

Luonnon Tutkija

Suomen Biologian Seura Vanamon jäsenlehti Nro 1 2023 126 vsk.

TEEMA

Yhteiskuntahyönteisten tutkimus Suomessa



Pääkirjoitus

Yhteiskuntahyönteiset muutoksessa

Sosiaaliset hyönteiset ovat kiehtoneet ihmisiä kautta aikojen. Muurahaiset, ampiaiset, mehiläiset ja kimalaiset, ja ulkomailla myös termitit, ovat runsaslukuisia, huomiota herättäviä ja taloudellisesti merkittäviä eliöryhmiä. Niihin kuuluu paitsi tärkeitä pölyttäjiä ja muiden hyönteisten kantojen säätelijöitä, myös monia tuholaisia ja muita haitallisina pidettyjä lajeja. Niiden suuri biomassana tarjoaa ravintoa monille hyönteisistä syöville eläimille. Sosiaalisten hyönteisten muodostamia yhteiskuntia voidaan pitää "superorganismeina", joissa eri tehtäviin erikoistuneet yksilöt tai kastit vertautuvat monisolujen eliöyksilöiden soluihin tai kudostyyppeihin. Työnjako on niin tiivistä, ettei yksittäinen yksilö selviydy joutuessaan yhteiskunnan ulkopuolelle.

Yhteiskuntahyönteisten tiedetään olevan erityisen herkkiä ympäristön tilan muutoksille. Niiden tehokas lisääntymiskyky ilmenee esimerkiksi ampiaisten ja kimalaisten suurina vuosittaisina kannanvaihteluina. Vaihteluita aiheuttavat säänsä lisäksi pedot, loiset ja taudit sekä elinympäristöissä tapahtuvat muutokset. Äskettäin päättyneessä Suomen ympäristökeskuksen vetämässä PÖLYHYÖTY-hankkeessa todettiin, että pölyttäjähönteisistä erityisesti kimalaiset vaikuttavat vähentyneen Suomessa pitkällä aikavälillä, sillä niihin kuuluu selvästi enemmän vähentyneitä kuin runsastuneita lajeja.

Kimalaisten väheneminen on havaittu myös ulkomaisissa tutkimuksissa. Monet kimalaiset viihtyvät suhteellisen viileässä ilmastossa ja siksi ilmaston lämpeneminen on johtanut monien kimalaislajien vetäytymiseen pohjoisemmaksi. Samalla niiden populaatiot ovat pienentyneet. Toisaalta jotkut niityillä ja kedoilla elävät lajit ovat kärsineet erityisesti elinympäristöjen vähenemisestä. Ampiaisten ja muurahaisten kantojen arvioidaan säilyneen Suomessa vakaampina kuin kimalaisten, mutta esimerkiksi kekomuurahaisten on havaittu taantuneen monissa Keski-Euroopan maissa. Tärkeimpänä syynä on pidetty metsien pirstoutumista hakkuiden ja rakentamisen seurauksena.

Monet yhteiskuntahyönteiset ovat myös hyötyneet ilmastonmuutoksesta. Suomessa esimerkiksi herhiläinen ja saksanampiaainen ovat runsastuneet voimakkaasti 1990-luvulta alkaen ja kimalaisista varsinkin kontukimalainen, kaakonkimalainen ja uralinkimalainen ovat levittäytyneet hurjaa vauhtia viime vuosina. Uudet tulokkaat ovat tyypillisesti eteläisiä generalistilajeja, jotka menestyvät ihmisen muokkaamissa elinympäristöissä. Toistaiseksi näyttää siltä, että levittäytyvät lajit eivät ole syrjäyttäneet tai heikentäneet merkittävästi alkuperäisten lajien kantoja, vaikka ne voivat kilpailla samoista resursseista, kuten pesäpaikoista ja ravintokasveista.

Viime vuosina alkaneet hyönteisseurannat tuottavat kaivattua määrällistä tietoa yhteiskuntahyönteisten kannanvaihteluista ja niiden syistä. Seurannat ovat Suomen ympäristökeskuksen koordinoimia ja niissä on mukana ammattibiologien lisäksi useita kymmeniä luontoharrastajia. Kimalaisten ja mehiläisten lisäksi seurantatietoa saadaan myös mm. yhteiskunta-ampiaisista. Uudet vapaaehtoiset ovat lämpimästi tervetulleita mukaan!

JUHO PAUKKUNEN



Luonnon Tutkija

Suomen Biologian Seura Vanamo ry on julkaissut Luonnon Tutkija -lehteä vuodesta 1897 (vuoteen 1946 asti Luonnon Ystävä). Luonnon Tutkija julkaisee yleistyisiä luonnontieteellisiä biologian alaan keskittyviä artikkeleita. Luonnon Tutkija vastaanottaa ja julkaisee mielellään kaikenlaisia kirjoituksia aihepiiristä.

Päätoimittaja: Pasi Reunanen (luonnontutkija@vanamo.fi)

Kansikuva: Kaakonkimalainen (*Bombus schrencki*) työntouhussa. Kuva: Juho Paukkunen.

Sisältö

2 Yhteiskuntahyönteiset muutoksessa
JUHO PAUKKUNEN

4 Mesipistiäisten älykkyys
OLLI J. LOUKOLA

14 Yhteiskunta-ampiaisista Suomessa
ATTE KOMONEN JA JOUNI SORVARI

24 Evoluutio vaikuttaa muurahaisten
tulevaisuudennäkymiin
SANJA MARIA HAKALA, JONNA KULMUNI JA HEIKKI HELAN-
TERÄ

39 Pihamauriaisien geenimuokaus
CRISPR-Cas9-tekniikalla
MAUNO KONU

Uusin kirjallisuus

43 Ilmastometsät – monipuolinen lukuelä-
mys
TIMO PUKKALA

46 Suden ja metsäpeuran asialla
KARI VÄYRYNEN

48 Ihmisen ongelmallinen luontosuhde
PASI REUNANEN

52 Suomen Biologian Seura Vanamon
vuosikokous

53 Kirjoittaisinko Luonnon Tutkijaan



Luonnon Tutkija

Toimitusneuvosto

Carita Lindstedt-Kareksela (puh. joht.)
(carita.lindstedt-kareksela@helsinki.fi)

Annina Kantelinen
(annina.kantelinen@helsinki.fi)

Atte Komonen
(atte.i.komonen@jyu.fi)

Panu Kunttu
(panu.kunttu@iki.fi)

Anna Liisa Ruotsalainen
(annu.ruotsalainen@oulu.fi)

Ilari Sääksjärvi
(ileesa@utu.fi)

Ilmoitushinnat

Kokosivu 400 euroa, puolisivu 250 eu-
roa, takakansi 600 euroa.

Vuonna 2023 ilmestyy neljä numeroa.

Lehden taitto ja ulkoasu

Pasi Reunanen

ISSN 2814-9645 (Verkkolehti)

Vanamon jäsenyys

Vanamon jäseneksi voi liittyä täyttämällä lomakkeen seuran verkkosivulla (www.vanamo.fi/jasenyys) ja maksamalla jäsenmaksun sivun ohjeiden mukaan. Vanamon jäsenmaksu on 37 euroa, opiskelijajäsenmaksu 30 euroa ja puolisojäsenmaksu 10 euroa.

Vanamon jäsenet saavat lehden jäsenetuna.

Vanamon kotivut www.vanamo.fi

Mesipistiäisten älykkyys

OLLI J. LOUKOLA



Mesipistiäiset eli mehiläiset ovat tärkeitä pölyttäjiä, ja siten myös elintärkeitä ihmisen olemassaolon kannalta. Vaikka suomen mehiläisillä ei ole akuuttia hätää, maailmanlaajuisesti mehiläisillä ei mene hyvin; populaatiot ovat laskeneet huolestuttavasti viimeisten vuosikymmenten aikana. Mehiläisten älykkyuden ja siihen vaikuttavien tekijöiden tutkiminen on tärkeää oman älykkytemme ja älykkyuden evoluution ymmärtämiseksi. Lisäksi mehiläisten älykkyuden osoittaminen lisää arvostustamme niitä kohtaan, mikä puolestaan kannustaa niiden suojeluun. Kirjoituksessani esittelen teille tutkimuksiani mehiläisten, varsinkin kimalaisten älykkyudesta.

Johdanto

U seissa uskonnollisissa ja filosofisissa maailmankatsomuksissa korostetaan ihmisten ja eläinten erilaisuutta. Ihminen nähdään, jos ei Jumalan kuvana, niin ainakin ylivertaisesti kehittyneimpänä ja muita lajeja selvästi älykkäämpänä olentona. Ihmiskeskeisen näkemyksen mukaan eläin on sitä älykkäämpi, mitä lähempää sukua se on ihmisille. Tämän vuoksi ihmisistä kehityshistoriallisesti etäisiä luokkia, kuten hyönteisiä, on aikojen saatossa pidetty alemmina ja ajattelemattomina olentoina. Tietämättömyys ruokkii ihmiskeskeisyyttä, joka puolestaan vähentää arvostustamme muita eläimiä kohtaan ja laiminlyö niiden oikeuksia. Vielä tänäkin päivänä vain harvat tietävät, että hyönteisillä on aivot ja ne voivat oppia ja muistaa.

Hyönteisten pienet aivot eivät ole välttämättä yksinkertaiset, ja ne pystyvät ratkaisemaan monimutkaisiakin tehtäviä luonnossa. Esimerkiksi kimalaiset joutuvat suunnistamaan monimutkaisessa ympäristössä ja ne oppivat käyttämään maamerkkejä hyväkseen etsiessään reittiä pesältä ravintokohteille ja takaisin. Itse asiassa vielä ei tunneta sellaista kognitiivista kykyä, joka vaatisi suuria aivoja. Lisäksi neuro-

biologiset mallinnukset viittaavat siihen, että kognitiivisesti monimutkaisten tehtävien suorittamiseen riittää hyvin rajallinen määrä aivosoluja (Cope ym. 2018).

Mesipistiäisten ongelmanratkaisukyky

Narunvetokoe

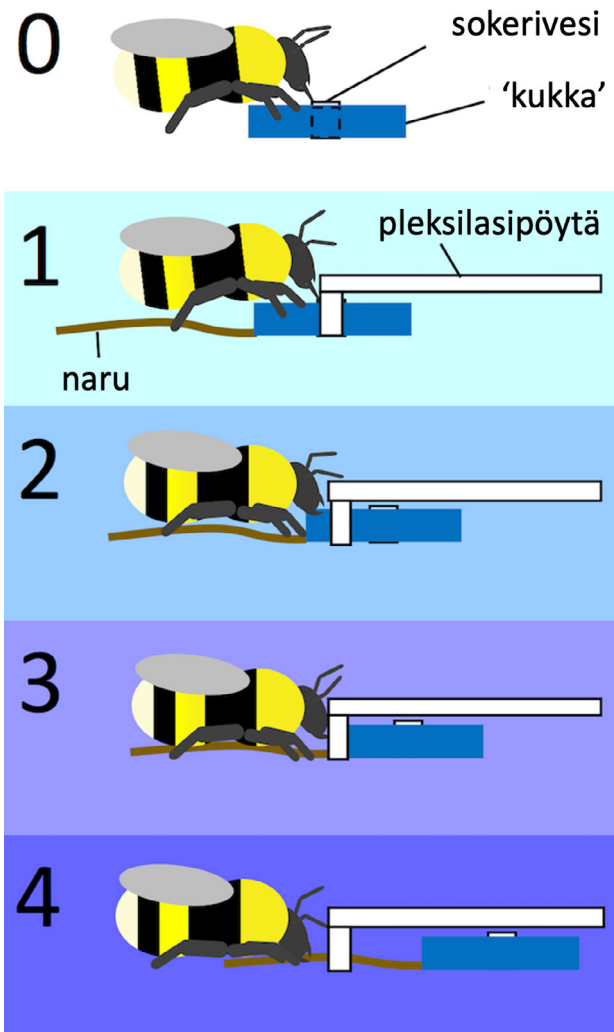
Työskennellessäni postdoc-tutkijana Queen Maryn yliopistossa Lontoossa vuosina 2015–2017, tutkin kollegoideni kanssa kokeellisesti, kykenisivätkö kontukimalaiset (*Bombus terrestris*) oppimaan uusia ravinnonhankintatekniikoita laboratoriossa, ja oppisivatko ne niitä sosiaalisesti katsomalla mallia toisiltaan. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui vertailevan psykologian puolella lintujen ja nisäkkäiden ongelmanratkaisukyvyn tutkimiseen vakiintunut narunvetotehtävä. Narunvetotehtävässä tutkimuseläin haastetaan vetämään narusta päästäkseen käsiksi palkintoon. Tämä tehtävä testaa eläimen kykyä hahmottaa ympäristöään, sekä kykyä suorittaa tiettyjä motorisia toimintoja saavuttaakseen tavoitteensa. Narunvetotehtävä on myös hyödyllinen tutkimustyökalu oppimisen mekanismien tutkimuksessa, esimerkik-

si jos halutaan selvittää mihin eläin kiinnittää huomiota tehtävän aikana, toistaako se tiettyjä liikkeitä rutiininomaisesti ja ottaako se mallia toisilta yksilöiltä.

Narunvetokokeen (Alem ym. 2016) alussa kimalaisten pesälaatikko yhdistettiin lentoareenaan, josta työläiset löysivät sokerivettä sisältäviä sinisiä tekokukkia. Tässä vaiheessa kimalaiset oppivat yhdistämään sinisen värin ravintokohteeseen. Tämän jälkeen tekokukkiin liimattiin naru ja niitä siirrettiin asteittain läpinäkyvän pleksilasipöydän alle. Kimalaiset päästettiin yksitellen areenalle, jossa ne pääsivät käsiksi sokeriveteen ainoastaan, mikäli onnistuivat vetämään kukan pöydän alta pois käyttämällä apunaan siihen kiinnitettyä narua. Valtaosa (60 %) 40:stä testatusta kimalaisesta oppi vetämään tekokukat esille asteittaisen koulutuksen avulla (Kuva 1).

Toisessa osakokeessa selvitimme, oppivatko kimalaiset narunvetotaidon katsomalla opetettua yksilöä etäisyyden päästä. Kimalaiset ovat sosiaalisia eläimiä ja ovat kiinnostuneita toisten yksilöiden toiminnasta, erityisesti tilanteissa, joissa ne eivät tiedä mitä tulisi tehdä. Asetimme 25 koekimalaista yksitellen läpinäkyvään kammiin, josta ne näkivät, kuinka aiemmin opetettu mallikimalainen veti tekokukkaa narusta. Katselun jälkeen päästimme koekimalaisen yksin areenalle, jossa oli kukka pleksilasipöydän alla. Tässäkin tapauksessa yli 60 % koekimalaisista onnistui narunvedossa. Hämmästykseksemme myös kaksi kontrollikimalaista 40:stä, jotka eivät saaneet opetusta tai nähneet mallikimalaisen narunvetoa, onnistui tehtävässä. Kutsuimme näitä kahta yksilöä innovaattoreiksi.

Kolmannessa osakokeessa testasimme, leviääkö opittu tekniikka pesän yksilöiden välillä ja säilyykö se siellä aikojen yli. Koulutimme kustakin kokeesta käytetystä kolmesta pesästä yhden kimalaisen vetämään tekokukkaa narusta. Tämän jälkeen päästimme areenalle kaksi saman pesän kimalaista kerrallaan. Asetelma toistettiin 150 kertaa per pesä. Areenalla oli neljä kukkaa pleksilasipöydän alla. Kimalaiset



Kuva 1. Kimalaisten vaiheittainen koulutus narunvetoon. Koulutuksen vaiheet: Vaihe 0, kimalaiset oppivat löytämään sokerivettä sinisiltä tekokukilta; Vaihe 1, 50 % kukasta on läpinäkyvän pöydän alla; Vaihe 2, 75 % kukasta on läpinäkyvän pöydän alla; Vaihe 3, 100 % kukasta on läpinäkyvän pöydän alla; Vaihe 4, 100 % kukasta on pöydän alla ja kukan reuna on 2 cm päässä pöydän reunasta.

saivat mesimahansa täyteen, mikäli onnistuivat vetämään kaikki neljä kukkaa pöydän alta. Sama koe toistettiin kolmella kontrollipesällä ilman koulutettuja kimalaisia. Ajan mittaan kaikki työläiset, jokaisesta kolmesta koepesästä oppivat vetämään tekokukkia narusta. Kimalaiset oppivat narunvetotaidon toiselta, jo oppineelta yksilöltä sosiaalisesti. Taito levisi nopeasti, sillä valtaosa yksilöistä oppi taidon jo yhden vuorovaikutuskerran jälkeen oppineen yksilön seurassa. Yksikään työläinen kontrollipesistä ei oppinut vetämään tekokukkia narusta.

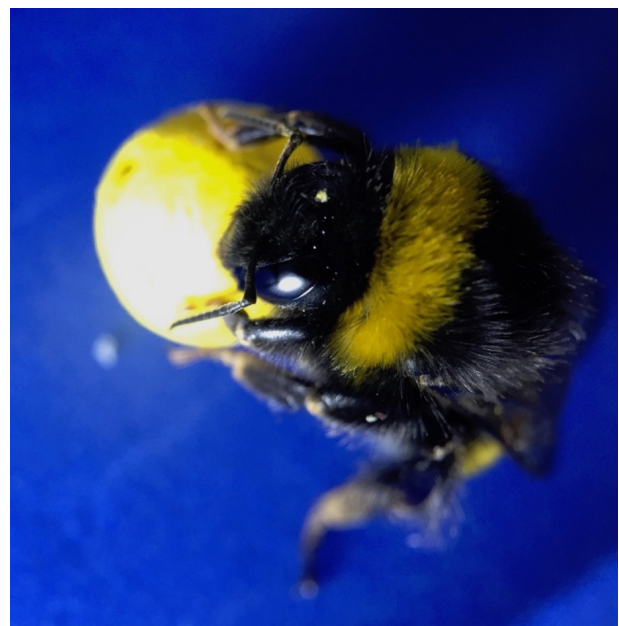
Tutkimuksemme osoittaa, että kimalaisten opitut ravinnonhankintatekniikat eivät pelkää siirry yksilöltä toiselle sosiaalisen oppimisen kautta, vaan ne myös säilyvät pesässä aikojen yli, vaikka ensimmäisenä oppineet yksilöt poistettaisiin pesästä. Tämä täyttää kulttuurin määritelmän. Vaikka kimalaisilla ei luonnossa ole havaittu kulttuuria, niillä on siihen kuitenkin tarvittavat kognitiiviset kyvyt. Kulttuuriin ei välttämättä tarvita ylempiä kognitiivisia kykyjä, kuten syy- ja seuraussuhteiden ymmärtämistä, vaan yksinkertaista assosiativista oppimista sekä hyviä motorisia valmiuksia.

Pallonpyörityskokeet

Narunveto on jo itsessään hämmästyttävä taito kimalaisille, mutta se ei silti välttämättä osoita joustavaa päättelykykyä. Toisinaan kimalaiset vetävät kukkien terälehtiä itseään kohden päästäkseen sisälle kukkaan. Näin ollen, naruntai minkä tahansa objektin veto saattaa olla kimalaisille ominaista ja sisäsyntyistä käytöstä. Joustavan päättelykyvyn osoittamiseksi pulman tulisi olla jotain luonnotonta, jota kimalaiset eivät normaalisti luonnossa ratkoisi. Arkipäiväisen pulman ratkaiseminen ei välttämättä kerro joustavasta päättelykyvystä mitään, sillä kimalaisille on voinut evolutiivisen historian aikana kehittyä sisäsyntyinen kyky ratkaista ongelma. Kimalaiset eivät luonnossa liikuttele esineitä paikasta toiseen saadakseen mettä tai siitepölyä kukasta. Tästä syntyi ajatus; voisiko kimalaiset opettaa käyttämään työkalua?

Työkaluksi valikoitui useiden kokeilujen jälkeen keltaiseksi värjätty puupallo (Kuva 2), jota kontukimalaisen tuli pyörittää areenalla olevan sinisen pelialustan keskellä olevaan maaliin (Loukola ym. 2017). Ensimmäisen osakokeen alussa koekimalaiset oppivat yhdistämään keltaisen pallon sinisen pelialustan keskellä sijainneeseen palkintoon. Tämän jälkeen pallo asetettiin pelialustan reunalle, josta kimalaisen tuli siirtää se takaisin maaliin. Mikäli kimalainen onnistui siirtämään pallon maaliin 10 minuutin

kuluessa tehtävän alusta, se pääsi käsiksi pelialustan keskialueen alapuolella sijaitsevaan sokerivesisäiliöön. Säiliön kansi oli yhdistetty servomoottoriin, jota tutkija pystyi kontrolloimaan areenan ulkopuolelta käsin. Mikäli kimalainen epäonnistui tehtävässä, läpinäkyvän tikun päähän kiinnitetty muovinen mallikimalainen liikutti pallon maaliin oikean kimalaisen seurassa vierestä. Yhdeksän koekimalaista suoritti kyseisen harjoituksen 20 kertaa. 10 kontrollikimalaista sai palloilla alustalla myös 10 minuuttia 20 kertaa, mutta eivät saaneet palkintoa pallon pyörittämisestä maaliin, eivätkä nähneet tekokimalaisen mallisuoritusta. Kontrollikimalaiset saivat palkinnon 10 minuutin jälkeen suoraan pallosta. Kunkin harjoituksen päätyttyä, pallo korvattiin muutoin samanlaisella pallolla, mutta uuden pallon sisällä oli sokerivettä, jonka kimalaiset nauttivat suoraan pallosta pienen reiän kautta. Kimalaiset on palkittava heti suorituksen jälkeen, muuten ne menettävät motivaationsa tulla areenalle. Kontrollikokeen tarkoitus oli testata, voisivatko koekimalaiset pyörittää pallon maaliin sattumalta. 20 harjoituksen jälkeen sekä koe- että kontrollikimalaiset haastettiin samassa tehtävässä 10 kertaa



Kuva 2. Kimalainen pyörittää keltaista palloa sinisellä pelialustalla. Kuva: Iida Loukola.

ilman mallidemonstraatiota. Kaikki yhdeksän koekimalaista liikuttivat pallon maaliin kaikissa 10:ssä testissä. Ainoastaan yksi kontrollikimalainen liikutti pallon maaliin yhdessä testissä. Ensimmäinen osakoe osoitti, että kimalaiset voidaan opettaa käyttämään palloa työkaluna päästäkseen käsiksi palkitsevaan sokeriliuokseen.

