

Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset ja toimialojen haavoittuvuus

Jaana Sorvali

Sisällysluettelo

| | |
|--|-----------|
| 1. Johdanto | 4 |
| 2. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja haavoittuvuus | 6 |
| 2.1. Taustaa | 6 |
| 2.2. Haavoittuvuuden mittaaminen | 7 |
| 2.3. Selvityksen kulku | 9 |
| Osa I. Toimialat, joihin ilmastonmuutos vaikuttaa suoraan | 11 |
| 3. Maatalous- ja elintarviketuotanto | 11 |
| 3.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset | 11 |
| 3.2. Ilmastonmuutostutkimus | 12 |
| 3.3. Haavoittuvuus..... | 14 |
| 4. Metsätalous | 21 |
| 4.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset | 21 |
| 4.2. Ilmastonmuutostutkimus | 21 |
| 4.3. Haavoittuvuus..... | 24 |
| 5. Kalatalous | 28 |
| 5.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset | 28 |
| 5.2. Ilmastonmuutostutkimus | 28 |
| 5.3. Haavoittuvuus..... | 31 |
| 6. Porotalous | 33 |
| 6.1. Ilmastonmuutoksen vaikutukset..... | 33 |
| 6.2. Ilmastonmuutostutkimus | 33 |
| 6.3. Haavoittuvuus..... | 35 |
| 7. Riistatalous | 38 |
| 7.1. Ilmastonmuutoksen vaikutukset..... | 38 |
| 7.2. Ilmastonmuutostutkimus | 38 |
| 7.3. Haavoittuvuus..... | 41 |
| 8. Vesivarat | 42 |
| 8.1. Ilmastonmuutoksen vaikutukset..... | 42 |
| 8.2. Ilmastonmuutostutkimus | 42 |
| 8.3. Haavoittuvuus..... | 43 |
| 9. Luonnon monimuotoisuus | 47 |
| 9.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset | 47 |
| 9.2. Ilmastonmuutostutkimus | 48 |
| 9.3. Haavoittuvuus..... | 50 |
| 10. Energiantuotanto ja -jakelu | 53 |
| 10.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset..... | 53 |
| 10.2. Ilmastonmuutostutkimus..... | 53 |
| 10.3. Haavoittuvuus..... | 55 |
| 11. Liikenne ja tietoliikenne | 57 |
| 11.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset..... | 57 |
| 11.2. Ilmastonmuutostutkimus..... | 57 |
| 11.3. Haavoittuvuus..... | 58 |
| 12. Terveys | 62 |
| 12.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset..... | 62 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 12.2. | <i>Ilmastonmuutostutkimus</i> | 62 |
| 12.3. | <i>Haavoittuvuus</i> | 64 |
| 13. | Matkailu ja luonnon virkistyskäyttö | 67 |
| 13.1. | <i>Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset</i> | 67 |
| 13.2. | <i>Ilmastonmuutostutkimus</i> | 67 |
| 13.3. | <i>Haavoittuvuus</i> | 67 |
| 14. | Yhdyskunnat ja rakennukset | 70 |
| 14.1. | <i>Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset</i> | 70 |
| 14.2. | <i>Ilmastonmuutostutkimus</i> | 70 |
| 14.3. | <i>Haavoittuvuus</i> | 72 |
| Osa II. Muut toimialat | | 74 |
| 15. | Sopeutumisen keinoja sisältävät toimialat | 74 |
| 15.1. | <i>Alueidenkäytön suunnittelu ja rakentaminen</i> | 74 |
| 15.2. | <i>Vakuutustoimiala</i> | 74 |
| 15.3. | <i>Kehitysyhteistyö (UM)</i> | 74 |
| 16. | Toimialat, joihin ilmastonmuutoksella on heijastevaikutuksia | 76 |
| 16.1. | <i>Teollisuus</i> | 76 |
| 16.2. | <i>Pelastustoimi (SM)</i> | 76 |
| 16.3. | <i>Kansallinen turvallisuus (PLM)</i> | 76 |
| Osa III. Toimialojen haavoittuvuus | | 78 |
| 17. | Johtopäätökset | 78 |
| 17.1. | <i>Käytetty menetelmä</i> | 78 |
| 17.2. | <i>Haavoittuvuuden tarkastelu</i> | 79 |
| 17.3. | <i>Toimialoja koskeva tutkimus</i> | 84 |
| 17.4. | <i>Toimialoja yhdistävät haitalliset vaikutukset</i> | 84 |
| 17.5. | <i>Lopuksi</i> | 85 |

1. Johdanto

Tässä selvityksessä käydään läpi ilmastonmuutoksen keskeisimmät haitalliset vaikutukset (nk. muuttuvat ilmatoriskit) toimialoittain ja esitetään malli, jonka avulla toimialojen haavoittuvuutta on mahdollista havainnollistaa ja seurata.

Selvityksen pääaineiston muodostavat tieteelliset vertaisarvioidut artikkelit, erilaisten tutkimushankkeiden loppuraportit ja vähemmässä määrin viranomaisten julkaisut. Selvityksessä kootaan yhteen asiaa koskettavaa akateemista tutkimusta ja tunnistetaan mahdollisia tutkimusaukkoja. Toissijaisina lähteinä on ollut maa- ja metsätalousministeriön keräämä kyselyaineisto sekä asiantuntijahaastatteluaineisto.

Selvitystyön tarkoituksena on tarjota taustatietoa tarvittavien sopeutumistoimenpiteiden ajoituksesta ja priorisoinnista kullakin toimialalla. Selvitys on tehty ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian päivityksen ja toimeenpanon tausta-aineistoksi.

Tässä selvityksessä ei ole tarkasteltu Suomeen vaikuttavia globaaleja trendejä, joilla voi olla merkittäviä vaikutuksia toimialojen haavoittuvuuteen. Tällainen globaali tarkastelu tehdään Suomen ympäristökeskuksessa professori Mikael Hildénin johdolla, niin ikään kansallisen sopeutumisstrategian tausta-aineistoksi. Näiden kahden selvityksen on tarkoitus toimia toisiaan täydentävinä. Selvityksessä ei käsitellä myöskään ilmastonmuutoksen positiivisia vaikutuksia.

Selvitys tarjoaa lähtökohdan toimialojen haavoittuvuuksien tarkastelulle ja selvityksen tekijä toivoo sen avaavan keskustelun toimialojen sisällä, joka johtaa haavoittuvuuksia havainnollistavan mallin tarkentumiseen ja sopeutumistoimien parhaaseen mahdolliseen tietoon perustuvaan valintaan. Selvityksen toteuttaminen oli erittäin haastavaa, jo siksi, että vastaavaa toimialojen haavoittuvuuksien avaamista ja havainnollistamista ei ole aiemmin tehty.

Selvityksen alussa käydään läpi selvityksen kannalta oleelliset termit ja selvityksessä keskeisen haavoittuvuuden arvioimiseksi kehitetty menetelmä. Selvitys jakautuu tämän jälkeen kolmeen osaan.

Ensimmäisessä osassa käydään läpi toimialat, joihin ilmastonmuutoksella on suoria vaikutuksia. Tällaisiksi on tässä selvityksessä luettu maatalous- ja elintarviketuotanto, metsätalous, kalatalous, porotalous, riistatalous, vesivarat, energiantuotanto ja -jakelu, liikenne ja tietoliikenne, terveys, matkailu, luonnon monimuotoisuus sekä yhdyskunnat ja rakennukset. Näiden toimialojen kohdalla käydään läpi ilmastonmuutoksen merkittävimpiä haitallisia vaikutuksia, aiheesta tehtyä Suomea koskevaa vertaisarvioitua tutkimusta ja toimialan haavoittuvuutta. Luonnon monimuotoisuuden

kohdalla on huomattava, että vaikka ilmastonmuutos vaikuttaa suoraan toimialaan, samalla luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen on myös sopeutumisen keino.

Toisessa osassa käydään läpi muut toimialat, jotka on jaettu sopeutumisen keinoja sisältäviin toimialoihin (alueidenkäytön suunnittelu ja rakentaminen, vakuutustoiminta sekä kehitysyhteistyö) sekä toimialoihin, joihin ilmastonmuutoksella on heijastevaikutuksia (teollisuus, pelastustoimi ja kansallinen turvallisuus). Näiden toimialojen kohdalla on lyhyesti tarkasteltu toimialan yhteyttä ilmastonmuutokseen, mutta haavoittuvuusanalyysiä ei ole toimialojen luonteen vuoksi tehty.

Selvityksen viimeisessä osassa esitetään johtopäätökset. Aluksi pohditaan kehitetyn menetelmän heikkouksia ja vahvuuksia. Toimialakohtaisesta haavoittuvuudesta esitetään yhteenveto ja esitetään arvioita olemassa olevasta tutkimuksesta sekä toimialoja yhdistävistä haitallisista vaikutuksista. Haavoittuvuuden yhteenvedon kohdalla tulee pitää mielessä, että tarkastelu on toimialakohtainen, eikä toimialojen tuloksia voi verrata toisiinsa.

2. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja haavoittuvuus

2.1. Taustaa

Ilmastonmuutoksen ja sen vaikutusten tutkimus on monitieteistä ja sitä tehdään moniin erilaisiin tutkimustraditioihin pohjautuen. Tästä johtuen monilla keskeisillä termeillä voi olla toisistaan eroavia merkityksiä ja painotuksia jopa ilmastonmuutostutkimuksen sisällä¹. Tässä selvityksessä on käytetty IPCC:n neljännen arviointiraportin [2] termistöä, koska käytetty menetelmä haavoittuvuuksien tarkasteluun pohjautuu myös IPCC:n termistöön. Keskeiset termit on määritelty alla.

Sopeutuminen on luonnon tai ihmisen mukautumista jo tapahtuneisiin tai odotettuihin ilmastollisiin muutoksiin joko hyödyntämällä etuja tai minimoimalla haittoja.

Adaptation is the adjustment in natural or human systems in response to actual or expected climatic stimuli or their effects, which moderates harm or exploits beneficial opportunities.

Haavoittuvuus on mitta systeemin alttiudelle ja selviytymiselle ilmastonmuutoksen haittojen suhteen, muutoksen vaihtelevuus ja ääriarvot mukaan lukien. Haavoittuvuuteen vaikuttavat ilmaston muutoksen ja vaihtelun luonne, suuruus ja nopeus sekä ao. systeemin herkkyyys ja sopeutumiskapasiteetti.

Vulnerability is the degree to which a system is susceptible to, and unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate change and variation to which a system is exposed, the sensitivity and adaptive capacity of that system.

Suomalaisen ilmastonmuutostutkimuksen yhteenvedossa [6] on käsitelty **ilmastoriskin** käsitettä ja eri tapoja riskien mittaamiseksi. Koska ilmastoriskin käsite on suhteellisen monitahoinen ja osin myös päällekkäinen yllä esitettyjen termien kanssa, tässä selvityksessä ei käytetä ilmastoriski -termiä, vaan sen sijaan puhutaan **ilmastonmuutoksen haitallisista vaikutuksista**, joka on sisällöltään huomattavasti ilmastoriskiä yksinkertaisempi. Haitallinen vaikutus voi olla mikä tahansa toimialaa uhkaava muutos. Tässä selvityksessä kehitettiin oma menetelmä haavoittuvuuksien arvioimiseksi avaamalla ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia kullakin toimialalla, koska mikään selvityksen tekijän tuntemista malleista ei avannut riittävästi haavoittuvuustarkastelussa tarpeellisia yhteiskunnan arvostuksiin ja kulttuurisidonnaisiin merkityksiin liittyviä näkökohtia tai sopeutumispotentiaalia yhdistettynä vaikutuksen tapahtumisen oletettuun ajanjaksoon, joka sopisi kaikkien toimialojen tarkasteluun yhtäläisesti.

¹ Esim. Smit & Wandel (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16:282-292. O'Brien, K., Eriksen, S., Schjolden, A. & L. Nygaard (2004). What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research. CICERO Working Paper 2004:04.

2.2. Haavoittuvuuden mittaaminen

Kansainvälisessä haavoittuvuustutkimuksessa on pohdittu paljon haavoittuvuuksien mittaamista ja priorisointia [1 ja 3], ja niinkuin IPCC:kin neljännessä arviointiraportissaan toteaa, mikään määre ei voi yksin riittävästi kuvata keskeisimpien haavoittuvuuksien moninaisuutta tai määrittää niiden järjestystä. Arviointiraportissa on määritetty seitsemän kriteeriä, joiden avulla keskeisiä haavoittuvuuksia on mahdollista tunnistaa [2 s. 781-782 ja 785-786]. Nämä kriteerit selityksineen on esitetty taulukossa 1. Toimialojen ilmastonmuutoksen haitallisten vaikutusten arvioinnin ja tätä kautta haavoittuvuustarkastelun pohjaksi on tässä selvityksessä otettu nämä IPCC:n raportissa esittämät kriteerit.

| MITTARI | SISÄLTÄÄ |
|--|---|
| VAIKUTUSTEN MITTALUOKKA (magnitude) | - vaikutuksen suuruus (alue tai ihmismäärä jota koskettaa) - vaikutuksen voimakkuus (aiheutuneet kustannukset) |
| VAIKUTUSTEN AJOITTUMINEN (timing) | - toteutuuko vaikutus lyhyellä vai pitkällä aikavälillä |
| VAIKUTUSTEN PYSYVYYS (persistence and reversibility) | - onko vaikutus pitkä- vai lyhytkestoinen, onko se peruuttamaton |
| VAIKUTUSTEN TODENNÄKÖISYYS (likelihood and confidence) | - vaikutuksen todennäköisyys - vaikutukseen liittyvät epävarmuudet |
| VAIKUTUSTEN JAKAUTUMINEN (distribution) | - jakautuminen eri alueiden, ihmisryhmien, toimijoiden tms. välillä |
| RISKIN KOHTEENA OLEVAN SYSTEEMIN MERKITTÄVYYS (importance of the vulnerable system) | - miten korkealle mikäkin yhteiskunta vaikutuksen kohteena olevan systeemin arvostaa |
| SOPEUTUMISPOTENTIAALI (potential for adaptation) | - yksilöiden, ryhmien, yhteiskuntien ja luonnon kyky sopeutua - huomioitava luonnollinen sopeutuminen, aktiiviset sopeutumistoimet, sopeutumiseen tarvittavat ja käytettävissä olevat resurssit, sivuvaikutukset, olemassa oleva tieto, ajoitus ja soveltuminen yksilön mieltymyksiin ja kulttuuriin |
| HAAVOITTUVUUSLUOKKA* | - kaikkien edellä esiteltyjen mittareiden antama tulos on laskettu yhteen ja jaettu mittareiden lukumäärällä (7) - tuloksena karkea arvio ko. vaikutuksen merkittävydestä haavoittuvuuden suhteen |

Taulukko 1. Keskeisten haavoittuvuuksien tunnistaminen. *Haavoittuvuusluokka on käsitettävä karkeana yhteenvetona, joka yksin tarkasteltuna ei tarjoa kokonaisnäkemyksiä toimialan haavoittuvuudesta.

Yllä esitettyjen mittareiden mitta-asteikko esitetään kuvassa 1. Mitta-asteikko on selvityksen kirjoittajan muotoilema ja se pitää sisällään valintoja, joita on mahdollista mallin jatko työn kuluessa muokata. Esimerkiksi vaikutusten realisoituminen lähitulevaisuudessa lisää tässä selvityksessä haavoittuvuutta enemmän, kuin jos vaikutus konkretisoituu myöhemmin tulevaisuudessa. Samoin vaikutusten jakautuminen tasaisesti (alueellisesti tai ihmisryhmien

kesken) on tässä selvityksessä suurempi uhka haavoittuvuuden näkökulmasta kuin epätasainen jakautuminen. Toisaalta jokin vaikutus voi muodostua hyvinkin suureksi ja kohtalokkaaksi vaikkapa yksittäisten ihmisryhmien kannalta. Tällaiset tilanteet tulisi tunnistaa. Haavoittuvuutta vähentää mahdollisuus täsmällisiin sopeutumistoimiin pienen alueen tai pienen ihmisryhmän kohdalla. Vaikutusten jakautumisen suhteen tulee myös tunnistaa, minkä ajatellaan olevan vaikutusten kohteena. Tässä selvityksessä pohdittavana ovat vaikutukset toimialoihin ja niiden menestymiseen tulevaisuudessa. Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyyttä on hyvin haastavaa arvioida, koska tämän mittarin kohdalla toimialoja on väistämättä arvioitava suhteessa myös toisiinsa. Käytetty menetelmä on kvalitatiivinen, eikä haitallisten vaikutusten sijoittamista eri mitta-asteikon tasoille ole laskettu matemaattisten kaavojen avulla. Arvot on sijoitettu mitta-asteikolle tutkimuksesta etsittyjen tietojen ja selvityksen tekijän arvioiden perusteella.

| Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka |
|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Kuva 1. Ilmastonmuutoksen haitallisten vaikutusten ja haavoittuvuuksien arvioinnin mitta-asteikko.

Mitta-asteikon on tarkoitus herättää keskustelua eri mittareiden merkittävyydestä ja painoarvosta, koska ne eivät ole neutraaleja suhteessa toisiinsa. Eri toimialoilla ja eri vaikutusten kohdalla joku toinen mittari voi olla painoarvoltaan toista huomattavasti suurempi, vaikka se ei suoraan tässä tarkastelussa näy. Toisaalta mittarit myös tasapainottavat toisiaan. Mitta-asteikon on tarkoitus olla pohja, jonka kautta haavoittuvuuskeskusteluun voidaan toimialoilla ryhtyä. Pohdintaa ”haavoittuvuusluokka” -yhteenvetomittarista taulukon 1 yhteydessä sekä johtopäätöksissä.

Mitta-asteikko on järjestetty siten, että mitä tummempi vihreä väri, sitä keskeisempi kyseinen mittari on tarkasteltavan haitallisen vaikutuksen ja kokonaishaavoittuvuustarkastelun kannalta.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti/viite |
|------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|------------------|
| Toimiala Z | Vaikutus 1 | | | | | | | | | [A], [C] ja [F]. |
| | Vaikutus 2 | | | | | | | | | Kysely. |
| | Vaikutus 3 | | | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 2. Esimerkkitaulukko.

Taulukossa 2 on pyritty havainnollistamaan menetelmää. Mitä tummempi haitallista vaikutusta kuvaava vaakarivi on (esimerkkitaulukossa vaikutus 2), yleistäen sitä merkittävämpi haitallinen vaikutus on toimialan haavoittuvuutta tarkasteltaessa. Kunkin toimialan kohdalla on myös mahdollista havainnoida, nouseeko joku tai jotkut tietyt mittarit erityisen merkittäviksi useiden toimialan haitallisten vaikutusten kohdalla (esimerkkitaulukossa vaikutusten pysyvyys). Esimerkkitaulukkoa olisi tulkittava seuraavasti:

Vaikutus 1 ei ole mittaluokaltaan kovinkaan suuri ja se ajoittuu vuosisadan loppuun. Vaikutukset ovat toteutuessaan kuitenkin pysyviä ja vaikutusten toteutumisen todennäköisyys (ilman sopeutumistoimia) on suuri. Vaikutus on jokseenkin keskittyvä, eli se koskee vain pientä osaa esimerkiksi suomalaisista tai elinkeinonharjoittajista. Systemi, jota vaikutus uhkaa on suhteellisen merkittävä, mutta samalla sen sopeutumispotentiaali on hyvä.

Vaakarivin viimeisessä laatikossa on esitetty haitalliseen vaikutukseen liittyvä mahdollinen tutkimuskirjallisuus. Jos joissain kohdissa on viitattu kansainväliseen tutkimukseen, referenssinumero on mustan sijaan sinisellä. Jos jostain vaikutuksesta ei ole Suomea koskevaa tutkimusta, vaikutuksen haavoittuvuuden mittareita ei ole arvioitu. Lähteet on merkitty hakasulkeisiin, ja ne on esitetty jokaisen luvun lopussa toimialakohtaisesti.

2.3. Selvityksen kulku

Ensimmäisessä vaiheessa tässä selvityksessä nimetyt haitalliset vaikutukset on kerätty yhteen. Jokaisen toimialan kohdalla vaikutuksia on kerätty seuraavista julkaisuista: Carterin ja Kankaanpään vuonna 2003 julkaistu *Esiselvitys ilmastonmuutokseen sopeutumisesta Suomessa* [4], *Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia* vuodelta 2005 [5], Reija Ruuhelan vuonna 2011 toimittama *Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua?* [6], VACCIA-hankkeen loppuraportti vuodelta 2011 [7], Euroopan ympäristöviraston vuonna 2012 julkaistu *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012* [8], käsillä olevan selvityksen kirjoittajan aiempi selvitysraportti vuodelta 2013 nimeltään *Ilmastonmuutokseen sopeutumisen kansalliset ohjauskeinot* [9] ja Jaana Kaipaisen ja Sonja-Maria Ignatiuksen kokoama kyselyyn perustuva raportti *Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia – kannanottokyselyn vastauksista koostettu epävirallinen keskustelupaperi* vuodelta 2013 [10]. Näiden lisäksi riskejä on koottu myös esimerkiksi toimialakohtaisten tutkimushankkeiden loppuraporteista. Nämä on mainittu toimialojen kohdalla erikseen.

Tämän jälkeen vaikutukset on taulukoitu yllä esitettyjen mittareiden kanssa ja tutkimusta läpikäymällä on mahdollisimman luotettavasti pyritty esittämään kullekin vaikutukselle arvot jokaisen mittarin suhteen.

Lähteet:

- [1] Adger, N. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16: 268-281.
- [2] Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez and F. Yamin, 2007: Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 779-810.
- [3] Smith, B. and J. Wandel. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16: 282-292.
- [4] Carter T. ja Kankaanpää S., 2003: Esiselvitys ilmastonmuutokseen sopeutumisesta Suomessa. *Suomen ympäristö 640, ympäristönsuojelu*, 66 s.
- [5] MMM 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisu 1/2005.
- [6] Ruuhela, R. (toim.) 2011. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? Yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. MMM:n julkaisu 6/2011.
- [7] VACCIA-hankkeen loppuraportti: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J & Forsius, M. (toim). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. *Suomen ympäristö 26/2011*. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=132022&lan=fi>.²
- [8] EEA 12/2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator based report. European Environmental Agency.
- [9] Sorvali, J. 2013. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen kansalliset ohjauskeinot. Julkaisematon selvitysraportti.
- [10] Kaipainen, J., & Ignatius S-M. 2013. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia – kannanottokyselyn vastauksista koostettu epävirallinen keskustelupaperi. Julkaisematon MMM:n kyselyraportti.

² Yhteenveto ilmestynyt myös: Forsius, M. & al. 2013. Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: a model based study. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:26–40. doi: 10.1016/j.cosust.2013.01.001.

Osa I. Toimialat, joihin ilmastonmuutos vaikuttaa suoraan

3. Maatalous- ja elintarviketuotanto

3.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Ilmaston lämpenemisen on tutkimuksessa tunnistettu hyödyttävän Suomen maataloutta, kun kasvukauden pidentyminen ja talvien leudontuminen antaa mahdollisuuden viljellä uusia runsassatoisempia talvilajikkeita ja laajentaa viljelyä nykyistä pohjoisemmille alueille [3, 4, 6]. Toisaalta lämpeneminen ja uusien lajikkeiden viljely tuovat mukanaan haitallisia vaikutuksia, jotka voivat minimoida odotetun hyödyn, jollei sopeutumistoimiin ryhdytä [23]. Jo Carterin ja Kankaanpään esiselvityksessä vuodelta 2003 [1] on tunnistettu suuri joukko ilmastonmuutoksen aiheuttamia riskejä ja mahdollisuuksia maataloudelle.

