



SUOMEN
ILMASTOPANEELI
The Finnish Climate
Change Panel

Suomen sopeutumispolitiikan kehittäminen toimenpiteiden
riskimallinnuksen ja vaikuttavuuden seurannan avulla

Sirkku Juhola, Janina Käyhkö, Fanny Groundstroem, Matti Hyyrynen,
Markku Ollikainen, Juuso Suomi, Jukka Käyhkö, Timo Hugg, Meaza
Degefa, Jouni J.K. Jaakkola

Suomen ilmastopaneeli
Raportti 4/2023

© Suomen ilmastopaneeli



Julkaistu [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) -lisenssillä.

Suomen ilmastopaneelin raportti 4/2023

Suomen sopeutumispolitiikan kehittäminen toimenpiteiden riskimallinnuksen ja vaikuttavuuden seurannan avulla

Tekijät:

Sirkku Juhola, Janina Käyhkö, Fanny Groundstroem, Matti Hyyrynen, Markku Ollikainen, Juuso Suomi, Jukka Käyhkö, Timo Hugg, Meaza Degefa ja Jouni J.K. Jaakkola

ISSN: 2737-0666

ISBN: 978-952-7457-27-6

DOI: <https://doi.org/10.31885/9789527457276>

Viittausohje:

Juhola, S., Käyhkö, J., Groundstroem F., Hyyrynen, M., Ollikainen, M., Suomi, J., Käyhkö J., Hugg, T., Degefa, M., Jaakkola, J. J.K. 2023. Suomen sopeutumispolitiikan kehittäminen toimenpiteiden riskimallinnuksen ja vaikuttavuuden seurannan avulla. Suomen ilmastopaneelin raportti 4/2023.

Suomen ilmastopaneeli edistää tieteen ja politiikan välistä vuoropuhelua ilmastokysymyksissä. Se antaa suosituksia hallituksen ilmastopoliittiseen päätöksentekoon ja vahvistaa monitieteellistä otetta ilmastotieteissä. Ilmastopaneelin selvitykset ja kannanotot tehdään tieteellisin perustein.

info@ilmastopaneeli.fi

www.ilmastopaneeli.fi

[@Ilmastopaneeli1](https://twitter.com/Ilmastopaneeli1)

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	III
SUMMARY	IV
SAMMANDRAG	V
1. JOHDANTO.....	1
2. SOPEUTUMISPOLITIIKAN JA SOPEUTUMISEN SEURANNAN VIITEKEHYKSET	2
2.1. Sopeutumispolitiikan määrittämisen mallikehikko.....	2
2.2. Sopeutumisen seurannan viitekehukset	3
3. SOPEUTUMISPOLITIIKAN HAHMOTTELUA KOLMEN TAPAUSTUTKIMUKSEN VALOSSA	5
3.1. Helleaaltojen aiheuttamien kuolemien rajoittaminen koneellisella viilennyksellä	5
3.2. Helleaaltojen aiheuttamien kuolemien rajoittaminen kaupunkien kaavapohjaisella ja kohdennetulla viherryttämällä	8
3.3. Veden lämpötilan noususta johtuvan joen ekologisen tilan heikkenemisen hillitseminen puustoisten suojakaistojen avulla	11
4. SOPEUTUMISEN SEURANTA	14
5. YHTEENVETO JA SUOSITUKSIA	20
LIITTEET	22
LIITE 1: Menetelmät ja aineistot	22
LIITE 2: Erinäisiä suosituksia ja kirjallisuuskatsaukset Suomessa käyttöön soveltuvista kuuma-altistukseen kytkeytyvistä terveysperustaisista sopeutumistoimista ja indikaattoreista sekä suomalaisista äärikuuman terveysvaikutuksia käsittelevistä tutkimuksista	26
LÄHTEET	36

TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutos etenee nopeasti ja sen vaikutukset näkyvät Suomessa jo nyt. Ilmastonmuutokseen sopeutumista ja riskeihin varautumista on edistettävä, vaikka vaikutusten voimakkuuteen ja kehityssuuntiin tulevaisuudessa liittyy epävarmuutta. Haasteena on löytää epävarmuuden oloissa selkeät tavoitteet, toimenpiteet ja ohjaukset, joilla sopeutumista edistetään. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) ilmatoriskiviitekehys tarjoaa systemaattisen perustan mallintaa sopeutumispolitiikan toimenpiteiden vaikuttavuutta ja mitoitusta.

Tämän raportin tavoitteena on havainnollistaa, kuinka sopeutumispolitiikka voidaan perustaa systemaattiseen riskimallinnukseen ja politiikan vaikuttavuuden seurantaan tehostaa siihen soveltuvien indikaattorien avulla. Raportti tarkastelee ilmaston lämpenemisen vaikutuksia julkishyödykkeiden tuotantoon. Julkishyödykkeitä ovat esimerkiksi maanpuolustus, terveys, ekosysteemien tila ja ilmastonmuutosta koskeva tieto. Riskiviitekehystarkasteluun valitaan ihmisten ja ekosysteemien terveyden turvaaminen, kun lämpötila nousee ja helleaallot yleistyvät.

Ihmisten terveyden osalta analysoidaan, kuinka helleaaltojen aiheuttamia ennenaikaisia kuolemia vähennetään joko lisäämällä asuntojen koneellista viilennystä tai kasvattamalla latvuspeitteisyyttä kaupunkien lämpösaarekkeiden vaikutusten vähentämiseksi. Tarkasteluun valittiin Helsinki, Turku ja Oulu, jotta alueelliset erot tulisivat huomioituiksi. Tulosten mukaan Helsingissä ja Turussa viilennyksen kattavuus asutokannasta tulisi kasvattaa liki sataan prosenttiin ja Oulussa viilennys tulisi kohdentaa valituille alueille. Kasvipeitteisyyden osalta alueellisesti kohdennettu viherryttäminen tuottaa positiivista nettohyötyä kaikissa kaupungeissa, eniten Helsingissä.

Ekosysteemien terveyttä tarkasteltiin valitsemalla esimerkiksi joen ekologisen tilan heikkeneminen ja sen ehkäisy. Ilmaston lämpeneminen nostaa myös veden lämpötilaa, mikä heikentää joen ekologista tilaa. Lämpötilan nousua voidaan lieventää perustamalla puustoisia suojakaistoja jokien varsille. Näin syntyy uutta vihreää infrastruktuuria, jota yhteiskunnan on tarpeen tukea. Tarkastelu korostaa sopeutumispolitiikan ulottamista elinympäristöihin ja ekosysteempalveluihin.

Mallinnuksen lisäksi raportissa tarkastellaan tutkimuskirjallisuuden avulla sopeutumiseen liittyviä tietotarpeita ja sopeutumispolitiikan vaikuttavuuden seurantaan soveltuvia indikaattoreita. Suomen kansallisessa ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelmassa (KISS2030) eritellään sopeutumisen tavoitteet ja toimet sekä niiden vastuutahot. Suunnitelmassa on myös tunnistettu seurantakeinoja, mutta vaikuttavuuden indikaattoreita ei ole toistaiseksi määritetty. Hallinnon- ja toimialakohtaisten sopeutumisstrategioiden välillä on puolestaan eroja johdonmukaisuudessa sekä riskikartoituksissa.

Kansallisen sopeutumispolitiikan onnistumisen kannalta suunnitelmien toimeenpanon lisäksi tulee seurata sopeutumisen vaikuttavuutta. Vaikuttavuuden seuranta tarvitsee tuekseen hyvin valitut indikaattorit. Indikaattorien käyttö edellyttää, että kansallisessa sopeutumis suunnitelmassa tunnistetaan riskiarvioinnin perusteella, mihin riskeihin, ja mahdollisuuksien mukaan niiden osa-alueisiin, sopeutumistoimilla pyritään vaikuttamaan. Kun valittujen toimien vaikuttavuutta on arvioitu, indikaattorien avulla voidaan muodostaa kokonaisarvio sopeutumispolitiikan onnistumisesta ja haasteista.

Indikaattoriperusteisen seurantajärjestelmän kehittämistä rajoittavat toistaiseksi tietoaudit sopeutumistoimien vaikuttavuudesta. Tietoaudit huolimatta sopeutumis suunnitelmia on tehtävä määrittelemällä eri tasoisia tavoitteita ja tarkentamalla niitä jatkuvan kehittämisen periaatteella tiedon karttuessa. Myös ympäristön tilan muutoksia tulee seurata pitkäaikaisseurannalla, jotta sopeutumispolitiikka voidaan paremmin suunnitella ja mukauttaa ilmastonmuutoksen edetessä.

SUMMARY

Climate change is progressing rapidly, and its effects are already visible in Finland. Adaptation to climate change and preparedness for the risks must be advanced, despite the uncertainty about the scale of effects and directions of change in the future. The challenge is to identify specific goals, measures, and policy tools to promote adaptation under conditions of uncertainty. The climate risk framework of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) can provide a systematic basis for modelling the effectiveness and scale of adaptation policy measures.

The aim of this report is to demonstrate how adaptation policy can be based on systematic risk modelling and enhance the monitoring of policy effectiveness by using relevant indicators. The report examines the impacts of a warming climate on the production of public goods, such as national defense, health, ecosystems, and information on climate change. The risk framework analysis is utilised to assess adaptation that ensures the health of both humans and ecosystems as temperatures rise and heatwaves become more common.

Regarding human health, the report presents an analysis of how premature deaths caused by heatwaves can be reduced by increasing mechanical cooling in residential buildings and by increasing green areas to mitigate the urban heat island effect. Helsinki, Turku, and Oulu were chosen for analysis to account for regional variations. The results indicate that the coverage of cooling systems in the housing stock should be increased to nearly 100% in Helsinki and Turku, while cooling should be targeted to selected areas in the northernmost case city Oulu. In terms of green areas, geographically targeted greening produces net positive benefits in all cities, with the greatest impact in Helsinki.

Ecosystem health is examined in this report with an example of the deterioration of the ecological state of a river and its prevention. Climate change also raises water temperatures, which weakens the ecological condition of rivers. Rising water temperatures can be mitigated by establishing tree-covered buffer zones along riverbanks, creating new green infrastructure that society supports. The analysis highlights the need to extend adaptation policy to ecological habitats and ecosystem services.

As well as modelling, information needs related to adaptation and indicators suitable for monitoring the effectiveness of adaptation policy are discussed in the report based on findings from scientific literature. The Finnish National Climate Change Adaptation Plan 2030 specifies adaptation goals and measures, as well as responsibilities for them. The Adaptation Plan also identifies methods for monitoring, but indicators of effectiveness have not yet been defined. There are differences in consistency and risk assessments in sector-specific adaptation strategies.

For the success of national adaptation policy, in addition to implementing the plans, the effectiveness of adaptation efforts must be monitored. To support the monitoring of effectiveness, the considered selection indicators is necessary. The use of indicators requires that the national adaptation plan uses the risk assessment to identify the risks to which adaptation measures are targeted at, and where possible, their subcomponents. Once the effectiveness of the selected measures has been assessed, indicators can be used to form an overall assessment of the success and challenges of adaptation policy.

The development of an indicator-based monitoring system is currently limited due to knowledge gaps in the effectiveness of adaptation measures. Despite these gaps, adaptation plans must be developed by defining goals at different levels and refining them as knowledge is gained. Long-term monitoring of environmental changes is also necessary to better plan and adapt adaptation policy as climate change progresses.

SAMMANDRAG

Klimatförändringarna framskrider snabbt och deras effekter är redan synliga i Finland. Anpassningen till klimatförändringarna och riskberedskapen måste främjas, även om det råder osäkerhet om hur kraftiga effekterna kommer att bli och hur utvecklingen kommer att se ut i framtiden. I en osäker omvärld är det utmanande att hitta tydliga mål, åtgärder och styrmedel för att främja anpassningen. Den mellanstatliga panelen för klimatförändringar (IPCC) har utkommit med en referensram för klimatrisker som erbjuder en systematisk grund för att modellera anpassningsåtgärdernas genomslag och omfattning.

Syftet med denna rapport är att illustrera hur anpassningspolitiken kan grunda sig på systematisk riskmodellering och hur uppföljningen av det politiska genomslaget kan förbättras med hjälp av lämpliga indikatorer. Rapporten innehåller analyser om den globala uppvärmningens inverkan på produktionen av kollektiva nyttigheter. Bland annat totalförsvaret, hälsa, ekosystemens tillstånd och informationen om klimatförändringarna räknas till kollektiva nyttigheter. Riskerna analyserades utifrån en referensram om hur hälsan hos människor och ekosystem kan tryggas när temperaturen stiger och värmeböljor blir allt vanligare.

Människors hälsa inbegriper en analys om hur man kan minska antalet förtida dödsfall som orsakats av värmeböljor, antingen genom att öka den maskinella kylningen av bostäder eller genom att öka växttäckets förmåga att minska effekterna av urbana värmeöar. Helsingfors, Åbo och Uleåborg togs med i analysen för att beakta regionala skillnader. Resultaten visar att kylningen i Helsingfors och Åbo bör utökas till nästan 100 procent av bostadsbeståndet, och att kylningen i Uleåborg bör koncentreras till vissa specifika områden. Lokala växttäckens ger positiva nettoeffekter i alla städer, framför allt i Helsingfors.

Ekosystemens hälsa analyserades genom att till exempel undersöka det försvagade ekologiska tillståndet i en älv och hur en sådan situation kan förebyggas. Den globala uppvärmningen höjer också vattentemperaturerna, vilket inverkar menligt på älvarnas ekologiska tillstånd. De stigande temperaturerna kan mildras genom att anlägga trädkantade buffertzoner längs älvar. Detta kommer att skapa ny grön infrastruktur som samhället behöver stödja. Analysen betonar vikten av att bredda anpassningspolitiken till livsmiljöer och ekosystemtjänster.

Utöver modelleringen utgår rapporten från forskningslitteratur för att klargöra informationsbehoven och de indikatorer som lämpar sig för att följa upp anpassningspolitikens genomslag. Anpassningsmålen och åtgärderna samt de ansvariga aktörerna specificeras i Finlands nationella plan för anpassning till klimatförändringar (NAP2030). I planen ingår också uppföljningsmetoder, men några indikatorer för att mäta genomslag har tills vidare inte fastställts. De förvaltnings- och sektorspecifika anpassningsstrategierna skiljer sig från varandra i fråga om konsekvens och kartläggning av risker.

För att den nationella anpassningspolitiken ska bli framgångsrik behöver både planernas verkställande och anpassningarnas genomslag följas upp. En uppföljning av genomslaget kräver stöd av väl utvalda indikatorer. Användningen av indikatorer förutsätter att de risker (och om möjligt de riskaspekter) som man syftar till att hantera genom anpassningsåtgärder har identifierats i den nationella anpassningsplanen med hjälp av en riskbedömning. När åtgärdernas genomslag har utvärderats, kan indikatorerna användas för en övergripande bedömning av anpassningspolitikens framgångar och utmaningar.

Utvecklingen av ett indikatorbaserat uppföljningssystem begränsas för närvarande av luckor i tillgängliga data om anpassningsåtgärdernas genomslag. Anpassningsplanerna måste utarbetas trots luckorna genom att fastställa mål på olika nivåer och förfina dem enligt principen om kontinuerlig utveckling i takt med att datamängden ökar. Förändringarna i omvärldens tillstånd kräver långsiktig uppföljning, för att anpassningspolitiken bättre ska kunna utformas och anpassas i takt med att klimatförändringarna framskrider.

1. JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen edetessä yhteiskuntien tarve sopeutua sen vaikutuksiin lisääntyy. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat trendimäisesti eteneviä kehityskulkuja tai sään ääri-ilmiöiden kaltaisia äkillisiä muutoksia. Osa muutoksista voi osoittautua peruuttamattomiksi (esim. Armstrong ym. 2022). Ilmastonmuutoksen vaikutusten moninaisuus ja epävarmuus tekevät vaikeaksi luoda selkeää ja toimivaa politiikkaa ilmastonmuutokseen sopeutumisen edistämiseen. Sopeutumispolitiikkaa ja riskeihin varautumista on kuitenkin toteutettava epävarmuuksista huolimatta. Sopeutumispolitiikan avulla yhteiskunta parantaa toimintakykyään asteittain etenevissä muutoksissa ja reagointiaan äkillisissä kriisitilanteissa.

Yhteiskunnan haasteena on löytää epävarmuuden oloissa selkeät tavoitteet, toimenpiteet ja ohjaukset, joiden avulla sopeutumista edistetään mahdollisimman hyvin. Sopeutumispolitiikan hahmottamista auttaa työnjaon selventäminen julkisen vallan, eli valtion ja kuntien, ja yksityisten toimijoiden kesken. Julkinen valta vastaa ensisijaisesti kansakunnan turvallisuudesta, kansanterveydestä sekä muiden julkishyödykkeiden, kuten elinympäristöjen tilan ja sopeutumista koskevan tiedontuotannon, edistämistä. Yksityisillä toimijoilla, yrityksillä, yhteisöillä ja kansalaisilla on puolestaan parhaat edellytykset yksityiseen sopeutumiseen omilla toimialoillaan, kuten teollisuudessa ja maa- ja metsätaloudessa. Julkisen vallan tulee kuitenkin tukea yksityistä sopeutumista vähentämällä epävarmuuden vaikutuksia yksityiseen päätöksentekoon, esimerkiksi tarjoamalla tietoa ilmastonmuutoksen etenemisestä ja auttamalla toimijoita kohtaamaan taloudellisia riskejä. Sopeutumispolitiikka tarvitsee tuekseen sekä yleisiä periaatteellisia että konkreettisia määrällisiä tavoitteita, joiden toteutumista tulee seurata.

Mitä enemmän politiikka asettaa tutkimukseen perustuvia määrällisiä tavoitteita, sitä helpompaa on myös politiikan vaikuttavuuden seuraaminen. Vuonna 2015 solmittu Pariisin ilmastopöytäkirja ja kansalliset ilmastolait velvoittavat valtioita sopeutumistoimien raportointiin. Niiden mukaisesti Suomessa on ilmastovuosikertomuksissa vuodesta 2019 alkaen raportoitu sopeutumispolitiikan etenemistä kansallisesti ja Euroopan komissiolle kerran kahdessa vuodessa toimitettavassa energia- ja ilmastosuunnitelmaa koskevassa edistymisraportissa vuosina 2021 ja 2023. Näissä raportoinneissa sopeutumispolitiikan etenemistä on kuvattu toistaiseksi varsin yleisellä tasolla, vaikka energiaunionin hallintomalliasetuksen mukaisen raportoinnin ohjeistus on varsin seikkaperäinen (ks. EU 2020/1208, liite 1¹).

Vuonna 2023 julkaistun Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelman 2030 yhtenä tavoitteena onkin, että sopeutumisen seuranta on systemaattista ja tukee toiminnan kehittämistä (tavoite 24). Sopeutumispolitiikalle asetetut tavoitteet ja niitä täydentävät indikaattorit tarjoavat mahdollisuuden sekä sopeutumispolitiikan tavoitteiden terävöittämiseen että ilmastonmuutoksen seurannan systematisointiin. Esimerkin tarjoaa vaikkapa tavoite rajoittaa helleaaltojen lisääntymisestä aiheutuvia hellekuolemia edistämällä viilennyksen kattavuutta yleisesti tai erityisesti haavoittuvien ryhmien joukossa. Tällainen tavoite on selkeä politiikan ohjenuora ja sitä on helppo seurata.

Tämän raportin tavoitteena on osoittaa, kuinka tieteeseen perustuvaa sopeutumispolitiikkaa voidaan hahmottaa mallinnuksen ja tutkimusaineiston luovan hyödyntämisen avulla sopeutumiseen julkishyödykkeiden suhteen. Tarkastelusta jää sivuun julkisen vallan toimien määrittely yksityisen sopeutumisen edistämiseksi niin sanottujen tavallisten hyödykkeiden tuottamisessa. Siellä sopeutumispolitiikka edellyttää tiedon lisäämistä muuttuvista olosuhteista sekä erilaisten keinojen käyttöönottoa epävarmuuden vaikutusten lieventämiseksi. Tehtävä on kompleksinen ja sitä on analysoitu harvoin kirjallisuudessa.

¹ Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2020/1208, L278/1, liite 1: [L_2020278FI.01000101.xml \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1208/1/2020278FI.01000101.xml).

Julkishyödykkeisiin kohdistuvien politiikkatoimien määrittämistä ja tavoitteita analysoidaan nojautuen hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) optimaalisen sopeutumisen teoreettiseen kehikkoon (IPCC 2014 (AR5), IPCC 2022 (AR6)). Analyysi kohdistetaan julkisen vallan tehtäviin ja politiikan muotoiluun. Esimerkeiksi on valittu helleaaltojen terveysvaikutukset, kaupunkien lämpösaarekkeet sekä joen ekologisen tilan kehitys lämpenevässä ilmastossa. Valittujen kohteiden osalta on mahdollista asettaa sopeutumistoimille määrällisiä tavoitteita, hahmottaa tarvittavat toimenpiteet ja niitä edistävät ohjauskeinot. Tarkasteluissa käytettyä lähestymistapaa voidaan soveltaa myös moniin muihin sopeutumisteemoihin julkishyödykkeiden osalta.

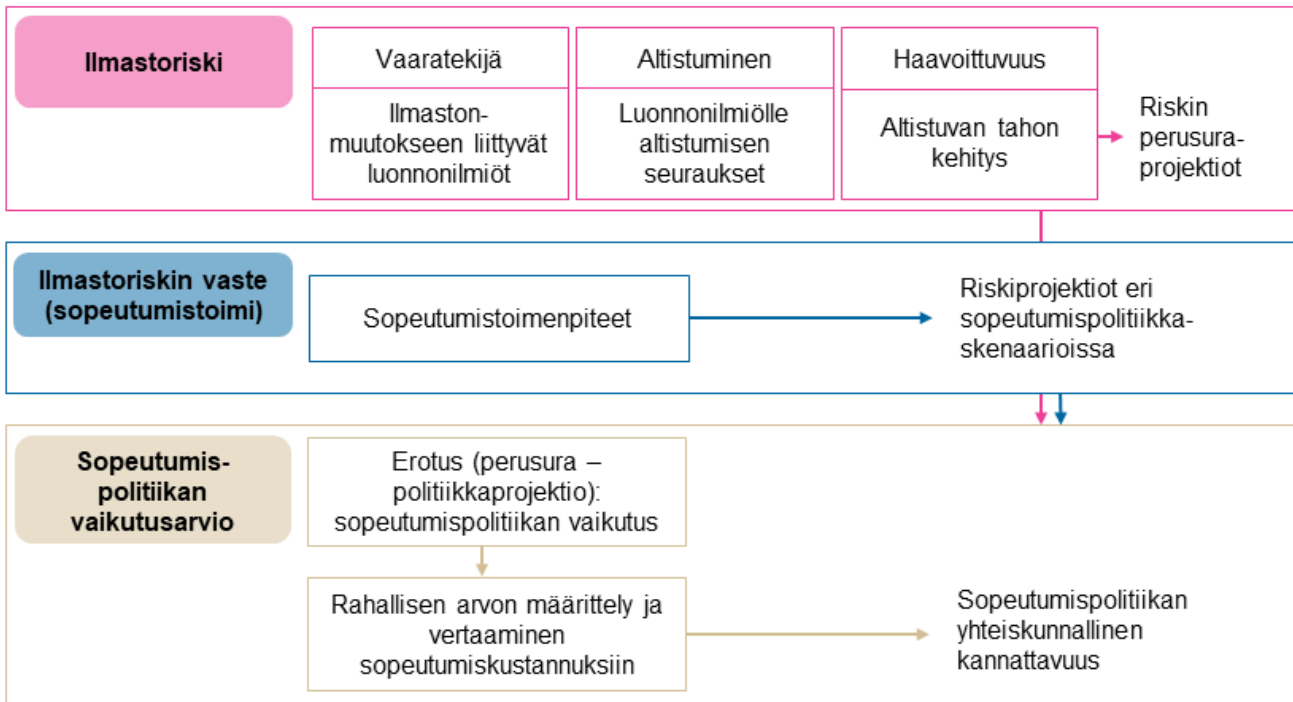
Kun politiikka on määritelty, sen edistymistä tulee seurata. Samalla on syytä muistaa, että sopeutumista tapahtuu monella tasolla, jolloin seurannan tulee kattaa myös teemoja, joista ei ole julkisen vallan politiikkaa, mutta joiden seuranta on tärkeää. Sopeutumisen seurannan tarkasteluun näissä tapauksissa sovelletaan Klostermann ym. (2018) ehdottamaa seurantajärjestelmää kansallisella tasolla: 1) tarkasteltavan järjestelmän määrittely, 2) politiikan määrittämisen tai sopivien seurantaindikaattoreiden tunnistaminen ja valinta, 3) seuranta suorittavien tahojen tunnistaminen ja vastuiden määrittely ja 4) seurannan ja arvioinnin toimenpiteiden määrittely.

