja valaistuksen säätö. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.
Matalalla olevien raiteiden koroittaminen tulvien välttämiseksi, pienten rumpujen suurentaminen sekä eroosiosuojauksien lisääminen tarpeellisiin kohteisiin (1)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Toteutus vaatii tarpeen paikantamista. Työtä tehdään jo, mutta jatkossa sopeutumisenäkökulman huomiointi enemmän. Koskee raiteiden osalta enemmän uuden infran rakentamista.

<p>Infrastruktuurin sijoittaminen ilmastoresilienssiltään kestävään paikkaan (1)</p>	<p>Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 3</p>	<p>Koskee uuden infrastruktuurin sijoittamista. Uuden väyläinfran sijoittamista ohjaavat vahvasti maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset oikeusvaikutteiset kaavat; sopeutumistarve huomioitava siis jo kaavoitusvaiheessa. Uuden suunnittelussa otetaan huomioon paikalliset olosuhteet, mikä on suunnittelun lähtökohta (esim. rannan etäisyys rakentamisesta). Ilmastoresilienssi on vain yksi osa sijoittamista/suunnittelua.</p> <p>Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia infrastruktuurille voi vähentää muun muassa sijoittamalla infrastruktuuria sellaiseen paikkaan, joka on vähemmän altis muutoksille, kuten välttää rakentamista tulviville alueille. Paikkatietoaineisto ilmastonmuutoksen riskialueista on tarpeen.</p> <p>Toimenpide linkittyy tulvat kartalle -toimenpiteeseen. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.</p>
<p>Innovatiivisten materiaalien ja tekniikoiden käyttö (1, 3)</p>	<p>2032 mennessä, Prioriteetti 3</p>	<p>Kustannusvaikutuksista hyvä saada tieto, sillä uudenlaiset materiaalit mahdollisesti nostavat rakentamisen kustannuksia. Haasteena voi olla riittävän tutkimustiedon puuttuminen ja tiedon puute siitä soveltuuko materiaali tai tekniikka suunniteltuun käyttökohteeseen, joten innovatiivisten materiaalien käyttöönoton edellytyksenä voi olla koerakenteiden tarve.</p> <p>Sensoreista voi olla hyötyä, kun ympäristöä voidaan joutua tarkkailla enemmän (esim. tulvii jatkuvasti), jolloin uutta teknologiaa voidaan käyttää tarkkailuun ja toimenpiteiden ajoittamiseen. Mahdollinen ristiriita sopeutumisen ja hillinnän välillä, sillä vähähiilisten ratkaisujen käytöstä voi syntyä ristiriita uusien teknologioiden käyttöön.</p> <p>Mahdollisuuksia ovat esim. riskialttiilla paikoilla geotekstiilit, jotka tekevät rakenteet tukevammiksi, kestävätkin ja läpäisemättömät betoniseokset, nivelbetonimatot (eng. articulated concrete mats) ja termosifonit (eng. thermosyphon). Mahdollisuus myös kehittää infran korjaustarpeen seurannan käyttöön uusia kuvausmenetelmiä. Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.</p>

Yhteistyö		
Häiriöihin ja palvelutason muutoksiin varautuminen. Toteutuksessa huomioitava periaatteiden laatiminen ja päätöksen tekoprosessin määrittäminen sekä yhteistyö eri sidosryhmien välillä, tiedottaminen ja viestintä. Häiriönhallintaprosessia kehitetään jo tällä hetkellä. (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Sidosryhmien suuri joukko, haastavaa saada näin monta toimijaa toimimaan yhdessä. Virastossa tehdään jo häiriön hallinnan kehittämistä ja se on jo tunnistettu tärkeäksi kehittämiskohteeksi.
Tiedonhallinta		
Ennakoivan kunnossapidon parantaminen erilaisen datan keräämisen, yhdistämisen ja analysoinnin kautta. (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Toteuttamisen riskinä on teknologian saatavuus ja soveltuvuus sekä kustannustehokkuus. Haasteena on tietotarpeiden ja tietojen hyödyntämismahdollisuuksien tunnistaminen. Mahdollisuutena on koota tieto yhdenmukaisesti koko väyläverkolta päätöksenteon pohjaksi. Yhteistyömahdollisuus muiden väylämuotojen kanssa, esimerkiksi säädäntäanalyysit, joita tehdään tienpidossa.
Ilmastonmuutoksen ilmiöiden aiheuttamien vaikutusten ja havaintojen dokumentointi kartalle (mm. tulvapaikat) (5)	2032 mennessä, Prioriteetti 2	Haasteena nykyisin tiedon ja havaintojen hajanaisuus ja kerääminen eri tahoilta. Tarvitaan tieto yhdenmukaisesti koko väyläverkolta päätöksenteon tueksi. Toteutuminen on edellytyksenä mm. infrastruktuurin sijoittamiselle ilmasto-resilienssiin paikkaan. Yhteistyömahdollisuus muiden väylämuotojen kanssa, esimerkiksi säädäntäanalyysit, joita tehdään tienpidossa.
Infran tekninen toimivuus		
Rataverkon häiriönsietokyvyn parantaminen (5)	Prioriteetti 1	Tehtävä jatkuvana toteutuksena. Häiriönsietokyvyn tavoitetason määrittämisessä tulee huomioida rahoitus. Laaja kokonaisuus, paljon osallisia ja paljon rajapiintoja muihin toimenpiteisiin. Kokonaisuutta voi edistää monella tasolla ja monen kokoisilla hankkeilla

Laitteiden asentaminen siltojen perustusten heikkenemisen (bridge scours) tarkkailuun (1)	2032 mennessä, Prioriteetti 3	Tiedon hyödyntäminen Väyläviraston omaisuudenhallinnan prosessissa (uhka/riskianalyysit). Tienpidon ja radanpidon yhteinen toimenpide.
Parhaiden ratkaisujen huomiointi maadoitusratkaisuissa ja ylijännitesuojauksissa sekä investointitarpeet laitekannan suojaukseen (1)		
Vaihteiden jäätyksen ehkäisy (1)		

3.2.2.4 Vesiväyliin liittyvät toimenpiteet

Vesiväyliin ja -liikenteeseen liittyvät ilmastonmuutoksen sopeutumista edistävät toimenpiteet on kuvattu alla olevassa taulukossa (Taulukko 12). Toimenpiteet (13 kpl) liittyvät strategisen tason toimenpiteisiin, yhteistyön kehittämiseen, tiedonhallintaan ja infrastruktuurin tekniseen toimivuuteen. Suurin osa toimenpiteistä koettiin tärkeäksi toteuttaa seuraavan hallituskauden aikana niiden sijoittuessa prioriteetti-alueeseen 1, sillä ne koettiin työpajoissa asiantuntijoiden arvion mukaan vaikuttavuudeltaan ja toteutettavuudeltaan tärkeiksi.

Taulukko 12. Vesiväyliin liittyvät toimenpiteet ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi ja niiden alustava ohjelmointi.

Toimenpide	Toteuttamisen ajankohta ja alustava priorisointi (1–3)	Huomiot (Riskit ja mahdollisuudet)
Strategiset toimenpiteet		
Väylien parantamishankkeiden toteuttaminen (3)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Haasteena on resursointi ja toteutusvalmius. Toteuttamisen kautta on mahdollista väylien käyttömahdollisuuksien parantaminen kustannustehokkaasti ja alusliikenteen turvallisuuden parantaminen.
Talvimerenkulun ja väylänpidon palvelutuotannon järjestämismallin kehittäminen siten, että muutokset toimenpiteisiin voitaisiin toteuttaa ketterästi ja kustannustehokkaasti (5)	2032 mennessä, Prioriteetti 1	Haasteena on palvelutuottajien vähäinen määrä.
Talvimerenkulun palvelumallin ja kaluston muokkaaminen kustannus- ja ympäristötehokkuuden ohjattavuuden parantamiseksi (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Hillinnän keinojen toteuttamiseksi on tärkeää parantaa kustannustehokkuuden ja ympäristötehokkuuden ohjattavuutta, mikä edellyttää talvimerenkulun palvelumallin ja kaluston muokkaamista. Haasteena on poliittinen hyväksyttävyys. Aluskaluston systemaattinen kehittäminen ja kilpailutuksen tehostaminen palvelumallin kehittämisen kautta.
Ennakoiva vesiväylien hoito: toimenpiteet mahdollista toteuttaa systemaattisesti (3)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Haasteena on resurssien puute.
Vesiliikenteen polttoaineet vaativat infrarakentamista polttoaineille ja energialähteille. Tunnistetaan, mitkä nousevat toteutetuiksi ratkaisuuksi ja millä aikavälillä. (5)	2032 mennessä, Prioriteetti 3	Polttoaineiden kehittymistä tulisi seurata.

Yhteistyö		
Jäänmurtoyhteistyön kehittäminen Ruotsin ja Viron kanssa talvimerenkulun toimivuuden varmistamiseksi. (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Resursoinnin jatkuva varmistaminen voi olla toteuttamisen haasteena. Mahdollisuuksia yhteisille kehitysprojekteille on.
Suurten kehittämishankkeiden toteuttaminen vesiväylillä (3)	2032 mennessä, Prioriteetti 2	Haasteena on resursointi ja toteutusvalmius. Kehittämishankkeista synergiaetuna elinkeinoelämän kuljetusten kustannustehokkuuden parantaminen ja alusliikenteen turvallisuuden parantaminen.
Tiedonhallinta		
Alusliikennepalveluissa varautumistoimet kriittisiin kohteisiin. Olosuhteet on tunnettava nykyistä paremmin väylien turvallisuuden takia. Esimerkiksi nykyisin alukset eivät aina riittävästi ilmoita sijaintiaan, joten voi tulla kohtaamis- ja vaaratilanteita. (1, 2)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Haasteena voi olla motivaatio nykyisen toimintatavan muuttamiseen. Toteuttaminen varmistaa merenkulun turvallisuuden.
Tuulet ja myrskyt otettava huomioon mitoituksissa ja materiaaleissa. Merenpohjan mittaus-tietojen pohjalta pohjan mallinus, jolloin laivan käyttäytymisen simulointi ja ennustaminen on mahdollista. (2)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Vastuurajojen määrittely on tärkeää. Toteutus liittyy alusliikenteen turvallisuuteen. Rakenteiden kestävyys on nykyisin riittävä. Tarvitaan kustannustehokkaita suunnitteluratkaisuja.

