

# Suojelualueiden verkostot ja ilmastonmuutos

Atte Moilanen

**Yksi suojelualueverkostojen perustamisen päätavoitteista on mahdollistaa eliölajistomme pitkän aikavälin säilyminen. Verkostojen suunnittelussa on tärkeää hyödyntää suoje luun varatut rajalliset resurssit hyvin. Suojelualueverkostojen suunnittelu on laskennallisesti vaativaa, sillä kyse on suurista ja monitukaisista optimointiongelmista. Lisäksi tietotarpeet ovat verkostojen suunnittelussa suuret, sillä tietoa tarvitaan monien lajien levinneisyyksistä ja niiden esiintymistä selittävistä tekijöistä. Kaikki olisi silti vielä suhteellisesti ottaen yksinkertaista, jos lajien esiintymisaluet eivät vaihtelisi. Tällä hetkellä näyttää kuitenkin siltä, että ilmastonmuutos tulee johtamaan globaalissa mittakaavassa suuriin muutoksiin lajien levinneisyyksissä.**

Maailmassa on vuoden 2004 tiedon mukaan 104 791 suojelualueeksi laskettavaa aluetta (*Mulongoy & Chape* 2004). Vuodesta 1970 lähtien on Maapallon suojeltu maapinta-ala kasvanut alle 3 miljoonasta neliökilometristä yli 20 miljoonaan neliökilometriin, mikä vastaa n. 12 % prosentin suojelutasoa. Näiden lukujen valossa voisi arvella, että pahimmat uhat luonnon monimuotoisuudelle olisivat jo väistyneet.

Tarkemmista tilastoista käy kuitenkin ilmi, että suurimmat suojellut alueet sijoittuvat biologisesti vähäarvoisille alueille kuten napajäätiköille, aavikoille ja tundralle – alueille, jotka ovat ihmiselle vaikeapääsyisiä ja lajistoltaan köyhiä. Toisaalta esimerkiksi meristä on suojeltu vain n. 0,5 % ja tästäkin alueesta kolmasosa koostuu Australian Suuresta Valliriutasta ja Hawajin luoteisista saarista. Lisäksi on asetettu kyseenalaiseksi, säilyvätkö lajit todella nyt suojeluilla alueille.

1900-luvun loppupuolelle asti suojelualueiden perustaminen johtui usein aivan muista syistä kuin halusta säilyttää uhanalaisia lajeja.

Suojelualueita on perustettu mm. luonnonkauneuden vuoksi tai metsästystä ajatellen – ensimmäiset suojelualueet ovatkin olleet kuninkaiden metsästysmaita (*Pressey* 1999). 1970-luvulta lähtien erilaiset biologiset arvot niputettuna biodiversiteettikäsitteen alle ovat tulleet yhä tärkeämmiksi alueiden suunnittelussa. Kuitenkin selkeä tietoisuus siitä, että lajien tulisi myös voida säilyä suojelualueilla, on ilmaantunut vasta 1990-luvun lopulla. Tähän saakka on oletettu, että jos laji jossakin esiintyy, sen säilyminen voidaan varmistaa kyseinen alue suojelella. Mutta onko näin?

Ihmisellä on rajoittuneesta aikaperspektiivistään johtuen ehkäpä taipumus nähdä maailma muuttumattomana tai vain hitaasti muuttavana. Näinhän ei kuitenkaan ole. Esimerkiksi Suomessa on pienten karjatilojen määrä tippunut murto-osaan siitä mitä se oli 1950-luvulla ja samalla karjan ulkolaidunnus on oleellisesti vähentynyt. Tämän seurauksena monet vanhojen ketomaisemien lajit ovat maassamme nyt vaikeuksissa. Metsässä on ihmisiän aikana mahdollista nähdä metsän muuttuminen koivikosta kuusikoksi.

Yleisellä tasolla on ekologian tutkimuksissa päädytty siihen, että ekosysteemit ja lajien esiintymisalueet ovat todellisuudessa varsin dynaamisia ja muuttuvia. Jos kerran lajien esiintymisalueet voivat luonnollisista syistä muuttua, niin miten hyvin voivat kooltaan rajalliset suojelualueet ylläpitää Maapallon biodiversiteettiä? Tästä päästäänkin varsinaiseen kysymykseen: jos esimerkiksi ilmastonmuutoksesta johtuen lajien suotuisat elinalueet muuttuvat merkittävästi, niin miten luontomme monimuotoisuudelle käy?