Toisessa osakokeessa testasimme, vaikuttaako havaintoesityksen laatu tehtävän oppimiseen ja parantavatko kimalaiset suoritustaan näkemänsä perusteella. Tässä kokeessa kimalaiset (yksi kerrallaan) löysivät pelialustalta kolme keltaista palloa; yhden pelialustan reunalta, yhden reunan ja maalin välistä ja yhden maalin vierestä. Kimalaiset jaettiin kolmeen ryhmään, 10 kimalaista per ryhmä. Ensimmäisessä ryhmässä (sosiaalinen demonstraatio) kimalaiset katsoivat yksitellen vierestä, kun opetettu mallikimalainen liikutti maalista katsottuna kauimmaista palloa maaliin, jonka jälkeen sekä mallikimalainen että sivustaseuraaja palkittiin sokerivedellä. Havaintoesityksessä kaikki pallot olivat aina samassa kohdassa alustaa ja kaksi maalista katsottuna lähinnä olevaa palloa oli kiinnitetty sinitarralla alustaan kiinni, eikä niitä voinut liikuttaa. Toisessa ryhmässä (ei-sosiaalinen demonstraatio) kimalaiset katsoivat yksitellen vierestä, kun maalista katsottuna kauimmainen pallo liikkui itsestään maaliin, jonka jälkeen kimalainen palkittiin sokerivedellä. Kauimmaisen pallon sisään piilotettiin magneetti, ja pallo ohjattiin maaliin areenan alapuolelta käsin toisella magneetilla, kun koekimalainen oli katseluetäisyyden päässä pallosta. Kolmannen ryhmän (ei demonstraatiota) kimalaiset löysivät yksitellen ainoastaan yhden pallon ja soke-riivesipalkinnon valmiiksi maalista. Kolmen havaintoesityksen jälkeen kimalaiset päästettiin yksitellen pelialustalle 10 kertaa. Kaikkien ryhmien kimalaiset löysivät pelialustalta kolme palloa; yhden alustan reunalta, yhden reunan ja maalin välistä ja yhden maalin vierestä. Tällä kertaa kaikki kolme palloa oli liikuteltavissa ja niiden sijainti alustalla satunnaistettu. Kymme-

nen testisuorituksen jälkeen kimalaiset haastettiin yleistettävyydestä, jossa maalin vieressä oleva pallo korvattiin mustalla pallolla. Tämän testin tarkoitus oli testata, kykenevätkö kimalaiset yleistämään säännön ”liikuta pallo maaliin” vai olivatko ne yhdistäneet ainoastaan pallon keltaisen värin palkintoon.

Sosiaalisen demonstraation ryhmässä kaikki yksilöt onnistuivat jokaisessa kymmenestä yrityksestään, myös yleistystestissä. Ei-sosiaalisen demonstraation ryhmässä 80 % yksilöistä onnistuivat kaikissa yrityksissään ja 70 % yksilöistä onnistui yleistystestissä. Ei-demonstraatiota ryhmässä ainoastaan 30 % yksilöistä suoriutui testihaasteesta ja puolet yleistystestissä. Sosiaalisen demonstraation ryhmässä yksilöt olivat myös nopeampia liikuttamaan pallon maaliin kuin muiden ryhmien yksilöt. Kaikissa ryhmissä onnistuneista yksilöistä valtaosa (>70 %) liikutti maaliin sitä lähimpänä olevan pallon.

Tulokset osoittavat, että sosiaalinen informaatio on hyödyllistä, muttei välttämätöntä kimalaisille tehtävän onnistumisen kannalta. Pallojen sijaintien satunnaistaminen demonstraatiovaiheen jälkeen ja yleistystestin läpäisy viittaa siihen, että kimalaiset eivät käyttäneet ainoastaan yksinkertaisia assosiativisia oppimismekanismeja tehtävän ratkaisussa, kuten hakeutuneet tiettyyn paikkaan (*local enhancement*) tai ärsykkeen luo (*stimulus enhancement*). Kimalaiset eivät kopioineet mallikimalaista kriitikittömästi vaan kykenivät jopa parantamaan suoritustaan omien kokemustensa perusteella. Kimalaiset kykenevät siis joustavaan päätöksentekoon. Tämä on hämmästyttävä kyky eläimeltä, jonka aivot ovat seesaminsiemenen kokoiset.

Oulun yliopistossa tekemämme uuden pallonpyörityskokeen perusteella kontukimalaiset oppivat myös monimutkaisia sääntöjä ja valikoivat työkaluja (Chow ym. 2022). Jos kimalaiset oppivat aikaisemmassa vaiheessa liikuttamaan sinisen pallon siniseen maaliin ja oranssin pallon oranssiin maaliin, ne ymmärsivät yleistyskokeessa liikuttaa myös keltaisen

pallon keltaiseen maaliin. Mikäli kimalaiset oppivat aikaisemmassa vaiheessa liikuttamaan keltaisen pallon keltaiseen maaliin ja oranssin pallon oranssiin maaliin, ne eivät kuitenkaan ymmärtäneet yleistyskokeessa liikuttaa sinistä palloa siniseen maaliin. Emme edelleenkään tiedä varmasti miksi kimalaiset välttivät sinistä palloa yleistyskokeessa. Yksi selitys saattaa piillä uusien asioiden pelossa (neofobia). Sininen väri sijaitsee kimalaisen näkemässä värispektrissä eri paikassa kuin oranssi ja keltainen, joten on mahdollista, että oranssiin ja keltaiseen tottuneet kimalaiset pitivät sinistä aluksi uutena ja pelottavana asiana.

Kimalaiset siis oppivat monimutkaisia sääntöjä pallonpyörityskokeessa, mutta niiden harjoitushistoria vaikuttaa niiden suoriutumiseen. Tutkimuksen tulokset korostavat, kuinka paljon koeasetelman valinta voi vaikuttaa johtopäätöksiimme koeyksilöiden kognitiivisista kyvyistä. Syntyvä näkemys kimalaisten älykkyydestä voi siis vaihdella riippuen käytetystä koeasetelmasta.

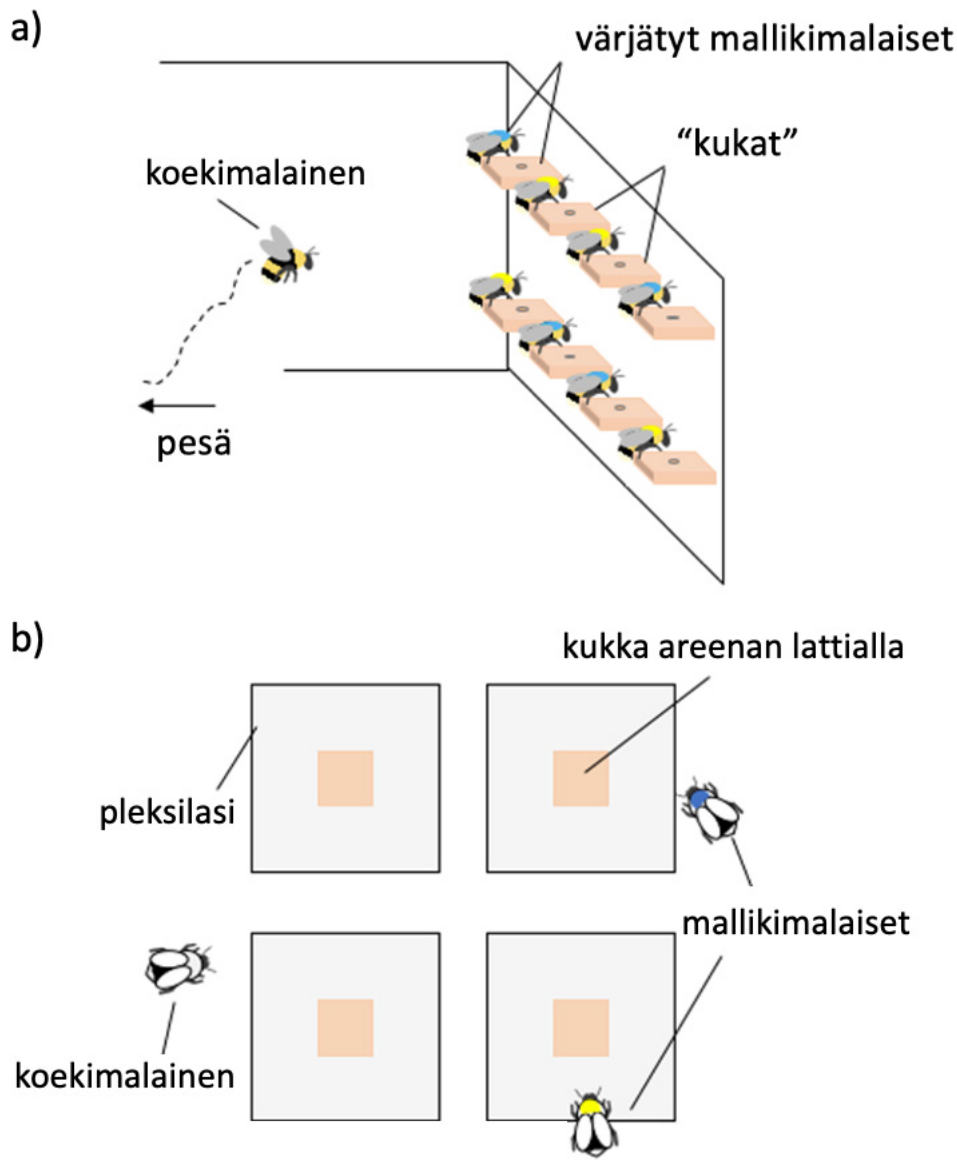
Kimalaiset hankkivat tietoa luotettavaksi oppimiltaan yksilöiltä

Epävarmuus ravinnonsaannista aiheuttaa ongelmia kimalaisten jokapäiväisessä elämässä. Kukkia kuihtuu ja uusia puhkeaa kukkaan. Osa kukista tarjoaa pölytyksestä palkkioksi mettä, siitepölyä, molempia tai ei mitään. Työläisten on jatkuvasti opittava uutta, jotta pesän mesi- ja siitepölytarpeet tulisi täytettyä. Kimalaiset voivat etsiä ravintoa ympäristöstä itse, yrityksen ja erehdyksen kautta. Tämä strategia on toimiva, mutta ei kovin tehokas. Etsimiseen kuluu aikaa ja lentely vie paljon energiaa. Vaihtoehtoisesti kimalaiset voivat tarkkailla, missä lajitoverit ja muut siitepölyä ja mettä ravintonaan käyttävät lajit käyvät ruokailemassa. Sosiaalinen oppiminen voi nopeuttaa sopivien kukkien löytymistä huomattavasti, varsinkin silloin, kun se ei rajoitu pelkästään pesä- tai lajitovereilta saatuun tietoon. Kaikkien lajien tekemiä kukkavalinto-

ja ei kuitenkaan kannata kopioida. Esimerkiksi lyhytkielisen kimalaisen ei kannata kopioida pitkäkielisen lajin kukkavalintoja, koska pitkäkieliset ovat sopeutuneet hakemaan mettä pitkäkannuksisista kukista, joiden mesivarastoihin ei lyhyellä kielellä yllä. Informaationlähteen ja -käyttäjän täytyy siis olla tarpeiltaan samankaltaisia, jotta informaatiosta olisi hyötyä käyttäjälle.

Selvitimme Queen Maryn yliopistossa koekielisesti valikoivatko kontukimalaiset informaationlähteitään aiemmin oppimansa perusteella (Romero-González ym. 2020). Aluksi opetimme koekimalaiset yhdistämään ulkoasultaan erilaisia kimalaisia joko palkintoon (sokerivesi) tai pahanmakuiseen kiniiniin. Värjäsimme kuolleita kontukimalaisia keltaisella ja sinisellä maalilla ja kiinnitimme ne areenan seinällä oleville tekokukille, yhden väriset palkitseville kukille ja toiset kiniinikukille (Kuva 3a). Koekimalaiset kävivät yksitellen vierailmassa tekokukilla, joiden aikana värjättyjen mallikimalaisten paikkaa vaihdettiin siten, ettei värit ja palkitsevuus mennyt sekaisin. Lopuksi koekimalaisten oppimista mitattiin testillä, jossa sokerivesi ja kiniini korvattiin puhtaalla vedellä. Koekimalaiset selviytyivät tästä kokeesta hyvin. Ne laskeutuivat enimmäkseen sen väristen mallikimalaisten viereen, jotka ennustivat palkintoa edellisten ravinnonhakuvierailujen aikana.

Tässä vaiheessa tiesimme, että kimalaiset kykenevät assosioimaan kimalaisen ulkoasun – tässä tapauksessa värityksen – palkitseviin tai ravinnoksi kelpaamattomiin kukkiin. Välittömästi edellisen vaiheen päätyttyä, testasimme soveltavatko kimalaiset oppimaansa tietoa uudessa ravinnonhankintatilanteessa. Koekimalaiset pääsivät jälleen yksitellen areenalle, mutta nyt kukat olivat seinän sijaan lattialla. Lattialla käveli kaksi elävää mallikimalaista (yksi keltainen ja yksi sininen), jotka yrittivät päästä käsiksi aiemmin oppimiinsa kukkiin. Kukat peitettiin pleksilasilevyllä, jotta mallikimalaiset pysyisivät lattialla yrittäen löytää pääsyä kukille (Kuva 3b). Koekimalaiset hakeutuivat jälleen sen väris-



Kuva 3. Koekimalainen oppii yhdistämään tietynväriset mallikimalaiset palkitseviin kukkiin (a), jonka jälkeen se haastetaan uudessa ravinnonhankintatilanteessa, jossa kukat ovat lattialla (b).

ten mallikimalaisten läheisyyteen, jotka olivat ennustaneet palkintoa edellisessä tehtävässä. Koekimalaiset kävivät tarkkailemassa myös toisenvärisiä mallikimalaisia, jotka istuivat pahanmakuisilla kiniinikukilla aiemmassa tehtävässä, mutta kääntyivät pois päin muistaessaan negatiivisen assosiaation edellisestä tehtävästä.

Mitä jos koekimalaisemme olivat oppineet yhdistämään ainoastaan tietyt värit palkitseviin ja pahanmakuisiin kukkiin, eivätkä käyttäisi sosiaalisia vihjeitä laisinkaan? Toistimme edellisen kokeen, mutta tällä kertaa malleina häirivät keltaiseksi ja siniseksi värjätyt magneettien

avulla liikkuvat puupallot tai elävät maasiirat. Pallot ja siirat eivät luonnossa ennusta ravintoa kimalaisten näkökulmasta, joten emme odottaneet kimalaisten myöskään seuraavan niitä testitilanteessa. Havaitimme, että koekimalaiset eivät olleet kiinnostuneita palloista tai siiroista. Tämä tulos osoitti, että koekimalaiset tosiaankin käyttivät mallikimalaisia sosiaalisina vihjeinä. Koekimalaiset luultavasti näkivät värikkäät mallikimalaiset toisina kimalaisina liikkuvien väriläiskien sijaan.

Tutkimuksemme osoittaa, että kimalaiset käyttävät sosiaalista informaatiota valikoiden.

Ne hakeutuvat sellaisten yksilöiden läheisyyteen, joiden läsnäolon ne ovat oppineet yhdistämään palkintoon ja välttävät yksilöitä, joiden läsnäolon ne ovat oppineet yhdistämään pahan makusiin kukkiin. Näennäisen monimutkainen kyky arvioida ja käyttää toisia yksilöitä sosiaalisen tiedon hankkimiseen saattaa olla yleinen ja olennainen osa eläinten sosiaalista oppimista, eikä se rajoitu välttämättä lajitovereihin.

Tarhamehiläiset huijaavat matematiikkonkeessa

Viime aikoina useat tutkimukset ovat keskittyneet selvittämään tarhamehiläisten (*Apis mellifera*) mahdollista kykyä ratkaista matemaattisia ongelmia numeeristen vihjeiden perusteella. Huomasimme kollegoideni kanssa tutkimuksessa käytetyissä menetelmissä puutteita ja päätimme testata vaihtoehtoisia selityksiä tuloksille. Koulutimme Oulun yliopiston kasvitieteellisen puutarhan pihassa pidettäviä tarhamehiläisiä erottamaan toisistaan korttiparit, joihin oli kuvattu eri lukumäärä symboleja (MaBouDi ym. 2021). Koejärjestely perustui yleisesti käytettyyn tehtävänasetteluun eläinten numeerisen älykkyyden testaamiseksi. Mehiläiset suoriutuivat tehtävistä hyvin koulutuksen ja oppimiskokeen aikana. Lisäkoeket kuitenkin osoittivat mehiläisten käyttävän tehtävien ratkaisussa symbolien lukumäärän sijaan niiden visuaalisia piirteitä, kuten tummien ja vaaleiden sävyjen esiintymistiheyttä.

Varsinaisen kokeen lisäksi kehitimme myös mehiläisen aivojen fysiologiaan perustuvan matemaattisen mallin, joka perustuu hyönteisen aivojen sisältämien neuroneiden kapasiteettiin ratkaista erityyppisiä ongelmia. Mallin mukaan mehiläisten aivokapasiteetti mahdollistaa tutkittavan ongelmanratkaisun ilman numeerista prosessointia.

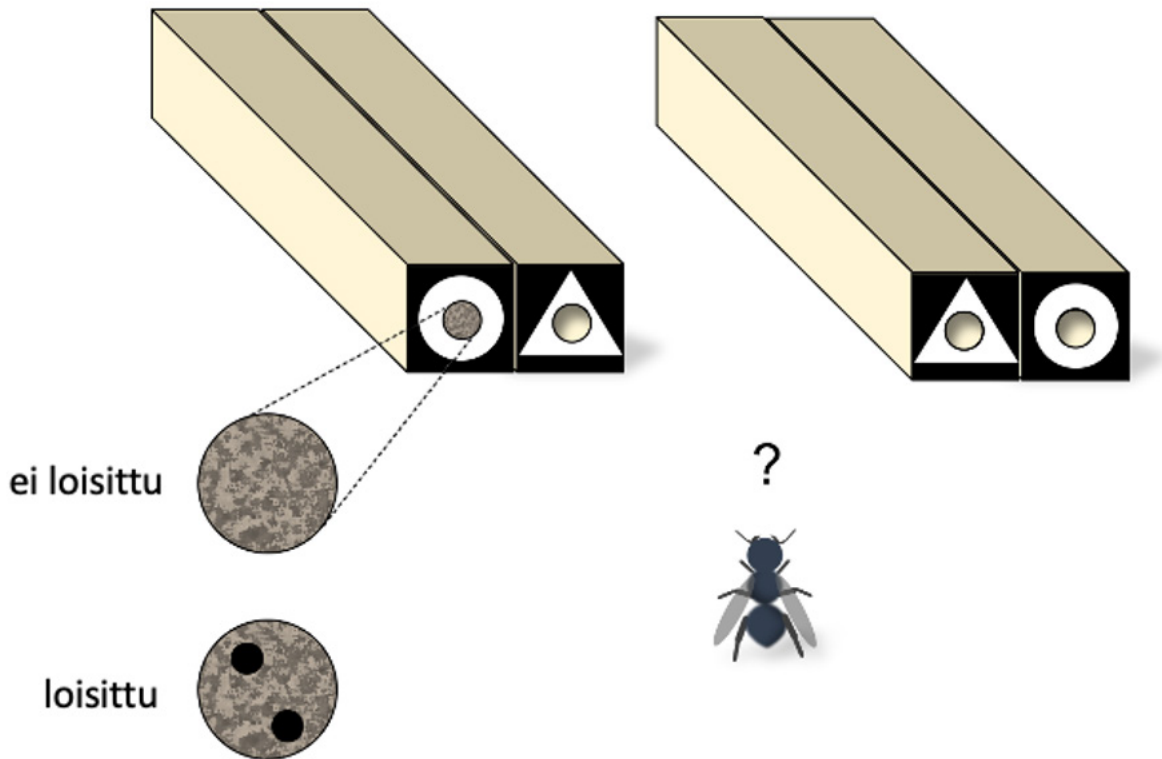
Tuloksemme eivät kuitenkaan tarkoita sitä, että mehiläiset tai muut sanatonta viestintää käyttävät eläimet eivät pystyisi ymmärtämään numeerisia vihjeitä. Tuloksemme osoittavat,

että mehiläiset ovat tavattoman nokkelia ja pystyvät ratkaisemaan tehtäviä tehokkailla ja odottamattomilla tavoilla. Kyky erottaa kohteita toisistaan ei-numeeristen, jatkuvien muuttujien perusteella, on luultua yleisempää ja mahdollisesti evolutiivisesti vanhempaa perua kuin numeerinen ympäristöstä saadun informaation prosessointi.

Erakkomehiläisiin kuuluvat muurarimehiläiset käyttävät lajienvälistä sosiaalista informaatiota valitessaan pesäkoloa

Sosiaalisia mesipistiäisiä, kuten tarhamehiläisiä ja kimalaisia, on tutkittu pitkään ja niiden käyttäytymisestä ja oppimisesta tiedetään jo melko paljon. Maailman mesipistiäisistä (Apoidea) kuitenkin noin 85 prosenttia on erakkomehiläisiä. Toisin kuin sosiaaliset mehiläiset, erakkomehiläiset pesivät yksin ja lajien naaraat ovat aina "sinkkuäitejä". Erakkomehiläisten käyttäytymistutkimus on ollut verrattain vähäistä ja niiden oppimisesta tiedetään tuskin mitään. Se kuitenkin tiedetään, että ne ovat tehokkaita ravintokasvien pölyttäjiä ja pesivät mielellään hyönteishotelleissa.