2. SOPEUTUMISPOLITIIKAN JA SOPEUTUMISEN SEURANNAN VIITEKEHYKSET

Sopeutumispolitiikan mallinnus on varsin uutta. Tutkimuksen menetelmällisenä haasteena on yhdistää ilmatoriskien kehitys, sopeutumistoimien valinta ja mitoitus sekä ohjauskeinojen asettaminen samaan, kaikki näkökulmat huomioon ottavaan analyysiin. Esimerkkejä ilmatoriskit integroivista analyyseistä on toistaiseksi vähän (esim. Holman ym. 2019, Oswald ym. 2020). Myös ilmastomuutoksen seurantaan tarvitaan systemaattista menetelmällistä otetta. Tässä luvussa esitellään raportissa politiikka-analyysin ja seurannan perustana käytetyt teoreettiset kehykset.

2.1. Sopeutumispolitiikan määrittämisen mallikehikko

Sopeutumispolitiikkaa mallinnetaan tässä raportissa IPCC:n viimeisimmän riskiviitekehyksen avulla (Ara Begum ym. 2022). Ilmatoriskin osa-alueet – vaaratekijä, altistuminen ja haavoittuvuus (sopeutumiskyky ja herkkyys) – määritellään IPCC:n viidennessä arviointiraportissa (IPCC 2014). Kuva 1 havainnollistaa tätä lähestymistapaa. Ensin määritetään ilmatoriskin perusura. Perusuralla tarkoitetaan ilmatoriskin kehitystä ilman suunniteltua, tavallisesti julkisen vallan toimeenpanemaa, sopeutumista. Perusura sisältää kuitenkin yksityisten toimijoiden sopeutumisen. Riskin kolme ensimmäistä osatekijää kuvaavat perusuran projektioita eli skenaariota, jossa sopeutumispolitiikkaa ei toteutettaisi sisältäen kuitenkin mainitun yksityisen sektorin autonomisen sopeutumisen. Esimerkiksi maanviljelijät huomioivat ilmastomuutoksen satovaiikutukset oman toimintansa kannalta. Sopeutumisen taso voi silti jäädä yhteiskunnan kannalta liian alhaiseksi, minkä takia tarvitaan julkisia sopeutumistoimia eli sopeutumispolitiikkaa. Riskin perusura lähtee vaaratekijästä, eli jonkin ilmastomuutokseen liittyvän luonnonilmiön, kuten helleaaltojen tai joen lämpötilan kehityksen, kuvaamisesta. Seuraava riskin elementti kuvaa luonnonilmiölle altistumisen seurauksia. Kolmas perusuran elementti kuvaa altistuvan tahon kehitystä. Tämä voi olla esimerkiksi haavoittuvan väestöryhmän kehitys. Yhdessä nämä kolme elementtiä muodostavat riskin perusuran projektiot.



Kuva 1. IPCC:n riskiviitekehys sopeutumispolitiikan toimien arviointiin. Mukailten Ara Begum ym. 2022.

Vasteella tarkoitetaan suunniteltuja (julkisia) sopeutumistoimia, jotka vaikuttavat riskiin, ja on siten arvioitava osana riskiviitekehystä (Simpson ym. 2021, Ara Begum ym. 2022). Poliittikaurassa julkinen valta edistää sopeutumistoimien tekemistä. Erilaiset sopeutumistoimien yhdistelmät muodostavat poliittikkaskenaarioita, joita kuvataan poliittikkaurilla. Riskin perusuran ja poliittikkauran välinen erotus määrittelee sopeutumispolitiikan vaikutuksen riskiin. Jos mahdollista, vuosittaisille riskivaikutuksille voidaan määrittää rahallinen arvo, jolloin saadaan sopeutumisen vuosittaiset hyödyt. Näitä voidaan verrata sopeutumistoimien vuotuisiin kustannuksiin. Kun hyötyjen ja kustannusten erotukset diskontataan ja summataan yli ajan, saadaan sopeutumispolitiikan nettohyötyjen nykyarvo (*net present value*, NPV). Jos NPV on positiivinen, on yhteiskunnan perusteltua edistää sopeutumispoliittikkaa. Seuraavassa luvussa tätä lähestymistapaa sovelletaan sopeutumispoliittikkaskenaarioissa yksittäisiin ilmatoriskeihin ja sopeutumistoimiin.

IPCC:n riskiviitekehys tarjoaa yhteiskunnalle lähtökohdan suunnitella sopeutumista ilmastonmuutokseen niin, että yhteiskunnan hyvinvointi kussakin tilanteessa maksimoituu tai toteutuva haitta minimoituu. IPCC:n riskiviitekehysten mukaisesti poliittikan muotoilua varten määritetään ja rajataan järjestelmä, jonka sopeutumista arvioidaan. Poliittikalle asetetun tavoitteen ja valittujen sopeutumiskeinojen arvioidun vaikuttavuuden pohjalta järjestelmälle asetetaan selkeä määrällinen sopeutumistavoite. Optimaalinen sopeutuminen mitoitaa sopeutumistoimet niin, että asetettuun tavoitteeseen päästään mahdollisimman tehokkaasti. Vertaamalla kuvan 1 perusuraa ja optimaalista sopeutumispoliittikkaa voidaan määrittää ohjauskeinot, joiden avulla sopeutumistoimet saadaan toteutumaan toivotulla tasolla.

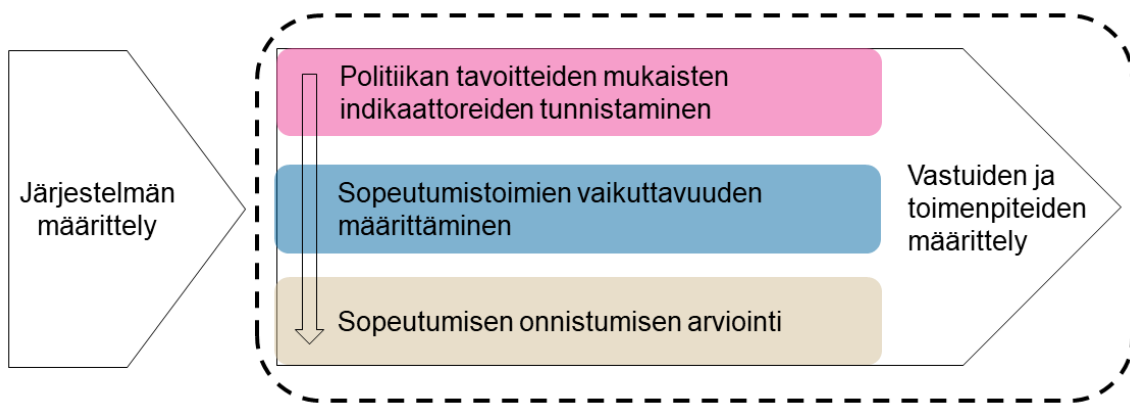
2.2. Sopeutumisen seurannan viitekehukset

Sopeutumisen vaikuttavuuden mallinnuksen tutkimusalan laajentamiseksi on sovellettava muilla aloilla käytössä olevaa poliittikan vaikutusten sekä sopeutusskenaarioiden tutkimusta. Sopeutusskenaarioiden laatiminen ja tutkimus on keskittynyt laadullisiin skenaarioihin sekä määrällisen ilmastodatan ja sosioekonomisen tiedon hyödyntämiseen, vaikutusarviointien ja poliittikkaskenaarioiden jäädessä vähemmälle

huomiolle (Nalau ja Cobb 2022). Jaettujen sosioekonomisten polkujen (SSP) menetelmää käytetään kunta- ja alueatasolla tulevaisuusvisiointiin huomioiden jossain määrin myös sopeutumispolitiikan kehitys. Tämä voi tukea paikallista ja alueellista sopeutumispolitiikkaa (Reimann ym. 2021, Balk ym. 2022). Tutkimukset ovat osoittaneet lupaavia esimerkkejä siitä, miten haavoittuvuutta ja altistumista voidaan sisällyttää SSP-projektioihin (Binita ym. 2021, Landreau 2021, Marzi ym. 2021). Myös *ex ante*² -kustannushyötyanalyysejä voidaan käyttää sopeutumispolitiikan onnistumisen osoittamiseen, mutta sitä on toistaiseksi käytetty vähän (Nassopoulos ym. 2012, Ryan ja Stewart 2017).

Kun sopeutumispolitiikka on määritelty, sopeutumisen onnistumisen seuranta tarkastelee, kuinka hyvin valitut sopeutumistoimet toteutuvat ja kuinka vaikuttavia ne ovat (kuva 2). Seurannan kannalta on hyödyllistä tunnistaa, millaiset indikaattorit toimivat parhaiten kunkin toimenpiteen toteutumisen ja vaikuttavuuden seurannassa. Kun valittujen toimien vaikuttavuutta on arvioitu, niistä voidaan muodostaa kokonaisarvio sopeutumispolitiikan onnistumisesta ja haasteista.

Seurannan kannalta on olennaista huomata, että ilmastonmuutos vaikuttaa kaikkialla eikä yhteiskunta välttämättä määrittele politiikkaa kaikkien seurausten osalta. Esimerkiksi ekologisten muutosten ja paineiden suhteen sopeutumispolitiikkaa todennäköisesti suunnitellaan paljon hitaammin kuin terveysvaikutusten suhteen. Seuranta kuitenkin tarvitaan myös näistä, politiikan ulkopuolella olevista muutoksista. Tällöin kuvassa 2 järjestelmän määrittely nousee tärkeään asemaan seurannan suunnittelussa, jotta automaattinen sopeutuminen, sopeutumistoimet ja niiden vaikuttavuus voidaan määritellä ja seuranta suunnitella.



Kuva 2. Kansallisen sopeutumisen seuranta- ja arviointijärjestelmän kehittämisen osa-alueiden (mukailten Klostermann ym. 2018) soveltaminen tässä raportissa.

² *Ex ante* = ennen tapahtumaa, *Ex post* = taannehtivasti/tapahtuman jälkeen.

3. SOPEUTUMISPOLITIIKAN HAAMOTTELUA KOLMEN TAPAUSTUTKIMUKSEN VALOSSA

Tarkastelemme sopeutumispolitiikkaa kolmen julkishyödykkeitä koskevan esimerkin avulla. Ilmastonmuutoksen myötä yhä tärkeämmäksi nousevia terveyskysymyksiä tarkastellaan helleaaltojen aiheuttamien ennenaikaisten kuolemien torjunnan kautta. Helleaaltojen aiheuttamia kuolemia rajoitetaan joko 1) asuntojen viilennyksellä tai 2) kaavapohjaisella ja kohdennetulla viherryttämällä eli viheralueita lisäämällä. Esimerkinä kohoavien lämpötilojen vaikutuksesta ekosysteemeihin on 3) veden lämpötilan noususta johtuvan joen ekologisen tilan heikkenemisen hillitseminen puustoisten suojakaistojen avulla. Hellejaksoihin sopeutumista tarkastellaan Monte Carlo -simulaatioiden avulla kolmelle eri ilmastoskenaariolle³ (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 (Moss ym. 2008)) kolmessa eri kaupungissa (Helsinki, Oulu, Turku). Esimerkijokena toimii tyypillinen pieni joki Lounais-Suomessa.

3.1. Helleaaltojen aiheuttamien kuolemien rajoittaminen koneellisella viilennyksellä

Kuumuudelle altistumisen erilaisista terveysvaikutuksista on löydetty yhä enemmän näyttöä. Suomalaiseen aineistoon perustuvissa tutkimuksissa (liitetaulukko 2c) kuumuudelle altistuminen on yhdistetty monenlaisiin terveysongelmiin. Näihin kuuluvat heikentynyt kestävyys, unihäiriöt sekä sydän-, verisuoni- ja hengityselimiin liittyvät oireet (Näyhä ym. 2013), lisääntynyt terveydenhuollon palveluiden käyttö, hengitystiesairaudet, keuhkokuume, keuhkohtaumatauti (COPD) ja sydäninfarkti (Sohail ym. 2020), lisääntynyt patogeenisten mikrobi-infektioiden riski (Baker-Austin ym. 2016) sekä kuolleisuus (Ruuhela ym. 2017, Kollanus ym. 2021). Hellejaksojen aikaista kuolleisuutta on tutkittu verraten paljon. Esimerkiksi Kollanus ja Lanki (2021) havaitsivat, että ei-tapaturmainen kuolleisuus lisääntyi hellejaksojen aikana Suomessa yhteensä kymmenen prosenttia (95 % CI 7,7–12,1 %). Sydän- ja verisuonisairaudet ovat yleisyytensä vuoksi absoluuttisesti mitattuna tärkein kuumuuteen liittyvä kuolinsyy (ibid.). Suomen väestössä toteutettujen tutkimusten tulokset ovat linjassa useiden kansainvälisten tutkimustulosten kanssa (Fouillet ym. 2008, Anderson ja Bell 2009, Basagaña ym. 2011, Gasparrini ja Armstrong 2011, Gasparrini ym. 2012, Gasparrini ym. 2015, de'Donato ym. 2015, Armstrong ym. 2017, Gasparrini ym. 2017, Ruuhela ym. 2017). Pitkäkestoiselle lämpötilan nousulle altistumisen terveysvaikutukset tunnetaan toistaiseksi huonommin kuin lyhytaikaisille hellejaksoille altistumisen vaikutukset.

Gasparrini ym. (2017) arvioivat, että mikäli ilmastonmuutoksen hillintä epäonnistuu, kuumuuteen liittyvä ylimääräinen kuolleisuus lisääntyy Suomessa 1–4 prosenttia (CI 0,2-7,2 %) vuosisadan loppuun mennessä.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen tutkimuksen mukaan kansallinen sosiaali- ja terveydenhuoltojärjestelmä on varautunut riittävästi kuumasta säästä aiheutuviin haasteisiin (Ung-Lanki ym. 2017). Ei ole tarkkaa kuvaa siitä, millaista tietämystä ja osaamista terveydenhuollon ammattilaisilla on äärimmäisistä lämpötilaolosuhteista ja niiden aiheuttamista terveysvaikutuksista. Eri toimijaryhmille kohdistettuja ääriämpötiloille altistumiseen liittyviä ohjeistavia dokumentteja ovat muun muassa nyt jo käytöstä poistunut Kuumainfo-sivusto, Terveydenhuollon kylmä- ja kuumaopas 2011 (Hassi ym. 2011) ja Ympäristöterveydenhuollon erityistilanteet (STM 2014). Ei kuitenkaan ole täsmällistä tietoa siitä, kuinka hyvin jo olemassa olevat dokumentit ovat tavoittaneet kohderyhmiä ja missä laajuudessa näiden dokumenttien sanoma on sisällytetty osaksi toimintakulttuuria.

³ RCP-skenaariot kuvaavat erilaisia ilmastollisia kehityskulkuja kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta. Lukuarvo skenaarion lopussa kuvaa, kuinka paljon säteilypakote (wattia per neliometri) on kasvanut vuonna 2100 verrattuna esiteolliseen aikaan (Moss ym., 2008).

Lämpötilan nousuun ja hellejaksoihin liittyvistä terveysriskien sopeutumistoimista ja niiden vaikutuksista on vain vähän tutkimustietoa. Sopeutumisen vaikutuksia on tunnistettu epäsuorasti. Esimerkiksi varoitusjärjestelmien vaikutusta on arvioitu suoraan vertaamalla kuolleisuutta ennen toimenpiteen toteuttamista ja sen jälkeen (Fouillet ym. 2008, Chiabai ym. 2018, Wu ym. 2020) sekä vertaamalla esimerkiksi 'no adaptation' (sopeutumistoimia ei määritetty tai sisällytetty) ja 'full adaptation' (sopeutumistoimet sisällytetty malliin) - skenaarioita (esim. Díaz ym. 2019). Riskilähtöisesti voidaan kuitenkin tunnistaa erilaisia keinoja vähentää riskejä ja haittoja. Näistä tarkastellaan tässä sellaisia, joihin kansallisella sopeutumispolitiikalla voidaan vaikuttaa. Tällöin tarkastelusta rajataan pois ilmastomuutoksen hillintäpolitiikka, vaikka suurin osa suoraan lämpötilan noususta johtuvista terveysvaikutuksista voitaisiin välttää skenaarioissa, jotka sisältävät lieventämisstrategioita päästöjen rajoittamiseksi ja planeetan lämpenemisen hidastamiseksi (Gasparrini ym. 2017).

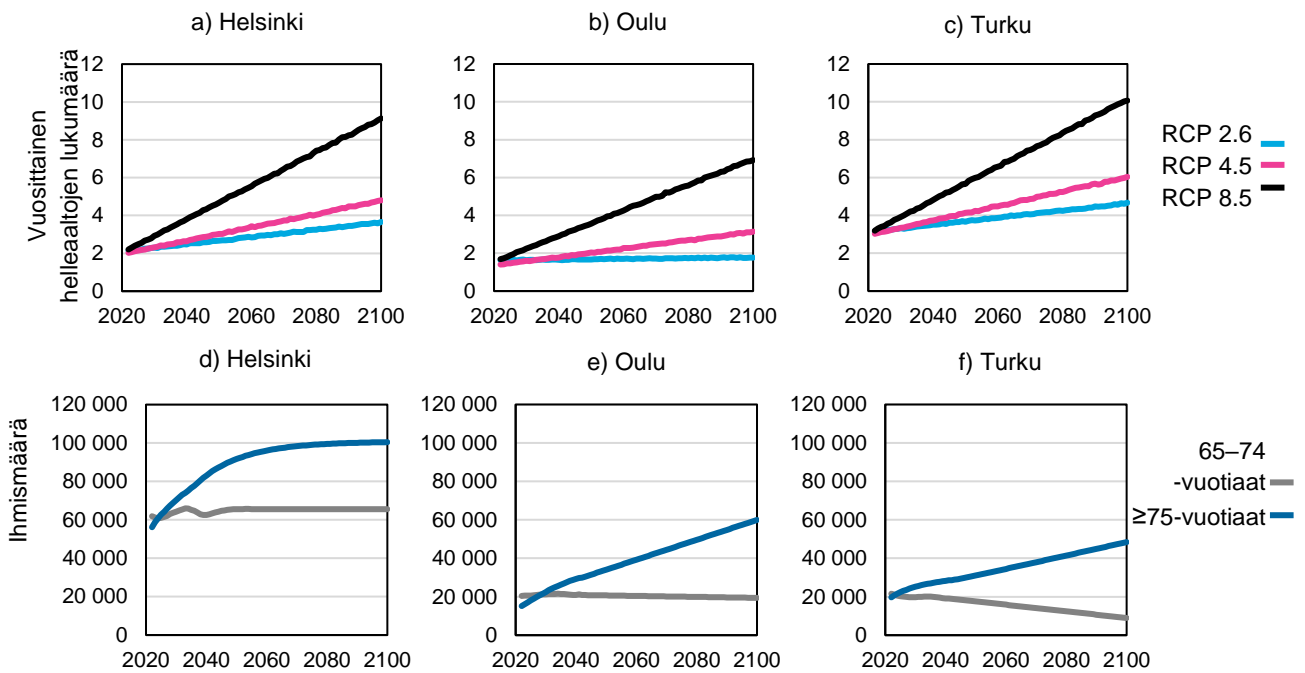
Koneellisesti viilentävä ilmastointi (*air conditioning, AC*) on ilmeinen hellejaksoihin ja lämpötilan asteittaiseenkin nousuun käytettävä ratkaisu, joka vähentää terveyshaittoja ja kuolleisuutta. Kotitalouden käytössä oleva koneellinen ilmastointi vähentää korkeaan lämpötilaan liittyvää kuolleisuutta 77 prosenttia (kahdeksan tutkimuksen meta-analyysin perusteella) (Bouchama ym. 2007, Kenny ym. 2010). Yhdysvaltalaisen tutkimuksen mukaan ilmastoinnin vaikutus hellekuolemien vähenemisessä aikavälillä 1960–2004 oli jopa 86 prosenttia (Barreca ym. 2016).

Tarkastelimme hellejaksojen sopeutumiskeinoina viilennystä (*district cooling, DC*) ja asennettavia ilmastointilaitteita. Oletamme, että viilennys (DC) voi vähentää helteen aiheuttamaa kuolleisuusriskiä 90 prosenttia (jos asukas pysyy kotona helleaallon aikana, hän on täysin suojassa helleaallolta, koska asunnon lämpötilaa voidaan säätää vapaasti). Tämä yksinkertaistava oletus, että lähes kaikki kuolleisuus ja sairastuvuus voitaisiin välttää sopeutumisella, on tyypillinen paremman tiedon puuttuessa (WHO 2013). Arvioimme viilennyslaitteiston käyttöä, huoneisto- ja rakennuskohtaiset hankinta- ja asennuskustannukset sekä vuosittaisen huoneisto- ja rakennuskohtaisen energiankulutuksen ja hinnan palveluntarjoajien tietoihin ja asiantuntijakonsultaatioon perustuen (ks. liite 1).

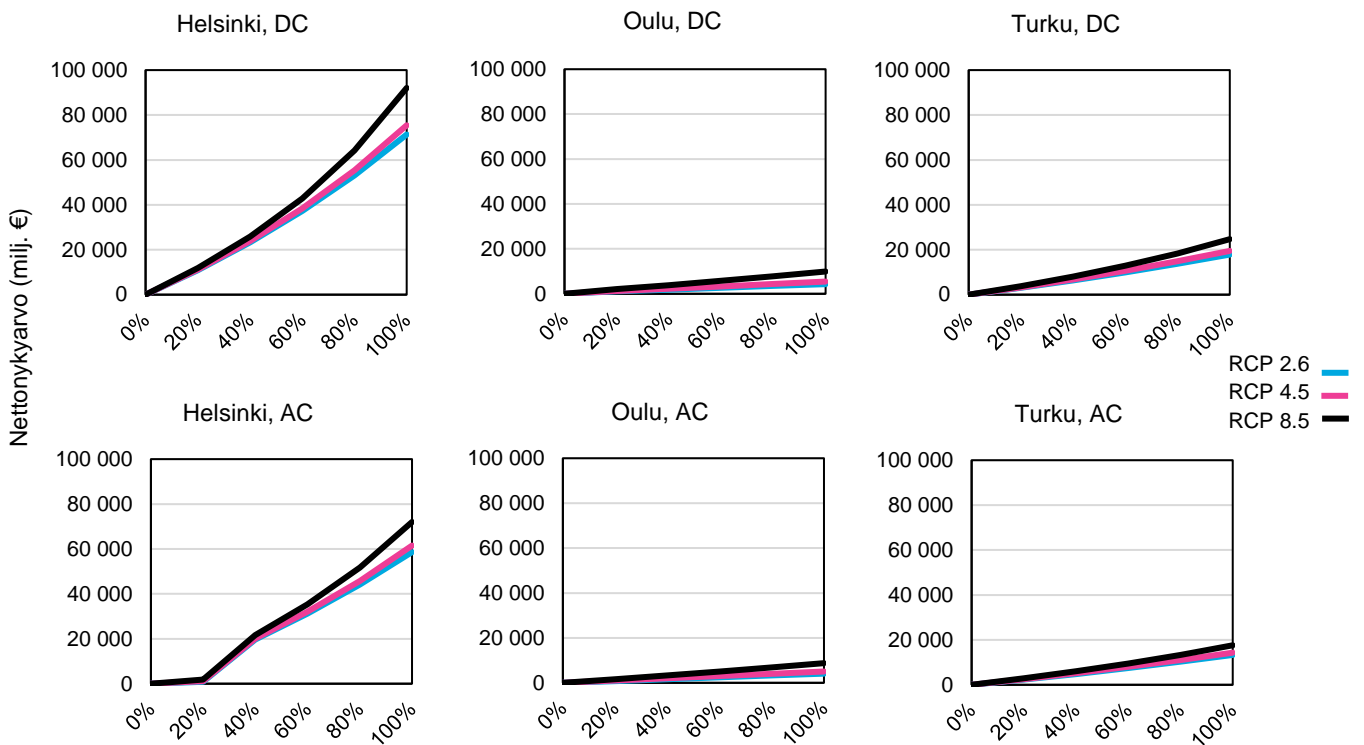
Kuva 3a-c havainnollistaa hellejaksojen yleistymistä tarkasteltavissa ennusteissa ja ennustemalleissa. Ilmatieteen laitoksen ennusteisiin sovitettujen lineaaristen regressiomallien tarjoavat vuosittaisen keskiarvon säätilojen satunnaisuutta kuvaavalle poisson-jakaumalle, joka puolestaan määrittää vuosittaisten helleaallojen määrän Monte Carlo -simulaatioissa. Ilmastoskenaarioiden välillä on selkeitä eroja. Sen sijaan erot kaupunkien välillä ovat pieniä, etenkin Helsingin ja Turun välillä, koska molemmat sijaitsevat Etelä-Suomessa ja ovat ilmastoltaan samankaltaisia. On kuitenkin huomioitava, että näissä malleissa ei ole otettu huomioon kaupunkien lämpösaarekkelmiötä (karkeampi spatiaalinen resoluutio), joka voi kohottaa helleaallon aikaisia lämpötiloja ja jonka voimakkuus on sidoksissa kaupungin kokoon ja kaupunkirakenteeseen.

