Ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen luontoon esimerkkiympäristöissä

1. Metsä
2. Itämeren rannikkomaisema
3. Tunturi

26.11.2019

Työn tilaaja:
Maailman Luonnon Säätiö (WWF) Suomen Rahasto sr

Työn toteuttaja:
FM Paula Tallinen
Ympäristöasiantuntija
Ympäristöasiantuntijoiden osuuskunta Universo

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO 4
2 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT JA PÄÄSTÖSKENAARIOT 4
3 METSÄ 6
3.1 Muutokset puulajistossa 6
3.2 Myrskyjen lisääntyminen ja ääriolosuhteet 8
3.2.1 Myrskyt 8
3.2.2 Kuivuus 9
3.3 Lumen määrän ja roudan väheneminen 11
3.3.1 Lumi 11
3.3.2 Routa 12
3.4 Muutokset lintulajistossa 13
3.5 Vaikutukset nisäkkäisiin 15
3.6 Vieraslajit, tulokaslajit ja tuholaislajit 16
3.6.1 Vieraslajit 16
3.6.2 Tulokaslajit 17
3.6.3 Tuholaislajit 18
4 ITÄMEREN RANNIKKOMAISEMA 19
4.1 Vieraslajit ja vaikutukset avainlajeille 19
4.2 Vaikutukset kaloihin 22
4.3 Muutokset jään määrässä 23
4.4 Sademäärän lisääntyminen 26
4.5 Merenpinnan nousu 28
4.6 Muutokset veden värissä 29
4.7 Sinilevätilanne 30
5 TUNTURI 31
5.1 Kasvillisuuden siirtymä 31
5.2 Maiseman muuttuminen 33
5.3 Lumen määrä 36
5.4 Tunturikasvilajien ja -eläinten häviäminen 37
5.4.1 Kasvit 37
5.4.2 Nisäkkäät 38
5.4.3 Linnut 39

5.4.4 Selkärangattomat 39
5.4.5 Tunturijärvet 40
6 YHTEENVETO 41
LÄHTEET 43

1 JOHDANTO

Selvityksessä tarkastellaan tieteelliseen tietoon pohjautuen ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen luontoon kolmessa esimerkkiympäristössä, jotka ovat metsä, Itämeren rannikkomaisema ja tunturi. Työntilaaja Maailman Luonnon Säätiö (WWF) Suomen Rahasto sr on vastannut esimerkkiympäristöjen ja tarkasteltavien muuttujien valinnasta. Selvityksen on laatinut 1.7.–30.9.2019 FM (ympäristötiede) Paula Tallinen Ympäristöasiantuntijoiden osuuskunta Universosta.

Selvitystä tullaan hyödyntämään taustamateriaalina WWF:n internetsivuille tulevassa ilmastonmuutoksesta kertovassa osiossa, joka pitää sisällään tiedon visuaalisen esityksen. Tästä johtuen selvityksessä on pyritty löytämään konkreettisia esimerkkejä, jotka valottavat tulevaa muutosta ja joita on mahdollista esittää kuvien muodossa. Visualisoinnin helpottamiseksi tavoitteena on kuvata mahdollisimman monessa eri tekijässä tapahtuvaa muutosta lämpötilan noustessa saman verran tai jonakin tiettynä vuonna.

Aineistoa on haettu tietokannoista soveltuvilla hakusanoilla ja materiaalina on pyritty käyttämään nimenomaan Suomea koskevaa uusinta tietoa. Selvityksessä on huomioitu ennen 20.9.2019 julkaistut tutkimukset. Joissakin kohdissa, kuten muutokset linnustossa ja puulajistossa, lisätietoa on pyydetty alan asiantuntijoilta.

2 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT JA PÄÄSTÖSKENAARIOT

Ihmiskunnan päästöt ovat jo muuttaneet ilmastoa. Tämä näkyy monin tavoin: ilmakehä ja meret ovat lämmenneet, jään ja lumen määrä on vähentynyt, veden kiertokulussa on havaittavissa muutoksia, merenpinta on noussut ja myös joidenkin sään ääri-ilmiöiden esiintymisessä on todettavissa muutoksia. On ilmeistä, että ilmaston lämpeneminen 1900-luvun puolivälin jälkeen johtuu pääosin ihmiskunnan tuottamista päästöistä. (IPCC 2013).

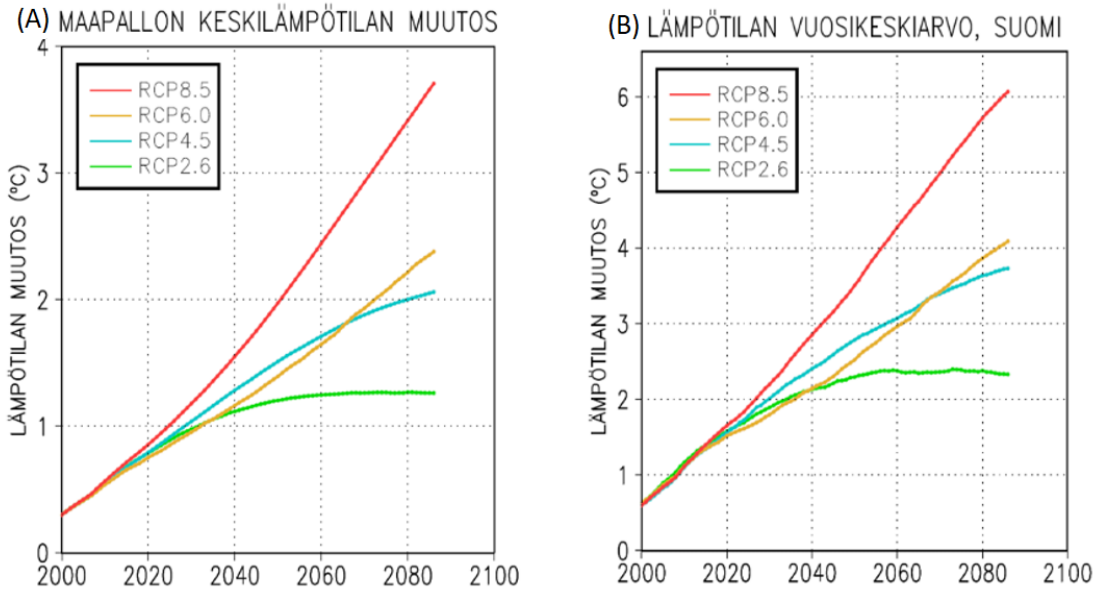
Tärkeimmät ilmakehässä luonnostaan esiintyvät kasvihuonekaasut ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja otsoni, joiden määrää ihmiskunnan päästöt lisäävät. Kasvihuonekaasu-molekyylit kykenevät imemään itseensä lämpösäteilyä tietyillä aallonpituuksilla ja muuttamaan saamansa energian uudelleen säteilyksi, jolloin osa säteilyn energiasta palaa takaisin maan pintaa lämmittämään. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä ennustamalla voidaan arvioida tulevia muutoksia. (IPCC 2013).

Kasvihuonekaasupäästöjen tulevaa kehitystä arvioidaan erilaisilla skenaarioilla, jollaisia ovat esimerkiksi hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneeli IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) **RCP-skenaariot** (representative concentration pathways eli pitoisuuksien kehityskulun skenaariot) sekä niitä edeltäneet SRES-skenaariot. RCP-skenaariot kehitettiin IPCC:n viidettä arviointiraporttia varten, joka julkaistiin vuonna 2014. Skenaarioiden nimitykset perustuvat kutakin skenaariota vastaavan säteilypakotteen voimakkuuteen vuonna 2100 (vertailukohtana vuosi 1750). (IPCC 2013, 29).

Eri RCP-skenaarioissa kasvihuonekaasujen maailmanlaajuisten päästöjen oletetaan kehittyvän seuraavasti:

- RCP2.6-skenaario: hiilidioksidipäästöt (CO_2) kääntyvät jyrkkään laskuun jo vuoden 2020 jälkeen ja ovat vuosisadan lopulla lähellä nollaa. CO_2:n pitoisuus on korkeimmillaan vuoden 2050 tienoilla ja alkaa sen jälkeen laskea.
- RCP4.5-skenaario: CO_2:n päästöt kasvavat aluksi hieman, mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 tienoilla. Vuosidadan loppupuolella ilman CO_2:n pitoisuus tasaantuu teollistumista edeltävään aikaan verrattuna noin kaksinkertaiselle tasolle.
- RCP6.0-skenaario: CO_2:n päästöt pysyvät aluksi suunnilleen nykyisellä tasollaan, mutta ovat myöhemmin tällä vuosisadalla melko suuria.
- RCP8.5-skenaario: CO_2:n päästöt kasvavat nopeasti, ja vuoteen 2100 mennessä ne ovat kolminkertaiset verrattuna vuoteen 2000. Ilman CO_2:n pitoisuus kohoaa teollistumista edeltävään aikaan verrattuna yli kolminkertaiseksi ja jatkaa kasvuaan vuoden 2100 jälkeen. (IPCC 2013, Venäläinen ym. 2019).

Kuvassa 1 on esitetty lämpötilan vuosikeskiarvon muutos globaalisti ja Suomessa. Lämpötilan nousu eri RCP-skenaarioissa noudattaa samansuuntaista trendiä hiilidioksidipäästöjen kanssa. Päästöskenaarioiden mukainen keskilämpötilan nousu Suomessa vuosisadan loppuun mennessä (2070–2099) verrattuna vuosien 1981–2010 keskiarvoon on esitetty taulukossa 1 (Asikainen ym. 2019).



KUVA 1. Vuoden keskilämpötilan (°C) muutos globaalisti (A) ja Suomessa (B) vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1971–2000 keskimääräisiin arvoihin. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastonmuutosmallin tulosten keskiarvoa neljälle eri RCP-skenaariolle. (Ruosteenoja ym. 2016a). Kuvioissa esitetty keskilämpötilan muutos on eri skaalassa: Suomessa lämpötilan nousu on huomattavasti globaalia suurempaa.

TAULUKKO 1. Päästöskenaarioiden mukainen keskilämpötilan nousu Suomessa vuosisadan loppuun mennessä (2070–2099) verrattuna vuosien 1981–2010 keskiarvoon (Asikainen ym. 2019).

Päästöskenaario	Lämpötilan nousu
RCP2.6	1,9 °C
RCP4.5	3,3 °C
RCP6.0	3,6 °C
RCP8.5	5,6 °C

Ennen RCP-skenaarioita käytössä olivat IPCC:n **SRES-kasvihuonekaasuskenaariot**. Lyhenne viittaa IPCC:n (2000) päästöskenaarioraporttiin Special Report on Emission Scenarios. SRES-skenaariot voidaan jakaa kahteen ryhmään: kulutusyhteiskuntaskenaariot (A-skenaariot) ja kestävään kehitykseen tähtäävät skenaariot (B-skenaariot). Näistä skenaarioista on eniten käytetty kolmea:

- A2-skenaario edustaa pessimististä tulevaisuudennäkymää. Maapallon väkiluku kasvaa räjähdysmäisesti ja siirtyminen fossiilisista polttoaineista päästöttömiin energian-lähteisiin on hidasta.
- B1-skenaario on varsin optimistinen. Väestönkasvun oletetaan hidastuvan ja ympäristölle ystävällisen teknologian kehittäminen ja käyttöönotto on nopeaa.
- A1B-skenaario edustaa näiden kahden ääripään välimuotoa. (IPCC 2000).

3 METSÄ

3.1 Muutokset puulajistossa

Ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia tarkastellessa on hyvä huomioida, että ihminen on toimillaan ajanut monet ekosysteemit ahtaalle, jolloin ekosysteemien kyky vastustaa ilmaston lämpenemisestä aiheutuvaa muutosta on jo valmiiksi alentunut. Metsien kohdalla hyvin olennaista on metsien pirstaloitunut rakenne.

Boreaalisten metsien kasvua rajoittavat tällä hetkellä lyhyt kasvukausi, alhainen kesälämpötila ja ravinteiden niukkuus. Ilmastonmuutos voi kuitenkin muuttaa tilannetta. Jo toteutunut ilmaston lämpeneminen on siirtänyt talvia noin 300 km pohjoiseen ts. Lahden seudun 1980-luvun talvet vastaavat 2020-luvulla Joensuun seudun talvia (Asikainen ym. 2019, 4). Useiden tutkimusten mukaan (esim. Peltola ym. 2002) myös ilmakehän kasvava hiilidioksidipitoisuus voi lisätä kasvua boreaalisissa metsissä. Toisaalta boreaalisten puulajien kyky mukautua ilmastonmuutokseen riippuu suurelta osin vallitsevista ympäristöolosuhteista ja voi siten vaihdella boreaalisen alueen eri osissa. Esimerkiksi ilmaston lämpenemisen ja siihen liittyvän kuivuuden lisääntyminen voi luoda epäoptimaaliset kasvuolosuhteet joillekin puulajeille, mutta optimaaliset toisille (Kellomäki ym. 2018). Myös hyvin lajispesifien tuhohyönteisten ja tautien riski kasvaa, jolloin ne voivat nopeastikin muuttaa puulajikoostumusta laajoillakin alueilla (katso kappale 3.6.3.)

Kellomäen ym. (2018) tutkimus osoittaa, että ilmastonmuutos voi lisätä boreaalisten puulajien kasvua pohjoisessa. Kasvu on huomattavasti suurempaa koivun ja männyn kuin kuusen osalla. Etelässä kasvussa voi näkyä laskua etenkin kuusen, mutta myös männyn, osalta. Suurimmassa vaarassa näyttäisivätkin olevan Etelä-Suomen kuusikot.

Yksikään Suomessa kasvavista puulajeista ei näyttäisi häviävän ilmastonmuutoksen myötä, mutta todennäköisesti Suomen yleisimpien puulajien, männyn, kuusen ja koivun, valtasuhteet muuttuvat metsissä. Lehtipuiden osuus kasvaa maan eteläosissa voimakkaasti ja varsinkin Etelä-Suomessa metsien kuusivaltaisuus vähenee (taulukko 2). Pitkällä aikavälillä kuusi menestyy koivua ja muita lehtipuita paremmin vain kosteilla ja soisilla alueilla. Mänty ja koivu sen sijaan yleistyvät kuivemmilla alueilla. Jalojen lehtipuiden kasvumahdollisuudet paranevat Lounais- ja Etelä-Suomessa. Uusia puulajeja Suomeen ei uskota leviävän luontaisesti, mutta jalojen lehtipuiden viljelyolosuhteet voivat parantua. Kunkin puulajin yleisyyteen vaikuttavat myös tulevat metsien käyttötarpeetja puun kysyntä. (Kellomäki ym. 2005). Erityisesti puulajien kohdalla pitkät viiveet muutoksissa ovat kuitenkin tyypillisiä, sillä lajit ovat hyvin pitkäikäisiä ja aikuiset puut yleensä sitkeitä selviämään epäoptimaalisissakin olosuhteissa (Niittynen 2019).

TAULUKKO 2. Puulajien prosenttiosuudet eri ajanjaksoilla ilmaston muuttuessa. Tarkastelussa mukana vain mineraalimaat, turvemaita ei ole huomioitu. Pohjois-Suomi käsittää Lapin, Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskukset, Etelä-Suomi muut metsäkeskukset. (Mukaillen Kellomäki ym. 2005, 28).

Alue ja puulajit	1991–2020	2021–2050	2070–2099
Etelä-Suomi			
Mänty %	44	54	62
Kuusi %	45	33	8
Koivu %	11	13	30
Pohjois-Suomi			
Mänty %	63	68	77
Kuusi %	26	22	14
Koivu %	11	10	8
Koko maa			
Mänty %	49	59	68
Kuusi %	39	29	12
Koivu %	12	12	20

Ilmaston lämpenemisen ennustetaan nopeuttavan maaperässä olevan orgaanisen aineen hajoamista ja typen vapautumista kasvien käyttöön, mikä voi vauhdittaa puiden kasvua. B2-skenaarion mukaisessa ilmastossa männyn kasvu Etelä-Suomessa lisääntyisi 16 % ja Lapissa 31 %. A2-skenaariossa kasvu lisääntyisi Etelä-Suomessa 40 % ja Lapissa 80 %. Jälkimmäisessä skenaariossa Pohjois-Suomen lämpötilat saavuttaisivat Etelä-Suomen nykyiset lämpötilat vuosisadan loppuun mennessä, mutta metsän kasvu olisi kuitenkin pienempi maaperän ravinneolosuhteiden vuoksi. Lehtipuiden kasvu reagoi nopeammin ilmastonmuutokseen ja maaperässä tapahtuviin muutoksiin. Typen vapautuessa ennusteiden mukaan koivun kasvu on nopeampaa kuin männyn. (Forsius ym. 2013).

- Pohjoisessa kasvu on huomattavasti suurempaa koivun ja männyn kuin kuusen osalta.
- Etelässä männyn kasvu lisääntyy, ja kuusikot ovat suurimmassa vaarassa kadota. Lehtipuiden osuus kasvaa voimakkaasti.
- Jalojen lehtipuiden kasvumahdollisuudet paranevat Lounais- ja Etelä-Suomessa.

3.2 Myrskyjen lisääntyminen ja ääriolosuhteet

3.2.1 Myrskyt

Keskimääräisissä tuulennopeuksissa ei juurikaan ole odotettavissa muutoksia, joskin eri mallien tulokset poikkeavat toisistaan merkittävästi (mm. Gregow ym. 2011a, Ruosteenoja ym. 2016b). Ruosteenojan ym. (2016b) mallinnuksissa poikkeaman suuruus oli ±15 %. Tuulen voimakkuuden tai esiintymistaajuuden ei ennakoida kasvavan Suomessa merkittävästi A1B-skenaariossa (Gregow ym. 2011a). Tästä huolimatta talvien leudontuminen ja routa-ajan lyheneminen altistavat metsiä talvimyrskyjen aiheuttamille myrskytuhoille, kun puut eivät saa ankkuroitua juuriaan jäiseen maahan (Gregow ym. 2011a). Suomessa keskimääräiset ja äärimmäiset tuulet voimistuvat syys–huhtikuun välisenä aikana vuoteen 2100 mennessä. Muutos on kuitenkin vain muutaman prosentin luokkaa (Gregow ym. 2011b).

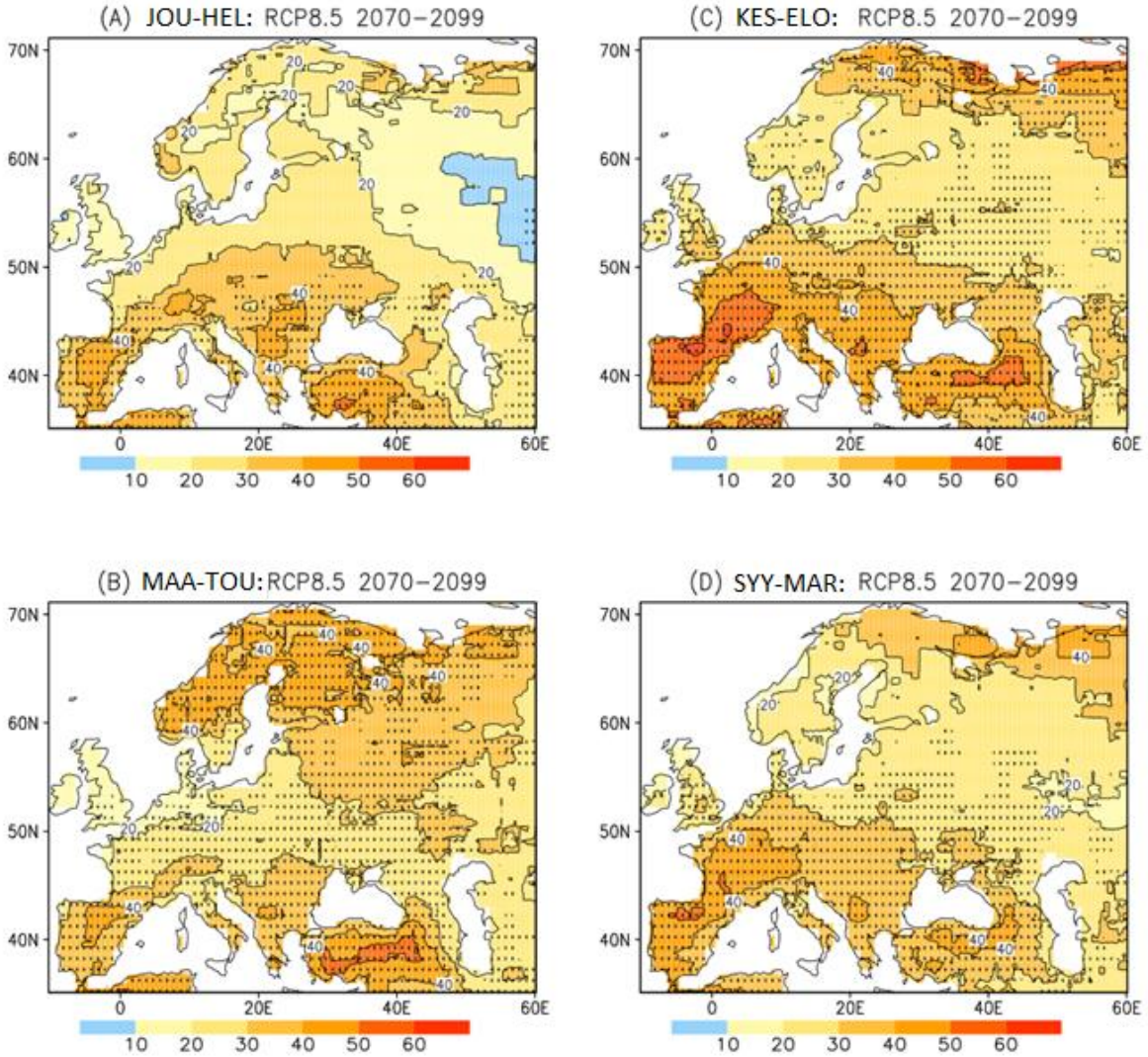
Rajuilmojen määrän ennustetaan kasvavan Euroopassa vuosisadan loppuun mennessä, esimerkiksi RCP8.5-skenaariossa 30–60 %. Määrän kasvu näkyy etenkin 2100-luvun loppupuolella. On kuitenkin hyvin epävarmaa, mitkä Euroopan maat kokevat enemmän ja mitkä vähemmän rajuilmoja. Salamoinnissa on odotettavissa lisääntymistä Pohjois-Euroopassa tällä vuosisadalla. (Groenemeijer ym. 2016, 152).