Erakkomehiläisten ryhmään luetaan myös muurarimehiläiset eli *Osmia*-suvun lajit, joita Suomesta on tavattu kymmenkunta. Työskennellessäni Queen Maryn yliopistossa tutkin, miten muurarimehiläiset käyttävät hyväkseen sosiaalista informaatiota valitessaan pesäpaikkaa luonnossa (Loukola ym. 2020). Lajienvälinen informaationkäyttö -hypoteesi ennustaa, että ekologialtaan samankaltaisten lajien tulisi käyttää toisiaan informaationlähteenä ja hakeutua toistensa läheisyyteen. Koevoluutioteoria puolestaan ennustaa, että ekologisesti samankaltaiset lajit kilpailevat keskenään resursseista, johtaen niiden ekolokeroiden erkaantumiseen ja toistensa välttelyyn. Hyödyntävätkö myöhemmin pesivät lajit omissa valinnoissaan aikaisemmin pesivän lajin valintoja vai välttävätkö ne pesimästä toisen lajin pesän läheisyyteen? Keräsin tutkimusaineiston Itä-Lontoon puis-



Kuva 4. Aiemmin pesineiden rusomuurarimehiläisten pesäpaikanvalintaa ja menestystä havainnollistettiin keinopesillä, jotka jaettiin kahteen ryhmään: (1) pesän sisäänkäynnin savitulppa oli ehjä (onnistunut pesintä = ei loisittu) ja (2) tulppaan oli tehty kaksi pientä reikää (halkaisija 0,8 mm) (epäonnistunut pesintä = loisittu). Valkoinen symboli (ympyrä tai kolmio) kiinnitettiin rusomuurarimehiläisen pesän sisäänkäynnin ympärille, kun taas toinen symboli kiinnitettiin viereisen tyhjän pesän sisäänkäynnin ympärille. Kaksi samankaltaista tyhjää pesää tarjottiin 20 cm etäisyyden päähän rusomuurarimehiläisen pesästä myöhemmin pesivälle mehiläiselle. Asetelma loi vaikutelman, että rusomuurarimehiläinen olisi valinnut toisen symboleista ja on joko onnistunut tai epäonnistunut pesinnässään. Myöhemmin pesivän mehiläisen oli valittava kahden tyhjän pesäkolon välillä 20 cm päässä rusomuurarimehiläisen pesäkolosta. Koeyskiköt olivat vähintään 20 metrin etäisyydellä toisistaan.

toista ja hautausmailta sekä Kentistä ja Harpendenista Lontoon välittömästä läheisyydestä.

Kokeessa luotiin mehiläisille vaikutelma, että aikaisemmin pesivä laji olisi valinnut kahdesta pesäkolosta toisen. Aikaisemmin pesivä laji rusomuurarimehiläinen (*Osmia bicornis*) sinetöi valmiin pesänsä savella, joten vaikutelma rusomuurarimehiläisen pesäkolovalinnasta luotiin tekemällä savesta tulppa yhteen pesäkoloon. Pesäkolot erosivat savitulpan lisäksi toisistaan ainoastaan niiden ympärille kiinnitettyjen symbolien (ympyrä ja kolmio) suhteen (Kuva 4). Myöhemmin pesivälle mehiläislajille tarjottiin 20 cm:n päähän kaksi tyhjää pesäkoloa, nekin ympyrällä ja kolmiolla merkityt. Lisäksi aikaisemminpesivän lajin pesimämenestystä mani-

puloitiin poraamalla pieniä reikiä tulppaan, jolla muurarimehiläiset viimeistelyvaiheessa sulkevat pesäkolonsa.

Reiät ilmaisee loiskärpästen ja pistiäisten ulostuloreikiä, mikä puolestaan viittaa pesinnän epäonnistumiseen. Osa tulpista jätettiin ehjiksi ilmentämään onnistunutta pesintää. Kiinnostuksen kohteena oli selvittää naaraan ensimmäinen pesäpaikan valintapäätös. Koe-pesät varustettiin automaattisella tiedonkeruujärjestelmällä. Pesintäkauden loputtua pesät kerättiin talteen ja aineisto analysoitiin.

Kokeemme osoitti, että muurarimehiläiset käyttävät lajienvälistä sosiaalista informaatiota valitessaan pesäkoloa. Ne tarkkailevat ja painavat mieleensä aikaisemmin pesivän lajin

pesäpaikkamieltymyksen (symboli pesässä) ja pesimämenestyksen. Ne kopioivat aikaisemmin pesiviä lajeja, mikäli näiden pesät ilmentävät onnistunutta pesintää. Mikäli aikaisemmin pesivän lajin pesä indikoi epäonnistunutta pesintää, muurarimehiläisnaaraat valitsivat pesäkolon, jossa oli vastakkainen symboli. Kyseinen *kopioi menestyviä/vältä epäonnistuneita*-strategia ('ota mallia menestyneeltä, älä tee niin kuin häviöjä') on aiemmin löydetty muun muassa kirjosiapoilta (Loukola ym. 2013).

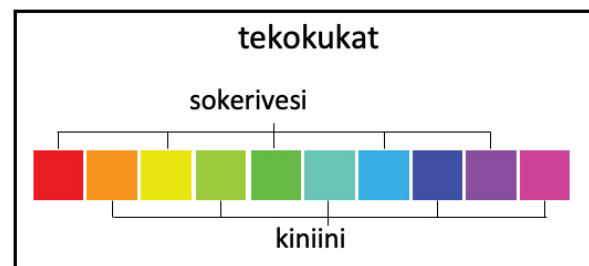
Kokeemme osoitti ensimmäistä kertaa, että myös erakkona elävät mehiläiset kykenevät joustavaan päätöksentekoon valitessaan pesäpaikkoja. Vaikka erakkomehiläiset pesivät yksin, ne kuitenkin tarkkailevat jatkuvasti ympäristöään ja hyödyntävät muiden tekemiä valintoja ja näiden seurauksia. Siten ne säästävät aikaa ja välttävät riskejä. Sosiaalinen informaatio on kaikkien (myös ei-sosiaalisten lajien) saatavilla. Sen käyttö mahdollistaa uusien traditioiden leviämisen sekä lajin sisällä että lajien välillä. Lajienvälinen valikoiva sosiaalinen informaationkäyttö -hypoteesi haastaa nykyisin vallalla olevan koevoluutioteorian. Se ennustaa, että informaatiota hyödyntävän lajin ja informaationlähteen ominaisuudet voivat joko samankaltaistua tai erilaistua sen mukaan, miten informaationlähteen havaitaan menestyvän.

Rikkakasvimyrkky vaikuttaa kimalaisen kognitioon

Aikaisemmat tutkimukset osoittavat, että mesipistiäiset ovat älykkäitä eläimiä. Niiden hämmästyttävä oppimiskyky ja hyvä (joskin lyhyt) muisti tekevät niistä tehokkaita pölyttäjiä. Luonnossa pölyttäjähyönteisten täytyy löytää uusille kukka-apajille saadakseen kerättyä pesälle ravintoa. Kukkien löytämiseen ja meden ja siitepölyn onnistuneeseen keruuseen tarvitaan hyvä hajuaisti, värinäkö, motoriset valmiudet kukan käsittelyyn, suunnistustaito löytää ravintolaikuilta takaisin pesään sekä kyky oppia ja muistaa palkitsevat hajut, värit, tekniikat ja

reitit. Jo pienetkin kognitiiviset häiriöt yksilötasolla voivat johtaa siihen, ettei ravintoa tule kerättyä tarpeeksi pesän tarpeisiin. Useat, varsinkin maataloudessa käytetyt hyönteismyrkyt, kuten neonikotinoidit, vaikuttavat negatiivisesti pölyttäjien suorituskykyyn jo pieninä, ei-tappavina pitoisuuksina. Tehomaatalous ja torjunta-aineiden käyttö ovatkin kiistatta suurimpia syyllisiä maailmanlaajuiseen pölyttäjäkatoon. Glyfosaattipohjaiset rikkakasvimyrkyt ovat maailman eniten käytettyjä kasvinsuojeluaineita, mutta niiden vaikutuksia pölyttäjien kognitioon ei olla aiemmin tutkittu. Tuoreessa Oulun ja Turun yliopiston tutkijoiden yhteistyöprojektissa tutkin kollegoideni kanssa, miten glyfosaattia sisältävä rikkakasvimyrkky Roundup Gold vaikuttaa kimalaisten oppimiseen ja muistiin (Helander ym. 2023).

Tutkimuksessa kimalaiset altistettiin kerta-luontoisesti rikkakasvimyrkkyannokselle, jolle pölyttävät kimalaiset saattavat altistua pellolla päivän aikana. Altistuksen jälkeen kimalaisten oppimista ja muistia testattiin 10 värin värioppimiskokeessa, jossa kimalaiset oppivat yhdistämään viisi tiettyä väriä palkitsevaan sokeri-liuokseen ja toiset viisi väriä pahanmakaiseen kiniiniliuokseen (Kuva 5).



Kuva 5. Kimalaiset oppivat yhdistämään viisi tiettyä väriä palkitsevaan sokeri-liuokseen ja toiset viisi väriä pahanmakaiseen kiniiniliuokseen. 20 tekokukkaa (kaksi kukkaa kutakin väriä) aseteltiin lentoareenalle satunnaiseen järjestykseen ja kimalaiset päästettiin areenalle yksitellen.

Kontrollikimalaiset oppivat erottamaan pal-kitsevat värit pahaan makuun yhdistetyistä vä-reistä ja muistivat oppimansa kolmen päivän jälkeen. Rikkamyrkylle altistetut kimalaiset op-pivat huomattavasti heikommin ja unohtivat oppimansa muutamassa päivässä.

Selvitimme myös, että rikkakasvimyrkkykä-sittely ei vaikuttanut kimalaisten suoriutumiseen helpommassa kahden värin värioppimis-kokeessa tai 10 hajun hajuoppimiskokeessa. Tulokset viittaavat siihen, että vaikka altistumi-nen Roundup -rikkakasvimyrkylle ei tee kima-laisista täysin väri- tai hajusokeita, se heikentää kuitenkin niiden tarkkaa värinäköä. Tulokset ovat huolestuttavia, kun otetaan huomioon värinäön tärkeys kimalaisille, ja kuinka pal-jon glyfosaattia sisältäviä rikkakasvimyrkkyjä käytetään maailmalla ja Suomessa. Jo pienet häiriöt värinäössä saattavat olla katastrofaalisia pesän menestymisen kannalta.

Loppusanat

Mesipistiäisten kognitiivinen joustavuus ei luul-tavasti auta niitä toipumaan maailmanlaajuisesta pölyttäjädostasta, sillä on epätodennäköistä, että ne oppisivat jollain tavoin selvittämään ta-paa lobata kaupungintalon kokouksissa parem-man tulevaisuutensa puolesta.

Ongelmanratkaisukykyä vaativat kukat eivät ole kimalaisten ja muiden pölyttäjien suurin pulma luonnossa. Enemmän hankaluuksia niille aiheuttavat luonnonympäristöjen häviäminen sekä luonnonvaraisten kukkien ja pesäpaikko-jen väheneminen muun muassa kaupunkike-hityksen ja tehomaatalouden laajenemisen, lisääntyneen torjunta-aineiden käytön ja ilmas-tonmuutoksen vuoksi. Koska nämä maailman-laajuiset ongelmat ovat ihmisten aiheuttamia, on myös meidän vastuullamme ratkaista ne.

Hyönteisten älykkyyden ymmärtäminen voi ravistaa maailmankuvaamme. Lisääntynyt tieto ei pelkästään pudota ihmistä "luomakunnan kruunun" korokkeelta, vaan lisää eläinten ar-vostusta ja kannustaa meitä tarmokkaampiin

suojelupyrkimyksiin.

Kirjallisuus

- Alem S ym. 2016 Associative mechanisms allow for social learning and cultural transmission of string pulling in an insect. PLoS Biol 14: e1002564.
- Chow PKY ym. 2022 Prior associations affect bumblebees' generalization performance in a tool-selection task. Science 25: 105466.
- Cope AJ ym. 2018 Abstract concept learning in a simple neural network inspired by the insect brain. PLoS Comp Biol 14: e1006435.
- Helander M ym. 2023 Field-realistic acute exposure to glyphosate-based herbicide impairs fine-color discrimination in bumblebees. Sci Tot Env 857: 159298.
- Loukola OJ ym. 2013 Observed fitness may affect niche overlap in competing species via selective social information use. Am Nat 182: 474–483.
- Loukola OJ ym. 2020 Selective interspecific information use in the nest choice of solitary bees. Anim Biol 70: 215–225.
- Loukola OJ ym. 2017. Bumblebees show cognitive flexibility by improving on an observed complex behavior. Science 355: 833–836.
- MaBouDi H ym. 2021 Non-numerical strategies used by bees to solve numerical cognition tasks. Proc R Soc B 288: 20202711.
- Romero-González JE ym. 2020 Foraging bumblebees selectively attend to other types of bees based on their reward-predictive value. Insects 11: 800.

Kiitän Suomen akatemiaa ja Koneen Säätiötä tässä kirjoituksessa esiteltyjen tutkimusten rahoituksesta sekä tutkimuksiin osallistuneita yhteistyökumppaneita.

Dosentti Olli Loukola on tutkija Oulun yliopistos-sa. Hänen tutkimuksensa pääpainoala on käyt-täytymisekologia. Hänet tunnetaan myös kima-laisjalkapallovalmentajana.



Katsausartikkeli

Yhteiskunta-ampiaisista Suomessa

ATTE KOMONEN JA JOUNI SORVARI



Yhteiskunta-ampiaiset herättävät tunteita. Monet pelkäävät näitä keltatakkeja niiden kivuliaan ja myrkyllisen pistoksen takia. Samalla niiden sosiaalinen yhteiskuntarakente kiehottaa luonnonystävää. Yhteiskunta-ampiaisten evolutiivinen ja ekologinen tutkimus käynnistyi Suomessa kunnolla vasta 2010-luvulla. Tutkimukselle on tarvetta, sillä maailmanlaajuinen ympäristömuutos näkyy meidänkin ampiaislajistossamme.

Ampiaiset kuuluvat heimoon Vespidae. Lajeja tunnetaan maailmanlaajuisesti noin 5000. Ampiaiset jaetaan usein sosiaalisuuden perusteella yhteiskunta- ja erakkoampiaisiin. Jako on keinotekoinen, sillä eri alaheimojen sosiaalisuudessa on aste-eroja ja osa lajeista on ehdollisesti sosiaalisia (PiekarSKI ym. 2018). Juuri tästä suuresta vaihtelusta johtuen ampiaisia pidetään oivana ryhmänä tutkia sosiaalisuuden evoluutiota. Suomessa jako yhteiskunta- ja erakkoampiaisiin on selkeämpi, sillä meillä esiintyy sosiaalisista ryhmistä vain Vespinae-alaheimo (alaheimosta Polistinae on vain satunnaisia havaintoja), joilla sosiaalisuus on pisimmälle kehittynyt; suomeksi alaheimon nimi onkin yhteiskunta-ampiaiset. Tosin yhteiskunta-ampiaisillakin on eroja sosiaalisuudessa. Varsinaisia yhteiskunta-ampiaisia on Suomessa 12, erakkoampiaisia 30 lajia. Vaikka tropiikin huikea lajimäärä on yksi biologian säännönmukaisuuksista, Vespinae-alaheimossa lajeja on maailmanlaajuisesti vain 67 (Archer 2012). Suomessa esiintyy siis 18 % maailman Vespinae-alaheimon yhteiskunta-ampiaislajeista.

Käytännössä ihmiset tekevät tuttavuutta pääasiassa yhteiskunta-ampiaisten kanssa, sillä erakkoampiaiset eivät nimensä mukaisesti muodosta yhteiskuntia ja jäävät vähälukuisina huomaamatta. Juuri yhteiskunta-ampiaiset tekevät huussin katossa keikkuvat harmaat pallopesät ja rantapallonkokoiset jättipesät ullakol-

le, tai kaivavat pesäonkalon maan alle. Jotkut yhteiskunta-ampiaiset ovat pesäloisia. Ne eivät rakenna omaa pesäänsä, vaan valtaavat toisen yhteiskunta-ampiaislajin pesän. Tässä kirjoituksessa tarkoitamme *ampiaisella* nimenomaan yhteiskunta-ampiaisia.

Evolutiivinen ja ekologinen ampiaistutkimus on Suomessa ollut vähäistä, etenkin verrattuna muurahaisiin ja kimalaisiin. Viisikymmentä vuotta sitten Antti Pekkarinen julkaisi Luonnon Tutkijassa katsauksen Suomen yhteiskunta-ampiaisista (Pekkarinen 1973). Hän totesi lakonisesti: ”Eri lajien elintavoista Suomessa ei ole julkaistu mitään mainittavampaa.” Eikä julkaistu pitkään tuon kirjoituksen jälkeenkään. 1970-luvun lopulla Kauri Mikkola raportoi ampiaisten leviämisestä (Mikkola 1978), ja 1980-luvulla Sirkka-Liisa Varvio-Aho, Pekka Pamilo ja Antti Pekkarinen julkaisivat muutamia evoluutiogeneettisiä tutkimuksia (Pamilo ym. 1981; Varvio-Aho ym. 1984). 1990-luvulla Pekkarinen & Huldén (1995) raportoivat ampiaisten levinneisyydestä ja fenologiasta, ja Perttu Seppä aloitti tutkimukset ampiaisten evoluutiosta ja käyttäytymisestä, mutta ne koskivat pääosin ei-suomalaisia paperiampiaisia (Polistinae) (esim. Seppä ym. 2002, 2011). Vasta viime vuosikymmenenä evolutiivis-ekologinen tutkimus on lisääntynyt (esim. Sorvari 2013; Badejo ym. 2018; Sorvari 2018; Torniainen & Komonen 2021; Komonen & Torniainen 2022). Tarjoamme tässä kirjoitukses-

sa Luonnon Tutkijan lukijoille otteita uusimmas-
ta ampiaistutkimuksesta Suomessa. Teemme
ensin lyhyen katsauksen Suomen ampiaislajis-
ton biologiaan ja kerromme sen jälkeen omista
tutkimuksista.

Laaja ekolokero

Lähes kaikki ampiaislajimme ovat laajalle levin-
neitä Suomessa ja niiden esiintymisalue ulottuu
Ahvenanmaalta Lappiin asti. Laajan levinneisyy-
den mahdollistaa ampiaisten joustavat elinym-
päristövaatimukset; niillä on laaja ekolokero
(Edwards 1980; Douwes ym. 2012). Yleispetoina
niille on ravintoa tarjolla lähes kaikkialla. Toukil-
leen ne kantavat proteiinipitoista liharavintoa,
joksi kelpaa lähes kaikki niveljalkaiset. *Vespu-
la*-suvun ampiaiset kelpuuttavat myös raadot
ja ihmisen tarjoamat ruoantähteet. Aikuiset
ampiaiset tarvitsevat sokereita, joita ne saavat

kukkien medestä, mahlavuodoista ja kirvojen
erittämästä mesikasteesta. Siksi ampiaiset ovat
ainakin näennäisesti runsaampia avoimilla alu-
eilla kuin peitteisillä alueilla. Kukilla käydessään
ampiaiset pölyttävät kasveja, mutta niiden mer-
kityksestä pölytyksessä ei tiedetä juuri mitään.
Laajaa levinneisyyttä edistää myös ampiaisten
hyvä lämpötilan sietokyky, sillä ne pystyvät len-
tämään jo + 2 °C lämpötilassa. Erään harrastajan
kuvaamassa videossa piha-ampiaisen maapesä
oli aktiivinen vielä marraskuun alussa, vaikka
yöllä lämpötila laski pakkasen puolelle.

Pesäpaikkojen saatavuuskaan ei ilmeisesti
rajoita ampiaisten esiintymistä, sillä pesä teh-
dään maahan, erilaisiin onkaloihin tai vaikka ok-
saan. Ampiaiset pystyvät myös hyödyntämään
ihmisen rakennelmia, joten ne pärjäävät hyvin
myös taajamissa ja kaupungeissa (Sorvari 2018;
Komonen ym. 2020). Olemme löytäneet am-
piaispesä muu muassa voimajohtopylvästä,



Kuva 1. Ampiaiset pesivät monissa paikoissa. Yläkuviissa on piha-ampiaisen pesäpaikat maan alla (A) ja ulko-
varastossa (B). Alhaalla on räystäsampiainen pesäpaikka linnunpöntössä (C) ja norjanampiaisen pesä kuusen
oksassa (D). Kuvat: Atte Komonen.

tuuletushormeista, tulisijoista, parvekkeelta, veneestä, myyränloukkujen suojakuorista ja linnunpöntöistä (Kuva 1). Pesämateriaali vuorostaan raavitaan puunrungoista tai puurakennelmista, joten pesän rakennusmateriaalista ei ole pulaa. Ampiaispesien koossa ja rakenteessa on laji- ja sukutyypillisiä eroja. Harmaat *Dolichovespula*-lajien pesät ovat yleensä pieniä (suurimmillaan parisen tuhatta kennoa) ja vapaasti roikkuvia, kun taas herhiläisen (*Vespa crabro*) ja piha-ampiaisen (*Vespula vulgaris*) pesät ovat beigejä ja harvoin vapaasti roikkuvia. Suurimassa tutkimassani piha-ampiaisen pesässä oli yli 13 000 kennoa, ja suurimmassa saksanampiaisen (*Vespula germanica*) pesässä yli 8000 kennoa. Koska yhdessä kennossa kehittyy yksi, joskus toinenkin ampiaisen, antaa kennomäärä karkea arvio pesän ampiaisten lukumäärästä.

Vaikka ampiaiset kykenevät lentämään ja saalistamaan hyvinkin viileässä, ilmastonmuutos vaikuttaa ampiaislajistoomme. Esimerkiksi vasta 2000-luvulla Manner-Suomeen levinnyt saksanampiaisen on nykyään Etelä-Suomessa monin paikoin yleisin ampiaistemme (Eeva ym. 2006; Sorvari 2013). Laji suosii kulttuuriympäristöä, joten sen yleistyminen vaikuttaa väistämättä ihmisten ja ampiaisten yhteiseloon (Sorvari 2018). Tutkimuksissamme havaitsimme lajin ensimmäistä kertaa Jyväskylässä vuonna 2019 ja ensimmäinen pesä löytyi 2022 (Komonen ym. 2020; Komonen 2022a). Kuopiosta ensimmäinen havainto oli vuorossa vuonna 2021 (Sorvari, julkaisematon tieto). Myös Suomesta sukupuuttoon kerran hävinnyt, tarunhoitoinen herhiläinen on runsastunut ja levittäytynyt viime vuosikymmenenä Etelä-Suomessa (Jantunen & Saarinen 2007). Ampiaisten laajasta levinneisyydestä ja suuresta runsaudesta johtuen ainoastaan metsäloisampiaisen (*Dolichovespula omissa*) on luokiteltu vaarantuneeksi Suomen viimeisimmässä uhanalaisarviossa.

