

Pienten ja pienenevien populaatioiden ekologiset ja geneettiset haasteet

Marianne Uusi-Ilkainen

LuK-tutkielma

Biologian tutkinto-ohjelma

Oulun yliopisto

Joulukuu 2019

1. Johdanto
2. Miksi populaatiot pienevät
 - 2.1. Neljän kopla
 - 2.1.1. Elinympäristöjen tuho
 - 2.1.2. Yliverotus
 - 2.1.3. Vieraslajit
 - 2.1.4. Sukupuuttoketjut
 - 2.1.5. Ihmisenvaikutus lajien sukupuuttoon
 - 2.2. Uhanalaisuuden syitä Suomessa
3. Ekologiset haasteet
 - 3.1. Eliön ominaisuudet
 - 3.2. Metapopulaatiot
 - 3.3. Elinympäristöt
4. Geneettiset haasteet
 - 4.1. Populaatiokoko
 - 4.2. Sukusiitos
 - 4.3. Valinta ja koevoluutio
5. Suojelualueet
6. Yhteenveto
7. Lähteet

1.Johdanto

Populaatioiden pieneminen ja uhanalaistuminen on jatkuvassa kasvussa Suomessa ja maailmalla. Suomessa arvioiduista lajeista uhanalaisia, mukaan lukien vaarantuneet lajit, on 11,9% ja silmällä pidettäviä 8,5% (Hyvärinen ym. 2019). Useat eri syyt vaikuttavat siihen, että populaatiokoot ovat pienentyneet. Populaatioiden pieneminen ja sukupuutot vaikuttavat ekosysteemien monimuotoisuuteen sekä ekosysteemitointoihin.

Luonnonmonimuotoisuuden pienentyminen on yksi aikamme globaaleista ongelmista ja siksi halusin perehtyä aiheeseen tarkemmin. Populaatioiden pienemisen syiden ja prosessien sekä seurauksien ymmärtäminen on avain asemassa, jotta voimme ehkäistä lajien uhanalaistumista sekä toimia populaatioiden ja siten myös lajien elvyttämiseksi. Perehdyn tutkielmassa siis yleisimpiin syihin, jotka vaikuttavat elinympäristöjen heikkenemiseen, pirstoutumiseen sekä populaatioiden haasteisiin selvitä muuttuvassa ympäristössä. Pääpaino on ilmiön ekologisilla vaikutuksilla ja ongelmilla, mutta perehdyn myös hieman geneettisen taustaan, koska se on merkittävä tekijä lajien säilymisen kannalta. Pää kysymyksiä ovat 1) mitkä ovat merkittävimmät syyt populaatioiden pienemiselle, 2) mitkä prosessit vaikeuttavat pienten populaatioiden selviytymistä ja 3) miksi populaatiot ajautuvat sukupuuttoon?

2. Miksi populaatiot pienenevät

Populaatioiden pieneminen ja lajien sukupuutto ei ole useinkaan vain sattumanvarainen tapahtuma. Siihen vaikuttavat monet yleiset muutokset maapalloa (Krebs 2009). Tällaisia ovat esimerkiksi metsäkato, maanviljelyn tehostuminen ja jäätiköiden sulaminen. Tästä seuraa niin kutsuttuja deterministisiä sukupuuttoja. Deterministinen sukupuutto tapahtuu, kun jokin elintärkeä resurssi poistetaan tai jotakin tappavaa lisätään ympäristöön. Luontotyyppien vähenemistä ja heikkenemistä tapahtuu lähes kaikissa ekosysteemeissä ja se on merkittävä globaali ongelma.

2.1. Neljän kopla

Deterministisiä sukupuuttoihin voi olla useita syitä. Neljä tärkeintä syytä ovat: elinympäristöjen tuhoutuminen tai pirstoutuminen, yliverotus, vieraslajit ja sukupuuttoketjut. Niistä käytetään käsitettä neljän kopla (evil quartet) (Krebs 2009).

2.1.1. Elinympäristöjen tuhoutuminen

Elinympäristöjen tuhoutuminen on merkittävä tekijä populaatioiden pienentymiseen suurella osalla lajeista. Erilaisia luontotyyppettä tuhoutuu etenkin maatalouden ja laajenevan asutuksen vaikutuksesta. Alueiden täydellisen tuhoutumisen lisäksi monet alueet ovat pirstoutuneita. Pirstoutumisen vaikutukset ovat erilaisia eri lajeille, koska niiden leviämisen- ja liikkumisstrategioissa on eroja (Krebs 2009). Hieno rakeisissa (fine-grained habitat) ympäristöissä laikut ovat suhteellisen lähekkäin ja organismit pystyvät suhteellisen vähäisin kustannuksin siirtymään paikasta toiseen. Karkea rakeisissa (coarse-grained habitat) ympäristöissä organismien on vaikea vaihtaa laikkuja, ja ne elävät usein koko elämänsä yhdessä laikussa. Pirstoutunut elinympäristö on suuri haaste etenkin kasveille, joiden liikkumismahdollisuudet ovat rajalliset. Sen sijaan linnut voivat helpommin liikkua laikusta toiseen. Elinympäristöjen pirstoutuminen estää geenivirtaa populaatioiden välillä, mikä johtaa lopulta myös geneettisen variaation vähenemiseen. Lajien ekologiasta johtuen laikku voi olla suurikokoiselle lajille liian pieni ja sen vuoksi kyseinen laikku on elinkelvoton. Pienten laikkujen ja siten myös pienten populaatioiden ongelma on myös usein ajautuminen sukupuuttoon sattumanvaraisten tapahtumien seurauksena. Tätä kutsutaan pienen populaation paradigmaksi (Krebs 2009).