Kuvassa 3d-f esitetään haavoittuvuus⁴, joka liittyy erityisesti vanhimpiin ikäluokkiin ja kehittyä ajassa. Ennusteiden mukaan Turussa vanhin ikäluokka (≥ 75) kasvaa ja toiseksi vanhin ikäluokka (65–74) pienenee läpi tarkasteluhorisontin, mikä viittaa väestön vanhenemiseen. Oulussa vanhin ikäluokka myös kasvaa läpi tarkasteluhorisontin, kun taas toiseksi vanhin ikäluokka pysyy melko tasaisena. Helsingissä kehitys on samankaltaista kuin Oulussa sillä erotuksella, että vanhempi ikäluokka ensin kasvaa jyrkästi, mutta sitten kasvu tasaantuu.

⁴ Haavoittuvuuden indikaattoriksi on tässä tarkastelussa valittu korkea ikä, koska se on kirjallisuudessa hyvin tunnettu haavoittuvuustekijä ja sen mallintamisessa tarvittava aineisto on hyvin saatavilla. Tässä käytetyt ennusteet vuoteen 2040 saakka on Tilastokeskukselta, minkä jälkeen niitä on jatkettu ARIMA-malleihin perustuvilla trendeillä.



Kuva 3. Hellejaksojen yleistymisen (a-c) kolmessa eri ilmastoskenaariossa ja riskille alttiiden ikäluokkien kehittyminen (d-f) Helsingissä, Turussa, ja Oulussa.



Kuva 4. Kaukokylmennyksen (DC) ja asennettavien ilmastolaitteiden (AC) nettonykyarvo Helsingin, Oulun ja Turun kaupungeissa kylmennyksen piirissä olevan haavoittuvan populaation osuuden funktiona.

Kuvassa 4 esitetään analyysitulokset sopeutumistoimien nettohyödyistä sopeutumisen eri tasoilla. Sopeutumisen tasolla tarkoitetaan tässä sitä osuutta, joka haavoittuvasta väestöstä otetaan viilennyksen piiriin. Hyötynä on estetty kuolema ja kustannuksena on viilennyksen investointi- ja käyttökustannus yli tarkasteluhorisontin, jolloin hyödyt ja kustannukset diskontataan nykypäivään, eli tuotetaan sopeutumisen nettonykyarvo (NPV). Positiiviset NPV-luvut viittaavat siihen, että sopeutuminen viilennyksen avulla on kannatettavaa. NPV-luvut nousevat viilennyksen piiriin otettavan väestön osuuden funktiona ilmastoskenaariosta, kaupungista tai kylmennyksen tavasta riippumatta. Nettohyötyjen kasvu osoittaa, että yhteiskunnan kannalta *paras politiikka on täydellinen sopeutuminen*, jossa vältetään kaikki helleaalloista johtuvat ylimääräiset kuolemat. Tulokseen vaikuttaa elämän arvon korkea estimaatti (2,4 M€). Kuvat osoittavat myös, että sopeutumisen nettohyöty on sitä suurempi, mitä lämpimämmästä ilmastoskenaariosta on kyse.

Tarkastelun johtopäätöksenä on *suositus tarjota viilennys asteittain koko haavoittuvalle väestölle*. Tätä varten julkisen vallan tulisi laatia suunnitelma yhdessä lämpölaitosten ja kiinteistöjen kanssa jäähdytyksen kattavuuden mahdollistamiseksi kaupungeissa. Kylmäjäähdytyksen voi odottaa edistyvän markkinaehtoisesti. Julkisen vallan tulisi asettaa minimivaatimukset lämpöolosuhteille uudisrakentamisessa sekä luvanvaraisessa laajamittaisessa korjausrakentamisessa. Sisätilojen yllämpenemiseen, eli haitallisen korkeisiin lämpötiloihin, liittyviä vaatimuksia tulisi tarkistaa tutkimukseen nojaten. Jäähdytystä tulisi edistää myös olemassa olevassa rakennuskannassa. Linja- ja putkisaneeraukset tarjoavat hyvän mahdollisuuden talokohtaisen viilennyksen edistämiseen jäähdytysverkon ulkopuolella. Yhteiskunnan tulisi tarjota tieto-ohjausta sekä positiivisia kannustimia viilennyksen edistämiseen.

Näiden ohella tulisi laatia erillinen suunnitelma viilennysratkaisujen tarjoamisesta vanhainkoteihin, sairaaloihin ja päiväkoteihin kaikkialla maassa sekä suositukset yksityisten kiinteistöjen (omakotitalot) viilentämiseen.

3.2. Helleaaltojen aiheuttamien kuolemien rajoittaminen kaupunkien kaavapohjaisella ja kohdennetulla viherryttämisellä

Hellejaksoihin liittyvät terveyshaitat ovat sidoksissa myös kaupunkien rakenteeseen. Terveyshaittoihin vaikuttavia fyysisiä rakenteita ovat muun muassa rakennetun ympäristön tiiviys, rakennustyyppiin jakauma, ilmavirtauksia kanavoivat katukuilut, pintamateriaalien laatu, viherrakenteet, latvuspeitteiset alueet ja tilojen ilmastointiratkaisut (esim. Salata ym. 2017, Arifwidodo ja Chandrasiri 2020, Ellena ym. 2020, Venter ym. 2020). Kaupunkirakenteiden suunnitteluun ja ohjaukseen on perusteltua puuttua terveysriskeihin sopeutumisen edistämiseksi (Jurgilevich ym. 2023). Lämmön kulkeutumista kaupunkialueilta pois voidaan tehostaa sisällyttämällä katukuilujen tuulta ohjaavan vaikutuksen arviointi osaksi kaupunkisuunnittelua (Kleerekoper ym. 2012). Vastaavasti viherrakenteilla voidaan lisätä niiden välittömän ympäristön ja laajemmankin alueen viilentävää vaikutusta 1–7 °C (Cohen ym. 2012, Feyisa ym. 2014, Zhang ym. 2017, Alvi ym. 2022).

Kaupunkimaisen maankäytön on havaittu synnyttävän urbaaneja lämpösaarekkeitä (*UHI, urban heat island*). Nämä ovat alueita, joilla lämpötila nousee ympäröiviä alueita korkeammaksi johtuen pääasiassa ihmistoiminnan aiheuttamasta hukkalämmöstä (erityisesti talvisin) sekä kaupungin rakenteisiin varastoituneen auringon säteilyenergian vapautumisesta ja kaupunkialueiden maaseutualueita vähäisemmästä haihdunnasta (erityisesti kesäisin). Lämpösaarekkeen korkeammat lämpötilat aiheuttavat terveyshaittoja alhaisilla leveysasteilla läpi vuoden ja korkeilla leveysasteilla, kuten Suomessa, pääasiassa kesäisin. (Suomi ja Käyhkö 2012, Ruuhela ym. 2021). Kasvipeitteisyys sekä kaupungin sisällä että sen ympärillä vähentää lämpösaarekkeitä (Miles ja Esau 2020). Laajassa 24 maan 452 paikkakunnalla toteutetussa tutkimuksessa, jossa Suomen pääkaupunkiseutu oli mukana, kaupunkien viheralueiden määrän havaittiin vähentävän kuumuudesta aiheutuvia kuolemia (Choi ym. 2022). Kaupungeissa, joissa oli eniten viheralueita (ylin kolmannes), kuumuuden aiheuttama kuolleisuusriski oli 1.12 (95 % LV 1.13-1.25), kun taas vähiten viheralueita sisältävissä kaupungeissa (alin kolmannes) riski oli selvästi korkeampi, 1.46 (1.31–1.62). Kaupunkisuunnittelun sekä ympäristö- ja aluesuunnittelun keinoilla

lisättyjä viherrakenteita ja niiden viilentävää vaikutusta voidaan näin ollen pitää sopeutumistoimena. Ilmastomuutokseen tulisikin varautua rakennustapa- ja turvallisuusohjeita päivittämällä. Tähän aihepiiriin liittyvää tutkimusta tarvitaan lisää (Esau ym. 2021).

Köppenin ilmastoluokituksessa lämpimän kesän lumimetsäilmastoluokkaan (Dfb) sijoituviissa kaupungeissa (esim. Etelä-Suomi) viherseinien vaikutus ilman päivälämpötilaan oli keskimäärin $-2,4\text{ °C}$ (mediaani, min. $-2,0\text{ °C}$; max. $-2,8\text{ °C}$) tilanteessa, jossa on suora auringonpaiste ja korkea säteilytaso. Yöaikaan viilentävä vaikutus oli vähäisempi, $-1,9\text{ °C}$ (min. $-1,7\text{ °C}$; max. $-2,0\text{ °C}$) (Susca ym. 2022). Viherseinien vaikutusta voidaan siis pitää joissakin tapauksissa paikallista lämpösaarekeilmiovaikutusta kumoavana (ibid.). Mantereisilla ilmasto-työhykkeillä erilaisten viherryttämiskäytöjen välittömässä läheisyydessä havaittuja keskimääräisiä viilennysvaikutuksia ovat olleet päiväaikaan muun muassa: puiden alla $-0,8\text{ °C}$, kaupunkimetsissä $-1,6\text{ °C}$, puistoissa ja puutarhoissa $-0,8\text{ °C}$ sekä nurmialueilla $-0,6\text{ °C}$. Puistojen ja puutarhojen viilennysvaikutuksen on havaittu ulottuvan ja asteittain vähentyvän 1,25 kilometrin etäisyydelle viheralueista (Knight ym. 2021).

Viheralueita rakennettaessa on pyrittävä välttämään mahdollinen haittasopeutuminen. Haittasopeutumisella tarkoitetaan yleisesti sitä, että sopeutumistoimista koituu ei-aiottua haittaa (ks. esim. Juhola ja Käyhkö 2023, Juhola ym. 2016). Esimerkiksi vektorivälitteiset taudit, kuten borreliosi, voivat lisääntyä, jos sopeutumistoimilla lisätään niiden välittäjäeläimille suotuisia elinympäristöjä ja -olosuhteita (Mathieu ja Karmali 2016). Huomioon tulisi ottaa myös keskeisten siitepölyallergiaoireita aiheuttavien kasviryhmiä, kuten koivut ja pujo, sijoittuminen ja esiintyminen viheralueilla. Lisäksi viheralueiden peittämän pinta-alan lisääminen voi Suomen leveysasteilla lisätä jonkin verran lämmitystarvetta lämmityskaudella (Santamouris 2014).

Tarkastelimme viherryttämisen vaikutusta kaupungin lämpötiloihin ja kuolleisuuteen Helsingin, Oulun ja Turun kaupunkien tapaustutkimusten avulla (liite 1). Latvuspeitteisyyden lisääminen valittiin muun muassa Turun ja Helsingin kaupungin edustajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella toteuttamiskelpoisimmaksi ja lämpösaarekkeen hillitsemistä ajatellen tehokkaimmaksi viherryttämistoimeksi; heidän mielestään se oli toteuttamiskelpoisin ja mielekkäin viherryttämisvaihtoehto. Lisäksi esimerkiksi Sadeghin ym. (2022) artikkelissa todetaan aiempaan kirjallisuuteen perustuen, että puiden istuttaminen alentaa lämpötilaa $0,1\text{--}4\text{ °C}$ (keskimäärin $1,5\text{ °C}$), kun taas viherkattojen viilentävän vaikutuksen todetaan olevan $0\text{--}3\text{ °C}$ (keskimäärin $0,6\text{ °C}$), eli toisin sanoen puiden istuttaminen on tehokkaampi viherryttämiskeino. Lisäksi voidaan ajatella, että puiden istuttaminen vaikuttaa puiden varjostusvaikutuksen myötä laajemmalle alueelle kuin esimerkiksi nurmikon istuttaminen. Latvuspeitteisyyden lisäämisen ja puiden poiston kustannukset laskettiin tarkastelujaksolle (2026–2100) puisto- ja katupuiden (50 %–50 %) vakiokustannusten perusteella (Tajakka 2019). Viherryttämisen alueellinen toteutussuunnittelu Helsingin, Oulun ja Turun kaupungeissa tehtiin kahdella eri tavalla: 1) kaupunkien yleiskaava-aineistoihin perustuva alueellisesti laajempi suunnittelu, kohdealueena kaupunkien kaavoitetut alueet, ja 2) asukastiheyteen perustuva kohdennettu suunnittelu kaupunkien tiheimmin asutetuille yhdeksän neliökilometrin laajuisille alueille. Viherryttämisen kustannuslaskelmat tehtiin suuruusluokaltaan eri laajuustason viherryttämisvaihtoehdoille, joissa latvuspeitteisyyttä lisättiin 10, 20, 30 ja 40 prosenttiyksikköä nykyiseen latvuspeitteisyyteen nähden.

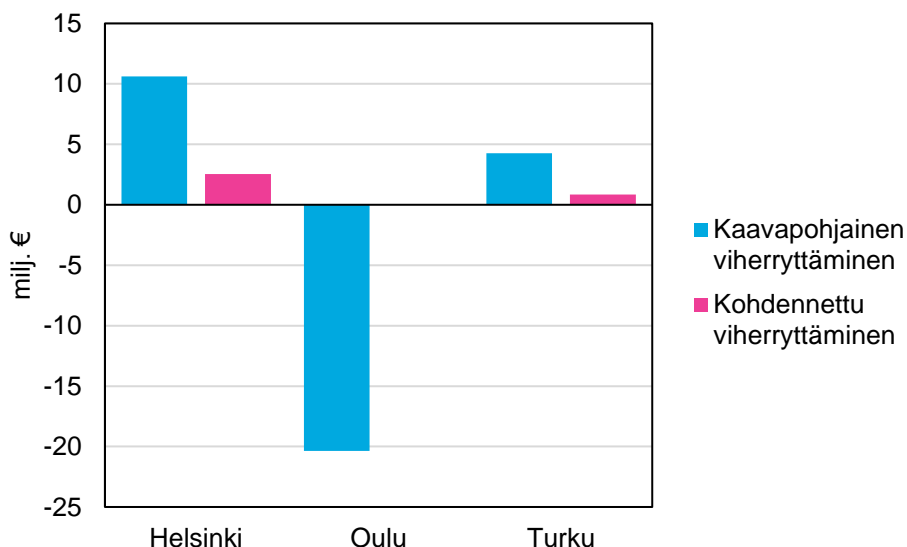
Latvuspeitteisyyden lisäämisen vaikutusta kaupungin lämpösaarekkeen hillitsemiseen tarkasteltiin mallintamalla jatkuva lämpötilapinta lineaarisen regressiomallin avulla, jossa Turun paikallisilmastoverkosto TURCLIM:n lämpötilahavainnot toimivat selitettävänä muuttujina ja maanpeite (CLC 2018 ja SLICES 2010) ja maanpinnan korkeussuhteet (DEM-aineisto) selittävinä muuttujina (ks. liite 1). Kaupungin lämpösaareke on tyypillisesti voimakkaimmillaan öisin, mutta tässä yhteydessä tarkasteltavaksi lämpötilasuureeksi valittiin vuorokauden keskilämpötila, koska se kertoo hellealtistuksesta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Aiemmissa Suomessa toteutetuissa tutkimuksissa keskilämpötilan on havaittu kuvaavan hellealtistuksen ja kuolleisuuden välistä yhteyttä (Kollanus ja Lanki 2021, Ruuhela ym. 2021). Regressiomallin mukaan latvuspeitteisyyden lisääminen kymmenellä prosenttiyksiköllä vähentäisi kaupungin lämpösaarekevaikutusta vuorokausitasolla noin $0,5\text{ °C}$, kun taas 20 prosenttiyksikön lisäys tuottaisi noin 1 °C vähenemisen.

Puun istutuskustannukset olivat 2 384,02 euroa puistopuulle ja 3 543,60 euroa katupuulle. Ne vastaavat KAM'19'-oppaassa (Tajakka 2019) esitettyjen vastaavien puulajien juurrutusajan vakiokustannuksia. Istutetuista puista puolet oli puistopuita ja puolet katupuita. Puiden latvuksen halkaisijaksi katsottiin yhdeksän metriä ja yhden latvuksen peittävyudeksi 63,62 neliometriä. Esimerkinomaisesti tämä tarkoittaa, että kymmenen prosenttiyksikön lisäys puiden latvuspeitteeseen yhden neliökilometrin alueen sisällä edellyttäisi yhteensä 1 572 puun istuttamista. Koska aikahorisontti ulottuu vuoden 2100 loppuun asti, laskelmat on laadittu skenaariolle, jossa 50 prosenttia ja 100 prosenttia istutetuista puista on poistettava ja istutettava uudelleen tarkastelujakson aikana. Puiden poistamisen kustannukset määritettiin myös KAM'19'-oppaan (Tajakka 2019) perusteella, jolloin yhden puun poistamisen kustannukseksi saatiin 2 942 euroa.

Kun sopeutumistoimena on *kaavapohjainen* kaupungin viherryttäminen kolmella eri viherryttämisen laajuustasolla ja kolmella eri ilmastoskenaariolla (RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5), ainoastaan Helsingissä nettohyöty on positiivinen kaikilla viherryttämisen laajuustasoilla ja kaikilla ilmastoskenaarioilla (kuva 5). Oulussa vastaavan viherryttämisen nettohyöty on kaikilla viherryttämisen laajuustasoilla negatiivinen, kun taas Turussa nettohyöty on RCP2.6-skenaariolla kaikilla viherryttämisen laajuustasoilla negatiivinen, mutta RCP8.5-skenaariolla kaikilla viherryttämisen laajuustasoilla positiivinen.

Kun viherryttäminen tehdään *kohdennetusti* kaupungin tiheimmin asutetuille alueille neljällä eri viherryttämisen laajuustasolla ja kolmella eri ilmastoskenaariolla, tilanne muuttuu kaavapohjaiseen viherryttämiseen verrattuna selvimmin Oulussa, jossa nettohyödyn nykyarvo kääntyy RCP8.5-skenaariossa positiiviseksi kaikilla neljällä viherryttämisen laajuustasolla, ja RCP4.5-skenaariossakin kolmella suurimman viherryttämisen laajuustasolla (kuva 5). Nettohyödyt ovat Helsingissä selvästi muita kaupunkeja suuremmat kaikissa tarkastelluissa tapauksissa.

Tarkasteluun perustuva politiikkasuositus viherryttämisen suhteen on selkeä Helsingissä ja Turussa: kummankin kaupungin tulisi edistää viherryttämistä sopeutumistoimena. Oulussa tulisi tarkastella kaupungin sisällä alueellisesti kohdennettua viherryttämistä.



Kuva 5. Keskimääräinen kaavapohjaisen ja kohdennetun viherryttämisen nettonykyarvo Helsingin, Oulun ja Turun kaupungeissa (kaikki viherryttämisen laajuustasot ja ilmastoskenaariot yhdistettynä).

3.3. Veden lämpötilan noususta johtuvan joen ekologisen tilan heikkenemisen hillitseminen puustoisten suojakaistojen avulla

Kohoavat lämpötilat aiheuttavat haittaa ja stressiä myös luonnolle. Esimerkiksi vesiekosysteemit ovat herkkiä lämpötilojen muutoksille. Sopeutumispolitiikka laajenee myös elinympäristöihin ja lajeihin sekä niiden muutosten ennakkointiin. Joen ekologisen tilan tarkastelu tarjoaa esimerkin luontoon liittyvän julkishyödyketuotannon sopeutumishaasteista. Kesäpäivien keskilämpötilan nousu nostaa jokien lämpötilaa, mikä heikentää niiden ekologista tilaa ja vähentää jokien virkistyskäyttömahdollisuuksia (Whitehead ym. 2009; Estrela-Segrelles ym. 2023; Fuso ym. 2023).

Kun tarkastelemme vedenlaatua, politiikkaurassa lisääntyvän sadannan vaikutus ravinnehuuhtoumaan huomioidaan suojakaistojen leveyden optimoinnissa ja jokien lämpötilan nousua hillitään istuttamalla puita jokia ympäröiville tai reunustaville suojakaistoille. Perusurassa otetaan huomioon yksityinen sopeutuminen eli oletamme, että yksityiset viljelijät huomioivat ilmastomuutoksen satoa kasvattavan vaikutuksen lannoituspäätöksissään. Voimme olettaa, että viljelijät jättävät huomioimatta jokien lämpötilan nousun aiheuttaman joen ekologista tilaa heikentävän vaikutuksen ja kasvavasta sadannasta johtuvan lisääntyvän ravinnekuormituksen. Oletamme myös, että perusurassa yhteiskunta määrittää tietyn levyiset ravinnehuuhtoumaa pidättävät suojakaistat jokien varsille ja huomioi tyypiasetuksen mukaiset lannoituksen enimmäisrajat, mutta ei huomioi lämpötilan vaikutusta vesien ekologiseen tilaan.

Teemme taloudellisessa optimoinnissa useita yksinkertaistavia oletuksia, joilla pyrimme hankkiutumaan eroon yksityiskohdista, joilla ei ole analyysin kannalta suurta merkitystä, koska spatiaalisdynaaminen, eli tilaa ja aikaa yhdistävä, ongelma on laskennallisesti hyvin monimutkainen ratkaista. Emme tarkastele mitään tiettyä jokea, vaan esimerkkijokea (keskikokoinen joki Lounais-Suomessa). Tämän takia asioilla, kuten jokiveden kirkkaus, sameus, väri, pohjan tyyppi, yhteys pohjaveteen, joen muoto (syvyys, leveys), vuodenaika (mm. auringon korkeuskulma, fenologia) tai puiden tyyppi, ei ole merkitystä analyysin kannalta. Käytämme kolmea sijaintia: ylävirta, keskivirta ja alavirta. Mallin aikajänne ulottuu vuoteen 2100 asti. Oletamme, että kesän keskilämpötila (kesä-elokuu) kehittyy vuoteen 2100 asti siten, että ilman lämpötila nousee noin kaksi celsiusastetta RCP2.6:ssa, kolme celsiusastetta RCP4.5:ssä ja kuusi celsiusastetta RCP8.5:ssä. Aikasteppi tarkastelussa on vuosi. Oletamme, että yhden celsiusasteen nousu ilman lämpötilassa nostaa kesäajan veden keskilämpötilaa 0,7 °C (El-Jabi ym. 2014), jolloin ilmastomuutoksen myötä veden lämpötila nousee toteutuneen ilmastoskenaarion mukaan (Morrill ym. 2005, Yu ym. 2021).