Ampiaissyklit

Ampiaisten vuotuinen runsausvaihtelu on tun-

nettua. Yhtäältä on näyttöä, että runsausvaihtelu olisi säännöllistä, vuorovuotista (Pawlikowski & Pawlikowski 2006; Sorvari 2013, 2018), toisaalta pidemmät seurannat paljastavat epäsäännöllisyyttä (Fox-Wilson 1946). Neljän vuoden seurantamme Kuopiossa, Lammilla, Hyytiälässä ja Jyväskylässä paljastaa, että myös Suomessa piha-ampiaisen runsaus vaihtelee vuorovuosin, mutta eri paikoilla runsausmuutokset eivät välttämättä ole samanaikaisia keskenään (Komonen ym., julkaisematon tieto). Tämä voi osin johtua pienestä pyyntiponnistuksesta tietyissä paikoissa, jolloin runsausvaihtelu kertoo lähinnä siitä, onko lähistöllä ollut pesä. Pensasampiaisen runsausvaihtelussa ei vastavaa säännöllisyyttä näy. Koska piha-ampiaisen on laji, joka hakeutuu ihmisten läheisyyteen, sen huippuvuodet näkyvät usein lehtien otsikoissa. Vuotuiseen runsauteen vaikuttaa sekä pesien määrä että pesien keskimääräinen koko. Englantilaisessa kasvitieteellisessä puutarhassa laskettiin 25 vuoden seurantajaksolla kaikkien ampiaislajien yhteenlasketuksi pesätiheydeksi keskimäärin 0,5 pesää hehtaarilla; huippuvuosina pesiä oli 2,1 kpl hehtaarilla (Fox-Wilson 1946). Englannissa pelkästään piha-ampiaisen pesätiheys voi olla 1,8 kpl hehtaarilla (Archer 2012). Itse havaitsimme *Dolichovespula*-suvun pesiä neljä hehtaarilla Konneveden myyrätarhalla, jossa ampiaiset rakensivat pesänsä myyräloukkujen suojakuoren sisään. Linnunpöntöissä ampiaiset voivat pesiä alle kymmenen metrin päässä toisistaan. Havainnot viittaavat siihen, että enemmänkin pesäpaikat kuin kilpailu ravinnosta rajoittavat ampiaisyhteiskuntien tiheyttä. Ampiaisyhteiskuntien välistä ravintokilpailua vähentää se, että ampiaiset ovat yleispetoja.

Pesien määrään vaikuttaa ensisijaisesti kuningattarien talvehtimisen onnistuminen. Tähän vaikuttaa syksyn, talven ja kevään säiden yhteisvaikutus, jota on vaikea ennustaa (Fox-Wilson 1946). Koska yksi pesä tuottaa satoja kuningattaria, ja uuden pesän perustaa yksi kuningatar, kuningattarien kuolleisuuden on

oltava suurta – muuten ampiaispesien hehtaaritiheydet olisivat aivan eri kertaluokkaa, kuin luonnossa on havaittu. Tähän perustuen Archer (2012) arvioi, että Englannissa ja Uudessa Seelannissa yli 95 % talvehtivista kuningattarista kuolee. Abioottisten olosuhteiden lisäksi myös ravinto sekä pedot ja loiset voivat vaikuttaa ampiaiskantoihin. Pedoista muun muassa karhu, mäyrä ja mehiläishaukka voivat kaivaa ampiaisen maapesän. Vapaasti roikkuvien pesien kimpussa saattaa olla tiainen, rastas tai jokin varislintu. Havaitsimme, että ilmeisesti jokin lintu kävi ruokailemassa pensasampiaisen toukkia pienestä, muutaman työläisen sisältävästä alkuvaiheen pesästä. Ampiaiset korjasivat pesän, mutta lintu iski uudestaan, mikä oli pesän loppu.

Yhteiskunnan kokoon tai sen selviytymiseen vaikuttanee ensisijaisesti ravinnon määrä tai sen saatavuus. Esimerkiksi huonot sääolot voivat heikentää saalistusta, vaikka ampiaiset eivät olekaan nöpönuukia säiden suhteen. Ampiaiset ovat alku- ja keskikesällä vähälukuisia, mutta yhteiskunnan kasvaessa yksilömäärä lisääntyy loppukesää kohti. Myös säällä on vaikutusta yhteiskuntien kokoon ja kasvuun. Suomessa lämmin kevät näyttää kasvattavan eteläisemmän saksanampiaisen määrää loppukesän pyydysaineistoissa, mutta vastaavaa vaikutusta ei pohjoisiin oloihin paremmin sopeutuneella piha-ampiaisella havaittu (Sorvari 2018). Kevään sää vaikuttaa pesän perustamiseen ja sen alkutaipaleen kasvunopeuteen – hyvällä säällä pesää yksin perustava kuningatar saa kerättyä helpommin pesänrakennusaineita ja ravintoa toukille. Paremmat alun saaneet pesät ovat todennäköisesti loppukesällä suurempia.

Helteisenä kesänä ampiaisten runsaushuippu voi olla jo heinäkuun puolella, mutta usein vasta elokuussa. Vaikka suotuisat sääolot näkyivät yhteiskunnan melko samanaikaisena huippuna, saattoi saman lajin eri pesien huippu olla eri aikaan tietyssä vuonna. Tämä johtuu todennäköisesti ennen kaikkea siitä, että alkukesällä moni ampiaispesä tuhoutuu ja joissakin

tapauksissa kuningattaret saattavat perustaa uuden pesän. Linnunpönttöseurannassa havaitsimme, että osa pöntöistä asutettiin vasta kesäkuun alussa, mikä viittaa uudelleenpesintäyrytykseen. Myös paikallinen sää- ja ravintotekijöiden vaihtelu voi aiheuttaa eriaikaisuutta pesien kasvussa. Ampiaisten runsauden seurantaan käytetään tuoppipyödyksiä (Kuva 2). Tuoppipyödyks on valikoiva ansa, ja pyytää lähinnä piha-, saksan- ja pensasampiaisia sekä herhiläisiä.

Yhteiskuntien hajotessa loppukesästä ja alkusyksystä ampiaiset hakeutuvat ihmisten ilmoille. Meden loppuminen kukista alkusyksyllä vähentää piha-ampiaisen ja saksanampiaisten työläisten energiansaantia. Samalla pesät ovat suurimmillaan ja täynnä nälkäisiä toukkia. Siksi työläiset etsivät sokeri- ja proteiinipitoista ra-



Kuva 2. Ampiaisia voidaan pyydystää tuoppipyödyksillä. Syöttinesteenä on oluen, kuivahiivan ja fariinisokerin sekoitus. Kuva: Atte Komonen.

vintoa ihmisten pöydistä ja voivat olla nääntyvien toukkiensa takia erityisen sisukkaita hankkiessaan ravintoa. Tästä varmaan on peräisin uskomus, että ”kuningattaren kuoltua työläiset menisivät sekaisin”. Kun sokerin lähteet ehtyvät, eivätkä työläiset siten jaksa enää kerätä hyönteisravintoa toukille, toukat alkavat kuolla nälkään. Syksyllä voikin nähdä piha-ampiaisten kantavan kuolleita toukkiaan pesän ulkopuolelle – ei siis ihme, että grillipöytänsä tunkevat ampiaistyöläiset vaikuttavat ihmisistä stressaantuneilta.

Ampiaisten suuri yksilömäärä esimerkiksi mökillä tai puutarhassa viittaa siihen, että lähistöllä on pesä. Tosin ampiaiset liikkuvat ravinnonhakuretkillään satojakin metrejä, joten aivan pihapiirissä pesä ei välttämättä ole. Ampiaiset myös löytävät hyvälle pesäpaikoille vuodesta toiseen. Tämän on moni saanut todeta katsoessaan ullakolle, jonka katossa saattaa olla vierivieressä vanhoja ampiaispesäitä. Todennäköinen asukki on ollut räystäsampiainen. Vanhoja pesiä ampiaiset eivät kierrätä, vaan rakentavat joka vuosi uuden. Kaiken kaikkiaan ampiaisten runsausvaihtelun takana lienee monia tekijöitä. Voidaankin kenties puhua myyräsykliä kaltaisesta ikuisuusmysteristä, jossa yksinkertaista selitystä etsivät joutuvat pettymään.

Isotoopit paljastavat eroja ravinnossa

Yleinen käsitys on, että ampiaiset ovat opportunistisia yleispetoja, eli niille kelpaa lähes mikä tahansa vastaan tuleva selkärangaton: hämähäkki, perhostoukka, kaksisiipinen, lude jne. Aikaisemmat tutkimukset ovat selvittäneet ravinnonkäyttöä havainnoimalla ampiaisten pesään kuljettamia saaliseläimiä. Hyvä puoli menetelmässä on se, että saaliin identiteetti pystytään periaatteessa määrittämään. Huono puoli on se, että käytännössä saalis on usein tunnistuskelvoton. Menetelmä ei myöskään kerro eri ampiaislajien eroista ilman mittavaa eri lajien seuranta samalla alueella; tämä on usein mahdotonta jo pelkästään sen takia, että

pesiä on vaikea löytää.

Vakaiden isotooppien menetelmässä selvitetään eri alkuaineiden isotooppien määriä ja lukusuhteita yksilöissä, ja sen avulla päätellään yksilöiden alkuperää (vedyn isotoopit) tai ravinnonkäyttöä (hiilen ja typen isotoopit). Ampiaistutkimukseen menetelmä sopii, sillä pesiä ei tarvitse löytää, riittää kunhan löytää ampiaisia. Tutkimme Suomessa ja Englannissa (York) ampiaisten ravinnonkäyttöä vakaiden isotooppien menetelmällä (Torniainen & Komonen 2021). Havaitimme, että sukujen ja lajien välillä oli systemaattisia eroja hiilen ja typen isotooppiarvoissa. Tulokset viittaavat siihen, että *Dolichovespula*-suvun lajit käyttävät ravintonaan petoeläimiä, kun taas *Vespula*-suvun lajit suosivat kasvinsyöjiä. Erityisesti kookas pensasampiainen näyttää olevan huippupeto. Toisaalta herhiläinen – koostaan ja maineestaan huolimatta – suosii kasvinsyöjäpainotteista ruokavaliota. Seurasimme myös kahden piha-ampiaispesän ravinnonkäytön muutosta loppukesästä. Molemmat pesät siirtyivät melko samaan aikaan elokuun alussa alemman ravitsemustason saaliiden käyttöön. Havainto käy yksiin sen kanssa, että loppukesästä ampiaiset ovat persoja makealla ja hakeutuvat muu muassa lehmusten lehdille mesikasteen perään.

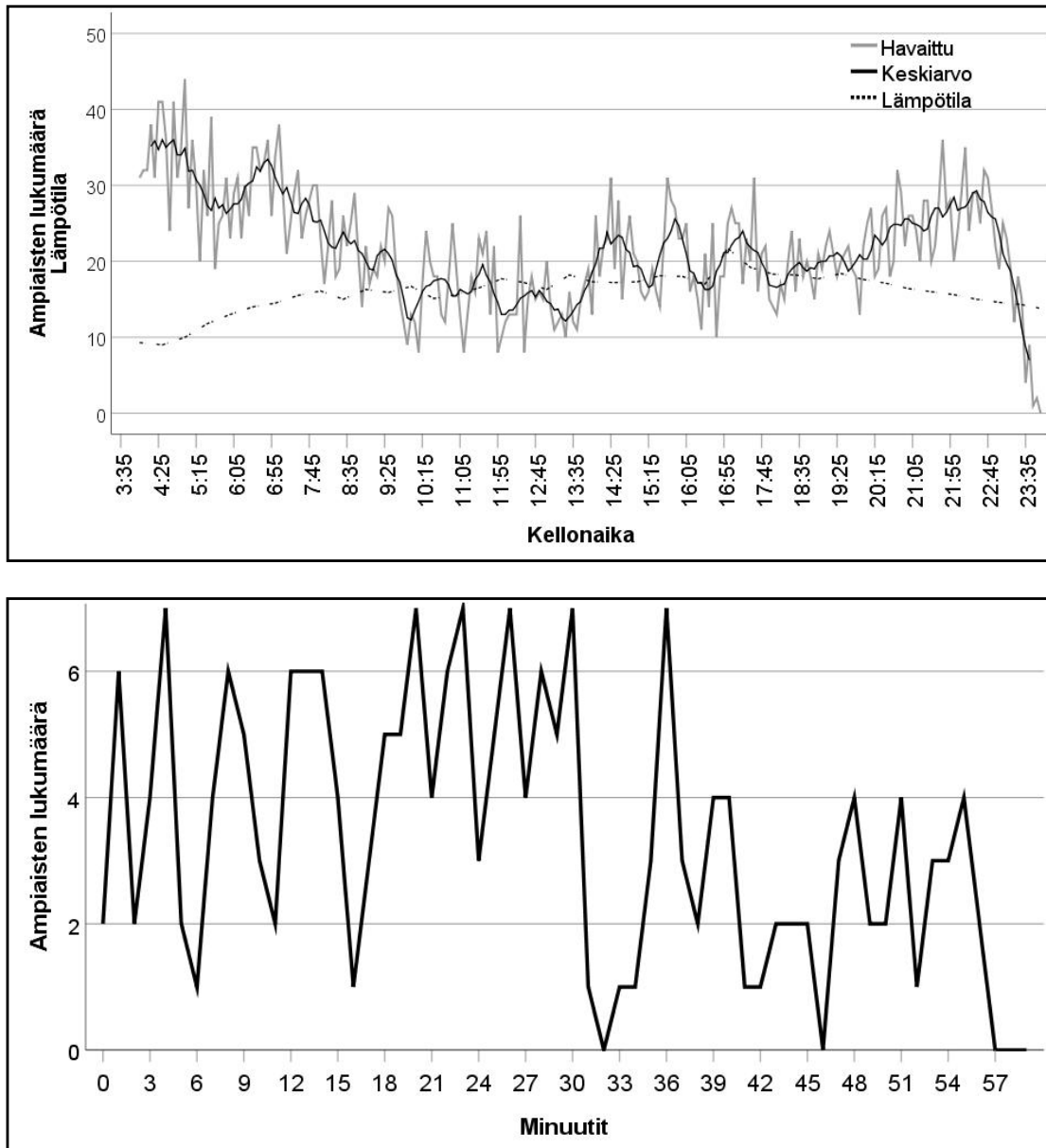
Yhteiskunnan aktiivisuus vaihtelee

Ampiaisten vuorokautinen aktiivisuus ja sen vaihtelu auttaa ymmärtämään yhteiskunnan toimintaa. Aktiivisuudella tarkoitetaan yleensä pesän ulkopuolista aktiivisuutta, joka kertoo yhtäältä ruoanhakuun ja pesämateriaalin hakuun ja toisaalta pesäskareisiin käytetystä ajasta. Sitä mitataan pesään menevien tai sieltä lähtevien yksilöiden määränä aikayksikössä. Tutkimme Jyväskylässä ampiaisten aktiivisuutta seuraamalla linnunpöntöissä olevia pesiä (Komonen ym. 2022; Komonen & Torniainen 2022). Seurasimme istua kyyhöttämällä kuutta räystäsampiainen- ja yhtä piha-ampiaisyhteiskuntaa yhtäjaksoisesti auringonnoususta laskuun,

ja havainnoimme jokaisen pesään menevän ampiaisen minuutin (jopa sekunnin) tarkkuudella.

Yhteiskunnan ollessa suurimmillaan heinäelokuussa ampiaiset aloittivat lentonsa noin tunti ennen auringon nousua ja jatkoivat jopa yli tunnin auringonlaskun jälkeen. Keskimääräinen aktiivisuus heijasti yhteiskunnan kokoa, eli työläisten määrää. Piha-ampiaisen pesään (n =

1711 kennoa) meni yksi yksilö seitsemässä sekunnissa, eli päivän aikana tehtiin 9408 matkaa (Komonen ym. 2022). Jokainen voi arvuutella, kuinka monta matkaa tehtiin vuorokaudessa kuvan 1 pesässä, jossa oli 13 604 kennoa. Aktiivisuus ei ollut tasaista aamusta iltaan, ja se vaihteli pesäkohtaisesti (Kuva 3; Komonen & Torniainen 2022; ks. myös Archer 2012). Vuorokauden aikainen aktiivisuus ei kuitenkaan ollut



Kuva 3. Ampiaisyhdistyksen vuorokautinen aktiivisuus vaihtelee. Linnunpöntössä olleen räystäämpiaisyhteiskunnan aktiivisuus 21.7.2021 Jyväskylässä. Yläkuvassa on y-akselilla on pesään menneiden ampiaisten havaittu lukumäärä viidessä minuutissa, 35 minuutin juokseva keskiarvo sekä ilman lämpötila. Alakuvassa on pesään menneiden ampiaisten havaittu lukumäärä minuutissa kello 9:35-10:34. Aurinko nousi 04:12 ja laski 22:34. Pesässä oli 1011 kennoa.

yhteydessä ilman lämpötilaan. Tulokset viittaavat siihen, että ampiaisilla ei ole mitään tiettyä lajityypillistä säännönmukaisuutta aktiivisuudessa, vaan aktiivisuuteen vaikuttaa monet ympäristötekijät, kuten sää ja ravinto.

Värillä on väliä

Ampiaiset ovat pääosin kelta-mustakuvioisia, joskin joillakin lajeilla punainenkin on mukana kuvioissa. Värikuvioiden pääasiallisena tarkoituksena lienee aposematismi. Kelta-musta toimii varotusvärinä kertomassa kivuliaan piston vaarasta. Varoituskäsitteet toimivat hyvin myös meihin ihmisiin. Moni pelkää kukkakärpäsiäkin, sillä ne matkivat ampiaisten varoituskäsitteitä välttääkseen saaliiksi joutumista.

Suurin osa ampiaislajeista on helppo tunnistaa värikuvioiden perusteella. Värikuvioissa on kuitenkin myös lajin sisäistä maantieteellistä ja paikallista vaihtelua, arvatenkin ympäristön ominaisuuksista johtuen (Badejo ym. 2018). Raskasmetallien saastuttamalla alueella Harjavallassa piha-ampiaisten naaman ankkurimuotoiset kuviot olivat ohuempia, kuin saastumattomalla alueella, jossa metallikuorma oli vähäisempää (Skaldina ym. 2020). Samoilla alueilla myös piha-ampiaisten takaruumiin värityksestä löytyi alueellisia eroja ja niiden suolistosta melanisoituneita kapseloituja metallipitoisia hiukkasia (Badejo ym. 2021). Ampiaisten mustat värikuviot saavat värinsä melaniinistä, jota kului myös haitallisten hiukkasten kapselointiin – ehkä melaniinin käyttö haitta-aineiden kapseloinnissa vaikutti värikuvioihin. Erot värityksessä saattavat osittain johtua myös muista ympäristötekijöistä, kuten ravinnon laadusta ja pesäpaikan pienilmastosta. Kaupunkiympäristössä sekä ravinto että pienilmasto voivat poiketa huomattavasti luonnonympäristöistä. Helsingin, Turun ja Tampereen piha-ampiaisten värikuviointia tutkittaessa havaittiin kaupungeista suurimman, Helsingin, piha-ampiaisten kuvioiden poikkeavan ympäröivän maaseudun piha-ampiaisten värikuvioinnista (Badejo ym.

2020).

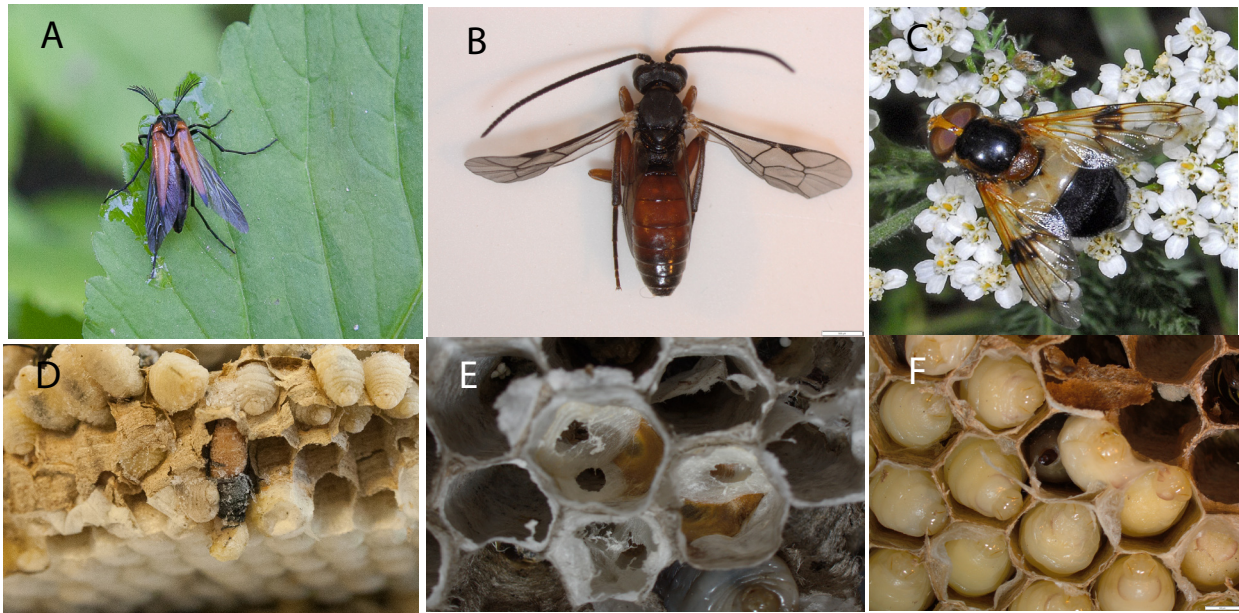
Ampiaisten värityksessä mustan värin ajatellaan olevan hyödyllistä myös ampiaisen lämmönsäätelyn vuoksi – auringon paisteessa tumma ampiaisen lämpimää nopeasti. Olisiko keltaisten raitojen ylläpito aposematismi-tarkoituksessa lämpötaloudellisesti haitallista? *Vespa orientalis* -herhiläisellä keltaisesta kitinistä löydettiin auringon energiaa varastoivaa xanthopteriini-pigmenttiä, eräänlaista aurinkokennoa (Ishay 2004; Plotkin ym. 2009). Myös kotoisen piha-ampiaistemme keltaisesta kitinistä löytyi tätä lämpöä varastoivaa pigmenttiä (Badejo ym. 2020). Keltaiset alueet ampiaisen värityksessä toimivatkin lämmön varastoinnissa. Kelta-musta väritys tarjoaa ampiaislajeille tuplahyödyn sekä varoituskäsitteinä että lämmönsäätelyssä.

Keltainen väri ampiaisissa lienee myös osasy syy siihen, miksi kaupossa myytävät ampiaispyydykset ovat usein osittain keltaisia. Keltainen väri pyydyksissä ei kuitenkaan houkuttele ampiaisia (Sorvari 2019), sillä ampiaiset suunnistavat ravinnon luo hajuaistinsa johdattamana, eivät värin perusteella. Sen sijaan keltainen väri voi houkuttaa hyödyllisiä pölyttäjiä surman suuhun.