Myrskytuulten arvioidaan voimistuvan etenkin Suomen merialueilla, mutta myös rannikoilla ja sisämaassakin. Ajanjaksolla 2071–2100 RCP4.5-skenaariossa myrskytuulien voimistuminen on todennäköistä maan etelä- ja länsirannikolla, kun taas RCP8.5-skenaarion mukaan myrskytuulten voimistuminen on mahdollista kaikilla merialueilla sekä myös maan etelä- ja keskiosassa aina eteläisimpään Lappiin saakka (Groenemeijer ym. 2016, 24). Ilmastonmuutosarvioita tukee myös uusin tutkimustulos Euroopan manneralueiden myrskyistä. Niin sanotut katastrofiset myrskyt ovat todistetusti jo nyt voimistuneet tilastollisesti merkitsevästi vuoden 1990 jälkeen alueella, joka kattaa Länsi-, Keski- ja Pohjois-Euroopan (Gregow ym. 2017). Ilmastonmuutoksella epäillään olevan osuutta tähän voimistumiseen.

- Tuulet voimistuvat vain hieman syys–huhtikuun välisenä aikana vuoteen 2100 mennessä. Myrskytuhot kuitenkin kasvavat routa-ajan lyhenemisen vuoksi.
- Myrskytuulet voimistuvat etenkin Suomen merialueilla, mutta myös rannikoilla ja sisämaassa: 2071–2100 pahimman skenaarion mukaan myrskytuulten voimistuminen on mahdollista kaikilla merialueilla sekä maan etelä- ja keskiosassa aina eteläisimpään Lappiin saakka.
- Rajuilmojen määrän ennustetaan kasvavan Euroopassa vuosisadan loppuun mennessä, etenkin 2100-luvun loppupuolella.

3.2.2 Kuivuus

Maaperän kosteuspitoisuuden arvioidaan vähenevän ilmastonmuutoksen seurauksena lähes kaikkialla Euroopassa tämän vuosisadan aikana. Myös jaksot, jolloin maaperän kosteuspitoisuus laskee poikkeuksellisen alhaiseksi, tulevat esiintymään useammin kuin menneinä vuosikymmeninä (kuva 2). Ilmastonmuutoksesta johtuva maaperän kuivuus on voimakkaasti kausiluonteista. Maaperän pintakerroksen kuivuus yleistyy eniten keväisin, myös erittäin kuivia kesiä saattaa esiintyä. Pohjois-Euroopassa kuivuutta esiintyy pääsääntöisesti keväällä lumien ja maaperän sulamisen aikaistuttua. (Ruosteenoja ym. 2017).



KUVA 2. Poikkeuksellisen alhaisen maaperän kosteuden (esiintymistodennäköisyys alle yksi kerta kymmenessä vuodessa jaksolla 1961–2005) esiintymistodennäköisyyksiä (%) ajanjaksolla 2070–2099 RCP8.5-skenaarion mukaan eri vuodenaikoina: a) talvi, b) kevät, c) kesä ja d) syksy. Kuva esittää 26 ilmastonmuutosmallin tulosten keskiarvoa, ja alueet, joilla näistä vähintään 23 mallia simuloi samansuuntaista muutosta, on merkitty pisteytyksellä. (Mukaillen Ruosteenoja ym. 2017, 1189).

Ajanjaksolla 2010–2039 kuivuminen on voimakkainta toukokuussa, jonka jälkeen huhtikuussa. Vuosisadan puolivälistä loppuun kuivumista esiintyy myös maaliskuussa ja talvisin, mikä on sopusoinnussa roudan ja lumipeitteen vähenemisen sekä enenevässä määrin aikaisemmin keväällä sulavan lumipeitteen kanssa. Kesällä maaperän kuivuus on melko vaatimatonta, mikä osoittaa, että kasvavat sademäärät osittain mitätöivät tehostuvan haihtumisen vaikutuksen. RCP8.5-skenaarion mukaan maaperän kosteuspitoisuus tulee vähenemään Suomessa ajanjakson 1971–2000 keskiarvoon nähden joulu–helmikuussa 0–4 %, maalis–toukokuussa 4–8 %, kesä–elokuussa 0–8 % ja syys–marraskuussa 0–6 % ajanjaksolla 2070–2099. Suomen sisällä suurinta vaihtelu on kesä–elokuussa, jolloin Länsi-Suomessa maaperän kosteus pysyy paikoin samana kuin 1971–2000, kun taas Pohjois-Suomessa maaperän kosteus pienenee jopa 8 % vertailuvuosiin. (Ruosteenoja ym. 2017).

Melko kuivien päivien (eli sellaisten, jolloin maan pintakerroksen kosteusolot 5–10 cm syvyydellä ovat välillä 30–90) ennustetaan lisääntyvän noin 10 päivää kesässä vuosisadan loppupuolelle mentäessä RCP4.5-skenaariossa, mikä lisäisi metsäpaloriskiä (Asikainen ym. 2019). Suurehkojen (yli 10 ha) metsäpalojen arvioidaankin lisääntyvän (Lehtonen ym. 2016). Ajanjaksolla 1991–2020 kuivien päivien määrä näyttäisi jopa vähenevän joissakin paikoissa, mutta etelään mennessä trendi on selvä: kuivien päivien määrä kasvaa. Ajanjaksolla 2021–2059 trendi voimistuu entisestään ja ajanjaksolla 2070–2099 kuivien päivien lukumäärä kasvaa 90 % etelässä (Oulu–Joensuu-linjan alapuolella). Pohjoisemmassakin kuivien päivien lukumäärä kasvaa useilla kymmenillä prosenteilla. (Kellomäki ym. 2005).

Suhteellisen kosteuden osalta ennusteet osoittavat 0–6 prosenttiyksikön pienenemistä vuosisadan loppuun mennessä keskiarvon ollessa RCP4.5 skenaariossa hieman alle -2 prosenttiyksikköä ja RCP8.5 skenaariossa -3 prosenttiyksikköä. Ajanjaksolle 2010–2039 kumpikin skenaario ennustaa 0–2 prosenttiyksikön pienenemistä keskiarvon ollessa -1 prosenttiyksikköä. Ajanjaksolla 2040–2069 RCP4.5 skenaarion hajonta on hieman suurempi, +0,5...-3,5 prosenttiyksikköä, keskiarvojen ollessa RCP4.5 -1,5 prosenttiyksikköä ja RCP8.5 lähes -2 prosenttiyksikköä. (Lehtonen ym. 2016).

- Kuivuus lisääntyy erityisesti keväällä.
- Maaperän pintakerroksen kuivuus yleistyy eniten keväisin, myös erittäin kuivia kesiä saattaa esiintyä.
- Suomen sisällä suurinta vaihtelu on kesällä, jolloin Länsi-Suomessa maaperän kosteus pysyy paikoin samana kuin 1971–2000, kun taas Pohjois-Suomessa maaperän kosteus pienenee jopa 8 % vertailuvuosiin.
- Jaksolla 2070–2099 kuivien päivien lukumäärä kasvaa 90 % etelässä. Pohjoisessakin kuivien päivien lukumäärä kasvaa useilla kymmenillä prosenteilla.
- Suurehkojen (yli 10 ha) metsäpalojen arvioidaan lisääntyvän.

3.3 Lumen määrän ja roudan väheneminen

3.3.1 Lumi

Lumipeitekausi lyhenee ja lumen määrä vähenee keskimäärin erityisesti Etelä-Suomessa (Gregow ym. 2011a, Räisänen & Eklund 2012). Luomaranta ym. (2019) havaitsivat muutoksen ajanjakson 1961–2014 lumensyvyystietoja tutkiessaan: lumensyvyys väheni eniten etelä-, länsi- ja keskiosissa Suomea talven lopulla ja aikaisin keväällä. Vuosien välinen vaihtelu lumensyvyydessä oli suurta Suomen sisällä, joskin suurinta maan eteläosissa. Talviaikaisten sademäärien ennustetaan kasvavan Pohjois-Euroopassa, mutta varsinkin leudoilla alueilla sade tulee aiempaa useammin vetenä ja lumipeite sulaa nopeammin (Räisänen & Eklund 2012, Jylhä ym. 2008). Tulevia talvia luonnehtivat toistuvat sulamis- ja jäätymisvaiheet, vesisateet ja jäisen kuorikerroksen muodostuminen lumipeitteen päälle (Brown ym. 2017).

Lumipäivien ennustetaan Pohjois-Euroopassa vähenevän keskimäärin 45–60 päivällä (30–40 %) pakkasjakson alun siirtyessä 25–30 päivää myöhemmäksi ja lopun saman verran aikaistuessa (ajanjakso 2071–2100, skenaario A2) (Jylhä ym. 2008, 449). RCP8.5-skenaario ennustaa lumipeitteen keston lyhenevän arktisella alueella 10–20 % vuoteen 2055 mennessä. Suurinta vähenemä on Euroopan ja Länsi-Alaskan alueilla, joissa lyhenemä on yli 30 %. (Brown ym. 2017). Lämpötilan noustessa +2°C maksimilumimäärät pienenevät selvästi Fennoskandiassa, mikä pienentää ja aikaistaa keväisiä sulamisvedestä aiheutuvia tulvahuippuja (Roudier ym. 2015).

ACCLIM II-hankkeen (2011) tulosten mukaan lumen paksuutta ja massaa hyvin kuvaava lumen vesiarvo pienenee maaliskuussa koko Suomen alueella siten, että suhteellisesti suurinta lumen väheneminen on etelässä. Pohjois-Suomessa muutos on pienempi ja voi vielä lähivuosikymmeninä hukkua satunnaisen ilmastonvaihtelun sekaan. Lumisateen määrä vähenee syksyllä ja keväällä, Etelä-Suomessa keskitalvellakin. Lapissa satavan lumen määrä sen sijaan lisääntyy keskitalvella ainakin useimmissa malleissa. Vuosien 1971–2000 mittapuun mukaan runsaslumiset talvet vähenevät ajan myötä, mutta eivät katoa kokonaan. Lapissa saadaan ennusteiden mukaan pysyvä lumi talveksi vielä vuosisadan lopullakin, joskin luminen aika lyhenee sekä syksystä että keväästä (ACCLIM II 2011, Räisänen & Eklund 2011). Esitetyt ennusteet perustuvat pessimistiseen A2-skenaarioon. Mikäli päästöjen rajoituksissa onnistutaan, tulevaisuus ei olisi aivan näin vähäluminen. Skenaarioiden väliset erot tosin tulevat näkyviin vasta vuosisadan puolivälin tienoilla ja jälkeen. Myös keskiskenaarion (A1B) mukainen lämpeneminen vähentää lumen määrää jo tulevina vuosikymmeninä. Vaikka lumipeite hupenee, esiintyy runsaslumisia talvia myös jatkossa, mutta sitä harvemmin mitä pidemmälle tulevaisuuteen mennään. Lumipeitteen oikukas käyttäytyminen ilmenee selvemmin Etelä- kuin Pohjois-Suomessa. (ACCLIM II 2011).

Lumipeitteen väheneminen lisää sellaisten eläinten saalistusta, joilla on valkoinen suojaväri. Tällaisia ovat muun muassa riekko (*Lagopus lagopus*), kiiruna (*Lagopus muta*), metsäjänis (*Lepus timidus*), naali (*Vulpes lagopus*) ja kärppä (*Mustela erminae*). Talvivärin muuttumista säätelee valoisuuden muutos, joka ei muutu, vaikka talven pituus ja lumipeitteinen aika ilmastonmuutoksen vuoksi lyhentyisi. Valkoisina pimeässä metsässä hohtavat riistaeläimet ovat otollista saalista pedoille (Marttila ym. 2005). Nopea evoluutio yhdessä nopean eteläisempien

ja pohjoisempien populaatioiden sekoittumisen välillä voivat kuitenkin vaikuttaa suojavärin sävyyn (Mills ym. 2018, Niittynen 2019)

- Suhteellisesti suurinta lumen väheneminen on etelässä.
- Lumisateen määrä vähenee syksyllä ja keväällä, Etelä-Suomessa keskitalvellakin.
- Lapissa satavan lumen määrä lisääntyy keskitalvella useimmissa malleissa ja Lapissa saadaan ennusteiden mukaan pysyvä lumi talveksi vielä vuosisadan lopullakin, joskin luminen aika lyhenee sekä syksystä että keväästä.
- Lumipäivien ennustetaan Pohjois-Euroopassa vähenevän keskimäärin 45–60 päivällä pakkasjakson alun siirtyessä 25–30 päivää myöhemmäksi ja lopun saman verran aikaistuessa.

3.3.2 Routa

Ilmastonmuutoksen seurauksena maaperän roudan syvyys pienenee ja kesto lyhenee (Jylhä ym. 2009, ACCLIM II 2011), mikä näkyy erityisesti auratuilla alueilla kuten teillä, lentokentillä ja pihoilla (Venäläinen ym. 2001, Kellomäki ym. 2010, Gregow ym. 2011a). Mikäli lämpötila nousee mallien keskimäärin ennustamalla nopeudella, lounaiset saaristoalueet olisivat tämän vuosisadan loppuvuosikymmeninä tavanomaisena talvena valtaosin roudattomia. Maan pintakerros voi pakkasjakson sattuessa jäätyä sielläkin vähäksi aikaa, mutta suojasäät sulattavat roudan pian. Lapissa routakerros ohenee vuosisadan puoliväliin (2040–2069) tultaessa noin neljänneksellä ja vuosisadan loppupuolella (2070–2099) jo 30–40 %. Etelä-Suomen sisämaassa routaa on vuosisadan lopulla vajaa puolet nykyisestä. (ACCLIM II 2011).

Lumipeite vaikuttaa voimakkaasti maaperän talviaikaisiin lämpötiloihin. Jungqvistin ym. (2014) tutkimuksen mukaan Ruotsin pohjoisosissa maaperän lämpötila muuttui vähiten eristävän lumipeitteen vuoksi, kun taas etelässä maaperän talvilämpötila muuttui eniten lumipeitteen kokonaan puuttuessa tai sen ollessa vähäinen. Maaperän ennustetaan lämpenevän eniten keväällä.

A1B-skenaarion mukaisessa tilanteessa roudan ennustetaan katoavan lähes kokonaan Etelä- ja Keski-Suomessa (Gregow ym. 2011a). Roudan syvyyden ennustetaan vähenevän lumettomilla alueilla 44 % Rovaniemellä, 54 % Joensuussa, 66 % Jyväskylässä ja 82 % Helsingissä A1B-skenaariossa vuoteen 2100 mennessä (Gregow ym. 2011a, 47). Arvioihin liittyy useita epävarmuustekijöitä, mutta tulokset ovat samansuuntaisia kuin mitä on saatu aiemmissa tutkimuksissa: roudan maksimisyvyys Suomessa pienenee 50 % vuoteen 2100 mennessä (Venäläinen ym. 2001) ja routa-aika lyhenee Etelä-Suomessa 4–5 kuukaudesta 2–3 kuukauteen (Peltola ym. 1999, Kellomäki ym. 2010).

- Maaperän roudan syvyys pienenee ja kesto lyhenee.
- Lounaiset saaristoalueet näyttäisivät olevan vuosisadan loppuvuosikymmeninä tavanomaisena talvena valtaosin roudattomia
- Lapissa routakerros ohenee vuosisadan puoliväliin tultaessa noin neljänneksellä ja vuosisadan loppupuolella 30–40 %. Etelä-Suomen sisämaassa routaa on vuosisadan lopulla vajaa puolet nykyisestä ja routa-aika lyhenee 2–3 kuukauteen.

3.4 Muutokset lintulajistossa

Pohjoiset lintulajit ovat vähentyneet ja niiden levinneisyysalueet ovat siirtyneet pohjoista kohti. Esimerkiksi suosirrin (*Calidris alpina*) levinneisyysalueen keskipiste siirtyi 265 km, järripeipon (*Fringilla montifringilla*) 170 km, lapinuunilinnun (*Phylloscopus borealis*) 170 km, hiiripöllön (*Surnia ulula*) 150 km ja riekon (*Lagopus lagopus*) 145 km pohjoiseen vuosien 1974–1989 ja 2006–2010 välisenä aikana (Virkkala & Lehikoinen 2017, 8205). Huomattavia muutoksia on havaittu myös merilintujen osalta. Ilmastonmuutoksen mukanaan tuoman jäättömyyden takia esimerkiksi laulujoutsenen (*Cygnus cygnus*) talvehtijamäärät ovat jo nyt yli satakertaistuneet, tukkasotkan (*Aythya fuligula*) yli 500-kertaistuneet, telkän (*Bucephala clangula*) yli 70-kertaistuneet ja isokoskelon (*Mergus merganser*) 40-kertaistuneet eteläisillä merialueillamme 1950–60-luvuilta (Viitasalo 2019).

Lehikoisen ja Virkkalan (2016) tutkimuksen mukaan 128 lintulajin esiintymisalue on siirtynyt keskimäärin 35 km kohti pohjoista ajanjaksojen 1970–1989 ja 2000–2012 välillä. Suomessa lajimäärän uskotaan joidenkin tutkimusten mukaan kasvavan ilmastonmuutoksen myötä, kun uusia eteläisiä lajeja leviää maahamme. Toisaalta pohjoiset lajit ovat joutumassa ahdinkoon, ja niiden on jo nyt havaittu taantuneen (esim. Laaksonen & Lehikoinen 2013). Etelä-Suomessa metsälintujen kokonaiskanta ei kuitenkaan välttämättä kasva, vaikka ilmasto-olosuhteet muuttuvat monelle lajille suotuisammiksi. Etelästä Suomeen levittäytyvät lajit eivät välttämättä pysty kompensoimaan metsälajien populaatioiden siirtymistä pohjoista kohti, koska Itämeri ja Suomenlahti voivat hidastaa eteläisten lajien levittäytymistä Suomeen. (Virkkala ym. 2019).

Suomeen on odotettavissa lähialueilla, erityisesti Virossa ja Leningradin alueella pesiviä lajeja uusina metsälajeina, kuten viitatiainen (*Poecile palustris*) ja tammitikka (*Dendrocopos medius*). Euroopassa nopeasti levittäytynyt syyriantikka (*Dendrocopos syriacus*) voi pesiä Suomessa vuosisadan lopulla ilmaston voimakkaasti lämmetessä. Suomessa nyt vähälukuisina pesivät pähkinänakkeli (*Sitta europaea*) ja nokkavarpunen (*Coccothraustes coccothraustes*) runsastuvat todennäköisesti huomattavasti ja laajentavat levinneisyysaluettaan. Runsastuvia lajeja ovat myös viime vuosikymmeninä jo runsastuneet talitiainen (*Parus major*), sinitiainen (*Cyanistes caeruleus*) ja mustarastas (*Turdus marula*), jotka hyötyvät ilmastonmuutoksen lisäksi muustakin ihmistoiminnasta, kuten lisääntyneestä talviruokinnasta. (Virkkala 2019).

Suomessa sijaitsevien boreaalisten suojelualueiden linnustotietoja vertailemalla selvisi, että pohjoisten lintujen määrä laski 21 % ja eteläisten nousi 29 % ajanjaksojen 1981–1999 ja 2000–2009 välillä (Virkkala & Rajasärkkä 2011). Samaan aikaan keskilämpötilan nousu oli 0,7–0,9 °C.

Uudemmassa, myös suojelualueita tarkastelleessa, tutkimuksessa (Virkkala ym. 2018) vertailtiin ajanjaksojen 1981–1999 ja 2000–2017 välistä muutosta. Lämpötila nousi 1,1 °C ja lajien levinneisyys siirtyi 28,5 km (1,8 km/vuosi) kohti pohjoista. Monien nyt Etelä-Suomeen painottuneiden metsälintulajien, kuten peippo (*Fringilla coelebs*), vihervarpunen (*Spinus spinus*) ja hippiäinen (*Regulus regulus*), ennustetaan runsastuvan selvästi Pohjois-Suomessa. Voi olla, että tällaisten lajien kanta pienenee vastaavasti Etelä-Suomessa. (Virkkala ym. 2018).

Levinneisyysalueen arvioidaan supistuvan merkittävästi (yli 60 %) vuoteen 2080 mennessä keskimäärin 70 prosentilla Fennoskandian pohjoisista linnuista. Bioilmastolliset mallit selittävät tästä muutoksesta keskimäärin 40 prosenttia. Huhti–kesäkuun keskilämpötila on tärkein ilmastollinen selittäjä muutokselle. Suomessa erityisesti tunturialueen, pohjoisten metsien ja soiden linnuston odotetaan taantuvan. Tarkastelussa mukana oli 10 metsälintua, joista useimmilla levinneisyysalue uhkaa pienentyä alle puoleen vuoteen 2080 mennessä (skenaariot A2 ja B1) (taulukko 3). Pahin kärsijä näyttäisi olevan kirjosiipikäpylintu (*Loxia leucoptera*), jonka levinneisyysalue katoaa kokonaan. (Virkkala ym. 2008).

TAULUKKO 3. Muutos metsälintujen levinneisyydessä ajanjaksoon 1971–1990 verrattuna (mukaillen Virkkala ym. 2008, 1348).

Laji	**Muutos levinneisyydessä (%)**		
	2021–2050 (A2)	2051–2080 (A2)	2051–2080 (B1)
Piekana (*Buteo lagopus*)	-56.8	-95.9	-85.3
Lapinpöllö (*Strix nebulosa*)	-46.8	-83.6	-79.4
Hiiripöllö (*Surnia ulula*)	-69.0	-94.1	-92.9
Kuukkeli (*Perisoreus infaustus*)	-15.5	-49.4	-29.6
Tilhi (*Bombycilla garrulus*)	-71.5	-97.8	-78.5
Lapintiainen (*Parus cinctus*)	-37.8	-95.1	-76.9
Järripeippo (*Fringilla montifringilla*)	-32.1	-61.0	-48.7
Taviokuurna (*Pinicola enucleator*)	-83.2	-100.0	-98.8
Kirjosiipikäpylintu (*Loxia leucoptera*)	-98.6	-100.0	-100.0
Pohjansirkku (*Emberiza rustica*)	-30.3	-37.3	-24.6
Keskiarvo (±S.E)	-54.2 ± 8.3	-81.4 ± 7.4	-71.5 ±8.7

Pohjoiseen siirtymisen lisäksi linnut myös aikaistavat pesintäänsä. Arktisilla linnuilla pesintä on aikaistunut viime vuosikymmeninä noin puolen päivän vuosivauhtia, ja tämä on useimmissa tutkimuksissa liitetty aiempaa varhaisempaan lumien sulamiseen (esim. Liebezeit ym. 2014). Ilmastonmuutoksella on vaikutusta myös lintujen kevät- ja syysmuuttojen ajankohtaan sekä talvehtimispaikan valintaan (Lehikoinen 2011, Lehikoinen & Jaatinen 2012).

Metsiä elinympäristönään käyttävistä linnuista ilmastonmuutos on uhanalaisuuden syy tai uhkatekijä hiirihaukalle (*Buteo buteo*), järripeipolle (*Fringilla montifringilla*), riekolle (*Lagopus lagopus*), lapintiaiselle (*Poecile cinctus*) ja mustaviklolle (*Tringa erythropus*). Näistä hiirihaukka ja riekko on määritelty vaarantuneiksi ja muut silmälläpidettäväksi. (Hyvärinen ym. 2019, 550–570).