Infran tekninen toimivuus		
Tekniikassa otettava huomioon lisääntyvät myrskyt ja kuumuus energian saannin varmistamiseksi (2)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Kuumuuden ja myrskyjen lisääntymisen myötä vaikutuksia varavoimoihin ja akkuihin, joten energian saanti on varmistettava. Haasteena voi olla ennalta-arvaamattomat energiansaantiongelmia. Tärkeää on myös varavoimoiden polttoaineen saannin varmistaminen. Energiansaannin turvaamista on mahdollista kehittää yhdessä puolustusvoimien ja Väyläviraston palveluiden kesken. Mahdollisesti uudet energiamuodot, kuten vety, ja energiateknologioiden kehitys tuovat uusia mahdollisuuksia (esim. akut, aurinkopaneelit, virran tarpeen väheneminen)
Kauko-ohjattavien turvalaitteiden hankinta (1, 2)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Haasteena on rahoituksen riittävyys. Toteuttaminen parantaa turvallisuutta. Mittaustekniikan kehittäminen (Benchmark).
Talvimerenkulun toimivuuden, jäänmurtokapasiteetin ja väylien turvalaitteiden pitäminen riittävän varmalla tasolla ympärivuotisen ulkomaankaupan varmistamiseksi (5)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 1	Riittävä jäänmurtokapasiteetti varmistaa, että merikuljetukset eivät häiriinny ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumistoimenpiteiden muutosten myötä. Muutosten tekeminen ei ole nopeaa. Tällä hetkellä jäänmurtokapasiteetti ei ole riittävästi resursoitu. Toteuttamattomuus voi johtaa turvallisuustilanteen huononemiseen. Merituulivoimapuistojen myötä tilarajauksia merenkulkuun, mikä lisää avustusten ja resurssien tarvetta.
Älyväylän jatkokehittäminen: ajantasaisempaa tietoa mahdollista välittää aluksille, tehostaa väylien käyttöä (3)	Seuraavan hallituskauden aikana, Prioriteetti 2	Haasteena on resursointi ja yhteisen näkemyksen puute. Toteuttaminen mahdollistaa alusliikenteen turvallisuuden parantamisen ja olemassa olevien väylien käytön tehostamisen.

4 Yhteenveto

4.1 Tutkimuskatsaus ilmastonmuutokseen sopeutumisesta väylänpidossa ja liikenteessä

Tässä katsauksessa kotimaisiin ja kansainvälisiin julkaisuihin, selvityksiin ja tutkimuksiin kävi ilmi, että yleistä tietoa ilmastonmuutoksesta on paljon, mutta tarkempaa infrastruktuuriin kohdennettua tutkimustietoa tuntuu olevan vähän. Lisätietoa tarvittaisiin yksittäisistä infrastruktuurikohteista, kuten silloista, raiteista, asfaltista, maaperästä tai betonista. Lisätietoa sopeutumistyöstä tarvitaan myös liikennejärjestelmätasolla.

Epävarmuus on keskeinen viesti, mikä välittyy kaikista tähän työhön sisältyneistä selvityksistä ja tutkimuslähteistä. Esimerkiksi sään ääri-ilmiöt, joiden on arvioitu tapahtuvan aikanaan kerran sadassa vuodessa, voivat tapahtua useamminkin. Aikaisemmin harvinaisiksi ääri-ilmiöiksi luokitellut tapahtumat yleistyvät. Yhtenä vaikeana haasteena on, ettei historiallinen ilmastodata anna vastauksia käsillä oleviin äkillisiin ja nopeisiin muutoksiin. Kriittisen infrastruktuurin suunnittelussa ja kunnossapidossa ei voi enää luottaa kokemukseen aikaisemmasta ilmastosta.

Tämän selvityksen perusteella riskien arviointi nousi esiin yhtenä tärkeänä tekijänä varautumiskeinojen suunnittelun tukena. Riskien arviointi on tarpeellista tehdä jokaiselle väylämuodolle erikseen ja huomioida alueelliset olosuhteet mahdollisuuksien mukaan. Riskien arviointia tarvitaan lisäksi hanketasolla. Kansallisen tieviranomaisen tulee miettiä palvelutasojensa ajantasaisuutta ja niiden ylläpidon toteutuskelpoisuuksia tienpidossa muuttuvan ilmaston vuoksi. Suurien epävarmuuksien vuoksi viranomaisen on määritettävä sopeutumisstrategiansa riskiperusteisesti.

Ilmastonmuutos saattaa lyhentää infrastruktuurin käyttöikää, koska infra on aikanaan suunniteltu toisenlaisiin ja pysyvämpiin ilmasto-olosuhteisiin. Huolellisella suunnittelulla on erittäin suuri merkitys pitkäikäisen ja ilmastonmuutosta kestävästä infrastruktuurin tuottamisesta. Jo rakennetun infrastruktuurin varautumisessa infrastruktuurin vahvistaminen, tarkastaminen ja huolellinen kunnossapito korostuvat käytännön toimenpiteinä.

Ilmastonmuutos aiheuttaa infrastruktuurille vaurioitumishaasteita, joita ei voi kokonaan välttää, mutta tässä selvityksessä käytettyjen lähteiden mukaan vaurioitumista voidaan pyrkiä minimoimaan muun muassa ennakoivan suunnittelun avulla. Lisäksi säännöllisten tarkastusten lisääminen ja käyttötarkoitukseen soveltuvien automaattisten muutoksia seuraavien mittareiden/antureiden käyttö lisäävät tietoa ja mahdollistavat muutosten seurannan sekä sitä kautta mahdollisten toimenpiteiden ennakkoinnin.

Yksi keskeisistä asioista on tunnistaa ja kartoittaa kriittiset ja haavoittuvimmat infrastruktuuriosiot sekä seurata niissä mahdollisesti tapahtuvia muutoksia. Tiedot muutoksista, vaurioista ja vahingoista on kerättävä määrällisesti ja järjestelmällisesti ja mahdollisimman pitkäjänteisesti luotettavien tulosten saamiseksi. Ilmastonmuutoksen näkökulmat on huomioitava ja sisällytettävä nykyistä paremmin omaisuudenhallintasuunnitelmiin. Tutkimuksissa nousi esiin datan määrän ja laadun lisäksi älykkäät liikennejärjestelmät ja automatisointi, kuten valvonta- ja neuvontajärjestelmät, sekä paikkatietoaineistojen käytön merkitys.

Kunnossapidossa infrastruktuuriolosuhteiden modulaarisuus eli vaihdettavuus tulee lisäämään ilmastomuutoksen sietokykyä, mutta muunneltavuus ja vaihdeltavuus on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa.

Ilmastomuutoksen vaikutusten hallitsemiseksi infrastruktuurin osalta tarvitaan vielä enemmän käytännöllistä ja konkreettisen tason tietoa ja ohjeistusta. Ilmastomuutos on jatkuva prosessi ja se tulee ymmärtää pysyvänä ja erittäin pitkäkestoisena ilmiönä, joka edellyttää jatkuvaa sopeutumista hyvin pitkällä aikajänteellä. Avainasemassa ratkaisussa on datan pitkäjänteinen ja systemaattinen kerääminen, riskien hallinta ja liikennejärjestelmien, työkalujen ja automatisoinnin kehittäminen. Myös sidosryhmäyhteistyö on erittäin keskeisessä roolissa, kun etsitään ratkaisuja olemassa olevan infran tai uuden infran ilmastomuutoksen kestävyys- ja kestävyyden, sillä ilmastomuutokseen varautuminen liittyy suunnitteluun, toteutukseen ja ylläpitoon ja siten moniin eri toimijoihin. Käytännössä esimerkiksi sidosryhmäyhteistyökartta tai -kaavio helpottaa kokonaisuuden hahmottamista.

Tärkeimpinä huomioina tämän selvityksen yhteydessä ilmastomuutoksen sopeutumisen edistämiseksi liikenteessä ja liikenneinfrastruktuureissa nousi johtamisen ja ylimmän johdon tuen tarve toiminnan johtamisessa ja toimeenpanossa sekä pitkän aikajänteen suunnittelu. Ilmastomuutoksen sopeutumisen edistämisen ja kehittämisen ensimmäisissä vaiheissa nämä kaksi ovat tärkeimpiä.

4.2 Toimenpiteet sopeutumisen edistämiseksi

Työvaiheessa selvitettiin aiempien toimenpide-ehdotusten toteuma ja tuotettiin selvitys-, kehittämis- ja toimenpide-ehdotuksia, jotka pohjautuvat tutkimuskatsaukseen, nykytila-analyysiin sekä syvähaastatteluihin ja asiantuntijatyöpajoihin.

Keskeisenä havaintona todettiin, että sopeutumisen toimenpiteitä huomioidaan jo väylänpidossa uusien rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa, mutta kattavuudesta ei ole tällä hetkellä tietoa. Merkittävimmät haasteet piilevät olemassa olevissa ja vanhemmissa rakenteissa, joissa sopeutumisen toimenpiteiden toteuttaminen on hankalampaa. Toimenpiteiden toteutumista on hankalaa arvioida, sillä systemaattinen seuranta niiden osalta puuttuu. Ilmastomuutoksen sopeutumisen tilannekuva on jäsentymätön, sillä asiaan liittyvä tieto on hajallaan ja sopeutumistoiminta kaikkineen perustuu yksittäisten toimenpiteiden toteutukseen.