Tässä selvityksessä on tarkasteltu seuraavia ilmastonmuutokseen liittyviä haitallisia vaikutuksia:

- 1) kasvintuhoojien aiheuttama paine lisääntyy,
- 2) rikkakasvien aiheuttama paine lisääntyy,
- 3) sadot pienentyvät,
- 4) talvehtiminen heikentyy,
- 5) eroosio ja ravinteiden sekä torjunta-aineiden huuhtoutuminen lisääntyy,
- 6) kuumuus-, kylmyys- ja kuivuusstressit lisääntyvät,
- 7) hallan riski kasvaa,
- 8) sadon laatu heikkenee,
- 9) kasteluveden tarve lisääntyy,
- 10) maanviljelysmaan laatu heikkenee,
- 11) eläintaudit lisääntyvät ja
- 12) elintarviketurvallisuuden ylläpitämisen haasteet lisääntyvät.

Edellisessä luvussa mainittujen lähteiden lisäksi maatalouteen kohdistuvia ilmastonmuutoksen vaikutuksia on haettu FINADAPT-hankkeen aineistosta [54], ILMASOPU-hankkeen yhteenvedosta [23] ja elintarviketalouden kohdalla ELICLIMATE-hankkeen yhteenvedosta [26]. Eläintuotannon kohdalla ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat lähinnä positiivisia rehuntuotannon parantuessa ja laidunnuskauden pidentyessä [27].

3.2. Ilmastonmuutostutkimus

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia maa- ja elintarviketalouteen on tutkittu Suomessa suhteellisen paljon erilaisten tutkimusohjelmien puitteissa. SILMU-tutkimusohjelmassa (1990-1995) maatalous oli yhtenä keskeisenä tutkimuksen kohteena [55]. FIGARE- (1999-2002) tutkimusohjelman sisällä AGROGAS-hanke tutki maataloutta nielujen ja päästöjen lähteen näkökulmasta [56]. FINADAPT-hankkeessa (2004-2005) oli oma maatalouteen keskittyvä osio, joka tuotti perustietoa sopeutumisesta toimialalla ja listasi lisätutkimuksen paikkoja [54]. Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumisstrategian toimeenpanemiseksi aloitettu ilmastonmuutokseen sopeutumisen tutkimusohjelma ISTO (2006-2010) tuotti paljon tutkimusta maatalouden ja elintarviketalouden alalta, ja suuri osa toimialaa koskevista tutkimuksista on ISTOn puitteissa tehtyjä. ISTOn alaisia maataloutta koskevia hankkeita ovat ILMASOPU [23], ELICLIMATE [26], ADACAPA ja vieraslajeja kasvintuotannossa käsitellyt tutkimus. PELTOSOPU-tutkimusohjelmassa (2009-2011) jatkettiin ISTOssa aloitettua työtä peltokasvien osalta.

Selvityksessä tarkasteltavia ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ja maatalouden toimialan sopeutumista on tutkittu kasvintuhoojien, rikkakasvien sekä eroosion ja huuhtoutumisen osalta jonkin verran (taulukko 3). Kasvintuhoojia koskevat tutkimukset käsittelevät kasvitautien osalta yksittäisten tautien (perunarutto [2, 11], perunan muut taudit [16]) lisäksi erilaisia tautiryhmiä [12, 14]. Tuhohyönteisten osalta on tehty mm. laaja tuhohyönteisten kartoitus [13]. Rikkakasvien kohdalla on tehty rikkakasvien lajikartoitusta eri tarkkuuksilla [15 ja 17] sekä tutkittu yleisemmällä tasolla rikkakasvien menestymistä ilmastoskenaarioihin liitettynä [18 ja 19]. Eroosion ja huuhtoutumisen osalta tutkimuksessa on tehty paljon mallinnustyötä politiikkatoimien tueksi [8, 9, 10, 20 ja 57]. Satojen pienentymisestä, talvehtimisestä, erilaisista kasvin stressitekijöistä ja hallan riskistä on vain vähän tutkimusta. Sadon laadun heikkeneminen, kasteluveden tarpeen lisääntyminen ja eläintaudit ovat jääneet vain maininnan tasolle, eikä tarkempaa tutkimusta ole tehty. Maanviljelysmaan heikkenemisestä on olemassa joitain selvityksiä, mutta niitä ei ole julkaistu tieteellisissä julkaisuissa tai ne ovat olleet huonosti saatavissa.

Elintarviketeollisuuden osalta tutkimusta ei ole tehty Suomessa lähes ollenkaan, mutta kansainvälisesti paljonkin. Esimerkkejä kansainvälisestä tutkimuksesta on esitetty taulukossa (ks. taulukon sinisellä merkityt viitteet).

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumis- potentiaali | Haavoittuvuus- luokka | Kommentti/viite | |
|-----------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|--------------------------|--|--|
| Maatalous- ja elintarviketuotanto | Kasvintuhoojien aiheuttama paine lisääntyy | | | | | | | | | [2], [11], [12], [13], [14], [16], [25], [30]. | |
| | Rikkakasvien aiheuttama paine lisääntyy | | | | | | | | | [15], [17], [18], [19], [31]. | |
| | Sadot pienentyvät | | | | | | | | | Jos lämpötilan nousu ylittää 4 astetta [21]. | |
| | Talvehtiminen heikentyy | | | | | | | | | [24]. | |
| | Eroosio ja ravinteiden sekä torjunta-aineiden huuhtoutuminen lisääntyy | | | | | | | | | Mallinnusta ja työkaluja [8], [9], [10], [20], [57]. Vaikutus vesistöihin. [28], kysely. | |
| | Kuumuus-, kylmyys- ja kuivusstressit lisääntyvät | | | | | | | | | [22]. | |
| | Hallan riski kasvaa | | | | | | | | | [6]. | |
| | Sadon laatu heikkenee | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | | |
| | Kasteluveden tarve lisääntyy | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | Maanviljelysmaan laatu heikkenee | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | Aihetta tutkittu, ei vertaisarvioitua tutkimusta tai tutkimusten huono saatavuus. |
| | Eläintaudit lisääntyvät | | | | | | | | | | Arktinen fauna [39]. |
| | Elintarviketurvallisuuden ylläpitämisen haasteet lisääntyvät | | | | | | | | | | [44], [49], ruokamyrkytys [32], [47], mykotoksiinit [33], [34], [35], [36], [37], [40], [41], [42], [43], [45], [50], [52], [53], kemikaalit ja patogeenit [38], antibiootit [46], [48], [51]. |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, maatalous- ja elintarviketuotanto.

3.3. Haavoittuvuus

Tarkastelun perusteella toimialan menestymisen kannalta merkittävimpiä ja toimialan haavoittuvuutta lisääviä haitallisia vaikutuksia olisivat **kasvintuhoojien** aiheuttaman paineen lisääntyminen, **rikkakasvien** aiheuttaman paineen lisääntyminen sekä **erosion ja huuhtoutumisen lisääntyminen**. Kotimainen maatalous- ja elintarviketuotanto on systeeminä tärkeä. Lisäksi yllä nostettujen haitallisten vaikutusten ajatellaan jakautuvan suhteellisen tasaisesti ja niiden todennäköisyys on nykyisen tietämyksen valossa suuri. Toisaalta maataloustuotannolla on mahdollisuuksia sopeutua näihin haitallisiin vaikutuksiin, esimerkiksi kasvinjalostuksen, viljelylajien monipuolistamisen ja tuotantomenetelmien kehittämisen keinoin. Lisäksi aikaakin tähän sopeutumistyöhön tuntuisi vielä olevan, koska vaikutuksen ajoittuvat pääosin vuosisadan loppupuoliskolle. Taulukossa 4 esitetään esimerkinomaisesti analyysiä laajennetussa muodossa kasvintuhoojien kohdalla.

Vaikka ilmastonmuutoksella on monenlaisia vaikutuksia maatalouteen, on toimialan sopeutumiskyky laajemminkin katsottuna suhteellisen hyvä. Elintarviketuotannon toimialan suhteen analyysiä ei tehty, koska Suomeen kohdistuvaa tutkimusta ei ollut.

Euroopan ympäristöviraston (EEA) raportissa [7] ilmastonmuutosta ja maatalouden sopeutumista on tarkasteltu neljän indikaattorin kautta. Indikaattorit ovat 1) viljelykasvien kasvukauden pituus, 2) agrofenologia³, 3) veden saatavuuden rajoittama satojen tuottavuus ja 4) kasteluveden tarve. Tarkastelu on yleinen katsaus koko Eurooppaan, eikä tarjoa kovinkaan yksityiskohtaisia tietoja Suomen tilanteesta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia karjatalouteen EEA:n raportissa ei ole käsitelty lainkaan. Raportin indikaattorit soveltuvat huonosti Suomen maatalouden haavoittuvuuksien arvioimiseen, koska ensisijaisiksi Euroopan tasolla nostetut tekijät eivät nouse keskeisiksi Suomessa. Näillä indikaattoreilla mitattuna Suomen maatalous ei tule kärsimään ilmastonmuutoksen haitallisista vaikutuksista yhtä paljon kuin monen muun Euroopan maan maatalous.

³ Fenologia on tieteenala, joka tutkii biologisten ilmiöiden rytmisyyttä ja eri tekijöiden vaikutusta siihen. Tässä tapauksessa esimerkkinä voisi olla kukinnan siirtyminen aiempaa aikaisemmaksi.

| Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti, [viite] |
|--|---|---|---|--|--|---|--|---|--|
| Kasvintuhoojien aiheuttama paine lisääntyy | - Kasvintuhoojien lisääntyminen ja esiintymisalueen laajentuminen sekä uudet kasvintuhoojat voivat merkittävästi vaikuttaa maatalouden tuotantoon ja toimialan menestymiseen. | - Vaikutuksia on jo jossain määrin nähtävissä, mutta suurin paine kohdistuu vuosisadan loppuun, jolloin ilmaston lämpötilat ovat tuhoojille suotuisat ja viljelyssä on siirrytty uusien lajikkeiden käyttöön. | - Uusien tuholaisten saapumista tai leviämistä ei voida kokonaan estää, mutta niiden aiheuttamat tuhot eivät kuitenkaan pysyvästi tuhoa maataloustuotantoa. | - Tuhoojien levinneisyyttä rajoittavat ilmastolliset tekijät ja ilmaston lämmetessä nämä mahdollistavat leviämisen entistä pohjoisemmille alueille. - Aiheesta on paljon tieteellistä näyttöä - Suora riippuvuussuhde ilmastonmuutoksen etenemisen kanssa. | (Suhteessa toimialaan) - Kasvintuhoojat vaikuttavat kaikkiin sektoreihin, joskin peltoviljely on suoraan altis tuhoojille. - Tuhoojat leviävät entistä pohjoisemmaksi ja vaikutukset kohdistuvat suhteelliseen suureen joukkoon maamme viljelijöitä. | - Kotimaisen ruoan tuotannon elinvoimaisuus on keskeinen tekijä Suomen elintarviketurvallisuuden ylläpitämisessä. | -Kasvintuhoojien aiheuttamia vaikutuksia vastaan on monia sopeutumiskeinoja. Kasvinjalostus, viljelykierto, tuholaismyrkyt... - Lisäksi on mahdollista kehittää ennakkovaroitusjärjestelmiä, joilla voidaan seurata ja varoittaa riskialttiiden tuholaisten saapumisesta. | - Haavoittuvuutta nostavia tekijöitä ovat etenkin vaikutusten suuri mittaluokka, vaikutusten suuri todennäköisyys, vaikutusten jakautuminen suhteellisen tasaisesti koko elinkeinon sisällä ja maatalouden suuri merkittävyys Suomalaiselle yhteiskunnalle. | [2], [11], [12], [13], [14], [16] ja [25]. |

Taulukko 4. Esimerkki mittareihin sisältyvistä näkökohdista.

Lähteet:

- [1] Carter T. ja Kankaanpää S., 2003: Esiselvitys ilmastonmuutokseen sopeutumisesta Suomessa. Suomen ympäristö 640, ympäristönsuojelu, 66 s.
- [2] Kaukoranta T. 1996. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss and control. *Agricultural and food science in Finland*, vol 5, no. 3.
- [3] Peltonen-Sainio, P., Hakala, K., Jauhiainen, L. & Ruosteenoja, K. 2009. Comparing regional risks in producing turnip rape and oilseed rape - Impacts of climate change and breeding. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 59: 129–138.
- [4] Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171–190.
- [5] VACCIA-hankkeen loppuraportti: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J & Forsius, M. (toim). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristö 26/2011. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=132022&lan=fi>
- [6] Kaukoranta, T., Tahvonen, R. & Ylämäki, A. 2010. Climatic potential and risks for apple growing by 2040. *Agricultural and Food Science* 19: 144–159.
- [7] EEA 12/2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator based report. European Environmental Agency.
- [8] Bärlund, I., Tattari, S., Puustinen, M., Koskiahho, J., Yli-Halla, M. & Posch, M. 2009. Soil parameter variability affecting simulated field scale water balance, erosion and phosphorus losses. *Agricultural and Food Science* 18: 402–416.
- [9] Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiahho, J., Linjama, M., Niinioja, R. & Tattari, S. 2010. VIHMA - A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138: 306–317.
- [10] Lehtonen, H., Rötter, R, Palosuo, T., Salo, T., Helin, J., Pavlova, Y. & Kahiluoto, H. 2010. Modelling framework for assessing adaptive management options of Finnish agrifood systems to climate change. *Journal of Agricultural Science* 2: 3–16.
- [11] Hannukkala, A., Kaukoranta, T., Lehtinen, A. & Rahkonen, A. 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933–2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. *Plant pathology* 56: 167–176.

- [12] Hakala, K., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, M. & Peltonen-Sainio, P. 2011. Pests and diseases in a changing climate: a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science* 20: 3–14.
- [13] Vänninen, I., Worner, S., Huusela-Veistola, E., Tuovinen, T., Nissinen, A. & Saikkonen, K. 2011. Recorded and potential alien invertebrate pests in Finnish agriculture and horticulture. *Agricultural and Food Science* 20: 96–114.
- [14] Lemmetty, A., Laamanen, J., Soukanen, M. & Tegel, J. 2011. Emerging virus and viroid pathogen species identified for the first time in horticultural plants in Finland in 1997–2010. *Agricultural and Food Science* 20, 1: 29–41.
- [15] Salonen, J., Hyvönen, T. & Jalli, H. 2011. Composition of weed flora in spring cereals in Finland – a fourth survey. *Agricultural and Food Science* 20: 245–261.
- [16] Hannukkala, A. 2011. Examples of alien pathogens in Finnish potato production – their introduction, establishment and consequences. *Agricultural and Food Science* 20: 42–61.
- [17] Hyvönen, T. & Jalli, H. 2011. Alien species in the Finnish weed flora. *Agricultural and Food Science* 20: 86–95.
- [18] Hyvönen, T. 2011. Impact of temperature and germination time on the success of a C4 weed in a C3 crop: *Amaranthus retroflexus* and spring barley. *Agricultural and Food Science* 20: 183–189.
- [19] Hyvönen, T., Glemnitz, M., Radics, L. & Hoffmann, J. 2011. Impact of climate and land use type on the distribution of Finnish casual arable weeds in Europe. *Weed Research* 51: 201–208.
- [20] Hyytiäinen, K., Niemi, J.K., Koikkalainen, K., Palosuo, T. & Salo, T. 2011. Adaptive optimization of crop production and nitrogen leaching abatement under yield uncertainty. *Agricultural Systems*. doi: 10.1016/j.agsy.2011.06.006
- [21] Rötter, R., Palosuo, T., Pirttioja, N. K., Dubrovsky, M., Salo, T., Fronzek, S., Aikasalo, R., Trnka, M., Ristolainen, A. & Carter, T. R. 2011. What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4 °C? A model-based assessment. *European Journal of Agronomy* 35: 205–214.
- [22] Hakala, K., Jauhiainen, L., Himanen, S.J., Rötter, R., Salo, T. & Kahiluoto, H. 2012. Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *The Journal of Agricultural Science*. doi: 10.1017/S0021859611000694.
- [23] ILMASOPU-hankkeen loppuraportti: [http:// www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutuminen/5oGpi1h7O/ILMASOPU_loppura-portti.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutuminen/5oGpi1h7O/ILMASOPU_loppura-portti.pdf).
- [24] Peltonen-Sainio, P., Hakala, K. & Jauhiainen, L. 2011. Climate-induced overwintering challenges for wheat and rye in northern agriculture. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science* 61: 75–83.
- [25] Markkula, I., Leskinen, M., Pylkkö, P., Koistinen, J., Ooperi, S., Tiilikkala, K., Ojanen, H. &

Raiskio, S. 2008. Early warning system for insect migration using weather radars. *Zemdirbyste-Agriculture* 95: 110–115.

[26] ELICLIMATE-hankkeen loppuraportti: Molarius, R., Keränen, J., Jylhä, K., Sarlin, T. & Laitila A. 2010. Suomen elintarviketuotannon turvallisuuden haasteita muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. VTT Tutkimusraportti : VTT-R-2672-10. 82 s. + liitt. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-2672-10.pdf>.

[27]. Schulz T.M. (2009). Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen maatalouteen. VACCIA, Action 7, deliverable 1. Reports and Publications of the VACCIA project. Suomen ympäristökeskus.

[28] Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J. ja Linjama, J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil and Tillage Research* 93: 44-55.

[29] Carter, T., Saarikko, ja Niemi, K. 1996. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 5, 329-350.

[30] Anderson, P., Cunningham, A., Patel, N., Morales, F., Epstein, P. ja Daszak, P. 2004. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *TRENDS Ecol. Evol.* 19:535-544.

[31] Bailey, S. 2004. Climate change and decreasing herbicide persistence. *Pest Management Science Journal* 60: 158-162.

[32] Bentham, G. ja Langford, I. 1995. Climate change and the incidence of food poisoning in England and Wales. *International Journal of Biometeorology* (1995) 39:81-86.

[33] Berthiller, F., Scuhmacher, R., Adam, G. ja Krska, R. 2009. Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 395:1243-1252

[34] Boeira, L., Bryce, J., Stewart, G. ja Flannigan, B. 1999a. Inhibitory effect of Fusarium mycotoxins on growth of brewing yeasts. 1 Zearalenone and Fumonisin B1. *Journal of the Institute of Brewing.* 105:366-374.

[35] Boeira, L., Bryce, J., Stewart, G ja Flannigan, B. 1999b. Inhibitory effect of Fusarium mycotoxins on growth of brewing yeasts. 2 Deoxynivalenol and Nivalenol. *Journal of the Institute of Brewing.* 105:376-381.

[36] Boeira, L., Bryce, J., Stewart, G. ja Flannigan B. 2000. The effect of combinations of Fusarium mycotoxins (deoxynivalenol, zearalenone and fumonisin B1) on growth of brewing yeast. *Journal of Applied Microbiology.* 88:388-403.

- [37] Bottalico A. ja Perrone G. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108: 611-624.
- [38] Boxall, A., Hardy, A., Beulke, S., Boucard, T., Burgin, L., Falloon, P., Haygarth, P., Hutchinson, T., Kovats, S., Leonardi, G., Levy, L., Nichols, G., Parsons, S., Potts, L., Stone, D., Topp, E., Turley, D., Walsh, K., Wellington, E., ja Williams. R. 2009. Impacts of Climate Change on Indirect Human Exposure to Pathogens and Chemicals from Agriculture. *Environmental Health Perspectives* 117:508- 514.
- [39] Bradley, M., Kutz, S., Jenkins, E. ja O'Hara, T. 2005. The potential impact of climate change on infectious diseases of arctic fauna. *International Journal of Circumpolar Health* 64(5):468-477.
- [40] Cotty, P. ja Jaime-Garcia, R. 2007. Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *International Journal of Food Microbiology* 119:109-115.
- [41] Doohan, F., Brennan J. ja Cooke, B. 2003. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology* 109: 755-768.
- [42] Edwards, S. 2004. Influence of agricultural practicies on fusarium infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. *Toxicology Letters* 153: 29-35.
- [43] Edwards, S., Barrier-Guillot. B., Clasen P-E., Hietaniemi, V. ja Pettersson, H. 2009. Emerging issues of HT-2 and T-2 toxins in European cereal production. *World Mycotoxin Journal*, May 2009; 2 (2): 173-179.
- [44] Hall, G., D'Souza, R. ja Kirk, M. 2002. Foodborne disease in the new millenium: out of the frying pan and into the the fire. *Med. J. Austr.* 177:614- 618.
- [45] Hussein, H. ja Brasel, J. 2001. Toxicity, metabolism and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology* 167:101-134.
- [46] Khachatourians G., 1998. Agricultural use of antibiotics and the evolution and and transfer of antibiotic resistant bacteria. *The Canadian Medical Association Journal* 159:1129-1136.
- [47] Kovats, R., Edwards, S., Charron, D., Cowden, J., DSouza, R., Ebi, K., Gauci, C., Gerner-Smidt, P., Hajat, S., Hales, S., Hernández Pezzi, G., Kriz, B., Kutsar, K., McKeown, P., Mellou, K., Menne, B., OBrien, S., van Peltand , W. ja Schmid, H. 2005. Climate variability and campylobacter infection: an international study. *International Journal of Biometeorology* 49:207-214.
- [48] Lipsitch, M., Singer, R., ja Levin, B. 2002. Antibiotics in agriculture: when is it time to close the barn door. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:5752-5754.

- [49] Miraglia, M., Marvin, M., Kleter, G., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., Cubadda, F., Croci, L., De Santis, B., Dekkers, S., Filippi, L., Hutjes, R., Noordam, M., Pisante, M., Piva, G., Prandini, A., Toti, L., van den Born, G., ja Vespermann, A. 2009. Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology*. 47:1009-1021.
- [50] Murphy, P., Hendrich, S., Landgren, C. ja Bryant, C. 2006. Food mycotoxins: an update. *Journal of Food Science* 71(5):51-65.
- [51] Olmstead, J. 2009. Fueling resistance? Antibiotics in ethanol production. Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP) 1-7.
- [52] Parikka, P., Rämö, S., Hietaniemi, V. 2008. *Fusarium* infection and mycotoxins in Finnish cereals in 2005-2006. *Journal of Plant Pathology* 90, 3, Supplement: S3.56. International Fusarium and Fusarium Genomics Workshop; 10, 2008. (poster abstract).
- [53] Paterson, R. ja Lima, N. 2009. How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*. 43: 1902-1914. (doi:10.1016/j.foodres.2009.07.010)
- [54] Hildén, M., Lehtonen, H., Bärlund, I., Hakala, K., Kaukoranta, T. and Tattari, S. 2005. The practice and process of adaptation in Finnish agriculture. FINADAPT Working Paper 5, Finnish Environment Institute Mimeographs 335, Helsinki, 28 pp.
- [55] Kuusisto Esko, Kauppi Lea, Heikinheimo Pirkko (toim.) 1996: Ilmastonmuutos ja Suomi, Suomalainen ilmavehänmuutosten tutkimusohjelma (SILMU), Yliopistopaino, Helsinki, 265s.
- [56] Finnish Global Change Research Programme (FIGARE). Evaluation report. (2003). Publications of the Academy of Finland 7/03.
<http://www.aka.fi/Tiedostot/Tiedostot/Julkaisut/Figare%20Evaluation.pdf>
- [57] Rankinen, Katri, Peltonen-Sainio, Pirjo, Granlund, Kirsti, Ojanen, Hannu, Laapas, Mikko, Hakala, Kaija, Sippel, Kalle, Helenius, Juha, Forsius, Martin. 2013. Climate change adaptation in arable land use, and impact on nitrogen load at catchment scale in northern agriculture. *Agricultural and Food Science* 22 3: 342-355.