- 128 lintulajin esiintymisalue on siirtynyt keskimäärin 35 km kohti pohjoista.
- Uusia lajeja on odotettavissa erityisesti Viron ja Leningradin alueilta. Myös jo aiemmin Suomessa runsastuneet lajit voivat jatkaa runsastumistaan.
- Levinneisyysalueen arvioidaan supistuvan merkittävästi vuoteen 2080 mennessä keskimäärin 70 prosentilla Fennoskandian pohjoisista linnuista.

3.5 Vaikutukset nisäkkäisiin

Eteläiset lajit hyötyvät ilmastonmuutoksesta, kun taas pohjoiset lajit kärsivät. Villisika (*Sus scrofa*) on yksi selkeimmistä leudoista talvista hyötyvistä nisäkkäistä (Niittynen 2019) (katso kappale 3.6.2.). Ruotsalaistutkimuksessa (Elmhagen ym. 2015) havaittiin eteläisten nisäkkäiden (kettu (*Vulpes vulpes*), näätä (*Martes martes*), mäyrä (*Meles meles*), ilves (*Lynx lynx*), hirvi (*Alces alces*) ja metsäkauris (*Capreolus capreolus*)) lisääntyneen ja laajentaneen elinaluettaan. Pohjoisten lajien (harmaakuvemyyrä (*Myodes rufocanus*), naali (*Vulpes lagopus*) ja ahma (*Gulo gulo*)) kohdalla tilanne oli päinvastainen. Havainnon taustalla on useita tekijöitä, mutta myös ilmastonmuutoksella uskotaan olevan vaikutusta muutokseen.

Lumipeitteisen ajan lyheneminen ja lumen määrän väheneminen vaikuttavat negatiivisesti valkoisen suojavärin omaaviin lajeihin, kuten metsäjänikseen (katso kappale 3.3.1). Ilmaston-muutoksen myötä metsäjänis onkin taantunut Suomessa jo 30 vuoden ajan. Samanaikaisesti rusakko (*Lepus europaeus*) on leudompien talvien ansiosta yleistynyt ja levittäytynyt pohjoisemmaksi. (Levänen 2019, 7).

Lumipeitteisen ajan lyheneminen ja lumipeitteen oheneminen voivat puolestaan edesauttaa runsaassa lumessa huonommin menestyvien eteläisten lajien kuten metsäkauriin ja uuden tulokkaan saksanhirven (*Cervus elaphus*) menestymistä. Myös muiden suurten, kasveja syövien nisäkkäiden, kuten hirven ja valkohäntäpeuran (*Odocoileus virginianus*), ennustetaan hyötyvän vähentyvästä lumipeitteestä, kun ravintokasvit ovat pidempään ja paremmin tarjolla ja liikkuminen on helpompaa. Hirvien määrän voimakas kasvu eteläisemmässä Suomessa voi vähentää sen ravintonaan käyttävien lehtipuiden, erityisesti haavan (*Populus tremula*), pihlajan (*Sorbus aucuparia*) ja raidan (*Salix caprea*), kykyä kasvaa täysikasvuisiksi puiksi. (Marttila ym. 2005). Hirvikannan suuruus etenkin eteläisemmässä Suomessa on kuitenkin täysin ihmisen kontrolloima, ei niinkään luonnonolojen.

Ilmaston lämpenemisen myötä karhun (*Ursus arctos*) ja suden (*Canis lupus*) potentiaalisen elinalueen ennustetaan leviävän laajemmalle (Hof ym. 2012). Suomessa myös karhun ja suden kannat ovat kuitenkin täysin ihmisen kontrolloimia, jolloin ilmaston vaikutus ei ole merkityksellinen (Niittynen 2019). Lumisen ajan lyheneminen vaikuttaa karhun talviunen pituuteen. Leutotalvisilla alueilla karhut voivat pysyä koko talven aktiivisina tai nukkua talviunta vain vähän aikaa, mistä on jo lisääntyviä havaintoja Puolan alueelta (Bojarska ym. 2019).

Pienpetoyhteisön, erityisesti ketun ja supikoiran, vahvistuminen saattaa muuttaa oleellisesti näiden lajien välittämien tautien ja loisten esiintymistä. Kettukannan runsastuminen ja kannanvaihteluiden tasaantuminen saattavat mahdollistaa ihmiselle vaarallisen loisen, myyräekinokokki-heisimadon (*Echinococcus multilocularis*) leviämisen Suomeen. (Marttila ym. 2005).

- Eteläiset lajit lisääntyvät ja laajentavat elinaluettaan, esim. kettu ja näätä.
- Valkoinen suojaväri lisää metsäjäniksen saalistusta, samalla kun rusakko leviää pohjoisemmaksi.
- Karhun talviuni voi lyhentyä.
- Uusien nisäkäslajien leviäminen Suomeen on mahdollista, esim. villisika ja saksanhirvi.
- Myös uusia tauteja ja loisia on odotettavissa.

3.6 Vieraslajit, tulokaslajit ja tuholaislajit

3.6.1 Vieraslajit

Kansallisen vieraslajistrategian (2012) määritelmän mukaan **vieraslajiksi** kutsutaan sellaista luontoon levinnyttä lajia, joka ei alun perin ole kuulunut ekosysteemiin eikä olisi pystynyt sinne omin neuvoin leviämään. Vieraslaji on ylittänyt luontaiset leviämisesteet, kuten mantereen, meren tai vuoriston, ihmisen tietoisella tai tahattomalla myötävaikutuksella.

Heikkisen ym. (2012) arvion mukaan vieraslajien esiintymät ja haittavaikutukset Suomessa tulevat varsin todennäköisesti voimistumaan ilmastonmuutoksen myötä, vieraslajien esiintymisalueet laajenemaan ja myös uusien haitallisten vieraslajien leviämiseen tulee varautua. Tässä yhteydessä käsitellään vieraslajiongelmaa myös yleisemmällä tasolla kuin metsiin liittyen.

Etelä-Suomen ilmasto-olot tulevat ennusteiden mukaan vuosina 2021–2050 vastaamaan Viron, Latvian, Liettuan ja Etelä-Ruotsin ilmastoa ja lämpösumman osalta jo manner-Tanskan viimeaikaista ilmastoa vuosina 1971–2000. Vuosina 2051–2080 Etelä-Suomen ilmasto muistuttaa skenaarioiden perusteella keskimäärin vähintään jo Puolan ilmastoa ja lämpösumman osalta Puolan, Tanskan, Hollannin ja Pohjois-Saksan ilmastoa vuosina 1971–2000. Saaristossa ja lounasrannikolla on alueita, joissa ennustettu lämpösumma vastaa Belgian ja Saksan keskiosien viimeaikaista ilmastoa. (Heikkinen ym. 2012, 35).

Näiden ennusteiden perusteella sellaiset vieraslajit, joiden leviämistä ja menestymistä talvehtimisolosuhteet (kylmien jaksojen esiintyminen talvikautena) rajoittavat merkittävästi, pystyvät todennäköisesti asettumaan Suomeen ja laajentamaan esiintymisaluettaan hitaammin kuin vieraslajit, joiden levinneisyyden rajat määräytyvät etupäässä kasvukauden aikaisen lämpösumman perusteella. Esimerkiksi nisäkkäillä talvisuuden vaikutukset ilmenevät usein kahden päätekijän kautta: lumipeitteen määrä ja ajallinen pituus (mm. supikoira (*Nyctereutes procyonoides*), supi eli pesukarhu (*Procyon lotor*), japaninkauris (*Cervus nippon*), täpläkauris eli kuusipeura (*Dama dama*)) ja jääpeitteen esiintyminen (mm. nutria eli rämemajava (*Myocastor coypus*)). Lisäksi puut ja pensaat voivat olla talviolosuhteille arempia kuin maan pinnan rajassa talvehtivat heinät ja ruohot. Myös useat hyönteislajit pystyvät viettämään kylmät talvikuukaudet lepovaiheessa suojaisissa kohdissa. (Heikkinen ym. 2012, 35).

Baltian maiden ja Tanskan haitallisissa vieraslajeissa on jo nyt Suomessa esiintyviä lajeja (esimerkiksi komealupiini (*Lupinus polyphyllus*), kurtturuusu (*Rosa rugosa*) ja minkki (*Mustela vison*)), lajeja, jotka ovat parhaillaan saamassa jalansijaa Suomessa (esimerkiksi pohjois-

amerikkalaiset piiskut) sekä lajeja, jotka eivät vielä sanottavammin ole karanneet luontoon tai joita ei esiinny Suomessa (esimerkiksi piikkikurkku (*Echinocystis lobata*) ja harlekiinileppäkerttu (*Harmonia axyridis*)) (Kansallinen vieraslajistrategia 2012). Useat tällä hetkellä Keski-Eurooppaan ja Suomenlahden eteläpuolisille alueille rajoittuneet vieraslajit esiintyvät luontaisella alueellaan Pohjois-Amerikassa eli Etelä-Suomen kaltaisilla ilmastoalueilla. Siten nämä lajit voivat levittäytyä menestyksekkäästi pohjoisemmaksi kohti Suomea jo lähitulevaisuudessa. Suomen ilmaston suhteen samankaltaisilla seuduilla Pohjois-Amerikassa tai muilla mantereilla on tavattu vajaat 20 lajia Global Invasive Species -tietokannan sadasta pahimmasta vieraslajista (esimerkiksi kiinantukkijäärä (*Anoplophora glabripennis*) ja harmaaorava (*Sciurus carolinensis*)). Osa DAISIE-hankkeessa listatuista pahimmista vieraslajeista, kuten jumaltenpuu (*Ailanthus altissima*), valeakaasia (*Robinia pseudoacacia*), kiiltotuomi (*Prunus serotina*), mäntyankeroinen (*Bursaphelenchus xylophilus*) ja pesukarhu, esiintyvät Pohjois-Amerikassa ilmastollisesti Suomen kaltaisilla seuduilla. (Heikkinen ym. 2012).

Vieraslajien leviämistä Suomeen voidaan arvioida myös tarkastelemalla sitä, mitkä vieraslajit on otettu mukaan Suomen lähialueiden haitallisten vieraslajien luetteloihin, etenkin maiden virallisille vieraslajien mustille listoille. On ilmeistä, että mitä useammassa yhteydessä vieraslaji on arvioitu haitalliseksi, sitä todennäköisemmin siitä voi tulla ongelmallinen laji myös Suomessa. Baltian maista Saksaan, Hollantiin ja Belgiaan ulottuvalla alueella useissa yhteyksissä haitalliseksi arvioituja metsäekosysteemissä eläviä vieraskasvilajeja ovat saarnivaahtera (*Acer negundo*), punatammi (*Quercus rubra*), kiiltotuomi ja valeakaasia ja haitallisia vieraslajieläimiä minkki, supikoira, pesukarhu, japaninkauris ja harlekiinileppäkerttu. (Heikkinen ym. 2012).

- Vieraslajien esiintymät ja haittavaikutukset Suomessa tulevat voimistumaan ilmastonmuutoksen myötä, vieraslajien esiintymisalueet laajenemaan ja myös uusien haitallisten vieraslajien leviämiseen tulee varautua.
- Mahdollisia Suomessa tulevaisuudessa leviämään kykeneviä lajeja ovat mm. saarnivaahtera, punatammi, kiiltotuomi, valeakaasia, minkki, supikoira, pesukarhu, japaninkauris ja harlekiinileppäkerttu.

3.6.2 Tulokaslajit

Kansallisen vieraslajistrategian (2012) määritelmän mukaan **tulokaslajilla** tarkoitetaan maahamme äskettäin (parin viime vuosisadan aikana) itse levittäytynyttä eliölajia. Osa tulokaslajeista on sellaisia, joiden levinneisyysalue on lähialueilta luontaisesti laajenemassa. Leviämistä saattavat edesauttaa lämpöoloiltaan suotuisat ajanjaksot ja sopivat tuulet.

Metsäympäristöjen yöperhosyhteisöissä on havaittu useita merkittäviä muutoksia vuosien 1993–2012 aikana, jotka ovat selkeästi liitettävissä ilmaston lämpenemiseen. Uusia lajeja, joista pääosa on Suomessa jo vakiintuneita, havaitaan vuosittain seurantaverkossa. Lisäksi aikaisemmin harvinaisina ja paikallisina pidettyjen lajien, ns. paluumuuttajien, määrä on noussut ja myös Suomelle uusia lajeja on havaittu seurannoissa. Esimerkiksi alkujaan kaakkoinen harvinaisuus idänpronssiyökkönen (*Autographa excelsa*) esiintyy tällä hetkellä jo laajalti yleisenä maan etelä- ja keskiosissa ja Suomessa vanhastaan lähinnä lounaissaaristossa

harvinaisena esiintynyt maltsayökkönen (*Trachea atriplicis*) on runsastunut voimakkaasti erityisesti lämpimän kesän 2010 jälkeen, ja se on levittäytynyt jo eteläiseen Keski-Suomeen. Muita runsastuneita lajeja ovat mm. vyökiiltoyökkönen (*Protodeltote pygarga*), suruyökkönen (*Amphipyra perflua*) ja orapihlajayökkönen (*Allophyes oxyacanthae*). Aikaisemmin eteläpainotteisten lajien vahvimmat kannat ovat siirtymässä Etelä-Suomesta Keski-Suomeen ja eräiden pohjoispainotteisten lajien kannat ovat taantuneet niiden esiintymisalueiden eteläosissa. (Leinonen ym. 2016).

Suomessa oli Luken arvion mukaan tammikuun 2018 alussa yhteensä 3155 villisikaa (Luke 2018). Suomen villisikakanta on arvion mukaan kasvanut 23,6 prosenttia verrattuna tammikuun 2017 tilanteeseen. Luken mukaan kannan luontaiseksi kasvupotentiaaliksi arvioidaan havaintoaineistojen ja villisikaa koskevien tutkimuskirjallisuuslähteiden perusteella noin 51,4 (luottamusväli 42,3–60,9) prosenttia vuodessa. Tiheimmillään kanta on itäisen Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen alueilla. Villisika on levinnyt Suomeen omin jaloin Venäjältä. Ilmastonmuutoksesta johtuva talvien leudontuminen on auttanut villisian leviämistä Euroopassa (Vetter ym. 2015). Talvien leudontumisen ja lumipeitteen pienenemisen arvellaan hyödyttävän myös sakaalia (*Canis aureus*), jonka levinneisyysalue on levittäytynyt kohti pohjoista ja länttä viime vuosikymmenen aikana (Arnold ym. 2012).

- Metsäympäristöjen yöperhosyhteisöissä on havaittu Suomelle uusia lajeja ja aikaisemmin harvinaisina ja paikallisina pidettyjen lajien määrä on noussut.
- Villisika ja sakaali hyötyvät talvien leudontumisesta ja lumipeitteen pienenemisestä.

3.6.3 Tuholaislajit

Ilmastonmuutoksen myötä pääosa tuhoriskeistä kehittyy tulevina vuosikymmeninä pahempaan suuntaan muutostrendin ollessa erittäin nopea. Metsät eivät ehdi sopeutua muutokseen yhtä nopeasti kuin niiden tuhonaiheuttajat (Asikainen ym. 2019).

Alhaiset lämpötilat tappavat joidenkin munina talvehtivien tuhohyönteisten munia. Kotimaisten tuhohyönteisten munat kuolevat seuraavissa raja-arvoissa: -27 °C (lehtinunna, *Lymantria dispar*), -29 °C (havununna, *Lymantria monacha*), -35 °C (hallamittari, *Operophtera brumata*) ja -37 °C (ruskomäntypistiäinen, *Neodiprion sertifer*; tunturimittari, *Epirrita autumnata*). Asikainen ym. (2019) laskivat, kuinka monena talvena skenaarion RCP4.5 toteutuessa lämpötila laskee ajanjaksolla 2070–2099 vähintään kerran alle -27 °C, mikä on olennaista lehtipuiden tuholaisen lehtinunnan talvehtimisen kannalta. Laskelmien mukaan tämän vuosisadan loppuun mentäessä lounaisimman Suomen sisämaan olosuhteet ”siirtyvät” Oulun seudulle. Samassa tutkimuksessa tarkasteltiin myös havupuiden tuholaisen havununnan kannalta kriittisen lämpötilan (-29 °C) esiintymisen todennäköisyyden muuttumista eri alueilla RCP4.5-skenaarion tapauksessa. Historiallisessa ilmastossa (1980–2001) tuhojen esiintyminen on ollut epätodennäköistä suurimmassa osassa Suomea (Satakunnan, Pirkanmaan, Päijät-Hämeen ja Etelä-Savon muodostaman rajan pohjoispuolella). Tämän vuosisadan lopulla (2070–2090) vastaava tilanne

olisi enää vain Lapissa. Havununna ei ole toistaiseksi aiheuttanut Suomessa merkittäviä tuhoja. (Asikainen ym. 2019).

Lämpenevästä ilmastosta hyötyvä kirjanpainaja (*Ips typographus*) on pahin hyönteistuholainen Suomessa. Kuusen merkittävimmän runkotuholaisen aiheuttamat tuhot ovat lisääntyneet Euroopassa, ja ne voivat lisääntyä myös Suomessa ilmaston lämmetessä. Tšekin tasavallassa (1000–1500 km Suomea etelämpänä) arviolta 20–30 miljoonaa kuutiometriä kuusikoita on kuollut kirjanpainajan aiheuttamien tuhojen seurauksena. Kirjanpainajan toisen sukupolven esiintymisen edellytyksenä on, että kasvukauden lämpösumma kohoaa yli 1500 °C vrk. 1900-luvun lopulla 1500 astepäivän ylitykset olivat Suomessa vielä varsin harvinaisia. Vain eteläisimmässä Suomessa todennäköisyys oli yli 10 % ja Oulusta pohjoiseen käytännössä nolla. Ilmaston lämmetessä todennäköisyys 1500 astepäivän ylitykseen kasvaa voimakkaasti. Jo meneillään olevan jakson 2010–2039 aikana todennäköisyys on Etelä-Suomessa yli 50 %. Myöhemmin tällä vuosisadalla kehitys riippuu kasvihuonekaasujen päästöistä, mutta molemmilla skenaarioilla (RCP4.5 ja RCP8.5) 1500 astepäivän raja ylittyy Etelä-Suomessa useimpina vuosina, jolloin kirjanpainaja kykenee aiheuttamaan Etelä-Suomen kuusikoissa suurimittakaavaisia tuhoja. (Asikainen ym. 2019).

Yli nollan (°C) olevat lämpötilat mahdollistavat puiden merkittävimmän lahottajasienen, juurijäävän, kantaitiöiden vapautumisen ja lisäävät juurikäävän rihmaston kasvua. Talvien leudontuminen ja kesien lämpeneminen lisäävät juurikääpätuhoja monen eri mekanismin kautta. Juurikääpien yleisen esiintymisen pohjoisrajan voidaan arvioida siirtyvän huomattavasti nykyistä pohjoisemmaksi. (Asikainen ym. 2019).

- Pääosa tuhoriskeistä kehittyy tulevina vuosikymmeninä pahempaan suuntaan muutostrendin ollessa erittäin nopea.
- Olosuhteet lehti- ja havununnan onnistuneelle talvehtimiselle parantuvat.
- Olosuhteet kirjanpainajan selviytymiselle parantuvat ja riski kirjanpainajan suurimittakaavaisiin tuhoihin Etelä-Suomen kuusikoissa kasvaa.
- Juurikääpien yleisen esiintymisen pohjoisrajan voidaan arvioida siirtyvän huomattavasti nykyistä pohjoisemmaksi.

4 ITÄMEREN RANNIKKOMAISEMA

4.1 Vieraslajit ja vaikutukset avainlajeille

Avainlajilla tarkoitetaan lajia, josta monet muut lajit ovat suoraan tai välillisesti riippuvaisia ja jonka katoaminen näin ollen vaarantaa usean lajin olemassaolon. Avainlajien merkitys koko ekosysteemille on poikkeuksellisen tärkeä, ja niihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Itämeren avainlajeina voidaan pitää muun muassa rakkohaurua (aikaisemmalta nimeltään rakkolevä, *Fucus vesiculosus*), sinisimpukkaa (*Mytilus edulis*) ja meriajokasta (*Zostera marina*) (Vuorinen 2017).

Rakkohaurulla on tärkeä merkitys Itämeren rannikon ekosysteemeissä: se tarjoaa ravintoa ja suojaa monille selkärangattomille kuten halkoisjalkaisille (*Praunus* spp.) sekä rannikon kaloille

kuten hauelle (*Esox lucius*) ja ahvenelle (*Perca fluviatulis*) (Furman ym. 2014). Rakkohaurulla kasvun lämpötilaoptimi on 15 °C:en molemmin puolin. Jo lyhytkestoisen altistuksen korkealle lämpötilalle on havaittu olevan rakkohaurulle haitallista. Korkean lämpötilan (26 °C tai yli) vaikutukset ovat erittäin haitallisia yhdistettynä alhaiseen suolapitoisuuteen, jollaista on ennustettu pohjoiselle Itämerelle vuosisadan loppuun mennessä. (Takolander 2018, 7). Ennustettu suolapitoisuuden lasku siirtäisi nyt Merenkurkussa olevan suolapitoisuuden Saaristomerelle ja Gotlannin luona olevan vuorostaan Tanskan salmiin. Rakkohauru ja sinisimpukka esiintyisivät tulevaisuudessa aivan Saaristomeren etelälaidalla ja kymmenille lajeille elinympäristön tarjoava **meriajokas** häviäisi lajistostamme kokonaan. (Vuorinen 2017). Meriveden lämpenemisen negatiiviset vaikutukset meriajokkaaseen on havaittu aiemmissakin tutkimuksissa (esim. Ehlers ym. 2008).

Sinisimpukkaa uhkaavat lämpötilan nousun ja suolapitoisuuden laskun (Hiebenthal ym. 2012) lisäksi vieraslajit, kun jotkin uudet makeissa ja lämpimissä vesissä viihtyvät lajit saattavat ilmaston lämmetessä levitä Suomen rannikolle. Suomen vesillä ainakin koukkuvesikirppu (*Cercopagis pengoi*), liejutaskurapu (*Rhithropanopeus harrisii*), valesinisimpukka (*Mytilopsis leucophaeata*) ja vaeltajasimpukka (*Dreissena polymorpha*) ovat levinneet ja runsastuneet (Viitasalo 2019). Näistä ainakin molemmat simpukkalajit hyötyvät lämpimämmästä ja makeammasta vedestä. Vaeltajasimpukka kilpailee sinisimpukan kanssa samasta ravinnosta ja kiinnittymispaikoista. Alhaisissa suolapitoisuuksissa viihtyvä vaeltajasimpukka korvaa sinisimpukan itäisellä Suomenlahdella (Furman ym. 2014). Sinisimpukkapopulaation on todettu heikentyneen (Jokinen 2010), mikä on huolestuttavaa, sillä sinisimpukka ylläpitää noin 40 makroeliölajin habitaattia (Furman ym. 2014).