## Ilmastonmuutos ja lajien sukupuutot

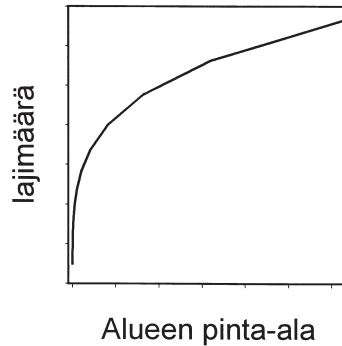
Professori Chris Thomas Yorkin yliopistosta yhteistyökumppaneineen julkaisi vuonna 2004 ainakin ympäristötieteilijöiden ja ekologien parissa suurta huomiota herättäneen tutkimuksen, jossa esitettiin arvio ilmastonmuutoksen yhteydestä lajien tuleviin sukupuuttoihin. Tämän työn mukaan 9–58 % Maapallon lajeista astuu hävintäjunaan vuoteen 2050 mennessä, jos ilmastonmuutos toteutuu ennustetunlaisena. Mitä tämä tarkoittaa ja miten tähän synkään lopputulokseen päädyttiin?

Tutkimuksessa yhdistettiin lajien elinympäristömallit, ilmastonmuutosmallit ja tutkimusten perusteella tunnettu pinta-alan ja lajimäärän välinen yhteys. Niin kutsutuissa habitaattielin elinympäristömalleissa lajin läsnäoloa selitetään ympäristötekijöillä (kuten lämpösusma, kylmimmän kuukauden keskilämpö tai sademäärä), geologialla ja muiden lajien läsnäololla (kasvillisuustyyppi). Kukin laji voi esiintyä joidenkin lajityypillisten rajoitteiden määräämällä alueella.

Thomasin ryhmä keräsi ensin satojen varsin erilaisten lajien habitaattimalleja ja niihin perustuvia levinneisyysennusteita ympäri maailman. Seuraavaksi ilmastonmuutosmallit yhdistettiin levinneisyysennusteisiin: ilmastonmuutos johtaa ympäristöolosuhteiden muutokseen, joka puolestaan johtaa eri lajeille suotuisien esiintymisalueiden muutoksiin. Oleellinen kysymys on, johtaako sopivien elinalueiden siirtyminen joidenkin lajien sukupuuttoon. Tästä esitettiin hypoteesi pinta-ala–lajimäärä–käyrän avulla.

Pinta-alan ja lajimäärän yhteys (saariteoria; Kuva 1) on eräs tunnetuimpia yleisiä ekologisia lainalaisuuksia. Sen mukaan suuremmilla alueilla esiintyy keskimäärin enemmän lajeja kuin pienemmillä, koska suurilla alueilla on keskimäärin enemmän resursseja ja suurempi erilaisten resurssien kirjo. Professori Thomasin tutkimuksessa havaittiin, että monien lajien elinalueiden ennustetaan pienenevän ilmastonmuutoksen seurauksena. Lämpeneminen voi esimerkiksi nostaa joidenkin vuoristolajien esiintymisvyöhykkeitä korkeammalle sopivan alueen samalla pienetessä. Saariteorian perusteella voidaan ennustaa, että karkeasti puolet niistä lajeista, joille ilmastollisesti sopivista alueista katoaa 90 % tulisi pitkällä aikavälillä kuolemaan sukupuuttoon.

Saariteoria ennustaa keskimääräistä tilanetta pitkällä aikavälillä. Harva laji häviää ilman välittömästi, vaikka se menettäisi 99 % alu-