4. Metsätalous

4.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia metsiin ja metsätalouteen on tutkittu paljon. Jo vuonna 1994 Kellomäki ja Kolström [1] totesivat, että männyn ja koivun tuottavuus kasvaa ilmaston lämmetessä ja Pohjois-Suomen puuntuotanto-olot vastaavat tulevaisuudessa nykyisiä etelän tuotanto-oloja. Useat tutkimukset tämän jälkeen ovat todenneet lämpötilan nousun ja ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvun vaikuttavan puuston kasvuun ja tuottavuuteen positiivisesti, etenkin kun typen saanti on varmistettu [2-7]. Metla on tutkinut laajasti metsien tuhoja ja ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia [16].

Tässä selvityksessä on tarkasteltu seuraavia ilmastonmuutokseen liittyviä haitallisia vaikutuksia:

- 1) puulajisuhteet muuttuvat (vaikutus voi olla haitallinen tai hyödyllinen),
- 2) kasvintuhoojien aiheuttama paine lisääntyy,
- 3) myrskytuhot lisääntyvät (tuulituhot),
- 4) metsien lumituhot lisääntyvät,
- 5) metsäpalot lisääntyvät,
- 6) eläinten aiheuttamat tuhot lisääntyvät,
- 7) metsätyöt ja puunkorjuu vaikeutuu,
- 8) metsien monimuotoisuus vähenee,
- 9) korjuuvauriot lisääntyvät,
- 10) havupuun laatu voi kärsiä ja
- 11) eroosio ja ravinteiden huuhtoutuminen lisääntyy.

Pakkasenkestävyydellä ja metsätulvilla on vaikutuksia metsätaloudelle, mutta näitä koskevat tutkimustulokset ovat ristiriitaisia tai vuosikymmenten takaa, joten luotettavaa arviota ei ollut mahdollista esittää.

4.2. Ilmastonmuutostutkimus

Edellisessä luvussa esitellyn maatalouden tavoin metsätalous on ollut mukana keskeisissä ilmastonmuutosta ja siihen sopeutumista käsitelleissä tutkimushankkeissa (SILMU, FIGARE, FINADAPT ja ISTO). Metsätalouden kansallinen tutkimus on muutenkin laajaa ja perusteellista.

Taulukosta 5 selviää, että kasvintuhoojista on tehty paljon tutkimusta myös metsätaloudessa. Kirjanpainajan [15] ja eri koilajien vaikutuksia on tutkittu erillistutkimuksissa [8] ja kasvitautien ja

tuholaisisten vaikutuksista on paljon myös yleistä tutkimusta [16, 17 ja 19]. Kasvintuhoojien lisääntymisen ja myrskytuhojen yhteisvaikutuksista on tehty tutkimusta [11] ja pelkästään myrskytuhojen vaikutuksia metsätalouteen on pohdittu lukuisissa tutkimuksissa, myös lumituhojen osalta. Metsäluonnon monimuotoisuudestakin on kansallista tutkimusta. Metsätöiden ja puunkorjuun vaikeutuminen sekä korjuuvaurioiden lisääntyminen on seurausta lumisuuden vähentymisestä ja kantavan lumen ajan lyhentymisestä, ja näitä on myös tutkittu niin vertaisarvioidussa tutkimuksessa [10], kuin kokoomatutkimuksissa [19]. Havupuun laatua ja käytettävyyttä esimerkiksi paperiteollisuudessa on niinkään tutkittu [2, 4 ja 5]. Sen sijaan metsäpalojen lisääntymistä on tutkittu yhdessä tutkimuksessa [14] ja eläinten aiheuttamien vahinkojen lisääntymistä on hieman sivuttu Metlan tutkimuksissa [16]. Metsämaan eroosiosta ei löytynyt Suomea koskevaa tutkimusta.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti, [viite] |
|-------------|--|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|--|
| Metsätalous | Puulajisuhteet muuttuvat (-/+) | | | | | | | | | Koivu hyötyy eniten, kuusi väistyvä [8], [12]. |
| | Kasvintuhoojien aiheuttama paine lisääntyy | | | | | | | | | Tuulituhot altistavat kasvintuhoojien hyökkäyksille [11], [15], [16], [17], [18], [19]. |
| | Myrskytuhot lisääntyvät (tuulituhot) | | | | | | | | | [9],[10], [11], [12], [19], [21], [22], [29]. |
| | Metsien lumituhot lisääntyvät | | | | | | | | | [11], [13] ja [22] Lumituhot vähenevät vuosisadan loppua kohti mentäessä. |
| | Metsäpalot lisääntyvät | | | | | | | | | [14], kysely. |
| | Eläinten aiheuttamat tuhot lisääntyvät | | | | | | | | | Myyrä, hirvieläimet [16]. |
| | Metsätyöt ja puunkorjuu vaikeutuu | | | | | | | | | [10], [19], kysely. |
| | Metsien monimuotoisuus vähenee | | | | | | | | | [8], [19], [20]. |
| | Korjuuvauriot lisääntyvät | | | | | | | | | [10], [19]. |
| | Havupuun laatu voi kärsiä | | | | | | | | | [2], [4], [5]. Ligniinitoisuus puissa kasvaa, jolloin paperin tuotannon kemikaalien käyttö kasvaa. |
| | Erosio ja ravinteiden huuhtoutuminen lisääntyy | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |

* Koska vaikutus on toisaalta positiivinen, haavoittuvuutta tulisi tarkastella tämä huomioiden.

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskitty | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 5. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, metsätalous.

4.3. Haavoittuvuus

Tehdyn tarkastelun perusteella **kasvintuhoojien** aiheuttaman paineen lisääntyminen sekä **monimuotoisuuden väheneminen** nousivat toimialan haavoittuvuuden kannalta merkittävimiksi haitallisiksi vaikutuksiksi. **Puulajisuhteiden muuttuminen** oli tarkastelussa edellä mainittuja vaikutuksiakin merkittävämpi, mutta tarkastelussa täytyy huomioida että sillä on sekä myönteisiksi että haitallisiksi katsottavia vaikutuksia. Yllä esitettyjen haitallisten vaikutusten pysyvyys, todennäköisyys ja tasainen jakautuminen vaikuttivat merkittävästi tuloksen muotoutumiseen. Monimuotoisuuden kohdalla sopeutumispotentiaalin on ajateltu olevan huono, koska metsäluonnon luontainen sopeutuminen on hidasta. Metsätalouden sopeutumispotentiaalia lisää se, että tarvittavat toimet on suureksi osaksi tunnistettu ja niiden toimeenpano on aloitettu. Vaikutusten ajoittuminen vuosisadan loppupuolen tienoille vähentää haavoittuvuutta, mutta ei luonnollisestikaan poista sopeutumistoimien tarpeellisuutta.

EEA:n asettamat indikaattorit metsätalouden sopeutumisesta ilmastonmuutokseen ovat metsän kasvu ja metsäpalot. Nämä ovat käyttökelpoisia indikaattoreita Suomenkin kohdalla, jos halutaan tehdä vertailua Euroopan maiden välillä. Näiden indikaattoreiden perusteella Suomen metsätalouden tulevaisuuden näkymät ovat hyvät, eli muuhun Eurooppaan verrattuna Suomen metsätaloudelle aiheutuvat ilmastonmuutoksesta johtuvat haitalliset vaikutukset jäisivät suhteellisen pieniksi.

Lähteet:

[1] Kellomäki S. and Kolström M., 1994: The influence of climate change on the productivity of Scots Pine, Norway Spruce and Pendula birch and Pubescens birch in southern and northern Finland. *Forest Ecology and Management*, 65.

[2] Kaakinen S., Kostianen K., Ek F., Saranpää P., Kubiske M.E., Sober J., Karnosky D.F. & Vapaavuori E., 2004: Stem wood properties in *Populus tremuloides*, *Betula papyrifera* and *Acer saccharum* saplings after 3 years of treatments to elevated carbon dioxide and ozone. *Global Change Biology* 10, 1513-1525.

[3] Kilpeläinen A., Peltola H., Ryyppö A. and Kellomäki S., 2004: Scots pine responses to elevated temperature and carbon dioxide concentration: growth and wood properties. *Tree Physiology* 25, 75-83.

[4] Kilpeläinen A., Peltola H., Ryyppö A., Sauvala K., Laitinen K. and Kellomäki S., 2003: Wood properties of Scots pines (*Pinus sylvestris*) grown at elevated temperature and carbon dioxide concentrations. *Tree Physiology* 23, 889-897.

- [5] Kostianen K., Kaakinen S., Saranpää P., Sigurdsson B., Linder S. & Vapaavuori E., 2004: Effect of elevated [CO₂] on stem wood properties of mature Norway spruce grown at different soil nutrient availability. *Global Change Biology* 10, 1526-1538.
- [6] Peltola H., Kilpeläinen A. and Kellomäki S., 2002: Diameter growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration under boreal conditions. *Tree Physiology* 22, 963-972.
- [7] Riikonen J., Lindsberg M.-M., Holopainen T., Oksanen E., Lappi J., Peltonen P. and Vapaavuori E., 2004: Silver birch and climate change: variable growth and carbon allocation responses to elevated concentrations of carbon dioxide and ozone. *Tree Physiology* 24: 1227-1237.
- [8] Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K. T. & Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363(1501):2341-2351.
- [9] Gregow, H., Ruosteenoja, K., Pimenoff, N. & Jylhä, K. 2011. Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. *International Journal of Climatology* 32: 1834–1846.
- [10] Kellomäki, S., Maajärvi, M., Strandman, H., Kilpeläinen, A. & Peltola, H. 2010. Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica* 44(2):213-233.
- [11] Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venäläinen, A. 2011. Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica* 45(1): 35-54.
- [12] Peltola, H., Ikonen, V.-P., Gregow, H., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Venäläinen, A. & Kellomäki, S. 2010. Impacts of climate change on timber production and regional risks of wind-induced damage to forests in Finland. *Forest Ecology and Management* 260(5):833-845.
- [13] Kilpeläinen, A., Gregow, H., Strandman, H., Kellomäki, S., Venäläinen, A. & Peltola, H. 2010. Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland. *Climatic Change* 99(1- 2):193-209.
- [14] Kilpeläinen A., Kellomäki, S., Strandman, H. & Venäläinen, A. 2010. Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climatic Change* 103:383-398.
- [15] Pouttu, A. & Annala, E. 2010. Kirjanpainajalla kaksi sukupolvea kesällä 2010. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 521–523.

- [16] Müller, M., Hantula, J., Henttonen, H., Huitu, O., Kaitera, J., Matala, J., Neuvonen, S., Piri, T., Sievänen, R., Viiri, H. & Vuorinen, M. 2012. Metsien terveys. Teoksessa: Asikainen, Antti, Ilvesniemi, Hannu, Sievänen, Risto, Vapaavuori, Elina & Muhonen, Timo (toim.). 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 240. 211 s.
- [17] Lilja, A., Hantula, J., Rytönen, A., Müller, M.M. & Pouttu, A. 2009. Vieraslajit, jotka voivat olla uhka tulevaisuudessa. *Taimiuutiset* 2/2009: 19-21.
- [18] Vanhanen, H, Veteli TO, Päivinen S, Kellomäki, S. & Niemelä P. 2007. Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth (*Lymantria dispar*) and nun moth (*L. monacha*) - a model study. *Silva Fennica* 41: 621-638.
- [19] Vapaavuori, E., Pulkkinen, P., Haapanen, M., Helmisaari, H.-S., Ilvesniemi, H., Korpela, L., Kubin, E., Leppälampi-Kujansuu, J., Mikkola, K., Pasanen, J., Poikolainen, J., Rautio, P., Repo, T., Roitto, M., Rousi, M., Salemaa, M., Tamminen, M., Tamminen, P., Tonteri, T. & Varis, S. 2012. Metsäpuiden ja -kasvien sopeutuminen nyt ja tulevaisuudessa. Teoksessa: Asikainen, Antti, Ilvesniemi, Hannu, Sievänen, Risto, Vapaavuori, Elina & Muhonen, Timo (toim.). 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 240. 211 s.
- [20] Siitonen, J. 2012. Metsien monimuotoisuus. Teoksessa: Asikainen, Antti, Ilvesniemi, Hannu, Sievänen, Risto, Vapaavuori, Elina & Muhonen, Timo (toim.). 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 240. 211 s.
- [21] Zeng, H., Pukkala, T. & Peltola, H. 2007. The use of heuristic optimization in risk management of wind damage in forest planning. *Forest Ecology and Management* 241:189-199.
- [22] Heinonen, T., Pukkala, T., Ikonen, V-P., Peltola, H., Gregow, H. & Venäläinen, A. 2011. Consideration of strong winds, their directional distribution and snow loading in wind risk assessment related to landscape level forest planning. *Forest Ecology and Management* 261(3):710-719.
- [23] Perrels, A., Rajala, R. & Honkatukia, J. 2005. Appraising the socio-economic impacts of climate change from Finland. *FinAdapt Working Paper 12*. Finnish Environment Institute Mimeographs 342, Helsinki, 30 pp.

- [24] Mäkipää, R., Linkosalo, T., Niinimäki, S., Komarov, A., Bykhovets, S., Tahvonen, O. & Mäkelä, A. 2011. How forest management and climate change affect the carbon sequestration of a Norway spruce stand. *Journal of Forest Planning* 16: 107–120.
- [25] Lauri, P. Kallio, A.M.I. & Schneider, U.A. 2012. Price of CO₂ emissions and use of wood in Europe, *Forest Policy and Economics* 15: 123-131.
- [26] Solberg, B., Moiseyev, A. & Kallio, A.M.I. 2003. Economic impacts of accelerating forest growth in Europe. *Forest Policy and Economics* 5(2): 157–171.
- [27] Vapaavuori, E., Henttonen, H.M., Peltola, H., Mielikäinen, K., Neuvonen, S., Hantula, J. & Müller, M. 2010. Climate change impacts and most susceptible regions of severe impact in Finland. In: Parviainen, J., Vapaavuori, E. & Mäkelä, A. (eds.). *Finland's Forests in Changing Climate. Metlantiöraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 159: 17-25.
- [28] Kellomäki, S., Strandman, H., Nuutinen, T., Peltola, H., Korhonen, K.T., & Väisänen, H. 2005. Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. *FINADAPT Working Paper* 4, Finnish Environment Institute Mimeographs 334, Helsinki, 50 s.
- [29] Peltola, H., Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1999. Model computations of the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. *Climatic Change* 41: 17–36.
- [30] Repo, T., Leinonen, I., Wang, K.-Y. & Hänninen, H. 2006. Relation between photosynthetic capacity and cold hardiness in Scots pine. *Physiologia Plantarum* 126: 224–231.

5. Kalatalous

5.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia kalatalouteen on tutkittu jo 1990-luvun alussa [2], mutta kalatalouden kohdalla tapahtuvia muutoksia on haasteellista johtaa suoraan jonkin yksittäisen vaikutuksen aiheuttamaksi. Euroopan merillä ylikalastus on suuri ongelma [1, s. 181], ja on lähes mahdotonta erotella, johtuvatko muutokset ylikalastuksesta vai merien lämpenemisestä tai jostain muista tekijöistä ja näiden yhteisvaikutuksista.

Tässä selvityksessä tarkastellaan seuraavia ilmastonmuutokseen liittyviä haitallisia kalatalouteen kohdistuvia vaikutuksia:

- 1) lämpimän veden lajit menestyvät (vaikutus voi olla haitallinen tai hyödyllinen),
- 2) kylmän veden lajit taantuvat,
- 3) kalat siirtyvät uusille alueille,
- 4) muutokset kalojen käyttäytymisessä,
- 5) saalislajisuhteet muuttuvat ja kalavarojen taloudellinen arvo laskee,
- 6) vieraslajien asettuminen suomen vesistöihin,
- 7) jääkalastuksen merkityksen väheneminen,
- 8) perinteisen kalastustiedon merkitys vähenee,
- 9) kalanviljelyksessä tuotantokatkoksia, kalojen kasvu hidastuu ja laatu huononee,
- 10) poikastuotannon riskit kasvavat,
- 11) kalojen hoito viljelyssä vaikeutuu,
- 12) tautien tartuntaherkkyys kasvaa ja
- 13) uudet taudit ja loiset siirtyvät Suomen vesistöihin.

Alussa mainittujen lähteiden lisäksi kalatalouteen kohdistuvia ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia on haettu RKTL:n aihetta koskevasta julkaisusta vuodelta 2011 [5].

5.2. Ilmastonmuutostutkimus

Tuoreta tietoa eri kalalajien kantojen ja kalansaaliiden muutoksista on olemassa [5], mutta arvioita ilmastonmuutoksen osuudesta näihin muutoksiin on hankala tehdä kuten edellä jo mainittiin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos (RKTL) on määritellyt neljä aihealuetta, joihin kalatalouden tutkimusta tulisi ilmastonäkökulman huomioimiseksi ja sopeutumistoimien määrittelemiseksi suunnata. Nämä ovat: 1) ilmastonmuutoksen seurannan kehittäminen ympäristömuuttujista ja kalakannoista, 2) kalakantaseurannan kehittäminen, 3) ilmastonmuutoksen vaikutukset kalayhteisöön ja ekosysteemiin, sekä 4) merikalakantojen ja eliöyhteisötason muutosten seuranta [5, s. 100-101]. Kalatalouden tutkimuksia on jonkin verran

julkaistu alan ammattilehdissä tieteellisten julkaisujen sijaan. Tämän selvityksen puitteissa ei ole ollut mahdollisuutta perehtyä syvemmin näihin julkaisuihin.

Suomessa ei ole tehty vielä merkittävässä määrin kalatalouden tutkimusta ilmastonmuutoksen näkökulmasta, eikä kalatalous ole ollut osana ilmastonmuutosta koskevia laajoja kansallisia tutkimusohjelmia ISTOa, lukuunottamatta. EU:n LIFE+ -ohjelman rahoittamassa VACCIA-hankkeessa [4] kalataloutta pohdittiin lyhyesti osana ekosysteemipalveluiden kokonaisuutta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Itämereen sen sijaan on tutkittu, myös Suomen ulkopuolella. Tutkimuksissa on tehty havaintoja myös vaikutuksista kaloihin [6].

Ilmastonmuutostutkimusta kalataloudessa hankaloittaa puutteelliset tiedot monien yhtä aikaa vaikuttavien isojen riskien yhteisvaikutuksista. Esimerkiksi Itämeren tilaan vaikuttavia tekijöitä ilmastonmuutoksen suorien vaikutusten (veden lämpötilan lämpeneminen, sademäärän lisääntyminen ja suolapitoisuuden aleneminen sekä mahdollinen tuulien suunnan ja nopeuksien muutokset) lisäksi ovat ainakin kalastus, rehevöityminen ja vieraslajit [6, 7]. Näiden muutosten kalataloudelle aiheuttamien vaikutusten ennakoiminen ei ole mahdollista nykytiedon varassa.

Taulukosta 6 on nähtävissä tutkimuksen vähäinen määrä. Niidenkin vaikutusten kohdalla, joista on olemassa jonkinlaista tutkimustietoa, analyysien tekeminen on tiedon vähäisyyden vuoksi arvioiden varassa. Poikkeuksena tästä on lämpimän veden kalalajien menestyminen, jota on tutkittu useassa julkaisussa yleisellä tasolla [3-5], ja särjen [8] ja kuhan [7] kohdalla lajitasolla. Kääntöpuolena on kylmän veden kalalajien taantuminen, jota on myös analysoitu samoissa tutkimuksissa [3-5]. Taulukossa esitettyjen haitallisten vaikutustuen, joiden kommenttiosiossa on mainittu "Arvio", haavoittuvuuteen vaikuttavat arvot perustuvat selvityksen tekijän arvioon, ja ovat kalatalouden asiantuntijoiden ja tutkijoiden muokattavissa kun tutkimus toimialalla etenee.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti, [viite] |
|------------|--|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|---|
| Kalatalous | Lämpimän veden lajit menestyvät (-/+) | | | | | | | | | Yleisesti [3], [4], [5], [6], kuha [7], särki [8] |
| | Kylmän veden lajit taantuvat | | | | | | | | | [3], [4], [5] |
| | Kalat siirtyvät uusille alueille | | | | | | | | | [7] |
| | Muutokset kalojen käyttäytymisessä | | | n/a | | n/a | | n/a | n/a | [5] kuha, ahven |
| | Saalislajisuhteet muuttuvat ja kalavarojen taloudellinen arvo laskee | | | | | | | | | [3] |
| | Vieraslajien asettuminen Suomen vesistöihin | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | Hopearuutana ja mustatäplätokko [5] |
| | Jääkalastuksen merkityksen väheneminen | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | | n/a | (Arvio). |
| | Perinteisen kalastustiedon merkitys vähenee | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | (Arvio). |
| | Kalanviljelyksessä tuotantokatkoksia, kalojen kasvu hidastuu ja laatu huononee | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | (Arvio). |
| | Poikastuotannon riskit kasvavat | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | (Arvio). |
| | Kalojen hoito viljelyssä vaikeutuu | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | (Arvio). |
| | Tautien tartuntaherkkyys kasvaa | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | (Arvio). |
| | Uudet taudit ja loiset siirtyvät Suomen vesistöihin | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | Karpin kevätviremia hopearuutanan mukana [5] |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 6. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, kalatalous. "(Arvio) on tekijän oma arvio ja tarkentuu kun tutkimus alalla etenee".

5.3. Haavoittuvuus

Tutkimuksen vähäisyyden vuoksi on mahdotonta tehdä kovinkaan tarkkoja päätelmiä kalatalouden haavoittuvuudesta liitettynä yksittäisiin haitallisiin vaikutuksiin, kuten luvussa 5.1. on todettu. Kalatalous kokonaisuudessaan on toimialana haavoittuvainen vesiympäristön muutoksille, ja siten myös ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Monimuotoisuudessa ja vesiensuojelussa tapahtuvat muutokset vaikuttavat merkittävästi kalatalouden toimialaan.

Tarkastelun perusteella veden lämpötilan muutokseen liittyvä **lämpimän veden kalojen menestyminen** ja toisaalta **kylmän veden kalojen taantuminen** on toimialan taloudellisen menestyksen kannalta olennainen vaikutus. Sopeutumispotentiaali on lähes kokonaan luonnonjärjestelmän sopeutumisesta riippuvainen, ja arvioitu keskivertoa huonommaksi. Vaikutukset ovat myös suhteellisen pysyviä ja vaikutuksen mittaluokka-, todennäköisyys- ja jakautumistarkastelu antavat myös korkean haavoittuvuustuloksen. Edellä esitetyt vaikutukset liittyvät kolmanteen huomioitavaan haitalliseen vaikutukseen, **saalislajisuhteiden muuttumiseen ja kalavarojen taloudellisen arvon laskemiseen**. Kalastuksen kannattavuus ja houkuttelevuus elinkeinona on ollut jatkuvasti laskussa jo nykyisin, vaikkakin elinkeinon sopeutumiskyvyn arvioidaan olevan kohtalainen [4].