Merkittäväksi rakkohaurun, meriajokkaan tai sinisimpukan katoaminen tekee näiden lajien tärkeys eliöyhteisöissä: Itämeren tärkeimmät muut lajit, kuten monet äyriäiset ja nilviäiset, sekä muut selkärangattomat eläimet, jotka muodostavat Itämeren ravintoverkon perustan, elävät näiden lajien muodostamissa yhteisöissä. Siten ennustettu muutos tarkoittaisi kokonaisen ekosysteemin perustekijöiden romahtamista rannikkovesissä. (Vuorinen 2017).

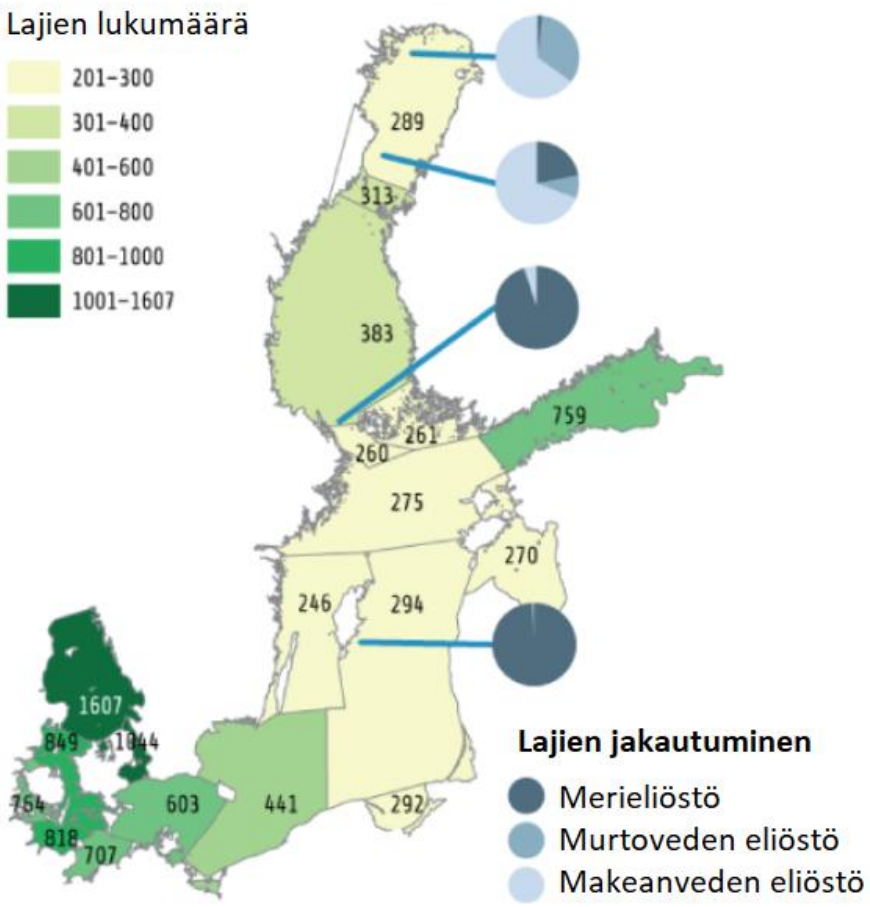
Merirokko vie tilaa muilta kiviä ja kallioita tarvitsevilta eläimiltä ja kasveilta, kuten sinisimpukalta. Se onkin muuttanut Itämereen levittyään voimakkaasti rannikoiden eliöyhteisöjä. Merirokko on levinnyt koko Itämeren alueelle Perämerta lukuun ottamatta. (Kansallinen vieraslajistrategia 2012). Näyttää kuitenkin siltä, että Itämeren suolaisuuden väheneminen siirtää myös merirokkoesiintymiä Merenkurkusta kohti Selkämerta, sillä merirokko tarvitsee selviytyäkseen riittävää suolapitoisuutta (Holopainen ym. 2016), vaikka se onkin suolaisuuden suhteen hyvin sopeutuva ja tulee todennäköisesti hyötymään ilmaston lämpenemisestä (Nasrolahi ym. 2016).

Vieraslajit ja ilmastonmuutos ovat kasvavia uhkia Itämeren rannikon avoimilla ja metsäisillä luontotyypeillä. Avoimia rantoja pahiten uhkaava vieraslaji on kurtturuusu (*Rosa rugosa*), joka pystyy kasvamaan hyvin erilaisilla rannoilla (Reinikainen ym. 2018).

Nisäkäspetojen runsastumisesta saaristossa kärsivät lähes kaikki saaristolinnut. Minkki (*Neovison vison*) vähentää erityisesti ruokkilintujen määrää saalistuksellaan, mutta myös esimerkiksi kahlaajat ja tiirat kärsivät sen saalistuksesta merkittävästi. Saaristolinnuston

merkittävimpiin nisäkäspetoihin kuuluvat vieraslajit minkki ja supikoira (*Nyctereutes procyonoides*) sekä kettu (*Vulpes vulpes*). (Hokkanen 2012). Supikoira todennäköisesti hyötyy lämpimämmästä ilmastosta pidemmän kasvukauden ja sitä myötä lisääntyneen ravinnon myötä, jonka ansiosta se lisääntyy ja leviää pohjoisemmaksi (Melis ym. 2010). Supikoiran levinneisyyttä rajaavat pohjoisemmassa keväiset lumisateet ja huonompi ravintotilanne. Ilmastonmuutoksen vaikutuksista minkin levinneisyyteen ei sitä vastoin ole vielä riittävästi tutkimustietoa (Niemelä ym. 2015). Niemelä ym. (2015) tosin mainitsevat kahdesta tutkimuksesta (Islanti: Magnusdottir 2012, Amerikka: Schooley ym. 2012), joiden mukaan ilmastonmuutos voi jopa heikentää minkin elinoloja.

Virosta viime vuosina saapunut, hyvin vähähappisia olosuhteita sietävä kalalaji, hopearuutana (*Carassius auratus m. gibelio*), on hyötynyt vesien lämpenemisestä ja rehevöitymisestä. Mustatäplätokko (*Neogobius melanostomus*) on alkanut lisääntyä ainakin Helsingissä, ja se levittäytyy paikallisen runsastumisen kautta. (Urho 2011). Itämeren vähälajisissa vesissä (kuva 3) vieraslajeilla voi olla hyvinkin suuri eliöyhteisöjä muuttava vaikutus (Kotilainen ym. 2018).



KUVA 3. Makro-organismien (selkärangattomat, kalat, nisäkkäät, linnut sekä suurikokoiset kasvit ja levät) lajimäärän jakautuminen Itämeren eri osissa (mukaillen HELCOM 2012, 7). Piirakkakuviot kuvaavat lajien jakautumista meri-, murto- ja makean veden lajeihin (mukaillen Furman ym. 2014).

- Meriveden lämpeneminen ja suolapitoisuuden lasku uhkaavat avainlajeja (rakkohauru, sinisimpukka ja meriajokas). Avainlajien katoamisella voi olla suuri merkitys koko ekosysteemille.
- Rakkohauru ja sinisimpukka esiintyisivät ennusteiden mukaan tulevaisuudessa Saaristomeren etelälaidalla ja meriajokas katoaisi kokonaan.
- Saaristolinnuston merkittävimpiin petoihin kuuluva supikoira todennäköisesti hyötyy ilmaston lämpenemisestä.
- Ilmaston lämpenemisestä hyötyvät vieraslajit uhkaavat alkuperäislajeja, kuten sinisimpukkaa.

4.2 Vaikutukset kaloihin

Meriveden suolapitoisuuden ennustetaan vähenevän pitkällä aikajänteellä ilmastonmuutoksen vaikutuksesta muun muassa makean veden valunnan lisääntyessä ja Tanskan salmien kautta Itämereen tulevien suolavesipulssien harvinaistumisen myötä (HELCOM 2013). Tämän seurauksena Selkämeren, Saaristomeren ja Suomenlahden suolapitoisuus vastaisi nykyistä Perämeren suolapitoisuutta (Reinikainen ym. 2018). Tällä voi olla suuri vaikutus Itämeren kalayhteisöihin. Merialueella kalat voivat levittäytyä uusille alueille, mikäli ympäristöolosuhteet sen sallivat (Marttila ym. 2005). Suurin osa meri- ja murtovesilajeista säilynee eteläisellä Itämerellä, mutta erityisesti Selkämeren ja Perämeren alueelta ne saattavat hävitä, samalla kun makean veden lajisto runsastuu ja leviää etelämmäksi (HELCOM 2013). Suolapitoisuuden pieneneminen yhdessä heikentyvän happitilanteen kanssa näyttäisi vaikuttavan negatiivisesti turskaan (*Gadus morhua*) (Viitasalo ym. 2015).

Särkikalojen arvellaan hyötyvän ilmastonmuutoksesta, joskin muutos voi olla hyvin lajikohtaista. Särki (*Rutilus rutilus*) hyötyy lämpenemisestä, rehevöitymisestä ja suolapitoisuuden vähenemisestä. Myös lahna (*Abramis brama*), salakka (*Alburnus alburnus*), sorva (*Scardinius erythrophthalmus*) ja pasuri (*Blicca bjoerkna*) ovat selvästi hyötyneet rehevöitymisestä ja lämpenemisestä. Säyne (*Leuciscus idus*) sen sijaan näyttää taantuneen. (Urho 2011).

Levinneisyysalueensa pohjoisrajaa lähellä elävien populaatioiden ennustetaan lisääntyvän. Tällaisia lajeja ovat muun muassa kuha (*Sander lucioperca*), lahna, toutain (*Aspius aspius*) ja kiiski (*Gymnocephalus cernua*). (Marttila ym. 2005). Ilmaston muuttuessa kirjolohen (*Oncorhynchus mykiss*) lisääntyminen luonnossa voi yleistyä (Urho 2011). Rannikon avainlajin (katso kappale 4.7) hauen (*Esox lucius*) määrä on puolestaan vähentynyt, mihin yhtenä syynä esitetään ilmastonmuutosta (Larsson ym. 2015).

Kuha ja ahven (*Perca fluviatilis*) hyötyvät lämpimämmistä kesistä. Suomenlahdella ja Saaristomerellä kuha- ja ahvenkannat tuottavat lämpiminä vuosina hyviä vuosiluokkia (yhtenä vuonna alkunsa saaneet ja kehittyneet yksilöt). Tutkimusten mukaan hyvä kuhavuosiluokka syntyy, kun keskilämpötila (kesä–elokuussa) ylittää 18,5 °C kuhan lisääntymisalueilla. Ilmastonmuutoksen myötä myös ahvenen kalastuskausi on pidentynyt. Kylmänveden lajit ovat sen sijaan heikoimmassa asemassa ilmaston lämmetessä. Talvella kutevan mateen (*Lota lota*) alkionkehitys on herkkä lämpötilan vaihteluille, erityisesti nousulle. Lämpötilan nousun lisäksi

made kärsii voimakkaasta rehevöitymisestä ja happamoitumisesta. Alimmillaan madesaaliit olivat 2000-luvulla, jolloin talven lämpötilat ovat olleet korkeimmillaan. (Urho 2011).

Siika (*Coregonus lavaretus*) on myös kylmää vettä suosivana lajina selvästi vähentynyt koko Itämeren alueella. Siikojen luontainen lisääntyminen on Merenkurkun eteläpuolella selvästi heikompaa kuin pohjoispuolella, ja Suomen rannikolla siikasaaliit vähenevät selvästi etelään päin. Ilmastonmuutos näyttäisi vaikuttavan siikakantoihin kohoavien lämpötilojen kautta, joskin myös rehevöitymisellä on vaikutuksensa siian mätimunien kehittymiselle. Siian maantieteellisen esiintymisen painopiste onkin siirtymässä pohjoisemmaksi ilmastonmuutoksen myötä. (Urho 2011).

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa myös muiden kalalajien kantoihin ja elinalueisiin. Kilohailisaaliit (*Sprattus sprattus*) moninkertaistuivat 1990-luvun puolivälissä, mikä näyttäisi olevan yhteydessä lämpimiin talviin. Kampelasaaliiden (*Platichthys flesus*) vähenemiseen 2000-luvulla puolestaan näyttäisi vaikuttavan suolapitoisuuden väheneminen yhdessä muiden tekijöiden kanssa. Nokkakala (*Belone belone* L.) on mahdollisesti ilmastonlämpenemisen seurauksena voinut laajentaa lisääntymisaluettaan Suomen lounaisrannikolle asti. Vuoden 2003 jälkeen nokkakala on lisääntynyt rannikollamme useassa paikassa Inkoon ja Uudenkaupungin välisellä alueella. (Urho 2011).

Pohjanmerellä ja Tanskan salmissa on havaittu useiden kalalajien runsastuneen meriveden lämpenemisen seurauksena. Muun muassa kolja (*Melanogrammus aeglefinus*), keltajuovamullo (*Mullus surmuletus*) ja sardelli (*Engraulis encracicolus*) ovat rannikon lajeja, jotka saattavat sietää alhaisia suolapitoisuuksia ja sen vuoksi lämpenemisen myötä levittäytyä myös Itämerelle pohjoiseen päin. (Urho 2011).

- Ilmastonmuutoksesta näyttäisivät hyötyvän särki, lahna, salakka, sorva, pasuri, kuha, ahven, toutain, kiiski, kirjolohi, kilohaili ja nokkakala.
- Ilmastonmuutoksesta näyttäisivät kärsivän turska, säyne, hauki, made, siika ja kampela.
- Itämerelle mahdollisesti levittäytyviä lajeja ovat kolja, keltajuovamullo ja sardelli.

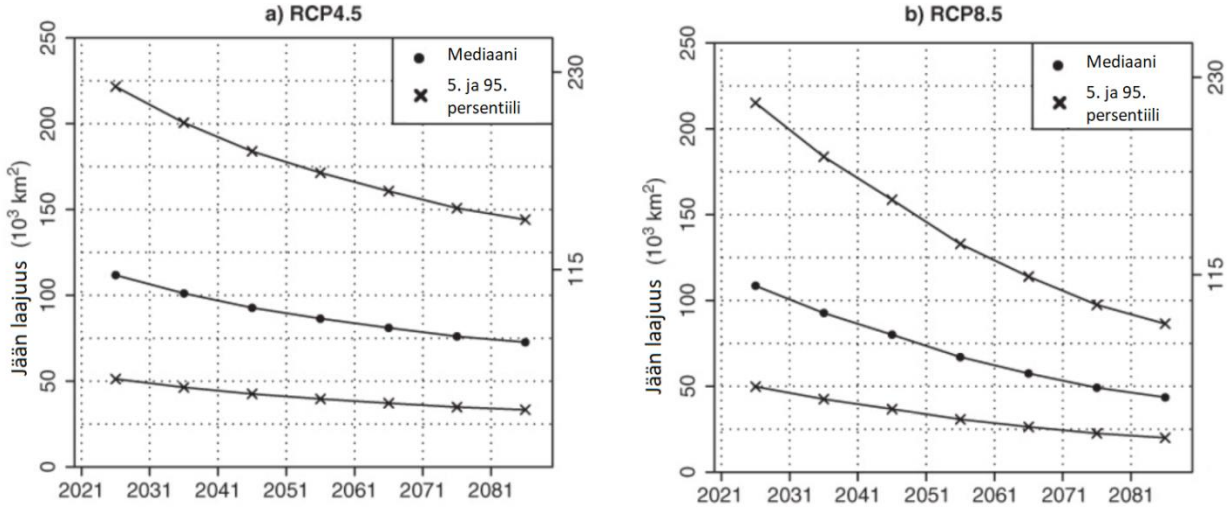
4.3 Muutokset jään määrässä

Ilmastonmuutoksen seurauksena Itämeren pintaveden lämpötilan ennustetaan nousevan 2–4 °C vuoteen 2100 mennessä (Meier 2015). Itämeren meriveden lämpötila on noussut jo yhden asteen verran vuosina 1990–2008 (Lehmann ym. 2011). Kesäajan pintavesien ennustetaan lämpenevän vuoteen 2100 mennessä Perämerellä 4 °C. Itämeren eri osista suurimman talvi- ja kevätaikaisen lämpenemisen ennustetaan puolestaan tapahtuvan Suomenlahdella. (Meier ym. 2012).

Lämpimämpi meri jäätyy hitaammin, jääpeitteinen kausi on lyhyempi, jääpeite ohuempi ja kokonaan jäättömät talvet yleistyvät (Reinikainen ym. 2018). Lämpenemisen seurauksena jääpeitteen ennustetaan pienenevän 50–80 % vuoteen 2100 mennessä (Andersson ym. 2015).

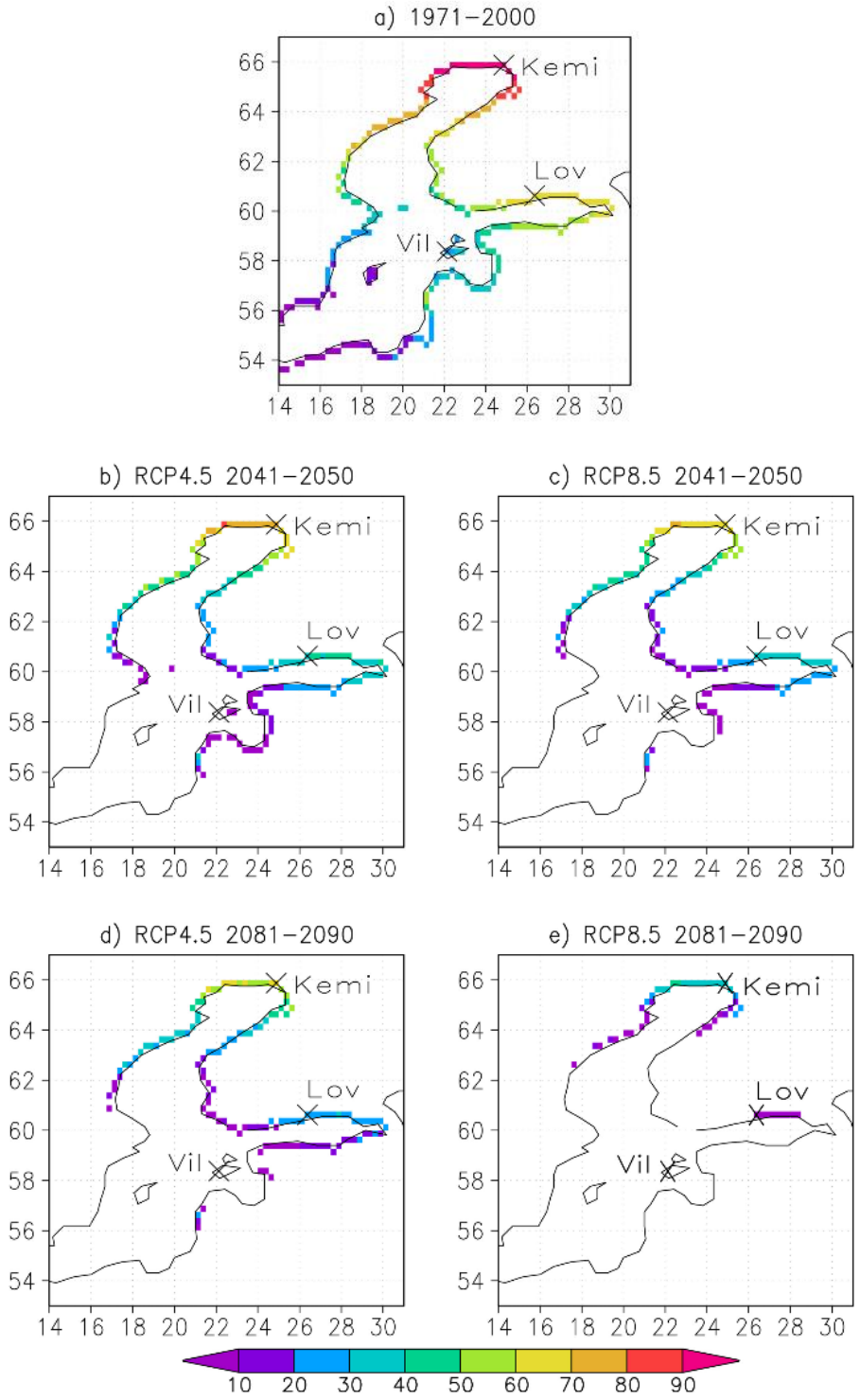
Jääpeitteen pienenemiseen vaikuttaa pääosin lämpötilan nousu, muiden tekijöiden, kuten tuulen nopeuden, ollessa pieniä (Meier 2015). Keväinen jäidenlähtö ja siihen liittyvä voimakas jääeroosio ovat tärkeitä rantojen avoimuutta ylläpitäviä tekijöitä, joilla on suuri merkitys rantojen umpeenkasvun hidastajana ja estäjänä (Reinikainen ym. 2018).

Itämeren jääpeitteen laajuudessa on suurta vuosien välistä vaihtelua. Kaikkein ankarimpina talvina (jään esiintymislaajuus yli 383 000 km^2), noin neljä kertaa vuosisadassa, koko Itämeri on peittynyt jäähän (Seinä ym. 1997). Leudoimpinakin talvina (jääpeitteen esiintymislaajuus 81 000 –139 000 km^2) ainakin Perämeri on tähän mennessä aina jäätynyt. Selvää trendiä Itämeren jääpeitteen laajuudessa ei ole mittaushistorian (yli sadan vuoden) ajalta nähtävissä, mutta ankarat jäätalvet ovat käyneet hyvin harvinaisiksi 1980-luvun lopun jälkeen. Tulevaisuudessa Itämerelle ennustetaan yhä heikompia jääolosuhteita, mutta täysin jäättömiä talvia ei uusimpien mallien mukaan luultavasti nähdä vielä tällä vuosisadalla (kuva 4) (Luomaranta ym. 2014, Meier 2015).



KUVA 4. Jään vuotuisen enimmäismäärän ajallinen kehitys tämän vuosisadan aikana. Mediaani edustaa tyypillistä talvea, persentiilit (prosenttipisteet) edustavat vähäistä ja laajalle levinnyttä jääpeitettä. Oikealla akselilla olevat arvot kuvaavat nykyisten standardien mukaisten leutojen ja keskimääräisten jäätalvien ylärajoja. Ennennäkemättömän leutojen talvien raja on 49 10^3 km^2. (a) RCP4.5-skenaario, (b) RCP8.5-skenaario. (Mukaillen Luomaranta ym. 2014, 9).