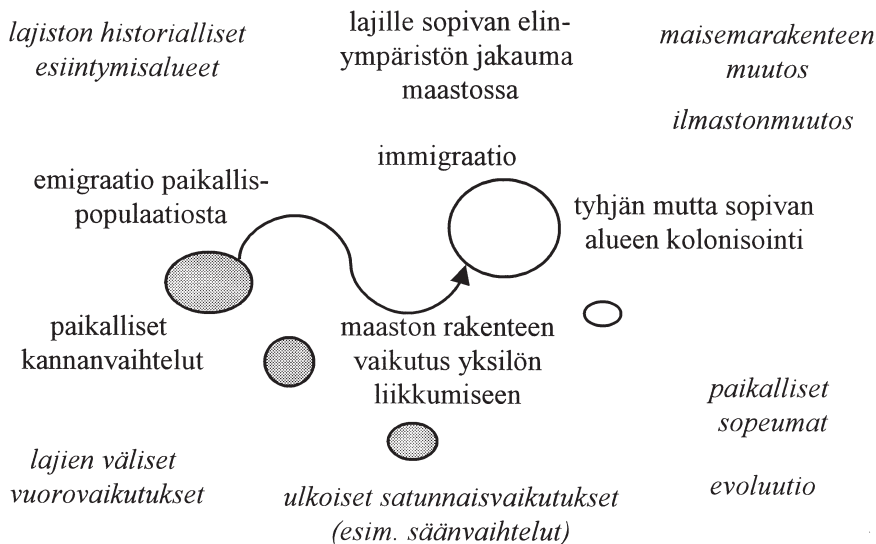


Kuva 1. Eliömaantieteen saariteoria, eli elinympäristölaikun pinta-alan ja sillä esiintyvän lajimäärän yhteys (SA-käyrä) on yksi tunnetuimpia ekologisia lainalaisuuksia (ks. esim. Hanski & Gyllenberg 1997). Tyypillisesti lajimäärä kasvaa ensin nopeasti ja sitten hidastuvasti kun laikun koko kasvaa. Lukuisten havaintoaineistojen perusteella on voitu päätellä, että yhteys on tilastollisesti hyvin kuvattavissa funktiolla  $S=kAz$ , missä  $S$  on lajimäärä,  $A$  on laikun pinta-ala ja  $k$  ja  $z$  vakioita. (Usein  $z = 0,25$ .) Laikut voivat olla esimerkiksi saaria merellä tai vanhan metsän saarekkeitä talousmetsän 'meressä'. SA-käyrän perusteella voidaan ennustaa, että laikun pinta-alan tippuminen 10 prosenttiin alkuperäisestä pudottaa laikulla esiintyvien lajien määrän noin puoleen (kun  $z=0,25$ ).

eestaan, sillä suurimpien jäljelle jääneiden populaatioiden hävintä voi kestää pitkänkin ajan (tätä kutsutaan sukupuuttovelaksi). Pienentyneet populaatiokoot johtavat kuitenkin lopulta lajin hävintään joko suoraan tai ekosysteemin rakenteen vähittäisten muutosten ja lajien välisten vuorovaikutusten kautta. Thomasin tutkimuksessa siis päädyttiin siihen, että ilmastonmuutos sellaisena kuin se ennusteiden mukaan toteutuu vuoteen 2050 mennessä, tulisi lopulta ajamaan sukupuuttoon 9–58 % tutkituista lajeista.

### Epävarmuutta ennusteissa

Kuva 2 esittää yleistä populaatiodynaamista prosessia, joka määrää lajien levinneisyyden. Ensijaisesti lajin esiintymisen määrää sopivan elinympäristön esiintyminen maastossa. Erilliset elinympäristölaikut ylläpitävät paikallispo-



pulaatioita, jotka voivat olla toisiinsa yhteydessä migraation (yksilöiden liikkeiden) välityksellä. Paikallispopulaatiot voivat hävitä, mutta toisaalta tyhjiä laikkuja voidaan uudelleen asuttaa (kolonisoida) migroivien yksilöiden toimesta. Kolonisaatioita ei tapahdu, jos laikkujen väliset matkat ovat pitkiä lajin liikkumiskykyyn verrattuna.

Lajin levinneisyyden määräävä prosessi on valtavan monimutkainen. Pelkästään yhden paikallispopulaation kannanvaihteluun vaikuttaa suuri määrä demografisia ja geneettisiä tekijöitä ja prosesseja. Vuotuiset säänvaihtelut aiheuttavat kaikenlaisia satunnaisvaikutuksia ja joskus voimakkaitakin äkillisiä kannanvaihteluja. Lajien väliset vuorovaikutukset vaikuttavat lajin esiintymiseen monilla tunnetuilla ja tuntemattomilla tavoilla. Myös historialliset tekijät (esim. metsästyksen) vaikuttavat lajin nykyisiin havaittaviin esiintymisalueisiin. Pitkällä aikavälillä sopeutuminen ja evoluutio vaikuttavat lajin esiintymiseen.

Ilmeistä on, että lajin esiintymisalueet määräävä prosessi on sen verran monimutkainen, että kaikenlaisten globaalien ennusteiden epävarmuus saattaa olla merkittävä. Mitä epävarmuuksia sisältyy Thomasin ym. (2004) 9–58 % sukupuuttoennusteeseen?

Ensiksikin epävarmuutta sisältyy oletuksiin ilmastonmuutoksen suuruudesta. Thomas ym. (2004) käyttivät kolmea vaihtoehtoa: ilmasto lämpenee 0,7–1,7 EC, 1,8–2,0 EC ja <4 EC. Vertailun vuoksi: Suomen osalta erilaiset mallit ennustavat, että 2080-luvulla kesäisin on 2-5 EC ja

Kuva 2. Lajien esiintymisalueisiin vaikuttavia tekijöitä. Yhden paikallispopulaation kannanvaihtelua (dynamiikkaa) säätelee klassisen teorian mukaan syntyvyys, kuolleisuus, emigraatio ja immigraatio. Populaation kokoon ja sen vaihteluun vaikuttavat oleellisesti laikun resurssien määrä (kantokyky) sekä moninaiset demografiset ja geneettiset prosessit. Tunnettu ekologinen yhteys kertoo, että pienen populaation hävintäriski on suurempi kuin ison populaation. Lajin alueellisen esiintymisen kannalta tärkein tekijä on lajille sopivan elinympäristön jakauma maastossa. Erilliset paikallispopulaatiot voivat olla toisiinsa yhteydessä migraation välityksellä: eräs nk. metapopulaatiodynamiikan perusteeseistä on, että tyhjiksi jääneitä elinympäristölaikkuja voivat uudelleen asuttaa muista populaatiosta paikalle saapuvat yksilöt. Lajityypillisen leviämiskyvyn suhde sopivien elinympäristölaikkujen välisiin etäisyyksiin vaikuttaa oleellisesti tyhjiksi jääneiden laikkujen uudelleen asuttamisen nopeuteen. Lajille sopivien alueiden esiintyminen ja lajin ominaisuudet eivät kuitenkaan vielä riitä selittämään lajin nykyistä esiintymisaluetta. Lajin esiintymisalueeseen vaikuttaa myös sen esiintymisen historia, vuorovaikutukset muiden lajien kanssa sekä lukuisat ulkoiset satunnaisvaikutukset, joista ehkä tärkein on vuotuinen säänvaihtelu.

