



Mitä teoria sanoo lajien mahdollisuudesta säilyä pirstoutuvassa elinympäristössä?

Otso Ovaskainen



Matemaattikkojen ja fyysikkojen yhteistyö on kautta tieteiden historian ollut niin erottamatonta, että on usein jopa vaikeata erottaa näitä aloja toisistaan. Sen sijaan matemaatikko ekologiassa on edelleenkin jonkinasteinen kummajainen, ainakin suuren yleisön silmissä. Lintujako hän laskee vai kaloja?



Perustavaa laatua oleva selitys sille, miksi ekologia kiinnostaa matemaatikkoja, on hyvin samantapainen kuin fysiikankin osalta: luonnossa esiintyvissä prosesseissa on läsnä kirjo matemaattisia lainalaisuuksia, jotka houkuttelevat etsimään vastausta. Toisin kuin fysikaaliset ilmiöt, ekologiset prosessit ovat elollisten olentojen tuottamia. Tämä mutkistaa tilannetta huomattavasti, sillä erilaisilla satunnaistekijöillä on ekologiassa aina niin suuri rooli, että matemaattinen malli on parhaimmillaankin karkea likiarvo, ajattelun apuväline. Ekologiassa tarkasteltaviin ilmiöihin vaikuttaa yleensä suuri joukko erilaisia tekijöitä, joiden suorien ja epäsuorien vuorovaikutusten arvioiminen on vaikeaa.



Sukupuuttoaalton ymmärtäminen ekologien haasteena



Yksi kaikkein suurimmista nykyeologian haasteista on ymmärtää tällä hetkellä käynnissä oleva maapallonlaajuinen biodiversiteetin köyhtyminen. Kansainvälisen Worldwatch -instituutin vuosiraportin (*Brown ym.* 2000) mukaan tärkein syy lajien häviämiseen on elinympäristöjen tuhoutuminen, joka uhkaa aiheuttaa miljoonien eliölajien sukupuuton. Professori Stuart Pimm arvioi Helsingissä syksyllä 1999 järjestetyssä kansainvälisessä "Habitat loss" -kongressissa, että nykymentolla jopa puolet maapallon eliölajeista uhkaa kuolla sukupuuttoon seuraavan 50 vuoden aikana. Amerikkalaisten tutkijoiden James Kirchnerin ja Anne Weilin (2000) mukaan eliölajiston toipuminen maapallon kehityshistorian aikana sattuneista katastrofaalisista sukupuuttoaaltoista on tyypillisesti kestänyt noin 10 miljoonaa vuotta. Vaikka evoluutio tuottaa uusia lajeja hävinneiden tilalle, on maapallon eliölajistoa nyt uhkaava sukupuuttoaalto siten ihmisen kannalta peruuttamaton.



Sadat ekologit tutkimusryhmineen ympäri maapallon ovat ryhtyneet selvittämään elinympäristöjen pirstoutumisen seuraamuksia eri lajeille ja lajiryhmille. Tutkimukset käsittelevät niin tropiikin puiden latvuksissa eläviä hyönteisiä, valtameren saarten lintuja, savannien suuria nisäkkäitä kuin vaikkapa Suomen aarniometsien uhanalaisia käävääkkäitä. Nämä kenttätutkimukset tuovat ensisijaisen arvokasta tietoa siitä, minkälaisia vaikutuksia ihmisen toiminnalla on luonnolle. Kokonaiskuvan muodostaminen on kuitenkin vaikeaa yksittäisistä - vaikkakin lukuisista - esimerkeistä.



Juuri tässä onkin teoreettisen ja matemaattisen ekologian oma ekolokero. Teoria tähtää kenttätutkimuksissa havaittujen lainalaisuuksien selittämiseen ja yleistämiseen. Tulen tässä kirjoituksessa tarkastelemaan sitä, miten ekologisen teorian avulla voidaan hahmottaa jo käynnissä olevan sukupuuttoaalton etenemistä. Erityishuomioni kohteena on eräs tuon sukupuuttoaalton tuhansista pärskeistä: Suomen vanhojen metsien tilanne.



Täpläverkkoherhonen metapopulaatiomallinnuksen työkaluna




Tehokkaiden ja riittävän yleispätevien matemaattisten mallien kehittäminen vaatii joukon avainlajeja, jotka tunnetaan niin hyvin, että mallien ja niiden esittämien ennusteiden luotettava testaaminen tulee mahdolliseksi. Kun malli on havaittu toimivaksi riittävän monella lajilla ja lajiryhmällä, voidaan perustellusti olettaa, että sen tuottamat ennusteet pätevät ainakin laadullisesti muihinkin samantapaisissa ekologisissa tilanteissa eläviin lajeihin.