Pirstoutuneet laikut lisäävät myös aina reuna-alueiden määrää. Monet lauhkean vyöhykkeen lintututkimukset (Schmiegelow & Mönkkönen 2002) ovat soittaneet, että metsän reunoilla pesien predaatiota tapahtuu enemmän kuin syvemmällä metsissä. Tämä ilmenee erityisesti metsien ja maatalousalueiden reunavyöhykkeillä. Etenkin varislintujen tiheydet ovat suurempia metsän reuna-alueilla ja pienillä metsäpalstoilla, joita ympäröi maatalousmaa. Reuna-alueen ja sen viereisen habitaatin välisen tuottavuusgradientin jyrkkyys määrittää reuna-alueen predaatiotason. Suomessa ja muissa Fennoskandian metsähabitaateissa ympäristömuutos on lisännyt etenkin metsäkanalintujen pesäpredaatiota ja niiden lisääntymismenestys on laskenut (Schmiegelow & Mönkkönen 2002).

Reuna-alueilla myös abioottiset tekijät eroavat habitaatin ydinalueiden olosuhteista. Tällaisia ovat muun muassa lisääntynyt valon sekä tuulen ja lämpötilavaihteluiden määrä (Schmiegelow & Mönkkönen 2002). Heidän mukaansa tämä voi vaikuttaa reuna-alueiden kasvillisuuteen esimerkiksi puihin ja jäkäliin. Myös reuna-alueen hyönteispopulaatiot saattavat kärsiä muuttuneista olosuhteista.

2.1.2 Yliverotus

Yliverotus (overkill) on merkittävä syy populaatioiden pienenemiselle. Yliverotus tapahtuu, kun populaatiota kalastetaan tai metsästetään niin tehokkaasti, että ylitetään sen lisääntymisteho (Krebs 2009). Alttiita yliverotukselle ovat lajit, jotka saavuttavat sukukypsyyden myöhään ja lisääntyvät harvoin. Ne ovat yleensä suurikokoisia nisäkkäitä, kuten valaat ja norsut. Tällaisten suurten nisäkkäiden populaatiot eivät lähtökohtaisestikaan ole niin suuria kuin pienempien, koska isokokoisten ja korkeammalla trofiatasolla olevien lajien tiheys ei voi kasvamaan yhtä suureksi kuin pienikokoisimmilla lajeilla. Ympäristön resurssien, etenkin ravinnon, rajallisuus estää sen (Hanski ym. 1998). Myös etenkin pienikokoisten saarten populaatioilla on suurentunut riski yliverotukselle. Pääsääntöisesti se koskeen lajeja, jotka ovat ihmisille erityisen arvokkaita niistä saatujen hyödykkeiden takia (Krebs 2009). Ongelmallista kalastuksessa ja metsästyksessä on usein myös se, että saaliiksi joutuvat parhaassa lisääntymisiässä olevat yksilöt, joiden lisääntymisarvo (Krebs 2009) populaation kannalta on suurin.

2.1.3. Vieraslajit

Vieraslajit ovat lajeja, jotka kolonisoivat elinympäristöjä luontaisen levinneisyysalueensa ulkopuolelta. (Krebs 2009). Nämä lajit ovat onnistuneet ylittämään maantieteelliset esteet, usein ihmisen avustuksella, ja päässeet leviämään uusiin elinympäristöihin (Dar & Reshi 2014). Erityisesti rahtilaivojen mukana on kulkenut suuri määrä erittäin haitallisia vieraslajeja ympäri maapalloa. Osa lajeista on niin kutsuttuja tulokaslajeja eli ne ovat omatoimisesti levinneet alueelta toiselle ilman ihmisen avustusta. Tulokas-lajien leviämistä on auttanut paljon ympäristön muutos sekä ilmaston lämpeneminen. Vieraslajeja yhdistää muutama samankaltainen piirre (Krebs 2009). Vieraslajit ovat yleensä generalisteja ja niiden ekolokero on varsin laaja. Ne ovat tehokkaita lisääntymään ja niiltä puuttuvat luontaiset viholliset uudessa elinympäristössä. Supikoira (*Nyctereutes procyonoides*) on malliesimerkki vieraslajista (Kauhala & Kowalczyk 2011). Supikoira on elinympäristön ja ravinnon suhteen hyvin sopeutuvainen, se lisääntyy nopeasti ja on hyvä levittäytymään uusille alueille. Pohjoisilla alueilla se kykenee nukkumaan myös talviunta. Supikoiran elintavat ja ravintokohteet ovat vahvasti päällekkäiset muun muassa punaketun (*Vulpes vulpes*) ja mäyrän (*Meles meles*) kanssa, mikä saattaa aiheuttaa kilpailua lajien välille ja heikentää alkuperäislajien menestystä (Kauhala & Kowalczyk 2011). Vieraslajit usein valloittavat alkuperäisten lajien ekolokerot. Vieraslajit saattavat levittää vaarallisia tauteja loisia kuten supikoira, joka levittää muun muassa rabiasta, syyhypunkkin (*Sarcoptes scabiei*) aiheuttamaa kapia sekä trikinelloosia (Kauhala & Kowalczyk 2011). Jos vieraslajit ovat petoja ne saattavat lisätä saalieläimiin kohdistuvaa predaatiota ja pienentää näiden populaatioita.

Usein vieraslajit ovat myös sellaisia, että ne muuttavat elinympäristöään merkittävästi (Valtonen ym. 2006). Esimerkiksi komealupiini (*Lupinus polyphyllus*) pystyy tuottamaan juurinystyröillään tyypeä. Se rikastuttaa maaperää ja tämän seurauksena lupiini pystyy leviämään hyvinkin karuille paikoille ja samalla se tuhoaa esimerkiksi karuihin olosuhteisiin sopeutuneiden piennarkasvien elinympäristöt. Tyypillistä vieras ja tulokaslajeille on myös nopeakasvuisuus, jolloin ne varjostavat ja peittävät alleen muut kasvit. Valtonen ym. (2006) mukaan piennarkasvien lisäksi, perhosten määrä oli vähentynyt alueilla, joilla esiintyi komealupiinia, koska lupiinit eivät tarjoa ravintoa toukille tai aikuisille perhosille.