Keinona lieventää virtavesien lämpötilan nousua tutkimme metsäisten rantavyöhykkeiden käyttöä varjon lisäämiseksi ja auringonsäteilyn aiheuttaman suoran lämpenemisen vähentämiseksi (Bowler ym. 2012, Turunen ym. 2021). Turusen ym. (2021) mukaan metsäisten rantavyöhykkeiden käyttö voi laskea veden lämpötilaa 0,7 °C. Lisäksi puiden istutus jokien reunoilla nostaa ekologisen indeksin arvoa riippuen siitä, missä kohtaa jokea ollaan. Ekologisen indeksin arvon nousu tarkoittaa, että joesta saatavien ekologisten hyötyjen arvo nousee, eli sillä on suora positiivinen vaikutus ihmisten hyvinvointiin. Oletamme, että ravinnehuuhtoumaa hillitsevän suojakaistan täytyy olla vähintään kolme metriä leveä, jotta siihen voitaisiin istuttaa puita. Tässä tarkasteluun otetun joen alajuoksulla, jossa joki on leveimmillään, puiden ekologista indeksiä nostava vaikutus on heikoimmillaan. Joen veden lämpötilan ja ekologisen tilan väliseen yhteyteen vaikuttaa myös sijainti joen pitkittäisprofiilissa, koska joen leveys tyypillisesti kasvaa kohti alajuoksua. Joen ekologista tilaa arvioidaan Euroopan unionissa ekologisella indeksillä, johon vaikuttavat monet tekijät. Ekologinen indeksi voidaan muuttaa myös rahalliseksi arvoksi ja sisällyttää taloudelliseen analyysiin (Nelson 1999, Yu ym. 2009, Becker ym. 2021). Maatalouden ravinnehuuhtouma kasvaa ilmastomuutoksen myötä etenkin talvisateiden, roudan vähenemisen ja lumen toistuvan sulamisen takia (Meier ym. 2022). Nämä vaikutukset heikentävät jokien tarjoamien ekosysteemipalvelujen laatua ja täten vähentävät yhteiskunnallista hyvinvointia.

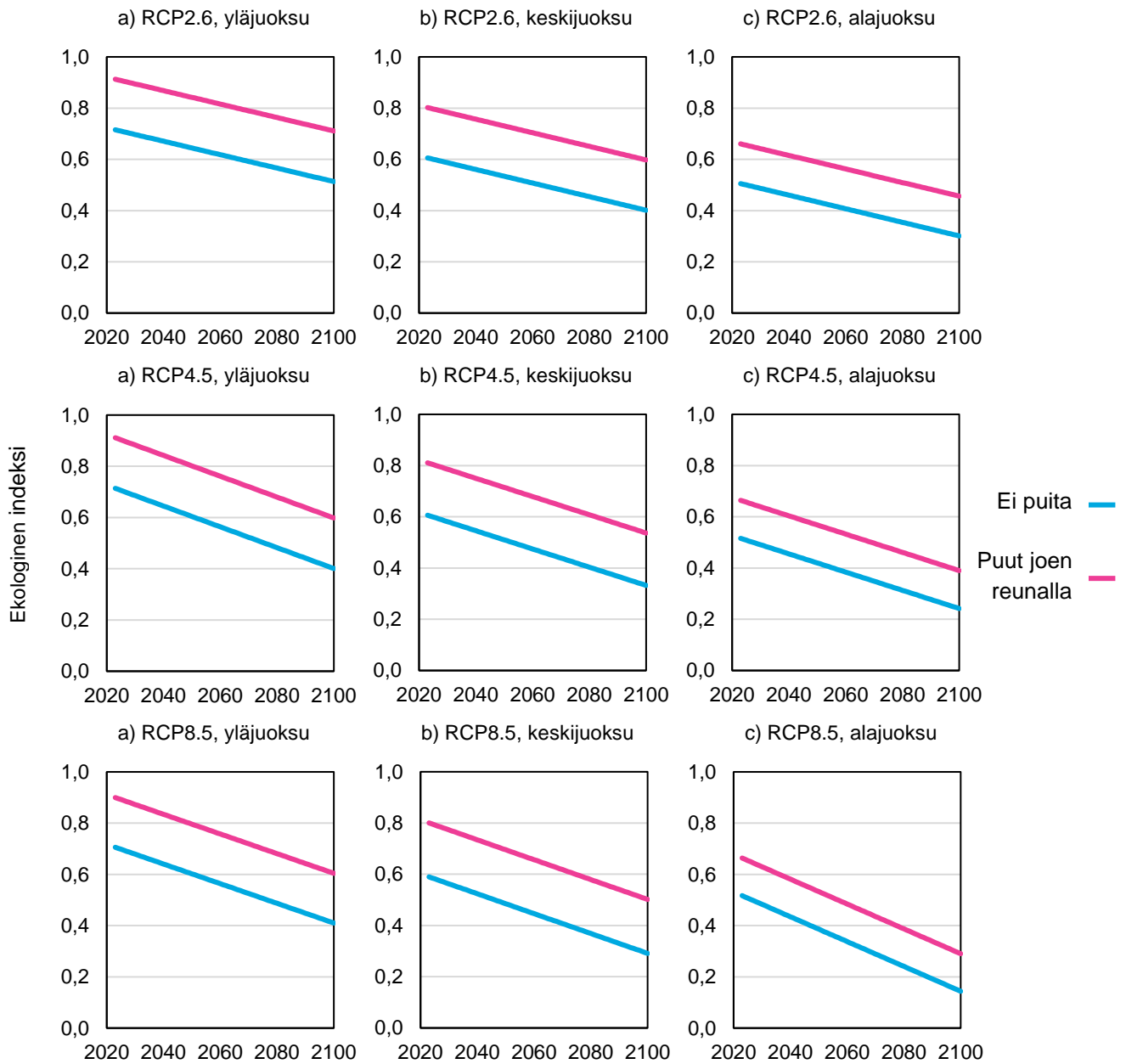
Ilmastonmuutos aiheuttaa monenlaisia riskejä maataloudelle ja viljelijät käyttävät erilaisia strategioita sopeutumiseen. Ilmastonmuutoksen myötä sadot voivat kasvaa ja viljelijät huomioivat tämän kasvattamalla tyyppilannoitusta (Käyhkö 2019, Neset ym. 2019, Wiréhn ym. 2020). Maatalouden ympäristövaikutusten ohjauskeinovalikoimaan kuuluu Suomessa ravinnehuuhtoumaa pidättävät suojakaistat jokien varsilla (Uusi-Kämpä ja Ylärinta 1992, Uusi-Kämpä ja Jauhiainen 2010). Lisääntyvän sadannan vaikutus ravinnehuuhtoumaan voidaan huomioida suojakaistojen leveyden optimoinnilla ja säätelemällä lannoitusta (Qi ja Altinakar 2011, Shortle ym. 2020).

Kun jokien vedenlaatua heikentäviin ilmastonmuutoksen vaikutuksiin sopeutuminen käsittää sekä yksityisen sopeutumisen että julkiset sopeutumistoimet, voidaan sopeutumisen nähdä olevan yhteiskunnan hyvinvoinnin kannalta toistaiseksi riittämätöntä. Mallissa optimoidaan lannoitteiden käyttö joen ympärillä olevilla maatalousmailla, suojakaistan leveys jokien varsilla sekä puiden istutuspäätökset suojakaistoille vuoteen 2100 asti.

Kuva 6 osoittaa, miten ekologinen indeksi kehittyy eri ilmastoskenaarioissa eri kohdissa jokea ajanjaksolla 2022–2100. Puiden istuttaminen joen reunoille nostaa ekologisen indeksin arvoa ylä- ja keskijuoksulla 0,2 ja alajuoksulla noin 0,15 yksiköllä. Ilman lämpötilan nousun seurauksena veden lämpötila nousee, minkä seurauksena ekologinen indeksi laskee. Ekologinen indeksi laskee sitä jyrkemmin mitä kuumemmasta ilmastoskenaariosta on kyse.

Tarkastelimme optimaalista sopeutumista dynaamisen optimoinnin avulla. Tulokset eri ilmastoskenaarioiden välillä eivät juuri eronneet toisistaan. Puiden istuttaminen jokien varsille sopeutumistoimena veden lämpenemisestä johtuvaan jokien ekologisen tilan heikkenemiseen on yhteiskunnan kannalta optimaalista kaikissa ilmastoskenaarioissa ja kaikissa joen osissa (ylä-, keski- ja alajuoksu). Yksityisessä optimissa viljelijä optimoi vuosittaisen lannoituksen määrän huomioiden ilmastonmuutoksen vaikutuksen satoon, minkä vuoksi lannoitus on huomattavasti suurempaa kuin yhteiskunnallisessa optimissa, jossa huomioidaan myös tuotannon ulkoisvaikutukset. Yksityisten toimijoiden autonominen sopeutuminen on siis riittämätöntä, jos tuotannon ulkoisvaikutukset jätetään huomioimatta. Yhteiskunnallisen hyödyn nettonykyarvo on noin neljä prosenttia alhaisempi yksityisessä optimissa (83 900 €/ha) kuin yhteiskunnallisessa optimissa. Yhteiskunnallisessa optimissa nettonykyarvo (85 400 €/ha), eli sopeutumisen yhteiskunnallinen hyöty, on suurempi kuin perusurassa (80 200 €/ha). Yhteiskunnallisen hyödyn nettonykyarvo nousee siis noin kaksi prosenttia, kun jokien lämpenemiseen sopeudutaan istuttamalla puita.

Esitetty analyysi antaa vahvan perusteen käynnistää maantieteellisesti kattavampaa ja tarkempaa mallinnusta niin joki- ja järvivesien kuin meren rantavesien ekologisen tilan kehityksestä sekä sopeutumistarpeesta ja tehokkaimmista sopeutumistoimista.

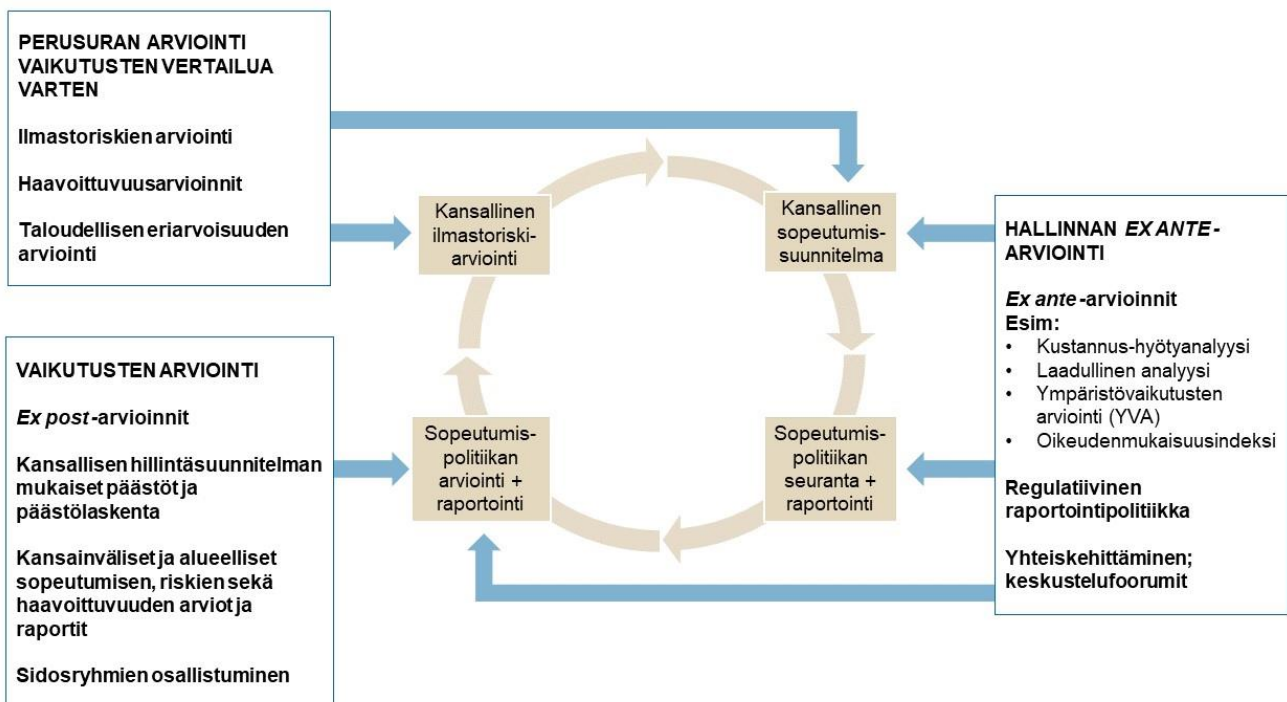


Kuva 6. Jokiveden lämpötilan noususta aiheutuva ekologisen indeksin lasku eri skenaarioissa kolmessa eri kohdassa jokea olosuhteissa, joissa puut reunustavat tai eivät reunusta jokea.

4. SOPEUTUMISEN SEURANTA

Seuranta- ja arviointijärjestelmillä tarkoitetaan sellaisia valtionhallinnon perustamia järjestelyjä ja menettelytapoja, joilla seurataan kansallisen sopeutumispolitiikan toimeenpanoa ja arvioidaan sen tehokkuutta tai vaikutuksia sekä raportoidaan⁵ seurannan ja arvioinnin tuloksista systemaattisesti (Leiter 2021). Nämä prosessit voivat olla kokonaan erillisiä tai osa yhtenäistä järjestelmää, mutta usein niiden välistä eroa ei ole selkeästi määritelty. Seuranta- ja arviointijärjestelmiä ja niihin liittyviä haasteita on avattu Ilmastopaneelin julkaisussa 2/2022 (Juhola, Käyhkö ja Hildén 2022).

Järjestelmien kehittäminen vaihtelee maittain, eikä parhaita käytäntöjä ole toistaiseksi tunnistettu. Esimerkiksi Saksan ja Ison-Britannian kehitystyö on ollut tutkimus- ja tutkijayhteisöveitoista ja yrityssektoria (mm. vakuutusyhtiöt) osallistavaa, kun taas Kanadassa (kuten Suomessa) on käytetty valtionhallinnon sisällä jo toimivia ohjausryhmiä indikaattorien määrittelyyn (Leiter 2021). Riskiarviointien, sopeutumisen suunnittelun ja seuranta- ja arviointijärjestelmien yhteensovittamista pisimmälle kehittäneillä mailla (Euroopassa Saksa ja Iso-Britannia) järjestelmät perustuvat jatkuvaan iteratiiviseen kehittämiseen, eli arvioinnin ja seurannan tuloksia käytetään suunnittelun tukena ja päinvastoin. Onnistuakseen tämänkaltainen järjestelmä edellyttää vaikutusperustaista lähestymistapaa sopeutumisen suunnitteluun ja riskiarviointiin sekä sopeutumisprosessin ja vaikutusten yhdistettyä seurantaa (ks. kuva 7).



Kuva 7. Kansallisen sopeutumispolitiikan suunnittelun, seurannan, arvioinnin ja raportoinnin kierto yhdistettynä mahdollisuuksiin arvioida sopeutumisen vaikutuksia sen eri vaiheissa (soveltaen Juhola ja Käyhkö 2023). *Ex ante* = ennen tapahtumaa, *Ex post* = taannehtivasti/tapahtuman jälkeen.

⁵ Seuranta- ja arviointi (M&E) -järjestelmistä käytetään usein myös nimitystä 'MRE järjestelmät', jossa raportointi (*Reporting*) on lisätty lyhenteeseen mukaan.

Sopeutumisen *onnistumisen* mittareina on yleisesti käytetty sitä, onko sopeutumispolitiikka johtanut sopeutumisen toimeenpanoon ja miten laajasti se on integroitu muihin politiikkoihin. Viime vuosina arviointikriteerinä on ryhdytty käyttämään myös sopeutumissuunnitelmien laatua ja vaikuttavuutta, eli riskien ja haavoittuvuuden vähenemistä (ks. taulukko 1). Usein niin tavoitteiden kuin seurannan kannalta on hyödyllistä nojata sopeutumisen indikaattoreihin. Indikaattorilla tarkoitetaan parametriä tai parametristä johdettua arvoa, joka osoittaa, tarjoaa tietoa, kuvailee ilmiön, ympäristön tai alueen tilaa ja jonka merkitys on pelkkää parametristä arvoa laajempi. Indeksillä tarkoitetaan yhteenlaskettujen tai painotettujen indikaattorien tai parametrien joukkoa; parametri on mitattava tai havainnoitava (OECD 2002).

Taustaoletuksena indikaattorien käytössä on se, että kansallisessa sopeutumissuunnitelmassa (KISS2030) osoitetaan riskiarvioinnin perusteella tarvittavat sopeutumistoimet ja pyritään edistämään niitä. Sopeutumistoimien vaikuttavuuden seuraamiseksi ja arvioimiseksi on määriteltävä, mihin riskeihin (mikä, mihin ja miten kohdistuva riski) ja tarvittaessa mihin riskin osa-alueisiin, niillä pyritään vaikuttamaan (ja mihin ei). Tämä systeeminen rajaus on lähtökohta johdonmukaisen indikaattoriperusteisen sopeutumisen seurannan ja arvioinnin kehittämiseksi (Klostermann ym. 2018).

Sopeutumisen vaikuttavuuden seuranta ja arviointi edellyttävät siis uudenlaisten indikaattoreiden määrittelyä. Indikaattorien⁶ määritelmät ja ilmoitetut seurantatavat eroavat maittain ja monia indikaattoreita ei ole sovellettu käytännössä. Indikaattorien kehitys on jatkuvaa eikä ole tiedossa, miten niiden lukumäärää tai laatua seurataan (muutos suhteessa peruslinjaan vai kehityssuunta). Sopeutumisen mittaamisen haasteista (esim. Leiter ja Pringle 2018, Berrang-Ford ym. 2019, Dilling ym. 2019, Leiter 2021) keskeisimpiä ovat:

- Toisin kuin hillinnällä, sopeutumisen edistymisen mittaamiseen ei ole yksiselitteistä metriikkaa.
- Kontekstuaalisuudesta ja dynaamisuudesta johtuen sopeutumist^{arpeiden} tunnistamiseen eli haavoittuvuuden arviointiin ei ole yksiselitteistä tapaa.
- Seurannan kannalta merkityksellisen pitkäjäsenäisaineiston saatavuus ja käsittely voi olla hankalaa ja hallintoa kuormittavaa.
- Poiketen lineaarisista projektitason seurannan ja arvioinnin käytännöistä, sopeutumisen seurannan ja arvioinnin kehittäminen kansallisella tasolla edellyttää jatkuvaa kehitystyötä.
- Sopeutumisen kansallisen seuranta- ja arviointijärjestelmän kehittämisessä on huomioitava sen kaksoisrooli: 1) edistää kansallisen tason sopeutumista ja 2) osallistua sopeutumisen tilan arviointiin kansainvälisesti.

⁶ "[I]t is not necessarily the value of an individual indicator that needs to be considered, but instead whether or not the set of indicators developed for a specific sector or theme provides a coherent and robust picture of adaptation progress as a whole." (EEA 2015).

Taulukko 1. Erilaisia viitekehyksiä sopeutumis suunnitelmien laadun ja vaikuttavuuden seurantaan ja arviointiin.

Toteuttajataho	Mitä mitataan?	Millä indikaattoreilla?
UNEP*, globaali sopeutumisen tilan vuosiarviointiraportti (UNEP 2022)	<p>Sopeutumis suunnitelmien onnistumista määrittää:</p> <ul style="list-style-type: none"> sopivuus (<i>adequacy</i>), vaikuttavuus (<i>effectiveness</i>). 	Indikaattoreita yht. 11 kpl, viidessä teemassa: sopeutumis suunnitelmien ymmärrettävyys, inklusiivisuus, toteutettavuus, integraation aste sekä suunnitelman seurannan ja arvioinnin kehitystaso
Teoreettinen viitekehys (Berrang-Ford ym. 2019)	<p>Kansallisen sopeutumis politiikan onnistumista määrittää (<i>evaluative assessment</i>):</p> <ul style="list-style-type: none"> tavoitteiden riittävyys (<i>sufficiency of goals & targets</i>), sopeutumistoimien riittävyys; attribuutio & kontribuutio (haavoittuvuuden väheneminen sopeutumisen seurauksena; tavoitteiden saavuttaminen). 	Ei yksittäisiä indikaattoreita, vaan keskeiset arvioinnin osa-alueet (deskriptiivinen arviointi): (i) haavoittuvuusprofiili ja –konteksti (johtajuus, organisaatiot, politiikka), (ii) sopeutumisen tavoitteet (johtajuus, organisaatiot, politiikka), (iii) sopeutumistoimet, (iv) sopeutumisen tulokset.
EEA** (Mäkinen ym. 2018)	<p>Indikaattorien käyttö kansallisissa sopeutumis suunnitelmissa:</p> <ul style="list-style-type: none"> Deskriptiivinen ja analyttinen sopeutumis suunnitelman tai sopeutumis strategian tarkastelu. 	Analyttisen tarkastelun perustana indikaattoritytologia (kts. Taulukko 2): indikaattorien luokittelu riski/vasteen eri vaiheiden sekä riskin osatekijöiden mukaan. Lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutusluokittelu, indikaattorien seurannan ja arvioinnin määreet (laadullinen/määrällinen, seurantaväli, maantieteellinen mittakaava, tulosten esitystapa) sekä raportointisyklin tiedot.

*UNEP: YK:n ympäristöohjelma (UN Environment Programme, UNEP); **EEA: Euroopan ympäristökeskus (European Environment Agency, EEA)

Prosessin vaiheita kuvaavat indikaattorit, eli *prosessuaaliset indikaattorit*, kuvaavat sopeutumis politiikan ja siinä määriteltujen sopeutumistoimien etenemistä (ks. taulukko 2). Sopeutumis politiikan edistymisen seuranta on keskittynyt yksinkertaisten indikaattorien käyttöön. Esimerkiksi sopeutumisen valtavirtaistamisen tavoitteen etenemistä voidaan arvioida sillä, kuinka monella julkisen sektorin toimialalla on oma sopeutumis strategia käytössä. Sopeutumistoimien etenemisen seuranta voi tehdä myös panos- ja tuotosindikaattorien avulla. *Panosindikaattorien* avulla mitataan tiettyihin sopeutumistoimiin tarvittavien erilaisten resurssien käytön muutosta, esimerkiksi budjetointi rannikkoalueiden suojeluun tai puutiaisväliitteisten tautien torjuntaan. *Tuotosindikaattorit* kuvaavat tiettyjen sopeutumistoimien tuotosta puuttumatta varsinaiseen vaikuttavuuteen sopeutumisen kannalta. Esimerkiksi rannikkoalueille rakennettujen suojavallien määrä tai puutiaisaivo-kuumerokotusten kattavuus. Tästä voidaan johtaa *vaikutusindikaattori*, jos voidaan määritellä mihin riskin osa-alueeseen sopeutumistoimella pyritään vaikuttamaan ja mikäli vaikutuksen mittaaminen on mahdollista. Vaikutusindikaattoreita on käytetty kansallisella tasolla lähinnä kytkemättä niitä sopeutumistoimiin.

Ilmastoriskin osa-alueisiin – vaaratekijä, altistuminen ja haavoittuvuus (sopeutumiskyky ja herkkyys) – liittyen muutosta kuvaavat vaikutusindikaattorit johdetaan kansallisen ilmastoriskiarvioinnin perusteella. Myös sillä, mistä riskin osa-alueesta on aineistoa saatavilla, on vaikutusta. Ilmastoriskiarvioinnissa tarkastellaan, mitkä ovat keskeiset riskit. Kyseessä ovat siis riskin korvikeindikaattorit (engl. *proxy*), joilla voidaan osoittaa riskin

muutoksen suuntaa, kun vertailukohta on asetettu. Lisäksi IPCC AR6 työryhmä II (IPCC 2022) esittää *response*-tekijän riskiviitekehyyksen osana, eli vaste (sopeutumistoimi) tai sen puute osaltaan muovaa riskiä. Tätä on toistaiseksi käytetty mallinnus- ja empiirisessä tutkimuksessa vähän.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset yhteiskunnan eri sektoreilla vaihtelevat. Kattavaa indeksiä ei ole toistaiseksi kehitetty millään sektorilla Suomessa. Metsätaloussektorilla laaja-alainen ilmastonmuutoksen vaikutus-indikaattorien kehittämistyö on aloitettu (Arnkil ym. 2017). Esimerkiksi laajassa ruotsalaisessa katsauksessa todetaan, että Ruotsin metsä- ja maataloussektoriin kohdistuvien ilmastonmuutoksen vaikutusten indikaattorit ovat ilmastopalveluiden kehittämisen kannalta oleellisia, mutta ne eivät toistaiseksi tunnista sektoriin kohdistuvia riskejä ja haavoittuvuuksia (Wiréhn 2021). Pohjoismaisia seurannan ja arvioinnin kehittämisen tapauksia on tehty esimerkiksi tieliikenneverkoston haavoittuvuuden paikkatietoperustaisista arvioinnin menetelmistä ja julkisten laitosten haavoittuvuus- ja riskikartoituksista tiedonkäyttäjää osallistavilla menetelmillä (Johnsson ja Balström 2021, Opach ym. 2020) sekä energiasektorin heijastevaikutusten arviointiviitekehyyksistä (Groundstroem ja Juhola 2019). Meneillään olevissa hankkeissa kehitetään myös rajatumpia riskikohtaisia indikaattoreita, esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen vetämä INDISEURA-hanke kuivuusriskeihin ja monimuotoisuuden heikkenemisen riskeihin sopeutumisen indikaattorien kehittämiseksi.