Ihminen vaikutus lajin esiintymiseen on pitkällä aikavälillä suuri: ihminen vaikuttaa lajille sopivien alueiden esiintymiseen (esimerkiksi) suoraan maankäyttötarkoituksien kautta ja välillisesti ilmastonmuutoksen kautta. Hyvin pitkällä aikavälillä lajin esiintymiseen vaikuttaa sopeutuminen uusiin olosuhteisiin ja evoluutio.

talvisin 4-10 EC lämpimämpää kuin nykyisin (Carter & Kankaanpää 2003). (Kun tätä kirjoittaessa katsoi ulos ja totesi, että ollaan Suomessa, ja että on tammikuu ja ulkona +6 EC, on tällaisiin ennusteisiin jotenkin helppo uskoa, vaikka yhden lämpimän jakson tilastollinen todistusvoima onkin lähellä nollassa!).

Biologisesti ehkä merkittävin epävarmuuden lähde liittyy lajien leviämiskykyyn, minkä kohdalla Thomas ym. käyttivät kolmea vaihtoehtoa. Näistä optimistisimman mukaan laji pystyy siirtymään uudelle alueelleen riippumatta leviämiskyvystään, alueiden välisistä etäisyyksistä ja maaston laadusta. Pessimistisimman oletuksen mukaan laji pystyy säilymään vain alueilla, joissa ilmasto on sopivaa sekä nyt että 2050. Myös pinta-ala-lajimäärä-yhteyden määrittävän mallin (Kuva 1) vakion  $z$  arvo oli eräs epävarmuuden lähde Thomasin ennusteissa. Tälle vakiolle käytettiin kolmea erilaista empirisesti uskottavaa arvoa. Nämä kolme epävarmuuden lähdeä yhdistämällä päädyttiin siihen, että optimistisimman tilanteen (minimaalinen lämpeneminen, eliöiden rajaton leviämiskyky, loiva yhteys pinta-alan ja lajimäärän välillä) mukaan 9 % lajeista tulisi häviämään. Pessimistisimman tilanteen (maksimaalinen lämpeneminen eikä uusien alueiden kolonisointia) mukaan 58 % lajeista olisi vaarassa. Keskimääräiselle ilmastonmuutokselle (1,8–2,0 EC) ennuste oli se, että sukupuuttoon kuolisi 15–37 % lajeista.

Thomasin ym. (2004) ennusteeseen sisältyy myös eri suuntiin vaikuttavia harhoja, joiden suuruutta pyritään kiireellisesti arvioimaan useiden tutkimusten avulla ympäri maailmaa. Ensiksikin käytetyt ilmastonmuutoskennariot ovat konservatiivisia. Tällä hetkellä näyttää siltä, että ilmasto voi hyvin jatkaa lämpenemistään vuoden 2050 jälkeenkin, mistä johtuen monet lajit menettäisivät arvioitua suuremman osan elinalueistaan. Lisäksi oletus maksimaalisesta lämpenemisestä on itse asiassa tämänhetkisten ennusteiden keskikastia eikä suinkaan suurimmasta päästä. Toisaalta käytetyt elinympäristömallit olivat osin suhteellisen karkeassa mittakaavassa, ja on mahdollista, että nykyisille esiintymisalueille jää pieniä sopivia elinympäristötaskuja (mikrohabitaatteja), jotka mahdollistavat lajien oletettua paremman säilymisen. Lisäksi lajit saattavat pystyä sopeutumaan oletettua paremmin olosuhteiden muutoksiin.

Paikallispopulaatioiden sopeumat voivat myös johtaa lajin oletettua nopeampaan sukupuuttoon (Thuiller ym. 2004). Voidaan tarkastel-

la esimerkkinä kuvitteellista lajia, jonka pohjoisimmat populaatiot ovat sopeutuneet viileämpään ilmastoon kuin eteläiset. Lajin kokonaisesiintymää tarkastellen saattaa näyttää siltä, että lämpeneminen ei ole mikään ongelma – vain eteläisimmät populaatiot kärsisivät ilmaston muuttuessa liian kuumaksi. Paikallispopulaatiot ovat kuitenkin saattaneet sopeutua paikallisilmastoon vuosisatojen kuluessa, ja äkillinen lämpeneminen saattaa aiheuttaa lämpöstressiä kaikille lajin populaatioille yhtäaikaaisesti yli koko sen esiintymisalueen. Tämän seurauksena laji saattaa hävitä näennäisen yllättäen kohtuullisen pienenkin lämpenemisen seurauksena.