Erityisenä Väyläviraston vahvuutena sopeutumistoimien toteuttamiselle nousi esiin hyvä kansallinen yhteistyö ja sidosryhmiä osallistavat menetelmät, jotka ovat saaneet tunnustusta ulkomaillakin.

Työvaiheen tuloksena tuotettiin selvitys-, kehittämis- ja toimenpide-ehdotuksia, jotka pohjautuvat tutkimuskatsaukseen, nykytila-analyysiin, jossa selvitettiin Väyläviraston ilmastomuutokseen sopeutumista, sekä syvähaastatteluihin ja asiantuntijatyöpajoihin. Työn aikana tunnistettiin yhteensä 73 erilaista toimenpide-ehdotusta, jotka liittyen seuraaviin teemoihin:

- 1) Strategiset toimenpiteet. Toimenpiteissä nousi esiin paljon strategisen tason toimenpiteitä, jotka tuovat esiin tarpeen ilmastomuutoksen sopeutumisen toiminnan organisoimiselle, johtamiselle ja toimenpiteiden toteuttamisen seurannalle Väylävirastossa kaikkia väylämuotoja läpileikkaavasti. Resurssoinnin haasteet ja resurssoinnin riittävyys koettiin riskinä monien toi-

menpiteiden toteuttamiselle. Resursointia tarvitaan ilmastotyön johtamiseen ja toiminnan kokonaisvaltaiseen organisointiin niin väylämuotojen sisäisten kuin väylämuodoille yhteisten sopeutumistoimenpiteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen. Myös riskien ja haavoittuvuuksien arviointi ja hallinta on keskeisessä roolissa ilmastonmuutokseen sopeutumisen näkökulmasta.

- 2) OmaisuuDENhallinta. Erilaisten sään ääri-ilmiöiden aiheuttamien häiriöiden ja vaurioiden kustannusvaikutusten seuraaminen, oikea-aikaisen kunnossapidon mahdollistaminen sekä resilienssin parantaminen ennakoivan toiminnan avulla pidentävät infran käyttöikä. Tärkeää on myös ilmastonmuutoksen näkökulmien huomiointi omaisuudenhallintasuunnitelmissa sekä haavoittuvuuksien tunnistaminen. Riskienhallinnalla ja ennakkoinnilla voidaan vaikuttaa kustannuksiin.
- 3) Selvitykset, ohjeet ja ohjelmointi. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tulee huomioida Väyläviraston selvityksissä, ohjeissa sekä ohjelmoinnissa, jotka ovat Väyläviraston toiminnan ohjaamisen työkaluja. Ohjeiden päivittäminen on yksi olennainen teema, jolla sopeutumista voidaan edistää.
- 4) Yhteistyö. Yhteistyö eri väylämuotojen ja sidosryhmien välillä koettiin olevan avainasemassa ilmastonmuutostyössä. Lisäksi väylämuotojen eroavaisuudet tulee huomioida sekä toisaalta ottaa huomioon koko liikennejärjestelmätaso.
- 5) Tiedonhallinta. Tiedonhallinnan kehittämisellä voitaisiin edistää ilmastonmuutokseen sopeutumista useilla eri tavoilla, kuten yhdistämällä erilaista dataa ja luomalla analysejä kunnossapidon tehostamiseksi.
- 6) Infran tekninen toimivuus. Erilaiset yleistyvät sääilmiöt tulee huomioida infran teknisen toimivuuden varmistamiseksi ja häiriöiden sietokyvyn parantamiseksi.

5 Johtopäätökset

Kokonaisvaltainen ilmastojohtamisen organisointi ja toimenpiteiden resursointi ovat edellytyksenä tehokkaalle ja vaikuttavalle ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Sopeutumistavoitteiden ja toimenpiteiden määrittelyn lisäksi niiden toteutusta ja vaikuttavuutta tulee seurata, jotta sopeutumistyö etenee ja kokonaiskuva on mahdollista hahmottaa. Ilmastoresilienssiä edistävän toimenpideohjelman tekeminen nousi esille yhtenä keinona edistää sopeutumistyötä ja ilmastoriskeihin varautumista. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen huomioinnin lisääminen kunnossapidon ja hankkeiden tehtävämäärittelyyn voisi varmistaa niille asetettujen sopeutumiseen liittyvien toimenpiteiden toteuttamisen.

Väylämuotoja yhdistävät toimenpiteet ja tiedon jakaminen niin Väyläviraston sisällä kuin sidosryhmien kesken tehostavat ilmastonmuutokseen sopeutumista. Myös väylämuotokohtaisten toimenpiteiden määrittely on tärkeää, sillä eri väylämuodoilla on yksilöllisiä tarpeita sekä erilaiset valmiudet ja toimintaympäristö toimenpiteiden toteuttamiseksi.

Tiedonhallinnalla on mahdollista tuottaa taustatietoa toimenpiteiden oikea-aikaisuuden varmistamiseksi ja kohdentamiseksi sekä seurata toimenpiteiden toteuttamisen vaikutuksia. Esimerkiksi sää- ja olosuhdetietojen yhdistäminen kunto- ja kunnossapitotietoihin sekä näiden analysointi voi tuoda ymmärrystä sään eri ilmiöiden vaikutuksista palvelutasoon. Tämä auttaisi myös ennakoivaa omaisuudenhallintaa.

Työ ilmastonmuutokseen sopeutumisen osalta on Väylävirastossa aloitettu ja monia tärkeitä ja relevantteja toimenpiteitä on tunnistettu ja määritetty jo vuosia sitten. Työtä tulee jatkaa yhä aktiivisemmalla ja koordinoidummalla otteella. Toimenpiteitä seuraamalla ja tuloksia mittaamalla, tiedonhallinnan kehittämällä, yhteistyöllä ja vuoropuhelulla eri väylämuotojen kesken sekä resursseja kohdistamalla saadaan luotua hyvät edellytykset ilmastonmuutokseen sopeutumisen työlle. Säännöllinen viestintä saavutetuista tuloksista ja onnistumisista on tässäkin työssä tehokas tapa lisätä sitoutuneisuutta.

Ilmastonmuutoksen sopeutumisen työssä on varmistettava, että toteuttamiseen valitut keinot ja toimenpiteet ovat linjassa myös ilmastonmuutoksen hillinnän sekä luonnon monimuotoisuuden tukemiseen liittyvien tavoitteiden kanssa. Myös kansallisen sekä kansainvälisen tutkimustiedon lisääminen esimerkiksi luontopohjaisten ilmastonmuutokseen sopeutumisen ratkaisujen soveltamisesta väyläinfraan lisääisi ymmärrystä käytettävissä olevista mahdollisuuksista sekä näiden vaikutuksista.

Lähdeluettelo

Verkkosivut

BRE. (n.d.). Products, CEEQUAL. BRE Group:in verkkosivut. Viitattu 1.9.2022. Saatavissa <https://bregroup.com/products/ceequal/>

CEDR. (n.d.a). Action Plan 2022-2024. Conference of European Directors of Roads. Verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://www.cedr.eu/action-plan-2022-2024>

CEDR. (n.d.b). 1.4 Climate Change and Resilience of Road Networks. Action Plan osaprojekti 2.1. Liaison with PIARC Technical Committee E.1: Adaptation Strategies / Resiliency. Verkkosivut. Viitattu 24.1.2023. Saatavissa <https://www.piarc.org/en/PIARC-Association-Roads-and-Road-Transportation/PIARC-Technical-Committees/Strategic-Theme-Road-Administration/Technical-Committee-Climate-Change-Resilience-Road-Networks>

European Commission. (2022). CORDIS EU research results. Future proofing strategies FOR RESilient transport networks against Extreme Events. Horizon 2020. Verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://cordis.europa.eu/project/id/769373>

European Commission. (2021). EU Adaptation Strategy. Euroopan komission verkkosivut. Directorate-General for Climate Action. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa https://ec.europa.eu/clima/eu-action/adaptation-climate-change/eu-adaptation-strategy_en

European Commission & EEA. (2022a). Countries, regions and cities. Country Profiles. Verkkosivut. Viitattu 31.8.2022. Saatavissa <https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries>

European Commission & EEA. (2022b). Countries, regions and cities. Country Profiles. Sweden. Verkkosivut. Viitattu 31.8.2022. Saatavissa <https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/sweden>

FORESEE. (2022). FORESEE-projektin verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://foreseeproject.eu/>

Ilmatieteen laitos. (2021). Ilmasto on sään pitkän ajan keskiarvo. Julkaistu 2.3.2021. Artikkel. Viitattu 28.12.2022. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/artikkeli/2T67T5Rnz7biE25M6zkWlf>

Ilmatieteen laitos. (n.d.). Ilmastonmuutos. Viitattu 20.1.2023. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksia#0>

INTACT. (2017). INTACT Risk Management Process. Verkkosivu. Viitattu 26.1.2023. Saatavissa https://computing.ulster.ac.uk/~scmresearch/intact-new/index.php/INTACT_Risk_management_process

ISC. (2022). IS Ratings, IS Rating Scheme. ISC:n verkkosivut. Viitattu 1.9.2022. Saatavissa <https://www.iscouncil.org/is-ratings/>

IUCN (2020). Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions. IUCN (2020). First edition. Gland, Switzerland: IUCN.