Vieraslajit aiheuttavat usein paikallisten populaatioiden pienemisen ja lopulta sukupuuton. Vieraslajit alkavat korvata paikallisia lajeja (Dar & Reshi 2014). Tämä johtaa niin kutsuttuun homogenisaatioon eli alueiden diversiteetti pienenee ja lajisto muuttuu samankaltaisemmaksi

erialuilla. Elinympäristöjen radikaali muutos auttaa vieraslajeja tässä prosessissa, koska vieraslajit menestyvät yleensä hyvin myös ympäristöissä, joissa on voimakkaita häiriöitä. Vieraslajien aiheuttama diversiteetin pienentyminen näkyy erityisesti saarilla (Dar & Reshi 2014). Alkuperäisten lajien on vaikeampi kolonisoida uudelleen saarelle, jos sen populaatiot ovat kuolleet sukupuuttoon. Mikäli kyseessä on saarella endeeminen laji, kyseinen laji menetetään kokonaan. Lähes 50% Australiassa tapahtuneista sukupuuttoista viimeisen 200 vuoden aikana on aiheutunut vieras- ja tulokaslajeista (Krebs 2009).

2.1.4. Sukupuuttoketjut

Viimeinen neljän koplan listassa on sukupuuttoketjut (Chains of extinction). Lajin, josta muut lajit ovat riippuvaisia, katoaminen johtaa myös toisten lajien sukupuuttoon. Varsinkin monet specialistit ovat hyvin riippuvaisia toisista lajeista. Sukupuuttoketjut ovat yleisempiä trooppisilla alueilla (Krebs 2009), mutta niitä löytyy myös muualta. Esimerkiksi Haapa (*Populus tremula*) on merkittävä avainlaji, lauhkeanvyöhykkeen metsissä. Yhtäaikaisissa sukupuuttoissa (coextinction) isännästä riippuvaisen lajin sukupuuttoon kuolemiseksi kaksi tärkeintä tekijää ovat isännän sukupuutonopeus sekä lajin isäntäspesifisyys (Dunn ym. 2009). Jos isännän sukupuutto nopeus on liian voimakas, mutualistilla tai loisilajilla ei ole mahdollisuuksia sopeutua uuteen isäntään. Joiltakin specialistilajeilta voi myös puuttua geneettistä potentiaalia, joka mahdollistaa sopeutumisen. Isäntäspesifisyys on merkittävää, koska generalistilajit voivat vaihtaa isäntää eivätkä ole yhtä suuressa vaarassa joutua sukupuuttoon yhtä aikaa isäntälajin kanssa. Barro Coloradon saarelta tunnetaan esimerkki, jossa saaren muurahaiset kuolivat paikallisesti sukupuuttoon. Muurahaisten paikallissukupuutosta seurasi kyseisistä muurahaisista riippuvaisen lintulajin sukupuutto ja lisäksi näitä lintuja hyödyntävien täiden paikallisia sukupuuttoja. Dunn ym. (2009) olettavat, että yhtäaikaisia sukupuuttoja (coextinction) tapahtuu hyvin paljon. Sukupuuttoketjumallien mukaan ennustetaan kymmenien tuhansien loisten ja mutualistien olevan vaarassa rinnakkaissukupuutoille. Erityisessä vaarassa sukupuuttoketjuille ovat hyönteisloiset eli parasitoidit, koska monet hyönteisloiset ovat spesialisteja ja erikoistuneet loisimaan toisia specialistiparasitoideja, jotka puolestaan loisivat kasveja syöviä hyönteisiä (Hanski 2007).

2.1.5. Ihmisen vaikutus lajien sukupuuttoon

Populaatioiden pienemisen syytä yhdistää vahvasti se, että useimmat aiheuttajat ovat suoraan tai välillisesti ihmisen aiheuttamia. Esimerkiksi ihmisen toiminnasta seurannut ilmastonmuutos edistää vieraslajien ja tulokaslajien mahdollisuuksia levitä yhä uusille alueille. Elinympäristöjen tuhoutumiseen ovat vaikuttaneet kuitenkin aina myös ihmisistä riippumattomat tapahtumat esimerkiksi luonnonkatastrofit kuten tsunamit ja metsäpalot. Populaatioissa tapahtuu luontaista populaation pienenemistä. Esimerkiksi saalislajin tai ravintokasvin harvinaisuus voi ajoittain aiheuttaa populaation koon pientymistä (Hanski 2007) ja esimerkiksi petojen korkea tiheys voi lisätä paikallisen populaation sukupuuttoriskiä. Populaation voimakkaat sykleissä tapahtuvat kannanvaihtelut ovat yleisiä muun muassa pienillä nisäkkäillä kuten myyrillä, joiden säännöllistä kannanvaihtelua ohjaavat nisäkäs- ja lintupeto kantojen tiheys ja predaation määrä (Hanski 1998).

2.2. Uhanalaisuuden syytä Suomessa

Suomessa suurimman osan lajien uhanalaisuudesta ja populaatioiden pienenemisestä aiheuttavat metsien talouskäyttö sekä avoimien ympäristöjen kuten rantojen, ketojen ja niittyjen umpeen kasvaminen.

Hyvärinen ym. (2019) mukaan Suomessa metsien talouskäytön aiheuttamat elinympäristöjen muutokset ovat yleisin syy uhanalaistumisella ja ensisijainen syy 27,5% suomen uhanalaisista lajeista. Talousmetsässä tehtävät toimenpiteet, ovat johtaneet lahoppuun ja vanhojen metsien sekä kookkaiden puiden vähenemiseen, mikä on syynä uhanalaisuuteen yli puolella metsien uhanalaisista lajeista. Avoimien ympäristöjen umpeutuminen on 24% lajeista uhanalaisuuden ensisijainen syy. Kolmanneksi merkittävin syy on satunnaistekijät, ensisijainen syy 9,9% uhanalaisista lajeista. Satunnaistekijöille, kuten erityisen kylmä kesä tai vähäluminen talvi, ovat alttiita hyvin pienet populaatiot tai populaatiot, jotka esiintyvät hyvin pienellä alueella. Ilmastonmuutos uhkaa pääosin pohjoisboreaalisia lajeja, joista noin puolet esiintyy ainoastaan Tunturi - Lapissa. Muita syytä populaatioiden pientymiselle ja uhanalaistumiselle Suomessa ovat rakentaminen, vesirakentaminen, kaivannaistoiminta, kemialliset haittavaikutukset sekä ojitus ja turpeen otto. Kuloalueiden ja sukcession alkuvaiheiden väheneminen ovat myös syynä metsälajiston uhanalaisuuden lisääntymiselle.