Lukuisista epävarmuustekijöistään huolimatta Thomasin ym. (2004) tutkimus osoittaa, että ilmastonmuutos on luonnonsuojelun kannalta potentiaalisesti elinympäristöjen tuhoutumiseen verrattavissa oleva ongelma.

Suomen kannalta on merkittävää, että ilmastomuutoksen vaikutukset ovat luonteeltaan sangen paikallisia. Suomessa ennusteen mukaan talvet lämpenevät ja kesän sademäärä kasvaa (ks. Carter & Kankaanpää 2003). Eliöiden osalta vaikutukset ovat ainakin lyhyellä aikavälillä monin osin positiivisia. Havumetsävyöhykkeen raja siirtyy satoja kilometrejä pohjoiseen ja metsien tuotto kasvaa kymmeniä prosentteja. Maamme eliölajisto monipuolistuu kun lämpöisempiä oloja vaativia lajeja kotiutuu Etelä-Suomeen. Toisaalta esimerkiksi naali on entistä ahtaammalla, kun lämpöisemmässä viihtyvät ketut levittäytyvät yhä pohjoisemmaksi Lappiin.

Globaalissa mittakaavassa vaikutukset ovat biodiversiteetin kannalta kuitenkin väistämättä negatiivisia. Ilmaston lämpeneminen ei sinällään synnytä yhtään uutta lajia. Toisaalta sopivien elinalueiden tuhoutuminen tai siirtyminen johtaa kaiken todennäköisyyden mukaan lukuisien lajien sukupuuttoihin.

Kaikessa tässä aikaperspektiivi on tärkeä. Suhteellisen helposti havaittavat yksittäisten populaatioiden kannanvaihtelut, paikalliset hävinnät ja kolonisaatiot tapahtuvat alle kymmenessä vuodessa. Ihmisenkin toiminnasta johtuva maisemarakenteen muuttuminen kestää joitakin vuosikymmeniä. Ilmastomuutokseksi laskettavien tapahtumien toteutuminen voi kestää vuosisatojakin. Hyvin pitkällä aikavälillä (tuhannet/miljoonat vuodet) sopeutuminen ja evoluutio ovat mekanismeja, jotka mahdollistavat biologisen monimuotoisuuden säilymisen ja lisääntymisen.

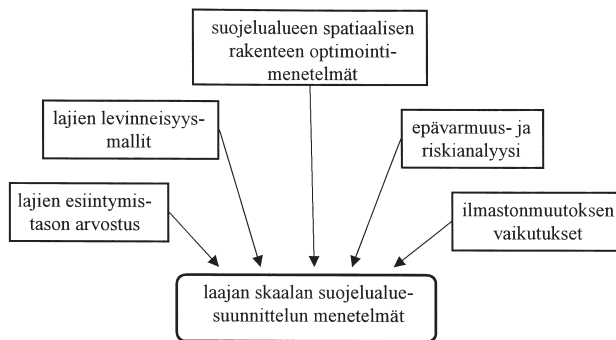
Maailman ilmasto on vaihdellut suuresti historiallisina aikoina. Esimerkiksi jääkausien sykliit ovat kymmeniä vuosituhansia ja monet lajit ovat fossiilien kertoman mukaan sopeutuneet tähän onnistuneesti elinalueitaan vähitellen muuttamalla. Tämänhetkinen ilmaston lämpeneminen tapahtuu kuitenkin yhtä nopeasti tai nopeammin kuin mikään tunnettu aiempi luonnollinen muutos (lukuun ottamatta mm. dinosaurusten valtakauden oletettavasti lopettaneen meteoriitin vaikutusta). Pysyvätkö lajit perässä? Voidaanko huolellisella suojelualuesuunnittelulla lieventää ilmastomuutoksen vaikutuksia ja edesauttaa lajien säilymistä?

### Ilmastomuutos: haasteita suojelualueverkostojen suunnittelulle

Suojelualuesuunnittelu käsittelee luonnonsuojeluun käytettävissä olevien (rajallisten) resurssien tehokasta käyttöä. Eräs tämän suunnittelun tavoite on tuottaa perusteltuja päätöksiä siitä, mitkä alueet suojellaan ja minkä laajuusina ja muotoisina. Kuva 3 esittää käsitteellisellä tasolla suojelualuesuunnittelussa huomioitavia tekijöitä. Kokonaisuudessaan kyse on käsitteellisesti monitahoisesta ongelmasta, joka vaatii paljon syöttötiedoita (kuten lajien levinneisyysennusteilta), ja joka vaatii teknisesti edistyneitä ratkaisuja laskennan toteutuksessa.