Myös jääpeitteen paksuudessa on odotettavissa muutoksia (kuva 5). Tavanomaisina talvina RCP8.5-skenaariossa vuonna 2080 jääpeite olisi odotettavissa vain Perämerellä ja sen paksuus olisi 30–40 cm. Suomenlahden koillisosissa jääpeite olisi vain 0–10 cm paksuinen. RCP4.5-skenaario ennustaa jääpeitettä Perämeren ja Suomenlahden rannikkoalueille vuonna 2080. Paksuinta jää olisi Perämerellä, jossa se olisi paikoin jopa 60 cm. (Luomaranta ym. 2014). Jääpeitteen pienentyessä erityisesti jäästä riippuvaiset lajit kärsivät. Näihin kuuluu erityisesti itämerennorppa (*Phoca hispida botnica*), joka synnyttää poikasensa ahtojäälohkareiden muodostamiin pesäkoloihin (Viitasalo 2019).

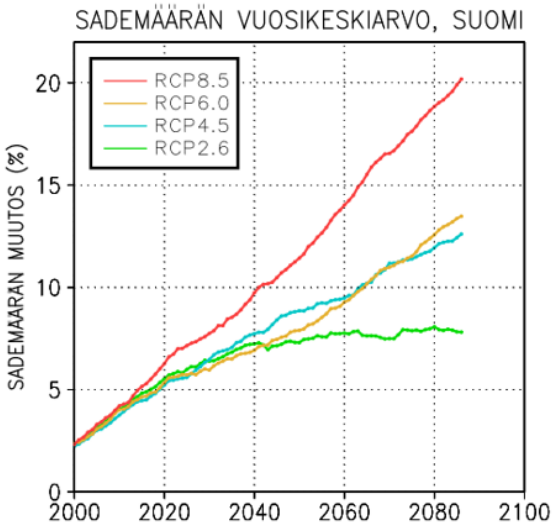


KUVA 5. Rannikoiden jään enimmäispaksuus (cm) vuodessa tyypillisinä menneinä ja tulevina talvina. Laskelmat perustuvat (a) havaittuihin lämpötiloihin ajanjaksolla 1971–2000 ja (b–e) 28 mallin keskilämpötilaennusteisiin RCP4.5 ja RCP8.5 -skenaarioissa ajanjaksoille 2041–2050 ja 2081–2090. Rasteilla merkitty kohteet Kemi, Loviisa (Lov) ja Vilsandi (Vil). (Luomaranta ym. 2014, 11).

- Itämeren pintaveden lämpötila nousee 2–4 °C vuoteen 2100 mennessä.
- Jääpeitteen laajuus pienenee. Vuonna 2100 jääpeite on 50–80 % pienempi, täysin jäättömiä talvia tuskin on odotettavissa.
- Jääpeitteen paksuus pienenee. Pahimmassa skenaariossa vuonna 2080 jääpeite on odotettavissa vain Perämerellä ja sen paksuus olisi 30–40 cm. Suomenlahden koillisosissa jääpeite on vain 0–10 cm paksuinen.
- Jäästä riippuvaiset lajit, kuten itämerennorppa, kärsivät.

4.4 Sademäärän lisääntyminen

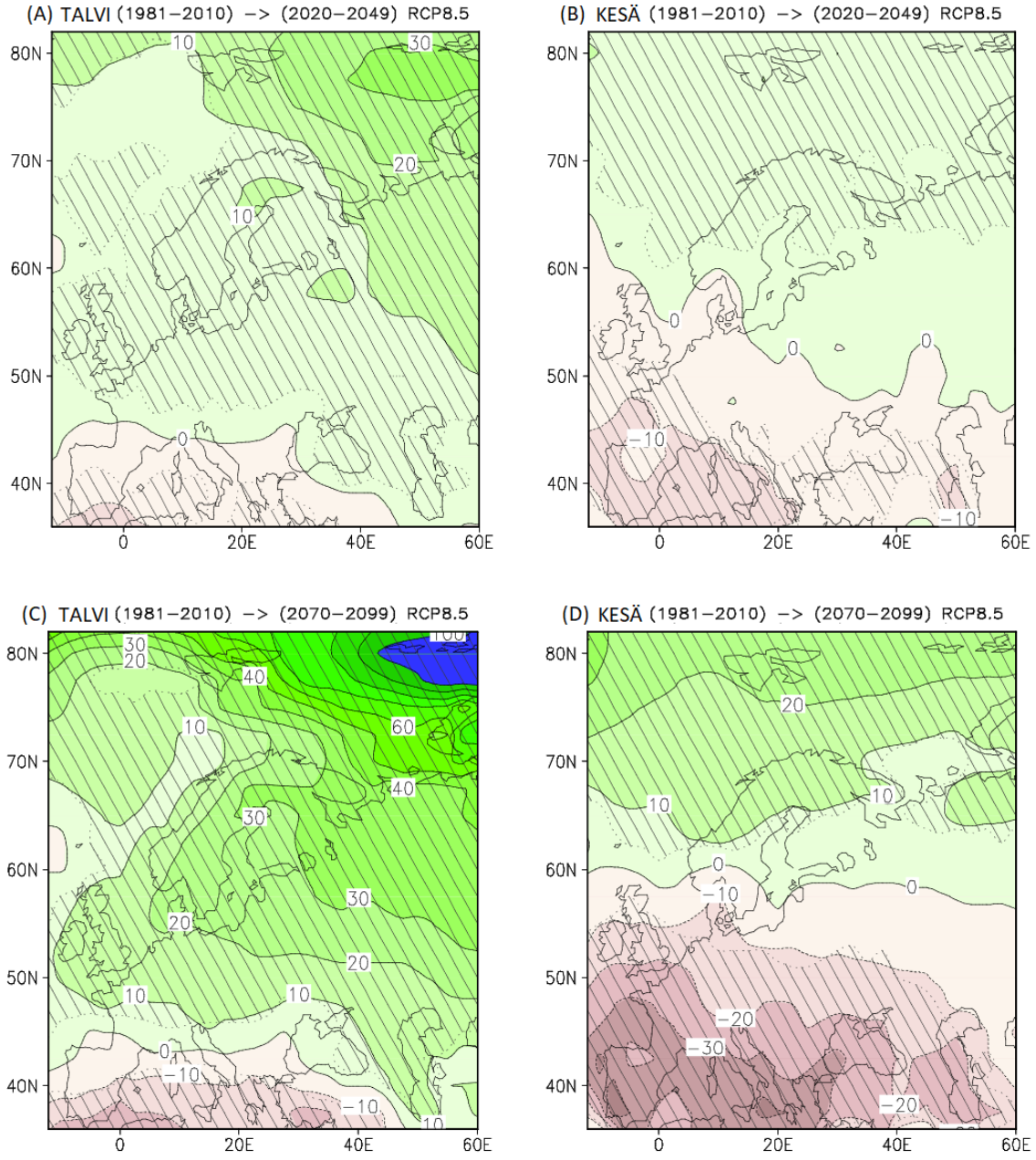
Ilmaston lämmetessä sademäärät kasvavat Suomessa kuluvalla vuosisadalla (kuva 6) (ACCLIM II 2011, Ruosteenoja ym. 2016a). Noin vuoteen 2020 saakka sademäärät kasvavat lähes yhtä nopeasti kaikkien RCP-skenaarioiden mukaan. Vuosisadan puolivälin vaiheilla vuotuinen sademäärä olisi ennusteiden mukaan noin 6–11 % suurempi kuin ajanjaksolla 1981–2010. Vuosisadan loppupuolella sademäärät riippuvat huomattavasti päästöjen suuruudesta. RCP2.6-skenaarion mukaan sademäärä kasvaisi vuosisadan loppuun mennessä noin 6 %, RCP4.5- ja RCP6.0-skenaarioiden mukaan 11–12 % ja RCP8.5-skenaarion mukaan 20 %. (Ruosteenoja ym. 2016a).



KUVA 6. Vuoden sademäärän (%) muutos Suomessa vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1971–2000 keskimääräisiin arvoihin. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastonmuutos-mallin tulosten keskiarvoa neljälle eri RCP-skenaariolle. (Ruosteenoja ym. 2016a).

Todennäköisesti runsassateisten päivien määrä lisääntyy kaikkina vuodenaikoina, eniten talvella ja vähiten kesällä (ACCLIM II 2011, Ruosteenoja ym. 2016a). Sademäärien arvioidut muutokset on esitetty kuvassa 7. Lämpötilan nousun ja sademäärän kasvun ennustetaan kasvavan enemmän Pohjois- kuin Etelä-Suomessa (Lehtonen ym. 2016) ja kasvua on esimerkiksi Itämeren pohjoisosissa noin 30 % (Andersson ym. 2015, Ruosteenoja ym. 2016a). Etelä- ja itäosissa maata sademäärät voivat jopa laskea kesä–elokuussa (Lehtonen ym. 2016). Pahimman skenaarion (RCP8.5) toteutuessa mallit ennustavat suurella todennäköisyydellä nykyistä runsaampia sateita

talvisin ja loppusyksystä. Esimerkiksi tammikuussa sademäärän ennustetaan kasvavan 10–60 % (Ruosteenoja ym. 2016b). Fennoskandiassa rannikkoalueiden tulvien ennustetaan kasvavan lisääntyvän sademäärän vuoksi (Roudier ym. 2015). Sen sijaan kesäaikaisen sademäärän muutoksen suuntaa ei osata ennustaa varmasti. Useimmat mallit ennustavat sademäärien kasvavan kesälläkin, mutta todennäköisin arvio lisäykselle on vain kymmenen prosentin luokkaa. (Ruosteenoja ym. 2016b, 5).



KUVA 7. Ennustettu sademäärän muutos (%) jaksoon 1981–2010 verrattuna (A) talvella (joulu–helmikuu) jaksolla 2020–2049, (B) kesällä (kesä–elokuu) jaksolla 2020–2049, (C) talvella jaksolla 2070–2099 ja (D) kesällä jaksolla 2020–2099 RCP8.5-skenaariossa. (Mukaillen Ruosteenoja ym. 2016a).

Sademäärän lisääntyminen ja siitä seuraava lisääntynyt valunta Itämereen laskevat Itämeren suolapitoisuutta (Meier 2015), mikä vaikuttaa Itämeren eliöihin (katso kappale 3.4).

- Sademäärät kasvavat Suomessa kuluvalla vuosisadalla.
- Todennäköisesti runsassateisten päivien määrä lisääntyy kaikkina vuodenaikoina, eniten talvella ja vähiten kesällä
- Sademäärissä on kasvua enemmän Pohjois- kuin Etelä-Suomessa.
- Vuosisadan loppupuolella sademäärät riippuvat huomattavasti päästöjen suuruudesta. Optimistisimman skenaarion mukaan sademäärä kasvaisi vuosisadan loppuun mennessä noin 6 % ja pessimistisimmän mukaan 20 %.

4.5 Merenpinnan nousu

Mannerjäätiköiden sulamisesta ja meriveden lämpölaajenemisesta johtuva merenpinnan nousu näkyy ajan myötä myös Itämeressä. Merenpinnan arvioidaan globaalisti nousevan keskimäärin 26–155 cm vuoteen 2100 mennessä. Merenpinnan nousu ei kuitenkaan tapahdu tasaisesti, ja Suomen rannikolla sen arvellaan olevan 24–126 cm. Merenpinnan nousua Itämeren alueella tasaa maan kohoaminen, jota tapahtuu edelleen jääkauden jäljiltä 4.1–9.9 mm vuodessa. Maankohoamisen vaikutukset ovat suurimmillaan Merenkurkun–Perämeren alueella, jossa sen on arvioitu olevan noin 8–9 mm vuodessa. Etelämpänä maankohoamisen nopeus hidastuu, ja Suomenlahden pohjukassa sitä ei juuri enää havaita. (Johansson ym. 2014).

Vuodesta 2000 vuoteen 2100 merenpinnan ennustetaan kohoavan eniten Suomenlahdella (+29 cm, vaihteluvälin ollessa -22...+92 cm). Selkämerellä merenpinnan ennustetaan laskevan hieman maankohoamisen vuoksi (-5 cm, vaihteluväli -66…+65 cm) ja Perämerellä ennustettu lasku on -27 cm (-72...+28 cm). (Johansson ym. 2014).

Itämeren pinnan kohoamisen voimakkuudesta ei kuitenkaan olla täysin yksimielisiä (Storch ym. 2015, 16). Grindstedin (2015) esittämän keskiarvon mukaan Itämeren pinnankorkeus nousisi A1B-skenaariossa 70 cm (±30 cm) vuosisadan loppuun mennessä, kun maankohoaminen otetaan huomioon. Pessimistisimmän skenaarion mukaan nousu olisi 110 cm. Perämerellä pinnan ennustetaan laskevan 35 cm maankohoamisen vuoksi (A1B-skenaario, vuosi 2100) (Grindsted 2015). Kyseessä on kuitenkin vain yksi malli monista IPCC:n malleista, jotka ennustavat 26–82 cm nousua (Storch ym. 2015). Itämeren pinnan nousun ennustetaan olevan noin 80 % globaalista merenpinnan noususta (Grindsted 2015). Matalapaineiden vahvistuessa vedenkorkeuden vaihtelut todennäköisesti voimistuvat ja myrskytulvat lisääntyvät (BACC II 2015).

Meriveden pinnan nousu vaikuttaa pitkällä aikavälillä etenkin etelärannikon alavien rantojen luontotyyppeihin. Esimerkiksi merenrantaniityt ja usein maankohoamisrannikolla sijaitsevat niittyrannat eivät välttämättä pysty rantaviivan muuttuessa ”siirtymään” sisämaahan päin, jos potentiaalinen uusi niittyranta on peltoa tai rakennettua aluetta. Monipuolisilla niittyrannoilla on tärkeä merkitys esimerkiksi erittäin uhanalaiseksi luokitellulle etelänsuosirrille (*Calidris alpina schintzii*) sekä ulkosaariston hyönteislajistolle kuten uhanalaiselle apolloperhoselle (*Parnassius apollo*). Maankohoamisen vaikutuksen hidastuminen merenpinnan nousun vuoksi

vaikuttaa voimakkaasti maankohoamisrannikon luontotyyppeihin ja primäärisukkessioon, kun uusien alueiden paljastuminen meren alta sukkession piiriin hidastuu. (Reinikainen ym. 2018).

Maankohoamisrannikolla on runsaasti myös verrattain nuoria, puuttomia tai lähes puuttomia moreeni- ja kivikkopohjaisia saaria. Tyyppilajeja näille saarille ovat rannan niitty- ja kivikkorantakasvien lisäksi kataja (*Juniperus communis*), ketokasvit, jäkälät ja sammalet. Vaateliaista ketolajeista tavataan saarilla yleisen keltamataran (*Galium verum*) ohella etenkin pohjan- (*Botrychium boreale*), keto- (*B. lunaria*), suikea- (*B. lanceolatum*) ja saunionoidanlukkoa (*B. matricariifolium*). Saaret ovat usein myös merkittäviä lintusaaria. Ilmastonmuutoksen aiheuttama merenpinnan nousu kumoaa osittain maankohoamisen vaikutusta ja estää näin karujen saarten kehittymissarjojen muodostumista tai huonontaa sen laatua etenkin levinneisyysalueen eteläosassa. Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät sademäärät ja myrskyt sekä merenpinnan nousu muodostavat uhan myös luontaiselle dyynisukkessiolle. (Reinikainen ym. 2018).

- Merenpinnan nousun arvioidaan olevan Suomen rannikolla 24–126 cm vuonna 2100. Eniten nousua on Suomenlahdella (noin 30 cm).
- Pinnan korkeus laskee eniten Perämerellä (noin 30 cm) ja hieman Selkämerellä (noin 5 cm).
- Merenpinnan nousu kompensoi maankohoamisen, mikä uhkaa rantaniittyjä, nuoria saaria ja luontaista dyynisukkessiota, sekä niiden lajistoa.

4.6 Muutokset veden värissä

Ilmastonmuutoksen seurauksena sademäärät kasvavat Itämeren pohjoisosissa arvioiden mukaan 30 %, mikä lisää liuenneen orgaanisen aineksen (DOM, dissolved organic matter) ja siinä olevan liuenneen orgaanisen hiilen (DOC, dissolved organic carbon) huuhtoutumista Itämereen (Andersson ym. 2015). Pohjanlahdella mereen päätyy jokivesien mukana humusta (Viitasalo 2019), joka estää valon pääsyn alempiin vesikerroksiin lämmittäen veden pintakerrosta. Voimakas valunta lisää jokisuiden sameutta (Niemelä ym. 2015, 296).

Värillinen liuennut orgaaninen aines (CDOM, colored dissolved organic matter) on DOM:in valoa absorboiva värillinen osa, joka vähentää valon läpäisevyyttä, minkä vuoksi Itämeri on suhteellisen tumma muihin meriin verrattuna. Humusaineet pidättävät sinisen ja heijastavat punertavan, jolloin vesi näyttää ruskealta (Harvey ym. 2015).

Itämeren vesi oli sata vuotta sitten selvästi kirkkaampaa kuin nykyään. Perämerellä, Selkämerellä ja Suomenlahdella keskimääräinen kesän näkösyvyys on laskenut 7,9–9,1 metristä (1905–1909) 4,4–5,8 metriin (2005–2009) (Fleming-Lehtinen & Laamanen 2012). Viime vuosina samentumisen voimakkuus näyttää tasoittuneen (Forsius ym. 2013, Kauppila ym. 2019). Samentumisen pääsyy on rehevöityminen. Lisääntyvät tulvat ja rankkasateet uhkaavat lisätä ravinnekuormaa ja hienojakoisen kiinteän aineen määrää (Forsius ym. 2013).

Pintavesien näkösyvyyden aleneminen vaikuttaa pinnanalaisiin rannan luontotyyppeihin kaventamalla yhteyttävien kasvien elinmahdollisuuksia syvemmissä vesikerroksissa (Kotilainen ym. 2018).

- Lisääntyvä sademäärä lisää humuksen huuhtoutumista mereen aiheuttaen veden samentumista ja pintaveden lämpenemistä.

4.7 Sinilevätilanne

Rehevöitymistä pidetään tällä hetkellä Itämeren pahimpana uhkana, jota ilmastonmuutos voi entisestään pahentaa lisääntyneistä talvisateista seuraavan suuremman valunnan vuoksi (Andersson ym. 2015, Viitasalo 2019), ja siksi, että sula maa ei pidätä ravinteita kuten routainen. Kasviplanktonin perustuotanto kasvaa, ja kun pintavesi kesällä lämpenee, hajotustoiminta nopeutuu, ja pohjalle vajoaa entistä enemmän eloperäistä ainesta. Hajotustoiminta tapahtuu lähinnä pohjassa kuluttaen happea, jolloin hapettomasta pohjasta sedimenttiin varastoitunut fosfori pääsee takaisin veteen. Tämä voi heikentää rannikkoalueiden happitilannetta ja johtaa sisäisen kuormituksen (fosforin vapautumisen sedimentistä hapen loppuessa) voimistumiseen erityisesti Suomenlahden sisälahdissa ja Saaristomeren alueella, joissa vedenvaihto on suhteellisen vähäistä (Viitasalo 2019). Sisäisen kuormituksen voimistuminen taas johtaa sinileväesiintymien runsastumiseen (Andersson ym. 2015, Viitasalo 2019).

Sinileväkukinnot ovat Itämerellä luonnollinen ilmiö, mutta niiden määrää, laajuutta ja intensiteettiä avomerialueilla kuvaavan sinileväindeksin perusteella kukinnat ovat lisääntyneet yli hyvän ekologisen tilan tavoitetason (Kauppila ym. 2019). Mittavia kukintoja esiintyy nykyään useammin kuin 1980-luvulla (Kahru & Elmgren 2014). Selkämerellä laajat kukinnat olivat harvinaisia aina 1990-luvun lopulle saakka, mutta ne ovat lisääntyneet 2000-luvulla lähes jokakesäiseksi ilmiöksi. (Kauppila ym. 2019).

Sinileväesiintymien uskotaan yleistyvän lukumäärältään ja biomassaltaan ja kukintojen uskotaan aikaistuvan ja pidentyvän ilmastonmuutoksen seurauksena (mm. Neumann ym. 2012, Kahru & Elmgren 2014, Andersson ym. 2015, Berner ym. 2018). Veden lämpötilan nousun lisäksi ilmastonmuutos tulee ennusteiden mukaan pienentämään Itämeren suolapitoisuutta, jolla ei kuitenkaan näyttäisi olevan vaikutusta sinilevien kasvuun tai lajien suhteisiin (Berner ym. 2018). Berner ym. (2018) tarkastelivat lämpötilan nousun (16 °C:sta 18 °C:seen ja 20 °C:seen) vaikutuksia kesän planktonyhteisöihin laboratoriossa. Lämpimämmät olosuhteet aikaistivat sinileväkukintoja. Muuttuneissa olosuhteissa joidenkin sinilevien (*Dolichospermum* sp.) biomassa pieneni ja joidenkin (*Pseudanabaena* sp.) kasvoi.

Pintaveden lämpötilan nousun on havaittu lisäävän sinileväkukintojen määrää, kun taas sellaisina kesinä, jolloin pintavesi on ollut viileämpää, myös sinileväkukintoja on ollut vähemmän (Neumann ym. 2012). Ennusteen mukaan sinileväkukinnoille soveltuvien päivien määrä tulee nousemaan A1B-skenaariossa 50–70 päivään nykyisestä 20–40 päivästä vuosisadan loppuun mennessä ja kukinta aikaistuu 10–20 päivällä (Neumann ym. 2012).

- Sinileväesiintymät yleistyvät lukumäärältään ja biomassaltaan, ja kukinnat aikaistuvat ja pidentyvät.
- Vuonna 2100 sinileväkukinnoille soveltuvien päivien määrä kasvaa 50–70:en nykyisestä 20–40 päivästä ja kukinta aikaistuu 10–20 päivällä.
- Pintaveden lämpötilan nousu lisää sinileväkukintojen määrää.