3. Ekologiset haasteet

3.1. Eliön ominaisuudet

Eliön ominaisuuksilla on valtava vaikutus siihen, miten se kykenee säilymään etenkin muuttuvissa elinympäristöissä. Generalisteille olosuhteiden muutokset eivät välttämättä ole merkittäviä, mutta specialistit voivat kuolla sukupuuttoon herkästi. Generalistien on helpompaa levitä uusille alueille, koska ne voivat löytää ravintoa laajemmalla alueella. Generalisti menestyvät usein myös spesialisteja paremmin ihmisen muokkaamissa ympäristöissä (Swihart ym. 2003). Hyvin pienet alle 1mm kokoiset kasvit ja eläimet ovat yleensä kosmopoliitteja. Niiden paikalliset populaatiot ovat suuria ja häviämiskatku pieni (Hanski 2007). Sukupuutot uhkaavat eniten suuria hitaasti lisääntyviä eläimiä kuten norsut, jotka saavuttavat sukukypsyyden suhteellisen myöhään ja lisääntyvät harvoin (Krebs 2009). Toisaalta suurikokoiset yksilöt ovat usein parempia kilpailijoita ja paremmin puskuroituneet ympäristön muutoksia vastaan (Hanski 1998). Hänen mukaansa suuret yksilöt kykenevät tuottamaan enemmän jälkeläisiä kuin pienempi kokoiset. Jälkeläistuotannon määrällä voi olla merkittävät vaikutukset pienen populaation säilyvyydelle. Kuitenkin tilanteissa, joissa elinympäristö on heikko ja esimerkiksi ravinto resursseja on vähän, suuri koko on epäedullinen, koska suuremmat yksilöt tarvitsevat enemmän energiaa elintoimintojen ylläpitämiseen, kasvuun ja lisääntymiseen (Hanski 1998).

Myös monet semelpariset kasvit tai lajit, joiden sukupolvenväli on pitkä ovat alttiita sukupuutoille. Hanskin (1998) mukaan yksilöillä, jotka saavuttavat sukukypsyyden nuorempina säilyvät todennäköisemmin hengissä lisääntymishetkeen asti. Muuttuvassa ympäristössä pitkä sukupolven väli voi koitua kohtalokkaaksi, koska myös evoluutio tapahtuu hitaammin ja jälkeläiset eivät välttämättä enää selviä muuttuneessa ympäristössä.

Suomalaisessa tutkimuksessa, jossa vertailtiin uhanalaisia ja ei-uhanalaisia perhoslajeja (Kotiaho ym. 2005) kävi ilmi, että uhanalaisia lajeja yhdistäviä ekologisia ominaisuuksia olivat aikuisten perhosten erikoistuneet elinympäristövaatimukset ja lyhyt lentoaika sekä toukkien erikoistuminen ravintoresurssien suhteen (monofagia) sekä huono dispersaaliokyky. Lajit, joilla on leveämpi ekologokero, kolonisoivat todennäköisemmin eristyneitä laikkuja kuin lajit, joiden ekologokero on kapea (Swihart ym. 2003). Heidän mukaansa lajit, joilla on runsaasti vaatimuksia elinympäristön suhteen tai vaatimuksia vastaavia elinympäristöjä on vähän, asuttivat suurempia laikkuja kuin lajit, jotka olivat vaatimattomampia elinympäristöjen

suhteen. Eri eliöillä voi olla myös erilainen häiriötoleranssi, jotkin lajit ovat sopeutuneet muita paremmin elämään häiriöisessä ympäristössä.

3.2. Metapopulaatiot

Metapopulaatiot ovat merkittäviä, kun pohditaan miten ja mitkä populaatiot ja lajit voivat säilyä elinympäristössään (Hanski 2007). Paikallispopulaatiot vaikuttavat merkittävästi toisiinsa ja metapopulaatio on avainasemassa lajin sekä paikallispopulaatioiden säilymisessä pirstoutuneessa ympäristössä. Yksittäinen paikallispopulaatio on hyvin altis sattuman vaikutuksille ja sen katoamisriski on suuri. Metapopulaatioissa oleellista ovat laikkujen koko ja etäisyys toisistaan sekä kytkeytyneisyys. Jos habitaattien verkosto harvenee tiettyä kynnsarvoa harvemmaksi, ei voida saavuttaa sellaista tasapainoa häviämisten ja kolonisaatioiden välillä, joka mahdollistaisi metapopulaation olemassaolon.

Hanskin (2007) mukaan paikallissukupuutot ovat väistämättömiä, koska pirstoutuneissa ympäristöissä paikallispopulaatiot ovat suhteellisen pieniä ja niiden häviämiskahva on suuri. Kun habitaattien koko pienentyy liikaa ja reuna-alueiden sekä laikkujen eristyneisyys kasvaa liian suureksi, populaatiot eivät voi säilyä vaikka sopivaa elinympäristöä olisi vielä olemassa (Schmiegelow & Mönkkönen 2002, Hanski 2007). Voimakas kanta alueella pystyy kuitenkin ylläpitämään paikallispopulaatioita huonoissakin ympäristöissä, koska lähdepopulaatioista siirtyy jatkuvasti yksilöitä pienempiin populaatioihin ja tyhjentyneisiin laikkuihin. Tästä syystä sukupuuttojen syynä ei välttämättä ole paikallispopulaatioiden nopea häviäminen vaan se, että uusia paikallispopulaatioita ei synny riittävän nopeasti (Hanski 2007). Ihmistoiminnan seurauksena tai luonnollisista syistä muuttuneet elinympäristöt voivat muuttaa lajien maantieteellistä levinneisyyttä ja yhteisöjen lajikoostumusta, esimerkiksi täpläverkko perhonen (*Melitaea cinxia*) on kadonnut kokonaan Manner-Suomesta ja esiintyy enää Ahvenanmaalla (Hanski 2007). Yhteisöjen lajikoostumuksen muutoksella on merkittävä rooli monimuotoisuuden ja siten populaatioiden säilymisessä.