Varhaisimmat 1990-luvun alussa esitetyt suojelualuesuunnittelun laskennalliset menetelmät vastasivat ongelmaan ”mitkä alueet valitsemalla saadaan edullisimmin säilytettyä vähintään yksi populaatio kutakin lajia” (ks. Moilanen 2001). Tämä on epärealistisen yksinkertaistettu ongelmanmäärittely. Siinä ei huomioida lajiston säilymistä suojelualueilla eikä myöskään suojelualan rakennetta, joka todellisuudessa vaikuttaa voimakkaastikin lajiston esiintymiseen ja säilymiseen (Cabeza & Moilanen 2001, 2003, Moilanen 2001, Ovaskainen 2001). Sittenmin on alalla saavutettu jonkin verran edistystä. Jotkut menetelmät tuottavat yhtenäisiä (aggregoituneita) suojelualuerakenteita, joiden arvioidaan edesauttavan lajien pitkän aikavälin säilymistä. Rakenteeltaan yhtenäisiä alueita voidaan tuottaa antamalla laskentavaiheessa ’sakkoa’ suojelualueiden reunaviivan pituudelle, mikä johtaa yhtenäisten alueiden valintaan (ks. esim. Cabeza ym. 2004).

Yhtenäiset suojelualuerakenteet ovat tavoiteltavia useastakin syytä. Niin kutsutut negatiiviset reunavaikutukset häiritsevät ensinnäkin joidenkin lajien esiintymistä elinympäristölaikkujen reunoilla. Esimerkiksi vanhan metsän läpi vedetty tie voi karkottaa melulle herkkiä lajeja pois tien lähistöltä. Tästä johtuen pienet elinympäristölaikut, jotka ovat tavallaan pelkkää reunaa, tuskin sopivat kaikille lajeille.



Kuva 3. Suojelualueverkostojen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Suunnittelu perustuu lajien levinneisyysmalleihin tai -havaintoihin sekä maan hintaan ja saatavuuteen eri alueilla. Kullekin lajille pitää aluksi päättää sen tärkeys, eli sen painoarvo suunnittelussa ja lajin suotuisa suojelun taso. Maankäytön muutokset ja ilmastomuutos voivat vaikuttaa lajien esiintymisalueisiin, mikä tulisi myös huomioida suunnitelmissa. Koska koko suunnitteluprosessiin liittyy monia epävarmuustekijöitä, on epävarmuus- ja riskianalyysi tärkeä työkalu suunnitelmien laadinnassa.

Suunnitteluprosessi voi olla laskennallisesti hyvin raskas, ja alan laskennallisia sovellutuksia kehitetäänkin voimakkaasti. Esimerkiksi kysymys ”mitkä 100 000 hehtaaria miljoonan hehtaarin alueelta suojelisit, jotta kohdelajien säilyminen taattaisiin parhaiten”, on hakuavaruudeltaan suuri, epälineaarinen optimointiongelma.

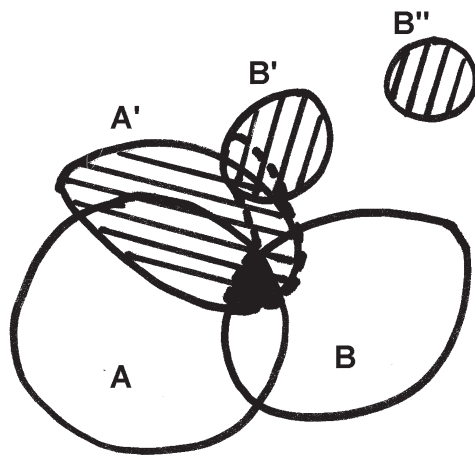
Toisaalta elinympäristömalleissa on tyypillistä, että lajin esiintymiseen jollakin alueella vaikuttaa lajille sopivan ympäristön määrä laajemmin lähialueilla. Esimerkiksi karhun esiintymiseen jollakin neliökilometrin alueella vaikuttaa metsän määrä lähistöllä (esim. 5 km säteellä, *Katajisto & Moilanen 2005*). Lajiston esiintymiselle on siis tyypillisesti suotuisaa, että suojellut alueet ovat laajoja ja yhtenäisiä eivätkä jakaudu moniin pieniin erillisiin pirstaleisiin.

Tämän hetken edistyneimmät suojelusuunnittelumenetelmät käyttävät sisäänrakennettuna lajin elinympäristömalleja. Näissä menetelmissä lajien esiintyminen suojelualueella riippuu suoraan suojelualueverkoston rakenteesta kytkeytyvyyden (ks. esim. *Moilanen ja Nieminen 2002*) kautta. Oletuksena on, että suojelemattomat alueet muuttuvat pitkän päälle kohdelajeille sopimattomiksi, mikä vaikuttaa yksilöiden liikkumiseen ja eri suojelualueiden alueiden väliseen kytkeytyvyyteen (*Moilanen & Cabeza 2002, Cabeza ym. 2004, van Teeffelen ym. 2005, Moilanen 2005*). Oletus suojelemattomien alueiden vähittäisestä tuhoutumisesta on hyvinkin realistinen sellaisilla alueilla (esim. tropiikissa), joissa väestön kasvupaine sekä maa- ja metsätalous johtavat koko ajan uusien alueiden ottamiseen ihmisen käyttöön.