5 TUNTURI

5.1 Kasvillisuuden siirtymä

Suomessa tunturialue kattaa noin 1,7 miljoonaa hehtaaria (Pääkkö ym. 2018). Suomen Lapissa paljakan ja tunturikoivuvyöhykkeen raja sijaitsee alueesta riippuen 280–500 metrin korkeudella merenpinnasta (Norokorpi ym. 2008). Sen pinta-alan on ennustettu pienenevän voimakkaasti puurajan noustessa ilmaston lämpenemisen myötä (Moen ym. 2004, Mikkola & Virtanen 2006). Hyvin olennainen tekijä on kuitenkin porojen määrä ja laidunnuspaine: porojen kesälaidunnuksen on havaittu estävän tunturikoivun uudistumista, ja siten se voi estää ilmastonmuutoksen aiheuttamaa umpeenkasvua monilla tunturiluontotyypeillä, erityisesti tunturikankailla. Yhteisvaikutus ei kuitenkaan estä kaikkien uhkatekijöiden kielteisiä vaikutuksia, kuten havupuiden leviämistä tunturikankaille. (Pääkkö ym. 2018). Ilmaston lämpeneminen lisää myös hyönteistuhoja, joiden seurauksena yhdessä porojen kesälaidunnuksen kanssa erityisesti kuivat ja kuivahkot tunturikoivikot muuttuvat nopeasti metsälauhavaltaisiksi niin kutsutuiksi sekundaaripaljakoiksi (Turunen ym. 2018). Tunturiluontotyyppien suurimpina uhanalaistumisen syinä ja uhkatekijöinä ovatkin ilmastonmuutos, laidunnuspaine ja näiden yhteisvaikutus (Pääkkö ym. 2018).

Ilmaston lämpeneminen siirtää metsänrajaa noin 100 metriä ylemmäs jokaista 0,6 asteen lämpötilan nousua kohden (Moen ym. 2004). Tämä tarkoittaa, että Suomessa metsänraja nousisi ainakin 350 metriä ylemmäs vuosisadan loppuun mennessä (WWF Suomen raportti 2016), joskin metsään liittyvät viiveet täytyy huomioida. Ruotsissa on arvioitu metsänrajan nousevan tunturialueilla noin 233–667 metriä nykyistä ylemmäksi, jolloin puuton paljakka-alue pienenisi 75–85 % nykyisestä (Moen ym. 2004).

Männyn puurajan eteneminen Suomen Lapissa on alkanut jo ainakin sata vuotta sitten (Juntunen ym. 2006, Aakala ym. 2014) ja olosuhteet männyn leviämiselle ilmeisesti paranevat edelleen kesien lämmetessä (Matías & Jump 2013). Nykyinen puuraja seuraa suhteellisen tarkasti kesän +10 °C keskilämpötilakäyrää. Ilmasto-ennusteiden mukaan vuonna 2070 alle 10 °C kesälämpötiloja löytyy enää vain Skandinavian tuntureiden korkeimmilta kohdilta, joista monet ovat nykyisin jäätiköiden peitossa. (Kivinen ym. 2017). Käsivarren kivikkoiset ja louhikkoiset alueet tosin säilyisivät myös jatkossa puuttomina, ja kasvipeitteisellä paljakallakin paikalliset tekijät vaikuttavat suuresti metsittymisnopeuteen (WWF Suomen raportti 2016).

Havumetsänrajan eteneminen sekä pohjoisemmaksi että ylemmäksi tuntureiden rinteillä vaikuttaa etenkin havumetsän leviämiselle herkällä alueella sijaitsevien luontotyyppien tulevaan määrään. Luontotyyppien pinta-alaosuutta havumetsien leviämiselle herkällä alueella

(taulukko 4) käytettiin luontotyyppien tulevan 50 vuoden aikana tapahtuvan määrän kehityksen arvioinnissa. (Pääkkö ym. 2018). Kaikkein herkimpiä männyn leviämiselle ovat erilaiset tunturikoivikot ja tunturien dyynit. Männyn leviäminen uhkaa vähiten kuvio- ja vuotomaita sekä jäkkikankaita ja karuja lapinvuokkokankaita.

TAULUKKO 4. Havumetsän leviämiselle herkällä alueella sijaitsevien tunturiluontotyyppien pinta-alat ja pinta-alan osuus luontotyypin kokonaisalasta. Mukana tarkastelussa ovat ne tunturiluontotyypit, joilla ilmastonmuutos on arvioitu uhkatekijäksi ja joiden pinta-alaosuuksien laskeminen oli mahdollista tarkkojen kuviokohtaisten paikkatietojen ansiosta. Pinta-alatietojen laskennassa ei ole otettu huomioon 2000-luvun mittarituhoja. (Pääkkö ym. 2018, 268).

		Luontotyypin alasta männyn leviämiselle herkällä alueella, heinäkuun keskilämpötilan noustessa			
		0,5 °C		**0,7 °C**	
Luontotyyppi	**Kokonaisala (ha)**	**Pinta-ala (ha)**	**Osuus (%)**	**Pinta-ala (ha)**	**Osuus (%)**
Tunturikoivikot	486000	278000	57	337000	69
Variksenmarja-jäkälä-tunturikoivikot	29700	18500	62	20900	70
Variksenmarja-jäkälä-seinäsammal-tunturikoivikot	348000	208000	60	254000	73
Variksenmarja-mustikka-tunturikoivikot	98000	58000	59	70000	71
Lehtomaiset tunturikoivikot	7400	3400	46	3900	53
Tunturikoivulehdot	330	35	11	35	11
Tunturikoivupensaikot	15300	9300	61	10600	69
Tunturikankaat	660000	140000	21	190000	29
Vaivaiskoivukankaat	56000	6000	11	8200	15
Karut lapinvuokkokankaat	100	9	9	9	9
Jäkkikankaat	6900	580	8	600	9
Kuviokankaat	4800	50	1	60	1
Vuotomaat	800	3	0	3	0
Ruotanummet	25000	3650	15	5500	22
Tunturien dyynit (ei sis. deflaatioalueita)	6800	5000	74	5300	78

- Ilmaston lämpenemisen seurauksena havumetsärajan etenee pohjoisemmaksi ja ylemmäksi tunturien rinteillä.
- Heinäkuun keskilämmön +1 °C nousu nostaa metsänrajan 30 km pohjoisemmaksi ja +3 °C:n nousu siirtää sen korkeimmille tunturiseuduille, 800–1000 m korkeuteen merenpinnasta.
- Kaikkein herkimpiä männyn leviämiselle ovat erilaiset tunturikoivikot ja tunturien dyynit.

5.2 Maiseman muuttuminen

Ilmastonmuutos aiheuttaa koivu- ja havumetsänrajan nousemista, mittarituhojen lisääntymistä, pensoittumista, varvikoitumista, sammaloitumista, lumipeitteisen ajan lyhenemistä, maan pintakerroksen kuivumista ja routaantumisen heikentymistä. Ilmastonmuutos vaikuttaa näin lähes kaikkien tunturiluontotyyppien tilaan ja maisemaan. (Pääkkö ym. 2018).

Ilmaston lämpenemisen on osoitettu lisäävän pajujen, muiden pensaiden ja varpujen kasvua avoimilla tunturiluontotyypeillä (mm. Elmendorf ym. 2012, Ravolainen ym. 2014, Christie ym. 2015). Esimerkiksi 1,5 °C lämpötilan nousun, joka vastaa arktisen alueen kesälämpötilan keskimääräistä nousua (1,8 °C) vuoteen 2050 mennessä, on osoitettu lisäävän putkilokasvien kasvua ja varpujen esiintymistä. Sillä on negatiivisia vaikutuksia jäkälän ja sammaleen esiintymiseen. Tulokset vaihtelivat kuitenkin suuresti paikasta ja ajasta riippuen. (Elmendorf ym. 2012). Myös Vuorinen ym. (2017) havaitsivat tutkimuksessaan pienikokoisten arktisten kasvilajien taantuneen ja jäkäläpeitteen pienentyneen, sekä putkilokasvien, etenkin ikivihreiden varpujen, laajentaneen esiintymisaluettaan.

Porojen kesälaidunnuksen on puolestaan havaittu estävän pajujen kasvua ja tunturikoivun uudistumista (Ravolainen ym. 2014, Christie ym. 2015) ja se voi estää ilmastonmuutoksen aiheuttamaa umpeenkasvua monilla tunturiluontotyypeillä, erityisesti tunturikankailla. Mittarituhojen yleistyessä syksyjen ja talvien lämpenemisen seurauksena porojen kesälaidunnus voi voimistaa ilmastonmuutoksen kielteisiä vaikutuksia tunturiluonnossa, erityisesti tunturikoivikoilla (Pääkkö ym. 2018). Yhteisvaikutuksessa porojen kesälaidunnuksen kanssa mittarituhot ovat aiheuttaneet koivikoiden taantumista ja jopa tuhoutumista laajoilla alueilla (Olofsson ym. 2009). Jos tunturikoivikko ei uusiudu mittarituhojen jäljiltä, sen tilalle muodostuu niin sanottua sekundaarista tunturipaljakkaa (Sihvo 2002). Yhteisvaikutuksen muodostama uhka on suuri etenkin kuivilla ja kuivahkoilla tunturikoivikoilla, sillä niiden toipumiskyky mittarituhoista on heikompi kuin tuoreilla tai lehtomaisilla tunturikoivikoilla (Pääkkö ym. 2018).

Ilmastonmuutoksen merkitys uhkatekijänä on suuri 10 tunturiluontotyypillä (lumenviipymät ja lumenpysymät sekä kanervakankaat). Lämpötilojen kohoaminen, sateiden lisääntyminen ja lumen entistä aikaisempi sulaminen vaikuttavat näihin luontotyyppeihin haitallisesti. Ilmaston lämmetessä näiden luontotyyppien kasviyhteiskunnat muuttuvat lopulta tunturikankaiksi ja -niityiksi. Etenkin eteläisten erillistunturien kanervakankailla ilmastonmuutokseen liittyvänä uhkana on sitä vastoin havumetsärajan nousu. (Pääkkö ym. 2018).

Suomen luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa (Pääkkö ym. 2018) on tarkasteltu ilmastonmuutoksen vaikutusta kuvio- ja vuotomaiden sekä routanummien lajistoon ja rakenteeseen sekä toimintaan (taulukko 5). Mallinnusten mukaan roudan säätelemien maanpinnan prosessien ennustetaan häviävän Pohjois-Euroopasta lähes kokonaan ilmastonmuutoksen seurauksena. RCP2.6-skenaarion toteutuessa nykyiset prosessit vähenisivät vuoteen 2050 mennessä jopa 72 % ja RCP8.5-skenaariossa vuoteen 2100 mennessä Pohjois-Euroopan ilmasto ei olisi enää soveltuva näille ilmiöille (Aalto ym. 2017).

TAULUKKO 5. Kuvio- ja vuotomaiden sekä routanummien laatutaulukko, jossa tarkastellaan ilmastonmuutoksen vaikutusta luontotyypin lajistoon ja rakenteeseen sekä toimintaan (mukaillen Pääkkö ym. 2018, 270).

Luonnontilaisuusaste	**Lajisto ja rakenne**	**Toiminta**
Luontainen tila	Routivat pinnat ovat kasvipeitteeltään niukempia ja voimakkaasti routivilta kohdilta kasvillisuus puuttuu. Routiville paikoille syntyy kilpailulta vapaata tilaa, jota hyödyntävät monet heinämäiset kasvit ja ruohot sekä sammalet ja jäkälät. Routanummia esiintyy alueilla, joilla tuulen voimakkaan vaikutuksen takia lumipeite on ohut ja maa jäätyy syvälle. Voimakkaan routimisen seurauksena muodostuu maamättäitä ja saarekkeita, joiden välissä voi olla humusta, paljasta kivennäismaata tai vetisiä kivikuoppia. Routivat välipinnat ovat osin kasvittomia. Pensaat ja varvut kasvavat mättäillä.	Routiminen on tärkein tekijä kuvio- ja vuotomaiden sekä routanummien syntymiselle. Routiminen on ilmiö, jossa maassa olevan roudan vaikutuksesta maa-aineksen tilavuus muuttuu. Maassa tapahtuu liikettä ja kivet nousevat kohti maanpintaa muodostaen erilaisia rakenteita. Vuotomaiden muodostumiselle on oleellista jäätymisen ja sulamisen vaihtelu, kun lämpötila heilahtelee nollan molemmin puolin. Routanummien syntymisen edellytyksenä on ohut lumipeite ja pakkasten esiintyminen. Maa routii syvälle säännöllisesti joka vuosi.
Vähän heikentynyt	Kasvillisuus on alkanut levittäytyä kuvio- ja vuotomaanrakenteisiin sekä routanummen kasvittomille pinnoille. Sammaleisuus on alkanut lisääntyä ja varpujen, heinien ja ruohojen määrä kasvaa. Soistuvilla paikoilla suokasvillisuus, kuten rahkasammalet, on alkanut levittäytyä ja turpeen muodostuminen on käynnistynyt.	Ilmasto on alkanut lämmetä ja talvikuukausien keskilämpötilat ovat kohonneet. Talvisateet ovat lisääntyneet ja lumipeitteen paksuus kasvanut. Kovia pakkasia esiintyy harvemmin. Maan routiminen ja kivien liikkuminen on hieman vähentynyt. Roudan aiheuttama maaperän lämpötilojen äärevyys ja kasvien juuria häiritsevä liike on hieman heikentynyt.
Selvästi heikentynyt	Kasvillisuus on melko laajalti levittäytynyt ja kasvittomien pintojen osuus on pienentynyt selvästi. Sammalten peittä-	Ilmasto on selvästi lämmennyt ja talvikuukausien keskilämpötilat ovat edelleen kohonneet. Talvisateet ovat

	vyys on lisääntynyt ja varvuston, heinien ja ruohojen määrä kasvanut selvästi. Soistuvilla ruotanummilla suokasvillisuus ja turpeenmuodostus on lisääntynyt selvästi.	lisääntyneet ja lumipeitteen paksuus kasvanut edelleen. Kovia pakkasia esiintyy yhä harvemmin. Maan routiminen ja kivien liikkuminen on selvästi vähentynyt. Roudan aiheuttama kasvien juuria häiritsevä liike on selvästi heikentynyt.
Pahoin heikentynyt	Kasvillisuus on lähes vallannut kuvio- ja vuotomaiden sekä routanummien kasvittomat pinnat. Varpuja, heiniä, ruohoja on levinnyt ja sammalet sekä jäkälät vallanneet pohjakerroksen. Soistuvilla routanummilla turvekerros on paksuuntunut ja yhtenäistynyt ja suokasvillisuus vallitsee. Puustoa on voinut levittäytyä paikalle jo niin paljon, että paikka on muuttumassa metsäksi tai puustoiseksi suoksi.	Ilmasto on voimakkaasti lämmennyt. Maan routiminen ja kivien liikkuminen on voimakkaasti vähentynyt. Kuvio- ja vuotomaille ja ruotanummille ominaisia rakennemuotoja ylläpitävä toiminta on pahoin heikentynyt.
Romahtanut/ hävinnyt	Routimisen loppumisen seurauksena kenttä- ja pohjakerros ovat sulkeutuneet ja mm. puuvartiset kasvit (varvut, pensaat ja puut) yleistyneet. Routanummien kasvillisuus muistuttaa kangasmaiden tai soiden kasvillisuuta. Puustoa on niin paljon, että luontotyyppi on muuttumassa tai muuttunut metsäksi tai suoksi.	Ilmasto on hyvin lämmin, eikä routimista ja kivien liikkumista enää tapahdu. Kuvio- ja vuotomaille ja ruotanummille ominaisia rakennemuotoja ylläpitävä toiminta on lakannut. Fossiilisia rakennemuotoja voi olla edelleen näkyvissä, mutta uusien syntyä ei tapahdu.

- Ilmastonmuutos aiheuttaa koivu- ja havumetsänrajan nousemista, mittarituhojen lisääntymistä, pensoittumista, varvikoitumista, sammaloitumista, lumipeitteisen ajan lyhenemistä, maan pintakerroksen kuivumista ja routaantumisen heikentymistä.
- Mittarituhojen ennustetaan lisääntyvän, mikä voi aiheuttaa tunturikoivikoiden muuttumisen sekundaariseksi tunturipaljakaksi. Uhattuina ovat etenkin kuivat ja kuivahkot tunturikoivikot.
- 1,5 °C lämpötilan nousu (vastaa tilannetta vuonna 2050) lisää putkilokasvien kasvua ja varpujen esiintymistä.
- Lumenviipymä- ja lumenpysymä- sekä kanervakangasluontotyypit ovat uhattuna. Näiden luontotyyppien kasviyhteiskunnat muuttuvat lopulta tunturikankaiksi ja -niityiksi.
- Roudan säätelemien maanpinnan prosessien ennustetaan häviävän Pohjois-Euroopasta lähes kokonaan vuoteen 2100 mennessä.

5.3 Lumen määrä

Lumi on tuntureiden tärkein pienilmastoa kontrolloiva tekijä. Paksun lumipeitteen alueilla kasvavat matalat tunturikasvit eivät välttämättä koskaan kohtaa talven kylmimpiä säitä, koska ovat suojassa lumen alla. Lumen kertyminen tuntureilla on äärimmäisen vaihtelevaa: tuulenpieksemillä tuuli puhaltaa kaiken lumen pois ja kasaa sen suojaisiin notkoihin ja rinteille muodostaen lumenviipymiä. Tämä vaihtelevuus on tärkeää tunturien monimuotoisuuden kannalta. Kun lumikausi lyhenee, tämä äärimmäinen vaihtelukin vähenee, erityisesti silloin, jos tunturikasvillisuuden korkeus ja määrä kasvavat, mikä estää tuulen kuljettavaa ja kasaavaa vaikutusta lumihankeen. (Niittynen 2019).

Tunturirinteiden alueet, joilla lumi viipyy pitkään, ovat tulevaisuudessa yhä harvinaisempia (Kivinen ym. 2012). Arktisen lumipeitteen pienenemisestä on jo merkkejä. Lumipeitteen kesto maassa lyhenee 2–4 päivää vuosikymmenessä lyhenemän ollessa suurinta pohjoisilla leveysasteilla (Brown ym. 2017, 26). Vuosittaisen lumipeitteen keston ennustetaan lyhentyvän 30–40 % Pohjois-Skandinavian alueella vuoteen 2050 mennessä (Callaghan ym. 2011).

Vaikka vähälumiset talvet saattavat yleistyä 2000-luvun viimeisten vuosikymmenien aikana, Pohjoisen Suomen talvet tulevat olemaan lumisia myös tulevaisuudessa. Esimerkiksi Sodankylässä sydäntalven keskilämpötila pysyy simulaatioiden mukaan pakkasella, ja kokonaissademäärän kasvu lisää tammi–helmikuun lumisateiden määrää. Lumisateet kuitenkin alkavat syksyllä myöhemmin ja päättyvät keväällä aiemmin, jolloin maahan ei kerry yhtä paksua hankea kuin nykyisin. (Rasmus ym. 2014).

Suomen luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa (Turunen ym. 2018) esitetään lumen-viipymien kokonaispinta-alan muutos vuosina 1980 ja 2040 Haltin alueelle. Heinäkuun aikana sulavien alueiden kokonaispinta-alan arvioidaan pienenevän vuoden 1980 tilanteesta alle puoleen vuonna 2040, elokuun aikana sulavien alueiden osalta tilanne on vielä huonompi. Syyskuun alun jälkeen tai ei lainkaan sulavat alueet katoaisivat ennusteen mukaan kokonaan vuoteen 2040 mennessä.

Kivinen ym. (2012) havaitsivat lumenviipymien ja lumenpysymien esiintymisessä voimakasta vuosien välistä vaihtelua. Simulaatiot ennustavat merkittävää kasvua vuosittaisissa sademäärissä ja hienoista vähenemää lumisateissa jaksosta 1971–2000 jaksoon 2070–2099 muutosten ollessa suurimpia aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä. Topografiset tekijät, etenkin korkeus ja maaston kivikkoisuus, vaikuttavat lumenpysyvyyteen. Lämpötilan nousu ja pakkaspäivien väheneminen tulee johtamaan nopeampaan lumen sulamiseen, josta seuraa pienempi ja hajanaisempi lumipeite. Pohjoisen Lapin alueella pakkaspäivien lukumäärän ennustetaan vähenevän keskimäärin 25 prosenttia (240:stä 185:een) ajanjaksojen 1961–1990 ja 2071–2100 välillä. Ennusteiden mukaan Enontekiöllä suurimmat vähenemät pakkaspäivien lukumäärässä ovat toukokuussa, jolloin pakkaspäivien määrä vähenee 21,5 päivästä 6,7 päivään, ja lokakuussa, jolloin pakkaspäivien määrä vähenee 25,2 päivästä 11,9 päivään. (Kivinen ym. 2012).

- Vuosittaisen lumipeitteen keston ennustetaan lyhentyvän 30–40 % Pohjois-Skandinavian alueella vuoteen 2050 mennessä.
- Pohjoisen Lapin alueella pakkaspäivien lukumäärän ennustetaan vähenevän keskimäärin 25 prosenttia ajanjaksojen 1961–1990 ja 2071–2100 välillä.
- Pohjoisen Suomen talvet tulevat olemaan lumisia myös tulevaisuudessa. Lumisateet kuitenkin alkavat syksyllä myöhemmin ja päättyvät keväällä aiemmin, jolloin maahan ei kerry yhtä paksua hankea kuin nykyisin.

5.4 Tunturikasvilajien ja -eläinten häviäminen

5.4.1 Kasvit

Uhatuimpia kasvilajeja ovat kylmiin olosuhteisiin sopeutuneet lajit, joilla on kapea lämpötilatoleranssi ja suppea levinneisyysalue (Turunen ym. 2018). Ilmastonmuutoksesta hyötyviä kasveja puolestaan ovat jotkin pensaat ja sammalet (Elmendorf ym. 2012, Hyvärinen ym. 2019). Myös lähes koko Suomesta ja monenlaisista habitaateista löytyvä variksenmarja (*Empetrum nigrum*) on runsastunut tuntureilla monin paikoin (Niittynen 2019).

Monet tuntureiden kasvilajit ovat riippuvaisia myöhään sulavista kinoksista. Lumi tarjoaa suojaa talven kovilta pakkasilta, mutta se myös rajoittaa kasvukauden pituutta estäen eteläisimpien lajien leviämisen. Siksi lumipeitteen väheneminen voi olla arktisille lajeille jopa suurempi uhka kuin lämpötilan nousu (Niittynen ym. 2018). Monet arktisten alueiden lajit, kuten jääleinikki (*Ranunculus glacialis*) ja kiirunankello (*Campanula uniflora*), ovat erityisen herkkiä ilmaston lämpenemisen vaikutuksille (Hyvärinen ym. 2019).