Tutkimusryhmämme tärkeimpänä metapopulaatiomallinnuksen






testilajina on Ahvenanmaan kuivilla kedoilla elävä uhanalainen täpläverkkoperhonen. Perhosen lisääntymiseen soveltuvia ketoja on Ahvenanmaalla useita tuhansia, mutta kaikki kedot ovat niin pieniä, että perhonen ei tulisi pitkään toimeen parhaallakaan paikalla, vaan lajin olemassaolo perustuu satojen pienten paikallispopulaatioiden väliseen vuorovaikutukseen. Se, mikä yksittäisten paikallispopulaatioiden häviämässä menetetään, voitetaan takaisin tyhjen ketojen uudelleenasettamisissa. Tällaista lukuisten paikallisten populaatioiden muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan metapopulaatioksi.




Täpläverkkoperhosen yli kymmenen vuotta jatkuneissa intensiivisissä kenttätutkimuksissa kertynyt tieto on mahdollistanut lajin esiintymistä säätelevien prosessien matemaattisen mallintamisen. Mallit pohjautuvat stokastisiin prosesseihin ja differentiaaliyhtälöihin, jotka kuvaavat paikallispopulaatioiden kuolemien ja tyhjen ketojen eli elinympäristölaikkujen uudelleenasettamisen tuottamaa dynamiikkaa. Malleissa on otettu huomioon mm. se, että suurten laikkujen populaatiot kuolevat harvemmin kuin pienten laikkujen populaatiot. Samoin on huomioitu, että tyhjän kedo todennäköisyys tulla uudestaan asutuksi on sitä suurempi, mitä enemmän ja mitä suurempia asuttuja laikkuja on sen ympäristössä.


Kynnysehto lajin säilymiselle



Täpläverkkoperhoselle kehitettyjen mallien perustavaa laatua oleva ennuste on se, että laji pystyy selviytymään populaatiolaikkujen muodostamassa verkostossa, mikäli maiseman metapopulaatiokapasiteetti (*Hanski & Ovaskainen* 2000) on riittävän suuri. Metapopulaatiokapasiteetti mittaa paitsi jäljellä olevan lajille soveltuvan elinympäristön kokonaispinta-alaa, myös sitä, kuinka pieninä ja toisistaan eristäytyneinä pirstaleina elinympäristö esiintyy. Metapopulaatiokapasiteetin avulla voidaan verrata eri tavalla pirstoutuneiden elinympäristöjen kykyä säilyttää lajin elinkelpoinen kanta.




Sukupuuttoaalton taustalla on paitsi elinympäristöjen pinta-alan pieneneminen, myös vielä jäljelle jääneiden alueiden pirstoutuminen. Elinympäristön kokonaispinta-alan pienenemisen mittaaminen on periaatteessa yksinkertaista, mutta pirstoutumisen vaikutus lajin kannanvaihteluun ja elossasäilymiseen on huomattavasti monimutkaisempi kysymys. Metapopulaatiokapasiteetin avulla tähän kysymykseen on saatu uutta ymmärrystä. Teorian avulla voidaan paitsi verrata eri tavalla pirstoutuneiden elinympäristöjen kykyä säilyttää lajin elinkelpoinen kanta, myös mm. arvioida yksittäisten elinympäristölaikkujen merkitystä kokonaisuuden kannalta.




Käynnissä olevat tutkimukset ovat antaneet rohkaisevia viitteitä siitä, että alunperin perhoselle kehitetty malli pystyy ennustamaan hyvin esimerkiksi pohjantikan esiintymistä Etelä-Suomen vanhoissa metsissä. Vaikka täpläverkkoperhosen ja pohjantikan biologiset vaatimukset ja ominaisuudet ovat hyvin erilaiset, on niiden kannanvaihtelua määrävissä tekijöissä niin paljon samoja periaatteita, että perusteiltaan samaa matemaattista mallia voidaan soveltaa molemmille. Mallin testaaminen laajemmalle lajiryhmälle on edelleen käynnissä.

Lajien häviäminen kestää aikansa



Kun elinympäristölaikkujen verkosto huononee joidenkin laikkujen tuhoutumisen vuoksi, se ei ehkä pysty enää tukemaan kaikkien siinä esiintyvien lajien pitkäaikaista säilymistä. Kaikki nämä lajit eivät kuitenkaan häviä heti, vaan muutokset niiden kantojen koossa tapahtuvat aikaviiveellä. Kynnyksarvon alapuolelle joutunut laji voi erilaisten satunnaistekijöiden johdosta sinnitellä pitkäänkin, välillä jopa runsastuen. Lopulta esimerkiksi kaksi peräkkäistä sääolosuhteitaan epäsuotuisaa vuotta saattaa johtaa lajin häviämiseen.