Taulukko 2. Sopeutumisen indikaattorityypologia ja esimerkkejä (soveltaen Mäkinen ym. 2018). Taulukossa on esimerkkejä, joissa indikaattori kuvaa sekä riskivasteen vaihetta että riskin osatekijää. Tiettyjen tekijöiden kohdalla tällaisia yhdistelmiä ei tarkastelussa pystytty tunnistamaan. G= Saksa, UK=Iso-Britannia, SC=Skotlanti, na = ei ilmoitettu.

Indikaattorityyppi	1) Prosessi	2) Vaikutus	
		1.1) Panos	1.2) Tuotos
Vaaratekijä (esim. hellejaksojen määrä)	na	na	Tieliikenneverkon toimintaan vaikuttaneiden maanvyörymä-tapausten lukumäärä (SC)
Altistuminen (esim. kotitalouksien määrä korkean tulvariskin alueella)	Ympäristöarvioinnin ⁷ läpäisseiden kansallisesti merkittävien infra-hankkeiden lukumäärä (UK)	na	na
Haavoittuvuus (yhdistetty herkkyys & sopeutumiskyky)	Pohjaveden suojeluun priorisoidut tai rajoitetut alueet (G)	Tulva-vakuutusmaksun hinnan potentiaalinen muutos (UK)	Veden kulutuksen intensiteetti tuotantosektorilla (G)
			Raekuurojen aiheuttamat vahingot maataloudelle, € trendi (G)
			Korkealta riskistatuksen ⁸ tasolta matalalle riskitasolle siirtyneiden asuinkiinteistöjen määrän muutos (UK)
			Maatalouden viljelykasvien valikoima ja monimuotoisuus-indeksi (SC)

⁷ Hanke-YVA:ssa huomioitava ilmastonmuutoksen vaikutuksille altistuminen.

⁸ Kiinteistöjen riskistatuksen kriteereihin kuuluu ilmastonmuutoksen vaikutuksille altistuminen.

<p>Herkkyys (suora, esim. sadon muutos lämpötilan nousun takia; epäsuora, esim. merenpinnan noususta aiheutuva rannikotulvavahinkojen lisääntyminen)</p>	na	na	Maatalouden kokonaistuottavuuden muutos (UK)	Mielenterveys-ongelmien esiintyvyys (lukumäärä väestön kokoon suhteutettuna) ja trendi tulvien tai äärimmäisten sääilmiöiden jälkeen (UK)
<p>Sopeutumiskyky (esim. kuinka monella alueellisella viranomaisella sopeutus-suunnitelma käytössä)</p>	Julkaistujen paikallistason tulvastrategioiden lukumäärä ja sisältö (UK)	Investoinnit rannikkoalueiden suojeluun, € trendi (G)	Alueen läpäisemättömien pintojen, lukumäärä ja suhteellinen osuus (UK)	Vapaaehtoistyön lukumäärä merkittävässä tulvariskitapauksissa (SC)

Suomen kansallisessa sopeutumis suunnitelmassa (KISS2030) määritellään temaattiset tavoitteet ja niille toimet, joilla pyritään vahvistamaan sopeutumiseen sitoutumista, kehittämään sopeutumistoimia ja parantamaan sopeutumiskykyä kansallisesti (Kansallinen ilmastonmuutoksen sopeutumis suunnitelma 2030). Toimille on määritetty vastuutahot ja seurantakeinoja on tunnistettu, mutta vaikuttavuuden indikaattoreita ei ole toistaiseksi määritetty. Hallinnon- ja toimialakohtaisten strategioiden välillä on suuria eroja sopeutumispolitiikan johdonmukaisuuden toteuttamisessa. Edistyneemmissä strategioissa, esimerkiksi sosiaali- ja terveysalan sopeutumisstrategia (Meriläinen 2021) ja ympäristöministeriön hallinnonalan sopeutumisen toimintaohjelma (Ympäristöministeriön raportteja 25|2016), tunnistetaan olennaisia sopeutumistoimia ja niiden vastuutahoja. Niissä ei kuitenkaan tehdä kattavaa riskikartoitusta eikä määritetä siihen perustuen sopeutumistoimien vaikuttavuuden tavoitteita. Tämä voidaan nähdä merkittävänä puutteena kansallisen sopeutumispolitiikan onnistumisen kannalta. Esimerkiksi sosiaali- ja terveysalan suunnitelmassa ei ole systemaattista haavoittuvuuden kartoitusta ja siihen perustuvia seurantaindikaattoreita. Terveystieteiden sektorin sopeutumistoimien vaikutusten mittaaminen on haastavaa, koska vaikutukset voivat olla hyvin pitkälle tulevaisuuteen ulottuvia, vasteet ovat yksilöllisiä ja terveystietoihin pääsy on usein tiukasti rajoitettua. Kansallisen tutkimuskirjallisuuden perusteella kuumiin lämpötilaolosuhteisiin liittyvien sopeutumistoimien käyttöönottoa sekä käyttöönoton edistymisen ja sopeutumistoimien vaikutusten seuranta voidaan kuitenkin edistää terveydenhuoltosektorilla Suomessa monin tavoin (ks. liitetaulukot 2a ja 2b). Tunnistetut keskeiset sopeutumisratkaisut terveydenhuoltosektorilla voidaan jakaa riskin osatekijöiden mukaisesti vaaratekijän muutoksen seurantaan, haavoittuvuuden kartoitukseen, altistumisen vähentämiseen ja sopeutumiskyvyn parantamiseen tähtääviin toimiin, joille on tunnistettu soveltuvia indikaattoreita (ks. taulukko 3).

Taulukko 3. Esimerkkejä terveydenhuoltosektorin sopeutumistarpeista kuumuuteen Suomessa ja soveltuvia indikaattoreita.

Sopeutumistarpeet	Indikaattorit
VAARATEKIJÄN MUUTOKSEN SEURANTA	
1. Olemassa olevan ja kerättävän lämpötilatiedon tehokkaampi hyödyntäminen	<ul style="list-style-type: none"> • Hellepäivien/-jaksojen lukumäärä vuodessa • Lämpötila / lämmön jakautuminen alueella / kunnassa
HAAVOITTUVUUDEN KARTOITUS	
2. Haavoittuvien väestöryhmien tunnistaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Ikääntyneiden määrä (osuus) alueella / kunnassa • Asunnottomien määrä (osuus) alueella / kunnassa
ALTISTUMISEN VÄHENTÄMINEN	
3. Äärimmäisiin lämpötiloihin liittyville olosuhteille altistumisen ja tästä aiheutuvan terveysriskin ennustaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Helteestä aiheutuvien sairaanhoito-/sairaalakäyntien määrä vuodessa • Helteestä aiheutuvien kuolemien lukumäärä vuodessa • Helteisiin liittyvien varoitussjärjestelmien määrä ja saavuttavuus (kattavuus)
4. Rakennusten sisätilojen lämpötilaolosuhteiden hallinta ja suositusten mukaisuuden turvaaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Asuntojen/tilojen määrä (osuus), joissa on viilennyslaite ja/tai viilennyskeinoja käytössä • (Kunnallisten) sisätilojen osuus, joiden lämpötilaolosuhteita voidaan seurata ja hallita
5. Viilennysvaikutusta lisäävien fyysisten rakenteiden/ratkaisujen käyttöönotto ja kehittäminen	<ul style="list-style-type: none"> • Viileiden (heijastavien) pintojen määrä (peittävän alan osuus) alueella / kunnassa • Kasvillisuuden peittävä osuus kunnan pinta-alasta
SOPEUTUMISKYVYN PARANTAMINEN	
6. Kansalaisten äärimmäisiin lämpötilaolosuhteisiin liittyvän tiedon ja osaamisen kehittäminen sekä tarkoituksenmukaisen varautumiskäyttäytymisen parantaminen: voimaannuttaminen, tiedottaminen ja koulutus	<ul style="list-style-type: none"> • Helteisiin ja sen sopeutumistoimiin liittyvän ohjeistavan materiaalin määrä, saatavuus ja saavuttavuus • Kunnan / alueen henkilöiden määrä (osuus), joka on tietoinen / koulutettu helteiden edellyttämien sopeutumistoimenpiteiden toteuttamiseen
7. Terveydenhuoltojärjestelmän ja terveydenhuollon ammattilaisten valmius- ja sopeutumiskyvyn parantaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Terveydenhuollon ammattilaisten osuus, joka on osallistunut helteiden terveysvaikutusten tunnistamiseen ja hoito –koulutukseen • Terveydenhuoltoyksiköiden osuus, jolla on käytössään helteisiin liittyvä varautumis- ja toimintasuunnitelma

5. YHTEENVETO JA SUOSITUKSIA

Sopeutuminen ilmastonmuutokseen edellyttää sekä yksityisen että julkisen sektorin sopeutumistoimia. Julkisen vallan, eli valtion ja kuntien, vastuulla on erityisesti huolehtiminen julkishyödykkeistä ja kriittisestä infrastruktuurista. Julkishyödykkeistä tärkeimmät ovat kansanterveys sekä ympäristön laatu ja sen muospaineet. Lisäksi julkisen vallan tulee tukea yksityisen sektorin sopeutumista tarjoamalla ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyvää tietoa sekä edistämällä esimerkiksi taloudellisiin riskeihin varautumista. IPCC:n riskivitekehys tarjoaa systemaattisen perustan mallintaa sopeutumispolitiikkaa, kun yksityisen sektorin sopeutumista ja julkisen vallan sopeutumistoimia tarkastellaan integroidusti (Ara Begum ym. 2022).

Sovelsimme tätä lähestymistapaa kolmeen julkishyödykettä koskevaan esimerkkitaupakseen. Analysoimme, kuinka rajoittaa helleaaltojen aiheuttamia kuolemia, kun sopeutumisen keinoina on edistää asuntojen viilennystä ja lisätä kuntien kaavapohjaista ja kohdennettua viherryttämistä eli viheralueita. Ilmastonmuutoksen vaikutusta ekosysteemeihin tarkasteltiin veden lämpötilan noususta johtuvana joen ekologisen tilan heikkenemisenä, jota voidaan lieventää perustamalla puustoisia suojakaistoja jokien varsille. Mallinnuksen ohella seuloimme sopeutumiseen liittyvää kirjallisuutta ja tarkastelimme sen nojalla sopeutumiseen liittyviä tietotarpeita ja ilmastonmuutoksen kehityksen seurantaan ja politiikan vaikutusten analyysiin soveltuvia indikaattoreita.

Raportin tavoitteena on osoittaa, kuinka tieteeseen perustuvaa sopeutumispolitiikkaa voidaan hahmottaa mallinnuksen ja tutkimusaineiston luovan hyödyntämisen avulla. Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyvä huomattava epävarmuus ei saa olla este sopeutumiselle, vaan sitä voidaan käsitellä seurannan, mallintamisen ja yksityisen sopeutumisen tarkastelun avulla. Mallinnuksen avulla myös epävarmuuden vaikutuksia pystytään tarkastelemaan ja havainnollistamaan määrällisesti, mikä selkeyttää politiikan tavoitteiden asettelua. Myös hyvin suunniteltu seurantajärjestelmä ja sen indikaattorit auttavat pienentämään epävarmuuden vaikutusta sopeutumispolitiikan valintoihin.

Terveydenhuolto on klassinen julkisen vallan tehtävä. Ilmastonmuutos haastaa kansanterveyttä ja työterveyttä monella tapaa, esimerkkeinä helleaallot, eläinvalitteisten tautien leviäminen ja ulkotyön olosuhteiden muuttuminen. Hellekuolemien ehkäisyn mallitarkastelu tuotti selkeitä suosituksia terveydenhuollon sopeutumispolitiikan kehittämiseen:

- Lisääntyvien helleaaltojen aiheuttamiin terveysriskeihin tulisi varautua tarjoamalla asteittain viilennys koko haavoittuvalle väestölle. Tätä varten julkisen vallan tulisi laatia suunnitelma yhdessä lämpölaitosten ja kiinteistöjen kanssa jäähdytyksen kattavuuden mahdollistamiseksi kunnissa. Samalla tulisi laatia erillinen suunnitelma viilennysratkaisujen tarjoamisesta vanhainkoteihin ja muihin vanhushuoneisiin tarjoaviin yksiköihin, sairaaloihin ja päiväkoteihin kaikkialla maassa.
- Kaupungeissa lämpötilan nousua voidaan hillitä myös viherryttämällä eli viheralueita lisäämällä. Viherryttäminen on yhteiskunnan kannalta nettonykyarvoltaan positiivinen sopeutumistoimi erityisesti Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa se edellyttää kohdennettua viherryttämistä kaavapohjaisen viherryttämisen sijaan.

Terveydenhuoltoa koskevilla sopeutumissuunnitelmilla on jo kiire. Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen tutkimuksen mukaan kansallinen sosiaali- ja terveydenhuoltojärjestelmä on varautunut riittämättömästi kuumasta säästä aiheutuviin haasteisiin (Ung-Lanki ym. 2017). Suunnitelmien tulisi kattaa koko kansanterveyden alue mukaan lukien terveydenhuollon ammattilaisten ääriämpötila-altistumiseen liittyvien osaamistarpeiden tunnistamisen, tietoisuuden lisäämisen ja osaamisen parantamisen.

Ilmastonmuutos aiheuttaa paineita, stressiä ja muutoksia ekosysteemeissä ja uhkaa siten niiden kykyä tuottaa hyödyllisiä ekosysteempipalveluja. Tarkastelumme jokiekosysteemin tilan huonontumisen estämisestä

puustoisten reunavyöhykkeiden avulla viittaa siihen, että kansallista sopeutumispolitiikkaa tulee laajentaa myös luonnonympäristöihin ja niihin kuuluviin lajistoihin. Tämä laajennus tarvitsee tuekseen maantieteellisesti kattavampaa ja ekologisesti tarkempaa mallinnusta ekosysteemien tilan kehityksestä, sopeutumistarpeesta, ja tehokkaimmista sopeutumistoimista.

Sopeutumispolitiikan tavoitteiden tulisi olla mahdollisimman selkeitä. Kun tavoitteet on ilmaistu selkeästi, voidaan pyrkiä määrittämään kustannustehokkaat ratkaisut tavoitteiden saavuttamiseksi. On kehitettävä olemassa olevan tiedon kokoavat sopeutumistarpeet täsmällisesti, nimettävä suunnitelmat sektoreittain ja määriteltävä niiden tavoitteet selkeästi. On myös tärkeää, että yhteiskunnallisesti merkittävien hankkeiden, kuten suurten investointien ja rakennushankkeiden, yhteydessä tehtäviin kustannushyötyanalyysiin sekä ympäristövaikutusten arviointeihin (YVA) lisätään myös sopeutumisen hyötyjen ja haittojen tarkastelu.

Sopeutumisen tavoitteiden seuranta tulee tehostaa hyvin valittujen indikaattorien avulla. Indikaattorien käyttö sopeutumisen seurantaan ja arviointia varten edellyttää, että kansallisessa ilmastomuutokseen sopeutussuunnitelmassa osoitetaan riskiarvioinnin perusteella tarvittavat sopeutumistoimet ja tavat edistää niitä. Olisi suositeltavaa, että sopeutumisen prosessi-indikaattoreilla seurataan sopeutussuunnitelman toimeenpanon edistymistä. Niiden lisäksi on otettava käyttöön vaikuttavuutta mittaavia indikaattoreita, jotta tiedetään, miten kohdentaa resursseja ja päivittää sopeutussuunnitelmaa. Sopeutumistoimien vaikuttavuuden seuraamiseksi ja arvioimiseksi on määriteltävä, mihin riskeihin (mikä, mihin ja miten kohdistuva riski), ja mahdollisuuksien mukaan mihin riskin osa-alueisiin, niillä pyritään vaikuttamaan (ja mihin ei).

Indikaattoriperusteisen järjestelmän kehittämistä rajoittavat toistaiseksi tietoaucot sopeutumistoimien vaikuttavuudesta. Toimeen voidaan kuitenkin ryhtyä määrittelemällä eri tasoisia tavoitteita ja tarkentamalla tavoitteita jatkuvan kehittämisen periaatteella tiedon karttuessa. Sopeutumispolitiikan erilaisten *ex post* -analyysien käyttöönotto sopeutumisen suunnittelun tukena on tärkeää, jotta voidaan tehdä parhaan tiedon valossa oletuksia toimien vaikuttavuudesta ja seurata ennusteiden toimivuutta ja toteutumista sekä tarvittaessa muokata suunnitelmia.

Ympäristön tilan muutoksia on seurattava pitkäaikaisseurannalla. Näin voimme paremmin suunnitella ja mukauttaa sopeutumispolitiikkaa ilmastomuutoksen edetessä. Suunnitelmia on tehtävä jatkuvan kehittämisen periaatteella tiedon epätäydellisyys hyväksyen. Ilmastoriskitiedon kehittämiseen ja sen avoimeen saatavuuteen on panostettava, jotta suunnitelmia voidaan kehittää.

LIITTEET

LIITE 1: Menetelmät ja aineistot

Viherryttäminen

Erilaisista viherryttämisvaihtoehdoista ja niiden mielekkyydestä Suomen kaupungeissa keskusteltiin Helsingin, Oulun ja Turun kaupunkien edustajien kanssa. Latvuspeitteisyyden lisäämisen kustannuksista keskusteltiin Turun kaupungin puulajiasiantuntijan Aki Männistön kanssa, ja keskustelun pohjalta kustannukset päädyttiin laskemaan *Viherympäristöliiton Kaupunkipuiden arvonmääritysmalli KAM '19-OPAS*-julkaisussa esitettyjen puistopuun juurtumisajan vakiokustannusten sekä katupuun juurtumisajan vakiokustannusten perusteella (Tajakka 2019). Istutettujen puiden poistosta aiheutuneet kustannukset laskettiin samassa julkaisussa esitettyjen vaurioituneiden puiden poistosta aiheutuvien kustannusten perusteella. Arvioitaessa puiden istutusten vaikutusta latvuspeitteisyyteen käytettiin oletusta, jonka mukaan yksittäisen istutettavan puun latvuksen halkaisija on yhdeksän metriä. Istutettavista puista puolet oletettiin olevan puistopuita ja puolet katupuita. Laskelmissa oletettiin, että puut istutetaan 75 vuoden tarkastelujakson (2026–2100) alussa. Puiden poiston ja uudelleenistutuksen osalta tehtiin laskelmat skenaariorille, jossa 50 prosenttia istutetuista puista poistetaan ja istutetaan uudelleen edellä mainitun tarkastelujakson aikana sekä skenaariorille, jossa 100 prosenttia istutetuista puista poistetaan ja istutetaan uudelleen saman tarkastelujakson aikana.

Viherryttämisen alueellinen toteutus suunnittelu Helsingin, Oulun ja Turun kaupungeissa tehtiin kahdella eri tavalla ja alueellisella laajuudella. Alueellisesti laajempi suunnittelu perustui kaupunkien yleiskaava-aineistoihin, ja kohdealueena oli kunkin kaupungin kaavoitettu alue kokonaisuudessaan. Alueellisesti suppeampi kohdennettu suunnittelu perustui asukastiheyteen ja siinä kohdealueena oli kunkin kaupungin tiheimmin asutettu yhdeksän neliökilometrin laajuinen alue. Kaavojen käytöstä laaja-alaisemman, kaavapohjaisen suunnittelun tukena keskusteltiin kunkin kohdekaupungin kanssa. Kaavapohjaisen viherryttämisen kustannuslaskelmat tehtiin kolmelle intensiteetiltään eri suuruusluokkaa olevalle viherryttämisvaihtoehdolle niin, että kussakin kaupungissa kuhunkin viherryttämisvaihtoehtoon sisältyi kahdenlaisia alueita; korkeamman viherryttämispotentiaalin alueita sekä alhaisemman viherryttämispotentiaalin alueita. Viherryttämisen intensiteettiä kuvaavana muuttujana käytettiin sekä kaavapohjaisessa että asukastiheyteen perustuvassa suunnittelussa latvuspeitteisyyden lisäämistä prosenttiyksikköinä suhteessa alueen kokonaispinta-alaan. Vähiten intensiivisessä viherryttämisvaihtoehdossa korkeamman viherryttämispotentiaalin omaavien alueiden latvuspeitteisyyttä lisätään 20 prosenttiyksikköä, ja alhaisemman viherryttämispotentiaalin omaavien alueiden latvuspeitteisyyttä lisätään kymmenen prosenttiyksikköä. Intensiteetiltään keskitasoa olevassa viherryttämisvaihtoehdossa vastaavat luvut ovat 30 ja 15 prosenttiyksikköä, ja kaikkein intensiivisimmässä vaihtoehdossa 40 ja 20 prosenttiyksikköä. Asukastiheyteen perustuvassa kohdennetussa viherryttämisessä kustannuslaskelmat tehtiin neljälle intensiteetiltään eri suuruusluokkaa olevalle viherryttämisvaihtoehdolle niin, että viherryttämispotentiaalin oletettiin olevan koko kohdealueen sisällä samansuuruisen. Kyseisissä viherryttämisvaihtoehdoissa latvuspeitteisyyttä lisätään 10, 20, 30 ja 40 prosenttiyksikköä.

Latvuspeitteisyyden lisäämisen vaikutusta kaupungin lämpösaarekkeen hillitsemiseen tarkasteltiin Turun yliopiston maantieteen osaston ylläpitämän TURCLIM-säähavaintoverkoston keräämän lämpötilatiedon avulla. Turun alueen paikallisilmaston monitorointiin rakennettu TURCLIM-verkosto koostuu 83 havaintopisteestä, joissa ilman lämpötilaa ja kosteutta mitataan kolmen metrin korkeudella maanpinnasta 30 minuutin välein. Latvuspeitteisyyden vaikutusten tarkastelussa käytettiin 71 havaintopisteen lämpötiloja, joista mallinnettiin jatkuva lämpötilapinta lineaarisen regressiomallin avulla. Mallinuksessa käytettiin CLC 2018 (CORINE) -maanpeiteaineistoa, SLICES 2010 -maankäyttöaineistoa ja digitaalista korkeusmallia (DEM). Regressiomallissa lämpötila toimi selitettävänä muuttujana ja selittävät muuttujat muodostettiin CLC 2018 -, SLICES 2010 - ja DEM-aineistojen pohjalta. Viherryttämisen lämpötilavaikutuksen arvioinnissa käytettiin

Luonnonvarakeskuksen (Luke) latvuspeitteisyysaineistoa. Arvioinnissa verrattiin latvuspeitteisyydeltään ja maanpeitteeltään erilaisten alueiden lämpötiloja toisiinsa ja suhteutettiin havaittu ero regressiomallin maanpeitettä kuvaavan muuttujan ennustamaan muutokseen. Regressiomalli muodostettiin viikon pituisen hellejakson 23.–29.7.2014 keskilämpötilojen perusteella. Kaupungin lämpösaareke on yleensä voimakkaimmillaan öisin, mutta keskilämpötila valittiin tarkasteltavaksi lämpötilasuureeksi, koska se kuvastaa lämpöolosuhteita koko vuorokauden ajalta, ja kertoo siten hellealtistuksesta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Keskilämpötilan on lisäksi havaittu kuvaavan hellealtistuksen ja kuolleisuuden välistä yhteyttä aiemmissa Suomessa toteutetuissa tutkimuksissa (Kollanus ja Lanki 2021, Ruuhela ym. 2021). Regressiomallin mukaan latvuspeitteisyyden lisääminen 10 prosenttiyksiköllä vaimentaisi kaupungin lämpösaarekevaikutusta vuorokausitasolla noin 0,5 °C, ja vastaavasti latvuspeitteisyyden lisääminen 20 prosenttiyksiköllä vaimentaisi lämpösaarekevaikutusta vuorokausitasolla noin 1 °C. Mallinnuksessa on käytetty vaikutusalueena hieman yli kolmen hehtaarin laajuista aluetta, joten edellä mainitun viilennysvaikutuksen saavuttaminen edellyttäisi latvuspeitteisyyden lisäämistä vähintään yhtä laajalla alueella.