EEA:lla ei ole indikaattoreita kalatalouden haavoittuvuudelle kvantitatiivisen tiedon vähyydestä johtuen.

Lähteet:

[1] EEA 12/2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator based report. European Environmental Agency.

[2] Ilmaston muutosten vaikutukset kaloihin, kalanviljelyyn, kalakantoihin ja kalastukseen. Kalatutkimuksia 47/1992. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

[3] Lehtonen H., 1996: Potential effects of global warming on northern European freshwater fish and fisheries. Fisheries Management and Ecology, 3, 59-71.

[4] Karjalainen, J., Keskinen T., Pulkkanen, M. 2011. Kalatalous, s. 51–54. Teoksessa: Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon, VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Suomen ympäristö 26/2011, Ympäristönsuojelu, 74 s., Suomen ympäristökeskus (SYKE).

[5] Urho, L. 2011. Kalasto-, kalakantamuutokset ja vieraskalalajit ilmaston muuttuessa. RKT:n työraportteja 6/2011. 110 s.

[6] MacKenzie, B.R., H. Gislason, C. Möllmann, and F.W. Köster. 2007. Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries. *Global Change Biology* 13: 1348-1367.

[7] Pekcan-Hekim, Z., Urho, L., Auvinen, H., Raitaniemi, J., Söderkultalahti, P., Heikinheimo, O. & Lappalainen, J. 2011. Climate warming and pikeperch yearclass catches in the Baltic Sea. *AMBIO* 40(5):447–456.

[8] Härmä, M., A. Lappalainen, and L. Urho. 2008. Reproduction areas of roach (*Rutilus rutilus*) in the northern Baltic Sea: potential effects of climate change. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65: 2678–2688.

6. Porotalous

6.1. Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Tässä selvityksessä tarkastellaan seuraavia haitallisia ja toimialan haavoittuvuutta lisääviä vaikutuksia, joihin myös ilmastonmuutos vaikuttaa.

- 1) poron ravinnonsaanti vaikeutuu,
- 2) jäkälien kasvu vaikeutuu,
- 3) vasaprocentti laskee,
- 4) vasojen syyspaino pienentyy,
- 5) homeet ja sienitaudit yleistyvät (ravinto),
- 6) kiusalliset hyönteiset lisääntyvät (räkkä),
- 7) loiset ja taudinaiheuttajat lisääntyvät ja uusia leviää entistä pohjoisempaan,
- 8) petolajit siirtyvät pohjoisemmaksi,
- 9) poroerottelu vaikeutuu ja
- 10) metsäpalot lisääntyvät.

Porotalouden menestymiseen vaikuttaa ilmastonmuutoksen lisäksi maankäytön muutokset [2, 9] ja poronhoidon käytännöt. Elinkeino on herkkä kaikille luonnossa tapahtuville muutoksille. Muutoksiin sopeutumista on kuitenkin tapahtunut niin kauan kun porotalouttakin on harjoitettu.

6.2. Ilmastonmuutostutkimus

Porotaloutta ja porokantojen menestymiseen liittyviä tekijöitä on tutkittu paljon, viime vuosina myös ilmastonmuutosnäkökulmasta [12 ja 13]. Koska porotalous on luonnonoloista riippuvainen elinkeino, tutkimuksessa on aina ollut mukana luonnonolosuhteiden vaikutukset. Suomalaisissa sopeutumisen/sopeutumista käsittelevissä tutkimushankkeissa porotaloutta ei ole erikseen tutkittu.

Porojen ravinnonsaantiin liittyviä tutkimustuloksia on julkaistu useissa vertaisarvioituissa julkaisuissa (ks. taulukko 7) . Alkupalven lumen sulamisen ja sen jälkeisen jäätymisen vaikutuksiin [1, 6, 16 ja 17] ja jäkälän määrän vähentymiseen [7, 8, 13 ja 15] viittaavaa aineistoa on porotaloutta koskevassa tutkimuksessa eniten. Hankaluudet ravinnon saatavuudessa vaikuttavat suoraan vasaprocenttiin ja vasojen syyspainon pienentymiseen, vaikka edeltävän kesän lämpötilalla on myös merkitystä [10 ja 15]. Loisten ja taudinaiheuttajien leviämistä ja vaikutuksia poroihin on tutkittu eläinlääketieteelliseltä kannalta [4 ja 5], sekä erilaisten loisten [seteria tundra 11, 18 ja 19] ja haitallisten hyönteisten [hirkäpöytä 20 ja 21] lisääntymisen kautta.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti [viite] |
|------------|---|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|---|
| Porotalous | Poron ravinnon saanti vaikeutuu | | | | | | | | | Kova jääkerros [1], [6], [16], [17], jäkälä vähentynyt [7], [8], [13], [15], muu ravinto [22]. |
| | Jäkälien kasvu vaikeutuu | | | | | | | | | varvut, sammalet ja heinät syrjäyttää. |
| | Vasaprocentti* laskee | | | | | | | | | Korreloi ravinnon saatavuuden kanssa [2], kesän lämpötila [10], [15]. |
| | Vasojen syyspaino pienentyy | | | | | | | | | Korreloi ravinnon saatavuuden kanssa [2]. |
| | Homeet ja sienitaudit yleistyvät (ravinto) | | | | | | | | | [6], [14]. |
| | Kiusalliset hyönteiset lisääntyvät (räkkä) | | | | | | | | | [3]. |
| | Loiset ja taudinaiheuttajat lisääntyvät ja uusia leviää entistä pohjoisempaan | | | | | | | | | Loisten häätö lääkityksen avulla [4], [5], Seteria tundra [11] ja [19], [18], hirvikärpänen [20], [21]. |
| | Petolajit siirtyvät pohjoisemmaksi | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | Poroerottelu vaikeutuu | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | Metsäpalot lisääntyvät | | | | | | | | | |

* Vasojen lukumäärä 100 vaadinta kohti erotuksissa luetuissa poroissa.

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 7. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, porotalous.

6.3. Haavoittuvuus

Koska poronhoito perustuu lähtökohdiltaan porojen kykyyn hankkia itse oma ravintonsa luonnosta ja Pohjois-Suomen luonto on erityisen haavoittuvainen ilmastonmuutokselle, on myös porotalous jo lähtökohtaisesti haavoittuva toimiala. Lumiolosuhteet vaikuttavat merkittävästi porojen ruoansaantiin. Porotalouden sopeutumiskyky riippuu osaltaan myös porojen määrästä.

Poronhoidossa sopeutuminen ilmastonmuutoksen haitallisiin vaikutuksiin näkyy käytännön ongelmatilanteissa. Esimerkiksi porojen ravinnonsaanti on viime aikoina noussut poronkasvattajien huolenaiheeksi ja tähän on reagoitu kehittämällä poron ruokintamenetelmiä. Myös hirvikärpäsen leviäminen poronhoitoalueelle on aiheuttanut ongelmia, jonka vuoksi loislääkintää on ollut tarpeen tehostaa.

Tehdyn tarkastelun perusteella on selvää, että porotalouden sopeutumistoimiin on panostettava myös tulevaisuudessa. **Ravinnonsaannin vaikeutuminen** sekä ravinnon huonosta saatavuudesta suoraan johtuvat **tuottavuuteen** liittyvät tekijät (vasaprosentti laskee ja vasojen syyspaino pienentyy) nousivat tarkastelussa toimialan haavoittuvuutta voimakkaasti lisääviksi tekijöiksi. Lisäpainetta porotaloudelle tuovat muut haitalliset vaikutukset, kuten haitallisten hyönteisten ja loisten lisääntyminen. Niidenkin kohdalla haavoittuvuus nousi tarkasteluasteikon puoliväliin.

Lähteet:

[1] Kumpula, J. 2001: Winter grazing of reindeer in woodland lichen pasture: Effect of lichen availability on the condition of reindeer. *Small Ruminant Research*, 39(2): 121-130.

[2] Kumpula, J., Colpaert, A., Anttonen, M., 2007. Does forest harvesting and linear infrastructure change the usability value of pastureland for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*)? *Annales Zoologici Fennici* 44: 161-178.

[3] Helle, T. & Tarvainen, L. 1984: Effects of insects harassment on weight gain and survival in reindeer calves. *Rangifer* 4(1): 24-27.

[4] Oksanen, A. 1999: Endectocide treatment of the reindeer (Väitöskirja). *Rangifer*, Special Issue No 11. 53 s.

[5] Hrabok, J. 2006: Nematode parasites of reindeer in Fennoscandia (Väitöskirja). *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, SLU, Doctoral thesis No. 2006:89. 52 s., 5 osajulkaisua.*

- [6] Kumpula, J. 2001: Productivity of the semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.) stock and carrying capacity of pastures in Finland during 1960-1990's (Väitöskirja). Acta Universitatis Ouluensis, Scientiae Rerum Naturalium, A 375, 44 s. ja 6 osajulkaisua.
- [7] Kumpula, J., Tanskanen, A., Colpaert, A., Anttonen, M., Törmänen, H., Siitari, J. & Siitari, S. 2009: Poronhoitoalueen pohjoisosan Talvilaitumet vuosina 2005-2009 – Laidunten tilan muutokset 1990-luvun puolivälin jälkeen. Riista- Ja kalatalous – Tutkimuksia 3/2009, 48 s.
- [8] Mattila, E. & Mikkola, K. 2009: Poronhoitoalueen etelä- ja keskiosien talvilaitumet – Tila paliskunnissa 2000-luvun alkuvuosina ja eräiden ravintoasvien esiintymisrunsauden muutokset merkkipiireissä 1970-luvulta lähtien. Metlan työraportteja 115, 57 s.
- [9] Anttonen, M., Kumpula, J. & Colpaert, A., 2011. Range selection by semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in relation to infrastructure and human activity in the boreal environment, northern Finland. Arctic 64 (1): 1-14.
- [10] Kumpula, J. & Colpaert, A. 2003: Effects of weather and snow conditions on reproduction and survival of semi-domesticated reindeer (*R.t.tarandus*). Polar Research 22(2): 225-233.
- [11] Laaksonen, S. 2010: *Setaria tundra*, an emerging parasite of reindeer, and an outbreak it caused in Finland in 2003-2006 (Väitöskirja). Evira Research Reports 1/2010, 80 s., 6 osajulkaisua.
- [12] Nieminen, M. 2013: Porotutkimus Suomessa - Tutkittua tietoa poronhoitoon. RKTL:n työraportteja 11/2013, 74 s.
- [13] MTT 2008: Porotalouden taloudelliset menestystekijät. MTT:n selvityksiä 156 (toimittanut Leena Rantamäki-Laitinen), 129 sivua + liitteet.
- [14] Kumpula, J. Parikka, P. & Nieminen, M. 2000: Occurrence of certain microfungi on reindeer pastures in northern Finland during winter 1996-97. Rangifer, 20 (1): 3-8.
- [15] Helle, T. & Kojola, I. 2008: Demographics in an alpine reindeer herd: effects of density and winter weather. Ecology 89: 221 – 230.
- [16] Putkonen, J. & Roe, G. 2003: Rain-on-snow events impact soil temperatures and affect ungulate survival. Geophys. Lett. 20(4): 1188, doi 10.1029/2002GL016326.
- [17] Kumpula, J & Colpaert, A. 2007: Snow conditions and usability value of pastures for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in pine forest landscape. Rangifer 27 (1): 25-39.

- [18] Laaksonen, S., Kuusela, J., Nikander, S., Nylund, M. & Oksanen, A. 2007: Outbreak of parasitic peritonitis in reindeer in Finland. *Veterinary Records* 16: 835-841.
- [19] Laaksonen, S., Pusenius, J., Kumpula, J., Venäläinen, A., Kortet, R., Oksanen, A. & Hoberg, E. 2010: Climate change promotes the emergence of serious disease outbreaks of filarioid nematodes. *EcoHealth* 7(1):7-13.
- [20] Härkönen, L., Härkönen, S., Kaitala, A., Kaunisto, S., Kortet, R., Laaksonen, S. & Ylönen, H. 2010: Predicting range expansion of an ectoparasite - the effect of spring and summer temperatures on deer ked *Lipoptena cervi* (Diptera: Hippoboscidae) performance along a latitudinal gradient. *Ecography* 33: 906-912.
- [21] Kynkäänniemi, S.-M., Kortet, R., Härkönen, L., Kaitala, A., Paakkonen, T., Mustonen, A.-M., Nieminen, P., Härkönen, S., Ylönen, H. & Laaksonen, S. 2010: Threat of an invasive parasitic fly, the deer ked (*Lipoptena cervi*), to the reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*): experimental infection and treatment. *Annales Zoologici Fennici* 47: 28-36.
- [22] Turunen, M., Soppela, P., Kinnunen, P., Sutinen, M-L. & Martz, F. 2009: Does climate change influence the availability and quality of reindeer forage plants? *Polar Biology* 32: 813-832.

7. Riistatalous

7.1. Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Kalatalouden tapaan myös riistataloudessa yksittäisten tekijöiden vaikutuksia riistaeläinten kantoihin on vaikeaa eritellä. Riistatalouden toimialan kannalta haitalliset ja tässä selvityksessä tarkastellut vaikutukset on lueteltu alla.

Pienriista ja pikkunisäkkäät:

- 1) petopaine lisääntyy,
- 2) metsäkanalintujen talvehtimismenestys huonontuu,
- 3) talviväristä tulee haitta,
- 4) tunturilajien elintila kaventuu,
- 5) pienpetojen taudit ja loiset leviävät ja
- 6) linnunpoikasten selviytyminen vaikeutuu.

Hirvieläimet:

- 7) hirvien aiheuttamat metsätuhot lisääntyvät.

Suurpedot:

- 8) ilves ja karhu leviävät pohjoisemmaksi.

Yleinen:

- 9) kantojen seuranta vaikeutuu ja
- 10) kilpailu muiden lajien kanssa lisääntyy.

7.2. Ilmastonmuutostutkimus

Riistatalouden ilmastonmuutostutkimus on vielä vähäistä. Riistatalouden näkökulma ei ole ollut mukana kansallisissa ilmastonmuutosta käsittelevissä tutkimushankkeissa. Tutkimustuloksia on julkaistu ammattijulkaisuissa tieteellisten julkaisujen sijaan. Ammattilehdissä julkaistuun tutkimukseen ei ole ollut tämän selvityksen yhteydessä mahdollisuutta perehtyä.

Linnunpoikasten selviytyminen on ainoa ilmastonmuutoksen haitallinen vaikutus, josta on tehty useampia tutkimuksia [2, 4 ja 5]. Metsäjäniksen menestymisestä on yksi viimeaikainen tutkimus [3], jossa on tehty havaintoja petopaineen lisääntymisestä, talviväriytyksen ongelmallisuudesta tulevaisuudessa ja lisääntyneestä kilpailusta muiden lähellä olevien lajien kanssa. Lintulajien

kohdalla on tutkittu pohjoisten lajien elintilan kaventumista [1] ja riistakantaseurantatutkimuksen yhteydessä seurannan tulevaisuuden haasteita [6].

| Toimiala | Tarkennus | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumis- potentiaali | Haavoittuvuus- luokka | Kommentti/viite | |
|--------------|---------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Riistatalous | Pienriista ja pikkunisäkkäät | Petopaine lisääntyy (kettu, supikoira, mäyrä) | | | | | | | | | Metsäjänis [3]. | |
| | | Metsäkanalintujen talvehtimismenestys huonontuu | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | (Arvio). | |
| | | Talviväristä tulee haitta | | | | | | | | | | Metsäjänis [3]. |
| | | Tunturilajien elintila kaventuu | | | | | | | | | | Lintulajit [1]. |
| | | Pienpetojen taudit ja loiset leviävät; osa loisista vaarallisia ihmiselle ja kotieläimille | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | | Linnunpoikasten selviytyminen vaikeutuu | | | | | | | | | | kanalinnut [2], [4] (teeri) [5]. |
| | Hirvieläimet | Hirvien aiheuttamat metsätuhot lisääntyvät | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | | |
| | Suurpedot | Ilves ja karhu leviävät pohjoisemmaksi | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | | |
| | | Kantojen seuranta vaikeutuu | | | | | | | | | | Kolmiolaskentojen vaikeudet [6]. |
| | | Kilpailu muiden lajien kanssa lisääntyy | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | Metsäjänis/rusakko [3]. |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------|-----------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 8. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, riistatalous.

7.3. Haavoittuvuus

Haavoittuvuustarkastelusta on mahdotonta tehdä johtopäätöksiä vähäisten tutkimusaineiston pohjalta. Keskeistä on kuitenkin suhteellisen heikko sopeutumispotentiaali.

Lähteet:

- [1] Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Leikola, N. & Luoto, M. 2008. Projected large-scale range reductions of northern-boreal land bird species due to climate change. *Biological conservation* 141: 1343-1353.
- [2] Koskimies, J. & Lahti, S. 1964. Cold-hardiness of the newly hatched young in relation to ecology and distribution in ten species of European ducks. *The Auk* 81: 281-307.
- [3] Kauhala, K. & Helle, P. 2007. Metsäjäniskanta pienentynyt voimakkaasti. *Riista- ja kalatalous – Selvityksiä 3/2007*. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 12 s.
- [4] Lehikoinen, A. 2009. Climate forcing on avian life history. – Väitöskirja, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto.
- [5] Ludwig, G.X., Alatalo, R.V., Helle, P., Lindén, H., Lindström, J. & Siitari, H. 2006. Short- and long-term population dynamical consequences of asymmetric climate change in black grouse. *Proceedings of the Royal Society B: Biol. Sciences* 273: 2009-2016.
- [6] Wikman, M. (toim.) 2010. Riistakannat 2010. Riistaseurantojen tulokset. *Riista- ja kalatalous – Selvityksiä 21*. 46 s.

8. Vesivarat

8.1. Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesivaroihin, tulviin ja kuivuuteen vaihtelevat merkittävästi eri puolilla Suomea ja riippuvat vesistöjen hydrologisista ominaisuuksista [1, s. 5]. Vesivaroihin kohdistuvan tutkimuksen maantieteellinen yleistettävyyden on edellä mainituista seikoista johtuen huonoa.

Tässä selvityksessä esille nostettuja haitallisia vaikutuksia ovat:

- 1) muutokset vuotuisessa valunnassa ja sen jakaumassa,
- 2) talvitulvat yleistyvät,
- 3) kesän rankkasadetulvat yleistyvät,
- 4) jokien hyydetulvien riski kasvaa,
- 5) suurtulvien mahdollisuus kasvaa,
- 6) kesän kuivuus lisääntyy,
- 7) pohjavedenpinnat laskevat kesällä ja alkusyksyllä,
- 8) veden laatu heikkenee,
- 9) pohjavesien pilaantuminen,
- 10) lumipeitteinen aika lyhenee,
- 11) järvien jääpeiteaika lyhenee ja
- 12) jääpeitteen paksuus pienenee.

Vesivarojen toimialan kohdalla ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia on haettu alussa mainittujen peruslähteiden lisäksi WaterAdapt -hankkeen vuonna 2012 valmistuneesta loppuraportista [1] ja FINADAPT-hankkeen vesivaroihin kohdistuneesta työpaketista [18]. WaterAdapt-projekti oli yksi ISTO-hankkeista ja siinä tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesistöittäin.

8.2. Ilmastonmuutostutkimus

Vesivarojen toimialaan liittyvää tutkimusta on ollut mukana jokaisessa kansallisessa ilmastonmuutoksen tutkimusohjelmassa sekä EU:n rahoittamassa VACCIA -hankkeessa. Aiheesta on tehty myös paljon selvityksiä liittyen esimerkiksi alueellisen tulvasuojeluun.

Vertaisarvioidussa tutkimuksessa on selvitetty vuotuisten valuntojen muutoksia [4, 7, 14 ja 17] ja sinilevän ja myrkyjen [2], hydrologisten olosuhteiden muutoksen [8], typpivalunnan [15] ja

rehevöitymisen [16] aiheuttamaa veden laadun heikkenemistä. Veijalainen et al. [4] tutkimuksessa vuodelta 2010 käsiteltiin ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia vesivaroihin tulvien näkökulmasta hyvin kattavasti. Tutkimuksessa on kehitetty myös työkaluja tulvien hallintaan [9] sekä kustannus-hyöty laskelmia tulvasuunnittelun tueksi [11 ja 12]. (Ks. taulukko 9).

8.3. Haavoittuvuus

Vesivarojen tarkastelussa käy ilmi, että hyvin suuri osa selvityksessä käsitellyistä haitallisista vaikutuksista jää haavoittuvuusarvioinnissa keskitasolle tai haavoittuvuutta voimakkaasti lisäävälle puolelle. Ainoastaan vaikutusten jakautumisen kohdalla vaikutukset enemmänkin keskittyvät kuin jakautuvat tasaisesti, mikä tarkoittaa että haitalliset vaikutukset kohdistuvat tiettyihin alueisiin. Vaikutusten todennäköisyyden asettuminen mitta-asteikon keskivaiheelle johtuu alussa mainituista vesistökohtaisista eroista. **Veden laadun heikkeneminen, pohjaveden pilaantuminen ja suurtulvat** nousevat tarkastelussa toimialan haavoittuvuutta lisääviksi vaikutuksiksi.

EEA:n ilmastonmuutosta ja vesivarojen sopeutumista koskevat indikaattorit ovat: 1) jokien virtaamat, 2) jokitulvat, 3) jokien kuivuminen, 4) jokien ja järvien veden lämpötila ja 5) järvien ja jokien jääpeite. Nämä indikaattorit soveltuu käytettäväksi myös Suomessa.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti/viite |
|-----------|---|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|--|
| Vesivarat | Muutokset vuotuisessa valunnassa ja sen jakaumassa | | | | | | | | | [4] Vuoksi [7], [14], [17]. |
| | Talvitulvat yleistyvät | | | | | | | | | [4], [13]. |
| | Kesän rankkasadetulvat yleistyvät | | | | | | | | | [4]. |
| | Jokien hyydetulvien riski kasvaa | | | | | | | | | [5]. |
| | Suurtulvien mahdollisuus kasvaa | | | | | | | | | [4]. |
| | Kesän kuivuus lisääntyy | | | | | | | | | [4], [13]. |
| | Pohjavedenpinnat laskevat kesällä ja alkusyksyllä | | | | | | | | | [6]. |
| | Veden laatu heikkenee (hajakuormitus - rehevöityminen - happikato; taudinaiheuttajat ja myrkyt) | | | | | | | | | Sinilevät ja myrkyt [2], [3], järvien hydrologiset olosuhteet [8], typpivalunta [15], rehevöityminen [16]. |
| | Pohjavesien pilaantuminen | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | (Arvio). |
| | Lumipeitteinen aika lyhenee | | | | | | | | | [13], [14]. |
| | Järvien jääpeiteaika lyhenee ja jääpeitteen paksuus pienenee | | | | | | | | | [10]. |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 9. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, vesivarat.