Yhteisön monimuotoisuuden on arvioitu lisäävän keskimäärin yhteisön vakautta (McCann 2000). Hänen mukaansa monimuotoisuus ei kuitenkaan ole ainoa vakautta määrittävä tekijä, vaan systeemin vakaus riippuu sen sisältämistä lajeista ja toiminnallisista ryhmistä. Jos yhteisössä on useampia samanlaisia toimintoja suorittavaa lajiryhmää toisen kadotessa ryhmät voivat korvata toisensa, ilman että tasapaino merkittävästi järkkyy (Hanski ym. 1998). Kuitenkin ns. avainlajeja muut ryhmät tai lajit eivät kykene korvaamaan. Avainlajien

katoaminen johtaa koko yhteisön voimakkaaseen muuttumiseen. Myös kokonaisten trofiatasojen katoaminen vaikuttaa systeemin toimintaan voimakkaasti. Trofiatasojen katoaminen voi olla jopa merkittävämpää kuin sukupuutot trofiatasojen sisällä (Cardinale ym. 2012).

Myös yhteisön lajien välisillä vuorovaikutuksilla on merkitystä yhteisön vakauteen. Lajien välillä vallitsevat voimakkaat vuorovaikutukset ovat alttiita horjuttamaan yhteisön tasapainoa (McCann 2000). Jos toinen vuorovaikutuksen osapuolista kuolee sukupuuttoon, toinen laji ei voi selvitä. Tämä johtaa aiemmin mainittuihin sukupuuttoketjuihin, jotka vähentävät yhteisön vakautta ja monimuotoisuutta. Yksittäisten lajien säilymisedellytysten lisäksi koko yhteisön tasapainon vakauden ja tarvittavien toiminnallistenryhmien säilyminen on tärkeää, jotta populaatioiden pienentyminen voidaan estää. Yhteisön pienentynyt toiminnallinen monimuotoisuus muuttaa systeemin häiriöiden sietokykyä ja rajoittaa yhteisön kykyä sopeutua ympäristönmuutoksiin (Dar & Reshi 2014).

3.3. Elinympäristöt

Mikrohabitaattien katoaminen on usein syynä elinympäristöjen heikentymiselle. Katoavissa elinympäristöissä on ongelmana, että usein parhaat elinympäristöt hyödynnetään ihmisten käyttöön kuten maaperältään ravinteikkaat lehdot. Lehdot toimivat ensisijaisena elinympäristönä 45,3% Suomen uhanalaisista metsälajeista (Hyvärinen ym. 2019).

Hanski (2007) jakaa elinympäristöjen häviämisen neljään osaan, jotka ovat laadun heikkeneminen, pinta-alan pieneneminen, kytkeytyneisyyden väheneminen ja jatkuvuuden väheneminen. Kun elinympäristön laatu heikkenee se johtaa väistämättä populaation kasvun hidastumiseen. Heikkenemisen syynä voi olla esimerkiksi alueen pienentyminen. Alueen pieneneminen lisää reuna-alueiden eli huonompien elinympäristöjen määrää. Heikentyneessä elinympäristössä ei riitä resursseja yhtä suuren populaation ylläpitämiseksi ja sen kantokyky heikkenee. Kun elinympäristö heikkenee, poismuutto alueelta yleensä lisääntyy. Tästä seuraa, että kannanvaihtelujen määrä kasvaa ja kanta pienenee. Alueiden kytkeytyneisyyden ja jatkuvuuden heikkeneminen, estää yksilöitä liikkumasta laikusta toiseen. Tästä ääriesimerkki on Saimaannorppa (*Pusa hispida saimensis*), joka jäi jääkauden päättymisen seurauksena Saimaalle eristyksiin muusta Itämeren norppa populaatiosta (Hanski 1998). Eristyneisyys vähentää tulomuuttoa ja kolonisaatiota sekä lisää todennäköisyyttä, että ympäristö jää asuttamatta. Kytkeytyneisyyden ja jatkuvuuden vähentyminen hidastaa metapopulaation

kasvunopeutta ja lisää häviämiskäskyä (Hanski 2007). Kun habitaattien koko pienentyy liikaa ja reuna-alueiden sekä laikkujen eristyneisyys kasvaa liian suureksi, populaatiot eivät voi säilyä vaikka sopivaa elinympäristöä olisi vielä olemassa (Schmiegelow & Mönkkönen 2002).

Useimmissa habitaateissa kasvillisuus määrittää yhteisön rakenteen (Tews ym. 2004).

Lähtökohtaisesti ympäristön heterogeenisuus on positiivinen asia, koska se tarjoaa enemmän erilaisia ekolokeroja. Heterogeenisuuden positiivisia vaikutuksia on huomattu muun muassa niveljalkaisilla, linnuilla ja nisäkkäillä. Lajien erilaisista ominaisuuksista johtuen on mahdollista, että toisille lajeille sopivan heterogeeninen ympäristö täyttää toisen lajin pirstoutuneen ympäristön tunnusmerkit. Esimerkiksi metsäaukeat voivat lisätä positiivisesti ympäristön heterogeenisuutta perhosille, mutta olla kovakuoriaisille maiseman pirstoutumista (Tews ym. 2004). Kun alueita häviää, siitä seuraa myös alueiden heterogeenisuuden vähenemistä. Alueen heterogeenisuuden pienentyminen jyrkentää kannan vaihteluja ja siten lisää sukupuuttojen riskiä (Hanski 2007). Hänen mukaansa ihmisen muokkaamiin elinympäristöihin voi myös muodostua niin kutsuttuja ekologisia loukkuja. Tällöin elinympäristö näyttää muuttavalle yksilölle paremmalta kuin se todellisuudessa on ja yksilö ei menesty elinympäristössä.