Jylhä, K. & Lehtonen, I. (2022). Teematietoa - Suomen ilmastonmuutosennusteet on päivitetty. Ilmatieteen laitos. Julkaistu 19.08.2022. Viitattu 20.1.2023. Saatavissa <https://www.ilmastokatsaus.fi/2022/08/19/suomen-ilmastonmuutosennusteet-on-paivitetty/>

Kanada. (2022). Canada's National Adaptation Strategy: Building Resilient Communities and a Strong Economy. Government of Canada. Verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/national-adaptation-strategy.html>

KISS 2030. Kansallinen ilmastonmuutoksen sopeutumissuunnitelma 2030. Viitattu 26.1.2023. Saatavissa <https://mmm.fi/kansallinen-sopeutumissuunnitelma/kiss2030>

Klima2050. (n.d). Klima2050 verkkosivut. Viitattu 25.1.2023. Saatavissa <https://klima2050.no/>

Klimatanpassning. (2020). Transport. Päivitetty 22.1.2020. Ruotsalainen portaali ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://www.klimatanpassning.se/klimatanpassning/vagledning-for-klimatanpassning/hantera-risker/transporter-1.152883>

Klimatanpassning. (2019a). Vägar och järnvägar. Päivitetty 12.12.2019. Ruotsalainen portaali ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://www.klimatanpassning.se/hur-samhallet-paverkas/transport/vagar-och-jarnvagar-1.107430>

Klimatanpassning. (2019b). Transport. Päivitetty 12.11.2019. Ruotsalainen portaali ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://www.klimatanpassning.se/hur-samhallet-paverkas/transport/transport-1.107433>

Klimatanpassning. (n.d.). Ruotsalainen portaali ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://www.klimatanpassning.se/>

Miljodirektoratet. (2022). Klimatilpassning i infrastruktur og samferdselsektoren. Päivitetty 17.10.2022. Viitattu 29.12.2022. Saatavissa <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpassning/klimatilpassning-i-sektorer/infrastruktur-og-samferdsel/>

Statens vegvesen. (2022). Norjan valtion tiehallinnon verkkosivut. Viitattu 3.10.2022. Saatavissa <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/miljo-og-omgivelser/klima/klimatilpassning/>

Sveriges Riksdag. (n.d.). Uppföljning av klimatanpassningsåtgärder för infrastruktur. Ruotsin eduskunnan verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa <https://www.riksdagen.se/sv/utskotten-eu-namnden/trafikutskottet/Alla-uppfoljningar/uppfoljning-av-klimatanpassningsatgarder-for-infrastruktur/>

UIC. (2022a). UIC ReRa-Rain's first in-person meeting. eNews artikkeli 13.7.2022. UIC:n verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa https://uic.org/com/enews/article/uic-rera-rain-s-first-in-person-meeting?var_recherche=S

UIC. (2022b). ReRa-Rain kick-off meeting held on 5 April. eNews artikkeli 25.4.2022. UIC:n verkkosivut. Viitattu 2.9.2022. Saatavissa https://www.uic.org/com/enews/article/rera-rain-kick-off-meeting-held-on-5-april?page=modal_enews

Kirjallisuus

Bles, T., Bessembinder, J., Chevreuil, M., Danielsson, P., Falemo, S., Venmans, A., ... & Löfroth, H. (2016). Climate change risk assessments and adaptation for roads—results of the ROADAPT Project. *Transportation Research Procedia*. Sivut 14, 58-67. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516300412>

EEA. (2014). Adaptation of transport to climate change in Europe: Challenges and options across transport modes and stakeholders. EEA Report No 8/2014. ISSN 1997-8449. Saatavissa <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-of-transport-to-climate>

Euroopan komissio. (2021). KOMMISSION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE, NEUVOSTOLLE, EUROOPAN TALOUS- JA SOSIAALIKOMITEALLE JA ALUEIDEN KOMITEALLE - Ilmastokestävä Eurooppa - Uusi EU:n strategia ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Brysseli 24.2.2021. COM (2021), 82 final. Sivut 6, 8, 14, 18, 20 ja 26. Saatavissa <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0082&from=EN>

Gregow, H., Mäkelä, A., Tuomenvirta, H., Juhola, S., Käyhkö, J., Perrels, A., ... & Siiriä, S. M. (2021). Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Saatavissa <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/341832>

Hauge, Å. L., Almås, A. J., Flyen, C., Stoknes, P. E., & Lohne, J. (2017). User guides for the climate adaptation of buildings and infrastructure in Norway—Characteristics and impact. *Climate Services*. Sivut 6, 23–33. Saatavissa <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2017.06.009>

IPCC. (2022a). IPCC WGII Sixth Assessment Report. Saatavissa <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

IPCC. (2022b). IPCC WGII Sixth Assessment Report; Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. Saatavissa https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter06.pdf

IPCC. (2022c). IPCC WGII Sixth Assessment Report; Chapter 13: Europe. Saatavissa https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter13.pdf

IPCC. (2022d). IPCC WGII Sixth Assessment Report; Chapter 16: key Risk Across Sector and Regions. Saatavissa https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter16.pdf

IPCC. (2022e). IPCC WGII Sixth Assessment Report; Cross-Chapter paper 6: Polar Regions. Saatavissa https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_CCP6.pdf

Irina Stipanovic Oslakovic, Herbert ter Maat, Andreas Hartmann and Geert Dewulf. Risk assessment of climate changes impacts on railway infrastructure. University of Colorado. 2013. Saatavissa https://www.researchgate.net/publication/260565726_Risk_Assessment_Of_Climate_Change_Impacts_On_Railway

ITF. (2016). Adapting Transport to Climate Change and Extreme Weather: Implications for Infrastructure Owners and Network Managers. OECD Publishing. ISBN 978-92-82-10807-9 (PDF). Saatavissa https://read.oecd-ilibrary.org/transport/adapting-transport-to-climate-change-and-extreme-weather_9789282108079-en#page1

Karlsson, M. (2019). Handbok: Riskanalys vald järnvägssträcka. Publikationsnummer: 2019:207. ISBN: 978-91-7725-552-9. Saatavissa https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/71097/Ineko.Product.RelatedFiles/2019_207_handbok_riskanalys_vald_jarnvagsstracka.pdf

Kiel, J., Petiet, P., Nieuwenhuis, A. (2016). A Decision Support System for the Resilience of Critical Transport Infrastructure to Extreme Weather Events. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516300424>

Kiiskilä, K., Mäki, V. & Saastamoinen, K. (2020). Ajonopeudet maanteillä 2019, Väyläviraston julkaisuja 33/2020. Saatavissa <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-787-1>

Kinnunen, J. (1992), Ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset. ETLA B:77

Kuoppamäki, P. (1996). The impacts of climate change on the Finnish economy, teoksessa Roos, J. (ed.); The Finnish research programme on climate change. Final report, Academy of Finland, Helsinki (Finland); 507 p; ISBN 951-37-1961-8; 1996; s. 460-465. Saatavissa <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/428503>

Kwiatkowski, K. P. (2017). Modeling Climate Change Adaptation in Transportation Infrastructure Organizations (Doctoral dissertation, University of Colorado at Boulder). s. 38, 50, 101. Saatavissa <https://search.proquest.com/open-view/f3566b618f28c4797dab3bd57dad1759/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>

Liikennevirasto. (2015). Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja varautuminen – esiselvitys tutkimustarpeista. 27.11.2015. Saatavissa Väylävirastosta.

Liljegren, E. (2018). Regeringsuppdrag om Trafikverkets klimatanpassningsarbete. 2018:195. Julkaistu 30.9.2018. ISBN 978-91-7725-365-5. Saatavissa <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1364649/FULLTEXT01.pdf>

Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatuki, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R. & Paunio, M. 2005: Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia, Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa <https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/ilmastonmuutokseen-sopeutuminen/kansallinen-sopeutumissuunnitelma/kansallinen-sopeutumisstrategia-2005>

Merenkululaitos. (2009). Ilmastomuutoksen vaikutukset Merenkululaitoksen toimintaan ja ilmastomuutokseen sopeutumisen edellyttämät toimenpiteet. Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 3/2009. Helsinki 2009. Saatavissa <https://docplayer.fi/26289383-Loppuraportti-ilmastomuutoksen-vaikutukset-merenkululaitoksen-toimintaan-ja-ilmastomuutokseen-sopeutumisen-edellyttamat-toimenpiteet.html>

Mihajlović, L. S. (2015). Application of the principles of sustainable development of transport infrastructure and logistics as an economic system, College of applied studies, Vranje, Journal of Process Management – New Technologies, International Vola. 3, No 2, 2015. PhD, College of Applied Studies, Vranje. Saatavissa <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2334-735X/2015/2334-735X1502036S.pdf>

MMM. (2015). Kansallinen ilmastomuutokseen sopeutumis suunnitelma 2022. Maa- ja metsätalousministeriö 2015. Saatavissa https://mmm.fi/documents/1410837/1720628/2014_5_Ilmastomuutos.pdf/8a446702-2960-44b8-9e02-c21598a472de/2014_5_Ilmastomuutos.pdf.pdf/2014_5_Ilmastomuutos.pdf/2014_5_Ilmastomuutos.pdf?t=1442820245000

MMM. (2022). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta ilmastomuutokseen sopeutumis suunnitelmasta vuoteen 2030 - Hyvinvointia ja turvallisuutta muuttuvassa ilmastossa. VNS 15/2022 vp. Saatavissa <https://mmm.fi/paatokset/paatokset?decisionId=0900908f807fc600>

Moretti, L., & Loprencipe, G. (2018). Climate change and transport infrastructures: State of the art. Sustainability, 10(11), 4098. Sapienza University of Rome. Saatavissa <https://core.ac.uk/reader/188829050>

Mäkinen, K., Sorvali, J., Lispanen, A. & Hildén, M. (2019). Kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumis suunnitelman 2022 toimeenpanon väliarviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:11. Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-000-7>

Natanaelsson, K. (2021a). Vidmakthållande: Underlagsrapport till Förslag till nationell plan för transportinfrastrukturen 2022-2033. Trafikverket. ISBN 978-91-7725-970-1 Saatavissa <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1615280/FULLTEXT02.pdf>

Natanaelsson, K. (2021b). Förslag till nationell plan för transportinfrastrukturen 2022-2033, 2021, Trafikverket. Trafikverkets publikationsnummer 2021:186. ISBN: 978-7725-950-3. Saatavissa <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1615267/FULLTEXT01.pdf>

Norwegian Ministry of Transport. (2021). National Transport Plan 2022-2033. English Summary, Norwegian Government Security and Service Organisation 06/2021. Saatavissa <https://www.regjeringen.no/contentassets/117831ad96524b9b9eaadf72d88d3704/engpdfs/stm202020210020000engpdfs.pdf>

OECD. (2018). Climate-resilient Infrastructure, Policy perspective. OECD Environment Policy Paper. No.14. Saatavissa <https://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf>

Ojala, L. & Leviäkangas, P. (2022). Väyläverkon resilienssi – Analyttinen tarkastelu. Väylävirasto Helsinki 2022. Väyläviraston julkaisuja 2/2022. ISSN2490-0745, ISBN978-952-317-938-7.