Lähteet:

- [1] Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen M., Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 6/2012.
- [2] Rapala, J., Robertson, A., Negri, A., Berg, K., Tuomi, P., Lyra, C., Erkomaa, K., Lahti, K., Hoppu, K., ja Lepistö, L. 2005. First report of saxitoxin in Finnish lakes and possible associated effects on human health. *Environmental Toxicology*. 20:331-340.
- [3] Van Dolah, F. 2000. Marine algal toxins: origins, health effects and their increased occurrence. *Environmental Health Perspectives* 108: 133- 141.
- [4] Veijalainen, N., Lotsari E., Alho, P., Vehviläinen, B., Käyhkö, J. 2010. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391: 333-350.
- [5] Aaltonen, J., Veijalainen N., Huokuna M. 2010. The effect of climate change on frazil ice jam formation in the Kokemäenjoki River. 20th IAHR International Symposium on Ice, Lahti, Finland, June 14 to 18, 2010.
- [6] Okkonen, J. 2011. Groundwater and its response to climate variability and change in cold snow dominated regions in Finland: methods and estimations. *Acta Univ. Oul. C* 412.
- [7] Veijalainen, N., Dubrovin, T., Marttunen, M., Vehviläinen, B. 2010. Climate change impacts on water resources and lake regulation in the Vuoksi watershed in Finland. *Water Resources Management*. 24 (13): 3437-3459.
- [8] Forsius, M., Saloranta, T., Arvola, L., Salo, S., Verta, M., Ala-Opas, P., Rask, M. and Vuorenmaa, J. 2010. Climate change experiment: Physical and chemical consequences of artificial mixing in a small humic lake. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14: 2629–2642.
- [9] Rosqvist, T., Molarius, R., Virta, H., Perrels, A. (2013), Event Tree Analysis for flood protection – an exploratory study in Finland, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 112, pp. 1–7, DOI: 10.1016/j.ress.2012.11.013.
- [10] Saloranta, T. M., Forsius, M., Järvinen, M. and Arvola, L. 2009. Impacts of projected climate change on thermodynamics of a shallow and deep lake in Finland: Model simulations and Bayesian uncertainty analysis. *Hydrology Research*: 40: 234-248.
- [11] Perrels, A., Veijalainen, N., Jylhä, K., Aaltonen, J., Molarius, R., Porthin, M., Silander, J., Rosqvist, T., Tuovinen, T., Carter, T., Fronzek, S. (2010), The Implications of Climate Change for

Extreme Weather Events and their Socio-economic Consequences in Finland, VATT Research report 158, 157 pp.

[12] Virta, H., Rosqvist, T., Simola, A., Perrels, A. Molarius, R., Luomaranta, A. Honkatukia, J. (2011), Cost-benefit analysis of climate change induced extreme events as part of public decision making – Final project report of IRTORISKI (in Finnish, with extended English summary), Finnish Meteorological Institute, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/26744>

[13] Vehviläinen, B. & Huttunen, M. 1997. Climate change and Water Resources in Finland. *Boreal Environment Research* 2(1): 3–18.

[14] Lepistö A. & Kivinen Y. 1997. Effects of climatic change on hydrological patterns of a forested catchment: a physically based modeling approach. *Boreal Environment Research* 2(1): 19–31.

[15] Kallio K., Rekolainen S., Ekholm P., Granlund K., Laine Y. Johnsson H. & Hoffman M. 1997. Impacts of climatic change on agricultural nutrient losses in Finland. *Boreal Environment Research* 2(1): 33–52.

[16] Frisk T., Bilaletdin Ä. Kallio, K. & Saura, M. 1997. Modelling the effects of climate change on lake eutrophication. *Boreal Environment Research* 2(1): 53–67.

[17] Veijalainen, N., Korhonen, J., Vehviläinen, B. & Koivusalo, H. 2012. Modelling and statistical analysis of catchment water balance and discharge in Finland 1951–2099 using transient climate scenarios. *Journal of Water and Climate Change* 3(1): 55–78.

[18] Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskiarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M. & Veijalainen, N. 2006. Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Finnish Environment Institute Mimeographs 336. 54 s.

[19] Ollila, M., Virta, H. & Hyvärinen, V. 2000. Suurtulvaselvitys. Arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 441. 138 s.

9. Luonnon monimuotoisuus

9.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Luonnon monimuotoisuus tai biodiversiteetti määritellään seuraavasti:

"Biological diversity" means the variability among living organisms from all sources including, inter alia, terrestrial, marine and other aquatic ecosystems and the ecological complexes of which they are part; this includes diversity within species, between species and of ecosystems.⁴

Kaikkien luonnosta riippuvaisten toimialojen menestys on kytkeytynyt luonnon monimuotoisuuteen. Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia on luonnon monimuotoisuuden kannalta pohdittu osittain jo edellisissä luvuissa. Luonnon monimuotoisuuden ja lajien kehityksen kannalta ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat suhteellisen nopeita, ja yhteisvaikutukset vielä paljolti tuntemattomia. Ilmastonmuutoksen merkityksen arviointi lajien uhanalaistumiskehityksessä on vielä hyvin vaikeaa myös tutkimustiedon vähäisyyden vuoksi [13].

Tässä selvityksessä tarkastellaan luonnon monimuotoisuutta ja sen haavoittuvuutta viiden ilmastonmuutoksen haitallisen vaikutuksen kautta. Nämä vaikutukset ovat mittaluokaltaan hyvin suuria, ja osin myös päällekkäisiä ja vaikutussuhteessa toisiinsa. Niihin vaikuttavat myös monet muut tekijät ilmastonmuutoksen lisäksi. Luonnon monimuotoisuutta on sen laajuuden ja kompleksisuuden vuoksi hyvin haastavaa jaotella yksittäisiksi vaikutuksiksi. Tässä selvityksessä luonnon monimuotoisuutta pyritään lähestymään seuraavien vaikutusten kautta:

- 1) vieraslajit hyötyvät suhteessa alkuperäiseen lajistoon,
- 2) uhanalaisten lajien menestyminen heikkenee entisestään,
- 3) elinympäristöjen muutokset ja häviäminen (kosteikot, tundra, eristyneet elinympäristöt),
- 4) muutokset ja siirtymät eläinlajien levinneisyysalueissa ja runsaudessa, sekä
- 5) ekosysteemipalveluiden heikentyminen.

Muutokset kasvien ja eläinten fenologiassa voidaan nähdä sopeutumiskeinoina (positiivinen vaikutus) ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin, eikä fenologiaa tästä syystä tarkastella tässä selvityksessä osana luonnon monimuotoisuutta.

Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia suhteessa luonnon monimuotoisuuteen on haettu alussa esitettyjen lähteiden lisäksi myös IPCC:n teknisestä taustaraportista vuodelta 2002 [3] sekä FINADAPT-hankkeen monimuotoisuutta koskeneen työpaketin raportista [25].

⁴ Convention on Biological Diversity. Article 2. <http://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-02>.

9.2. Ilmastonmuutostutkimus

FINADAPT-hankkeen lisäksi luonnon monimuotoisuutta on pohdittu myös muissa kotimaisissa ilmastonmuutoksen tutkimusohjelmissa. ISTO:n puitteissa monimuotoisuustutkimusta on tehty suojelualueverkostojen toimivuudesta lajien säilymisen kannalta sekä vieraslajien leviämisestä. Uhanalaisista lajeistamme saimaannorppaan kohdistuvaa tutkimusta on tehty Suomessa paljon [taulukossa 10 esimerkkeinä 22 ja 23], ja ISTO:ssa on pohdittu myös ilmastonmuutoksen vaikutusta lajin menestystä uhkaavana tekijänä [20]. EU:n LIFE+ -ohjelmasta rahoitetussa VACCIA-hankkeessa tutkittiin ekosysteemipalveluiden ja näihin nojautuvien elinkeinojen haavoittuvuutta ja ilmastonmuutokseen sopeutumista. Hankkeessa tunnistettiin kymmenittäin lisäselvitys ja -tutkimustarpeita [6, liite 4].

Vieraslajeja on tutkittu kansainvälisesti paljon. Vieraslajien menestymistä uudessa ympäristössä selitetään muun muassa luontaisten vihollisten puuttumisella [12]. Vuonna 2010 julkaistiin Suomen lajien uhanalaisuustutkimus, jossa todettiin muun muassa että soiden, kallioiden, rantojen ja tunturipaljakoiden lajiston uhanalaistuminen on lisääntynyt huomattavasti [13]. Myös lintulajeihin keskittyneestä tutkimuksesta saatiin vastaavia tuloksia [17]. Havaintoaineistoihin perustuvat tutkimukset ilmasto-olosuhteiden vaikutuksista populaatioiden kokoon eivät ole antaneet suoraviivaisia tuloksia ilmaston merkityksestä [16]. Ilmaston merkitys vaikuttaa olevan paljolti myös laji ja paikkasidonnaisia [19]. Eläinlajien menestymistä muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa on viime vuosina Suomessa vähäisessä määrin tutkittu havaintoihin perustuvien aineistojen lisäksi myös mallinnuksen keinoin. Elinympäristötietoja ja ilmastoskenaarioita yhdistämällä on saatu arvioita sopivien elinympäristöjen säilymisestä erilaisissa ilmasto-olosuhteissa [18].

Elinympäristöjen muutosten kohdalla tutkimusta on tehty koskien palsasoita [4 ja 15], rannikkoalueita [14] ja pohjoisen lintulajeja [1]. Lisäksi vuonna 2008 on tehty Suomen luontotyyppien uhanalaisuus selvitys [26]. Ekosysteemipalveluiden heikkeneminen on oikeastaan synteesi monia toimialoja koskevista vaikutuksista, ja tätä kokonaisuutta on tutkittu muun muassa VACCIA-hankkeessa [6].

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti, [viite] |
|------------------------|---|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|---|
| Luonnon monimuotoisuus | Vierasajat hyötyvät suhteessa alkuperäiseen lajistoon | | | | | | | | | [7], [8], [9], [10], [11]. |
| | Uhanalaisten lajien menestyminen heikkenee entisestään (sukupuuton uhka) | | | | | | | | | [5], [13], saimaannorppa [20], [21], [22]. |
| | Elinympäristöjen muutokset ja häviäminen (kosteikot, tundra, eristyneet elinympäristöt) | | | | | | | | | Pohjoisen lintulajit [1], palsasuot [4] ja [15], rannikko [14]. |
| | Muutokset ja siirtymät eläinlajien levinneisyysalueissa ja runsaudessa | | | | | | | | | [2], myyrä [16], linnut [17] ja [18], hömöttäinen [19], kalat [24]. |
| | Ekosysteemipalveluiden heikentyminen | | | | | | | | | [6]. |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 10. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, luonnon monimuotoisuus.

9.3. Haavoittuvuus

Luonnon monimuotoisuuden kohdalla kokonaistarkastelussa nousee esiin vaikutusten suuri mittaluokka, suhteellisen merkittävä pysyvyys, vaikutusten suuri todennäköisyys sekä keskivertaista huonompi sopeutumispotentiaali. Vaikutusten jakautumisen kohdalla kerrannaisvaikutukset voivat jakaa vaikutuksia vielä tässä analyysissä merkittävä tasaisemmin, mikä merkitsee haavoittuvuuden kasvua vielä entisestään. **Kaikki tarkastellut ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset** nousivat haavoittuvuustarkastelussa toiseksi korkeinta haavoittuvuutta merkitsevään luokkaan, joten kaikilla tarkastelluilla vaikutuksilla on suuri merkitys monimuotoisuuden haavoittuvuuden kannalta.

EEA:n määrittelemät indikaattorit sopeutumiselle luonnon monimuotoisuuden osalta ovat: 1) kasvien ja sienien fenologia, 2) eläinten fenologia, 3) kasvilajien levinneisyys ja 4) eläinlajien levinneisyys ja populaatioiden koko. Samoja indikaattoreita voi hyvin soveltaa myös Suomen kohdalla.

Lähteet:

[1] Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Leikola, N. & Luoto, M. 2008. Projected large-scale range reductions of northern-boreal land bird species due to climate change. *Biological conservation* 141: 1343-1353.

[2] Root, T, Price J, Hall K, Schneider, S, Rosenzweigk, C. ja Pounds, J. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57-60.

[3] Gitay H., Suarez A., Watson R.T and Dokken D.J. (Eds.), 2002: *Climate Change and Biodiversity*. IPCC, Geneva, pp. 85.

[4] Luoto M., Heikkinen R.K. & Carter T.R., 2004: Loss of palusa mires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation* 31(1):1-8.

[5] Thomas C.D. and al. 2004: Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148.

[6] Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). *Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon*. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. 74 s.

Julkaistu myös artikkelina:

- Forsius, M. & al. 2013. Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: a model based study. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:26–40. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2013.01.001
- [7] Mack, R.N., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Evans, H., Clout, M. & Bazzaz, F.A. 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* 10: 689–710.
- [8] Korsu, K. 2005. Tulokaslajit leviävät – globaali haaste ekologeille. *Tieteessä Tapahtuu* 4: 29–32.
- [9] Heikkinen, R., Pöyry, J., Fronzek, S. & Leikola, N. 2011. Ilmastonmuutos ja vieraslajien leviäminen Suomeen – tutkimustiedon synteesi ja suurilmastollinen vertailu. *Suomen Ympäristö*, 7/2012.
- [10] Hellmann, J.J., Byers, J.E., Bierwagen, B.G. & Dukes, J.S. 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology* 22: 534–543.
- [11] Rahel, F.J. & Olden, J.D. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology* 22: 521–533.
- [12] Blumenthal, D., Mitchell, C.E., Pysek, P. & Jarosik, V. 2009. Synergy between pathogen release and resource availability in plant invasion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 7899–7904.
- [13] Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) 2010. Suomen lajien uhanalaisuus - Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 685 s.
- [14] Aikio, S., Hyvärinen, M., Koivula, K., Lampila, S., Markkola, A.M., Niemelä, M. & Pakanen, V.M. 2011. Between devil and (not a very) deep blue sea Endangered sea shore species in a changing climate. VACCIA reports.
- [15] Fronzek S, Carter TR, Räisänen J, Ruokolainen L, Luoto M (2010) Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for sub-arctic tundra mires in Fennoscandia. *ClimaticChange* 99:515–534
- [16] Korpela, K., Delgado, M., Henttonen, H., Korpimäki, E., Koskela, E., Ovaskainen, O., Pietiäinen, H., Sundell, J., Yoccoz, N.G. & Huitu, O. 2013. Nonlinear effects of climate on boreal rodent dynamics: mild winters do not negate high-amplitude cycles. *Global Change Biology* 19: 697–710.

- [17] Virkkala, R. and Rajasärkkä, A. 2012. Preserving species populations in the boreal zone in a changing climate: contrasting trends of bird species groups in a protected area network. *Nature Conservation* 3, 1-20.
- [18] Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Fronzek, S., Kujala, H. and Leikola, N. 2013. Does the protected area network preserve bird species of conservation concern in a rapidly changing climate? *Biodiversity and Conservation* 22, 459-482.
- [19] Vatka, E., Orell, M. & Rytönen, S. 2011. Warming climate advances breeding and improves synchrony of food demand and food availability in a boreal passerine. *Global Change Biology* 17: 3002–3009.
- [20] Niemi, M., M. Auttila, M. Viljanen & M. Kunnasranta. 2011. Home range, survival and dispersal of critically endangered Saimaa ringed seal pups: implications for conservation. *Marine Mammal Science* DOI: 10.1111/j.1748-7692.2011.00521.x.
- [21] Kovacs, K. M., A. Aguilar, D. Aurioles ym. 2011: Global threats to pinnipeds. *Marine Mammal Science*, doi: 10.1111/j.1748-7692.2011.00479.x
- [22] Palo, J. 2003. Genetic diversity and phylogeography of landlocked seals. – PhD Dissertation, University of Helsinki.
- [23] Palo, J. U., H. Hyvärinen, E. Helle, H. S. Mäkinen & R. Väinölä. 2003. Postglacial loss of microsatellite variation in the landlocked Lake Saimaa ringed seal. – *Conservation Genetics* 4: 117-128.
- [24] Kallasvuori, M., 2010. Coastal environmental gradients – key to reproduction habitat mapping of freshwater fish in the Baltic Sea. Academic Dissertation, University of Helsinki 34 pp. + 5 reprints.
- [25] Pöyry, J. & Toivonen, H. 2005. Climate change adaptation and biological diversity. FINADAPT Working Paper 3, Finnish Environment Institute Mimeographs 333, Helsinki, 46 pp.
- [26] YM 2008. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus.
<http://www.ymparisto.fi/luontotyyppienuhanalaisuus>

10. Energiantuotanto ja -jakelu

10.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia energiantuotannon ja -jakelun näkökulmasta on julkisessa tutkimuksessa hahmoteltu vasta vähän. Tässä selvityksessä ei ole ollut mahdollisuutta perehtyä energialiikelaistosten omiin selvityksiin ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Näiden tarkastelu olisi kuitenkin toimialan haavoittuvuuden kannalta tärkeää. Myrskyihin ja muihin luonnonilmiöihin sekä häiriötilanteisiin on varauduttu jo lakisääteisten veloitteidenkin vuoksi.

Tässä selvityksessä analysoidaan seuraavia ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia energiantuotannolle ja -jakelulle:

- 1) häiriöt energianjakelussa voivat lisääntyä,
- 2) häiriöt energiantuotannossa voivat lisääntyä,
- 3) energiaverkon huoltokustannukset nousevat,
- 4) vesivoimatuotannon ennakoitavuus heikkenee,
- 5) turvetuotannon ennakoitavuus heikkenee,
- 6) turpeen nosto vaikeutuu,
- 7) rannikolla sijaitsevien ydinvoimaloiden tulvariskit kasvavat (meritulva),
- 8) aurinkovoiman käytettävyys heikkenee,
- 9) varakapasiteetin tarve kasvaa,
- 10) lauhdevoimaloiden tuotanto laskee,
- 11) lämmön ja sähkön yhteistuotanto vähentyy ja
- 12) energiankulutus jäähdytyksessä kasvaa.

Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia energiantuotantoon on haettu alussa esitettyjen lähteiden lisäksi FINADAPT-hankkeen energiasektoria käsittelevän työpaketin raportista [1].

10.2. Ilmastonmuutostutkimus

FINADAPT-hankkeen lisäksi myös FIGARE-tutkimusohjelmassa käsiteltiin energiamarkkinoita, mutta esimerkiksi ISTO:on ei kuulunut energiasektoria käsitteleviä tutkimuskokonaisuuksia.

Etenkin ilmastonmuutoksen energiantuotantoon kohdistuvat haitallisia vaikutuksia koskevat muutamat tutkimukset ovat hyvin yleisiä, lukuun ottamatta tutkimuksia ydinvoimaloiden turvallisuuskysymyksistä [5] (taulukko 11). Energianjakelun häiriöistä ja häiriöiden korjauskustannuksista on tällä hetkellä kattavinta tutkimusta [4, 7 ja 9].

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumis-potentiaali | Haavoittuvuus-luokka | Kommentti, [viite] |
|-----------------------------|--|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|------------------------|----------------------|---|
| Energiantuotanto ja -jakelu | Häiriöt energianjakelussa voivat lisääntyä | | | | | | | | | Jakeluverkkojen tuuli- ja lumituhot [4], [9]. |
| | Häiriöt energiantuotannossa voivat lisääntyä | | | | | | | | | Tuulivoima [8]. |
| | Energiaverkon huoltokustannukset nousevat | | | | | | | | | Jakeluverkkojen tuuli- ja lumituhot ja kantaverkon kunnossapito [4], [7]. |
| | Vesivoimatuotannon ennakoitavuus heikkenee | | | | | | | | | [3]. |
| | Turvetuotannon ennakoitavuus heikkenee | | | | | | | | | [3]. |
| | Turpeen nosto vaikeutuu | | | | | | | | | Routa [3]. |
| | Rannikolla sijaitsevien ydinvoimaloiden tulvariskit kasvavat (meritulva) | | | | | | | | | [5]. |
| | Aurinkovoiman käytettävyys heikkenee | | | | | | | | | Pilvisyyden lisääntyminen [10]. |
| | Varakapasiteetin tarve kasvaa | | | | | | | | | Kansainvälisiä arvioita [10]. |
| | Lauhdevoimaloiden tuotanto laskee | | | | | | | | | Lauhdeveden lämpötilan nousu [2] ja [3]. |
| | Lämmön ja sähkön yhteistuotanto vähentyy | | | | | | | | | Lämmitysenergian tarpeen väheneminen [2]. |
| | Energiankulutus jäähdytyksessä kasvaa | | | | | | | | | [2], [6], [7]. |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 11. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, energiantuotanto- ja jakelu.

10.3. Haavoittuvuus

Tutkimuksen vähäisyyden ja yleisyyden vuoksi vaikutusten ja haavoittuvuuden analyysi perustuu pitkälti arvioille, ja sitä on pidettävä lähtökohtana tarkemmalle analyysille tutkimuksen lisääntyessä tai täydentyessä energialaitosten omilla tutkimuksilla. Analyysissä nousee esiin, että toimialan sopeutumispotentiaali on suhteellisen hyvä, eli energiatoimijoiden investoinneilla tai varautumissuunnittelulla on mahdollista sopeutua tuleviin muutoksiin tehokkaasti. Merkittävimmiksi haavoittuvuutta lisääviksi vaikutuksiksi nousevat **häiriöiden lisääntyminen energianjakelussa** ja **-tuotannossa**, joiden merkittävyys on keskeinen koko yhteiskunnan toimivuuden kannalta. Myös **energiaverkon huoltokustannusten nousu** nousee analyysissä esiin, mutta sen vaikutukset ovat lähinnä taloudellisia, eivät yhteiskunnan toimivuutta suoraan uhkaavia.

Euroopan ympäristövirasto asettaa raportissaan energiasektorin indikaattoriksi lämmityspäivien määrän (heating degree days), joka kuvaa ilmastonmuutoksen vaikutuksia energiankysyntään. Sähkönkulutusta ja -tuotantoa pohditaan myös, mutta tietojen puutteen vuoksi niitä ei esitetä indikaattoreina [11, s. 201]. Lämmityspäivien määrä yksinään ei ehkä ole koko Euroopan tasolla riittävä kuvaamaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia, koska se ei huomioi lisääntyvää jäähtymiseen kuluvan energian määrää. Jäähtymys tuotetaan koko Euroopan laajuudessa suurimmaksi osaksi sähköllä, jolloin sähkönkulutuksen lisääminen indikaattorisarjaan toisi sille lisää luotettavuutta. Suomen mittakaavassa mielenkiintoista on kaukojäähtymisen osuus jäähtymyksessä ja koko energiantuotannon kokonaisuudessa tulevaisuudessa.

Lähteet:

[1] Kirkinen, J., Martikainen, A., Holttinen, H., Savolainen, I., Auvinen, O. and Syri, S. 2005. Impacts on the energy sector and adaptation of the electricity network business under a changing climate in Finland. FINADAPT Working Paper 10, Finnish Environment Institute Mimeographs 340, Helsinki, 36 pp.

[2] Venäläinen, A., Tammelin, B., Tuomenvirta, H., Jylhä, K., Koskela, J., Turunen, M., Vehviläinen B., Forsius, J. and Järvinen, P. 2004. The influence of climate change on energy production and heating energy demand in Finland. *Energy & Environment* 15(1): 93-109.

[3] Tammelin B., Forsius J., Jylhä K., Järvinen P., Koskela J., Tuomenvirta H., Turunen M.A., Vehviläinen B. ja Venäläinen A., 2002: Ilmastonmuutoksen vaikutuksia energiantuotantoon ja lämmitysenergian tarpeeseen. Raportteja 2002:2. Ilmatieteen laitos. 121 s.