Jo näidenkin laskennallisten menetelmien käyttö on suhteellisen vaativaa. Tarvitaan tilastollisesti kelvollinen elinympäristömalli kullekin lajille ja lisäksi riittävän tarkka laajan mitakaavan (satelliitti)maastokartoitus oleellisista tekijöistä. Mitkään edellä mainitut menetelmät eivät kuitenkaan oleta, että lajeille sopivat alueet voisivat muuttua merkittävästi ajan myötä. Kaikki mitä tähän mennessä on tehty on ikään kuin verryttelyä verrattuna tilanteeseen, jossa ilmastonmuutos pyritään huomioimaan laskennallisesti osana suojelualue suunnittelua.

Kuvassa 4 käsitellään ilmastonmuutoksen aiheuttamaa ongelmaa suojelualue suunnittelulle. Tarkastellaan kahta lajia ja oletetaan optimistisesti, että lajien nykyiset esiintymisaluet tunnetaan hyvin ja että on olemassa kutakuinkin luotettavat ennusteet ilmastomuutoksen vaikutuksesta lajien esiintymisalueisiin. Mitkä alueet tulisi suojella, jotta lajien säilymiselle annetaan parhaat edellytykset? (Oletetaan realistisesti, että vain rajallinen osa alueesta voidaan ottaa suojelukäyttöön).

Kuvan tilanne on helppo lajin A osalta. Sen nykyinen ja ennustettu tuleva esiintymisalue menevät päällekkäin, ja tämä alue onkin hyvä arvaus kohtuullisen suojelualueen sijainnille.



Kuva 4. Ilmastonmuutos, lajin esiintyminen ja suojelualue suunnittelu. Kuvaan on merkitty kahden lajin (A ja B) tämänhetkiset esiintymisaluet (tyhjiät soikiot), sekä ilmastonmuutoksen seurauksena ennustetut esiintymisaluet (alueet A', B' ja B'', viivoitettu). Paksulla katkoviivalla on rajattu eräs ehdotus, joka kattaa osan lajien nykyisistä ja tulevista levinneisyysalueista, ja joka saattaisi mahdollistaa lajien siirtymisen uusille alueille ilmaston ja maisemarakenteen muuttuessa.

Lajin B osalta tilanne on mutkikkaampi, sillä sen nykyinen ja tuleva esiintymisalue ovat erilliset ja suojelussa pitäisi ottaa huomioon sen esiintymisalueen vähittäinen siirtyminen alueille B' ja B''. Sopiva suojelualue voisi olla esimerkiksi kuvassa katkoviivalla rajattu alue: Tämä alue sisältää päällekkäiset osat lajin A nykyisestä ja tulevasta alueesta sekä osan lajin B nykyisestä alueesta. Lisäksi ehdotus sisältää yhtenäisen kaistaleen molempien lajien tulevia alueita, mikä saattaisi mahdollistaa lajien esiintymisalueiden vähittäisen muutoksen ilmastonmuutoksen mukana.

Suunnittelun lähtökohta kuitenkin muuttuu, jos oletetaan että ilmastonmuutosennuste on epävarma verrattuna tietoon lajien nykyisestä levinneisyydestä. Tällöin suunnittelussa olisi syytä painottaa enemmän lajien nykyisiä kuin ennustettuja esiintymisalueita. Lajin B osalta sen leviämiskyky saattaisi vaikuttaa päätöksiin alueiden B' ja B'' osalta. Jos laji on hyvä leviämään, voisi olla perusteltua valita osa (erillisestä) alueesta B'' sillä edellytyksellä, että alueen ennustettu laatu on parempi kuin B':n. Toisaalta jos laji on huono leviämään, kannattaa la-

jin B suojelualue valita alueelta B', joka oletettavasti on paremmin kytketty nykyiseen esiintymisalueeseen.

Kuvan 4 tilanne olisi hyvinkin hallittavissa laskennallisesti optimaalisen suunnittelun kannalta, mutta todellisuudessa tilanne ei ole näin yksinkertainen. Ensinnäkin lajeja on paljon enemmän ja niiden esiintyminen ymmärrettään osin puutteellisesti. Toiseksi lajien esiintyminen ei ole selvärajaista, vaan lajeilla on alueita joissa esiintyminen on todennäköistä ja toisilla alueilla esiintyminen on epätodennäköistä muttei mahdotonta. On myös huomioitava, että ympäristön pirstoutuminen vaikuttaa eri lajeihin eri tavoin: toiset lajit kärsivät negatiivisista reunavaikutuksista suuresti kun taas toiset lajit jopa suosivat habitaattien (esim. metsän) reunoja. Eri lajeilla on myös erilainen levintäkyky, mikä vaikuttaa lajien edellytyksiin siirtyä onnistuneesti uusille alueille.