Tarkasteltaessa elinympäristöjen pirstoutumista ja heterogeenisyyttä on merkittävää pirstoutuneen populaation ikä (Hanski 2007). Lajit, jotka elävät luonnollisesti pirstoutuneessa heterogeenisessä ympäristössä ovat sopeutuneet kyseiseen ympäristöön. Puolestaan äskettäin pirstoutuneissa elinympäristöissä elävät lajit ovat todennäköisesti sopeutuneet yhtenäisempään ympäristöön. Luontaisesti pirstoutuneissa ympäristöissä elävillä lajeilla on enemmän migraatiota sekä migraatioon liittyviä sopeumia, kuten siipipolymorfismia. Esimerkiksi metsissä elävät lajit ovat sopeutuneet rajallisiin migraatio mahdollisuuksiin, ja valinta on suosinut muita kuin migraatioon liittyviä ominaisuuksia.

Tärkeä kysymys on kuinka suuri osa elinympäristöstä voi hävitä ja kuinka pirstoutunut se voi olla ilman, että populaatiot ja lajit kuolevat sukupuuttoon (Hanski 2007). Yksittäisellä paikallispopulaatiolla ei ole selkeää kynnsarvoa, milloin saavutetaan sellainen ympäristön tila, että populaatio kuolee sukupuuttoon. Populaation häviämiskäsky kasvaa jatkuvasti elinympäristön ja populaationkoon pienentyessä. Paikallispopulaation sukupuutto nopeuttavat merkittävästi kaksi asiaa: naaraiden lisääntymismenestyksen merkittävä heikentyminen, joka aiheuttaa populaation pienentymisen sekä poismuuton kasvaminen

pienellä habitaattilaikulla niin suureksi, että populaation luontainen kasvu ei korvaa muuton aiheuttamaa populaation pientymistä (Hanski 2007).

4. GENEETTISET HAASTEET

Elinympäristöjen pientyminen pienentää yksilömäärän lisäksi myös populaation geneettistä kokoa (Hanski 2007). Hänen mukaansa, mikäli paikallispopulaation lisääntymismenestys vaihtelee suuresti elinympäristöjen pirstoutuminen pienentää populaation geneettistä kokoa. Etenkin jos paikallispopulaatiot uusiutuvat nopeasti eli tapahtuu paljon häviämisiä ja uudelleen kolonisointeja. Tämä voimistaa lisääntymismenestyksen vaihtelua tulevissa sukupolvissa.

4.1. Populaation koko

Populaation pieni koko voi osoittautua monellakin tapaa ongelmalliseksi. Pienellä populaatiolla on suuri riski joutua ns. sukupuuttokierteeseen (extinction vortex). Sukupuuttokierteessä populaation yksilömäärän vähäisyys johtaa ensin sisäsiitokseen, jonka seurauksena tapahtuu geneettistä ajautumista. Sisäsiitoksen ja geneettisen ajautumisen seurauksena geneettinen variaatio alkaa pientyä. Geneettisen variaation määrä on oleellisen tärkeä populaation elinkelpoisuudelle sekä kyvyllä sopeutua muuttuviin olosuhteisiin ja siksi pientynyt geneettinen variaatio heikentää myös populaation elinvoimaisuutta ja lisääntymismenestystä (Krebs 2009). Jos tätä sykliä ei saada katkaistua, se johtaa väistämättä populaatioiden ja huonoimmassa tapauksessa lopulta koko lajin sukupuuttoon.

Krebsin (2009) mukaan harvinaisen lajin säilyttämisessä oleellista on pienimmän elinkykyisen populaation käsite (Minimum viable populatio, MVP). Tämä tarkoittaa yksilömäärää, joka pystyy vielä turvaamaan populaation jatkuvuuden. 50/500 säännön mukaan populaatioon tarvitaan 50 yksilöä, jotta sisäsiitostaakka (inbreeding depression) eli yksilön elinkyvyn heikkeneminen pystytään välttämään. Tarvittavat yksilömäärät tarkoittavat ns. tehokasta (effektiivistä) populaatiokokoa eli geneettistä populaatiokokoa. Geneettisen driftin estämiseksi tarvitaan kuitenkin 500 yksilön efektiivinen koko, jotta populaatio voisi sopeutua muuttuvaan ympäristöön. Jotta demografisen stokastisuuden (syntymien ja kuolevuuden liittyvä satunnaisuus) aiheuttamat sukupuutot voitaisiin eliminoida populaatiokoon, joka estäisi sukusiitostaakan täytyisi olla kuitenkin huomattavasti suurempi

kuin 50 yksilöä (Hanski ym. 1998). Huomattavaa on kuitenkin, että vaikka populaatiokoko olisi suuri, sukupuuton riski on olemassa, etenkin nopeasti muuttuvassa ympäristössä, jos populaatiolla ei ole geneettistä edellytyksiä sopeutua muuttuvan ympäristöön tai sen elinympäristö katoaa kokonaan.

4.2. Sukusiitos

Sukusiitos pienentää perinnöllistä muuntelua ja siitä voi seurata haitallisten alleelien kertymistä populaatioon. Populaation historia vaikuttaa haitallisten alleelien kertymiseen. Jos populaatio pienentyy hitaasti, valinta ehtii karsia haitallisia alleleja, mutta mikäli suuri populaatio äkillisesti pienenee valinta ei ehdi vaikuttaa haitallisten alleelien esiintyvyyteen. Esimerkiksi Ahvenanmaan täpläverkkoperhosilla on todettu, että matala heterotsygotia-aste lisää populaation häviämiskäskyä (Hanski ym. 1998). Myös monet ympäristömyrkyt voivat aiheuttaa mutaatioita, jotka sisäsiitoksen seurauksena voivat kertyä populaatioon.

Elinympäristöjen pirstoutuminen aiheuttaa lajeille myös haasteita, koska kaukana toisistaan sijaitsevien laikkujen välillä geenivirta ehtyy, kun migraation vähetessä tai loppuessa kokonaan. Sukusiitoksen lisääntyessä yksilöiden migraatio toisiin populaatioihin voi lisääntyä. Elinympäristöjen pirstoutuminen ja eristyneisyys voivat lisätä migraation aikaista kuolleisuutta, mikä edelleen pienentää jäljellä olevaa geneettistä potentiaalia (Hanski 2007). Hanskin mukaan on havaittu myös, että herkkyys sukusiitokselle saattaa olla erilainen vastapirstoutuneissa ja luontaisesti pirstoutuneissa elinympäristöissä eläville lajeille

4.3. Valinta ja koevoluutio

Elinympäristöjen pirstoutuminen voi vahvistaa sellaisten ominaisuuksien valintaa, jotka auttavat populaatiota selviytymään muuttuvassa elinympäristössä (Fountain ym. 2016).

