

Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa - esiselvitys

**Kaisu Aapala, Anu Akujärvi, Risto Heikkinen, Anna Kuhmonen,
Saija Kuusela, Niko Leikola, Ninni Mikkonen, Olli Ojala,
Pekka Punntila, Juha Pöyry, Anne Raunio, Kimmo Syrjänen,
Petteri Vihervaara ja Raimo Virkkala**



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTTEJA 23 | 2017

Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa - esiselvitys

**Kaisu Aapala, Anu Akujärvi, Risto Heikkinen, Anna Kuhmonen,
Saija Kuusela, Niko Leikola, Ninni Mikkonen, Olli Ojala,
Pekka Punttila, Juha Pöyry, Anne Raunio, Kimmo Syrjänen,
Petteri Vihervaara ja Raimo Virkkala**

Helsinki 2017

Suomen ympäristökeskus



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 23 | 2017

Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Luontoympäristökeskus

Julkaisun otsikko: Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa – esiselvitys

Kirjoittajat: Kaisu Aapala, Anu Akujärvi, Risto Heikkinen, Anna Kuhmonen, Saija Kuusela,
Niko Leikola, Ninni Mikkonen, Olli Ojala, Pekka Punttila, Juha Pöyry, Anne Raunio,
Kimmo Syrjänen, Petteri Vihervaara ja Raimo Virkkala

Översättning: Pimma Åhman
Translation: Sonja Virta

Rahoittaja: Ympäristöministeriö

Vastaava erikoistoimittaja: Terhi Rytteri

Kannen kuva: Kimmo Syrjänen
Taitto: Ritva Koskinen

Julkaisu on saatavana vain internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke sekä
ostettavissa painettuna SYKE:n verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11-4854-5 (PDF)
ISBN 978-952-11-4853-8 (nid.)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)
ISSN 1796-1718 (pain.)

Julkaisija ja kustantaja:
Suomen ympäristökeskus (SYKE)
PL 140, 00251 Helsinki,
puh. 0295 251 000,
syke.fi

Julkaisuvuosi: 2017

TIIVISTELMÄ

Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa - esiselvitys

Suomen ilmasto tulee muuttumaan jo lähivuosikymmeninä. Vuotuisen sademäärän on ennustettu lisääntyvän Suomessa 8 - 20 % ja lämpötilojen nousevan Suomessa 1,5 - 2 kertaa nopeammin kuin maapallolla keskimäärin, eli 2 - 6 astetta vuosisadan loppuun mennessä.

Ilmastonmuutoksella ennakoidaan olevan merkittävä vaikutus suojelualueverkoston kykyyn turvata luonnon monimuotoisuutta. Luonnonsuojelu onkin huomattavien haasteiden edessä, sillä suojelualuesuunnittelussa ei ole yleensä varauduttu voimakkaisiin muutoksiin. Näiden haasteiden hallintaa vaikeuttaa myös ilmastonmuutoksen vaikutusten ennustamiseen liittyvät epävarmuudet.

Suojelualueverkoston riittävyttä ja kykyä säilyttää luonnon monimuotoisuus muuttuvassa ilmastossa voidaan arvioida eliölajiston, luontotyyppien ja ekosysteemien levinneisyyden ja ekologisten piirteiden, sekä ilmastonmuutoksen voimakkuuden alueellisten erojen ja suojelualueiden biogeofysikaalisten tekijöiden avulla. Tietoa tarvitaan erityisesti lajien ja luontotyyppien herkkyydestä ilmastonmuutokselle. Maisematason arvioinneissa voidaan käyttää yleisluonteisia kriteereitä kuten suojelualueiden määrä ja puskurialueiden laajuus, ekologisten käytävien esiintyminen ja maisemamatriisin soveltuvuus lajien leviämiseen. Itse suojelualueita voidaan arvioida niiden koon, maanpinnan muotojen ja elinympäristöjen monipuolisuuden, pienilmastollisten refugioiden esiintymisen sekä paikallisen ilmastonmuutoksen voimakkuuden perusteella.

Suojelualueverkoston arvioinnissa tulee huomioida myös verkoston ulkopuolisen maankäytön vaikutuksia, sillä suojelualueiden ulkopuolella monimuotoisuutta turvaavilla toimilla voidaan edistää verkoston sopeutumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyvät toimet (esimerkiksi talousmetsissä) ja muu maankäyttö voivat toisaalta johtaa luonnon monimuotoisuudelle haitallisiin vaikutuksiin suojelualueverkoston sisällä ja laajemminkin.

Toimivien ekologisten yhteyksien säilyttäminen on keskeistä muuttuvassa ilmastossa. Suomen lajistoon tulee täydennystä valtion rajojen ulkopuolelta. Siksi olisi tärkeää selvittää, kuinka hyvin erilaiset rajat ylittävät ekologiset käytävät, kuten Fennoskandian vihreä vyöhyke, toimivat lajien liikkumisreitteinä muuttuvassa ilmastossa.

Luonnonsuojelualueverkosto on merkittävä ekosysteemipalvelujen tuottaja muuttuvassa ilmastossa. Yksi tärkeä suojelualueiden tuottama ekosysteemipalvelu on toimiminen hiilivara-
rastona ja hiilinieluna. Siten suojelualueverkostolla on merkitystä ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeutumisessa, mutta tätä asiaa ei ole aiemmin tutkittu Suomessa.

Asiasanat: suojelualueverkosto, ilmastonmuutos, lajit, elinympäristöt, luontotyypit, biogeofysikaaliset tekijät, ekosysteemipalvelut, ilmastoviisas luonnonsuojelu

SAMMANDRAG

Nätverket av naturskyddsområden och klimatförändringen – förutredning

Finlands klimat kommer att förändras redan under de närmaste årtiondena. Den årliga nederbörden förutspås öka i Finland med 8–20 procent. Temperaturen i Finland väntas öka 1,5–2 gånger snabbare än på jorden i genomsnitt, vilket betyder att temperaturen här stiger med 2–6 grader före slutet av århundradet.

Klimatförändringen förutspås ha en betydande inverkan på skyddsområdesnätverkets förmåga att trygga den biologiska mångfalden. Naturskyddet står inför stora utmaningar, eftersom man inom skyddsområdesplaneringen i allmänhet inte har förberett sig på stora förändringar. Det är också svårt att hantera dessa utmaningar på grund av de osäkerhetsfaktorer som ingår i förutspående av klimatförändringens konsekvenser.

Man kan bedöma skyddsområdesnätverkets tillräcklighet och förmåga att bevara den biologiska mångfalden då klimatet förändras med hjälp av arternas, naturtypernas och ekosystemens utbredning och ekologiska egenskaper samt de regionala skillnaderna i klimatförändringens intensitet och skyddsområdenas biogeofysikaliska faktorer. Man behöver uppgifter speciellt om hur känsliga olika arter och naturtyper är för klimatförändring. Vid bedömning på landskapsnivå kan man använda allmänna kriterier, såsom antal skyddsområden och buffertområdenas storlek, förekomst av ekologiska korridorer och landskapsmatriens lämplighet för arternas spridning. Själva skyddsområdena kan man bedöma utgående från deras storlek, topografi och livsmiljöernas mångsidighet, förekomsten av mikroklimatsrefugier samt den lokala klimatförändringens intensitet.

Vid bedömningen av skyddsområdesnätverket ska man ta i beaktande även effekten av markanvändningen utanför själva nätverket, eftersom man genom åtgärder som tryggar biodiversiteten utanför skyddsområdena kan främja nätverkets anpassning till klimatförändringen. Åtgärder för anpassning till klimatförändringen (t.ex. i ekonomiskogar) och annan markanvändning kan å andra sidan ha negativa konsekvenser för den biologiska mångfalden inom skyddsområdesnätverket och även utanför det.

Det är mycket viktigt att bevara välfungerande ekologiska korridorer då klimatet förändras. Finlands arter får påfyllnad från områden utanför våra gränser. Därför är det viktigt att man utreder hur väl olika slags gränsöverskridande ekologiska korridorer, såsom det fennoskandiska gröna bältet, fungerar som förflytningsrutter för olika arter då klimatet förändras.

Nätverket av naturskyddsområden är en betydande producent av ekosystemtjänster under klimatförändringen. En dylik viktig ekosystemtjänst är att skyddsområdena fungerar som kolförråd och kolsänkor. På detta sätt spelar skyddsområdesnätverket en viktig roll i dämpandet av och anpassningen till klimatförändringen. Denna fråga har emellertid inte undersökts tidigare i Finland.

Nyckelord: skyddsområdesnätverk, klimatförändring, arter, livsmiljöer, naturtyper, biogeofysikaliska faktorer, ekosystemtjänster, klimatsmart naturskydd

SUMMARY

Protected area network in the changing climate – preliminary report

The climate in Finland will change already in the upcoming decades. The annual precipitation is predicted to increase by 8 to 20 %, and the temperatures to rise 1.5 to 2 times faster in Finland compared to the global average, i.e. 2 to 6 degrees by the end of the century.

Climate change is anticipated to have a significant impact on the ability of the protected area network to protect biodiversity. Therefore, nature conservation faces considerable challenges as protected area planning tends not to provide for large changes. The uncertainties regarding the predictions on the impacts of climate change also hinder managing these challenges.

The sufficiency and the ability of the protected area network to preserve natural diversity in the changing climate can be assessed by examining the distribution and ecological characteristics of the biota, habitat types and ecosystems, as well as the regional differences in the intensity of climate change, and the biogeophysical factors of conservation areas. Information on the sensitivity of species and habitat types to climate change is especially needed. General criteria such as the number of conservation areas and the extent of buffer zones, the occurrence of ecological corridors, and the suitability of the landscape matrix for the distribution of species can be applied to landscape-level assessments. The conservation areas themselves can be assessed through their size, the diversity of landforms and habitats, the occurrence of micro-climatic refugia and the local intensity of climate change.

The assessment of the protected area network must also take into consideration the effects of land use outside the network because actions preserving diversity outside the conservation areas can advance adapting the network to the impacts of climate change. Measures concerning adapting to climate change (e.g. in commercial forests) and other land use may lead to harmful effects to natural diversity within the protected area network or even more widely.

Preserving functioning ecological connections is integral in the changing climate. New species will cross the Finnish border, adding to the current taxa in Finland. Therefore it would be important to determine how well ecological corridors that cross different borders, such as the Green Belt of Fennoscandia, function as migration routes in the changing climate.

The protected area network is a significant provider of ecosystem services in the changing climate. Conservation areas provide important ecosystem services by e.g. functioning as carbon storages and carbon sinks. The protected area network thus has significance in mitigating climate change and adapting to it, but the topic has not been studied in Finland previously.

Keywords: protected area network, climate change, species, habitats, habitat types, biogeophysical factors, ecosystem services, climate-smart conservation

ESIPUHE

Suomen luonnonsuojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa -esiselvitys toteutettiin vuonna 2016 Suomen ympäristökeskuksessa ympäristöministeriön rahoituksella. Tähän raporttiin on koottu esiselvityksessä tunnistetut merkittävimmät tutkimusaiheet ja tietotarpeet, joilla suojelualueverkoston toimivuutta ja kattavuutta voidaan arvioida ilmaston- ja maankäyttömuutosten aiheuttamien uhkien paineessa. Raportti pohjautuu kirjallisuuskatsaukseen ja asiantuntijatyöpajan tuloksiin.

Esiselvityksen pohjalta on vuonna 2017 aloitettu tutkimushanke ”Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa” (SUMI). Suomen ympäristökeskus toteuttaa kolmi-vuotisen hankkeen yhteistyössä muun muassa Ilmatieteen laitoksen kanssa. Hankkeen ohjausryhmässä on edustus lisäksi ympäristöministeriöstä, maa- ja metsätalousministeriöstä, luonnontieteellisestä keskusmuseosta LUOMUKSESTA, Luonnonvarakeskuksesta, Metsähallituksen Luontopalveluista ja Metsähallitus Metsätalous Oy:stä. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimii ympäristöneuvos Mikko Kuusinen ympäristöministeriöstä.

Luonnonsuojelualueverkoston arviointi ilmastonmuutoksen näkökulmasta on nyt erittäin ajankohtaista. Hanke pyrkii tuottamaan tietoa verkoston avulla suojeltavien lajien ja luontotyyppien sopeutumiskyvystä ilmastonmuutokseen, unohtamatta maankäytön aiheuttamia paineita ja ilmastonmuutoksen ja maankäytön yhteisvaikutuksia. Lopputuloksena on tutkittuun tietoon pohjautuva käsitys Suomen luonnonsuojelualueverkoston kyvystä säilyttää luonnon monimuotoisuutta muuttuvassa ilmastossa. Pitkän tähtäimen tavoitteena on niin kutsuttu ilmastoviisas luonnonsuojelu, jota tämä raportti ja sen pohjalta käynnistynyt tutkimushanke osaltaan edistävät.

Helsingissä kesäkuussa 2017

Saija Kuusela

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANDRAG	4
SUMMARY	5
ESIPUHE	6
1 Tausta ja tavoitteet	9
2 Ennustetut muutokset Suomen ilmastossa	11
3 Strategioiden ja toimintaohjelmien näkökulma luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen ja ilmaston muutokseen	15
3.1 Ilmastomuutos luonnon monimuotoisuuden turvaamisen ja hoidon strategioissa ja toimintaohjelmissa	15
3.2 Luonnon monimuotoisuus ilmastomuutoksen hillinnän ja sopeutumisen strategioissa ja toimintaohjelmissa	20
4 Suojelualueverkoston kattavuus ja toimivuus muuttuvassa ilmastossa – tutkimusmenetelmät ja suojelusuunnittelu	25
4.1 Johdanto	25
4.2 Ilmastomuutos ja havaitut muutokset luonnonsuojelualueilla	27
4.3 Ennustetut vaikutukset lajien levinneisyyteen ja uhanalaistumiseen – arviointi- ja mallinnusmenetelmät, alueiden ja lajien priorisointi.....	29
4.3.1 Bioklimaattiset mallit	29
4.3.2 Spatiaaliset suojelupriorisointimenetelmät ja lajiennusteet	34
4.3.3 Lajien ‘haavoittuvuus’ ilmastomuutokselle.....	37
4.3.4 Lajien leviäminen eli dispersaali	40
4.3.5 Ekologiset käytävät.....	42
4.4 Ilmastomuutokselle herkät luontotyypit ja elinympäristöt.....	45
4.5 Suojelualueiden topografian, pienilmaston ja muiden paikallisten tekijöiden merkitys.....	46
4.6. Suojelusuunnittelu ja luonnonsuojelualueiden hoito muuttuvassa ilmastossa	50
5 Suomessa tehty ilmastomuutoksen vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen koskeva tutkimus	63
5.1 Johdanto	63
5.2 Globaalit tutkimusteemat	64
5.2.1 Globaali vaikutustutkimus	64
5.2.2. Suojelualueverkoston suunnittelua käsittelevä tutkimus.....	66
5.3 Suomea koskeva tutkimus	68
5.3.1 Ilmastomuutoksen havaittuja vaikutuksia koskeva tutkimus.....	68
5.3.2 Ilmastomuutoksen ennustettuja vaikutuksia Suomessa koskeva tutkimus	73
5.3.3 Paleoilmaston ja –kasvillisuuden tutkimus.....	78
6 Suojelualueiden ulkopuolisten metsäympäristöjen monimuotoisuuden suojelu ja ilmastomuutokseen sopeutuminen	81
6.1 Taustaa.....	81
6.2 Monimuotoisuuden turvaamisen ja ilmastomuutokseen varautumisen ohjaukset	85
6.3 Metsähallituksen Metsätalouden ympäristöopas	86
6.4 Metsäsertifiointit PEFC ja FSC	87

6.5 Metsänhoidon suositukset.....	88
6.6 WWF:n metsänhoitosuositukset.....	89
6.7 METSO-ohjelma	89
6.8 Ilmastonmuutokseen varautumisen ja monimuotoisuuden turvaamisen samanaikainen tarkastelu	90
6.9 Tutkimustarpeita	92
7 Luonnonsuojelualueverkosto ekosysteemipalvelujen tuottajana muuttuvassa ilmastossa	95
7.1 Taustaa.....	95
7.2 Funktionaalinen diversiteetti eli toiminnallinen monimuotoisuus.....	95
7.3 Suojelualueiden hiilitase, albedo ja aerosolit	96
7.4 Suojelualueiden ravinnetase.....	97
7.5 Suojelualueiden matkailu- ja virkistyskäyttö.....	97
8 Yli valtakunnallisten rajojen ulottuvien ekologisten yhteyksien turvaaminen	101
9 Suojelualueverkosto ja ilmastonmuutos – keskeiset tutkimusteemat	107
9.1 Suojelualueverkostoon luettavat alueet	108
9.2 Keskeiset tutkimusteemat	108
9.2.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset suojelualueiden eliölajistoon.....	108
9.2.2 Luontotyypit ja ilmastonmuutos	110
9.2.3 Suojelualueiden biogeofysikaalisten tekijöiden merkitys muuttuvassa ilmastossa.....	111
9.2.4 Suojelualueiden ulkopuolinen maankäyttö ja ilmaston- muutokseen sopeutuminen	112
9.2.5 Ekosysteemipalvelut.....	113
9.2.6 Valtakunnan rajat ylittävät ekologiset yhteydet	115
9.2.7 Luonnonsuojelualueiden hoito ja ennallistaminen muuttuvassa ilmastossa.....	115
9.2.8 Kohti ilmastoviisasta luonnonsuojelua.....	116
Viitteet luvuittain	118
Liite I. Ilmastonmuutos ja luonnon monimuotoisuus EU:n ja kansallisissa strategioissa ja toimintaohjelmissa	142

1 Tausta ja tavoitteet

Suomen suojelualueverkosto on muodostunut pitkän ajan kuluessa erilaisten - usein luontotyyppikohtaisten ohjelmien - tavoitteiden mukaan valituista alueista sekä lajien ja luontotyyppien suojeluun liittyvistä pienialaisista kohteista. Suojelualueverkoston pinta-alasta suurin osa kuuluu Natura 2000 -verkostoon. Luontotyyppien suojelua on toteutettu lisäksi muun muassa luonnonsuojelulain, metsälain ja vesilain avulla sekä kaavoituksen yhteydessä. Viime vuosina merkittävin metsäisiin luontotyypeihin keskittynyt monimuotoisuuden turvaamisväline ja suojelualueverkostoa täydentänyt toimenpide on ollut maanomistajien vapaaehtoisuuteen perustuva METSO-ohjelma.

Luonnonsuojelualueverkostoa on syytä tarkastella aika ajoin eri näkökulmista sen kehittämistarpeiden selvittämiseksi. Suomessa luonnonsuojelualuejärjestelmän edustavuutta ja toimivuutta sekä kehittämistarpeita arvioitiin Suomen ympäristökeskuksen vetämässä Suojelualueverkoston arviointi (SAVA) -hankkeessa vuosina 1997–2001. Arvioinnissa tarkasteltiin erityisesti metsiä, soita ja sisävesiä (esimerkiksi Heikkinen ym. 2000; Virkkala ym. 2000; Aapala 2001; Toivonen ym. 2004). Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ei SAVA-hankkeessa tutkittu.

Viimeisen kahden vuosikymmenen aikana on kiinnitetty kasvavaa huomiota muuttuvan ilmaston merkitykseen luonnonsuojelulle. Suomessa ja Suomen lähialueilla tutkimusteema onkin hyvin keskeinen, sillä ilmaston ennustetaan lämpenevän pohjoisilla alueilla huomattavasti, ja suhteessa voimakkaammin kuin maapallon muissa osissa (esimerkiksi ACIA 2005; Post ym. 2009). Siksi on tarpeen toteuttaa suojelualueverkoston kattavuuden, toimivuuden ja kehittämistarpeiden uusi kansallinen arviointi, jossa huomioidaan myös ilmastonmuutos ja sen yhteisvaikutukset maankäytön muutosten kanssa.

Tämän esiselvityksen tavoitteena on tunnistaa keskeisimmät tutkimustarpeet ja -menetelmät, joilla suojelualueverkoston toimivuutta ja kattavuutta ilmaston- ja maankäytön muutosten näkökulmasta voidaan arvioida. Esiselvityksessä arvioidaan myös sitä, minkälaisia suojelubiologisia kysymyksiä on mahdollista analysoida nykyisin käytettävissä olevilla tutkimusaineistoilla ja -menetelmillä. Lisäksi tarkastellaan, kuinka suojelualueiden ulkopuolisilla alueilla toteutettavat monimuotoisuutta turvaavat toimenpiteet voivat edistää sopeutumista ilmastonmuutokseen, mikä on suojelualueverkoston rooli ekosysteemipalvelujen tuottajana muuttuvassa ilmastossa sekä mikä on yli valtakunnan rajojen ulottuvien ekologisten yhteyksien merkitys.

Suojelualueverkoston uusi arviointi kytkeytyy vahvasti sekä kansallisen että EU:n biodiversiteetti 2020 strategioiden tavoitteisiin (Valtioneuvosto 2012; European Commission 2011). Se liittyy myös käynnissä oleviin uusiin luontotyyppien (valmistuu vuonna 2018) ja lajien (valmistuu vuonna 2020) uhanalaisarviointeihin, sekä vuonna 2019 valmistuviin luonto- ja lintudirektiivien raportointeihin.

Suojelualueverkoston arviointi tukee myös Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestäväen käytön kansallisen toimintaohjelman (Ympäristöministeriö 2013), erityisesti toimenpiteiden 30 ja 18, toteutusta. Toimenpiteen 30, *Lajien herkkyyys ilmastonmuutokselle*, yksi tavoite on arvioida suojelualueverkoston toimivuutta ja hoitotarvetta ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta. Toimenpiteeseen 18, *Suojelun vaikuttavuus*, sisältyy muun muassa ehdotus hallinnonalojen yhteistyönä toteutettava kansallisesta suojelualueiden kehittämissuunnitelmasta. Kehittämissuunnitelma sisältää arvion suojelualueverkoston kytkeytyvyydestä, ekologisesta edustavuudesta ja kattavuudesta maantieteellisesti luontotyyppiryhmittäin sekä ehdotukset suojelualueverkoston kehittämiseksi pitkällä aikavälillä tarvittavista toimenpiteistä. Kehittämissuunnitelman laatimisessa otetaan huomioon ilmastonmuutos.



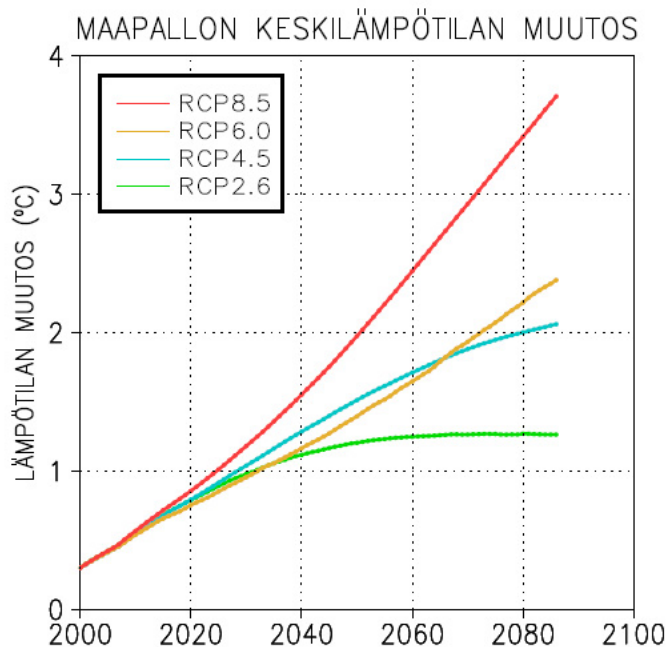
Kuva: Kaisu Aapala

2 Ennustetut muutokset Suomen ilmastossa

Ihmisen aiheuttama ilmastonmuutos on käynnissä ja Suomenkin ilmasto tulee muuttumaan jo lähivuosikymmeninä. Lämpötilojen arvioidaan nousevan Suomessa 1,5-2 kertaa niin nopeasti kuin maapallolla keskimäärin. Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen onnistumisesta riippuu nouseeko lämpötila meillä 2 vai 6 astetta vuosisadan loppuun mennessä. Ilmaston lämmitessä vuotuisen sademäärän on ennustettu lisääntyvän Suomessa 8 - 20 %. Sekä lämpötilassa että sademäärässä tapahtuvat muutokset ovat suhteellisesti suurempia talvella kuin kesällä.

Ihmiskunnan tuottamat kasvihuonekaasujen päästöt lämmittävät maapalloa tulevaisuudessa yhä enemmän. Ilmastonmuutoksen voimakkuus riippuu kasvihuonekaasujen päästöjen kehittymisestä. Ilmastomallit antavat melko samankaltaisia ennusteita maapallon keskilämpötilan muutoksesta lähivuosikymmenille, mutta sen jälkeen ennusteet eroavat (kuva 1) ja ilmastonmuutoksen hillinnän vaikutus tulee keskeiseksi. Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen vaikutus näkyy kuitenkin vasta muutaman vuosikymmenen viipeellä. (Jylhä ym. 2012; Ruosteenoja ym. 2016a)

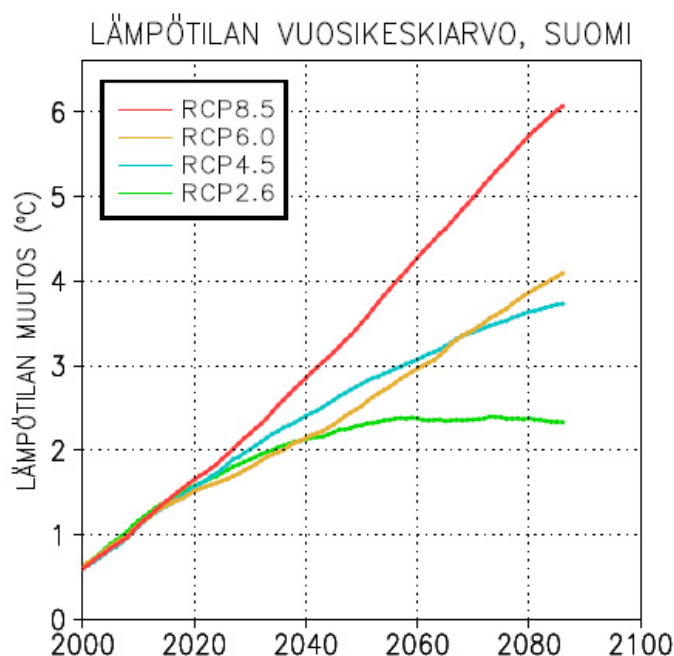
Suomen ilmastoon vaikuttaa sijainti korkeilla leveysasteilla suuren mantereen reunalla. Sään vaihteluun vaikuttaa muun muassa se, mistä suunnasta ilmavirtaukset ja liikkuvat matala- ja korkeapaineet meille kulloinkin tulevat. Luonnollinen vaihtelu selittää edelleen suuren osan säässä ja ilmastossa esiintyvistä heilahteluista, mutta ilmastonmuutos alkaa vähitellen erottua luonnollisen vaihtelun taustasta. (Jylhä ym. 2012)



Kuva 1. Maapallon keskilämpötilan muutos (°C) vuosina 2000 - 2085 verrattuna jakson 1971 - 2000 keskilämpötilaan. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastonmuutosmallin tulosten 30 vuoden liukuvaa keskiarvoa neljälle eri kasvihuonekaasuskenaariolle (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5). Verrattaessa lämpötiloja teollistumista edeltävään aikaan arvioihin on vielä lisättävä ennen 1900-luvun loppua toteutuneen lämpenemisen osuutena noin 0.5 °C. Lähde: SETUKLIM 2013.

Vuoden keskilämpötilan Suomen aluekeskiarvo on noussut viimeisen sadan vuoden (1909–2008) aikana noin 0,9 °C (Jylhä ym. 2012). Lämpeneminen on ollut tilastollisesti merkitsevää myös keväällä (1,6 °C) ja kesällä (0,7 °C). Säännöllisten lämpötilamittausten alusta, 1800-luvun puolivälistä, lähtien Suomen ilmasto on lämmennyt yli 2 °C (Tietäväinen ym. 2010; Mikkonen ym. 2014). Sekä viime vuosikymmenien aikana että pidemmällä aikavälillä eniten ovat kuitenkin lämmenneet talvet (Tietäväinen ym. 2010; Mikkonen ym. 2014).

Ilmatieteen laitos on tehnyt arvioita Suomen ilmaston tulevasta muutoksista tuoreimpien maailmanlaajuisen ilmastomallilaskelmien perusteella. Kaikkien skenaarioiden mukaan Suomen ilmasto lämpenee (kuva 2). Lämpötilojen arvioidaan nousevan 1,5–2 kertaa niin nopeasti kuin maapallolla keskimäärin. Jos uhkaavin kasvihuonekaasuskenaario RCP8.5 toteutuisi, lämpötila saattaisi nousta meillä 6 °C sadassa vuodessa. Tehokkailla päästöjen rajoituksilla (RCP2.6-skenaario) lämpeneminen saataisiin rajattua reiluun kahteen asteeseen. (SETUKLIM 2013; Ruosteenoja ym. 2016a; 2016b)



Kuva 2. Suomen vuotuisen keskilämpötilan muutos (°C) vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1971–2000 keskilämpötilaan. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvoa neljälle eri RCP-kasvihuonekaasuskenaariolle. Lähde: SETUKLIM 2013.

Talvet lämpenevät kesä enemmän, mutta koska talvilämpötilat vaihtelevat erityisen paljon luontaisestikin, myös lämpenemisennusteen epävarmuus on suurin talvella. Talvisin lämpeneminen on jonkin verran nopeampaa maan pohjoisosissa kuin etelässä, mutta kesäisin maan eri osien välillä ei ole suurta eroa lämpenemisen nopeudessa. (Jylhä ym. 2012)

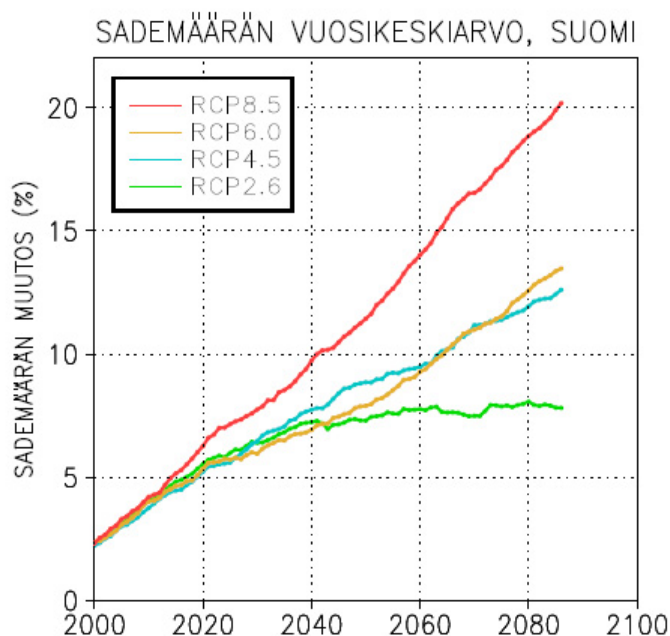
Ilmaston lämpeneminen pidentää kasvukausia ja kasvattaa lämpösummia. Jo vuosisadan alkupuoliskolla kasvukausi pidentyy suurella osalla Suomea noin kolme viikkoa, kymmenkunta päivää molemmista päistä. Rannikkoalueilla ja pohjoisimmissa Lapissa pidennystä on odotettavissa hiukan enemmän. Vuosisadan loppupuolella kasvukausi pidentyisi reilulla kuukaudella, mikäli pienempipäästöinen skenaario toteutuisi, mutta päästöjen jatkuvasti kasvaessa (RCP8.5-skenaario) kasvukaudesta tulisi jopa kaksi kuukautta nykyistä pidempi. Vuosisadan lopulle ennustettuja olo-

suhteita, hyvin korkeiden kesälämpötilojen ja pitkän päivän yhdistelmää, ei tavata tällä hetkellä missään maapallolla. (Ruosteenoja ym. 2016b)

Ilmaston lämmetessä vuotuisen sademäärän on ennustettu lisääntyvän Suomessa 8 - 20 % (kuva 3). Suhteellisesti muutos on suurempi talvella, jolloin sadepäivät yleistyvät ja sademäärät (kaikki olomuodot huomioiden) runsastuvat. Kesällä rankkasateet voimistuvat suhteessa enemmän kuin mitä koko kesän sademäärä lisääntyy ja kesäsaateet ovat jatkossakin talviaikaisia runsaampia. Sademäärän lisääntyminen kesällä on pohjoisessa hieman voimakkaampi kuin etelässä. (SETUKLIM 2013; Jylhä ym. 2012)

Lumen hupeneminen on suhteellisesti suurinta etelässä. Pohjois-Suomessa muutos on pienempi, ja voi vielä lähivuosikymmeninä hukkaa satunnaisen ilmastonvaihtelun sekaan. Lumena tulevan sateen määrä vähenee syksyllä ja keväällä, Etelä-Suomessa keskitalvellakin. Lapissa satavan lumen määrä sen sijaan lisääntynee keskitalvella. Samalla kuitenkin lumen talviaikainen sulaminen yleistyy. Ilmaston lämmetessä myös routa hupenee. (Jylhä ym. 2012)

Tuuliolot eivät muutu suuresti, mutta esimerkiksi tuulien aiheuttamien vahinkojen arvioidaan lisääntyvän maan pysyessä talvisin entistä pitempään roudattomana. (Jylhä ym. 2012)



Kuva 3. Vuotuisen sademäärän muutos (prosentteina) Suomessa vuosina 2000 - 2085 verrattuna jakson 1971 - 2000 keskimääräisiin arvoihin. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastonmuutosmallin tulosten keskiarvoa neljälle eri RCP-kasvihuonekaasuskenaariolle. Lähde: SETUKLIM 2013.



Kuva: Ninni Mikkonen

3 Strategioiden ja toimintaohjelmien näkökulma luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen ja ilmaston muutokseen

Kansallisen biodiversiteettistrategian mukaan luonnon monimuotoisuuden suojelun kannalta tärkeintä on ilmastonmuutoksen torjuminen. Vaikka ilmastonmuutoksen hillinnässä onnistuttaisiinkin, tarvitaan myös sopeutumista, sillä osa lajeista ja ekosysteemeistä on herkkiä jo pienillekin muutoksille ilmastossa. Kattavimmin luonnon monimuotoisuuden sopeutumismahdollisuuksia tukevia toimenpiteitä tarkastellaan biodiversiteettistrategiassa ja -toimintaohjelmassa sekä Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelmassa. Suoperiaatepäätöksessä käsitellään soiden eri käyttömuotojen haitallisia ilmastovaikutuksia ja niiden hillintää. Muissa monimuotoisuuden turvaamiseen liittyvissä strategioissa ja toimintaohjelmissa kiinnitetään vain vähän huomiota ilmastonmuutokseen.

Suomen pitkän aikavälin tavoite ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on hiilineutraali yhteiskunta. Keskeisiä keinoja tämän tavoitteen saavuttamisessa ovat muun muassa metsäbiomassan käytön kannattavuus ja nollapäästöisyys, hiilinielujen laskentasäännöt sekä fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopohjaisilla polttoaineilla. Nämä keinot vaikuttavat erityisesti metsien monimuotoisuuteen.

Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman mukaan ilmastonmuutoksen suurimmat ja pysyvimät vaikutukset kohdistuvat niihin toimialoihin, jotka perustuvat uusiutuviin luonnonvaroihin ja luonnon monimuotoisuuteen, kuten maa- ja metsätalous. Samat toimialat, jotka ovat voimakkaimmin vaikuttaneet Suomen luonnon monimuotoisuuden tilaan tähän mennessä, ovat siten muuttumassa eniten. Metsäpoliittisessa selonteossa tarkastellaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja sopeutumista etenkin luonnonvarojen käytön näkökulmasta, mutta samalla tarkastellaan myös keinoja metsäluonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalvelujen turvaamiseksi muuttuvassa ilmastossa.

3.1 Ilmastonmuutos luonnon monimuotoisuuden turvaamisen ja hoidon strategioissa ja toimintaohjelmissa

Lukuun on koottu keskeiset EU:n ja kansalliset monimuotoisuuden turvaamiseen ja hoitoon liittyvät strategiat ja toimintaohjelmat ja tarkasteltu niissä esiin nostettuja näkökulmia ilmastonmuutokseen. Kooste aineistosta on liitetaulukossa 1.

Vuoteen 2020 ulottuva **EU:n biodiversiteettistrategia** tunnistaa ilmastonmuutoksen yhdeksi keskeisistä luonnon monimuotoisuutta uhkaavista tekijöistä. Luonnon monimuotoisuuden suojelu nähdään strategiassa tärkeänä keinona hillitä ilmastonmuutosta ja ylläpitää luonnon hiilinieluja. Toisaalta tuodaan esiin, että sopeutumistoimenpiteet, joilla vähennetään ilmastonmuutoksen väistämättömiä vaikutuksia, ovat olennaisia myös pyrittäessä estämään luonnon monimuotoisuuden häviäminen. Strategiassa ei kuitenkaan esitetä konkreettisia ilmastonmuutoksen hillintään tai siihen sopeutumiseen liittyviä tavoitteita tai toimenpiteitä. Sen sijaan siinä korostetaan, että EU:n biodiversiteettistrategia tulisi integroida ilmastonmuutoksen hillintä- ja sopeutumisstrategioihin. (European Commission 2011)

EU:n biodiversiteettistrategiaan liittyy myös **visio luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalvelujen tilasta vuonna 2050**. Sen mukaan vuoteen 2050 mennessä

Euroopan unionin luonnon monimuotoisuutta ja sen tuottamia ekosysteemipalveluja (eli niin sanottua luontopääomaa) suojellaan, arvostetaan ja ennallistetaan sekä luonnon monimuotoisuuden itseisarvon vuoksi että ihmisten hyvinvointiin ja taloudelliseen vaurauteen oleellisesti vaikuttavina tekijöinä. Nämä toimet tehdään siten, että vältetään luonnon monimuotoisuuden häviämisen aiheuttamat katastrofaaliset muutokset. Ilmastomuutosta visiossa ei mainita. (European Commission 2011)

Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävän käytön strategian 2012–2020 tavoitteena on Suomen luonnon monimuotoisuuden köyhtymisen pysäyttäminen vuoteen 2020 mennessä. Strategian visiossa luonnon monimuotoisuuden suotuista tila ja ekosysteemipalvelut on varmistettu vuoteen 2050 mennessä. Ilmastomuutos nousee strategiassa esiin soiden, sisävesien ja niiden rantojen, Itämeren ja rannikon sekä erityisesti tuntureiden luontotyyppien tulevaisuuden uhkatekijänä. Maatalousympäristöjen joidenkin uhanalaisten lajien tilanne on parantunut osittain lämpenevän ilmaston vuoksi, mikä nostetaan esiin myönteisenä kehityksenä. Luontoympäristöjen määrän, laadun ja pirstoutumisvaaran sekä ilmastomuutokseen sopeutumisen takia on tarpeellista kehittää maankäytön suunnittelua tukevia paikallisia, alueellisia ja valtakunnallisia periaatteita ja ohjeita vihreän infrastruktuurin säilyttämiseksi ja kehittämiseksi. (Valtioneuvosto 2012d)

Luontotyyppien ja lajien sopeutumista luontaista kehitysvauhtia huomattavasti nopeampaan muutokseen on vaikea parantaa ihmisen toimin. Siksi strategiassa arvioidaan, että luonnon monimuotoisuuden suojelun kannalta tärkeintä on ilmastomuutoksen torjuminen. Lisäksi todetaan, että ilmastomuutoksen vuoksi suojelusuunnittelun tulisi olla dynaamista ja ennakoivaa ja että perinteinen käsitys luonnonsuojelualueverkostosta vaatii tutkimustietoon perustuvaa uudelleenarviointia. (Valtioneuvosto 2012d)

Strategian mukaan valtioneuvosto sitoutuu arvioimaan ilmastomuutoksen vaikutuksia luonnon monimuotoisuuden tilaan ja luonnon monimuotoisuutta koskevan yleissopimuksen toimeenpanoon nykyistä syvällisemmin, vahvistamaan tietoperustaa, parantamaan luonnonsuojelualuejärjestelmän kytkeytyvyyttä ja luomaan valmiuksia sopeutuvalla toimintapolitiikalle. Vaikka ilmastomuutosta aiheuttavien päästöjen vähentäminen on edelleen ensisijainen tavoite, myös sopeutumistoimet ovat välttämättömiä. Luonnonjärjestelmien säätelyyn perustuvien ja muiden ilmastomuutoksen torjuntatoimien vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen tulee riittävästi arvioida ennen niiden laajamittaista käyttöönottoa. (Valtioneuvosto 2012d)

Suomen biodiversiteettistrategiaan sisältyy viisi strategista päämäärää ja 20 tavoitetta, jotka tarkentavat päämäärien saavuttamista. Päämäärän 2 'Vähennetään luonnon monimuotoisuuteen kohdistuvia välittömiä paineita ja edistetään sen kestäväää käyttöä' yhtenä tavoitteena on vuoteen 2015 mennessä 'Ilmastomuutoksen vaikutusten kohteena oleviin uhanalaisiin ekosysteemeihin kohdistuvia ihmisen aiheuttamia paineita on vähennetty ekosysteemien eheyden ja toiminnan turvaamiseksi' (Tavoite 10). Lisäksi Päämäärään 4 'Luonnon monimuotoisuudesta ja ekosysteemipalveluista saatavat hyödyt turvataan kaikille' sisältyy tavoite luonnon hiilivarastojen suojelusta sekä ilmastomuutoksen torjumisen ja siihen sopeutumisen edistämistä ennallistamalla (osa tavoitteesta 15). (Valtioneuvosto 2012d)

Luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävän käytön toimintaohjelma 2013–2020 toteuttaa Suomen biodiversiteettistrategiaa. Toimintaohjelma sisältää 105 toimenpidettä, joista yhdeksässä ilmastomuutos on huomioitu (katso liite 1).

Luonnonsuojelualueverkoston kehittämisen tavoite on muodostaa kattava, tehokkaasti hoidettu, ekologisesti toimiva ja edustava suojelukohteiden verkosto. Lisäksi tavoitteena on ilmastomuutoksen vaikutuksia puskuroiva ja siihen sopeutuva, ekosysteemipalveluja ylläpitävä sekä kansallisista ja alueellisista luonnonsuojelualuejärjestelmistä koostuva luonnonsuojelualueverkosto, joka on osa yleissopimuksen edistämää maailmanlaajuista suojelualueverkostoa. (Ympäristöministeriö 2013)

Tärkeimmäksi ilmastonmuutokseen sopeutumista edistävaksi keinoksi on esitetty ekologisesti toimivia ja riittäviä luonnonsuojelualueverkostoja. Muuttuvissa olosuhteissa erityisen tärkeäksi on katsottu suojelualueiden välisten ekologisten yhteyksien parantaminen niin, että eliölajien siirtyminen maisematasolla suojelualueelta toiselle on mahdollista. Luonnontilaisten ekosysteemien säilyttäminen ja heikentyneiden ekosysteemien kunnostaminen ovat myös tärkeitä keinoja ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeutumisessa. Yhteistyössä Venäjän ja Norjan kanssa edistetään Fennoskandian vihreän vyöhykkeen luonnonsuojelualueverkoston kehittämistä. Tavoitteena on luoda vihreästä vyöhykkeestä rajat ylittävän luonnonsuojeluyhteistyön mallialue ja lisätä sen tunnettavuutta kansainvälisesti. (Ympäristöministeriö 2013)

Metsät ja suot

Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelman (METSO-ohjelma) tavoitteena on osaltaan pysäyttää metsäisten luontotyyppien ja metsälajien taantuminen ja vakiinnuttaa luonnon monimuotoisuuden suotuisa kehitys vuoteen 2025 mennessä (katso myös raportin luku 6). Toimintaohjelmassa ei tarkastella ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia metsäisiin luontotyyppeihin tai lajeihin. Ohjelmassa kuitenkin kiinnitetään huomiota siihen, että ajantasainen perustieto suojelualueiden luontotyypeistä ja lajeista on tarpeen ilmastonmuutoksen seurannassa ja muutokseen sopeutumisessa. (Valtioneuvosto 2014a)

Valtioneuvoston periaatepäätös soiden ja turvemaiden kestävästä ja vastuullisesta käytöstä sekä suojelusta sovittaa yhteen soiden käyttöä ja suojelua. Pääasiallisia keinoja ovat soita merkittävästi muuttavan toiminnan kohdentaminen ojitetuille tai luonnontilaltaan muuten merkittävästi muuttuneille soille ja turvemaille, toimialakohtaisten kestävä ja vastuullisen käytön linjausten ja toimenpiteiden toteuttaminen sekä suojeltujen soiden verkoston edustavuuden ja ekologisen toimivuuden parantaminen. Periaatepäätöksen yhtenä tavoitteena on soiden monimuotoisuuden köyhtymisen pysähtyminen ja suoluonnon tilan paraneminen ja kehittyminen kohti suotuisaa suojelutasoa. (Valtioneuvosto 2012c)

Periaatepäätöksessä ei tarkastella ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia suoluontotyyppeihin tai lajeihin. Sen sijaan soiden maankäyttömuotojen (maa- ja metsätalous, turpeen käyttö) aiheuttamat haitalliset ilmastovaikutukset (päästöt, hiilinielun ja hiilivaraston pienentyminen) ja niiden merkitys Suomen ilmastovelvoitteiden täyttämisen kannalta käydään kattavasti läpi. Samalla tuodaan esiin keinoja haitallisten ilmastovaikutusten hillitsemiseen eri käyttömuodoissa. Ilmastonmuutoksen hillintään tarvittavan tietopohjan parantaminen ja soiden ja turvemaiden käytön ohjaaminen täydentyvän tiedon pohjalta on yksi periaatepäätöksen toimenpide-ehdotuksista. (Valtioneuvosto 2012c)

Vesiluonto

Vesien kunnostusstrategia edistää vesienhoitosuunnitelmien toteutusta ja tukee toisen vesienhoitokauden (2016–2021) valmistelua. Strategian tavoitteena on muun muassa parantaa vesien ekologista ja kemiallista tilaa, vesiympäristöä sekä huolehtia luonnon monimuotoisuudesta. Strategian visiossa tai tavoitteissa ei ole mainittu ilmastonmuutosta. Yleistekstissä mainitaan, että monimuotoisilla vesiekosysteemeillä ja niiden kalakannoilla on parhaat mahdollisuudet sopeutua ilmastonmuutokseen. (Olin 2013)

Kalatiestrategian tärkeimpänä tavoitteena on uhanalaisten ja vaarantuneiden vaelluskalakantojen elinvoimaisuuden vahvistaminen. Strategiassa ei tarkastella ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia vaelluskaloihin. (Valtioneuvosto 2012a)

Pienvesien suojele- ja kunnostusstrategian tavoitteena on turvata jäljellä olevien luonnontilaisten pienvesien säilyminen ja parantaa heikentyneiden pienvesien tilaa kunnostustoimenpiteillä. Strategiassa ei tarkastella ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia pienvesiin. Ympäristövaikutusten arvioinnissa mainitaan, että pienvesien suojelella ja kunnostuksella voidaan edistää ekosysteemien kykyä sopeutua ulkoisiin muutoksiin, kuten ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. (Hämäläinen 2015)

Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelman 2016–2021 tavoitteena on parantaa meriympäristön tilaa ja vähentää siihen kohdistuvia paineita. Pyrkimyksenä on, että meriympäristön hyvä tila voidaan ylläpitää tai saavuttaa viimeistään vuonna 2020. Luonnon monimuotoisuus on koko toimenpideohjelman läpileikkaava teema, koska lähes kaikilla toimenpideohjelmassa käsitellyillä ympäristöpaineilla on vaikutusta luonnon monimuotoisuuteen. Konkreettisina toimenpiteinä Itämeren luonnon monimuotoisuuden tilan parantamiseksi esitetään merellisten suojelealueiden verkoston vahvistamista sekä vedenalaisten avainelinympäristöjen, uhanalaisten luontotyyppien ja lajien sekä Itämeren norpan suojelelun vahvistamista. Ilmastonmuutos on huomioitu toimenpideohjelmassa kattavasti ja ympäristötavoitteiden saavuttamisen arvioinnissa on tarkasteltu erikseen ilmastonmuutoksen vaikutuksia Itämeren rehevöitymiseen sekä lajeihin ja ravintoverkkoon. (Laamanen 2016)

Uhanalaiset luontotyypit ja lajit

Luontotyyppien tilan parantamisen toimintasuunnitelman tavoitteena on pysäyttää luontotyyppien uhanalaistuminen vuoteen 2020 mennessä. Toimintasuunnitelmassa käydään luontotyyppiryhmittäin läpi ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia ja merkitystä uhanalaisuuden syynä tai tulevaisuuden uhkatekijänä (katso tarkemmin tietolaatikko 3). Tutkimustarpeina nostetaan esiin luontotyyppien sopeutuminen ilmastonmuutokseen sekä ilmastonmuutosten vaikutusten arviointi ja seuranta. Lisäksi todetaan, että on tarpeen määritellä tarvittavat toimenpiteet ilmastonmuutoksen uhkaamien luontotyyppien säilymis- ja sopeutumismahdollisuuksien parantamiseksi. (Ympäristöministeriö 2011b)

Uhanalaisten lajien suojelelun toimintaohjelman tavoitteena on parantaa uhanalaisten lajien tilaa vuoteen 2020 mennessä ja pysäyttää uhanalaistumiskehitys pidemmällä tähtäimellä. Koska ilmastonmuutoksen vaikutusten torjuntaan liittyviä toimintatarpeita tarkastellaan muissa yhteyksissä, linjattiin toimintaohjelmassa, että niitä ei käsitellä kattavasti. Yleisellä tasolla tuodaan kuitenkin esiin, että ilmastonmuutoksen vaikutukset uhanalaisiin lajeihin ja niiden elinympäristöihin ovat laaja-alaisia ja usein hankalasti erotettavissa muista muutoksista, kuten populaatioiden luontaisista lyhytaikaisista kannanvaihteluista. Ilmastonmuutoksen kielteiset vaikutukset uhanalaisten lajien populaatioihin voivat olla moninaisia, ja niihin voi olla hankala vaikuttaa paikallisesti. Toimintaohjelman kehittämistarpeissa todetaan, että PUTTE-tutkimusohjelmassa tulisi ottaa huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset uhanalaisten lajien populaatioihin. Etäsuojele (ex situ) ja siirtoistutukset mainitaan mahdollisuutena saada lisää aikaa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin sopeutumiseen. (Ympäristöministeriö 2016) Ilmastonmuutoksen vaikutuksia uhanalaiseen lajistoon on tarkasteltu tietolaatikossa 2.

Muut strategiat

Fennoskandian vihreä vyöhyke on yksi Euroopan tärkeimmistä ekologisista käytävistä, joka tukee lajien sopeutumista ilmastonmuutokseen (katso myös raportin luku 8). Fennoskandian vihreä vyöhyke tarjoaa toimivat puitteet Suomen, Norjan ja Venäjän yhteistyölle monimuotoisuuden suojelussa sekä monimuotoisuuden ja ilmastonmuutoksen tutkimuksessa. Fennoskandian vihreän vyöhykkeen strategian visiossa vyöhyke on vuoteen 2020 mennessä kehitetty rajat ylittävän yhteistyön mallialueeksi, jossa otetaan huomioon luonnon monimuotoisuuden suojelu, sosiaalinen hyvinvointi ja ympäristöllisesti kestävä taloudellinen kehitys. Strategian päämäärän 1 mukaan vuoteen 2020 mennessä suojelualueiden verkostoa sekä ekologista kytkeytyvyyttä on kehitetty kolmen maan vyöhykkeellä luonnon monimuotoisuuden sekä lajien liikkumiselle riittävän pohjois-etelä- ja itä-länsisuuntaisen kytkeytyvyyden turvaamiseksi. Päämäärän toteuttamiseksi on asetettu viisi tavoitetta: 1) edustava suojelualueverkosto on perustettu, 2) suojelualueiden ekologista kytkeytyvyyttä on kehitetty, 3) suojelualueita hoidetaan siten, että lajien ja habitaattien suojelun taso on pysynyt samana ja / tai parantunut, 4) Fennoskandian vihreän vyöhykkeen avainlajit, elinympäristöt sekä sen ekosysteemien fyysiset elementit on määritetty ja kartoitettu yhtenäisillä menetelmillä sekä saatettu aineisto saataville sekä 5) yhteistyö rajat ylittävien lajien populaatioiden sekä habitaattien hoitamiseksi pitää yllä ja / tai parantaa niiden suojelun taso. (The Strategy for the development of the Green Belt of Fennoscandia until 2020).

Suomen arktinen strategia tasapainoilee toisaalta taloudellisen toiminnan kehittämisen ja toisaalta ympäristökysymysten huomioimisen kanssa. Strategian vision mukaan Suomi on aktiivinen arktinen toimija, joka osaa kestäväällä tavalla sovittaa yhteen arktisen ympäristön reunaehdot ja liiketoimintamahdollisuudet kansainvälistä yhteistyötä hyödyntäen. (Valtioneuvosto 2013)

Ilmastonmuutos tunnustetaan arktisen alueen merkittäväksi muutostekijäksi luonnonvarojen hyödyntämisen ja maankäytön muutosten ohella. Ilmastonmuutoksen torjuntaa ja sen vaikutusten hallintaa pidetään välttämättömänä arktisen alueen vakaudelle ja turvallisuudelle, ja se on keskeinen lähtökohta toiminnalle koko arktisella alueella. Ilmastonmuutos nähdään kuitenkin monelta osin myös mahdollisuutena taloudelliselle kasvuille, kun uusia kuljetusreittejä avautuu, energiavaroja ja mineraaleja otetaan käyttöön ja matkailu kasvaa. (Valtioneuvosto 2013)

Arktinen alue on yhä maapallon puhtaimpia ja luonnontilaltaan parhaiten säilyneitä alueita. Luonnon monimuotoisuuden kannalta ilmastonmuutos on keskeisin uhka ympäristön kestävämmän käytön lisäksi. Arktisen alueen luonnonsuojelualueverkoston kehittäminen on konkreettinen tapa tehostaa arktisen ympäristön suojelua ja samalla selkeyttää taloudellisen toiminnan puitteita. (Valtioneuvosto 2013)

Kansallisen vieraslajistrategian mukaan vieraslajit muodostavat elinympäristöjen häviämisen ja pirstoutumisen jälkeen maailmanlaajuisesti toiseksi suurimman luonnon monimuotoisuuden uhkatekijän. Vieraslajien haitallisia vaikutuksia luonnon monimuotoisuudelle ovat esimerkiksi kilpailu resursseista, saalistus, tautien ja loisien levittäminen sekä risteytyminen alkuperäisten lajien kanssa. Kansallisen vieraslajistrategian tavoitteena on minimoida Suomessa olevien ja Suomeen mahdollisesti saapuvien haitallisten vieraslajien aiheuttamia uhkia ja haittoja Suomen luonnolle ja luonnonvarojen hyödyntämiselle. Ilmastonmuutoksen ennustetaan lisäävän vieraslajien määrää ja niiden aiheuttamia haittoja Suomessa. Ilmaston lämpeneminen voi esimerkiksi parantaa vieraslajin lisääntymismenestystä ja vähentää luontaista kuolleisuutta. Lämpenneen ilmaston takia jo vakiintuneiden vieraslajien kannat voivat levitä nykyistä pohjoisemmaksi. Yhtenä strategian päätavoitteista on varautua ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin lisäuhkiin. (Valtioneuvosto 2012b)

3.2 Luonnon monimuotoisuus ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumisen strategioissa ja toimintaohjelmissa

Lukuun on koottu kansallisia ilmastonmuutoksen hillintään ja siihen sopeutumiseen liittyviä strategioita ja toimintaohjelmia ja tarkasteltu millä tavalla luonnon monimuotoisuuden turvaaminen on niissä huomioitu. Kooste aineistosta on liitetaulukossa 1.

Suomen pitkän aikavälin tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta. **Energia- ja ilmastotiekartta vuodelle 2050** toimii strategisena ohjeena tavoitteen saavuttamiseksi. Tiekartassa arvioidaan keinot vähähiilisen yhteiskunnan rakentamiseksi ja Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi 80–95 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Tiekartan mukaan hiilineutraaliin yhteiskuntaan siirtymisessä tärkeitä tekijöitä ovat muun muassa metsäbiomassan käytön kannattavuus ja nollapäästöisyys, hiilinielujen laskentasaännöt ja liikenteen fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopohjaisilla polttoaineilla. Metsäbiomassan laajamittaisen käytön haitalliset vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen on nostettu esiin bioenergian käytön lisäämiseen liittyvänä uhkana, mutta muutoin luonnon monimuotoisuuteen ei ole tiekartassa kiinnitetty huomiota. (Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea 2014)

Kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030 linjataan konkreettisia toimia, joilla kansalliset ja EU:n energia- ja ilmastotavoitteet saavutetaan ja edetään kohti vuoden 2050 tiekartan hiilineutraalia yhteiskuntaa. Yhtenä strategian poliittisena linjauksena on uusiutuvan energian käytön lisääminen ja energian hankinnan omavaraisuus. Tähän liittyen todetaan, että metsäbiomassan merkitys Suomessa uusiutuvan energian raaka-aineena on ratkaisevan tärkeä. Metsät ovat Suomessa myös maankäyttösektorin suurin nielu ja nielupolitiikan yhtenä linjauksena on varmistaa metsien kestävä hoito ja käyttö, mukaan lukien metsien suojeleminen. Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen tekemien metsien monimuotoisuusvaikutuksien skenaariotarkastelujen keskeinen johtopäätös oli, että runkopuun hakkuut voivat nousta tasolle 79 milj. m³/vuosi, ja samalla on mahdollista turvata metsäluonnon monimuotoisuus. Tämä edellyttää kuitenkin olemassa olevien monimuotoisuuden edistämiskeinojen tehostamista. Näitä keinoja ovat kuolleen puuston säästäminen hakkuissa nykyistä paremmin, vanhojen metsien ja arvokkaiden luontokohteiden suojelun edistäminen, puun korjuun välttäminen arvokkailta luontokohteilta, järeiden elävien säästöpuiden lisääminen uudistushakkuissa ja luonnonhoidollinen kulutus. (Valtioneuvosto 2016)

Kansallinen energia- ja ilmastostrategia pyrkii muun muassa verotuksella turvaamaan turpeen kilpailukyvyn ja käytön energian tuotannossa ja lämmön erillistuotannossa. Turpeen kaivuun monimuotoisuusvaikutuksia ei käsitellä strategian vaikutusarvioinneissa. (Valtioneuvosto 2016)

Kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumis suunnitelman 2022 päämääränä on, että suomalaisella yhteiskunnalla on kyky hallita ilmastonmuutoksen liittyvät riskit ja sopeutua ilmastossa tapahtuviin muutoksiin. Suunnitelman tavoitteena on sisällyttää sopeutuminen osaksi kaikkia toimialoja, tarjota kaikille toimijoille tarvittavat ilmatoriskien arviointi- ja hallintamenetelmät sekä lisätä yhteiskunnan sopeutumiskykyä tutkimus- ja kehitystyöllä, viestinnällä ja koulutuksella. Sopeutumis suunnitelmassa todetaan, että ilmastonmuutoksen suurimpia ja pysyvimpiä vaikutuksia kohdistuu Suomessa niihin toimialoihin, jotka perustuvat uusiutuviin luonnonvaroihin ja luonnon monimuotoisuuteen. Tällaisia aloja ovat esimerkiksi maa- ja metsätalous sekä kalatalous. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ekosysteemeihin ja luonnonvaroihin käydään sopeutumis suunnitelman taustateksteissä läpi yleisellä tasolla. Tekstissä nostetaan esiin muun muassa muutokset eliölajien ja elinympäristöjen esiintymisalueissa, vieraslajit, ekosysteemien toiminta, ilmastonmuutokselle herkimvät elinympä-

päristöt ja vesien tila. Konkreettisena luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen liittyvänä toimenpiteenä kansallisessa sopeutumissuunnitelmassa mainitaan Fennoskandian vihreän vyöhykkeen kehittäminen (toimenpide 5c). (Valtioneuvosto 2014b)

Ympäristöhallinnon ensimmäinen ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma valmistui vuonna 2008 ja se päivitettiin vuonna 2011. Toimintaohjelmassa tunnistettuja keskeisiä ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimenpiteitä ovat luonnon monimuotoisuuden seurannan tehostaminen ja seurantatietojen hallinnan kehittäminen, suojelualueverkon ekologisen toiminnallisuuden tehostaminen sekä ilmastonmuutokselle uhatuimpien eliölaajien ja luontotyyppien tunnistaminen, sekä niiden säilymis- ja sopeutumismahdollisuuksien parantamiseksi tarvittavien toimenpiteiden määrittely. Lisäksi on tarpeen tarkentaa luonnon monimuotoisuuden kannalta keskeisiä tutkimustarpeita ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi, tehostaa suojelualueiden hoidon ja käytön suunnittelua, toimeenpanoa ja vaikuttavuuden arviointia sekä arvioida ilmastonmuutoksen vaikutuksia perinnebiotooppien säilymiseen. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen otetaan ympäristöhallinnossa huomioon myös lainsäädännön, strategioiden ja toimenpideohjelmien toimeenpanossa, kuten luonnonsuojelulainsäädännön kokonaisarvioinnissa sekä vieraslajistrategiassa ja -toimenpidesuunnittelussa. (Ympäristöministeriö 2008, 2011a) Sopeutusohjelman arvioinnin perusteella luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi toteutettuja konkreettisia toimenpiteitä sopeutumiskyvyn lisäämiseksi on toistaiseksi ollut vähän, eivätkä sopeutuminen ja sopeutumiskyky olleet vielä arvioinnin aikaan juurikaan muuttuneet toimintaohjelman seurauksena (Hildén & Mäkinen 2013). Hildén ja Mäkinen muistuttavat myös, että luonnon monimuotoisuuden haavoittuvuus ilmastonmuutokselle ja luonnon monimuotoisuuden sopeutumiskyky ovat riippuvaisia muiden sektorien, erityisesti maa- ja metsätalouden toimenpiteistä.

Valtioneuvoston metsäpoliittinen selonteko 2050 ohjaa metsien käyttöä vuoteen 2050 asti (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Metsäpoliittisessa selonteossa 2050 ilmastonmuutos nähdään yhtenä esimerkkinä isoista globaaleista muutosvoimista, jotka vaikuttavat voimakkaasti koko metsäalaan. Selonteko tarkastelee ekosysteemipalveluja, monimuotoisuutta ja ilmastonmuutokseen varautumista varsinkin perusteellisesti ja tasapuolisesti sekä löytää synergiahyötyjä monimuotoisuuden turvaamisen ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen välillä.

Selonteon mukaan ekosysteemipalvelujen hyödyntäminen monipuolisesti edellyttää myös metsien hoidon ja käytön monipuolistamista erilaiset metsien käyttötarpeet yhteensovittaen. Monipuoliset ja luonnoltaan monimuotoiset metsät ovat se ekologinen perusta, jolle kaikki metsien hoito ja käyttö rakentuu. Luonnon monimuotoisuus on edellytys luonnon palautumiselle ja sopeutumiselle, ja näin ollen monimuotoisuuden köyhtyminen on tarpeen pysäyttää.

Suomalaiset metsät kasvavat nykyisin puuta enemmän kuin koskaan aikaisemmin itsenäisen Suomen aikana ja ilmastonmuutoksen seurauksena suomalaisten metsien kasvu kiihtyy entisestään erityisesti pohjoisessa ja suometsissä. Tältä osin Suomi on esimerkki alueesta, joka hyötyy ilmastonmuutoksesta.

Selonteon mukaan talousmetsien ekologinen kestävyys on tarpeen turvata myös puuraaka-aineen korjuun määrän ja korjuutapojen muuttuessa. Metsäluonnon monimuotoisuuden turvaamisen keskiössä ovat suojelualueet ja talousmetsien luonnonhoito. Luonnon monimuotoisuus ja ekologinen kestävyys tukevat myös puuntuotantoa, metsien hiilensidontaa ja metsäekosysteemin sopeutumista ilmastonmuutokseen. Luonnonsuojelualueet ovat lisäksi tärkeä osa metsien arvoa ja Suomen kansainvälistä maabrändiä. Suojelualueet jakautuvat kuitenkin tarpeeseen nähden epätasaisesti maan eri osiin; Etelä-Suomessa tiukasti suojeltujen metsien osuus on 2,3 % metsä- ja kitumaan pinta-alasta, kun Pohjois-Suomessa se on 15,8 % (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Metsäluonnon monimuotoisuuden ylläpidossa METSO -ohjelman ohjaukseen ovat keskeisiä.

Ilmastonmuutos lisäänee metsien tuhohyönteisten aiheuttamia haittoja ja muita metsätuhoja ja vaikuttaa metsien puulajisuhteisiin sekä metsälajien levinneisyyteen. Puunjalostusteollisuuden uudet tuotteet, metsien ympärille kehitettävät palvelut, metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen sekä arvojen muutos lisäävät tarvetta monipuolistaa metsien hoitoa. Selonteon tavoite monipuolistaa metsänhoitomenetelmiä on tärkeä ilmastonmuutokseen sopeutumisen edistämiseksi sekä luonnon monimuotoisuuden turvaamisessa.

Selonteko tunnistaa myös ilmastonmuutoksen mukanaan tuomia ongelmia. Ilmastonmuutoksen hillintään tähtäävillä toimilla kuten energiapuun korjuun lisäämisellä voi olla myös ei-toivottuja vaikutuksia monimuotoisuuteen. Energiapuun korjuun lisääntyminen voi johtaa lahoppuun määrän vähenemiseen ja lajien uhanalaistumisen kiihtymiseen, joka on ristiriidassa biodiversiteettipolitiikan tavoitteiden kanssa. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa myös maaperän eroosioherkkyyteen ja sitä kautta metsätalouden kuormitukseen. Ekologisesti kestävä metsätalous ottaa huomioon myös vesien ja ravinteiden kierron esimerkiksi kehittämällä vesiensuojelumenetelmiä.

Valtioneuvoston metsäpoliittisen selonteon ja eduskunnan kannanoton perusteella on laadittu **kansallinen metsästrategia 2025**, joka toimii jatkossa kansallisena metsäohjelmana. Kansallisen metsästrategia 2025:n visiona on ”metsien kestävä hoito ja käyttö on kasvavan hyvinvoinnin lähde”. Sitä tukevana strategisena tavoitteena on muun muassa ”metsät ovat aktiivisessa, taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävässä ja monipuolisessa käytössä” (Valtioneuvosto 2015). Päämääriin pyritään muun muassa kehittämällä osaamista ja hallintoa sekä metsien kestävällä hoidolla ja käytöllä. Sopeutuminen ilmastonmuutokseen ja sen hillintä ovat keskeisiä teemoja strategiassa. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkastellaan etenkin yhteiskunnallisista, taloudellisista ja metsänhoidollisista näkökulmista. Kansallinen metsästrategia 2025 keskittyy metsätalouteen ja metsien hoitoon, mutta myös monimuotoisuus on strategiassa mukana.

Strategian mukaan ’metsien kestävä hoito ja käyttö’ sisältää terminä myös metsien suojelun. Luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen on pyritty reagoimaan esimerkiksi suojelulla ja luonnonhoidolla. Strategiassa on asetettu mittareita ja tavoitteita myös monimuotoisuudelle (liite 1). Strategian keskeinen viesti on, että kehittämällä metsänhoitoa voidaan samanaikaisesti turvata sekä puubiomassan saatavuus puuta jalostavan teollisuuden käyttöön että metsien säilyminen hiilinieluna ja metsien suojelutarpeet. Strategian lähtökohtana on, että monipuolistuvan metsien hoidon ja käytön myötä voidaan hyödyntää ilmastonmuutoksen ennustettuja myönteisiä vaikutuksia, ja muutokseen liittyvät riskit saadaan pidettyä mahdollisimman pieninä.

Metsien hiilinielu on merkittävä ilmastonmuutoksen hillinnän keino Suomessa. Puun käytön lisääntyessä metsien hiilinielu pienenee ja painopistettä ilmastonmuutoksen hillinnässä siirretään fossiilisten raaka-aineiden korvaamiseen uusiutuvilla, kuten puulla. Hiilinielun eli ilmakehästä metsiin sitoutuvan hiilidioksidin määrä on vuosina 1990 - 2012 vaihdellut Suomessa 22 - 50 miljoonan tonnin välillä hiilidioksidiekvivalentteina (milj. t CO₂ ekv.), mikä vastaa vuositasolla 30 - 60 % Suomen kokonaispäästöistä. Vuoteen 2020 sovittu kansainvälinen vertailutaso on 17 - 18 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalentteina, mutta hiilinielu on ollut tätä suurempi Kansallinen metsäohjelma 2015:n tavoitetasoja pienempien hakkuiden vuoksi. Metsien aktiivisella hoidolla ja käytöllä ylläpidetään metsien hiilensidontakykyä ja samaan aikaan korvataan fossiilisia polttoaineita ja muita uusiutumattomia raaka-aineita.

Suomessa kangasmetsien maaperän hiilivaraston arvioidaan olevan noin 1 300 miljoonaa tonnia ja soiden maaperän hiilivaraston noin 5 500 miljoonaa tonnia. Puuston biomassaan on sitoutunut hiiltä noin 700 miljoonaa tonnia. Puuston hiilivarasto lisääntyy, kun puuston vuotuinen kasvu on suurempi kuin sen vuotuinen poistuma. Maaperän hiilivaraston suuruus vaihtelee kasvillisuuden kariketuotannon, sääolojen ja hakkuiden muutosten myötä. Suomessa metsäkasvillisuuden ja metsien maaperän

hiilivarastot ovat kasvaneet eli metsät ovat toimineet hiilinieluna, vaikka samanaikaisesti metsien kasvusta osa on käytetty puutuotteiden valmistukseen ja bioenergiaksi.

Monimuotoisuuden osalta strategian tavoitteena on luonnon monimuotoisuuden köyhtymisen pysäyttäminen vuoteen 2020 mennessä ja luonnon monimuotoisuudelle suotuisan tilan varmistaminen vuoteen 2050 mennessä. Metsäluonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi tarvitaan niin suojelualueita kuin talousmetsien luonnonhoitoakin. Nämä toimet sisältävät myös biodiversiteettistrategian mukaisen ennallistamisen. Erityisesti tulisi panostaa metsänkasvatuskelvottomien soiden ennallistamiseen. Monimuotoisuuden turvaamisessa keskeistä on talousmetsien käsittely, koska metsistämme noin 90 % on metsätalouden käytössä. Koska suojelualueet painottuvat Pohjois-Suomeen, nykytasoa laajempaa monimuotoisuuden suojelua tarvitaan erityisesti maan eteläosissa. Metsien kytkeytyvyyttä edistetään hyvällä alueiden käytön suunnittelulla. Strategian mukaan talousmetsien ekologinen kestävyys turvataan myös puuraaka-aineen korjuun määrän ja korjuutapojen, mukaan lukien energia-puun korjuu, muuttuessa.

Suomen kansallisen biotalousstrategian tavoitteena on luoda uutta talouskasvua ja uusia työpaikkoja biotalouden liiketoiminnan kasvulla sekä korkean arvonlisän tuotteilla ja palveluilla, mutta kuitenkin turvaten samalla luonnon ekosysteemien toimintaedellytykset. Biotalousstrategian mukaan maailman väestön nopea kasvu, ehtyvät luonnonvarat ja luonnon hupeneva monimuotoisuus sekä ilmastonmuutos edellyttävät uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvan biotalouden kehittämistä. Biotalous nähdään osaltaan kestäväenä ratkaisuna maailmanlaajuisen ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Tärkeimpiä uusiutuvia luonnonvaroja Suomessa ovat metsien, maaperän, peltojen, vesistöjen ja meren biomassa sekä makea vesi. Puubiomassan monipuolisempi hyödyntäminen lisää metsien taloudellista käyttöä. Metsävarojen lisäkäytölle biotalouden tarpeisiin on strategian mukaan hyvät mahdollisuudet. Metsien hyödyntämisessä on strategian mukaan turvattava hakkuumahdollisuuksien ja kasvun lisäksi metsien monimuotoisuus ja luontoarvojen säilyminen. Soita tai turvemaita ei mainita biotalousstrategiassa, mutta oletettavasti kaikki mitä on sanottu metsien taloudellisen käytön lisäämisestä, koskee myös suometsiä. (Suomen biotalousstrategia 2014)



4 Suojelualueverkoston kattavuus ja toimivuus muuttuvassa ilmastossa – tutkimusmenetelmät ja suojelusuunnittelu

Ilmastonmuutoksella ennustetaan olevan merkittävä vaikutus luonnonsuojelualueverkoston kykyyn turvata luonnon monimuotoisuutta. Luonnonvaraisten eliölajien ja elinympäristöjen suojelu- ja hoitosuunnittelu on siten huomattavien haasteiden edessä; suunnittelussa tulisi huomioida muuttuvan ilmaston dynaamiset vaikutukset sekä samalla hallita ilmastomuutoksen vaikutusten ennustamiseen liittyvät epävarmuudet. Näiden dynaamisten, mutta suunnaltaan ja vahvuudeltaan vaihtelevien vaikutusten vuoksi suojelualueverkoston riittävyttä muuttuvassa ilmastossa tulisi arvioida monesta näkökulmasta. Yksittäisiin näkökulmiin perustuvat arviot voivat johtaa puutteelliseen suojelusuunnitteluun, jossa joitakin kriittisiä tekijöitä jää huomioimatta.

Suojelualueverkoston riittävyden arviointia voidaan tehdä eliölajiston, luontotyyppien ja ekosysteemien levinneisyyden ja ekologisten piirteiden perusteella, sekä ilmastonmuutoksen voimakkuuden alueellisten erojen ja suojelukohteiden biogeofysikaalisten tekijöiden näkökulmasta. Eliölajiston osalta on keskeistä tutkia, kuinka hyvin suojelualueverkosto on ylläpitänyt kasvi- ja eläinlajien populaatioita ja miten paljon uusia esiintymiä on syntynyt suojelualueille. Lisäksi voidaan selvittää, kuinka voimakkaita muutoksia yksittäisten suojelualueiden lajistoon ennustetaan, mikä on lajeille ennustettujen uusien suotuisien alueiden suojelutilanne, ja mitkä ominaisuudet tekevät lajeista erityisen alttiita ilmastonmuutoksen haitallisille vaikutuksille. Luontotyypeistä tulisi tunnistaa ne elinympäristöt, joissa pienetkin muutokset sääoloissa voivat aiheuttaa huomattavia muutoksia tai joihin kohdistuu merkittäviä epäsuoria ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Maisematason arvioinneissa voidaan käyttää yleisluonteisia kriteereitä kuten suojelualueiden määrä ja puskurialueiden laajuus, ekologisten käytävien esiintyminen ja maisemamatriisin soveltuvuus lajien leviämiseen. Itse suojelukohteita voidaan arvioida niiden koon, topografisen ja elinympäristöjen monipuolisuuden, pienrefugioiden esiintymisen sekä paikallisen ilmastonmuutoksen voimakkuuden perusteella. Arvioinneista kertyvää tietoa on mahdollista käyttää sopeutuvassa lajien hoito- ja suojelusuunnittelussa, jossa hoitokeinoja voidaan vaihdella joustavasti ilmastonmuutoksen edetessä.

4.1 Johdanto

Yksi luonnonsuojelualueiden tärkeimmistä tehtävistä on luonnonvaraisten eliölajien populaatioiden suojelu sekä arvokkaiden luontotyyppien ja ekosysteemien esiintymien turvaaminen (Rodrigues ym. 2004; Gaston ym. 2006; Thomas & Gillingham 2015). Suojelualueverkoston rooli luonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä onkin aivan keskeinen (Sieck ym. 2011; Thomas & Gillingham 2015). Siksi alueverkoston edustavuutta tulee arvioida useista erilaisista näkökulmista, kuten esimerkiksi kuinka hyvin alueverkosto kattaa uhanalaisten ja harvinaisten lajien tärkeimmät esiintymät, kuinka monipuolisia ja luonnontilaisia suojelualueet ovat, miten hyvin valitut suojelukohteet täydentävät toisiaan ja missä ovat alueverkoston suurimmat puutteet (Araujo ym. 2007; Wilson ym. 2007; Coetzee ym. 2014). Vielä 2000-luvun taitteeseen saakka luonnonsuojelusuunnittelussa ja -arvioinnissa suojelualueiden luontopiirteet käsiteltiin etupäässä 'paikalleen sidottuina' staattisina tai vähän vaihtelevina elementteinä (Tingley ym. 2014; Lawler ym. 2015; Thomas & Gillingham 2015); esimerkiksi

merkittävien lajipopulaatioiden ympärille perustettujen suojelualueiden ajateltiin tarjoavan niille pitkäikäisen turvan.

Riittävän laajat, hyvin puskuroidut suojelualueet suojaavat biodiversiteettiä monilta ihmistoiminnan negatiivisilta vaikutuksilta, kuten elinympäristöjen pirstoutumiselta ja haitallisilta vieraslajeilta. Ilmastonmuutoksen suhteen tilanne on kuitenkin oleellisesti toisenlainen. Viimeaikainen globaali lämpeneminen ja etenkin kuluvalle vuosisadalle ennustetut laajamittaiset muutokset lämpötiloissa ja sademäärissä voivat aiheuttaa laajoja muutoksia ekosysteemeihin (Williams & Jackson 2007; Jackson ym. 2009; Gilman ym. 2010; Willis ym. 2010; Hansen ym. 2012). Nämä muutokset tulevat vaikuttamaan sekä suojelualueisiin että niiden ulkopuolisiin alueisiin (Sieck ym. 2011; Virkkala & Rajasärkkä 2011a, b; Tingley ym. 2014; Thomas & Gillingham 2015). Esimerkiksi suojelualueiden paikallisilmasto voi muuttua tuntuvasti. Tämä ilmenee paitsi lämpöolojen ja sateisuuden muutoksina myös esimerkiksi veden kierron ja elinympäristöjen pienilmaston kosteuspuitoisuuden sekä maaperän, kosteikkojen ja pienvesistöjen kosteusmuutoksina ja lämpenemisenä. Merkittäviä muutoksia voi seurata myös poikkeuksellisten sääolojen yleistymisestä ja niiden temporaalisista muutoksista, esimerkkeinä pitkittyneet kuivat ja paahteiset jaksot sekä rankkasateiden runsastuminen (Jiguet ym. 2011; Smith 2011; Oliver ym. 2013).