Niskanen ym. (2019) ovat mallintaneet joidenkin arktis-alpiinisten lajien esiintymisalueita ajanjaksolla 2070–2099 eri skenaarioiden (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) toteutuessa. Keskimääräisen lajiston määrän ennustetaan vähenevän 15–47 % skenaariosta riippuen. Suurin osa (71–92 %) tarkastelluista lajeista oli vaarassa menettää yli puolet nykyisestä elinympäristöstään vuoteen 2100 mennessä. Lajit, joiden elinympäristön ennustetaan katoavan kokonaan, sijaitsevat aivan Euroopan pohjoisimmissa osissa. Yli 87 %:n tutkituista lajeista ennustetaan kuuluvan luokkaan VU (vaarantuneet) vuoteen 2100 mennessä ja 20–133 lajia luokkaan CR (äärimmäisen uhanalaiset). 1–9 prosentilla lajeista ennustetaan katoavan kokonaan sopivat elinympäristöt Fenno-skandiassa vuoteen 2100 mennessä. Kahden tarkastelussa mukana olleen lajin (ruijankissan-käpälä *Antennaria nordhageniana* ja tuoksualvejuuri *Dryopteris fragrans*) elinympäristöt katoavat kaikissa skenaarioissa. Mallinnusten mukaan arktis-alpiinisten lajien esiintymisalueista ennustetaan RCP4.5-skenaarion mukaisessa tilanteessa säilyvän keskimäärin vain noin 10 % joillakin lajeilla osuuden ollessa selvästi pienempikin. Sadan vuoden tarkastelussa Skandien alueen paljakkalajistolle suotuisan ilmaston ennustetaan katoavan kaikkialta muualta paitsi Etelä-Norjan korkeimmilta tuntureilta (Pääkkö ym. 2018). Kasveista kuitenkin tiedetään, että ne ovat hyviä säilymään jäännöspopulaatioina alueilla, joissa olosuhteet pysyvät suhteellisen vakaina silloinkin, kun ilmasto ympärillä muuttuisi. Tällaisten alueiden ja habitaattien tunnistaminen ja suojeleminen on erittäin tärkeää. (Niittynen 2019).

Komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*) leviäminen etenee Suomessa yhä pohjoisemmaksi. Ilmastonmuutos saattaa suhteellisen piankin auttaa lajia pääsemään vielä pohjoisemmaksi kuin nykyoloissa, joissa sen talvehtiminen on pohjoisessa paikoin heikkoa. Toisaalta lumipeitteen oheneminen voi heikentää komealupiinin menestymistä pohjoisessa. Alaskanlupiinin (*Lupinus nootkatensis*) esiintyminen luonnonvaraistuneena Suomessa on vielä hyvin harvinaista, mutta laji on levinnyt nopeasti Skotlannissa, Färsaarilla ja Islannissa, ja pyrkii leviämään Norjassa ja Ruotsissa. Lumipeitteen oheneminen heikentää myös alaskanlupiinin talvehtimista, kun taas roudan väheneminen edesauttaa sen menestymistä ja leviämistä. (Kurtto 2018).

Vuoristojen varsin korkeista osista lähtöisin oleva vieraslaji jättipoimulehti (*Alchemilla mollis*) saattaa valloilleen päästettynä aiheuttaa ongelmia Fennoskandian puuttomissa tai harvapuustoisissa ympäristöissä, mahdollisesti jopa tuntureiden (ala)paljakalle saakka. Laji on levinnyt räjähdysmäisesti Islannissa ja Färsaarilla. (Kurtto 2018).

- Eteläisempi lajisto hyötyy ja arktis-alpiiniset spesialistit vähenevät.
- Osa lajeista on vaarassa menettää yli puolet nykyisestä elinympäristöstään vuoteen 2100 mennessä. Jääleinikki, kiirunankello, ruijankissankäpälä ja tuoksualvejuuri ovat uhattuina.
- Vieraslajit, kuten komea- ja alaskanlupiini sekä jättipoimulehti, saattavat hyötyä ilmastonmuutoksesta ja levitä pohjoisemmaksi ja ylemmäksi.

5.4.2 Nisäkkäät

Naali (*Vulpes lagopus*) kuului pohjoisen Suomen nisäkäslajistoon melko runsaslukuisena vielä 1800-luvulla, mutta metsästys hävitti sen lähes kokonaan Pohjolasta 1900-luvun alkuun mennessä. Kettu (*Vulpes vulpes*) levittäytyi tunturialueille viimeistään 1980-luvun lopulla ja samaan aikaan Suomen naalikanta romahti lopullisesti. Ketun esiintymisalueen laajentumiseen on luultavasti monia syitä, jotka liittyvät paitsi ilmastoon myös ihmisen toimintaan. Ilmaston lämpenemisen on arveltu kuitenkin lisänneen ketulle tarjolla olevan ravinnon määrää (Elmhagen ym. 2002). Lumipeitteen paksuus ja siihen liittyvä talviravinnon, erityisesti pikkunisäkkäiden, saatavuus säätelevät osaltaan ketun levinneisyyden pohjoisrajaa (WWF Suomen raportti 2016).

Ahman (*Gulo gulo*) suurimpiin uhkiin lukeutuu vähenevä lumipeite (Copeland ym. 2010, McKelvey ym. 2011). Ahman levinneisyys on kiinni pesimäkauden lumiolosuhteista (Copeland ym. 2010, McKelvey ym. 2011), sillä se rakentaa pesänsä lumeen. Ahmat eivät juuri liiku pesimäkauden lumirajaa etelämpänä kauden ulkopuolellakaan (McKelvey ym. 2011). Ilmastoennusteiden mukaan ahmalle suotuisia elinympäristöjä tulee jatkossakin Pohjolassa säilymään, mutta tulevaisuuden ahmapopulaatiot ovat yhä eristyneempiä, mikä johtaa geneettisen monimuotoisuuden rajuun vähenemiseen (Copeland ym. 2010). Lisäksi ilmastonmuutos saattaa vähentää saatavilla olevaa ravintoa, vaikeuttaa ruuan varastointia sekä muuttaa lajien välisiä vuorovaikutussuhteita, kun eteläisemmät peto- ja saalislajit levittäytyvät pohjoiseen (WWF Suomen raportti 2016).

Tunturisopulia (*Lemmus lemmus*) esiintyy tunturiylängöillä, missä se ruokailee ja lisääntyy lumen alla. Myyrille ja sopuleille on ominaista voimakkaat sykliset kannanvaihtelut. Tunturisopuli ei Suomessa noudata muiden myyrien syklisyyttä vaan huippuvuosia on harvakseltaan. Sopulit kuitenkin hyötyvät muiden myyrälajien samanaikaisesta runsaslukuisuudesta, sillä se vähentää sopuleihin kohdistuvaa saalistuspainetta. (WWF Suomen raportti 2016). Myyräsyklien on viime aikoina havaittu heikentyneen koko Euroopan alueella, mikä on yhdistetty moniin suoriin ja epäsuoriin ilmastovaikutuksiin (Cornulier ym. 2013). Tunturisopulien esiintymishuipun edellytyksenä on pitkä, kylmä ja luminen talvi – mielellään useampi peräkkäin (WWF Suomen raportti 2016). Lumipeitteen laadulla on suuri merkitys: lumen ja maan rajapinta ei saa jäätyä. Talviaikaiset vesisateet ovat erityisen haitallisia sopuleille, sillä sadevedet valuvat maanpinnalle ja muodostavat jääkuoren, jonka alta sopulit eivät pääse syömään sammalta. Ruotsin tunturialueilla lumipeitteen laatu on jo paikoin muuttunut sopulin kannalta heikompaan suuntaan eli kovan ja jäisen lumen osuus on runsastunut voimakkaasti erityisesti maanpinnan tuntumassa (Johansson ym. 2011).

- Ketun esiintymisalueen laajeneminen ihmistoiminnan ja mahdollisesti ilmastonmuutoksen ansiosta voi vaikuttaa negatiivisesti naalikantaan.
- Lumipeitteen väheneminen uhkaa ahmaa ja tunturisopulia. Myös lisääntyvät vesisateet vaikeuttavat tunturisopulin selviytymistä.

5.4.3 Linnut

WWF Suomen raportin (2016) mukaan Suomen avotuntureilla on jo nyt suhteessa enemmän uhanalaisia lintulajeja kuin koko maan lajistossa. Tulevaisuudessa monien pohjoisten tunturiylänkölajien, kuten kiirunan (*Lagopus muta*), tunturipöllön (*Bubo scandiacus*), tunturihaukan (*Falco rusticolus*), keräkurmitsan (*Charadrius morinellus*) ja pulmusen (*Plectrophenax nivalis*), kannat ovat vaarassa heikentyä voimakkaasti tai kadota Suomesta sekä muista Pohjoismaista kokonaan (Laaksonen & Lehikoinen 2013, Pedersen ym. 2014). Muun muassa tunturipaljakoilla viihtyvä kiiruna on taantunut huomattavasti Ruotsissa ja Norjassa (Laaksonen & Lehikoinen 2013) ja Suomessakin sen uhanalaisuusluokitusta on nostettu vuonna 2015 elinvoimaisesta (LC) silmälläpidettäväksi (NT) (Tiainen ym. 2016). Ilmaston lämpeneminen voi epäsuorasti vaikuttaa arktisten lintujen, kuten tunturipöllön, harvinaistumiseen ravinnon, kuten myyräsyklien, kautta (WWF Suomen raportti 2016). Keräkurmitsa on taantunut suojelualueilla tehtyjen lintulaskentojen perusteella ja laji on luokiteltu vaarantuneeksi (VU). Tunturipaljakan lajina sitä uhkaa ilmastonmuutos (Hyvärinen ym. 2019).

- Tunturiylänköjen linnut, kuten kiiruna, tunturipöllö, tunturihaukka, keräkurmitsa ja pulmunen, ovat vaarassa kadota.

5.4.4 Selkärangattomat

Arktisten selkärangattomien osalta tutkimustieto on erityisen puutteellista ja hajanaista, mutta joitakin ilmastonmuutoksen vaikutuksia on jo nähtävissä myös hyönteismaailmassa (Bowden

ym. 2015). Arktisiin olosuhteisiin sopeutuneet hyönteislajit kärsivät ja taantuvat siinä missä isommat selkärankaisetkin: lämpeneminen on liitetty muun muassa arktisten perhoslajien aiempaa pienempään kokoon ja heikentyneeseen leviämiskykyyn (Bowden ym. 2015). Toisaalta ilmaston lämmetessä hyönteistuhojen ja tunturialueella tunturi- ja hallamittarin (*Epirrita autumnata, Operophtera brumata*) massaesiintymien ennustetaan yleistyvän ja ulottuvan entistä pohjoisemmaksi (Jepsen ym. 2008, Pääkkö ym. 2018), ja luultavasti kokonaan uusiakin tuholaisia on odotettavissa.

- Tunturi- ja hallamittarituhoja on odotettavissa useammin ja pohjoisemmassa.
- Arktiset hyönteislajit kärsivät ja taantuvat.

5.4.5 Tunturijärvet

Arktisille järville on ominaista hyvin pitkä jääpeiteaika, joka voi Suomessakin kestää yli seitsemän kuukautta. Ilmaston lämpenemisen myötä jääpeiteajat lyhenevät ja vesi on entistä lämpimämpää. Järvissä ja niiden valuma-alueilla tapahtuvan lämpenemisen seurauksena karut tunturijärvet muuttuvat rehevämmiksi. Kasviplanktonin runsastuessa myös eläinplanktonin määrä kasvaa. Tämä mahdollistaa kalojen runsastumisen, erityisesti jos muutokseen yhdistyy runsaslukuisten lämpimämmän veden lajien leviäminen pohjoisiin järviin. Kirkasvetisille ja karuille tunturijärville luonteenomaiset pohjaleväyhteisöt ovat vaarassa kadota, mikä aiheuttaa muutoksia koko ravintoverkossa. (WWF Suomen raportti 2016).

Suomen tunturijärvissä elää muutamia selkärangattomia lajeja, jotka ovat sopeutuneet kylmiin, vähäravinteisiin vesiin eikä niitä tavata meillä missään muualla (WWF Suomen raportti 2016). Suomesta on löydetty kaksi lehtijalkaislajia (*Polyartemia forcipata* ja *Branchinecta paludosa*), joista ainakin B. paludosa näyttäisi selviävän ainoastaan alle 13-asteisessa vedessä (Lindholm ym. 2012). Monille ympäristötekijöiden muutoksille herkkien kilpikidusjalkaisten esiintymisalueen Norjassa on jo todettu kutistuneen ja esiintymisen alarajan kivunneen neljässäkymmenessä vuodessa tunturinrinnettä noin 200 metriä ylöspäin (Medlock ym. 2013).

Nieriä (*Salvelinus alpinus*) on monien tunturijärvien ainoa kalalaji. Nieriä on taantunut lämpötilan kohoamisen myötä eri puolilla Eurooppaa, muun muassa Islannin Elliđavatn-järvessä (Malmquist ym. 2009). Suomessa nieriän mahdollisuudet sopeutua pohjoisten järvien muuttuviin olosuhteisiin vaikuttavat rajallisilta, sillä sen geneettinen monimuotoisuus on verraten vähäinen ja eri järvien populaatiot ovat toisistaan eristyneitä (Shikano ym. 2015). Hauen (*Esox lucius*) leviäminen yhdessä kohoavan lämpötilan kanssa uhkaa pienentää nieriän elinaluetta Ruotsissa merkittävästi (Hein ym. 2012), ja saman voidaan olettaa tapahtuvan myös Suomessa (WWF Suomen raportti 2016).

- Tunturijärvien jääpeiteaika lyhenee.
- Järvet muuttuvat rehevämmiksi. Kirkasvetisille ja karuille tunturijärville luonteenomaiset pohjaleväyhteisöt ovat vaarassa kadota, mikä aiheuttaa muutoksia koko ravintoverkossa.
- Tunturijärvien selkärangattomat lajit, kuten lehti- ja kilpikidusjalkaiset, ovat vaarassa kadota.
- Lämpötilan nousu ja hauen leviäminen uhkaavat nieriää.

6 YHTEENVETO

Taulukossa 6 on esitetty suuntaa antava yhteenveto tiettyjen ilmastosuureiden odotettavissa olevista muutoksista vuotta 2100 lähestyttäessä Jylhän ym. (2012, 21) mukaan. Tämän selvityksen aineisto tukee taulukon tietoja.

TAULUKKO 6. Suuntaa antava yhteenveto ilmastosuureiden odotettavissa olevista muutoksista Suomen etelä- ja pohjoisosassa eri vuodenaikoina vuosisadan loppua lähestyttäessä Jylhää ym. mukaillen (2012, 21).

Muuttuja	**Alue**	**Joulu-helmi**	**Maalis-touko**	**Kesä-elo**	**Syys-marras**	**Vuosi**	**Huomautuksia**
Keskilämpötila	Pohjoinen	++	++	+	++	++	
	Etelä	++	++	+	++	++	
Keskimääräinen sademäärä	Pohjoinen	++	+	+	+	+	
	Etelä	+	+	/	+	+	
Termisen vuodenajan pituus	Pohjoinen	–	/	+	/		
	Etelä	–	+	+	+		
Vuorokauden ylin lämpötila	Pohjoinen	++	++	+	++	++	
	Etelä	++	++	+	++	++	
Vuorokauden alin lämpötila	Pohjoinen	++	++	+	++	++	
	Etelä	++	++	+	++	++	
Pakkaspäivien lukumäärä	Pohjoinen	–	–	–	–	–	
	Etelä	–	– –	–	– –	– –	

Muuttuja	Alue	Joulu-helmi	Maalis-touko	Kesä-elo	Syys-marras	Vuosi	Huomautuksia
Lumen vesiarvo	Pohjoinen	–	– –		– –	–	Väheneminen alkaa etelästä, samoin syksystä ja keväästä
	Etelä	– –	– –		– –	– –	
Lumipeitepäivien lukumäärä	Pohjoinen	–	– –		– –	–	Väheneminen alkaa etelästä, samoin syksystä ja keväästä
	Etelä	– –	– –		– –	– –	
Sadepäivien lukumäärä	Pohjoinen	+	+	( )	+	+	
	Etelä	+	( )	–	( )	+	
Rankkasateiden voimakkuus	Pohjoinen	+	+	+	+	+	
	Etelä	+	+	+	+	+	
Sateettomien kausien pituus	Pohjoinen	/	–	( )	–	–	
	Etelä	–	( )	( )	( )	( )	
Pilvisyys	Pohjoinen	++	/	(–)	/	+	
	Etelä	++	/	(–)	/	+	
Roudan määrä	Pohjoinen	–	–		– –	–	Laskelmat tehty lumettomille alueille (tiet, lentokentät, jne.)
	Etelä	– –	– –			– –	

+	Lisääntyy/kasvaa
++	Lisääntyy/kasvaa huomattavasti
–	Vähenee
– –	Vähenee huomattavasti
/	Säilyy suunnilleen ennallaan
( )	Muutos hyvin epävarma
	Ei osata sanoa tai merkityksetön

LÄHTEET

Aakala, T., Hari, P., Dengel, S., Newberry, S. L., Mizunuma, T., & Grace, J. 2014. A prominent stepwise advance of the tree line in north-east Finland. Journal of Ecology. 102. 1582–1591.

Aalto, J., Harrison, S. & Luoto, M. 2017. Statistical modelling predicts almost complete loss of major periglacial processes in Northern Europe by 2100. Nature Communications. 8:15.

ACCLIM II-hanke. 2011. ACCLIM II – Ilmastonmuutosarviot ja asiantuntijapalvelu sopeutumistutkimuksia varten. Lyhyt loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto & SYKE. 23 s.

AMAP. 2019. Arctic climate change: Update 2019. An update to key findings of Snow, water, ice and permafrost in the arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Tromsø, Norway. 12 s.

Andersson, A., Meier, M., Ripszam, M., Rowe, O., Wikner, J., Haglund, P., Eilola, K., Legrand, C., Figueroa, D., Paczkowska, J., Lindehoff, E., Tysklind, M. & Elmgren, R. 2015. Projected future climate change and Baltic Sea ecosystem management. Ambio 44: 3, 345–356.

Arnold, J., Humer, A., Heltai, M., Murariu, D., Spassov, N. & Hackländer, K. 2012. Current status and distribution of golden jackals *Canis aureus* in Europe. Mammal Rev. 42:1. 1–11.

Asikainen, A., Viiri, H., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Lintunen, J., Laturi, J., Uusivuori, J., Venäläinen, A., Lehtonen, I. & Ruosteenoja, K. 2019. Ilmastonmuutos ja metsätuhot – analyysi ilmaston lämpenemisen seurauksista Suomessa. Suomen ilmastopaneeli 1/2019.

Berner, C., Bertos-Fortis, M., Pinhassi, J. & Legrand, C. 2018. Response of microbial communities to changing climate conditions during summer cyanobacterial blooms in the Baltic Sea. Frontiers in Microbiology. 9: 1562.

Bojarska, K., Drobniak, S., Jakubiec, Z. & Zyśk-Gorczyńska, W. 2019. Winter insomnia: How wheather conditions and supplementary feeding affect the brown bear activity in a long-term study. Global Ecology and Conservation. 17. e00523.

Bowden, J.J., Eskildsen, A., Hansen, R.R., Olsen, K., Kurle, C.M. & Hoye, T.T. 2015. High-Arctic butterflies become smaller with rising temperatures. Biol. Lett. 11: 20150574.

Brown, R., Schuler, D. V., Bulygina, O., Derksen, C., Luojus, K., Mudryk, L., Wang, L. & Yang, D. 2017. Arctic terrestrial snow cover. Teoksessa: Snow, water, ice and permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 25–64.

CAFF. 2013. Arctic biodiversity assessment. Status and trends in Arctic biodiversity. Synthesis. Conservation of Arctic flora and fauna (CAFF). Arctic Council. Stell, Iceland. 132 s.

Callaghan, T. V., Johansson, M., Brown, R. D., Groisman, P., Labba, N., Radionov, V., Barry, R. G., Bulygina, O. N., Essery, R., Frolov, D. M., Golubev, V., Grenfell, T., Petrushina, M., Razuvaev, V. N., Robinson, D. A., Romanov, P., Shindell, D., Shmakin, A. B., Sokratov, S. A., Warren, S. & Yang, D. 2011. The changing face of arctic snow cover: A synthesis of observed and projected changes. Ambio. 40:1, 17–31.

Christie, K. S., Bryant, J. B., Gough, L., Ravolainen, V. T., Ruess, R. W. & Tape, K. D. 2015. The role of vertebrate herbivores in regulating shrub expansion in the Arctic: A synthesis. BioScience. 65:12. 1123–1133.

Copeland, J.P., McKelvey, K.S., Aubry, K.B., Landa, A., Persson, J., Inman, R.M., Krebs, J., Lofroth, E., Golden, H., Squires, J.R., Magoun, A., Schwartz, M.K., Wilmot, J., Copeland, C.L., Yates, R.E., Kojola, I. & May, R. 2010. The bioclimatic envelope of the wolverine (*Gulo gulo*): do climatic constraints limit its geographic distribution? Can. J. Zool. 88: 233–246.

Cornulier, T., Yoccoz, N. G., Bretagnolle, V., Brommer, J. E., Buet, A., Ecke, F., Elston, D. A., Framstad, E., Henttonen, H., Hörnfeldt, B., Huitu, O., Imholt, C., Ims, R. A., Jacob, J., Jedrzejewska, B., Millon, A., Petty, S. J., Pietiäinen, H., Tkadlec, E., Zub, K. & Lambin, X. 2013. Europe-wide dampening of population cycles in keystone herbivores. Science. 340: 63–66.

Ehlers, A., Worm, B. & Reusch, T. B. H. 2008. Importance of genetic diversity in eelgrass *Zostera marina* for its resilience to global warming. Mar Ecol Prog Ser. 355. 1–7.

Elmendorf, S. C., Henry, G. H. R., Hollister, R. D., Björk, R. G., Bjorkman, A., Callaghan, T., Collier, L., Cooper, E. J., Cornelissen J. H. C., Day, T., Fosaa, A., Gould, W., Grétarsdóttir, J., Harte, J., Hermanutz., L., Hik, D., Hofgaard, A., Jarrad, F., Jónsdóttir, I., Keuper, F., Klanderud, K., Klein, J., Koh, S., Kudo, G., Lang, S., Loewen, V., May. J., Mercado, J., Michelsen, A., Molau, U., Myers-Smith, I., Oberbauer, S., Pieper, S., Post, E., Rixen, C., Robinson, C., Schmidt, N., Shaver, G., Stenström, A., Tolvanen, A., Totland, Ø., Troxler, T., Wahren, C-H., Webber, P., Welker, J. & Wookey, P. 2012. Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. Ecology Letters. 15. 164–175.

Elmhagen, B., Kindberg, J., Hellström, P. & Angerbjörn, A. 2015. A boreal invasion in response to climate change? Range shifts and community effects in the borderland between forest and tundra. AMBIO. 44(1). 39–50.

Elmhagen, B, Tannerfeldt, M. & Angerbjörn, A. 2002. Food-niche overlap between arctic and red foxes. Canadian Journal of Zoology. 80. 1274–1285.

Fleming-Lehtinen, V. & Laamanen, M. 2012. Long-term changes in Secchi depth and the role of phytoplankton in explaining light attenuation in the Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 102–103. 1–10.