Loiset ja loisenkaltaiset

Ampiaispesissä elää jo mainittujen loisampiaisten lisäksi loishyönteisiä, jotka käyttävät ampiaisten toukkia ravintonaan (Kuva 4). Vaikka loisia esiintyy pesissä melko säännöllisesti, pesäkohtainen loisimisaste (loisittujen toukkien määrä) jää usein alhaiseksi. Siksi ajatellaan, että loisten merkitys ampiaisten kannanvaihtelussa ei olisi merkittävä. Monet loiset ovat tietävästi erikoistuneet yhteiskunta-ampiaisiin – jopa tiettyihin sukuihin –, joten loisten merkitystä on syytä tutkia enemmän. Ampiaisten vuorovuotinen kannanvaihtelu, vaikkakin epätäydellistä, viittaisi myös tiheysriippuvaisten mekanismien, kuten loisten, merkitykseen.

Tutkimuksemme aikana keräsimme pesiä nii-



Kuva 4. Ampiaispesissä elää monia loisia. Yläkuviissa on kovakuoriaisiin kuuluva ampiaisalosikka (A), ahmaspistiäisiin kuuluva *Sphecophaga vesparum* (B) ja kukkakärpäsiin kuuluva ampiaisalvieras (C). Alakuviissa on juuri aikuisutunut ampiaisalosikka piha-ampiaisen kennossa (D), *S. vesparum*in valkeita ja rusehtavia koteokehoja pensasampiaisen pesässä (valkeissa kotelokehdoissa näkyy kuoriutumisreiät; D) sekä ampiaisalvieraan mustapäinen toukka, joka kurkistaa piha-ampiaisen toukan takaa (F). Kuvat a, b, d–f: Atte Komonen. Kuva c (Wikipedia CC BY-SA 4.0).

den rakenteen ja koon tutkimiseksi sekä loisten löytämiseksi. 80 %:ssa piha-ampiaisen pesistä löysimme kovakuoriaisiin kuuluvaa ampiaisalosikkaa (*Metoecus paradoxus*), mutta loisittujen ampiaistoukkien osuus oli alhainen, keskimäärin 7 % (Komonen 2022b). Loisimisasteen tarkka määrittäminen on kuitenkin hankalaa, sillä pesät tuhoutuivat helposti ylöskaivettaessa. Mielenkiintoista joskin odotettua oli se, että kuningatartoukissa kasvaneet loisikat olivat suurempia kuin työläistoukissa kasvaneet (ks. myös Hattori & Yamane 1975). Odotettua tämä oli siksi, että kuningatartoukat ovat isompia kuin työläistoukat, joten niissä on enemmän ravintoa.

Räystä- ja pensasampiaisen pesistä löysimme ahmaspistiäisiin kuuluvaa *Sphecophaga vesparum* -loispistiäistä. Laji on lähes kosmopoliitti ja käyttää isäntinään useita Vespinae-lajeja (Field & Darby 1991). Loisittujen räystä- ja pensasampiaispesien osuus tutkituista pesistä oli 36 % (n = 28) ja 50 % (n = 8). Viidestä tutkitusta norjanampiaisen pesästä yksikään ei ollut loisittu. Keskimääräinen pesäkohtainen loisimisaste, eli loisittujen kennojen osuus kaikista

kennoista, oli 11 %. Toisin kuin loisikalla, useita *S. vesparum* -yksilöitä voi kehittyä yhdestä ampiaistoukassa: keskimäärin loisitussa kennossa oli hieman yli yksi pistiäistä, enimmillään kahdeksan.

Kolmas pesistä löytynyt pesävieras oli pesäkoisaperhonen (*Aphomia sociella*). Laji ei ole tiukassa mielessä loinen, vaan syö ennen kaikkea pesämateriaalia. Löysimme pesäkoisia räystä-, pensas- ja piha-ampiaisen pesistä. Yleensä laji asuttaa pesän vasta yhteiskunnan ollessa ehtoapuolella, joten suurta vahinkoa ampiaisen lisääntymismenetykselle se ei yleensä aiheuta. Edellisten lisäksi havaitsimme myös muutamia kukkakärpäsen (todennäköisesti ampiaisalvieras, *Volucella pellucens*) toukkia, sekä muita kaksisiipisten toukkia. Ampiaisilla on myös muita loisia, kuten bakteereita, viruksia ja sukkulamatoja, jotka tunnetaan kuitenkin huonosti. Näyttää siltä, että eri ampiaisalajien loishyönteiset ovat erikoistuneet tiettyyn isäntäsukuun.

Lopuksi: ampiaisten ja ihmisten yhteiselo

Ampiaiset herättävät suuria tunteita (Sumner ym. 2018). Tätä edistää ennen kaikkea se, että ampiaisen pisto on kivulias ja jopa hengenvaarallinen allergisille. Ihmisten ja ampiaisten kohtaamiset johtuvat siitä, että ampiaiset pesivät ihmisten rakennelmissa. Ihmiset kohtaavat useimmiten piha-ampiaisen, joka nimensä mukaisesti viihtyy piholla ja puutarhoissa (Komonen ym. 2020). Piha-ampiaisen on myös perso lihalle, joten grillaaja tai kaloja perkaavat saa nopeasti seuralaisia. Veimme särkiä ja ahvenia pakasterasioissa maastoon. Pääsääntöisesti ampiaiset löysivät apajan muutamassa minuutissa. Ampiaiset myös oppivat hyvät ruokapaikat, joten kerran hyväksi havaittu grillikatos saa säännöllisiä vierailijoita. Tämä havainto sai tukea, kun merkitsimme kaloilla ruokailleita ampiaisia yksilöllisesti. Ampiaisten ja ihmisten kohtaamisia lisäävät myös ampiaisten laaja lämpötilan sietokyky ja pitkä vuorokautinen aktiivisuus. Kohtaamisia ei voi välttää. Ampiaisten biologian parempi ymmärtäminen poistaa tarpeettomia pelkoja, auttaa arvostamaan näitä hyönteismaailman ihmeitä ja siten edistää harmonista yhteiseloä niiden kanssa.

Kirjallisuus

- Archer ME 2012 Vespine wasps of the world. Siri Scientific Press, Manchester.
- Badejo O, Skaldina O & Sorvari J 2018 Spatial and temporal variation in thermal melanism in the aposematic Common Wasp (*Vespula vulgaris*) in Northern Europe. *Ann Zool Fenn* 55: 67–78.
- Badejo O, Leskinen JTT, Koistinen A & Sorvari J 2020 Urban environment and climate condition-related phenotypic plasticity of the common wasp *Vespula vulgaris*. *Bull Insectology* 73: 285–294.
- Badejo O, Skaldina O, Peräniemi S, Carrasco-Navarro V & Sorvari J 2021 Phenotypic plasticity of common wasps in an industrially polluted environment in southwestern Finland. *Insects* 12: 888.
- Douwes P, Abenius J, Cederberg B, ym. 2012 Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Steklar: Myror–getingar. Hymenoptera: Formicidae–Vespidae. ArtDataBanken, SLU, Uppsala.
- Eeva T, Sorvari J & Rinne V 2006 A likely German wasp (*Vespula germanica*) breeding colony in continental Finland. *Sahlbergia* 11: 53–54.
- Edwards R 1980 Social wasps: their biology and control. Rentokil Ltd., East Grinstead.
- Field RP & Darby SM 1991 Host specificity of the parasitoid, *Sphexophaga vesparum* (Curtis) (Hymenoptera: Ichneumonidae), a potential biological control agent of the social wasps, *Vespula germanica* (Fabricius) and *V. vulgaris* (Linnaeus) (Hymenoptera: Vespidae) in Australia. *N Z J Zool* 18: 193–197.
- Fox-Wilson G 1946 Factors affecting populations of social wasps, *Vespula* species, in England (Hymenoptera). *Proc R Entomol Soc Lond A*. 21: 17–27.
- Hattori T & Yamane S 1975 Notes on *Metoecus paradoxus* and *M. vespae* parasitic on the *Vespula* species in Northern Japan (Coleoptera, Rhipiphoridae; Hymenoptera, Vespidae (I)). *New Entomologist* 24: 1–7.
- Ishay JS 2004 Hornet flight is generated by solar energy: UV irradiation counteracts anaesthetic effects. *J Electron Microsc* 53: 623–633.
- Jantunen J & Saarinen K 2007 Herhiläisen esiintyminen Etelä- ja Itä-Suomessa: sanomalehtikyselyt 2007. Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutti. <https://www.allergia.fi/site/assets/files/21498/herhilainen2007ekay.pdf>
- Komonen A 2022a Saksanampiaisen pesä löytyi Jyväskylästä. *Luonnon Tutkija* 125: 27–28.
- Komonen A 2022b Biology of the parasitic wasp nest beetle, *Metoecus paradoxus* (Coleoptera: Ripiphoridae), in Finland. *Memoranda Soc Fauna Flora Fennica* 98: 80–86.
- Komonen A, Järvinen E & Lindell K 2022 All-day activity of a *Vespula vulgaris* colony in Central Finland. *Nor J Entomol* 69: 1–7.

- Komonen A, Nirhamo A & Torniainen J 2020 Social wasps (Vespinae) in urban gardens and woods. *Ann Zool Fenn* 57: 41–46.
- Komonen A & Torniainen J 2022 All-day activity of *Dolichovespula saxonica* (Hymenoptera: Vespidae) colonies in Central Finland. *J Hymenopt Res* 89: 157–170.
- Mikkola K 1978 Spring migrations of wasps and bumble bees on the southern coast of Finland (Hymenoptera, Vespidae and Apidae). *Ann Entomol Fenn* 44: 10–26.
- Pamilo P, Pekkarinen A & Varvio-Aho SL 1981 Phylogenetic relationships and origin of social parasitism in Vespidae and in *Bombus* and *Psithyrus* as revealed by enzyme genes. Teoksessa: Howse P & Clement JL (toim) *Bio-systematics of social insects*. Academic Press, London.
- Pawlikowski T & Pawlikowski K 2006 Long-term dynamics of structure changes of the social wasp community (Hymenoptera: Vespinae) in agricultural landscape of the Kujawy Region. *Ecol Quest* 7: 21–28.
- Pekkarinen A 1973 Suomen yhteiskunta-ampiaisista (Vespidae). *Luonnon Tutkija* 77: 12–19.
- Pekkarinen A & Huldén L 1995 Distribution and phenology of the Vespinae and Polistinae species in eastern Fennoscandia (Hymenoptera: Vespidae). *Sahlbergia* 2: 99–111.
- Piekarski PK, Carpenter JM, Lemmon AR, ym. 2018 Phylogenomic evidence overturns current conceptions of social evolution in wasps (Vespidae). *Mol Biol Evol* 35: 2097–2109.
- Plotkin M, Volynchik S, Ermakov NY ym. 2009 Xanthopterin in the oriental hornet (*Vespa orientalis*): light absorbance is increased with maturation of yellow pigment granules. *Photochem Photobiol* 85: 955–961.
- Seppä P, Queller DC & Strassmann JE 2002 Reproduction in foundress associations of the social wasp, *Polistes carolina*: conventions, competition, and skew. *Behav Ecol* 13: 531–542.
- Seppä P, Fogelqvist J, Gyllenstrand N ym. 2011 Colony kin structure and breeding patterns in the social wasp, *Polistes biglumis*. *Insectes Soc* 58: 345–355.
- Skaldina O, Ciszek R, Peräniemi S, Kolehmainen M ym. 2020 Facing the threat: common yellowjacket wasps as indicators of metal contamination. *Environ Sci Pollut Res* 27: 29031–29042.
- Sorvari J 2013 Social wasp (Hymenoptera: Vespidae) beer trapping in Finland 2008–2012: a German surprise. *Entomol Fenn* 24: 156–164.
- Sorvari J 2018 Habitat preferences and spring temperature-related abundance of German wasp *Vespula germanica* in its northern range. *Insect Conserv Diversity* 11: 363–369.
- Sorvari J 2019 Yellow does not improve the efficiency of traps for capturing wasps of the genera *Vespula* and *Dolichovespula* (Hymenoptera: Vespidae). *Eur J Entomol* 116: 240–243.
- Sumner S, Law G & Cini A 2018 Why we love bees and hate wasps. *Ecol Entomol* 43: 836–845.
- Torniainen J & Komonen A 2021 Different trophic positions among social vespid species revealed by stable isotopes. *R Soc Open Sci* 8: 210472.
- Varvio-Aho SL, Pamilo P & Pekkarinen A 1984 Evolutionary genetics of social wasps (Hymenoptera, Vespidae, *Vespula*). *Insectes Soc* 31: 375–386.
- Kiitämme Koneen Säätiötä hankeapurahoista sekä hanketutkijoita Jyrki Torniainesta, Minna Santaojaa, Oksana Skaldinaa ja Oluwatobi Badejoa kaikesta. Lisäksi kiitämme Joona Hirvensalooa, Essi Järivistä, Tatu Koposta, Satu Leinoa, Kristiina Lindelliä, Anna Lähdettä, Joona Lähdemäkeä, Aleksi Nirhamoa, Jenna Palttalaa, Salla Pitkästä, Sophie Siimestä, Juraj Svajdaa ja Lauri Viitasta avusta maastotöissä.
- Dosentti Atte Komonen on ekologian ja evoluutiobiologian yliopistonlehtori Jyväskylän yliopistossa. Hänen tutkimuksensa pääpainoala on luonnonsuojelubiologia. Erityisesti hän herkistyy hyönteisistä.*
- Dosentti Jouni Sorvari toimii Luonnonvarakeskuksessa tutkijana. Hänen tutkii sosiaalisten hyönteisten, kuten muurahaisten, yhteiskunta-ampiaisten ja kimalaisten ekologiaa, usein ympäristökysymyksiin liittyen.*

Evoluutio vaikuttaa muurahaisten tulevaisuudennäkymiin

SANJA MARIA HAKALA, JONNA KULMUNI JA HEIKKI HELANTERÄ



Muurahaisten yhteiskunnat ovat perherakenteiltaan monimuotoisia. Joskus pesässä on vain yksi kuningatar, jolloin yhteiskunta on tiivis ydinperhe. Joskus kuningattaria voi olla useita satoja. Tämä muuntelu on keskeinen osa muurahaisten ekologiaa, sillä kuningattarmäärän säätely liittyy siihen, miten muurahaiset levittäytyvät uusille alueille ja kuinka geneettisesti monimuotoisia muurahaisyhteiskunnat ovat. Tässä artikkelissa käsittelemme perherakenteiden vaihtelun syitä ja seurauksia. Erityisesti tarkastelemme Suomessa elävien ja paljon tutkittujen *Formica*-suvun muurahaisten yhteiskuntien sisäisiä konflikteja ja lajien tulevaisuudennäkymiä.

Perhesuhteet sosiaalisuuden evoluution keskiössä

Yhteiskuntahyönteisten, kuten muurahais-ten, termiittien ja sosiaalisten mehiläisten ja ampiaisten menestys perustuu työnjaolle: kuningattaret munivat ja työläiset pitävät huolen jälkeläisistä ja ravinnonhankinnasta sekä pesän ylläpidosta ja puolustuksesta. Evoluution silmissä työläiset ovat äärimmäisiä altruisteja, jotka ovat uhranneet oman lisääntymiskykynsä auttaakseen muita lisääntymään. Tämä on sukulaivalinnan tulos. Sukulaivalinnan teoria on yksi evoluutioteorian keskeisiä osia ja selittää miten sosiaalinen käyttäytyminen on voinut syntyä. Teoria korostaa sukulaisuussuhteiden merkitystä yksilöiden välisten vuorovai- kutusten selittäjänä (Hamilton 1963). Sukulaivalinnan logiikalla itsensä uhraaminen muiden hyödyksi kannattaa, jos avunsaajat ovat lähisukulaisia, jotka todennäköisesti kantavat aut- tajan kanssa samoja geenimuotoja. Tällainen erittäin pitkälle viety yhteistyö onkin alun pe- rin kehittynyt ydinperheissä, joissa työläiset avustavat äitiään lisääntymisessä ja kasvattavat omia täyssisariaan (Boomsma & Gawne 2018). Tällöin sukulaisuus yhteiskunnan jäsenten kes-

ken on mahdollisimman korkea, ja eturistiriidat eri geneettisten linjojen välillä ovat matalimmil- laan. Kun lähisukulaisista yksi erikoistuu lisään- tymiseen ja loput tämän jälkeläisten hoitoon ja ravinnonhankintaan, on yhteistyön evoluutio edennyt huippuunsa.

Läheskään kaikki hyönteisyhteiskunnat ei- vät kuitenkaan ole ydinperheitä. Päinvastoin: etenkin muurahaisten yhteiskuntarakenteet vaihtelevat pienistä yhden kuningattaren ydin- perheistä jättimäisiin yhteiskuntiin, joissa ku- ningattaria voi olla satoja, jopa tuhansia. Lisää vaihtelua perhesuhteisiin tuovat isät, koska ku- ningattaret ovat voineet paritella useiden koi- raiden kanssa. On jopa mahdollista, että nykyi- sistä muurahaislajeista vain vähemmistö elää ydinperheissä, ja enemmistö pesissä, joissa on useita sukulinjoja joko isien tai äitien puolelta (Heinze 2007; Boomsma ym. 2014). Tämä pä- tee myös *Formica*-suvun muurahaisiin, joiden perhesuhteet ovat olleet suomalaisen muura- haistutkimuksen ytimessä jo vuosikymmeniä (Kuva 1; Tietolaatikko 1). Tässä suvussa on näky- villä koko perherakenteiden jatkumo: yhdessä päässä ovat ydinperheet, joissa yksi kunga- tar tyttärineen asuttaa yhtä pesää, ja toisessa valtavat "superkoloniat", joissa useat moniku-



Kuva 1: *Formica*-alasuvut.

- Punakekomuurahainen (*F. rufa*). Kuva: Arnstein Staverløkk.
- Karvaloviniska (*F. exsecta*), jonka heinän pilkkomiseen tarvittavat vahvat leukalihakset muodostavat *Coptoformica* -alasuville tunnusomaiset ulokkeet pään takaosaan. Kuva: Arnstein Staverløkk.
- Mustamuurahainen (*F. fusca*) on Suomen eniten tutkittu *Serviformica*-alasuvin laji. Kuva: Arnstein Staverløkk.
- Tupsukekomuurahaisen (*F. aquilonia*) neulasista rakennettu pesä, jonka pinnalla parveilee satoja parittelulennolle valmistautuvia koiraita. Kuva: Sanja Hakala.
- Samettimuurahaisen (*F. cinerea*) maanalaisessa superkoloniassa on useita oviaukkoja. Kuva: Sanja Hakala.
- Mustamuurahaisen (*F. fusca*) kanton koverrettuja pesäkäytäviä. Tämä laji elää usein myös kivien alla maapeissä. Kuva: Sanja Hakala.
- Loviniskamuurahaisen heinäpesiä monipesäisestä yhteiskunnasta, jossa pesien välillä kulkee polkuja. Kuva: Frode Ødegaard.

ningattariset pesät muodostavat jopa useita hehtaareja kattavia monipesäisiä verkostoja, jolloin alueen kaikki pesät kuuluvat samaan yhteiskuntaan (Helanterä 2022). Välille mahtuu yksittäisten pesien yhteiskuntia, joissa kuningattaria on kourallinen kussakin, ja muutamien pesien rykelmiä.

Muutos perherakenteessa on seurausta muutoksesta käyttäytymisessä, erityisesti levittäytymiseen liittyen (Hakala ym. 2019): Ydinperhe säilyy ydinperheenä, koska nuoret siivekkäät muurahaisprinsessat lähtevät kotipesästään parittelulennolle ja perustamaan uusia pesiä kauas kotipesän reviiristä, ja vain vanha kuningatar jatkaa lisääntymistä kotipesässä. Monikuningattariset suurperheet taas syntyvät, kun osa prinsessoista jättääkin lentämättä. Ne parit-

televat pesässä tai sen tuntumassa, pudottavat siipensä ja jäävät kotipesäänsä lisääntymään siellä jo olevien sukulaistensa oheen. Myös työläisten käytöksessä tapahtuu muutoksia. Toisin kuin ydinperheessä, monikuningattarisessa yhteiskunnassa työläiset hyväksyvät monta lisääntyjää, vaikka se madaltaakin sukulaisvalinnan kannalta keskeistä pesän asukkaiden välistä sukulaisuutta ja saattaa johtaa lisääntymiseen resurssikilpailuun ja ristiriitoihin (Kuva 2; Tietolaatikko 2) yhteiskunnan sisällä. Jos työläiset auttavatkin kaukaisempaa sukulaistaan lisääntymään oman äidin sijasta, työläisten näkökulmasta auttamisen hyödyt laskevat. Monila muurahaislajeilla yhteiskuntia on kumpaakin tyyppiä, joko sekaisin samassa populaatiossa tai eri populaatioihin jakaantuneena (Booms-

Tietolaatikko 1: Suomessa tutkitaan monia *Formica*-suvun muurahaislajeja.

Suomessa elää 20 *Formica*-suvun lajia (Laji.fi 2022), jotka on sijoitettu viiteen eri alasukuun, tosin ryhmän taksonomia on jossain määrin epäselvä, ja jotkin lajit myös risteytyvät keskenään (Purcell ym. 2016; Hakala ym. 2018; Pamilo & Kulmuni 2022). Kolme lajirikkainta alasukua ovat suuria neulaspesiä rakentavat punaruskeat kekomuurahaiset (*Formica s.str.* tai *F. rufa*-ryhmä), pienempiä heinäpesiä rakentavat punaruskeat loviniskamuurahaiset (*Coptoformica*), ja maanalaisia pesiä rakentavat mustamuurahaiset (*Serviformica*). Lisäksi Suomessa elävät omiin ryhmiinsä luettavat verimuurahainen (*F. sanguinea*) ja mustapäämuurahainen (*F. uralensis*). Kaikissa alasuviissa ilmenee vaihtelua sosiaalisissa rakenteissa, mikä tekee suvusta erinomaisen tutkimuskohteen sosiaalisuuden evoluution ymmärtämiseksi (Seifert 2018).