Paikan ja ajan mukaan vaihteleva ympäristön heterogeenisuus voi ylläpitää populaatioiden polymorfisuutta ja geneettistä muuntelua, koska ympäristö koostuu erilaisista laikuista, jotka suosivat erilaisia ominaisuuksia (Hanski ym. 1998). Elinympäristöjen muutos ja häviäminen voi olla kuitenkin niin nopeaa, ettei adaptiivinen geneettinen muutos riitä ja lajit kuolevat sukupuuttoon ennen kuin ehtivät sopeutua (Fountain ym. 2016).

Lajien geneettinen monimuotoisuus vaikuttaa myös niiden koevoluutioon. Useilla lajeilla tapahtuu koevoluutiota esimerkiksi saaliin ja saalistajan välillä (Krebs 2009) tai isännän ja

loiseläimen välillä. Jos lajin tai populaation geneettinen monimuotoisuus pienenee ja sillä ei ole enää mahdollisuutta mukautua toisten lajien toimintaan, yksilöiden kelpoisuudelle koituu merkittävää haittaa. Geneettisen muuntelun väheneminen lisää populaation alttiutta lois- ja tautitartunnoille (Hanski 2007). Pedot saavat saaliseläimet helpommin kiinni ja loiset pystyvät paremmin hyödyntämään isäntä eliötä. Tämä lisää edelleen haittaa populaatioille, jotka eivät pysy mukana koevoluutiossa.

5. Suojelualueet

Olemassa olevien populaatioiden säilymisen ja populaatioiden pienenemisen ehkäisyn kannalta on tärkeää säilyttää ja ennallistaa elinympäristöjä. Suojelualueiden valinnassa ei ole yhtä oikeaa perustetta, vaan alueita on tarkasteltava tapauskohtaisesti (Hanski 2007). Suojelualueiden kokoon ja muotoon tulisi kuitenkin ensisijaisesti kiinnittää huomiota. Reuna-alueita tulisi olla mahdollisimman vähän alueen kokonaispinta-alasta. Jos on useampi suojeltu alue niiden olisi hyvä olla sijoitettu pikemmin ryhmään kuin jonoon ja alueilta tulisi voida siirtyä toiseen. Alueita yhdistävät käytävät ovat merkittävässä asemassa, jotta pystytään ehkäisemään laikkujen isolaatio ja edistämään kolonisointia ja geenivirtaa populaatioiden välillä. Käytävien suunnittelussa tulisi kuitenkin ottaa huomioon lajien tarpeet. Krebsin (2009) mukaan käytävien sijoittelu ja koko tulisi huomioida lajikohtaisesti, suuremmat lajit tarvitsevat leveämpiä käytäviä liikkuaakseen. Esimerkiksi Albertan kalliovuorilla harmaakarhuille (*Ursus arctos horribilis*) perustetut käytävät laikkujen välillä oli sijoitettu ihmisasutuksen ja jyrkän vuoriston väliin, mikä hankaloitti karhujen liikkumista tämän käytävän avulla. Käytävissä on myös riskinä, että ne lisäävät predaatiota tai auttavat taudinaiheuttajia liikkumaan helpommin populaatioiden välillä. Myös itse alueen valinnassa tulee huomioida lajit, joiden populaatioita halutaan suojella. Suuremmat lajit tarvitsevat yleensä suuremman elinalueen, ja lajien ekologia kuten territoriaalinen käytös voi asettaa vaatimuksia alueen koon suhteen (Krebs 2009).

Suojelualueiden perustamisessa on tärkeää huomioida mikrohabitaatit eli pienelinympäristöt. Mikrohabitaateissa elää valtava määrä lajeja (Hanski 2007), joten niillä on suuri merkitys alueen monimuotoisuudelle. Mikrohabitaattien lajit ovat lisäksi useimmiten täysin riippuvaisia juuri oikeanlaisesta mikrohabitaatista siinä, missä suuremmat lajit usein sopeutuvat käyttämään erilaisia habitaatteja. Kun lajeja suojellaan, on tärkeää huomioida myös se, että monet lajit voivat elää erilaisissa elinympäristöissä eri elinkierron vaiheissa.

Useilla lajeilla voi myös olla yksi tai useampi toissijainen elinympäristö (Hyvärinen ym. 2019).

Suojeluverkostojen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon suojeltavien lajien alueellinen dynamiikka ja suojeluverkostojen suunnittelussa pitäisi hyödyntää lajien metapopulaation dynamiikkaa (Hanski 2007). Habitaatit voivat olla maiseman rakenteeltaan karkea- rakeisia tai hieno rakeisia. Karkea- rakeisissa ympäristöissä yksilöt viettävät usein koko elämänsä samassa laikussa, koska laikun vaihtaminen on vaikeaa. Hieno- rakeisessa ympäristössä laikut ovat toisiaan lähellä ja yksilöt pääsevät kulkemaan laikkujen välillä pienin kustannuksin (Krebs 2009). Maiseman rakeisuus näyttäytyy eri tavalla eri lajien yksilöille. Esimerkiksi kasveille karkea-rakeinen ympäristö voi olla linnulle jatkuva hieno- rakeinen ympäristö. Tämä tuottaa merkittäviä haasteita alueiden suojelun suunnitteluun.

Vaihtelu vasteissa esimerkiksi ympäristön laikuttaisuuteen voi olla osittain riippuvainen fylogenian asettamista evolutiorajoituksista. Sukulaislajit ovat usein samankaltaisia ekolokero konservatiivisuuden, adaptiivisten rajoitusten ja fylogeneettisten aikaviiveiden suhteen (Swihart ym. 2003). Tätä voidaan hyödyntää, kun suunnitellaan alueiden suojelua.