Tämänlaisista ilmiöistä arvioidaan aiheutuvan huomattavia muutoksia suojelualueiden eliöyhteisöihin (Mawdsley ym. 2009; Dawson ym. 2011; Tingley ym. 2014). Muutokset ilmenevät joidenkin lajien populaatiokoon kasvuna ja uusien lajien leviämisenä suojelualueille, kasvi- ja eläinyhteisöjen lajikoostumuksen, rakenteen ja fenologian muutoksina, lajien välisten ekologisten interaktioiden muutoksina, sekä joidenkin lajien häviämisenä suojelualueilta. Ääritilanteissa suojelualueet voivat menettää juuri ne lajit, joiden perusteella alueet on perustettu (Burns ym. 2003; Heller & Zavaleta 2009; Carvalho ym. 2010). Voimakkaimpien ennusteiden mukaan ilmastonmuutos voi aiheuttaa huomattavia lajipopulaatioiden häviämisiä suojelualueilta – on esitetty, että ilmastonmuutos 'ajaa lajit ulos suojelualueilta' (Araújo ym. 2004).

Ilmastonmuutoksen vaikutukset suojelualueiden luontoon voivat olla niin merkittäviä, että staattisen suojelusuunnittelun sijaan tulisi painottaa dynaamisia, muutoksien ennakointiin perustuvia näkökulmia ja suojelualueiden valintaa. Muuttuvassa ilmastossa suojelusuunnitteluun tulee mukaan piirteitä joita on kuvattu ilmaisulla 'shooting on a moving target' tai 'conserving a moving target' (Wiens ym. 2011; Tingley ym. 2014). Ilmastonmuutos tuo siten suojelualuesuunnitteluun ja -verkoston toimivuuden arviointiin merkittäviä uusia lisäelementtejä, mikä monimutkaistaa arviointityötä huomattavasti. Voidaan arvioida esimerkiksi seuraavia seikkoja: (1) suojelualueiden lämpötilojen ja sademäärien muutoksien vaihtelu ja voimakkuus erilaisissa ilmastonskenaarioiden ennusteissa, (2) eliölajeille ilmastollisesti suotuisien alueiden muutokset eri skenaarioissa ja muutokset lajien levinneisyydessä, (3) ilmastonmuutoksen vaikutuksia voimistavat eliölajien ominaispiirteet ('species life-history traits'), (4) lajien leviämismahdollisuudet uusille (suojelu)alueille ekologisten käytävien kautta, (5) lajien dispersaaliokyky ja muut leviämiseen vaikuttavat populaatiobiologiset piirteet, (6) suojelualueiden pienpiirteinen monipuolisuus ja puskurointikyky ilmastonmuutoksen vaikutuksia vastaan, (7) suojelualueiden ulkopuolisen maisemamatriisin maankäytön ja pirstoutuneisuuden vaikutukset itse suojelualueiden lajipopulaatioihin, (8) poikkeuksellisten sääolojen vaikutus suojelualueiden lajipopulaatioihin ja lajien leviämiseen uusille alueille, ja (9) suojelualueiden hoito muuttuvissa olosuhteissa.

Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa esiselvityksen tässä osassa tehdään kirjallisuuskatsaus, johon kootaan suojelualueverkoston kattavuuden ja toimivuuden tutkimuksessa käytettyjä lähestymistapoja ja menetelmiä, painopisteenä nimenomaan ilmastonmuutoksen huomioiminen arvioinneissa. Katsauksessa esitetään paikoin arvioita siitä, mitkä lähestymistavat ovat helpommin (tai vaikeammin) toteutettavissa

ja minkälaisia reunaehtoja tutkimusaineistot ja erilaiset menetelmälliset rajoitteet arviointeihin tuovat. Katsauksen tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa Suomen suojelualueverkoston edustavuutta ja toimivuutta ilmaston ja maankäyttömuutosten suhteen monenlaisista näkökulmista, valittaessa tutkimusmenetelmiä arviointeihin sekä paikannettaessa keskeisiä tutkimustavoitteita.

4.2 Ilmastomuutos ja havaitut muutokset luonnonsuojelualueilla

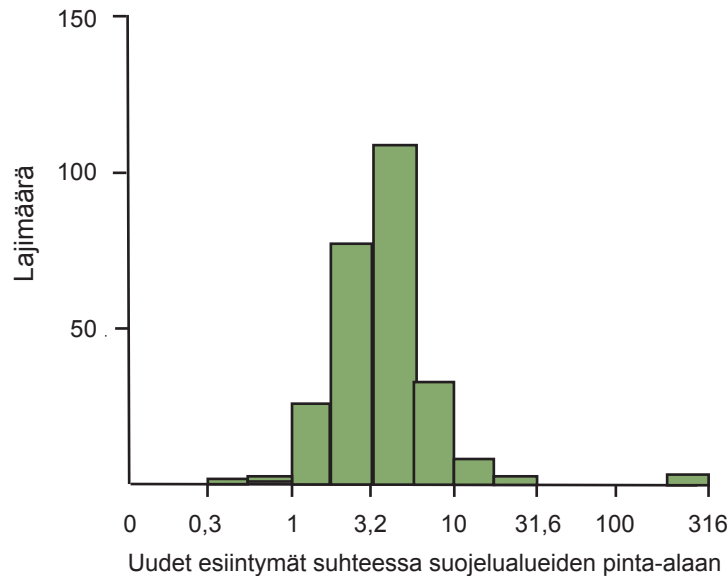
Viime aikojen globaalit muutokset ilmasto-oloissa näkyvät luonnossa monella tapaa, muun muassa lajien levinneisyyden ja alueellisten populaatiotiheyksien muutoksina, kasvi- ja eläinlajien fenologisina ja fysiologisina muutoksina, sekä lajien välisten interaktioiden ja lajiyhteisöjen tuottavuuden muutoksina (Parmesan & Yohe 2003; Parmesan 2006; Maclean ym. 2008; Chen ym. 2011; Wilson & Maclean 2011; Bellard ym. 2012; Thomas & Gillingham 2015). Osa havaituista monimuotoisuuden muutoksista on tapahtunut luonnonsuojelualueiden ulkopuolisilla alueilla, osa itse suojelukohteilla. Suojelualueilla tehdyt seikkaperäiset lajistoseurannat ovat ensiarvoisen tärkeitä, samoin kuin systemaattisesti kerättyihin tutkimusaineistoihin perustuvat vertailut suojelualueiden ja niiden ulkopuolisten alueiden luontopiirteiden muutoksista. Luonnonsuojelualueilla on perinteisesti ollut keskeinen rooli luonnonvaraisten eliölajien ja luontotyyppien suojelussa. Viime vuosina on kuitenkin arvioitu, että yksittäisten suojelualueiden merkitys voi ilmastomuutoksen myötä alentua (Hannah 2008; Khrouba & Kerr 2010; Araujo ym. 2011). Joissakin yhteyksissä on esitetty, että ilmaston muuttuessa suojelumerkitykseltään alenevat suojelukohteet voitaisiin korvata suojelualueverkostossa uusilla, tulevaisuudessa tärkeämmillä kohteilla (Fuller ym. 2010).

Luonnonsuojelualueiden lajistossa havaitut muutokset eivät kuitenkaan pääsääntöisesti tue ajatusta kohteiden suojelumerkityksen voimakkaasta alenemisestä. Esimerkiksi Thomas ja Gillingham (2015) arvioivat katsauksessaan, että yksittäisten lajien taantumisen huolimatta useat suojelullisesti merkittävät lajit ovat pystyneet säilymään muuttuvassa ilmastossa suojelualueilla eri puolilla maapalloa. Populaatioiden säilymistä on edistänyt etenkin maanpinnanmuotojen (topografian) ja pienilmaston monipuolisuus, jonka ansiosta lajit voivat siirtyä suojelualueen sisällä lämpö- ja kosteusoloiltaan erilaisiin kohtiin esimerkiksi ylä- tai varjorinteille. On kuitenkin huomattava, että topografis-pienilmastollisen vaihtelevuuden tuoma turva voi etenkin loivapiirteisillä alueilla olla lyhytaikainen, ja että viimeimpiä elinympäristöjä suosivat lajit ovat topografisesti monipuolisilla alueilla ensimmäisinä uhattuina.

Brittein saarten seuranta-aineistoihin perustuvissa analyyseissä ilmeni, että suojelualueilla on myös tärkeä rooli lajien leviämässä uusille, ilmastoltaan suotuisiksi muuttuneille alueille (Thomas ym. 2012; Gillingham ym. 2015; Thomas & Gillingham 2015). Kahdesta perhoslajista ja viidestä lintulajista kerätty tarkka seuranta-aineisto osoitti, että kyseisten lajien uudet populaatiot syntyivät keskimäärin yli neljä kertaa useammin suojelualueille kuin niiden ulkopuolisille alueille (Thomas ym. 2012). Myös 98 % (251 lajia 256:sta) selkärangattomista lajeista - joita oli seurattu vähemmän systemaattisesti - uudet esiintymät syntyivät tilastollisesti merkitsevästi useammin suojelualueille (kuva 4). Lajien välillä oli kuitenkin vaihtelua. Osalla lajeja (esimerkiksi kehrääjä ja paksujalka) uusia populaatioita tavattiin yhtä usein suojelualueilla kuin niiden ulkopuolella. Tämä vaihtelu voi johtua etenkin lajien elinympäristövaatimuksista ja siitä, mitä elinympäristöjä suojelualueilla on lajeille tarjolla.

Gillingham ym. (2015) selvittivät 57 perhoslajin ja 42 sudenkorentolajin esiintymistä ja populaatioiden säilymistä suojelualueilla. Valtaosa tarkasteluun otetuista (73/94) lajeista olivat runsaampia suojelualueilla kuin niiden ulkopuolella, ja uusien esiintymisalueiden populaatiokooltaan suurimmat esiintymät sijaitsivat useilla

lajeilla (61/99) suojelualueilla. Brittein saarilla tehdyissä tutkimuksissa on lisäksi osoitettu, että luonnonsuojelualueet toimivat lintulajeilla eräänlaisina alueellisina sillanpääasemina ('landing pads'). Tutkittujen kosteikkolintujen uudet pesimäpopulaatiot syntyivät ensin suojelualueille, mistä lajit levittäytyivät pesimään myös suojelualueiden ulkopuolelle (Hiley ym. 2013).



Kuva 4. Suojelualueilta löydettyjen uusien selkärangattomien lajien esiintymät suhteessa suojelualueiden pinta-alan osuuteen maa-alasta (= suojelualueiden kolonisaatio vs. suojelualueiden 'saatavuus') Brittein saarilla 1960–2010. Ykköstä suurempi suhdeluku kertoo, että suojelualueille syntyy enemmän uusia esiintymiä kuin mitä niiden pinta-alan (peittävyys 10 x 10 km ruudussa) perusteella voisi odottaa. Muokattu Thomas ym. (2012) pohjalta.

Eräät toisetkin tutkimukset osoittavat suojelualueiden merkityksen lintupopulaatioille muuttuvassa ilmastossa. Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa ilmeni, että suojelualueiden lintupopulaatioiden rakenne ja lajikoostumus sopeutui ilmastomuutoksen vaikutuksiin paremmin kuin ulkopuolisten alueiden lintuyhteisöt (Gaüzère ym. 2016). Beale ym. (2013) tutki 139 savannilintulajin levinneisyyden muutoksia suhteessa suojelualueisiin ja maankäytön muutoksiin. Heidän mukaansa levinneisyysalueen muutokset vaihtelivat lajien välillä, mutta linnut kolonisoivat ensisijaisesti runsaasti suojelualueita sisältäviä seutuja ja hävisivät etenkin voimakkaan maankäytön luonnehtimilta alueilta. Siten muutokset sääoloissa ohjaavat savannilintujen levinneisyyden maantieteellisiä muutoksia, mutta suojelualueiden esiintyminen määrittää sen, minne uudet populaatiot varmimmin kehittyvät.

Pelkkää esiintymistietoa tärkeämpi seikka on lajien populaatiokokoo, joka vaikuttaa oleellisesti siihen, kuinka elinkelpoinen esiintymä on. Johnston ym. (2013) tutkivat 'Special Protection Area' verkoston eli SPA-alueiden meri- ja vesilintulajien populaatiokoon vaihtelua suhteessa ilmastoon. Mallinnustulosten perusteella yli 50 % kolmenkymmenen vuoden (1977–2006) aikana tapahtuneista lintulajien runsausmuutoksista voidaan selittää ilmastossa tapahtuneiden muutosten perusteella. Tutkijat mallinsivat myös SPA-kohteiden lintujen tulevaisuuden runsausmuutoksia. He arvioivat, että muutoksista huolimatta niiden merkitys lintulajeille tulee säilymään, sillä lajien taantumisen ennustettiin olevan lievempää suojelualueilla kuin niiden ulkopuolella.

Suomessa on selvitetty luonnonsuojelualueverkoston merkitystä lintulajiston muutoksille 1970- ja 2010-luvun välisenä aikana (katso tietolaatikko 1). Suojelualueilta

kerätty seuranta-aineisto kertoo eliömaantieteellisistä eroista; eteläiset lintulajit ovat levittäytyneet Pohjois-Suomen suojelualueille ja pohjoiset lajit vastaavasti taantuneet Etelä-Suomen suojelualueilla (Virkkala & Rajasärkkä 2011b). Suomen lintuatlasten aineistoissa suojelualueiden rooli näkyi siinä, että suojelullisesti merkittävien metsä-, suo-, kosteikko- ja tunturilintulajien määrät säilyivät korkeampina runsaasti luonnon-suojelualueita sisältävissä 10 km x 10 km ruuduissa (Virkkala ym. 2014b). Santangeli ym. (2017) selvittivät Suomen suojelualueiden ja niiden ulkopuolisten alueiden lintuyhteisöjen lajistorakenteen muutoksia 'Community temperature index' indeksin (CTI) perusteella. CTI-indeksi ilmaisee viileämpiä tai lämpimämpiä alueita suosivien lajien suhteelliset osuudet ja muutokset paikallisissa lajiyhteisöissä. Tulosten mukaan CTI-indeksi on pysynyt suojelualueilla systemaattisesti pienempänä. Tämä kertoo siitä, että pohjoiset lajit ovat pystyneet säilyttämään paikallisia populaatioita suhteessa paremmin suojelualueilla kuin niiden ulkopuolella.

Vastakkaisiakin tuloksia on havaittu. Esimerkiksi Australian metsäisten elinympäristöjen suojelullisesti arvokkaiden lajien havaittiin menestyvän vähintään yhtä hyvin suojelualueiden ulkopuolisissa metsissä kuin itse suojelualueilla (Rayner ym. 2014). Tutkijat arvelivat tämän johtuvan siitä, että kyseisten suojelualueiden valinnassa ovat keskeisesti vaikuttaneet muut kuin luonnon monimuotoisuuskriteerit. Lisäksi useiden suojelualueiden lähiympäristön maankäyttö ja ihmistoiminnan vaikutukset olivat voimistuneet merkittävästi, mikä ilmeisesti vaikutti havaittuihin trendeihin.

Seuranta-aineistoihin perustuvat arviot siitä, miten tärkeitä suojelualueet ovat eliölajien säilymiselle ja leviämiseksi muuttuvassa ilmastossa, ovat usein vaikeita toteuttaa. Yksi keskeisimmistä haasteista on kattavien eliölajien seuranta-aineistojen niukkuus. Ideaalitalanteissa käytettävissä on useilta suojelualueilta systemaattisesti ja monen vuoden ajalta kerätty eliölajiston seuranta-aineisto, samoilla menetelmillä suojelualueiden ulkopuolisilta alueilta kerätty vertailuaineisto, sekä vuosittaiset ilmastotiedot ja tiedot muista lajipopulaatioihin kriittisesti vaikuttavista tekijöistä (maankäytön muutokset ja elinympäristöjen laatuolosuhteet, kuten esimerkiksi lahoppuun määrä metsissä ja avosoiden rimpisyys). Mahdollisimman kattavat seuranta-aineistot ovat hyvin arvokkaita, kun pyritään selvittämään onko yksittäisen lajipopulaation häviämisen taustalla muutokset ilmastossa vai jotkut muut muutokset alueellisissa tai paikallisissa olosuhteissa (Cahill ym. 2013). Seuranta-aineistot vaativat kuitenkin runsaasti resursseja ja osaavia maastokartoittajia, minkä johdosta useat tutkimukset ovat perustuneet erilaisiin eliölajien atlasaineistoihin. Atlaspohjaisten tutkimusten haasteena on mittakaava. Esimerkiksi 10 km x 10 km ruudukkoihin pohjautuvissa analyyseissä havaittuja lajiesiintymiä ei voida täydellä varmuudella liittää kyseisen ruudun suojelualueisiin (vaikka todennäköisyys on sitä suurempi mitä isompi osa ruudusta kuuluu suojelualueverkostoon).

4.3 Ennustetut vaikutukset lajien levinneisyyteen ja uhanalaistumiseen – arviointi- ja mallinnusmenetelmät, alueiden ja lajien priorisointi

4.3.1 Bioklimaattiset mallit

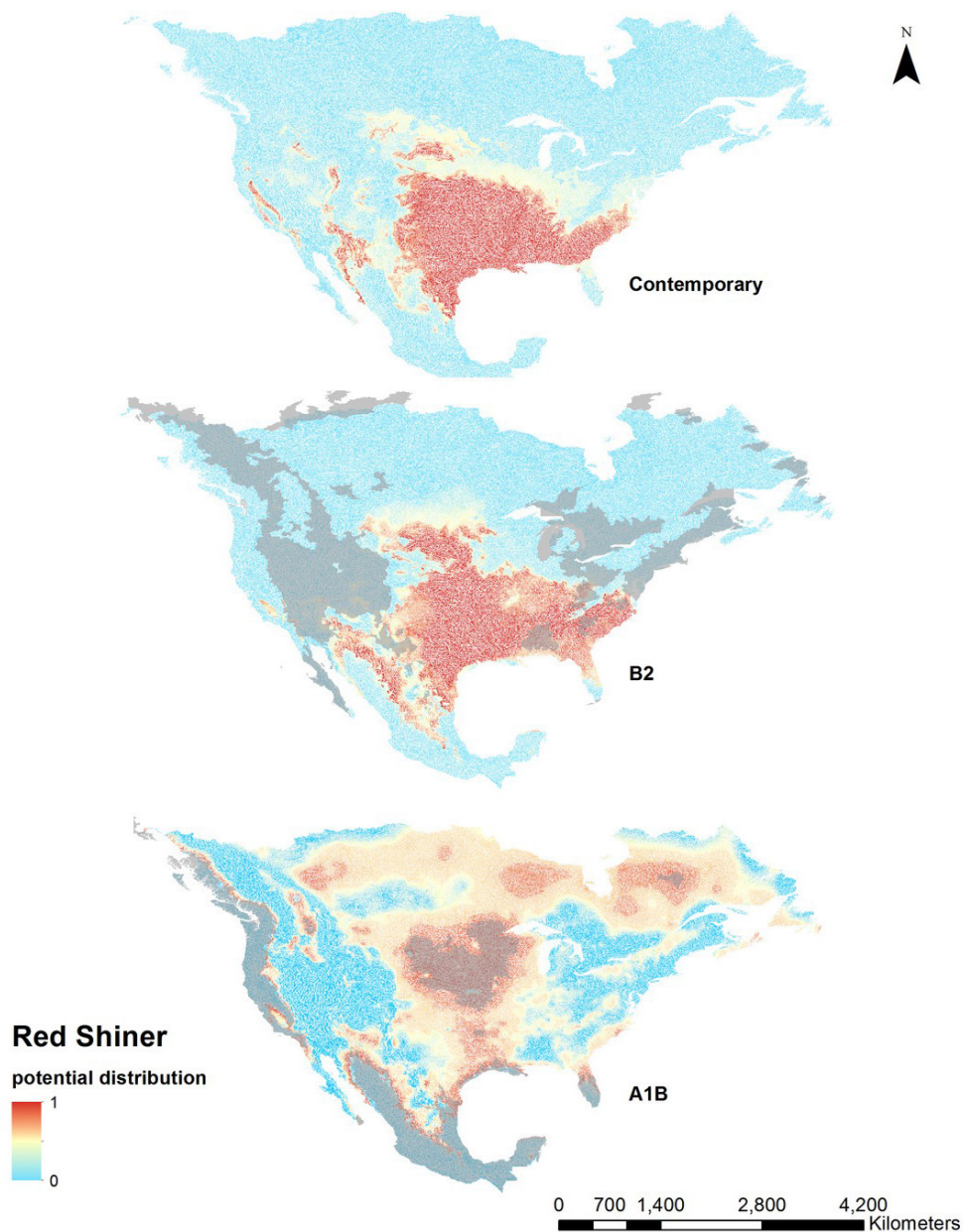
Ilmastonmuutoksen biodiversiteettivaikutusten tutkimuksessa ja suojelusuunnittelussa on tärkeää arvioida, miten lämpötilan ja sademäärän muutokset vaikuttavat eliölajeille suotuisiin alueisiin ja lajien leviämiseen uusille seuduille. Lisäksi tulisi selvittää, mitkä lajit ovat erityisen herkkiä lämpötilojen, sateisuuden tai ilman kosteuden muutoksille. Lajeille ilmastollisesti suotuisien alueiden ja levinneisyysalueiden muutoksia on ennakoitu eniten niin sanotuilla bioklimaattisilla malleilla ('bioclima-

tic envelope models') (Dawson ym. 2011; Sieck ym. 2011; Araujo & Peterson 2012). Useimmiten nämä mallit ovat 'staattisia', eliölajien levinneisyyden ja erilaisten ilmastomuuttujien välisiin tilastollisiin korrelaatiosuhteisiin perustuvia malleja (Heikkinen ym. 2006b). Bioklimaattisissa mallissa tutkittavan lajin esiintymät ja esiintymäalueita kuvaavat ilmastotiedot yhdistetään esimerkiksi regressiomenetelmillä (esimerkiksi GLM; Generalized linear model) tai 'koneoppivan', 'machine learning' -tyyppisen (esimerkiksi ANN; Artificial neural network) menetelmän avulla. Saadulla mallilla voidaan ennustaa lajille ilmastollisesti suotuisten alueiden esiintymistä nykytilanteessa, sekä niiden muutoksia tulevaisuudessa kun malli sovitetaan ilmastoskenaarioiden tietoihin. Bioklimaattisissa malleissa lajien esiintymistä ennustetaan pääsääntöisesti ilmastomuuttujien avulla, mutta enenevässä määrin mukaan on otettu muitakin muuttujia, kuten tietoja maankäytöstä, erilaisten habitaattien esiintymisestä, maaperästä, topografiasta ja lajien välisistä interaktioista ('biotic interactions') (Araujo & Luoto 2007; Heikkinen ym. 2007; Luoto ym. 2007; Luoto & Heikkinen 2008; Pompe ym. 2008; Titeux ym. 2009; Virkkala ym. 2010; Schweiger ym. 2012; Nixon ym. 2016; Vermaat ym. 2016).

Bioklimaattisten mallien käyttö on yleistynyt 2000-luvun alusta alkaen (Elith & Leathwick 2009; Araujo & Peterson 2012). Useimmiten ne on sovitettu melko karkean mittakaavan eliölaji- ja ilmastoaineistoihin, etenkin erilaisiin eläin- ja kasvilajien atlasaineistoihin (kuva 5). Tyypillisesti lajitiedot ja niihin kytkeytyvät ilmastomuuttajat on kartoitettu koko mantereen kattavissa mallinnustöissä resoluutiolla 50 km x 50 km (Thuiller ym. 2005; Huntley ym. 2006; Araujo & Luoto 2007) tai vastaavalla tarkkuudella (Luoto ym. 2007; Hole ym. 2009; Leroy ym. 2014), ja alueellisissa ja maakohtaisissa mallinuksissa resoluutiolla 10 km x 10 km (Pearson & Dawson 2003b; Heikkinen ym. 2006a; Virkkala ym. 2013b) tai vastaavalla tarkkuudella (Virkkala ym. 2008).

Mallinnusmenetelmiä, joilla bioklimaattisia malleja voidaan tehdä, on pitkälti toistakymmentä (Guisan & Thuiller 2005; Elith ym. 2006; Heikkinen ym. 2006b; Marmion ym. 2008; Elith & Leathwick 2009; Marmion ym. 2009a; Thuiller ym. 2009; Araujo & Peterson 2012). Menetelmien soveltamiseen on myös tehty käyttöliittymiä, joilla bioklimaattisia malleja voidaan kehittää useilla menetelmillä sadoille tai jopa tuhansille lajeille samanaikaisesti (Araujo ym. 2004; Thuiller ym. 2005; Araujo ym. 2006; Araujo ym. 2007; Araujo ym. 2011; Engler ym. 2011; Thuiller ym. 2011; Araujo & Peterson 2012). Yksi käytetyimmistä mallinnuspaketeista on BIOMOD, jonka nykyinen versio sisältää yhdeksän erilaista mallinnusmenetelmää: (1) generalised linear models (GLM), (2) generalised additive models (GAM), (3) multivariate adaptive regression splines (MARS), (4) classification tree analysis (CTA), (5) mixture discriminant analysis (MDA), (6) artificial neural networks (ANN), (7) generalised boosted models (GBM), (8) random forests (RF) ja (9) rectilinear envelope (SRE).

Bioklimaattisilla malleilla on tiettyjä etuja. Mallinuksessa tarvittavia eliölajien laajamittakaavaisia atlasaineistoja sekä Euroopan laajuisia ja globaaleja ilmastoaineistoja on saatavilla yhä useammin, ja erilaisten käyttöliittymien avulla on mahdollista mallintaa useita lajeja suhteellisen nopeasti. Huolellisesti käytettynä näillä menetelmillä voidaan tuottaa arvioita siitä, mitkä ilmastotekijät ensisijassa säätelevät lajien eliömaantieteellistä levinneisyyttä ja ennusteita siitä, kuinka voimakkaasti ja mihin suuntaan lajeille ilmastollisesti suotuisat alueet muuttuvat tulevaisuudessa (Heikkinen ym. 2006b; Virkkala ym. 2008; Sieck ym. 2011; Araujo & Peterson 2012; Virkkala ym. 2013b; Leroy ym. 2014). Suojelualueverkoston tarkasteluissa bioklimaattisten mallien yksi keskeinen käyttö on tehdä ennusteita siitä, muuttuuko joidenkin yksittäisten suojelualueiden tai koko alueellisen suojelualueverkoston ilmasto nykyiselle eliölajistolle epäsuotuisaksi (Araujo ym. 2004; Coetsee ym. 2009; Hole ym. 2009; Willis ym. 2009; Araujo ym. 2011; Baker ym. 2015), ja löytyykö tulevaisuuden suotuisilta alueilla riittävästi lajille soveltuvia suojelualueita (Cianfrani ym. 2011; Virkkala ym. 2013a).



Kuva 5. Bioklimaattisen mallin ennusteet sinihohtaja-kalalajin (*Cyprinella lutrensis*, Red Shiner) ilmastollisesti suotuisista alueista viimeaikaisen ilmaston oloissa ('contemporary'), lievän ilmaston muutoskenaarion (B2) ja voimakkaan muutoskenaarion (A1B) olosuhteissa keskiarvoistettuna vuodelle 2080. Kartat ilmaisevat ilmastollisen suotuisuuden (punainen = kaikkein suotuisin alue) kolmeen ilmaston muutoskenaarion (CCCma, CSIRO ja HadCM3) perustuvana keskiarvona. Mallinnusmenetelmä = Maxent. Lähde: Poulos & Chernoff (2014)(CC-BY 4.0 Open Access).

Bioklimaattisiin malleihin sisältyy kuitenkin runsaasti epävarmuuksia, jotka tulee huomioida etenkin, jos niitä käytetään alueellisessa suojelusuunnittelussa (Heikkinen ym. 2006b; Dawson ym. 2011; Sieck ym. 2011; Araujo & Peterson 2012). Ennusteet lajeille suotuisista alueista vaihtelevat sen mukaan, mihin ilmastomalliin ('general circulation model'; GCM) ja kuinka voimakkaaseen päästöskenaarioon ('forcing scenarios') bioklimaattiset mallit sovitetaan (Olesen ym. 2007; Beaumont ym. 2008; Snover ym. 2013; Virkkala ym. 2013a). Tämän lisäksi on koko joukko muitakin tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa merkittävää vaihtelua ennusteisiin. Näitä ovat esimerkiksi (1) mallinnuksessa käytetty menetelmä, (2) mittakaava eli millä resoluutiolla tutkimusaineisto on kerätty, (3) tutkimusaineiston maantieteellinen raja-alue (kattaako

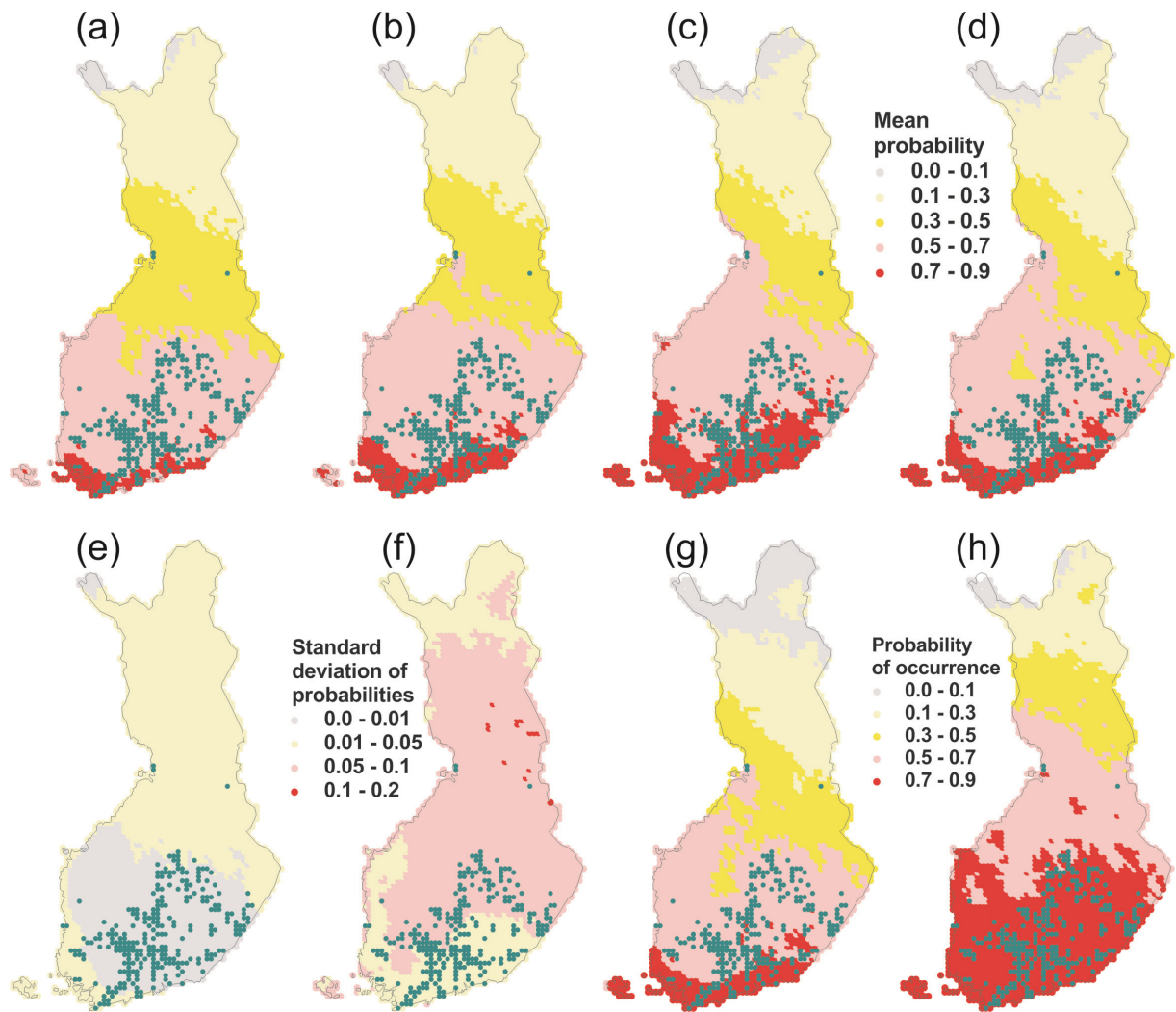
tutkimusalue mallinnettavien lajien koko esiintymisalueen vai pelkästään rajatun osan siitä) ja (4) mallinnuksessa käytettävien ilmastomuuttujien valinta.

Menetelmän valinnalla saattaa olla yllättävän suuri vaikutus bioklimaattisen mallien ennusteisiin; Pearson ym. (2006) pitää tätä yhtenä keskeisenä epävarmuustekijänä kun arvioidaan ilmastomuutoksen vaikutuksia lajien tai elinympäristöjen esiintymiseen. Nämä tutkijat mallinsivat neljän eteläafrikkalaisen kasvilajin levinneisyysalueen muutoksia yhdeksällä eri mallinnusmenetelmällä. Ennusteet lajien levinneisyysalueen muutoksista vaihtelivat mallinnusmenetelmien välillä osin jyrkästi (sekä suunnan että laajuuden suhteen), etenkin jos lajien oletettiin leviävän kaikille uusille suotuisille paikoille. Ääritapauksessa yksi menetelmä ennusti lajin levinneisyysalueen pienenevän 92 % ja toinen laajenevan 322 %.

Heikkinen ym. (2009) mallinsi vesirutolle (*Elodea canadensis*) ilmastollisesti suotuisien alueiden esiintymistä Euroopassa yleistetyillä additiivisilla malleilla ('generalised additive models'; GAM). Mallinnus tehtiin ensin käyttämällä kolmea usein käytettyä ilmastomuuttujaa ja sen jälkeen lisäämällä mukaan neljä vesiruton ekologiaa kuvaavaa muuta ilmastomuuttujaa. Mallinnukset toistettiin useita kertoja siten, että jokaiseen mallinnukseen valittiin satunnaisesti 'ei-suotuisien' ruutujen joukko (niin sanottuja 'pseudo-absence grid cells') samassa suhteessa kuin lajihavaintoja sisältäviä ruutuja oli. GAM-mallit tuotettiin Pohjois-Amerikan levinneisyys- ja ilmastotiedoilla ja sovitettiin Euroopan ilmastoaineistoihin. Pohjois-Amerikassa yksittäisten mallien erot eivät olleet kovin isoja, mutta Eurooppaan sovitettuna ennusteiden erot voimistuivat. Seitsemään ilmastomuuttujaan perustuvien mallien ennusteiden vaihtelu oli etenkin tutkimusalueen reuna-alueilla voimakkaampaa kuin kolmeen muuttujaan perustuvien mallien, ja yksittäisten mallien ennusteet ilmastollisesti suotuisan alueen pohjoisreunasta Suomessa erosivat voimakkaimmillaan satoja kilometrejä (kuva 6).

Näiden esimerkkien ja useiden muiden epävarmuuksia käsittelevien tutkimusten perusteella on selvää, että bioklimaattisia malleja tulee käyttää ilmastomuutoksen suojelusuunnittelussa harkitusti. Etenkin yksittäisten mallien käyttö on riskialtista (Heikkinen ym. 2006b; Sinclair ym. 2010; Araujo & Peterson 2012; Schwartz 2012; Wright ym. 2014). Ennusteiden luotettavuuden lisäämiseksi on tärkeää vertailla yksittäisten mallien tuloksia ja yhdistää ne niin sanotuiksi 'ensemble' malleiksi (Araujo & New 2007; Marmion ym. 2009b; Thuiller ym. 2009; Buisson ym. 2010; Fordham ym. 2012a). Yksittäisten mallien ennusteet voidaan keskiarvoistaa jo itse mallinnuksen aikana, jolloin ensemble-malli tuottaa jokaiselle mallinnetulle lajille yhden ennustearvon per tutkimusruutu (kuva 5). Toinen vaihtoehto on tuottaa ennusteet mallikohteisesti erikseen ja yhdistää ne vasta karttasynteesissä jolloin eri mallien ennusteiden yhteneväisyys voidaan ilmentää esimerkiksi eri värikoodeilla (katso Araujo & New 2007; Braunisch ym. 2013; Salas ym. 2017). Jälkimmäinen tapa on suositeltavampi, koska se mahdollistaa malliennusteiden eroavaisuuksien (esimerkiksi ennustearvojen keskihajonta) tarkastelun paremmin.

Bioklimaattisia ensemble-malleja käytetään yhä useammin ennustettaessa sitä, miten lajeille ilmastollisesti suotuisat alueet muuttuvat suhteessa niiden nykyisiin esiintymisalueisiin ja luonnonsuojelualueisiin. Yhdessä laajimmista tutkimuksista (Araujo ym. 2011) mallinnettiin 1883 eurooppalaisen kasvi-, lintu-, nisäkäs- ja matelijalajin levinneisyysalueiden mahdollisia muutoksia nykytilanteesta kuluvan vuosisadan loppuun. Tulosten perusteella yli puolet mallinnetuista lajeista on vaarassa menettää enemmän ilmastollisesti suotuisia suojelualueita kuin niille 'avautuu' uusia suotuisia suojelualueita tulevaisuudessa. Ferro ym. (2014) ennustivat Brasilian Atlantin rannikkometsien (joka on yksi globaaleista monimuotoisuuden huippualueista) yöperhosten esiintymisalueiden muutoksia tulevaisuudessa (vuosille 2051–2080) suhteessa suojelualueisiin. Heidän mukaansa suojeluverkoston edustavuus saattaa merkittävästi heiketä; useat suojelualueet saattavat muuttua perhoslajeille epäsuotuisiksi, ja vajaa 5 % lajeista on vaarassa hävitä kokonaan Brasilian rannikkometsien



Kuva 6. Bioklimaattisilla malleilla ennustetut vesirutolle (*Elodea canadensis*) ilmastollisesti suotuisat alueet Suomessa. Kuvat perustuvat kahteen kaksikymmentä GAM-mallia sisältävään sarjaan: (1) 30-vuoden ilmastoaineiston (1961–1990) keskiarvoihin perustuvat mallit, ja (2) pitkän aikajakson (1901–1990) ilmastoaineistoihin perustuvat mallit. Molemmille aikajaksoille kalibroitiin 20 erillistä (jokaisessa eri satunnaisesti valittu 'pseudo-absence' ruutujen joukko) bioklimaattista mallia Pohjois-Amerikan esiintymä- ja ilmastotietojen perusteella, käyttäen joko kolmea (kylmimmän kuukauden lämpötila, tehoisan lämpötilan summa sekä sademäärän ja potentiaalisen haihdunnan suhde) tai seitsemää (lisäksi: kevätkuukausien lämpötila, heinäkuun lämpötila, heinä-syyskuu ja vuosittainen vesihävikki) ilmastomuuttujaa. Mallit sovitettiin Suomen ilmastoaineistoon vuosilta 1961–1984. (a) Lyhyen aikajakson kolmen muuttujan mallien, (b) pitkän aikajakson kolmen muuttujan mallien, (c) lyhyen aikajakson seitsemän muuttujan mallien, ja (d) pitkän aikajakson seitsemän muuttujan mallien ennusteiden keskiarvo. (e) Lyhyen aikajakson kolmen muuttujan mallien ennusteiden keskihajonta. (f) Lyhyen aikajakson seitsemän muuttujan mallien ennusteiden keskihajonta. (g, h) 20 mallin joukosta valitun kahden yksittäisen esimerkkimallin ennusteet. Vihreät ruudut = vesiruton esiintymä vuodelta 1985 tai aiemmin. Lähde: Heikkinen ym. (2009) (Creative Commons Attribution License, CC BY 4.0 Open Access).

suojelualueverkostosta. Vielä voimakkaampia ilmastonmuutoksen uhkakuvia on raportoitu kotoperäisiä eli endeemisiä lajeja käsittelevissä mallinnustöissä. Esimerkiksi afrikkalaisten endeemisten lintulajien (Coetsee ym. 2009) sekä toisaalta Iberian niemimaan endeemisten sammakko- ja matelijalajien (Carvalho ym. 2010) suojelualueilla sijaitsevista esiintymistä suuri osa on seuduilla, jotka voivat muuttua ilmastoltaan kriittisesti. Jopa kolmasosalla näistä lajeista ilmastoltaan sopivat suojelualueet voivat kadota kokonaan.

Sekä yksittäisissä mallinnustutkimuksissa että ensemble-malleihin pohjautuvissa töissä on ennusteiden informaatio usein käsitelty seuraavasti. Ilmastollisen suotuisuuden todennäköisyys vaihtelee bioklimaattisten mallien ennusteissa välillä 0 ja 1. Tietyllä tilastollisella menetelmällä valitun ennusteiden kynnysarvon alapuoliset

lukemat katsotaan olevan epäsuotuisia alueita joilla laji ei pysty säilymään, ja yhtä suuret ja yläpuoliset ennustearvot ilmastoltaan suotuisiksi alueiksi joilla laji menestyy (Liu ym. 2005; Gibson ym. 2010; Ferro ym. 2014; Leroy ym. 2014; Baker ym. 2015). Tällä tavalla voidaan arvioida, kuinka moni tutkimukseen sisällyneistä malleista ennustaa tietyn suojelualueen olevan tulevaisuudessa ilmastoltaan lajille suotuisa. Tämä tuo ennusteiden tulkintaan varmuutta (Araujo & New 2007; Marmion ym. 2009b).

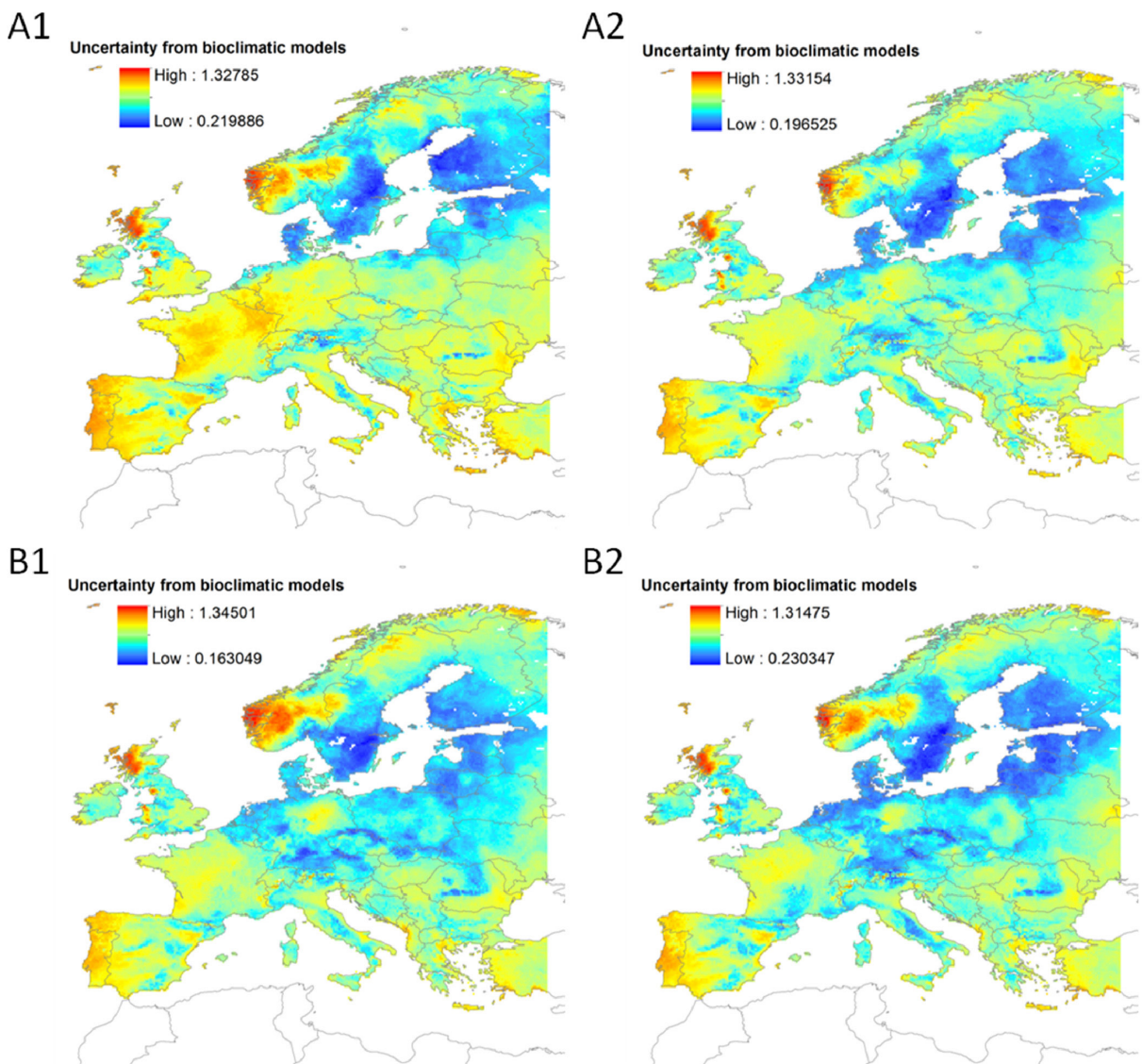
Tämäntyyppisen 'cut-off' raja-arvon käyttö voi kuitenkin hukata hyödyllistä informaatiota (Heikkinen ym. 2010; Virkkala ym. 2013a); ennusteet käsitellään kategorisesti suotuisa/ei-suotuisa tasolla ja todennäköisyydeltään kaikkein parhaimpia alueita ei voida aukottomasti paikantaa. Tuoreet tutkimukset ovatkin käyttäneet malliennusteita ilman niiden muuttamista suotuisa/ei-suotuisa kategorioihin. Virkkala ym. (2013b) mallinsivat sadan metsä-, kosteikko-, suo- ja tunturilintulajin alueiden muutoksia Suomessa suhteessa maamme luonnonsuojelualueverkostoon. Lajille suotuisan alueen esiintymisen ennusteita nykytilanteessa ja tulevaisuudessa vertailtiin ruutu ruudulta (10 km x 10 km ruudukossa). Tulosten perusteella tutkittujen lintulajien – kosteikkolajit pois lukien – esiintymisen todennäköisyys tulee alenemaan etenkin Etelä-Suomessa, mutta elinympäristöjen suotuisuuden lasku on lievempää suojelualueita sisältävillä seuduilla kuin niukasti suojelukohteita sisältävillä alueilla. Seuraavassa vaiheessa Virkkala ym. (2013a) veivät näiden sadan lintulajin mallinnuksen astetta pidemmälle. Tässä työssä ensemble-mallien ennusteet ilmaston suotuisuudesta yhdistettiin lajeille sopivan elinympäristön määrään suojelualueilla eri 10 km x 10 km ruuduissa. Näin muodostettiin ilmaston suotuisuuden ja suojellun elinympäristön määrän yhdistävä indeksi. Indeksillä Suomen eri alueet voitiin järjestää lajikohtaiseen paremmuusjärjestykseen sekä nykytilanteessa että tulevaisuuden ennusteiden mukaisesti. Tulosten perusteella lintulajeille nyt ja tulevaisuudessa kaikkein suotuisimmat alueet osuivat (metsälajeja lukuun ottamatta) varsin hyvin yksiin suojelualuekohteiden alueellisen jakauman kanssa.

4.3.2 Spatiaaliset suojelupriorisointimenetelmät ja lajiennusteet

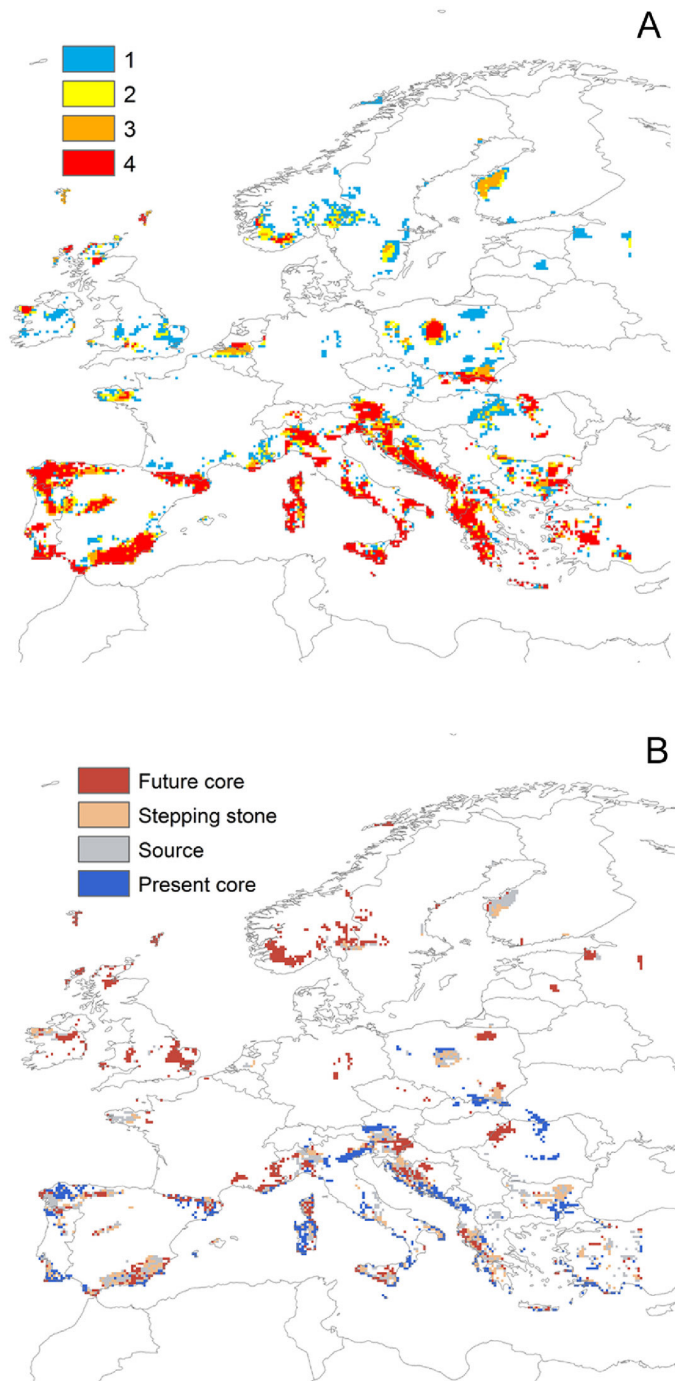
Huolellisesti tehtyjen bioklimaattisten mallien ennusteita voidaan käyttää eliölajiston suojelusuunnittelun aineistona myös ilmastomuutoksen näkökulmasta. Voidaan esimerkiksi määrittää suojelualueiden ja niitä tukevien luontokohteiden joukko, joka kattaa mahdollisimman tehokkaasti kaikille lajeille tietyn määrän suotuisia esiintymispaikkoja, sekä nykytilanteessa että tulevaisuudessa. Tämäntyyppinen aluevalintojen problematiikka on yksi suojelusuunnittelun avainkysymyksiä rajallisten resurssien maailmassa. Erilaisten ratkaisumahdollisuuksien analysointiin on kehitetty useita numeerisia valinta-algoritmimenetelmiä, joista käytetyimpien joukkoon kuuluvat ohjelmistot Marxan (Watts ym. 2009) ja Zonation (Lehtomäki & Moilanen 2013).

Carroll ym. (2010) mallinsivat yhdelle luonnonsuojelun avainlajille, täpläpöllölle (*Strix occidentalis caurina*), parhaimmin soveltuvien alueiden sijainnin muutoksia. Tutkijat valitsivat bioklimaattisten ennusteiden ja Zonation-ohjelman avulla alueverkoston, joka koostui kummankin ajanjakson suotuisimmista kohteista. Lisäksi valinnassa painotettiin mahdollisimman pientä kohteiden välistä etäisyyttä (jotta leviäminen uusille paikoille olisi mahdollisimman helppoa). Kyseessä on niin sanottu kytkettyvyyden (syn. 'konnektiviteetti') painotus kohteiden valinnassa. Vastaava Zonation-analyysi tehtiin myös sadalle kolmellekymmenelle muulle samaa elinympäristöä käyttävälle lajille. Näiden kahden aluevalinta-analyysin vertailu osoitti, että täpläpöllön perusteella valitut suojelukohteet osuivat yksiin 130 lajin näkökulmasta runsaslajisten paikkojen kanssa. Toisaalta muille lajeille kaikkien suotuisimmat yksittäiset esiintymisalueet eivät olleet kovin hyvin mukana täpläpöllön avainkohdeverkostossa. Tulos kertoo siitä, että muuttuvassa ilmastossa yksittäisiin avainlajeihin perustuva suojelusuunnittelu voi menettää muutosten myötä tehoaan. Tämä siksi, että lajin levinneisyysalueet tulevat todennäköisesti muuttumaan yksilöllisesti.

Kujala ym. (2013) mallinsivat hieman yli sadan sammakko- ja matelijalajin suotuisia esiintymisalueita Euroopassa nykyilmastossa ja vuodelle 2080 keskiarvoistettujen ilmastoskenaarioiden tilanteessa. Malliennusteiden epävarmuutta mitattiin laskemalla ennusteiden ruutukohtaiset keskihajonnat. Ilmastollisesti kaikkein suotuisimmiksi alueiksi arvioitiin ne ruudut, joille suotuisuuden todennäköisyys oli korkea ja joissa malliennusteet poikkesivat mahdollisimman vähän toisistaan (kuva 7). Näitä yhdistettyjä lajikohtaisia todennäköisyys/epävarmuus arvoja käytettiin Zonation-analyysissä, jonka tavoitteena oli valita useille lajeille ilmastollisesti sopivia esiintymisalueita sekä nykytilanteessa että tulevaisuudessa, painottaen alueruutujen välistä kytkeytyvyyttä. Tämänäyttypistien analyysien tuottamia priorisointeja (kuva 8) on mahdollista käyttää ilmastonmuutoksen suojeleusuunnittelun pohjamateriaalina, esimerkiksi paikannettaessa useille lajeille suotuisia alueita muuttuvassa ilmastossa sekä alueiden välisiä maisemaekologisia yhteyksiä.



Kuva 7. Biokliattisten mallien ennusteiden yhdenmukaisuus laskettuna neljän eri menetelmän perusteella ja esitettyinä yhdistetysti 42 eurooppalaiselle sammakkolajille ja 64 matelijalajille. Ennusteiden epävarmuus (ennusteiden keskihajonnan ja keskiarvon suhdeluku; sininen = ennusteet samanlaisia; punainen = ennusteet erilaisia) esitetään neljälle eri ilmaston muutoskenaariolle (A1, A2, B1, B2) keskiarvoistettuina vuodelle 2080. Lähde: Kujala ym. (2013) (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053315.g002>) (Open Access, Creative Commons Attribution License).



Kuva 8. (A) Euroopan sammakko- ja matelijalajien suojelun tärkeimmät (ylin 10%) alueet ja niiden päällekkäisyys neljän ilmastoskenaarion ennusteissa. Punainen = kaikkien skenaarioiden suhteen priorisoitu alue; sininen = yhden skenaarion suhteen priorisoitu alue. (B) Tärkeimmät alueet jaoteltuna niiden merkityksen perusteella, huomioiden sekä nykyilmaston ('Present core') että tulevaisuuden ennusteiden ('Future core') mukaiset alueet. 'Source' = tärkeä lajien leviämisen lähdealue; 'Stepping stone' = tärkeä alue lajien siirtymiseen. Lähde: Kujala ym. (2013) (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053315.g003>) (Open Access, Creative Commons Attribution License).

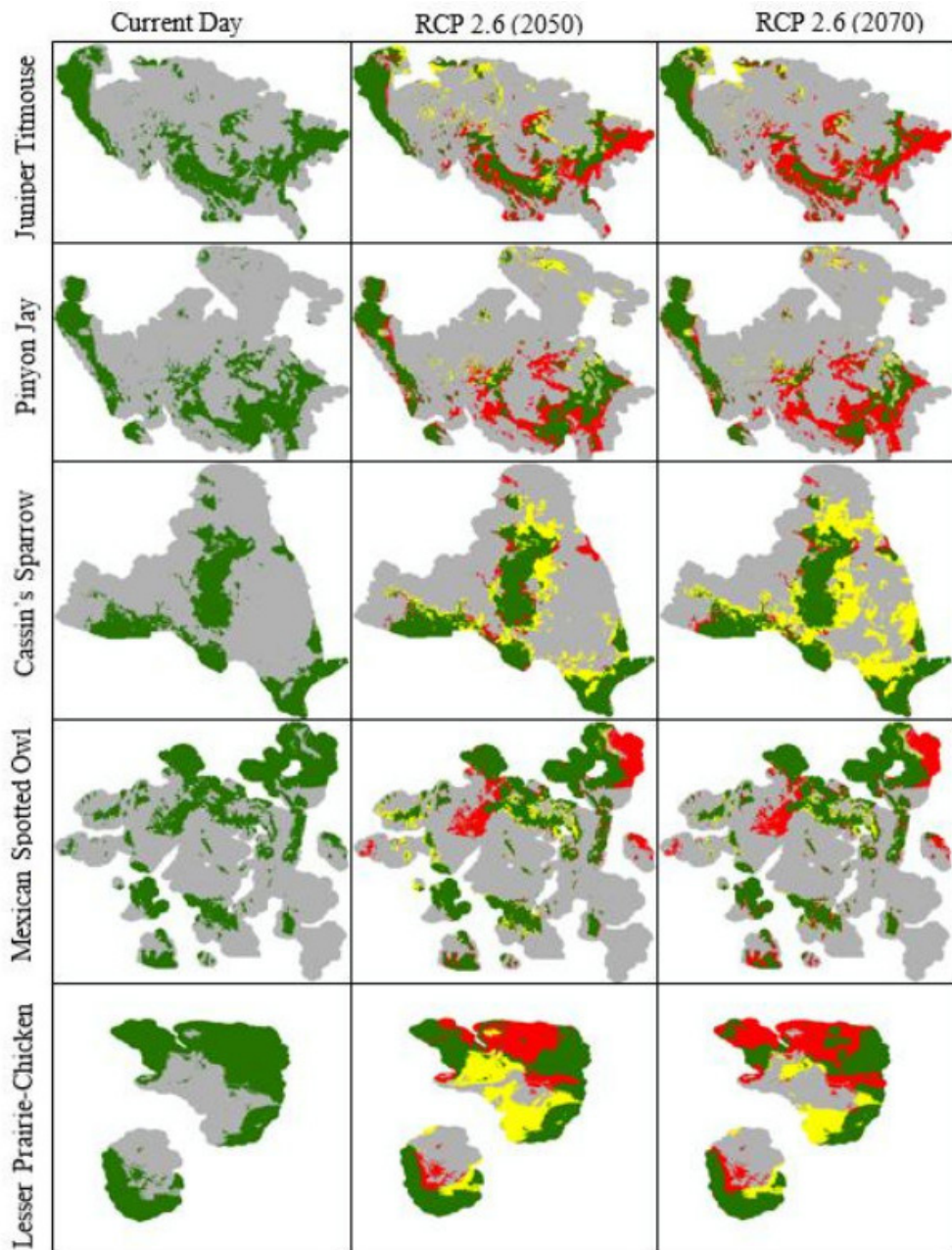
4.3.3 Lajien 'haavoittuvuus' ilmastonmuutokselle

Lajien 'haavoittuvuus' ('vulnerability') ilmastonmuutoksen vaikutuksille on moniulotteinen tutkimusteema, joka vaatii tarkasteluja useammasta kuin yhdestä näkökulmasta. Lajien haavoittuvuuden arvioinnissa käytetyt kriteerit on usein ryhmitelty kolmeen pääkategoriaan: (1) lajien alttius ('exposure') ilmastonmuutokselle, (2) lajien herkkyys ('sensitivity') ja (3) niiden sopeutumiskyky ('adaptive capacity') (Dawson ym. 2011).

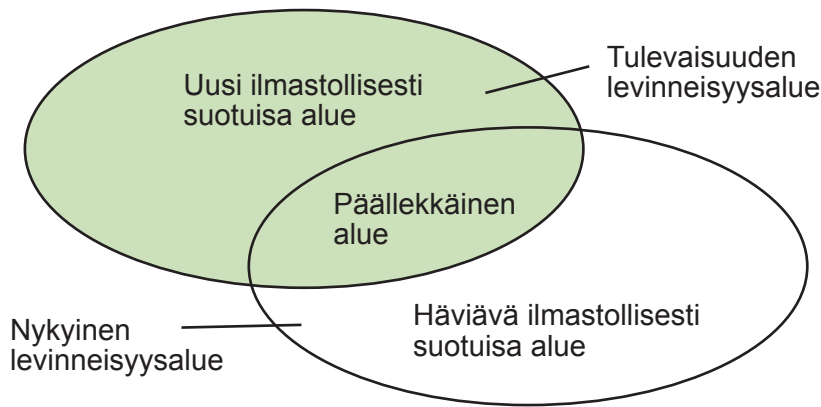
Lajien alttius ilmastonmuutokselle tarkoittaa sitä, kuinka laajoja muutoksia ennustetaan niille suotuisien alueiden määrään ja sijaintiin, ja siten periaatteessa myös niiden levinneisyysalueisiin. Useimmiten näitä muutospaineita on arvioitu edellä kuvattujen bioklimaattisten mallien ennusteiden perusteella. Lajien alttiutta ilmastonmuutokselle ilmentäviä indeksejä on kehitetty useita. Käytännössä ne useimmiten ovat nykyisin suotuisasta alueesta häviävien ('lost climate space'), säilyvien ('kept climate space'), ja tulevaisuudessa avautuvien uusien ('new suitable space') (kuva 9) alueiden välisiä, eri tavoin laskettuja suhdelukuja (Berry ym. 2006) (kuva 10). Yksinkertaisimmillaan tämä indeksi voi olla molempina ajankohtina suotuisan alueen koko suhteessa tulevaisuudessa suotuisaan alueen (Cabrelli ym. 2014). Tarkentavia lajien alttiusarvioita voidaan tuottaa vertailemalla aluekohtaisia ennusteita ilmastollisesta suotuisuudesta. Erot nykytilanteen ja tulevaisuuden ennustearvoissa kertovat missä ja millä lajeilla muutos on todennäköisesti voimakkainta sekä myös keskimääräisestä ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kautta koko esiintymisalueen (Heikkinen ym. 2010; Cabrelli ym. 2014).

Bioklimaattiin malleihin perustuvien 'alttiusindeksien' lisäksi on tärkeää arvioida myös lajien sopeutumiskykyä ja sensitiivisyyttä (herkkyyttä) ilmastonmuutoksen vaikutuksille (Dawson ym. 2011; Cabrelli ym. 2014; Tingley ym. 2014; Reside ym. 2016). Lajien sopeutumiskyky eli 'adaptiivinen kapasiteetti' ilmentää lajin kykyä mukautua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin nykyisellä elinalueellaan, siirtymällä suotuisampaan kohtaan samalla (suojelu)alueella, tai leviämällä kokonaan uudelle eliömaantieteelliselle alueelle. Tämä sopeutumiskyky vaihtelee muun muassa sen mukaan, mikä on lajien ja paikallisten populaatioiden fenotyypin joustavuus ('phenotypic plasticity'; eliön fenotyypin eli ilmiön muuttumista ympäristön vaikutuksesta), geneettinen monimuotoisuus ('genetic diversity'; mahdollistaa paikallispopulaatioiden muuntelun ja kehittymisen), evoluutionopeus ('evolutionary rates'), lajiominaisuudet ('life history traits') ja leviämis- ja kolonisaatiokyky ('dispersal and colonization ability') (Dawson ym. 2011).

Useat sopeutumiskykyä määrittävistä ominaisuuksista koostuvat erilaisista osatekijöistä, joita voidaan lajiarvioinneissa soveltaa vaihtelevassa määrin. Esimerkiksi fenotyypin joustavuus sisältää sekä paikallispopulaation akklimatisaatiokyvyn eli sen, miten hyvin eliö sopeutuu aikaisemmasta poikkeavaan ilmastoon, sekä erilaiset lajin muuttuvasta ilmastosta johtuvat kasvulliset muutokset. Erilaisia lajiominaisuuksia voidaan käyttää sopeutumiskyvyn kriteereinä. Muun muassa seuraavia ominaisuuksia on käytetty lajien sopeutumiskyvyn ja ilmastonmuutokselle haavoittuvuuden arvioinneissa: populaatioiden maksimaalinen kasvukerroin, keskimääräinen jälkeläistuotanto, riippuvuus lajien välisistä interaktioista, vaatelaisuus elinympäristön suhteen, ravintona käytettyjen lajien määrä, rajoittunut levinneisyysalue ja harvinaisuus (Dawson ym. 2011; Cabrelli ym. 2014; Siegel ym. 2014; Case ym. 2015; Pacifici ym. 2015; Reside ym. 2016). Useat lajiominaisuudet ovat ilmeisen tärkeitä. Pacifici ym. (2015) mukaan lajiominaisuudet voivat jopa olla keskeisempiä tekijöitä kuin taksonomia tai lajien levinneisyys kun arvioidaan lajien haavoittuvuutta ilmastonmuutoksen vaikutuksille.



Kuva 9. Ensemble mallien ennusteet viidelle lintulajille suotuisista alueista Pohjois-Amerikan keskiosissa. Vasen sarake = nykyilmasto, keskisarake = ilmastoskenaario RCP 2.6 keskiarvoistettuna vuodelle 2050, oikea sarake = ilmastoskenaario RCP 2.6 keskiarvoistettuna vuodelle 2070. Nykyisin suotuisat mutta tulevaisuudessa epäsuotuisat alueet ('lost climate space') kuvataan punaisella, säilyvät alueet ('kept climate space') vihreällä, ja tulevaisuudessa suotuisiksi muuttuvat uudet alueet ('gained suitable space') keltaisella. Lähde: Salas ym. (2017) (Open Access, Creative Commons Attribution License by 4.0).



Kuva 10. Havainnekuva lajille suotuisista alueista nykyilmastossa ja tulevaisuudessa. Suotuisat alueet määritetään bioklimaattisten mallien avulla ja niiden suhteellisten peittävyksien avulla voidaan laskea lajin alttius ('exposure') ilmastonmuutokselle. Muokattu Berry ym. (2006) pohjalta.

Lajien herkkyys ('sensitivity') ilmastonmuutokselle ilmentää sitä, kuinka voimakkaasti lajin, paikallispopulaation tai yksilöiden hengissä säilyminen, elinvoimaisuus ja lisääntyminen riippuu vallitsevista ilmasto-oloista. Herkempien lajien elinkelpoisuus ja lisääntymiskyky alenee suhteellisen voimakkaasti jo vähäisen lämpötilan tai sademäärän muutoksen johdosta (Dawson ym. 2011). Lajien herkkyyttä ilmastonmuutokselle voidaan siten arvioida lajien lämpötila- ja sademäärätoleranssin laajuuden, lajien ekofysiologisten ominaisuuksien ja joidenkin lajiominaisuuksien avulla (Siegel ym. 2014; Pacifici ym. 2015; Reside ym. 2016). On huomattava, että eri tutkimuksissa samoja lajipiirteitä voidaan käyttää joko sopeutumiskyvyn tai herkkyyden kriteereinä (kuten esimerkiksi lajin leviämiskykyä; vrt. Cabrelli ym. 2014 ja Case ym. 2015). Siten arviointikriteerien jaottelu ei ole yksiselitteisen selkeää.

Lajien haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle voidaan arvioida myös asiantuntijaryhmien työnä, kuten Suomessa on tehty uhanalaisten kasvi- ja eläinlajien kohdalla (tietolaatikko 2). Vaihtoehtoisia tarkastelutapoja on siten useita. Keskeistä on, että analysoitaessa lajien haavoittuvuutta käytetään useita toisiaan täydentäviä näkökulmia. Tällöin saadaan merkittävästi tarkempaa tietoa siitä, mitkä lajit ja lajien elinympäristöt ovat todennäköisesti kaikkein suurimpien uhkien alla (Dawson ym. 2011). Eri näkökulmien käyttö on tärkeää myös siksi, että lajeilla saattaa olla huomattavia eroja paitsi keskenään myös eri uhkatekijöiden suhteen (Reside ym. 2016). Esimerkiksi Australian käärmeilajeilla bioklimaattisiin malleihin perustuvat riskiennusteet eivät korreloineet lainkaan lajiominaisuuksiin perustuvan uhkapisteytyksen kanssa; samoilla alueilla esiintyvien lajien haavoittuvuus ilmastonmuutokselle saattoi vaihdella huomattavasti lajiominaisuuksien perusteella (Cabrelli ym. 2014).

Toisaalta saman lajiryhmän tärkeimmät uhkatekijät voivat olla eri alueilla erilaisia. Australian trooppisten sademetsien lintujen keskeisimpiä uhkatekijöitä olivat pieni levinneisyysalue yhdessä tulipaloherkkyiden ja heikon leviämiskyvyn kanssa (Reside ym. 2016). Pohjois-Amerikan lintulajistossa korostuivat sen sijaan lajien elinympäristövaatimukset ja riippuvuus tietyistä ilmastonmuutokselle herkistä luontotyypeistä (Siegel ym. 2014; Case ym. 2015). Eri lajiryhmissä on usein erilaisia syitä lajien haavoittuvuuteen ilmastonmuutokselle. Casen ym. (2015) tuloksissa luoteisamerikkalaisilla kasvilajeilla korostui lajien leviämiskyky, kun taas linnuilla elinympäristövaatimukset ja sammakkoeläimillä elinympäristö sekä fysiologinen toleranssikyky olivat tärkeimpiä ilmastonmuutokselle herkistäviä tekijöitä.

Ilmastonmuutoksen uhkia käsittelevissä tutkimuksissa on käytetty useita kymmeniä erilaisia kriteereitä arvioitaessa lajien sopeutumiskykyä ja herkkyyttä ilmastonmuutokselle (Williams ym. 2008; Pacifici ym. 2015; Willis ym. 2015). Tarkasteltava eliölajiryhmä usein määrittelee sen, minkälaiset kriteerit ovat käyttökelpoisimpia;

kaikkia kriteereitä ei ole mahdollista soveltaa kaikkiin lajiryhmiin (Gardali ym. 2012). Tutkimukset vaihtelevat myös sen perusteella millä tavoin useasta näkökulmasta kerätty tieto on yhdistetty lajin haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle ilmentäväksi indeksiluvuksi. Yksinkertaisimmillaan uhatuimmat lajit paikannetaan vertailemalla kuinka monen yksittäisen kriteerin perusteella laji kuuluu kaikkein haavoittuvimpien joukkoon (Heikkinen ym. 2010). Toinen vaihtoehto on laskea lajille eri kriteereihin perustuvien arvojen keskiarvo, jossa voidaan painottaa luotettavimmin arvioitavia ominaisuuksia (Cabrelli ym. 2014; Case ym. 2015).

Useissa tutkimuksissa eri kriteerien arvoja on yhdistetty erilaisten yhteenlaskutai kertolaskutoimituksien kautta summaaviksi indeksiarvoiksi. Yksi esimerkki on Reside ym. (2016) käyttämä sopeutumiskykyindeksi ('adaptive capacity index'). Pohjois-Amerikassa on käytetty varsin runsaasti NatureServe-nimisen tutkimuslaitoksen kehittämää lajien ilmastonmuutoksen haavoittuvuuden arviointimenetelmää 'The Climate Change Vulnerability Index' (CCVI). Menetelmä sisältää useita kymmeniä mahdollisia arviointikriteereitä ja kattaa kaikki kolme pääkriteeriä: lajien alttius ilmastonmuutokselle, sopeutumiskyky ja herkkyys (Siegel ym. 2014). CCVI-indeksin etuna on pisteytysjärjestelmä, jota voidaan systemaattisesti soveltaa eri lajiryhmiin ja eri alueille.

Lajiominaisuuksiin perustuvia ilmastonmuutoksen vaikutusten haavoittuvuusanalyysijä on kollektiivisesti kutsuttu nimekkeellä 'Trait-based vulnerability assessments (TVAs) (Pacifi ym. 2015; Willis ym. 2015). Kuten Willis ym. (2015) esittää, TVA:lla tehdyt analyysit voidaan yhdistää monin eri tavoin bioklimaattisten mallien tuottamiin ennusteisiin lajien 'alttiudesta' ilmastonmuutokselle, usein mutkikkaiden vuokaavioiden kautta. TVA-lähestymistavassa on sekä etuja että epävarmuuksia, jotka on syytä ottaa huomioon. Tyypillisimpiä epävarmuustekijöitä ovat lajien fysiologian, genetiikan ja populaatiobiologisten tietojen puutteellisuus, haavoittuvuus-kriteerien yhdistämisen mittakaava- ja yhteismitallisuusongelmat sekä lajiryhmien asiantuntija-arvioiden rajoitteet (Case ym. 2015; Pacifi ym. 2015). Huolellisen menetelmällisten rajoitteiden huomioinnin avulla lajiominaisuuksiin perustuvat haavoittuvuusanalyysit tarjoavat kuitenkin hyödyllisen näkökulman lajien suojelusuunnitteluun, jossa ilmastonmuutoksen uhkatekijöitä arvioidaan myös lajien biologiasta käsin.

4.3.4 Lajien leviäminen eli dispersaali

Leviämis- eli dispersaalityky on yksi keskeisimmistä biologisista ominaisuuksista kun arvioidaan lajien sopeutumista ilmastonmuutokseen (Heikkinen ym. 2010; Arribas ym. 2012; Case ym. 2015; Pacifi ym. 2015). Leviämiskyky vaikuttaa suoraan viivaisesti siihen, miten hyvin laji pystyy siirtymään uusille ilmastoltaan suotuisiksi muuttuville (suojelu)alueille. Heikommin leviävät lajit joutuvat usein siirtymään ihmistoiminnan muokkaaman maisemamatriisin kautta, jolloin lajien elinympäristövaatimukset ja menestyminen vähemmän optimaalisissa oloissa vaikuttavat leviämisen onnistumiseen (dispersaalitykyiset lajit pystyvät helpommin ylittämään epäsuotuisat välialueet). Useiden lajien leviämiskyky on tunnettu vajavaisesti (Arribas ym. 2012; Cabrelli ym. 2014; Pacifi ym. 2015), minkä takia arvioinnissa tulee olla varovainen. On suositeltavaa tehdä tulosten herkkyys- eli sensitiivisyysanalyysijä. Niiden avulla voidaan selvittää, kuinka paljon vaihtoehtoisten dispersaaliparametrien käyttäminen vaikuttaa tuloksiin.

Bioklimaattisten mallien ennusteita on perinteisesti tulkittu kahdella vaihtoehdoisella tavalla: oletetaan, että laji joko pystyy leviämään kaikille uusille suotuisiksi muuttuville alueille ('full dispersal') tai että se ei leviä lainkaan nykyisiltä alueilta ('no dispersal'), jolloin nykyisten esiintymisalueiden muutokset ratkaisevat lajin menestymisen. Nämä molemmat tulkinnat edustavat ääritilanteita, jotka soveltuvat vain pieneen osaan lajeja. Valtaosa lajeista sijoittuukin näiden ääritilanteiden väli-

maastoon. Viime vuosina bioklimaattisten mallien ennusteisiin on pyritty yhdistämään arvioita lajien leviämiskyvystä. Arvioihin perustuen voidaan uusista suotuisista alueista huomioida vain ne, joille laji todennäköisesti pystyy leviämään ('partial dispersal'). Vaikka lajien leviämiskyvyn tarkka arvioiminen on usein ongelmallista, on ilmeistä, että jo yksinkertaisetkin 'partial dispersal' -tyyppiset bioklimaattiset mallit tarkentavat levinneisyysalueiden muutosennusteita (Bateman ym. 2013). Leviämiskyvyn arvioinnissa voidaan käyttää tiettyjä lajien yleispiirteitä kuten eläinten ruumiin koko, siipien väli, ja kasveilla siementen koko ja leviämiskeino (Bateman ym. 2013). Vaihtoehtoisesti on mahdollista tehdä arvioita tietyn lajiryhmän sisäisistä suhteellisista dispersaalikyvyn eroista käyttämällä hyväksi tietoja paikallispopulaatioiden geneettisestä eriytyneisyydestä (Arribas ym. 2012).

Lajien levinneisyysalueiden muutosten ennustaminen bioklimaattisten mallien perusteella sisältää kuitenkin rajoitteita. Yksi tärkeä puute on se, että nämä mallit eivät juuri lainkaan huomio sitä, että levinneisyysalueen muutos on dynaaminen prosessi. Tämän prosessin onnistumiseen vaikuttaa oleellisesti lajille soveltuvien elinympäristöjen alueellinen esiintyminen sekä muutkin lajiominaisuudet kuin pelkästään leviämiskyky.

Viime vuosina levinneisyysalueiden muutoksia on alettu tehdä (spatiaalisesti tarkoilla) dynaamisilla populaatiobiologisilla malleilla ('spatially explicit dynamic population models') sekä bioklimaattisten mallien ja populaatiobiologisten mallien yhdistelmillä eli niin sanotuilla hybridimalleilla ('hybrid models') (Keith ym. 2008; Fordham ym. 2012b; Fordham ym. 2013; Scriven ym. 2015). Erilaisia dynaamisia malleja ja hybridimalleja on useita ja tuoreita katsauksia niiden ominaisuuksiin ovat tehneet muun muassa Mestre ym. (2016) ja Urban ym. (2016). Dynaamisilla malleilla voidaan arvioida lajipopulaatioiden säilymistä ja lisääntymismenestystä sekä yksilöiden liikkumista elinympäristölaikkujen välillä ja uusien alueiden kolonisoimista dynaamisena prosessina. Tämänlaisten mallien suurimmat hyödyt ovat seuraavat seikat: (i) ne tuottavat ennusteita lajien leviämismahdollisuuksista ja lajipopulaatioiden häviämiskäytävistä eri tavoin pirstoutuneissa ympäristöissä, (ii) niiden avulla voidaan tunnistaa lajiominaisuudet, jotka vaikuttavat kriittisesti lajien leviämiseen uudelle alueelle, ja (iii) niiden avulla voidaan vertailla suojele- ja hoitotoimien, kuten elinympäristöjen ennallistamisen suuntaamisen, tehokkuutta lajipopulaatioiden säilymisessä (Fordham ym. 2013).

Yksi esimerkki dynaamisista populaatiobiologisista malleista on RangeShifter (Bocedi ym. 2014). Tämän menetelmän avulla Suomessa on mallinnettu kahden perhoslajin leviämistä Lounais-Suomen niittymäisten elinympäristöjen verkostossa (Heikkinen ym. 2014), sekä yhden niittyihin erikoistuneen perhosen, tummahäränsilmän, siirtoistutusten onnistumisen todennäköisyyttä (Heikkinen ym. 2015). RangeShifter-mallien tulosten perusteella periaatteessa samantyyppisissä elinympäristöissä esiintyvien, mutta vaatimuksiltaan erilaisten (generalisti vs. spesialisti) perhoslajien leviämisessä saattaa olla useiden kymmenien kilometrien eroja. Lisäksi paikallisten perhospopulaatioiden menestyminen ja leviäminen saattaa riippua kriittisesti populaatioiden vuosittaisesta kasvukyvystä eli kasvukertoimesta ('population growth rate'). Tämän tyyppisiä tarkempia ennusteita lajien levinneisyysalueiden muutoksista ja populaatioiden säilymisestä on jokseenkin mahdotonta tuottaa pelkästään bioklimaattisten mallien perusteella.