Viilennys

Ilmastointilaitteen keskimääräiset asennuskustannukset ovat 3 275 €⁹. Koneen keskimääräinen käyttöikä on korkeintaan 20 vuotta. Näin ollen jaamme asennuskustannukset 20:llä ja lisäämme ne vuotuisiin käyttökustannuksiin. Jäähdytyksen keskimääräinen energiankulutus on 200 kWh/a (GlobalPetrolPrices.com¹⁰). Otamme Suomen raportin kirjoitushetken, vuoden 2023, energian hinnan, joka on 0,222 €/kWh¹¹. Näin ollen vuotuiset kustannukset ovat 44,40 €/vuosi. Helleaaltojen aiheuttaman kuolleisuuden ehkäisemiseksi viilennys on tärkeää keskikesällä, jolloin Suomessa esiintyy helleaaltoja, eli kesä-elokuussa. Näinä kuukausina energian hinnat ovat Suomessa tyypillisesti alhaiset. Tämän vuoksi ilmastointilaitteen vuotuiset kustannukset ovat myös melko alhaiset.

Helsingissä kaukojäähdytyksen (DC) toteutuksen kotitalouskustannuksiin rakennusta kohden sisältyy liittymismaksu (1 500–1 800 €) (Helen, www-sivut). Raportin kirjoitushetkellä (vuonna 2023) Helsingissä on noin 100 asuntoa ja Turussa 50 kiinteistöä, joissa on suora kaukojäähdytysliittymä. Tasasähköliittymän investointikustannus eli rakennuksen liittämiskustannus tasasähköverkkoon on noin 150 000 € (Helen, henkilökohtainen tiedonanto). Vuonna 2022 Helsingissä oli 11 401 kerrostaloa (pxdata.stat.fi)¹². Näissä rakennuksissa oli noin 333 481 asuntoa (stat.hel.fi)¹³. Kun asuntojen määrä jaetaan rakennusten määrällä, tulokseksi saadaan, että rakennusta kohden on keskimäärin 29,25 asuntoa. Näin ollen keskimääräinen investointikustannus asuntoa kohti on Helsingissä 150 000 € / 29,25 = 5 128 €. Turussa kerrostalojen määrä on 2 946 (pxdata.stat.fi)¹⁴, ja niissä olevien asuntojen määrä on 93 919 (pxdata.stat.fi)¹⁵. Vastaavat luvut Oulussa ovat 2 572 (stat.hel.fi)¹⁶ ja 65 141 (pxdata.stat.fi)¹⁷. Näin ollen investointikustannukset ovat Turussa 150 000 € / 31,88 = 4 705 € ja Oulussa 150 000 € / 25,33 = 5 922 €.

⁹ <https://kodinplaza.fi/iv/iv-asennus/hinta>

¹⁰ GlobalPetrolPrices.com: https://www.globalpetrolprices.com/Finland/electricity_prices/ käyty 9.8.2023.

¹¹ https://www.globalpetrolprices.com/Finland/electricity_prices/

¹² [Rakennukset ja kerrosala muuttujina Vuosi, Alue, Rakennuksen käyttötarkoitus \(Rakennusluokitus 2018\), Rakennusvuosi ja Tiedot. PxWeb \(stat.fi\)](#)

¹³ [Helsingin asunnot talotyypin ja valmistumisvuoden mukaan 31.12. PxWeb](#)

¹⁴ [Rakennukset muuttujina Alue, Rakennuksen käyttötarkoitus, Tiedot, Vuosi ja Valmistumisvuosi. PxWeb \(hel.fi\)](#)

¹⁵ [Asunnot muuttujina Alue, Talotyyppi, Rakennusvuosi, Asunnon käytössäolo, Vuosi ja Tiedot. PxWeb \(stat.fi\)](#)

¹⁶ [Rakennukset muuttujina Alue, Rakennuksen käyttötarkoitus, Tiedot, Vuosi ja Valmistumisvuosi. PxWeb \(hel.fi\)](#)

¹⁷ [Asunnot muuttujina Alue, Talotyyppi, Rakennusvuosi, Asunnon käytössäolo, Vuosi ja Tiedot. PxWeb \(stat.fi\)](#)

Mallintamiseen liittyvien epävarmuuksien hallinta

Tarkastelimme sopeutumistoimien nettohyötyjä Monte Carlo -simulaatioiden avulla, koska hellejaksoihin ja niihin liittyviin kuolemiin sekä itse sopeutumistoimien vaikutuksiin liittyy useita epävarmuustekijöitä. Hellejakso- ja myös jokien lämpenemisdata perustui Ilmatieteen laitoksen paikallisiin ilmastoskenaarioihin, joissa laskettiin päivän keski- ja maksimilämpötila vuosisadan loppuun saakka. Ilmatieteen laitokselta saimme myös päivittäiset sademäärät. Nämä päivittäiset skenaariourat ovat mallinnuksia ja niihin liittyy epävarmuutta. Tämän takia sovitimme suorat näihin datoihin. Muokkasimme aineistot ensin vuosittaisiksi hellejaksojen määräksi ja heinäkuun keskilämpötiloiksi. Sovittamamme suorat kuvaavat näiden vuotuista kehitystä vuosisadan loppuun. Käytimme suorien antamaa vuosittaista helleaaltojen määrää epähomogeenisen poisson-jakauman lambda parametrina. Simulaatioissamme vuotuinen helleaaltojen määrä siis määräytyi poisson-jakauman mukaan. Epävarmuutta liittyy myös kuolleisuusriskin arvioihin. Tämän epävarmuuden huomioimme arvion keskihajonnan avulla. Toistimme laskelmat Monte Carlo -simulaatiossa 10 000 kertaa, jolloin näihin tekijöihin liittyvä epävarmuus väheni, ja pystyimme kuvaamaan sitä antamalla nettohyötyjen jakaumat yksittäisten lukujen sijaan.

Epävarmuutta liittyy luonnollisesti myös itse ilmastoskenaarioihin. Tämän takia tarkastelimme kolmea eri skenaariota: lievin skenaario (RCP2.6), perusskenaario (RCP4.5), ja voimakkaimman lämpenemisen skenaario (RCP8.5). On tärkeää, että ääripäiden skenaariot ovat mukana, koska toteutuva skenaario on luultavimmin niiden välissä. Tarkoitus olikin tarkastella useaa skenaariota ja osoittaa, miten tulokset eroavat eri skenaarioiden välillä, ottamatta kantaa todennäköisyyteen. Tulosten erotessa vain vähän skenaarioiden välillä, voidaan todeta, että sillä mikä skenaario lopulta toteutuu, ei ole niin suurta merkitystä tulosten kannalta.

Lisäksi epävarmuutta liittyy tiettyihin parametreihin. Erityisesti diskonttokorko, jonka avulla tulevaisuuden hyödyt ja kustannukset muutetaan nykyarvoon, on tunnetusti epävarma tekijä, jota on tavallisesti käsitelty herkkyysparametrina. Diskonttaamisen merkitys korostuu, kun tarkastelun aikahorisontti pitenee. Lisäksi tässä yhteydessä merkittäviä epävarmuuden lähteitä ovat sopeutumistoimien kustannukset ja elämän arvon estimaatti. Tarkastelimme näiden epävarmuustekijöiden vaikutusta tuloksiin herkkyysanalyysin avulla, mikä on standardikäytäntö kustannushyötyanalyysissä. Herkkyysanalyysin avulla saadaan esille parametrit, joiden epävarmuus vaikuttaa määrällisesti eniten tuloksiin. Näin voimme havainnollistaa parametreihin liittyvän epävarmuuden vaikutusta tuloksiin määrällisesti.

Liitetaulukko 1. Mallinnukseen liittyvät epävarmuustekijät ja niiden huomioiminen tässä tarkastelussa sekä mahdollisuudet jatkotutkimuksissa huomioitavaksi.

Mallinnus ja data	Epävarmuustekijä	Mahdollisuudet parantaa mallin tarkkuutta
Ilmastodata	Ilmastodata perustuu mallinnukseen ja on täten epävarmaa. Epävarmuus kasvaa tarkastelun aikahorisontin funktiona.	Monte Carlo -analyysi. Simulaatioiden määrän kasvaessa laskettavien suureiden estimaatit tarkentuvat.
Ilmastomallinnus	Valitut kolme RCP-skenaariota antavat rajallisen kuvan.	Tarkastelun laajentaminen kaikkiin skenaarioihin. Toisaalta ääripääskenaariot antavat kuvan skenaarioihin liittyvän epävarmuuden vaikutuksesta laskettavien suureiden vaihteluväliin
Sopeutumisen kustannus-, vaikutus- ja hyötyarviot	Osittain asiantuntija-arvioihin perustuva, koska soveltuvaa kirjallisuutta ei ole. Kustannusarvioissa käytetty keskiarvoja; ei huomioitu kaikkia mahdollisia muuttujia, esim. kriisien vaikutukset	Riittävän kattava herkkyysanalyysi, jonka avulla osoitetaan, mihin suuntaan tulokset muuttuvat ja kuinka paljon, jos kustannuksia ja hyötyjä muutetaan.

	<p>Hyötyarvot yksinkertaistuksia.</p> <p>Vaikutusarvot perustuvat olemassa oleviin estimaatteihin kansainvälisestä kirjallisuudesta, koska suomalaista kirjallisuutta ei ole.</p> <p>Ääri-ilmiöiden vaikutukset puustoon jätetty mallista pois liian työläinä.</p>	
Politiikkaura: koneellinen viilennys	Tarkasteluajavälillä mahdollisesti tapahtuvaa viilennysteknologian kehitystä ja sen vaikutuksia kustannuksiin ei huomioitu.	Herkkyystarkastelussa voidaan tarkastella myös ajassa laskevia kustannuksia. Tämän vaikutus tuloksiin, eli nettonykyarvoon, on luultavasti vähäinen, koska tulevaisuudessa realisoituvat kustannukset ja hyödyt diskontataan, jolloin niiden vaikutus lähenee nollaa, kun lähestytään vuosisadan loppua.
Politiikkaura: viherryttäminen	Muita mahdollisia hyötyjä kuin terveyshyöty ei sisällytetty, esim. hiilinielu-, eroosio- ja tulohyöty, terveys-, hyvinvointi- ja viihtyvyyshyödyt.	Muiden hyötyjen tarkasteluilla voidaan laajentaa kokonaiskuvaa sopeutumistoimien kannattavuudesta.
	Latvuspeitteisyysaineistossa oli katvealueita, joten latvuspeitteisyyden vaikutus lämpötilaan arvioitiin välillisesti CLC2018-aineistoon pohjautuvan muuttujan avulla	Mikäli latvuspeitteisyysaineistoa olisi käytettävissä koko tutkimusalueelta, latvuspeitteisyys olisi mahdollista sisällyttää regressiomalliin yhtenä lämpötilaa selittävänä muuttujana
Politiikkaura: suojavaikutepuuston lisääminen	<p>Tarkasteluun valittu optimaalinen puulaji (nopeakasvuinen lehtipuu) ei välttämättä aina mahdollinen vaihtoehto käytännössä.</p> <p>Mahdolliset muut hyödyt (samat kuin viherryttämisessä) ei mukana mallissa.</p>	<p>Tarkastelun laajentaminen eri puulajeihin.</p> <p>Muiden hyötyjen tarkasteluilla voidaan laajentaa kokonaiskuvaa sopeutumistoimien kannattavuudesta.</p>
Ekologinen indeksi	Ekologisen indeksin määrittämiseen liittyy monenlaista epävarmuutta, kuten se, mitä tekijöitä huomioidaan indeksin laskennassa, ja millä aikavälillä.	Ekologisen indeksin rahalliselle arvolle suoritetaan herkkyyshanalyysi, koska sillä on vaikutusta tuloksiin. Samalla sen voidaan nähdä heijastavan indeksiin liittyvää muutakin epävarmuutta.
Kustannushyötyanalyysi	<p>Kustannushyötyanalyysissa joudutaan tavallisesti tekemään useita oletuksia ja rajauksia.</p> <p>Viherryttämisen vaikuttavuus on laskettu suhteessa hellejaksojen esiintyvyyteen, jolloin vaikuttavuus ei kohdistu voimakkaimpiin helteisiin.</p>	<p>Oletukset ja rajaukset pitää dokumentoida ja raportoida avoimesti ja selkeästi julkaisuun, jotta lukijat ovat niistä tietoisia. Nämä pitää myös huomioida johtopäätöksissä ja mahdollisissa suosituksissa.</p> <p>Intensiivisimpien helteiden vaikuttavuuslaskelmien täydentäminen asteperusteiseksi. Haasteena saattaa kuitenkin olla sopivien verrokkitutkimusten saatavuus.</p>

LIITE 2: Erinäisiä suosituksia ja kirjallisuuskatsaukset Suomessa käyttöön soveltuvista kuuma-altistukseen kytkettyistä terveysperustaisista sopeutumistoimista ja indikaattoreista sekä suomalaisista äärikuuman terveysvaikutuksia käsittelevistä tutkimuksista

WHO:n (2021) suosittelemiin hellehaittojen ehkäisemisen kansallisiin toimintasuunnitelmiin tulisi sisällyttää vastuutahosta sopiminen, ajantasaiset ääriämpötilojen varoitusjärjestelmät, tiedottamissuunnitelma, altistumisen vähentäminen, väestön erityisryhmistä huolehtiminen, terveyden- ja sosiaalihuollon varautuminen, yhdyskuntasuunnittelu sekä toimintasuunnitelman ja varoitusjärjestelmän vaikuttavuuden ja kustannustehokkuuden säännöllinen arviointi (Matthies ym. 2008, Ikäheimo ja Jaakkola 2019). Jo edellisessä kansallisessa sopeutumis suunnitelmassa tavoitteeksi asetettiin, että kansallinen ääriämpötiloille altistumisesta aiheutuvien haittavaikutusten ehkäisemisen toimintamalli tulisi luoda ja tähän toimintamalliin tulisi sisällyttää sekä pitkäkestoinen varautuminen että lyhytkestoiset toimenpiteet eri tasoilla ja sektoreilla (Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelma 2022). Viimeisimmässä suunnitelmassa (KISS2030) terveydensuojelulle on asetettu Tavoite 14. *Helteen terveyshaitat on tunnistettu ja niihin sopeutuminen eri hallinnon tasoilla ja seuranta on kehittynyt vuoteen 2030 mennessä* (Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelma 2030). Tämän suunnitelman mukaan tulisi luoda kansallinen toimintasuunnitelma helteen terveyshaittojen ehkäisemiseksi, käynnistää helteisiin varautumisen ja sopeutumisen toimia kansallisen toimintasuunnitelman pohjalta, pystyttää hellekuolleisuuden seurantamekanismi sekä uudistaa asumisterveysasetuksen lämpöolosuhteisiin liittyvät toimenpiderajat. Myös keskeisten sidosryhmien roolit, vastuut ja yhteistyö tulisi olla ennalta määritetty (Kollanus ja Lanki 2021). Alueelliseen ja paikalliseen hellevarautumiseen tulisi panostaa, kansallista ohjausta keskittää, varmistaa sopeuttavien toimenpiteiden ajantasaisuus ja käyttöönotto sekä kehittää sosiaali- ja terveydenhuollon henkilöstön varautumisosaamista ja -kykyä (Kollanus ja Lanki 2021).

Esimerkkinä kohtuullisen nopeasti käyttöön otettavasta, kustannusrakenteeltaan hallittavasta ja vaikuttavasta sopeutumistoimenpiteestä on sosiaali- ja terveydenhuollon henkilöstön helleosaamisen vahvistaminen. Sosiaali- ja terveydenhuoltohenkilöstön perus-, jatko- ja täydennyskoulutus, sekä työskentely- ja hoito- ja hoivaolosuhteiden hallinta tulisi sisällyttää kaikilla tasoilla osaksi sosiaali- ja terveydenhuollon varautumis-, toiminta- ja sopeutumis suunnitelmia. Terveydenhuollon ammattilaisten tulisi tiedostaa nykyistä laajalaisemmin äärimmäisille lämpötiloille altistumisen laajuus, herkäät väestöryhmät (mm. iäkkäät, lapset ja kroonisesti sairaat) ja altistumisesta aiheutuvat potentiaaliset terveysvaikutukset, jotta ääriämpötilojen hyvinvointiin ja terveyteen kohdistuviin haittoihin voitaisiin tehokkaasti vaikuttaa. Tutkimusnäyttöön perustuvat ääriämpötilaohjeistukset sekä suojaus- ja sopeutumistoimet tulisi liittää kiinteäksi osaksi sosiaali- ja terveydenhuollon toimintakenttää ja -kulttuuria. Sopeutumistoimien toteuttamisen seurantaan ja niiden vaikuttavuuden arvioimiseksi tulisi ottaa käyttöön tarkoituksenmukaiset, laadullisen ja määrällisen tiedon sisällyttävät indikaattorit.

Arvioitaessa korkeiden lämpötilojen ja kaupungin lämpösaarekkeen vaikutusta kuolleisuuteen on suositeltavaa perustaa arvio tietoon korkeiden lämpötilojen vaikutuksesta kuolleisuuteen, tietoon korkeiden lämpötilojen esiintymistodennäköisyydestä, tietoon kaupungin lämpösaarekkeen voimakkuudesta ja alueellisista ominaispiirteistä sekä tietoon haavoittuvista ryhmistä (ketkä ovat haavoittuvia, kuinka paljon heitä on ja missä he ovat).

Viherryttämistoimien vaikuttavuutta sopeutumistoimena on suositeltavaa arvioida vertaamalla kaupungin lämpösaarekkeen voimakkuutta ja alueellisia ominaispiirteitä ennen viherryttämistoimia ja niiden jälkeen. Lämpösaarekkeen heikkeneminen osoittaa, että viherryttämistoimet ovat johtaneet tavoiteltuun lopputulokseen. Vaikuttavuuden ja kustannustehokkuuden optimoimiseksi viherryttämisen suunnittelussa ja toteutuksessa on suositeltavaa kiinnittää huomiota viherryttämisen intensiteettiin ja viherrytettävien alueiden valintaan.

Tarkasteluun liittyvistä epävarmuuksista huolimatta kustannushyöty- ja kustannustehokkuus ovat soveltuvia indikaattoreita hellejaksoihin liittyviin terveysriskeihin sopeutumisen vaikuttavuuden arviointiin.

Liitteen 2 lähteet:

Ikäheimo, T. & Jaakkola, J. 2019. Ulkoilman ääriämpötilojen terveysvaikutukset ja niihin varautuminen. *Duodecim* 2019;135(22):2159-66.

Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022. Maa- ja metsätalousministeriö 5/2014; 39 s. 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.

Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2030. VNS 15/2022 vp. PDF-julkaisu verkossa sivulla: <https://mmm.fi/kansallinen-sopeutumissuunnitelma/kiss2030>.

Kollanus, V. & Lanki T. 2021. Helteen terveyshaitat ja niiden ehkäisy Suomessa. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpaperi 14/2021. 53 sivua. Helsinki 2021. ISBN 978-952-343-673-2 (verkkopainos).

Matthies, F., Bickler, G., Marin, N.C., Hales, S. (toim.). 2008. Heat-health action plans: guidance. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.

WHO. 2021. Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. 9789289055406-eng.pdf (who.int).

Liitetaulukko 2a. Kansalliseen kirjallisuuteen perustuva lista potentiaalisista ilmastonmuutokseen sopeuttavista ja kuuma-altistukseen kytkeytyvistä terveysperusteisista toimista.

Sopeutumistoimi (Kuuma-altistuminen (> +25 °C))
Hellepohjaisten oire- ja/tai tautitilojen tunnistamisen, sopeuttavien toimien ja itsehoidon osaamisen tehostaminen väestön keskuudessa*
Helteisiin liittyvä varautuminen sekä terveydenhuollon kapasiteetin turvaaminen*
Sosiaali- ja terveydenhuollon muuttuvien palvelu-, tieto- ja koulutustarpeiden tunnistaminen ja niihin vastaaminen*
Hellepohjaisten oire- ja/tai tautitilojen (vaikutusten) tunnistamisen ja hoidon tehostaminen terveydenhuollossa*
Helteisiin liittyvien työturvallisuus-, työterveys- ja työkykyriskien tunnistaminen, varautuminen ja hallinta*
Asuin-, työ- ja vapaa-ajantilojen sisälämpötilojen seuranta-, hallinta- ja viiennysratkaisut*
Sähkön/energian jakelun ja riittävyyden turvaaminen
Rakennusten tarkoituksenmukaisen toiminnan varmistavat ja helteiden vaikutukset huomioivat säännölliset tarkastus-, korjaus- ja ylläpitotoimet
Helteisiin liittyvien ennakointi-, havainnointi-, varoitus- ja ohjausjärjestelmien kehittäminen ja käyttöönotto*#
Helteiden esiintymisen ja vaikutusten huomioiminen päätöksenteossa, maankäytön suunnittelussa ja ohjauksessa sekä rakentamisessa eri tasoilla ja sektoreilla*
Helteisiin liittyvien riskienhallinta-, sopeutumis- ja toimintasuunnitelmien tuottaminen ja käyttöönotto eri tasoilla ja sektoreilla*#
Riskinhallintatyökalujen kehittäminen, arviointi ja käyttöönotto
Helteisiin ja niiden vaikutuksiin liittyvä haavoittuvuuksien ja sopeutumiskyvyn arviointi, valmiussuunnittelu ja harjoittelu#
Helteisiin liittyvien sopeutumistoimien kustannusvaikuttavuuslaskenta ja -arviointi*
Äärimmäisiin sääolosuhteisiin liittyvän huoltovarmuuden ja palvelujärjestelmän toiminnan edelleen kehittäminen ja ylläpito sekä yhteiskunnan yleisen toimivuuden turvaaminen*#
Helteisiin liittyvien riskikartoitusten ja sopeutumistoimenpiteiden kehittäminen ja käyttöönotto eri tasoilla ja sektoreilla*#
Helteisiin liittyvien sopeutumistoimenpiteiden seurannan ja vaikutusarvioinnin kehittäminen ja käyttöönotto*
Kansallisten mittareiden kehittäminen ja käyttöönotto sopeutumistoimien arviointiin#
Sään ääriolosuhteiden vaikutuksiin liittyviin kansallisiin ja kansainvälisiin heijastevaikutuksiin varautuminen*#
Äärimmäisiin sääolosuhteisiin liittyvä lisääntyvä kansainvälinen ja kansallinen poliittinen, viranomais- ja tutkimusyhteistyö sekä tietojen vaihto*#
Ilmastonäkökulma ja sopeuttavat toimet vahvemmin osaksi kansallista ja EU:n kehityspolitiikkaa, kehitysyhteistyötä, investointeja ja rahoitusinstrumentteja*#
Poliittinen sitoutuminen ilmastonmuutokseen liittyvien sopeutumistoimien toteuttamiseen
Sopeutumisen ja sopeutumista tukevien rakenteiden nykytilan sekä tulevien sopeutumistarpeiden tunnistaminen*
Helteisiin liittyvään tutkimukseen ja sopeutusratkaisujen kehittämiseen allokoitava rahoitus ja muu resurssointi*
Sopeutumistoimiin liittyvien kokeilu-, selvitys- ja kehityshankkeiden edistäminen ja rahoitus*#
Poikkitieteellinen helteisiin liittyvä tutkimus, tuotekehitys sekä yhteistyö ja tiedonsiirto tiedon tuottajien ja tiedon loppukäyttäjien välillä*
Helteisiin ja sen sopeutumistoimiin liittyvän koulutuksen ja viestinnän (mukaan lukien ohjeistava materiaali) kehittäminen ja toteuttaminen*
Riskitietoisuuden lisääminen eri tasoilla*
Ilmastonmuutoksen vaikutusten ja sopeutumistoimien sisällyttäminen opetussuunnitelmiin ja tutkinnon perusteisiin eri koulutustasoilla#
Helteisiin liittyvien vastuiden ja toimintaohjeiden kehittäminen ja käyttöönotto (mukaan lukien kuumatyöohjeet) eri tasoilla ja sektoreilla*
Helleolosuhteille altistumisen hallintaan liittyvän lainsäädännön ja ohjausjärjestelmien kehittäminen*#

Helteille altistumisen hallintaan liittyvät viranomaisohjeet ja suositukset, mukaan lukien eri hallinnonalojen strategiat ja ohjelmat#
Ilmastonmuutoksen ja sen vaikutukset huomioivien vakuutusjärjestelmien ja -toiminnan kehittäminen ja käyttöönotto
Viileiden (heijastavien) pintojen kehittäminen ja käyttöönotto rakentamisessa ja rakennuksissa*
Herkkien väestöryhmien tunnistaminen ja suojaaminen helteiltä ja niiden haitallisilta vaikutuksilta*
Viher- ja vesirakentaminen sekä näiden ympäristöjen ylläpito ja hoito*
Viherkerroin työkalun kehittäminen ja käyttöönotto
Viherkattojen ja/tai viherseinien kehittäminen ja käyttöönotto rakentamisessa ja rakennuksissa
Ilmansaasteiden, lämpötilojen ja kosteuden alueellinen seuranta ja tiedottaminen

*Huomioitu ainakin joiltakin osin Sosiaali- ja terveysministeriön ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnitelmassa;

#Huomioitu ainakin joiltakin osin Kansallisessa ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelmassa 2022.