Suomen kekomuurahaislajeissa on sekä useimmiten yksikuningattarisia lajeja (punakekomuurahainen *F. rufa*, karvakekomuurahainen *F. lugubris*), että liki aina monipesäisiä superkolonioita muodostavia lajeja (tupsukekomuurahainen *F. aquilonia* ja kaljukekomuurahainen *F. polycytena*, joista jälkimmäisestä elää Suomessa lähinnä risteymäpopulaatioita (Tietolaatikko 3), ja myös lajeja joilla on sekä yksi- että monikuningattarisia pesiä (kantomuurahainen *F. truncorum* ja niittymuurahainen *F. pratensis*) (Elias ym. 2005; Helanterä ym. 2016; Schultner ym. 2016). Myös loviniskamuurahaisilla (joista on tutkittu lähinnä karvaloviniskaa *F. exsecta* ja kaljuloviniskaa *F. pressilabris*) on lajinsisäistä vaihtelua yksikuningattarisuudesta superkoloniaalisuuteen asti (Kennedy ym. 2014; Schultner ym. 2014; Sundström & Vitikainen 2021). Mustamuurahaisella (*F. fusca*) ja pohjanmustamuurahaisella (*F. lemani*) on sekä yksi- että monikuningattarisia pesiä, mutta ei monipesäisyyttä tai superkolonioita, kun taas joillakin sukulaisilla, kuten samettimuurahaisella (*F. cinerea*) on myös superkolonioita (Goropashnaya ym. 2001; Hannonen ym. 2004; Seppä ym. 2009).

ma ym. 2014). Näiden lajien perimä siis mahdollistaa kaksi hyvin erilaista käyttäytymismallia.

Suurperheessä elämisen ekologiset hyödyt

Mitkä tekijät ovat monikuningattarisuuden taustalla, eli milloin ydinperhe kannattaa laajentaa suurperheeksi? Hypoteeseja on monia. Lisäkuningatarten tuoma geneettinen monimuotoisuus voi parantaa yhteiskunnan mahdollisuuksia taistelussa taudinaiheuttajia vastaan, tai tehostaa toimintaa työläisten suuremman monimuotoisuuden kautta. Helpoiten mitattavat hyödyt ovat kuitenkin ekologisia. Useampi kuningatar on ikään kuin yhteiskunnan henkivakuutus kallisarvoisen kuningattaren kuoleman tai yhteiskunnan osan tuhoutumisen varalta. Useampi kuningatar myös kasvattaa yhteiskunnan kokoa, koska ne voivat yhdessä tuottaa enemmän työläisiä. Tämä puolestaan nostaa pesän kilpailukykyä ja voi olla tarpeen naapuripesiä vastaan kamppailtaessa – muurahaisten pahimpia vihollisia ovat usein toiset

muurahaiset, joten paikallisessa kilpailussa hyödylliseen yhteiskunnan kasvuun panostaminen voi hyvinkin kannattaa. Monikuningattarisuus mahdollistaa myös monipesäisen yhteiskuntarakenteen, missä yksi yhteiskunta voi silmikoimalla laajeta hallitsemaan suurempia alueita (Ellis & Robinson 2014). Monikuningattarisuus on siis ekologisesti menestyksekkäs strategia: pesän eliniän lisäksi sen koko ja kilpailukyky kasvavat (Rosengren ym. 1993). Äärimmillään tämä kilpailuetu on superkolonioissa: tiheä polkujen yhdistämä pesäverkosto syrjäyttää kilpailijat laajalta alueelta ja hallitsevan superkoloniaalisen yhteiskunnan muurahaistiheys kasvaa hyvin suureksi (Helanterä 2022).

Monikuningattarisuus muistuttaa sosiaalisena käyttäytymisenä useiden lintujen ja nisäkkäiden yhteisöllistä lisääntymistä, esimerkiksi kotihiirinaaraiden tapaa synnyttää poikasensa jaettuun pesäkoloon ja jakaa myös ravinnonhaun ja imetyksen kustannukset (Auclair ym. 2014). Tällainen yhteistyö on erityisen hyödyllistä silloin, kun elinympäristö on vaihteleva



Kuva 2. Muurahaisyhteiskunnan elämään liittyy monta vaihetta, joista syntyy jännitteitä pesän yksilöiden välille.

- a) Tämä yksikuningattarisen pesän tuottama niittymuurahaiskoiras (*F. pratensis*) on työläisille keskimäärin vähemmän sukua kuin saman pesän tuottama prinsessa. Työläisten edun mukaista olisi kasvattaa enemmän prinsessoja, kun taas muniva kuningatar hyötyy molemmista sukupuolista yhtä lailla. Kuva: Sanja Hakala.
- b) Niittymuurahaisprinsessa (*F. pratensis*) lähdössä häälenolle. Koiraiden ja prinsessojen kasvattamiseen ja niiden levittäytymispäätöksiin liittyy runsaasti ristiriitoja. Kuva: Sanja Hakala.
- c) Kaksi samassa yhteiskunnassa elävää mustamuurahaiskuningatarta (*F. fusca*). Tällä lajilla työläiset tunnistavat, kumpi kuningattarista on niille enemmän sukua, ja pystyvät hoivaamaan sen jälkeläisiä enemmän. Kuva: Martina Ozan.
- d) Jonkin mustamuurahaislajin (*Serviformica*) kuningatar, työläisiä ja eri ikäisiä jälkeläisiä. Pesän jokaisella kastilla saattaa olla toisistaan poikkeavat mieltymykset sen suhteen, kuinka resurssit jaetaan. Kuva: Pan Weterynarz.
- e) Mustamuurahaistoukka (*F. fusca*) ja muna. Kuva: Unni Pulliainen.
- f) Toukka on imenyt munan tyhjiin, ja jäljellä ovat vain kuoret. Sisarusten välinen kannibalismi on hyvä esimerkki siitä, ettei pesän elämä ole auvoista ja ristiriidatonta. Kuva: Unni Pulliainen.

tai äärimmäinen olosuhteiltaan, jolloin yksin lisääntyminen todennäköisesti epäonnistuisi (McLeod & Wild 2014). Myös muurahaisilla monikuningattarisuuden on havaittu olevan yhteydessä hankaliin ympäristöoloihin ja pesäpaikkojen vähyyteen tai voimakkaaseen kilpailuun (Herbers 1986; Bourke & Heinze 1994; Heinze & Rueppell 2014). Sen, kannattaako jäädä lisääntymään aivan sukulaisten lähelle resurssikilpailun ja haitallisen sisäsiittoisuuden uhallakin, määrää yhtäältä se, miten epävarmaa levittäytymisen onnistuminen on (Ronce 2007). Toisessa vaakakupissa taas on yhteiskunnan sosiaalinen rakenne; kuinka monta kuningatarta siellä jo on, kuinka läheisiä sukulaisia ne ovat, ja mitkä ovat uuden tulokkaan lisääntymismahdollisuudet (Hakala ym. 2019). Muurahaisten

evoluutiota ohjaavat aina sekä yhteiskunnan sisäiset perhekuviot ja valintapaineet, että ulkoisen ympäristön rajoitteet. Yhdessä ne määräävät luonnonvalinnan tulokset sekä sen, kuinka populaatiot sopeutuvat tulevaisuuden elinympäristöihin.

Yksilöiden ja yhteiskunnan ominaisuudet kytkeytyvät pesän kuningatarmäärään

Erialaisten ympäristöolojen lisäksi yhteiskuntien sosiaalinen rakenne on yhteydessä moneen muuhunkin muurahaisten biologian osa-alueeseen, eikä aina ole selvää, mikä on syy ja mikä seuraus. Pesien "sosiaalinen fysiologia", johon kuuluu esimerkiksi resurssien jakaminen yhteiskunnan eri toimintoihin sekä erilaiset keinot

Tietolaatikko 2: Yhteistyöhön liittyy aina ristiriitoja.

Kun yksilöiden välinen sukulaisuusaste yhteiskunnassa laskee, erilaiset lisääntymiseen ja resurssien jakoon liittyvät ristiriidat lisääntyvät, koska yhteiskunnan eri jäsenet eivät saa tasapuolisesti kelpoisuushyötyä kaikista jälkeläisistä. Yhteiskunnan kuningatarmäärään ja niiden levittäytymiskäyttäytymiseen liittyvät ristiriidat vaikuttavat sen toimintaan suuresti (katso varsinainen teksti), mutta myös resurssien jakamiseen työläisten vs. prinsessojen ja koiraiden tuottamiseen liittyy ristiriitoja – ei ainoastaan kuningatarten ja työläisten välillä, mutta myös kehittyvien jälkeläisten ja aikuisten välillä.

Yhteiskunnan tuottamat toukat saattavat esimerkiksi yrittää lisätä omia resurssejaan syömällä pesän muita jälkeläisiä eli munia – tällaisen kannibalismin on osoitettu olevan yleisempää niillä lajeilla, joiden pesissä on enemmän kuningattaria eli alhaisempi sukulaisuus (Schultner ym. 2014). Oleellinen kysymys monikuningattarisen yhteiskunnan sisäisiä ristiriitoja tutkittaessa on se, kykenevätkö yksilöt tunnistamaan lähisukulaisensa. Yleensä oletetaan, että läheisten ja kaukaisten sukulaisten tunnistaminen on vaikeaa, ja tämä informaation rajallisuus, sosiaalinen sokeus, on tärkeä syy pesien harmonian edes jonkinlaiselle säilymiselle. Mustamuurahaiset sitä vastoin näyttävät olevan poikkeuksellisen tarkkoja sukulaisten tunnistajia. Sekä työläiset että kuningattaret pystyvät arvioimaan, kuinka läheistä sukua ketkäkin pesän jäsenet ovat, ja muuttamaan käyttäytymistään sen mukaan (Hannonen & Sundström 2003; El-Showk ym. 2010; Helanterä ym. 2023).

Pesän tuottamien lisääntymiskykyisten jälkeläisten sukupuoleen liittyvä ristiriita on monimutkaisempi: jos yhteiskunnassa on vain yksi, yhden kerran paritellut kuningatar, se jakaa 50 % geenimuodoistaan kaikkien jälkeläisten kanssa, niiden sukupuolesta riippumatta – mutta työläiset ovat paljon enemmän sukua prinsessoille (75 %) kuin koiraille (25 %). Äärimmäisessä tapauksessa tämä voi johtaa työläisten rajuihin toimiin: pesissä, joissa työläisten sukulaisuus prinsessoihin on kaikkein korkein, työläiset surmaavat koirastoukat, ja ohjaavat näin vapautuvan ravinnon kehittyville prinsessoille, sisarilleen (Sundström ym. 1996). Kun kuningatarmäärä, tai niiden kanssa paritelleiden koiraiden määrä laskee, työläisten keskimääräinen sukulaisuus kaikkiin jälkeläisiin laskee – näin ristiriita muuttaa muotoaan, muttei koskaan kokonaan katoa.

Konflikti syntyy myös siitä, että monien muurahaislajien työläisetkin pystyvät munimaan, vaikka parittelukyvyttöminä munivatkin ainoastaan hedelmöittymättömiä, koiraksi kehittyviä munia. Myös monilla *Formica*-suvun lajeilla geneettiset tutkimukset ovat paljastaneet, että työläiset ujuttavat omia muniaan kuningatarten munien sekaan (Helanterä & Sundström 2005, 2007). Tällöin toiset työläiset näyttävät puuttuvan peliin ja poistavan näiden sooloilijoiden munat – kasvatetussa jälkeläisissä työläisten poikia ei ole havaittu.

koordinoida yhteisön toimintaa (Friedman ym. 2020), on monikuningattarisissa yhteiskunnissa varsin erilainen kuin yksikuningattarisissa. Tämä näkyy usein myös yksilötason muutoksina. Monikuningattarisissa, ja erityisesti monipesäisyyteen siirtyneissä suurissa yhteiskunnissa, kuningattaret ovat usein lyhytikäisempiä, pienikokoisempia ja huonompia levittäytymään kuin yksikuningattaristen pesien kuningattaret (Rosengren & Pamilo 1983; Keller 1993). Sosiaalisen rakenteen, yhteiskunnan sosiaalisen fysiologian ja ekologisen ympäristön välillä on evolutiivisia takaisinkytkentöjä (Hakala 2020).

Kuningatarten määrä esimerkiksi vaikuttaa siihen, miten kiivasta yhteiskunnan sisäinen kilpailu on. Tämä voi vuorostaan vaikuttaa prinsessojen kokoon ja kuntoon, mitkä taas osaltaan vaikuttavat siihen, kannattaako niiden lähteä yrittämään oman pesän perustamista vai jäädä kotiin kilpailemaan (Sundström 1995). Näin siis yhteiskunnan eri käyttäytymismallit ja fysiologiset piirteet kehittyvät rinta rinnan toistensa evoluutioon vaikuttaen.

Erytisen monimutkainen tilanne on lajeilla, joilla on yhtä aikaa useamman tyyppisiä sosiaalisia rakenteita. Kun parittelut erityyppisistä

yhteiskunnista tulevien yksilöiden välillä yhdistävät eri muodot samaan geenipooliin, miten varmistetaan, että toisiaan tukevat ominaisuudet periytyvät yhdessä eivätkä sekoitu toisen muodon ominaisuuksiin? Yksi ratkaisu löytyy perimän erikoisesta rakenteesta: useissa muurahaisryhmissä on kehittynyt supergeenejä, eli kytkeytyneitä geenikokonaisuuksia, joissa jopa satoja geenejä periytyy toisiinsa kytkeytyneinä yhdistelminä, ilman että rekombinaatiolla on mahdollisuutta sekoittaa alleeleja supergeenin kahden eri version välillä. Nämä "sosiaalisuus-kromosomit" voivat kontrolloida samaan aikaan useita erityyppisille yhteiskunnille tyypillisiä ominaisuuksia kuten kuningatarten käytöstä ja sitä, hyväksyvätkö työläiset pesään yhden vai useamman lisääntyvän kuningattaren. Tällä hetkellä sosiaalisia supergeenejä tiedetään syntyneen ainakin viidessä eri muurahaissuvussa toisistaan riippumatta (*Solenopsis*, *Formica*, *Cataglyphis*, *Pogonomyrmex* ja *Leptothorax*; Kay ym. 2022). Sosiaalista monimuotoisuutta esiintyy kuitenkin myös lajeilla, joilla ei ole sitä kontrolloivia supergeenejä (Favreau ym. 2022).

Kahden sosiaalisen tyyppin säilyminen voi selittyä samanaikaisesti sekä ekologialla että perimän sisäisillä tekijöillä, tai niiden yhteispeleillä. Eri yhteiskuntatyyppit ovat erikoistuneet erilaisiin elintyyleihin, jotka pärjäävät hiukan erilaisissa ympäristöissä: Esimerkiksi *Formica selysi* -mustamuurahaisella (meikäläisen samettimuurahaisen keskieuropalainen lähisukulainen) monikuningattariset pesät ovat ekologisesti dominoivia ja valtaavat ennen pitkää vakaat ja pysyvät elinalueet. Laji kuitenkin levittäytyy uusille alueille pääasiassa yksikuningattarisista pesistä tulevien pesiä perustavien kuningatarten avulla, joten yksikuningattarinen muoto säilyy valtaamalla aina uusia elinpaikkoja (Fontcuberta ym. 2021). Jopa lajin monikuningattariset pesät syntyvät todennäköisesti pääasiassa yksikuningattarisesta yhteiskunnasta lentäneen kuningattaren perustamina, koska jos tällainen kuningatar parittelee monikuningattarisen pesän koiraan kanssa, kaikki sen

naaraspuoliset jälkeläiset, niin työläiset kuin työtärkuningattaretkin, kantavat monikuningattarisuuden mahdollistavaa supergeenin muotoa ja pesä muuttuu lopulta monikuningattariseksi (Fontcuberta ym. 2021).



Sanja Hakala Hankoniemen hiekkarannalla heinäkuussa 2017 keräämässä samettimuurahaisen koteloita. Niistä kuoriutui myöhemmin laboratorioissa lentäviä koiraita ja kuningattaria. Kuva Tanya Troitsky.

Formica selysi -mustamuurahaisen supergeeniin liittyy geneettisesti itsekkäitä ominaisuuksia, jotka johtavat siihen, että monikuningattariset pesät eivät ikinä tuota jälkeläisiä, jotka kantaisivat vain yksikuningattarisuuden mahdollistavaa supergeenin muotoa (Avril ym. 2020). Supergeenin suhteen heterotsygoottisten kuningatarten munista kaikki ne, joissa ei ole monikuningattarisuuden mahdollistavaa muotoa, kuolevat ennen kuoriutumistaan; supergeenin monikuningattariseen muotoon liittyy tappava, äidin perimän kaltaista perimää suosiva ominaisuus (Avril ym. 2020). Vielä ei tiedetä, mikä mekanismi ilmiön taustalla on, mutta tämä tasapainottanee entisestään molempien sosiaalisten rakenteiden säilymistä populaatiossa. Sama supergeenirakenne on löydetty myös kotoisilta mustamuurahaisiltamme, joilla on sekä yksi- että monikuningattarisia pesiä, mutta itsekkään tappajageenin olemassaoloa ei ole näillä lajeilla vielä näytetty. Muiden vastikään löydettyjen muurahaisten supergeenin osalta ei vielä tiedetä, onko niissä vastaavia le-

taaleja ominaisuuksia.

Yhteiskunnat voivat hyötyä monikuningattarisuudesta, mutta uusien kuningatarten mukana kylvetään myös ristiriitojen siemeniä. Kun yhteiskunnassa on useampia kuningattaria, sen kaikkien jäsenten välinen sukulaisuus on alhaisempi kuin yhteiskunnassa, jossa on vain yksi kuningatar (Bourke & Franks 1995). Tällöin työläisten tekemä työ ei automaattisesti koidu niiden lähisukulaisen eduksi, ja epäitsekkyyttä suosiva sukulaisvalinta heikkenee. Tämä johtaa ristiriitojen lisääntymiseen: yhteiskunnan eri jäsenet eivät hyödy tasapuolisesti kaikista tuottamista jälkeläisistä (Tietolaatikko 2). Mitä suurempi yhteiskunta on, ja mitä alhaisemmaksi sukulaisuus laskee, sitä kannattavammiksi itsekkäät strategiat tulevat. Tästä syystä varsinkin kaikkein suurimpien, alhaisimman sukulaisuuden yhteiskuntien eli superkolonioiden,



Jonna Kulmuni Hankoniemellä tutkimusryhmänsä kanssa. Taustalla on tupsu- ja kaljukekomuurahaisristeymien pesä, jota ryhmä seuraa pitkäaikaistutkimuksessa ja selvittää miten vaihteleva ilmasto vaikuttaa pesän sisälämpötilaan ja muurahaisten selviytymiseen. Kuva Jonna Kulmuni.

evoluutiivinen vakaumus on heikolla pohjalla – on mahdollista että ne ovat pääasiassa väliaikaisia, lopulta ristiriitoihin kaatuvia altruismin ylilyönnejä (Helanterä ym. 2009, Helanterä 2022).

Monikuningattarisuus muuttaa perustavanlaatuisesti yhteiskuntien elinkiertoa, koska ne voivat teoriassa elää rajattomasti aina uusien

kuningatarten voimin. Tällainen pitkäikäinen, vahva yhteiskunta puolestaan vaikuttaa siinä elävien yksilöiden strategioihin – varsinkin nuorille prinsessoille ja koiraille aukenee perinteen muualle levittäytymisen sijaan myös vaihtoehto jäädä ja paritella kotiyhteiskunnassa, entisestään sitä kasvattaen. Koska sekä työläiset että kuningattaret voivat liikkua yhteiskunnan sisällä pesästä toiseen, ja yksi ainoa yhteiskunta voi levitä kattamaan kokonaisen populaation, yhteiskunnan sisäinen sukulaisuus on lopulta hyvin alhainen (Schultner ym. 2016). Toisaalta, jos yhteiskunta tosiaan laajenee hyvin suureksi, kaikki yksilöt eivät kuitenkaan sekoitu läpi koko alueen, mikä johtaa viskoosiin geneettiseen rakenteeseen (Hakala ym. 2020): Käytännössä yhteiskunnan sisällä lähemmissä pesissä yksilöt ovat läheisempää sukua, ja kaikki yksilöt ovat eniten tekemisissä lähisukulaisten kanssa. Yksittäisen kuningattaren siirtyminen vaikka vain muutamia pesiä kauemmas synnyinpesästä johtaa jo siihen, ettei se enää kilpaile oman äitinsä kanssa, vaan käyttää kaukaisempien sukulaisten tuottamia resursseja. Tämä auttaa osaltaan tasapainottamaan sosiaalisia ristiriitoja, ainakin väliaikaisesti. Toisaalta, jos valinta suosii prinsessoja, jotka tosiaan siirtyvät vain muutama pesänmitan päähän, saattaa yhteiskunnalla olla horisontissa ekologisia ongelmia.

Laskeva sukulaisuus voi johtaa ekologiseen umpikujaan

Yhteiskunnan sosiaalisen rakenteen muutoksella on kauaskantoisempiakin seurauksia. Koska monikuningattarisuus ja monipesäisyys liittyvät usein kuningatarten heikkoon levittäytymiseen niiden jäädessä kotipesään tai sen lähelle, kyky vallata uusia elinympäristöjä heikkenee (Hakala ym. 2020). Ääritapauksissa monipesäinen yhteiskunta voi muodostaa nielupopulaation, josta ei juuri lähdetä lennoille oman kotipiirin ulkopuolelle. Elinympäristöjen sirpaloituessa ihmisen toiminnan seurauksena tämä saattaa johtaa joidenkin lajien kantojen

heikkenemiseen. Tyypillisesti uusille elinalueille, kuten avohakkuille, levittäytyy ensin pioneerilajeja (kuten mustamuurahainen ja pohjanmustamuurahainen), joiden prinsessoista valtaosa jättää kotipesänsä ja lähtee lennolle. Myöhemmin saapuvat sosiaalisesti loisivat lajit, kuten kekomuurahaiset ja loviniskamuurahaiset, käyttävät hyväksi mustamuurahaisten pesiä (Punntila 2020). Vahvasti monikuningattariset lajit tai kuningatarmäärältään vaihtelevien lajien monikuningattariset muodot levittäytyvät uusille alueille hitaammin, etenkin jos ne joutuvat saapumaan paikalle lentäen, eivätkä siirtymällä ympäröivän metsän pesistä maata pitkin uudelle alueelle. Jalansijan alueella saatuaan ne kuitenkin valtaavat alaa pesien kasvun ja silmikoitumisen myötä, ja alkavat saada kilpailuetua elinympäristön muuttuessa metsän sukkessiossa (Punntila 2020; Sorvari 2017).