On kuitenkin huomattava, että dynaamiset mallit ja hybridimallit sisältävät myös rajoitteita. Yksi merkittävimmistä on se, että niiden käyttö vaatii mahdollisimman tarkkoja arvioita useista lajiominaisuuksista. Tämänlaista tietoa ei useinkaan ole saatavilla kuin vain hyvin rajatusta lajijoukosta (Urban ym. 2016). Lisäksi mitä useammasta lajiominaisuudesta (esimerkiksi leviämiskyky, populaation kasvukerroin, maksimaalinen populaatiokoko, kuolleisuus elinkierron eri vaiheissa) tarvitaan tietoja, sitä suurempi riski on lajiominaisuuksiin liittyvien epävarmuuksien kertaantumiseen

(‘error propagation’) malliennusteissa (Bateman ym. 2013). Toisinaan pienetkin muutokset lajien ominaisuuksien parametrisoinnissa voivat muuttaa monimutkaisten, useita muuttujia sisältävien dynaamisten mallien ennusteita. Siksi vaihtoehtoisten lajiominaisuuksien arvojen tarkasteluun perustuvat herkkyysanalyysit ovat keskeisiä sekä dynaamisissa että hybridimalleissa. Niiden avulla on mahdollista tunnistaa lajiennusteisiin voimakkaimmin vaikuttavat ominaisuudet (Neubert & Caswell 2000; Minor ym. 2008; Heikkinen ym. 2014; Heikkinen ym. 2015; Urban ym. 2016). Toisaalta, jos lajiominaisuustiedot ovat puutteellisia, voidaan dynaamisia malleja käyttää ‘eksploraatiivisessa’ mielessä. Voidaan esimerkiksi mallintaa hypoteettisten lajien (esimerkiksi tietyn lajiryhmän oletettuja keskimääräisiä edustajia tai esimerkiksi äärimmäisen hyvin tai huonosti leviäviä saman lajiryhmän lajeja) leviämistä ja säilymistä erilaisissa tilanteissa ja maisemissa.

4.3.5 Ekologiset käytävät

Lajien leviäminen muuttuvassa ilmastossa on läheisesti kytköksissä niille sopivien ekologisten käytävien suunnitteluun. Luonnonsuojelubiologiassa kirjallisuudessa ekologisten käytävien perustaminen on yksi useimmin mainituista suojelusuunnittelun keinoista, joka edistää lajien sopeutumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin (Opdam & Wascher 2004; Heller & Zavaleta 2009; Beier ym. 2011; Groves ym. 2012; Lawler ym. 2015). Groves ym. (2012) mukaan ekologisten käytävien keskeiset yleiset hyödyt ovat seuraavat: (1) ne tarjoavat lajeille ja lajiyhteisöille parhaan luontaisen sopeutumiskeinon ilmastonmuutokseen: siirtyminen uusille alueille, (2) kytkeytyvyyden lisääminen parantaa paitsi suojelualueverkoston integroitumista myös elinympäristöjen palautumiskykyä häiriötilanteiden jälkeen, ja (3) perustilanteessa ilman ilmastonmuutostakin kytkeytyvyydellä on merkitystä. Se vähentää yksittäisten kohteiden eristyneisyyttä, mahdollistaa laajemmat elinpiirit (‘home range’) lajeille, tarjoaa runsaammin erityyppisiä habitaatteja eri elinkierron vaiheisiin ja edesauttaa metapopulaatioina elävien lajien alueellista säilymistä (hävinneet paikallispopulaatiot kolonisoituvat varmemmin uudelleen). Ekologiset käytävät voivat koostua kokonaan tai suurelta osin lajille suotuisista habitaateista. Käytännössä ne usein ovat käytävämäisiä alueita maisemassa, joissa lajille sopivia elinympäristöjä esiintyy sopivien välimatkoin ja riittävän suurina laikkuina. Tämänkaltaiset ‘askelkivikäytävät’ (‘stepping stone corridors’) ovat suojelusuunnittelun näkökulmasta usein helpompi toteuttaa (Krosby ym. 2010; Tainio ym. 2016).

Leviämiskäytävien suunnittelua voidaan tehdä useilla erilaisilla menetelmillä (Nuñez ym. 2013). Yksi vaihtoehto on edellä mainittu bioklimaattisten mallien ennusteisiin perustuva lähestymistapa. Siinä lajille suotuisat alueet nyt ja tulevaisuudessa pyritään liittämään siten, että niiden väliin muodostuu hyvälaatuisten alueiden mahdollisimman hyvin kytkeytyneitä verkostoja (Kujala ym. 2013). Tämänlainen ekologisten käytävien suunnittelu vaatii paitsi lajiaineistoja ja niille tehtyjä ennustemalleja myös alueiden valinnan priorisoinneissa kytkeytyvyyden korostamista. Zonation-ohjelma on yksi tämänlaisiin tehtäviin käytettävissä oleva menetelmä (Kujala ym. 2013), ja Marxan toinen vastaavanlainen (Game ym. 2011). Käytävien suunnittelua voidaan tehdä myös joko ilmastotietojen tai maanpeiteaineistojen (elinympäristöt, luontotyytit, maan käyttö, luonnontilaisuus ym.) (Nuñez ym. 2013) perusteella, tai hyödyntäen molempia yhdessä lajiennusteiden kanssa (Lawler ym. 2013).

Yksi esimerkki maanpeiteaineistoihin perustuvasta leviämiskäytävien suunnittelusta on ‘Resistance surfaces – Resistant Kernel modelling’-lähestymistapa (Cushman ym. 2012). Siinä alueella esiintyvät maanpeiteluokat tai elinympäristöt luokitellaan ensin sen mukaan, kuinka työlästä tai riskialtista lajien leviäminen on tietyn maanpeiteluokan kautta. Näin maanpeitetieto muunnetaan eräänlaisiksi ‘leviämisen vastustuspinnoiksi’ (‘resistance surfaces’). Kun nämä pinnat kytketään lajien arvioituun

dispersaalikykyyn esimerkiksi 'pienimpien kustannusten leviämisen' ('least cost dispersal') (Brost & Beier 2012; Cushman ym. 2012) mallinnuksella, saadaan tuotettua kartta-aineistoja siitä, mille paikoille lajien liikkuminen todennäköisemmin keskittyy. Nämä keskittymät ilmentävät siten potentiaalisimmat leviämiskäytävät eli alueet, joita luonnehtivat lajihabitaattien väliset lyhyet tai vähemmän leviämistä vastustavat reitit.

Ilmastotietoja voidaan käyttää leviämiskäytävien suunnittelussa yksinkertaisimmillaan siten, että käytävän reitti valitaan lämpötilagradientin mukaisesti (Nuñez ym. 2013). Tässä tapauksessa suojelualueelta alkava käytävä siirtyy asteittaisesti lämpöoloiltaan kylmempään suuntaan ja siihen ei sisälly voimakkaita (leviämistä hidastavia hyppäyksellisiä) muutoksia. Käytävään liitettävien alueiden valinnassa voidaan myös tässä tapauksessa painottaa muitakin kriteereitä, kuten esimerkiksi mahdollisimman luonnontilaisia alueita (Nuñez ym. 2013).

Yksi kattavimmista ja samalla monimutkaisimmista ilmastonmuutokseen sopeutumista ja leviämiskäytäviä käsittelevistä tutkimuksista on Lawler ym. (2013) artikkeli. Tämä työ perustuu noin 2900 lajille tehtyjen bioklimaattisten mallien ennusteisiin suotuisten alueiden muutoksista kymmenen eri ilmastoskenaarion perusteella. Työssä nykyiset ja tulevaisuudessa suotuisat alueet yhdistettiin sähköteoriaan ('Electronic circuit theory') perustuvan Circuitscape-ohjelmiston avulla. Ohjelma määrittelee tutkimusalueen kaikkien maanpeitekuvioiden tai ruudukon ruutujen välipinnoille eräänlaisen kitkatekijän arvon. Nämä kitkatekijät vaikuttavat siihen, miten ohjelman simuloimat satunnaisesti liikkuvat lajiyksilöt ('random walkers') kulkeutuvat tutkimusalueella. Ohjelma tuottaa lopputuloksena kartan siitä, millä alueilla simuloitujen lajien leviäminen on helpompaa; ne ilmentävät ilmastonmuutokseen sopeutumista optimaalisesti auttavien leviämiskäytävien sijaintia.

Lawler ym. (2013) ottivat lajien siirtymisreittien mallintamisessa vielä huomioon ihmistoiminnan mahdolliset haittavaikutukset. Tämä tehtiin siten, että urbaaneilla, korkean ihmispopulaation ja tieverkoston ja valosaasteen luonnehtimilla alueilla lajien leviämisen kitkakertoimia voimistettiin (tämä siis ohjasi mallinnusta välttämään näitä alueita). Mallinnuksen lopuksi yksittäisten lajien erilliset analyysit yhdistettiin, jolloin saatiin kokonaiskuva reiteistä, jotka ovat potentiaalisimpia ekologisia käytäviä useille lajeille useiden ilmastoskenaarioiden näkökulmasta.

Kuten muihinkin ilmastonmuutoksen arviointeihin, myös ekologisten leviämiskäytävien tunnistamiseen ja käyttökelpoisuuteen liittyy epävarmuuksia. Esimerkiksi käytävien mallinnustöissä hyvin harvoin huomioidaan se, että ilmasto-olot eivät muutu vaihteelta vähitellen vaan vuosien välinen vaihtelu voi olla huomattavaa. Early ja Sax (2011) osoittivat bioklimaattisten mallien ennusteiden avulla, että lajeille suotuisten alueiden reitit uusille soveltuville alueille voivat välillä katketa pelkästään ilmaston vaihtelevuuden takia. Siksi suunniteltu ekologinen käytävä voi periaatteessa sisältää riittävästi lajille soveltuvaa elinympäristöä, mutta käytännössä lajin leviäminen voikin olla yhdistelmä reunuspopulaatioiden etenemisiä ja vetäytymisiä. Leviämisen takaiskujen voimakkuuteen vaikuttavat paitsi lajiominaisuudet myös se, kuinka monta perättäistä huonojen olosuhteiden vuotta laji kohtaa (Henry ym. 2013; Mustin ym. 2013).

Muitakin epävarmuuksia sisältyy ekologisiin käytäviin. Groves ym. (2012) listaa seuraavat tekijät: (1) epävarmuus siitä, missä ja minkälaista kytkeytyvyyttä tarvitaan lajien siirtymiseen, (2) optimaaliset käytäväreitit sijoittuvat usein eri lajeilla ja lajiyhteisöillä eri kohtiin maisemaa, (3) useimpien lajien liikkumisesta käytävissä tiedetään vähän, samoin kuin siitä, kuinka paljon sopivaa habitaattia käytävässä pitäisi olla, (4) lajien nykyesiintymiin perustuva kytkeytyvyysmallinnus ja siihen pohjautuva ekologisten käytävien suunnittelu voi menettää toimivuuttaan dynaamisesti vaihtuvassa maisemassa, etenkin jos lajien levinneisyydet muuttuvat eri tavoin kuin on ennustettu, ja (5) kytkeytyvyyden lisäämisellä voi olla haittavaikutuksia, esimerkiksi jos hyvin leviävät, kilpailukyvyiltään vahvat yleislajit pystyvät siirtymään helpommin

uusille suojelualuille ja valtaamaan siellä tilaa heikommilta lajeilta. Lawler ym. (2013) nostavat esiin myös sen, että yleisluonteinen ekologisten käytävien suunnittelu ei välttämättä huomioi lajispesifisiä elinympäristövaatimuksia jolloin lajien sietokyky ihmistoiminnan haittavaikutuksille käsitellään kategorisesti samalla tavalla. Lisäksi siirtymistä haittaavat leviämissesteet vaihtelevat selvästi eri lajiryhmien välillä.

Yllättävän vähän on arvioitu ekologisten käytävien perustamiseen liittyviä kustannuksia, jotka voivat olla yksi niiden toteutusta rajoittava tekijä. Tainio ym. (2016) arvioivat yhden niittyperhoslajin siirtymistä auttavien stepping-stone -käytävien perustamisesta koituvia kustannuksia. Nämä käytävät alkoivat Lounais-Suomen nykyesiintymien alueelta ja etenivät rannikkoa pitkin tai sisämaahan päin tulevaisuudessa erityisen suotuisille alueille. Työssä asetettiin tavoitteeksi, että käytävään kuuluvissa 2 km x 2 km ruuduissa olisi tietty minimimäärä soveltuvaa elinympäristöä ja tämän tavoitteen toteuttaminen tapahtuisi maatalouden ympäristötuen avulla. Sovelias elinympäristö puuttui suurelta osalta käytäväreittiä minkä johdosta arvioidut perustamiskustannukset kohosivat huomattavan korkeiksi, useimmiten yli 100 000 euroon per käytävä.

Hodgson ym. (2011) varoittavat korostamasta liikaa ekologisten käytävien merkitystä suojelusuunnittelussa ilmastonmuutoksen näkökulmasta. Heidän mukaansa tutkimustulokset osoittavat, että suojelualueiden koolla ja laadulla on suurempi merkitys lajipopulaatioiden säilymiselle kuin niiden alueellisella jakautumisella tai suojelualueiden välisen maisemamatriisin piirteillä. Toisin sanoen, suurikokoiset, laadukkaat suojelualueet voivat toimia sekä lajien siirtymisen lähdealueina että uusien alueelle saapuvien lajien kolonisaatiokohteina. Tämä voi kriittisesti auttaa lajien sopeutumista ilmastonmuutokseen. Nämä näkökulmat ovat kytköksissä lajien leviämiskykyyn. Mokany ym. (2013) tutkivat dynaamisella mallinnuksella uusien suojelukohteiden optimaalista sijoittamista suhteessa lajien leviämiskykyyn. Tulosten perusteella paremmin leviävillä lajeilla elinympäristöjen maisematason kytkettyvyyden merkitys väheni ja suojelukohteiden paikallinen rykelmöityminen ('aggregation') takasi lajien säilyttämisen paremmin.

Toisaalta on huomattava, että tietyt seikat kuitenkin puoltavat ekologisia käytäviä. Crosby ym. (2010) arvioivat, että alueilla joissa suojelualueverkosto on harva, heikon tai keskimääräisen dispersaalityyppien lajit eivät pysty siirtymään ilman käytäviä suojelualueilta toiselle. Lisäksi heidän mukaansa suojelualueiden koon kasvattaminen ei välttämättä riitä laajentamaan niiden paikallisilmaston olosuhteita niin paljon, että viileämpiä olosuhteita suosivien lajien populaatiot pystyvät säilymään laajenetullakaan kohteella kovin pitkään. Etenkin tämä koskee tasamaastossa sijaitsevia suojelualueita. Crosby ym. (2010) suosivatkin suojelusuunnittelua, joka perustuu lämpötilagradientteja seuraavaan suojelualueiden verkostoon. Yleisesti ottaen yhtä, kaikkiin tilanteisiin ja kaikkiin lajeihin sopivaa joko pelkästään ekologisiin käytäviin tai suojelualueiden koon ja laadun parantamiseen perustuvaa optimaalista suojelusuunnittelun lähestymistapaa ei kuitenkaan ole olemassa. Käytävien suunnittelussa tulee huomioida niihin liittyvät reunaehdot ja tarkastella useita erityyppisiä lajeja ja lajiryhmiä sekä maankäytöltään erilaisia alueita (Lawler ym. 2013), sekä varmistaa, että leviämisen kohdealueilla on riittävästi edustavia suojelualueita tarjolla (Hodgson ym. 2011).

4.4 Ilmastonmuutokselle herkäät luontotyypit ja elinympäristöt

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia suojelualueilla esiintyvien luontotyyppien säilymiseen ja levinneisyyden muutoksiin on arvioitu samanlaisilla korrelatiivisilla malleilla kuin yksittäisiä eliölajeja, eli tietyyttyppisten bioklimaattisten mallien avulla. Tässä mallinnuksessa on kuitenkin erilaisia vaihtoehtoja. Yksi tapa on käsitellä luontotyyppisiä ja ekosysteemejä lajeja vastaavina mallinnuksen 'yksikköinä'. Siinä niiden esiintymisaluet linkitetään ensin joko yhden tai useamman mallinnusmenetelmän avulla ilmastomuuttujiin. Kun nämä mallit sovitetaan ilmastoskenaarioihin, saadaan ennusteita siitä, millä alueilla luontotyyppien esiintyminen voi taantua ja missä on uusia suotuisia alueita niiden kehittymiselle tulevaisuudessa. Suotyyppien esiintymisaluiden muutoksia on mallinnettu tällä tavoin, kuten esimerkiksi peittosoiden globaalia levinneisyyttä ja levinneisyyden muutoksia kuluvan vuosisadan aikana (Gallego-Sala & Colin Prentice 2013) sekä palsasoiden esiintymisen muutoksia Fennoskandiassa (Luoto ym. 2004b; Fronzek ym. 2006; Fronzek ym. 2010).

Astetta suuripiirteisempi mallinnus perustuu niin sanottujen bioklimaattisten vyöhykkeiden ('bioclimatic zones') – bioklimaattisia seutuja, joita luonnehtivat tiettytyypiset ekosysteemit, lajit ja lajien väliset interaktiot – levinneisyyden ennustamiseen. Näiden mallien perusteella voidaan arvioida sitä, miten yksittäisten suojelualueiden yleiset olosuhteet muuttuvat, eli 'siirtyvätkö' ne tietystä bioklimaattisesta vyöhykkeestä toiseen, jolloin niiden eliöyhteisöissä voi tapahtua merkittäviä muutoksia (Zomer ym. 2015). Laaja-alaisten kasviekosysteemien ('elöyhteisöjen' eli 'biomien') levinneisyysalueiden muutoksia suhteessa suojelualueverkoston on mallinnettu myös globaalien dynaamisten kasvillisuusmallien avulla. Ne ovat prosessipohjaisia malleja, jotka simuloivat kasvillisuustyyppien, kuten havumetsän, kehittymistä. Esimerkiksi Scott ym. (2002) käyttivät tällaisia malleja Kanadan suojelualueverkoston tarkastelussa; heidän tulostensa perusteella alueelle uusia ekosysteemejä tai biomeja saattaa kehittyä yli puolelle Kanadan suojelualueista, etenkin kuluvan vuosisadan jälkimmäisen puoliskon aikana.

Luontotyyppien ja lajiyhteisöjen levinneisyysalueiden muutoksia voidaan ennustaa myös lajikohtaisten bioklimaattisten mallien avulla niin sanotulla "predict first, assemble later" -menetelmällä (Ferrier & Guisan 2006). Yksi esimerkki tämän tyyppisestä tutkimuksesta on työ, jossa mallinnettiin Skotlannin nummialueiden kasvi- ja sammallajien levinneisyyden muutoksia (Trivedi ym. 2008). Yksittäisten lajien ennusteet tehtiin ensin erikseen, mutta ne yhdistettiin seuraavassa vaiheessa; näin tuotettiin ennusteita alpiinisten lajiyhteisöjen esiintymien muutoksista tutkimukseen sisällyneillä suojelualueilla. Esimerkiksi *Racomitrium-Carex* -sammalnummien esiintymisalueen ennustettiin taantuvan uusien lajien leviämisen vuoksi. Tämän tyyppinen mallinnus toimii todennäköisesti parhaiten eliöyhteisöissä keskeisillä, niin sanotuilla avainlajeilla ('key species') tai ydinlajeilla ('core species'). Näiden lajien esiintymisaluiden muutokset voivat vaikuttaa useiden muiden samassa luontotyyppissä esiintyvien lajien populaatioiden menestymiseen. Yksi esimerkki on metsien puulajit, joiden esiintymisaluiden muutokset voivat oleellisesti vaikuttaa useiden muiden metsälajien esiintymiskuvan muutoksiin (Zolkos ym. 2015).

Yksi seikka tukee "predict first, assemble later" -lähestymistavan käyttöä lajiyhteisöjen alueellisten muutosten ennustamisessa. On nimittäin odotettavissa, että eri lajit tulevat reagoimaan eri tavoin ilmastonmuutokseen eivätkä niinkään yhtenäisenä lajiyhteisönä. Tämä kehitys saattaa johtaa nykyisten lajiyhteisöjen hajoamiseen ja uusien, aiemmasta poikkeavien lajiyhdistelmien kehittymiseen ja muihinkin 'ekologisiin yllätyksiin' ('no-analogue climates, no-analogue communities, ecological surprises') (Williams & Jackson 2007; Fitzpatrick & Hargrove 2009; Stralberg ym. 2009). Useiden eläin- ja kasvilajien viimeaikaiset levinneisyysalueen muutokset Kaliforniassa tukevat

tätä hypoteesia. Tutkimustulokset ovat paljastaneet varsin heterogeenisen ryhmän erilaisia muutostrendejä, osin jopa vastakkaisia muutoksia (leviäminen joko alarinteille tai ylärinteille) (Rapacciuolo ym. 2014). Toisaalta on kuitenkin huomattava, että yksittäisten lajien ennusteiden yhdistämiseen perustava mallinnus on työläämpää kuin luontotyyppien tasolla tehtävä mallinnus, etenkin lajimallinnukseen liittyvien runsaiden virhelähteiden ja aineistovaatimusten takia.

Mallinnustutkimusten ja eräiden muiden arviointien perusteella ilmastomuutokselle herkat elinympäristöt sijoittuvat usein jonkin alueellisen ilmastogradientin (esimerkiksi lämpötila, sademäärä tai kosteusolot) reunaosiin. Nämä gradientin reunat ovat kohtia, joissa muutokset sääoloissa voivat viedä paikalliset olosuhteet jonkun tietyn kriittisen kynnsarvon yli. Ääritilanteissa muutos – joka voi olla äkillinen – vie suuntaan, joka johtaa luontotyyppin taantumiseen ja paikalliseen häviämiseen. Yksi hyvä esimerkki on tunturien lumenviipymien lajiyhteisöt, jotka ovat ensimmäisenä vaarassa hävitä eteläisimmiltä tuntureilta ilmaston lämpenemisen myötä (Björk & Molau 2007). Myös muut alpiiniset luontotyypit ovat pitkällä aikavälillä ilmaston lämpenemisen uhkaamia (Guisan & Theurillat 2000; Dirnböck ym. 2003; Walther ym. 2005), samoin kuin tietyistä periglasiialisista ilmasto-olosuhteista riippuvaiset palsat, palsasuot sekä niillä esiintyvät lajiyhteisöt (Luoto ym. 2004a; Fronzek ym. 2006). Etelä-Euroopassa ja muilla vastaavilla niin sanotun Välimeren ilmaston luonnehtimilla seuduilla on kuivan paahteisia elinympäristöjä, jotka ovat lämpenemisen johdosta vaarassa taantua ja voivat äärimmillään muuttua (puoli)aavikoiksi (Klausmeyer & Shaw 2009). Suomessa ei tämäntyyppisiä kuumankuivia ääritapauksia juurikaan esiinny.

Tietyt elinympäristöt voivat olla uhattuja myös ilmastomuutoksen epäsuorien vaikutusten johdosta. Esimerkiksi merenrantojen lajiyhteisöt voivat myös Itämeren alueella vähentyä meren pinnan nousun ja sitä seuraavan elintilan kaventumisen myötä. Tanskassa tehdyssä tutkimuksessa arvioitiin, että useiden kymmenien merenrantojen lintulajien paikalliset populaatiot voivat taantua ilmastomuutoksen myötä, samoin kuin eräät selkärangattomat ja kalalajit (Clausen & Clausen 2014).

Luontotyyppien ja elinympäristöjen herkkyyttä ilmastomuutokselle voidaan arvioida myös asiantuntijaryhmien arvioina. Suomessa esimerkiksi Luontotyyppien uhanalaisuus (LuTU) -työryhmät ovat tehneet tämänkaltaisia ryhmäarviointeja. LuTU-ryhmien arviointien näkökulmia on esitetty tietolaatikossa 3. LuTU:ssa ilmastomuutoksen katsottiin aiheuttavan uhkia luontotyypeille muun muassa seuraavissa tapauksissa: (1) Itämeri; suolapitoisuuden muutoksille ja rehevöitymiselle herkat luontotyypit, kuten rakkolevä- ja punaleväyhteisöt, meriajokasyhteisöt sekä sinisimpukkayhteisöt saattavat kärsiä ilmastomuutokseen liittyvistä suorista ja epäsuorista vaikutuksista (lisääntynyt syyssateisuus), (2) Sisävedet; ilmastomuutos vaikuttanee etenkin Pohjois-Lapin järvien ja tunturilampien luontoon, (3) Metsät; kuusivaltaiset tuoreet ja kuivahkot kankaat sekä kuivat ja karukkokankaat voivat kärsiä kuusen taantumisen ja yleisen rehevöitymisen takia.

4.5 Suojelualueiden topografian, pienilmaston ja muiden paikallisten tekijöiden merkitys

Luontotyyppihin ja etenkin lajiarvioihin liittyvät epävarmuudet ovat johtaneet siihen, että yksittäisten suojelualueiden herkkyyttä ilmastomuutokselle ja koko suojelualueverkoston toimivuutta muuttuvissa oloissa on analysoitu myös muunlaisista näkökulmista. Useimmat näistä näkökulmista ja kriteereistä voidaan lukea nimikkeen 'biogeofysikaaliset tekijät' alle (Bonan 2008). Esimerkkejä ovat muun muassa suojelualueiden pienilmasto, maaperän ominaisuudet, paikalliset kosteusolosuhteet sekä

niiden maanpinnan muotojen vaihtelu (topografinen monipuolisuus) (Lawler ym. 2015).

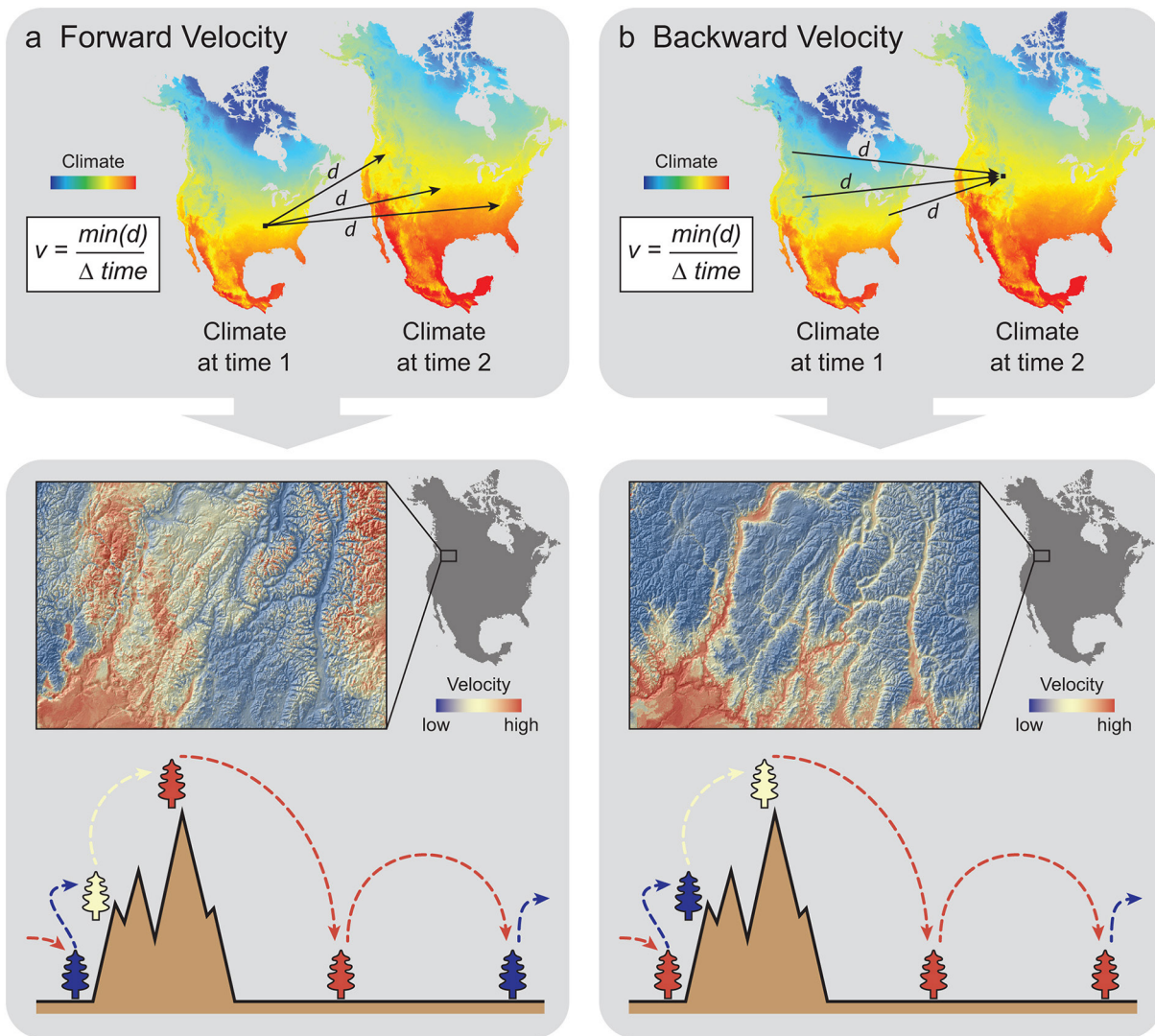
Ilmastomuuttujien avulla suojelualueita ja suojelualueverkostoa voidaan tarkastella useasta näkökulmasta. Yksi mielenkiintoinen kriteeri, joilla yksittäisten suojelualueiden herkkyyttä ilmastonmuutokselle voidaan arvioida, on paikallisen tai alueellisen ilmaston ennustettu muutosnopeus ('climate velocity') (Loarie ym. 2009; Ackerly ym. 2010; Carroll ym. 2015) (kuva 11a). Yksinkertaisimmillaan muutosnopeus lasketaan siten, että tutkimusalueen sisältämien kaikkien paikkojen (tai tietyn kokoisien ruutujen, esimerkiksi 1 km x 1 km) ilmasto-olot ensin luokitellaan, mukaan lukien sekä nykytilanteen että ilmastoskenaarioiden mukaiset ilmasto-olot. Sen jälkeen tarkastellaan, kuinka etäälle yksittäisen suojelukohteen nykyilmastoa vastaavat olosuhteet siirtyvät tulevaisuudessa. Kun tämä etäisyys suhteutetaan ilmastoaineistojen ajalliseen erotukseen (esimerkiksi 1971–2000 vs. 2070–2099), saadaan ilmastonmuutoksen nopeutta kuvaava 'velocity' -indeksin arvo. Indeksi ilmentää sitä, kuinka pitkiä matkoja eliölajien olisi siirryttävä, jotta ne pääsevät tulevaisuudessa ilmastoltaan samankaltaiselle alueelle.

Loarie ym. (2009) tekivät globaalin analyysin ilmastonmuutoksen nopeudesta maapallon eri osissa; laskutapa tässä työssä oli hieman toisenlainen kuin yllä esitetty, mutta indeksin informaatioisältö sama. Heidän tulostensa perusteella muutosnopeus on voimakkainta alankoalueiden tasaisilla ruohostomailla, mangrovemetsissä ja aavikoilla, ja hitainta vuoristoissa biomeissa. Ilmastonmuutoksen nopeuserot ääripäiden välillä olivat yli kymmenkertaisia. Vuoristoalueilla ja muilla topografialtaan hyvin monipuolisilla alueilla ilmasto-oloiltaan nykytilannetta vastaavat paikat löytyvät siten huomattavasti lähempää kuin tasamaaseuduilla. Yksi tärkeä arvio oli se, että vain 8 % maapallon suojelualueista säilyttää (jossain kohtaa suojelualuetta) nykyoloja vastaavia paikallisilmastoja yli 100 vuoden päähän tulevaisuuteen.

Ilmastonmuutoksen nopeus voidaan arvioida jokaiselle paikalle kahdella eri tapaa: eteenpäin tulevaisuuteen ('forward velocity') eli kuinka etäällä tietyn paikan nykyisiä ilmasto-oloja vastaavat olosuhteet tulevaisuudessa ovat, tai taaksepäin arvioiden ('backward velocity'), jossa lasketaan kuinka kaukana tietylle paikalle ennustetun tulevaisuuden ilmasto-oloja vastaavat olot nykytilanteessa sijaitsevat (eli kuinka kaukaa tietylle paikalle / alueelle voi eliölajeja siirtyä tulevaisuudessa) (Carroll ym. 2015; kuva 11).

Ackerly ym. (2010) arvioivat Kalifornian suojelualueiden ilmaston muuttumista muita tutkimuksia tarkemmalla mittakaavalla. Heidän tulostensa mukaan vain kahdeksalla suojelualueella tutkimukseen sisältyneistä vajaasta 500 alueesta säilyy tämän vuosisadan lopulle jossain kohtaa nykyisen kaltaista paikallisilmastoa. Valtaosalla suojelualueita ilmasto-olot tulevat tämän ennusteen mukaan muuttumaan huomattavasti. Myös näissä tuloksissa ennustettu muutos oli hitainta vuoristoseuduilla ja nopeinta alavilla tasamaaseuduilla. Toisaalta Ackerly ym. (2010) painottavat, että 800 m x 800 m tutkimusruudun resoluutio on mahdollisesti liian karkea pienipiirteisten paikallisolojen analysointiin. Myös Lenoir ym. (2013) arvioivat, että Euroopan vuoristoseuduilla pienpiirteinen lämpötilavaihtelu voi olla jopa laajempaa kuin ilmastoskenaarioiden ennusteet lämpötilan alueellisista muutoksista. Onkin ilmeistä, että pinnanmuodoiltaan hyvin heterogeenisten alueiden topoklimaattiset erot voidaan usein arvioida liian lievinä. Tällöin on vaarana, että erilaiset viileämmän pienilmaston taskut, joiden tunnistaminen vaatisi tarkemman resoluution aineistoja, jäävät huomioimatta.

Paikallisia ilmastopiirteitä voidaan käyttää myös arvioitaessa koko alueellisen suojelualueverkoston edustavuutta muuttuvassa ilmastossa. Perusajatuksena on arvioida, miten hyvin suojelualueverkosto kattaa kaikki erilaiset pienilmastotyyppit sekä nykytilanteessa (Batllori ym. 2014) että etenkin ilmastoskenaarioiden ennusteiden mukaisissa tilanteissa (Wiens ym. 2011). Heller ym. (2015) arvioivat San Franciscon



Kuva 11. Havainnekuva a) eteenpäin ja b) taaksepäin mitatusta ilmastonmuutoksen nopeudesta ('climate velocity'). Ylimmät paneelikuvat ilmaisevat muutosindeksien laskutavan. Keskimmäiset paneelikuvat näyttävät tarkan resoluution kartan eteenpäin ja taaksepäin mitatusta ilmastonmuutoksen nopeudesta vuoristoisella seudulla. Alimman paneelin piirrokset näyttävät ilmastonmuutoksen nopeuden suhteessa maaston pinnanmuotoihin; 'puun' väri kertoo nopeudesta kyseisellä kohdalla, ja vastaava nuolen väri samanlaisen ilmaston sijainnin tulevaisuudessa (vasen laita) tai tulevaisuuden oloista taaksepäin arvioituna (oikea laita). Lähde: Carroll ym. (2015) (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142024.g001>) (Open Access, Creative Commons Attribution License).

rannikkoalueiden suojelualueverkoston pienilmastollista kattavuutta muuttuvassa ilmastossa. Nämä tutkijat käyttivät Marxan -valinta-algoritmiä, jonka avulla muodostettiin kaikki alueen ilmastotyypit kattavia suojelukohteiden verkostoja sekä nyt että tulevaisuudessa. Saatuja verkostoja vertailtiin kasvillisuustyyppien ja lajien esiintymien perusteella tehtyihin suojelukohteiden priorisointeihin. Tulosten mukaan pienilmastotyyppien perusteella valittu suojelualueverkosto voi kattaa alueellisen ilmastollisen vaihtelun paremmin kuin kasvillisuuden perusteella valittu verkosto, niin nykytilanteessa kuin tulevaisuudessa. Ilmastokriteereihin perustuva verkosto voi siten muuttuvassa ilmastossa olla 'stabiilimpi' kuin kasvillisuuden perusteella valittu verkosto. Tässäkin työssä topografisesti monipuoliset alueet näyttäytyivät ilmastollisesti paremmin puskuroituneina kuin pinnanmuodoiltaan yksipuoliset alueet. Toisaalta Heller ym. (2015) painottivat, että pienilmastotyyppien perustuva alueverkosto ei välttämättä kata kovin hyvin harvinaisista elinympäristön piirteistä

riippuvaisten lajien esiintymiä. Siksi näitä suojelusuunnittelun näkökulmia tulisi tutkijoiden mielestä käyttää toisiaan täydentävästi.

Alueellista suojelualueverkostoa voidaan arvioida myös siltä kannalta, minkälaiset pienilmastotyyppit tulevat ilmastonmuutoksen myötä häviämään, syntykö tulevaisuudessa uusia pienilmastotyyppisiä, jotka puuttuvat alueverkostosta, ja missä päin ovat häviävien ja uusien pienilmastojen painopisteet. Wiens ym. (2011) tekivät tämäläyppisen arvion Kalifornian suojelualueverkostosta. Siinä pienilmaston moniulotteisuus hahmotettiin pääkomponenttianalyysin avulla, jonka jälkeen verkoston kattavuutta arvioitiin ilmastonmuutoksen näkökulmasta. Alueelta häviäviä pienilmastotyyppisiä oli varsin vähän. Sen sijaan uudenlaisia pienilmastoja ennustettiin kehittyvän alueelle siten, että ne peittävät noin 5 % Kalifornian pinta-alasta. Suojelualueverkosto näytti kuitenkin kattavan hyvin sekä häviävien että uusien pienilmastojen ennustetut esiintymisalueet.

Suojelualueverkoston toimivuutta ilmastonmuutoksessa voidaan arvioida myös muiden suojelukohteiden biogeofysikaalisten piirteiden kuin paikallisilmaston perusteella. Yksi keskeinen käsite on 'Conserving the arenas, not the actors' (Beier & Brost 2010). Tämä lähestymistapa perustuu siihen, että lajit ovat suojelualueverkoston suhteen dynaamisesti muuttuva komponentti, eli niiden populaatiot vuoroin syntyvät ja häviävät yksittäisiltä suojelualueilta. Koska näiden prosessien ennustaminen on vaikeaa, voidaan vaihtoehtoisesti käyttää alueiden biogeofysikaalisiin ominaisuuksiin perustuvaa suojelusuunnittelua. Ydinajatus on, että pyritään muodostamaan suojelualueverkostoja, jotka kattavat kaikki tietyn seudun luonnontilaiset topografian, maaperän, kosteusolosuhteiden ja muiden paikallisten tekijöiden muovaamat elinympäristöt (jyrkän paahteiset paisterinteet, varjoiset notkelmat, turvemaat, ravinteiset kivilajien luonnehtimat elinympäristöt jne.) mahdollisimman hyvin. Toinen keskeinen tavoite on, että yksittäiset suojelukohteet valitaan niin, että ne ovat biogeofysikaalisilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman monipuolisia. Johtavana ajatuksena on, että fysikaalisesti monipuoliset kohteet, jotka nykyisin tarjoavat suotuisia esiintymispaikkoja monipuoliselle eliölajistolle, pystyvät samaan myös tulevaisuudessa tasamaiden suojelukohteita paremmin. Siten vaikka kohteiden lajisto voi vaihtua suuresti, niiden monipuolisuus säilyy, mikä edesauttaa suojelualueverkoston edustavuuden säilymistä (Schloss ym. 2011). Toisaalta kuten pienilmastoon perustuvassa alueverkoston priorisoinneissa, myös biogeofysikaalisiin maanpeiteluokkiin perustuvassa suojelusuunnittelussa voivat vaatimuksiltaan erityisten lajien esiintymät jäädä huomioimatta (Beier & Brost 2010).

Toinen mahdollinen ongelma on, että paikallisten elinympäristöjen luokittelu riippuu olennaisesti siitä, mitä monista erilaisista biogeofysikaalisista tekijöistä luokittelussa käytetään, ja millä menetelmällä ja tutkimusaineiston tarkkuudella (resoluutiolla) luokittelu tehdään. Samoista suojelualueista voidaan tuottaa erilaisia luokitteluja aineistoihin liittyviin valintoihin perustuen, mikä voi vaikuttaa elinympäristötyyppisiin perustuvien suojelualueverkoston kattavuusarvioiden tuloksiin. Toisaalta etuna on se, että useat biogeofysikaalisista tekijöistä, kuten esimerkiksi suojelualueen maanpinnanmuodot ja niitä noudatteleva paikallisten kosteusolojen vaihtelu, ovat pysyvämpiä kohteiden arvotuskriteereitä kuin lajien populaatiot tai lajiyhteisöt.

Topografiaan läheisesti liittyvä yksittäinen kriteeri on (pien)ilmastolliset 'turvapaikat' eli refugiot. Ilmastolliset refugiot ovat alueita tai paikkoja, joiden ilmasto-olot voivat säilyä suhteellisen muuttumattomana ilmastonmuutoksen edetessä, tai vähintäänkin ne muuttuvat suhteessa paljon vähemmän kuin alueellinen ilmasto keskimäärin (Gavin ym. 2014). Refugioiden paikantaminen voidaan tehdä eri mittakaavoilla; Ashcroft (2010) käyttää nimityksiä 'mikrorefugio' ja 'makrorefugio' ('microrefugia' ja 'macrorefugia').

Game ym. (2011) tunnisti makrorefugioita käyttämällä 5 km x 5 km resoluutiolla tuotettuja seitsemän ilmastomuuttujan tietoja yhdessä seitsemän muun biogeofysi-

kaalisen muuttujan kanssa. Näiden muuttujien avulla tunnistettiin Papua Uudessa-Guineassa alueita, joissa muutos nyky- ja tulevan ilmaston välillä olisi mahdollisimman pieni. Tällaiset alueet kannattaa huomioida suojelusuunnittelussa, koska niissä eliölajistoon kohdistuu keskimääräistä vähäisempi ilmastonmuutoksen paine.

Paikalliseen pienilmastoon liittyvien refugioden paikantaminen vaatii huomattavan tarkan resoluution aineistoja (Ackerly ym. 2010; Ashcroft ym. 2012; Franklin ym. 2013; Hannah ym. 2014). Täsmätyyppisiä ilmastoaineistoja on hyvin harvoin saatavilla laajemmille alueille. Siksi esimerkiksi Hannah ym. (2014) näkevät tarkan resoluution ilmastopintojen tuottamisen yhtenä suurimmista ilmastonmuutoksen ja luonnon monimuotoisuuden tutkimuksen haasteista. Aineistojen vähyyden takia pienrefugioiden paikantaminen ei useimmiten onnistu esimerkiksi bioklimaattisten mallien ennusteiden perusteella (Ashcroft 2010), vaan se joudutaan tekemään epäsuoran arvioinnin perusteella. Tällöin käytetään hyväksi etenkin alueen topografisia piirteitä ja rinteiden ilmansuuntatietoja. Todennäköisimpiä viileitä kohtia syntyy jyrkkien varjorinteiden jyrkänteille tai tyviosiin; tällaisten kohtien suhteellinen korkeus merenpintaan nähden voi antaa lisävihjeitä mahdollisista refugioista, samoin kuin niiden eliölajisto suhteessa lähialueiden lajistoon (Gavin ym. 2014).

Suomessa hyvin tunnettu ilmiö on tiettyjen syvien kurulaaksojen refugioluonteiset kasviesiintymät, joita löytyy esimerkiksi Oulangan kansallispuiston jyrkänrinteilä. 'Ilmastoviisaassa' suojelusuunnittelussa kannattaakin suosia topografialtaan monipuolisia, vaihtelevasti erikokoisia kurulaaksoja, syviä notkelmia ja kumpuilevaa mäkimaastoa sisältäviä kohteita. Toisaalta topografisen monipuolisuuden tavoite ei ole kaikkien luontotyyppien kohdalla yhtä merkittävässä roolissa. Yksi esimerkki on suoluonnon suojeleminen, joka pääsääntöisesti nojaa luonnontilaisten, vesitaloudeltaan yhtenäisten laajojen, alavien alueiden säilyttämiseen muuttuvassa ilmastossa.

Suojelukohteiden valinnassa alueiden luonnontilaisuus on perinteisesti yksi keskeinen valintakriteeri. Sillä on merkitystä myös muuttuvassa ilmastossa. Toisaalta myös suojelukohteiden ulkopuolisten alueiden luonnontilaisuudella ja haitallisen ihmistoiminnan voimakkuudella ja laajuudella on merkitystä itse suojelualueverkoston edustavuuteen. Elinympäristöjä voimakkaasti muokkaava ihmistoiminta suojelualueiden välisellä alueella vaikeuttaa lajien siirtymistä kohteelta toiselle (Gimona ym. 2012), ja lisäksi intensiivinen maankäyttö suojelukohteiden ympärillä voi aiheuttaa erilaisia haittavaikutuksia itse kohteille (Hansen ym. 2014; Martinuzzi ym. 2015). Tämän kaltaisia haittoja ovat esimerkiksi suojelualueiden, etenkin pienikokoisten, altistuminen reunavaikutuksille, kilpailevien tai haitallisten vieraslajien helpompi leviäminen suojelualueille, laajempia aluekokonaisuuksia tarvitsevien lajien populaatioiden elinvoimaisuuden aleneminen ja suojelukohteiden puskurivyöhykkeiden häviäminen. Jos maankäytön tulevia alueellisia muutoksia voidaan riittävän luotettavasti ennakoida, kannattaa suojelusuunnittelua keskittää seuduille, joissa maankäyttöön liittyvät haittavaikutukset ovat mahdollisimman lieviä. Toisaalta kannattaa pyrkiä vähentämään voimaperäistä maankäyttöä nykyisten suojelualueiden lähialueilla (Martinuzzi ym. 2015).

4.6. Suojelusuunnittelu ja luonnonsuojelualueiden hoito muuttuvassa ilmastossa

Luonnonsuojelualueverkoston kehittäminen ja yksittäisten suojelualueiden hoidon suunnittelu muuttuvassa ilmastossa on haasteellista koska suunnittelutyössä pitäisi huomioida nopeasti etenevät muutokset sekä niihin liittyvät epävarmuudet (Heller & Zavaleta 2009). Lawler ym. (2010) mukaan ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointiin liittyvät epävarmuudet ovatkin yksi suurimmista globaalimuutosten parissa työskentelevien luonnonsuojelun ammattilaisten kohtaamista haasteista. Onnistuneen

hoitostrategian valinnan edellytyksenä on, että suojeleusuunnittelussa ymmärretään paitsi ilmastonmuutokseen liittyvät epävarmuudet myös se, miten nämä heijastuvat erilaisten hoitotoimien lopputulokseen.

On myös huomattava, että erilaisiin sopeutumiskeinoihin liittyy voimakkuudeltaan eritasoisia epävarmuuksia (Lawler ym. 2010), tiettyihin hoitotoimiin voi liittyä vastakkaisia vaikutuksia eri lajiryhmien välillä (Thomas & Gillingham 2015) ja yksittäisten hoitokeinojen vaikutukset voivat vaihdella eri maantieteellisten alueiden välillä (Lawler ym. 2010). Näiden epävarmuuksien johdosta on suositeltavaa, että alueiden hoito- ja suojeleusuunnittelu muuttuvassa ilmastossa toteutetaan 'sopeutuvana suunnitteluna' ('adaptative management') (Lawler ym. 2010; Groves ym. 2012). Silloin suunnittelu on joustavaa ja siinä voidaan tehdä säännöllisiä tarkistuksia hoitotoimien tuloksellisuudesta sekä mahdollisia suunnanmuutoksia (Heller & Zavaleta 2009; Poiani ym. 2011).

Ilmastonmuutoksen huomioiva hoito- ja suojeleusuunnittelu on aktiivisesti kehittyvä teema. Viimeisen vajaan 30 vuoden aikana, mutta etenkin 2000-luvulla, on kehitetty monenlaisia suosituksia. Useimmat niistä on kuitenkin viety käytännön suojeleutoimintaan varsin harvoin. Heller ja Zavaleta (2009) tekivät sataankolmeentoista artikkeliin perustuvan yhteenvedon; artikkeleista löydettiin kaiken kaikkiaan 524 yksittäistä suositusta. Näistä noin 70 % oli yleisluonteisia kun taas loput 30 % olivat usein seikkaperäisiä eivätkä kovin helposti yleistettävissä tutkimuskohteen ulkopuolelle.

Myös Groves ym. (2012) mukaan hoito- ja suojeleutoimien suositusten yleisluonteisuus on tyypillistä. Esimerkkejä yleisluonteisia suosituksia ovat seuraavat: "The past may no longer provide a useful target for the future"; "Familiar planning approaches may become ineffective"; "Use planning approaches that consider a broad array of possible futures"; "Broaden the geographic scope of planning" (Stephenson & Millar 2012). Monista yhteyksistä tunnetut suositukset suojeleualueiden koon sekä niiden välisen kytkeytyvyyden kasvattamisesta nousevat myös usein esiin (Heller & Zavaleta 2009). Lajitason uhka-arvioihin liittyen Arribas ym. (2012) esitti, että lajien ilmastonmuutoksen haavoittuvuusarvioiden (katso luku 4.3.) ja varsinaisten hoitostrategioiden välillä on merkittävä aukko. Siten tutkimuksiin perustuvat arviot eivät välttämättä siirry kovin hyvin käytäntöön. Heller ja Zavaletan (2009) mukaan tarvitaan kiireellisesti lisää tarkkuudeltaan ja konkreettisuudeltaan 'keskitasoisia' hoito- ja suojeleusuunnittelun tarkasteluja täydentämään nykyisiä varsin seikkaperäisiä ja toisaalta hyvin yleisluonteisia suosituksia.

Kattavan kokonaiskuvan saaminen 'ilmastoviisaasta' suojele- ja hoitosuunnittelusta on vaikeaa vaihtoehtoisten suositusten suuren määrän ja aktiivisen kehitysvaiheen johdosta. Asiaa hankaloittaa myös se, että useat tarkastelut sisältävät vain osan suosituksista tai ne ryhmittelevät suositukset eri tavoin. Heller ja Zavaleta (2009) ryhmittelevät katsauksessaan listatut yli 500 suositusta kolmeen pääkategoriaan: (1) aluepolitiikkaan ja -suunnitteluun liittyvät suositukset, (2) paikkakohtaiset toimet ('site-scale action'), ja (3) nykyisten suojeleusuunnitelmien mukauttaminen. Madsley ym. (2009) käyttävät toisenlaista ryhmittelyä (katso myös Madsley 2011): (1) maan ja veden suojeleuun liittyvät strategiat / toimet, (2) lajien suojeleuun liittyvät strategiat / toimet, (3) seurantaan ja suojeleusuunnitteluun liittyvät strategiat / toimet, ja (4) lakeihin ja politiikkaan liittyvät strategiat / toimet.

Näistä erilaisista ryhmittelyistä huolimatta katsauksissa nousee usein esiin samoja, osin varsin perinteisiä luonnonsoojeleusuunnittelun suosituksia. Esimerkiksi Madsley ym. (2009) listaamista suosituksista osa on hyvin yleisluonteisia, kuten esimerkiksi: "Lisää suojeleualueiden kokoa"; "Paranna suojeleualueverkoston kattavuutta ja kohteiden 'toistomäärää' ('replication')"; "Paranna nykyisten suojeleukohteiden hoitoa ja ennallistamista sekä niiden puskurointikykyä ilmastonmuutokselle ('resilience')"; "Suojele liikkumiskäytäviä, askelkivihabitaatteja ja refugiota"; "Keskitä resurssit

suurimmassa taantumisvaarassa oleviin lajeihin”; ”Siirtoistuta uhattuina olevia lajeja”; ”Sisällytä ilmastonmuutoksen ennustetut vaikutukset lajien ja maankäytön hoitosuunnittelutyöhön”.

Jotkut artikkelit pitävät tiettyjä hoito- ja suojelusuunnittelun keinoja tärkeämpinä kuin toisia. Esimerkiksi Groves ym. (2012) mukaan malliennusteisiin perustuvat suojelusuositukset ovat usein liian epävarmalla pohjalla. He suosittelevat muun muassa biogeofysikaalisiin ominaisuuksiin perustuvaan suunnitteluun, ilmastollisten refugiodien suojelua sekä alueellisen kytkeytyvyyden parantamista, mutta samalla varoittavat rakentamasta suojelusuunnittelua pelkästään yhden kriteerin varaan. Kytkeytyvyyden parantaminen oli myös Heller ja Zavaletan (2009) kirjallisuusselvityksessä eniten suositeltu yksittäinen sopeutumiskeino. Muita tärkeitä pidettyjä suosituksia olivat ilmastonmuutoksen integroiminen erilaisiin suojelusuunnitelmiin sekä muiden uhkatekijöiden hallinta, kuten vieraslajien poisto ja elinympäristöjen pirstoutumisen ja saasteiden vähentäminen.

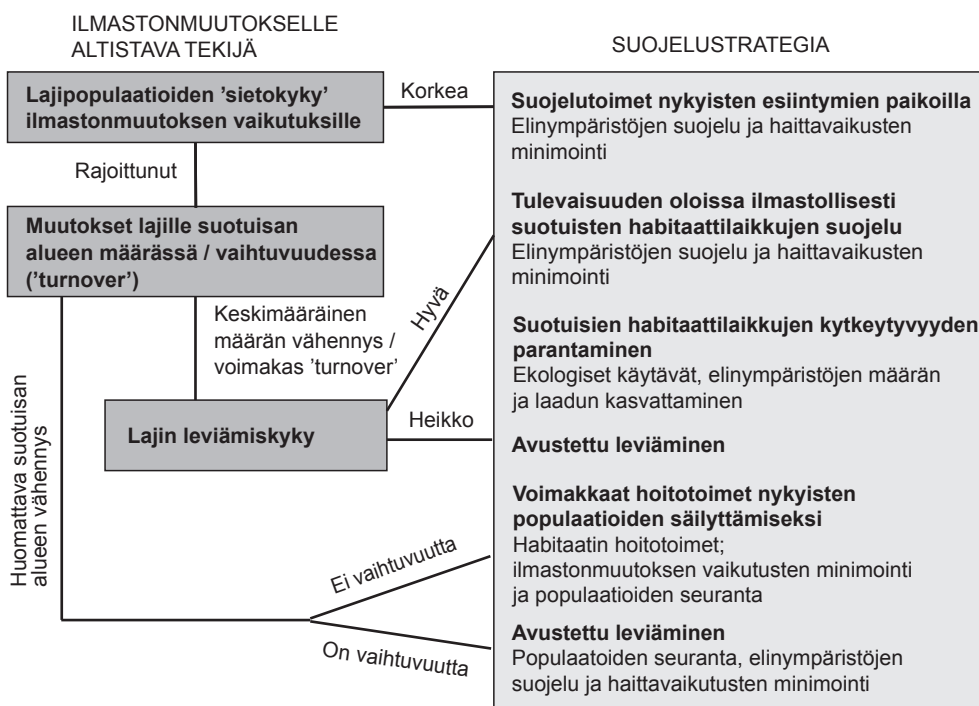
Suojelusuunnitteluun liittyvistä suosituksista tärkeinä on pidetty myös uusien suojelukohteiden suuntaamista uusille ennustetuille lajiston keskittymäalueille, suojelualueiden alueellisten ryhmittymien suosimista ja niiden välisten alueiden läpäisevyyden (’permeability’) parantamista (Heller & Zavaleta 2009; Mawdsley 2011). Yksittäisiä suojelualueita koskevia yleisiä suosituksia ovat refugiodien suojelun ja muiden uhkatekijöiden hallinnan ohella ekosysteemien prosessien ja toiminnan turvaaminen (Groves ym. 2012), sekä lajien nykyisten esiintymien turvaaminen tehostettujen hoitotoimien avulla. Lisäksi suositellaan lajien ja lajiyhteisöjen sopeutumiskyvyn kasvattamista laajentamalla suojelualueita siten, että niiden topografinen, elinympäristöllinen ja kasvillisuuden monipuolisuus kasvaa (Galatowitsch ym. 2009; Heller & Zavaleta 2009; Thomas & Gillingham 2015). Myös suojelualueita ympäröivien puskurialueiden kehittäminen on yksi suosituksista, jolla on merkitystä etenkin tasamaastossa sijaitsevilla, elinympäristöiltään yksipuolisilla ja vesitaloudeltaan herkillä suojelukohteilla (Galatowitsch ym. 2009).

Lajitason suojelusuunnittelu muuttuvassa ilmastossa keskittyy useimmiten erilaisten joustavien hoitostrategioiden (’adaptive management’) kehittämiseen (Mawdsley 2011). Esimerkkejä ovat lajien haavoittuvuuden alentaminen, elinympäristöjen puskurointikykyä (’resilience’) parantavat ja lajipopulaatioiden säilyttämiseen tähtäävät toimenpiteet. Muita lajikohtaisia toimia edustavat hoidon tehostaminen (esimerkiksi varjostavan kasvillisuuden istutus, suunniteltu poltto), lajien siirtoistutukset, ja lajipopulaatioita uhkaavien muiden tekijöiden minimointi. Aktiivinen hoito voi olla avainasemassa, jos halutaan, että suojelualueet tarjoavat mahdollisimman suotuisia sillanpääasemia alueelle leviävälle lajeille (Lawson ym. 2014). Galatowitsch ym. (2009) suosittelevat kasvien siemenistä kylvämistä, etenkin jos tietylle suojelualueelle halutaan siirtää läheisten eteläisten ja kuivempien seutujen lajeja.

Suojelukohteen luontopiirteiden monipuolisuuden ja lajien hoidon joustavuuden välillä on merkittävä yhteys. Topografialtaan ja luontotyypeiltään yksipuolisella suojelukohteella ei ole mahdollista toteuttaa monenlaisia hoitotoimia. Sen sijaan topografisesti monipuolisella kohteella voidaan soveltaa osassa kohdetta toimenpiteitä, jotka tukevat alueelle (esimerkiksi paisterinteet) leviäviä lajeja, ja osassa kohdetta ylläpitää taantuvien lajien populaatioita (esimerkiksi varjoisan kosteat notkelmat ja rinteet) (Thomas & Gillingham 2015). Hoitotoimien joustava suunnittelu on tärkeää etenkin sen takia, että toisia lajeja hyödyttävä elinympäristöjen hoito, kuten laidunnus, voi olla toisille haitallista.

Optimaalisten suunnittelu- ja hoitotoimien valitseminen on hankalaa paitsi suositusten suuren määrän takia myös sen johdosta, että toimivimmat vaihtoehdot voivat vaihdella eri maantieteellisten alueiden sekä erilaisten elinympäristöjen ja lajien välillä. Siksi onkin kehitetty erilaisiin tilanteisiin sopivia valintakaavioita, joilla suunnittelu- ja hoitotoimenpiteiden valintaa voidaan ohjata. Esimerkiksi Arribas ym. (2012)

esittää hyönteislajien ilmastonmuutokseen sopeutumisen vuokaavion, jonka perusteella voidaan valita optimaalisin suunnittelukeino. Kaavio perustuu arvioihin siitä, kuinka laajoja suotuisien alueiden muutokset ovat ennusteiden perusteella (voimakas vai lievä), mikä on lajien leviämiskyky (hyvä vai heikko), kuinka paljon suotuisaa aluetta jää jäljelle, ja etenee näiden kysymysten kautta suosituksiin (kuva 12).

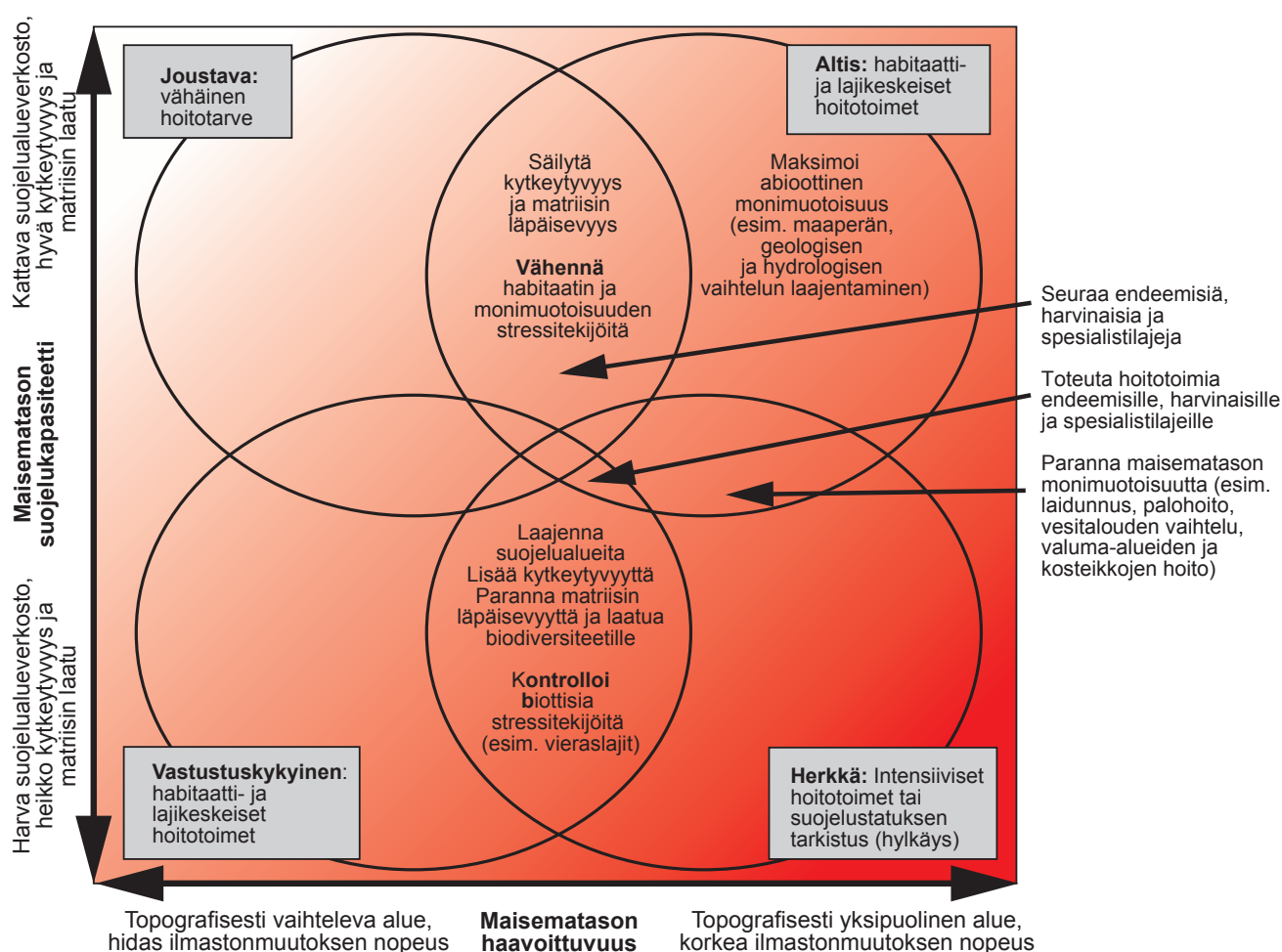


Kuva 12. Esimerkki suojelustrategioiden valintaa ohjaavasta päätöksentekokaaviosta. Kaaviossa tehtävät valinnat perustuvat hyönteislajien lajioinaisuuksiin ja arvioihin niiden haavoittuvuudesta ilmastonmuutokselle. Muokattu Arribas ym. (2012) pohjalta.

Gillson ym. (2013) korostavat, että pelkästään lajiston muutosennusteisiin perustuva suunnittelu sivuuttaa monia tärkeitä kriteereitä; esimerkiksi maisematason näkökulmat tulisi myös huomioida 'ilmastoviisaassa' suojelusuunnittelussa. Nämä tutkijat määrittivät kaksi maisematason päägradienttia, 'maisematason haavoittuvuus' ('landscape vulnerability') ja 'maisematason suojelukapasiteetti' ('landscape conservation capacity'). Ensimmäinen gradientti määrittyy paikallisen ilmastonmuutoksen muutosnopeuden ja topografisen monipuolisuuden perusteella ja toinen gradientti suojelualueiden määrän ja kytkeytyvyyden sekä maisemamatriisin ihmisvaikutteisuuden mukaan (kuva 13). Yksittäisten suojelualueiden sijoittumista näiden kahden akselin suhteen voidaan käyttää hoito- ja suunnittelutoimia suunniteltaessa.

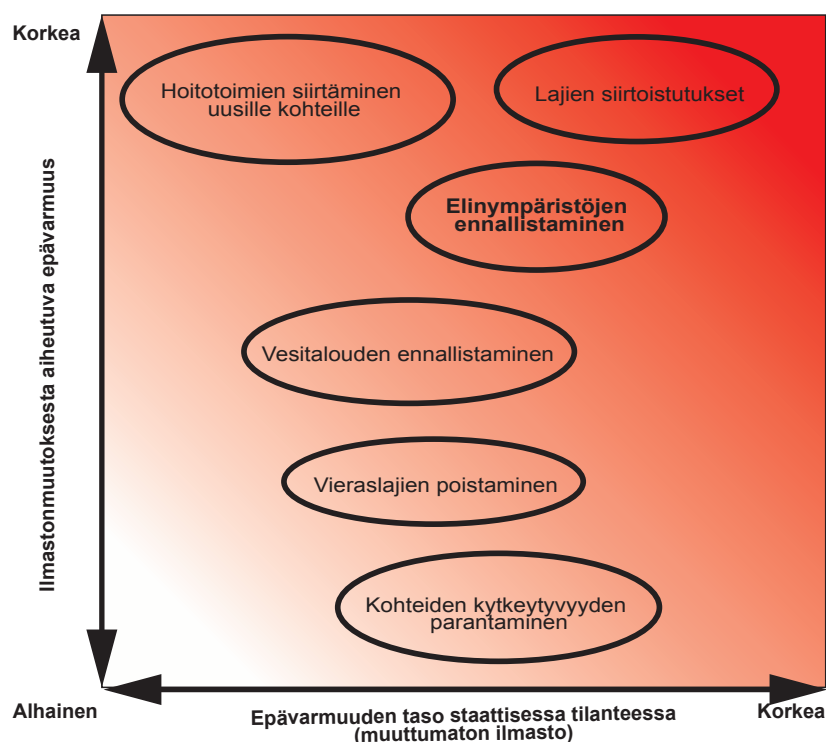
Hoito- ja suojelusuunnittelun keinoja valittaessa voidaan yhtenä kriteerinä käyttää niihin liittyvien epävarmuuksien voimakkuutta (kuva 14) (Lawler ym. 2010). Kaikkiin lajien ja luonnonympäristöjen hoito- ja suojelusuunnittelun toimenpiteisiin liittyy vaihtelevassa määrin epävarmuutta siitä, onko lopputulos toivotunkaltainen. Lawler ym. (2010) arvion mukaan staattisessakin tilanteessa jotkut toimet sisältävät vähemmän epävarmuuksia kuin toiset. Esimerkiksi tiettyjen hoitotoimien soveltaminen toiselle suojelualueelle tuottaa todennäköisemmin odotetun tuloksen kuin elinympäristöjen ennallistaminen tai lajien siirtoistutukset.

Ilmastonmuutos tuo tarkasteluun toisenlaisen epävarmuuden ulottuvuuden. Siirtoistutusten tulokset voivat olla muuttuvassa ilmastossakin epävarmoja, mutta myös hoitotoimien siirto uusille suojelualueille muuttuu haastavammaksi (kuva 14). Osa suojelu- ja hoitotoimista on kuitenkin ilmastonmuutoksen näkökulmasta 'turvallisempaa' toteuttaa. Usein nämä ovat yleisluonteisia toimenpiteitä kuten esimerkiksi suojelualueiden laajentaminen, kytkeytyvyyden parantaminen ja muiden uhkatekijöiden minimointi (Lawler ym. 2010). Tämänkaltaisilla keinoilla ei odoteta olevan merkittäviä haittavaikutuksia suojelualueiden lajistoon ja luontotyyppeihin, vaikka ilmastonmuutoksen ennustetut vaikutukset eivät toteutuisikaan odotusten mukaisesti. Sen sijaan monipolvisiin malliennusteisiin perustuvat toimenpidesuunnitelmat ovat herkkiä epävarmuuksien vaikutuksille ja voivat huonoimmassa tapauksessa johtaa resurssien hukkaamiseen vähemmän tärkeisiin kohteisiin (Lawler ym. 2010; Gillson ym. 2013).



Kuva 13. Kahteen maisematason päägradienttiin perustuva suojelusuunnittelun kaavio. Suojelukohteen ja sen ympäröivän maisema-alueen piirteet määräävät kohteen sijoittumisen akselien suhteen sekä sille suositeltavat toimenpiteet. Muokattu Gillson ym. (2013) pohjalta.

Kirjallisuuskatsauksissa ja muissa laajoissa tarkasteluissa on usein korostettu joustavasti sopeutuvia ja muutettavia hoito- ja suunnittelutoimia. Niitä pidetään tärkeinä nimenomaan ilmastonmuutoksen biodiversiteettivaikutusten arvioinnin epävarmuuksien takia (Lawler ym. 2010). Lisäksi painotetaan useiden toisiaan täydentävien arviointinäkökulmien ja suojelusuunnittelun keinojen samanaikaisen käytön hyötyjä (Heller & Zavaleta 2009; Gillson ym. 2013). Optimaalisimmallaan hoito- ja suojelusuunnittelutyöt sisältävät niin alueellisia, maisemallisia kuin paikallisiakin elinympäristöihin ja lajeihin perustuvia näkökulmia sekä niiden yhtäaikaista arviointeja. Toisaalta tämäntyyppiset kokonaistarkastelut ovat usein niin työläitä, että resurssien rajallisuus voi käytännössä rajoittaa laajamittaisten selvitysten tekemistä. On myös hyvin tärkeää arvioida tarvittaessa muiden uhkatekijöiden kuin ilmastonmuutoksen merkitystä, sillä monissa tapauksissa lajien ja elinympäristöjen suurin välitön uhka ei välttämättä ole ilmastonmuutos (Tingley ym. 2014). Lisäksi tarvitaan monenlaista lisätutkimusta, kuten esimerkiksi sellaisten menetelmien kehittämistä, jotka edesauttavat suojelusuunnittelua huomioimaan paremmin poikkeuksellisten sääolojen vaikutuksia suojelualueiden populaatioihin ja elinympäristöihin (Jones ym. 2016).



Kuva 14. Hoito- ja suojelusuunnittelumenetelmien epävarmuus staattisessa (ilmastoltaan 'muuttumattomassa') tilanteessa (X-akseli) ja ilmastonmuutoksen aiheuttamien epävarmuuksien suhteen (Y-akseli). Kuvassa esitetään esimerkinomaisesti kuusi erilaista hoito- ja suunnittelumenetelmää. Muokattu Lawler ym. (2010) pohjalta.

Ilmaston muuttuessa suojelualueilla on keskeinen merkitys linnuille

Ilmaston ennustetaan muuttuvan huomattavasti Suomessa tämän vuosisadan aikana. Ilmaston muuttuessa lajit yleensä siirtyvät niille soveliaiden ilmasto-olosuhteiden mukaisesti. Maankäyttö lisää ilmastonmuutoksen vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen, sillä ihmisen muokkaamassa maisemassa lajien elinympäristöt sijaitsevat usein hajallaan verraten pieninä laikkuina, mikä vaikeuttaa lajien siirtymistä alueelta toiselle.

Suojelualueverkosto hidastaa ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia lajistoon

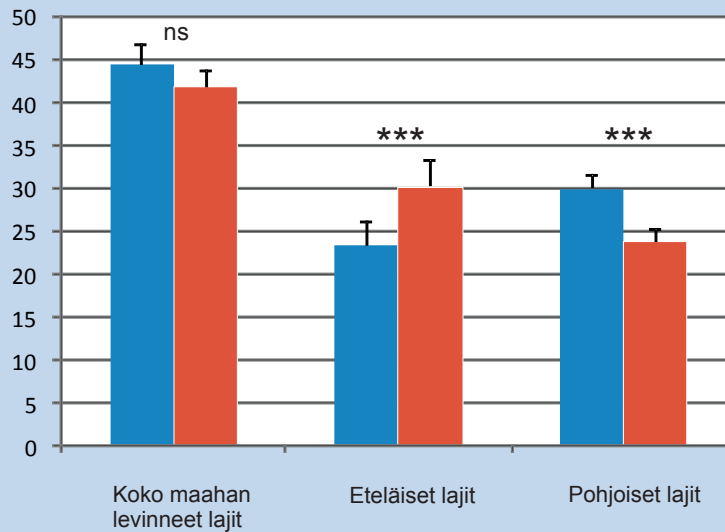
Lajeilla on mahdollisuus siirtyä suojelualueiden elinympäristöverkoston avulla uusille ilmastoltaan suotuisiksi muuttuville alueille. Myös suojelualueiden yhtenäisemmissä elinympäristöissä lajisto muuttuu ilmaston lämmetessä. Muutos suojelualueilla ei kuitenkaan ole niin nopea kuin pirstoutuneissa elinympäristöissä, joista lajit häviävät huomattavasti helpommin.

Suomessa on tutkittu 90 suojelullisesti merkittävän metsä-, suo-, kosteikko- ja tunturilintulajin levinneisyysalueiden muutoksia lintuatlasaineistojen avulla. Tulosten perusteella lajien määrät säilyivät vuosien 1970–1980 ja 2006–2010 välillä korkeampiina alueilla, joissa on runsaasti luonnonsuojelualueita kuin alueilla, joilla suojelualueita on vähän (Virkkala ym. 2014b). Suojelualueet siis hidastavat ilmastonmuutoksen haitallisia linnustovaikutuksia, vaikka muutoksia tapahtui myös suojelualueilla. Niitä olivat esimerkiksi eteläisten lintulajien runsastuminen ja pohjoisten lajien taantuminen (Virkkala & Rajasärkkä 2011a) (kuva 15). Levinneisyysalueiden muutosten lisäksi myös lintujen runsauden painopiste on koko Suomessa siirtynyt. 1970- ja 2010-lukujen aineistojen vertailu osoitti, että 94 maalintulajin runsauden painopiste on siirtynyt noin 45 km pohjoiseen (Virkkala & Lehikoinen 2014). Lintulajien runsauden painopisteen siirtyminen näkyy myös suojelualueiden lintupopulaatioissa, joiden muutoksissa on alueellisia painotuksia. Eteläiset lintulajit ovat runsastuneet erityisesti Pohjois-Suomen suojelualueilla, ja pohjoiset lajit taantuneet voimakkaammin Etelä-Suomen suojelualueilla (Virkkala & Rajasärkkä 2011b).

Miten hyvin suojelualueverkosto säilyttää lajistoamme tulevaisuudessa?

Lajien levinneisyyksiä mallinnetaan ilmastomuuttujien avulla niin sanotussa biokliimaattisessa mallinnuksessa (katso luku 4.3.). Ilmastoskenaarioiden avulla voidaan arvioida, missä lajille ilmastollisesti suotuisia alueita esiintyy tulevaisuudessa. Mallinnustutkimusten (Virkkala ym. 2013b; Virkkala ym. 2013a) perusteella suojelualueverkosto on tärkeä suojelullisesti merkittäville lintulajeille; näissä töissä tarkasteltiin 100 arvokkaan lintulajin esiintymisen todennäköisyyttä Suomessa vuosina 2051–2080 suhteessa suojelualueverkostoon. Tarkastelussa oli mukana myös kymmenen sellaista lajia, jotka voivat levitä tänne ilmastonmuutoksen myötä (esimerkiksi tammitikka, vihertikka ja viitatiainen). Ennusteiden mukaan metsä-, suo- ja tunturilajien esiintymisen todennäköisyys alenee. Väheneviä lajeja ovat muun muassa monet pöllölajit ja soiden kahlaajalinnut. Lintujen ennustetaan kuitenkin taantuvan voimakkaammin suojelemattomilla alueilla kuin suojelualueilla.

Paria/km²



Kuva 15. Lintupopulaatioiden muutokset 96 suojelualueella linjalaskentojen perusteella vuosien 1981–1999 (sininen pylväs) ja 2000–2009 (punainen pylväs) välillä. Pohjoisten lintulajien populaatiot ovat pienentyneet keskimäärin 21 % ja eteläisten lintulajien populaatiot kasvaneet keskimäärin 29 %. Koko maahan levinneiden lajien populaatioissa ei havaittu merkitseviä muutoksia. Muokattu Virkkala & Rajasärkkä (2011a) pohjalta.

Eteläisessä Suomessa lajit vähenevät

Lintulajien ennustettu väheneminen on voimakkainta eteläborealisella ja pienintä pohjoisborealisella vyöhykkeellä. Tämä johtuu siitä, että eteläborealisella vyöhykkeellä esiintyvien lajien ennustetaan siirtyvän pohjoisborealiselle vyöhykkeelle. Metsien osalta Etelä- ja Keski-Suomen suojelualueverkosto on riittämätön, jotta se kykenisi säilyttämään monimuotoista lintulajistoamme tulevaisuudessa. Etelä- ja keskiborealisella vyöhykkeellä on suojeltu 2–4 prosenttia metsien alasta, mutta pohjoisborealisella runsaat 20 prosenttia.

Pohjoisessa on vastassa Jäämeri

Suomen suurimmat metsien suojelualueet sijaitsevat pohjoisborealisella vyöhykkeellä Pohjois-Lapissa. Pohjoisborealisella vyöhykkeellä suojelualueverkoston merkitys metsälintulajiston säilyttämisessä vaihtelee eri ilmastoskenaarioiden välillä. Mitä voimakkaampi ennustettu ilmastonmuutos on, sitä paremmin suojelualueverkosto turvaa metsälintulajistoa. Voimakas lämpeneminen mahdollistaisi useiden eteläisten lajien siirtymisen Pohjois-Lapin laajoille suojelualueille (Virkkala ym. 2013a). Toisaalta voimakas lämpeneminen kasvattaa pohjoisten lajien häviämiskä, koska Jäämeri estää niiden levittäytymisen pohjoisemmaksi (Virkkala ym. 2008).

Havaitut muutokset lintupopulaatioissa ovat samansuuntaisia kuin ennustetut muutokset (Virkkala ym. 2014a; Virkkala ym. 2014b). Lajien, joiden levinneisyysalueiden on ennustettu pienenevän voimakkaasti kuluvan vuosisadan aikana, levinneisyys on jo supistunut Suomessa 1970–1980-luvuilta vuosiin 2006–2010. Vastaavasti ne lajit, joiden levinneisyysalueiden on ennustettu laajenevan, runsastuivat ja levittäytyivät uusille alueille. Erityisesti pohjoisten avosoiden ja tuntureiden lintulajien populaatiot ovat pienentyneet suojelualueilla 1980-luvulta 2000-luvulle (Virkkala & Rajasärkkä, 2012). Tämä voi johtua siitä, että avomailla ilmastonmuutoksen vaikutukset kasvillisuuteen ja habitaatin rakenteeseen näkyvät huomattavasti nopeammin kuin vanhoissa havumetsissä.