Perrels, A. (2022): KUITTI-tulokset. KISS seurantaryhmän kokous. Valtioneuvoston selvitys – ja tutkimustoiminta. Saatavissa Väylävirastosta.

Perrels, A., Haakana, J., Hakala, O., Kujala, S., Lång-Ritter, I., Lehtonen, H., Lintunen, J., Pohjola, J., Sane, M., Fronzek, S., Luhtala, S., Mervaala, E., Luomaraanta, A., Jylhä, K., Koikkalainen, K., Kuntsi-Reunanen, E., Rautio, T., Tuomenvirta, H., Uusivuori, J. & Veijalainen, N. (2022). Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:37.

Perrels, A., Rajala, R. & Honkatukia, J. (2005). Appraising the socioeconomic impacts of climate change for Finland, FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs, Helsinki.

ROADAPT. (2015). ROADAPT - Roads for today, adapted for tomorrow – Guidelines, 2015. Saatavissa https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/call_2012/climate_change/roadapt/ROADAPT_integrating_main_guidelines.pdf

Ruotoistenmäki, A., Mäkelä, O., Valkeisenmäki, A., Savolainen, S., Jylhä, K., Venäläinen, A. & Laapas, M. (2009). Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Tiehallinnon selvityksiä 8/2009. Helsinki 2009 Tiehallinto, Keskushallinto. sivu 66 + Liitt. sivu 8. ISSN 1459-1 553, ISBN 978-952-221-172-9. TIEH 3201122-v. Saatavissa <https://www.doria.fi/handle/10024/139433>

Saarelainen, S. & Makkonen, L. (2008). Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa, esiselvitys. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 16/2008. Saatavissa <https://www.doria.fi/handle/10024/146430>

Saarelainen, S. & Makkonen, L. (2007). Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tienpidossa, esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 4/2007. ISBN 978-951-803-820-0. Saatavissa <https://www.doria.fi/handle/10024/139344>

Sandlink, D. & Lapp, D. (2021). The PIEVC protocol for assessing public infrastructure vulnerability to climate change impacts: National and International application. Institute for Catastrophic Loss Reduction, Canada. CSCE 2021 Annual Conference, Inspired by Nature – Inspiré par la Nature. Saatavissa https://pievc.ca/wp-content/uploads/2021/08/PIEVC_Program-May-2021.pdf

Schjøtt-Pedersen, K E. (2022). Riksrevisjonens undersøkelse av myndighetenes arbeid med å tilpasse infrastruktur og bebyggelse til et klima i endring, Riksrevisjonen 3.3.2022, nr. 3:6 (2021–2022). ISBN 978-82-8229-533-8. Saatavissa <https://www.riksrevisjonen.no/globalassets/rapporter/no-2021-2022/dokument-3-6-2021-2022---undersokelse-av-myndighetenes-arbeid-med-klimatilpasning-av-bebyggelse-og-infrastruktur---endelig.pdf>

Schultze, L., Keskitalo, C., Bohman, I., ... & Vulturius, G. (2022.) Första rapporten från Nationella expertrådet för klimatanpassning 2022. Nationella expertrådet

för klimatanpassning. Saatavissa https://klimatanpassningsradet.se/poly_fs/1.180289!/Rapport%20fr%C3%A5n%20Nationella%20expertr%C3%A5det%20f%C3%B6r%20klimatanpassning%202022.pdf

SMHI. (2021). Swedish National Strategy for Climate Change Adaptation strategy. Saatavissa <https://www.smhi.se/en/theme/climate-centre/climate-change-adaptation-strategy-1.168038>

Swanson, D., Murphy, D., Temmer, J., & Scaletta, T. (2021). Advancing the Climate Resilience of Canadian Infrastructure: A Review of Literature to Inform the Way Forward. International Institute for Sustainable Development. IISD REPORT. July 2021, International Institute for Sustainable Development. Saatavissa <https://www.iisd.org/system/files/2021-07/climate-resilience-canadian-infrastructure-en.pdf>

Tiehallinnon selvityksiä 8/2009. Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139433/4638tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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 ilmatoriskit Suomessa - Kansallinen arvio, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018. Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-601-0>

Wang, X., Nguyen, M., Stewart, M. G., Syme, M., Leitch, A. (2010). Analysis of Climate Change Impacts on the Deterioration of Concrete Infrastructure – Part 3: Case Studies of Concrete Deterioration and Adaptation. Published by CSIRO, Canberra. <https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro:EP104734&dsid=DS5>

Warren, F. & Lulham, N., editors. (2021). Canada in a Changing Climate: National Issues Report; Government of Canada, Ottawa, ON. ISBN: 978-0-660-38842-7. Saatavissa https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/3/2021/05/National-Issues-Report_Final_EN.pdf

Ruotsin ilmastonmuutoksen tunnistetut ja odotetut vaikutukset ja seuraukset liikenteelle ja infrastruktuurille

Ruotsissa ilmastonmuutoksen vaikutuksia liikkumisen ja liikenteen sopeutumiseen on tuotu esiin useissa yhteyksissä, joissa korostetaan usein myös toimenpiteiden paikkakohtaisuutta.

Alla olevassa taulukossa 1 on lueteltuna ilmastonmuutoksen ilmiöt, jotka ovat nousseet esiin tämän katsauksen yhteydessä. Lista on koostettu useista lähteistä, joita tässä katsauksessa on käyty läpi.

Taulukko 1. Ilmastonmuutoksen ilmiöt ja niiden vaikutukset Ruotsin liikenteelle ja infrastruktuurille (Mukaiillen Klimatanpassning, 2019b, 2020, n.d.; European Commission & EEA, n.d.a, n.d.c; Liljegren, 2018; Trafikverket, 2014).

Ilmastonmuutoksen ilmiöt	Ruotsin ilmastonmuutoksen tunnistetut ja odotetut vaikutukset ja seuraukset liikenteelle ja infrastruktuurille
Sade ja lumi	<p>Koska jatkossa on odotettavissa yhä voimakkaampia sateita, voivat myös liikenneonnettomuudet lisääntyä niiden johdosta. Tämän tyyppisten onnettomuuksien riskin vähentämiseksi on tärkeää, että uusi infrastruktuuri mukautetaan siten, että se pystyy ohjaamaan suuria määriä vettä pois päällysteiltä ja ajopinnoilta.</p> <p>Lisääntyvät sateet vaikuttavat mm. hulevesijärjestelmiin (rummut, kaivot, ojat, viemäriputket lisääntyvien virtausten osalta. Runsaiden vesimäärien mukana saattaa kulkeutua lietettä, roskaa, oksia ym. orgaanista ja epäorgaanista, joka voi tukkia hulevesijärjestelmät ja aiheuttaa niiden myötä lisävahinkoja. Eroosio, huuhtoumat, tulvat, maan- ja lumivyöryt lisääntyvät. Erityisen haavoittuvaisia ovat teiden ja rautateiden alla olevat sillat ja rummut</p> <p>Runsas ja lisääntyvät sateet tarkoittavat Etelä-Ruotsissa vesisateita ja Pohjois-Ruotsissa lumisateita, jotka molemmat lisääntyessään aiheuttavat haasteita mm. rata- ja tiekunnossapidon resurssien optimoinnissa.</p> <p>Lisääntyneet lumimäärät pohjoisessa voivat johtaa suurempiin kevättulviin, joka aiheuttaa mm. suurempia huuhtoutumisia.</p>
Myrskyt	<p>Kaatuneet puut voivat aiheuttaa ruuhkia.</p> <p>Kaatuneiden puiden ongelmat liittyvät usein myrskyihin. Muutokset pohjaveden tasossa, maaperän kosteudessa ja sademuodoissa voivat myös lisätä puiden kaatumisia voimakkaissa tuulissa. Tällaiset muutokset ovat hyvin todennäköisiä tulevaisuuden ilmastossa.</p>
Maan- ja lumivyöryt	<p>Ilmastonmuutos lisää maanvyörymien ja lumivyöryjen riskiä. Tämä voi vaikuttaa erityisesti tieverkkoihin, jotka ovat lähellä rinteitä ja vuoria. Suuret osat teistä voivat kadota</p>