Tehokas levittäytyminen olisi tärkeää myös olemassa olevien populaatioiden välisen geenivirran ylläpitämiseksi. Geenivirta kasvattaa paikallispopulaatioiden monimuotoisuutta, mikä auttaa niitä välttämään sisäsiittoisuudesta johtuvia ongelmia pienissä populaatioissa (Perrin & Goudet 2001). Geneettinen monimuotoisuus on olennaista populaatioiden tulevalle sopeutumiselle ja evoluutiolle, sillä geneettinen muuntelu on evoluution raaka-ainetta. Muurahaisten populaatioiden välinen geenivirta on tyypillisesti enemmän koiraiden ansiota, ja tämä on erityisen totta superkolonioissa, joissa suuri osa prinsessoista jää kotiin (Sundström ym. 2005, Hakala ym. 2019). Silloinkin kun prinsessat jäävät kotipesään tai levittäytyvät vain lyhyitä matkoja työläisten kantamina tai lähipesiin tunkeutuen, koiraat voivat lentää kauemmas parittelemaan muissa populaatioissa. Tämä ylläpitää geenivirtaa populaatioiden välillä, mutta ei auta uusien alueiden valloittamisessa, tai pelasta populaatiota, jonka oma kuningatartuotanto on heikkoa. Koska muurahaiskoiraita on tutkittu hyvin vähän, on vielä epäselvää, kuinka sosiaaliset valintapaineet vaikuttavat niiden levittäytymisen evoluutioon.

On merkkejä siitä, että samoin kuin kuningattarille, myös koiraille voi koitua kelpoisuusetuja paikallisesta parittelusta kauas levittäytymisen sijaan, mikä saattaa jopa johtaa heikkenevän lentokyvyn evoluutioon (Hakala 2020). Jos populaatiossa on liikaa valintapaineita, jotka suosivat kotipesään jäämistä levittäytymisen kustannuksella, saattaa tilanteesta syntyä evolutiivinen ansa, joka lopulta johtaa populaation romahtamiseen.

Yhteiskuntien erilaisten perherakenteiden kytkös erilaisen levittäytymiskäyttäytymisen ja -menestyksen kanssa selittää osaltaan, miksi sosiaalista vaihtelua on olemassa. Tällainen ekologisten ja sosiaalisten valintapaineiden yhteispeli saattaa kuitenkin johtaa ennakoimattomiin tuloksiin muuttuvissa elinympäristöissä, erityisesti muurahaisten kaltaisilla lajeilla, joilla populaatiokoot pesinä laskettuna ovat usein pieniä (Seppä 2009). Geneettisen monimuotoisuuden, ja erityisesti kuningatarmäärän monimuotoisuuden ja siihen liittyvän levittäytymisen monimuotoisuuden, ylläpitäminen onkin olennaista *Formica*-lajien selviytymiselle tulevaisuuden muuttuvissa elinympäristöissä. Oman jännittävän lisänsä tähän monimuotoisuusyhtälöön tuo se, että monet *Formica*-lajit risteytyvät keskenään (Tietolaatikko 3). Jos haluamme ymmärtää populaatioiden ja pesien nykyistä sosiaalista rakennetta ja tulevaa kykyä sopeutua, sukulaivalinnan huomioonottaminen on joka tapauksessa olennaista.

Suurten yhteiskuntien itsekkäät tyttäret

Monikuningattarisuus ja siihen oleellisesti kytkeytyvä levittäytymiskyky ovat malliesimerkki keskeisestä evoluutioteorian viestistä: luonnonvalinnan muovaamat piirteet eivät aina edesauta lajin pitkäaikaista menestystä. Luonnonvalinta on lyhytnäköinen prosessi, joka ohjaa yksilöiden ja sukulinjojen piirteitä suuntiin, jotka maksimoivat yksilön geenien menestyksen tässä ja nyt. Nyt nähtävät ominaisuudet ovat tulosta menneisyyden valintapaineista,

eivät välttämättä sopeumia nykyiseen tai ainaakaan tulevaan ympäristöön. Kuningatarmäärän evoluution ymmärtäminen helpottuu tässä valossa. Se, että yhdessä keossa on satoja, jopa tuhansia kuningattaria, ei ole sen nykyisten asukkaiden menestymisen kannalta edullista – saatikka lajin tulevaisuuden! Se on menneisyyden yksilötason päätösten tulos.

Monikuningattarisuuden ekologisten hyötyjen ja haittojen ohessa on siis analysoitava niitä yksilötason piirteitä, jotka määrittävät yhteiskunnan kuningatarmäärää. Tästä näkökulmasta yhteiskunnissa on kaksi keskeistä toimijaa: nuoret prinsessat, joiden päätös pesästä lähteminen tai sinne jääminen pohjimmiltaan on, sekä työläiset, jotka säätelevät prinsessojen kehitystä. Koska työläiset kasvattavat prinsessat toukista aikuisiksi, ne määräävät niiden ruokintaa säätelemällä prinsessojen määrän ja niiden fyysisen kunnon, ja pystyvät ylivoimaisesti runsaslukuisimpana joukkona päättämään kuka pesään saa jäädä (Beekman & Ratnieks 2003). Sukulaisvalinnan teemojen kannalta keskeistä on näiden kahden tahon välinen ristiriita siitä, kuka lähtee ja kuka jää. Työläisten näkökulmasta uusi kuningatar ei välttämättä tuo merkittävää lisäarvoa, ja niiden kannalta voisi olla parempi, että useampi prinsessa lähtee ja parantaa näin todennäköisyyttä levittää yhteisiä geenejä uusille alueille, välttäen kilpailua sukulaisten kanssa. Prinsessan itsekkästä näkökulmasta taas voisi olla kannattavaa välttää lähtemisen riskit ja jäädä kotipesään, vaikka hintana olisi lisääntynyt kilpailu pesässä olevien kuningarten kanssa. Vanhat lisääntyvät kuningattaret eivät puolestaan nekään luultavasti hyödy uusista kuningattarista, mutta niiden vaikutusmahdollisuudet prinsessojen kohtaloon ovat työläisiä heikommat.

Levittäytyminen riippuu kahdesta seikasta: yksilöiden fyysisestä kyvystä levittäytyä ja niiden halusta tehdä niin. Fyysiseen kykyyn vaikuttaa olennaisesti työläisten kehittyville prinsessoille antama hoiva: lentämiseen tarvittavien lihasten kasvatus, ja pesänperusta-

miseen tarvittavat rasva- ja proteiiniresurssit vaativat runsaasti ravintoa (Helms 2018). Kantomuurahaisella, jolla on sekä yksi- että monikuningattarisia pesiä, on havaittu, että yksikuningattaristen pesien prinsessoilla ja koirailla on paremmat resurssit ja lentolihakset (Sundström 1995; Johnson ym. 2005). Toisaalta useampaa *Formica*-lajia vertailtaessa tämä ei vaikuta olevan yleinen sääntö, ja kuningatarmäärästä riippumatta kaikkien lajien prinsessat olisivat kyllä kykeneviä lentämään ja perustamaan uusia pesiä (Hakala 2020). Se, että superkoloniaalisissa lajeissa niin suuri osuus prinsessoista jättää lentämättä, vaikka ne saavat yhteiskunnalta siihen tarvittavat resurssit, saattaa siis olla puhtaasti käyttäytymistason päätös.

Mitkä tekijät laukaisevat päätöksen siitä, lähteäkö vai jäädä? Muutamia vuosia sitten yrityksemme tutkia superkoloniaalisen tupsukekomuurahaisen kuningarten käytöstä saivat yllättävän käänteen, joka paljasti kokonaan



Heikki Helanterä Pyhätunturin kansallispuistossa vuonna 2020. Tässä kekomuurahaisia ainoastaan ihailaan, ei kerätä. Kuva Krista Mäkinen.

Tietolaatikko 3: Sisarlajien geenit auttavat sopeutumisessa muuttuvaan ympäristöön.

Geneettiset tutkimukset ovat paljastaneet, että lajien välinen risteytyminen ja geenivirta lajista toiseen on luultua yleisempää. Aiemmin risteymien ajateltiin olevan epäkelpoja luonnonoikkuja, jotka eivät voi jatkaa sukua. DNA-sekvensointimenetelmien kehittyessä on kuitenkin huomattu, että useiden lajien perimässä on toisesta lajista peräisin olevaa DNA:ta. Tämä pitää paikkansa myös ihmisen kohdalla ja vuoden 2022 lääketieteen Nobel -palkinto myönnettiin ruotsalaiselle geneetikolle, Svante Pääbölle, joka on mm. tutkinut nykyihmisen risteytymistä muiden varhaisten ihmislajien kanssa. Myös muurahaiset risteytyvät ahkerasti. Suomen kekomuurahaislajeista viiden tiedetään risteytyvän keskenään, joidenkin niistä usean eri lajin kanssa (Satokangas ym. 2023).

Risteytymisellä voi olla mutkikkaita seurauksia, kuten kekomuurahaistutkimukset ovat paljastaneet. Tupsu- ja kaljukekomuurahaisten risteymiä on tutkittu Suomessa jo parikymmentä vuotta. Risteymämuurahaisten munien kuoriutumistodennäköisyys laboratoriossa on 84 % alhaisempi kuin tupsukekomuurahaisen, paikallisen vanhemmaislajin (Beresford 2021). Toisaalta monikuningattariset ja superkoloniaaliset yhteiskunnat voivat tuottaa tuhansia munia päivässä, eivätkä kaikki munat kuoriudu tai selviä aikuisiksi tupsukekomuurahaisellakaan. Siksi heikon kuoriutumispersenttien ekologinen merkitys on vielä epäselvä. Lisäksi risteymäkoiraiden kuolleisuus on korkea myös toukkakehityksen aikana, vaikka naaraat näyttävätkin hyötyvän risteytymisestä (Kulmuni & Pamilo 2014).

Miksi risteytymistä esiintyy niin paljon, jos sillä on selkeitä haitallisia vaikutuksia? Eteläisemmän Euroopan laji kaljukekomuurahainen, joka elää Suomessa esiintymisalueensa pohjoisreunalla, saattaa risteytyä täällä siitä yksinkertaisesta syystä, että harvinaisena lajina sen on vaikea löytää oman lajin parittelukumppaneita. Toisaalta lajien elintavat voivat luoda risteymäpopulaation synnylle otolliset olosuhteet. Kekomuurahaiset tunkeutuvat usein joko oman tai toisen lajin pesiin parittelunsa jälkeen. Kalju- ja tupsukekomuurahaisten kaltaisilla lajeilla, joilla on taipumus sekä tällaiseen loisintaan että monikuningattarisuuteen, nuoret prinsessat saatetaan hyvinkin hyväksyä ylimääräisiksi kuningattariksi valmiisiin monikuningattarisiin pesiin, joissa työläiset eivät ole turhantarkkoja kuningatarten suhteen. Jos kekomuurahaisprinsessa päätyy sisarlajin pesään, sen jälkeläisillä on tarjolla ylen määrin vääränlaisia parittelukumppaneita heti kotipesän käytävillä, ja pesä voi ajan mittaan muuttua eriasteisten risteymien sekoitukseksi (Seifert ym. 2010). Suuri määrä munivia kuningattaria myös tarkoittaa sitä, että risteymämunien ja -toukkien suuri kuolleisuus ei koidu yhteiskunnan kohtaloksi.

Risteytymisellä voi olla myös positiivisia vaikutuksia. Tupsukekomuurahainen on sopeutunut kylmään ilmastoon ja kärsii lämpimistä talvista. Jos talvi on lämmin, talvehtivien yksilöiden aineenvaihdunta kiihtyy ja ne alkavat käyttää rasvavarastojaan (Sorvari ym. 2014). Nämä rasvavarastot olisivat kuitenkin ensiarvoisen tärkeitä keväällä, kun pesät heräävät, eikä muuta ruokaa vielä ole tarjolla. Rasvavarastojen käyttö talvella heikentää kevään lisääntymismenestystä. Etelä-Suomesta tunnetaan useita risteymäpopulaatioita, joissa tupsukekomuurahainen on risteytynyt eteläisen kaljukekomuurahaisen ja punakekomuurahaisen kanssa (Satokangas ym. 2023). Risteymäpopulaatiot elävät lämpimämmillä paikoilla ja niiden pesät ovat sisältä lämpimämpiä kuin tupsukekomuurahaisen. Laboratoriokokeissa risteymät kestävät kuumia olosuhteita paremmin kuin tupsukekomuurahainen, joka vajoaa kuumakoomaan selvästi aiemmin kuin risteymät (Martin-Roy ym. 2021). Ilmaston lämmitessä voi voittaja olla eteläisen ja pohjoisen lajin risteymä, joka pärjää paremmin lämpimissä olosuhteissa. Evoluution aikaperspektiivissä saattaakin olla hyödyllistä, jos lajit eivät eriydy sisarlajeista kokonaan, vaan mahdollisuus risteytymiseen ja geenivirtaan säilyy, vaikka se olisi yksilötasolla haitallista. Naapurilajilta saadut geenit voivat auttaa sopeutumisessa uuteen ympäristöön, kuten tiedetään tapahtuneen muun muassa *Heliconius*-suvun perhosten, kotihiiren ja Tiibetissä asuvien ihmisten kohdalla.

uuden näkökulman tähän ristiriitaan. Havaitimme työläisten tappavan itse kasvattamiaan prinsessoja pesissä, josta ne eivät pystyneet lentämään pois (Lindgren 2019). Vaikuttaa siltä, että evoluutio on ajanut nämä yhteiskunnat tilanteeseen, jossa itsekkäiden prinsessojen voi olla kannattavampaa yrittää jäädä pesään työläisten aggression uhallakin kuin lähteä koettamaan onneaan muualla. Lisääntymiskykyisiksi kasvatettujen yksilöiden surmaaminen voi vaikuttaa järjettömältä resurssien tuhlaukselta, mutta sukulaisuuden ollessa matala ristiriitoihin saattaa hukkua iso osa yhteiskunnan resursseista. Työläisten aggressivisuus, jos se luonnonoloissa ajaa edes osan prinsessoista häälenolle, lienee käytännössä kelvollinen ratkaisu mahdottomalta tuntuvaan umpikujaan – ainakin joidenkin sukupolvien ajan. Vastaavanlaisia kuningatarten joukkosurmia, joko toukka- tai aikuisvaiheissa, on havaittu myös muilla muurahaislajeilla, joiden yhteiskunnat ovat erittäin monikuningattarisia (Keller ym. 1989; Vargo & Passera 1991; Passera ym. 1995; Reuter ym. 2001; Klobuchar & Deslippe 2002).

Muurahaisten menestyminen on tärkeää ekosysteemille

Muurahaisten parittelu- ja levittäytymiskäyttäytyminen on monimutkaisten syiden summa, ja muodostaa valtaisan ekologis-evoluutiivisen vuorovaikutusvyöhydin. Tämä kokonaisuus määrittää niin pesien sisäisen geneettisen rakenteen kuin geenien liikkeitä populaatioiden ja jopa lajien välillä (Tietolaatikko 3). Muurahaiset ovat luontomme avainlajeja: ne ovat ekosysteemi-insinöörejä, jotka muokkaavat maaperää, levittävät siemeniä, tarjoavat pesissään elinpaikkoja muille lajeille ja kontrolloivat saalistamiensa lajien populaatioita. Sillä, millaisia muurahaispopulaatiota luonnossamme on ja kuinka ne voivat, on kauaskantoisia seurauksia ekosysteemien tasolla. On keskeistä ymmärtää, miten muurahaiset selviävät ihmisten muokkaamassa maailmassa, ja miten ne löytävät

pesäpaikkansa metsien, soiden, niittyjen ja tuntureiden muuttuessa dramaattisesti tulevina vuosikymmeninä ilmastonmuutoksen ja luontokadon seurauksena. Muurahaisten selviytymisen avaimet ovat yksilöiden käyttäytymispäätöksissä ja niiden evoluutiossa, joka voi sekä ratkoa ongelmia että luoda uusia.

Ei ole itsestään selvää, että muurahaisten yhteiskunnat selviävät ympäristön muutoksista. Muurahaisyhteiskunnat pysyvät paikallaan, joten sopivien olosuhteiden perässä paikasta toiseen siirtyminen tapahtuu ainoastaan kuningattarien levittäytymisellä ja uusien yhteiskuntien perustamisella. Tulevaisuuden muurahaispopulaatioiden kohtalon määrää se, kuinka halukkaita nuoret prinsessat ovat jättämään pesänsä, kenen kanssa ne parittelevat ja kuinka ne perustavat uusia pesiä. Yksittäisten yksilöiden päätökset määräävät sen, mikä laji löytää mihinkin elinympäristölaikkuun ja muodostavatko ne sinne pieniä ydinperheitä vai jättimäisiä miljoonien muurahaisten pesäverkostoja. Toki lajit myös sopeutuvat muutoksiin evoluutioprosessin kautta, ja luonnonvalinta uudessa ympäristössä muokkaa prinsessojen käytöstä. Tämä on kuitenkin hidas prosessi, joka ei välttämättä johda populaatioiden kannalta edulliseen lopputulokseen, vaan voi tuottaa yllätyksiä. Itsekään prinsessan strateginen kotona pysyminen voi olla evolutiivinen umpikuja – toisaalta taas vahinkoparittelu toisen lajin koiraan kanssa voi tuoda populaatioon tärkeitä uusia genejä ja auttaa populaatioita sopeutumaan muuttuvassa ympäristössä!

Kirjallisuus

- Auclair Y, König B, Ferrari M, Perony N & Lindholm AK 2014 Nest attendance of lactating females in a wild house mouse population: Benefits associated with communal nesting. *Anim Behav* 92: 143–149. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.03.008>
- Avril A, Purcell J, Béniguel S & Chapuisat M 2020 Maternal effect killing by a supergene con-

- trolling ant social organization. *P Natl Acad Sci USA* 117: 17130–17134. Saatavissa: <https://doi.org/10.1073/pnas.2003282117>
- Beekman M & Ratnieks FLW 2003 Power over reproduction in social Hymenoptera. *Philos T R Soc B* 358: 1741–1753. Saatavissa: <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1262>
- Beresford J 2021 The role of hybrids in the process of speciation; a study of naturally occurring *Formica* wood ant hybrids. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/335389>
- Boomsma JJ & Gawne R 2018 Superorganismality and caste differentiation as points of no return: how the major evolutionary transitions were lost in translation. *Biol Rev* 93: 28–54. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/brv.12330>
- Boomsma JJ, Huszár DB & Pedersen JS 2014 The evolution of multiqueen breeding in eusocial lineages with permanent physically differentiated castes. *Anim Behav* 92: 241–252. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.03.005>
- Bourke AFG & Franks NR 1995 *Social Evolution in Ants*. Princeton University Press.
- Bourke AFG & Heinze J 1994 The ecology of communal breeding: The case of multiple-queen leptothoracine ants. *Philos T R Soc* 345: 359–372. Saatavissa: <https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0115>
- Elias M, Rosengren R & Sundström L 2005 Seasonal polydomy and uniclonality in a polygynous population of the red wood ant *Formica truncorum*. *Behav Ecol Sociobiol* 57: 339–349. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/S00265-004-0864-8>
- Ellis S & Robinson EJM 2014 Polydomy in red wood ants. *Ins Soc* 61: 111–122. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s00040-013-0337-z>
- El-Showk S, van Zweden JS, d’Ettorre P & Sundström L 2010 Are you my mother? Kin recognition in the ant *Formica fusca*. *J Evol Biol* 23: 397–406.
- Favreau E, Lebas C, Stolle E, Priyam A, Pracana R, Aron S & Wurm Y 2022 No supergene despite social polymorphism in the big-headed ant *Pheidole pallidula*. *BioRxiv*, saatavissa: <https://doi.org/10.1101/2022.12.06.519286>
- Fontcuberta A, De Gasperin O, Avril A, Dind S & Chapuisat M 2021 Disentangling the mechanisms linking dispersal and sociality in supergene-mediated ant social forms. *P R Soc B* 288. Saatavissa: <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0118>
- Friedman DA, Johnson BR & Linksvayer TA 2020 Distributed physiology and the molecular basis of social life in eusocial insects. *Horm Behav* 122: 104757. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2020.104757>
- Goropashnaya AV, Seppä P & Pamilo P 2001 Social and genetic characteristics of geographically isolated populations in the ant *Formica cinerea*. *Mol Ecol* 10: 2807–2818. Saatavissa: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2001.t01-1-01410.x>
- Hakala SM, Ittonen M, Seppä P & Helanterä H 2020 Limited dispersal and an unexpected aggression pattern in a native supercolonial ant. *Ecol Evol* 10. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/ece3.6154>
- Hakala SM 2020 Social polymorphism and dispersal in *Formica* ants. Väitöskirja, Helsingin yliopisto.
- Hakala SM, Seppä P & Helanterä H 2019 Evolution of dispersal in ants (Hymenoptera: Formicidae): a review on the dispersal strategies of sessile superorganisms. *Myrmecol News* 29: 35–55. Saatavissa: <https://doi.org/10.25849/myrmecol.news>
- Hakala SM, Seppä P, Heikkilä M, Puntila P, Sorvari J & Helanterä H 2018 Genetic analysis reveals Finnish *Formica fennica* populations do not form a separate genetic entity from *F. exsecta*. *PeerJ* 6: e6013.
- Hamilton WD 1963 The Evolution of Altruistic Behavior. *Am Nat* 97: 354–356.
- Hannonen M & Sundström L 2003 Worker nepotism among polygynous ants. *Nature* 421: 910–910.