Suojelualueverkoston laajuus kussakin elinympäristössä on keskeinen tekijä sopeutumisesa ilmastonmuutokseen. Päätökset suojelualueverkostosta, kuten erilaiset suojeluohjelmat, on lintulajiston osalta tehty aikanaan oikeasuuntaisesti myös suhteessa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin.

Ilmastonmuutos ja uhanalaiset lajit

Globaaleista ympäristömuutoksista ilmastonmuutos on nousemassa yhä voimakkaammaksi lajien runsauteen ja levinneisyyteen vaikuttavaksi tekijäksi. Sen vaikutukset uhanalaisiin lajeihin ja niiden elinympäristöihin ovat laaja-alaisia mutta usein hankalasti erotettavissa muista muutoksista, kuten populaatioiden luontaisista lyhytaikaisista kannanvaihteluista. Ilmastonmuutosta ei olekaan Suomessa vielä tunnistettu kovin monen lajin kohdalla uhanalaisuutta aiheuttavaksi tekijäksi ja sen merkityksen arviointi lajien uhanalaistumiskehityksessä on vielä vaikeaa tutkimustiedon vähäisyyden vuoksi. (Rassi ym. 2010)

Toistaiseksi ilmastonmuutos on ainoastaan neljän lajin, vuorihempon (*Carduelis flavirostris*), pulmusen (*Plectrophenax nivalis*), alppiruusukempin (*Cacopsylla rhododendri*) ja kääpiöhopeatäplän (*Boloria improba*), ensisijainen uhanalaisuuden syy. Tämä on ymmärrettävissä sitä taustaa vasten, että lämpenemisen vaikutusten voidaan olettaa ilmenevän ensimmäisenä korkeimpien tuntureiden lakialueiden lajeilla, joiden edellyttämä ilmastovyöhyke katoaa ensimmäisenä. Ilmastonmuutos on yhtenä uhanalaisuuden syynä 31 lajilla, joista suurin osa on pohjoisimpien alueiden sammalia. Silmälläpidettävien lajien taantumisen aiheuttajana ilmastonmuutos on ensisijainen syy yhdeksällä ja yhtenä syynä 13 lajilla. (Rassi ym. 2010, Liukko ym. 2015, Tiainen ym. 2015)

Ilmastonmuutos on tulevaisuuden uhkatekijänä Suomessa huomattavasti merkittävämpi kuin uhanalaisuuden syynä. Ensisijaisena uhkatekijänä se on 45 uhanalaiselle ja 79 silmälläpidettävälle lajille. Yhtenä tulevaisuuden uhkatekijänä ilmastonmuutos on 179 uhanalaiselle ja 90 silmälläpidettävälle lajille. (Rassi ym. 2010)

Ilmastonmuutoksesta on arvioitu muodostuvan tulevaisuudessa sammalten lajiryhmässä kaikkein merkittävin uhanalaisuutta aiheuttava tekijä. Ilmastonmuutos on arvioitu yhdeksi tulevaisuuden uhkatekijäksi 55 %:lle uhanalaisista lehtisammalla-lajeista ja 29 %:lle maksasammalista. Ilmaston lämpenemisen haitalliset vaikutukset ovat tulleet selvästi esiin etenkin tunturilajistossa. Ilmaston lämmitessä tunturipaljakan pinta-ala supistuu ja tunturilajit joutuvat vetäytymään korkeammalle ja pohjoiseen. Tunturipaljakan lajien lisäksi ilmaston lämpenemisen on arvioitu heikentävän tiettyjen boreaalisen vyöhykkeen soiden ja pienvesien sammalten elinolosuhteita ja lajien kantaa. (Syrjänen ym. 2010)

Myös uhanalaisille ja silmälläpidettäville putkilokasvilajeille ilmastonmuutoksen arvioidaan olevan merkittävä uhka tulevaisuudessa. Näistä merkittävä osa on tuntureiden ja merenrantojen kasveja. Erityisesti yläpaljakan lajeilla, kuten jääleinikillä (*Ranunculus glacialis*), ei ole juurikaan mahdollisuuksia siirtyä enää korkeammalla sijaitseville kasvupaikoille. Rannikolla meriveden pinnan nousu saattaa peittää alleen laajalti rantaniittyjä, kasvipeitteisiä kivikkorantoja ja myös matalampia hiekkarantoja etenkin Suomenlahdella, jossa maankohoaminen ei kompensoi vedennousua. Jäätömien talvien lisääntyminen voi lisätä rantojen umpeenkasvua, ja esimerkiksi länsirannikon suolamaat saattavat hävitä lisääntyneen sadannan vuoksi. (Kalliovirta ym. 2010)

Ilmastonmuutoksen katsotaan tulevaisuudessa olevan uhkatekijä kolmelle nisäkästaksonille, saimaan- ja itämerennorpalle (*Pusa hispida saimensis*, *P. hispida botnica*) sekä naalille (*Vulpes lagopus*) (Liukko ym. 2015).

Kovin monen lintulajin kohdalla ilmastonmuutosta ei vielä tunnistettu uhanalaisuutta aiheuttavaksi tekijäksi, mutta toisaalta se on monesti osatekijänä sekä pesimäalueilla että muuttoreittien tai talvehtimisalueiden elinympäristömuutoksissa. Ilmastonmuutos aiheuttaa suurimman uhkan pohjoisille taantuville lajeille, kuten riekolle (*Lagopus lagopus*), piekanalle (*Buteo lagopus*), lapinkirviselle (*Anthus cervinus*)

ja pulmuselle. Ilmastonmuutoksen ansiosta Suomeen leviää myös eteläisiä lajeja, jotka usein päätyvät uhanalaisiksi pienen populaatiokoon perusteella. Tällaisia hiljattain Suomeen levinneitä ja vakiintuneita, uhanalaisiksi arvioituja eteläisiä lajeja ovat mm. sitruunavästäräkki (*Motacilla citreola*), ruokosirkkalintu (*Locustella luscinioides*), viiksitimali (*Panurus biarmicus*) ja pussitiainen (*Remiz pendulinus*). (Tiainen ym. 2015)

Myös muutamien uhanalaisten kääväkkäiden arvioidaan jo hyötynneen ilmaston lämpenemisestä niin paljon, että niiden uhanalaisuusluokkaa laskettiin. Esimerkiksi karvaoravakka (*Punctularia strigosoazonata*) ja kastanjakääpä (*Polyporus badius*) ovat runsastuneet ja harjaskääpä (*Funalia trogii*) ja halkihelhta (*Schizophyllum commune*) laajentaneet levinneisyysalueitaan. Kaikki edellä mainitut lajit ovat selvästi yleisempiä Keski-Euroopassa, Luoteis-Venäjällä ja Siperian mantereisilla alueilla kuin Suomessa. (Kotiranta ym. 2010)

Sammakkoeläimistä rupiliskon (*Triturus cristatus*) kasvavana uhkatekijänä nähdään ilmastonmuutoksen aiheuttama lampien yleistyvä tilapäinen kuivuminen kesien muuttuessa lämpimämmiksi ja kuivemmiksi. Tämä voi jatkossa vaikuttaa haitallisesti myös muihin sammakkoeläimiin. (Terhivuo & Mannerkoski 2010)

Ilmaston lämpeneminen voi heikentää viileää vettä vaativien uhanalaisten ja silmälläpidettävien kalalajien, kuten taimenen (*Salmo trutta*), siian (*Coregonus* sp.) ja harjuksen (*Thymallus thymallus*), sekä kylmää vettä vaativan, silmälläpidettävän nieriän (*Salvelinus alpinus*) elinmahdollisuuksia maan eteläosassa (Urho ym. 2010).

Pienehkölle osalle perhoslajistoa ilmastonmuutos arvioitiin uhkatekijäksi. Merkittävä osa perhoslajeista on kuitenkin selvästi hyötynyt edellisiä vuosikymmeniä lämpimämmästä ilmastosta ja esimerkiksi aiemmin hävinneiksi tulkituista 25 lajista seitsemän on palannut takaisin Suomen lajistoon. (Kaitila ym. 2010)

Ilmaston lämpenemisen on arvioitu muuttavan ja vähentävän levinneisyydeltään pohjoisten tuntureiden ja soiden hämähäkkilajien elinympäristöjä. Selvimmin ilmastonmuutos uhkaa palsasoilla elävää, vain yhdellä suolla tavattua lajia, palsakääpiöhämähäkkiä (*Kikimora palustris*). (Pajunen ym. 2010)

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista vesiperhosiin ei ole vielä tutkittua tietoa, mutta mahdollisia haitallisia vaikutuksia voi aiheuttaa muun muassa jääpeitteisyyden väheneminen, vesistöjen nopeamman lämpenemisen kiihdyttämä happikato ja sinilevien runsastuminen erityisesti pohjoisessa, mutta myös Etelä- ja Keski-Suomen hyvälatautuisissa vesissä. (Salokannel ym. 2010).

Myöskään päivänkorentojen lajiryhmässä ilmastonmuutoksen vaikutuksia uhanalaistumiskehitykseen ei ole toistaiseksi ollut mahdollista arvioida, mutta on todennäköistä, että haitallisia vaikutuksia päivänkorentojen populaatioihin ilmenee myöhemmin. Haitallisia tekijöitä ovat muun muassa syksyisin pitkä ja kylmä jäätön aika, jäiden sulaminen keväällä yhä aikaisemmin, vesien lämpeneminen ja rehevöityminen, veden korkeuden suuret vaihtelut sekä mahdolliset pitkät kuivakaudet pienissä puroissa ja matalissa lammissa. Haittavaikutukset ovat todennäköisesti suurimmat pohjoisilla lajeilla, jotka ovat sopeutuneet viileään veteen. (Savolainen & Ilmonen 2010)

Suurin osa uhanalaisista ja silmälläpidettävistä surviaissääskilajeista on harvinaisia pohjoisia lajeja, joiden esiintymiä uhkaavat ennen kaikkea satunnaistekijät ja ainakin pitkällä aikavälillä ilmaston lämpeneminen, minkä vuoksi monet harvinaiset tunturipurojen, lumenviipymäkosteikkojen, lompoloiden ja palsasoiden lajit ovat vaarassa hävitä Suomen luonnosta. (Penttinen ym. 2010)

Ilmastonmuutos on arvioitu uhkatekijäksi silmälläpidettäviksi luokitelluille tunturimuurarimehiläiselle (*Osmia svenssoni*) ja tundrakimalaiselle (*Bombus hyperboreus*), joiden levinneisyys rajoittuu Enontekiön suurtureille (Paukkunen 2010).

Muissa lajiryhmissä ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia lajien uhanalaistumiskehitykseen ei ole tarkasteltu tarkemmin.

Vaikuttaako ilmastonmuutos jo luontotyyppien uhanalaistumiseen?

Tutkimustietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista luontotyyppiakohtaisesti oli uhanalaisuus arvioinneissa (vuosina 2004 – 2008) käytettävissä vain vähän, joten arviot perustuvat pitkälti asiantuntija-arvioihin ja ovat hyvin maltillisia. Ilmastonmuutosta käytettiin uhanalaisuusluokkaa korottavana tekijänä vain muutamilla pohjoisilla luontotyypeillä, joilla se oli jo vaikuttanut tai arvioitiin vaikuttavan merkittävästi kehityssennusteeseen 20–30 seuraavan vuoden aikana. Yhtenä tulevaisuuden uhkatekijänä hieman pidemmällä aikavälillä ilmastonmuutos on mainittu 79 luontotyypillä, kun tarkastelussa oli luontotyyppiä 368. (Raunio ym. 2008)

Ilmastonmuutoksen vaikutuksille herkimmiksi arvioituja luontotyyppiä ovat:

- Itämeren vedenalaiset luontotyypit: etenkin suolapitoisuuden muutoksille ja rehevöitymiselle herkät luontotyypit kuten rakkolevä- ja punaleväyhteisöt, merirajokasyhteisöt sekä sinisimpukkayhteisöt.
- Itämeren rannikon luontotyypit: etenkin merenpinnan nousulle ja maankohoamisen vähenemiselle herkät luontotyypit kuten hiekka- ja dyynirannat, fladat ja kluuvit sekä metsien primäärisukessiosarjat.
- Sisävedet: etenkin Pohjois-Lapin järvet ja tunturilammet.
- Suot: etenkin routimisilmästä riippuvaiset suot kuten routarämeet ja palsasuot, joilla ilmastonmuutoksen arvioitiin jo vaikuttaneen niiden uhanalaisuuteen.
- Metsät: etenkin ennustetusta kuusen vähenemisestä sekä rehevöitymisestä kärsivät luontotyypit kuten kuusivaltaiset tuoret ja kuivahkot kankaat sekä kaikki kuivat ja karukkokankaat.
- Perinnebiotoopit: etenkin merenpinnan noususta ja maankohoamisen vähenemisestä kärsivät merenrantaniityt.
- Tunturiluontotyypit: etenkin metsänrajan noususta ja pensoittumisesta kärsivät tunturikankaat, heinäkankaat ja tunturiniityt, routimisilmästä riippuvaiset kuviomaat ja routanummet sekä tähän mennessä jo selvimmin kärsineet lumenviipymät ja lumenpysymät, joilla ilmastonmuutos luettiin ainoaksi uhanalaistumisen syyksi. Ilmastonmuutoksen vaikutusta tunturiluontotyyppiin on arvioitu myös tyyppikohtaisesti ja mallinnettu metsänkasvulle suotuisan alueen laajenemista (Norokorpi ym. 2008).

Suomen kansainvälisistä vastuuluontotyypeistä (Raunio ym. 2008) ilmastonmuutos voi vaikuttaa esimerkiksi maankohoamisesta riippuvaisiin vastuuluontotyyppiin (maankohoamisrannikon flada-kluuvi-kehityssarjat, metsien kehityssarjat ja soiden kehityssarjat, rannikon jokisuistot, maankohoamisrannikon merenrantaniityt) ja routimisesta riippuvaisiin vastuuluontotyyppiin (routarämeet, palsasuot, routanummet).



Kuva: Kaisu Aapala



5 Suomessa tehty ilmastonmuutoksen vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen koskeva tutkimus

Suomessa on tehty runsaasti tutkimuksia, jotka käsittelevät ilmastonmuutoksen vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen ja sen suojeluun. Nämä tutkimukset kattavat useita teemoja ulottuen ilmastonmuutoksen havaituista ja ennustetuista vaikutuksista sopeutumisen (adaptaatio) ja ilmastoneutraalin maankäytön (mitigaatio) keinoihin. Tutkimukset ovat käsittäneet useita eliöryhmiä, vaikka pääpaino on ollut – vaihdellen tutkimusteemojen välillä – taloudellisesti tärkeissä eliöryhmissä kuten metsien puulajisto sekä ryhmissä, joista on olemassa laajoja levinneisyys- ja havaintoaineistoja kuten linnut ja perhoset. Suomessa on myös tehty kansainvälisesti urauurtavaa tutkimusta esimerkiksi suojelualueiden valinnan teoriasta ja bioklimaattisen mallinnuksen menetelmistä.

Jatkossa tärkeää olisi tehdä soveltavia tutkimuksia sekä suojelualueverkoston toimivuudesta että muista lajien liikkumismahdollisuuksia lisäävistä luonnonhoidollisista toimista. Tällaisia tutkimuksia olisi hyvä tehdä aiempaa laajemmalla lajijoukolla. Lisäksi olisi syytä tutkia aiemmissä tutkimuksissa esille nousseiden sopeutumiskeinojen toimivuutta mallintamalla ja empiirisesti käyttämällä esimerkkitapauksina biologialtaan paremmin tunnettujen lajiryhmien lajeja. Lisää tietoa tarvittaisiin myös nykyisen suojelualueverkoston toimivuudesta muuttuvassa ilmastossa ja mahdollisesti perustettavien uusien suojelualueiden sijainnista käyttäen esimerkkinä eri eliöryhmiä. Sekä suojelualueilla että niiden ulkopuolella toteutettavien luonnonhoitotoimien, joiden tavoitteena on ilmastonmuutoksen vaikutusten hidastaminen, vaikutuksesta eri luontotyyppisiin ja lajiryhmiin tarvittaisiin lisätietoa käytännön toimien tueksi. Samoin lisätietoa tarvitaan suojelualueiden ja eri luonnonhoidollisten toimien vaikutuksesta hiilen sitoutumiseen ilmakehästä.

5.1 Johdanto

Isiselvityksen tässä osiossa esitetään tiivis yleiskatsaus Suomessa tehdystä ilmastonmuutosta ja luonnon monimuotoisuutta käsittelevästä tutkimuksesta. Tarkastelun pääpaino oli Suomea koskevassa tutkimuksessa, mutta mukaan otettiin myös Suomessa tehtyjä tutkimuksia, joiden fokus oli laajempi, mantereenlaajuinen tai globaali, sekä tutkimuksia, joissa oli teoreettisempi viitekehys, esimerkiksi suojelualueiden valinnan teoria ja käytännön menetelmät. Myös tiettyihin teemoihin kohdistuvat, Suomessa tehdyt yhteenvetojulkaisut (review-artikkelit) otettiin huomioon. Itämeren rannikkovesien luonto rajattiin selvityksen ulkopuolelle, joten tämä tarkastelu kattaa maa- ja makeanveden ympäristöt.

Työtä varten koottiin lista Suomessa toimineista tutkijoista, jotka ovat työssään käsitelleet ilmastonmuutokseen ja luonnon monimuotoisuuteen liittyviä kysymyksiä. Tämän jälkeen haettiin Web of Science -julkaisutietokannasta kunkin tutkijan julkaisut. Niistä eriteltiin tiivistelmän (abstraktin) perusteella julkaisut, joissa oli käsitelty ilmastonmuutosta ja luonnon monimuotoisuutta yllä mainittujen rajausten mukaisesti. Lisäksi otettiin mukaan joitain yleistajuisia, muissa kuin vertaisarvioituissa sarjoissa julkaistuja artikkeleita, joiden teemana oli ilmastonmuutos ja luonnon monimuotoisuus Suomessa. Yllä kuvatun rajauksen mukaisia julkaisuja löytyi yhteensä 190 kappaletta, mutta on syytä huomata että julkaisuja olisi todennäköisesti löytynyt enemmän ilman ajankäyttöllisiä rajoitteita. Nyt löytyneet 190 julkaisua käytiin läpi yksityiskohtaisesti ja ryhmiteltiin teemoittain. Seuraavassa nämä tutkimukset käydään läpi lyhyesti ja listataan teemoittain.

5.2 Globaalit tutkimusteemat

5.2.1 Globaali vaikutustutkimus

Suomalaiset tutkijat ovat osallistuneet joihinkin **laajoihin yhteenvetojulkaisuihin**, joiden aiheena ovat ilmastonmuutoksen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen. Callaghan ym. (2004) esittivät laajan katsauksen arktisen alueen laajiston nykytilasta sekä lämpenemisen myötä odottavissa olevista muutoksista lajien esiintymisessä ja ekosysteemien koostumuksessa. Pöyry & Toivonen (2005) kokosivat Suomen ympäristökeskuksen koordinoiman Finadapt-hankkeen yhteydessä tiiviin katsauksen 2000-luvun alkupuolen tietämyksestä ilmastonmuutoksen vaikutuksista luonnon monimuotoisuuteen ja sopeutumiskeinoista monimuotoisuuden suojelemiseksi. Heino ym. (2009) tekivät katsauksen ilmastonmuutoksen vaikutuksista makeanveden ympäristöissä. Garcia ym. (2014) kokosivat laajan maailmanlaajuisen katsauksen ilmastonmuutoksen vaikutuksista luonnon monimuotoisuuteen.

Teeman julkaisut:

- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Elster, J., Henttonen, H., Laine, K., Taulavuori, K., Taulavuori, E. & Zockler, C. (2004) Biodiversity, distributions and adaptations of arctic species in the context of environmental change. *Ambio*, 33, 404-417.
- Garcia, R.A., Cabeza, M., Rahbek, C. & Araújo, M.B. (2014) Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity. *Science*, 344, 1247-1252.
- Guillemain, M., Pöysä, H., Fox, A.D., Arzel, C., Dessborn, L., Ekroos, J., Gunnarsson, G., Holm, T.E., Christensen, T.K., Lehtonen, A., Mitchell, C., Rintala, J. & Moller, A.P. (2013) Effects of climate change on European ducks: what do we know and what do we need to know? *Wildlife Biology*, 19, 404-419.
- Heino, J., Virkkala, R. & Toivonen, H. (2009) Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews*, 84, 39-54.
- Pöyry, J. & Toivonen, H. (2005) Climate change adaptation and biological diversity. *Finnish Environment Institute Mimeographs*, 333, 1-46.

Laajat, **mantereen kattavat tutkimukset ilmastonmuutoksen vaikutuksista** luonnon monimuotoisuuteen, joissa on ollut mukana suomalaistutkijoita, ovat käsitelleet useita eri eliöryhmiä, kuten putkilokasveja (Kapfer ym. 2013; Pellissier ym. 2016), lintuja (Jonzen ym. 2006; 2007; Burger ym. 2012; Pavon-Jordan ym. 2015; Jorgensen ym. 2016; Stephens ym. 2016), perhosia (Parmesan ym. 1999), arktisten vesistöjen selkärangattomia (Smol ym. 2005) sekä kasveja syövien selkärankaisten populaatiodynamiikkaa (Curnolier ym. 2013).

Teeman julkaisut:

- Burger, C., Belskii, E., Eeva, T., Laaksonen, T., Magi, M., Mand, R., Qvarnstrom, A., Slagsvold, T., Veen, T., Visser, M.E., Wiebe, K.L., Wiley, C., Wright, J. & Both, C. (2012) Climate change, breeding date and nestling diet: how temperature differentially affects seasonal changes in pied flycatcher diet depending on habitat variation. *Journal of Animal Ecology*, 81, 926-936.
- Comulier, T., Yoccoz, N.G., Bretagnolle, V., Brommer, J.E., Butet, A., Ecker, F., Elston, D.A., Framstad, E., Henttonen, H., Hornfeldt, 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.
- Jonzen, N., Linden, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J.O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenstrom, J., Lehtonen, A., Edvardsen, E., Solvang, R. & Stenseth, N.C. (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science*, 312, 1959-1961.
- Jonzen, N., Linden, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J.O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenstrom, J., Lehtonen, A., Edvardsen, E., Solvang, R. & Stenseth, N.C. (2007) Response to comment on "Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds". *Science*, 315, 598.

- Jorgensen, P.S., Bohning-Gaese, K., Thorup, K., Tottrup, A.P., Chylarecki, P., Jiguet, F., Lehikoinen, A., Noble, D.G., Reif, J., Schmid, H., van Turnhout, C., Burfield, I.J., Foppen, R., Vorisek, P., van Strien, A., Gregory, R.D. & Rahbek, C. (2016) Continent-scale global change attribution in European birds - combining annual and decadal time scales. *Global Change Biology*, 22, 530-543.
- Kapfer, J., Birks, H.J.B., Felde, V.A., Klanderud, K., Martinussen, T., Ross, L.C., Schei, F.H., Virtanen, R. & Grytnes, J.A. (2013) Long-term vegetation stability in northern Europe as assessed by changes in species co-occurrences. *Plant Ecology & Diversity*, 6, 289-302.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tamaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A. & Warren, M. (1999) Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399, 579-583.
- Pavon-Jordan, D., Fox, A.D., Clausen, P., Dags, M., Deceuninck, B., Devos, K., Hearn, R.D., Holt, C.A., Hornman, M., Keller, V., Langendoen, T., Lawicki, L., Lorentsen, S.H., Luigujoe, L., Meissner, W., Musil, P., Nilsson, L., Paquet, J.Y., Stipniece, A., Stroud, D.A., Wahl, J., Zenatello, M. & Lehikoinen, A. (2015) Climate-driven changes in winter abundance of a migratory waterbird in relation to EU protected areas. *Diversity and Distributions*, 21, 571-582.
- Pellissier, L., Eidesen, P.B., Ehrich, D., Descombes, P., Schonswetter, P., Tribsch, A., Westergaard, K.B., Alvarez, N., Guisan, A., Zimmermann, N.E., Normand, S., Vittoz, P., Luoto, M., Damgaard, C., Brochmann, C., Wisz, M.S. & Alsos, I.G. (2016) Past climate-driven range shifts and population genetic diversity in arctic plants. *Journal of Biogeography*, 43, 461-470.
- Smol, J.P., Wolfe, A.P., Birks, H.J.B., Douglas, M.S.V., Jones, V.J., Korhola, A., Pienitz, R., Ruhland, K., Sorvari, S., Antoniadis, D., Brooks, S.J., Fallu, M.A., Hughes, M., Keatley, B.E., Laing, T.E., Michelutti, N., Nazarova, L., Nyman, M., Paterson, A.M., Perren, B., Quinlan, R., Rautio, M., Saulnier-Talbot, E., Siitonen, S., Solovieva, N. & Weckstrom, J. (2005) Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 4397-4402.
- Stephens, P.A., Mason, L.R., Green, R.E., Gregory, R.D., Sauer, J.R., Alison, J., Aunins, A., Brotons, L., Butchart, S.H.M., Campedelli, T., Chodkiewicz, T., Chylarecki, P., Crowe, O., Elts, J., Escandell, V., Foppen, R.P.B., Heldbjerg, H., Herrando, S., Husby, M., Jiguet, F., Lehikoinen, A., Lindstrom, A., Noble, D.G., Paquet, J.Y., Reif, J., Sattler, T., Szep, T., Teufelbauer, N., Trautmann, S., van Strien, A.J., van Turnhout, C.A.M., Vorisek, P. & Willis, S.G. (2016) Consistent response of bird populations to climate change on two continents. *Science*, 352, 84-87.

Mantereen laajuisia ennusteita levinneisyyden muutoksista on julkaistu putkilo-kasveista (Thuiller ym. 2008; Wasof ym. 2015) ja perhosista (Heikkinen ym. 2010). Thuiller ym. (2008) ja Heikkinen ym. (2010) käyttivät tutkimuksissaan niin sanottuja bioklimaattisia malleja (katso luku 4.3.), joissa eliölajin nykyinen levinneisyysalue mallinnetaan käyttäen tilastollisia, korrelatiivisia menetelmiä ja tehdään ennuste ilmastollisesti sopivan alueen siirtymisestä ilmastoskenaarioiden pohjalta. Wasof ym. (2015) sen sijaan tutki eri kasvilajien eristyneiden populaatioiden asuttamia ilmastovyöhykkeitä ja totesi niiden säilyneen samoina populaatioiden eristymisen jälkeenkin. Havainto tukee ajatusta, että lajit sopeutuvat muuttuvaan ilmastoon ensisijaisesti siirtymällä uusille alueille.

Teeman julkaisut:

- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Leikola, N., Pöyry, J., Settele, J., Kudrna, O., Marmion, M., Fronzek, S. & Thuiller, W. (2010) Assessing the vulnerability of European butterflies to climate change using multiple criteria. *Biodiversity and Conservation*, 19, 695-723.
- Thuiller, W., Albert, C., Araujo, M.B., Berry, P.M., Cabeza, M., Guisan, A., Hickler, T., Midgely, G.F., Paterson, J., Schurr, F.M., Sykes, M.T. & Zimmermann, N.E. (2008) Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9, 137-152.
- Wasof, S., Lenoir, J., Aarrestad, P.A., Alsos, I.G., Armbruster, W.S., Austrheim, G., Bakkestuen, V., Birks, H.J.B., Brathen, K.A., Broennimann, O., Brunet, J., Bruun, H.H., Dahlberg, C.J., Diekmann, M., Dullinger, S., Dynesius, M., Ejrnaes, R., Gegout, J.C., Graae, B.J., Grytnes, J.A., Guisan, A., Hylander, K., Jonsdottir, I.S., Kapfer, J., Klanderud, K., Luoto, M., Milbau, A., Moora, M., Nygaard, B., Odland, A., Pauli, H., Ravolainen, V., Reinhardt, S., Sandvik, S.M., Schei, F.H., Speed, J.D.M., Svenning, J.C., Thuiller, W., Tveraaabak, L.U., Vandvik, V., Velle, L.G., Virtanen, R., Vittoz, P., Willner, W., Wohlgemuth, T., Zimmermann, N.E., Zobel, M. & Decocq, G. (2015) Disjunct populations of European vascular plant species keep the same climatic niches. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 1401-1412.

5.2.2. Suojelualueverkoston suunnitteluä käsittelevä tutkimus

Suojelualueverkoston toimivuutta nyt ja tulevaisuudessa on tarkasteltu useissa töissä. Araújo ym. (2004) tutkivat 1200 eurooppalaisen putkilokasvilajin levinneisyyttä ja esittivät että 6-11% lajeista menettää niille sopivan ilmastovyöhykkeen suojelualueilta seuraavan 50 vuoden aikana. Edelleen Araújo ym. (2011) havaitsivat, että lähes 60 % eurooppalaisista putkilokasvi- ja maaselkäranskaislajeista menettää sopivan ilmaston Natura 2000 –alueilla vuoteen 2080 mennessä. Pouzols ym. (2014) mallinsivat lähes 25 000 maaselkäranskaisen levinneisyysalueita suhteessa suojelualueiden esiintymiseen, ja totesivat että suojelualueverkoston laajentaminen kattamaan 17 % maa-alasta maailmanlaajuisesti kolminkertaistaisi lajien suojeltujen esiintymien määrän. Toisaalta kansallisten ja kansainvälisten suojelutavoitteiden välillä havaittiin huomattava ero, ja ennustetut maankäytön muutokset aiheuttavat 1 000 uhanalaisella lajilla levinneisyysalueen puolittumisen. Snäll ym. (2016) esittivät yleiskatsauksen käytettävissä olevista menetelmistä niin sanotun green infrastructure -verkoston muodostamiseksi.

Teeman julkaisut:

- Araújo, M.B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L. & Williams, P.H. (2004) Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology*, 10, 1618-1626.
- Araujo, M.B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogues-Bravo, D. & Thuiller, W. (2011) Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14, 484-492.
- Pavon-Jordan, D., Fox, A.D., Clausen, P., Dagys, M., Deceuninck, B., Devos, K., Hearn, R.D., Holt, C.A., Hornman, M., Keller, V., Langendoen, T., Lawicki, L., Lorentsen, S.H., Luigujoe, L., Meissner, W., Musil, P., Nilsson, L., Paquet, J.Y., Stipniece, A., Stroud, D.A., Wahl, J., Zenatello, M. & Lehikoinen, A. (2015) Climate-driven changes in winter abundance of a migratory waterbird in relation to EU protected areas. *Diversity and Distributions*, 21, 571-582.
- Pouzols, F.M., Toivonen, T., Di Minin, E., Kukkala, A.S., Kullberg, P., Kuustera, J., Lehtomäki, J., Tenkanen, H., Verburg, P.H. & Moilanen, A. (2014) Global protected area expansion is compromised by projected land-use and parochialism. *Nature*, 516, 383-386.
- Snäll, T., Lehtomäki, J., Arponen, A., Elith, J. & Moilanen, A. (2016) Green Infrastructure Design Based on Spatial Conservation Prioritization and Modeling of Biodiversity Features and Ecosystem Services. *Environmental Management*, 57, 251-256.

Suomalaiset tutkijat ovat julkaisseet useita kansainvälisesti merkittäviä töitä **suojelualueiden valinnan teoriasta ja suojelualuesuunnittelun** menetelmien kehittämisestä. Kattavia yhteenvetoartikkeleita suojelualuesuunnittelusta ovat julkaisseet Cabeza & Moilanen (2001) ja Pressey ym. (2007). Hodgson ym. (2009; 2011) tarkastelivat elinympäristön määrän ja laadun suhdetta alueiden kytkeytyvyyteen (konnektiviteettiin) suojelualueiden valinnassa. Kujala ym. (2013c) käsittelevät työssään eri ilmastokenaariooiden ja Meller ym. (2014) eri mallinnusmenetelmien huomioimista suojelualueiden valinnassa. Cabeza ym. (2010) esittivät suomalaisen aineistoon perustuvan esimerkkitutkimuksen suojelualueiden valinnasta kolmella mittakaavatasolla.

Teeman julkaisut:

- Cabeza, M. & Moilanen, A. (2001) Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 242-248.
- Cabeza, M., Arponen, A., Jänttilä, L., Kujala, H., van Teeffelen, A. & Hanski, I. (2010) Conservation planning with insects at three different spatial scales. *Ecography*, 33, 54-63.
- Hodgson, J.A., Thomas, C.D., Wintle, B.A. & Moilanen, A. (2009) Climate change, connectivity and conservation decision making: back to basics. *Journal of Applied Ecology*, 46, 964-969
- Hodgson, J.A., Moilanen, A., Wintle, B.A. & Thomas, C.D. (2011) Habitat area, quality and connectivity: striking the balance for efficient conservation. *Journal of Applied Ecology*, 48, 148-152.
- Kujala, H., Moilanen, A., Araujo, M.B. & Cabeza, M. (2013c) Conservation Planning with Uncertain Climate Change Projections. *Plos One*, 8, e53315.

- Meller, L., Cabeza, M., Pironon, S., Barbet-Massin, M., Maiorano, L., Georges, D. & Thuiller, W. (2014) Ensemble distribution models in conservation prioritization: from consensus predictions to consensus reserve networks. *Diversity and Distributions*, 20, 309-321.
- Moilanen, A., Laitila, J., Vaahtoranta, T., Dicks, L.V. & Sutherland, W.J. (2014) Structured analysis of conservation strategies applied to temporary conservation. *Biological Conservation*, 170, 188-197.
- Pouzols, F.M. & Moilanen, A. (2014) A method for building corridors in spatial conservation prioritization. *Landscape Ecology*, 29, 789-801.
- Pressey, R.L., Cabeza, M., Watts, M.E., Cowling, R.M. & Wilson, K.A. (2007) Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 583-592.
- Wintle, B.A., Bekessy, S.A., Keith, D.A., van Wilgen, B.W., Cabeza, M., Schroder, B., Carvalho, S.B., Falcucci, A., Maiorano, L., Regan, T.J., Rondinini, C., Boitani, L. & Possingham, H.P. (2011) Ecological-economic optimization of biodiversity conservation under climate change. *Nature Climate Change*, 1, 355-359.

Myös lajien levinneisyysalueiden siirtymisten mallintamisen menetelmiä on tutkittu Suomessa intensiivisesti. Tässä on keskitytty sekä bioklimaattisiin malleihin (katso luku 4.3.) että yksityiskohtaisempiin niin sanottuihin individual-based -malleihin. Heikkinen ym. (2006b) esittivät laajan yhteenvetotutkimuksen bioklimaattisten mallien käytännön soveltamisesta, tulosten tulkinnasta ja epävarmuuksista. Bioklimaattisten mallien tuloksiin vaikuttavia epävarmuuksia ovat tutkineet mm. Luoto ym. (2005; 2007), Luoto & Heikkinen (2008), Pöyry ym. (2008), Virkkala ym. (2010) ja Sormunen ym. (2011). Marmion ym. (2009) tutkivat bioklimaattisen mallinnuksen niin sanottuja konsensusmenetelmiä ja Virkkala ym. (2014a) vertasivat bioklimaattisten mallien ennusteita empiirisiin havaintoihin lintujen levinneisyysaleiden muutoksesta. Bocedi ym. (2014) ovat kehittäneet lajien siirtymisten mallinnusta käyttämällä niin sanottuja individual-based -menetelmiä.

Teeman julkaisut:

- Bocedi, G., Palmer, S.C.F., Pe'er, G., Heikkinen, R.K., Matsinos, Y.G., Watts, K. & Travis, J.M.J. (2014) RangeShifter: a platform for modelling spatial eco-evolutionary dynamics and species' responses to environmental changes. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 388-396.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araújo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W. & Sykes, M.T. (2006b) Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, 30, 751-777.
- Luoto, M., Pöyry, J., Heikkinen, R.K. & Saarinen, K. (2005) Uncertainty of bioclimate envelope models based on the geographical distribution of species. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 575-584.
- Luoto, M., Virkkala, R. & Heikkinen, R.K. (2007) The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 34-42.
- Luoto, M. & Heikkinen, R.K. (2008) Disregarding topographical heterogeneity biases species turnover assessments based on bioclimatic models. *Global Change Biology*, 14, 483-494.
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Thuiller, W. (2009) Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15, 59-69.
- Pöyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Saarinen, K. (2008) Species traits are associated with the quality of bioclimatic models. *Global Ecology and Biogeography*, 17, 403-414.
- Sormunen, H., Virtanen, R. & Luoto, M. (2011) Inclusion of local environmental conditions alters high-latitude vegetation change predictions based on bioclimatic models. *Polar Biology*, 34, 883-897.
- Virkkala, R., Marmion, M., Heikkinen, R.K., Thuiller, W. & Luoto, M. (2010) Predicting range shifts of northern bird species: Influence of modelling technique and topography. *Acta Oecologica*, 36, 269-281.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014a) Matching trends between recent distributional changes of northern-boreal birds and species-climate model predictions. *Biological Conservation*, 172, 124-127.

Politiikkakeinoja ilmastopäästöjen vähentämiseksi (mitigaatio) ja sopeutumistoksi ilmastomuutoksen vaikutuksia lieventämään (adaptaatio) on myös käsitelty joissain tutkimuksissa. Regional Environmental Change –sarjan teemanumerossa (Berkhout ym. 2015) käsiteltiin mm. Euroopan laajuisia politiikkakeinoja mm. suhteessa metsänhoitoon (Bouriaud ym. 2015) ja luonnon monimuotoisuuden suojeluun (van Teeffelen ym. 2015). Kujala ym. (2013a) käsitelivät luonnonsuojeluun ja ilmastomuutokseen liittyviä erilaisia epävarmuuksia ja Thomas ym. (2013) selvittivät hiilinielujen ja luonnon monimuotoisuuden suojelun välisiä yhteyksiä.

Teeman julkaisut:

- Berkhout, F., Bouwer, L.M., Bayer, J., Bouzid, M., Cabeza, M., Hanger, S., Hof, A., Hunter, P., Meller, L., Patt, A., Pfluger, B., Rayner, T., Reichardt, K. & van Teeffelen, A. (2015) European policy responses to climate change: progress on mainstreaming emissions reduction and adaptation. *Regional Environmental Change*, 15, 949-959.
- Bouriaud, L., Marzano, M., Lexer, M., Nichiforel, L., Reyer, C., Temperli, C., Peltola, H., Elkin, C., Duduman, G., Taylor, P., Bathgate, S., Borges, J.G., Clerckx, S., Garcia-Gonzalo, J., Gracia, C., Hengeveld, G., Kellomaki, S., Kostov, G., Maroschek, M., Muys, B., Nabuurs, G.J., Nicoll, B., Palahi, M., Rammer, W., Ray, D., Schelhaas, M.J., Sing, L., Tome, M., Zell, J. & Hanewinkel, M. (2015) Institutional factors and opportunities for adapting European forest management to climate change. *Regional Environmental Change*, 15, 1595-1609.
- Kujala, H., Burgman, M.A. & Moilanen, A. (2013a) Treatment of uncertainty in conservation under climate change. *Conservation Letters*, 6, 73-85.
- Thomas, C.D., Anderson, B.J., Moilanen, A., Eigenbrod, F., Heinemeyer, A., Quaipe, T., Roy, D.B., Gillings, S., Armsworth, P.R. & Gaston, K.J. (2013) Reconciling biodiversity and carbon conservation. *Ecology Letters*, 16, 39-47.
- van Teeffelen, A., Meller, L., van Minnen, J., Vermaat, J. & Cabeza, M. (2015) How climate proof is the European Union's biodiversity policy? *Regional Environmental Change*, 15, 997-1010.

5.3 Suomea koskeva tutkimus

5.3.1 Ilmastonmuutoksen havaittuja vaikutuksia koskeva tutkimus

5.3.1.1 Havaittu ilmastonmuutos ja sen vaikutus yleisiin reunaehtoihin

Luonnon yleisiä reunaehtoja Suomessa koskeva tutkimus on käsitellyt esimerkiksi keskimääräisiä lämpötiloja ja niiden kohoamista 1800-luvun puolivälistä alkaen (Tietäväinen ym. 2010; Mikkonen ym. 2014), kasvukauden pidentymistä ja lämpösummien kohoamista (Carter 1998), geomorfologian muutoksia, esimerkkinä palsaoiden sulaminen (Luoto & Seppälä 2003; Luoto ym. 2004), suoyhdistymätyyppien esiintymistä ja mallintamista ilmastomuuttujien avulla (Parviainen & Luoto 2007) sekä lähteiden veden lämpötilan muutoksia (Jyväsjärvi ym. 2015). Nevalainen ym. (2010) käsittelevät tutkimuksessaan ilmaston lämpenemisen ja tuohyönteisten lisääntymisen aiheuttamia muutoksia metsien terveydentilassa.

Teeman julkaisut:

- Carter, T.R. (1998) Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland*, 7, 161-179.
- Jyväsjärvi, J., Marttila, H., Rossi, P.M., Ala-Aho, P., Olofsson, B., Nisell, J., Backman, B., Ilmonen, J., Virtanen, R., Paasivirta, L., Britschgi, R., Klove, B. & Muotka, T. (2015) Climate-induced warming imposes a threat to north European spring ecosystems. *Global Change Biology*, 21, 4561-4569.
- Luoto, M. & Seppälä, M. (2003) Thermokarst ponds as indicators of the former distribution of palsas in Finnish lapland. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14, 19-27.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Carter, T.R. (2004) Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation*, 31, 30-37.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksonen, A. (2014) Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 1521-1529.
- Nevalainen, S., Lindgren, M., Pouttu, A., Heinonen, J., Hongisto, M. & Neuvonen, S. (2010) Extensive tree health monitoring networks are useful in revealing the impacts of widespread biotic damage in boreal forests. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168, 159-171.
- Parviainen, M. & Luoto, M. (2007) Climate envelopes of mire complex types in Fennoscandia. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, 89A, 137-151.
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H. & Venäläinen, A. (2010) Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology*, 30, 2247-2256.

5.3.1.2 Lajien levinneisyysalueiden, runsaussuhteiden ja eliöyhteisöjen rakenteen muutokset

Kohti pohjoista siirtyviä levinneisyysalueita ja lajien runsastumista, koskien sekä lisääntymis- että talvehtimisalueita, on Suomessa tutkittu intensiivisesti. Useita tutkimuksia on julkaistu varsinkin perhosista (Parmesan ym. 1999; Kuussaari ym. 2007; Pöyry ym. 2009; Mattila ym. 2011; Eskildsen ym. 2013; Kontiokari 2014; Leinonen ym. 2016; Pöyry ym. 2017) ja linnuista (Brommer 2004; Virkkala & Rajasärkkä 2011b; Kujala ym. 2013b; Lehikoinen ym. 2013b; Virkkala & Lehikoinen 2014; Fraixedas ym. 2015a; Meller ym. 2016; Välimäki ym. 2016), mutta myös puulajeista (Juntunen ym. 2002) ja metsähyönteisistä (Nevalainen ym. 2010). Perhosten korostuminen runsastuvia lajeja käsittelevissä tutkimuksissa ei ole yllättävää, sillä aiemmat tutkimukset olivat osoittaneet ilmastotekijöiden olevan tärkeä niiden levinneisyyttä rajoittava tekijä (Luoto ym. 2006; Kivinen ym. 2007). Lisäksi perhosista ja linnuista on olemassa runsaasti pitkäaikaista seuranta-aineistoa, joka mahdollistaa levinneisyys- ja runsausmuutosten tutkimisen. Lajien ominaisuuksien merkitystä siirtymisnopeuden selittäjänä on käsitelty sekä perhosilla (Pöyry ym. 2009) että linnuilla (Välimäki ym. 2016).

Teeman julkaisut:

- Brommer, J.E. (2004) The range margins of northern birds shift polewards. *Annales Zoologici Fennici*, 41, 391-397.
- Eskildsen, A., le Roux, P.C., Heikkinen, R.K., Høye, T.T., Kissling, W.D., Pöyry, J., Wisz, M.S. & Luoto, M. (2013) Testing species distribution models across space and time: high latitude butterflies and recent warming. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 1293-1303.
- Fraixedas, S., Lehikoinen, A. & Linden, A. (2015a) Impacts of climate and land-use change on wintering bird populations in Finland. *Journal of Avian Biology*, 46, 63-72.
- Juntunen, V., Neuvonen, S., Norokorpi, Y. & Tasanen, T. (2002) Potential for timberline advance in northern Finland, as revealed by monitoring during 1983-99. *Arctic*, 55, 348-361.
- Kivinen, S., Luoto, M., Kuussaari, M. & Saarinen, K.M. (2007) Effects of land cover and climate on species richness of butterflies in boreal agricultural landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 122, 453-460.
- Kontiokari, S. (2014) Suomelle uudet perhoslajit 1990-2009 ja niiden leviäminen eri maakuntiin. *Baptria*, 39, 92-115.
- Kujala, H., Vepsäläinen, V., Zuckerberg, B. & Brommer, J. (2013b) Range margin shifts of birds revisited — the role of spatiotemporally varying survey effort. *Global Change Biology*, 19, 420-430.
- Kuussaari, M., Heliölä, J., Pöyry, J. & Saarinen, K. (2007) Contrasting trends of butterfly species preferring semi-natural grasslands, field margins and forest edges in northern Europe. *Journal of Insect Conservation*, 11, 351-366.
- Lehikoinen, A., Jaatinen, K., Vahatalo, A.V., Clausen, P., Crowe, O., Deceuninck, B., Hearn, R., Holt, C.A., Hornman, M., Keller, V., Nilsson, L., Langendoen, T., Tomankova, I., Wahl, J. & Fox, A.D. (2013b) Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common waterbird species. *Global Change Biology*, 19, 2071-2081.
- Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. (2016) Suomen yöperhosseuranta (Nocturna) 1993-2012 [The Finnish moth monitoring scheme 1993-2012]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 15/2016, 1-71.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K., Pöyry, J. & Saarinen, K. (2006) Determinants of the biogeographical distribution of butterflies in boreal regions. *Journal of Biogeography*, 33, 1764-1778.
- Mattila, N., Kaitala, V., Komonen, A., Päivinen, J. & Kotiaho, J.S. (2011) Ecological correlates of distribution change and range shift in butterflies. *Insect Conservation and Diversity*, 4, 239-246.
- Meller, K., Vähätalo, A.V., Hokkanen, T., Rintala, J., Piha, M. & Lehikoinen, A. (2016) Interannual variation and long-term trends in proportions of resident individuals in partially migratory birds. *Journal of Animal Ecology*, 85, 570-580.
- Nevalainen, S., Lindgren, M., Pouttu, A., Heinonen, J., Hongisto, M. & Neuvonen, S. (2010) Extensive tree health monitoring networks are useful in revealing the impacts of widespread biotic damage in boreal forests. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168, 159-171.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A. & Warren, M. (1999) Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399, 579-583.
- Pöyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R.K., Kuussaari, M. & Saarinen, K. (2009) Species traits explain recent range shifts of Finnish butterflies. *Global Change Biology*, 15, 732-743.

- Pöyry, J., Carvalheiro, L.G., Heikkinen, R.K., Kühn, I., Kuussaari, M., Schweiger, O., Valtonen, A., van Bodegom, P.M. & Franzén, M. (2017) The effects of soil eutrophication propagate to higher trophic levels. *Global Ecology and Biogeography*, 26, 18-30.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2011b) Northward density shift of bird species in boreal protected areas due to climate change. *Boreal Environment Research*, 16 (suppl. B), 2-13.
- Virkkala, R. & Lehikoinen, A. (2014) Patterns of climate-induced density shifts of species: poleward shifts faster in northern boreal birds than in southern birds. *Global Change Biology*, 20, 2995-3003.
- Välimäki, K., Lindén, A. & Lehikoinen, A. (2016) Velocity of density shifts in Finnish landbird species depends on their migration ecology and body mass. *Oecologia*, 181, 313-321.

Pohjoiseen vetäytyvistä ja taantuvista lajeista on Suomessa julkaistu vähemmän tutkimuksia kuin runsastuvista lajeista, mutta julkaisut keskittyvät pitkälti samoihin eliöryhmiin eli perhosiin (Kuussaari ym. 2007; Mattila ym. 2011; Leinonen ym. 2016; Pöyry ym. 2017) ja lintuihin (Virkkala & Rajasärkkä 2011a; 2011b; Laaksonen & Lehikoinen 2013; Lehikoinen ym. 2014; Fraixedas ym. 2015b; Lehikoinen ym. 2016). Yleisesti ottaen levinneisyysalueiden supistumisen havaitseminen on hankalampaa kuin levinneisyysalueiden laajenemisen havaitseminen.

Teeman julkaisut:

- Fraixedas, S., Linden, A. & Lehikoinen, A. (2015b) Population trends of common breeding forest birds in southern Finland are consistent with trends in forest management and climate change. *Ornis Fennica*, 92, 187-203.
- Kuussaari, M., Heliölä, J., Pöyry, J. & Saarinen, K. (2007) Contrasting trends of butterfly species preferring semi-natural grasslands, field margins and forest edges in northern Europe. *Journal of Insect Conservation*, 11, 351-366.
- 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.
- Lehikoinen, A., Fraixedas, S., Burgas, D., Eriksson, H., Henttonen, H., Laakkonen, H., Lehikoinen, P., Lehtomäki, J., Leppänen, J., Makelainen, S., Niemimäa, J., Pihlajaniemi, M., Santaharju, J. & Valimäki, K. (2016) The impact of weather and the phase of the rodent cycle on breeding populations of waterbirds in Finnish Lapland. *Ornis Fennica*, 93, 31-46.
- Lehikoinen, A., Green, M., Husby, M., Kalas, J.A. & Lindström, A. (2014) Common montane birds are declining in northern Europe. *Journal of Avian Biology*, 45, 3-14.
- Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. (2016) *Suomen yöperhosseuranta (Nocturna) 1993-2012 [The Finnish moth monitoring scheme 1993-2012]*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 15/2016, 1-71.
- Mattila, N., Kaitala, V., Komonen, A., Päivinen, J. & Kotiaho, J.S. (2011) Ecological correlates of distribution change and range shift in butterflies. *Insect Conservation and Diversity*, 4, 239-246.
- Pöyry, J., Carvalheiro, L.G., Heikkinen, R.K., Kühn, I., Kuussaari, M., Schweiger, O., Valtonen, A., van Bodegom, P.M. & Franzén, M. (2017) The effects of soil eutrophication propagate to higher trophic levels. *Global Ecology and Biogeography*, 26, 18-30.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2011a) Climate change affects populations of northern birds in boreal protected areas. *Biology Letters*, 7, 395-398.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2011b) Northward density shift of bird species in boreal protected areas due to climate change. *Boreal Environment Research*, 16 (suppl. B), 2-13.

Eliöyhteisöjen rakenteessa tapahtuneita muutoksia käsittelevät tutkimukset kattavat laajemman joukon eliöryhmiä kuin lajien levinneisyyteen ja runsausmuutoksiin keskittyneet julkaisut. Tutkimukset ovat käsitelleet paitsi perhosia (Itämies ym. 2011; Hunter ym. 2014; Leinonen ym. 2016) ja lintuja (Virkkala & Lehikoinen 2014; Lehikoinen & Virkkala 2016; Välimäki ym. 2016), myös esimerkiksi putkilokasviyhteisöjä (Virtanen ym. 2010), tunturijärvien (Sorvari ym. 2002), lähteiden (Ilmonen ym. 2009) ja rannikon murtovesilammikoiden (Altermatt ym. 2008) selkärangattomyhteisöjä.

Teeman julkaisut:

- Altermatt, F., Pajunen, V.I. & Ebert, D. (2008) Climate change affects colonization dynamics in a meta-community of three *Daphnia* species. *Global Change Biology*, 14, 1209-1220.
- Hunter, M.D., Kozlov, M.V., Itämies, J., Pulliainen, E., Bäck, J., Kyrö, E.-M. & Niemelä, P. (2014) Current temporal trends in moth abundance are counter to predicted effects of climate change in an assemblage of subarctic forest moths. *Global Change Biology*, 20, 1723-1737.
- Ilmonen, J., Paasivirta, L., Virtanen, R. & Muotka, T. (2009) Regional and local drivers of macroinvertebrate assemblages in boreal springs. *Journal of Biogeography*, 36, 822-834.

- Itämies, J.H., Leinonen, R. & Meyer-Rochow, V.B. (2011) Climate change and shifts in the distribution of moth species in Finland, with a focus on the province of Kainuu. *Climate change - Geophysical foundations and ecological effects* (ed. by J. Blanco and H. Kheradmand), pp. 273-296. InTech, Rijeka, Croatia.
- Lehikoinen, A. & Virkkala, R. (2016) North by north-west: climate change and directions of density shifts in birds. *Global Change Biology*, 22, 1121-1129.
- Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. (2016) Suomen yöperhosseuranta (Nocturna) 1993-2012 [The Finnish moth monitoring scheme 1993-2012]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 15/2016, 1-71.
- Sorvari, S., Korhola, A. & Thompson, R. (2002) Lake diatom response to recent Arctic warming in Finnish Lapland. *Global Change Biology*, 8, 171-181.
- Virkkala, R. & Lehikoinen, A. (2014) Patterns of climate-induced density shifts of species: poleward shifts faster in northern boreal birds than in southern birds. *Global Change Biology*, 20, 2995-3003.
- Virtanen, R., Luoto, M., Rämä, T., Mikkola, K., Hjort, J., Grytnes, J.-A. & Birks, H.J.B. (2010) Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 810-821.
- Välimäki, K., Lindén, A. & Lehikoinen, A. (2016) Velocity of density shifts in Finnish landbird species depends on their migration ecology and body mass. *Oecologia*, 181, 313-321.

Elinympäristöjen pirstoutumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutuksia lajien runsauksien muutokseen on selvitetty perhosilla (Pöyry ym. 2009), linnuilla (Lehikoinen & Virkkala 2016; Virkkala 2016; Välimäki ym. 2016) ja sammakkoeläimillä (Piha ym. 2007). Elinympäristöjen pirstoutuminen voimistaa ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia, ja kotimaisten tutkimusten tulokset vahvistavat tätä oletusta.

Teeman julkaisut:

- Lehikoinen, A. & Virkkala, R. (2016) North by north-west: climate change and directions of density shifts in birds. *Global Change Biology*, 22, 1121-1129.
- Piha, H., Luoto, M., Piha, M. & Merilä, J. (2007) Anuran abundance and persistence in agricultural landscapes during a climatic extreme. *Global Change Biology*, 13, 300-311.
- Pöyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R.K., Kuussaari, M. & Saarinen, K. (2009) Species traits explain recent range shifts of Finnish butterflies. *Global Change Biology*, 15, 732-743.
- Virkkala, R. (2016) Long-term decline of southern boreal forest birds: consequence of habitat alteration or climate change? *Biodiversity and Conservation*, 25, 151-167.
- Välimäki, K., Lindén, A. & Lehikoinen, A. (2016) Velocity of density shifts in Finnish landbird species depends on their migration ecology and body mass. *Oecologia*, 181, 313-321.

Tutkimuksia, joissa verrataan lajiston muutoksia suojelualueilla ja niiden ulkopuolella, on Suomessa tehty yksinomaan linnuilla (Virkkala & Rajasärkkä 2012; Virkkala ym. 2013b; Virkkala ym. 2013a; Virkkala ym. 2014b; Virkkala 2013; 2016b; Santangeli, A. ym. 2017). Näissä tutkimuksissa (katso tietolaatikko 1) on todettu, että suojelualueet hidastavat jonkin verran lintuyhteisöissä ilmastonmuutoksen vuoksi tapahtuvia muutoksia verrattuna talouskäytössä oleviin alueisiin (Virkkala ym. 2013b; Virkkala ym. 2014b).

Teeman julkaisut:

- Santangeli, A., Rajasärkkä, A.I. & Lehikoinen, A. (2017) Effects of high latitude protected areas on bird communities under rapid climate change. *Global Change Biology*, 23, 2241-2249.
- Virkkala, R. (2013) Suojelualueiden merkitys linnuille ilmaston muuttuessa. *Ympäristö ja Terveys*, 44 (8), 8-11.
- Virkkala, R. (2016) Long-term decline of southern boreal forest birds: consequence of habitat alteration or climate change? *Biodiversity and Conservation*, 25, 151-167.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2012) Preserving species populations in the boreal zone in a changing climate: contrasting trends of bird species groups in a protected area network. *Nature Conservation*, 3, 1-20.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Fronzek, S. & Leikola, N. (2013a) Climate change, northern birds of conservation concern and matching the hotspots of habitat suitability with the reserve network. *PLoS ONE*, 8, e63376.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Fronzek, S., Kujala, H. & Leikola, N. (2013b) Does the protected area network preserve bird species of conservation concern in a rapidly changing climate? *Biodiversity and Conservation*, 22, 459-482.
- Virkkala, R., Pöyry, J., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014b) Protected areas alleviate climate change effects on northern bird species of conservation concern. *Ecology and Evolution*, 4, 2991-3003.

5.3.1.3 Fenologiset muutokset ja niiden ekologiset seuraukset

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista fenologiaan eli luonnon tapahtumien ajoittumiseen on Suomessa julkaistu runsaasti tutkimuksia, jotka kattavat useita eri teemoja. Kasvien lehtienpuhkeamisen ja kukinnan aikaistumista ovat käsitelleet Karlsson ym. (2003), Lappalainen ym. (2008), Rousi ym. (2011) ja Holopainen ym. (2013). Lintujen muuttoajankohdan ja pesinnän ajoituksen aikaistumista ovat tutkineet esimerkiksi Ahola ym. (2004), Vähätalo ym. (2004), Rainio ym. (2006), Meller ym. (2013), kun taas Pöyry ym. (2011) tutkivat perhosten monisukupolvisuuden yleistymistä. Keskieurooppalaisissa tutkimuksissa on havaittu lintujen poikaskauden ja niiden ravintonaan käyttämien, tammella elävien perhostoukkien, runsaimman esiintymisen ajoituksen muuttuneen eri tahtia, minkä vuoksi eräiden lintulajien poikasten ravinnonsaanti on vaikeutunut (niin sanottu trophic mis-match). Koska ilmiön yleistymisellä voisi olla huomattavaa vaikutusta lintulajien pitkäaikaisiin kannanmuutoksiin, on kysymystä tutkittu intensiivisesti myös Suomessa (Ludwig ym. 2006; Laaksonen ym. 2006; Lehikoinen ym. 2009; Lehikoinen 2011; Lehikoinen ym. 2011; Saino ym. 2011; Vatka ym. 2011; Vatka ym. 2014; Terraube ym. 2015; Vatka ym. 2016; Valtonen ym. 2017). Täkäläisissä tutkimuksissa ei kuitenkaan ole saatu selvää näyttöä siitä, että epäsuhta (mis-match) lintujen poikaskauden ja ravinnon saatavuuden välillä olisi yleistynyt. Ahola ym. (2007) ovat myös tutkineet ilmastonmuutoksen mahdollista vaikutusta paikkalintujen ja muuttolintujen välisen kilpailun muutokseen.

Teeman julkaisut:

- Ahola, M., Laaksonen, T., Sippola, K., Eeva, T., Rainio, K. & Lehikoinen, E. (2004) Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biology*, 10, 1610–1617.
- Ahola, M.P., Laaksonen, T., Eeva, T. & Lehikoinen, E. (2007) Climate change can alter competitive relationships between resident and migratory birds. *Journal of Animal Ecology*, 76, 1045–1052.
- Holopainen, J., Helama, S., Lappalainen, H. & Gregow, H. (2013) Plant phenological records in northern Finland since the 18th century as retrieved from databases, archives and diaries for biometeorological research. *International Journal of Biometeorology*, 57, 423–435.
- Karlsson, P.S., Bylund, H., Neuvonen, S., Heino, S. & Tjus, M. (2003) Climatic response of budburst in the mountain birch at two areas in northern Fennoscandia and possible responses to global change. *Ecography*, 26, 617–625.
- Lappalainen, H.K., Linkosalo, A. & Venäläinen, A. (2008) Long-term trends in spring phenology in a boreal forest in central Finland. *Boreal Environment Research*, 13, 303–318.
- Rousi, M., Heinonen, J. & Neuvonen, S. (2011) Intrapopulation variation in flowering phenology and fecundity of silver birch, implications for adaptability to changing climate. *Forest Ecology and Management*, 262, 2378–2385.
- Vähätalo, A.V., Rainio, K., Lehikoinen, A. & Lehikoinen, E. (2004) Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Avian Biology*, 35, 210–216.

5.3.1.4 Evolutiiviset muutokset

Ilmastonmuutoksen aiheuttamia **evolutiivisia (periytyviä) muutoksia** on toistaiseksi tutkittu Suomessa vain vähän. Tähän on todennäköisesti syynä tutkimuksen menetelmällinen hankaluus, sillä evolutiivisten muutosten toteaminen vaatii suoraa havaintoa geneettisistä muutoksista ja/tai yksityiskohtaista kokeellista tutkimusta ominaisuuksista, joihin periytyvä muutos vaikuttaa. Aihepiiristä toistaiseksi julkaistut tutkimukset ovat käsitelleet lintujen lisääntymismenestystä (Ahola ym. 2009) ja puiden perinnöllistä reagoitua ilmastonmuutokseen (Alberto ym. 2013).

Teeman julkaisut:

- Ahola, M.P., Laaksonen, T., Eeva, T. & Lehikoinen, E. (2009) Great tits lay increasingly smaller clutches than selected for: a study of climate- and density-related changes in reproductive traits. *Journal of Animal Ecology*, 78, 1298–1306.

Alberto, F.J., Aitken, S.N., Alia, R., Gonzalez-Martinez, S.C., Hänninen, H., Kremer, A., Lefevre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., Whetten, R. & Savolainen, O. (2013) Potential for evolutionary responses to climate change evidence from tree populations. *Global Change Biology*, 19, 1645-1661.

5.3.1.5 Pohjois-Atlantin oskillaation (NAO) vaikutus luonnossa

Pohjois-Atlantin oskillaation (NAO) vaihtelu vaikuttaa erityisesti Suomen talvilämpötiloihin, jolloin positiivisen NAO:n aikana vallitsevien korkeampien talvilämpötilojen voidaan ajatella simuloivan ilmastonmuutoksen vaikutuksia luonnossa. **NAO:n vaikutuksia** koskeva tutkimus on käsitellyt lintujen talvehtimistä ja kevätmuuton ajoittumista (Ahola ym. 2004; Vähätalo ym. 2004; Lehikoinen ym. 2006; Rainio ym. 2008), metsäympäristöjen keväistä fenologiaa (Lappalainen ym. 2008) sekä vaikutuksia hyönteisten populaatiokokoon (Halkka ym. 2006).

Teeman julkaisut:

- Ahola, M., Laaksonen, T., Sippola, K., Eeva, T., Rainio, K. & Lehikoinen, E. (2004) Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biology*, 10, 1610-1617.
- Halkka, A., Halkka, L., Halkka, O., Roukka, K. & Pokki, J. (2006) Lagged effects of North Atlantic Oscillation (NAO) on spittlebug *Philæus spumarius* (Homoptera) abundance and survival. *Global Change Biology*, 12, 2250-2262.
- Lappalainen, H.K., Linkosalo, A. & Venäläinen, A. (2008) Long-term trends in spring phenology in a boreal forest in central Finland. *Boreal Environment Research*, 13, 303-318.
- Lehikoinen, A., Kilpi, M. & Öst, M. (2006) Winter climate affects subsequent breeding success of common eiders. *Global Change Biology*, 12, 1355-1365.
- Rainio, K., Laaksonen, T., Ahola, M., Vähätalo, A.V. & Lehikoinen, E. (2006) Climatic responses in spring migration of boreal and arctic birds in relation to wintering area and taxonomy. *Journal of Avian Biology*, 37, 507-515.
- Vähätalo, A.V., Rainio, K., Lehikoinen, A. & Lehikoinen, E. (2004) Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Avian Biology*, 35, 210-216.

5.3.2 Ilmastonmuutoksen ennustettuja vaikutuksia Suomessa koskeva tutkimus

5.3.2.1 Ennustettu ilmastonmuutos ja sen vaikutus yleisiin reunaehtoihin

Luonnon yleisten reunaehtoien ennustettua muuttumista käsittelevä Suomea koskeva tutkimus on käsitellyt esimerkiksi keskimääräisiä lämpötiloja ja niiden ennustettua kohoamista kuluvan vuosisadan loppuun mennessä (Ruosteenoja ym. 2011; 2016), kasvukauden pidentymistä ja lämpösummien kohoamista (Carter 1998; Ruosteenoja ym. 2011), geomorfologian muutoksia esimerkkinä palsasoiden ennustettu sulaminen (Luoto ym. 2004; Fronzek ym. 2006; 2010; 2011), maaperän routiminen (Venäläinen ym. 2001) ja muut maaperäprosessit (Aalto ym. 2014), maaperän kosteuden ennustettuja muutoksia (le Roux ym. 2013) sekä lähteiden veden lämpötilan ennustettuja muutoksia (Jyväsjärvi ym. 2015). Kilpeläinen ym. käsittelevät tutkimuksessaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia metsäpalojen esiintymistiheyteen (2010a) ja metsien talviaikaisiin lumituhoihin (2010b).

Teeman julkaisut:

- Aalto, J., Venäläinen, A., Heikkinen, R.K. & Luoto, M. (2014) Potential for extreme loss in high-latitude Earth surface processes due to climate change. *Geophysical Research Letters*, 41, 3914-3924.
- Carter, T.R. (1998) Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland*, 7, 161-179.
- Fronzek, S., Luoto, M. & Carter, T.R. (2006) Potential effect of climate change on the distribution of palsa mires in subarctic Fennoscandia. *Climate Research*, 32, 1-12.
- Fronzek, S., Carter, T.R., Räisänen, J., Ruokolainen, L. & Luoto, M. (2010) Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for sub-arctic palsa mires in Fennoscandia. *Climatic Change*, 99, 515-534.

- Fronzek, S., Carter, T.R. & Luoto, M. (2011) Evaluating sources of uncertainty in modelling the impact of probabilistic climate change on sub-arctic palsa mires. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2981-2995.
- Jyväsjärvi, J., Marttila, H., Rossi, P.M., Ala-Aho, P., Olofsson, B., Nisell, J., Backman, B., Ilmonen, J., Virtanen, R., Paasivirta, L., Britschgi, R., Klove, B. & Muotka, T. (2015) Climate-induced warming imposes a threat to north European spring ecosystems. *Global Change Biology*, 21, 4561-4569.
- Kilpeläinen, A., Kellomäki, S., Strandman, H. & Venäläinen, A. (2010a) Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climatic Change*, 103, 383-398.
- Kilpeläinen, A., Gregow, H., Strandman, H., Kellomäki, S., Venäläinen, A. & Peltola, H. (2010b) Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland. *Climatic Change*, 99, 193-209.
- le Roux, P.C., Aalto, J. & Luoto, M. (2013) Soil moisture's underestimated role in climate change impact modelling in low-energy systems. *Global Change Biology*, 19, 2965-2975.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Carter, T.R. (2004) Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation*, 31, 30-37.
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J. & Pirinen, P. (2011) Projected changes in thermal seasons and the growing season in Finland. *International Journal of Climatology*, 31, 1473-1487.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. (2016) Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51, 17-50.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Heikinheimo, M., Kellomäki, S., Peltola, H., Strandman, H. & Väisänen, H. (2001) Impact of climate change on soil frost under snow cover in a forested landscape. *Climate Research*, 17, 63-72.

Ekosysteemien tuottavuuden ja biomassan kasvun ennustettuja muutoksia, erityisesti taloudellisesti merkittävien metsäpuiden kannalta, ovat käsitelleet tutkimuksissaan esimerkiksi Kellomäki ym. (2001; 2005; 2008) ja Bergh ym. (2003). Mazziotta ym. (2014) tutkivat ilmastonmuutoksen ja metsänhoidon yhteisvaikutuksia talousmetsissä esiintyvän kuolleen puuaineksen määriin. Virtanen ym. (1998) ja Virtanen & Neuvonen (1999a) mallinsivat ilmastonmuutoksen ennustettuja vaikutuksia tunturimittarin munien talviaikaiseen kuolleisuuteen ja totesivat, että kovien pakkasjaksojen harvinaistuminen lisää merkittävästi aiheuttamien metsätuhojen riskiä tunturikoivuvyöhykkeessä. Tuottavuuden ennustettuja muutoksia tunturialueella ovat tutkineet Virtanen ym. (2013). Turunen ym. (2009) arvioivat sitä, miten nämä muutokset vaikuttavat porojen saatavilla olevan ravinnon määrään. Erilaisten ekosysteemipalveluiden ennustettuja muutoksia Pohjois-Euroopassa ovat selvittäneet Jansson ym. (2015). Heidän tarkastelemastaan 14 ekosysteemipalvelusta kahdeksan ennustetaan lisääntyvän ja kuuden vähenevän ilmastonmuutoksen myötä.

Teeman julkaisut:

- Bergh, J., Freeman, M., Sigurdsson, B., Kellomäki, S., Laitinen, K., Niinistö, S., Peltola, H. & Linder, S. (2003) Modelling the short-term effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries. *Forest Ecology and Management*, 183, 327-340.
- Jansson, R., Nilsson, C., Keskitalo, E.C.H., Vlasova, T., Sutinen, M.L., Moen, J., Chapin, F.S., Brathen, K.A., Cabeza, M., Callaghan, T.V., van Oort, B., Dannevig, H., Bay-larsen, I.A., Ims, R.A. & Aspholm, P.E. (2015) Future changes in the supply of goods and services from natural ecosystems: prospects for the European north. *Ecology and Society*, 20, 32.
- Kellomäki, S., Rouvinen, I., Peltola, H., Strandman, H. & Steinbrecher, R. (2001) Impact of global warming on the tree species composition of boreal forests in Finland and effects on emissions of isoprenoids. *Global Change Biology*, 7, 531-544.
- Kellomäki, S., Strandman, H., Korhonen, K., Nuutinen, T. & Peltola, H. (2005) Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. FINADAPT Working Paper 4. *Finnish Environment Institute Mimeographs*, 334, 1-44.
- Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K.T. & Strandman, H. (2008) Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 2339-2349.
- Mazziotta, A., Mönkkönen, M., Strandman, H., Routa, J., Tikkanen, O.P. & Kellomäki, S. (2014) Modelling the effects of climate change and management on the dead wood dynamics in boreal forest plantations. *European Journal of Forest Research*, 133, 405-421.
- Turunen, M., Soppela, P., Kinnunen, H., Sutinen, M.L. & Martz, F. (2009) Does climate change influence the availability and quality of reindeer forage plants? *Polar Biology*, 32, 813-832.
- Virtanen, R., Grytnes, J.A., Lenoir, J., Luoto, M., Oksanen, J., Oksanen, L. & Svenning, J.C. (2013) Productivity-diversity patterns in arctic tundra vegetation. *Ecography*, 36, 331-341.
- Virtanen, T. & Neuvonen, S. (1999a) Performance of moth larvae on birch in relation to altitude, climate, host quality and parasitoids. *Oecologia*, 120, 92-101.

Virtanen, T., Neuvonen, S. & Nikula, A. (1998) Modelling topoclimatic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lep., Geometridae) with Geographical Information System: predictions in current climate and in scenarios with warmer climate. *Journal of Applied Ecology*, 35, 311-322.

5.3.2.2 Lajien levinneisyysalueiden, runsaussuhteiden ja eliöyhteisöjen rakenteen muutokset

Eliölaajien ennustettujen levinneisyys- ja runsausmuutoksia on Suomessa mallinnettu varsin intensiivisesti erilaisilla tilastollisilla menetelmillä, erityisesti bioklimaattisten mallien avulla (katso luku 4.3.), mutta myös käyttämällä yleisempää tilastollista päätelyä. Kuten ilmastonmuutoksen jo havaittuja vaikutuksia koskevissa tutkimuksissa, intensiivisin tutkimus on kohdistunut perhosiin (Virtanen ym. 1998; Virtanen & Neuvonen 1999a; 1999b; Luoto ym. 2006; Araújo & Luoto 2007; Vanhanen ym. 2007; Mitikka ym. 2008; Eskildsen ym. 2013; Nieminen 2015) ja lintuihin (Heikkinen ym. 2006a; Heikkinen ym. 2007; Virkkala ym. 2008; Virkkala ym. 2010; Virkkala ym. 2014a; 2014b). Muita eliöryhmiä, joiden levinneisyysalueiden muutoksia on ennustettu tilastollisin menetelmin, ovat vesikasvit (Alahuhta ym. 2011), sammakkoeläimet (Blank ym. 2011) ja maatalousympäristön rikkakasvit (Hyvönen ym. 2012). Wasof ym. (2015) tutkivat eristyneiden kasvipopulaatioiden asuttamia ilmastovyöhykkeitä ja totesivat niiden säilyneen samoina populaatioiden eristymisen jälkeenkin. Havainto tukee bioklimaattisen mallinnuksen menetelmällistä toimivuutta.

Teeman julkaisut:

- Alahuhta, J., Heino, J. & Luoto, M. (2011) Climate change and the future distributions of aquatic macrophytes across boreal catchments. *Journal of Biogeography*, 38, 383-393.
- Araújo, M.B. & Luoto, M. (2007) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 743-753.
- Blank, L., Luoto, M. & Merilä, J. (2013) Potential effects of climate change on the distribution of the common frog *Rana temporaria* at its northern range margin. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 59, 130-140.
- Eskildsen, A., le Roux, P.C., Heikkinen, R.K., Høye, T.T., Kissling, W.D., Pöyry, J., Wisz, M.S. & Luoto, M. (2013) Testing species distribution models across space and time: high latitude butterflies and recent warming. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 1293-1303.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M. & Virkkala, R. (2006a) Does seasonal fine-tuning of climatic variables improve the performance of bioclimatic envelope models for migratory birds? *Diversity and Distributions*, 12, 502-510.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Virkkala, R., Pearson, R.G. & Körber, J.-H. (2007) Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 754-763.
- Hyvönen, T., Luoto, M. & Uotila, P. (2012) Assessment of weed establishment risk in a changing European climate. *Agricultural and Food Science*, 21, 348-360.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K., Pöyry, J. & Saarinen, K. (2006) Determinants of the biogeographical distribution of butterflies in boreal regions. *Journal of Biogeography*, 33, 1764-1778.
- Mitikka, V., Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araújo, M.B., Saarinen, K., Pöyry, J. & Fronzek, S. (2008) Predicting range expansion of the map butterfly in Northern Europe using bioclimatic models. *Biodiversity and Conservation*, 17, 623-641.
- Nieminen, M. (2015) Distance decay is uncommon in large-scale population synchrony of common moths: does it promote vulnerability to climate change? *Insect Conservation and Diversity*, 8, 438-447.
- Vanhanen, H., Veteli, T.O., Päivinen, S., Kellomäki, S. & Niemelä, J. (2007) Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. *Silva Fennica*, 41, 621-638.
- 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., Marmion, M., Heikkinen, R.K., Thuiller, W. & Luoto, M. (2010) Predicting range shifts of northern bird species: Influence of modelling technique and topography. *Acta Oecologica*, 36, 269-281.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014a) Matching trends between recent distributional changes of northern-boreal birds and species-climate model predictions. *Biological Conservation*, 172, 124-127.
- Virkkala, R., Pöyry, J., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014b) Protected areas alleviate climate change effects on northern bird species of conservation concern. *Ecology and Evolution*, 4, 2991-3003.
- Virtanen, T. & Neuvonen, S. (1999a) Performance of moth larvae on birch in relation to altitude, climate, host quality and parasitoids. *Oecologia*, 120, 92-101.

- Virtanen, T. & Neuvonen, S. (1999b) Climate change and macrolepidopteran biodiversity in Finland. *Chemosphere: Global Change Science*, 1, 439-448.
- Virtanen, T., Neuvonen, S. & Nikula, A. (1998) Modelling topoclimatic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lep., Geometridae) with Geographical Information System: predictions in current climate and in scenarios with warmer climate. *Journal of Applied Ecology*, 35, 311-322.
- Wasof, S., Lenoir, J., Aarrestad, P.A., Alsos, I.G., Armbruster, W.S., Austrheim, G., Bakkestuen, V., Birks, H.J.B., Brathen, K.A., Broennimann, O., Brunet, J., Bruun, H.H., Dahlberg, C.J., Diekmann, M., Dullinger, S., Dynesius, M., Ejrnaes, R., Gegout, J.C., Graae, B.J., Grytnes, J.A., Guisan, A., Hylander, K., Jonsdottir, I.S., Kapfer, J., Klanderud, K., Luoto, M., Milbau, A., Moora, M., Nygaard, B., Odland, A., Pauli, H., Ravolainen, V., Reinhardt, S., Sandvik, S.M., Schei, F.H., Speed, J.D.M., Svenning, J.C., Thuiller, W., Tveraabak, L.U., Vandvik, V., Velle, L.G., Virtanen, R., Vittoz, P., Willner, W., Wohlgemuth, T., Zimmermann, N.E., Zobel, M. & Decocq, G. (2015) Disjunct populations of European vascular plant species keep the same climatic niches. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 1401-1412.

Suomalaiset tutkijat ovat myös olleet mukana kehittämässä ja soveltamassa niin sanottua **individual-based mallinnusta**, jonka etu staattiseen bioklimaattiseen mallinnukseen on tällaisten mallien kyky ottaa huomioon sopivien elinympäristöjen määrä ja tutkittavan lajin liikkumiskyky. Tällöin on mahdollista tehdä ennusteita siitä, pystyykö tutkittava laji oikeasti siirtymään lämpenevän ilmaston mukana alueelta toiselle. Näissä tutkimuksissa käytetyt esimerkit ovat koskeneet päiväperhosia (Heikkinen ym. 2014; 2015). Mallinnusten perusteella elinympäristönsä suhteen vaativan niittyperhoslajin siirtoistutusten onnistumisen todennäköisyys on alhainen Suomen nykyisissä maatalousmaisemissa. Niittyjen hoidolla voidaan kuitenkin vaikuttaa populaatioiden kasvunopeuteen ja sitä kautta lisätä onnistumisen todennäköisyyttä.

Teeman julkaisut:

- Heikkinen, R.K., Bocedi, G., Kuussaari, M., Heliölä, J., Leikola, N., Pöyry, J. & Travis, J.M.J. (2014) Impacts of land cover data selection and trait parameterisation on dynamic modelling of species' range expansion. *PLoS ONE*, 9, e108436.
- Heikkinen, R.K., Pöyry, J., Virkkala, R., Bocedi, G., Kuussaari, M., Schweiger, O., Settele, J. & Travis, J.M.J. (2015) Modelling potential success of conservation translocations of a specialist grassland butterfly. *Biological Conservation*, 192, 200-206.

Eliölajien ennustettuja lisääntymismenestyksen muutoksia ilmaston lämmetessä on myös tutkittu tilastollisen mallinnuksen perusteella. Kaikki aihepiiriin tutkimukset ovat käsitelleet lintuja (Järvinen 1994; Lindström 1996; Lehikoinen ym. 2006; Lehikoinen ym. 2013a; Pakanen ym. 2016), joista on olemassa aineistoja lisääntymismenestykseen vaikuttavista tekijöistä muita eliöryhmiä enemmän.