Lajeilla on myös evoluution myötä kehittyneitä ominaisuuksia selviytyä haasteellisissa ympäristöissä. Esimerkiksi monilla kasveilla siemenet voivat säilyä hyvin pitkiä aikoja maaperässä tai kasvit tai sienet voivat muodostaa lepoitiöitä. Kun suotuisat ympäristöolosuhteet saavutetaan uudelleen kasvin siemenet tai juuret ovat maaperässä valmiina hyödyntämään oikeanlaista habitaattia. Suomalaisista kasveista tästä hyvä esimerkkejä ovat vadelma (*Rubus idaeus*) ja maitohorsma (*Epilobium angustifolium*), jotka metsän sukkession myötä katoavat, mutta heti kun metsään tulee aukko esimerkiksi hakkuun seurauksena maitohorsma ja vadelma alkavat kasvaa uudelleen. Niiden siemenet voivat säilyä maaperässä vuosikymmeniä odottaen, että sukkession alkaa alusta. Metsäpalo tai rannan tuhoutuminen aikaan saa uuden sukkession, jossa alkuvaiheessa primaarilajit pääsevät valloittamaan elinympäristön ja ajan kuluessa sinne saapuvat sekundaari lajit ja lopulta metsän sukkessiassa alueen valtaavat vanhat puut, sammalet, kolopesijät ja lahottajat. Luonnonkatastrofit ovat sopivassa määrin siis oleellinen osa kiertokulkua.

Populaatioiden elinympäristöjen suojeluun kuuluu myös alueiden suojeleminen tuhoisilta vieraslajeilta. Valtaosa vieraslajeista viihtyy tienvarsilla ja muissa häiriöisissä ympäristöissä, joissa ihmisen vaikutus on suuri. On kuitenkin havaittu, että esimerkiksi komealupiini

kykenee levittäytymään myös kauemmas tienvarsista ja pihapiireistä, jopa metsiin (Valtonen ym. 2006).

6.Yhteenveto

Jonkin populaation tai lajin sukupuutolle on harvoin nähtävissä yhtä ainoaa syytä, usein on kyse monen eritekijän yhteisvaikutuksesta. Yleisimpiä tekijöitä ovat kuitenkin ympäristöjen muutos ja katoaminen nopeammin kuin eliöt pystyvät sopeutumaan muutokseen. Etenkin ravinnonkäytön tai habitaatin suhteen specialistit lajit, joilla on suhteellisen heikko dispersaaliokyky ovat vaarassa. Populaatioiden pienemisen ehkäiseminen ja lajien suojelu on hankalaa, koska lajeilla on hyvin erilaisia elinympäristövaatimuksia. Osalla lajeista myös eri elinkierron vaiheet tapahtuvat erilaisissa habitaateissa ja kaikkien tarvittavien habitaattien suojelu on lajin elinehto. Uhanlaisten lajien lisäksi suojelualueilla tuli varmistaa, että tällä hetkellä elinvoimaisilla lajeilla olisi tulevaisuudessa mahdollisimman pieni sukupuuttoriski.

Populaatioiden häviäminen kiteytyy kahteen yksikertaiseen sääntöön. Ensiksi mitä pienempi populaatio on, sen suurempi sen häviämiskahva on. Toiseksi, mitä pienempi on populaation elinympäristölaikku, sitä suurempi on laikussa elävän populaation häviämiskahva (Hanski 2007).

7.Lähteet

- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., . . . Naeem, S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486: 59-67. doi:10.1038/nature11148
- Dar, P. A., & Reshi, Z. A. 2014. Components, processes and consequences of biotic homogenization: A review. *Contemporary Problems of Ecology*, 7: 123-136. doi:10.1134/S1995425514020103
- Dunn, R. R., Harris, N. C., Colwell, R. K., Koh, L. P., & Sodhi, N. S. 2009. The sixth mass coextinction: Are most endangered species parasites and mutualists? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276: 3037-3045. doi:10.1098/rspb.2009.0413
- Fountain, T., Nieminen, M., Sirén, J., Wong, S. C., & Hanski, I. 2016. Predictable allele frequency changes due to habitat fragmentation in the glanville fritillary butterfly. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113: 2678-2683. doi:10.1073/pnas.1600951113
- Hanski, I., Lindström, J., Niemelä, J., Pietiäinen, H. & Ranta, E. 1998. Ekologia. Juva.WSOY
- Hanski, Ilkka. 2007. Kutistuva maailma, elinympäristöjen häviämisen populaatioekologiset seuraukset. Suomentanut I. Kalliola. Helsinki. Gaudeamus
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kempainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. s. 25-104
- Kauhala, K., & Kowalczyk, R. 2011. Invasion of the raccoon dog *nyctereutes procyonoides* in europe: History of colonization, features behind its success, and threats to native fauna. *Current Zoology*, 57: 584-598. doi:10.1093/czoolo/57.5.584

- Kotiaho, J. S., Kaitala, V., Komonen, A., & Päävinen, J. 2005. Predicting the risk of extinction from shared ecological characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102: 1963-1967. doi:10.1073/pnas.0406718102
- Krebs Charles J. 2009. Ecology, The Experimental Analysis of Distribution and Abundance (6. painos). San Fransisco. Pearson Benjamin Cummings. s.323-348
- McCann, K. S. 2000. The diversity-stability. *Nature*, 405: 228-233. doi:10.1038/35012234
- Schmiegelow, F. K. A., & Mönkkönen, M. 2002. Habitat loss and fragmentation in dynamic landscapes: Avian perspectives from the boreal forest. *Ecological Applications*, 12: 375-389.
- Swihart, R. K., Atwood, T. C., Goheen, J. R., Scheiman, D. M., Munroe, K. E., & Gehring, T. M. 2003. Patch occupancy of north american mammals: Is patchiness in the eye of the beholder? *Journal of Biogeography*, 30: 1259-1279. doi:10.1046/j.1365-2699.2003.00925.x
- Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M. C., Schwager, M., & Jeltsch, F. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31: 79-92. doi:10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x
- Valtonen, A., Jantunen, J., & Saarinen, K. 2006. Flora and lepidoptera fauna adversely affected by invasive lupinus polyphyllus along road verges. *Biological Conservation*, 133: 389-396. doi:10.1016/j.biocon.2006.06.015