[4] Martikainen, A. 2006. Ilmastonmuutoksen vaikutus sähköverkkoliiketoimintaan. Espoo 2006. VTT Tiedotteita 2338. 74 s. + liitt. 5 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2338.pdf>

Julkaistu myös englanniksi:

Martikainen A., Pykälä M-L., Farin J. 2007. Recognizing climate change in electricity network design and construction. VTT Tiedotteita - Research Notes: 2419. ISBN 978-951-38-6977-9. VTT, Espoo. 106 p. + app. 80 p.

[5] Johansson, M., Kahma, K., Pellikka, H., 2011. Sea level scenarios and extreme events on the Finnish coast. In: SAFIR2010, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2007-2010, Final Report. Puska. E.-K., Suolanen, V. (Eds.) VTT Tiedotteita – Research Notes: 2571 2011. VTT, Espoo. 578 p. Pages 570-578

[6] Pilli-Sihvola K., Aatola P., Ollikainen M., Tuomenvirta H. 2010. Climate change and electricity consumption – Witnessing increasing or decreasing use and costs? Energy Policy 38 (5), 2409-2419.

[7] Perrels, A., Rajala, R., Honkatukia, J. 2005. Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland. FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs 342, Helsinki, 30 pp.

[8] Molarius, R., Keränen, J., Schabel, J. and Wessberg, N. 2010. Creating a climate change risk assessment procedure - Hydropower plant case, Finland. Hydrology Research. Vol. 41 (2010) No: 3 - 4, 282 – 294 doi-link: 10.2166/nh.2010.123

[9] Verho P. Sarsama J., Strandén J., Krohns-Välimäki H., Hälvä V. ja Hagqvist O., 2011. Sähköhuollon suurhäiriöiden riskianalyysi- ja hallintamenetelmien kehittäminen - Projektin loppuraportti.
<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@I904/@web/@p/documents/liit/p023819.pdf>

[10] Ruuhela, R. (toim.) 2011. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? Yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. MMM:n julkaisu 6/2011.

[11] EEA 12/2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator based report. European Environmental Agency.

11. Liikenne ja tietoliikenne

11.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia liikenteen infrastruktuurille on tunnistettu suhteellisen laajasti ja yksityiskohtaisesti. Merkittävä osa haitallisista vaikutuksista syntyy sään ääri-ilmiöiden esiintymisestä. Tässä selvityksessä haitalliset vaikutukset on ryhmitelty laajemmiksi kokonaisuuksiksi yleiskuvan hahmottamista varten. Tarkastellut haitalliset vaikutukset on lueteltu alla.

Liikenne:

- 1) merenkulku hankaloituu (ahtojäät ja sohjovyöt)
- 2) lentoliikenne hankaloituu (myrskyjen ja sateiden lisääntyminen, lentokenttien ylläpito)
- 3) ratapenkereiden ja teiden sortumisriski kasvaa
- 4) rataverkon ja tiestön kunnossapito-ongelmat ja kustannukset lisääntyvät
- 5) huonot keliolosuhteet lisääntyvät kaikilla liikennemuodoilla
- 6) kuljetusvarmuus heikkenee ja kustannukset menetetyistä ajasta kasvavat ja
- 7) liukkauden torjunnan tarve lisääntyy.

Tietoliikenne:

- 8) vauriot ilmajohtoverkoille ja katkokset maakaapeleissa lisääntyvät ja
- 9) toimivuushäiriöiden korjaamisesta ja niihin varautumisesta aiheutuu lisäkustannuksia.

Selvityksen alussa esitettyjen lähteiden lisäksi ilmastonmuutoksen haitallisten vaikutusten lähteenä on käytetty FINADAPT-hankkeen liikennesektoria käsittelevän työpaketin raporttia [1].

11.2. Ilmastonmuutostutkimus

Kansallisista ilmastonmuutosta käsitelleistä tutkimusohjelmista FINADAPTin lisäksi ISTOn yhteydessä pohdittiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja niihin sopeutumista rakennetun ympäristön ja tätä kautta myös liikenteen näkökulmasta.

Infrastuktuuriin kohdistuvien vaikutusten ja sopeutumiskeinojen tutkimuksen lisäksi liikennesektorin osalta on tehty myös kustannuslaskelmia eri vaikutusten osalta [4, 6 ja 14] (taulukko 12), mikä on ilmastonmuutoksen vaikutusten ja sopeutumistoimien tutkimuksessa vielä suhteellisen harvinaista. Suuri osa liikennesektorin tutkimuksista on ilmestynyt tutkimusraportteina, eikä vertaisarvioitua tutkimusta oikeastaan ollut löydettävissä. Suomalaisten ilmastonmuutostutkimusohjelmien lisäksi tutkimusta on tehty useissa kansainvälisissä

tutkimushankkeissa [esim. 3, 8 ja 14]. Onnettomuuksien lisääntymisestä liikenteessä on esitetty ristiriitaisia tulkintoja. Toisaalla esitetään onnettomuusriskin kasvavan ilmastonmuutoksen ja siitä aiheutuvien keliolosuhteiden huononemisen myötä [13] ja toisaalla on laskennallisesti osoitettu onnettomuuksien ja niistä aiheutuvien kustannusten vähenevän [4].

Tietoliikenteen osalta tutkimusta ei löytynyt saatavilla olevasta aineistosta.

11.3. Haavoittuvuus

Haavoittuvuustarkastelussa huomio kiinnittyy toimialan hyvään sopeutumiskykyyn. Useat haitalliset vaikutukset on vältettävissä vaikutusten huomioimisella suunnittelussa ja varautumisella sään ääri-ilmiöiden varalle. Useat haitalliset vaikutukset ovat lopulta taloudellisia kysymyksiä onnettomuusriskiä lukuunottamatta. Vaikutukset eivät myöskään näytä olevan realisoitumassa lähimpien vuosikymmenten kuluessa. **Kunnossapito-ongelmien lisääntyminen ja tästä aiheutuvat kustannukset** sekä **liukkauden torjunta** nousevat analyysissä esiin. Jos tulevaisuuden keliolosuhteet muodostuvat onnettomuuksia lisääviksi, on tämä myös merkittävä liikennetoimialan haavoittuvuutta lisäävä tekijä, koska vaikutukset kohdistuvat suoraan ihmisten terveyteen ja henkeen.

Euroopan ympäristövirasto ei esitä indikaattoreita liikenteen tai tietoliikenteen toimialoille.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumis-potentiaali | Haavoittuvuus-luokka | Kommentti, [viite] |
|---------------|---|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|------------------------|----------------------|---|
| Liikenne | Merenkulku hankaloituu (ahtojäät ja sohjovyöt) | | | | | | | | | [10], [11] |
| | Ratapenkereiden ja teiden sortumisriski kasvaa | | | | | | | | | [9] |
| | Rataverkon ja tiestön kunnossapito-ongelmat ja kustannukset lisääntyvät | | | | | | | | | Tiestön kuluminen ja käyttöiän lyhen. [2], tiet [6], rautatiet [9], |
| | Huonot keliolosuhteet lisääntyvät (onnettomuus- ja työturvallisuusriski*) | | | | | | | | | Maantiet [8], rautatiet [9], meriliikenne [10], [11], lentoliikenne [13]. |
| | Kuljetusvarmuus heikkenee ja kustannukset menetetyistä ajasta kasvavat | | | | | | | | | Lentoliikenne ja tavarakuljetukset [4], [13], raideliikenne [9]. |
| | Liukkauden torjunnan tarve ja siitä aiheutuvat kustannukset lisääntyvät | | | | | | | | | Tiestö [2], [5], [7], ratapihat ja raiteet [9], jalankulku [12], lentokentät [13] |
| Tietoliikenne | Vauriot ilmajohtoverkoille ja katkokset maakaapeleissa lisääntyvät | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | Toimivuushäiriöiden korjaamisen ja niihin varautumisen kustannukset lisääntyvät | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |

* Toisaalla on esitetty, että onnettomuusriski pienenee ilmastonmuutoksen vaikutuksesta [4].

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 12. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, liikenne ja tietoliikenne.

Lähteet:

- [1] Saarelainen, S. 2006. Adaptation to climate change in the transport sector. FINADAPT Working Paper 8, Finnish Environment Institute Mimeographs 338, Helsinki, 26 pp.
- [2] Ala-Outinen, T., Harmaajärvi, I., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuhola, M. and Törnqvist, J. 2004. Impacts of climate change on the built environment. *VTT Tiedotteita - Research Notes: 2227*, Espoo, 83 pp. + appendices (in Finnish with English summary).
- [3] Vajda, Andrea; Tuomenvirta, Heikki; Jokinen, Pauli; Luomaranta, Anna; Makkonen, Lasse; Tikanmäki, Maria; Groenemeijer, Pieter; Saarikivi, Pirkko; Michaelides, Silas; Papadakis, Matheos; Tymvios, Filippos; Athanasatos, Spyros, 2011. Probabilities of adverse weather affecting transport in Europe: climatology and scenarios up to the 2050s, FMI Report 2011:9, <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/28592>
- [4] Nokkala, M, Leviäkangas, Oiva, K. (2012), The costs of extreme weather for the European transport system, VTT Technology no.36, Espoo, Finland
- [5] Saarelainen, S. & Makkonen, L., 2007: Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tienpidossa. Tiehallinnon selvityksiä 4/2007. Tiehallinto, Helsinki.
- [6] Tiehallinto, 2009: Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon, Tiehallinnon selvityksiä 8/2009.
- [7] Venäläinen A. 2000. Tiesuolan käytön arviointi talvikuukausien lämpötilan avulla. Helsinki 2000. Tielaitoksen selvityksiä 9/2000. 24 s.
- [8] Makkonen, L. & Tikanmäki, M., 2008: Poikkeukelliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa. VTT Tutkimusraportti, VTT-R-10419-08, 26 s.
- [9] Saarelainen, S. & Makkonen, Lasse, 2008: Radanpidon sopeutuminen ilmastonmuutokseen, esiselvitys, Ratahallintokeskuksen julkaisusarja A 16.
- [10] Merenkululaitos, 2009: Ilmastomuutoksen vaikutukset Merenkululaitoksen toimintaan ja ilmastomuutokseen sopeutumisen edellyttämät toimenpiteet. Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 3/2009.
- [11] Luomaranta, A., J. Haapala, H. Gregow, K. Ruosteenoja, K. Jylhä & A. Laaksonen, 2010: Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2010:4, Helsinki, 36 s.

[12] Ruuhela, R., Ruotsalainen, J., Kangas, M., Aschan, C., Rajamäki, E., Hirvonen, M. & Mannelin, T., 2005. Kelimallin kehittäminen talvijalankulun turvallisuuden parantamiseksi: Loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2005:1, Helsinki, 47 s.

[13] Salanne I., B. Byring, R. Valli, M. Tikkanen, P. Peltonen, J. Haapala, K. Jylhä, O. Tolonen-Kivimäki & H. Tuomenvirta, 2010: Ilmastonmuutos ja tavaraliikenne: Selvitys ilmastonmuutoksen ja sen hillintätoimien vaikutuksista tavaraliikenteeseen. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 15/2010, 95 s.

[14] Molarius, R., Leviäkangas, P., Hietajärvi, A.-M., Nokkala, M., Rönty, J., Könönen, V., Zulkarnain., K. O., Mäensivu, S., Kreuz,, M., Mühlhausen,, T., Ludvigsen, J., Saarikivi, P., Vajda,, A., Tuomenvirta, H., Athanasatos, S. et al. (2012). Weather hazards and vulnerabilities for the European transport system - a risk panorama (*EWENT D 5.1*). VTT Technical Research Centre of Finland. http://virtual.vtt.fi/virtual/ewent/D5/Ewent_D51_FINAL.pdf.

12. Terveys

12.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Terveyden toimialan kohdalla tarkastellut ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset ovat:

- 1) helteen aiheuttamat terveysongelmat lisääntyvät
- 2) ruokamyrkytysten lisääntyminen
- 3) ihmisten altistuminen maatalouden kontaminanteille lisääntyy
- 4) ihmisten altistuminen torjunta-aineille kasvaa
- 5) vektori- ja vesivälitteiset taudit lisääntyvät
- 6) siitepölyjen lisääntyminen
- 7) ilmansaasteiden lisääntyminen
- 8) syanobakteerien (sinilevä) lisääntyminen uimavesissä
- 9) säähän liittyvien tapaturmien lisääntyminen
- 10) zoonoottisten tautien ja muiden infektioita aiheuttavien mikrobin yleistymisen sekä
- 11) mielenterveysongelmat lisääntyvät (kaamosoireet)

Terveyden toimialaan kohdistuvia ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia haettiin alussa lueteltujen lähteiden lisäksi myös ISTOn alla tehdyn elintarviketuotantoa koskeneen ELICLIMATE-hankkeen aineistosta [1] sekä FINADAPT-hankkeen terveyttä käsitelleestä raportista [5].

12.2. Ilmastonmuutostutkimus

Terveyden ja ilmastonmuutoksen vaikutusten yhteydestä on olemassa paljon arvioita, ja merkittävimmät haitalliset vaikutukset on tunnistettu. Tarkempaa tutkimusta esimerkiksi zoonooseista Suomen muuttuvassa ilmastossa ei ole tehty.

Helle aiheuttaa terveysongelmia etenkin vanhuksille, lapsille ja muille riskiryhmille enenevässä määrin tulevaisuudessa, jolloin kuumuusjaksot voivat olla kestoaltaan pidempiä ja voimakkaampia kuin nykyisin [2-6 ja 22] (ks. taulukko 13). Erilaisten tautien lisääntymisen kohdalla tutkimuksessa on esitetty samansuuntaisia arvioita. Siitepölyn lisääntymisen [5, 8, 9 ja 10] ei nykytutkimuksen mukaan lisää allergisia sairauksia, mutta pahentaa oireilua allergikoilla. Ilmansaasteiden vaikutusta ihmisen terveydelle on tutkittu paljon, mutta ilmansaasteiden lisääntymisen ja ilmastonmuutoksen yhteydestä ei ole paljoakaan tutkimusta saatavilla. Ilmastonmuutoksen edetessä lisääntyvien maastopalojen aiheuttamat hiukkaspäästöt vaikuttavat terveyteen haitallisesti [11]. Säähän liittyvien tapaturmien ja talven ajan lumisuuden (valon) puutteeseen liittyvien mielenterveysongelmien ajatellaan kasvavan.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti, [viite] |
|--|--|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|-------------------------|---|
| Terveys | Helteen aiheuttamat terveysongelmat lisääntyvät | | | | | | | | | [2], [3], [4], [5], [6], [22]. |
| | Ruokamyrkytysten lisääntyminen | | | | | | | | | [1]. |
| | Ihmisten altistuminen maatalouden kontaminanteille lisääntyä | | | | | | | | | [1]. |
| | Ihmisten altistuminen torjunta-aineille kasvaa | | | | | | | | | [1]. |
| | Vektori- ja vesivälitteiset taudit lisääntyvät | | | | | | | | | [1], [5], [11], [12]. |
| | Siitepölyjen lisääntyminen | | | | | | | | | [5], [8], [9], [10]. |
| | Ilmansaasteiden lisääntyminen | | | | | | | | | [7], metsäpalojen hiukkaspäästöt [11]. |
| | Syanobakteerien (sinilevä) lisääntyminen uimavesissä | | | | | | | | | [11]. |
| | Säähän liittyvien tapaturmien lisääntyminen | | | | | | | | | Liukastuminen ja jäihin tippuminen [5], puiden kaatuminen [11], liukastuminen [13]. |
| | Zoonoottisten tautien ja muiden infektiota aiheuttavien mikrobien yleistymisen | | | | | | | | | Zoonoosit [5], [11] (puutiainen) [14], [15], [16], myyräkuume [17]. |
| Mielenterveysongelmat lisääntyvät (kaamosoireet) | | | | | | | | | [18], [19], [20], [21]. | |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 13. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, terveys.

12.3. Haavoittuvuus

Terveyden toimialalla sopeutumispotentiaali on hyvä, koska Suomessa on toimiva ja moniin maihin verrattuna edistysellinen ja kaikille kansalaisille saavutettavissa oleva julkinen terveydenhuolto. Terveyteen vaikuttavat ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset eivät myöskään kohdistu kaikkiin henkilöihin tasaisesti, ne eivät ole pitkäkestoisia, eivätkä realisoidu lähivuosikymmeninä. Terveyteen kohdistuvien haitallisten vaikutusten kohdalla on vielä myös paljon epävarmuuksia. Tästä syystä haavoittuvuustarkastelussa mikään ilmastonmuutoksen haitallisista vaikutuksista ei nouse yli keskitason.

EEA:n tarkastelemat muuttujat terveyden toimialan kohdalla ovat: 1) tulvat, 2) ääriämpötilat, 3) UV-säteily, 4) vektorivälitteiset taudit ja 5) vesi- ja ruokavälitteiset taudit. Nämä lienevät käyttökelpoisia myös Suomen kohdalla.

Lähteet:

- [1] ELICLIMATE-hankkeen loppuraportti: Molarius, R., Keränen, J., Jylhä, K., Sarlin, T. & Laitila A. 2010. Suomen elintarviketuotannon turvallisuuden haasteita muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. VTT Tutkimusraportti : VTT-R-2672-10. 82 s. + liitt. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-2672-10.pdf>.
- [2] Näyhä, S. 2005 Environmental temperature and mortality. *Int J Circumpolar Health* 64(5):451-458.
- [3] Keim SM, Mays MZ, Parks B, Pytlak E, Harris RM, Kent MA. 2007. Heat fatalities in Pima County, Arizona. *Health Place*. 13:288-92.
- [4] Rocklöv J, Forsberg B. 2010. The effect of high ambient temperature on the elderly population in three regions of Sweden. *Int J Environ Res Public Health* 7: 2607: 2619.
- [5] Hassi, J., Rytönen, M. 2005. Climate warming and health adaptation in Finland. FINADAPT Working Paper 7, Finnish Environment Institute Mimeographs 337, Helsinki, 22 pp.
- [6] Näyhä, S. 2005. Kylmä, kuuma ja kuolleisuus. *Duodecim* 121: 433-439.
- [7] Dennekamp M, Carey M. 2010. Air quality and chronic disease: why action on climate change is also good for health. *NSW Publ Health Bull* 21: 115-122.
- [8] Ranta, H., Hokkanen, T., Linkosalo, T., Laukkanen, L., Bondestam, K., Oksanen, A. (2008) Male flowering of birch: Spatial synchronization, year-to-year variation and relation of catkin numbers and airborne pollen counts. *Forest Ecol and Management*, 255, 643-650.

- [9] Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., Rantio-Lehtimäki, A. (2006) Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study. *Int J. on Biometeorology*, DOI 10.1007/s00484-006-0027-x, 50, 392-402.16.
- [10] Siljamo, P., Sofiev, M., Ranta, H., Linkosalo, T., Kubin, E., Ahas, R., Genikhovich, E., Jatczak, K., Jato, V., Nekovar, J., Minin, A., Severova, E., Shalaboda, V. (2008) Representativeness of point-wise phenological *Betula* data observed in different parts of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 17(4), 489-502, DOI: 10.1111/j.1466-8238.2008.00383.x.
- [11] Ruuhela, R. (toim.) 2011. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? Yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. MMM:n julkaisuja 6/2011.
- [12] Miettinen et al. 2001. Waterborne epidemics in Finland in 1998-1999. *Water Sci Technol.* 43:67-71.
- [13] Ruuhela, R., Ruotsalainen, J., Kangas, M., Aschan, C., Rajamäki, E., Hirvonen, M. & Mannelin, T., 2005. Kelimallin kehittäminen talvijalankulun turvallisuuden parantamiseksi: Loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2005:1, Helsinki, 47 s.
- [14] Jaenson TGT, Ejsen L, Comstedt P, Mejlon HA, Lindgren E, Bergström S, Olsen B. Risk indicators for the tick *Ixodes ricinus* and *Borrelia burgdorferi sensu lato* in Sweden *Medical and Veterinary Entomology* (2009) 23, 226–237.
- [15] Sumilo D, Bormane A, Asokliene L, Vasilenko V, Golovljova I, Avsic-Zupanc T, Hubalek Z, Randolph SE. Socio-economic factors in the differential upsurge of tick-borne encephalitis in Central and Eastern Europe. *Rev Med Virol.* 2008 Mar-Apr;18(2):81-95.
- [16] Jääskeläinen, Tonteri E, Sironen T, Pakarinen L, Vaheri A, Vapalahti O. European Subtype tick-borne encephalitis virus in *Ixodes persulcatus* ticks. *Emerg Infect Dis*, 2011 Feb 17(2):323-5.
- [17] Evander M, Ahlm C. Milder winters in northern Scandinavia may contribute to larger outbreaks of haemorrhagic fever virus. *Glob Health Action.* 2009 Nov 11;2. doi: 10.3402/gha.v2i0.2020.
- [18] Grimaldi, S., Partonen, T., Haukka, J., Aromaa, A., Lönnqvist, J. 2009. Seasonal vegetative and affective symptoms in the Finnish general population: Testing the dual vulnerability and latitude effect hypotheses. *Nord J Psychiatry* 63:397-404.

- [19] Merikanto I, Lahti T, Castaneda AE, Tuulio-Henriksson A, Aalto-Setälä T, Suvisaari J, Partonen T. 2011. Influence of seasonal variation in mood and behavior on cognitive test performance among young adults. *Nord J Psychiatry* 2011. [doi:10.3109/08039488.2011.633618].
- [20] Grimaldi, S., Englund, A., Partonen, T., Haukka, J., Pirkola, S., Reunanen, A., Aromaa, A., Lönnqvist, J. 2009. Experienced poor lighting contributes to the seasonal fluctuations in weight and appetite that relate to the metabolic syndrome. *J Environ Public Health* 2009:165013.
- [21] Ruuhela, R., Hiltunen, L., Venäläinen, A., Pirinen, P., Partonen T. 2009. Climate impact on suicide rates in Finland from 1971 to 2003. *Int J Biometeorol* 53:167-175.
- [22] Carter, T., S. Fronzek, A. Inkinen, I. Lahtinen, H. Mela, K O'Brian, L. Rosentrater, R. Ruuhela, L. Simonsson and E. Terämä (2013) Characterising vulnerability of the elderly to climate change in the Nordic region. In: European Commission, European Climate Change Adaptation conference 2013, ISBN: 978-92-79-26185-5, doi: 10.2777/13121, p. 421-422.

13. Matkailu ja luonnon virkistyskäyttö

13.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Elinkeinoina luontoon kohdistuva matkailu on täysin riippuvainen luonnon olosuhteista ja ilmastosta. Pohjois-Suomen talvimatkailu on lumikeskeistä ja talvien lämpenemisellä on suoria haitallisia vaikutuksia Pohjois-Suomen matkailulle. Toisaalta matkailu mahdollisesti pääasiassa hyötyy tulevasta kehityksestä. Selvityksessä tarkastellut ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset ovat:

- 1) lumiolosuhteet vaihtelevat ja tulevat epäluotettavammiksi (Pohjois-Suomi),
- 2) sään epävarmuustekijät ja
- 3) vesien rehevöityminen ja leväkukintojen yleistymisen järvissä ja Itämeressä.