Liitetaulukko 2b. Kansalliseen kirjallisuuteen perustuva lista potentiaalisista ilmastonmuutokseen sopeuttavista ja kuuma-altistukseen kytkeytyvistä terveysperusteisista indikaattoreista.

Tekijä	Indikaattori
Kuuma-altistuminen (> +25 °C)	Hellepäivien lukumäärä vuodessa (kpl/a)
	Hellejaksojen pituus (vuorokausia)
	Hellejaksojen lukumäärä (kpl/a)
	Helteestä johtuvien sairaanhoitokäyntien määrä vuodessa (kpl/a)
	Helteestä johtuvien tautitilojen (diagnoosien) määrä vuodessa (kpl/a)
	Kuumalle altistumisen vaikutus työ- ja toimintakykyyn
	Hellekuolemien lukumäärä vuodessa (kpl/a)
Sopeutumistoimet, varautuminen	Helteisiin liittyvien varoitusjärjestelmien määrä ja saavuttavuus
	Hellevaroitusten lukumäärää vuodessa (kpl/a)
	Helteisiin liittyvien tarpeiden huomiointi kunnallisessa päätöksenteossa, kunnan maankäytön suunnittelussa ja ohjauksessa sekä rakentamisessa
	Osuus kaupungeista/maakunnista, joilla on helteisiin liittyvä riskienhallinta-, sopeutumis- ja toimintasuunnitelma
	Osuus kaupungeista/maakunnista, jotka ovat toteuttaneet helteisiin liittyviä riskikartoituksia ja sopeutumistoimenpiteitä
	Osuus kaupungeista/maakunnista, jotka ovat toteuttaneet helteisiin liittyvien sopeutumistoimenpiteiden seurannan ja vaikutusarvioinnin
	Resurssien määrä (osuus), joka allokoidaan kansallisesti helteisiin liittyvään tutkimukseen ja sopeutusratkaisujen löytämiseen
	Resurssien määrä (osuus) joka allokoidaan helteisiin liittyviin sopeutumistoimiin alueella/kunnassa
	Helteisiin ja sen sopeutumistoimiin liittyvän ohjeistavan materiaalin määrä, saatavuus ja saavuttavuus
	Kunnan/alueen henkilöiden määrä (osuus), joka on tietoinen/koulutettu helteiden edellyttämien sopeutumistoimenpiteiden toteuttamiseen
	Helteisiin liittyvät vastuut ja toimintaohjeet (mukaan lukien kuumatyöohjeet) eri kunnan sektoreille/toimijoille
	Viileiden (heijastavien) pintojen määrä (peittävän alan osuus) alueella/kunnassa
	Asuntojen/tilojen määrä (osuus), joissa ei ole viilennyslaitetta ja/tai viilennyskeinoja
	Asuntojen/tilojen (osuus) määrä, jotka ovat vaarassa ylittää sallitut, laissa määritetyt enimmäislämpötilatasot

	(Kunnallisten) sisätilojen osuus, joiden lämpötilaolosuhteita voidaan seurata ja hallita
	Viileiden ympäristöjen ja viilennettyjen sisätilojen sijainti, saavutettavuus ja niistä tiedottaminen alueella/kunnassa
Väestön ja ympäristön ominaispiirteet	Vanhusten/herkkien väestöryhmien määrä alueella/kunnassa
	Työttömien/sosiaalietuuksia saavien määrä alueella/kunnassa
	Kasvillisuuden ja vesistöjen peittämä osuus kunnan pinta-alasta
	Vettä läpäisemättömien pintojen peittämä osuus kunnan pinta-alasta
	Puiden määrä (peittävän alueen osuus) alueella/kunnassa
	Viherkattojen ja/tai viherseinien lukumäärä (peittämän alueen osuus) kunnassa
	Ilmansaastepitoisuus alueella/kunnassa
	Lämpötila/lämmön jakautuminen alueella/kunnassa
	Ilmankosteus ja kosteuden jakautuminen alueella/kunnassa

Liitetaulukoiden 2a ja 2b lähteet:

Helsingin ilmastonmuutokseen sopeutumisen linjaukset 2019–2025. Helsingin kaupungin keskushallinnon julkaisuja 2019:27. 48 s.; https://www.hel.fi/static/kanslia/Julkaisut/2019/Ilmasto_Sopeutumislinjaukset.pdf

Häkämies, S., Moisio, M., Sepponen, S., Halonen, M. 2021. Pääkaupunkiseudun ilmastonmuutokseen sopeutumisen strategian arviointi. Gaia Consulting Oy. 27 s.

Ilmastokestävä Eurooppa - Uusi EU:n strategia ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Euroopan komissio 2021; 27 s (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0082&from=EN>)

Ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian arviointi. Työryhmämääntö MMM 2013:5; 123 s (<https://mmm.fi/documents/1410837/0/MMM-TRM-2013-5.pdf/4b84ab26-0c25-6692-8bec-d3d85f086118/MMM-TRM-2013-5.pdf?t=1594804113582>)

Kankaanpää, S. Indikaattorit ilmastonmuutokseen sopeutumisen seurannassa. HSY; https://www.ymk-projektit.fi/suunnitteluopas/files/2014/07/ILKKA_raportti_indikaattorit.pdf

Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelma 2022. Maa- ja metsätalousministeriö 5/2014; 39 s (https://mmm.fi/documents/1410837/1720628/2014_5_Ilmastonmuutos.pdf/8a446702-2960-44b8-9e02-c21598a472de/2014_5_Ilmastonmuutos.pdf.pdf/2014_5_Ilmastonmuutos.pdf/2014_5_Ilmastonmuutos.pdf?t=1442820245000)

Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelma 2030. VNS 15/2022 vp. PDF-julkaisu verkossa sivulla: <https://mmm.fi/kansallinen-sopeutumis suunnitelma/kiss2030>

Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J. ym. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005, MMM, Helsinki. 276 s.

Meriläinen, P., Paunio, M., Kollanus, V. ym. 2021. Ilmastonmuutos sosiaali- ja terveyssektorilla, Sosiaali- ja terveysministeriön ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnitelma (2021–2031). Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2021:20. STM, Helsinki. 106 s.

Mäkinen, K. ym. 2019. Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelman 2022 toimeenpanon väliarviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:11; 178 s (https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161498/11_2019_Kansallisen%20ilmastonmuutoksen%20ss%202022%20tp%20valiarviointi_netiti.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pääkaupunkiseutu sopeutuu ilmastonmuutokseen – Katsaus sopeutumiseen vuonna 2019. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. 34 s; <https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseutu-sopeutuu-ilmastonmuutokseen-2019.pdf>

Ritva Asula-Myllynen, R., Vihanta, A. 2020. Ilmastotyön tiekartta - Kohti hiilineutraalia kaupunkiseutua 2030. Tampereen kaupunkiseutu; <https://tampereenseutu.fi/wp-content/uploads/2020/12/Ilmastotyön-tiekartta.pdf>

Sopeutuminen - Sopeutumisen indikaattorit. Helsingin seudun ympäristöpalvelut, HSY.; <https://www.hsy.fi/ilmantaatu-ja-ilmasto/sopeutuminen/>

Sjöblom, L., Stambej, T. & Olsen, S. 2019. Espoon kaupungin kestävän energian ja ilmaston toimintasuunnitelma (SECAP). Espoon kaupunki, Benviroc Oy, 121 s; https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/documents/8/tJ9caRcG0dNZZfmV621S2HdxNOe3AAtz.pdf

Tuomimaa, J. 2020. Kaupunkien lämpösaarekeilmiöön sopeutumisen indikaattorit – tapaustutkimuksena Helsinki. Pro Gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto, Ympäristömuutoksen ja Globaalin kestävyuden maisteriohjelma. 54 s; https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/318858/Tuomimaa_Julia_Tutkielma_2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y
Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027, EU:n alue- ja rakennepolitiikan ohjelma (Ohjelmaversio 6, 28.10.2020). 101 s; https://www.pohjois-savo.fi/media/liitetiedostot/eu/koheesiopolitiikka/ohjelmaversio6_luonnos_28102020.pdf
Ympäristöhallinnon ilmastomuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma 2022. YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 25 | 2016. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto; 37 s, https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75594/YMra_25_2016_ilmastomuutokseen.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Liitetaulukko 2c. Systemaattiseen kirjallisuushakuun perustuva listaus suomalaista aineistoa hyödyntävistä tai Suomessa toteutetuista hellejaksojen / äärikuuman terveysvaikutuksia käsittelevistä tutkimuksista.

Kirjoittaja	Tutkimuk- sen kohdealue	Tutkimus- tyyppi	Tutkimusjakso ja tutkimukseen osallistujien lukumäärä	Altiste	Vaste	Päätulokset
Baccini ym. 2008	Helsinki ^a	Aikasarja- tutkimus	Huhti–syyskuu 1990–2000	Päivittäinen (apparent) maksimi- lämpötila	Kaikista syistä johtuva kuollei- suus	Yhden asteen lisäys päivittäisessä (apparent) maksimilämpötilan lisäyksessä kynnyslämpötila +23,6 °C (95 % CI 21,7– 25,5) yläpuolella oli yhteydessä 3,72 (1,68–5,81) prosentin lisäykseen kuolleisuudessa.
Baccini ym. 2011	Helsinki ^a	Aikasarja- tutkimus	Huhti–syyskuu 1990–2000	Päivittäinen (apparent) maksimiläm- pötila	Kaikista syistä johtuva kuollei- suus	Prosenttimuutos kuolleisuudessa jokaista yhden asteen lisäystä päivittäisessä (apparent) maksimilämpötilassa, kun kynnyslämpötila (+23,4 °C) ylittyy, oli 3,85 (95 % CI: 0,38–7,78) 15–64 v., 4,12 (0,72–8,01) 65–74 v. ja 1,96 (-0,33–4,27) 75+ v. ryhmissä.
Baccini ym. 2013	Helsinki ^a	Aikasarja- tutkimus	Huhti–syyskuu 1990–2000	Maksimi- lämpötila	Helteen vuoksi menetyt elin- vuodet	Vuosittain helteen vuoksi menetettiin 18 elinvuotta (80 % CI: 6–31; harvesting - vaikutus vakioitu).
Näyhä ym. 2013	Suomi ^b	Poikki- leikkaus- tutkimus	Tammi– maaliskuu 2007 n = 4007	Helle	Heltee- seen liittyvät oireet	81 % osallistujista ilmoitti ainakin jostakin lämpörasitusoireesta kuten janon tunne, suun kuivuminen, heikentynyt kestävyys, unihäiriöt sekä sydän-, verisuoni- ja hengityselimiin liittyvät oireet. Sydän- ja verenkiertoelimistön ja hengitysteiden oireet lisääntyivät iän myötä. Pääosa oireista esiintyi runsaampana naisilla kuin miehillä.
Kollanus & Lanki 2014	Suomi (pois lukien Pohjois- Suomi)	Aikasarja- tutkimus	2003 ja 2010	Hellejaksot ^c	Kaikista syistä johtuva kuollei- suus	Päivittäinen hellejaksojen aikainen kuolleisuus lisääntyi merkittävästi yli 75- vuotiailla (keskimäärin 21 %). Naisten kuolleisuus lisääntyi enemmän kuin miesten.
De' Donato ym. 2015	Helsinki ^d	Aikasarja- tutkimus	Huhti–syyskuu 1996–2002 (jakso 1) ja 2004–2010 (jakso 2)	Päivittäinen keskilämpö- tila	Kaikista syistä johtuva kuollei- suus	Suhteellinen päivittäinen kokonaiskuolleisuusriski (RR, 95 % CI) ensimmäisellä ja toisella tutkimusjaksolla: 1,02 (0,93–1,12) ja 1,24 (1,14–1,35). Hengitystieperäinen kuolleisuusriski 1. jaksolla 1.42 (1.05–1.92). Vastaavasti sydän- ja verenkiertoelinperäinen

						kuolleisuusriski 2. jaksolla 1.18 (1.02–1.35).
Baker-Austin ym. 2016	Suomi ja Ruotsi	Kohortti-tutkimus (retrospektiivinen)	Touko–joulukuu 2014, n = 89 (tapauksia Suomessa ja Ruotsissa yhteensä)	Meriveden pintalämpötila	Vibrio-infektiot	Kesän poikkeukselliset helleolosuhteet olivat vastuussa infektioiden ajallisesta ja alueellisesta jakautumisesta.
Näyhä ym. 2017	Suomi ^b	Poikki-leikkaus-tutkimus	2007, n = 4007	Lämmin ja kuuma sää	Lämpimään/kuumaan säähän liittyvät oireet ja valitukset	Lämmöstä johtuvien sydän- ja hengitystieoireiden esiintyvyys oli 12 %. Oireet lisääntyivät iän myötä. Oieriski oli yhteydessä mm. työttömyyteen, matalaan koulutustasoon, runsaaseen alkoholin käyttöön, naissukupuoleen, raskaaseen fyysiseen työhön ja inaktiivisuuteen vapaa-ajalla.
Ruuhela ym. 2017	Helsinki-Uusimaa	Aika-sarja-tutkimus	1972–2014, n = 465 553	Ääriämpötilat	Kaikista syistä ja ikäluokista johtuva kuolleisuus	Suhteellinen kuolleisuus oli suurempaa äärikuumassa kuin äärikuulessa. Riskin lisäys voimakkainta ≥ 75 v. keskuudessa. Herkkyys lämpöstressiin väheni viime vuosikymmenien aikana.
Gasparrini ym. 2017	Helsinki ^e	Aikasarja-tutkimus	Tammikuu 1994 – joulukuu 2011, n = 130 325	Päivittäinen keskilämpötila	Kaikista syistä johtuva kuolleisuus	Ilmastokenaarioissa RCP 2,6 ^f ja RCP 8,5 ^g arvioitu prosenttilisäys ylimääräisessä kuolleisuudessa 1,8 % (1,0–3,1) ja 3,5 % (2,0–5,5) vuosiin 2050–2059 mennessä.
Guo ym. 2018	Helsinki ^e	Aikasarja-tutkimus	1994–2011, n = 130 325	Hellejaksot	Kuolleisuus	Hellejaksoihin kytkeytyvä suhteellinen kuolleisuusriski (RR): 1,13 (95 % CI 1,05–1,22).
Ruuhela ym. 2018	21 sairaanhoitopiiriä	Aikasarja-tutkimus	2000–2014	Päivittäinen keskilämpötila	Kaikista syistä johtuva päivittäinen kuolleisuus	Verrattuna minimikuolleisuuslämpötilaan (+14 °C) suhteellinen kuolleisuusriski (RR) kasvoi 16 % +24 °C:een lämpötilassa (95 % CI 1,12–1,20).
Kuhn ym. 2020	Pohjoismaat (Tanska, Suomi, Norja, ja Ruotsi)	Aikasarja-tutkimus	2000–2015, n = 64 034; ilmoitetut kampakylo-bakteeritapaukset	Viikottainen keskilämpötila, hellejaksojen määrä	Kampylo bakteeritapaukset	Kesän aikainen viikoittainen ennuste kampakylobakteeritapauksien lisääntymänä yhdistetyssä aineistossa oli 13 %, kun keskilämpötila nousi 1 °C. Vuosittain keskimäärin ilmaantuvien tapauksien ja ylimääräisten tapauksien määrän ennustetaan kasvavan Suomessa vuosisadan loppuun mennessä
Lee ym. 2020	Helsinki ^e	Aikasarja-tutkimus	1994–2011, n = 130 395	Päivittäinen lämpötilavaihtelu	Kaikista syistä johtuva päivittäinen kuolleisuus	Ylimääräisen kuolleisuuden kytkeytyminen päivittäiseen lämpötilavaihteluun (DTR): (95 % CI): 2,4 (-2,8–7,2). Päivittäiseen lämpötilavaihteluun kytkeytyvä kuolleisuusriski interkvartaalivaihtelun (IQR) lisäystä kohden neljänä lämpimimpänä kuukautena oli 2,3 (-0,8–5,6).
Sohail ym. 2020	Helsingin metropoli-alue	Aikasarja-tutkimus	Heinä–elokuu 2001–2017	Päivittäinen keskilämpötila ja hellejaksot	Sydän- ja hengitystieoireista johtuva terveydenhuollon	Sekä lyhyet että pitkät hellejaksot liittyivät lisääntyneeseen keuhkokuumeeseen. ≥ 75 -vuotiaiden ikäryhmässä pitkät hellejaksot liittyivät hengitystieoireista johtuviin sairaanhoitoihin. Lyhyet hellejaksot olivat yhteydessä hengitystiesairauksiin ja

					palveluiden käyttö	keuhkohtaumataudista johtuviin hoitojaksoihin 18–64 v. ikäryhmässä ja sydäninfarktiin 65–74 v. ikäryhmässä. Rytmihäiriöiden riski pieneni hellejaksojen aikana.
Kollanus ym. 2021	Suomi, pois lukien Lappi ja Ahvenanmaa	Aikasarjatutkimus	Touko–elokuu 2000–2014, n = 208 315	Hellejaksot ^h	Kaikki ICD-10 tautiluokituksen perustuvat kuolemat (pois lukien onnettomuudesta johtuvat)	Sekä lyhyet (4–5 päivää) että pitkät (≥ 10 päivää) hellejaksot lisäsivät kuolleisuutta 9,9 % (95 % CI 7,7–12,1). Vaikutusarviot olivat suuremmat pitkällä hellejaksoilla. Naiset ja ikääntyneet olivat suuremmassa riskissä. Suurin kokonaiskuolleisuuden nousu havaittiin munuaissairauksissa (keskiarvio kaikille ikäryhmille 38,4 %), mielenterveys- ja käyttäytymishäiriöissä (29,7 %) sekä hengityselinten sairauksissa (25,3 %). 65–74-vuotiailla poikkeuksellisen korkeille lämpötiloille altistumisen ja lisääntyneen kuolleisuusriskin yhteys oli tilastollisesti merkitsevä aivoverisuonisairauksien, kroonisten alahengitystiesairauksien sekä mielenterveys- ja käyttäytymishäiriöiden suhteen.
Ruuhela ym. 2021	Helsingin kaupunki sekä Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoito piiri (HUS)	Aikasarjatutkimus	2000–2018 ⁱ	Päivittäinen keskilämpötila	Kaikista syistä johtuva päivittäinen kuolleisuus	Hellejaksot lisäsivät kaikista syistä johtuvaa kuoleman riskiä kaikenikäisten ja yli 75 v. keskuudessa Helsingissä. Kuolleisuusriskit olivat +24 °C lämpötilassa Helsingissä (kaikkien ikäluokkien yhdistetty RR 1,30, 95 % CI 1,01–1,69) ja muualla Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin alueella (1,16, 0,90–1,45). Vastaavasti 75+ v. keskuudessa 1,56 (1,11–2,19) ja 1,36 (0,97–1,90).
Vicedo-Cabrera ym. 2021	Helsinki ^e	Aikasarjatutkimus	1994–2014, n = 48810	Päivittäinen keskilämpötila	Kaikista syistä johtuva kuolleisuus	Ihmisen aiheuttamaan ilmastonmuutokseen kytkeytyvien vuosittaisten hellekuolemien keskimääräinen lukumäärä (95 % CI) 16 (0–29). Ilmastonmuutoksen liittyvien hellekytkentäisten kuolemien osuus 42,0 %.
Wu ym. 2022	Helsinki ^e	Aikasarjatutkimus	1994–2014, n = 153 308	Lyhytaikainen lämpötilavaihtelu	Kaikista syistä johtuva kuolleisuus	Prosenttimuutos kuolleisuudessa, joka kytkeytyy interkvartaalikohtaiseen lisäykseen lämpötilavaihtelussa: 0,35 (95 % CI 0,33–0,37).
Alahmad ym. 2023	Helsinki ^e	Aikasarjatutkimus	1987–2018, n = 90 992	Päivittäiset keskilämpötilat	Sydän- ja verenkierroelinperäinen kuolleisuus	Minimikuolleisuuslämpötila (MMT) oli +18,4 °C. Äärimmäisestä kuumuudesta johtuva yhdistetty sydän- ja verenkierroelinperäisten kuolemien suhteellinen riski (99 prosenttipiste vs. MMT) oli 1,12 (1,07–1,17). Äärimmäisen kuumiin lämpötiloihin (≥ 97,5 prosenttipiste) ja kaikkiin kuumiin lämpötiloihin (> MMT) liittyvät ylimääräiset yhdistetyt sydän- ja verenkierroelinperäiset kuolemat (1000 kuolemaa kohden) olivat 3,05 (0,82–4,94) ja 3,7 (0,69–6,21).