Teeman julkaisut:

- Järvinen, A. (1994) Global warming and egg size of birds. *Ecography*, 17, 108-110.
- Lehikoinen, A., Kilpi, M. & Öst, M. (2006) Winter climate affects subsequent breeding success of common eiders. *Global Change Biology*, 12, 1355-1365.
- Lehikoinen, A., Linden, A., Byholm, P., Ranta, E., Saurola, P., Valkama, J., Kaitala, V. & Linden, H. (2013a) Impact of climate change and prey abundance on nesting success of a top predator, the goshawk. *Oecologia*, 171, 283-293.
- Lindström, J. (1996) Weather and grouse population dynamics. *Wildlife Biology*, 2, 93-99.
- Pakanen, V.M., Orell, M., Vatka, E., Rytönen, S. & Broggi, J. (2016) Different Ultimate Factors Define Timing of Breeding in Two Related Species. *Plos One*, 11, e0162643.

Suojelalueiden ja muiden suojelupanostusten riittävyttä ja toimivuutta ilmaston muuttuessa on käsitelty toistaiseksi muutamissa tutkimuksissa (Kujala ym. 2011; Lung ym. 2014). Kujala ym. (2011) osoittivat käyttäen Suomen lintulajistoa esimerkkinä, että nykyinen suojelualueverkosto ei ota kattavasti huomioon lintujen ennustettuja kannan- ja levinneisyysalueiden muutoksia. Vastaavasti Lung ym. (2014) tarkastelivat Euroopan tasolla sitä, miten nykyinen suojelupanostus ja suojelualueverkosto vastaavat suojeltavien lintulajien tarpeisiin. Vastaavuuden todettiin olevan tällä hetkellä varsin hyvä, mutta heikko muuttuneessa ilmastossa.

Teeman julkaisut:

- Kujala, H., Araujo, M.B., Thuiller, W. & Cabeza, M. (2011) Misleading results from conventional gap analysis - Messages from the warming north. *Biological Conservation*, 144, 2450-2458.
- Lung, T., Meller, L., van Teeffelen, A.J.A., Thuiller, W. & Cabeza, M. (2014) Biodiversity Funds and Conservation Needs in the EU Under Climate Change. *Conservation Letters*, 7, 390-400.

Useimmat ilmastonmuutoksen vaikutuksia kokeellisesti selvittäneistä tutkimuksista on tehty kasveilla (Hänninen ym. 2007; Saarinen ym. 2011; Hänninen ym. 2013; Saccone & Virtanen 2016), minkä lisäksi yksi tutkimus tarkasteli maaperäeliöstöä (Haimi ym. 2005). Pääosassa tutkimuksia käytettiin suljettuja kammioita (growth chamber), joissa voidaan kontrolloida sekä hiilidioksidin pitoisuuksia että lämpötilaa. Poikkeuksena muista tutkimuksista Saccone & Virtanen (2016) seurasivat kokeellisesti siirrettyjen tunturikasviyhteisöjen kehitystä puurajan yläpuolella 23 vuoden ajan.

Teeman julkaisut:

- Haimi, J., Laamanen, J., Penttinen, R., Rätty, M., Koponen, S., Kellomäki, S. & Niemelä, P. (2005) Impacts of elevated CO₂ and temperature on the soil fauna of boreal forests. *Applied Soil Ecology*, 30, 104-112.
- Hänninen, H., Slaney, M. & Linder, S. (2007) Dormancy release of Norway spruce under climatic warming: testing ecophysiological models of bud burst with a whole-tree chamber experiment. *Tree Physiology*, 27, 291-300.
- Hänninen, H., Zhang, G., Rikala, R., Luoranen, J., Konttinen, K. & Repo, T. (2013) Frost hardening of Scots pine seedlings in relation to the climatic year-to-year variation in air temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 1-9.
- Saarinen, T., Lundell, R., Åstrom, H. & Hänninen, H. (2011) Parental overwintering history affects the responses of *Thlaspi arvense* to warming winters in the North. *Environmental and Experimental Botany*, 72, 409-414.
- Saccone, P. & Virtanen, R. (2016) Extrapolating multi-decadal plant community changes based on medium-term experiments can be risky: evidence from high-latitude tundra. *Oikos*, 125, 76-85.

5.3.2.3 Fenologiset muutokset ja niiden ekologiset seuraukset

Ennustettuja fenologisia eli luonnon tapahtumien ajoituksen muutoksia on tutkittu kasveilla (Hänninen & Tanino 2011) ja yöperhosilla (Valtonen ym. 2011; 2014; Fält-Nardmann ym. 2016). Hänninen & Tanino (2011) esittivät uuden konseptuaalisen mallin puiden vuodenkierron ekofysiologiasta. Valtonen ym. (2011; 2014) mallinsivat Suomen yöperhosten lentokauden ajoittumista ja havaitsivat, että noin kahdella kolmasosalla yöperhoslajeista ensisijaisesti lämpötila määrittää lentokauden ajoittumista. Näillä lajeilla ennustettiin kolmen asteen vuosilämpötilan nousun johtavan lentokauden aikaistumiseen noin 17 vuorokaudella Etelä-Suomessa ja noin 13 vuorokaudella Pohjois-Suomessa. Fält-Nardmann ym. (2016) vertasivat laboratoriossa kolmen metsätuhoja aiheuttavan mittarilajin (*Epirrita autumnata*, *Operophtera brumata* ja *Erannia defoliaria*) munien kuoriutumisen edellyttämää lämpösummaa, ja havaitsivat että vaadittu lämpösumma pieneni kaikilla lajeilla kohti pohjoista.

Teeman julkaisut:

- Fält-Nardmann, J., Klemola, T., Roth, M., Ruohomäki, K. & Saikkonen, K. (2016) Northern geometrid forest pests (Lepidoptera: Geometridae) hatch at lower temperatures than their southern conspecifics: Implications of climate change. *European Journal of Entomology*, 113, 337-343.
- Hänninen, H. & Tanino, K. (2011) Tree seasonality in a warming climate. *Trends in Plant Science*, 16, 412-416.
- Valtonen, A., Ayres, M.P., Roininen, H., Pöyry, J. & Leinonen, R. (2011) Environmental controls on the phenology of moths: predicting plasticity and constraint under climate change. *Oecologia*, 165, 237-248.
- Valtonen, A., Leinonen, R., Pöyry, J., Roininen, H., Tuomela, J. & Ayres, M.P. (2014) Is climate warming more consequential towards poles? The phenology of Lepidoptera in Finland. *Global Change Biology*, 20, 16-27.

5.3.2.4. Maankäytön vaihtoehdot sopeutumisessa eri skenaarioissa

Metsänhoidon käytäntöjen vaihtoehtoja muuttuvassa ilmastossa ovat tutkineet yleisellä tasolla Briceno-Elizondo ym. (2008) ja Garcia-Gonzalo ym. (2008), puulajin valintaa ovat tutkineet Torssonen ym. (2015) sekä monimuotoisuuden huomioonottamista metsänhoidossa ilmaston muuttuessa ovat tutkineet Mazziotta ym. (2015; 2016). Tunturialueilla on tutkittu porolaidunnuksen vaikutuksia tunturikasvillisuuteen, jolloin on havaittu että laidunnuksen avulla on mahdollista hidastaa tunturialueiden pensoittumista (Olofsson ym. 2009, Turunen ym. 2013). Bioenergian käyttöä ilmastomuutoksen hidastamisessa (mitigaatio) sekä bioenergian käytön monimuotoisuusvaikutuksia, esimerkkinä linnut, ovat tutkineet Meller ym. (2015a; 2015b).

Teeman julkaisut:

- Briceno-Elizondo, E., Jager, D., Lexer, M.J., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H. & Kellomäki, S. (2008) Multi-criteria evaluation of multi-purpose stand treatment programmes for Finnish boreal forests under changing climate. *Ecological Indicators*, 8, 26-45.
- Garcia-Gonzalo, J., Jager, D., Lexer, M.J., Peltola, H., Briceno-Elizondo, E. & Kellomäki, S. (2008) Does climate change affect optimal planning solutions for multi-objective forest management? *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung*, 179, 77-94.
- Mazziotta, A., Trivino, M., Tikkanen, O.P., Kouki, J., Strandman, H. & Mönkkönen, M. (2015) Applying a framework for landscape planning under climate change for the conservation of biodiversity in the Finnish boreal forest. *Global Change Biology*, 21, 637-651.
- Mazziotta, A., Trivino, M., Tikkanen, O.P., Kouki, J., Strandman, H. & Mönkkönen, M. (2016) Habitat associations drive species vulnerability to climate change in boreal forests. *Climatic Change*, 135, 585-595.
- Meller, L., van Vuuren, D.P. & Cabeza, M. (2015a) Quantifying biodiversity impacts of climate change and bioenergy: the role of integrated global scenarios. *Regional Environmental Change*, 15, 961-971.
- Meller, L., Thuiller, W., Pironon, S., Barbet-Massin, M., Hof, A. & Cabeza, M. (2015b) Balance between climate change mitigation benefits and land use impacts of bioenergy: conservation implications for European birds. *Global Change Biology Bioenergy*, 7, 741-751.
- 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, 2681-2693.
- Torssonen, P., Strandman, H., Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., Jylhä, K., Asikainen, A. & Peltola, H. (2015) Do we need to adapt the choice of main boreal tree species in forest regeneration under the projected climate change? *Forestry*, 88, 564-572.
- Turunen, M., Oksanen, P., Vuojala-Magga, T., Markkula, I., Sutinen, M.L. & Hyvönen, J. (2013) Impacts of winter feeding of reindeer on vegetation and soil in the sub-Arctic: insights from a feeding experiment. *Polar Research*, 32, 18610.

5.3.3 Paleoilmaston ja -kasvillisuuden tutkimus

Suomessa on tehty intensiivistä paleoilmaston ja -kasvillisuuden tutkimusta, erityisesti Helsingin yliopistossa. Tutkittuja aiheita ovat olleet esimerkiksi viimeisen jäätiköitymisen jälkeisen ajan eli holoseenin lämpötilojen rekonstruktio siitepölynäytteiden perusteella (Seppä & Birks 2001; Heikkilä & Seppä 2003; Ojala ym. 2008; Bjune ym. 2009; Seppä ym. 2009a; Salonen ym. 2012), esimerkkinä mantereisuuden vaihtelujen tutkimus (Giesecke ym. 2008). Metsäkasvillisuudessa tapahtuneita muutoksia ja niihin vaikuttaneita ilmastotekijöitä ovat tutkineet Miller ym. (2008) ja Kuosmanen ym. (2016), ja tarkemmin on tutkittu kuusen leviämistä Fennoskandiaan (Seppä ym. 2009b) ja pähkinäpensaaseen levinneisyyden muutoksia Pohjois-Euroopassa (Seppä ym. 2015). Kasvillisuusesimerkkien lisäksi Ukkonen ym. (2011) selvittivät mammutin levinneisyyttä Pohjois-Euroopassa viimeisen jäätiköitymisen aikana ja totesivat viimeisen jäätiköitymismaksimin olleen aiemmin tiedettyä lyhyempi. Weckström ym. (2010) mallinsivat tilastollisin menetelmin soiden syntymiseen vaikuttavia ilmastollisia tekijöitä.

Teeman julkaisut:

- Bjune, A.E., Seppä, H. & Birks, H.J.B. (2009) Quantitative summer-temperature reconstructions for the last 2000 years based on pollen-stratigraphical data from northern Fennoscandia. *Journal of Paleolimnology*, 41, 43-56.
- Giesecke, T., Bjune, A.E., Chiverrell, R.C., Seppä, H., Ojala, A.E.K. & Birks, H.J.B. (2008) Exploring Holocene continentality changes in Fennoscandia using present and past tree distributions. *Quaternary Science Reviews*, 27, 1296-1308.
- Heikkilä, M. & Seppä, H. (2003) A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. *Quaternary Science Reviews*, 22, 541-554.
- Kuosmanen, N., Seppä, H., Reitalu, T., Alenius, T., Bradshaw, R.H.W., Clear, J.L., Filimonova, L., Kuznetsov, O. & Zaretskaya, N. (2016) Long-term forest composition and its drivers in taiga forest in NW Russia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 25, 221-236.
- Miller, P.A., Giesecke, T., Hickler, T., Bradshaw, R.H.W., Smith, B., Seppä, H., Valdes, P.J. & Sykes, M.T. (2008) Exploring climatic and biotic controls on Holocene vegetation change in Fennoscandia. *Journal of Ecology*, 96, 247-259.
- Ojala, A.E.K., Alenius, T., Seppä, H. & Giesecke, T. (2008) Integrated varve and pollen-based temperature reconstruction from Finland: evidence for Holocene seasonal temperature patterns at high latitudes. *Holocene*, 18, 529-538.
- Salonen, J.S., Seppä, H., Luoto, M., Bjune, A.E. & Birks, H.J.B. (2012) A North European pollen-climate calibration set: analysing the climatic responses of a biological proxy using novel regression tree methods. *Quaternary Science Reviews*, 45, 95-110.
- Seppä, H. & Birks, H.J.B. (2001) July mean temperature and annual precipitation trends during the Holocene in the Fennoscandian tree-line area: pollen-based climate reconstructions. *Holocene*, 11, 527-539.
- Seppä, H., Bjune, A.E., Telford, R.J., Birks, H.J.B. & Veski, S. (2009a) Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe. *Climate of the Past*, 5, 523-535.
- Seppä, H., Alenius, T., Bradshaw, R.H.W., Giesecke, T., Heikkilä, M. & Muukkonen, P. (2009b) Invasion of Norway spruce (*Picea abies*) and the rise of the boreal ecosystem in Fennoscandia. *Journal of Ecology*, 97, 629-640.
- Seppä, H., Schurgers, G., Miller, P.A., Bjune, A.E., Giesecke, T., Kuhl, N., Renssen, H. & Salonen, J.S. (2015) Trees tracking a warmer climate: The Holocene range shift of hazel (*Corylus avellana*) in northern Europe. *Holocene*, 25, 53-63.
- Ukkonen, P., Aaris-Sorensen, K., Arppe, L., Clark, P.U., Daugnora, L., Lister, A.M., Lougas, L., Seppä, H., Sommer, R.S., Stuart, A.J., Wojtal, P. & Zupins, I. (2011) Woolly mammoth (*Mammuthus primigenius* Blum.) and its environment in northern Europe during the last glaciation. *Quaternary Science Reviews*, 30, 693-712.
- Weckström, J., Seppä, H. & Korhola, A. (2010) Climatic influence on peatland formation and lateral expansion in sub-arctic Fennoscandia. *Boreas*, 39, 761-769.



Kuva: Kimmo Syrjänen

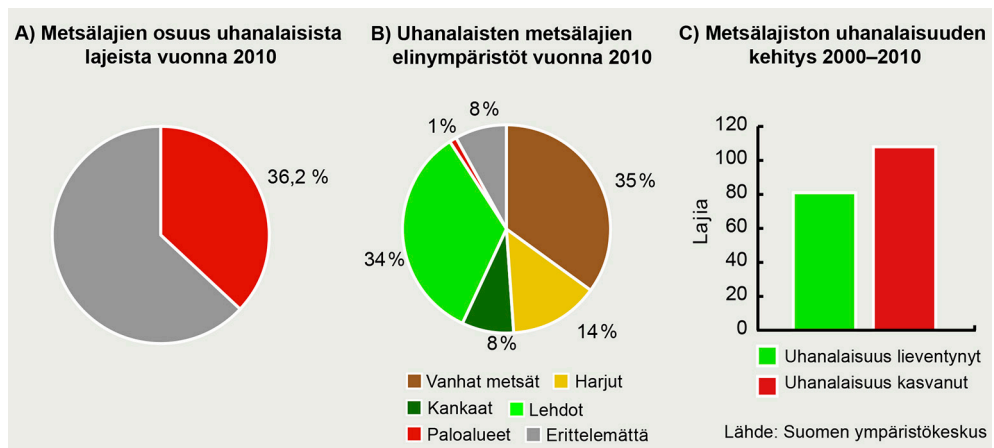
6 Suojelualueiden ulkopuolisten metsäympäristöjen monimuotoisuuden suojeleminen ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Suojelualueiden ulkopuolella tehtävillä monimuotoisuutta turvaavilla toimilla voidaan edistää suojelualueverkoston sopeutumista ilmastonmuutokseen. Jo nykyisillä toimilla, kuten arvokaiden elinympäristöjen säilyttämisellä talousmetsissä ja elinympäristöjen luonnonhoidolla voidaan parhaimmillaan edistää suojelualueiden kytkeytyvyyttä ja lajiston säilymistä. Edellytyksenä on toimenpiteiden riittävä laajuus ja huolellinen kohdentaminen. Ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyvät toimet talousmetsissä voivat toisaalta aiheuttaa myös uusia riskejä suojelualueverkoston sisällä ja monimuotoisuudelle laajemminkin. Esimerkiksi metsähygienian korostuminen lisääntyvien metsätuhojen myötä voi heikentää lahoppulajiston elinmahdollisuuksia talousmetsissä ja niiden metsälakikohteissa. Se, miten hyvin suojelualueverkosto sopeutuu muuttuvaan ilmastoon, liittyy läheisesti muun maankäytön yhteydessä tapahtuvaan suunnitteluun ja ohjeistukseen. Metsäympäristöissä tehtävät toimet vaikuttavat laajalti myös soilla ja vesistöissä. Suojelualueverkoston sisä- ja ulkopuolella toteutettava monimuotoisuuden turvaaminen kannattaa liittää ilmastonmuutokseen sopeutumiseen, koska näin voidaan saada aikaan hallinnon sektorirajat ylittäviä synergiahyötyjä. Poliittikkakeinoja kehittämällä suojelualueverkostoa ja sen ulkopuolisia monimuotoisuustoimia voidaan hyödyntää myös ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, mikä kaipaa lisätutkimusta ja selvityksiä.

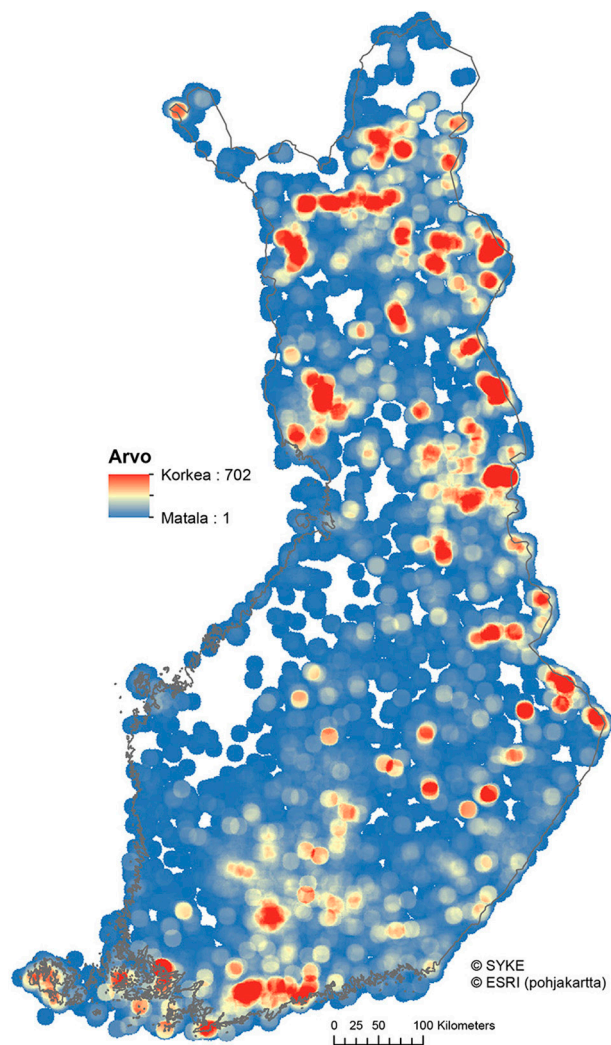
6.1 Taustaa

Huomattava osa Suomen eliölajeista on suoraan tai välillisesti riippuvaisia metsistä. Suomessa tunnetusta noin 45 000 eliölajista liki puolet elää metsissä. Metsät ovat ensisijainen elinympäristö yhteensä 814 uhanalaiselle lajille ja 36,2 % kaikista uhanalaisista lajeista elää metsissä (Rassi ym. 2010) (kuvat 16 ja 17). Ensisijaisesti metsissä elävistä 555 uhanalaisesta lajista, joilla yhtenä uhanalaisuuden syynä tai uhkatekijänä on lahoppuun vähäisyys, 307 lajin ensisijainen metsäelinympäristötyyppi on kangasmetsät ja 187 lajin lehtometsät. Suurin osa uhanalaisista lahoppulajeista elää Oulujoen eteläpuolisella alueella (Päivinen ym. 2011).

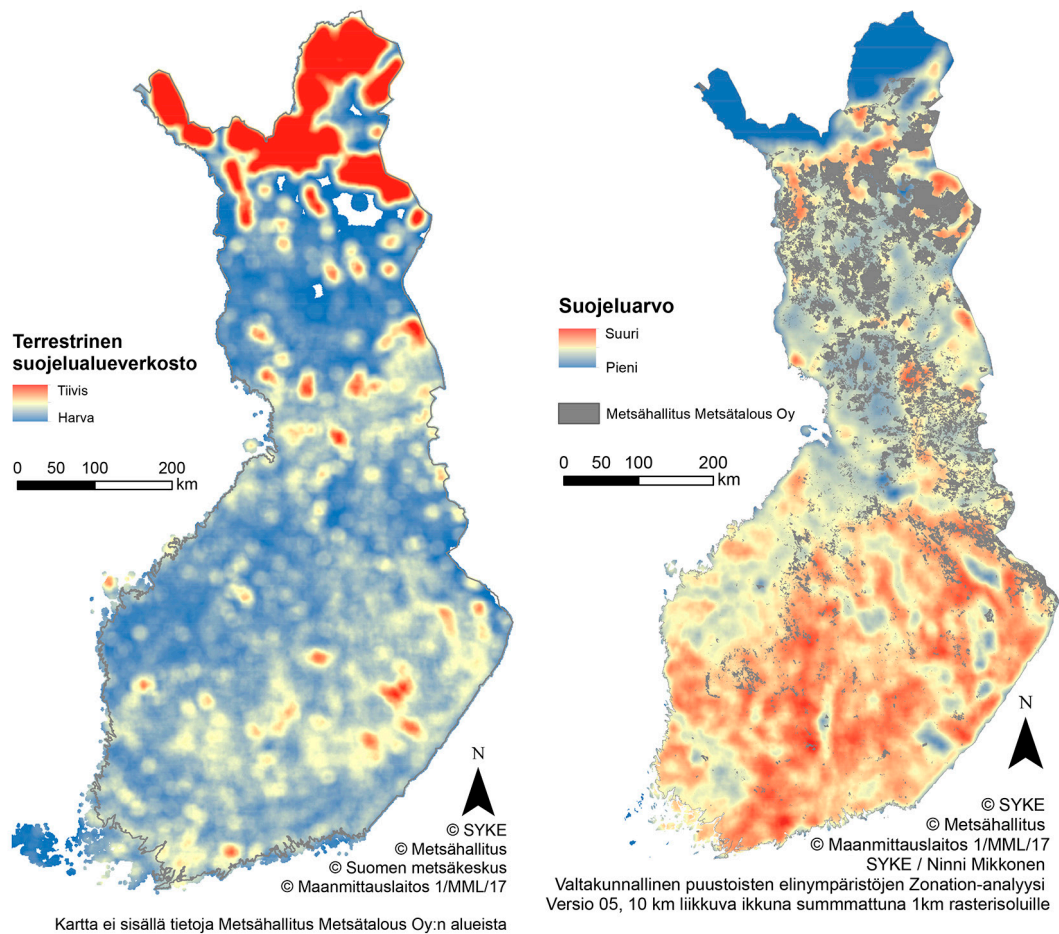
Suomen maa-alasta kolme neljäsosaa eli 22,8 miljoonaa hehtaaria on metsää (metsä- ja kitumaan ala yhteensä), josta metsämaata on noin 20,3 miljoonaa hehtaaria (lisäkasvu yli 1 m³/ha vuodessa). Maa-alasta on soita 9,1 miljoonaa hehtaaria (34 %), joista on ojitettu 4,9 miljoonaa hehtaaria. Metsämaasta 7,7 % on joko suojeltu tai rajoitetun metsätalouksen piirissä. Tähän luonnon monimuotoisuuden suojelemaan verkostoon kuuluvat erilaiset lakisäätöiset suojelualueet, talousmetsien monimuotoisuuden suojeleminen ja luontoarvojen suojeleminen erityisalueet (METI 2015) (kuva 18). Muista kuin luonnonsuojelulla suojelemissa alueista etenkin erämaa-alueet (14 903 km²) ovat erittäin merkittäviä ilmastonmuutokseen varautumisessa Pohjois-Suomeen keskittävän sijaintinsa ja laajan pinta-alansa vuoksi. Suojelualueen kyky sopeutua ilmastonmuutokseen vaihtelee eri metsäkasvillisuusvyöhykkeissä jo nykyisen verkoston rakenteen vuoksi (kuva 19a). Myös potentiaalisesti suojelemissa arvokkaiden metsien sijainnissa on alueellista vaihtelua (kuva 19b). Nämä alueelliset erot tulisi ottaa huomioon verkoston sopeutumista ja kehittämistä arvioitaessa. Etelä-Suomessa kaikki monimuotoisuutta turvaava toiminta edistää todennäköisesti myös suojelualueiden toimivuutta muuttuvassa ilmastossa ainakin joidenkin lajiryhmien ja yksittäisten lajien osalta.



Kuva 16. Metsälajit uhanalaisuuden arvioinnissa (Lähde: www.luonnontila.fi)



Kuva 17. Metsäisten elinympäristöjen punaisen listan lajien määrä (määrät 1 km ruuduissa, summattu 10 km säteellä). Lajiesiintymät 1990-luvulla tai sen jälkeen. Lajeilla jokin metsäisistä elinympäristöistä ensisijaisena elinympäristönä. Liito-orava ei ole mukana. Aineistolähde: Hertan eliölajit-tietojärjestelmä. Niko Leikola / SYKE, LK.



Kuva 19a. Nykyinen terrestristen elinympäristöjen suojelualueverkosto. Verkostoon on otettu mukaan pysyvät suojelualueet (valtion ja yksityiset) sekä metsätalousalueiden arvokkaat metsälätkikohteet ja ympäristötukialueet niiltä osin kuin ne olivat tiedossa. Metsähallitus Metsätalous Oy:n kohteet eivät ole mukana tarkastelussa. Jokaiselle 1 km rasteriruudulle on laskettu arvo seuraavasti: suojelualueet = 10, metsälain 10§ kohteet = 5 ja ympäristötukialueet (metsälätkikohteita lukuun ottamatta) = 1. Jokaiselle rasteriruudulle on laskettu sitä ympäröivien rasterisolujen arvojen summa 10 km säteellä (vaihteluväli 0-3170): valkoinen = ei suojelualueita 10 km säteellä, sininen = vähän suojelualueita, punainen = paljon suojelualueita (maksimisumma 3170). Kartta ei ota kantaa alueiden laatuun tai niiden kytkeytyvyyteen lajiston näkökulmasta. Aineistolähteet: Metsähallitus luontopalvelut ja Suomen metsäkeskus metsävaratieto. Ninni Mikkonen SYKE/LK.

Kuva 19b. Zonation-priorisointiin perustuva kartta Suomen puustoisten elinympäristöjen suojeluarvoista. Metsähallitus Metsätalous Oy:n alueita koskevat tulokset on peitetty. Alkuperäistä karttaa hyödynnetään esimerkiksi ELY-keskuksissa ja Suomen metsäkeskuksessa monimuotoisuudelle arvokkaiden metsien tunnistamiseen. Analyysi toteutettiin 96 metrin resoluutiolla. Alkuperäinen tuloskartta (resoluutio 96 metriä) yleistettiin 960 metrin tarkkuudelle laskemalla 10 x 10 rasterisolun summa. Tämän jälkeen jokaiselle 960 metrin rasterisolulle laskettiin kuvassa näkyvä suojeluarvo summaamalla sitä 10 km säteellä ympäröivien solujen arvot yhteen. Mitä korkeampi suojeluarvo, sitä arvokkaampi kohde on luonnon monimuotoisuuden säilymisen näkökulmasta. Reunavaikutuksen vuoksi alueilla, jotka sijaitsevat puuttomien alueiden kuten suurten vesialueiden läheisyydessä on pienempi arvo. Analyysi perustuu puusto- ja kasvupaikkatietoihin (kasvupaikkaluokka, keskiläpimitta, tilavuus, puulaji pois lukien mm. tunturikoivu), joiden avulla laskettiin lahoppupotentiaali. Lisäksi otettiin huomioon luonnon monimuotoisuutta heikentävät metsänkäsitelytoimenpiteet vuosilta 2005 - 2015, ojitustilanne, punaisen listan metsälajihavainnot ja kytkeytyvyys metsikkötasolla (400 m). Aineistolähteet: Metsähallitus luontopalvelut ja Metsätalous Oy, yksityisten suojelualueiden aineisto, Suomen metsäkeskus metsävaratieto, Luke monilähteinen valtakunnan metsien inventointi, SYKE turvemaan ojitustilanne, Punaisen listan lajit, SYKE, Global Forest Ghanje. Ninni Mikkonen / SYKE, LK

6.2 Monimuotoisuuden turvaamisen ja ilmastomuutokseen varautumisen ohjauskeinot

Monimuotoisuuden turvaamisen ja ilmastomuutokseen varautumisen ohjauskeinot on käytössä sekä valtion viranomaisten että metsäsektorin toiminnan ohjaamiseksi. Ilmastomuutokseen varautumisen tärkein ohjauskeino on ilmastolaki, jonka tavoitteena on tehostaa ja sovittaa yhteen valtion viranomaisten toimintaa ilmastomuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen tähtäävien toimenpiteiden suunnittelussa ja täytäntöönpanon seurannassa. Ilmastolain alaisesta kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisestä, ilmastomuutoksen hillitsemisestä ja ilmastomuutokseen sopeutumista koskevista toimita ei ole toistaiseksi annettu erikseen säädöksiä metsälaissa eikä luonnonsuojelulaissa. Sopeutuminen ilmastomuutokseen niin suojelualueilla kuin niiden välialueilla liittyy pitkälti erilaisten strategioiden ja vapaaehtoisten ohjeiden noudattamiseen. Valtioneuvosto on asettanut ilmastolain perusteella tieteellisen asiantuntijaelimen Suomen ilmastopaneelin, jonka tehtävänä on koostaa ja eritellä ilmastopolitiikan suunnittelua ja seuranta varten tieteellistä tietoa ilmastomuutoksen hillitsemisestä ja siihen sopeutumisesta. Metsätalouden ilmastovaikutuksista ja metsätalouden sopeutumisesta ilmastomuutokseen on koottu runsaasti tietoa ilmastopaneelissa (mm. Pingoud ym. 2013; Seppälä ym. 2015a; Seppälä ym. 2015b). Ilmastopaneeli tarkastelee muutoksia etenkin yhteiskunnallisesta ja taloudellisesta näkökulmasta, vaikka monet tarkasteluteemat liittyvät myös monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin (Juhola ym. 2016). Ilmastopaneelin tuottama tieto päätyy viiveellä erilaisten maankäyttöä ohjaavien politiikkakeinojen tueksi. Toisaalta tutkimustieto ilmastomuutoksen vaikutuksesta metsätalouteen ja ymmärrys ilmastomuutokseen varautumisesta on lisääntynyt monipuolisesti jo yli parin vuosikymmenen ajan (mm. Kellomäki & Väisänen 1997; Kellomäki ym. 2005; Peltola ym. 2012; Müller ym. 2012; Ojanen 2014; Seppälä ym. 2015b). Tietyiltä osin edellytykset sopeutua ilmastomuutokseen ovat metsäsektorin puuntuotannon kannalta varsin hyvät. Toisaalta laaja tutkimuksellinen pohja metsien käsittelyn ja eri ilmastotekijöiden kokonaisvaikutuksista puuttuu edelleen (Seppälä ym. 2015a).

Metsäsektorin strategiat ja suositukset ovat merkittävimpiä ohjauskeinoja monimuotoisuuden turvaamiselle ja ilmastomuutokseen varautumiselle suojelualueiden ulkopuolella. Luonnon kannalta keskeinen kysymys on, onko monimuotoisuus ja sitä turvaava verkosto otettu riittävässä määrin huomioon näissä maankäyttöä ja luonnonvarojen hyödyntämistä tukevilla strategioissa ja ohjeistuksissa, joilla pyritään varautumaan muuttuvaan ilmastoon. Kansallisen biodiversiteettistrategian ohella monimuotoisuudelle merkittäviä strategioita ja ohjelmia ovat mm. ilmastostrategia ja biotalousstrategia. Erilaisia poliittisia strategioita ja toimintaohjelmia on tarkasteltu luvussa 3. Biodiversiteettistrategian ja toimintaohjelman lisäksi monimuotoisuutta ja ilmastomuutosta on tarkasteltu samanaikaisesti monipuolisimmin Suomen metsästrategia 2025:ssä (Valtioneuvosto 2015) ja Valtioneuvoston metsäpoliittinen selonteko 2050:ssä (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Yleisesti Suomi nähdään näissä strategioissa nettohyötyjänä ilmastomuutoksen vaikutuksesta lisääntyvän puuston kasvun vuoksi ja haittojen otaksutaan olevan hallittavissa metsänhoitotoimia kehittämällä. Myös suojelualueverkostoa ja maaperän hiilivarastoa on tarkasteltu yhdessä jo strategiatasolla (Maa- ja metsätalousministeriö 2014): ”Metsien kyky toimia hiilinieluna varmistetaan pitkäjänteisesti niiden hyvällä ja oikea-aikaisella hoidolla ja metsien uudistamisella, metsittämällä ennestään puuttomia alueita sekä hillitsemällä metsien ja metsämaan hiilivarastojen häviämistä maankäytön muutosten seurauksena. Lisäksi vanhat metsät ja maaperä toimivat merkittävänä hiilen varastona.”

Ilmastomuutokseen varautuminen on tullut vasta vähitellen osaksi metsänhoidon käytännön ohjeistusta. Erilaiset metsien käyttöä koskevat ohjeistukset ja suositukset ovat tärkeitä ilmastomuutokseen varautumisen kannalta käytännön metsänhoidos-

sa. Näitä ovat esimerkiksi metsänhoidon suositukset (Äijälä ym. 2014), metsäsertifiointit (PEFC Suomi 2014; FSC 2011) ja Metsähallituksen Metsätalouden ympäristöopas (Päivinen ym. 2011).

Valmiudet varautua ilmastonmuutoksen voivat vaihdella eri metsänomistajaryhmissä. Yksityinen sektori omistaa Suomen metsien pinta-alasta 52 %, valtio 35 % ja metsäteollisuus 8 %. Loput viisi prosenttia jakautuu kuntien, seurakuntien, yhteismetsien ja muiden yhteisöjen kesken. Yksityismetsänomistajilla on hallussaan 70 prosenttia puuntuotannon maan puustosta ja metsälöiden keskikoko on 30 hehtaaria, mediaani huomattavasti pienempi. Yksityisomistuksen merkitys korostuu eteläisessä Suomessa, jossa myös havumetsiin kohdistuvat muutospaineet ovat suurimmat. Varautuminen ilmastonmuutokseen yksityismetsissä perustuu tällä hetkellä pitkälti metsänhoidon suosituksiin. Monimuotoisuuden turvaamista edistävät toimet ovat usein myös ilmastonmuutokseen varautumisen kannalta tärkeitä.

6.3 Metsähallituksen Metsätalouden ympäristöopas

Metsähallituksen talousmetsissä metsänhoidon toteutus on perustunut metsätalouden ympäristöoppaaseen jo vuodesta 1993. Metsähallituksen metsätalouden ympäristöoppaan pääteemoina ovat metsien monimuotoisuuden ja talousmetsien ekosysteemipalvelujen turvaaminen sekä metsätalouden vesistövaikutusten hallinta (Päivinen ym. 2011). Oppaan tavoitteiden toteutumista seurataan vuosittain ja tuorein laajempi yhteenveto on vuodelta 2013 (Hallman ym. 2013). Monimuotoisuuden turvaamisessa otetaan huomioon erilaisia tarkastelumittakaavoja alue-ekologisessa ja luonnonvarasuunnitelmissa. Ekologinen verkosto jaetaan suojeltaviin ytimiin, niiden välisiin yhteyksiin sekä tukialueisiin ja säästökohteisiin. Tärkeässä roolissa monimuotoisuuden turvaamisessa ovat myös kasvatusmetsien säästöpuut ja elinympäristöjen aktiivinen hoito. Ympäristöoppaassa on lisäksi määritetty kuolleen puun määrälle pitkän aikavälin tavoitteet. Ekologisen verkoston ytimissä tavoite on 30 m³/ha, yhteyksissä ja tukialueilla 20 m³/ha ja metsätalouden peruskäytössä olevissa monikäyttömetsissä 10 m³/ha. Metsätalouden metsien luontokohteiden kytkeytyvyyttä suojelualueisiin analysoitiin Metsähallituksen metsätalouden Kainuun ja Länsi-Suomen alueilla. Kytkeytyvyyden arvioidaan olevan tällä alueella hyvällä tasolla, mikä tukee ekologisen verkoston toimivuutta ja lajien leviämistä. Metsämaan laikkujen osalta jo 500 metrin etäisyys kytkee lähes 70 prosenttia laikuista suojelualueisiin (Hallman ym. 2013, Kaukonen 2015).

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta monimuotoisuuteen todetaan seuraavasti: ”Suomalainen metsäluonto on sopeutunut hyvin sääolosuhteiden vaihteluun, eikä ennustetuilla muutoksilla uskota olevan merkittäviä vaikutuksia metsäekosysteemeihin” (Päivinen ym. 2011). Ilmaston muutoksen mahdollisia vaikutuksia metsätalouteen ja vesistöihin tarkastellaan yleisellä tasolla. Ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia metsätaloudelle arvioidaan oppaassa aiheutuvan etenkin metsätuhojen runsastumisen osalta. Niiden otaksutaan lisääntyvän kuivuusjaksojen, sekä toisaalta kasvavan kosteuden ja lämmön vuoksi. Yleisesti kuitenkin tuottavuuden kasvun arvellaan kompensoivan mahdolliset metsätaloudelliset haitat, varsinkin kun suurin osa valtion metsäomistuksesta keskittyy Itä- ja Pohjois-Suomeen.

Monet oppaassa mainitut monimuotoisuutta edistävät toimet ovat sellaisia, että ne edistävät monimuotoisuutta myös muuttuvassa ilmastossa. Ympäristöoppaassa todetaan myös, että tutkimustietoa ilmastonmuutoksen todennetusta vaikutuksesta metsien hoitoon on toistaiseksi vain vähän saatavilla. Metsätalouden toimintaympäristö ja suunnittelujärjestelmät mahdollistavat tarvittaessa nopean varautumisen ilmastonmuutoksen todennettuihin vaikutuksiin. Suojelualueiden kytkeytyvyyden osalta Metsähallituksen ekologista verkostoa voidaan kehittää myös ilmastonmuutokseen sopeuduttaessa.

6.4 Metsäsertifiointit PEFC ja FSC

PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes, aiemmin Pan European Forest Certification Scheme) on kansainvälinen metsien käytön sertifiointijärjestelmä, jolla osoitetaan, että tuotteisiin on käytetty kestävästi hoidetuista metsistä peräisin olevaa puuraaka-ainetta. Suurin osa Suomen metsistä (noin 95 %) on sertifioitu kansainvälisen PEFC-järjestelmän mukaan. Esimerkiksi kaikki Metsähallituksen talousmetsät kuuluvat PEFC-sertifioinnin piiriin. Ilmastonmuutos on huomioitu etenkin PEFC-sertifioinnin kriteerissä 2, jonka mukaan metsien puusto säilytetään hiilinieluna (PEFC Suomi 2014). Määritelmän mukaisesti metsien puusto säilyy hiilinieluna tietyinä ajanjaksona silloin kun puuston kasvu on suurempi kuin poistuma. Kriteerin mukaan hakkuissa ei saa ylittää suurinta kestävää hakkuumäärää sertifiointin viisivuotiskaudella. Vain luonnontuhojen vuoksi hakkuumäärä voi olla suurinta kestävää hakkuumäärää suurempi. Kriteeriä sovelletaan, kun sertifioitu pinta-ala on vähintään 700 000 ha. PEFC-sertifioinnissa voidaan ottaa huomioon luonnonsuojelu- ja metsälakia laajemmin seuraavat luontotyytit: supat ja luontaisesti puuttomat tai vähäpuustoiset paahderinteet, ojittamattomat korvet, ojittamattomat lettorämeet, lehtipuuvaltaiset lehdot, puustoltaan vanhat metsät sekä luonnontilaiset tulvametsät ja metsäluhdat. Hakkuissa pysyvästi jätettyjen säästö- ja lahopuiden lukumäärä on yhteensä keskimäärin vähintään 10 kappaletta hehtaarilla leimikkotasolla. Säästöpuiksi PEFC laskee elävät puut, joiden läpimitta rinnankorkeudella on vähintään 10 cm, sekä kuolleet puut, joiden läpimitta on vähintään 20 cm.

Forest Stewardship Council (FSC) on kansainvälinen järjestö, jonka päämäärä on edistää kestävää kehitystä maailman metsävarojen käytössä. Se myöntää tuotteille ja palveluille FSC-sertifikaatteja. FSC-järjestelmän perusteella sertifioitua pinta-alaa on Suomessa (vuonna 2016) noin 1,5 miljoona hehtaaria (noin 8 % Suomen metsämaasta). Sertifioinnin esittelyssä mainitaan yleisesti, että metsät auttavat hillitsemään maapallon lämpenemistä. Vaikka nykyinen FSC-sertifiointijärjestelmä ei ota suoraan huomioon ilmastonmuutokseen varautumista, useimmat monimuotoisuuden turvaamiseen liittyvät kansalliset FSC-standardin kriteerit edistävät selkeästi myös ilmastonmuutokseen sopeutumista ja sen hillintää. Sertifiointikriteerien mukaan metsänomistajan tulee turvata lakitasoa huomattavasti laajempi joukko elinympäristöjä, ja mukana voi olla myös ennallistettavia soita. FSC:n perusteella suojellaan pysyvästi 5 % sertifiointissa mukana olevasta metsäpinta-alasta. Yhteensä suojelun alueiden kanssa erilaisten monimuotoisuutta edistävien metsänkäsittelykohteiden tulee kattaa vähintään 10 %:n osuus sertifioidusta pinta-alasta. Myös osa muista kriteereistä edistää varautumista ilmastonmuutokseen. Näihin kuuluvat ainakin riittävän lehtipuuosuuden varmistaminen havupuuvaltaisissa metsissä sekä metsänhoidossa huomioitavat riistanhoidon näkökohdat: riistalle tärkeiden kosteikkojen ja soistuneiden painanteiden säästäminen suojapuineen, riistalle tärkeiden puulajien (kataja, haapa, lepät, pihlaja ja raita) säästäminen havupuuvaltaisissa metsissä sekä kunnostusojitukseen soveltumattomien soiden säilyttäminen soisina riistan elinympäristöinä. FSC-metsäsertifiointijärjestelmässä säästöpuuta tulee jättää aina vähintään 10 kappaletta hehtaarille, mutta puiden tulee pääsääntöisesti olla suurempia kuin PEFC-järjestelmässä. Tämän lisäksi kuolleita puita (rinnankorkeusläpimitta yli 10 cm) säästetään metsätaloustoimenpiteissä aina vähintään 20 kpl/ha, kun niitä löytyy alueelta. Lehtilahopuu säästetään aina. Lahopuun säästämisessä otetaan huomioon hyönteistuholain vaatimukset.

Sekä PEFC- että FSC-metsäsertifiointien monimuotoisuustavoitteilla voidaan osaltaan edistää mm. maaperän ja puuston hiilivarastojen muodostumista ja säilymistä.

6.5 Metsänhoidon suositukset

Tapio Oy kokoaa ja päivittää metsänhoidon suosituksia metsä- ja ympäristöasiantuntijoista koostuvan laajapohjaisen sidosryhmän avulla. Suosituksia käytetään etenkin yksityismetsien hoidossa, ja ne luovat hyvän taustan eri metsäorganisaatioiden ja toimijoiden omille suosituksille. Suosituksia hyödyntävät sekä yksityiset metsänomistajat että metsäpalveluyrittäjät ja muut metsänhoidon ammattilaiset. Suositukset auttavat metsänomistajia tekemään päätöksiä erilaisista metsänkäsittelyn menetelmistä. Varsinaisten pääsuositusten (Äijälä ym. 2014) ohella Tapio Oy on tuottanut ison joukon metsänhoidon työoppaita mm. vesiensuojeluun (Joensuu ym. 2012), suometsien hoitoon (Vanhatalo ym. 2015), kannattavaan metsätalouteen (Sved & Koistinen 2015), energiapuun korjuuseen (Koistinen ym. 2016), metsäteiden kunnossapitoon (Greis ym. 2015), riistametsänhoitoon (Lindén ym. 2014) ja talousmetsien luonnonhoitoon (Saaristo & Vanhatalo 2015). Näistä etenkin kahden jälkimmäisen oppaan luonnonhoitoa edistävät suositukset edistävät myös ilmastonmuutokseen sopeutumista. Työoppaissa sopeutuminen ilmastonmuutokseen on hyvin vähän tai ei lainkaan esillä. Kannattavan metsätalouden työoppaassa todetaan ilmaston lämpenemisen edistävän taudin- ja tuhonaiheuttajien leviämistä mm. pitkäaikaisten kuivuusjaksojen seurannaistuhoina. Suometsien osalta todetaan ilmastonmuutoksen aiheuttama kasvun lisääntyminen ja toisaalta lisääntyvän roudattomuuden aikaansaamat puunkorjuun ongelmat. Riistan osalta metsäjäniksen arvioidaan kärsivän ilmaston lämpenemisestä. Ilmastonmuutoksen hiili- ja vesistövaikutuksiin ei ehkä vielä osata kiinnittää riittävästi huomiota käytännön ohjeistuksessa. Työopas ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja sen hillinnästä puuttuu joukosta toistaiseksi.

Metsätalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin ovat keskeisesti esillä varsinaisissa suosituksissa, joissa korostetaan metsänhoidon kestävyyttä eri näkökulmista (ekologinen, taloudellinen, sosiaalinen) (Äijälä ym. 2014). Suosituksissa todetaan monimuotoisen metsäluonnon sopeutuvan parhaiten ilmastonmuutokseen. Yhtenä teemana suositusten laadinnassa on ollut ilmastonmuutokseen sopeutuminen. Se näkyy käytännöllisinä neuvoina niin riskienhallintaan kuin metsänuudistamiseen ja puunkorjuun toteutukseenkin. Suosituksissa todetaan kasvukauden pitenevän ja lämpösumman kasvavan ilmaston lämmitessä, minkä ansiosta Suomen metsien kokonaiskasvun ja puuvarannon sekä metsään sitoutuneen hiilen määrän arvioidaan lisääntyvän. Hyödyistä ajanjaksolla 2010–2070 todetaan: puuston kasvu lisääntyy, hakkuumahdollisuudet lisääntyvät, metsien hiilensidonta lisääntyy. Haittoja ovat: kuusen kasvun hidastuminen (Etelä-Suomi, hyvin vettä läpäisevät kasvupaikat), erilaiset tuhoriskit kasvavat, maan routajakso lyhenee ja vastaavasti puunkorjuun olosuhteet vaikeutuvat.

Suosituksien mukaan ennustettu ilmastonmuutos edellyttää metsien hoidon sopeuttamista, jolla voidaan vähentää ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ja samalla sopeutua ilmastonmuutokseen. Metsien hoitoa tehostamalla voidaan myös lisätä edelleen metsien kasvua ja hiilensidontakykyä. Metsät ovat sitä suurempia hiilivaroja, mitä runsaammin niissä on puustoa. Metsänhoidon suosituksissa seuraavat ilmastonmuutokseen sopeutumista edistävät toimet nähdään merkittävänä jo nykyisessä metsänhoidossa ja niiden merkitys kasvaa vuosisadan loppua kohti (Äijälä ym. 2014): huolellinen puulaji- ja alkuperävalinta (kasvupaikkatyyppi, maalaji), metsänhoidon mukauttaminen, tuhoriskien huomioon ottaminen metsänhoidossa, metsähygieniasta huolehtiminen, metsien monimuotoisuuden turvaaminen, puunkorjuun kehittäminen, metsien hiilensidontan (kasvun) lisääminen ja metsäbiomassan hyödyntäminen energiatuotannossa ja puutuotteissa (ilmastonmuutoksen hillintätoimet). Ilmaston lämmitessä routajaksot lyhentyvät, minkä vuoksi puuta korjataan jatkossa aiempaa yleisemmin huonosti kantavilla mailla ja sulan maan aikaan.

Suosittelujen mukaan ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät tuhoriskit tulisi ottaa huomioon metsänhoidossa ja puunkorjuussa. Ilmaston lämpeneminen lisää sellaisia taudin- ja tuhonaiheuttajia, joiden leviämistä aiemmin on ehkäissyt Suomen kylmä ilmasto. Ilmastonmuutos voi lisätä kuivuuden sekä tuulituhojen riskiä sekä näistä aiheutuvia seurannaistuhonaa. Juurikäävän torjumiseksi on syytä välttää maasto- ja puustovaurioita. Lisäksi kantokäsittelyä on syytä tehdä aiempaa aktiivisemmin myös taudin esiintymisen reuna-alueilla. Käytännön sopeutumistoimenpiteinä suosituksissa esitetään kuusen juurikäävää torjuttavaksi koko kuusen levinneisyysalueella. Kirjanpainaaja hyötyy kuumista ja kuivista kesistä, ja sen kanta voi jopa kymmenkertaistua yhden tällaisen kesän aikana. Lämpimien keväiden myötä hyönteisten parveilun ajankohta on aikaistunut. Lajille suotuisana, erityisen lämpimänä kesänä kirjanpainaaja voi ehtiä tuottaa kaksi sukupolvea. Ilmaston lämmetessä kahden sukupolven esiintymisen todennäköisyys kasvaa, mikä lisää tuhoriskiä.

6.6 WWF:n metsänhoitosuosittelut

WWF ja Tapio Oy ovat koonneet yhdessä Tampereen ammattikorkeakoulun kanssa äskettäin lyhyet ja käytännönläheiset suosittelut sille, miten metsänomistaja voi edistää monimuotoisuutta talousmetsien luonnonhoidossa (Keto-Tokoi ym. 2016). Niissä keskitytään ohjeistamaan tiettyjen monimuotoisuudelle merkittävien puuston rakennepiirteiden ja elinympäristöjen säilyttämistä. Ilmastonmuutos on otettu lyhyesti huomioon, lähinnä sekametsien kasvatuksen osalta. Oppaassa todetaan: "Ilmaston lämmetessä ja olosuhteiden muuttuessa sekametsien kasvatuksesta tulee yhä tärkeämpi keino metsätalouden riskien hallintaan, koska tulevaisuuden kasvuolosuhteisiin liittyy suurta epävarmuutta. Metsätaloudessa suosimamme kuusi on altis lisääntyvälle kuivuudelle, tuulisuudelle ja hyönteistuhonalle. Lehtipuut ovat parempi valinta sekä ilmastonmuutoksen torjunnan että siihen sopeutumisen kannalta. Kasvata monipuolisesti kotimaisia puulajeja ja tavoittele vähintään kolmen puulajin metsiä. Tämä on järkevää ja suositeltavaa luonnon monimuotoisuuden turvaamisen ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta."

6.7 METSO-ohjelma

Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelma METSO (2008–2025) on merkittävin käynnissä oleva valtion rahoittama toimenpide, jolla edistetään monimuotoisuutta parantamalla suojelualueverkostoa ja turvaamalla talousmetsissä monimuotoisuudelle arvokkaita elinympäristöjä ympäristötuen ja luonnonhoidon keinoin (Valtioneuvosto 2014). METSO-ohjelman toteuttaminen on keskeinen monimuotoisuustavoitteiden mittari myös Kansallinen metsästrategia 2025:ssä (Valtioneuvosto 2015). METSO-ohjelman tavoitteena on pysäyttää metsäisten luontotyyppien ja metsälajien taantuminen ja vakiinnuttaa luonnon monimuotoisuuden suotuisa kehitys vuoteen 2025 mennessä.

Alueelliset elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY-keskukset) toteuttavat METSO-ohjelmaa tekemällä maanomistajien kanssa sopimuksia yksityisistä luonnon-suojelualueista sekä ostamalla metsiä valtiolle suojelualueiksi. ELY-keskusten valtakunnallinen METSO-tavoite on suojella yhteensä 96 000 hehtaaria metsiä vuoteen 2025 mennessä. Tästä valtion maiden osuus on 13 000 hehtaaria. Lisäksi ympäristötuella ja luonnonhoitohankkeilla turvataan yhteensä 82 000 hehtaaria talousmetsien luontokohteita vuoteen 2025 mennessä. Yhteenlaskettu hehtaaritavoite on noin 1,5 % Etelä-Suomen puuntuotannon metsämaasta.

Vuosina 2008–2015 METSO-ohjelman rahoituksella on perustettu uusia suoje-lualueita yksityisten maanomistajien, kuntien, seurakuntien ja yhtiöiden maille sekä hankittu alueita valtiolle luonnonsuojeluun 42 848 hehtaaria. Kun mukaan lasketaan valtioneuvoston päätöksen mukaisesti 13 000 hehtaaria vuonna 2015 luonnonsuoje-luun siirrettyjä Metsähallituksen entisiä talousmetsiä, 96 000 hehtaarin tavoitteesta on toteutettu 58 %. Ympäristötukisopimuksia on toteutettu 34 028 hehtaaria, luonnon-hoidon suunnittelua 11 866 hehtaaria ja luonnonhoitotöitä 4 265 hehtaaria vuosina 2008–2015 (Koskela ym. 2016).

Kohteiden keskikoko on valtion omistukseen hankituilla alueilla 16 hehtaaria ja yksityisillä suojelualueilla 10 hehtaaria sekä ympäristötukikohteilla noin 6 hehtaaria. METSO-ohjelma on yleisesti hyväksytty ja siinä on onnistuttu saamaan monimuotoi-suudelle arvokkaita kohteita suojeluun. Ohjelma on saanut osakseen myös ekologista kritiikkiä (Keto-Tokoi & Kotiaho 2013). Kritiikki kohdistuu etenkin siihen, että ohjel-massa hankittavilla usein pienialaisilla kohteilla ei pystytä luomaan kytkeytynyttä suojelualueiden verkostoa, ja suojelua olisi mielekäästä kohdentaa laajoihin elinym-päristövalikoimaltaan monipuolisiin yhtenäisiin alueisiin. Kritiikissä ei ole otettu ilmastonmuutoksen vaikutuksia huomioon. Luultavasti parempi suojelualueiden kytkeytyvyys ja laajat topografisesti vaihtelevat, hydrologisesti yhtenäiset pienvalu-ma-alueet olisivat myös keino lisätä sopeutumista ilmastonmuutokseen.

METSO-ohjelmassa ei ole toistaiseksi otettu ilmaston muuttumista huomioon ta-voitteissa tai erillisenä toimenpiteenä, mutta ilmastonmuutokseen sopeutumisesta on maininta tietotarpeissa. METSO-ohjelma tarjoaa kuitenkin hyvän toimintamallin, testatun keinovalikoiman ja olemassa olevan yhteistyöverkoston, jos ilmastonmuu-tokseen sopeutumista ja hillintää halutaan edistää suojelualueverkostoa ja talousmet-sien luonnonhoitoa samanaikaisesti kehittämällä. Tämä edellyttää uudentyypisen ohjelman valmistelua tai nykyisen METSO-ohjelman tavoitteiden uudelleenarviointia ja vapaaehtoisten keinojen suuntaamista myös ilmastonmuutokseen sopeutumista ja hillintää palveleviksi.

METSO-ohjelman puitteissa on laadittu suojelualueiden ulkopuoliseen tarkas-teluun valtakunnallisia metsien ja soiden luonto- ja suojeluarvoja kuvaavia Zona-tion-ohjelmistolla toteutettuja priorisointikarttoja (esimerkiksi kuva 19b). Näiden priorisointikarttojen alkuperäinen tarkoitus on ollut tukea METSO-ohjelman vapaa-ehtoista toteuttamista tarjoamalla ohjelmaa toteuttaville ja sen parissa työskenteleville asiantuntijoille apua uusien suojelualueiden valinnassa. Priorisointikartat tarjoavat tietoa esimerkiksi alueellisesta kytkeytyvyydestä ja sitä kautta suojelualueverkoston toimivuudesta. Näitä aineistoja voidaan hyödyntää myös kun monimuotoisuuden turvaamista tehostetaan muuttuvassa ilmastossa.

6.8 Ilmastonmuutokseen varautumisen ja monimuotoisuuden turvaamisen samanaikainen tarkastelu

Kansainväliset ja EU-sopimukset velvoittavat uusiutuvan energian käytön lisäämi-seen, mistä johtuen puun käyttöä ollaan lisäämässä energiapolitiikan tavoitteissa. Toisaalta metsien merkitys uhanalaiselle lajistolle ja kasvavan puuston merkitys hiilinieluna on jo hyvin ymmärretty erilaisissa strategioissa ja ohjeistuksissa. Puun käyttöä on arvioitu voitavan lisätä, etenkin jos metsien monimuotoisuus pystyttäisiin turvaamaan samalla entistä tehokkaammin (Korhonen ym. 2016). Kuitenkin esimer-kiksi järeän runkolahopuun korjuu energiapuuksi on ristiriidassa monimuotoisuus-tavoitteiden kanssa.

Merkittävänä ilmastonmuutoksen negatiivisena vaikutuksena nähdään metsäsektorilla kuusen taantuminen ja kuusimetsien mahdollinen pirstoutuminen Etelä-Suomessa tietyillä maaperillä. Myös metsätuhojen ennustetaan lisääntyvän etenkin Etelä-Suomessa ja jopa ylittävän ilmastonmuutoksen aikaansaaman lisäkasvun (Müller ym. 2012; 2014). Etenkin kuusi on herkkä sekä sienien että hyönteistuhonille eteläisimmässä Suomessa. Kuuseen kohdistuvien kaarnakuoriaistuhon lisäksi havununnan aiheuttamien tuhojen otaksutaan lisääntyvän (Müller ym. 2013; Seppälä ym. 2015a). Ilmastonmuutoksen lisäämiin metsätuhoihin varautuminen voi saada aikaan negatiivisia vaikutuksia, jos tuhojen pelossa tehdään metsähygieniää edistäviä hakkuita ja lyhennetään kiertoaikaa uudistuskypsissä kuusikoissa mikä voi haitata järeän lahoppaan muodostumista ja säilymistä talousmetsissä sekä metsälain erityisissä elinympäristöissä. Varsinkin metsälakikohteiden hakkuilla voi olla erityisen haitallisia monimuotoisuusvaikutuksia.

Talousmetsien luonnonhoito on jo muutaman vuosikymmenen ollut osa kestävästä metsänhoitoa. Siihen kuuluvat muun muassa vesiensuojelun toimenpiteet, arvokaiden luontokohteiden suojelu ja muuttuneiden ekosysteemien ennallistaminen sekä säästöpuuston jättäminen. Monet monimuotoisuutta talousmetsissä tukevista toimista edistävät myös sopeutumista ilmastonmuutokseen. Tätä kytkentää ei ole vielä täysin ymmärretty ja osattu hyödyntää metsä- ja ympäristösektoreilla. Sekä suojelualueverkoston kehittämistä että monimuotoisuuden huomioon ottamisesta talousmetsissä voidaan saada merkittäviä ilmastohyötyjä. Suojelun, ennallistamisen ja luonnonhoidon avulla voidaan lisätä ja säilyttää hiilivarastoja metsissä ja soilla. Borealisissa metsissä suurin osa hiilestä on maaperässä (Liski ym. 2006). Havumetsien palautuessa luonnontilaan metsien hiilivarasto kasvaa mahdollisesti vielä pitkään, vaikka puiden kasvu on pysähtynyt, maaperän hiilivaraston kasvaessa (Seppälä ym. 2015a). Kasvavien talousmetsien lisäksi myös vanhat metsät voivat toimia hiilinieluinä (Luyssaert ym. 2008). Luonnontilaisen metsän hiilivarasto on suurempi kuin käsitellyn talousmetsän (Mäkipää 2012).

Ilmastonmuutokseen varautumista yhdessä monimuotoisuuden säilyttämisen kanssa tulisi tarkastella laajalti eri sektorit huomioon ottaen. Esimerkiksi luontomatkat on voimakkaimmin kasvava matkailun ala (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Suomen matkailullinen vetovoima perustuu pääosin luontoon, erityisesti metsiin ja puhtaisiin vesistöihin, joiden säilyttäminen edistää myös sopeutumista ilmastonmuutokseen ja joissain tapauksissa ilmastonmuutoksen hillintää.

Puutuotteiden hiilijalanjälki on pieni, ja puutuotteet voivat toimia pitkäaikaisena hiilen varastona, mikä on tärkeää metsänkäytön kestävyuden ja ilmastovaikutusten kannalta. Energiapuun käyttö voi tuottaa yllättäviäkin luonnonsuojelubiologisia ongelmia. Esimerkiksi Ruotsissa on todettu suojelualueiden tuntumaan sijoitettujen energiapuupinojen (kannot, latvussmassat) houkuttavan uhanalaisia kovakuoriaisia, jotka sopivan lisääntymispaikan sijaan päätyvät ansaan ja polttouuniin (Hedin ym. 2008; Victorsson & Jonsell 2012). Toisaalta tiettyjen uhanalaisten kovakuoriaislajien kannat on jo saatu elpymään jättämällä säästöpuuta uudistusaloille (Rassi ym. 2010). Energianpuun korjuuseen, säilytykseen ja muun maankäytön vaikutuksiin kannattaa kiinnittää jatkossa erityistä huomiota, koska suojelualueille ulottuvat negatiiviset vaikutukset voivat korostua ilmaston muuttuessa (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Havumetsävyöhykkeen pienten suojelualueiden uhanalaisten lajien metapopulaatiot tulevat todennäköisesti pirstoutumaan lisää ilmaston muuttuessa.

Ilmastonmuutoksen ja maankäytön yhdysvaikutuksista on toistaiseksi vain vähän tutkimustuloksia saatavilla (kts. luku 5). Esimerkiksi Virkkala (2016) tarkasteli sekä metsätalouden että ilmastonmuutoksen vaikutusta lintupopulaatioihin eteläsuomalaisella tutkimusalueella. Metsälintupopulaatiot olivat vähentyneet 18 % (0,9 %/vuosi) tutkimusjakson 22 vuoden aikana (1993–2015) johtuen sekä metsätaloudesta että ilmastonmuutoksesta. 12 runsaimmasta lajista seitsemän oli vähentynyt ja vain

yksi (talitiainen) runsastunut. Tutkimuksen mukaan sekä metsätaloudella että ilmastomuutoksella oli negatiivinen vaikutus lintupopulaatioiden kannan kehitykseen ja näyttää siltä, että metsätalous voi voimistaa ilmastomuutoksen negatiivista vaikutusta lintupopulaatioihin (Virkkala 2016). Näistä yhdysvaikutuksista tarvitaan lisää tietoa eri eliöryhmistä ja tilamittakaavoissa.

6.9 Tutkimustarpeita

Ilmastomuutokseen liittyviä tutkimustarpeita on koottu niin Ilmatieteen laitoksen (Jylhä ym. 2009) kuin Suomen ilmastopaneelin toimesta (Seppälä ym. 2015a). Monet esitetyistä tutkimusteemoista soveltuvat sellaisenaan myös talousmetsien ja suojelualueiden yhteiseen tarkasteluun. Monimuotoisuuden turvaamista osana ilmastomuutokseen sopeutumista tai sen hillintää ei ole tarkasteltu juuri lainkaan. Suomen ilmastopaneeli ei ole vielä tehnyt selvitystä monimuotoisuuden ja ilmastomuutoksen suhteesta tai niihin liittyvistä tutkimustarpeista. Ilmastopaneelin asiantuntemuksesta olisi tässä arvioissa merkittävää hyötyä. Tutkimusta siitä, missä määrin ja millä tavoin monimuotoisuutta ja vesiensuojelua tukevat toimet talousmetsissä edistävät sopeutumista ilmastomuutokseen on myös tehty toistaiseksi hyvin vähän (katso esimerkiksi Valkonen ym. 2014). Lisää tietoa tarvitaan lisäksi suojelualueiden ja talousmetsien luonnonhoidon hiilivaikutuksista, mutta myös luonnonhoitotoimien mahdollisuudesta edistää suojelualueverkoston kytkeytyvyyttä. Miten esimerkiksi puuston rakennepiirteiden kehittämällä, kuten säästöpuiden jättämisellä, tai elinympäristöjen ennallistamisen avulla voidaan lisätä ilmastomuutokseen varautumista ja sopeutumista suojelualueiden välisissä talousmetsissä? Turvemaat ovat erityisen haastavia ilmastomuutoksen vaikutusten arvioinnin kannalta, koska tarkastelun aikajänne vaikuttaa voimakkaasti tuloksiin (Ojanen 2014). Laajemmalle kokonaistarkastelulle, jossa käydään läpi ennallistamisen ja aluesuojelun ilmastolliset haitat ja hyödyt talouskäytön rinnalla on selvä tarve.

Monimuotoisuutta talousmetsissä tukevien toimien vaikutukset albedoon ja aerosoleihin kaipaavat myös tutkimusta (vrt. Seppälä ym. 2015). Esimerkiksi albedon viilentävä vaikutus on suurin lehtimetsissä (Kuusinen 2014), mutta ilmakehän pienhiukkastuotanto ja metsien ilmastoa viilentävä vaikutus aerosolien kautta on tehokkainta vanhoissa havumetsissä. Talousmetsien luonnonhoidon ja monimuotoisuutta edistävien hakkuumenetelmien kehittämistarpeet tulisi arvioida ilmastomuutokseen varautumisen ja sopeutumisen näkökulmasta. Suojelualueverkosto (sijainti, laatu) vaikuttaa sen ulkopuolella tehtävien monimuotoisuustoimien onnistumiseen – ymmärrys siitä, miten nykyinen suojelualueverkosto toimii levinnän lähteenä ja kytkeytyvyyden ylläpidossa, kaippaa jatkoselvityksiä. Ilmastomuutoksen myötä lisääntyvät metsätuhot voivat vaikuttaa haitallisesti mahdollisuuksiin turvata monimuotoisuutta talousmetsissä. Tutkimusta tarvitaan ilmastomuutoksen aiheuttamista uhista talousmetsän luonnonhoidolle ja etenkin ongelmiin soveltuvista ratkaisukeinoista.



Kuva: Kimmo Syrjänen



Kuva: Kaisu Aapala

7 Luonnonsuojelualueverkosto ekosysteemipalvelujen tuottajana muuttuvassa ilmastossa

Ekosysteemipalveluiden tuotanto on yksi tärkeä näkökulma luonnonsuojelun ja luonnon kestäväen käytön yhteensovittamisessa. Luonnonsuojelualueverkoston merkitys monien ekosysteemipalveluiden turvaamisessa on ilmeinen, mutta kattavaa arviointia esimerkiksi hiilen ja ravinteiden kierrosta ei ole Suomessa tehty. Erityisesti toiminnallinen monimuotoisuus (niin sanottu funktionaalinen diversiteetti) liittyy olennaisesti ekologisiin prosesseihin, mutta perinteisesti tätä näkökulmaa ei ole juurikaan huomioitu suojelualueverkoston suunnittelussa. Muuttuvan ilmaston myötä muutokset hiilensidonnassa ja ravinteiden pidätyksessä tulisi ottaa huomioon luonnonsuojelun suunnittelussa. Myös suojelualueiden rooli virkistyskäytön mahdollistajana on vasta hiljattain ymmärretty paremmin – hyvänä esimerkkinä kansallispuistojen positiiviset aluetaloudelliset vaikutukset. Ekosysteemipalveluiden huomioon ottaminen korostuu myös suojelualueiden ulkopuolisten kohteiden luonnonhoidossa. Vihreän infrastruktuurin tukemiseen suunnattuja alueita on ehdotettu Euroopan Unionissa keinoksi saavuttaa yhteishyötyjä luonnon monimuotoisuuden turvaamisen ja ekosysteemipalveluiden lisäämisen kautta. Luonnonsuojelualueiden ja niitä ympäröivän maankäytön yhdenmennyksen tarkastelutapa hyödyttää siten myös suojelualueverkoston kytkeytyvyyden priorisointia.

7.1 Taustaa

Ilmastonmuutos ja maankäytön muutokset aiheuttavat luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalveluiden heikentymistä maailmanlaajuisesti. EU:n biodiversiteettistrategiassa luonnon tarjoamien ekosysteemipalveluiden kartoittaminen ja ekosysteemien tilan arviointi on nostettu tärkeäksi aihekokonaisuudeksi. Suojelualueet tuottavat monia ekosysteemipalveluita, kuten ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuden sekä pinta- ja pohjavesien laadun säätelyä. Ne ovat myös merkittäviä alueita luontomatkailun ja virkistyskäytön näkökulmasta. Suojelualueiden arvoa eri ekosysteemipalveluiden tuottajina muuttuvassa ilmastossa ei kuitenkaan ole toistaiseksi arvioitu Suomessa kattavasti.

Suojelualueiden ja niiden ulkopuolelle jäävien alueiden yhdenmennyksen tarkastelun avulla maankäyttöä voidaan suunnata niin, että luonnon monimuotoisuuden turvaaminen ja ekosysteemipalveluiden ylläpitäminen eivät ole ristiriidassa, vaan ne voivat jopa hyödyttää toisiaan. Maankäytön intensiteetin osalta alueet voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan: (1) suojelualueet, (2) vihreän infrastruktuurin alueet, joilla pyritään ekosysteemipalveluiden huomioimiseen, ja (3) elinkeinojen tuotantoon ensisijaisesti varatut alueet (maatalous, metsätalous). Erityisesti vihreän infrastruktuurin alueiden kehittäminen tukee parhaimmillaan ilmastonmuutokseen sopeutumista ja lieventää samalla luonnon monimuotoisuuden heikentymistä.

7.2 Funktionaalinen diversiteetti eli toiminnallinen monimuotoisuus

Maankäyttö ja vallitseva kasvillisuus vaikuttavat moniin biogeokemiallisiin ekosysteemiprosesseihin (Vitousek ym. 2010; Lehtoranta ym. 2014). Maankäytöstä ai-

heutuvien kasvillisuusmuutosten vaikutusten on osoitettu ulottuvan ravintoketjun eri tasoihin, ja sitä kautta ekosysteemien toiminnallisuuteen (Soliveres ym. 2016) ja häiriöstä aiheutuviin eliöyhteisöjen muutoksiin (Mouillot ym. 2013). Perustuotajien, kasvinsyöjien ja mikrobien runsaudella ja monimuotoisuudella on osoitettu olevan tärkeä vaikutus etenkin säätely- ja kulttuuripalveluiden tuotantoon (Soliveres ym. 2016). Suomessa on saatu viitteitä maankäytön muutosten vaikutuksesta valuma-alueiden vesistöjen makrofyttikasvillisuuteen (Alahuhta 2011). Muutokset toiminnallisessa monimuotoisuudessa ja toiminnallisissa ominaispiirteissä ('functional traits') kytkeytyvät läheisesti ekosysteemiprosesseihin, kuten esimerkiksi ravinnekiertoihin (Vitousek ym. 2010; Mason & de Bello 2013; Jetz ym. 2016;).

Erityisesti kaukokartoituksen käyttö toiminnallisen monimuotoisuuden kannalta keskeisten muuttujien, kuten kasvien kemiallisten, fysiologisten ja rakenteellisten ominaispiirteiden mittaamisessa on edistynyt viime aikoina nopeasti (Jetz ym. 2016; Pettorelli ym. 2016). Uusien kaukokartoitusmenetelmien avulla on mahdollista tuottaa spatiaalisesti tarkkoja esiintymiskarttoja edellä mainituista ominaispiirteistä, joita voidaan edelleen yhdistää tarkkoihin taksonomisiin maastohavaintoihin tai ekosysteemiprosesseja kuvaaviin malleihin (esim. Vihervaara ym. 2015). Luonnon monimuotoisuuden seurannan yhtenäistämiseksi on ehdotettu vakioitujen muuttujien seurantaa, jota joiltain osin voitaisiin tehdä kaukokartoituksen avulla, mutta yhtä tärkeää on perinteisten maastoaineistojen keruu yhtenäisin, vertailukelpoisin menetelmin. On ehdotettu niin sanotun Essential Biodiversity Variables (EBV) -konseptin käyttöä luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalveluiden seurannassa (Pereira ym. 2013; UNEP 2013; GEO BON 2015a, b; Skidmore ym. 2015) – vastaava konsepti (Essential Climate Variables, ECV) on osoittautunut menestyksekkääksi IPCC:n ilmastonmuutostutkimuksessa. Eräiden toiminnallista monimuotoisuutta kuvaavien EBV-muuttujien määrittely Suomen suojelualueverkoston osalta tarjoaisi uuden näkökulman luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalveluiden välisten vuorovaikutusten tarkastelemiseksi (Vihervaara ym. 2017).

Kaukokartoituksen ja toiminnallisten EBV-muuttujien rinnalla nykyiset Suomen ympäristökeskuksen ja Lajitietokeskuksen kautta saatavilla olevat lajeja ja luontotyyppisiä koskevat paikkatietoaineistot voivat auttaa määriteltäessä taksonomisen monimuotoisuuden toiminnallisuutta (McGill ym. 2006; Raunio ym. 2008; Vihervaara ym. 2012). Kirjallisuuskatsaus on kuitenkin ensisijainen keino toiminnallisen monimuotoisuuden tunnistamisessa ja luokittelussa. Suojelualueverkoston toiminnallisen monimuotoisuuden arvioinnissa voidaan tarkastella myös perinteisiä α - ja β -diversiteettiä (Mason ym. 2005; Mason & de Bello 2013).

7.3 Suojelualueiden hiilitase, albedo ja aerosolit

Tuoreet tutkimustulokset viittaavat siihen, että luontoarvoiltaan merkittävät alueet ovat usein myös tärkeitä hiilen varastoja ja nieluja (Jantke ym. 2016). Biodiversiteetin ja hiilivarastojen positiivinen korrelaatio on osoitettu myös Iso-Britanniassa (Thomas ym. 2013). Suomen ympäristökeskuksessa kehitetyn kartoitusmenetelmän avulla voidaan tuottaa spatiaalisesti tarkkoja arvioita hiilensidonnan ekosysteemipalvelusta kivennäismaan metsissä (Akujärvi ym. 2016). Kartoitusmenetelmässä puuston ja maaperän hiilivarastojen kokoa ja muutosnopeutta simuloidaan kasvupaikka-kohtaisesti. Turvemaiden hiilitaseen arvioimiseen voidaan käyttää kirjallisuudessa raportoituja kertoimia. Simuloidut aikasarjat on mahdollista yhdistää avoimeen monilähteiseen Valtakunnan metsien inventointiaineistoon (MVMI) (Tomppo ym. 2014). Tarkastelemalla näin tuotettuja hiilitasekarttoja yhdessä luonnon monimuotoisuutta kuvaavan paikkatiedon kanssa voidaan arvioida erityyppisten alueiden yhtäaikaista

merkitystä ilmastonmuutoksen hillinnässä sekä monimuotoisuuden turvaamisessa, mikä tukee ilmastoviisasta maankäytön suunnittelua.

Metsillä on tärkeä ilmastonmuutosta hillitsevä vaikutus hiilensidonnan kautta. Sen lisäksi ne vaikuttavat ilmakehän säteilytaseeseen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja albedon kautta (Kulmala ym. 2013). Nämä mekanismit ovat kuitenkin puutteellisesti tunnettuja. Albedolla eli heijastavuudella on tärkeä merkitys ilmakehän lämpötilouden kannalta. Mitä valkoisempi heijastava pinta on, sitä suurempi sen albedo on. Eri metsätyyppien albedo vaihtelee suuresti (Kuusinen ym. 2014). Esimerkiksi lehtipuuvaltaiset sekametsät heijastavat enemmän säteilyä ilmakehään kuin puhtaat havumetsät, mikä korostaa sekapuustoisten suojelualueiden merkitystä ilmastonmuutoksen hillinnässä. Metsien haihtuvat orgaaniset yhdisteet osallistuvat aerosolien muodostamiseen ilmakehässä (Kulmala ym. 2013). Aerosolit vaikuttavat pilvien muodostumiseen ja sitä kautta maapallon lämpötilaan. Nykyinen tietämys albedon ja aerosolien vaikutuksesta ilmakehän säteilytaseeseen tulisi jatkossa sisällyttää malleihin, joilla arvioidaan eri ekosysteemien kykyä hillitä ilmastonmuutosta.

7.4 Suojelualueiden ravinnetase

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen edellyttää tietoa ekosysteemipalveluiden ja luonnon monimuotoisuuden haavoittuvuudesta muuttuvassa ilmastossa. Boreaalisella havumetsävyöhykkeellä havaitun vuosittaisten keskilämpötilojen nousun ennustetaan jatkuvan edelleen (Ruostenoja ym. 2016). Myös sadannassa tapahtuu muutoksia (katso luku 2). Nämä muutokset voivat heikentää maaperän hiilinielua ja pinta- ja pohjavesien laatua kiihtyvän orgaanisen aineksen hajoamisen ja kasvavan valunnan vuoksi. Luonnonsuojelualueiden ulkopuolella tehostuva metsien käyttö lisää osaltaan paineita ylläpitää ekosysteemipalveluita ja luonnon monimuotoisuutta suojelualueverkoston sisällä (katso myös luku 6).

Ekohydrologisten mallien avulla voidaan tarkastella esimerkiksi valuma-alueiden ravinnetaseita ja ennustaa ravinteiden pidättymistä tai päättymistä vesistöihin. Eri-tyisesti pienvesien vedenlaatu riippuu maaympäristön tilasta ja ympäristössä tapahtuneista muutoksista (Rankinen ym. 2014). Esimerkiksi Suomessa yleisesti käytetyn INCA-mallin syöttötiedoksi tarvitaan lämpötila- ja sadantatietoa sekä maanpeiteaineistoa (Wade ym. 2002; Futter ym. 2011). Ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia ekosysteemipalvelujen tuotannolle voidaan tarkastella dynaamisten mallien avulla maisematasolla (Akujärvi ym. 2016; Forsius ym. 2016; Rankinen ym. 2016). Yhden- netyn mallinnuskehikon avulla voidaan arvioida ekosysteemipalvelujen ajallista ja alueellista muutosta sekä tutkia niiden välisiä synergioita ja ristiriitoja (Holmberg ym. 2015).