13.2. Ilmastonmuutostutkimus

Ilmastonmuutoksen vaikutusten ja matkailun tutkimusta on Suomessa tehty hyvin vähän. VACCIA-hankkeen [2] yhteydessä tehdyt tutkimukset Rukalta ja Vuokatista [3-5] sekä FINADAPT-hankkeen yhteydessä tehty haastattelututkimus [1] lienevät ainoita ilmastonmuutoksen ja matkailun tapaustutkimuksia Suomessa. (Ks. taulukko 14). Näissä lumisuuden vähentyminen ja sään muuttuminen muutenkin epävarmemmaksi nousivat esille keskeisimpinä ilmastonmuutoksen vaikutuksina. Rehevöitymisestä ja sen vaikutuksista matkailulle tai luonnon virkistyskäytölle ei löytynyt mainintoja.

13.3. Haavoittuvuus

Pohjois-Suomen matkailun haavoittuvuutta lisääviä vaikutuksia ovat vaihtelevat lumiolosuhteet ja muut sään epävarmuustekijät. Vaikka lumisuuden muutokset ovat olleet jo nykyilmastossa havaittavissa, lunta pitäisi riittää vuosisadan puolenvälin tienoille. Kokonaiskuvan saamiseksi Suomen matkailun ja luonnon virkistyskäytön haavoittuvuudesta tulisi tarkastella laajempia kansainvälisiä matkailuun liittyviä tekijöitä myös matkailijoiden lähtöalueilla.

Euroopan ympäristövirastolla ei ole indikaattoreita matkailulle.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti, [viite] |
|-------------------------------------|---|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|---|
| Matkailu ja luonnon virkistyskäyttö | Lumiolosuhteet vaihtelevat ja tulevat epäluotettavammiksi (Pohjois-Suomi) | | | | | | | | | Lumi [1] ja [2], vesistöjen jäätyminen ja lumi [3], [4], [5]. |
| | Sään epävarmuustekijät | | | | | | | | | [3], [4], [5]. |
| | Vesien rehevöityminen ja leväkukintojen yleistymisen järvissä ja Itämeressä | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 14. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, matkailu ja luonnon virkistyskäyttö.

Lähteet:

- [1] Sievänen, T., Tervo, K., Neuvonen, M., Pouta, E., Saarinen, J. & Peltonen, A. 2005. Nature-based tourism, outdoor recreation and adaptation to climate change. FINADAPT Working Paper 11, Finnish Environment Institute Mimeographs 341, Helsinki, 46 pp.
- [2] Heikkinen, Hannu I., Kauppila, P., Lépy, È., Ponnikas, J. & Rautio, A. 2011. Matkailu. Julk.: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen Ympäristö 26/2011. Ss. 54-57.
- [3] Heikkinen, H. I. (toim.), Suopajärvi, T., Huusko, A., Karjalainen, T. P., Kauppila, P., Koskela, A., Mustonen, V., Ponnikas, J., Rantala, S., Rautio, A., Saarinen, J., Savela, H., Siikamäki, P. & Tervo-Kankare, K. 2010. Ilmastonmuutos ja matkailun haasteet Kuusamossa ja Sotkamossa. Oulun yliopisto, Thule- instituutti, Oulu.
- [4] Kauppila, P., Heikkinen, H. I., Lépy, E., Ponnikas, J., Rautio, A. & Vihervaara, V. 2011. Ilmastonmuutos ja matkailu pohjoisilla alueilla: haavoittuvuuskyynnyksiä ja sopeutumiskeinoja. Oulun yliopisto, Thule- instituutti, Oulu.
- [5] Heikkinen H, I., Karjalainen T., P., Kauppila P., Lépy É., Ponnikas J., Rautio A., Saarinen J. 2011. Adaptation to climate change and monitoring needs of change in northern tourism destinations. Thule Institute, UNIPress, Oulu. (Also in Finnish "Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja muutoksen seuranta pohjoisilla matkailualueilla").

14. Yhdyskunnat ja rakennukset

14.1. Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset

Alueidenkäyttöä, yhdyskuntia sekä rakennuksia ja rakentamista on usein käsitelty yhdessä. Tässä selvityksessä näitä sektoreita tarkastellaan kahtena toimialana: 1) yhdyskunnat ja rakennukset (jo olemassa olevat) sekä 2) alueidenkäytön suunnittelu ja rakentaminen (alueiden- ja maankäytön suunnittelu sekä uudisrakentaminen). Vaikka kumpaankin muodostettuun toimialaan kohdistuvat samat ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset, voidaan uusia alueita ja rakennuksia suunniteltaessa huomioida ja ainakin osittain välttää haitalliset vaikutukset. Tästä syystä alueidenkäyttö ja rakentaminen käsitetään tässä selvityksessä keinona sopeutua ilmastonmuutoksen haitallisiin vaikutuksiin ja sitä käsitellään lyhyesti luvussa 15. Tulvia on pohdittu jo luvussa 8, ja tässä luvussa keskitytään tarkemmin yhdyskunnille ja rakennuksille aiheutuviin haitallisiin vaikutuksiin.

Selvityksessä tarkastellut ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset ovat:

- 1) riskialttius rannikoilla kasvaa,
- 2) sadevesijärjestelmien ylikuormittuminen ja taajamien tulviminen,
- 3) rakennusten korroosioaika ja -nopeus kasvavat,
- 4) rakennusten ulko-osiin kohdistuva kosteusriski kasvaa ja huollon tarve lisääntyy,
- 5) homeen kasvulle suotuisia olosuhteita esiintyy entistä enemmän,
- 6) rakenteiden vaurioituminen lisääntyy pohjaveden nousemisen vuoksi,
- 7) maaperän lujuuden ja kantavuuden vähentyminen ja
- 8) putkirikot (maan painuminen).

Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia on etsitty selvityksen alussa lueteltujen lähteiden lisäksi VTT:n vuonna 2004 julkaistusta raportista Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön [1].

14.2. Ilmastonmuutostutkimus

FINADAPT-hankkeessa tehtiin alustava selvitys ilmastonmuutoksen vaikutuksista rakennetulle ympäristölle [10]. ISTO-hankeessa EXTREMES II (2006-2008) tutkittiin ääri-ilmiöiden todennäköisyyksiä ja vaikutuksia rakennettuun ympäristöön [5]. ISTOssa tehtiin useita tutkimuksia tulvien ja ääri-ilmiöiden vaikutuksista rakennettuun ympäristöön [7, ks. myös luku 8]. Vuosina 2009-2012 toteutetussa FRAME-projektissa [4] syntyi yksityiskohtaista tietoa rakennusten kosteudenhallinnasta erilaisissa rakenteissa ilmaston muuttuessa.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuusluokka | Kommentti, [viite] |
|----------------------------|--|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| Yhdyskunnat ja rakennukset | Riskialttius rannikoilla kasvaa | | | | | | | | | [1], [2], [3], [10] |
| | Sadevesijärjestelmien ylikuormittuminen ja taajamien tulviminen (hulevedet) | | | | | | | | | [1], [5], [6], [7], [10] |
| | Rakennusten korroosioaika ja -nopeus kasvavat | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | [1], [5] |
| | Rakennusten ulko-osiin kohdistuva kosteusriski kasvaa ja huollon tarve lisääntyy | | | | | | | | | [1], [4], [5], [8], [9] |
| | Homeen kasvulle suotuisia olosuhteita esiintyy entistä enemmän | | | | | | | | | [1], [4] |
| | Rakenteiden vaurioituminen lisääntyy pohjaveden nousemisen vuoksi | | | | | | | | | [1], [4], [6] |
| | Maaperän lujuuden ja kantavuuden vähentyminen | | | | | | | | | [1] |
| | Putkirikot (maan painuminen) | | | | | | | | | [1], [10] |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 15. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja haavoittuvuuden analyysi, yhdyskunnat ja rakennukset.

14.3. Haavoittuvuus

Taulukosta 15 käy ilmi, että jo olemassa olevien rakennusten kohdalla kosteuden lisääntyminen ja kosteuteen liittyvät ongelmat tulevat lisääntymään. Muutenkin rakenteiden kestävyys kärsii ilmastonmuutoksesta. Yhdyskuntien ja rakennusten toimialan sopeutumispotentiaali on korjattavissa olevien rakennusten osalta suhteellisen hyvä. Toisaalta korjaaminen voi olla hyvinkin kallista ja kannattamatonta etenkin hyvin vanhojen rakennusten kohdalla. Haitalliset vaikutukset ovat keskimääräistä pysyvämpiä ja myös hyvin todennäköisiä. Vaikutukset myös jakautuvat tällä toimialalla tasaisesti.

Euroopan ympäristövirasto ei ole asettanut varsinaisia indikaattoreita tälle toimialalle tietojen puutteellisuuden vuoksi, mutta etenkin kaupunkien haavoittuvuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. Raportissa todetaan, että mm. lämpöaalloja, tulvia ja veden puutetta kuvaavia indikaattoreita on hyödyllistä tarkastella kaupunkien haavoittuvuutta tarkasteltaessa [11, s. 222-223].

Lähteet:

[1] Ala-Outinen, T. Harmaajärvi, I., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuhola, M., & Törnqvist, J. 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Tiedotteita 2227. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2227.pdf>.

[2] Ollila, M., Virta, H. & Hyvärinen, V. 2000. Suurtulvaselvitys. Arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 441. 138 s.

[3] Ollila, M. (toim.) 1999. Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa. Suositus alimmista rakentamiskorkeuksista. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 52. Helsinki.

[4] Vinha, J. et al. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 159. Tampere.

[5] Makkonen, L. & Tikanmäki, M. 2009. Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa II. EXTREMES II-hankkeen loppuraportti. VTT Tutkimusraportti VTT-R-10419-08. (ISTO) http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_R_10419_08.pdf.

[6] Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H., Vajda, A. 2008.

Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen ympäristö 31/2008, Luonnonvarat, SY31/2008. Suomen ympäristökeskus (SYKE).

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=304648&lan=fi&clan=fi>.

[7] Mäntylä, K. & Saarelainen, S. 2008. Rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutoksen aiheuttamille tulvavaikutuksille, tutkimuskohteena Vantaanjoki. VTT tutkimusraportti VTT-R-04429-08. (ISTO) http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_R_04429_08.pdf.

[8] Lahdensivu, J., 2010: Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa. Suomen Ympäristö 17/2010.

[9] Lahdensivu, J., Tietäväinen, H., Pirinen, P. 2011. Durability properties and deterioration of concrete facades made of insufficient frost resistant concrete. Nordic Concrete Research. 2/11, Publication no. 44, Pp. 175-188.

[10] Saarelainen, S. 2006. Climate change and risks to the built environment. FINADAPT Working Paper 9, *Finnish Environment Institute Mimeographs 339*, Helsinki, 22 pp.

[11] EEA 12/2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator based report. European Environmental Agency.

Osa II. Muut toimialat

15. Sopeutumisen keinoja sisältävät toimialat

15.1. Alueidenkäytön suunnittelu ja rakentaminen

Alueidenkäytön suunnittelulla ja rakentamismääräyksillä voidaan merkittävästi vaikuttaa ilmastonmuutoksen haitallisten vaikutusten ehkäisemiseen uusien asuinalueiden, uudisrakentamisen ja korjaamisen kohdalla. Kun muuttuvat olosuhteet huomioidaan suunnittelussa, haitalliset vaikutukset on mahdollista välttää. Alueidenkäytön suunnittelu ja (uudis)rakentaminen käsitetään tässä selvityksessä ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ehkäisevänä sopeutumisen keinona, eikä niitä käsitellä toimialoina, joihin kohdistuisi ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia.

Kirjallisuutta:

Kuismanen, K. 2008. Climate-conscious architecture - design and wind testing method for climates in change. Acta Universitatis Ouluensis C Technica 307. Väitöskirja. Oulun Yliopisto, Oulu.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – tapauskohtaisia tarkasteluja. Tutkimusraportti Nro VTT-R-03986-08. VTT. (ISTO) http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_Ilmastonmuutos_kaavoitus_Loppuraportti.pdf.

15.2. Vakuutustoimiala

Vakuuttaminen on yksityisen henkilön tai yrityksen keino suojautua ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia vastaan, eli vakuutus on nähtävissä ilmastonmuutokseen sopeutumisen keinona. Vakuutustoimialan on oman liiketoimintansa tulevaisuuden vuoksi järkevää tarkastella ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ja niiden heijastumista liiketoiminnan tuottoihin. Vakuuttamisen haavoittuvuuden tarkastelu ei ole tarkoituksenmukaista tämän selvityksen puitteissa.

15.3. Kehitysyhteistyö (UM)

Ulkoasianministeriön toimialaan kuuluva kehitysyhteistyö edistää omien ohjausvaikutustensa kautta ilmastonmuutokseen sopeutumista Suomen harjoittaman kehitysyhteistyön kohdemaissa [1-4]. Kehitysyhteistyö on nähtävä ensisijaisesti kansallisessa toimialoittaisessa tarkastelussa

ilmastonmuutokseen sopeutumisen keinona, eikä tästä syystä ole tarkoituksenmukaista tarkastella kehitysyhteistyön haavoittuvuutta ilmastonmuutoksen vaikutusten suhteen. Kohdemaihin kohdistuvat ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset ovat merkittäviä, mutta kansallisessa toimialatarkastelussa nämä vaikutukset eivät kuulu käsillä olevan selvityksen piiriin.

Lähteet:

[1] Suomen kehityspoliittinen toimenpideohjelma. Valtioneuvoston periaatepäätös 16.2.2012. Ulkoasiainministeriö. <http://www.formin.fi/public/download.aspx?ID=91847&GUID={8FF2E517-F1D2-477F-AB6D-206155DD1C5F}>

[2] Sorvali, J. 2013. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen kansalliset ohjauskeinot. Julkaisematon selvitysraportti.

[3] Halonen, M., Nikula, J., Pathana, A., Rinne, P. 2009. Climate Risk Management in Finnish Development Cooperation: Ethiopia Adapting to Climate Change. Climate Screening Assessment, Final report 2009. Gaia Consulting Oy. Selvitys ulkoministeriölle.

[4] Luomaranta, A., Venäläinen, A., Ruuhela, R. 2011. Adaptation to climate change, A review of activities in Mozambique and Zambia. Final report. Ilmatieteen laitos. Selvitys ulkoministeriölle.

16. Toimialat, joihin ilmastonmuutoksella on heijastevaikutuksia

16.1. Teollisuus

Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset koskevat suoraan teollisuuden raaka-ainetuotantoon liittyviä toimialoja, ja näitä haitallisia vaikutuksia ja haavoittuvuutta on käsitelty aiemmissa luvuissa. Teollisuustoimintaan ilmastonmuutoksen vaikutukset heijastuvat lähinnä raaka-aineiden ja energian saatavuuden, logististen haasteiden sekä globaaleihin markkinoihin liittyvien muutosten kautta [1 ja 2].

Ilmastonmuutoksen heijastevaikutuksista teollisuudelle ei ole juurikaan tieteellistä tutkimusta, ja globaalit vaikutukset on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle, minkä vuoksi teollisuutta kohtaavista haitallisista vaikutuksista tai teollisuussektorin haavoittuvuudesta ei ole ollut tehty tarkempaa analyysiä.

Lähteet:

[1] MMM 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisu 1/2005.

[2] Ruuhela, R. (toim.) 2011. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? Yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. MMM:n julkaisu 6/2011.

16.2. Pelastustoimi (SM)

Pelastustoimen tehtäviin sisäministeriössä kuuluvat muun muassa riskienhallinnan ja onnettomuuksien ennaltaehkäisyn suunnittelu. Ilmastonmuutoksen näkökulmasta tämä tarkoittaa esimerkiksi arviointia lisääntyvien sään ääri-ilmiöiden vaikutuksista kansalaisten turvallisuuteen. Pelastustoimi tukee toimenpiteillään ilmastonmuutokseen sopeutumisen tavoitteita esimerkiksi tarjoamalla turvallisuuden infrastruktuuria onnettomuuksien ja luonnon ääri-ilmiöiden varalle. Ilmastonmuutoksen vaikutukset kuten tulvien ja metsäpalojen lisääntyminen tulee ottaa huomioon pelastustoimen toiminnan suunnittelussa, resurssien mitoituksessa ja varoitus- ja tiedostusjärjestelmiä päivitettäessä. Pelastustoimen haavoittuvuutta suoraan suhteessa ilmastonmuutoksen haitallisiin vaikutuksiin ei ole tarkoituksenmukaista tarkastella.

16.3. Kansallinen turvallisuus (PLM)

Puolustusministeriö vastaa muun muassa kansallisesta puolustuspolitiikasta ja turvallisuudesta sekä kansainvälisestä puolustuspoliittisesta yhteistyöstä. Yksi tällainen ilmastonmuutokseenkin

liittyvä ja puolustuspolitiikkaan vaikuttava kokonaisuus on arktisen alueen muutos ja siellä tapahtuvan toiminnan kehittyminen, kun alue tulee helpommin saavutettavaksi kulkureittien avautumisen vuoksi. Arktinen alue kiinnostaa monia tahoja siellä sijaitsevien luonnonvarojen takia.

Ilmastonmuutoksella voi olla vaikutuksia myös Suomen puolustuskyvyn kehittämiseen ja sen ylläpidolle. Esimerkiksi pohdittavaksi voi tulla, miten Itämeren jääolosuhteiden ja Etelä-Suomen lumiolojen muutokset vaikuttavat jatkossa varusmiesten ja reserviläisten koulutukseen sekä merivoimien toimintaan. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia infrastruktuuriin, kalustoon ja puolustusmateriaalihankintoihin tulee myös tarkastella. [1]. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia kansalliseen turvallisuuteen on mahdollista tarkastella haavoittuvuudenkin näkökulmasta, mutta tällä hetkellä tarkastelua ei ollut mahdollista suorittaa tutkimuksen ja muun aineiston puuttumisen vuoksi.

Lähde:

[1] Sorvali, J. 2013. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen kansalliset ohjauskeinot. Julkaisematon selvitysraportti.

Osa III. Toimialojen haavoittuvuus

17. Johtopäätökset

17.1. Käytetty menetelmä

Selvityksessä käytetty menetelmä on rakennettu tämän selvityksen tarpeisiin, eikä sitä ole sovellettu koskaan aikaisemmin. Selvityksen tekijä ottaa mielellään vastaan palautetta sen toimivuudesta ja sopivuudesta toimialojen haavoittuvuuksien tarkasteluun ja on yksin vastuussa tarkastelun tuloksista.

Selvityksen tarkoituksena on antaa käytännönläheinen arvio ilmastonmuutoksen haitallisista vaikutuksista toimialoille ja sitä kautta pohtia toimialojen haavoittuvuutta. Tulosten tuli olla sellaisessa muodossa, ettei niiden tulkitseminen vaadi toimialan erikoisasiantuntemusta. Tehtävä on haastava jo yhdenkin toimialan kohdalla. Menetelmä ei anna laskennallisia arvoja haitallisten vaikutusten haitallisuudesta tai haavoittuvuuden asteesta, eikä toimialoja ole tarkoituksenmukaista arvioida toisiaan vasten. Tulokset eivät laita toimialoja tärkeysjärjestykseen.

Menetelmän kautta on mahdollista hahmottaa erilaisia näkökulmia haavoittuvuuksien analysoimiseksi. Menetelmä auttaa jäsentämään, minkälaisia asioita on huomioitava päätöksenteossa, kun pohditaan päivitettävän kansallisen sopeutumisstrategian toimeenpanoa. Yhdessä SYKE:n suorittaman globaalien trendien ja skenaarioiden tarkastelun kanssa tämän selvityksen on tarkoitus avata ilmastonmuutoksen vaikutusten moninaista kenttää ja antaa työkaluja sopeutumistoimien valinnalle. Menetelmän avulla on mahdollista arvioida myös ilmastonmuutoksen positiivisia vaikutuksia.

Selvityksen tekijän arvion mukaan menetelmän käytettävyys lisääntyisi, jos sopeutumispotentiaali irrotettaisiin kokonaistarkastelusta, ja sitä tarkasteltaisiin rinnan haavoittuvuusluokan kanssa. Tällöin muodostuisi vieläkin selkeämpi kuva toimialojen haavoittuvuudesta ja sopeutumistoimien mahdollisuuksista lievittää haavoittuvuutta. Tämän oivalluksen toteuttaminen ei ollut mahdollista tässä vaiheessa. Myös haavoittuvuusluokka -käsitteen käyttökelpoisuutta ja tarpeellisuutta tulee jatkotyössä pohtia. Haavoittuvuusluokan heikkoutena on informaation liiallinen yleistäminen ja yhteismitattomien muuttujien yhtenäistäminen, jos haavoittuvuusluokkaa tarkastellaan erillään muista mittareista. Kuva haavoittuvuudesta voi muodostua harhaanjohtavaksi, jos eri haitallisten vaikutusten haavoittuvuusluokkia (tai eri toimialojen haavoittuvuuksia) vertaillaan keskenään.

Selvityksen tuloksena syntyneet taulukot on tarkoitettu tarkennettaviksi ja päivitettäviksi. Tämän tehtävän jatkamisen annan toimialojen asiantuntijoille.

17.2. Haavoittuvuuden tarkastelu

Toimialojen haavoittuvuuksien yhteenvetoa (taulukko 16) tarkasteltaessa tulee huomata, että tässä selvityksessä käydään läpi ainoastaan ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia, ikäänkuin vain kolikon toinen puoli. Ilmastonmuutoksella on myös monia toimialoille edullisia vaikutuksia, joita ei tässä selvityksessä käsitellä lainkaan. Joissain tapauksissa haitallisten vaikutusten tarkastelun kautta saatu mielikuva toimialan suuresta haavoittuvuudesta ei kerro koko totuutta toimialan menestymisen edellytyksistä tulevaisuudessa, koska edulliset vaikutukset tasapainottavat toimialan kykyä menestyä.

Esimerkiksi matkailussa haitallisena vaikutuksena on tarkasteltu lumiolosuhteiden epävarmuutta, ja tarkastelu antaa varsin synkän kuvan toimialan tulevaisuudesta. Kuitenkin toimintaa ja palveluita muovaamalla matkailu voi tulevaisuudessa menestyä haitallisista vaikutuksista huolimatta. Haavoittuvuuden korkea aste kertoo aina sopeutumistoimien pohtimisen tarpeesta. Toisaalta maataloustuotanto on hyvä esimerkki tapauksesta, jossa toimialalle kohdistuvia ilmastonmuutoksen edullisia vaikutuksia ei ole mahdollista käyttää kokonaisvaltaisesti hyödyksi, ellei ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia huomioida, ja tehdä tarvittavia sopeutumistoimenpiteitä. Alla on esitetty muutamia hyvin yleistäviä huomioita toimialojen haavoittuvuusanalyysiin perustuen⁵.

Mittaluokaltaan keskimääräistä suurempia haitallisia vaikutuksia ilmastonmuutoksella analyysin perusteella olisi maatalous- ja elintarviketuotannon, metsätalouden, porotalouden, vesivarojen, luonnon monimuotoisuuden, energiantuotannon ja -jakelun, terveyden ja matkailun toimialoilla.

Haitalliset vaikutukset ovat **nopeimmin realisoitumassa** luonnon monimuotoisuuden ja porotalouden kohdalla.

Pysyvimpiä haitalliset vaikutukset ovat kalatalouden, vesivarojen, luonnon monimuotoisuuden, liikenteen sekä yhdyskuntien ja rakennusten kohdalla.

Haitalliset vaikutukset ovat **kaikkein varmimpia ja sisältävät vähiten epävarmuuksia** maatalous- ja elintarviketuotannon, metsätalouden, porotalouden, luonnon monimuotoisuuden, liikenteen, matkailun sekä yhdyskuntien ja rakennusten toimialoilla.