Ilmastonmuutoksen ilmiöt	Ruotsin ilmastonmuutoksen tunnistetut ja odotetut vaikutukset ja seuraukset liikenteelle ja infrastruktuurille
	maanvyörymän sattuessa tai tie voi tukkeutua kaatuneiden kivien ja lohkareiden vuoksi.
Meren- ja järvien pinnannousu sekä virtavedet, pohjaveden pinnanvaihtelut	<p>Lentokentät ja satamat sijaitsevat usein haavoittuvilla korkean pintaveden alueilla.</p> <p>Tieverkostoon vaikuttaa myös merenpinnan nousu. Matalat tiet ja sillat voivat tulvia ja muuttua käyttökelvottomiksi lyhyemmäksi tai pidemmäksi ajaksi.</p> <p>Jotkut sillat ovat jo nykyään matalalla, ja ne on mahdollisesti rakennettava uudelleen esimerkiksi tulvien välttämiseksi.</p> <p>Vaikutukset tunneleihin (rata, maantie, pyöräily ja kävely), siltoihin, satamiin ja ramppeihin lauttareiteillä. Muutokset pohjavesien pinnanvaihteluissa voi aiheuttaa pohjaveden pilaantumista ja muutoksia maaperän vakaudessa, joka voi vaikuttaa georakenteisiin kuten siltojen ja tunneleiden perustuksiin.</p>
Jääolosuhteet	<p>Muuttuvat jääolosuhteet Ruotsin rannikolla vaikuttavat merenkulkuun. Harvemmat ankarat jäätalvet vähentävät jäänmurtokapasiteetin tarvetta tulevaisuudessa.</p> <p>Jäätyminen (eng. icing) vaikuttaa etenkin lentoliikenteen teknisiin laitteisiin. Muuttuneet jääolosuhteet ja siten mm. kuura vaikuttaa myös kiitoteiden ja paikoitusalueiden asfalttiin.</p>
Nousevat keskilämpötilat	<p>Kasvat lämpötilat ja pitkät lämpimät jaksot kasvattavat haihtumista, joka aiheuttaa myös runsaampia sademääriä, joka voi aiheuttaa haitallisia vedenpinnantason muutoksia mm. Vänern:llä ja Göta älv:llä, jotka ovat tärkeitä vesiliikenneväyliä. Lämpimämpi ilmasto voi lisätä tuholaisongelmia ja kasvitauteja, jotka voivat olla ongelmallisia viheralueille ja puistokaduille.</p> <p>Pidempi kasvukausi voi vaikuttaa myös tien piennarten kasvillisuuteen ja sen myötä piennarten raivaus- ja hoitotoiden oikeaan ajoitukseen.</p> <p>Ilmaston lämpeneminen tarkoittaa myös kantavan roudan häviämistä, mikä voi vaikuttaa mm. metsäteiden kantavuuden heikkenemiseen lisääntyvien sateiden vuoksi. Roudan väheneminen, sateiden lisääntyminen ja myrskyt talvikuukausina voi lisätä haitallisia puiden kaatumisia infrastruktuurin päälle, koska puiden juuria sitovaa routaa ei ole.</p> <p>Nollan asteen ylityksiä sen molemmin puolin saattaa tapahtua entistä enemmän, mikä voi johtaa entistä liukkaampiin tielolosuhteisiin ja onnettomuuksiin. Tämä saattaa lisätä myös maantiesuolan käytön lisääntymistä jossakin osissa maata.</p>
Lämpöaallot ja kuivuus	Trafikverket on vastuussa myös teiden ja rautateiden fyysisen infrastruktuurin reuna-alueista, joissa puiden ja pensaiden kastelutarve voi lisääntyä kuivuuden ja kuumuuden

Ilmastonmuutoksen ilmiöt	Ruotsin ilmastonmuutoksen tunnistetut ja odotetut vaikutukset ja seuraukset liikenteelle ja infrastruktuurille
	<p>lisääntyessä. On myös varauduttava siihen, että useampi istutus kuolee ja niitä on uusittava enemmän.</p> <p>Hulevesipadoissa lisääntyvät ja kasvavat entistä suuremmat leväkäsvustot voivat aiheuttaa hajuhaittoja lähialueiden asukkaille. Vastaavasti kuivat jaksot voivat aiheuttaa patoihin halkeamia ja myöhemmin niiden kautta vuotoja Teiden bitumisidotuissa pinnoissa voi syntyä muodonmuutoksia, joka edesauttaa urautumisen lisääntymistä. Tiepinnoitteen sidosaine voi vuotaa asfaltin pintaa, joka voi tehdä pinnasta entistä liukkaamman, mikä aiheuttaa tarpeen asfaltin pinnan hiomiselle. Myös asfaltinsidosaineen roiskuminen ajoneuvoihin voi lisääntyä.</p> <p>Lämpimämpi ja kosteampi ilmasto lisää myös kosteuden, homeen ja korroosion riskiä esimerkiksi silloissa, kilometritolpissa (ruots. milstolpe), rautatierakenteissa ja erilaisissa rakennuksissa.</p> <p>Yhtenä keinona näiden kaikkien hallinnassa on säännöllisten tarkastusten lisääminen.</p> <p>Helleaallot vaikuttavat myös työympäristöön mm. ulkona työskentelevien työntekijöiden (liikenteenohjaus, päällystetyöt) voi olla vaikeuksia löytää suojaa paahtavalta kuumuudelta, mikä hankaloittaa ja voi hidastaa itse työn valmistumisia.</p> <p>Korkeilla lämpötiloilla ja lämpöaalloilla voi olla merkittäviä kielteisiä vaikutuksia koko rautatiejärjestelmään. Esimerkiksi kiskon lämpölaajeneminen kuumalla säällä voi johtaa siihen, ettei opastinjärjestelmä toimi ja silloin liikenne joudutaan pysäyttämään.</p> <p>Hellekäyrien johdosta liikennenopeuksia joudutaan pienentämään, mikä johtaa aikataulujen muutoksiin logistiikkaketjuissa.</p> <p>Junien pysähtyminen kesken matkan voi aiheuttaa myös sen, että junassa olevat henkilöt joudutaan evakuoimaan liiallisen kuumuuden vuoksi, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia.</p> <p>Kuumuus aiheuttaa ongelmia myös ratatekniikalle.</p>
Tulipalot	<p>Tulipalot saattavat lisääntyä kuumien jakson vuoksi, mikä voi tarkoittaa tie- ja rataliikenteen pysäytyksiä. Vaikutukset voivat kohdistua suoraan itse infraan tai sitten esim. tekniikkaan sisältäviin rakennuksiin.</p> <p>Tulipalot voivat tarkoittaa lisääntyvää tarvetta sekä kalustoon että henkilöstöön, koska Trafikverket ja etenkin sen urakoitsijat ovat mukana suurissa onnettomuuksissa ja muissa vastaavissa tapahtumissa mm. toimittamassa liikennemerkkejä, materiaaleja, lauttoja etenkin saaristossa sekä korjaamassa vahingoittunutta infrastruktuuria.</p>

Ilmastonmuutoksen ilmiöt	Ruotsin ilmastonmuutoksen tunnistetut ja odotetut vaikutukset ja seuraukset liikenteelle ja infrastruktuurille
	Tulipalot voivat syttyä myös mm. raivaus- ja niittotöiden ohessa kipinöinnistä, joita leikkaavat terät ja kivet voivat aiheuttaa. Maasto on erittäin kuumien jaksojen aikana hyvin herkkä syttymään. Niitto- ja raivaustöiden ajankohtia on tärkeää arvioida myös tämän perusteella nykyistä tarkemmin.
Lisääntyvät kunnossapitotarpeet	Ilmaston muutoksen vaikutukset vaihtelevat maantieteellisen sijainnin mukaan. Etelä-Ruotsissa lumenpoisto-, hiekoitus- ja suolaustarve saattaa olla pienempi, kun taas pohjoisissa osissa vastaava tarve voi lisääntyä. Nolla celsiusasteen ylitysten määrä voi vaikuttaa päällystettyjen pintojen halkeiluun. Kuumuus ja sen vaihtelut aiheuttavat ongelmia ratatekniikalle, ilmajohtoihin venymisen ja katkeamisen riskiä, sekä signaalijärjestelmien ja muuntajajärjestelmien elektronikan vaurioitumista.

Katsaus tieteellisiin tutkimuksiin

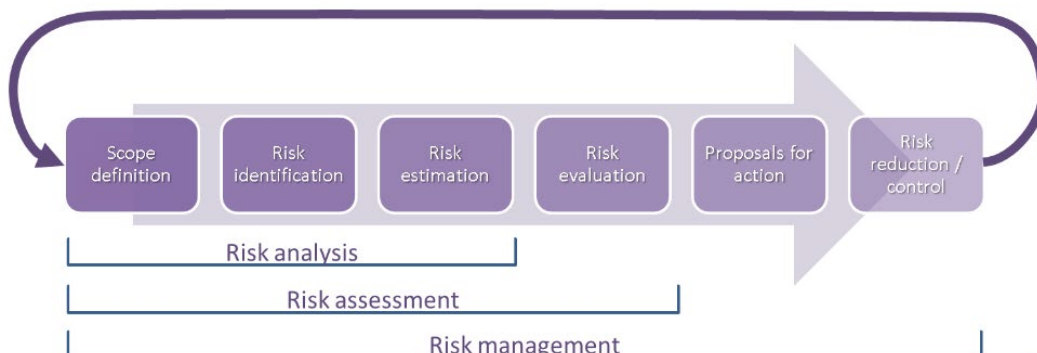
Työssä tehtiin katsaus kansainvälisiin tieteellisiin tutkimuksiin. Tässä liitteessä kuvataan tutkimuskatsauksen keskeisimmät havainnot. Havainnoista on myös koostettu tiivistelmä osaksi työtä luvussa 2.4 Yhteenveto.

Kiel ja muiden (2016) tekemä tutkimus kuvaa EU:n rahoittamaa INTACT hanketta ja INTACT Wiki:ä. INTACT Wiki:n tarkoituksena on välittää INTACT projektin tietoa kriittisen infrastruktuurin sietokyvystä (resilienssistä) ilmaston ääri-ilmiöitä kohtaan.

INTACT projekti kokoaa yhteen innovatiivisen ja huippuluokan tietämyksen ja kokemuksen Euroopasta edistääkseen ja osoittaakseen tekniikan, materiaalien, rakentamisen ja suunnittelun parhaita käytänteitä kriisinhallinnassa ja toipumisvalmiuksissa. INTACT Wikistä löytyy mm. Riskienhallintaprosessi, joka tukee omaisuuden omistajia, kunnossapitäjiä ja viranomaisia tavoitteissaan tehdä luotettavia, kustannustehokkaita ja läpinäkyviä päätöksiä. (Kiel ym., 2016)

INTACT Risk Management Process (INTACT, 2017) koostuu alla olevista vaiheista ja tarjoaa jokaiselle vaiheelle yksityiskohtaisemmat ohjeet (Kuva 1).