Forsius, M., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, I., Hakola, H., Heikkinen, H.I., Helenius, J., Hyvärinen, M., Jylhä, K., Karjalainen, J., Keskinen, T., Laine, K., Nikinmaa, E., Peltonen-Sainio, P., Rankinen, K., Reinikainen, M., Setälä, H. & Vuorenmaa, J. 2013. Impacts and adaptation of climate change on ecosystem services in Finland: a model based study. Current Opinion in Environmental Sustainability. 5: 26–40.

Furman, E., Pihlajamäki, M., Välipakka, P. & Myrberg, K. 2014. Itämeri – Ympäristö ja ekologia. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 69 s.

Gregow, H., Laaksonen, A. & Alper, M. E. 2017. Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. Scientific reports. 7:46397.

Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venäläinen, A. 2011a. 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.

Gregow, H., Ruosteenoja, K., Pimenoff, N. & Jylhä, K. 2011b. Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. Int. J. Climatol. 32: 1834–1846.

Grindsted, A. 2015. Projected Change – Sea level. Julkaisussa: The BACC II Author Team. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer International Publishing AG Switzerland. 253–263.

Groenemeijer, P., Vajda, A., Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Venäläinen, A., Gregow, H., Becker, N., Nissen, K., Ulbrich, U., Nápoles, O. M., Paprotny, D. & Púčik, T. 2016. Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe. Rain project, D2.5 (Hydro-) meteorological hazard probability in Europe. 165 s.

Harvey, E. T., Kratzer, S. & Andersson, A. 2015. Relationships between colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in different coastal gradients of the Baltic Sea. AMBIO. 44(3). 392–401.

Heikkinen, R., Pöyry, J., Fronzek, S. & Leikola, N. 2012. Ilmastonmuutos ja vieraslajien leviäminen Suomeen. – Tutkimustiedon synteesi ja suurilmastollinen vertailu. Suomen ympäristökeskus (SYKE). Suomen ympäristö 7/2012. 117 s.

Hein, C. L., Öhlund, G. & Englund, G. 2012. Future distribution of arctic char *Salvelinus alpinus* in Sweden under climate change: effects of temperature, lake size and species interactions. AMBIO. 41(3). 303–312.

HELCOM. 2012. Checklist of Baltic Sea Macro-species. Baltic Sea Environment Proceedings No. 130. 203 s.

HELCOM. 2013. Climate change on the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Environ. Proc. No. 137. 70 s.

Hiebenthal, C., Philipp, E. E. R., Eisenhauer, A. & Wahl, M. 2012. Interactive effects of temperature and salinity on shell formation and general condition in Baltic Sea *Mytilus edulis* and *Arctica islandica*. Aqual Biol. 14. 289–298.

Hof, A. R., Jansson, R. & Nilsson, C. 2012. Future climate change will favour non-specialist mammals in the (sub)Arctics. PLoS ONE. 7(12). e52574.

Hokkanen, T. 2012. Itäisen Suomenlahden saaristolinnuston pitkäaikaismuutokset – erityisesti vuosina 1992–2011. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 195. Edita Prima Oy. 174 s.

Holopainen, R., Lehtiniemi, M., Meier, H.E.M., Albertsson, J., Gorokhova, E., Kotta, J. & Viitasalo, M. 2016. Impacts of changing climate on the non-indigenous invertebrates in the northern Baltic Sea by end of the twenty-first century. Biol Invasions. 18. 3015–3032.

Huusela-Veistola, E., Pouttu, A. & Urho, L. (toim.). 2018. Vieraslajit Suomen arktisella alueella. Esiselvitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 79 s.

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U-M. (toim.). 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s.

IPCC. 2000. Summary for Policymakers – Emission scenarios. A special report of IPCC working group III. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Stocker, T.F., D. Qin, G-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jepsen, J.U., Hagen, S.B., Ims, R.A. & Yoccoz, N.G. 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. Journal of Animal Ecology. 77. 257–264.

Johansson, C., Pohjola, V. A., Jonasson, C. & Callaghan, T. V. 2011. Multi-decadal changes in snow characteristics in sub-Arctic Sweden. AMBIO. 40. 566–574.

Johansson, M. M., Pellikka, H., Kahma, K. K. & Ruosteenoja, K. 2014. Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. Journal of Marine Systems. 129. 35–46.

Jokinen, H. 2010. Major potentially climate induced changes in the coastal ecosystem of the western Gulf of Finland – a review. VACCIA-Project Report. University of Helsinki. 30 s.

Jungqvist, G., Oni, S.K., Teutschbein, C. & Futter, M.N. 2014. Effect on climate change on soil temperature in Swedish boreal forests. Plos One. 9:4, 93957.

Juntunen, V., Neuvonen, S. & Sutinen, R. 2006. Männyn puurajan muutokset viimeisen 400 vuoden aikana ja metsänraja-puuraja vaihettumisvyöhykkeen ikärakenne. Julkaisussa: Nikula, A. & Varmola, M. (toim.). Ilmastonmuutos Lapissa – näkyvätkö muutokset – sopeutuuko luonto? Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. Metlan työraportteja 25. 25–32.

Jylhä, K., Fronzek, S., Tuomenvirta, H., Carter, T. R. & Ruosteenoja, K. 2008. Changes in frost, snow and Baltic sea ice by the end of the twenty-first century based on climate model projections for Europe. Climate Change. 86. 441–462.

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J. & Fronzek, S. 2012. Ilmasto muuttuu Suomessa. Julkaisussa: Ruuhela, R. (toim.). 2012. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriö. Tampereen yliopistopaino, Tampere. 16–23.

Kahru, M. & Elmgren, R. 2014. Multidecadal time series of satellite-detected accumulations of cyanobacteria in the Baltic Sea. Biogeosciences. 11. 3619–3633.

Kauppila, P., Fleming-Lehtinen, V., Nygård, H., Pitkänen, H., Korpinen, S. & Parner, H. 2019. Miten rehevöityminen on muuttunut? Teoksessa: Korpinen, S., Laamanen, M., Suomela, J., Paavilainen, P., Lahtinen, T. & Ekebom, J. (toim.). 2019. Suomen meriympäristön tila 2018. SYKE:n julkaisuja 4. Grano, Helsinki. 124–131.

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.

Kellomäki, S., Strandman, H., Heinonen, T., Asikainen, A., Venäläinen, A. & Peltola, H. 2018. Temporal and spatial change in diameter growth of boreal Scots pine, Norway spruce, and birch under recent-generation (CMIP5) global climate model projections for the 21st century. Forests 2018, 9:3, 118.

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. 44 s.

Kivinen, S., Johansen, B. & Käyhkö, J. 2017. Pohjois-Fennoskandian ilmasto ja kasvillisuus. Julkaisussa: Globaalimuutoksen vaikutus porotalouteen Pohjois-Fennoskandian tundra-alueilla. Käyhkö, J. & Horstkotte, T. (toim.). Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksen julkaisuja. 4. Turku. 29–35.

Kivinen, S., Kaareljärvi, E., Jylhä, K. & Räisänen, J. 2012. Spatiotemporal distribution of threatened high-latitude snowbed and snow patch habitats in warming climate. Environ. Res. Lett. 7: 034024.

Kotilainen, A., Kiviluoto, S., Kurvinen, L., Sahla, M., Ehrnsten, E., Laine, A., Lax, H.-G-, Kontula, T., Blankett, P., Ekerbom. J., Hällfors, H., Karvinen, V., Kuosa, H., Laaksonen, R., Lappalainen, M., Lehtinen, S., Lehtiniemi, M., Leinikki, J., Leskinen, A., Riihimäki, A., Ruuskanen, A. & Vahteri, P. 2018. Itämeri. Julkaisussa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö. Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 47–62.

Kurtto, A. 2018. Vieraskasvilajit Suomen arktisella alueella. Julkaisussa: Huusela-Veistola, E., Pouttu, A. & Urho, L. (toim.). 2018. Vieraslajit Suomen arktisella alueella. Esiselvitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 43–64.

Laaksonen, T. & Lehikoinen, A. 2013. Population trends in boreal birds: Continuing declines in agricultural, northern, and long-distance migrant species. Biological Conservation 168. 99–107.

Larsson, P., Tibblin, P., Koch-Schimdt, P., Engstedt, O., Nilsson, J., Nordahl, O. & Forsman, A. 2015. Ecology, evolution, and management strategies of northern pike populations in the Baltic Sea. AMBIO. 44(1). 451–461.

Lehikoinen, A. 2011. Advanced autumn migration of sparrowhawk has increased the predation risk of long-distance migrants in Finland. PloS ONE. 6(5): e20001.

Lehikoinen, A. & Jaatinen, K. 2012. Delayed autumn migration in northern European waterfowl. J. Ornithol. 153. 563–570.

Lehikoinen, A. & Virkkala, R. 2016. North by north-west: climate change and directions of density shifts in birds. Global Change Biology. 22: 1121–1129.

Lehmann, A., Getzlaff, K. & Harlaß, J. 2011. Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea are for the period 1958 to 2009. Clim Res. 46. 185–196.

Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Peltola, H. & Gregow, H. 2016. Risk of large-scale fires in boreal forests of Finland under changing climate. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 16, 239–253.

Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. 2016. Suomen yöperhosseuranta (Nocturna) 1993–2012. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2016. 76 s.

Levänen, R. 2019. Coexistence of northern hares: consequences of crossbreeding and changing climate. Dissertations in Forestry and Natural Sciences 2019: 58. Joensuu: University of Eastern Finland.

Liebezeit, J. R., Gurney, K. E. B., Budde, M., Zack, S. & Ward, D. 2014. Phenological advancement in arctic bird species: relative importance of snow melt and ecological factors. Polar Biology. 37:9. 1309–1320.

Lindholm, M., Stordal, F., Hessen, D.O., Moe, S.J. & Aass, P. 2012. Climate driven range retraction of an Arctic freshwater crustacean. Freshwater Biology 57. 2591–2601.

Luke. 2018. Arvio Suomen villisikakannan koosta tammikuussa 2018. Luonnonvarakeskus 9.2.2018. [viitattu 22.7.2019.]

Luomaranta, A., Aalto, J. & Jylhä, K. 2019. Snow cover trends in Finland over 1961–2014 based on gridded snow depth observations. International Journal of Climatology. 39:3147–3159.

Luomaranta, A., Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Gregow, H., Haapala, J. & Laaksonen, A. 2014. Multimodel estimates of the changes in the Baltic Sea ice cover during the present century. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography 66:1, 22617.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2012. Kansallinen vieraslajistrategia. 126 s.

Malmquist, H. J., Antonsson, Þ., Ingvason, H. R., Ingimarsson, F. & Árnason, F. 2009. Salmonid fish and warming of shallow Lake Elliðavatn in Southwest Iceland. Verh. Internat. Verein. Limnol. 30:7. 1127–1132.

Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatukia, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R. & Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005. Maa- ja metsätalousministeriö. 272 s.

Matías, L. & Jump, A. S. 2013. Impacts of predicted climate change on recruitment at the geographical limits of Scots pine. Journal of Experimental Botany. 65(1). 299–310.

McKelvey, K.S., Copeland, J.P., Schwartz, M.K., Littell, J.S., Aubry, K.B., Squires, J.R., Parks, S.A, Elsner, M.M. & Mauger, G.S. 2011. Climate change predicted to shift wolverine distributions, connectivity, and dispersal corridors. Ecological Applications, 21(8). 2882–2897.

Medlock, J.M., Hansford, K.M., Bormane, A., Derdakova, M., Estrada-Peña, A., George, J.-C., Golovljova, I., Jaenson, T.G.T., Jensen, J.-K., Jensen, P.M., Kazimirova, M., Oteo, J.A., Papa, A., Pfister, K., Plantard, O., Randolph, S.E., Rizzoli, A.,Santos-Silva, M.M., Sprong, H., Vial, L., Hendrickx, G., Zeller, H. & Van Bortel, W. 2013. Driving forces for changes in geographical distribution of Ixodes ricinus ticks in Europe. Parasites & Vectors 6:1.

Meier, H.E.M. 2015. Projected change – Marine Physics. Julkaisussa: The BACC II Author Team. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer International Publishing AG Switzerland. 243–252.

Meier, H.E.M., Hordoir, R., Andersson, H.C., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B.G., Höglund, A. & Schimanke, S. 2012. Modeling the combined impact of changing climate and changing nutrient loads on the Baltic Sea environment in an ensemble of transient simulations for 1961–2099. Clim Dyn. 39. 2421–2441.

Melis, C., Herfindal, I., Kauhala, K., Andersen, R. & Høgda, K.-A. 2010. Predicting animal performance through climatic and plant phenology variables: The case of an omnivore hibernating species in Finland. Mamm. Biol. 75. 151–159.

Mikkola, K. & Virtanen, T. 2006. Ilmaston ja maastonmuotojen vaikutus männyn metsänrajaan. Julkaisussa: Nikula, A. & Varmola, M. (toim.). Ilmastonmuutos Lapissa – Näkyvätkö muutokset – sopeutuuko luonto?. Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 25. 14–24.

Mills, L. S., Bragina, E. V., Kumar, A. V., Zimova, M., Lafferty, D. J. R., Feltner, J., Davis, B. M., Hackländer, K., Alver, P. C., Good, J. M., Melo-Ferreira, J., Dietz, A., Abramov, A. V., Lopatina, N. & Fay, K. 2018. Winter color polymorphisms identify global hot spots for evolutionary rescue from climate change. Science. 359: 1033–1036.

Moen, K., Aune, K., Edenius, L. & Angerbjörn, A. 2004. Potential effects of climate change on treeline position in the Swedish mountains. Ecology and Society. 9(1): 16.

Nasrolahi, A., Havenhand, J., Wrange, A.-L. & Pansch, C. 2016. Population and life-stage specific sensitivities to temperature and salinity stress in barnacles. Sci. Rep. 6. 32263.

Neumann, T., Eilola, K., Gustafsson, B., Müller-Karulis, B., Kuznetsov, I., Meier, M. & Savchuk, O. 2012. Extremes of temperature, oxygen and blooms in the Baltic Sea in a changing climate. Ambio, 41: 6, 574–585.

Niemelä, P., Tolvanen, H., Rönkä, M., Kellomäki, S., Kurg, J., Schurgers, G., Lehikoinen, E. & Kalliola, R. 2015. Environmental impacts – Coastal ecosystems, birds and forests. Julkaisussa: The BACC II Author Team. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer International Publishing AG Switzerland. 291–306.

Niittynen, P. 2019. Sähköinen tiedonanto. 10.11.2019. Julkaisematon.

Niittynen, P., Heikkinen, R. K. & Luoto, M. 2018. Snow cover is a neglected driver of Arctic biodiversity loss. Nature Climate Change. 8. 997–1001.

Niskanen, A.K.J, Niittynen, P., Aalto, J., Väre, H. & Luoto, M. 2019. Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. Diversity and Distributions. 25: 809–821.

Norokorpi, Y., Mäkelä, K., Tynys, S., Heikkinen, R., Kumpula, J., Sihvo, J., Eeronheimo, H., Eurola, S., Johansson, P., Neuvonen, S. & Virtanen, R. 2008. Tunturit. Julkaisussa: Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 8/2008. 175–214.

Olofsson, J., Oksanen, L., Callaghan, T., Hulme, P. E., Oksanen, T. & Suominen, O. 2009. Herbivores inhibit climate-driven shrub expansion on the tundra. Global Change Biology. 15(11). 2681–2693.

Pedersen, Å, Ø., Blanchet, M.-A., Hörnell-Willebrand, M., Jepsen, J. U., Biuw, M. & Fuglei, E. 2014. Rock ptarmigan (*Lagopus muta*) breeding habitat use in northern Sweden. Journal of Ornithology. 155(1). 195–209.

Peltola, H., Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1999. Model computations of the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. Climatic Change. 51:1. 17–36.

Peltola, H., Kilpeläinen, A. & Kellomäki, S. 2002. Diameter growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration under boreal conditions. Tree Physiol. 22(14). 963–972.

Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A., Tyntys, S., Anttonen, M., Johansson, P., Kumpula, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Suominen, O., Turunen, M., Virtanen, R. & Väre, H. 2018. Tunturit. Julkaisussa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö. Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 255–313.

Rasmus, S., Kumpula, J. & Jylhä, K. 2014. Suomen poronhoitoalueen muuttuvat talviset sääolosuhteet. Terra. 126(4). 169–185.

Ravolainen, V. T., Bråthen, K. A., Yoccoz, N. G., Nguyen, J. K & Ims, R. A. 2014. Complementary impacts of small rodents and semi-domesticated ungulates limit tall shrub expansion in the tundra. Journal of Applied Ecology. 51. 234–241.

Reinikainen, M., Ryttäri, T., Kanerva, T., Kekäläinen, H., Koskela, K., Kunttu, P., Mussaari, M., Numers, M., Rinkineva-Kantola, L., Sievänen, M. & Syrjänen, K. 2018. Itämeren rannikko. Julkaisussa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö. Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 63–80.

Roudier, P, Andersson, J., Donnelly, C., Feyen, L., Greuell, W. & Ludwig, F. 2015. Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2 °C global warming. Climatic Change. 135: 2. 341–355.

Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen M. 2016a. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. Geophysica 51(1). 17–50.

Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venäläinen, A., Räisänen, P. & Peltola, H. 2017. Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. Climate Dynamics, 50: 3–4, 1177–1192.

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. 2016b. Terminen kasvukausi lämpänevässä ilmastossa. Terra 128: 1, 1–15.

Räisänen, J. & Eklund, J. 2012. 21st Century changes in snow climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models. Clim. Dyn. 38. 2575–2591.

Seinä, A., Palosuo, E. & Grönvall, H. 1997. Merentutkimuslaitoksen jääpalvelu 1919–1994. MERI – Report series of the Finnish institute of marine research No. 32.

Shikano, T., Järvinen, A., Marjamäki, P., Kahilainen, K.K. & Merilä, J. 2015. Genetic variability and structuring of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) populations in northern Fennoscandia. PLoS ONE 10(10): e0140344.

Sihvo, J. 2002. Ylä-Lapin luonnonhoitoalueen ja Urho Kekkosen kansallispuiston luontokartoitus. Loppuraportti osa 2: Ylä-Lapin luontotyypit. Metsähallitus, Vantaa. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, Sarja A 137. 175 s.

Storch, H., Omstedt, A., Pawlak, J. & Reckermann, M. 2015. Introduction and Summary. Julkaisussa: The BACC II Author Team. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer International Publishing AG Switzerland. 1–22.

Takolander, A. 2018. Assessing the effects of climate change on Baltic Sea macroalgae – implications for the foundation species *Fucus vesiculosus* L. Väitöskirja. University of Helsinki. 60 s.

Tiainen, J., Mikkola-Roos, M., Below, A., Jukarainen, A., Lehikoinen, A., Lehtiniemi, T., Pessa, J., Rajasärkkä, A., Rintala, J., Sirkiä, P. & Valkama, J. 2016. Suomen lintujen uhanalaisuus 2015 – The 2015 red list of Finnish bird species. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. 49 s.

Turunen, M., Mikkola, K., Neuvonen, S., Johansson, P., Anttonen, M., Norokorpi, Y., Saikkonen, A. & Mäkelä, K. 2018. Suomen tunturiluonto ja ilmastonmuutos. Julkaisussa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö. Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 287–298.

Urho, L. 2011. Kalasto-, kalakantamuutokset ja vieraslajit ilmaston muuttuessa. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki. RTKL:n työraportteja 6/2011. 111 s.

Venäläinen, A., Lehtonen, I., Ruosteenoja, K., Laapas, M. & Pirinen, P. 2019. Miten Suomen ilmasto muuttuu tulevaisuudessa. Ilmatieteen laitos, Sään ja ilmastonmuutoksen vaikutustutkimus. Esitys 28.1.2019.

Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Lahtinen, R. & Heikinheimo, M. 2001. The influence of climatic warming on soil frost in case of snow-free surfaces in Finland. Climatic Change. 50: 1–2. 111–128.

Vetter, S. G., Ruf, T., Bieber, C. & Arnold, W. 2015. What is a mild winter? Regional differences in within-species responses to climate change. PLoS ONE 10(7): e0132178.

Viitasalo, M. 2019. Itämeren tilan ja käytön kehitys. Julkaisussa: Korpinen, S., Laamanen, M., Suomela, J., Paavilainen, P., Lahtinen, T. & Ekebom, J. (toim.). 2019. Suomen meriympäristön tila 2018. SYKE:n julkaisuja 4. Grano, Helsinki. 218–228.

Viitasalo, M., Blenckner, T., Gårdmark, A., Kaartokallio, H., Kautsky, L., Kuosa, H., Lindegren, M., Norkko, A., Olli, K. & Winker, J. 2015. Environmental Impacts – Marine Ecosystems. Julkaisussa: The BACC II Author Team. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer International Publishing AG Switzerland. 363–380.

Virkkala, R. 2019. Sähköinen tiedonanto. 2.9.2019. Julkaisematon.

Virkkala, R., Heikkinen, R. K., Kuusela, S., Leikola, N. & Pöyry, J. 2019. Significance of protected area network in preserving biodiversity in a changing northern Europe climate. Julkaisussa: Filho, W. L., Barbir, J & Preziosi, R. (toim.). Handbook of climate change and biodiversity. Springer, Switzerland. 377–390.

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.

Virkkala, R. & Lehikoinen, A. 2017. Birds on the move in the face of climate change: High species turnover in northern Europe. Ecol. Evol. 7: 8201–8209.

Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. 2011. Climate change affects population of northern birds in boreal protected areas. Biol. Lett. 7. 395–398.

Virkkala, R., Rajasärkkä, A., Heikkinen, R. K., Kuusela, S., Leikola, N. & Pöyry, J. 2018. Birds in boreal protected areas shift northwards in the warming climate but show different rates of population decline. Biological Conservation. 226. 271–279.

Vuorinen, I. 2017. Itämeren muuttuva ekosysteemi. Tieteessä tapahtuu. 3. 17–22.

Vuorinen I., Hänninen, J., Rajasilta, M., Laine, P., Eklund, J., Montesino-Pouzols, F., Corona, F., Junker, K., Meier, H. E. M. & Dippner, J. W. 2015. Scenario simulations of future salinity and ecological consequences in the Baltic Sea and adjacent North Sea areas-implications for environmental monitoring. Ecological Indicators. 50. 196–205.

Vuorinen, K. E. M., Oksanen, L., Oksanen, T., Pyykkönen, A., Olofsson, J. & Virtanen, R. 2017. Open tundra persist, but arctic features decline – Vegetation changes in the warming Fennoscandian tundra. Global Change Biology. 1–14.

WWF Suomen raportti. 2016. Jäähyväiset? Raportti ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomen arktiseen eläinlajistoon. Fritze, J., Luukkonen, J., Tolvanen, P. & Vilhunen, S. (toim.). WWF Suomen raportteja nro 35. 19 s.