Teoreettinen tarkastelu osoittaa, että aikaviive on pisin niillä lajeilla, jolle huonontunut elinympäristö on lähellä lajin häviämisen kynnyksarvoa (*Ovaskainen & Hanski*, käsikirjoitus). Sitä vastoin lajin, jolle nykyinen elinympäristö on aivan liian huono, ennustetaan kuolevan sukupuuttoon melko nopeasti. Aikaviiveen pituus riippuu ympäristön tilan lisäksi myös kohdelajin ominaisuuksista, esimerkiksi yksilöiden keskimääräisestä eliniästä.



Lajikohtaisen aikaviiveen ekosysteemitason vastinetta kutsutaan sukupuuttovelaksi. Elinympäristön huonontumisen jälkeen useat lajit voivat olla "tuomittuja sukupuuttoon". Ennen kuin nämä lajit häviävät, ne muodostavat niin sanotun sukupuuttovelan. Häviämiseen kuluva aikaviiveen aikana harvinaisten lajien suhteellinen osuus on suuri.



Viimeisten vuosikymmenien aikana tapahtunut laajamittainen trooppisten sademetsien hakkaaminen antaa perustellun aiheen olettaa, että huomattava osa maapallolla nykyään esiintyvistä lajistosta on pudonnut pitkäaikaisen säilymisen takaavan kynnysehdon alapuolelle. Kun ajatellaan mahdollisuuksia näiden lajien pelastamiseksi, on ensisijaista tietää, kuinka pitkä on aikaviive ennen peruuttamatonta sukupuuttoon. Aikaviiveen tarkkaa lajikohtaista pituutta on mahdotonta ennustaa, mutta on mm. esitetty arvio, jonka mukaan erään sademetsän pirstovan hakkuun jälkeen jäljelle jääneissä noin 1000 hehtaarin laikuissa puolet odotettavissa olevista lintulajien sukupuutoista tulee tapahtumaan seuraavan 50 vuoden aikana (*Brooks ym. 1999*). Jos merkittäviin suojelutoimiin ei ryhdytä pikaisesti, maailmanlaajuisen sukupuuttoaalton huipun on ennustettu osuvan tämän vuosisadan puoliväliin (*Pimm & Raven 2000*).



Suomen metsissä tuhannen lajin sukupuuttovelka



Sademetsät muodostavat maapallon lajirikkaimman elinympäristön, mutta eivät suinkaan ainoan, jossa huomattavan osan lajeista ennustetaan kuolevan lähimpien vuosikymmenien aikana sukupuuttoon. Tutumman, mutta monelle silti yllättävämmän esimerkin huomattavasta sukupuuttovelasta tarjoavat Etelä-Suomen metsät.



Vajaa puolet Suomen noin 45 000 sieni-, kasvi- ja eläinlajista on metsässä esiintyviä lajeja. Useimpien lajien tarkkoja ekologisia vaatimuksia ei tunneta, mutta varsin monet lajit ovat mukautuneet elämään olosuhteissa, jotka harvoin vallitsevat talousmetsissä. Suomessa on tällä hetkellä 566 uhanalaiseksi luokiteltua metsälajia (*Rassi ym. 2000*). Toistaiseksi tiedetään noin 60 metsälajin kuolleen kokonaan sukupuuttoon ja paljon laajemman joukon hävinneen alueellisesti, etenkin maan eteläosista. Arvioon noin 1000 lajin sukupuuttovelasta päästään, kun otetaan huomioon se, että puutteellisten lajistotietojen takia uhanalaistarkastelussa on mukana vain osa kaikista metsälajeista (*Hanski 2001*).



Uhanalaisten metsässä esiintyvien lajien määrä on suuri, mutta ei kuitenkaan hämmästyttävän suuri, kun otetaan huomioon Suomen metsissä tapahtuneiden muutosten laajuus. Vain noin viisi prosenttia Suomen metsistä voidaan enää luokitella luonnontilaisiksi, ja Etelä-Suomessa luku on alle prosentin. Maan koillisosassa, jossa vanhoja metsiä on enemmän, jäljellä olevat metsät ovat keskimääräistä karumpia, ja niinpä niissä lajikirjo on köyhempi kuin etelän metsissä.



Suomen metsistä 3,6 % on joko suojeltuja tai sisällytetty käynnissä olevaan suojeluohjelmaan. Etelä-Suomessa suojeltuja metsiä on noin prosentti (1 %) kun kaikki meneillään olevat suojeluohjelmat on vahvistettu. Kun näitä lukuja vertaa jäljellä olevien vanhojen metsien määrään, tulee muistaa, että suuri osa suojelluista metsistä on ollut pitkään talouskäytössä ja näin ollen vain noin puolet Suomen vanhoista metsistä on suojeltuja. Edelleen jatkuvat vanhojen metsien hakkuut uhkaavat siis kasvattaa sukupuuttovelkaa entisestään.