7.5 Suojelualueiden matkailu- ja virkistyskäyttö

Ekosysteemipalveluiden kartoittamiseen ja arvottamiseen liittyvä tutkimus on kehittänyt paljon viime vuosina. Euroopan Unionin alueella kartoitusta on tuettu biodiversiteettistrategian alaisella niin sanotulla MAES-työllä (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) (Maes ym. 2012a; b; EEA 2015). Biodiversiteetin positiivisesta merkityksestä ekosysteemien toiminnalle vallitsee laajalti tutkijoiden kesken yksimielisyys, mutta erilaisten ekosysteemipalveluiden suhde biodiversiteettiin vaihtelee (Anderson ym. 2009; Vihervaara 2011; Gamfeldt ym. 2013). Euroopan tasolla Natura 2000 -alueiden muodostaman suojelualueverkoston merkitystä ekosysteemipalveluiden tuotannolle on tutkittu vain vähän, mutta ainakin joidenkin säätely- ja kulttuuripalveluiden kohdalla vaikutus on ollut positiivinen (Kettunen

ym. 2009; Maes ym. 2012b; Gantioler ym. 2014). Eräässä tuoreessa tutkimuksessa ekosysteemipalveluiden tarjonnan ja saavutettavuuden spatiaalisen kytkennän tarkastelussa käytettiin suojelualueiden priorisointiohjelmisto Zonationia onnistuneesti, mutta samalla tunnistettiin tarve eri ekosysteemipalveluiden saavutettavuusvyöhykkeiden (flow zones) tarkempaan tutkimukseen (Kukkala & Moilanen 2016; Verhagen ym. 2017).

Suojelualueiden on osoitettu olevan erittäin tärkeitä ihmisten hyvinvoinnille ennen kaikkea luontomatkailun ja luonnon virkistyskäytön näkökulmasta (Sievänen & Neuvonen 2011; Paracchini ym. 2014; Ala-Hulkko ym. 2016; Mononen ym. 2016). Myös luonnontilaisten ympäristöjen positiivisista terveysvaikutuksista on enenevässä määrin näyttöä (Jäppinen ym. 2014). Suojelualueiden virkistyskäyttöpotentiaalhin hyödyntäminen edellyttää, että ne ovat helposti saavutettavissa. Paracchini ym. (2014) osoittivat, että arkisin virkistäytymiseen käytettyjen alueiden etäisyys kodista oli keskimäärin 8 kilometriä; viikonloppuisin ja lomalla oltiin valmiita matkustamaan ”laadukkaampiin” kohteisiin kauemmaksi, keskimäärin 80 kilometrin päähän. Ala-Hulkko ym. (2016) vertasi asutuskeskittymien sijaintia ja suomalaisten kansallispuistojen saavutettavuutta autolla. Suurimmalla osalla väestöstä oli mahdollisuus saavuttaa kansallispuisto 90 minuutin matkustamiskustannuksella. Käänteisesti tarkasteltuna voitiin menetelmän avulla arvioida myös väestön aiheuttamaa painetta virkistysalueille, mikä voi pahimmillaan johtaa luonnonympäristön kulumiseen.

Suomalaisten tavat nauttia luonnosta tunnetaan melko hyvin muun muassa kaksi kertaa toistetun seurantatutkimuksen, luonnon virkistyskäytön valtakunnallisen inventoinnin (LVVI-1, 1998–2000 ja LVVI-2, 2009–2010), myötä (Sievänen & Neuvonen 2011). Sen mukaan ulkoilua harrastaa 96 % suomalaisesta aikuisväestöstä, keskimäärin 2–3 kertaa viikossa ja ulkoilukertoja kertyy keskimäärin 170 kertaa vuodessa. Lähiulkoilukerroista 63 % kohdistuu kuntien alueille, 31 % yksityismaille tai omalle vapaa-ajan asunnolle ja 6 % valtion alueille. Suomalaisista noin 43 % tekee yhden tai useamman luontomatkan vuoden aikana. Heille kertyy keskimäärin 8 luontomatkaa ja 26 luontomatkapäivää. Luontomatkoihin 33 % kohdistuu vapaa-ajan asunnolle, 20 % valtion alueille, 28 % yksityismaille ja loput 19 % kuntien alueille. Ekosysteemipalveluiden, kuten metsien ja vesistöjen kirjoman maiseman ja puhtaan veden, merkitys luonnon virkistyskäytössä on tärkeää. Ilmastonmuutoksen myötä harmilliseksi koettiin talviretkeilymahdollisuuksien väheneminen. Yksityismailla ulkoilevista lähes neljä viidestä käytti jokamiehenoikeuksia ulkoillessaan. Jokamiehenoikeuksiin suhtauduttiin myönteisesti, eikä niiden suhteen koettu ongelmia. Asenteet jokamiehenoikeuksia kohtaan olivat selvästi varauksellisempia niillä, jotka ulkoilivat omilla mailla.



Kuva: Kaisu Aapala



8 Yli valtakunnallisten rajojen ulottuvien ekologisten yhteyksien turvaaminen

Suomessa luontaisesti esiintyvän alkuperäisen lajiston säilyminen on monelta osin riippuvaista Suomen rajojen ulkopuolisista elinympäristöistä ja lajien populaatioista. Tämän vuoksi Suomen suojelualueverkoston arvioinnissa on tarpeen tarkastella myös valtioiden rajat ylittäviä ekologisia yhteyksiä: idässä Fennoskandian vihreällä vyöhykkeellä (rajaseudun suojelualueverkosto Suomen etelärannikolta ja Karjalan kannakselta Norjan Pasvikdalenin Barentsinmeren äärelle), sekä pohjoisessa Kuolasta Suomen Lapin läpi Norjaan ja Ruotsiin. Luoteis-Venäjällä, myös Suomen rajan läheisyydessä, on vielä jäljellä laajojakin luonnontilaisia metsä- ja suoalueita, joita vastaavia ei pinta-alan ja luonnon monimuotoisuuden puolesta ole muualla Euroopassa. Myös luonnontilaisten alueiden välialueet ovat usein monimuotoisempia kuin Suomessa. Vastaavien luonnontilaisen kaltaisten laajojen ydinalueiden ketju kulkee Suomen Lapin läpi Ruotsiin ja Norjaan. Toimivien ekologisten yhteyksien säilyttämisen merkitys korostuu ilmastonmuutokseen sopeutumisessa. Tästä näkökulmasta rajat ylittävä kytkeytyvyystarkastelu tuo merkittävää lisäarvoa kansalliseen arviointiin.

Suomessa luontaisesti esiintyvän alkuperäisen lajiston säilyminen on monelta osin riippuvaista Suomen rajojen ulkopuolisista elinympäristöistä ja lajien populaatioista. Ilmastonmuutos lisää toimivien ekologisten yhteyksien merkitystä. Tämän vuoksi Suomen suojelualueverkoston arvioinnissa on tarpeen tarkastella myös valtioiden rajat ylittäviä ekologisia yhteyksiä. Suomalais-venäläisessä ja Barentsin alueen yhteistyössä on toteutettu useita hankkeita, joissa on tarkasteltu suojelualueiden edustavuutta ja suuren mittakaavan kytkeytyvyyttä. Suomen suojelualueverkoston arvioinnissa on tarpeen tarkastella myös valtioiden rajat ylittäviä ekologisia käytäviä sekä tuottaa tietoa siitä, mitä alueita naapurimaiden suojelualueet ja luontoarvot huomioiden Suomessa kannattaisi priorisoida uusien suojelualueiden perustamisessa ja ennallistamistoimien kohdentamisessa sekä huomioida maankäytön suunnittelussa. Tämä arviointi keskittyisi maaekosysteemien kytkeytyvyyteen jättäen merialueiden kautta muualle Eurooppaan yhteydessä olevat Lounais- ja Länsi-Suomen lähes huomiotta. Tietolaatikossa 4 esitellään aiempia hankkeita, joiden tuloksia, ja joissa koottuja aineistoja voitaisiin hyödyntää arvioinnin toteuttamisessa.

Fennoskandian vihreä vyöhyke koostuu pohjoisista havumetsistä, soista ja tundra-alueista Suomen, Venäjän ja Norjan raja-alueilla ja se on Euroopan tärkeimpiä ekologisia käytäviä, joka voi helpottaa lajien sopeutumista ilmastonmuutokseen (The Strategy of the Green Belt of Fennoskandia 2016). Suojelualueiden kytkeytyvyyttä pyritään parantamaan rajat ylittävällä yhteistyöllä (Barents Protected Area Network 2017). Suomen, Venäjän ja Norjan yhteistyönä valmistellun Fennoskandian vihreän vyöhykkeen strategian vision mukaan vuoteen 2020 mennessä vyöhyke on kehitetty laajasti tunnetuksi rajat ylittävän yhteistyön mallialueeksi luonnon monimuotoisuuden suojelusta, sosiaalisesta hyvinvoinnista ja ympäristöllisesti kestävästä taloudellisesta kehityksestä, jonka lähtökohtana on alueen ainutlaatuinen luonto, geologinen monimuotoisuus sekä kulttuuriperintö. Strategian osatavoitteen mukaan vuoteen 2020 mennessä edustava suojelualueverkosto on perustettu, suojelualueiden ekologista kytkeytyvyyttä on kehitetty ja yhteistyötä rajat ylittävien lajien populaatioiden sekä habitaattien hoitamiseksi on parannettu. Tavoitteena on pitää yllä ja edistää lajien ja habitaattien suojelun tasoa (The Strategy of the Green Belt of Fennoskandia 2016). Fennoskandian vihreä vyöhyke yhtyy Saariselällä ja Kuolan niemimaan länsiosassa

itä-länsi -suuntaiseen Lapin metsien vyöhykkeeseen, joka jatkuu edelleen Ruotsissa ja Norjassa Skandjeja mukailten Skandinavian vihreänä vyöhykkeenä. Yhdessä nämä alueet muodostavat niin kutsutun Fennoskandian hevosenkengän (Midteng 2013).

Boreaalisten luonnonmetsien hakkuut Karjalan tasavallassa ja Arkangelin alueen länsiosissa ovat katkaisseet Suomen ja muiden luoteiseurooppalaisten luonnonmetsäsaarekkeiden yhteydet laajoihin, yhtenäisiin, kooltaan vähintään 50 000 hehtaarin suuruisiin, Arkangelin itäosissa ja Komin tasavallassa sijaitseviin luonnonmetsäalueisiin (Intact forest landscapes, IFL) (Bryant ym. 1997; Yaroshenko ym. 2001; Aksenov ym. 2002). Alkujaan geopoliittisista syistä Suomen itärajalta säilyi kuitenkin pitkään etelä-pohjois -suuntainen luonnontilasten tai luonnontilaisen kaltaisten metsien muodostama, suhteellisen yhtenäisenä pysynyt metsäinen vyöhyke, Fennoskandian vihreä vyöhyke.

Neuvostoliiton hajoamisen jälkeen itärajan vihreän vyöhykkeen metsiä on otettu puuntuotannon piiriin, ja vyöhykkeellä tehdyt laajamittaiset uudistushakkuut ovat vähentäneet luonnontilaisen kaltaisten metsien määrää merkittävästi (katso esimerkiksi Global Forest Change, <https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>). Hakkuiden jatkuessa Venäjän Karjalan metsämaisema ei ehkä tulevaisuudessa enää olennaisesti eroa Suomen talousmetsämaisemasta (Burnett ym. 2003), mikä tulee vaikuttamaan myös Suomen luonnon monimuotoisuuteen. Toisaalta rajan tuntumaan Venäjän puolelle on perustettu useita merkittäviä suojelualueita kuten Pasvikin luonnonpuisto, Lapin luonnonpuisto, Lapin metsä -suojelualue, Paanajärven kansallispuisto, Kalevalan kansallispuisto sekä Kostamuksen luonnonpuisto.

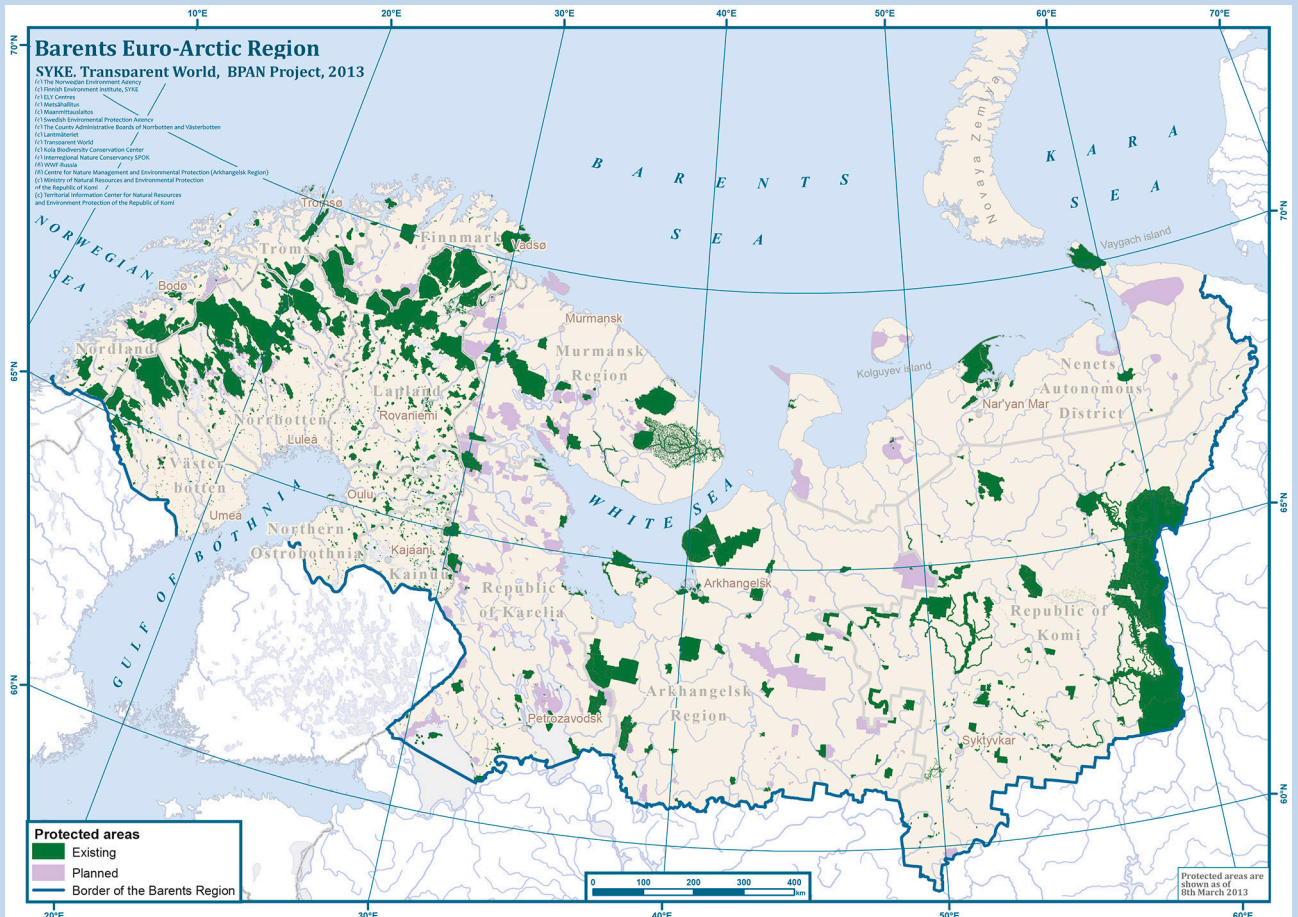
Hakkuista huolimatta vihreä vyöhyke muodostaa kuitenkin edelleen lajistollisen tukirangan myös Suomen luonnonsuojelualueverkostolle, sillä lajistomuutokset ovat metsissä hitaita (niin sanottu sukupuuttovelka, Hanski & Ovaskainen 2002) ja alueella on edelleen säilynyt runsaasti vaateliasta lajistoa, erityisesti useiden laajojen luonnonsuojelualueiden ansiosta. Tämän etelä-pohjois -suuntaisen verkoston – eräänlaisen laajan mittakaavan ekologisen käytävän – merkitys korostuu ilmaston muuttuessa, erityisesti tulevaisuudessa (katso ekologisista käytävistä tarkemmin luku 4). Vastaavantyyppisiä laajan mittakaavan ekologisia käytäviä on hahmoteltu myös Suomen rajojen sisäpuolelle alueille, joilla luonnontilaisen kaltaisia metsiä on säilynyt poikkeuksellisen pitkään, eritoten vedenjakaseuduille (Lindén ym. 2000). Näissäkin esityksissä Suomen sisäiset ekologiset käytävät ovat yhteydessä itärajan vihreään vyöhykkeeseen, koska se nähdään tärkeänä levintälähteenä havumetsälajistolle.

Venäjän puoleisten laajojen, luonnontilaisten metsien valtakunnanrajan yli ulottuvia vaikutuksia on tutkittu sekä vertailemalla metsälajistoa rajan molemmin puolin että selvittämällä lajistoeroja gradientilla lännestä itärajalle tai lounaasta koilliseen – jälkimmäinen on samalla karkeasti ottaen intensiivisen metsätalouden kehittymishistoriagradientti. Myös edellä mainittujen vedenjakaseutujen pitkään säästyneiden luonnonmetsäalueiden lajiston säilyttämiskyvystä on tehty tutkimuksia. Näissä tutkimuksissa on selvästi osoitettu elinvoimaisten lähdepopulaatioiden suuri alueellinen merkitys. Tutkimuksia on tehty muun muassa metsäpaloista riippuvaisesta lajistosta (Martikainen ym. 2000; Kouki ym. 2012), kääväkkäistä (Kotiranta ja Niemelä 1996; Lindgren 2001; Siitonen ym. 2001; Hottola 2003; Ylisirniö ym. 2012; Nordén ym. 2013), lahopuulla elävistä kovakuoriaisista ja muista hyönteisistä (Siitonen ja Martikainen 1994; Siitonen ym. 1995; Martikainen ym. 1996; Siitonen ym. 1996; Siitonen ja Saaristo 2000; Várkonyi ja Leinonen 2004; Laaksonen ym. 2008; Tikkanen ym. 2009), linnuista (Kouki ja Väänänen 2000; Mönkkönen ym. 2000) ja riistaeläimistä (Pellikka ym. 2005). Useat mainituista esimerkkitutkimuksista viittaavat siihen, että mikäli vaatelioiden lajien Suomen populaatiot eivät saa täydennystä itärajan takaa, niiden häviämistodennäköisyys kasvaa.

Aiemmat, Suomen suojelualueverkoston arvioinnin kannalta merkittävimmät, valtion rajat ylittävät hankkeet

Barentsin alueen suojelualueverkoston kehittämishanke BPAN

Barentsin alueen suojelualueverkoston kehittämishanke BPAN (Barents Protected Area Network) toteutettiin vuosina 2011- 2014. BPAN-hankkeen tavoite oli edistää ja tukea kattavan luonnonsuojelualueverkoston kehittämistä Barentsin euroarktisella alueella (kuva 20) boreaalisten ja arktisten ekosysteemien, erityisesti metsien ja soiden, monimuotoisuuden suojelemiseksi biologista monimuotoisuutta koskevan YK:n yleissopimuksen (biodiversiteettisopimus, CBD) Aichi-tavoitteiden (tavoitteet 5 ja 11) mukaisesti. Hankkeessa toteutettiin CBD:n suojelualueuöohjelman mukainen arviointi, arvioitiin suojelualueverkoston edustavuutta sekä toteutettiin pilottiprojekteja monimuotoisuudelle merkittävillä alueilla Luoteis-Venäjällä. BPAN-hankkeen partnerit olivat Suomen, Ruotsin, Norjan ja Luoteis-Venäjän luonnonsuojeluviranomaisia, tutkimuslaitoksia ja luonnonsuojelujärjestöjä.



Kuva 20. Barentsin alueen perustetut (vihreät) ja suunnitellut (violetit) suojelualueet. (Lähde: BPAN Project 2013)

BPAN-hankkeen suojelualueverkoston edustavuuden arvioinnissa toteutettiin:

- neljän maan suojelualueiden määrittely CBD:n ja IUCN:n määritelmien mukaisesti
- suojelualueiden luokittelu suojelumääräysten vahvuuden mukaan, eli mitkä toimet alueella on kielletty (yleisessä luokittelussa otettiin huomioon hakkuut, kaivostoiminta, öljynporaus, ojittaminen, pellonraivaus ja rakentaminen (mukaan lukien väylärakennus), tarkemmassa luokittelussa vahvasti suojeltujen alueiden osalta myös poronhoito, virkistyskäyttö ym.)
- suojelualueverkoston edustavuus ekosysteemeittäin (havumetsät, sekametsät, lehtimetsät, avosuot, luonnonniityt, tundrakasvillisuus, jäätiköt)
- suojelualueverkoston edustavuus eri bioklimaattisilla vyöhykkeillä
- suojelualueverkoston edustavuus eri korkeusvyöhykkeillä
- karkea kytkeytyvyysanalyysi (metsä-, havupuu-, lehtipuu- ja lehtimetsäkytkeytyvyys)

Hankkeessa tehty paikkatietoanalyysi löytyy julkaisusta *The Characteristics and Representativeness of the Protected Area Network in the Barents Region* (Aksenov ym. 2015). Hankkeessa yhtenäistettiin paikkatietoaineistoja valtioiden rajat ylittävästi, esimerkiksi suojelualueaineistoja, suojelualueiden suojelun vahvuutta, maanpeiteaineistoa, korkeuskäyriä, bioklimaattisia vyöhykkeitä, maanomistajatietoja ja tieverkostoa.

Forests with high conservation value in the Barents Region and their connectivity

BPAN-jatkohanke **Supporting regional efforts to secure critical conservation of forests with high conservation value as a key to achieve CBD Aichi biodiversity targets in the Barents Region** toteutetaan vuosina 2015 - 2017. Hanke tekee arvion Suomen, Ruotsin ja Luoteis-Venäjän pohjoisosien luonnon monimuotoisuuden kannalta merkittävistä metsistä ja niiden kytkeytyvyydestä. Hanke toteutetaan Suomen, Ruotsin ja Venäjän Barents-alueilla (kuva 20). Hankkeessa on päivitetty näiden alueiden suojelualueaineistot. Metsäaineistoissa jokainen maa käytti omia kriteereitä johtuen maiden erilaisesta maankäytön historiasta ja inventointimateriaaleista. BPAN-hankkeen maapeiteaineistoa tarkennettiin jakamalla havupuuvaltaiset metsät mänty- ja kuusivaltaisiin. Hanke tuottaa uutta tietoa valtakunnan rajat ylittävistä metsäisistä ekologisista yhteyksistä.

Luoteis-Venäjän gap-analyysi

Vuosina 1997 - 2011 SYKE koordinoi Suomen ulkoasiainministeriön ja ympäristöministeriön lähialueyhteistyön rahoittamaa Luoteis-Venäjän kestävä metsätalouden ja luonnon monimuotoisuuden suojelun kehittämisohjelmaa, jonka viimeisessä vaiheessa 2007 - 2011 toteutettiin **Luoteis-Venäjän gap-analyysi** -hanke kuudella alueella (Murmanskin alue, Karjalan tasavalta, Arkangelin alue, Vologdan alue, Pietarin kaupunki ja Leningradin alue).

Gap-analyysin tavoitteena oli tukea kansainvälisen biodiversiteettisopimuksen (CBD) tavoitetta pysäyttää luonnon monimuotoisuuden kato tutkimalla Luoteis-Venäjän kuuden alueen suojelualueverkoston ekologistia puutteita ja edustavuutta. Laaja asiantuntijajoukko arvioi luonnonsuojelualueiden edustavuutta tunnistamalla suojelun kannalta arvokkaita vanhoja metsiä, suoalueita, muita arvokkaita elinympäristöjä sekä harvinaisten ja uhanalaisten lajien esiintymispaikkoja. Lisäksi suomalais-venäläisessä projektissa tuotettiin suosituksia suojelualueverkoston kehittämiseksi tutkimusalueella sekä tehtiin kiireellisimmin suojelua vaativista kohteista esitys, jota on jo osittain hyödynnetty sekä alueellisessa että federaatiotason (kansallispuistot, luonnonpuistot) luonnonsuojelusuunnittelussa.

Hankkeessa kartoitettiin Luoteis-Venäjän laajat, myös kansainvälisesti luonnonsuojelullisesti arvokkaat alueet, jotka ovat erityisen tärkeitä elinympäristöjä alueen lajistolle ja ekologisen tasapainon takaamiselle. Nämä alueet toimivat myös ilmastonmuutoksen hillinnässä merkittävinä hiilinieluinä. Analyysit perustuivat satelliittikuvatulkintaan yhdessä topografiakarttojen ja maastoinventointien tuottamien aineistojen kanssa. Selvityksessä kehitettiin saatavilla olevien aineistojen ominaisuuksiin tukeutuva yhtenäinen lähestymistapa, jota sovellettiin kaikilla tutkimusalueilla. Suojelullisesti arvokkaiksi tunnistettuja alueita verrattiin olemassa olevaan suojelualueverkostoon suojelupuutteiden arvioimiseksi. Analyysihin sisällytettiin alueellisen ja federaation tason suojelualueet sekä suunnitellut suojelualueet. Analyysi perustui laajojen alueiden arvottamiseen, joten monet pienemmät luonnonsuojelun kannalta arvokkaat alueet jäivät tarkastelun ulkopuolelle.

Hankkeessa tuotettuja ja käytettyjä paikkatietoaineistoja, joita voitaisiin hyödyntää rajat ylittävässä arvioinnissa, ovat Luoteis-Venäjän suojelualueet, hallinnolliset alueet, korkeusvyöhykkeet, luonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeät alueet, kasvillisuusvyöhykkeet ja maapeiteaineistot. Osaan aineistosta SYKellä on oikeudet, osaan oikeudet pitää pyytää aineistojen omistajilta.

Analyysin tulokset julkaistiin vuonna 2011 venäjänkielisenä teoksena, ja vuonna 2013 englanninkielisenä teoksessa **Atlas of high conservation value areas, and analysis of gaps and representativeness of the protected area network in northwest Russia** (Kobyakov 2011; Kobyakov & Jakovlev 2013).

Hankkeen partnereina olivat alueiden luonnonsuojeluviranomaiset, tutkimuslaitokset ja luonnonsuojelujärjestöt.

Lisäksi on toteutettu muita hankkeita, joiden aineistot olisivat hyödynnettävissä, kuten Karlands - Sustainable Landscapes -hanke, jonka aineistoissa on tietoa mm. puuston ikäluokista, puuston keskipituudesta, puuston (kuusi, mänty, koivu, muut lehtipuut) tilavuudesta, avohakkuualoista ja metsäpaloriskialueista. (<http://karlands.maps.arcgis.com/home/index.html>).



9 Suojelualueverkosto ja ilmastonmuutos – keskeiset tutkimusteemat

Yksittäisillä luonnonsuojelualueilla ja alueellisilla suojelualueverkostoilla on useita tärkeitä yhteiskunnallisia ja luonnonsuojelupoliittisia tavoitteita ja tehtäviä, joiden merkitys korostuu ilmastonmuutoksen ja muiden globaalimuutosten (maankäytön muutokset, elinympäristöjen pirstoutuminen, rehevöityminen, vieraslajit ym.) aiheuttamien paineiden takia. Suojelualueverkoston kykyä täyttää erilaisia luonnonsuojelubiologisia ja -poliittisia tavoitteita pitääkin arvioida monesta eri näkökulmasta, ei pelkästään verkoston moninaisten roolien takia vaan myös siksi, että ilmastonmuutoksen vaikutuksien ennakointi on varsin haasteellista muutosten dynamiikan ja ennusteisiin liittyvien epävarmuuksien takia (Heller & Zavaleta, 2009; Lawler ym. 2010; Gillson ym. 2013; Tingley ym. 2014). Yksi keskeisimmistä luonnonsuojelualueverkoston perinteisistä tehtävistä on ollut luonnonvaraisten eliölajien populaatioiden suojeleminen sekä arvokkaiden luontotyyppien ja ekosysteemien esiintymien turvaaminen (Rodrigues ym. 2004; Gaston ym. 2006; Thomas & Gillingham 2015). Tämä rooli on tärkeä myös muuttuvassa ilmastossa. Sen rinnalle on kuitenkin noussut muitakin tavoitteita, jotka liittyvät usein suojelualueiden tarjoamiin erilaisiin ekosysteemipalveluihin, esimerkiksi hiilen ja ravinteiden kiertoon, tai ihmisten hyvinvointiin ja terveyteen suoraan vaikuttaviin virkistysmahdollisuuksiin. Tietyillä palveluilla, kuten esimerkiksi hiilen sidonnalla ja metsien säteilyheijastuksella (albedomekanismit), voi olla merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeutumisessa. Toiminnallisen monimuotoisuuden turvaamisella voidaan lisätä ekosysteemien kykyä sopeutua ilmastonmuutokseen. Voidaan sanoa, että tämäntyyppiset suojelualueisiin liittyvät mekanismit tarjoavat 'luontopohjaisia ratkaisuja' (nature based solutions), joita kannattaa hyödyntää ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeuduttaessa.

Suojelualueverkoston laaja-alainen edustavuustarkastelu on tärkeää myös siksi, että ilmastokenaarioihin ja niihin pohjautuviin biodiversiteettimalleihin liittyvien epävarmuuksien takia ei tiedetä tarkalleen, minkälaiseen ilmastoon pitäisi sopeutua ja miten. Toisaalta nämä epävarmuudet eivät saisi olla esteenä tietyille tarpeellisille toimenpiteille, kuten esimerkiksi jo tiedossa olevien suojelualueverkoston puutteiden korjaamiselle ja ennallistamis- ja hoitotoimille. Lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutuksiin on joka tapauksessa syytä varautua suojelualuesuunnittelussa ja -hoidossa, koska lievimpienkin ennusteiden mukaan Suomen suojelualueiden olosuhteet tulevat tavalla tai toisella muuttumaan. Vuosittaisiin sään ääri-ilmiöihin ja niistä aiheutuviin lyhyen aikavälin muutoksiin varautuminen voi olla vaikeaa, mutta nekin tulisi mahdollisuuksien mukaan huomioida. Käytännössä muuttuvan ilmaston suojelusuunnittelussa kannattaa varautua etenkin pitkän aikavälin muutoksen vaikutuksiin ja siihen, miten niihin voidaan parhaiten sopeutua suojelualueverkoston avulla. Yksi hyödyllinen tavoite on tunnistaa sellaisia toimenpiteitä, joilla on luonnonsuojelun kannalta joka tapauksessa positiivisia vaikutuksia riippumatta siitä, kuinka tarkkoja ja oikeaan osuvia ilmastonmuutoksen ennustetut vaikutukset ovat. Tiettyjä yleisluonteisia, todennäköisimmin oikeansuuntaisia toimia sopeutumisessa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ovat esimerkiksi suojelualueiden laajentaminen ja niiden puskurointikyvyn ja kytkeytyvyyden parantaminen.

Tässä kokoavassa luvussa tarkastellaan tiivistetysti esiselvityksen aikana esiin tulleita tutkimusteemoja ja -tarpeita, jotka on käsitelty tarkemmin tämän esiselvityksen aiemmissa luvuissa. Lisäksi listataan myös joitakin niiden ulkopuolisia, tutkimuksellisesti tärkeitä suojelubiologisia teemoja. Jatkotutkimuksien osalta on selvää, että

resurssien rajallisuuden takia Suomen suojelualueverkoston arviointityö ilmastonmuutoksen näkökulmasta voi käytännössä kattaa vain pienen osan kaikista mahdollisista tutkimusteemoista ja erilaisista näkökulmista. Siksi on tärkeää, että keskeiset priorisoitavat tutkimusteemat pyritään paikantamaan niin, että niiden avulla voidaan paitsi selvittää ilmastonmuutokselle herkimpien luontopiirteiden säilyttämisen optimaalisia strategioita, myös tuottaa merkittävää informaatiota erilaisiin suojelusuunnittelun ja -arviointien tarpeisiin.

9.1 Suojelualueverkostoon luettavat alueet

Suojelualueverkostoon kuuluvaksi luettavat alueet on tarpeen määrittää aluetyypeittäin ja samalla rinnastaa käytettävä tulkinta muihin tarkasteluihin (esimerkiksi IUCN-luokitus ja METI-luokitus).

IUCN:n suojeluluokituksessa alueen ensisijainen ja pääasiallinen hoidon ja käytön tavoite ratkaisee suojelualueluokan. Myös alueen koko vaikuttaa, vaikka se ei suoraan olekaan luokkakriteeri. Periaatteet IUCN-luokituksen soveltamiseksi Suomen suojelualueiden luokitteluun ja ehdotus valtionmaiden suojelualuetyyppikohtaisista IUCN-suojelualueluokista on kuvattu julkaisussa Heinonen & Juvonen (2013). Suomessa IUCN-luokitustyötä tehdään lähtökohtaisesti ja ensisijaisesti kansainvälisen suojelutilanteen seurantarpeesta.

Metsien suojelualue- ja METSO-tilastoinnin (METI) -työryhmän ehdotuksessa suojelualueet luokitellaan kolmeen pääluokkaan: lakisääteiset suojelualueet, talousmetsien monimuotoisuuden suojelukohteet ja luontoarvojen suojelua tukevat erityisalueet. Kaikkiin luokkiin sisältyy alaluokkia, joilla varovaiset hakkuut, luonnonhoidolliset poimintahakkuut tai rajoitettu metsätalouskäyttö ovat mahdollisia. Metsien suojelun tilastot julkaistaan jaolla: metsämaa, kitumaa ja muu maa. Ongelmallisinta METI-tulosten hyödyntämisessä luonnonsuojelualueverkoston arvioinnin näkökulmasta on, että tilastoihin sisältyvät sekä kivennäis- että turvemaat, mutta niitä ei ole tuloksissa eritelty. (Metsien suojelualue- ja METSO-tilastoinnin METI-työryhmä 2015)

Kaikissa tutkimuksissa ei välttämättä ole järkevää tarkastella samaa suojelualueverkostoa, mutta kaikissa tutkimuksissa suojelualueverkostoon luetut alueet sekä perustelut kulloinkin käytetylle ratkaisulle on syytä kirjoittaa auki, jotta yhteenve-tojen tekeminen on mahdollista.

9.2 Keskeiset tutkimusteemat

9.2.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset suojelualueiden eliölajiin

Suojelualueiden lajiesiintymien ja alueellisten kantojen säilymistä sekä lajin leviämistä uusille (suoja)alueille voidaan arvioida kolmen pääteeman kautta (katso luvut 4.3.2. ja 4.3.3). (1) Lajeille ilmastollisesti sopivien alueiden muutoksia voidaan arvioida bioklimaattisten mallien tuottamilla ennusteilla, jotka kertovat lajin alttiudesta ilmastonmuutokselle; laaja-alaiset levinneisyysalueiden muutosennusteet ilmentävät lajin olevan huomattavan haavoittuvainen ilmastonmuutoksen vaikutuksille. (2) Myös lajiominaisuudet voivat oleellisesti vaikuttaa lajin säilymiskykyyn nykyisillä esiintymispaikoilla ja siirtymiseen uusille alueille. Yksi kriteeri on lajin herkkyys ilmastonmuutokselle, joka kertoo kuinka voimakkaasti lajipopulaation elinvoimaisuus ja säilyminen alenee jo lievien sääolojen muutosten takia. Herkkyys liittyy etenkin lajin ekofysiologisiin toleranssirajoihin. (3) Lajien sopeutumiskyky

määrää lajien kyvyn mukautua ilmastonmuutokseen nykyisellä alueella tai niiden leviämismahdollisuudet uusille alueille. Tämä vaihtelee tiettyjen lajiominaisuuksien, kuten dispersaali- ja populaatioiden fenotyyppisen joustavuuden mukaisesti. Useiden näkökulmien rinnakkainen tarkastelu on tärkeää, sillä lajit voivat olla ilmastonmuutokselle haavoittuvia eri seikkojen perusteella.

Lajien haavoittuvuusarvioiden kanssa rinnakkain tulee tarkastella muitakin suojelualueverkoston toimivuuteen liittyviä uhkatekijöitä. Tämä siksi, että erilaiset uhkatekijät voivat voimistaa toistensa haittavaikutuksia. Lajiarviointeihin oleellisesti kytkeytyviä muita tekijöitä ovat suojelualueiden biogeofysikaaliset tekijät (luku 4.5.), ekologiset leviämiskäytävät (luku 4.3.5.) ja suojelualueiden välialueet (luku 6). Esimerkiksi levinneisyyskyvyltään keskinkertaiset lajit, joille ennustetaan huomattavia esiintymisalueiden muutoksia ja joiden esiintymät ovat pienikokoisilla, topografisesti yksipuolisilla suojelualueilla ihmistoiminnan voimakkaasti muuttamassa maisemassa, ovat eri tekijöiden yhdysvaikutusten johdosta huomattavan haavoittuvia.

Keskeisiä tutkimusteemoja, jotka käsittelevät lajien haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle, ovat muun muassa seuraavat:

- Kuinka voimakkaita ilmastonmuutoksen ennustetut vaikutukset ovat erilaisten suojelullisesti merkittävien lajien ja lajiryhmien levinneisyyteen ja suojelualueiden lajesiintymiin? Missä määrin nykyiset suojelualueiden esiintymät ovat vaarassa hävitä ilmastonmuutosten takia?
- Minkälaisia ovat havaitut lajistomuutokset Suomen luonnonsuojelualueilla ja miten ne kytkeytyvät viimeaikaiseen ilmastonmuutokseen? Miten esimerkiksi suojelualueiden suot ovat pystyneet säilyttämään niille ominaista perhoslajistoa?
- Miten hyvin suojelullisesti merkittävät lajit pystyvät leviämään uusille (suoja) alueille ja kolonisoimaan ne? Miten hyvin erilaiset lajit pystyvät käyttämään ekologisia käytäviä tai leviämään ihmisvaikutteisen maisemamatriisin kautta?
- Onko ennusteiden mukaisilla tulevaisuuden suotuisilla alueilla lajeille riittävästi elinympäristöiltään sopivia luonnonsuojelualueita?
- Mitkä lajien ekologiset ominaisuudet tekevät niistä erityisen haavoittuvia ilmastonmuutoksen vaikutuksille? Onko joissakin lajiryhmissä suhteessa enemmän haavoittuvia lajeja kuin toisissa? Keskittyvätkö ilmastonmuutokselle haavoittuvien lajien esiintymät joillekin alueille tai johonkin osaan suojelualueverkostoa? Mikä on runsaasti kriittisiä lajeja sisältävien alueiden ja niiden lähiympäristön laatu ja suojelutilanne?
- Missä määrin suojelualueet toimivat eteläisten, levittäytyvien lajien sillanpääasemina, ja mikä merkitys suojelualueilla on uusille, levittäytyville direktiivilajeille tai muille suojelullisesti merkittävillä lajeilla?
- Kuinka paljon vieraslajit uhkaavat alkuperäistä lajistoa suojelualueilla? Keskittyvätkö nämä uhat tietyille alueille Suomessa tai tietyntyyppisiin suojelualueisiin?

Käytännössä lajien uhkatekijöiden tarkasteluissa joudutaan usein keskittymään ensisijassa vain osaan lajiryhmistä; valintaa ohjaa paitsi saatavilla olevien tutkimusaineistojen laajuus, myös luonnonsuojeluarviointien ja erilaisten kansallisten selvitysten tarpeet. Esiselvityksen yhteydessä järjestetyssä työpajan ennakkotehtävässä pyydettiin asiantuntija-arvioita siitä, mitkä lajiryhmät ovat ilmastonmuutoksen tutkimuksessa tärkeimpiä. Vastauksissa priorisoitiin putkilokasveja, lintuja ja perhosia lajiryhminä, joihin tutkimusta tulisi luonnonsuojelusuunnittelun näkökulmasta erityisesti kohdistaa.

9.2.2 Luontotyypit ja ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia suojelualueiden luontotyyppeihin ja niiden levinneisyyteen on ennustettu enimmäkseen kolmen mittakaavaltaan eritasoisen mallinnusmenetelmän avulla. Suurpiirteisimpiä ennusteita ovat laaja-alaisten kasviekosysteemien (biomien), kuten havumetsän, levinneisyysmuutosten simuloinnit prosessipohjaisten kasvillisuusmallien avulla (katso luku 4.4.). Näillä voidaan arvioida erilaisten biomien kehittymistä uusille alueille ilmastonmuutoksen myötä ja verrata ennusteita suojelualueiden nykyisiin kasviekosysteemeihin. Yksittäisten luontotyyppien (esimerkiksi palsasuoit; Fronzek ym. 2006) levinneisyyden muutoksia on ennustettu myös bioklimaattisten mallien kaltaisilla korrelatiivisilla malleilla. Näillä malleilla saadaan ennusteita siitä, missä luontotyyppien esiintyminen voi taantua ja missä ovat uudet suotuisat alueet. Kolmas lähestymistapa on mallintaa yksittäiset lajit erikseen ja yhdistää sitten niiden ennusteet lajityhteisöiksi.

Kaikissa näissä mallinnusmenetelmissä on omat rajoitteensa, mutta siitä huolimatta eri mallinnustyöt ovat tuottaneet hyödyllisiä ennusteita ilmastonmuutokselle herkistä elinympäristöistä. Ilmastonmuutokselle herkät elinympäristöt sijoittuvat usein alueellisten ilmastogradienttien (lämpötila, sademäärä, kosteusolot) reunaosiin, joissa muutokset sääoloissa voivat johtaa paikallisten luontotyyppien taantumiseen ja häviämiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi tietyt tunturien luontotyypit (Björk & Molau 2007), mutta toisaalta myös ilmastonmuutoksen epäsuorille vaikutuksille alttiit gradienttien reunaosien luontotyypit, kuten meriveden nousun uhkaamat rantojen luontotyypit (Clausen & Clausen 2014). Asiantuntijaryhmien, kuten Suomessa Luontotyyppien uhanalaisuus (LuTU) -työryhmien, arviot ilmastonmuutokselle herkistä luontotyypeistä ovat myös arvokkaita. Kaikista näistä lähteistä saatua tietoa yhdistelemällä voidaan tuottaa monipuolisia arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista erilaisiin elinympäristöihin Suomessa. Esiselvityksen yhteydessä järjestetyssä työpajassa tunturit, suot, metsät, rannikkoalueet ja sisävedet tunnistettiin elinympäristöiksi, joihin ilmastonmuutostutkimusta tulisi luonnonsuojelusuunnittelun näkökulmasta erityisesti kohdistaa.

Luontotyyppien ja ilmastonmuutoksen keskeisiä tutkimusteemoja ovat seuraavat:

- Mitkä elinympäristöjen ja luontotyyppien ominaispiirteet (rakenne, toiminta, vuorovaikutussuhteet) vaikuttavat kriittisesti niiden herkkyyteen ilmastonmuutoksen vaikutuksille sekä niiden kykyyn sopeutua muuttuvaan ilmastoon?
- Miten ilmastonmuutos vaikuttaa elinympäristöjen ja luontotyyppien levinneisyyteen ja suojelualueilla sijaitseviin esiintymiin? Keskittyvätkö voimakkaat ennustetut muutokset johonkin osaan Suomea tai tiettyntyyppiin suojelualueisiin?
- Miten suojelualueiden ympäröivä maankäyttö vaikuttaa elinympäristöjen ja luontotyyppien säilymiseen muuttuvassa ilmastossa?
- Miten metsien puulajisuhteiden muutokset tulevat vaikuttamaan suojelualueiden metsäisten luontotyyppien rakennepiirteisiin ja lajityhteisöihin?
- Mitkä ovat keskeisimmät ilmastonmuutokseen liittyvät epäsuorat vaikutukset, jotka voivat aiheuttaa merkittäviä muutoksia elinympäristöissä ja luontotyypeissä?

9.2.3 Suojelualueiden biogeofysikaalisten tekijöiden merkitys muuttuvassa ilmastossa

Luonnonsuojelualueiden ja niiden lähiympäristön biogeofysikaalisten piirteiden tarkastelu tarjoaa merkittävän näkökulman, kun arvioidaan suojelualueiden haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle. On tärkeää huomata, että tietyt alueiden piirteet voivat voimistaa lajien ja luontotyyppien lähtökohtaista haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle. Hyödyllisiä biogeofysikaalisia piirteitä ovat muun muassa suojelualueiden pinnanmuotojen vaihtelu (topografia), maanpeite, elinympäristötyypit, maaperä ja pienilmastolliset refugiot. Suojelualueiden ominaispiirteiden tarkastelun taustalla on ajatus, että biogeofysikaalisilta piirteiltään edustavat ja monipuoliset suojelualueet ylläpitävät monimuotoisia lajiryhmiä ja merkittäviä lajipopulaatioita, niin nykytilanteessa kuin tulevaisuudessa (Beier & Brost 2010).

Suojelualueiden puskurointikykyä voidaan arvioida tiettyjen paikallisen ja alueellisen ilmaston piirteiden perusteella, etenkin ilmastonmuutoksen nopeuden (climate change velocity; Loarie ym. 2009) näkökulmasta, sekä sen perusteella missä määrin suojelualueella esiintyy pienilmastollisia refugioita. Voidaan tarkastella myös alueen topografista monimuotoisuutta ja siihen liittyvää paikallisen ilmaston ja luontotyyppien vaihtelua. Keskeisenä ajatuksena on, että pinnanmuodoiltaan voimakkaasti vaihtelevat suojelualueet ovat paremmin puskuroituneita muuttuvassa ilmastossa kuin tasamaastossa sijaitsevat suojelualueet. Kun tarkastellaan alueellista suojelualueiden verkostoa kokonaisuutena, voidaan tutkia sitä miten hyvin se kattaa erilaiset paikalliset ilmastot ja erilaiset elinympäristöt nyt ja tulevaisuudessa. Lisäksi kriittisinä biogeofysikaalisina tekijöinä voidaan käyttää suojelualueiden kokoa (kuinka hyvin suojelualue on puskuroitunut lähiympäristön vaikutuksilta), ihmistoiminnan voimakkuutta ympäröivillä alueilla sekä paikallisen suojelualueverkoston tai tiettyjen keskeisten luontotyyppien kytkeytyvyyttä.

Keskeisiä tutkimusteemoja ovat muun muassa seuraavat:

- Minkälaisia aineistoja ja menetelmiä tarvitaan, jotta voidaan tuottaa koko Suomen kattavia karttatarkasteluja siitä, mikä on alueellinen ilmastonmuutoksen nopeus (climate velocity) maan eri osissa ja eri ilmastoskenaarioiden perusteella? Ovatko jonkun alueen suojelukohteet suhteessa enemmän uhattuina ilmastonmuutoksen nopeuden takia kuin suojelualueet keskimäärin?
- Minkälaisia menetelmiä ja ilmastoaineistoja tarvitaan, että voidaan arvioida yksittäisten suojelualueiden topografista ja pienilmastollista puskurointikykyä ilmastonmuutosta vastaan? Kuinka tarkkoja aineistoja tarvitaan, jotta voidaan tunnistaa suojelualueilla mahdollisesti esiintyvät pienilmastolliset refugiot? Voisiko pienilmastolliset refugiot tunnistaa alueen pinnanmuotojen perusteella?
- Millä tavoin ja minkälainen topografinen monipuolisuus auttaa lajien selviytymistä muuttuvassa ilmastossa?
- Kuinka usein topografinen monipuolisuus on otettu huomioon suojelualueiden valinnassa? Kuinka tehokkaasti pinnanmuodoiltaan yksipuolisten suojelualueiden monipuolisuutta voidaan parantaa liittämällä niihin topografisesti vaihtelevia lähialueita?
- Mikä on lähiympäristön maankäytön merkitys suojelukohteiden puskurointikykyille, etenkin pienikokoisilla ja topografisesti yksipuolisilla suojelukohteilla?
- Keskittyvätkö erilaiset suojelualueiden biogeofysikaaliset riskitekijät tiettyntyyppisille suojelualueille ja tietyille alueille Suomessa, jolloin uhkatekijät todennäköisesti voimistavat toisiaan?

9.2.4 Suojelualueiden ulkopuolinen maankäyttö ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Maankäyttö vaikuttaa erittäin paljon suojelualueiden ulkopuoliseen maisemamatriisiin ja esimerkiksi siihen, miten läpäisevä se on lajien leviämisen kannalta. Maankäytön muutokset voivat tapahtua nopeasti ja niillä voi olla yhdysvaikutuksia ilmastonmuutoksen kanssa (Virkkala 2016). Ympäröivien alueiden maankäyttö muutoksineen vaikuttaa monin tavoin myös suojelualueiden ekosysteemipalveluihin esimerkiksi maisematason toiminnallisen monimuotoisuuden (functional diversity) kautta (luku 7). Yhtenä keskeisenä sopeutumiskeinona kyseeseen tulevat erikokoiset arvokkaiden luontoalueiden puskurialueet ja toisaalta suojelualueiden välialueiden läpäisevyyden parantaminen esimerkiksi puuston rakennepiirteiden tai ekologisten yhteyksien avulla (luku 4.) Ekologisen yhtenäisyyden kannalta esitetyt parannusehdotukset suojelualueiden pinta-alan lisäämiseksi ja niiden sisältämien elinympäristötyyppien monipuolistamiseksi (Keto-Tokoi & Kotiaho 2013) edistävät myös sopeutumista ilmastonmuutokseen (luku 4). Suojelualueverkoston kattavuus vaihtelee eri metsäkasvillisuusvyöhykkeissä. Suojelualueverkoston valtakunnallisen tarkastelun oheen tarvitaankin maakunnallisia tai kasvillisuusvyöhykkeisiin perustuvia tarkasteluja.

Metsäsektorin strategioissa ja ohjeistuksissa Suomi nähdään ilmastonmuutoksen nettohyötyjänä puuston lisääntyvän kasvun vuoksi (Maa- ja metsätalousministeriö 2014; Valtioneuvosto 2015). Toisaalta laaja tutkimuksellinen pohja metsien käsittelyn ja eri ilmastotekijöiden kokonaisvaikutuksista puuttuu edelleen (Seppälä ym. 2015). Monimuotoisuuden turvaamista osana ilmastonmuutokseen sopeutumista tai sen hillintää ei ole tarkasteltu juuri lainkaan strategia- tai suositustasolla (luku 3). Monet metsänhoitosuosituksissa (esimerkiksi Päivinen ym. 2011; Äijälä ym. 2014) esiteltyt monimuotoisuutta turvaavat keinot ja uudentyyppiset metsänhoitomenetelmät, kuten jatkuva kasvatusta (metsälain eri-ikäisrakenteinen metsänkasvatusta), voivat merkittävästi hyödyttää ilmastonmuutokseen sopeutumisessa. Monimuotoisuuden turvaamisen ja metsänhoidon yhteistarkastelu voisi tuoda monia synergiahyötyjä metsä- ja ympäristösektoreille. Ilmastonmuutoksen hiili- ja vesistövaikutuksiin ei ehkä vielä osata kiinnittää riittävästi huomiota käytännön metsänhoidon ohjeistuksessa. Etenkin monimuotoisuustoimien vuoksi lisääntyvän maaperähiilen kautta saatavia hyötyjä voitaisiin korostaa enemmän. Monimuotoisuuden turvaaminen tulisi ottaa Suomen ilmastopaneelissa yhdeksi tarkasteltavaksi teemaksi, josta olisi tarkoituksenmukaista tehdä erillinen yhteenveto.

Keskeisiä tutkimusteemoja ovat muun muassa seuraavat:

- Ilmastonmuutoksen ja maankäytön yhdysvaikutuksista tarvitaan lisää tietoa eri eliöryhmistä ja tilamittakaavoissa. Esimerkiksi mikä on biotalouden kasvun myötä lisääntyvien hakkuiden ja muun maankäytön yhdysvaikutus ilmastonmuutokseen sopeutumisessa lajien ja luontotyyppien kannalta?
- Miten ilmastonmuutoksen ennakoitavat vaikutukset, lajiston mahdollisuudet sopeutua, lajistopooli, johon muutos kohdistuu, sekä sopeutumisen keinovalikoima vaihtelevat maan eri osissa?
- Millaisin metsänkäsittelyn ja vesiensuojelun keinoin tuetaan parhaiten ilmastonmuutokseen sopeutumista ja monimuotoisuuden turvaamista suojelualueverkoston ulkopuolisissa talousmetsissä? Voiko metsien jatkuva kasvatusta (metsälain eri-ikäisrakenteinen metsänkasvatusta) ja metsäpeitettyä ylläpitävä metsätalous (continuous cover forestry) yhdessä suojelualueverkoston kehittämisen kanssa hidastaa ilmastonmuutoksen ja metsätalouden negatiivisia vaikutuksia metsälajistoon?

- Miten monimuotoisuuden turvaamista, suojelualueverkostoa ja ilmastonmuutokseen sopeutumista voidaan tarkastella tasapuolisesti maankäytön suunnittelussa ja edistää luonnonvarojen käytön ohjauskeinoissa?
- Kuinka nykyistä suojelualueverkostoa tulisi kehittää eri puolilla maata yhdessä ympäröivien alueiden maankäytön kanssa siten, että saavutetaan mahdollisimman suuri hyöty ilmastonmuutokseen sopeutumisessa ja muutoksen hillinnässä?

9.2.5 Ekosysteemipalvelut

Luonnon monimuotoisuus, ekosysteemiprosessit ja ekosysteemipalvelut muodostavat laajan kokonaisuuden, joten on tärkeää rajata tarkastelua muutamaa suojelualueverkoston ja ilmastonmuutoksen kannalta keskeisimpään osakokonaisuuteen. Aiemmissa tutkimuksissa on tunnistettu etenkin säätely- ja kulttuuripalveluiden synergiat luonnon monimuotoisuuden suojelun kanssa (Anderson ym. 2009; Maes ym. 2012), joten keskittyminen niihin on luontevaa. Tässä esiselvityksessä (luku 7) korostui neljä aihepiiriä, joiden tarkempi tarkastelu tarjoaisi uusia suojelunäkökulmia ja olisi hyödyllistä ja tieteellisesti kiinnostavaa: 1) funktionaalisen diversiteetin eli toiminnallisen monimuotoisuuden tutkimus ja sitä kuvaavien kaukokartoituksen avulla saatavien EBV-muuttujien kehittäminen, 2) hiilitaseiden, albedon ja aerosolien tutkimus, 3) ravintetaseiden tutkimus, sekä 4) luonnon virkistyskäytön tutkimus. Vaikka tarkastelun pääpaino on ollut suojelualueiden ekosysteemipalveluiden tarkastelussa, alla listataan myös muita tutkimusteemoja, joita olisi hyödyllistä tutkia suojelualueverkoston ulkopuolella. Tarkempia tutkimuskysymyksiä ovat esimerkiksi seuraavat:

Funktionaalinen diversiteetti, kaukokartoitus ja EBV:t

- Miten toiminnallinen monimuotoisuus voitaisiin tunnistaa, luokitella ja mitata esimerkiksi kaukokartoitussovellusten avulla? Voiko Essential Biodiversity Variables (EBV) -tyyppinen (Pereira ym. 2013) biodiversiteetin jaottelu eri kategorioihin edistää suojelualueverkoston ja sen ulkopuolisen monimuotoisuuden monitorointia?
- Mikä on toiminnallisen monimuotoisuuden merkitys ekosysteemipalveluiden eli ekosysteemiprosessien, kuten hiilenkierron, ravinteiden pidättymisen ja siitä johtuvan vedenlaadun paranemisen tuotannossa? Pitäisikö toiminnallisen monimuotoisuuden suojele nostaa suojelualueiden ulkopuolisten vihreän infrastruktuurin alueiden johtavaksi käyttöperiaatteeksi?
- Voidaanko toiminnallisen monimuotoisuuden kautta saavuttaa merkittäviä taksonomisen diversiteetin suojelun hyötyjä? Miten toiminnallinen monimuotoisuus edistää ilmastonmuutokseen sopeutumista?
- Ilmaston lämmetessä lajisto muuttuu ja samalla yhteisöjen toiminnallinen diversiteetti. Miten suojelualueverkosto turvaa avainlajien ja luontotyyppien, kuten vanhojen, mustikkatyyppin kuusikoiden säilymisen niin, että niiden lajiston funktionaalinen diversiteetti säilyy, vaikka lajikoostumus muuttuu?

Hiilivarastot ja hiilen sidonta

- Ekosysteemit säätelevät ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuutta sitomalla hiiltä kasvillisuuteen ja maaperään. Luonnonsuojelualueiden roolia ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeutumisessa ei ole selvitetty kattavasti Suomessa. Kivennäismaiden metsien hiilivarastot ja varaston muutokset voidaan kartoittaa pääosin luotettavasti nykyisillä laskentamalleilla.
 - Mikä on nykyisen suojelualueverkoston kyky hillitä ilmastonmuutosta?

- Mikä on erityisesti vanhojen, havupuuvaltaiten metsien sekä turvemaiden rooli hiilensidonnassa ja ilmastonmuutoksen hillinnässä?

Albedo

- Albedolla eli heijastavuudella on tärkeä merkitys ilmakehän lämpötilouden kannalta. Eri maankäyttö- ja kasvillisuustyyppien albedo eli heijastavuus vaihtelee suuresti. Esimerkiksi lehtipuuvaltaiset sekametsät heijastavat enemmän säteilyä ilmakehään kuin puhtaat havumetsät.
 - Miten suojelualueiden albedo vaihtelee ja millä luontotyypeillä on suurin ilmastoa viilentävä vaikutus?

Aerosolit

- Metsien haihtuvat orgaaniset yhdisteet osallistuvat aerosolien muodostamiseen ilmakehässä. Aerosolit vaikuttavat pilvien muodostumiseen ja ilmakehän säteilytaseeseen.
 - Mitä tiedetään eri puulajien tuottamien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vaikutuksista ilmakehän säteilytaseeseen ja lämpötilouteen?
 - Miten eri luontotyypit vaikuttavat ilmakehän säteilytaseeseen ja lämpötilouteen aerosolien välityksellä?

Ravinteiden huuhtouma, veden laadun säätely

- Ilmaston lämpeneminen ja muutokset sademäärissä uhkaavat lisätä ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin kiihtyvän orgaanisen aineksen hajoamisen ja kasvavan valunnan seurauksena. Tällöin esimerkiksi juomaveden laatu voi heiketä ja vesistöjen virkistyskäyttömahdollisuudet huonontua. Vesistöjen rehevöityminen uhkaa myös suojeltujen lintuvesien vesilintulajeja.
 - Mikä on nykyisen suojelualueverkoston rooli pinta- ja pohjavesien laadun säätelyssä? Miten valuma-alueiden ravinnetaseet (erityisesti typpi) ja luonnon monimuotoisuus ovat kytköksissä toisiinsa?
 - Miten ympäröivä maankäyttö vaikuttaa suojelualueiden veden laatuun ja vesilintulajistoon?

Luontomatkailu ja luonnon virkistyskäyttö

- Metsätalouden seurauksena syntyy tiheitä nuoria istutusmetsiä, joiden virkistyskäyttöarvo on heikko esimerkiksi marjastukselle tai metsässä liikkumiselle. Ilmastonmuutos ja typpilaskeuma lisäävät kasvillisuuden tihentymistä talousmetsissä entisestään. Suojelualueet muodostuvat entistä tärkeämmäksi virkistyskäytön kannalta. Miten suojelualueiden virkistyskäyttöarvo muuttuu ilmaston muuttuessa ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat?
- Mikä on suojelualueverkoston merkitys ylläpitää virkistyskäytön, kuten metsästyksen, kannalta tärkeitä lajeja metsoa ja riekkoa, ja kyky toimia keskeisenä vesilintujen poikastuottoalueina ilmaston muuttuessa? Useiden vesilintulajien (esimerkiksi haapana, tavi, tukkasotka, telkkä, koskelot) suurimmat populaatiot Euroopassa ovat juuri Suomessa.
- Kuinka suojelualueiden väliset vihreän infrastruktuurin alueet tulisi valita, jotta ne tukisivat myös luontomatkailua ja virkistyskäyttöä? Mitkä ovat luonnontieteelliset ja hallinnolliset/juridiset edellytykset? Kuinka alueet eroaisivat muusta tuotantoon varatusta maankäytöstä?

- Minkälaisia luonnonhoitokeinoja pitäisi käyttää taloudelliseen tuotantoon varuilla alueilla, jotta ne tukisivat suojelualueverkostoa ekosysteemipalveluiden, erityisesti luonnon virkistyskäytön ja saavutettavuuden näkökulmasta?
- Miten päätöksentekoa tukevia työkaluja (esimerkiksi Holmberg ym. 2015) voitaisiin kehittää useiden ekosysteemipalveluiden yhtäaikaiseen tarkasteluun ja tiedon visualisointiin?

9.2.6 Valtakunnan rajat ylittävät ekologiset yhteydet

Suomen metsien monimuotoisuus, erityisesti vanhojen metsien lajien osalta, saa täydennystä Fennoskandian vihreällä vyöhykkeellä säilyneistä luonnontilaisen kaltaisista metsistä. Maankäytön muutokset - kuten metsänhakuut - Venäjällä vaikuttavat myös Suomen luonnon monimuotoisuuteen. Ilmaston muuttuessa lajiston on tarpeen sopeutua vallitseviin olosuhteisiin siirtymällä uusille alueille. Tämän vuoksi ekologiset yhteydet etelästä pohjoiseen, ja Lapin arktis-alpiiniset yhteydet, on erityisen tärkeä turvata. Suojelualuesuunnittelun ja maankäytön suunnittelun tueksi tarvitaan kuitenkin tutkimustietoa ekologisten käytävien toimivuudesta.

Keskeisiä tutkimusteemoja ovat muun muassa seuraavat:

- Kuinka hyvin erilaiset valtion rajat ylittävät ekologiset käytävät toimivat eri lajiryhmien liikkumis- ja kolonisaatiokanavina muuttuvassa ilmastossa? Miten hyvin kytkeytyneitä ekologiset käytävät oikeastaan ovat, ja mille lajiryhmille? Missä ovat mahdolliset pullonkaulat?
- Kuinka hyvin valtakunnan rajat ylittävät ekologiset yhteydet toimivat suojelullisesti tärkeiden vanhojen metsien lajiston turvaamisessa?
- Missä Suomen itäosissa Fennoskandian vihreällä vyöhykkeellä kannattaa priorisoida uusien suojelualueiden perustamista, ennallistamista, sekä tuoda tietoa maankäytön suunnitteluun, mm. maakuntakaavoitukseen?

9.2.7 Luonnonsuojelualueiden hoito ja ennallistaminen muuttuvassa ilmastossa

Luonnonsuojelualueverkoston kehittäminen ja suojelualueiden hoidon suunnittelu on muuttuvassa ilmastossa haasteellista, koska siinä pitää huomioida sekä nopeasti etenevät muutokset että malliennusteisiin liittyvät epävarmuudet (Heller & Zavaleta 2009). Lisäksi erilaisiin toimiin liittyy voimakkuudeltaan eritasoisia epävarmuuksia (Lawler ym. 2010), paikoin ristikkäisiä vaikutuksia eri lajiryhmien välillä (Thomas & Gillingham 2015) ja yksittäisten hoitokeinojen vaikutukset voivat vaihdella eri maantieteellisten alueiden välillä (Lawler ym. 2010). Näiden epävarmuuksien johdosta on suositeltavaa, että ilmastomuutoksen huomioiva alueiden hoito- ja suojelusuunnittelu toteutetaan joustavasti muunneltavana 'sopeutuvana suunnitteluna'. Valtaosa tällaisen suojelusuunnittelun suosituksista on yleisluonteisia toimia: esimerkiksi suojelualueiden koon ja kytkeytyvyyden kasvattaminen, refugioiden suojelu sekä muiden uhkatekijöiden hallinta, kuten vieraslajien poisto. Suojelualueiden puskuri-vyöhykkeillä on merkitystä etenkin yksipuolisilla ja vesitaloudeltaan herkillä suojelukohteilla (Galatowitsch ym. 2009). Lajien ja lajiyhteisöjen sopeutumiskykyä voidaan kasvattaa laajentamalla suojelualueita siten, että niiden topografinen ja elinympäristöllinen monipuolisuus kasvaa (Heller & Zavaleta 2009; Thomas & Gillingham 2015). Monipuolisilla suojelualueilla voidaan soveltaa sekä toimenpiteitä, jotka tukevat alueelle leviäviä lajeja (paisterinteet), että ylläpitää taantuvien lajien populaatioita (varjoisat notkelmat ja rinteet) (Thomas & Gillingham 2015).

Suojelusuunnittelu- ja hoitotoimiin liittyvien epävarmuuksien takia on tärkeää, että suunnittelua ei rakenneta pelkästään yhden kriteerin varaan ja että lajitason suojelusuunnittelu tähtää erilaisten joustavien hoitostrategioiden kehittämiseen (Mawdsley 2011). Tietyt suojelustrategiat ovat ilmastonmuutoksen näkökulmasta ”turvallisempia” kuin toiset, etenkin yleisluonteiset toimenpiteet kuten suojelualueiden laajentaminen. Sen sijaan monipolvisiin malliennusteisiin perustuvat toimenpidesuunnitelmat tulisi toteuttaa varovaisemmin niiden sisältämien epävarmuuksien takia (Lawler ym. 2010; Gillson ym. 2013).

Keskeisiä tutkimusteemoja ovat muun muassa seuraavat:

- Minkälaiset suojelusuunnittelu- ja hoitotoimet sopivat todennäköisesti parhaimmin suojelualueiden ominaispiirteiden (esimerkiksi topografisesti yksipuoliset vs. monipuoliset kohteet) ja ympäröivän maiseman ominaisuuksien (esimerkiksi maisemamatriisiin läpäisevyys huono vs. hyvä, suojelualueverkoston laajuus) suhteen erilaisiin tapauksiin? Mitkä suunnittelu- ja hoitosuosituksot soveltuvat varmimmin useisiin tilanteisiin?
- Minkä tyyppisillä hoitotoimilla voidaan auttaa uusien, suojellisesti merkittävien lajipopulaatioiden syntymistä suojelukohteille? Mitkä hoitotoimet taas saattavat johtaa eri lajiryhmien välillä ristikkäisiin, osin haitallisiin, vaikutuksiin?
- Miten malliennusteisiin pohjautuvien suojelu- ja hoitosuunnittelusuositusten epävarmuuksia voidaan parhaiten kontrolloida ja niiden käyttövarmuutta parantaa?

9.2.8 Kohti ilmastoviisasta luonnonsuojelua

Suojelualuesuunnittelussa ei ole perinteisesti varauduttu voimakkaisiin dynaamisiin muutoksiin. Vielä 2000-luvun taitteeseen saakka luonnonsuojelusuunnittelussa ja -arvioinneissa suojelualueiden merkittävät luontopiirteet käsiteltiin etupäässä ’paikalleen sidottuina’ staattisina tai muuten vähän vaihtelevina elementteinä (Tingley ym. 2014; Lawler ym. 2015; Thomas & Gillingham 2015). Ilmastonmuutoksen vaikutukset suojelualueiden luontoon voivat kuitenkin olla hyvinkin nopeita ja niin merkittäviä, että tarvitaan sopeutuvaa, muutosten ennakointiin perustuvaa suojelusuunnittelua. Valmiita vastauksia tai parhaita käytäntöjä ei vielä ole.

Ilmastonmuutoksen näkökulmasta suojelualueilla on tärkeä rooli sekä ilmastonmuutoksen hillinnässä että siihen sopeutumisessa. Koska suojelualueet ovat muutuvan maankäytön ulkopuolella, niiden ekosysteemien hiilivarastot ja hiilinielut todennäköisesti säilyvät tulevaisuudessakin, vaikka osa hiilensitojista voikin vaihtua.

’Ilmastoviisas luonnonsuojelu’ (climate-smart conservation) voidaan nähdä prosessina, jossa ilmastonmuutoksen vaikutukset otetaan suunnitelmallisesti huomioon suojelutoimenpiteissä (esimerkiksi Stein ym. 2014; Londono ym. 2016). Siihen tarvitaan tietoa erityisesti lajien ja luontotyyppien herkkyydestä ilmastonmuutokselle. Näiden herkkyyksien tunnistaminen auttaa erilaisten sopeutumisvaihtoehtojen tunnistamisessa ja tarvittavien ja käyttökelpoimpien sopeutumistoimien valinnassa. Suojelualueverkoston arviointi ilmastonmuutoksen näkökulmasta on yksi askel kohti ilmastoviisasta luonnonsuojelua.

Tutkimusten tulosten perusteella voidaan tehdä ehdotuksia siitä, millä tavalla suojelualueverkostoa pitäisi kehittää. Ehdotukset voivat perustua lajiston, luontotyyppien ja suojelualueiden ominaispiirteiden erillisiin tutkimuksiin sekä niitä yhdistäviin analyysihin. Lisäksi ehdotukset voivat sisältää erilaisia alueellisia suojelusuunnittelun priorisointiarviointeja. Tulosten pohjalta on mahdollista käynnistää suunnittelu valtakunnallisesti merkittävien viheryhteyksien kehittämiseksi ja arvokkaimpien

aluekokonaisuuksien säilyttämiseksi muuttuvassa ilmastossa perustuen laajaan keinovalikoimaan (mm. talousmetsien luonnonhoito, soiden ennallistaminen, suojelu). Tuloksia voidaan käyttää myös tarkempien, ilmastoviisaiden suojeluohjelmien valmistelun pohjana. Tavoitteena tulisi olla 'sopeutuva suojelualueverkosto' niin, että suojelualueverkoston avulla voitaisiin entistä paremmin sopeutua ilmastonmuutokseen ja sen vaikutuksiin Suomen luonnossa.

Viitteet luvuittain

1. Tausta ja tavoitteet

- Aapala, K. (toim.) (2001) Soidensuojelualueverkon arviointi. Suomen ympäristö, 490,1-285.
- ACIA (2005) Arctic climate impact assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- European Commission (2011) Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. Commission of the European Communities. COM(2011)244 final. 17 p., Brussels.
- Heikkinen, R., Punntila, P., Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2000) Suojelualueverkon merkitys metsäläjistölle: lehtojen putkilokasvit, metsien lahoppukuoriaiset, havu- ja sekametsien linnut. Suomen ympäristö, 440, 1-128.
- Post, E., M. C. Forchhammer, M. S. Bret-Harte, T. V. Callaghan, T. R. Christensen, B. Elberling, A. D. Fox, O. Gilg, D. S. Hik, T. T. Høye, R. A. Ims, E. Jeppesen, D. R. Klein, J. Madsen, A. D. McGuire, S. Rysgaard, D. E. Schindler, I. Stirling, M. P. Tamstorf, N. J. C. Tyler, R. van der Wal, J. Welker, P. A. Wookey, N. M. Schmidt, and Aastrup, P. (2009) Ecological Dynamics Across the Arctic Associated with Recent Climate Change. *Science*, 325,1355-1358.
- Toivonen, H., Leikola, N. & Kallio, M. (2004) Sisävesien suojelualueverkon edustavuuden arviointia: järvien ja ranta-alueiden määrä, vedenlaatumuuttajat ja uhanalaiset lajit. Suomen ympäristö, 713, 1-113.
- Valtioneuvosto (2012) Valtioneuvoston periaatepäätös Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestäväen käytön strategiasta vuosiksi 2012–2020, Luonnon puolesta – ihmisen hyväksi. Valtioneuvosto 20.12.2012. 23 s.
- Virkkala, R., Korhonen, K.T., Haapanen, R. & Aapala, K. (2000) Metsien ja soiden suojelutilanne metsä- ja suokasvillisuusvyöhykkeittäin valtakunnan metsien 8. inventoinnin perusteella. Suomen ympäristö, 395,1- 49.
- Ympäristöministeriö (2013) Luonnon puolesta – ihmisen hyväksi. Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestäväen käytön toimintaohjelma 2013–2020 (http://www.ymp.fi/fi-fi/Luonto/Luonnon_monimuotoisuus/Strategia_ja_toimintaohjelma). 102 s.

2. Ennustetut muutokset Suomen ilmastossa

- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J. & Fronzek, S. (2012) Ilmasto muuttuu Suomessa. Teoksessa: Reija Ruuhela (toim.) 2012. Miten väistämättömään ilmastomuutokseen voidaan varautua? – yhteenvedo suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. MMM:n julkaisuja, 6/2011, 16-23.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksonen, A. (2014) Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 1521-1529.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. (2016a) Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51, 17-50.
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. (2016b) Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa, *Terra*, 2016:1, 3-15.
- SETU KLIM (2013) Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. Verkkoraportti. 29.10.2015. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H. & Venäläinen, A. (2010) Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology*, 30, 2247-2256.

3. Strategioiden ja toimintaohjelmien näkökulma luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen ja ilmastomuutokseen

- European Commission (2011) Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. Commission of the European Communities. COM(2011)244 final. 17 p., Brussels
- Hildén, M. & Mäkinen, K. (2013) Ympäristöministeriön hallinnonalan sopeutumisohjelman arviointi. Ympäristöministeriön raportteja, 3/2013, 1- 37.
- Hämäläinen, L. (2015) Pienvesien suojelu- ja kunnostusstrategia. Ympäristöministeriön raportteja, 27/2015,1- 69. Ympäristöministeriö ja Maa- ja metsätalousministeriö Luontoympäristöosasto.
- Laamanen, M. (toim.) (2016) Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma 2016–2021. Ympäristöministeriön raportteja, 5/2016, 1-198.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2014) Valtioneuvoston metsäpoliittinen selonteko 2050. VNS, 1/2014 vp.
- Olin, S. (toim.) (2013) Vesien kunnostusstrategia. Ympäristöministeriön raportteja, 9/2013, 1- 54.
- Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea (2014) Energia- ja ilmastotiekartta 2050 Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. päivänä lokakuuta 2014. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto, 31/2014, 1-73.
- Suomen biotalousstrategia (2014) Kestävää kasvua biotaloudesta, Suomen biotalousstrategia. 17s . www.biotalous.fi

- The Strategy for the development of the Green Belt of Fennoscandia until 2020 (2016) <http://www.ym.fi/download/noname/%7B040ADFAC-2075-4042-97D1-7E78015AB228%7D/120987>
- Valtioneuvosto (2012a) Kansallinen kalatierstrategia. Valtioneuvoston periaatepäätös 8.3.2012. 32 s.
- Valtioneuvosto (2012b) Valtioneuvoston periaatepäätös kansallisesta vieraslajistrategiasta. Valtioneuvosto 15.3.2012. 9 s.
- Valtioneuvosto (2012c) Valtioneuvoston periaatepäätös soiden ja turvemaiden kestävästä ja vastuullisesta käytöstä ja suojelusta. Valtioneuvosto 30.8.2012. 19 s.
- Valtioneuvosto (2012d) Valtioneuvoston periaatepäätös Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävästä käytön strategiasta vuosiksi 2012–2020, Luonnon puolesta – ihmisen hyväksi. Valtioneuvosto 20.12.2012. 23 s.
- Valtioneuvosto (2013) Suomen arktinen strategia 2013. Valtioneuvoston periaatepäätös 23.8.2013. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja, 14/2013, 1-64.
- Valtioneuvosto (2014a) Valtioneuvoston periaatepäätös Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelman jatkamisesta 2014–2025. Valtioneuvosto. 18 s.
- Valtioneuvosto (2014b) Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022. Valtioneuvoston periaatepäätös 20.11.2014. Maa- ja metsätalousministeriö 5/2014. 41 s.
- Valtioneuvosto (2015) Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015 Kansallinen metsästrategia 2025. Maa- ja metsätalousministeriö 6/2015. 54 s.
- Valtioneuvosto (2016) Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. 68 s.
- Ympäristöministeriö (2008) Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelma ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian toteuttamiseksi. Ympäristöministeriön raportteja, 20/2008, 1-73.
- Ympäristöministeriö (2011a) Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelman päivitys vuosille 2011–2012. Ympäristöministeriön raportteja, 18/2011, 1-47.
- Ympäristöministeriö (2011b) Toimintasuunnitelma uhanalaisten luontotyyppien tilan parantamiseksi. Suomen ympäristö, 15/2011, 1-112.
- Ympäristöministeriö (2013) Luonnon puolesta – ihmisen hyväksi. Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävästä käytön toimintaohjelma 2013–2020 (http://www.ym.fi/fi-fi/Luonto/Luonnon_monimuotoisuus/Strategia_ja_toimintaohjelma). 102 s.
- Ympäristöministeriö (2016) Uhanalaisten lajien suojelun toimintaohjelma. Ympäristöministeriö. 131 s

4. Suojelualueverkoston kattavuus ja toimivuus muuttuvassa ilmastossa – tutkimusmenetelmät ja suojelusuunnittelu

- Ackerly, D.D., Loarie, S.R., Cornwell, W.K., Weiss, S.B., Hamilton, H., Branciforte, R. & Kraft, N.J.B. (2010) The geography of climate change: implications for conservation biogeography. *Diversity and Distributions*, 16, 476-487.
- Araujo, M.B. & Luoto, M. (2007) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 743-753.
- Araujo, M.B. & New, M. (2007) Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 42-47.
- Araujo, M.B. & Peterson, A.T. (2012) Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93, 1527-1539.
- Araujo, M.B., Lobo, J.M. & Moreno, J.C. (2007) The effectiveness of Iberian protected areas in conserving terrestrial biodiversity. *Conservation Biology*, 21, 1423-1432.
- Araujo, M.B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogueira-Bravo, D. & Thuiller, W. (2011) Climate change threatens European conservation areas. *Ecology letters*, 14, 484-492.
- Araujo, M.B., Thuiller, W. & Pearson, R.G. (2006) Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33, 1712-1728.
- Araujo, M.B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L. & Williams, P.H. (2004) Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology*, 10, 1618-1626.
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D.T., Millán, A. & Sánchez-Fernández, D. (2012) Evaluating drivers of vulnerability to climate change: a guide for insect conservation strategies. *Global Change Biology*, 18, 2135-2146.
- Ashcroft, M.B. (2010) Identifying refugia from climate change. *Journal of Biogeography*, 37, 1407-1413.
- Ashcroft, M.B., Gollan, J.R., Warton, D.I. & Ramp, D. (2012) A novel approach to quantify and locate potential microrefugia using topoclimate, climate stability, and isolation from the matrix. *Global Change Biology*, 18, 1866-1879.
- Baker, D.J., Hartley, A.J., Burgess, N.D., Butchart, S.H.M., Carr, J.A., Smith, R.J., Belle, E. & Willis, S.G. (2015) Assessing climate change impacts for vertebrate fauna across the West African protected area network using regionally appropriate climate projections. *Diversity and Distributions*, 21, 991-1003.
- Bateman, B.L., Murphy, H.T., Reside, A.E., Mokany, K. & VanDerWal, J. (2013) Appropriateness of full-, partial- and no-dispersal scenarios in climate change impact modelling. *Diversity and Distributions*, 19, 1224-1234.
- Batllori, E., Miller, C., Parisien, M.-A., Parks, S.A. & Moritz, M.A. (2014) Is U.S. climatic diversity well represented within the existing federal protection network? *Ecological Applications*, 24, 1898-1907.