Haitalliset vaikutukset **jakautuvat tasaisesti** kautta koko toimialan tai vaikutuksen kohteena olevan yhteisön/ryhmän tms. kesken porotalouden, luonnon monimuotoisuuden, energiantuotannon- ja jakelun, liikenteen, matkailun sekä yhdyskuntien ja rakennusten toimialoilla.

⁵ Huomattava, ettei riistatalouden kohdalla ollut mahdollista tehdä yhteenvetoanalyysiä kaikilta osin loppuun saakka.

Keskimääräistä enemmän **merkittäviksi systeemeiksi** tässä selvityksessä on nostettu *maatalous- ja elintarviketuotanto*, metsätalous, porotalous, vesivarat, *luonnon monimuotoisuus*, *energiantuotanto ja -jakelu*, liikenne, *terveystoimiala* sekä yhdyskunnat ja rakennukset. Näistä kursiivilla kirjoitetut on nostettu hyvin merkittäviksi. Tämä on selvityksen tekijän näkemys.

Sopeutumispotentiaali on keskimääräistä huonompi kalatalouden ja luonnon monimuotoisuuden kohdalla. Mahdollisesti myös riistataloudessa.

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuus-luokka | Tutkimus Suomessa |
|-----------------------------------|--|---|--|---|---|--|---|---|--|---|
| Maatalous- ja elintarviketuotanto | Useita tunnistettuja, liittyvät kasvuun edellytyksiin. | Mahdollisesti suuria haittoja taloudellisesti (satojen menetykset) sekä ympäristölle (erosion ja huuhtoutumisen lisääntyminen). | Vuosisadan puoliväli ja loppu. | Useat vaikutukset ovat jokseenkin pysyviä. | Tutkimukseen perustuen todennäköisyydet ovat suuret ja epävarmuudet liittyvät ilmastomuutoksen etenemiseen. | Merkittävimmät vaikutukset koskevat koko toimialaa. | Kotimainen ruokaturva on tärkeää, toimiala on hyvin merkittävä. | Potentiaali on suhteellisen hyvä. (Kasvinjalostus, maanmuokkausmenetelmät, viljelykierrot, tuholaisten torjuminen, varoitusjärjestelmät.) Sopeutuminen ei tapahdu luonnollisesti. | Suuren mittaluokan vaikutuksista huolimatta maatalouden haavoittuvuus ei ole kovinkaan merkittävää; sopeutumispotentiaali on hyvä, mutta toimiin on ryhdyttävä välittömästi. | Tutkimusta on tehty viimeaikoina keskeisiin vaikutuksiin liittyen, mutta selvää tutkimuksen tarvetta vielä on etenkin sopeutumistoimien vaikuttavuuteen ja kustannuksiin liittyen. Eläintuotannon ja ruoan koko tuotantoketujen (kuljetus, varastointi) kohdalla tutkimusta ei ole vielä Suomen olosuhteissa tehty. |
| Metsätalous | Useita tunnistettuja, liittyvät metsien kasvuun ja terveyteen sekä korjuuseen. | Taloudellisten haittojen mittaluokka voi olla suuri. | Painottuu vuosisadan lopulle. | Useat vaikutukset ovat jokseenkin pysyviä, mutta niihin on mahdollista varautua. | Merkittävimmät vaikutukset ovat hyvin todennäköisiä. | Jakautuminen riippuu vaikutuksesta. | Metsätalous on taloudellisesti merkittävä. | Potentiaali on suhteellisen hyvä; vaikutukset ja sopeutumisen keinot on tunnettuja, tosin vaativat investointeja. | Metsätalouden haavoittuvuus ei ole kovinkaan merkittävää; vaatii toimijoilta uudenlaisia keinoja esim. metsänkorjaukseen ja mahdollisesti tuotekehittelyä. | Tutkimusta tehty suhteellisen paljon, eikä merkittäviä tutkimusaukkoja ole, lukuun ottamatta metsäluonnon monimuotoisuutta. |
| Kalatalous | Useita, liittyvät toisaalta vapaisiin kalakantoihin ja toisaalta kalanviljelyyn. | Usean vaikutuksen mittaluokka suhteellisen pieni, mutta useiden yhteisvaikutusten ja tutkimuksen puutteellisuuden vuoksi luotettavaa arviota on mahdotonta tehdä. | Vuosisadan puoliväli. | Kalakantojen kohdalla suhteellisen pysyviä vaikutuksia, kalanviljelyssä uudet menetelmät ratkaisevat. | Tutkimusta ei vielä kovinkaan paljoa ole, joten epävarmuuksia on. | Vaikutukset koskevat lähinnä ammattimaista toimintaa. Kuluttajille hinnan korotukset lohikalojen kohdalla ja uusia lajeja kauppoihin. | Kalatalous on tässä arvostettu keskitasolle taloudellisesta näkökulmasta. Luonnon järjestelmän kannalta merkittävyys on suurempi. | Kalakantojen sääntelytoimet voivat auttaa, mutta lopulta kyse luonnon järjestelmän omasta luonnollisesta sopeutumisesta, josta tietoa vielä vähän. Elinkeinon näkökulmasta kuluttajalla on keskeinen rooli lajivalikoiman muuttuessa. Sopeutumispotentiaalin arvioidaan olevan suhteellisen alhainen. | Vaikutusten pysyvyys, tiedolliset epävarmuudet ja sopeutumispotentiaalin alhaisuus tekevät kalataloudesta suhteellisen haavoittuvan. | Tutkimustoiminta Suomessa ilmastomuutoksen vaikutuksista kalataloudelle vasta aloitettu. Kantojen seuranta tuki tehty jo kauan. Itämeren koskevaa tutkimusta on tehty paljon, mutta tässäkin vain osittaisia huomioita kalatalouden osalta. |
| Porotalous | Haitalliset vaikutukset liittyvät porokantojen hyvinvointiin ja kasvuun. | Useat esim. ravinnon saantia koskevat vaikutukset mittaluokaltaan suuria. | Useat vaikutukset nähtävissä jo nyt. | Useat vaikutukset ovat jokseenkin pysyviä. | Vaikutukset ovat hyvin tutkittuja ja todennäköisiä. | Vaikutukset koskevat koko porotaloutta. | Porotalous on arvostettu merkittäväksi, koska sitä harjoittavat ovat täysin riippuvaisia elinkeinosta. | Sopeutumispotentiaali on keskiverto. Lisäruokinta ja loislääkintä. Muut elinkeinoja uhkaavat tekijät heikentävät sopeutumista (maankäytön muutokset). | Luonnosta riippuvaisena elinkeinona porotalous on suhteellisen haavoittuva. Sopeutumiskeinoja kuitenkin on käytettävissä. | Tutkimusta ilmastomuutoksen vaikutuksista porotalouteen on olemassa. Sopeutumistutkimusta ei niinkään, mutta sopeutumistoimien suoraviivaisuuden vuoksi se ei ole ehkä tarpeellistakaan. |
| Riistatalous | Haitallisia vaikutuksia on tunnistettu, mutta hyvin yleisellä tasolla. | Vaikutukset vaihtelevat lajeittain. | Joitain vaikutuksia on nähtävissä jo nyt, useista ei ole riittävästi tietoa. | Ei ole tietoa, missä määrin luonnonjärjestelmä tasapainottaa itse haitallisia vaikutuksia. | Lajiston siirtyminen pohjoisempaan ja pohjoisten lajien elintilan kaventuminen ovat hyvin todennäköisiä vaikutuksia. Muuten tutkimuksen puutteesta johtuvat epävarmuudet ovat suuria. | Haitallisimmat vaikutukset kohdistuvat pohjoisiin ja elintilansa suhteen erikoistuneisiin eläimiin. Toisaalta tietoa ei ole riittävästi. | Riistatalous on arvostettu keskitasolle, koska sen taloudellinen merkittävyys on pieni. Luonnon järjestelmän kannalta merkittävyys on suurempi. | Riistataloudessa sopeutuminen tapahtuu pääosin luonnollisesti, eikä potentiaalin arvioimiseksi ole riittävästi tietoa. Tosin kantoja seuraamisen ja suojelun tai metsästyksen keinoin kantojen sääntelemiseen ovat sopeutumisen käytettävissä olevia keinoja. | Riistatalous ja lajien menestys ovat luonnosta riippuvia. Tiedon vähäisyys on haavoittuvuutta kasvattava tekijä, koska myöskään oikeisiin toimiin ei ole mahdollista ryhtyä. Toimialan merkittävyys kuitenkin hieman laskee haavoittuvuutta. | Tutkimusta ei juurikaan ole. |

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuus-luokka | Tutkimus Suomessa |
|-----------------------------|---|--|--|---|--|---|---|---|--|---|
| Vesivarat | Haitalliset vaikutukset on tunnistettu suhteellisen kattavasti. | Mittaluokka vaihtelee vaikutuksittain, mutta merkittävimpien vaikutusten mittaluokka on suuri. Toimialan kohdalla vaikutukset voivat merkitä uhkia ihmisten terveydelle ja hengelle. | Osa vaikutuksista on nähtävissä lähivuosikymmeniä, osa ajoittuu vuosisadan vaihteen paikoille. | Vaikutukset ovat jokseenkin pysyviä. | Vaikutusten todennäköisyyden kohdalla on joitain epävarmuuksia, jotka liittyvät ilmastomuutoksen voimakkuuteen ja luonnonjärjestelmän omaan tasapainottamiskykyyn. | Suuri osa vaikutuksista on Suomen mittakaavassa keskittyviä. | Vesivarat on toimialana arvostettu merkittäväksi etenkin puhtaan veden saannin turvaamisen näkökulmasta. | Sopeutumispotentiaali vaihtelee. Käytävissä on jo paljon toimia ja tietoa esim. tulvasuojelun puolelta ja moniin vaikutuksiin on mahdollista ennalta varautua. Toisaalta äkillisiin rankkasade- ja suurtulviin on hankalampaa varautua. | Keskimääräinen haavoittuvuus vesivarojen toimialalla on mittariston keskivaiheilla. Huomattava kuitenkin on, että useat vaikutukset keskittyvät tietyille alueille, joiden kohdalla haavoittuvuus on suurempi. | Tutkimusta on jonkin verran. Tosin vesivarojen toimialalla tutkimustulokset eivät ole kjuurikaan yleistettävissä, joten tutkimusta tulisi tehdä paikkasidonnaisesti. |
| Luonnon monimuotoisuus | Toimialan laajuuteen ja merkittävyyteen suhteutettuna vaikutuksia tunnetaan vähän ja yleisellä tasolla. | Vaikutusten mittaluokat ovat tarkasteltujen yleisten vaikutusten kohdalla suuria. | Osa vaikutuksista on nähtävissä jo nyt ja ne voimistuvat koko ajan. | Vaikutukset ovat suhteellisen pysyviä, vaikkakaan luonnon omaa palautumis- ja muuntautumiskykyä on mahdotonta arvioida. | Epävarmuuksia on johtuen tutkimuksen puutteellisuudesta. Olemassa olevan tiedon valossa vaikutukset ovat suhteellisen todennäköisiä. | Vaikutukset jakautuvat jokseenkin tasaisesti, kuitenkin niin, että uhanalaiset lajit ja elinympäristöt ovat uhatuimpia. Vaikutukset ulottuvat kuitenkin koko luonnon järjestelmään. | Kaikki ihmisen toiminta perustuu lopulta luonnon järjestelmien ekosysteemipalveluille, joten systeemi on arvostettu hyvin merkittäväksi. | Luonnon monimuotoisuuden sopeutumispotentiaali haitallisiin vaikutuksiin on suhteellisen huono. Lajien kehityksen näkökulmasta ilmastomuutoksen vaikutusten nopeus on suuri. Suojelutoimien tulisi olla laajoja, mutta niiden taloudelliset kustannukset voivat nousta korkeiksi. | Monimuotoisuuden toimialalla sopeutuminen on suurimmaksi osaksi luonnollista. Vaikutusten monimutkaisten ketjujen, tutkimuksen puutteellisuuden ja sen haasteellisuuden, vaikutusten pysyvyyden ja toimialan merkittävyyden vuoksi toimialan haavoittuvuus on merkittävää. | Tutkimusta on hyvin rajoitetusti koskien muutamaa lajia ja elinympäristöä. |
| Energiantuotanto- ja jakelu | Toimialan haitallisia vaikutuksia on tunnistettu laajasti ja suhteellisen yksityiskohtaisesti. | Mittaluokka vaihtelee, mutta merkittävimpien vaikutustenmittaluokka on suuri. Pitkäkestoisilla häiriöillä voi olla yhteiskunnan lamaannuttava vaikutus. | Vaikutukset alkavat realisoitua ilmastonmuutoksen voimistuessa vuosisadan vaihteen jälkeen. | Osa vaikutuksista jää pysyväluonteisiksi ja osa on lyhytkestoisempia. | Osa vaikutuksista on paremmin tutkittuja ja joidenkin kohdalla on vielä epävarmuuksia. | Osa vaikutuksista koskee vain osaa energiantuottajista, mutta merkittävät vaikutukset ulottuvat koko yhteiskuntaan. | Yhteiskuntamme toiminta perustuu pitkälti jatkuvalla energiansaataavuudelle. Monet merkittävät toiminnot lakkaavat toimimasta ilman sähköä. | Sopeutumispotentiaali on hyvä, koska haitalliset vaikutukset on tunnistettu ja niiden ehkäisemiseksi on mahdollista tehdä erilaisia toimia. | Haitallisten vaikutusten mittaluokka ja toimialan merkittävyys yhteiskunnan toimivuuden kannalta nostavat haavoittuvuuden korkealle tasolle. | Tutkimusta ja selvityksiä toiminnan suunnittelun pohjaksi on riittävästi. Energiantuottajat ja -jakelijat tarkastelevat oman toimialansa toimintaedellytyksiä jatkuvasti. |
| Liikenne ja tietoliikenne* | toimialaan kohdistuvia haitallisia vaikutuksia on tunnistettu hyvin laajasti ja yksityiskohtaisesti kaikkien liikennemuotojen kohdalla. | Vaikutukset ovat lähinnä taloudellisia. Jos sopeutumistoimia ei tehdä, vaikutukset voivat kohdistua myös ihmisen henkeen ja terveyteen. | Vaikutukset alkavat realisoitua ilmastonmuutoksen voimistuessa vuosisadan vaihteen jälkeen. | Vaikutukset ovat suhteellisen pysyviä. | Vaikutukset ovat suhteellisen todennäköisiä. | Vaikutukset jakaantuvat suhteellisen tasaisesti toimijoiden sisällä ja alueiden kesken. | Liikennejärjestelmän toimivuus on yhteiskunnan toimivuuden edellytys. | Liikenteen sopeutumispotentiaali on hyvä, koska haitalliset vaikutukset ja sopeutumisen keinot on yksityiskohtaisesti tunnistettu, eivätkä toimet ole taloudellisesti mahdollisia, vaikka kustannukset tulevatkin lisääntymään. | Haavoittuvuutta laskee hyvä sopeutumispotentiaali. | Liikenteen kohdalla tutkimusta on tehty kaikkien liikennemuotojen kohdalla. Tietoliikenteen kohdalta tutkimusta ei ollut löydettävissä. *Tarkastelu koskee vain liikennettä. |

| Toimiala | Haitallinen vaikutus | Vaikutusten mittaluokka | Vaikutusten ajoittuminen | Vaikutusten pysyvyys | Vaikutusten todennäköisyys | Vaikutusten jakautuminen | Riskin kohteena olevan systeemin merkittävyys | Sopeutumispotentiaali | Haavoittuvuus-luokka | Tutkimus Suomessa |
|-------------------------------------|--|--|---|---|---|---|---|--|---|---|
| Terveys | Terveyteen kohdistuvista haitallista vaikutuksista on esitetty arvioita. | Vaikutusten mittaluokka on suuri, koska ne vaikuttavat suoraan ihmisten terveyteen ja henkeen. | Vuosisadan puoliväli ja loppu. | Osa vaikutuksista jää pysyväluonteisiksi ja osa on lyhytkestoisempia. | Vaikutusten todennäköisyys sisältää epävarmuuksia, koska tutkimusta terveyden ja ilmastonmuutoksen vaikutusten yhteydestä on tehty vasta vähän. | Osa vaikutuksista koskettaa kaikkia ihmisiä tasaisesti ja osa keskittyy riksiryhmiin. | Terveyden toimiala on ihmisten hyvinvoinnin kannalta keskeinen. | Terveyden toimialalla sopeutumispotentiaali on hyvä, koska Suomessa on toimiva ja moniin maihin verrattuna edistyksellinen ja kaikille kansalaisille saavutettavissa oleva julkinen terveydenhuolto. | Hyvän sopeutumispotentiaalin lisäksi haavoittuvuutta alentavat seuraavat seikat: terveyteen vaikuttavat ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset eivät kohdistu kaikkiin henkilöihin tasaisesti, ne eivät ole pitkäkestoisia, eivätkä realisoidu lähivuosikymmeninä. Terveyteen kohdistuvien haitallisten vaikutusten kohdalla on vielä myös paljon epävarmuuksia. | Yleisiä arvioita on tutkimuksessa esitetty jonkin verran, mutta monista vaikutuksista ei ole juurikaan tietoa. |
| Matkailu ja luonnon viikistyskäyttö | Keskeiset haitalliset vaikutukset on alustavasti tunnistettu. | Vaikutukset ovat toimialalle taloudellisesta näkökulmasta mahdollisesti suuret. | Pääasiassa vuosisadan puoliväli ja loppu, vaikkakin vaikutuksia tunnetaan jo nyt. | Osa vaikutuksista jää pysyväluonteisiksi ja osa on lyhytkestoisempia. Mutta vaikutusten merkitys toimialalle voi olla pysyväluonteista. | Vaikutukset ovat todennäköisiä. | Pohjois-Suomen osalta vaikutukset jakautuvat tasaisesti. | Matkailu on merkittävä elinkeino etenkin Pohjois-Suomessa. | Sopeutumisen keinoja on ja elinkeinona matkailu kehittyvä koko ajan asiakkaiden ja ajan vaatimusten mukaan. | Haavoittuvuus tarkasteltujen vaikutusten suhteen on suhteellisen korkea. | Ilmastonmuutoksen ja matkailun yhteyttä selvittäviä tutkimuksia on Suomessa vain muutama. |
| Yhdyskunnat ja rakennukset | Keskeiset haitalliset vaikutukset on tunnistettu | Taloudelliset kustannukset voivat nousta suuriksi. | Pääasiassa vuosisadan puoliväli ja loppu, vaikkakin vaikutuksia nähtävissä osin jo nyt. | Suuri osa vaikutuksista on suhteellisen pysyviä. | Suuri osa vaikutuksista on suhteellisen todennäköisiä. | Tulvien vaikutuksia lukuun ottamatta vaikutukset jakaantuvat suhteellisen tasaisesti. Tosin kaupunkialueiden ja maaseutualueiden haavoittuvuutta olisi hyvä tarkastella erikseen. | Systeemi on merkittävä. | Sopeutumispotentiaali on suhteellisen hyvä, mutta olemassa olevan rakennuskannan kohdalla kustannukset voivat myös nousta hyötyjä suuremmiksi. | Haavoittuvuutta nostaa vaikutusten pysyvyys ja tasainen jakautuminen. | Viime vuosina on toteutettu useita suuria tutkimushankkeita, joissa haitallisia vaikutuksia ja myös sopeutumiskeinoja on käyty kattavasti läpi. |

| | | | | | | | |
|------------|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| pieni | 2080 | ei pysyvä | ei kovinkaan todennäköinen | keskittyy | ei kovinkaan merkittävä | hyvä | ei kovinkaan haavoittuva |
| keskiverto | 2040 | jokseenkin pysyvä | todennäköinen | jokseenkin tasaisesti | merkittävä | keskiverto | jokseenkin haavoittuva |
| suuri | 2020 | pysyvä | hyvin todennäköinen | tasaisesti | hyvin merkittävä | huono | hyvin haavoittuva |

Taulukko 16. Yhteenvedo toimialojen haavoittuvuuden tarkastelusta.

17.3. Toimialoja koskeva tutkimus

Selvityksessä käytiin läpi lähes 250 vertaisarvioitua tutkimusjulkaisua tai tutkimusraporttia. Merkittävä osa oli suoraan Suomea koskevaa tutkimusta. Tarkastelussa on pyritty mahdollisimman kattavasti löytämään kaikki aiheen kannalta oleelliset tutkimukset.

Toimialoista maatalous- ja elintarviketuotanto, metsätalous ja vesivarat ovat olleet mukana useimmissa suomalaisissa ilmastonmuutosta käsittelevissä tutkimusohjelmissa. Luonnon monimuotoisuutta, liikennettä sekä energiataloutta ja -jakelua sekä yhdyskuntia ja rakennuksia on tutkittu muutamassa tutkimusohjelmassa. Terveys ja matkailu ovat myös olleet vähäisemmässä määrin mukana. Vaikka porotalous ei ole ollut mukana sopeutumisen tutkimusohjelmissa, on sitä tutkittu muussa kuin sopeutumistutkimuksessa. Kalatalous ja riistatalous ovat puolestaan jääneet tutkimuspanostuksissa vähemmälle huomiolle.

Yleisesti tarkasteltuna vaikuttaisi siltä, että merkittävimmiksi systeemeiksi luokiteltujen toimialojen kohdalla ilmastonmuutoksen haitallisten vaikutusten tutkimusta on jo paljon olemassa. Näiden tutkimusten tulosten pohjalta sopeutumisen keinoihin liittyviä päätöksiä on jo mahdollista tehdä. Luonnon monimuotoisuuden kohdalla tarvitaan kuitenkin yksityiskohtaisempaa lajeihin ja elinympäristöihin kohdistuvaa vaikutustutkimusta. Kala- ja riistatalouden kohdalla tutkimustyö olisi hyvä aloittaa. Myöskään tietoliikenteen osalta tutkimusta ei löytynyt saatavilla olevasta aineistosta.

17.4. Toimialoja yhdistävät haitalliset vaikutukset

Luonnosta riippuvaisille toimialoille sekä terveydelle yhteisiä haavoittuvuutta lisääviä ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ovat uusien lajien (kasvintuhoojat, rikkakasvit, vieraslajit, pedot, taudinaiheuttajat jne.) siirtyminen Suomeen ja leviäminen uusille alueille.

Kasvavan sadannan aiheuttama huuhtoutumisen ja vesien valumisen lisääntyminen on usean toimialan kohdalla merkittävä haitallinen vaikutus. Myös sään äkilliset ääri-ilmiöt aiheuttavat ongelmia usealle toimialalle.

Huomioitava on myös, että usean toimialan kohdalla luonnon monimuotoisuuden väheneminen altistaa entistä voimakkaammin ilmastonmuutoksen haitallisille vaikutuksille ja kasvattaa toimialojen haavoittuvuutta.

17.5. Lopuksi

Ilmastonmuutoksella on hyvin moninaisia vaikutuksia eri toimialoihin. Osa vaikutuksista on toimialoille edullisia ja osa haitallisia. Vaikka Suomen sanotaankin globaalissa vertailussa hyötyvän ilmastonmuutoksesta, Suomea kohtaavat tulevaisuudessa myös useat haasteet. Jos ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin haitallisiin vaikutuksiin ei tartuta ajoissa sopeutumisen keinoin, myös ilmastonmuutoksen edullisten vaikutusten hyödyt useassa tapauksessa menetetään.