- Laajuuden määrittely (Scope definition): tunnistetaan sään ääri-ilmiöt, jotka voivat aiheuttaa riskin kriittiselle infrastruktuurille ja konteksti, jossa riskejä tulisi harkita laajuuden ja aikajänteen näkökulmista
- Riskien tunnistaminen (Risk identification): tutkitaan ja luokitellaan tärkeimmät vaarat ja haavoittuvuudet huomioiden toisiaan seuraavat vaikutukset
- Riskien arviointi (Risk estimation): Arvioidaan riskin suuruus käyttämällä käytettävissä olevia malleja ja huomioiden epävarmuustekijät
- Riskien arviointi (Risk assessment): Arvioidaan riskien suuruus huomioiden kriittisen infrastruktuurin erityispiirteet toimialoittain
- Toimenpide-ehdotukset (Risk reduction control): Kartoitetaan, mitä toimenpiteitä riskien hallitsemiseksi on käytettävissä
- Riskien vähentämisen valvonta (Risk reduction control): Seurataan ja arvioidaan riskien edistymistä ja muutosta



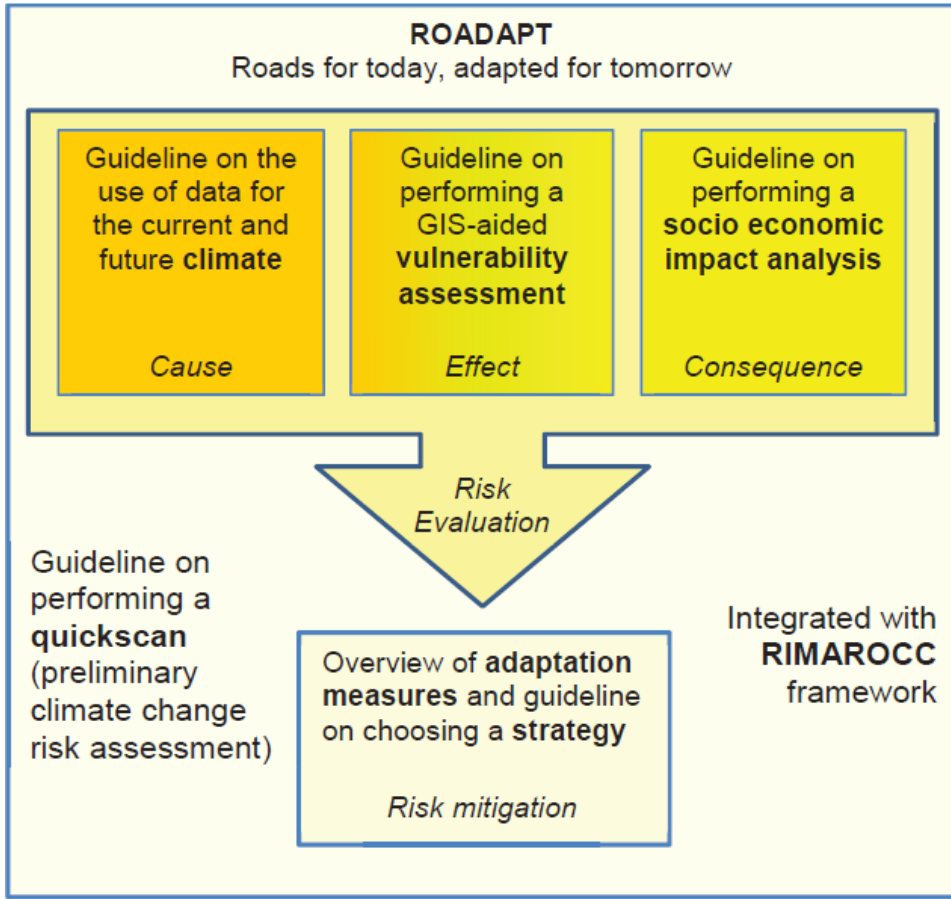
Kuva 1. INTACT Wiki:n riskienhallinnan prosessi ja työkalu (INTACT, 2017).

Tutkimuksessa Modeling climate change adaptation in transportation infrastructure organizations todetaan, että yksityiskohtaiset ilmasto-, päällyste- ja kustannustiedot edistävät sopeutumisen mallintamista ja tuottavat tarkempia ja toteuttamiskelpoisempia tuloksia liikenneinfrastruktuuria hallinnoiville organisaatioille. Tässä tutkimuksessa käytettiin IPSS (The Infrastructure Planning Support System) mallia, joka on kehitetty Coloradon Yliopistossa. IPSS käyttää stressitekijä-vaste-metodologiaa (eng. stressor-response methodology) ennustaakseen omaisuuden (tie) vasteen (vaurio) stressitekijältä (lämpötila ja sateisuus). Kun tähän malliin annettiin Rijkswaterstaatin, Hollannin tieomaisuudesta vastaavan viranomaisen tietoja nykyisestä politiikasta, kustannuksista ja rakentamisen tiedoista, saatiin arvioksi, että ilmastonmuutoksen vaikutukset Hollannille voivat olla vuoteen 2100 mennessä jopa 21mrd €. (Kwiatkowski ym., 2017)

Tärkeimpinä tuloksina tästä selvityksestä ilmastonmuutoksen sopeutumisen edistämässä nousi johtamisen ja ylimmän johdon tuen tarve (leadership and executive support) sekä pitkän aikajänteen suunnittelu. Ilmastonmuutoksen sopeutumisen edistämisen ja kehittämisen ensimmäisissä vaiheissa nämä kaksi ovat tärkeimpiä. (Kwiatkowski ym., 2017)

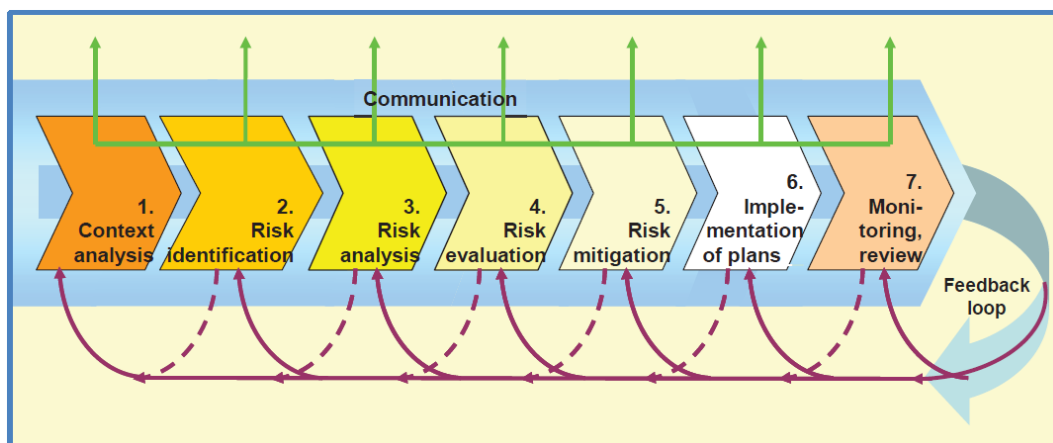
ROADAPT projektin tulosraportissa Climate change risk assessment and adaptation for roads -results of the ROADAPT project todetaan, että kansallisen tieviranomaisen on pakko miettiä palvelutasojensa ajantasaisuutta ja niiden ylläpidon toteutuskelpoisuuksia tiedonpidossa muuttuvan ilmaston vuoksi. Hyvin suurien epävarmuuksien vuoksi, on viranomaisen lähestyttävä oikean sopeutumisstrategian toteuttamiseksi asiaa riskiperusteisesti. (Bles ym., 2016)

ROADAPT-projektissa on luotu visuaalisesti havainnollinen työkalu ilmastonmuutoksen riskienarviointia varten (Kuva2) (ROADAPT, 2015).



Kuva 2. ROADAPT-työkalun rakenne visuaalisesti havainnollistettuna (Bles ym., 2016).

ROADAPT:n tueksi on laadittu RIMAROCC riskienhallinnan viitekehys, jota on helppo päivittää ja ylläpitää.



Kuva 3. RIMAROCC riskienhallinnan viitekehys (Bles ym., 2016).

Tutkimuksessa *Climate change and Transport Infrastructures: State of the Art* (Moretti ym., 2018) todetaan, että strategiat, jotka on otettu käyttöön tai suunniteltu vastaamaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia liikenneinfrastruktuuriin tavoittelevat kolmea päätavoitetta:

- Estää vahinkojen syntymistä
- Suojella rakenteita
- Mitata, seurata ja viestiä käyttäjille nykyisistä olosuhteista.