- Beale, C.M., Baker, N.E., Brewer, M.J. & Lennon, J.J. (2013) Protected area networks and savannah bird biodiversity in the face of climate change and land degradation. *Ecology Letters*, 16, 1061-1068.
- Beaumont, L.J., Hughes, L. & Poulsen, M. (2005) Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling*, 186, 250-269.
- Beaumont, L.J., Hughes, L. & Pitman, A.J. (2008) Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important? *Ecology letters*, 11, 1135-1146.
- Beier, P., Spencer, W., Baldwin, R.F. & McRae, B.H. (2011) Toward Best Practices for Developing Regional Connectivity Maps. *Conservation Biology*, 25, 879-892.
- Hacia Mejores Prácticas para Desarrollar Mapas de Conectividad Regional. *Conservation Biology*, 25, 879-892.
- Beier, P. & Brost, B. (2010) Use of Land Facets to Plan for Climate Change: Conserving the Arenas, Not the Actors. *Conservation Biology*, 24, 701-710.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. (2012) Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365-377.
- Berry, P.M., Rounsevell, M.D.A., Harrison, P.A. & Audsley, E. (2006) Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. *Environmental Science & Policy*, 9, 189-204.
- Björk, R.G. & Molau, U. (2007) Ecology of Alpine Snowbeds and the Impact of Global Change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 39, 34-43.
- Bocedi, G., Palmer, S.C.F., Pe'er, G., Heikkinen, R.K., Matsinos, Y.G., Watts, K. & Travis, J.M.J. (2014) RangeShifter: a platform for modelling spatial eco-evolutionary dynamics and species' responses to environmental changes. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 388-396.
- Bonan, G.B. (2008) Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320, 1444-1449.
- Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H. & Bollmann, K. (2013) Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*, 36, 971-983.
- Brost, B.M. & Beier, P. (2012) Use of land facets to design linkages for climate change. *Ecological Applications*, 22, 87-103.
- Buisson, L., Thuiller, W., Casajus, N., Lek, S. & Grenouillet, G. (2010) Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. *Global Change Biology*, 16, 1145-1157.
- Burns, C.E., Johnston, K.M. & Schmitz, O.J. (2003) Global climate change and mammalian species diversity in U.S. national parks. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 100, 11474-11477.
- Cabrelli, A.L., Stow, A.J. & Hughes, L. (2014) A framework for assessing the vulnerability of species to climate change: a case study of the Australian elapid snakes. *Biodiversity and Conservation*, 23, 3019-3034.
- Cahill, A.E., Aiello-Lammens, M.E., Fisher-Reid, M.C., Hua, X., Karanewsky, C.J., Yeong Ryu, H., Sbeglia, G.C., Spagnolo, F., Waldron, J.B., Warsi, O. & Wiens, J.J. (2013) How does climate change cause extinction? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280, 20121890. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.1890>.
- Carroll, C., Dunk, J.R. & Moilanen, A. (2010) Optimizing resiliency of reserve networks to climate change: multispecies conservation planning in the Pacific Northwest, USA. *Global Change Biology*, 16, 891-904.
- Carroll, C., Lawler, J.J., Roberts, D.R. & Hamann, A. (2015) Biotic and Climatic Velocity Identify Contrasting Areas of Vulnerability to Climate Change. *PLOS ONE*, 10, e0140486.
- Carvalho, S.B., Brito, J.C., Crespo, E.J. & Possingham, H.P. (2010) From climate change predictions to actions – conserving vulnerable animal groups in hotspots at a regional scale. *Global Change Biology*, 16, 3257-3270.
- Case, M.J., Lawler, J.J. & Tomasevic, J.A. (2015) Relative sensitivity to climate change of species in northwestern North America. *Biological Conservation*, 187, 127-133.
- Chen, I.-C., Hill, J.K., Ohlemüller, R., Roy, D.B. & Thomas, C.D. (2011) Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science*, 333, 1024-1026.
- Cianfrani, C., Lay, G.L., Maiorano, L., Satizábal, H.F., Loy, A. & Guisan, A. (2011) Adapting global conservation strategies to climate change at the European scale: The otter as a flagship species. *Biological Conservation*, 144, 2068-2080.
- Clausen, K.K. & Clausen, P. (2014) Forecasting future drowning of coastal waterbird habitats reveals a major conservation concern. *Biological Conservation*, 171, 177-185.
- Coetzee, B.W.T., Gaston, K.J. & Chown, S.L. (2014) Local Scale Comparisons of Biodiversity as a Test for Global Protected Area Ecological Performance: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 9, e105824.
- Coetzee, B.W.T., Robertson, M.P., Erasmus, B.F.N., van Rensburg, B.J. & Thuiller, W. (2009) Ensemble models predict Important Bird Areas in southern Africa will become less effective for conserving endemic birds under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 701-710.
- Cushman, S.A., Landguth, E.L. & Flather, C.H. (2012) Evaluating the sufficiency of protected lands for maintaining wildlife population connectivity in the U.S. northern Rocky Mountains. *Diversity and Distributions*, 18, 873-884.
- Dawson, T.P., Jackson, S.T., House, J.I., Prentice, I.C. & Mace, G.M. (2011) Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate. *Science*, 332, 53-58.

- Dirnböck, T., Dullinger, S. & Grabherr, G. (2003) A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30, 401-417.
- Early, R. & Sax, D.F. (2011) Analysis of climate paths reveals potential limitations on species range shifts. *Ecology Letters*, 14, 1125-1133.
- Elith, J. & Leathwick, J.R. (2009) Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 40, 677-697.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S. & Zimmermann, N.E. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151.
- Engler, R., Randin, C.F., Thuiller, W., Dullinger, S., Zimmermann, N.E., AraÚjo, M.B., Pearman, P.B., Le Lay, G., Piedallu, C., Albert, C.H., Choler, P., Coldea, G., De Lamo, X., Dirnböck, T., GÉgout, J.-C., GÓmez-García, D., Grytnes, J.-A., Heegaard, E., HØlstad, F., NoguÉS-Bravo, D., Normand, S., PuŞCaŞ, M., SebastiÀ, M.-T., Stanisci, A., Theurillat, J.-P., Trivedi, M.R., Vittoz, P. & Guisan, A. (2011) 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, 17, 2330-2341.
- Ferrier, S. & Guisan, A. (2006) Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43, 393-404.
- Ferro, V.G., Lemes, P., Melo, A.S. & Loyola, R. (2014) The Reduced Effectiveness of Protected Areas under Climate Change Threatens Atlantic Forest Tiger Moths. *PLOS ONE*, 9, e107792.
- Fitzpatrick, M.C. & Hargrove, W.W. (2009) The projection of species distribution models and the problem of non-analog climate. *Biodiversity and Conservation*, 18, 2255-2261.
- Fordham, D.A., Wigley, T.M.L., Watts, M.J. & Brook, B.W. (2012a) Strengthening forecasts of climate change impacts with multi-model ensemble averaged projections using MAGICC/SCENGEN 5.3. *Ecography*, 35, 4-8.
- Fordham, D.A., Akcakaya, H.R., Araujo, M.B., Keith, D.A. & Brook, B.W. (2013) Tools for integrating range change, extinction risk and climate change information into conservation management. *Ecography*, 36, 956-964.
- Fordham, D.A., Watts, M.J., Delean, S., Brook, B.W., Heard, L.M.B. & Bull, C.M. (2012b) Managed relocation as an adaptation strategy for mitigating climate change threats to the persistence of an endangered lizard. *Global Change Biology*, 18, 2743-2755.
- Franklin, J., Davis, F.W., Ikegami, M., Syphard, A.D., Flint, L.E., Flint, A.L. & Hannah, L. (2013) Modeling plant species distributions under future climates: how fine scale do climate projections need to be? *Global Change Biology*, 19, 473-483.
- Fronzek, S., Luoto, M. & Carter, T.R. (2006) Potential effect of climate change on the distribution of palusa mires in subarctic Fennoscandia. *Climate Research*, 32, 1-12.
- Fronzek, S., Carter, T.R., Raisanen, J., Ruokolainen, L. & Luoto, M. (2010) Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for sub-arctic palusa mires in Fennoscandia. *Climatic Change*, 99, 515-534.
- Fuller, R.A., McDonald-Madden, E., Wilson, K.A., Carwardine, J., Grantham, H.S., Watson, J.E.M., Klein, C.J., Green, D.C. & Possingham, H.P. (2010) Replacing underperforming protected areas achieves better conservation outcomes. *Nature*, 466, 365-367.
- Galatowitsch, S., Frelich, L. & Phillips-Mao, L. (2009) Regional climate change adaptation strategies for biodiversity conservation in a midcontinental region of North America. *Biological Conservation*, 142, 2012-2022.
- Gallego-Sala, A.V. & Colin Prentice, I. (2013) Blanket peat biome endangered by climate change. *Nature Clim. Change*, 3, 152-155.
- Game, E.T., Lipsett-Moore, G., Saxon, E., Peterson, N. & Sheppard, S. (2011) Incorporating climate change adaptation into national conservation assessments. *Global Change Biology*, 17, 3150-3160.
- Gardali, T., Seavy, N.E., DiGaudio, R.T. & Comrack, L.A. (2012) A Climate Change Vulnerability Assessment of California's At-Risk Birds. *PLOS ONE*, 7, e29507.
- Gaston, K.J., Charman, K., Jackson, S.F., Armsworth, P.R., Bonn, A., Briers, R.A., Callaghan, C.S.Q., Catchpole, R., Hopkins, J., Kunin, W.E., Latham, J., Opdam, P., Stoneman, R., Stroud, D.A. & Tratt, R. (2006) The ecological effectiveness of protected areas: The United Kingdom. *Biological Conservation*, 132, 76-87.
- Gavin, D.G., Fitzpatrick, M.C., Gugger, P.F., Heath, K.D., Rodríguez-Sánchez, F., Dobrowski, S.Z., Hampe, A., Hu, F.S., Ashcroft, M.B., Bartlein, P.J., Blois, J.L., Carstens, B.C., Davis, E.B., de Lafontaine, G., Edwards, M.E., Fernandez, M., Henne, P.D., Herring, E.M., Holden, Z.A., Kong, W.-s., Liu, J., Magri, D., Matzke, N.J., McGlone, M.S., Saltré, F., Stigall, A.L., Tsai, Y.-H.E. & Williams, J.W. (2014) Climate refugia: joint inference from fossil records, species distribution models and phylogeography. *New Phytologist*, 204, 37-54.
- Gaüzère, P., Jiguet, F. & Devictor, V. (2016) Can protected areas mitigate the impacts of climate change on bird's species and communities? *Diversity and Distributions*, 22, 625-637.
- Gibson, L., McNeill, A., Tores, P.d., Wayne, A. & Yates, C. (2010) Will future climate change threaten a range restricted endemic species, the quokka (*Setonix brachyurus*), in south west Australia? *Biological Conservation*, 143, 2453-2461.

- Gillingham, P.K., Alison, J., Roy, D.B., Fox, R. & Thomas, C.D. (2015) High Abundances of Species in Protected Areas in Parts of their Geographic Distributions Colonized during a Recent Period of Climatic Change. *Conservation Letters*, 8, 97-106.
- Gillson, L., Dawson, T.P., Jack, S. & McGeoch, M.A. (2013) Accommodating climate change contingencies in conservation strategy. *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 135-142.
- Gilman, S.E., Urban, M.C., Tewksbury, J., Gilchrist, G.W. & Holt, R.D. (2010) A framework for community interactions under climate change. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 325-331.
- Gimona, A., Poggio, L., Brown, I. & Castellazzi, M. (2012) Woodland networks in a changing climate: Threats from land use change. *Biological Conservation*, 149, 93-102.
- Groves, C.R., Game, E.T., Anderson, M.G., Cross, M., Enquist, C., Ferdaña, Z., Girvetz, E., Gondor, A., Hall, K.R., Higgins, J., Marshall, R., Popper, K., Schill, S. & Shafer, S.L. (2012) Incorporating climate change into systematic conservation planning. *Biodiversity and Conservation*, 21, 1651-1671.
- Guisan, A. & Theurillat, J.-P. (2000) Assessing alpine plant vulnerability to climate change: a modeling perspective. *Integrated Assessment*, 1, 307-320.
- Guisan, A. & Thuiller, W. (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993-1009.
- Hannah, L. (2008) Protected areas and climate change. *Annals of the New York Academy of Science*, 1134, 201-212.
- Hannah, L., Flint, L., Syphard, A.D., Moritz, M.A., Buckley, L.B. & McCullough, I.M. (2014) Fine-grain modeling of species' response to climate change: holdouts, stepping-stones, and microrefugia. *Trends in Ecology & Evolution*, 29, 390-397.
- Hansen, A.J., Piekielek, N., Davis, C., Haas, J., Theobald, D.M., Gross, J.E., Monahan, W.B., Olliff, T. & Running, S.W. (2014) Exposure of U.S. National Parks to land use and climate change 1900-2100. *Ecological Applications*, 24, 484-502.
- Hansen, J., Sato, M. & Ruedy, R. (2012) Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, E2415-E2423.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M. & Virkkala, R. (2006a) Does seasonal fine-tuning of climatic variables improve the performance of bioclimatic envelope models for migratory birds? *Diversity and Distributions*, 12, 502-510.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Virkkala, R., Pearson, R.G. & Korber, J.H. (2007) Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 754-763.
- Heikkinen, R.K., Leikola, N., Fronzek, S., Lampinen, R. & Toivonen, H. (2009) Predicting distribution patterns and recent northward range shift of an invasive aquatic plant: *Elodea canadensis* in Europe. *BioRisk*, 2, 1-32.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araujo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W. & Sykes, M.T. (2006b) Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, 30, 751-777.
- Heikkinen, R.K., Bocedi, G., Kuussaari, M., Heliola, J., Leikola, N., Pöyry, J. & Travis, J.M.J. (2014) Impacts of Land Cover Data Selection and Trait Parameterisation on Dynamic Modelling of Species' Range Expansion. *Plos One*, 9, e108436.
- Heikkinen, R.K., Pöyry, J., Virkkala, R., Bocedi, G., Kuussaari, M., Schweiger, O., Settele, J. & Travis, J.M.J. (2015) Modelling potential success of conservation translocations of a specialist grassland butterfly. *Biological Conservation*, 192, 200-206.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Leikola, N., Pöyry, J., Settele, J., Kudrna, O., Marmion, M., Fronzek, S. & Thuiller, W. (2010) Assessing the vulnerability of European butterflies to climate change using multiple criteria. *Biodiversity and Conservation*, 19, 695-723.
- Heller, N.E. & Zavaleta, E.S. (2009) Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142, 14-32.
- Heller, N.E., Kreidler, J., Ackerly, D.D., Weiss, S.B., Recinos, A., Branciforte, R., Flint, L.E., Flint, A.L. & Micheli, E. (2015) Targeting climate diversity in conservation planning to build resilience to climate change. *Ecosphere*, 6, 1-20.
- Henry, R.C., Bocedi, G., Dytham, C. & Travis, J.M.J. (2013) Inter-annual variability influences the eco-evolutionary dynamics of range-shifting. *PeerJ*, 1, e228.
- Hiley, J.R., Bradbury, R.B., Holling, M. & Thomas, C.D. (2013) Protected areas act as establishment centres for species colonizing the UK. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280, 20122310.
- Hodgson, J.A., Moilanen, A., Wintle, B.A. & Thomas, C.D. (2011) Habitat area, quality and connectivity: striking the balance for efficient conservation. *Journal of Applied Ecology*, 48, 148-152.
- Hole, D.G., Willis, S.G., Pain, D.J., Fishpool, L.D., Butchart, S.H.M., Collingham, Y.C., Rahbeck, C. & Huntley, B. (2009) Projected impacts of climate change on continent-wide protected area network. *Ecology Letters*, 12, 420-431.
- Huntley, B., Collingham, Y.C., Green, R.E., Hilton, G.M., Rahbek, C. & Willis, S.G. (2006) Potential impacts of climatic change upon geographical distributions of birds. *Ibis*, 148, 8-28.
- Hällfors, M.H., Aikio, S., Fronzek, S., Hellmann, J.J., Rytätari, T. & Heikkinen, R.K. (2016) Assessing the need and potential of assisted migration using species distribution models. *Biological Conservation*, 196, 60-68.

- Jackson, S.T., Betancourt, J.L., Booth, R.K. & Gray, S.T. (2009) Ecology and the ratchet of events: Climate variability, niche dimensions, and species distributions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 19685-19692.
- Jiguet, F., Brotons, L. & Devictor, V. (2011) Community responses to extreme climatic conditions. *Current Zoology*, 57, 406-413.
- Johnston, A., Ausden, M., Dodd, A.M., Bradbury, R.B., Chamberlain, D.E., Jiguet, F., Thomas, C.D., Cook, A.S.C.P., Newson, S.E., Ockendon, N., Rehfisch, M.M., Roos, S., Thaxter, C.B., Brown, A., Crick, H.Q.P., Douse, A., McCall, R.A., Pontier, H., Stroud, D.A., Cadiou, B., Crowe, O., Deceuninck, B., Hornman, M. & Pearce-Higgins, J. (2013) Observed and predicted effects of climate change on species abundance in protected areas. *Nature Climate Change*, 3, 1055-1061.
- Jones, K.R., Watson, J.E.M., Possingham, H.P. & Klein, C.J. (2016) Incorporating climate change into spatial conservation prioritisation: A review. *Biological Conservation*, 194, 121-130.
- Kaitila, J.-P., Nupponen, K., Kullberg, J. & Laasonen, E. (2010) Perhoseet. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 430 – 470.
- Kalliovirta, M., Ryttylä, T., Hæggström, C.-A., Hakalisto, S., Kanerva, T., Koistinen, M., Lammi, A., Lehtelä, M., Rautiainen, V.-P., Rintanen, T., Salonen, V. & Uusitalo, A. (2010) Putkilokasvit. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 183 – 203.
- Keith, D.A., Akcakaya, H.R., Thuiller, W., Midgley, G.F., Pearson, R.G., Phillips, S.J., Regan, H.M., Araujo, M.B. & Rebelo, T.G. (2008) Predicting extinction risks under climate change: coupling stochastic population models with dynamic bioclimatic habitat models. *Biology Letters*, 4, 560-563.
- Kharouba, H.M. & Kerr, J.T. (2010) Just passing through: Global change and the conservation of biodiversity in protected areas. *Biological Conservation*, 143, 1094-1101.
- Klausmeyer, K.R. & Shaw, M.R. (2009) Climate Change, Habitat Loss, Protected Areas and the Climate Adaptation Potential of Species in Mediterranean Ecosystems Worldwide. *PLOS ONE*, 4, e6392.
- Kotiranta, H., Junninen, K., Saarenoksa, R., Kinnunen, J. & Kytövuori, I. (2010) Käävääkkäät. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 249 – 263.
- Krosby, M., Tewksbury, J., Haddad, N.M. & Hoekstra, J. (2010) Ecological Connectivity for a Changing Climate. *Conservation Biology*, 24, 1686-1689.
- Kujala, H., Moilanen, A., Araujo, M.B. & Cabeza, M. (2013) Conservation Planning with Uncertain Climate Change Projections. *PLOS ONE*, 8, e53315.
- Lawler, J.J., Ruesch, A.S., Olden, J.D. & McRae, B.H. (2013) Projected climate-driven faunal movement routes. *Ecology Letters*, 16, 1014-1022.
- Lawler, J.J., Ackerly, D.D., Albano, C.M., Anderson, M.G., Dobrowski, S.Z., Gill, J.L., Heller, N.E., Pressey, R.L., Sanderson, E.W. & Weiss, S.B. (2015) The theory behind, and the challenges of, conserving nature's stage in a time of rapid change. *Conservation Biology*, 29, 618-629.
- Lawler, J.J., Tear, T.H., Pyke, C., Shaw, M.R., Gonzalez, P., Kareiva, P., Hansen, L., Hannah, L., Klausmeyer, K., Aldous, A., Bienz, C. & Pearsall, S. (2010) Resource management in a changing and uncertain climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8, 35-43.
- Lawson, C.R., Bennie, J.J., Thomas, C.D., Hodgson, J.A. & Wilson, R.J. (2014) Active Management of Protected Areas Enhances Metapopulation Expansion Under Climate Change. *Conservation Letters*, 7, 111-118.
- Lehtomäki, J. & Moilanen, A. (2013) Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environmental Modelling & Software*, 47, 128-137.
- Lenoir, J., Graae, B.J., Aarrestad, P.A., Alsos, I.G., Armbruster, W.S., Austrheim, G., Bergendorff, C., Birks, H.J.B., Bråthen, K.A., Brunet, J., Bruun, H.H., Dahlberg, C.J., Decocq, G., Diekmann, M., Dynesius, M., Ejrnæs, R., Grytnes, J.-A., Hylander, K., Klanderud, K., Luoto, M., Milbau, A., Moora, M., Nygaard, B., Odland, A., Ravolainen, V.T., Reinhardt, S., Sandvik, S.M., Schei, F.H., Speed, J.D.M., Tveraabak, L.U., Vandvik, V., Velle, L.G., Virtanen, R., Zobel, M. & Svenning, J.-C. (2013) Local temperatures inferred from plant communities suggest strong spatial buffering of climate warming across Northern Europe. *Global Change Biology*, 19, 1470-1481.
- Leroy, B., Bellard, C., Dubos, N., Colliot, A., Vasseur, M., Courtial, C., Bakkenes, M., Canard, A. & Ysnel, F. (2014) Forecasted climate and land use changes, and protected areas: the contrasting case of spiders. *Diversity and Distributions*, 20, 686-697.
- Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P. & Pearson, R.G. (2005) Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28, 385-393.
- Liukko, U.-M., Henttonen, H., Hanski, I. K., Kauhala, K., Kojola, I., Kyheröinen, E.-M. & Pitkänen, J. (2016) Suomen nisäkkäiden uhanalaisuus 2015 – The 2015 Red List of Finnish Mammal Species. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. 34 s.
- Loarie, S.R., Duffy, P.B., Hamilton, H., Asner, G.P., Field, C.B. & Ackerly, D.D. (2009) The velocity of climate change. *Nature*, 462, 1052-1055.
- Luoto, M. & Heikkinen, R.K. (2008) Disregarding topographical heterogeneity biases species turnover assessments based on bioclimatic models. *Global Change Biology*, 14, 483-494.
- Luoto, M., Heikkinen, R. & Carter, T. (2004a) Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation*, 31, 30-37.
- Luoto, M., Fronzek, S. & Zuidhoff, F. (2004b) Spatial modelling of palsa mires in relation to climate in northern Europe. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 1373-1387.

- Luoto, M., Virkkala, R. & Heikkinen, R.K. (2007) The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 34-42.
- Maclean, I.M.D., Austin, G.E., Rehfish, M.M., Blew, J., Crowe, O., Delany, S., Devos, K., Deceuninck, B., Gunther, K., Laursen, K., Van Roomen, M. & Wahl, J. (2008) Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology*, 14, 2489-2500.
- Marmion, M., Hjort, J., Thuiller, W. & Luoto, M. (2008) A comparison of predictive methods in modelling the distribution of periglacial landforms in Finnish Lapland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 2241-2254.
- Marmion, M., Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Thuiller, W. (2009a) The performance of state-of-the-art modelling techniques depends on geographical distribution of species. *Ecological Modelling*, 220, 3512-3520.
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Thuiller, W. (2009b) Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15, 59-69.
- Martinuzzi, S., Radeloff, V.C., Joppa, L.N., Hamilton, C.M., Helmers, D.P., Plantinga, A.J. & Lewis, D.J. (2015) Scenarios of future land use change around United States' protected areas. *Biological Conservation*, 184, 446-455.
- Mawdsley, J. (2011) Design of conservation strategies for climate adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climatic Change*, 2, 498-515.
- Mawdsley, J.R., O'Malley, R. & Ojima, D.S. (2009) A Review of Climate-Change Adaptation Strategies for Wildlife Management and Biodiversity Conservation. *Conservation Biology*, 23, 1080-1089.
- Mestre, F., Cánovas, F., Pita, R., Mira, A. & Beja, P. (2016) An R package for simulating metapopulation dynamics and range expansion under environmental change. *Environmental Modelling & Software*, 81, 40-44.
- Minor, E.S., McDonald, R.I., Treml, E.A. & Urban, D.L. (2008) Uncertainty in spatially explicit population models. *Biological Conservation*, 141, 956-970.
- Mokany, K., Harwood, T.D. & Ferrier, S. (2013) Comparing habitat configuration strategies for retaining biodiversity under climate change. *Journal of Applied Ecology*, 50, 519-527.
- Mustin, K., Dytham, C., Benton, T.G. & Travis, J.M.J. (2013) Red noise increases extinction risk during rapid climate change. *Diversity and Distributions*, 19, 815-824.
- Neubert, M.G. & Caswell, H. (2000) Demography and dispersal: Calculation and sensitivity analysis of invasion speed for structured populations. *Ecology*, 81, 1613-1628.
- Nixon, A.E., Fisher, R.J., Stralberg, D., Bayne, E.M. & Farr, D.R. (2016) Projected responses of North American grassland songbirds to climate change and habitat availability at their northern range limits in Alberta, Canada. *Avian Conservation and Ecology*, 11, 2. <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00866-110202>.
- Norokorpi, Y., Mäkelä, K., Tynys, S., Heikkinen, R., Kumpula, J., Sihvo, J., Eeronheimo, H., Euroala, S., Johansson, P., Neuvonen, S. & Virtanen, R. (2008) Tunturit. Teoksessa: Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.) Suomen luontotyyppeiden uhanalaisuus – Osa 1. Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö, 8/2008, 175-214.
- Núñez, T.A., Lawler, J.J., McRae, B.H., Pierce, D.J., Krosby, M.B., Kavanagh, D.M., Singleton, P.H. & Tewksbury, J.J. (2013) Connectivity Planning to Address Climate Change. *Conservation Biology*, 27, 407-416.
- Olesen, J.E., Carter, T.R., Diaz-Ambrona, C.H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Miguez, M.I., Morales, P., Palutikof, J.P., Quemada, M., Ruiz-Ramos, M., Rubaek, G.H., Sau, F., Smith, B. & Sykes, M.T. (2007) Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, 81, 123-143.
- Oliver, T.H., Brereton, T. & Roy, D.B. (2013) Population resilience to an extreme drought is influenced by habitat area and fragmentation in the local landscape. *Ecography*, 36, 579-586.
- Opdam, P. & Wascher, D. (2004) Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, 117, 285-297.
- Pacifici, M., Foden, W.B., Visconti, P., Watson, J.E.M., Butchart, S.H.M., Kovacs, K.M., Scheffers, B.R., Hole, D.G., Martin, T.G., Akcakaya, H.R., Corlett, R.T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J.A., Hoffmann, A.A., Midgley, G.F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R.G., Williams, S.E., Willis, S.G., Young, B. & Rondinini, C. (2015) Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Clim. Change*, 5, 215-224.
- Pajunen, T., Fritzén, N., Koponen, S. & Lehtinen, P.T. (2010) Hämähäkit. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 357 – 360.
- Parmesan, C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, pp. 637-669.
- Parmesan, C. & Yohe, G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Paukkunen, J. (2010) Myrkkypistiäiset. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 529 – 544.
- Pearson, R.G. & Dawson, T.P. (2003a) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12, 361-371.

- Pearson, R.G. & Dawson, T.P. (2003b) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12, 361-371.
- Pearson, R.G., Thuiller, W., Araújo, M.B., Martinez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., Miles, L., Segurado, P., Dawson, T.E. & Lees, D.C. (2006) Model-based uncertainty in species' range prediction. *Journal of Biogeography*, 33, 1704-1711.
- Penttinen, J., Ilmonen, J., Jakovlev, J., Salmela, J., Kuusela, K. & Paasivirta, L. (2010) Sääsket. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 477 – 489.
- Poiani, K.A., Goldman, R.L., Hobson, J., Hoekstra, J.M. & Nelson, K.S. (2011) Redesigning biodiversity conservation projects for climate change: examples from the field. *Biodiversity and Conservation*, 20, 185-201.
- Pompe, S., Hanspach, J., Badeck, F., Klotz, S., Thuiller, W. & Kuhn, I. (2008) Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters*, 4, 564-567.
- Poulos, H. and Chernoff, B. (2014) Potential Range Expansion of the Invasive Red Shiner, *Cyprinella lutrensis* (Teleostei: Cyprinidae), under Future Climatic Change. *Open Journal of Ecology*, 4, 554-564. doi: 10.4236/oje.2014.49045.
- Rapacciuolo, G., Maher, S.P., Schneider, A.C., Hammond, T.T., Jabis, M.D., Walsh, R.E., Iknayan, K.J., Walden, G.K., Oldfather, M.F., Ackerly, D.D. & Beissinger, S.R. (2014) Beyond a warming fingerprint: individualistic biogeographic responses to heterogeneous climate change in California. *Global Change Biology*, 20, 2841-2855.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) (2010) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 685 s.
- Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.) (2008) Suomen luontotyyppien uhanalaisuus – Osa 1. Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö, 8/2008, 1-264.
- Rayner, L., Lindenmayer, D.B., Wood, J.T., Gibbons, P. & Manning, A.D. (2014) Are protected areas maintaining bird diversity? *Ecography*, 37, 43-53.
- Reside, A.E., VanDerWal, J., Garnett, S.T. & Kutt, A.S. (2016) Vulnerability of Australian tropical savanna birds to climate change. *Austral Ecology*, 41, 106-116.
- Rodrigues, A.S.L., Andelman, S.J., Bakarr, M.I., Boitani, L., Brooks, T.M., Cowling, R.M., Fishpool, L.D.C., da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Long, J.S., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R.L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S.N., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J. & Yan, X. (2004) Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 428, 640-643.
- Salas, E.A.L., Seamster, V.A., Boykin, K.G., Harings, N.M. & Dixon, K.W. (2017) Modeling the impacts of climate change on Species of Concern (birds) in South Central U.S. based on bioclimatic variables. *AIMS Environmental Science*, 4, 358-385.
- Salokannel, J., Rinne, A. & Ilmonen, J. (2010) Vesiperhoset. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 471 – 475.
- Santangeli, A., Rajasärkkä, A. & Lehikoinen, A. (2017) Effects of high latitude protected areas on bird communities under rapid climate change. *Global Change Biology*, 23, 2241-2249.
- Savolainen, E. & Ilmonen, J. (2010) Päivänkorennot. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 378 – 382.
- Schloss, C.A., Lawler, J.J., Larson, E.R., Papendick, H.L., Case, M.J., Evans, D.M., DeLap, J.H., Langdon, J.G.R., Hall, S.A. & McRae, B.H. (2011) Systematic Conservation Planning in the Face of Climate Change: Bet-Hedging on the Columbia Plateau. *PLOS ONE*, 6, e28788.
- Schwartz, M.W. (2012) Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions. *Biological Conservation*, 155, 149-156.
- Schweiger, O., Heikkinen, R.K., Harpke, A., Hickler, T., Klotz, S., Kudrna, O., Kuhn, I., Pöyry, J. & Settele, J. (2012) Increasing range mismatching of interacting species under global change is related to their ecological characteristics. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 88-99.
- Scott, D., Malcolm, J.R. & Lemieux, C. (2002) Climate change and modelled biome representation in Canada's national park system: implications for system planning and park mandates. *Global Ecology and Biogeography*, 11, 475-484.
- Scriven, S.A., Hodgson, J.A., McClean, C.J. & Hill, J.K. (2015) Protected areas in Borneo may fail to conserve tropical forest biodiversity under climate change. *Biological Conservation*, 184, 414-423.
- Sieck, M., Ibsch, P.L., Moloney, K.A. & Jeltsch, F. (2011) Current models broadly neglect specific needs of biodiversity conservation in protected areas under climate change. *BMC Ecology*, 11, 12.
- Siegel, R.B., Pyle, P., Thorne, J.H., Holguin, A.J., Howell, C.A., Stock, S. & Tingley, M.W. (2014) Vulnerability of birds to climate change in California's Sierra Nevada. *Avian Conservation and Ecology*, 9(1):7. <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00658-090107>.
- Sinclair, S.J., White, M.D. & Newell, G.R. (2010) How Useful Are Species Distribution Models for Managing Biodiversity under Future Climates? *Ecology and Society*, 15
- Smith, M.D. (2011) The ecological role of climate extremes: current understanding and future prospects. *Journal of Ecology*, 99, 651-655.
- Snover, A.K., Mantua, N.J., Littell, J.S., Alexander, M.A., McClure, M.M. & Nye, J. (2013) Choosing and Using Climate-Change Scenarios for Ecological-Impact Assessments and Conservation Decisions. *Conservation Biology*, 27, 1147-1157.

- Stephenson, N.L. & Millar, C.I. (2012) Climate change: Wilderness's greatest challenge. *Park Science*, 28, 34-38.
- Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C.A., Snyder, M.A., Alexander, J.D., Wiens, J.A. & Root, T.L. (2009) Re-Shuffling of Species with Climate Disruption: A No-Analog Future for California Birds? *Plos One*, 4, e6825.
- Synes, N.W. & Osborne, P.E. (2011) Choice of predictor variables as a source of uncertainty in continental-scale species distribution modelling under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 904-914.
- Syrjänen, K., Anttila, S., Ulvinen, T., Laaka-Lindberg, S., Huttunen, S., Laitinen, T., Ahonen, I., Fagerstén, R., He, X., Juslén, A., Korvenpää, T., Korvenpää, T., Parnela, A., Sallantausta, T., Vainio, O., Virtanen, R., Piippo, S. & Rikkinen, J. (2010) Sammalet. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 208 – 230.
- Tainio, A., Heikkinen, R.K., Heliola, J., Hunt, A., Watkiss, P., Fronzek, S., Leikola, N., Lotjonen, S., Mashkina, O. & Carter, T.R. (2016) Conservation of grassland butterflies in Finland under a changing climate. *Regional Environmental Change*, 16, 71-84.
- Terhivuo, J. & Mannerkoski, I. (2010) Matelijat ja sammakkoeläimet. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 332 – 335.
- Thomas, C.D. & Gillingham, P.K. (2015) The performance of protected areas for biodiversity under climate change. *Biological Journal of the Linnean Society*, 115, 718-730.
- Thomas, C.D., Gillingham, P.K., Bradbury, R.B., Roy, D.B., Anderson, B.J., Baxter, J.M., Bourn, N.A.D., Crick, H.Q.P., Findon, R.A., Fox, R., Hodgson, J.A., Holt, A.R., Morecroft, M.D., O'Hanlon, N.J., Oliver, T.H., Pearce-Higgins, J.W., Procter, D.A., Thomas, J.A., Walker, K.J., Walmsley, C.A., Wilson, R.J. & Hill, J.K. (2012) Protected areas facilitate species' range expansions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 14063-14068.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. & Araujo, M.B. (2009) BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32, 369-373.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M.B., Sykes, M.T. & Prentice, I.C. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 8245-8250.
- Thuiller, W., Lavergne, S., Roquet, C., Boulangeat, I., Lafourcade, B. & Araujo, M.B. (2011) Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature*, 470, 531-534.
- Tiainen, J., Mikkola-Roos, M., Below, A., Jukarainen, 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.
- Tingley, M.W., Darling, E.S. & Wilcove, D.S. (2014) Fine- and coarse-filter conservation strategies in a time of climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1322, 92-109.
- Titeux, N., Maes, D., Marmion, M., Luoto, M. & Heikkinen, R.K. (2009) Inclusion of soil data improves the performance of bioclimatic envelope models for insect species distributions in temperate Europe. *Journal of Biogeography*, 36, 1459-1473.
- Trivedi, M.R., Morecroft, M.D., Berry, P.M. & Dawson, T.P. (2008) Potential effects of climate change on plant communities in three montane nature reserves in Scotland, UK. *Biological Conservation*, 141, 1665-1675.
- Urban, M.C., Bocedi, G., Hendry, A.P., Mihoub, J.-B., Pe'er, G., Singer, A., Bridle, J.R., Crozier, L.G., De Meester, L., Godsoe, W., Gonzalez, A., Hellmann, J.J., Holt, R.D., Huth, A., Johst, K., Krug, C.B., Leadley, P.W., Palmer, S.C.F., Pantel, J.H., Schmitz, A., Zollner, P.A. & Travis, J.M.J. (2016) Improving the forecast for biodiversity under climate change. *Science*, 353, aad8466. DOI:10.1126/science.aad8466.
- Urho, L., Pennanen, J.T. & Koljonen, M.-L. (2010) Kalat. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 336 – 343.
- Walther, G.R., Beissner, S. & Burga, C.A. (2005) Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science*, 16, 541-548.
- Watts, M.E., Ball, I.R., Stewart, R.S., Klein, C.J., Wilson, K., Steinback, C., Lourival, R., Kircher, L. & Possingham, H.P. (2009) Marxan with Zones: Software for optimal conservation based land- and sea-use zoning. *Environmental Modelling & Software*, 24, 1513-1521.
- Vermaat, J.E., Hellmann, F.A., van Teeffelen, A.J.A., van Minnen, J., Alkemade, R., Billeter, R., Beierkuhnlein, C., Boitani, L., Cabeza, M., Feld, C.K., Huntley, B., Paterson, J. & WallisDeVries, M.F. (2016) Differentiating the effects of climate and land use change on European biodiversity: A scenario analysis. *Ambio*, 1-14.
- Wiens, J.A., Seavy, N.E. & Jongsomjit, D. (2011) Protected areas in climate space: What will the future bring? *Biological Conservation*, 144, 2119-2125.
- Williams, J.W. & Jackson, S.T. (2007) Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 475-482.
- Williams, S.E., Shoo, L.P., Isaac, J.L., Hoffmann, A.A. & Langham, G. (2008) Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *PLOS Biology*, 6, e325.
- Willis, K.J., Bennett, K.D., Bhagwat, S.A. & Birks, H.J.B. (2010) 4 degrees C and beyond: what did this mean for biodiversity in the past? *Systematics and Biodiversity*, 8, 3-9.

- Willis, S.G., Hole, D.G., Collingham, Y.C., Hilton, G., Rahbeck, C. & Huntley, B. (2009) Assessing the impacts of future climate change on protected area networks: A method to simulate individual species' responses. *Environmental Management*, 43, 836-845.
- Willis, S.G., Foden, W., Baker, D.J., Belle, E., Burgess, N.D., Carr, J.A., Doswald, N., Garcia, R.A., Hartley, A., Hof, C., Newbold, T., Rahbek, C., Smith, R.J., Visconti, P., Young, B.E. & Butchart, S.H.M. (2015) Integrating climate change vulnerability assessments from species distribution models and trait-based approaches. *Biological Conservation*, 190, 167-178.
- Wilson, K.A., Underwood, E.C., Morrison, S.A., Klausmeyer, K.R., Murdoch, W.W., Reyers, B., Wardell-Johnson, G., Marquet, P.A., Rundel, P.W., McBride, M.F., Pressey, R.L., Bode, M., Hoekstra, J.M., Andelman, S., Looker, M., Rondinini, C., Kareiva, P., Shaw, M.R. & Possingham, H.P. (2007) Conserving biodiversity efficiently: What to do, where, and when. *PLoS Biology*, 5, 1850-1861.
- Wilson, R.J. & Maclean, I.M.D. (2011) Recent evidence for the climate change threat to Lepidoptera and other insects. *Journal of Insect Conservation*, 15, 259-268.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2011a) Climate change affects populations of northern birds in boreal protected areas. *Biology Letters*, 7, 395-398.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2011b) Northward density shift of bird species in boreal protected areas due to climate change. *Boreal Environment Research*, 16 (suppl. B), 2-13.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2012) Preserving species populations in the boreal zone in a changing climate: contrasting trends of bird species groups in a protected area network. *Nature Conservation*, 3, 1-20.
- Virkkala, R. & Lehikoinen, A. (2014) Patterns of climate-induced density shifts of species: poleward shifts faster in northern boreal birds than in southern birds. *Global Change Biology*, 20, 2995-3003.
- 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., Heikkinen, R.K., Fronzek, S. & Leikola, N. (2013a) Climate Change, Northern Birds of Conservation Concern and Matching the Hotspots of Habitat Suitability with the Reserve Network. *PLOS ONE*, 8, e63376.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014a) Matching trends between recent distributional changes of northern-boreal birds and species-climate model predictions. *Biological Conservation*, 172, 124-127.
- Virkkala, R., Marmion, M., Heikkinen, R.K., Thuiller, W. & Luoto, M. (2010) Predicting range shifts of northern bird species: Influence of modelling technique and topography. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 36, 269-281.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Fronzek, S., Kujala, H. & Leikola, N. (2013b) Does the protected area network preserve bird species of conservation concern in a rapidly changing climate? *Biodiversity and Conservation*, 22, 459-482.
- Virkkala, R., Pöyry, J., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014b) Protected areas alleviate climate change effects on northern bird species of conservation concern. *Ecology and Evolution*, 4, 2991-3003.
- Wright, A.N., Hijmans, R.J., Schwartz, M.W. & Shaffer, H.B. (2014) Multiple sources of uncertainty affect metrics for ranking conservation risk under climate change. *Diversity and Distributions*, 21, 111-122.
- Zolkos, S.G., Jantz, P., Cormier, T., Iverson, L.R., McKenney, D.W. & Goetz, S.J. (2015) Projected Tree Species Redistribution Under Climate Change: Implications for Ecosystem Vulnerability Across Protected Areas in the Eastern United States. *Ecosystems*, 18, 202-220.
- Zomer, R.J., Xu, J., Wang, M., Trabucco, A. & Li, Z. (2015) Projected impact of climate change on the effectiveness of the existing protected area network for biodiversity conservation within Yunnan Province, China. *Biological Conservation*, 184, 335-345.

5. Suomessa tehty ilmastonmuutoksen vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen koskeva tutkimus

- Aalto, J., Venäläinen, A., Heikkinen, R.K. & Luoto, M. (2014) Potential for extreme loss in high-latitude Earth surface processes due to climate change. *Geophysical Research Letters*, 41, 3914-3924.
- Ahola, M., Laaksonen, T., Sippola, K., Eeva, T., Rainio, K. & Lehikoinen, E. (2004) Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biology*, 10, 1610-1617.
- Ahola, M.P., Laaksonen, T., Eeva, T. & Lehikoinen, E. (2007) Climate change can alter competitive relationships between resident and migratory birds. *Journal of Animal Ecology*, 76, 1045-1052.
- Ahola, M.P., Laaksonen, T., Eeva, T. & Lehikoinen, E. (2009) Great tits lay increasingly smaller clutches than selected for: a study of climate- and density-related changes in reproductive traits. *Journal of Animal Ecology*, 78, 1298-1306.
- Alahuhta, J., Heino, J. & Luoto, M. (2011) Climate change and the future distributions of aquatic macrophytes across boreal catchments. *Journal of Biogeography*, 38, 383-393.
- Alberto, F.J., Aitken, S.N., Alia, R., Gonzalez-Martinez, S.C., Hanninen, H., Kremer, A., Lefevre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., Whetten, R. & Savolainen, O. (2013) Potential for evolutionary responses to climate change evidence from tree populations. *Global Change Biology*, 19, 1645-1661.
- Altermatt, F., Pajunen, V.I. & Ebert, D. (2008) Climate change affects colonization dynamics in a meta-community of three *Daphnia* species. *Global Change Biology*, 14, 1209-1220.

- Araújo, M.B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogues-Bravo, D. & Thuiller, W. (2011) Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14, 484-492.
- Araújo, M.B. & Luoto, M. (2007) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 743-753.
- Araújo, M.B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L. & Williams, P.H. (2004) Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology*, 10, 1618-1626.
- Bergh, J., Freeman, M., Sigurdsson, B., Kellomaki, S., Laitinen, K., Niinisto, S., Peltola, H. & Linder, S. (2003) Modelling the short-term effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries. *Forest Ecology and Management*, 183, 327-340.
- Berkhout, F., Bouwer, L.M., Bayer, J., Bouzid, M., Cabeza, M., Hanger, S., Hof, A., Hunter, P., Meller, L., Patt, A., Pfluger, B., Rayner, T., Reichardt, K. & van Teeffelen, A. (2015) European policy responses to climate change: progress on mainstreaming emissions reduction and adaptation. *Regional Environmental Change*, 15, 949-959.
- Bjune, A.E., Seppä, H. & Birks, H.J.B. (2009) Quantitative summer-temperature reconstructions for the last 2000 years based on pollen-stratigraphical data from northern Fennoscandia. *Journal of Paleolimnology*, 41, 43-56.
- Blank, L., Luoto, M. & Merilä, J. (2013) Potential effects of climate change on the distribution of the common frog *Rana temporaria* at its northern range margin. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 59, 130-140.
- Bocedi, G., Palmer, S.C.F., Pe'er, G., Heikkinen, R.K., Matsinos, Y.G., Watts, K. & Travis, J.M.J. (2014) RangeShifter: a platform for modelling spatial eco-evolutionary dynamics and species' responses to environmental changes. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 388-396.
- Bouriaud, L., Marzano, M., Lexer, M., Nichiforel, L., Reyser, C., Temperli, C., Peltola, H., Elkin, C., Duduman, G., Taylor, P., Bathgate, S., Borges, J.G., Clercx, S., Garcia-Gonzalo, J., Gracia, C., Hengeveld, G., Kellomaki, S., Kostov, G., Maroschek, M., Muys, B., Nabuurs, G.J., Nicoll, B., Palahi, M., Rammer, W., Ray, D., Schelhaas, M.J., Sing, L., Tome, M., Zell, J. & Hanewinkel, M. (2015) Institutional factors and opportunities for adapting European forest management to climate change. *Regional Environmental Change*, 15, 1595-1609.
- Briceno-Elizondo, E., Jager, D., Lexer, M.J., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H. & Kellomaki, S. (2008) Multi-criteria evaluation of multi-purpose stand treatment programmes for Finnish boreal forests under changing climate. *Ecological Indicators*, 8, 26-45.
- Brommer, J.E. (2004) The range margins of northern birds shift polewards. *Annales Zoologici Fennici*, 41, 391-397.
- Burger, C., Belskii, E., Eeva, T., Laaksonen, T., Magi, M., Mand, R., Qvarnstrom, A., Slagsvold, T., Veen, T., Visser, M.E., Wiebe, K.L., Wiley, C., Wright, J. & Both, C. (2012) Climate change, breeding date and nestling diet: how temperature differentially affects seasonal changes in pied flycatcher diet depending on habitat variation. *Journal of Animal Ecology*, 81, 926-936.
- Cabeza, M. & Moilanen, A. (2001) Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 242-248.
- Cabeza, M., Arponen, A., Jäättelä, L., Kujala, H., van Teeffelen, A. & Hanski, I. (2010) Conservation planning with insects at three different spatial scales. *Ecography*, 33, 54-63.
- Callaghan, T.V., Bjorn, L.O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Elster, J., Henttonen, H., Laine, K., Taulavuori, K., Taulavuori, E. & Zockler, C. (2004) Biodiversity, distributions and adaptations of arctic species in the context of environmental change. *Ambio*, 33, 404-417.
- Carter, T.R. (1998) Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland*, 7, 161-179.
- Cornulier, T., Yoccoz, N.G., Bretagnolle, V., Brommer, J.E., Butet, A., Ecke, F., Elston, D.A., Framstad, E., Henttonen, H., Hornfeldt, B., Huitu, O., Imholt, C., Ims, R.A., Jacob, J., Jedrzejevska, B., Millon, A., Petty, S.J., Pietiainen, H., Tkadlec, E., Zub, K. & Lambin, X. (2013) Europe-Wide Dampening of Population Cycles in Keystone Herbivores. *Science*, 340, 63-66.
- Eskildsen, A., le Roux, P.C., Heikkinen, R.K., Høye, T.T., Kissling, W.D., Pöyry, J., Wisz, M.S. & Luoto, M. (2013) Testing species distribution models across space and time: high latitude butterflies and recent warming. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 1293-1303.
- Fraixedas, S., Lehikoinen, A. & Linden, A. (2015a) Impacts of climate and land-use change on wintering bird populations in Finland. *Journal of Avian Biology*, 46, 63-72.
- Fraixedas, S., Linden, A. & Lehikoinen, A. (2015b) Population trends of common breeding forest birds in southern Finland are consistent with trends in forest management and climate change. *Ornis Fennica*, 92, 187-203.
- Fronzek, S., Luoto, M. & Carter, T.R. (2006) Potential effect of climate change on the distribution of palsa mires in subarctic Fennoscandia. *Climate Research*, 32, 1-12.
- Fronzek, S., Carter, T.R. & Luoto, M. (2011) Evaluating sources of uncertainty in modelling the impact of probabilistic climate change on sub-arctic palsa mires. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2981-2995.
- Fronzek, S., Carter, T.R., Raisanen, J., Ruokolainen, L. & Luoto, M. (2010) Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for sub-arctic palsa mires in Fennoscandia. *Climatic Change*, 99, 515-534.

- Fält-Nardmann, J., Klemola, T., Roth, M., Ruohomäki, K. & Saikkonen, K. (2016) Northern geometrid forest pests (Lepidoptera: Geometridae) hatch at lower temperatures than their southern conspecifics: Implications of climate change. *European Journal of Entomology*, 113, 337-343.
- García-González, J., Jäger, D., Lexer, M.J., Peltola, H., Briceno-Elizondo, E. & Kellomäki, S. (2008) Does climate change affect optimal planning solutions for multi-objective forest management? *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung*, 179, 77-94.
- García, R.A., Cabeza, M., Rahbek, C. & Araújo, M.B. (2014) Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity. *Science*, 344, 1247579.
- Giesecke, T., Björne, A.E., Chiverrell, R.C., Seppä, H., Ojala, A.E.K. & Birks, H.J.B. (2008) Exploring Holocene continentality changes in Fennoscandia using present and past tree distributions. *Quaternary Science Reviews*, 27, 1296-1308.
- Guillemin, M., Pöysä, H., Fox, A.D., Arzel, C., Dessborn, L., Ekroos, J., Gunnarsson, G., Holm, T.E., Christensen, T.K., Lehtikoinen, A., Mitchell, C., Rintala, J. & Møller, A.P. (2013) Effects of climate change on European ducks: what do we know and what do we need to know? *Wildlife Biology*, 19, 404-419.
- Haimi, J., Laamanen, J., Penttinen, R., Rätty, M., Koponen, S., Kellomäki, S. & Niemelä, P. (2005) Impacts of elevated CO₂ and temperature on the soil fauna of boreal forests. *Applied Soil Ecology*, 30, 104-112.
- Halkka, A., Halkka, L., Halkka, O., Roukka, K. & Pokki, J. (2006) Lagged effects of North Atlantic Oscillation (NAO) on spittlebug *Philaenus spumarius* (Homoptera) abundance and survival. *Global Change Biology*, 12, 2250-2262.
- Heikkilä, M. & Seppä, H. (2003) A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. *Quaternary Science Reviews*, 22, 541-554.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M. & Virkkala, R. (2006a) Does seasonal fine-tuning of climatic variables improve the performance of bioclimatic envelope models for migratory birds? *Diversity and Distributions*, 12, 502-510.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Virkkala, R., Pearson, R.G. & Körber, J.-H. (2007) Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 754-763.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araújo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W. & Sykes, M.T. (2006b) Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, 30, 751-777.
- Heikkinen, R.K., Bocedi, G., Kuussaari, M., Heliölä, J., Leikola, N., Pöyry, J. & Travis, J.M.J. (2014) Impacts of land cover data selection and trait parameterisation on dynamic modelling of species' range expansion. *PLoS ONE*, 9, e108436.
- Heikkinen, R.K., Pöyry, J., Virkkala, R., Bocedi, G., Kuussaari, M., Schweiger, O., Settele, J. & Travis, J.M.J. (2015) Modelling potential success of conservation translocations of a specialist grassland butterfly. *Biological Conservation*, 192, 200-206.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Leikola, N., Pöyry, J., Settele, J., Kudrna, O., Marmion, M., Fronzek, S. & Thuiller, W. (2010) Assessing the vulnerability of European butterflies to climate change using multiple criteria. *Biodiversity and Conservation*, 19, 695-723.
- Heino, J., Virkkala, R. & Toivonen, H. (2009) Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews*, 84, 39-54.
- Hodgson, J.A., Thomas, C.D., Wintle, B.A. & Moilanen, A. (2009) Climate change, connectivity and conservation decision making: back to basics. *Journal of Applied Ecology*, 46, 964-969.
- Hodgson, J.A., Moilanen, A., Wintle, B.A. & Thomas, C.D. (2011) Habitat area, quality and connectivity: striking the balance for efficient conservation. *Journal of Applied Ecology*, 48, 148-152.
- Holopainen, J., Helama, S., Lappalainen, H. & Gregow, H. (2013) Plant phenological records in northern Finland since the 18th century as retrieved from databases, archives and diaries for biometeorological research. *International Journal of Biometeorology*, 57, 423-435.
- Hunter, M.D., Kozlov, M.V., Itämes, J., Pulliainen, E., Bäck, J., Kyrö, E.-M. & Niemelä, P. (2014) Current temporal trends in moth abundance are counter to predicted effects of climate change in an assemblage of subarctic forest moths. *Global Change Biology*, 20, 1723-1737.
- Hyvönen, T., Luoto, M. & Uotila, P. (2012) Assessment of weed establishment risk in a changing European climate. *Agricultural and Food Science*, 21, 348-360.
- Hänninen, H. & Tanino, K. (2011) Tree seasonality in a warming climate. *Trends in Plant Science*, 16, 412-416.
- Hänninen, H., Slaney, M. & Linder, S. (2007) Dormancy release of Norway spruce under climatic warming: testing ecophysiological models of bud burst with a whole-tree chamber experiment. *Tree Physiology*, 27, 291-300.
- Hänninen, H., Zhang, G., Rikala, R., Luoranen, J., Kontinen, K. & Repo, T. (2013) Frost hardening of Scots pine seedlings in relation to the climatic year-to-year variation in air temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 1-9.
- Ilmonen, J., Paasivirta, L., Virtanen, R. & Muotka, T. (2009) Regional and local drivers of macroinvertebrate assemblages in boreal springs. *Journal of Biogeography*, 36, 822-834.
- Itämes, J.H., Leinonen, R. & Meyer-Rochow, V.B. (2011) Climate change and shifts in the distribution of moth species in Finland, with a focus on the province of Kainuu. *Climate change - Geophysical foundations and ecological effects* (ed. by J. Blanco and H. Kheradmand), pp. 273-296. InTech, Rijeka, Croatia.

- Jansson, R., Nilsson, C., Keskkitalo, E.C.H., Vlasova, T., Sutinen, M.L., Moen, J., Chapin, F.S., Brathen, K.A., Cabeza, M., Callaghan, T.V., van Oort, B., Dannevig, H., Bay-larsen, I.A., Ims, R.A. & Aspholm, P.E. (2015) Future changes in the supply of goods and services from natural ecosystems: prospects for the European north. *Ecology and Society*, 20, 32.
- Jonzen, N., Linden, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J.O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenstrom, J., Lehikoinen, A., Edvardsen, E., Solvang, R. & Stenseth, N.C. (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science*, 312, 1959-1961.
- Jonzen, N., Linden, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J.O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenstrom, J., Lehikoinen, A., Edvardsen, E., Solvang, R. & Stenseth, N.C. (2007) Response to comment on "Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds". *Science*, 315, 598.
- Jorgensen, P.S., Bohning-Gaese, K., Thorup, K., Tottrup, A.P., Chylarecki, P., Jiguet, F., Lehikoinen, A., Noble, D.G., Reif, J., Schmid, H., van Turnhout, C., Burfield, I.J., Foppen, R., Vorisek, P., van Strien, A., Gregory, R.D. & Rahbek, C. (2016) Continent-scale global change attribution in European birds - combining annual and decadal time scales. *Global Change Biology*, 22, 530-543.
- Juntunen, V., Neuvonen, S., Norokorpi, Y. & Tasanen, T. (2002) Potential for timberline advance in northern Finland, as revealed by monitoring during 1983-99. *Arctic*, 55, 348-361.
- Jyväsjärvi, J., Marttila, H., Rossi, P.M., Ala-Aho, P., Olofsson, B., Nisell, J., Backman, B., Ilmonen, J., Virtanen, R., Paasivirta, L., Britschgi, R., Klove, B. & Muotka, T. (2015) Climate-induced warming imposes a threat to north European spring ecosystems. *Global Change Biology*, 21, 4561-4569.
- Järvinen, A. (1994) Global warming and egg size of birds. *Ecography*, 17, 108-110.
- Kapfer, J., Birks, H.J.B., Felde, V.A., Klanderud, K., Martinessen, T., Ross, L.C., Schei, F.H., Virtanen, R. & Grytnes, J.A. (2013) Long-term vegetation stability in northern Europe as assessed by changes in species co-occurrences. *Plant Ecology & Diversity*, 6, 289-302.
- Karlsson, P.S., Bylund, H., Neuvonen, S., Heino, S. & Tjus, M. (2003) Climatic response of budburst in the mountain birch at two areas in northern Fennoscandia and possible responses to global change. *Ecography*, 26, 617-625.
- Kellomäki, S., Rouvinen, I., Peltola, H., Strandman, H. & Steinbrecher, R. (2001) Impact of global warming on the tree species composition of boreal forests in Finland and effects on emissions of isoprenoids. *Global Change Biology*, 7, 531-544.
- Kellomäki, S., Strandman, H., Korhonen, K., Nuutinen, T. & Peltola, H. (2005) Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. FINADAPT Working Paper 4. Finnish Environment Institute Mimeographs, 334, 1-44.
- Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K.T. & Strandman, H. (2008) Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 2339-2349.
- Kilpeläinen, A., Kellomäki, S., Strandman, H. & Venäläinen, A. (2010a) Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climatic Change*, 103, 383-398.
- Kilpeläinen, A., Gregow, H., Strandman, H., Kellomäki, S., Venäläinen, A. & Peltola, H. (2010b) Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland. *Climatic Change*, 99, 193-209.
- Kivinen, S., Luoto, M., Kuussaari, M. & Saarinen, K.M. (2007) Effects of land cover and climate on species richness of butterflies in boreal agricultural landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 122, 453-460.
- Kontiokari, S. (2014) Suomelle uudet perhoslajit 1990-2009 ja niiden leviäminen eri maakuntiin. *Baptria*, 39, 92-115.
- Kujala, H., Burgman, M.A. & Moilanen, A. (2013a) Treatment of uncertainty in conservation under climate change. *Conservation Letters*, 6, 73-85.
- Kujala, H., Araujo, M.B., Thuiller, W. & Cabeza, M. (2011) Misleading results from conventional gap analysis - Messages from the warming north. *Biological Conservation*, 144, 2450-2458.
- Kujala, H., Vepsäläinen, V., Zuckerberg, B. & Brommer, J. (2013b) Range margin shifts of birds revisited — the role of spatiotemporally varying survey effort. *Global Change Biology*, 19, 420-430.
- Kujala, H., Moilanen, A., Araujo, M.B. & Cabeza, M. (2013c) Conservation Planning with Uncertain Climate Change Projections. *Plos One*, 8, e53315.
- Kuosmanen, N., Seppä, H., Reitalu, T., Alenius, T., Bradshaw, R.H.W., Clear, J.L., Filimonova, L., Kuznetsov, O. & Zaretskaya, N. (2016) Long-term forest composition and its drivers in taiga forest in NW Russia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 25, 221-236.
- Kuussaari, M., Heliölä, J., Pöyry, J. & Saarinen, K. (2007) Contrasting trends of butterfly species preferring semi-natural grasslands, field margins and forest edges in northern Europe. *Journal of Insect Conservation*, 11, 351-366.
- 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.
- Laaksonen, T., Ahola, M., Eeva, T., Väisänen, R.A. & Lehikoinen, E. (2006) Climate change, migratory connectivity and changes in laying date and clutch size of the pied flycatcher. *Oikos*, 114, 277-290.
- Lappalainen, H.K., Linkosalo, A. & Venäläinen, A. (2008) Long-term trends in spring phenology in a boreal forest in central Finland. *Boreal Environment Research*, 13, 303-318.
- le Roux, P.C., Aalto, J. & Luoto, M. (2013) Soil moisture's underestimated role in climate change impact modelling in low-energy systems. *Global Change Biology*, 19, 2965-2975.

- Lehikoinen, A. (2011) Advanced Autumn Migration of Sparrowhawk Has Increased the Predation Risk of Long-Distance Migrants in Finland. *Plos One*, 6, e20001.
- Lehikoinen, A. & Virkkala, R. (2016) North by north-west: climate change and directions of density shifts in birds. *Global Change Biology*, 22, 1121-1129.
- Lehikoinen, A., Kilpi, M. & Öst, M. (2006) Winter climate affects subsequent breeding success of common eiders. *Global Change Biology*, 12, 1355-1365.
- Lehikoinen, A., Green, M., Husby, M., Kalas, J.A. & Lindstrom, A. (2014) Common montane birds are declining in northern Europe. *Journal of Avian Biology*, 45, 3-14.
- Lehikoinen, A., Byholm, P., Ranta, E., Saurola, P., Valkama, J., Korpimäki, E., Pietiäinen, H. & Henttonen, H. (2009) Reproduction of the common buzzard at its northern range margin under climatic change. *Oikos*, 118, 829-836.
- Lehikoinen, A., Linden, A., Byholm, P., Ranta, E., Saurola, P., Valkama, J., Kaitala, V. & Linden, H. (2013a) Impact of climate change and prey abundance on nesting success of a top predator, the goshawk. *Oecologia*, 171, 283-293.
- Lehikoinen, A., Ranta, E., Pietiäinen, H., Byholm, P., Saurola, P., Valkama, J., Huitu, O., Henttonen, H. & Korpimäki, E. (2011) The impact of climate and cyclic food abundance on the timing of breeding and brood size in four boreal owl species. *Oecologia*, 165, 349-355.
- Lehikoinen, A., Fraixedas, S., Burgas, D., Eriksson, H., Henttonen, H., Laakkonen, H., Lehikoinen, P., Lehtomäki, J., Leppänen, J., Makelainen, S., Niemimäa, J., Pihlajaniemi, M., Santaharju, J. & Valimäki, K. (2016) The impact of weather and the phase of the rodent cycle on breeding populations of waterbirds in Finnish Lapland. *Ornis Fennica*, 93, 31-46.
- Lehikoinen, A., Jaatinen, K., Vahatalo, A.V., Clausen, P., Crowe, O., Deceuninck, B., Hearn, R., Holt, C.A., Hornman, M., Keller, V., Nilsson, L., Langendoen, T., Tomankova, I., Wahl, J. & Fox, A.D. (2013b) Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common waterbird species. *Global Change Biology*, 19, 2071-2081.
- Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. (2016) Suomen yöperhosseuranta (Nocturna) 1993-2012 [The Finnish moth monitoring scheme 1993-2012]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 15/2016, 1-71.
- Lenoir, J., Graae, B.J., Aarrestad, P.A., Alsos, I.G., Armbruster, W.S., Austrheim, G., Bergendorff, C., Birks, H.J.B., Brathen, K.A., Brunet, J., Bruun, H.H., Dahlberg, C.J., Decocq, G., Diekmann, M., Dynesius, M., Ejrnaes, R., Grytnes, J.A., Hylander, K., Klanderud, K., Luoto, M., Milbau, A., Moora, M., Nygaard, B., Odland, A., Ravolainen, V.T., Reinhardt, S., Sandvik, S.M., Schei, F.H., Speed, J.D.M., Tveraabak, L.U., Vandvik, V., Velle, L.G., Virtanen, R., Zobel, M. & Svenning, J.C. (2013) Local temperatures inferred from plant communities suggest strong spatial buffering of climate warming across Northern Europe. *Global Change Biology*, 19, 1470-1481.
- Lindström, J. (1996) Weather and grouse population dynamics. *Wildlife Biology*, 2, 93-99.
- Ludwig, G.X., Alatalo, R.V., Helle, P., Lindén, H., Lindström, J. & Siitari, H. (2006) Short- and long-term population dynamical consequences of asymmetric climate change in black grouse. *Proceedings of the Royal Society of London. Biological Sciences*, 273, 2009-2016.
- Lung, T., Meller, L., van Teeffelen, A.J.A., Thuiller, W. & Cabeza, M. (2014) Biodiversity Funds and Conservation Needs in the EU Under Climate Change. *Conservation Letters*, 7, 390-400.
- Luoto, M. & Seppälä, M. (2003) Thermokarst ponds as indicators of the former distribution of palsas in Finnish Lapland. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14, 19-27.
- Luoto, M. & Heikkinen, R.K. (2008) Disregarding topographical heterogeneity biases species turnover assessments based on bioclimatic models. *Global Change Biology*, 14, 483-494.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Carter, T.R. (2004) Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation*, 31, 30-37.
- Luoto, M., Virkkala, R. & Heikkinen, R.K. (2007) The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 34-42.
- Luoto, M., Pöyry, J., Heikkinen, R.K. & Saarinen, K. (2005) Uncertainty of bioclimate envelope models based on the geographical distribution of species. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 575-584.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K., Pöyry, J. & Saarinen, K. (2006) Determinants of the biogeographical distribution of butterflies in boreal regions. *Journal of Biogeography*, 33, 1764-1778.
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Thuiller, W. (2009) Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15, 59-69.
- Mattila, N., Kaitala, V., Komonen, A., Päivinen, J. & Kotiaho, J.S. (2011) Ecological correlates of distribution change and range shift in butterflies. *Insect Conservation and Diversity*, 4, 239-246.
- Mazziotta, A., Mönkkönen, M., Strandman, H., Routa, J., Tikkanen, O.P. & Kellomäki, S. (2014) Modeling the effects of climate change and management on the dead wood dynamics in boreal forest plantations. *European Journal of Forest Research*, 133, 405-421.
- Mazziotta, A., Trivino, M., Tikkanen, O.P., Kouki, J., Strandman, H. & Mönkkönen, M. (2015) Applying a framework for landscape planning under climate change for the conservation of biodiversity in the Finnish boreal forest. *Global Change Biology*, 21, 637-651.
- Mazziotta, A., Trivino, M., Tikkanen, O.P., Kouki, J., Strandman, H. & Mönkkönen, M. (2016) Habitat associations drive species vulnerability to climate change in boreal forests. *Climatic Change*, 135, 585-595.
- Meller, K., Lehikoinen, A. & Vähätalo, A.V. (2013) The effects of hatching date on timing of autumn migration in partial migrants - an individual approach. *Journal of Avian Biology*, 44, 272-280.

- Meller, K., Vähätalo, A.V., Hokkanen, T., Rintala, J., Piha, M. & Lehikoinen, A. (2016) Interannual variation and long-term trends in proportions of resident individuals in partially migratory birds. *Journal of Animal Ecology*, 85, 570-580.
- Meller, L., van Vuuren, D.P. & Cabeza, M. (2015a) Quantifying biodiversity impacts of climate change and bioenergy: the role of integrated global scenarios. *Regional Environmental Change*, 15, 961-971.
- Meller, L., Thuiller, W., Pironon, S., Barbet-Massin, M., Hof, A. & Cabeza, M. (2015b) Balance between climate change mitigation benefits and land use impacts of bioenergy: conservation implications for European birds. *Global Change Biology Bioenergy*, 7, 741-751.
- Meller, L., Cabeza, M., Pironon, S., Barbet-Massin, M., Maiorano, L., Georges, D. & Thuiller, W. (2014) Ensemble distribution models in conservation prioritization: from consensus predictions to consensus reserve networks. *Diversity and Distributions*, 20, 309-321.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksonen, A. (2014) Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 1521-1529.
- Miller, P.A., Giesecke, T., Hickler, T., Bradshaw, R.H.W., Smith, B., Seppä, H., Valdes, P.J. & Sykes, M.T. (2008) Exploring climatic and biotic controls on Holocene vegetation change in Fennoscandia. *Journal of Ecology*, 96, 247-259.
- Mitikka, V., Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araújo, M.B., Saarinen, K., Pöyry, J. & Fronzek, S. (2008) Predicting range expansion of the map butterfly in Northern Europe using bioclimatic models. *Biodiversity and Conservation*, 17, 623-641.
- Moilanen, A., Laitila, J., Vahtoranta, T., Dicks, L.V. & Sutherland, W.J. (2014) Structured analysis of conservation strategies applied to temporary conservation. *Biological Conservation*, 170, 188-197.
- Nevalainen, S., Lindgren, M., Pouttu, A., Heinonen, J., Hongisto, M. & Neuvonen, S. (2010) Extensive tree health monitoring networks are useful in revealing the impacts of widespread biotic damage in boreal forests. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168, 159-171.
- Nieminen, M. (2015) Distance decay is uncommon in large-scale population synchrony of common moths: does it promote vulnerability to climate change? *Insect Conservation and Diversity*, 8, 438-447.
- Ojala, A.E.K., Alenius, T., Seppä, H. & Giesecke, T. (2008) Integrated varve and pollen-based temperature reconstruction from Finland: evidence for Holocene seasonal temperature patterns at high latitudes. *Holocene*, 18, 529-538.
- 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, 2681-2693.
- Pakanen, V.M., Orell, M., Vatka, E., Rytönen, S. & Broggi, J. (2016) Different Ultimate Factors Define Timing of Breeding in Two Related Species. *Plos One*, 11, e0162643.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A. & Warren, M. (1999) Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399, 579-583.
- Parviainen, M. & Luoto, M. (2007) Climate envelopes of mire complex types in Fennoscandia. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, 89A, 137-151.
- Pavon-Jordan, D., Fox, A.D., Clausen, P., Dagys, M., Deceuninck, B., Devos, K., Hearn, R.D., Holt, C.A., Hornman, M., Keller, V., Langendoen, T., Lawicki, L., Lorentsen, S.H., Luigujoe, L., Meissner, W., Musil, P., Nilsson, L., Paquet, J.Y., Stipniece, A., Stroud, D.A., Wahl, J., Zenatello, M. & Lehikoinen, A. (2015) Climate-driven changes in winter abundance of a migratory waterbird in relation to EU protected areas. *Diversity and Distributions*, 21, 571-582.
- Pellissier, L., Eidesen, P.B., Ehrich, D., Descombes, P., Schonswetter, P., Tribsch, A., Westergaard, K.B., Alvarez, N., Guisan, A., Zimmermann, N.E., Normand, S., Vittoz, P., Luoto, M., Damgaard, C., Brochmann, C., Wisz, M.S. & Alsos, I.G. (2016) Past climate-driven range shifts and population genetic diversity in arctic plants. *Journal of Biogeography*, 43, 461-470.
- Piha, H., Luoto, M., Piha, M. & Merila, J. (2007) Anuran abundance and persistence in agricultural landscapes during a climatic extreme. *Global Change Biology*, 13, 300-311.
- Pouzols, F.M. & Moilanen, A. (2014) A method for building corridors in spatial conservation prioritization. *Landscape Ecology*, 29, 789-801.
- Pouzols, F.M., Toivonen, T., Di Minin, E., Kukkala, A.S., Kullberg, P., Kuustera, J., Lehtomäki, J., Tenkanen, H., Verburg, P.H. & Moilanen, A. (2014) Global protected area expansion is compromised by projected land-use and parochialism. *Nature*, 516, 383-386.
- Pressey, R.L., Cabeza, M., Watts, M.E., Cowling, R.M. & Wilson, K.A. (2007) Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 583-592.
- Pöyry, J. & Toivonen, H. (2005) Climate change adaptation and biological diversity. *Finnish Environment Institute Mimeographs*, 333, 1-46.
- Pöyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Saarinen, K. (2008) Species traits are associated with the quality of bioclimatic models. *Global Ecology and Biogeography*, 17, 403-414.
- Pöyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R.K., Kuussaari, M. & Saarinen, K. (2009) Species traits explain recent range shifts of Finnish butterflies. *Global Change Biology*, 15, 732-743.
- Pöyry, J., Leinonen, R., Söderman, G., Nieminen, M., Heikkinen, R.K. & Carter, T.R. (2011) Climate-induced increase of moth multivoltinism in boreal regions. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 289-298.

- Pöyry, J., Carvalheiro, L.G., Heikkinen, R.K., Kühn, I., Kuussaari, M., Schweiger, O., Valtonen, A., van Bodegom, P.M. & Franzén, M. (2017) The effects of soil eutrophication propagate to higher trophic levels. *Global Ecology and Biogeography*, 26, 18-30.
- Rainio, K., Laaksonen, T., Ahola, M., Vähätalo, A.V. & Lehikoinen, E. (2006) Climatic responses in spring migration of boreal and arctic birds in relation to wintering area and taxonomy. *Journal of Avian Biology*, 37, 507-515.
- Rousi, M., Heinonen, J. & Neuvonen, S. (2011) Intrapopulation variation in flowering phenology and fecundity of silver birch, implications for adaptability to changing climate. *Forest Ecology and Management*, 262, 2378-2385.
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J. & Pirinen, P. (2011) Projected changes in thermal seasons and the growing season in Finland. *International Journal of Climatology*, 31, 1473-1487.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. (2016) Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51, 17-50.
- Saarinen, T., Lundell, R., Åstrom, H. & Hänninen, H. (2011) Parental overwintering history affects the responses of *Thlaspi arvense* to warming winters in the North. *Environmental and Experimental Botany*, 72, 409-414.
- Saccone, P. & Virtanen, R. (2016) Extrapolating multi-decadal plant community changes based on medium-term experiments can be risky: evidence from high-latitude tundra. *Oikos*, 125, 76-85.
- Saino, N., Ambrosini, R., Rubolini, D., von Hardenberg, J., Provenzale, A., Huppopp, K., Huppopp, O., Lehikoinen, A., Lehikoinen, E., Rainio, K., Romano, M. & Sokolov, L. (2011) Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 278, 835-842.
- Salonen, J.S., Seppä, H., Luoto, M., Bjune, A.E. & Birks, H.J.B. (2012) A North European pollen-climate calibration set: analysing the climatic responses of a biological proxy using novel regression tree methods. *Quaternary Science Reviews*, 45, 95-110.
- Santangeli, A., Rajasärkkä, A.I. & Lehikoinen, A. (2017) Effects of high latitude protected areas on bird communities under rapid climate change. *Global Change Biology*, 23, 2241-2249.
- Seppä, H. & Birks, H.J.B. (2001) July mean temperature and annual precipitation trends during the Holocene in the Fennoscandian tree-line area: pollen-based climate reconstructions. *Holocene*, 11, 527-539.
- Seppä, H., Bjune, A.E., Telford, R.J., Birks, H.J.B. & Veski, S. (2009a) Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe. *Climate of the Past*, 5, 523-535.
- Seppä, H., Alenius, T., Bradshaw, R.H.W., Giesecke, T., Heikkilä, M. & Muukkonen, P. (2009b) Invasion of Norway spruce (*Picea abies*) and the rise of the boreal ecosystem in Fennoscandia. *Journal of Ecology*, 97, 629-640.
- Seppä, H., Schurgers, G., Miller, P.A., Bjune, A.E., Giesecke, T., Kuhl, N., Renssen, H. & Salonen, J.S. (2015) Trees tracking a warmer climate: The Holocene range shift of hazel (*Corylus avellana*) in northern Europe. *Holocene*, 25, 53-63.
- Smol, J.P., Wolfe, A.P., Birks, H.J.B., Douglas, M.S.V., Jones, V.J., Korhola, A., Pienitz, R., Ruhland, K., Sorvari, S., Antoniades, D., Brooks, S.J., Fallu, M.A., Hughes, M., Keatley, B.E., Laing, T.E., Michelutti, N., Nazarova, L., Nyman, M., Paterson, A.M., Perren, B., Quinlan, R., Rautio, M., Saulnier-Talbot, E., Siitonen, S., Solovieva, N. & Weckstrom, J. (2005) Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 4397-4402.
- Snäll, T., Lehtomäki, J., Arponen, A., Elith, J. & Moilanen, A. (2016) Green Infrastructure Design Based on Spatial Conservation Prioritization and Modeling of Biodiversity Features and Ecosystem Services. *Environmental Management*, 57, 251-256.
- Sormunen, H., Virtanen, R. & Luoto, M. (2011) Inclusion of local environmental conditions alters high-latitude vegetation change predictions based on bioclimatic models. *Polar Biology*, 34, 883-897.
- Sorvari, S., Korhola, A. & Thompson, R. (2002) Lake diatom response to recent Arctic warming in Finnish Lapland. *Global Change Biology*, 8, 171-181.
- Stephens, P.A., Mason, L.R., Green, R.E., Gregory, R.D., Sauer, J.R., Alison, J., Aunins, A., Brotons, L., Butchart, S.H.M., Campedelli, T., Chodkiewicz, T., Chylarecki, P., Crowe, O., Elts, J., Escandell, V., Foppen, R.P.B., Heldbjerg, H., Herrando, S., Husby, M., Jiguet, F., Lehikoinen, A., Lindstrom, A., Noble, D.G., Paquet, J.Y., Reif, J., Sattler, T., Szep, T., Teufelbauer, N., Trautmann, S., van Strien, A.J., van Turnhout, C.A.M., Vorisek, P. & Willis, S.G. (2016) Consistent response of bird populations to climate change on two continents. *Science*, 352, 84-87.
- Terraube, J., Villers, A., Ruffino, L., Iso-livari, L., Henttonen, H., Oksanen, T. & Korpimäki, E. (2015) Coping with fast climate change in northern ecosystems: mechanisms underlying the population-level response of a specialist avian predator. *Ecography*, 38, 690-699.
- Thomas, C.D., Anderson, B.J., Moilanen, A., Eigenbrod, F., Heinemeyer, A., Quaipe, T., Roy, D.B., Gillings, S., Armsworth, P.R. & Gaston, K.J. (2013) Reconciling biodiversity and carbon conservation. *Ecology Letters*, 16, 39-47.
- Thuiller, W., Albert, C., Araujo, M.B., Berry, P.M., Cabeza, M., Guisan, A., Hickler, T., Midgely, G.F., Paterson, J., Schurr, F.M., Sykes, M.T. & Zimmermann, N.E. (2008) Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9, 137-152.

- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H. & Venäläinen, A. (2010) Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology*, 30, 2247-2256.
- Torssonen, P., Strandman, H., Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., Jylhä, K., Asikainen, A. & Peltola, H. (2015) Do we need to adapt the choice of main boreal tree species in forest regeneration under the projected climate change? *Forestry*, 88, 564-572.
- Turunen, M., Soppela, P., Kinnunen, H., Sutinen, M.L. & Martz, F. (2009) Does climate change influence the availability and quality of reindeer forage plants? *Polar Biology*, 32, 813-832.
- Turunen, M., Oksanen, P., Vuojala-Magga, T., Markkula, I., Sutinen, M.L. & Hyvönen, J. (2013) Impacts of winter feeding of reindeer on vegetation and soil in the sub-Arctic: insights from a feeding experiment. *Polar Research*, 32, 18610.
- Ukkonen, P., Aaris-Sorensen, K., Arppe, L., Clark, P.U., Daugnora, L., Lister, A.M., Lougas, L., Seppä, H., Sommer, R.S., Stuart, A.J., Wojtal, P. & Zupins, I. (2011) Woolly mammoth (*Mammuthus primigenius* Blum.) and its environment in northern Europe during the last glaciation. *Quaternary Science Reviews*, 30, 693-712.
- Valtonen, A., Latja, R., Leinonen, R. & Pöysä, H. (2017) Arrival and onset of breeding of three passerine birds in Eastern Finland tracks climatic variation and phenology of insects. *Journal of Avian Biology*, doi:10.1111/jav.01128.
- Valtonen, A., Ayres, M.P., Roininen, H., Pöyry, J. & Leinonen, R. (2011) Environmental controls on the phenology of moths: predicting plasticity and constraint under climate change. *Oecologia*, 165, 237-248.
- Valtonen, A., Leinonen, R., Pöyry, J., Roininen, H., Tuomela, J. & Ayres, M.P. (2014) Is climate warming more consequential towards poles? The phenology of Lepidoptera in Finland. *Global Change Biology*, 20, 16-27.
- van Teeffelen, A., Meller, L., van Minnen, J., Vermaat, J. & Cabeza, M. (2015) How climate proof is the European Union's biodiversity policy? *Regional Environmental Change*, 15, 997-1010.
- Vanhanen, H., Veteli, T.O., Päivinen, S., Kellomäki, S. & Niemelä, J. (2007) Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. *Silva Fennica*, 41, 621-638.
- Wasof, S., Lenoir, J., Aarrestad, P.A., Alsos, I.G., Armbruster, W.S., Austrheim, G., Bakkestuen, V., Birks, H.J.B., Brathen, K.A., Broennimann, O., Brunet, J., Bruun, H.H., Dahlberg, C.J., Diekmann, M., Dullinger, S., Dynesius, M., Ejrnaes, R., Gegout, J.C., Graae, B.J., Grytnes, J.A., Guisan, A., Hylander, K., Jonsdottir, I.S., Kapfer, J., Klanderud, K., Luoto, M., Milbau, A., Moora, M., Nygaard, B., Odland, A., Pauli, H., Ravolainen, V., Reinhardt, S., Sandvik, S.M., Schei, F.H., Speed, J.D.M., Svenning, J.C., Thuiller, W., Tveraaabak, L.U., Vandvik, V., Velle, L.G., Virtanen, R., Vittoz, P., Willner, W., Wohlgenuth, T., Zimmermann, N.E., Zobel, M. & Decocq, G. (2015) Disjunct populations of European vascular plant species keep the same climatic niches. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 1401-1412.
- Vatka, E., Orell, M. & Rytönen, S. (2011) Warming climate advances breeding and improves synchrony of food demand and food availability in a boreal passerine. *Global Change Biology*, 17, 3002-3009.
- Vatka, E., Rytönen, S. & Orell, M. (2014) Does the temporal mismatch hypothesis match in boreal populations? *Oecologia*, 176, 595-605.
- Vatka, E., Orell, M. & Rytönen, S. (2016) The relevance of food peak architecture in trophic interactions. *Global Change Biology*, 22, 1585-1594.
- Weckström, J., Seppä, H. & Korhola, A. (2010) Climatic influence on peatland formation and lateral expansion in sub-arctic Fennoscandia. *Boreas*, 39, 761-769.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Heikinheimo, M., Kellomäki, S., Peltola, H., Strandman, H. & Väisänen, H. (2001) Impact of climate change on soil frost under snow cover in a forested landscape. *Climate Research*, 17, 63-72.
- Wintle, B.A., Bekessy, S.A., Keith, D.A., van Wilgen, B.W., Cabeza, M., Schroder, B., Carvalho, S.B., Falcucci, A., Maiorano, L., Regan, T.J., Rondinini, C., Boitani, L. & Possingham, H.P. (2011) Ecological-economic optimization of biodiversity conservation under climate change. *Nature Climate Change*, 1, 355-359.
- Virkkala, R. (2013) Suojelalueiden merkitys linnuille ilmaston muuttuessa. *Ympäristö ja Terveys*, 44 (8), 8-11.
- Virkkala, R. (2016) Long-term decline of southern boreal forest birds: consequence of habitat alteration or climate change? *Biodiversity and Conservation*, 25, 151-167.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2011a) Climate change affects populations of northern birds in boreal protected areas. *Biology Letters*, 7, 395-398.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2011b) Northward density shift of bird species in boreal protected areas due to climate change. *Boreal Environment Research*, 16 (suppl. B), 2-13.
- Virkkala, R. & Rajasärkkä, A. (2012) Preserving species populations in the boreal zone in a changing climate: contrasting trends of bird species groups in a protected area network. *Nature Conservation*, 3, 1-20.
- Virkkala, R. & Lehikoinen, A. (2014) Patterns of climate-induced density shifts of species: poleward shifts faster in northern boreal birds than in southern birds. *Global Change Biology*, 20, 2995-3003.
- 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., Heikkinen, R.K., Fronzek, S. & Leikola, N. (2013a) Climate change, northern birds of conservation concern and matching the hotspots of habitat suitability with the reserve network. *PLoS ONE*, 8, e63376.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014a) Matching trends between recent distributional changes of northern-boreal birds and species-climate model predictions. *Biological Conservation*, 172, 124-127.
- Virkkala, R., Marmion, M., Heikkinen, R.K., Thuiller, W. & Luoto, M. (2010) Predicting range shifts of northern bird species: Influence of modelling technique and topography. *Acta Oecologica*, 36, 269-281.
- Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Fronzek, S., Kujala, H. & Leikola, N. (2013b) Does the protected area network preserve bird species of conservation concern in a rapidly changing climate? *Biodiversity and Conservation*, 22, 459-482.
- Virkkala, R., Pöyry, J., Heikkinen, R.K., Lehikoinen, A. & Valkama, J. (2014b) Protected areas alleviate climate change effects on northern bird species of conservation concern. *Ecology and Evolution*, 4, 2991-3003.
- Virtanen, R., Luoto, M., Rämä, T., Mikkola, K., Hjort, J., Grytnes, J.-A. & Birks, H.J.B. (2010) Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 810-821.
- Virtanen, R., Grytnes, J.A., Lenoir, J., Luoto, M., Oksanen, J., Oksanen, L. & Svenning, J.C. (2013) Productivity-diversity patterns in arctic tundra vegetation. *Ecography*, 36, 331-341.
- Virtanen, T. & Neuvonen, S. (1999a) Performance of moth larvae on birch in relation to altitude, climate, host quality and parasitoids. *Oecologia*, 120, 92-101.
- Virtanen, T. & Neuvonen, S. (1999b) Climate change and macrolepidopteran biodiversity in Finland. *Chemosphere: Global Change Science*, 1, 439-448.
- Virtanen, T., Neuvonen, S. & Nikula, A. (1998) Modelling topo-climatic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lep., Geometridae) with Geographical Information System: predictions in current climate and in scenarios with warmer climate. *Journal of Applied Ecology*, 35, 311-322.
- Vähätalo, A.V., Rainio, K., Lehikoinen, A. & Lehikoinen, E. (2004) Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Avian Biology*, 35, 210-216.
- Välimäki, K., Lindén, A. & Lehikoinen, A. (2016) Velocity of density shifts in Finnish landbird species depends on their migration ecology and body mass. *Oecologia*, 181, 313-321.

6. Suojelalueiden ulkopuolisten metsäympäristöjen monimuotoisuuden suojeleminen ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen

- FSC (2011) Suomen FSC-standardi. Suomen FSC-yhdistys © 2010 Forest Stewardship Council A.C. 46 s.
- Greis, I., Perälä, M., Perälä, T. & Teppo, M. (toim.) (2015) Metsänhoidon suositukset metsäteiden kunnossapitoon, työopas. Tapion julkaisuja. 57 s.
- Hallman, E., Karvonen, L., Leinonen, J., Päivinen, J. & Siikamäki, P. (2013) Yleiset yhteiskunnalliset velvollisuudet. Monimuotoisuushyötyjen arviointi. Metsähallituksen raportti. 41 s.
- Hedin, J., Isacsson, G., Jonsell, M. & Komonen, A. (2008) Forest fuel piles as ecological traps for saproxylic beetles in oak, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23, 348-357.
- Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. (2012) Hyvän metsänhoidon suositukset - Vesien suojeleminen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 65 s.
- Juhola, S., Kokko, K., Ollikainen, M., Pelttonen-Sainio, P., Haanpää, S., Seppälä, J., Lötjönen, S. & Airaksinen, M. (2016) Ilmastonmuutoksen riskit, kustannukset ja vastuut: tapaustarkastelussa sato- ja tulvavahingot. - Ilmastopaneelin raportti, 2/2016, 1-36.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. (2009) Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. Raportteja 4, Ilmatieteen laitos.
- Kaukonen, M. (2015) Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas: toteutuminen ja vaikutukset. Julk. Koskela, T., Anttila, S. Syrjänen, K. & Kuusela, S. (toim.) METSO-tilannekatsaus 2014. Ete- lä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelma 2008-2025. - Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2015. s. 19-21.
- 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, 1-44.
- Kellomäki, S. & Väisänen, H. (1997) Model computations on the effect of rising temperature on soil moisture and water availability in forest ecosystems dominated by scots pine in the boreal zone in Finland. *Climate Change*, 32, 423-445.
- Keto-Tokoi, P. & Kotiaho, J.S. (2013) METSO-ohjelmasta moninkertainen hyöty suunnittelemalla paremmin. *Luonnon Tutkija*, 1-2, 46-54.
- Keto-Tokoi, P., Saaristo, L. & Valkeapää, A. (2016) WWF:n Metsänhoito-opas - metsänhoitoa sinun ja luonnon ehdoilla. WWF 2016. 18 s.
- Koistinen, A., Luuro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) (2016) Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. 78 s.

- Korhonen, K.T., Auvinen, A-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J-P. & Kolström, T. (2016) Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 56 s.
- Koskela, T., Kuusela, S., Syrjänen, K. & Anttila, S. (toim.) (2016) METSO-tilannekatsaus 2015. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelma 2008–2025. - Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus, 20/2016, 1-24.
- Kuusinen N. (2014) Boreal forest albedo and its spatial and temporal variation. *Dissertationes Forestales* 179.
- Lindén, M., Lilja-Rothsten, S, Saaristo. L. & Keto-Tokoi, P. (toim.) (2014) Metsänhoidon suositukset riisitametsänhoitoon, työopas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 41 s.
- Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Eggers, T., Muukkonen, P. & Mäkipää, R. (2006) Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004—an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Annals of Forest Science*, 63, 687-697.
- Luyssaert, S., Schulze, D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P & Grace, J. (2008) Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, 213-215.
- Peltola, H., Vapaavuori, E., Niemelä, P., Kellomäki, S., Gregow, H., Huitu, O., Kallio, M., Kilpeläinen, A., Müller, M., Neuvonen, S., Salemaa, M., Siitonen, J. & Venäläinen, A. (2012) Ilmastonmuutokseen sopeutuminen metsätaloudessa. Julk. Ruuhela, R. (toim.) Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? - yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja, 6/2011, 38–45.
- Päivinen, J., Björkqvist, N., Karvonen, L., Kaukonen, M., Korhonen, K-M., Kuokkanen, P., Lehtonen, H. & Tolonen, A. (toim.) (2011) Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas. Metsähallituksen metsä-talouden julkaisuja, 67, 1-162. Saatavissa: <https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/mt/ymparistoopas2011.pdf>
- Maa- ja metsätalousministeriö (2014) Valtioneuvoston metsäpoliittinen selonteko 2050. VNS 1/2014 vp. <http://mmm.fi/documents/1410837/1504826/Mets%C3%A4poliittinen+selonteko+2050/8cf6fc1d-e5c3-464d-8817-a2dedfb12e58>
- Metsien suojelualue- ja METSO-tilastoinnin työryhmä METI (2015) Suunnitelma metsien suojelualue- ja METSO-tilastoinnin kehittämiseksi. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuidio 2015:2. Helsinki. MMM. 58 s.
- Mäkipää, R. (2012) Ilmastonmuutos ja metsien hoito vaikuttavat metsien hiilitaseeseen. *Metsätieteen aikakauskirja*, 2/2012, 139-141.
- Müller, M., Hantula, J., Henttonen, H., Huitu, O., Kaitera, J., Matala, J., Neuvonen, S., Piri, T., Sievänen, R., Viiri, H. & Vuorinen, M. (2012) Metsien terveys. Julk. Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (toim.). Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 240, 197–214.
- Müller, M.M., Sievänen, R., Beuker, E., Meesenburg, H., Kuuskeri, J., Hamberg, L. & Korhonen, K. (2014) Predicting the activity of Heterobasidion parviporum on Norway spruce in warming climate from its respiration rate at different temperatures. *Forest Pathology*, 44, 325-336.
- Ojanen, P. (2014) Estimation of greenhouse gas balance for forestry-drained peatlands. *Dissertationes Forestales* 176. 26 s. <http://www.dissertationesforestales.fi/article/1959>
- PEFC Suomi (2014) PEFC FI 1002_2014 Metsäsertifoinnin kriteerit 20141027. 41 s. <http://www.kestavametsa.fi/pefc-standardit>
- Pingoud, K., Savolainen, I., Seppälä, J., Kanninen, M. & Kilpeläinen, A. (2013) Metsien käytön ja metsäbioenergian ilmastovaikutukset. Suomen ilmastopaneeli Raportti, 2/2013, 1-25.
- Päivinen, J., Björkqvist, N., Karvonen, L., Kaukonen, M., Korhonen, K-M., Kuokkanen, P., Lehtonen, H. & Tolonen, A. (toim.) (2011) Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas. Metsähallituksen metsä-talouden julkaisuja, 67, 1-162.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) (2010) Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 685 s.
- Saaristo, L. & Vanhatalo, K. (toim.) (2015) Metsänhoidon suositukset talousmetsien luonnonhoitoon, työopas. Tapion julkaisuja. 99 s.
- Seppälä, J., Vesala, T. & Kanninen, M. (toim.) (2015a) Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä. - Ilmastopaneelin raportti, 3/2015,1-59.
- Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R. & Repo, A. (toim.) (2015b) Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen - Ilmastopaneelin raportti 4/2015:1-43.
- Sved, J. & Koistinen, A. (toim.) (2015) Metsänhoidon suositukset kannattavaan metsätalouteen, työopas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 87 s.
- Valkonen, S., Saarinen, M. & Hökkä, H. (2014) Avohakkuuttomasta metsänhoidostako ratkaisu turvemaiden uudistamis- ja vesistöongelmiin. Julkaisussa: Rönkkönen, S. (toim.). Toimiva suoluonto vesistöjen- ja ilmastonsuojelun edellytyksenä. Ympäristöareena ry. s. 28.
- Valtioneuvosto (2014) Valtioneuvoston periaatepäätös Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelman jatkamisesta 2014–2025. Valtioneuvosto. 18 s. <http://www.ym.fi/download/noname/%7BE-4BA4C28-3815-4E62-87B5-AF9226CF749C%7D/100323>
- Valtioneuvosto (2015) Kansallinen metsästrategia 2025. Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja metsätalousministeriö 6/2015. 54 s.

- Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (toim.) (2015) Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas. Tapion julkaisuja.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Heikinheimo, M., Kellomäki, S., Peltola, H., Strandman, H., Väisänen, H. (2001) Impact of climate change on soil frost under snow cover in a forested landscape. *Climate Research*, 17, 63–72.
- Victorsson, J. & Jonsell, M. (2012) Ecological traps and habitat loss, stump extraction and its effects on saproxylic beetles. *Forest Ecology and Management*, 290, 22–29.
- Virkkala, R. (2016) Long-term decline of southern boreal forest birds: consequence of habitat alteration or climate change? *Biodiversity and Conservation*, 25, 151–167.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2014) Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 181 s.

7. Luonnonsuojelualueverkosto ekosysteemipalvelujen tuottajana muuttuvassa ilmastossa

- Akujärvi, A., Liski, J. & Lehtonen, A. (2016) Ecosystem services of boreal forests – Carbon budget mapping at high resolution. *Journal of Environmental Management*, 181, 498–514. doi:10.1016/j.jenvman.2016.06.066
- Alahuhta, J. (2011) Patterns of aquatic macrophytes in the boreal region: implications for spatial scale issues and ecological assessment. *Acta Univ. Oul.* A 577, 2011.
- Ala-Hulkko, T., Kotavaara, O., Alahuhta, J., Helle, P. & Hjort, J. (2016) Introducing accessibility analysis in mapping cultural ecosystem services. *Ecological Indicators*, 66, 416–427.
- Anderson, B.J., Armsworth, P.R., Eigenbrod, F., Thomas, C.D., Gillings, S., Heinemeyer, A., Roy, D.B. & Gaston, K.J. (2009) Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities. *Journal of Applied Ecology*, 46, 888–896.
- EEA (2015) European ecosystem assessment — concept, data, and implementation Contribution to Target 2 Action 5 Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES) of the EU Biodiversity Strategy to 2020. EEA Technical report No 6/2015, European Environment Agency.
- Forsius, M., Akujärvi, A., Mattson, T., Holmberg, M., Punttila, P., Posch, M., Liski, J., Repo, A., Virkkala, R. & Vihervaara, P. (2016) Modelling impacts of forest bioenergy use on ecosystem sustainability: Lammi LTER region, southern Finland. *Ecological Indicators*, 65, 66–75.
- Futter, M. N., Lofgren, S., Kohler, S. J., Lundin, L., Moldan, F., & Bringmark, L. (2011). Simulating Dissolved Organic Carbon Dynamics at the Swedish Integrated Monitoring Sites with the Integrated Catchments Model for Carbon, INCA-C. *Ambio*, 40, 906–919.
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M. C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusinski, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andren, H., Moberg, F., Moen, J. & Bengtsson, J. (2013) Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*, 4, 1340. DOI: 10.1038/ncomms2328.
- Gantioler, S., Rayment, M., ten Brink, P., McConville, A., Kettunen, M. & Bassi, S. (2014) The costs and socio-economic benefits associated with the Natura 2000 network. *International Journal of Sustainable Society*, 6, 135–157.
- GEO BON (2015a) Global Biodiversity Change Indicators: Model-based integration of remote-sensing & in situ observations that enables dynamic updates and transparency at low cost. V1.1.
- GEO BON (2015b) GEO BON Strategy for development of Essential Biodiversity Variables, version 1.0, October 2015 http://geobon.org/Downloads/Other_documents/Essential_Biodiversity_Variable_Strategy_v1.pdf
- Holmberg, M., Akujärvi, A., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, I., Böttcher, K., Feng, X., Forsius, M., Huttunen, I., Huttunen, M., Laine, Y., Lehtonen, H., Liski, J., Mononen, L., Rankinen, K., Repo, A., Piirainen, V., Vanhala, P. & Vihervaara P. (2015) ES Lab application to a boreal watershed in southern Finland: preparing for a virtual research environment for ecosystem services. *Landscape Ecology*, 30, 561–577.
- Jantke, K., Muller, J., Trapp, N. & Blanz, B. (2016) “Is climate-smart conservation feasible in Europe? Spatial relations of protected areas, soil carbon, and land values.” *Environmental Science & Policy*, 57, 40–49.
- Jetz, W., Cavender-Bares, J., Pavlick, R., Schimel, D., Davis, F.W., Asner, G.P., Guralnick, R., Kattge, J., Latimer, A.M., Moorcroft, P., Scaepman, M.E., Schildhauer, M.P., Schneider, F.P., Schrodt, F., Stahl, U. & Ustin, S.L. (2016) Monitoring plant functional diversity from space. *Nature Plants*, 2, 16024, DOI: 10.1038/NPLANTS.2016.24
- Jäppinen, J.-P., Tyrväinen, L., Reinikainen, M. & Ojala, A. (2014) Luonto lähelle ja terveydeksi. Ekosysteemipalvelut ja ihmisen terveys. Argumenta-hankkeen (2013–2014) tulokset ja toimenpidesuositukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 35, 1–140.
- Kettunen, M., Bassi, S., Gantioler, S. & ten Brink, P. (2009) Assessing Socio-economic Benefits of Natura 2000 – a Toolkit for Practitioners (September 2009 Edition). Output of the European Commission project Financing Natura 2000: Cost estimate and benefits of Natura 2000 (Contract No.: 070307/2007/484403/MAR/B2). Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brussels, Belgium. 191 pp. + Annexes.
- Kukkala, A. & Moilanen, A. (2016) Ecosystem services and connectivity in spatial conservation prioritization. *Landscape Ecology*, 32, 5–14.

- Kulmala, M., Nieminen, T., Chellapermal, R., Makkonen, R., Bäck, J., Kerminen & V-M. (2013) Climate Feedbacks Linking the Increasing Atmospheric CO₂ Concentration, BVOC Emissions, Aerosols and Clouds in Forest Ecosystems. Springer, Dordrecht, *Tree Physiology*. pp. 489-508.
- Kuusinen, N., Lukes, P., Stenberg, P., Levula, J., Nikinmaa, E., & Berninger, F. (2014). Measured and modelled albedos in Finnish boreal forest stands of different species, structure and understory. *Ecological Modelling*, 284, 10-18.
- Lehtoranta, J., Ekholm, P., Vihervaara, P. & Kortelainen, P. (eds.) (2014) Coupled biogeochemical cycles and ecosystem services. [Toisiinsa kytkeytyneet ainekierrot ja ekosysteemipalvelut.] Reports of the Finnish Environment Institute 21.
- Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schaegner, P., Grizetti, B., Drakou, E.G., La Notte, A., Zulian, G., Bouraoui, F., Paracchini, M., Braat, L. & Bidoglio, G. (2012a) Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1, 31-39.
- Maes, J., Paracchini, M.L., Zulian, G., Dunbar, M.B. & Alkemade, R. (2012b) Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. *Biological Conservation*, 155, 1-12.
- Mason, N.W.H., Mouillot, D., Lee, W.G. & Wilson, J.B. (2005) Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *OIKOS*, 111,112-118.
- Mason, N.W.H. & de Bello, F. (2013) Functional diversity: a tool for answering challenging ecological questions. *Journal of Vegetation Science*, 24, 777-780.
- McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E. & Westoby, M. (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 21,178-185.
- Mononen, L., Ahokumpu, A.-L., Auvinen, A.-P., Rönkä, M., Tolvanen, H., Aarras, N., Kamppinen, M., Viirret, E., Kumpula, T. & Vihervaara, P. (2016) National ecosystem service indicators: measures of social-ecological sustainability. *Ecological Indicators*, 61, 27-37.
- Mouillot, D., Graham, N.A.J., Villéger, S., Mason, N.W.H. & Bellwood, D.R. (2013) A functional approach reveals community responses to disturbances. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 28,167-177.
- Paracchini, M.L., Zulian, G., Kopperoinen, L., Maes, J., Schägner, J.P., Termansen, M., Zandersen, M., Perez-Soba, M., Scholefield, P.A. & Bidoglio, G., (2014) Mapping cultural ecosystem services: a framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU. *Ecological Indicators*, 45, 371-385.
- Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Mücher, S., Dawson, T.P., Fernandez, M., Lucas, R., Schaepman, M.E., Wang, T., O'Connor, B., Jongman, R.H.G., Kempeneers, P., Sonnenschein, R., Leidner, A.K., Böhm, M. He, K.H., Nagendra, H., Dubois, G., Fatoyinbo, T., Hansen, M.C., Paganini, M., de Klerk, H.M., Asner, G., Kerr, J., Estes, A.B., Schmeller, D.S., Heiden, U., Rocchini, D., Pereira, H.M., Turak, E., Fernandez, N., Lausch, A., Cho, M.A., Alcaraz-Segura, D., McGeoch, M.A., Turner, W., Mueller, A., St-Louis, V., Penner, J., Vihervaara, P., Belward, A., Reyers, B. & Geller, G.N. (2016) Framing the concept of Satellite Remote Sensing Essential Biodiversity Variables: challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2, 122-131.
- Pereira, H.M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G.N., Jongman, R.H.G., Scholes, R.J., Bruford, M.W., Brummitt, N., Butchart, S.H.M., Cardoso, A.C., Coops, N.C., Dulloo, E., Faith, D.P., Freyhof, J., Gregory, R.D., Heip, C., Hoft, R., Hurtt, G., Jetz, W., Karp, D.S., McGeoch, M.A., Obura, D., Onoda, Y., Pettorelli, N., Reyers, B., Sayre, R., Scharlemann, J.P.W., Stuart, S.N., Turak, E., Walpole, M. & Wegmann, M. (2013) Essential biodiversity variables. *Science*, 339, 277-278.
- Rankinen, K., Keinänen, H. & Cano Bernal, J.E. (2016) Influence of climate and land use changes on nutrient fluxes from Finnish rivers to the Baltic Sea. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, 100-115.
- Rankinen K., Granlund, K., Etheridge, R. & Seuri, P. (2014) Valuation of nitrogen retention as an ecosystem service on a catchment scale. *Hydrology Research*, 45, 411-424.
- Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.) (2008) Suomen luontotyyppien uhanalaisuus – Osa 1. Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö, 8/2008, 1-264.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. (2016) Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51, 17-50.
- Sievänen, T. & Neuvonen, M. (2011) Luonnon virkistyskäyttö 2010. Metlan työraportteja /Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 212. 190 s. Available at: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp212.htm> . (in Finnish)
- Skidmore, A., N. Pettorelli, N. C. Coops, G. N. Geller, M. Hansen, R. Lucas, Mücher, C.A., O'Connor, B., Paganini, M., Pereira, H.M., Schaepman, M.E., Turner, W., Wang, T. & Wegmann, M. (2015) Agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature*, 523, 403-405.
- Soliveres, S., van der Plas, F., Manning, P., Prati, D., Gossner, M.M., Renner, S.C., Alt, F., Arndt, H., Baumgartner, V., Binkenstein, J., Birkhofer, K., Blaser, S., Blüthgen, N., Boch, S., Böhm, S., Börschig, C., Buscot, F., Diekötter, T., Heinze, J., Hölzel, N., Jung, K., Klaus, V.H., Kleinebecker, T., Klemmer, S., Krauss, J., Lange, M., Morris, E.K., Müller, J., Oelmann, Y., Overmann, J., Pašalić, E., Rillig, M.C., Schaefer, H.M., Schloter, M., Schmitt, B., Schöning, I., Schruppf, M., Sikorski, J., Socher, S.A., Solly, E.F., Sonnemann, I., Sorkau, E., Steckel, J., Dewenter, I.S., Stempfhuber, B., Tschapka, M., Türke, M., Venter, P.C., Weiner, C.N., Weissner, W.W., Werner, M., Westphal, C., Wilcke, W., Wolters, V., Wubet, T., Wurst, S., Fischer, M., & Allan, E. (2016) Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature* 19092.

- Thomas, C.D., Anderson, B.J., Moilanen, A., Eigenbrod, F., Heinemeyer, A., Quaife, T., Roy, D.B., Gillings, S., Armsworth, P.R. & Gaston, K.J. (2013) Reconciling biodiversity and carbon conservation. *Ecology Letters*, 16, 39-47.
- Tomppo, E., Katila, M., Mäkisara, K., & Peräsaari, J. (2014) The Multi-source National Forest Inventory of Finland – methods and results 2011. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 319.
- UNEP/CBD/SBSTTA/17/INF/7 Essential Biodiversity Variables. Note by the Executive Secretary, 2 October 2013.
- Verhagen, W., Kukkala, A.S., Moilanen, A., van Teeffelen, A.J.A. & Verburg, P.H. (2017) Use of demand for and spatial flow in prioritizing areas for ecosystem services. *Conservation Biology*, *in press*. doi:10.1111/cobi.12872
- Vihervaara, P. (2011) Mitä tiedetään biodiversiteetin ja ekosysteemipalveluiden välisistä suhteista? *Luonnon Tutkija*, 3, 91-97.
- Vihervaara, P., Kumpula, T., Ruokolainen, A., Tanskanen, A. & Burkhard, B. (2012) The use of detailed biotope data for linking biodiversity with ecosystem services in Finland. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8, 169-185.
- Vihervaara, P., Mononen, L., Auvinen, A.-P., Virkkala, R., Lü, Y., Pippuri, I., Packalen P., Valbuena, R. & Valkama, J. (2015) How to integrate remotely sensed data and biodiversity for ecosystem assessments at landscape scale. *Landscape Ecology*, 30, 501-516.
- Vihervaara, P., Auvinen, A.-P., Mononen, L., Törmä, M., Ahlroth, P., Anttila, S., Böttcher, K., Forsius, M., Heino, J., Heliölä, J., Koskelainen, M., Kuussaari, M., Meissner, K., Ojala, O., Tuominen, S., Viitasalo, M., & Virkkala, R. (2017) How Essential Biodiversity Variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation*, 10, 43-59.
- Vitousek, P.M., Porder, S., Houlton, B.Z. & Chadwick, O.A. (2010) Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions. *Ecological Applications*, 20, 5-15.
- Wade, A. J., Durand, P., Beaujouan, V., Wessel, W. W., Raat, K. J., Whitehead, P. G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepistö, A. (2002) A nitrogen model for European catchments: INCA, new model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6, 559-582.

8. Yli valtakunnallisten rajojen ulottuvien ekologisten yhteyksien turvaaminen

- Aksenov D., Dobrynin D., Dubinin M., Egorov A., Isaev A., Karpachevskiy M., Laestadius L., Potapov P., Purekhovskiy A., Turubanova S. & Yaroshenko A. (2002) Atlas of Russia's intact forest landscapes. *Global Forest Watch Russia*, Moscow. 184 p.
- Aksenov, D., Kuhmonen, A., Mikkola, J. & Sobolev, N. (eds.) (2015) The Characteristics and Representativeness of the Protected Area Network in the Barents Region. *Reports of the Finnish Environment Institute*, 29/2014, 1-189.
- Barents Protected Area Network (2017) www.bpan.fi
- Bryant D., Nielsen D. & Tanglely L. (1997) The last frontier forests: Ecosystems and economies on the edge. What is the status of the world's remaining large, natural forest ecosystems? *World Resources Institute*. 54 p.
- Burnett C., Fall A., Tomppo E. & Kalliola R. (2003) Monitoring current status of and trends in boreal forest land use in Russian Karelia. *Conservation Ecology*, 7, 8.
- Hanski, I. & Ovaskainen, O. (2002) Extinction debt at extinction threshold. *Conservation Biology*, 16, 666-673.
- Hottola J. (2003) Kääpäyhteisön rakenne suhteessa lahoppuuston rakenteeseen Vaara-Karjalan ja Kuhmon sekä Venäjän Karjalan metsissä. Pro gradu -tutkielma. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto, Luonnontieteellinen tiedekunta, Biologian laitos, p. 113+IV, Oulu.
- Кобяков К.Н. (ред.) 2011: Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга – Коллектив авторов. Санкт-Петербург: 506 с.
- (Kobyakov, K. (ed.) (2011) Mapping of High Conservation Value Areas in Northwestern Russia: Gap-Analysis of the Protected Areas Network in the Murmansk, Leningrad, Arkhangelsk, Vologda, and Karelia regions, and the city of Saint-Petersburg – Group of authors. St. Petersburg. 506 pp.)
- Kobyakov, K. & Jakovlev, J. (eds.) (2013) Atlas of high conservation value areas, and analysis of gaps and representativeness of the protected area network in northwest Russia: Arkhangelsk, Vologda, Leningrad, and Murmansk Regions, Republic of Karelia, and City of St. Petersburg. — Finnish Environment Institute. Helsinki. 517 pp. Saatavilla: http://www.syke.fi/en-US/Research_Development/Maintaining_ecosystem_services_and_biodiversity/Specialist_work/Cooperation_for_nature_conservation_in_Northwest_Russia/Gap_analysis_of_northwest_Russia
- Kotiranta H. & Niemelä T. (1996) Uhanalaiset käyvät Suomessa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. *Ympäristöopas* 10, 1-184, Helsinki.
- Kouki J. & Väänänen A. (2000) Impoverishment of resident old-growth forest bird assemblages along an isolation gradient of protected areas in eastern Finland. *Ornis Fennica*, 77, 145-154.
- Kouki J., Hyvärinen E., Lappalainen H., Martikainen P. & Similä M. (2012) Landscape context affects the success of habitat restoration: large-scale colonization patterns of saproxylic and fire-associated species in boreal forests. *Diversity and Distributions*, 18, 348-355.

- Laaksonen M., Peuhu E., Várkonyi G. & Siitonen J. (2008) Effects of habitat quality and landscape structure on saproxylic species dwelling in boreal spruce-swamp forests. *Oikos*, 117, 1098-1110.
- Lindén H., Danilov P.I., Gromtsev A.N., Helle P., Ivanter E.V. & Kurhinen J. (2000) Large-scale forest corridors to connect the taiga fauna to Fennoscandia. *Wildlife Biology*, 6, 179-188.
- Lindgren M. (2001) Polypore (Basidiomycetes) species richness and community structure in natural boreal forests of NW Russian Karelia and adjacent areas in Finland. *Acta Botanica Fennica*, 170, 1-41.
- Martikainen P., Lappalainen H. & Simola H. (2000) Kaskeaminen rikastuttaa Kolin hyönteismaailmaa. In: Lovén L., Rainio H. (eds.), *Kolin perintö - kaskisavusta kansallismaisemaan*. Metsäntutkimuslaitos ja Geologian tutkimuskeskus. p. 72-77.
- Martikainen P., Siitonen J., Kaila L. & Punttila P. (1996) Intensity of forest management and bark beetles in non-epidemic conditions: a comparison between Finnish and Russian Karelia. *Journal of Applied Entomology*, 120, 257-264.
- Midteng, R. (2013) Horseshoe of Fennoscandia – A corridor for the long term survival of old-growth forest dependent species in Norway, Sweden and Finland. Presentation. BPAN International Conference. Helsinki, Finland. – <http://www.bpan.fi/wp-content/uploads/2013/06/The-Horseshoe-of-Fennoscandia-Rein-Midteng-Asplan-Viak.pdf>
- Mönkkönen M., Huhta E., Mäkelä J. & Rajasärkkä A. (2000) Pohjois-Suomen vanhojen metsien linnusto ja metsämaisen muutos [Effects of forest fragmentation on bird assemblages in northern Finnish old forest reserves, Oulanka-Paanajärvi area as a reference]. *Linnut-vuosikirja 1999*, 91-96.
- Nordén J., Penttilä R., Siitonen J., Tomppo E. & Ovaskainen O. (2013) Specialist species of wood-inhabiting fungi struggle while generalists thrive in fragmented boreal forests. *Journal of Ecology*, 101, 701-712.
- Pellikka J., Rita H. & Lindén H. (2005) Monitoring wildlife richness - Finnish applications based on wildlife triangle censuses. *Annales Zoologici Fennici*, 42, 123-134.
- Siitonen J. & Martikainen P. (1994) Occurrence of rare and threatened insects living on decaying *Populus tremula*: A comparison between Finnish and Russian Karelia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9, 185-191.
- Siitonen J. & Saaristo L. (2000) Habitat requirements and conservation of *Pytho kolwensis*, a beetle species of old-growth boreal forest. *Biological Conservation*, 94, 211-220.
- Siitonen J., Penttilä R. & Kotiranta H. (2001) Coarse woody debris, polyporous fungi and saproxylic insects in an old-growth spruce forest in Vodlozero National Park, Russian Karelia. *Ecological Bulletins*, 49, 231-242.
- Siitonen J., Martikainen P., Kaila L., Nikula A. & Punttila P. (1995) Kovakuoriaislajiston monimuotoisuus eri tavoin käsitellyillä metsäalueilla Suomessa ja Karjalan Tasavallassa. *Julk. Hannelius, S. & Niemelä, P. (toim.). Monimuotoisuus metsien hoidossa*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja, 564, 43-63.
- Siitonen J., Martikainen P., Kaila L., Mannerkoski I., Rassi P. & Rutanen I. (1996) New faunistic records of threatened saproxylic Coleoptera, Diptera, Heteroptera, Homoptera and Lepidoptera from the Republic of Karelia, Russia. *Entomologica Fennica*, 7, 69-76.
- The Strategy for the development of the Green Belt of Fennoscandia until 2020 (2016) <http://www.ym.fi/download/noname/%7B040ADFAC-2075-4042-97D1-7E78015AB228%7D/120987> Tikkanen O.-P., Punttila P. & Heikkilä R. (2009) Species-area relationships of red-listed species in old boreal forests: a large scale data analysis. *Diversity and Distributions*, 15, 852-862.
- Várkonyi G. & Leinonen R. (2004) Yöperhoskantojen ekologia Kainuun ja Vienan Karjalan metsämaiseissa. *Julk. Heikkilä, R. ja Várkonyi, G. (toim.), Vienan Karjalan erämaa-alueiden vaikutus Kainuun vanhan metsän eläinpopulaatioihin*. Kainuun ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut, 347, 7-46.
- Yaroshenko A.Y., Potapov P.V. & Turubanova S.A. (2001) The last intact forest landscapes of Northern European Russia. *Greenpeace Russia and Global Forest Watch, Moscow*. 75 p.
- Ylisirmö A.-L., Penttilä R., Berglund H., Hallikainen V., Isaeva L., Kauhanen H., Koivula M. & Mikkola K. (2012) Dead wood and polypore diversity in natural post-fire succession forests and managed stands - Lessons for biodiversity management in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 286, 16-27.

9. Suojelualueverkosto ja ilmastonmuutos – keskeiset tutkimusteemat

- Anderson, B.J., Armsworth, P.R., Eigenbrod, F., Thomas, C.D., Gillings, S., Heinemeyer, A., Roy, D.B. & Gaston, K.J. (2009) Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities. *Journal of Applied Ecology*, 46, 888-896.
- Björk, R.G. & Molau, U. (2007) Ecology of Alpine Snowbeds and the Impact of Global Change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 39, 34-43.
- Beier, P. & Brost, B. (2010) Use of Land Facets to Plan for Climate Change: Conserving the Arenas, Not the Actors. *Conservation Biology*, 24, 701-710.
- Clausen, K.K. & Clausen, P. (2014) Forecasting future drowning of coastal waterbird habitats reveals a major conservation concern. *Biological Conservation*, 171, 177-185.
- Fronzek, S., Luoto, M. & Carter, T.R. (2006) Potential effect of climate change on the distribution of palsa mires in subarctic Fennoscandia. *Climate Research*, 32, 1-12.

- Galatowitsch, S., Frelich, L. & Phillips-Mao, L. (2009) Regional climate change adaptation strategies for biodiversity conservation in a midcontinental region of North America. *Biological Conservation*, 142, 2012-2022.
- Gaston, K.J., Charman, K., Jackson, S.F., Armsworth, P.R., Bonn, A., Briers, R.A., Callaghan, C.S.Q., Catchpole, R., Hopkins, J., Kunin, W.E., Latham, J., Opdam, P., Stoneman, R., Stroud, D.A. & Tratt, R. (2006) The ecological effectiveness of protected areas: The United Kingdom. *Biological Conservation*, 132, 76-87.
- Gillson, L., Dawson, T.P., Jack, S. & McGeoch, M.A. (2013) Accommodating climate change contingencies in conservation strategy. *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 135-142.
- Heinonen, M. & Juvonen, S-K. (2013) IUCN:n suojelualueluokituksen soveltaminen Suomessa. Metsähallitus, luontopalvelut. 62 s.
- Heller, N.E. & Zavaleta, E.S. (2009) Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142, 14-32.
- Holmberg, M., Akujärvi, A., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, I., Böttcher, K., Feng, X., Forsius, M., Huttunen, I., Huttunen, M., Laine, Y., Lehtonen, H., Liski, J., Mononen, L., Rankinen, K., Repo, A., Piirainen, V., Vanhala, P. & Vihervaara P. (2015) ESLab application to a boreal watershed in southern Finland: preparing for a virtual research environment for ecosystem services. *Landscape Ecology*, 30, 561-577.
- Keto-Tokoi, P. & Kotiaho, J.S. (2013) METSO-ohjelmasta moninkertainen hyöty suunnittelemalla paremmin. *Luonnon Tutkija*, 1-2, 46-54.
- Lawler, J.J., Tear, T.H., Pyke, C., Shaw, M.R., Gonzalez, P., Kareiva, P., Hansen, L., Hannah, L., Klausmeyer, K., Aldous, A., Bienz, C. & Pearsall, S. (2010) Resource management in a changing and uncertain climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8, 35-43.
- Loarie, S.R., Duffy, P.B., Hamilton, H., Asner, G.P., Field, C.B. & Ackerly, D.D. (2009) The velocity of climate change. *Nature*, 462, 1052-1055.
- Londono, J.M., Albuja, F.J.P., Gamboa, P., Gorricho, J., Vergara, A., Welling, L., Wyborn, C. & Dudley, N. (2016) Editorial: Protected areas as natural solutions to climate change. *PARKS*, 22.1, 7-12.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2014) Valtioneuvoston metsäpoliittinen selonteko 2050. VNS 1/2014 vp. <http://mmm.fi/documents/1410837/1504826/Mets%C3%A4poliittinen+selonteko+2050/8cf6fc1d-e5c3-464d-8817-a2dedfb12e58>
- Maes, J., Paracchini, M.L., Zulian, G., Dunbar, M.B. & Alkemade, R. (2012) Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. *Biological Conservation*, 155,1-12.
- Mawdsley, J. (2011) Design of conservation strategies for climate adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change*, 2, 498-515.
- Metsien suojelualue- ja METSO-tilastoinnin työryhmä METI (2015) Suunnitelma metsien suojelualue- ja METSO-tilastoinnin kehittämiseksi. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 2015:2. 58 s.
- Pereira, H.M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G.N., Jongman, R.H.G., Scholes, R.J., Bruford, M.W., Brummitt, N., Butchart, S.H.M., Cardoso, A.C., Coops, N.C., Dulloo, E., Faith, D.P., Freyhof, J., Gregory, R.D., Heip, C., Hoft, R., Hurtt, G., Jetz, W., Karp, D.S., McGeoch, M.A., Obura, D., Onoda, Y., Pettoirelli, N., Reyers, B., Sayre, R., Scharlemann, J.P.W., Stuart, S.N., Turak, E., Walpole, M. & Wegmann, M. (2013) Essential biodiversity variables. *Science*, 339, 277-278.
- Päivinen, J., Björkqvist, N., Karvonen, L., Kaukonen, M., Korhonen, K-M., Kuokkanen, P., Lehtonen, H. & Tolonen, A. (toim.) (2011) Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja, 67, 1-162.
- Rodrigues, A.S.L., Andelman, S.J., Bakarr, M.I., Boitani, L., Brooks, T.M., Cowling, R.M., Fishpool, L.D.C., da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Long, J.S., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R.L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S.N., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J. & Yan, X. (2004) Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 428, 640-643.
- Seppälä, J., Vesala, T. & Kanninen, M. (toim.) (2015) Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä. Ilmastopaneelin raportti, 3/2015,1-59.
- Stein, B.A., P. Glick, N. Edelson & A. Staudt (eds.) (2014) *Climate-Smart Conservation: Putting Adaptation Principles into Practice*. National Wildlife Federation, Washington, D.C. 272 s.
- Thomas, C.D. & Gillingham, P.K. (2015) The performance of protected areas for biodiversity under climate change. *Biological Journal of the Linnean Society*, 115, 718-730.
- Tingley, M.W., Darling, E.S. & Wilcove, D.S. (2014) Fine- and coarse-filter conservation strategies in a time of climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1322, 92-109.
- Valtioneuvosto (2015) Kansallinen metsästrategia 2025. Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja metsätalousministeriö 6/2015. 54 s.
- Virkkala, R. (2016) Long-term decline of southern boreal forest birds: consequence of habitat alteration or climate change? *Biodiversity and Conservation*, 25,151-167.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2014) *Metsänhoidon suositukset*. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 181 s.

Lite I. Ilmastonmuutos ja luonnon monimuotoisuus EU:n ja kansallisissa strategioissa ja toimintaohjelmissä.

Strategia / toimintaohjelma	Tavoite	Aikajänne	Näkökulma ilmastonmuutokseen	Näkökulma luonnon monimuotoisuuteen	Viite
EU:n biodiversiteettistrategia 2020	Vuoteen 2020 mennessä pysäytetään EU:n luonnon monimuotoisuuden häviäminen ja ekosysteempipalvelujen heikentyminen ja ennallistetaan ne mahdollisimman pitkälle sekä tehostetaan EU:n toimia, joilla torjutaan koko maailman luonnon monimuotoisuuden häviämistä.	2011 - 2020	Strategia tunnistaa ilmastonmuutoksen yhdeksi keskeisistä luonnon monimuotoisuutta hävittävästä tekijästä. Luonnon monimuotoisuuden suojelu nähdään strategiasa tärkeänä keinona hillitä ilmastonmuutosta ja ylläpitää luonnon hiilinielua. Toisaalta tuodaan esiin, että ilmastonmuutokseen sopeutumistoimenpiteet, joilla vähennetään ilmastonmuutoksen väistämättömiä vaikutuksia, ovat olennaisia pyrittäessä estämään luonnon monimuotoisuuden häviäminen. Strategiasa ei ole konkreettisia ilmastonmuutokseen liittyviä tavoitteita tai toimenpiteitä. Sen sijaan siinä korostetaan, että EU:n biodiversiteettistrategia tulisi integroida ilmastonmuutoksen hillintä- ja sopeutumisstrategioihin.		European Commission 2011
EU:n visio 2050 (sisältyy EU:n biodiversiteettistrategiaan 2020)	Vuoteen 2050 mennessä Euroopan unionin luonnon monimuotoisuutta ja sen tuottamia ekosysteempipalveluja eli sen luonnonpääomaa suojellaan, arvostetaan ja asianmukaisesti ennallistetaan sekä luonnon monimuotoisuuden itseisarvon vuoksi että ihmisten hyvinvointiin ja taloudelliseen vaurauteen oleellisesti vaikuttavana tekijöinä siten, että vältetään luonnon monimuotoisuuden häviämisen aiheuttamat katastrofaaliset muutokset.	2011 - 2050	Ei mainita.		European Commission 2011

<p>Luonnon puolesta - ihmisen hyväksi. Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävä käyttöön strategia (YM)</p>	<p>Tavoitteena on Suomen luonnon monimuotoisuuden ja luonnonvarojen ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä käyttö ja kehitys, joka turvaa paitsi luonnon monimuotoisuuden säilymistä myös tulevien sukupolvien elinmahdollisuudet ja luonnonvaroihin perustuvat elinkeinot.</p>	<p>2012 - 2020</p>	<p>Ilmastonmuutos nousee strategiassa esiin soiden, sisävesien ja niiden rantojen, lämpövoimien ja rannikon sekä erityisesti tuntureiden luontotyyppeiden tulevaisuuden uhkatekijänä. Maatalousympäristöjen joidenkin uhanalaisten lajien parantunut tilanne mm. lämpenevän ilmaston vuoksi nostetaan esiin toisen suuntaisena kehityksenä.</p> <p>Hulevesien (kaupunkien sade- ja sulamisvesien) hallinta on ilmastonmuutokseen liittyvien poikkeuksellisen runsaiden sateiden ja rakennetun maan lisääntymisen vuoksi kasvava haaste yhdyskuntien vesienhuolossa ja terveydenhoidossa ja se sisältää riskejä myös luonnon monimuotoisuudelle taajamien läheisyydessä.</p> <p>Luontoympäristöjen määrän, laadun ja pirstoutumisvaaran sekä ilmastonmuutokseen sopeutumisen takia pidetään tarpeellisuutta kehittämään maankäytön suunnittelua tukevia paikallisia, alueellisia ja valtakunnallisia periaatteita ja ohjeita vihreän infrastruktuurin säilyttämiseksi ja kehittämiseksi.</p> <p>Ihmisen aiheuttamat muut ympäristöolojen muutokset, kuten ilmastonmuutos, voivat pahentaa haitallisten vieraslajien ongelmaa, koska vieraiden lajien elinolosuhteet saattavat parantua.</p> <p>Koska luontotyyppeiden ja lajien sopeutumista luontaista kehitysvauhtia huomattavasti nopeampaan muutokseen on vaikea parantaa ihmisen toimin, nähdään strategiassa, että luonnon monimuotoisuuden suojelun kannalta tärkeintä on ilmastonmuutoksen torjuminen. Strategiassa todetaan, että ilmastonmuutoksen vuoksi suojelusuunnittelun tulisi olla dynaamista ja ennakoivaa ja perinteinen käsitys luonnon suojelun verkostosta vaatii tutkimustietoon perustuva uudelleenarviointia.</p> <p>Strategian mukaan valtioneuvosto sitoutuu arvioimaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia luonnon monimuotoisuuden tilaan ja luonnon monimuotoisuutta koskevan yleissopimuksen toimeenpanoon nykyistä syvällisemmin, vahvistamaan tietoperustaa, parantamaan luonnon suojelun ja luonnon monimuotoisuuden säilyttämistä ja luomaan valmiuksia muuttuviin oloihin sopeutuvalle toimintapolitiikalle. Vaikka ilmastonmuutosta aiheuttavien päästöjen vähentäminen on edelleen ensisijainen tavoite, myös sopeutumistoimet ovat välttämättömiä. Luonnonjärjestelmien säätelyyn perustuvien ja muiden ilmastonmuutoksen torjuntatoimien vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen tulee riittävästi arvioida ennen niiden laajamittaista käyttöönottoa.</p>	<p>Valtioneuvosto 2012d</p>
--	---	--------------------	---	-----------------------------

<p>Luonnon puolesta – ihmisen hyväksi. Suomen luonnon monimuotoisuuden suoje- lun ja kestävän käytön toimintaohjelma 2013 - 2020 (YM)</p>	<p>Toimintaohjelma toteuttaa Suomen biodiversiteettis- trategiaa.</p>	<p>2013 - 2020</p>	<p>Valtioneuvoston periaatepäätökseen sisältyy viisi strate- gista päämäärää ja 20 tavoitetta, jotka tarkentavat pää- määrien saavuttamista.</p> <p>Päämäärä 2. 'Vähennetään luonnon monimuotoisuuteen kohdistuvia välittömiä paineita ja edistetään sen kestävää käyttöä', Tavoite 10 'Ilmastonmuutoksen vaikutusten kohteena oleviin uhanalaisiin ekosysteemeihin kohdistuvia ihmisen aiheuttamia paineita on vähennetty ekosysteemien eheyden ja toiminnan turvaamiseksi'.</p> <p>Päämäärä 4 'Luonnon monimuotoisuudesta ja ekosos- teemipalveluista saatavat hyödyt turvataan kaikille'. Tavoite 15 'Ekosysteemien tieto- ja palautumiskykyä ja monimuo- toisen luonnon merkitystä hiilivarastona on parannettu suojeletoimin ja ennallistamalla. Suomi osallistuu heikenty- neiden ekosysteemien ennallistamisen maailmanlaajuisen, vähintään 15 prosentin pinta-alaosuuden tavoitteen saa- vuttamiseen edistään samalla ilmastonmuutoksen torjun- taan ja ilmastonmuutokseen sopeutumista'.</p>		<p>Ympäristö- ministeriö 2013</p>
			<p>Toimintaohjelma sisältää 105 toimenpidettä, joista yhdek- sässä ilmastonmuutos on huomioitu.</p> <p>18) Toteutetaan yleissopimuksen suojelualueita koskevan päätöksen X/31 mukaiset toimenpiteet, esimerkiksi puu- teanalyysit ja niiden edellyttämät lisätoimet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laaditaan hallinnonalojen yhteistyönä ilmastonmuutos- huomioon ottaen kansallinen suojelualueiden kehittämissuun- nitelma, joka sisältää arvioon suojelualueverkoston kytketty- neisyydestä, ekologisesta edustavuudesta ja kattavuudesta maantieteellisesti luontotyyppiryhmittäin sekä ehdotukset suojelualueverkoston kehittämiseksi pitkällä aikavälillä tarvit- tavista toimenpiteistä. Hallitus päättää erikseen mahdollisista toimenpiteistä verkoston puutteiden kattamiseksi ja suoje- lualueverkoston kehittämiseksi. • Suojelualueverkoston hoidon ja kunnossapidon tehoa ja vai- kuttavuutta arvioidaan ja parannetaan lajien ja luontotyyppien paremman suojelutason ja ilmastonmuutokseen sopeutuvuu- den kannalta. <p>29) Oretaan luonnon monimuotoisuutta koskevat toi- menpiteet huomioon uudistettaessa Suomen kansallista ilmastonmuutoksen sopeutumisstrategiaa (2005). Toteu- tetaan CBD- ja UNFCCC-sopimusten ilmastonmuutosta koskevia päätöksiä.</p>		

	<p>30) Suojelualueita koskevan päätöksenteon, hoidon ja seurannan tueksi kerätään perustietoa eliölajien ja luontotyyppeiden herkkyydestä ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Arvioidaan suojeluverkoston toimivuutta ja hoidon tarvetta ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta.</p> <p>31) Varaudutaan säilyttämään ilmastonmuutoksen vakavimmin uhkaamia eliölajeja luonnonympäristöjen ulkopuolella (ex situ). Selvitetään tarpeita ja mahdollisuuksia siirtää eliöitä ilmaston muuttumisen tahdissa (ns. avustettu leviäminen).</p> <p>32) Selvitetään yleissopimuksen suosituksen mukaisesti luonnonsuojelualueiden ja niihin liittyvien ennallistamiskelpoisten ekosysteemien hiilivarastoja ja hiilensidontakyyä. Arvioidaan tämän tiedon pohjalta suojelualueiden hoitoa ja niihin liittyvien heikentyneiden ekosysteemien ennallistamistarvetta sekä biodiversiteetin säilyttämisen että ekosysteemien hiilensidontan kannalta.</p> <p>82) Ennallistetaan heikentyneitä ekosysteemejä sekä ylläpidetään ja parannetaan ekosysteemi palvelujen tuotantoa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kytetään ennallistamistoimet entistä paremmin edistämään uhanalaisten lajien ja luontotyyppien suojelutason parantamista, suojeluverkon ekologista laatua, toimivuutta ja kytkytyneisyyttä sekä puskuroitumista ilmastomuutoksen suhteen. Ennallistamistoimien suunnitteluun tulee soveltaa ekosysteemiäheystämistä. <p>83) Lisätään tietämystä erilaisten suotyyppien hiilitaseesta, esimerkiksi soiden hiilensidontakyvystä ja metaanipäästöistä ilmakehään.</p> <p>102) Suomi edistää yhteistyössä Venäjän ja Norjan kanssa valtioiden rajat ylittävän Fennoskandian vihreän vyöhykkeen muodostamista.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Käynnistetään Fennoskandian vihreän vyöhykkeen muodostamiseen tähtäviä luonnonsuojelubiologisia tutkimus- ja kehittämishankkeita ml. ilmastonmuutos ja siihen liittyvät elinympäristöjen ja lajiston muutokset sekä haitallisten vieraslajien leviäminen. Jatketaan aktiivista kansainvälistä tutkimus- ja asiantuntijayhteistyötä pohjoisen havumetsävyöhykkeen sekä mahdollisten Itämeren alueen alueellisten ilmastonmuutosta koskevien sopeutumisstrategioiden valmistelemiseksi. 		

<p>Valtioneuvoston periaatepäätös Ete-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelman jatkamisesta 2014 - 2025 (YM, MMM)</p>	<p>Pysäyttää metsäisten luontotyyppien ja metsälajien taantuminen ja vakiinnuttaa luonnon monimuotoisuuden suotuisa kehitys vuoteen 2025 mennessä.</p>	<p>2014 - 2025</p>	<p>103) Toteutetaan Barentsin alueen luonnonsuojelualueverkoston projekti (BPAN: 2011–2013), millä luodaan alueelle toimiva suojelualueverkosto ja toteutetaan yleissopimuksen suojelualueohjelmaa. Hankkeessa tuotetut tiedot tukevat myös ilmastomuutoksen vaikutusten tutkimusta. Elinympäristökohtaisissa ja luonnonvarojen koskeissa haasteissa ilmastomuutos mainitaan soiden, maatalousympäristöjen, sisävesien, riistaeläinten sekä pohjoisen luonnon ja poronhoidon yhteydessä. Kotimaiset metsäpuut kasvavat levinneisyysalueensa pohjoisrajoilla ja niiden geneettisen monimuotoisuuden suojeleminen pidetään tärkeänä ilmastomuutokseen varautumisen näkökulmasta.</p>	<p>Valtioneuvosto 2014a</p>
<p>Valtioneuvoston periaatepäätös soiden ja turvemaiden kestävästä ja vastuullisesta käytöstä ja suojelusta (MMM, YM, TEM)</p>	<p>Yhteensovittaa soiden ja turvemaiden kestävä ja vastuullista käyttöä sekä suojelua Suomessa.</p>	<p>2012 -</p>	<p>Toimintaohjelmassa ei tarkastella ilmastomuutoksen mahdollisia vaikutuksia metsäisiin luontotyypeihin tai lajeihin. Todetaan, että ajantasainen perustieto suojelualueiden luontotyypeistä ja lajeista on tarpeen ilmastomuutoksen seurannassa ja muutokseen sopeutumisen näkökulmasta.</p>	<p>Valtioneuvosto 2012c</p>
<p>Vesien kunnostusstrategia (YM)</p>	<p>Edistää vesienhoitosuunnitelmien toteutusta ja tukea toisen vesienhoitokauden (2016 - 2021) valmistelua.</p>	<p>Ei mainittu</p>	<p>Periaatepäätöksessä ei tarkastella ilmastomuutoksen mahdollisia vaikutuksia suoluntotyypeihin tai lajeihin. Soiden käyttömuotojen (maa- ja metsätalous, turpeen käyttö) aiheuttamat ilmastovaikutukset (päästöt, hiilivarastoiden häviäminen) ja niiden merkitys Suomen ilmastovaihteluiden täyttämisen kannalta käydään kattavasti läpi. Samalla tuodaan esiin keinoja haitallisten ilmastovaihteluiden hillitsemiseen eri käyttötavoissa. Ilmastomuutoksen hillintään tarvittavan tietopohjan parantaminen ja soiden ja turvemaiden käytön ohjaaminen sen perusteella on yksi periaatepäätöksen toimenpide-ehdotuksista.</p>	<p>Olin 2013</p>
			<p>Strategian tavoite I: Vesien ekologinen ja kemiallinen tila sekä vesiympäristö paranevat ja luonnon monimuotoisuudesta huolehditaan.</p>	

Kansallinen kalatiestrategia (MVM)	Vahvistaa uhanalaisten ja vaarantuneiden vaelluskalantojen elinvoimaisuutta.	2012 - 2027	Strategiassa ei tarkastella ilmaston muutoksen mahdollisia vaikutuksia vaelluskaloihin. Toimintalinjan 4: Kalojen kulun ja lisääntymisen huomioiminen säännöstelykäytäntöjen kehittämisessä yhteydessä mainitaan ilmaston muutoksen aiheuttamat vesiolojen muutokset ja niiden vaikutukset säännöstelykäytäntöihin.	Valtioneuvosto 2012a
Pienvesien suojelu- ja kunnostusstrategia (YM)	Turvata jäljellä olevien luonnontilaisten pienvesien säilyminen ja parantaa heikentyneiden pienvesien tilaa kunnostustoimenpiteillä.	2015 - 2025	Strategiassa ei tarkastella ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia pienvesiin. Ympäristövaikutusten arvioinnissa mainitaan, että pienvesien suojelun ja kunnostuksen kautta voidaan edistää ekosysteemien kykyä sopeutua ulkoisiin muutoksiin, kuten ilmastonmuutoksen vaikutuksiin.	Hämäläinen 2015
Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma 2016 - 2021 (YM)	Parantaa meriympäristön tilaa ja vähentää siihen kohdistuvia paineita. Pyrkimyksenä on, että meriympäristön hyvä tila voidaan ylläpitää tai saavuttaa viimeistään vuonna 2020.	2016 - 2021	Ilmastonmuutos on huomioitu toimenpideohjelmissa kattavasti ja ympäristötavoitteiden arvioinnissa on tarkasteltu erikseen ilmastonmuutoksen vaikutuksia Itämeren rehevöitymiseen sekä lajeihin ja ravintoverkkoon.	Laamanen 2016
Toimintasuunnitelma uhanalaisten luontotyyppien tilan parantamiseksi (YM)	Pysäyttää luontotyyppien uhanalaistuminen vuoteen 2020 mennessä.	2011 - 2020	Kuvataan luontotyyppiyrityksin ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia ja merkitystä uhanalaisuuden syynä tai tulevaisuuden uhatekijänä Luontotyyppien uhanalaistumisen arvioinnin tulosten pohjalta. Tutkimustarpeina nostetaan esiin luontotyyppien sopeutumisen ilmastonmuutokseen sekä ilmastonmuutosten vaikutusten arviointi ja seuranta. Lisäksi todetaan, että on tarpeen määrittellä tarvittavat toimenpiteet ilmastonmuutoksen uhkaamien luontotyyppien säilymis- ja sopeutumismahdollisuuksien parantamiseksi.	Ympäristöministeriö 2011b
Uhanalaisten lajien suojelun toimintaohjelma (YM)	Parantaa uhanalaisten lajien tilaa vuoteen 2020 mennessä ja pysäyttää uhanalaistumiskemitystä pidemmällä tähtäimellä.	2016 -	Koska ilmastonmuutoksen vaikutusten torjuntaan liittyviä toimintatarpeita tarkastellaan muissa yhteyksissä, linjattiin toimintaohjelmassa, että niitä ei käsitellä kattavasti. Yleisellä tasolla tuodaan esiin, että ilmastonmuutoksen vaikutukset uhanalaisiin lajeihin ja niiden elinympäristöihin ovat laaja-alaisia ja usein hankalasti erotettavissa muista muutoksista, kuten populaatioiden luontaista lyhytaikaisista kannanvaihteluista. Ilmastonmuutoksen kielteiset vaikutukset uhanalaisten lajien populaatioihin voivat olla moninaisia ja niihin voi olla hankala vaikuttaa paikallisesti. PUTTE -tutkimusohjelmassa tulisi ottaa huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset uhanalaisten lajien populaatioihin.	Ympäristöministeriö 2016

The Strategy for the development of the Green Belt of Fennoscandia until 2020	Vuoteen 2020 mennessä Fennoskandian vihreä vyöhyke on kehitetty laajasti tunnetuksi rajat ylittävän yhteistyön mallialueeksi luonnon monimuotoisuuden suojelusta, sosiaalisesta hyvinvoinnista ja ympäristöllisesti kestävästä taloudellisesta kehityksestä, joiden lähtökohtana on alueen ainutlaatuinen luonto, geologinen monimuotoisuus sekä kulttuuriperintö.	2016 - 2020	Etäsuojelu (ex situ) ja siirtoistutukset mainitaan mahdollisuutena saada lisää aikaa ilmastomuutoksen vaikutuksiin sopeutumiseen. Fennoskandian vihreä vyöhyke tarjoaa toimivat puitteet Suomen, Norjan ja Venäjän tutkimusyhteistyölle mm. ilmastomuutoksen vaikutusten tutkimukselle.	The Strategy for the development of the Green Belt of Fennoscandia 2016
Suomen arktinen strategia 2013	Suomi on aktiivinen arktinen toimija, joka osaa kestävällä tavalla sovittaa yhteen arktisen ympäristön reunaehdot ja liiketoimintamahdollisuudet kansainvälistä yhteistyötä hyödyntäen.	2013 -	Ilmastomuutos tunnustetaan arktisen alueen merkittäväksi muutostekijäksi luonnonvarojen hyödyntämisen ja maankäytön muutosten ohella. Ilmastomuutoksen torjuntaa ja sen vaikutusten hallintaa pidetään välttämättömänä arktisen alueen vakaudelle ja turvallisuudelle ja se on keskeinen lähtökohta toiminnalla koko arktisella alueella. Ilmastomuutos nähdään kuitenkin monelta osin myös mahdollisuutena taloudelliselle kasvulle, kun uusia kuljetusreittejä avautuu, energiavaroja ja mineraaleja otetaan käyttöön ja matkailu kasvaa.	Valtioneuvosto 2013
Kansallinen vieraslajistratégia (MMM)	Minimoida Suomessa olevien ja Suomeen mahdollisesti saapuvien haitallisten vieraslajien aiheuttama uhka ja haitta.	2012 -	Yhtenä strategian päätavoitteista on varautua ilmastomuutoksen mukanaan tuomiin lisäuhkiin. Ilmastomuutoksen ennustetaan lisäävän vieraslajien määrää ja niiden aiheuttamia haittoja Suomessa. Ilmaston lämpeneminen voi esimerkiksi parantaa haitallisten vieraslajin lisääntymismenestystä ja vähentää niiden luontaista kuolleisuutta. Lämmentäminen ilmaston takia jo vakiintuneiden vieraslajien kannat voivat levitä nykyistä pohjoisemmaksi.	Valtioneuvosto 2012b
Metsäpoliittinen selonteko 2050 (MMM)	Valtioneuvoston pitkän aikavälin metsäpoliittinen linjaus, jossa asetetaan metsien hoidolle ja käytölle pitkän tähtäimen visio ja strategiset päämäärät sekä keskeisimmät toimenpidekokonaisuudet	2014 - 2050	Selonteon yhtenä strategisena päämääränä on vaikuttaa maailmanlaajuisesti metsien kestävän hoidon ja käytön lisäämiseen, metsäkadon hillittämiseen ja ilmastomuutoksen hillintään sekä siihen sopeutumiseen. Tähän liittyy kotimaisen puun käytön lisääminen energiantuotannossa ja biopolttoaineiden raaka-aineena, millä korvataan fossiilisia tuontipolttoaineita ja edistetään ilmastopoliittikan tavoitteita.	Maa- ja metsätaloustieteiden tutkimuskeskus 2014

<p>Kansallinen metsästrategia 2025 (MMM)</p>	<p>Tavoitteena on edistää Suomen metsävarojen käyttöä, ottaen huomioon kestävyys- ja ilmastomuutoksen tuomat reunaehdot</p>	<p>2015 - 2025</p>	<p>Ilmastomuutos on vahvasti esillä kansallisessa metsästrategiassa. Metsien monipuolista hoitoa ja käyttöä tukevat strategian mukaan ilmastomuutoksen hillintää ja siihen sopeutumista. Puun käyttöön lisääminen nähdään keinona ilmastomuutoksen haittojen torjunnassa.</p> <p>Ilmastomuutoksen oletetaan lisäävän Suomessa metsien runkopuun kasvua kivennäisillä noin 10 % vuoteen 2020 mennessä ja 29 % vuoteen 2050. Kasvun lisääntyminen edellyttää, että metsiä hoidetaan hyvin. Kasvun lisääntyminen kasvattaa hakkuupotentiaalia ja lisää metsien käytön muita mahdollisuuksia tulevaisuudessa. Samalla on kuitenkin hallittava ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit metsien terveydelle. Metsätuhojen seurannan tulisi olla aktiivista ja tuhoihin olisi pystyttävä reagoimaan jo alkuvaiheessa.</p>	<p>– Kehitämme vapaaehtoisia suojelukeinoja, markkinamekanismeja suojeluun sekä suojelualueverkoston edustavuutta, kattavuutta ja sen hyvää hoitoa.</p> <p>– Monipuolisella metsien hoidolla ja käytöllä edistämme sopeutumista ilmastomuutokseen ja hallitsemme metsien hiilitasetta.</p> <p>– Luomme edellytykset metsien virkistyskäytön kasvulle terveysvaikutusten edistämiseksi.</p> <p>– Vähistämme metsien käytön ja metsäympäristön arvostusta ja mahdollistamme metsien saavutettavuuden kaikille.</p>	<p>Valtionuosto 2015</p>
				<p>Strategian tavoite 3.2 Metsäluonnon monimuotoisuus sekä ekologinen ja sosiaalinen kestävyys vahvistuvat tukeen suoraan monimuotoisuutta. Tavoitteena on myös muihin strategioihin liittyvä luonnon monimuotoisuuden köyhtymisen pysäyttäminen vuoteen 2020 mennessä ja luonnon monimuotoisuudelle suotuisan tilan varmistaminen vuoteen 2050 mennessä.</p> <p>Monimuotoisuudelle on asetettu strategiasa mittareita ja tavoitteita vuoteen 2025: esimerkiksi myönteistä kehitystä on kaksi kertaa useammalla uhanalaisella metsälajilla kuin kielteistä kehitystä (aidot luokkamuutokset) 2010 tasoon verrattuna. Kuolleen puuston keskitilavuus metsämaalla Etelä-Suomessa kasvaa 3,8:sta 5:een m³/ha ja Pohjois-Suomessa 8:sta 10-11:sta m³/ha. METSO-ohjelman hehtaaritavoitteet saadaan täytettyä. Kiintoaineuoritus kunnostusohjelmassa saadaan pienemään tasosta 57 000 tn/vuosi (2012). Hiiliinlielu v. 2025 on 10-17 milj. t CO₂ ekv (lähtötilanne noin 29t milj. t CO₂ ekv).</p>	

Energia- ja ilmastotietokartta 2050 (TEM)	Pitkän aikavälin tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta.	2014 - 2050		Metsäbiomassan laajamittaisen käytön haitalliset vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen on nostettu esiin bioenergian käytön lisäämiseen liittyvänä uhkana.	Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea 2014
Energia- ja ilmastostrategia 2016 (TEM)	Linjataan konkreettisia toimia, joilla kansalliset ja EU:n energia- ja ilmastotavoitteet saavutetaan ja edetään kohti vuoden 2050 tietokartan hiilineutraalia yhteiskuntaa.	2016 - 2030		Metsäbiomassan merkitys Suomessa uusiutuvan energian raaka-aineena on ratkaisevan tärkeä. Metsät ovat Suomessa myös maankäyttösektorin suurin nielu. Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen tekemien metsien monimuotoisuusvaikutuksien skenaariotarkastelujen keskeinen johtopäätös oli, että runkopuun hakkuut voivat nousta tasolle 79 milj. m ³ /vuosi ja samalla voidaan turvata metsäluonnon monimuotoisuus. Tämä edellyttää kuitenkin olemassa olevien monimuotoisuuden edistämiskeinojen tehostamista. Näitä keinoja ovat kuolleiden puuston säästäminen hakkuissa nykyistä paremmin, vanhojen metsien ja arvokkaiden luontokohteiden suojelun edistäminen, puun korjuun välttäminen arvokkaita luontokohteilta, järeiden elävien säästöpuiden lisääminen uudistushakkuissa ja luonnonhoidollinen kulutus.	Valtioneuvosto 2016
Kansallinen ilmastomuutoksen sopeuttimissuunnitelma 2022 (MMM) (Ilmastolaki)	Päämääränä on, että yhteiskunnalla on kyky sopeutua ilmastossa tapahtuviin muutoksiin ja hallita niihin liittyvät riskit.	2014 - 2022	Ilmastomuutokseen sopeutuminen otetaan osaksi kaikkien toimialojen tavanomaista suunnittelua, toimeenpanoa ja kehittämistä.	Kansallinen energia- ja ilmastostrategia pyrkii mm. verotuksella turvaamaan turpeen kilpailukyyn ja käytön energiantuotannossa ja lämmön erillistuotannossa. Turpeen kaivuun monimuotoisuusvaikutuksia ei käsitellä strategian vaikutusarvioinneissa.	Valtioneuvosto 2014b

<p>Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelma ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian toteuttamiseksi</p>	<p>Tunnistaa tärkeimmät toimenpiteet ilmastonmuutokseen sopeutumisessa luonnon monimuotoisuuden turvaamisen näkökulmasta.</p>	<p>2008 -</p>	<p>Toimintaohjelman painopiste on ilmastonmuutoksen uhkien ja haitallisiin vaikutuksiin varautumisessa ja sopeutumisessa. Ollennaista on, että ilmastonmuutoksen ja siihen sopeutumisen näkökulma integroidaan mahdollisimman kattavasti kaikkiin luonnonuojelun toimialan sekä siihen vaikuttavien hankkeiden ja toimenpiteiden suunnitteluun ja toimeenpanoon.</p>	<p>mien toiminnan, ilmastonmuutokselle herkimät elinympäristöt ja vesien tilan. Konkreettisena toimenpide-ehdotuksena: 5c) Kehitetään Suomen, Norjan ja Venäjän välistä luonnonuojeluyhteistyötä Fennoskandian vihreällä vyöhykkeellä siten, että alueen luonnonuojelualueiden yhteytyvyys edistyy ja tietoisuus ilmastonmuutoksen aiheuttamista uhkista alueen ekosysteemipalveluille kasvaa. Lisäksi selvitetään yhteistyömahdollisuuksia Venäjän kanssa ilmastonmuutoksen sopeutumisessa, erityisesti keskittyen rajavestistöjen käyttöön ja hoitoon, haitallisten vieraslajien ja tuhoisten leviämisen ehkäisemiseen sekä monimuotoisuuteen.</p>	<p>Ympäristöministeriö 2008</p>
				<p>Keskeisiä toimenpiteitä sopeutumisessa ilmaston muutokseen ovat luonnon monimuotoisuuden seurannan tehostaminen ja seurantatietojen hallinnan kehittäminen, suojelualueverkon ekologisen toiminnallisuuden tehostaminen ilmastonmuutokseen sopeutumisen parantamiseksi sekä ilmastonmuutoksen johdosta uhatuimpien eliöeläinten ja luontotyyppejen tunnistaminen ja niiden säilymis- ja sopeutumismahdollisuuksien parantamiseksi tarvittavien toimenpiteiden määrittely. Lisäksi on tarpeen mm. tarkentaa luonnon monimuotoisuuden kannalta keskeisiä tutkimustarpeita ilmastonmuutokseen sopeutumisiksi, tehostaa suojelualueiden hoitoa ja käytön suunnittelua, toimeenpanoa ja vaikutavuuden arviointia sekä arvioida ilmastonmuutoksen vaikutuksia perinnebiotooppien säilymiseen. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen otetaan huomioon myös lainsäädännön, strategioiden ja toimenpideohjelmien toimeenpanossa, kuten luonnonuojelulainsäädännön kokonaisarviointissa sekä vieraslaji-strategiassa ja toimenpidesuunnittelussa.</p>	

<p>Ilmastomuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelma ilmastomuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian toteuttamiseksi</p>	<p>Tunnistaa tärkeimmät toimenpiteet ilmastomuutokseen sopeutumisessa luonnon monimuotoisuuden turvaamisen näkökulmasta.</p>	<p>2008 -</p>	<p>Toimintaohjelman painopiste on ilmastomuutoksen uhkien ja haitallisiin vaikutuksiin varautumisessa ja sopeutumisessa. Olennaista on, että ilmastomuutoksen ja siihen sopeutumisen näkökulma integroidaan mahdollisimman kattavasti kaikkiin luonnonuojelun toimialan sekä siihen vaikuttavien hankkeiden ja toimenpiteiden suunnitteluun ja toimeenpanoon.</p>	<p>mien toiminnan, ilmastomuutokselle herkkimmät elinympäristöt ja vesien tilan. Konkreettisena toimenpide-ehdotuksena: 5c) Kehitetään Suomen, Norjan ja Venäjän välistä luonnonuojeluyhteistyötä Fennoskandian vihreällä vyöhykkeellä siten, että alueen luonnonuojelualueiden yhteytyvyys edistyy ja tietoisuus ilmastomuutoksen aiheuttamista uhkista alueen ekosysteemipalveluille kasvaa. Lisäksi selvitetään yhteistyömahdollisuuksia Venäjän kanssa ilmastomuutoksen sopeutumisessa, erityisesti keskittyen rajavesistöjen käyttöön ja hoitoon, haitallisten vieraslajien ja tuhoeläisten leviämisen ehkäisemiseen sekä monimuotoisuuteen.</p>	<p>Ympäristöministeriö 2008</p>
				<p>Keskeisiä toimenpiteitä sopeutumisessa ilmastomuutokseen ovat luonnon monimuotoisuuden seurannan tehostaminen ja seurantatietojen hallinnan kehittäminen, suojelualueverkon ekologisen toiminnallisuuden tehostaminen ilmastomuutokseen sopeutumisen parantamiseksi sekä ilmastomuutoksen johdosta uhatuimpien eliöajien ja luontotyypin tunnistaminen ja niiden säilymis- ja sopeutumismahdollisuuksien parantamiseksi tarvittavien toimenpiteiden määrittely. Lisäksi on tarpeen mm. tarkentaa luonnon monimuotoisuuden kannalta keskeisiä tutkimustarpeita ilmastomuutokseen sopeutumisiksi, tehostaa suojelualueiden hoitoa ja käytön suunnittelua, toimeenpanoa ja vaikutavuuden arviointia sekä arvioida ilmastomuutoksen vaikutuksia perinnebiotooppien säilymiseen. Ilmastomuutokseen sopeutuminen otetaan huomioon myös lainsäädännön, strategioiden ja toimenpideohjelmien toimeenpanossa, kuten luonnonuojelulainsäädännön kokonaisarviointissa sekä vieraslaji-strategiassa ja toimenpidesuunnittelussa.</p>	

<p>Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla Toimintaohjelman päivitys vuosille 2011 - 2012</p>	<p>Päivittää ympäristöhallinnon vuoden 2008 ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma.</p>	<p>2011 - 2012</p>		<p>Ei merkittäviä muutoksia vuoden 2008 toimintaohjelmassa esitettyihin toimenpiteisiin.</p>	<p>Ympäristöministeriö 2011a</p>
<p>Ympäristöministeriön hallinnonalan sopeutumisohjelman arviointi</p>	<p>Arvioida toimintaohjelmien (2008 ja 2011) vaikuttavuutta mm. onnistumisessa haavoittuvuuden vähentämiseksi sekä pyrkii tunnistamaan ja kuvaamaan esitettyjen toimenpiteiden myönteisiä ja kielteisiä sivuvaikutuksia.</p>			<p>Luonnon monimuotoisuuden turvaamisen alueella konkreettisia toimenpiteitä sopeutumiskyvyn lisäämiseksi on toistaiseksi ollut vähän eivätkä sopeutuminen ja sopeutumiskyky ole juurikaan muuttuneet toimintaohjelman ansiosta.</p>	<p>Hildén & Mäkinen 2013</p>
<p>Kestävää kasvua biotaloudesta, Suomen biotalousstrategia (TEM)</p>	<p>Luoda uutta talouskasvua ja uusia työpaikkoja biotalouden liiketoiminnan kasvulla sekä korkean arvonlisään tuottella ja palveluilla, turvaten samalla luonnon ekosysteemien toimintaedellytykset.</p>	<p>2014 - 2025</p>	<p>Ilmastonmuutos mainitaan yhtenä syynä sille, että tarvitaan uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvan biotalouden kehittämistä. Biomassavarantojaan ja osaamistaan hyödyntämällä Suomi voi osaltaan tarjota kestäviä ratkaisuja maailmanlaajuisen ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja luonnonvarojen ehtymiseen.</p>	<p>Luonnon hupeneva monimuotoisuus mainitaan yhtenä syynä sille, että tarvitaan uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvan biotalouden kehittämistä. Puubiomassan monipuolisempi hyödyntäminen lisää metsien taloudellista käyttöä. Metsien hyödyntämisessä on hakkuumahdollisuuksien ja kasvun lisäksi turvattava metsien monimuotoisuus ja luontoarvojen säilyminen.</p>	<p>Suomen biotalousstrategia 2014</p>



ISBN 978-952-11-4854-5 (PDF)

ISBN 978-952-11-4853-8 (nid.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

ISSN 1796-1718 (pain.)