Vaikka käytössä olisi täydellinen tieto lajien esiintymiseen vaikuttavista tekijöistä ja ilmastomuutoksen kulusta, olisi optimaalinen suojelusuunnitteluongelma silti pöyristyttävä haaste laskennallisesti. Kaikkiin mainittuihin komponentteihin sisältyy lisäksi runsaasti epävarmuutta, mistä johtuen ongelmaa joudutaan lähestymään epävarmuusanalyysin kautta, mikä lisää yhden kerroksen laskentaa ongelman ratkaisuun.

Suojelusuunnittelun tärkeä biologinen tavoite on tunnistaa ja suojella alueita, joissa monet harvinaisetkin lajit esiintyvät ja säilyvät suurella todennäköisyydellä tai joihin lajit voivat onnistuneesti siirtyä suurella todennäköisyydellä ilmastomuutoksen seurauksena. Käytännössä alueiden tulisi olla niin isoja, että niiden ylläpitämät populaatiot ovat elinkykyisiä. Riittävä pienen mittakaavan heterogeenisyys alueiden sisällä tarjoaa mahdollisuudet erilaisille lajeille säilyä samalla alueella. Lisäksi alueiden tulee olla sillä lailla yhtenäisiä, että lajien siirtyminen muuttuvan ympäristön mukana (ympäristöolosuhdegradientteja pitkin) on mahdollista.

Laadullisesti näin on helppo todeta, mutta laskennallisesti tätä ongelmaa ei ole vielä ratkaistu. Ilmastomuutoksen vaikutuksen ymmärtäminen ja huomioiminen optimaalisessa suojelualuesuunnittelussa onkin eräs keskeisiä tulevaisuuden tutkimuskohteita sille soveltavalle tutkimukselle, jota Metapopulaatiobiologian tutkimusryhmässä tehdään.

## KIRJALLISUUTTA

- Cabeza, M. & A. Moilanen (2001): "Design of reserve networks and the persistence of biodiversity". *Trends in Ecology and Evolution* 16, 242-248.
- Cabeza, M. & A. Moilanen (2003): "Site-selection algorithms and habitat loss". *Conservation Biology* 17, 1402-1413.
- Cabeza M., A. Moilanen & H. P. Possingham (2004): "Metapopulation dynamics and reserve network design". Teoksessa, Hanski, I. ja O. Gaggiotti (toim.), *Ecology, genetics and evolution of metapopulations*. Academic press. Sivut 541-564
- Carter, T. R. ja S. Kankaanpää (2003): *Esiselvitys ilmastomuutokseen sopeutumisesta Suomessa*. Suomen Ympäristökeskus, julkaisu 640. Edita OY, Helsinki.
- Hanski, I., and M. Gyllenberg (1997): "Uniting two general patterns in the distribution of species". *Science* 275, 397-400.
- Katajisto, J. & A. Moilanen (2005): *Distribution of human influence and forest affects the distribution of brown bears in Scandinavia*. Käsikirjoitus.
- Moilanen, A. (2001): "Suojelualueverkoston suunnittelu matemaattisena ongelmana". *Tieteessä tapahtuu* 1/2001, 29-34.
- Moilanen, A. (2005): *Reserve selection using nonlinear species distribution models*. Käsikirjoitus.
- Moilanen, A. & M. Cabeza (2002): "Single species dynamic site-selection". *Ecological Applications* 12, 913-926.
- Moilanen, A. & M. Nieminen (2002): "Simple connectivity measures for metapopulation studies". *Ecology* 84, 1131-1145.
- Mulongoy, K. J. & S. Chape (toim.) (2004): *Protected areas and biodiversity*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Ovaskainen, O. (2001): "Mitä teoria sanoo lajien mahdollisuudesta säilyä pirstoutuvassa elinympäristössä". *Tieteessä tapahtuu* 1/2001, 19-22.
- Pressey, R. L. (1999): "Systematic conservation planning for the real world". *Parks* 9, 1-6.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., de Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L. ja S. E. Williams (2004): "Extinction risk from climate change". *Nature* 427, 145-148.
- Thuiller, W., Araujo, M. B., Pearson, R. G., Whittaker, R. J., Brotons, L., ja S. Lavorel (2004): "Uncertainty in predictions of extinction risk". *Nature* doi:10.1038/nature02716.
- van Teeffelen, A. J. A., M. Cabeza, & A. Moilanen (2005): "Habitat loss, connectivity and probabilities: comparing reserve selection strategies". *Biodiversity and Conservation*, painossa.

Kirjoittaja on akatemiaturkija ja ekologian dosentti Helsingin yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksella. Kirjoitus liittyy Metapopulaatiobiologian tutkimusryhmässä tehtävään tutkimukseen "Suojelualueverkoston suunnittelu: ekologiset ja ekonomiset tekijät". Kirjoitus perustuu esitelmään Tieteen päivillä 2005 sessiossa "Verkoston maailma" (14.1.).