Masselot ym. 2023	Helsinki ^e	Aikasarjatutkimus	1994–2011, n = 130 395	Päivittäiset keskilämpötilat	Ei-ulkoisista syistä johtuva kuolleisuus	Vuosittainen helteestä johtuva ylimääräisten kuolemien määrä, standardoitu ylimääräisen kuolleisuuden taso 100 000 henkilövuotta kohden ja sairausosuus (%) ≥ 20 v. keskuudessa oli 69 (26–108), 5 (2–8) ja 0,29 (0,11–0,45).
-------------------	-----------------------	-------------------	------------------------	------------------------------	--	---

Liitetaulukon 2c lähteet:

- Alahmad, B., Khraishah, H., Royé, D. ym. 2023. Associations Between Extreme Temperatures and Cardiovascular Cause-Specific Mortality: Results From 27 Countries. *Circulation*, 147(1), 35–46. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.061832>.
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G. 2008. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology* 19(5) 711-719. doi: 10.1097/EDE.0b013e318176bfcd.
- Baccini, M., Kosatsky, T., Analitis, A., Anderson, H. R., D'Ovidio, M., Menne, B., Michelozzi, P., Biggeri, A., Kirchmayer, U., de'Donato, F., D'Ovidio, M., D'Ippoliti, D., Marino, C., McGregor, G., Accetta, G., Katsouyanni, K., Kassomenos, P., Sunyer, J., Atkinson, R., ... Kalkstein, L. S. 2011. Impact of heat on mortality in 15 European cities: Attributable deaths under different weather scenarios. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 65(1), 64–70. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.085639>.
- Baccini, M., Kosatsky, T., & Biggeri, A. 2013. Impact of Summer Heat on Urban Population Mortality in Europe during the 1990s: An Evaluation of Years of Life Lost Adjusted for Harvesting. *PLoS ONE*, 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069638>.
- Baker-Austin, C., Trinanes, J. A., Salmenlinna, S. ym. 2016. Heat wave-associated vibriosis, Sweden and Finland, 2014. *Emerging Infectious Diseases*, 22(7), 1216–1220. <https://doi.org/10.32032/eid2207.151996>.
- de'Donato, F.; Leone, M.; Scortichini, M. ym. 2015. Changes in the Effect of Heat on Mortality in the Last 20 Years in Nine European Cities. Results from the PHASE Project. *Int J Environ Res Public Health* 12(12): 15567–15583. doi: 10.3390/ijerph121215006.
- Gasparrini A., Guo Y., Sera, F. ym. 2017. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planet Health*; 1:360–7.
- Guo, Y., Gasparrini, A., Li, S. ym. 2018. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. *PLoS Medicine*, 15(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629>.
- Kollanus, V. & Lanki, T. 2014. 2000-luvun pitkittyneiden helleaaltojen kuolleisuusvaikutukset Suomessa. *Duodecim*, 130, 983–990.
- Kollanus, V., Tiittanen, P., Lanki, T. 2021. Mortality risk related to heatwaves in Finland – Factors affecting vulnerability. *Environmental Research*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111503>.
- Kuhn, K.G., Nygård, K. M., Guzman-Herrador, B. ym. 2020. *Campylobacter* infections expected to increase due to climate change in Northern Europe. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70593-y>.
- Lee, W., Kim, Y., Sera, F. ym. 2020. Projections of excess mortality related to diurnal temperature range under climate change scenarios: a multi-country modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 4(11), e512–e521. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30222-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30222-9).
- Masselot, P., Mistry, M., Vanoli, J. ym. 2023. Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe. *The Lancet Planetary Health*, 7(4), e271–e281. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00023-2).
- Näyhä, S., Rintamäki, H., Donaldson, G. ym. 2013. Heat-related thermal sensation, comfort and symptoms in a northern population: The National FINRISK 2007 study. *European Journal of Public Health*, 24(4), 620–626. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckt159>.
- Näyhä, S., Rintamäki, H., Donaldson, G. ym. 2017. The prevalence of heat-related cardiorespiratory symptoms: the vulnerable groups identified from the National FINRISK 2007 Study. *International Journal of Biometeorology*, 61(4), 657–668. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1243-7>.
- Ruuhela, R., Jylhä, K., Lanki, T., Tiittanen, P., Matzarakis, A. 2017. Biometeorological assessment of mortality related to extreme temperatures in Helsinki region, Finland, 1972–2014. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14(8), 944.
- Ruuhela, R., Hyvärinen, O., Jylhä, K. 2018. Regional assessment of temperature-related mortality in Finland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph15030406>
- Ruuhela, R., Votsis, A., Kukkonen, J. ym. 2021. Temperature-Related Mortality in Helsinki Compared to Its Surrounding Region Over Two Decades, with Special Emphasis on Intensive Heatwaves. *Atmosphere* 12(1):46. <https://doi.org/10.3390/atmos12010046>.

- Sohail, H., Lanki, T., Kollanus, V., Tiittanen, P., Schneider, A. 2020. Heat, heatwaves and cardiorespiratory hospital admissions in Helsinki, Finland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217892>.
- Vicedo-Cabrera, A. M., Scovronick, N., Sera, F. ym. 2021. The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nature Climate Change*, 11(6), 492–500. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>.
- Wu, Y., Li, S., Zhao, Q., Wen, B. ym. 2022. Global, regional, and national burden of mortality associated with short-term temperature variability from 2000–19: a three-stage modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 6(5), e410–e421. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00073-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00073-0).

LÄHTEET

- Alvi, U., Suomi, J., Käyhkö, J. 2022. A cost-effective method for producing spatially continuous high-resolution air temperature information in urban environments. *Urban climate* 42. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101123>.
- Armstrong McKay, D.I., Staal, A., Abrams, J.F. ym. 2022. Exceeding 1.5 C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, 377(6611), eabn7950.
- Anderson, G.B. & Bell, M.L. 2009. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*. 20:205–213.
- Ara Begum, R., Lempert, R., Ali E. ym. 2022. Point of departure and key concepts. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. et al., (toim.)]. Cambridge University Press.
- Arifwidodo S.V. & Chandrasiri O. 2020. Urban heat stress and human health in Bangkok, Thailand. *Environ. Res.*, 185, p. 109398, doi: 10.1016/j.envres.2020.109398.
- Armstrong B., Bell M.L., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M. ym. 2017. Longer-term impact of high and low temperature on mortality: an international study to clarify length of mortality displacement. *Environmental Health Perspectives* 125(10):107009. <https://doi.org/10.1289/EHP1756>.
- Arnkil, N.; Lilja-Rothsten, S.; Juntunen, R. ym. 2017. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen indikaattorit seurannan työkaluna., Tapio, Helsinki. ISSN 2342-804X (pdf).
- Baker-Austin, C., Trinanes, J. A., Salmenlinna, S. ym. 2016. Heat wave-associated vibriosis, Sweden and Finland, 2014. *Emerging Infectious Diseases*, 22(7), 1216–1220. <https://doi.org/10.32032/eid2207.151996>.
- Balk, D., Tagtachian, D., Jiang, L. 2022. Frameworks to envision equitable urban futures in a changing climate: a multi-level, multidisciplinary case study of New York City. *Frontiers in the Built Environment – Urban Science*, 8: 949433, <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.949433>.
- Basagaña, X., Sartini, C., Barrera-Gómez, J. ym. 2011. Heat waves and cause-specific mortality at all ages. *Epidemiology*. 22(6):765-72. doi: 10.1097/EDE.0b013e31823031c5.
- Barreca, A., Clay, K., Deschenes, O. ym. 2016. Adapting to climate change: The remarkable decline in the US temperature-mortality relationship over the twentieth century. *Journal of Political Economy*, 124(1), pp.105-159.
- Becker, I., Egger, G., Gerstner, L., Householder, J. E., Damm, C. 2021. Using the River Ecosystem Service Index to evaluate “Free Moving Rivers” restoration measures: A case study on the Ammer river (Bavaria). *Int Rev Hydrobiol.* 2022;1–11. DOI: 10.1002/iroh.202102088.
- Berrang-Ford, L., Biesbroek, R., Ford, J.D. ym. 2019. Tracking global climate change adaptation among governments. *Nat. Clim. Chang.* 9, 440–449. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0490-0>.
- Binita, K.C.; Shepherd, J. M.; Anthony W. King; Cassandra Johnson Gaither. 2021. Multi-hazard climate risk projections for the United States. *Natural Hazards* volume 105, pages 1963–1976.
- Bouchama, A., Dehbi, M., Mohamed, G. ym. 2007. Prognostic factors in heat wave related deaths: A meta-analysis. *Archives of Internal Medicine* 167(20): 2170–2176.
- Bowler, Diana E., ym. 2012. "What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature?." *Environmental Evidence* 1 (2012): 1-9 <https://link.springer.com/article/10.1186/2047-2382-1-3>.
- Choi, H.M.; Lee, W.; Roye, D. ym. 2022. Effect modification of greenness on the association between heat and mortality: A multi-city multi-country study. *EBioMedicine*. 2022 Oct; 84:104251. doi: 10.1016/j.ebiom.2022.104251. Epub 2022 Sep 8.

- Chiabai, A.; Spadaro, J.V.; Neumann, M.B. 2018. Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 23, 1159–1176 <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9778-4>.
- Cohen, P.; Potchter, O.; Matzarakis, A. 2012. Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Building and Environment* 51: 285-295. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.020>.
- de´Donato, F.; Leone, M.; Scortichini, M. ym. 2015. Changes in the Effect of Heat on Mortality in the Last 20 Years in Nine European Cities. Results from the PHASE Project. *Int J Environ Res Public Health* 12(12): 15567–15583. doi: 10.3390/ijerph121215006.
- Díaz, J., Sáez, M., Carmona, R. ym. 2019. Mortality attributable to high temperatures over the 2021–2050 and 2051–2100 time horizons in Spain: Adaptation and economic estimate. *Environmental research*, 172, pp.475-485.
- Dilling, L., Prakash, A., Zommers ym. 2019. Is adaptation success a flawed concept?. *Nature Climate Change*, 9(8), pp.572-574.
- EEA Technical report No 20/2015. National monitoring, reporting and evaluation of climate change adaptation in Europe. ISSN 1725-2237. <https://www.ukcip.org.uk/wp-content/PDFs/National-MRE-adaptation-in-Europe.pdf>
- El-Jabi, N. ym. 2014. Water Quality Index Assessment under Climate Change. *Journal of Water Resource and Protection*, 6, 533-542. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.66052>.
- Ellena, M., Breil, M., Soriani, S. 2020. The heat-health nexus in the urban context: A systematic literature review exploring the socio-economic vulnerabilities and built environment characteristics. *Urban Climate*, 34, 100676.
- Esau, I., Miles, V., Soromotin, A. ym. 2021. Urban heat islands in the Arctic cities: An updated compilation of in situ and remote-sensing estimations. *Advances in Science and Research*, 18, pp.51-57.
- Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martínez, G., & Pérez-Martín, M. Á. 2023. Climate Change Risks on Mediterranean River Ecosystems and Adaptation Measures (Spain). *Water Resources Management* (2023) 37:2757–2770.
- EU 2020/1208. Komission täytäntöönpanoasetus, annettu 7 päivänä elokuuta 2020, jäsenvaltioiden Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2018/1999 mukaisesti raportoimien tietojen rakenteesta, muodosta, toimittamistavasta ja tarkastamisesta sekä komission täytäntöönpanoasetuksen (EU) N:o 749/2014 kumoamisesta. L 278/1, liite 1: [L_2020278F1.01000101.xml](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fin/TXT/?uri=CELEX:2020278F1.01000101.xml) (europa.eu).
- Feyisa, G.L., Dons, K., Meilby H. 2014. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning* 123: 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>.
- Fouillet, A., Rey G., Wagner V. ym. 2008. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave, *International Journal of Epidemiology*, Volume 37, Issue 2, Pages 309–317, <https://doi.org/10.1093/ije/dym253>.
- Fuso, F., Stucchi, L., Bonacina, L. ym. 2023. Evaluation of water temperature under changing climate and its effect on river habitat in a regulated Alpine catchment. *Journal of Hydrology*. Volume 616, January 2023, 128816.
- Gasparrini, A. & Armstrong, B. 2011. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology*, 22 (1). pp. 68-73. DOI: 10.1097/EDE.0b013e3181fdcd99.

- Gasparrini, A., Armstrong, B., Kovats, S., Wilkinson, P. 2012. The effect of high temperatures on cause-specific mortality in England and Wales. *Occupational and Environmental Medicine* 69:56-61. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2010.059782>.
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M. ym. 2015. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet* 386(9991): 369-375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0).
- Gasparrini A., Guo Y., Sera, F. ym. 2017. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planet Health*; 1:360–7.
- Groundstroem, F. & Juhola, S. 2019. A framework for identifying cross-border impacts of climate change on the energy sector. *Environ Syst Decis* 39, 3–15, <https://doi.org/10.1007/s10669-018-9697-2>.
- Hassi, J., Ikäheimo, T., Kujala, V. (toim.). 2011. Terveysthuollon kylmä- ja kuumaopas. Toimintamalli kokeilualueiden toimijoiden käyttöön 2011–12. Pohjois-Pohjanmaan Sairaanhoidopiiri, Oulun Yliopisto, Ympäristöterveyden ja keuhkosairauksien tutkimuskeskus, Oulu. 69 s.
- Holman, I.P., Brown, C., Carter, T.R. ym. 2019. Improving the representation of adaptation in climate change impact models. *Reg Environ Change* 19, 711–721. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1328-4>
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC. 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Johnsson, I. & Balstrøm, T. 2021. A GIS-based screening method to identify climate change-related threats on road networks: A case study from Sweden. *Climate Risk Management*, 33, p.100344.
- Juhola S. & Käyhkö J. 2023. Maladaptation as a concept and a metric in national adaptation policy- Should we, would we, could we? *PLOS Clim* 2(5): e0000213. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000213>.
- Juhola, S., Glaas, E., Linnér, B.O. and Neset, T.S. 2016. Redefining maladaptation. *Environmental Science & Policy*, 55, pp.135-140.
- Juhola S., Käyhkö J., Hildén M. 2022. Sopeutumispoliitikan seurannan ja arvioinnin keskeiset haasteet. Helsinki, Suomen ilmastopaneeli. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/04/Ilmastopaneelin-muistio_sopeutumispoliitikan-seurannan-ja-arvioinnin-keskeiset-haasteet.pdf
- Jurgilevich, A., Käyhkö, J., Räsänen, A. ym. 2023. Factors influencing vulnerability to climate change-related health impacts in cities - a conceptual framework. *Environment International*, 173, [107837]. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107837>.
- Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelma 2030. VNS 15/2022 vp. PDF-julkaisu verkossa sivulla: <https://mmm.fi/kansallinen-sopeutumis suunnitelma/kiss2030>.
- Kenny, G.P., J. Yardley, C. Brown; R.J. Sigal, O. Jay. 2010. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal* 182(10): 1053–1060.
- Kleerekoper, L., Van Esch, M., Salcedo, T. B. 2012. How to Make a City Climate-Proof: Addressing the Urban Heat Island Effect. In *Planning for Climate Change* (pp. 250-262). Routledge.

- Klostermann, J., van de Sandt, K., Harley, M. ym. 2018. Towards a framework to assess, compare and develop monitoring and evaluation of climate change adaptation in Europe. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 23, 187–209 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9678-4>.
- Knight, T., Price, S., Bowler, D. ym. 2021. How effective is ‘greening’ of urban areas in reducing human exposure to ground-level ozone concentrations, UV exposure and the ‘urban heat island effect’? An updated systematic review. *Environ Evid* 10, 12 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13750-021-00226-y>.
- Kollanus, V. & Lanki T. 2021. Helteen terveyshaitat ja niiden ehkäisy Suomessa. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpaperi 14/2021. 53 sivua. Helsinki 2021. ISBN 978-952-343-673-2 (verkkojulkaisu).
- Kollanus, V., Tiittanen, P., Lanki, T. 2021. Mortality risk related to heatwaves in Finland – Factors affecting vulnerability. *Environmental Research*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111503>.
- Käyhkö, J. 2019. Climate risk perceptions and adaptation decision-making at Nordic farm scale – a typology of risk responses. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 17(6), 431-444. <https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1689062>.
- Landreau, A., Juhola, S.; Jurgilevich, A., Räsänen A. 2021. Combining socio-economic and climate projections to assess heat risk. *Climatic Change* 167(12). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03148-3>.
- Leiter, T. 2021. Do governments track the implementation of national climate change adaptation plans? An evidence-based global stocktake of monitoring and evaluation systems. *Environmental Science & Policy*, 125, pp.179-188.
- Leiter, T. & Pringle, P. 2018. In Martinez, G. and Christiansen, L.: Adaptation metrics: perspectives on measuring, aggregating and comparing adaptation results. *Adaptation metrics: Perspectives on measuring, aggregating and comparing adaptation results*, p.6. <https://tech-action.unepdtu.org/wp-content/uploads/2018/03/udp-perspectives-adaptation-metrics-web-1.pdf#page=31>.
- Mathieu, K. & Karmali, M. 2016. “Vector-borne diseases, climate change and healthy urban living: Next steps,” *Canada Commun. Dis. Rep.*, vol. 42, no. 10, pp. 220–221, Oct. 2016, doi: 10.14745/ccdr.v42i10a13.
- Marzi S. ym. 2021. Assessing future vulnerability and risk of humanitarian crises using climate change and population projections within the INFORM framework. *Global Environmental Change*. Volume 71, November 2021, 102393.
- Miles, V. & Esau, I. 2020. Surface urban heat islands in 57 cities across different climates in northern Fennoscandia. *Urban Climate*, 31, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100575>.
- Meier, H.M., Kniebusch, M., Dieterich, C. ym. 2022. Climate change in the Baltic Sea region: a summary. *Earth System Dynamics*, 13(1), pp.457–593.
- Meriläinen, P. (toim.). 2021. Ilmastonmuutos sosiaali- ja terveyssektorilla – Sosiaali- ja terveysministeriön ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnitelma (2021–2031). Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2021:20, s. 106. ISBN 978-952-00-5410-6. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-5410-6>.
- Morrill, J. C., Bales, R. C., Conklin, M. H. 2005. Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality. *Journal of Environmental Engineering* Volume 131, Issue 1.
- Moss, R. ym. 2008. *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies* (PDF). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 132.
- Mäkinen, Prutsch, Karali ym. 2018. Indicators for adaptation to climate change at national level - Lessons from emerging practice in Europe. European Topic Centre on Climate Change impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA) Technical paper 2018/3.
- Nalau, J. & Cobb, G. 2022. The strengths and weaknesses of future visioning approaches for climate change adaptation: A review. *Global Environmental Change*, 74, 102527.

- Nassopoulos, H., Dumas, P., Hallegatte, S. 2012. Adaptation to an uncertain climate change: cost benefit analysis and robust decision making for dam dimensioning. *Climatic Change* 114, 497–508 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0423-7>.
- Nelson, M. 1999. Index of River Condition for the Brid River Catchment. Report Series WRA 99/18.
- Neset, T-S., Wiréhn, L., Klein, N. ym. 2019. Maladaptation in Nordic Agriculture. *Climate Risk Management*, 23, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.12.003>.
- Näyhä, S., Rintamäki, H., Donaldson, G. ym. 2013. Heat-related thermal sensation, comfort and symptoms in a northern population: The National FINRISK 2007 study. *European Journal of Public Health*, 24(4), 620–626. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckt159> [OECD \(Organisation for Economic Co-operation and Development\), 2002](https://www.oecd.org/)
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2002. Aggregated environmental indices: review of aggregation methodologies in use, Organisation for Economic Co-operation and Development Report No. ENV/EPOC/SE(2001)2/FINAL, Paris, France.
- Opach, T., Glaas, E., Hjerpe, M., Navarra, C. 2020. Vulnerability visualization to support adaptation to heat and floods: towards the EXTRA interactive tool in Norrköping, Sweden. *Sustainability*, 12(3), p.1179.
- Oswald, S.M., Hollosi, B., Žuvela-Aloise, M. ym. 2020. Using urban climate modelling and improved land use classifications to support climate change adaptation in urban environments: A case study for the city of Klagenfurt, Austria. *Urban Climate*, 31, p.100582.
- Qi, H. & Altinakar, M. S. 2011. Vegetation Buffer Strips Design Using an Optimization Approach for Non-Point Source Pollutant Control of an Agricultural Watershed. *Water Resour Manage* (2011) 25:565–578 DOI 10.1007/s11269-010-9714-9.
- Reimann, L., Jones, B., Nikolettopoulos, T. ym. 2021. Accounting for internal migration in spatial population projections—a gravity-based modeling approach using the Shared Socioeconomic Pathways. *Environ. Res. Lett.* 16 074025.
- Ruuhela, R., Jylhä, K., Lanki, T., Tiittanen, P., Matzarakis, A. 2017. Biometeorological assessment of mortality related to extreme temperatures in Helsinki region, Finland, 1972–2014. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14(8), 944.
- Ruuhela, R., Votsis, A., Kukkonen, J. ym. 2021. Temperature-Related Mortality in Helsinki Compared to Its Surrounding Region Over Two Decades, with Special Emphasis on Intensive Heatwaves. *Atmosphere* 12(1):46. <https://doi.org/10.3390/atmos12010046>.
- Ryan, P.C. & Stewart, M.G. 2017. Cost-benefit analysis of climate change adaptation for power pole networks. *Climatic Change*, Springer, vol. 143(3), pages 519-533, August.
- Sadeghi, M., Chaston, T., Hanigan, I. ym. 2022. The health benefits of greening strategies to cool urban environments—A heat health impact method. *Building and Environment*, 207, p.108546.
- Salata, F., Golasi I., Petitti D. ym. 2017. Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. *Sustain. Cities Soc.*, vol. 30, pp. 79–96, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.01.006.
- Santamouris, M. 2014. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings* 82(100-113). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>.
- Shortle J., Ollikainen M., Iho, A. 2021. Water Quality and Agriculture. *Economics and Policy for Nonpoint Source Water Pollution*. Palgrave Macmillan.
- Simpson, N.P., Mach, K., Constable, A. ym. 2021. A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth* 4(4) 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>.

- Sohail, H., Lanki, T., Kollanus, V., Tiittanen, P., Schneider, A. 2020. Heat, heatwaves and cardiorespiratory hospital admissions in Helsinki, Finland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217892>.
- STM 2014. Ympäristöterveyden erityistilanteet Opas ympäristöterveydenhuollon työntekijöille ja yhteistyötahoille. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2014:21.
- Suomi, J. & Käyhkö, J. 2012. The impact of environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku, SW Finland. *International Journal of Climatology* 32: 451-463. DOI: 10.1002/joc.2277.
- Susca, T., Zanghirella, F., Colasuonno, L., Del Fatto, V. 2022. Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, p.112100.
- Tajakka, H. (toim.). 2019. *Kaupunkipuiden arvonmäärittämissalli KAM '19 -OPAS*. Viherympäristöliiton julkaisu nro 66. Verkkojulkaisu: <https://www.vyl.fi/ohjeet/kasvillisuuden-arvonmaaritys/>, käyty 16.5.2023.
- Turunen, J., Elbrecht, V., Steinke, D., Aroviita, J. 2021. Riparian forests can mitigate warming and ecological degradation of agricultural headwater streams. *Freshwater Biology* 66(4): 785–798.
- Uusi-Kämpä, J. & Jauhiainen, L. 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 137, Issues 1–2, 15 April 2010, Pages 75-85.
- Uusi-Kämpä J. & Ylärinta, T. 1992. Reduction of sediment, phosphorus and nitrogen transport on vegetated buffer strips. (Research Note). *Agric. Sei. Finl.* 1: 569-575. (Agric. Res. Centre of Finland, Inst. Soils and Environ., SF-31600 Jokioinen, Finland.)
- UNEP 2022. Adaptation Gap Report 2022: Too little, too slow. Saatavilla: [<https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2022>]
- Ung-Lanki, S., Vartiainen, A.-K., Kollanus, V., Lanki, T. 2017. Helle terveysriskinä: Varautuminen ja riskinhallinta hoitolaitoksissa ja kotihoidossa. *Gerontologia*, 31(2), 100–115.
- Venter, Z. S., Krog, N. H., Barton, D. N. 2020. Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. *Sci. Total Environ.*, vol. 709, p. 136193, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136193.
- Whitehead, P. G., Wilby, R. L., Battarbee, R. W., Kernan, M., Wade, A. J. 2009. A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 54(1) February 2009.
- WHO. 2013. Climate Change and Health: A Tool to Estimate Health and Adaptation Costs. Saatavilla: [https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0018/190404/WHO_Content_Climate_change_health_Druck1.pdf].
- Wiréhn, L. 2021. Climate indices for the tailoring of climate information—A systematic literature review of Swedish forestry and agriculture. *Climate Risk Management*, 34, p.100370.
- Wiréhn, L., Käyhkö, J., Neset, T-S., Juhola, S. 2020. Analysing trade-offs in adaptation decision-making-agricultural management under climate change in Finland and Sweden. *Regional Environmental Change*, 20(1), [18]. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01585-x>.
- Wu, Y., Wang, X., Wu, J. ym. 2020. Performance of heat-health warning systems in Shanghai evaluated by using local heat-related illness data. *Science of the total environment*, 715, p.136883.
- Yu, F., Fang, G., Cao, Y. 2009. Study on Evaluation Index and Methods of River Ecosystem Health. In: *Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89465-0_69.

Ympäristöministeriön raportteja 25|2016. Ympäristöhallinnon ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma 2022. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2016. I ISSN 1796-170X (verkkojulkaisu).

Yu, S., Gu Ryu, I., Ji Park, M., Kwon Im, J. 2021. Long-term relationship between air and water temperatures in Lake Paldang, South Korea. *Environmental Engineering Research* 2021; 26(4): 200177.

Zhang, Y., Murray, A.T., Turner, B.L. 2017. Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona. *Landscape and Urban Planning* 165: 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.009>.