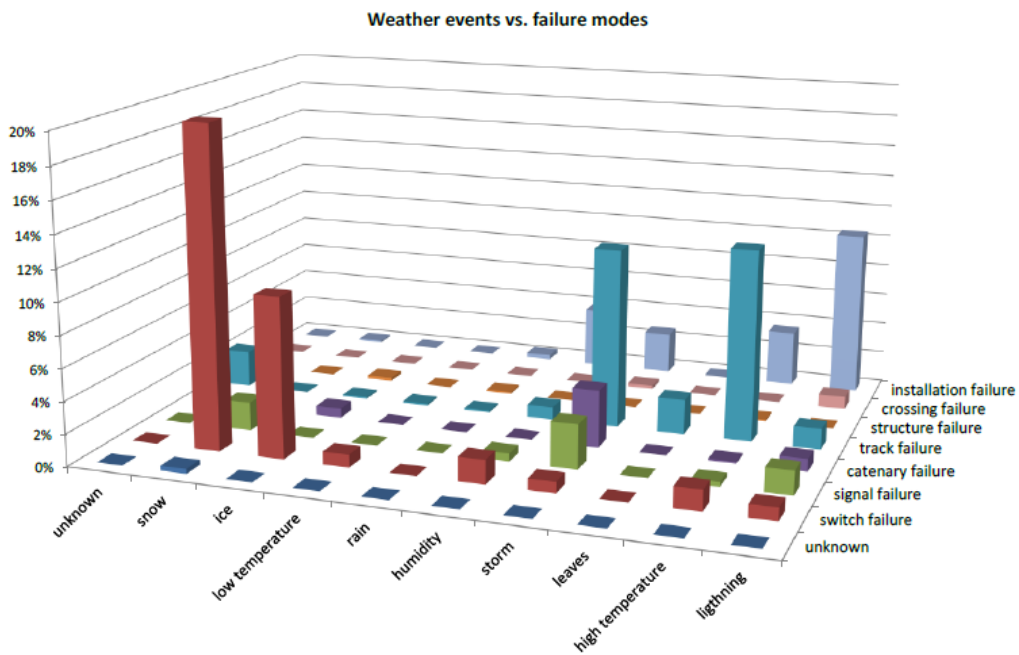
Insinöörien suunnittelemat teknologiat tarjoavat useita vaihtoehtoja lämpötilojen ja tulvien vaikutusten torjumiseksi: materiaalit, rakenteet ja kasvillisuus voivat edistää toisistaan poikkeavia ja hyvin erilaisia, mutta johdonmukaisia tarpeisiin soveltuvia tavoitteita.

Merenpinnan nousun ehkäisemiseksi olemassa olevia vaihtoehtoja on melko vähän. Vain erilaiset suojat, kuten padot, vallit, penkereet voivat suojella liikenneinfrastruktuuria ja ihmisiä merenpinnan nousulta.

Tutkimuksen mukaan ilmastonmuutoksen sopeutumisessa erittäin keskeisessä roolissa ovat ilmakehän ja muiden fysikaalisten olosuhteiden tiedot sekä mahdollisuus integroida niitä älykkäisiin liikennejärjestelmiin, kuten automatisoituihin liikenteenvalvonta- ja matkustajaneuvontajärjestelmiin. Vedenkorkeus- ja -lämpötilatietojen yhdistäminen esimerkiksi ennakko- ja tulvavaroitusjärjestelmiin sekä turvallisuusviestijärjestelmiin lisää ennakkoinnin mahdollisuuksia ja lisää turvallisuutta. (Moretti ym., 2018)

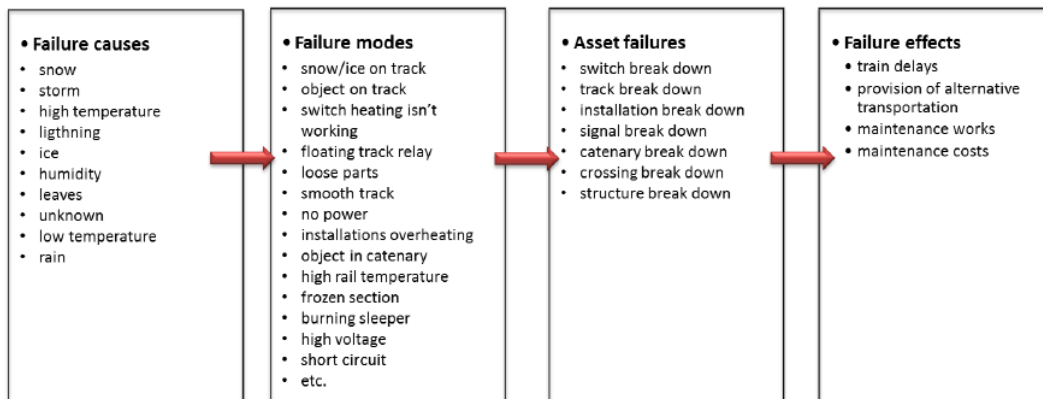
Tutkimuksessa *Application of the principles of sustainable development of transport infrastructure and logistics as an economic system* todetaan, että GIS (Geographic Information System) -järjestelmien käyttö on nykyisin välttämätöntä, kun työskennellään liikennettä koskevien laajojen ja monipuolisten tietokantojen kanssa esimerkiksi päästöjen laskennassa. Päästöjen vähentäminen liikenteessä on yksi keino ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. (Mihajlović, 2015)

Tutkimuksessa *Risk assessment of climate changes impacts on railway infrastructure* (Oslakovic ym. 2013) tarkasteltiin esimerkkinä Alankomaiden kahta kiireisintä rataosuutta ja niissä esiintyneitä toimintahäiriöitä liittyen erilaisiin sääolosuhteisiin. Tutkimuksessa havaittiin, että lumi ja jää aiheuttivat selkeästi eniten toimintahäiriöitä pääasiassa vaihteisiin. Häiriöitä tutkittiin vuosien 2000–2010 välillä ja niitä oli yhteensä 868 kpl (Kuva 4).



Kuva 4. Sääilmiöihin liittyviä omaisuushäiriöitä.

Häiriöistä on laadittu prosessimainen kuvaus häiriön aiheuttaneesta sääilmiöstä, häiriön tyypeistä, omaisuusosista ja niissä tapahtuneista vioista sekä häiriöiden vaikutuksista (Kuva 5).



Kuva 5. Häiriöiden prosessimainen kuvaus (Oslakovic ym., 2013).

Tutkimuksen keskeisiä havaintoja:

- Datan kerääminen häiriöistä on erittäin keskeistä ja sitä on jatkettava ja kehitettävä nykyisestä. Datan on oltava myös rakenteellista
- Tällä hetkellä tallennetaan vain paikallisia vaikutuksia/häiriöitä vaikka usein vaikutukset liittyvät myös muualle ja ne saattavat olla myös pitkävaikutteisia. Tällä hetkellä ei ole johdonmukaista tietoa kustannuksista, viivästyksistä ja turvallisuudesta
- Tietokannan on oltava johdonmukainen lopullisen tavoitteen kanssa, jotka voivat olla esim kunnossapito ja/tai ilmastonmuutokseen sopeutuminen

-
- Infrastruktuurin haltijat haluavat ja tarvitsevat nopeita vastauksia, joita on erittäin vaikea antaa ilman selkeää kuvaa menneistä tapahtumista
 - Ilmastonmuutoksen näkökulmat on huomioitava ja sisällytettävä nykyistä paremmin omaisuudenhallintasuunnitelmiin
 - Sopeutusstrategioiden on pidettävä sisällään myös käyttäjien ajattelutavan mukauttaminen

Tutkimuksen lopussa todetaan, että ilmastonmuutos on jatkuva prosessi ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen tulee ymmärtää pysyvänä ja erittäin pitkäkestoisena ilmiönä, joka edellyttää jatkuvaa sopeutumista hyvin pitkällä aikajänteellä. (Oslakovic ym., 2013.)

Tutkimuksessa Analysis of climate change impacts on the deterioration of concrete infrastructure, Part 3: Case studies of concrete deterioration and adaptation (Wang ym., 2010) todetaan, että joidenkin vanhojen siltojen huonojen betonipintojen vuoksi ilmastonmuutos voi aiheuttaa huomattavia vaikutuksia karbonaation aiheuttamaan korroosioon (carbonation-induced corrosion).

Karbonoinnin aiheuttaman korroosion (carbonation-induced corrosion) vähentämiseksi simuloinnissa todettiin:

- Uudelleen alkalisointi (realcalisation)
- Uudelleen pinnoitus (cover replacement)

Tutkimuksessa todetaan, Australian standardeja noudattava suunnittelu voi antaa yleisiä ilmastonmuutokseen sopeutumisen sääntöjä betonirakennesuunnittelua varten. Käytännön työssä ja ilmastonmuutokseen sopeutumisessa tärkeää on kuitenkin huomioida yksittäiset rakenteet sekä niiden ympäristöaltistus-, rakentamis- ja kunnossapitohistoria. Tästä syystä on tarpeellista luoda yksittäisille betonirakenteille yksilölliset sopeutusvaihtoehdot. (Wang ym., 2010.)

Työpajojen osallistujat

Tähän työhön kuului yhteensä kolme työpajaa, joista ensimmäinen järjestettiin Teamsin välityksellä etätyöpajana 12.8.2022. Työpajaan osallistuivat seuraavat Väyläviraston asiantuntijat: Otto Kärki, Ismo Kohonen, Jan Juslén, Pekka Ovaska, Laura Noukka, Markku Äijälä, Tapio Ojanen, Jarkko Toivola, Paula Kajava, Jaakko Knuutila ja Marketta Hyvärinen.

Projektin toisessa työpajassa 4.11.2022 arvioitiin ehdotettujen toimenpidetarpeiden vaikuttavuutta ja priorisointia väylämuodoittain, sekä tehtiin alustava toimenpiteiden aikataulutus ja ohjelmointi. Työpaja toteutettiin etätyöpajana hyödyntäen Mural-alustaa. Työpajassa arvioitiin myös toimenpiteisiin liittyviä riskejä ja mahdollisuuksia. Työpajaan osallistuivat seuraavat Väyläviraston asiantuntijat: Ismo Kohonen, Tapio Ojanen, Paula Kajava, Laura Noukka, Susanna Suomela, Soile Knuuti ja Marketta Hyvärinen. Lisäksi Olli Holm on täydentänyt ja kommentoinut työpajan tehtäviä.

Kolmas työpaja järjestettiin 21.11.2022 etätyöpajana. Työpajan sisältö oli sama kuin toisessa työpajassa. Työpajaan osallistuivat seuraavat Väyläviraston asiantuntijat: Markku Nummelin, Jaakko Knuutila, Soile Knuuti ja Marketta Hyvärinen.



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-405-063-0
www.vayla.fi