Sukupuuttovelka voidaan maksaa kahdella tavalla




Sukupuuttovelka voidaan maksaa kahdella eri tavalla. Helpompi mutta lyhytnäköisempi vaihtoehto hankkiutua eroon velasta on yksinkertaisesti antaa lajien kuolla ajan myötä sukupuuttoon. Toinen tapa on parantaa ympäristön laatu takaisin kynnyksarvon yläpuolelle riittävän nopeasti, jotta hengissä sinnitelleet lajit voivat runsastua takaisin turvalliselle tasolle.



Tehokkain tapa estää vanhoissa metsissä elävien lajien häviäminen sukupuuttoon olisi metsien palauttaminen entiselleen. Vaikkei talousmetsiä olekaan mahdollista ennallistaa nopeasti takaisin aaniometsäksi, on kuitenkin mahdollista palauttaa joitakin luonnonmetsien tärkeimpiä ominaispiirteitä. Yksi tällainen kriittinen ominaispiirre on lahoavan puuaineksen riittävä määrä ja laatu.





Sekä metapopulaatiokapasiteettiin perustuva teoria (Hanski & Ovaskainen 2000) että simulaatiokokeet (Hanski 2001) osoittavat, että on tuloksellisempaa ennallistaa huolellisesti kohdennettuja alueita mahdollisimman tehokkaasti kuin parantaa jonkin verran kaikkien metsien keskimääräistä laatua. Tässä mielessä nykyiset kevyemmät metsänhoitomenetelmät yhdistettyinä edelleen jatkuviin vanhojen metsien hakkuisiin eivät ole kustannustehokas vaihtoehto. Biodiversiteetin suojeluun käytettyjen markkojen tehokkuuden lisäämiseksi tulisi ensin suojella jäljellä olevista metsistä kaikkein luonnontilaisimmat. Metsien ennallistamistoimenpiteet tulisi sitten toteuttaa näiden ydinalueiden ympäristössä, koska nykyisissä metsätyimissä on vielä lajeja, jotka voisivat siirtyä ennallistetuille kohteille.

Poliittista tahtoa tarvitaan

Elinympäristöjen häviämisestä ja pirstoutumisesta johtuva sukupuuttojen aalto tulee nykyinen romahduttamaan maapallon biodiversiteetin nykyistä huomattavammasti alemmalle tasolle. Edessä oleva romahdus voidaan kuitenkin vielä muuntaa kevyemmäksi rysähdykseksi, jos riittävän tehokkaisiin toimiin ryhdytään riittävän nopealla aikataululla. Toimenpiteiden käynnistämiseen tarvittava ekologinen tieto on ollut jo pitkään olemassa, ja torjuntavoiton saavuttamisessa tarvitaan nyt ennenkaikkea poliittista tahtoa. Viimeisen vuosikymmenen aikana tuotettu empiirisen ja teoreettisen ekologian tutkimus auttaa suuntaamaan käynnistettävät toimenpiteet mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla maapallon biodiversiteetin pelastamiseen.

KIRJALLISUUTTA:

Brooks, T., Pimm, S. & Oyugi, J. (1999): Time lag between deforestation and bird extinction in tropical forest fragments. *Conservation Biology* 13, 1140-1150.

Hanski, I. (2000): Extinction debt and species credit in boreal forests: modelling the consequences of different approaches to biodiversity conservation. *Ann. Zool. Fennici* 37, 271-280.

Hanski, I. & Ovaskainen, O. (2000): The metapopulation capacity of a fragmented landscape. *Nature* 404, 755-758.

Kirchner, J. & Weil, A. (2000): Delayed biological recovery from extinctions throughout the fossil record. *Nature* 404, 177-180.

Brown, L. (2000): *State of the world 2000*. The Worldwatch Institute.

Ovaskainen, O. & Hanski, I.: Time delay in metapopulation response to perturbation. *Käsikirjoitus*.

Pimm, S. & Raven, P. (2000): Extinction by numbers. *Nature* 403, 843-845.

Rassi, P., Mannerkoski, I., Peltonen, S.-L. & Alanen, A. (2000): 2nd red data book of Finland. - Report, Ministry of Environment, Helsinki.

Kirjoittaja on TKT joka toimii tutkijana Metapopulaatiobiologian tutkimusryhmässä Ekologian ja systematiikan laitoksella Helsingin yliopistossa.

otso.ovaskainen@helsinki.fi