- Hannonen M, Helanterä H & Sundström L 2004 Habitat age breeding system and kinship in the ant *Formica fusca*. *Mol Ecol* 13: 1579–1588. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02136.x>
- Heinze J 2007 The demise of the standard ant (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol News* 11: 9–20. Saatavissa: <https://doi.org/10.1038/srep12496>
- Heinze J & Rueppell O 2014 The frequency of multi-queen colonies increases with altitude in a Nearctic ant. *Ecol Entomol* 39: 527–529. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/een.12119>
- Helanterä H 2022 Supercolonies of ants (Hymenoptera: Formicidae): ecological patterns behavioural processes and their implications for social evolution. *Myrmecol News* 32: 1–22. Saatavissa: <https://doi.org/10.25849/myrmecol.news>
- Helanterä H, Kulmuni J & Pamilo P 2016 Sex allocation conflict between queens and workers in *Formica pratensis* wood ants predicts seasonal sex ratio variation. *Evolution* 70: 2387–2394. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/evo.13018>
- Helanterä H, Strassmann JE, Carrillo J & Queller DC 2009 Uniclonal ants: where do they come from what are they and where are they going? *Trends Ecol Evol* 24: 341–349. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.01.013>
- Helanterä H, Sundström L 2005 Worker reproduction in the ant *Formica fusca*. *J Evol Biol* 18: 162–171. Saatavissa <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2004.00777.x>
- Helanterä H, Sundström L 2007 Worker reproduction in *Formica* ants. *Am Nat* 170: E14–E25. Saatavissa <https://doi.org/10.1086/518185>
- Helanterä H, Ozan M & Sundström L 2023. Relatedness modulates reproductive competition among queens in ant societies with multiple queens. In Press, *Behav Ecol*
- Helms J 2018 The flight ecology of ants (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol News* 26: 19–30.
- Herbers JM 1986 Nest site limitation and facultative polygyny in the ant *Leptothorax longispinosus*. *Behav Ecol Sociobiol* 19: 115–122. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/BF00299946>
- Johnson CA, Sundström L & Billen J 2005 Development of alary muscles in single- and multiple- queen populations of the wood ant *Formica truncorum*. *Ann Zool Fenn* 42: 225–234.
- Kay T, Helleu Q & Keller L 2022 Iterative evolution of supergene-based social polymorphism in ants. *P T R Soc B* 377. Saatavissa: <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0196>
- Keller L 1993 Queen number and sociality in insects. Oxford University Press.
- Keller L, Passera L & Suzzoni JP 1989 Queen execution in the Argentine ant *Iridomyrmex humilis*. *Physiol Entomol* 14: 157–163. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1989.tb00947.x>
- Kennedy P, Uller T & Helanterä H 2014 Are ant supercolonies crucibles of a new major transition in evolution? *J Evol Biol* 27: 1784–1796. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/jeb.12434>
- Klobuchar EA & Deslippe RJ 2002 A queen pheromone induces workers to kill sexual larvae in colonies of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*). *Naturwissenschaften* 89: 302–304.
- Kulmuni J & Pamilo P 2014 Introgression in hybrid ants is favored in females but selected against in males. *P Natl Acad Sci USA* 111: 12805–12810.
- Laji.fi-tietokanta: <https://laji.fi/taxon/MX.204313/taxonomy?showTree=true> [viit-tauspäivä 91.1.2023]
- Lindgren R 2019 Kuningattarien tappaminen superkoloniaalisella tupsukekomuurahaisella (*Formica aquilonia*). *Pro gradu -työ, Helsingin yliopisto*.
- Martin-Roy R, Nygård E, Nouhaud P & Kulmuni J 2021 Differences in thermal tolerance be-

- tween parental species could fuel thermal adaptation in hybrid wood ants. *Am Nat* 198: 278–294.
- Mcleod DV & Wild G 2014 The relationship between ecology and the optimal helping strategy in cooperative breeders. *J Theor Biol* 354: 25–34. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.03.003>
- Pamilo P & Kulmuni J 2022 Genetic identification of *Formica rufa* group species and their putative hybrids in northern Europe. *Myrmecol News* 32: 93–102. Saatavissa: <https://doi.org/10.25849/myrmecol.news>
- Passera L, Aron S & Bach D 1995 Elimination of sexual brood in the Argentine ant *Linepithema humile*: queen effect and brood recognition. *Entomol Exp App*. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1995.tb01928.x>
- Perrin N & Goudet J 2001 Inbreeding kinship and the evolution of natal dispersal. In *Dispersal*. Oxford University Press.
- Punntila P 2020 Ant community structure in successional mosaics of boreal forests. Väitöskirja, Helsingin yliopisto.
- Purcell J, Zahnd S, Athanasiades A, Türler R & Chapuisat M 2016 Ants exhibit asymmetric hybridization in a mosaic hybrid zone. *Mol Ecol* 25: 4866–4874. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/mec.13799>
- Reuter M, Balloux F, Lehmann L & Keller L 2001 Kin structure and queen execution in the Argentine ant *Linepithema humile*. *J Evol Biol* 14: 954–958. Saatavissa: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.2001.00345.x>
- Ronce O 2007 How does it feel to be like a rolling stone? Ten questions about dispersal evolution. *Ann Rev Evol Ecol S* 38: 231–253. Saatavissa: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095611>
- Rosengren R & Pamilo P 1983 The evolution of polygyny and polydomy in mound-building *Formica* ants. *Acta Entomol Fenn* 42: 65–77.
- Rosengren R, Sundström L & Fortelius W 1993 Monogyny and polygyny in *Formica* ants: the result of alternative dispersal tactics. Teoksessa: Keller L (toim) *Queen Number and Sociality in Insects*. Oxford University Press.
- Satokangas I, Nouhaud P, Seifert B, Punntila P, Schultz R, Jones M, Sirén J, Helanterä H & Kulmuni J 2023 Extensive hybridisation between multiple differently adapted species may aid persistence in a changing climate. *Vertaisarvioinnissa, saatavilla biorXiv-palvelussa* <https://doi.org/10.1101/2023.01.25.525480>
- Schultner E, Gardner A, Karhunen M & Helanterä H 2014 Ant Larvae as Players in Social Conflict: Relatedness and Individual Identity Mediate Cannibalism Intensity. *Am Nat* 184: E161–E174. Saatavissa: <https://doi.org/10.1086/678459>
- Schultner E, Saramäki J & Helanterä H 2016 Genetic structure of native ant supercolonies varies in space and time. *Mol Ecol* 25: 6196–6213. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/mec.13912>
- Seifert B 2018 *The Ants of Central and North Europe*. Lutra Verlags- und Vertriebsgesellschaft.
- Seifert B, Kulmuni J & Pamilo P 2010 Independent hybrid populations of *Formica polycтена X rufa* wood ants (Hymenoptera: Formicidae) abound under conditions of forest fragmentation. *Evol Ecol* 24: 1219–1237.
- Seppä P, Helanterä H, Chernenko A, Trontti K, Punntila P & Sundström L 2009 Population genetics of the black ant *Formica lemani* (Hymenoptera: Formicidae). *Biol J Linn Soc* 97: 247–258.
- Seppä P 2009 Do ants (Hymenoptera: Formicidae) need conservation and does ant conservation need genetics? *Myrmecol News* 11: 161–172.
- Sorvari J, Haatanen MK & Vesterlund SR 2011 Combined effects of overwintering temperature and habitat degradation on the survival of boreal wood ant. *J Insect Conserv* 15: 727–731.
- Sorvari J 2017 Wood ant assemblages of For-

mica rufa group on lake islands and in mainland woodland in Central Finland. *Entomol Fenn* 29: 21–29.

Sundström L 1995 Dispersal polymorphism and physiological condition of males and females in the ant *Formica truncorum*. *Behav Ecol* 6: 132–139.

Sundström L, Chapuisat M, Keller L 1996 Conditional manipulation of sex ratios by ant workers: a test of kin selection theory. *Science* 274: 993–995. Saatavissa: <https://doi.org/10.1126/science.274.5289.993>

Sundström L, Seppä P & Pamilo P 2005 Genetic population structure and dispersal patterns in *Formica* ants - a review. *Ann Zool Fenn* 42: 163–177. Saatavissa: <http://www.annzool.net/PDF/anzf42/anzf42-163.pdf>

Sundström L & Vitikainen E 2021 The life history of *Formica exsecta* (Hymenoptera: Formicidae) from an ecological and evolution-

ary perspective. *Myrmecol News* 32: 23–40. Saatavissa: <https://doi.org/10.25849/myrmecol.news>

Vargo EL & Passera L 1991 Pheromonal and behavioral queen control over the production of gynes in the Argentine ant *Iridomyrmex humilis* (Mayr). *Behav Ecol Sociobiol* 28: 161–169 Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/BF00172167>

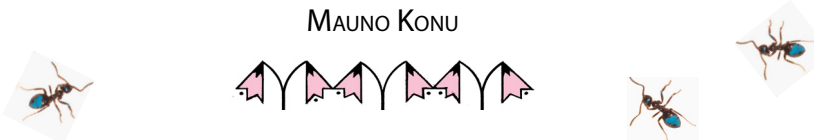
Kirjoittajat ovat muurahaistutkijoita, joilla on takanaan yhteensä yli 50 vuoden kokemus muurahaistutkimuksesta. Tutkijatohtori Sanja Maria Hakala työskentelee Fribourgin yliopistossa, Sveitsissä. Jonna Kulmunin työpaikka on Amsterdamin yliopistossa (Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics). Heikki Helanterän asemapaikka sijaitsee Oulun yliopiston Ekologian ja genetiikan tutkimusyksikössä ja Helsingin yliopiston Tvärminnen eläintieteellisellä asemalla.



Karvaloviniskan (*Formica exsecta*) pesä Utsjoella. Levittäytymiskäyttäytymisen tutkimus on tärkeässä roolissa kun yritämme ymmärtää, miten puurajalla elävät muurahaispopulaatiot pärjäävät muuttuvasa ympäristössä.

Vanamon rahoittamaa tutkimusta

Pihamauriaisien geenimuokkaus CRISPR-Cas9-tekniikalla



Suomessa yleinen pihamauriaisinen otettiin ensimmäistä kertaa kohteeksi CRISPR-Cas9-geenisaksilla tehtävään kokeeseen. Kokeen tuloksena onnistuttiin muuttamaan muurahaisen silmien väriä ja näin osoittamaan, että geenien muokkaus tällä lajilla on mahdollista.

Johdanto

Pihamauriaisinen (*Lasius niger*) on yleisin muurahaislaji Euroopan rakennetussa kaupunkiympäristössä, ja laji esiintyy laajasti koko Euraasian lauhkealla alueella (Haatanen ym. 2015). Lajin pesän tunnistaa helposti pienistä hiekkakeoista pihalaatoitusten saumoissa, asfaltin halkeamissa ja kivijalkojen juurilla. Laji saattaa myös tunkeutua ihmisasuntoihin ja löytää sieltä sokeria sisältävät ruoka-aineet, minkä vuoksi pihamauriaista kutsutaan myös sokeri-muurahaiseksi.

Pihamauriaisinen on helppohoitoinen. Se ei pure eikä käyttäydy aggressiivisesti, kuten esimerkiksi metsissä asuvat kekomuurahaiset. Tämän vuoksi laji on suosittu lemmikki muurahaiharrastajien parissa ja oiva laji tutkimuskäyttöön. Pesä on helppo pitää huoneenlämmössä ja ruokkia kotoa löytyvillä aineksilla. Talven tullessa pesän voi laittaa talvilevolle jääkaappiin. Yleisyytensä ja helppohoitoisuutensa vuoksi valitsimme pihamauriaisien tutkimuksemme kohteeksi.

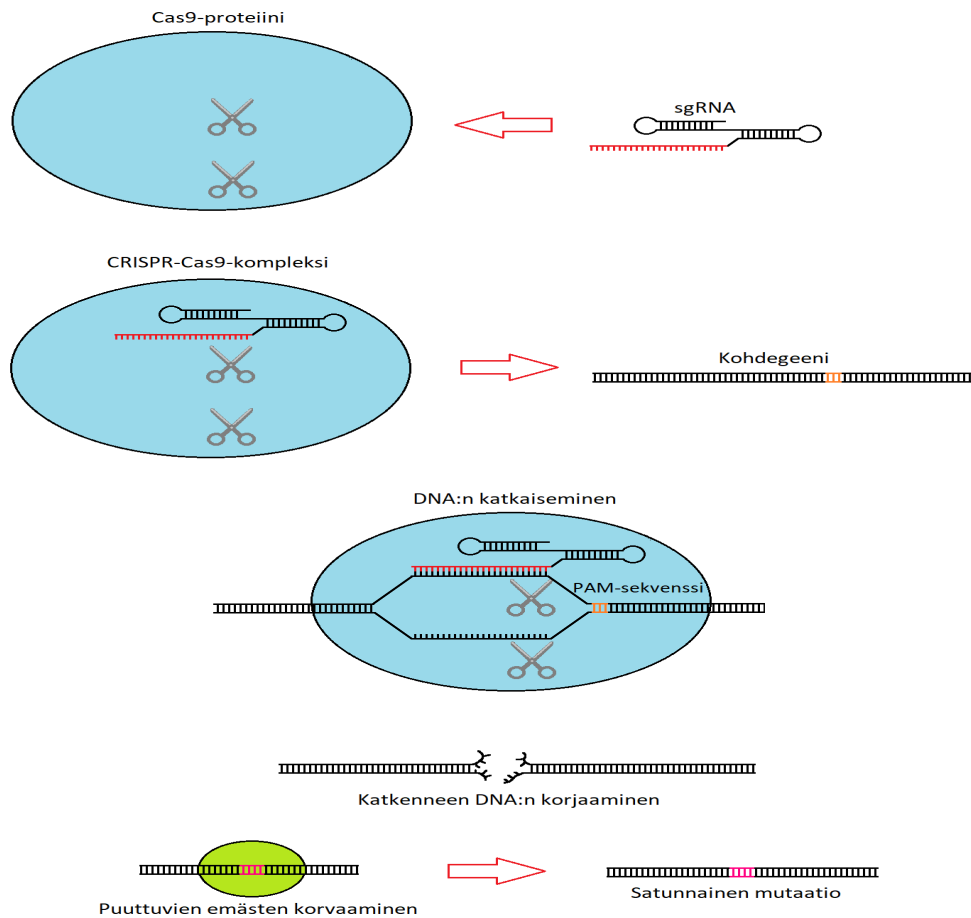
Tavoitteenamme oli kehittää toimiva menetelmä pihamauriaisien geenimuokkaukseen CRISPR-Cas9-menetelmällä ja näin saada aikaan näkyvä muutos muurahaisen ulkonäössä inaktiivomalla silmän väriin vaikuttava *cinnabar*-geeni. Tutkimuksellamme pyrimme luomaan pohjaa tuleville tutkimuksille, joiden tarkoitus on selvittää muurahaisten geenien toimintaa niin yksilön kuin koko lajin tasolla. Tietojemme mukaan tutkimuksemme oli viides muurahaisilla

suoritettu CRISPR-Cas9-koe, ja ensimmäinen pihamauriaisella tai yleisesti Suomessa tavattavalla lajilla suoritettu koe (Chiu ym. 2020; Sieber ym. 2020; Triple ym. 2017; Yan ym. 2017).

Menetelmät

Työ toteutettiin hyödyntämällä CRISPR-Cas9-geenisaksia ja mikroinjektointia. CRISPR-Cas on bakteereissa esiintyvä immuunipuolustusmekanismi, joka pystyy havaitsemaan bakteerin sisään tunkeutuneen virusperäisen DNA:n ja katkaisemaan sen, jolloin viruksen lisääntymisen estyy ja bakteeri selviää elossa infektiosta (Ishino ym. 1987). Mekanismi koostuu kahdesta osasta: CRISPR on lyhyt virus-DNA:n osa, jonka bakteeri on tallentanut osaksi omaa genomiään vertailukappaleeksi. Bakteerin genomissa on useita vertailukappaleita eri viruksille järjestettynä tasaisin välein DNA:han, joista bakteeri alkaa tuottaa RNA-kopioita virustartunnan ilmetessä. Cas-proteiini taas toimii geenisaksien saksi-osana. Se ottaa CRISPR-RNA:n malliksi ja skannaa bakteerin sisällä olevaa DNA:ta. Jos DNA vastaa mallia, sen täytyy olla peräisin viruksesta, joten se katkaistaan (Kuva 1).

Tämä mekanismi on valjastettu tehokkaaksi ja tarkaksi geenimuokkausmenetelmäksi. CRISPR-RNA:ta voidaan valmistaa keinotekoisesti vastaamaan minkä tahansa lajin mitä tahansa geeniä, jolloin mikä tahansa osa geenistä voidaan katkaista (Jinek ym. 2012). Cas-proteiinina käytetään yleisimmin *Streptococcus pyogenes*-bakteerin Cas9-proteiinia (Taning ym. 2017).

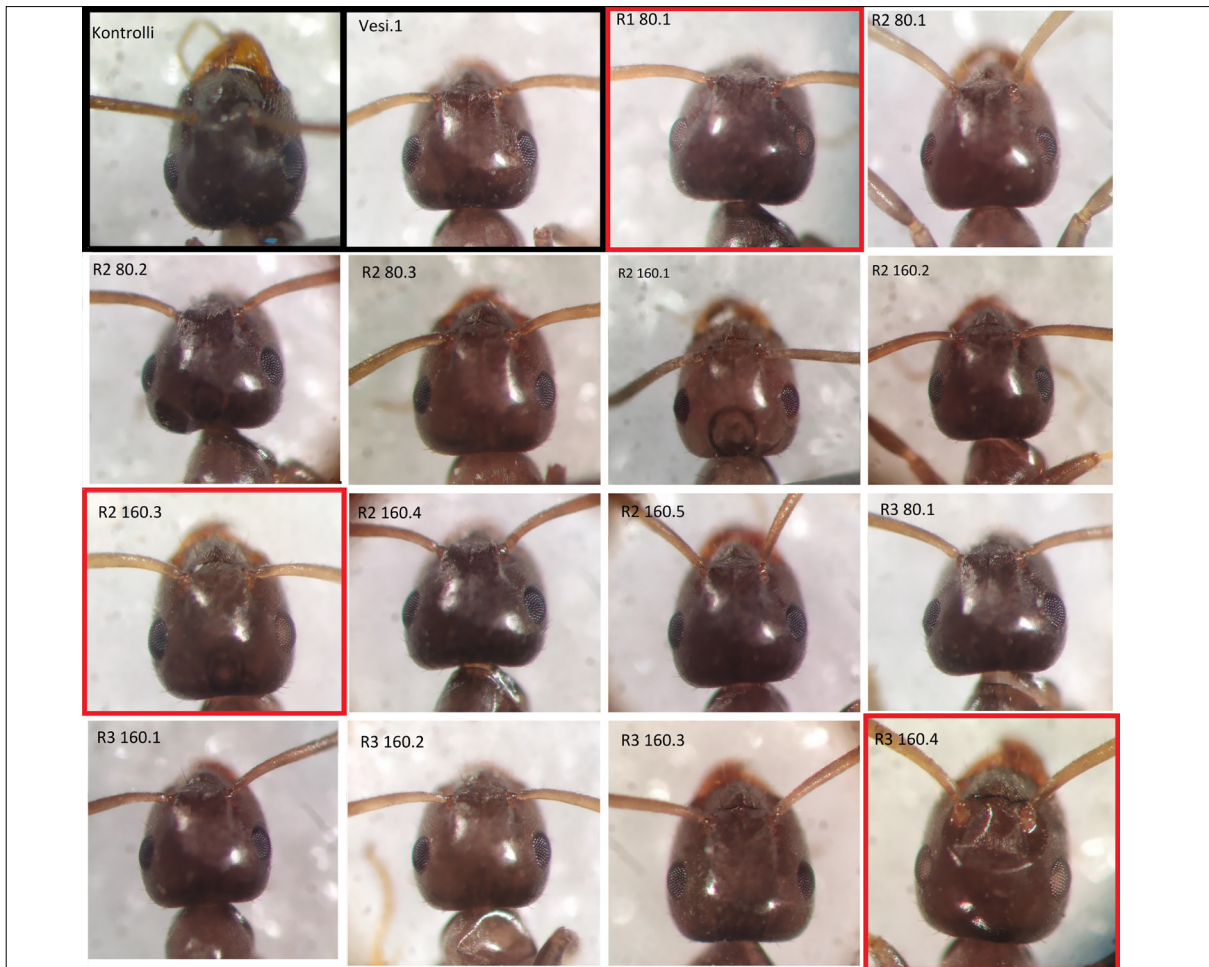


Kuva 1. CRISPR-Cas9:n käyttö geenimuokkauksessa. Keinotekoisesti syntetisoitu sgRNA, joka sisältää kohdegeeniä vastaavan sekvenssin, sitoutuu Cas9-proteiiniin mallijuosteeksi. CRISPR-Cas9-kompleksi tunnistaa kohdejuosteen ja sitoutuu siihen. DNA-juoste katkaistaan, jolloin solun omat korjausmekanismit pyrkivät liittämään katkenneet päät yhteen. Korjauksen aikana syntyy virheitä, jolloin geenin toiminta estyy.

Geeniä muokatessa DNA katkaistaan, jolloin se lähtee purkautumaan. Solun omat korjausmekanismit yrittävät korjata juosteen ja liittää päät yhteen mutta usein korjauksen yhteydessä tapahtuu virheitä, jolloin juosteesta joko puuttuu emäksiä tai siihen liitetään vääriä emäksiä, jolloin geenin toiminta lakkaa. Näin haluttu geeni saadaan hiljennettyä. Jos genomiin halutaan lisätä uusia genejä, pitää geenisaksien yhteydessä viedä soluun myös mallijuoste, joka vastaa molemmista päistään kohdelajin DNA:ta, ja jonka keskellä on haluttu uusi geeni. Näin katkennut DNA korjataan mallijuosteen mukaisesti ja uusi geeni liittyy osaksi solun genomia.

Koetta varten tilattiin kolme erilaista CRISPR-RNA-konstruktia (R1/R2/R3), jotka sekoitettiin Cas9-proteiinin kanssa. Konstruktit

kohdistuvat eri kohtiin pihamauriaisien *cinnabar*-geeniä, jolloin voitiin varmistaa, että ainakin yksi konstrukti saisi aikaan näkyvän muutoksen muurahaisen ulkonäössä. Konstrukteja myös laimennettiin kahteen eri pitoisuuteen (80 ng/μl ja 160 ng/μl), jolloin saatiin yhteensä kuusi erilaista CRISPR-Cas9-käsittelyä. Pihamauriaisien munia kerättiin laboratoriossa siirtämällä kuningatarmuurahainen pienelle petrimaljalle, jonka päälle se laski munia. Munat kerättiin tunnin välein ja niihin injektoidiin CRISPR-Cas9-seosta hyvin ohuella lasineulalla. Munien on oltava injektoinnin aikana mahdollisimman tuoreita, koska muninnan jälkeen muna koostuu yhdestä solusta, joka alkaa pian jakautua. Kun geenimuokkaus saadaan tehtyä ensimmäiseen soluun, muutokset periytyvät kaikkiin jakautuviin



Kuva 2. Aikuisten yksilöiden silmien vertailu. Mustissa ruuduissa on villityypin kontrolliyksilö ja vedellä injektoitu kontrolliyksilö, loput 14 ovat CRISPR-käsiteltyjä koeyksilöitä. Punaisella ruudulla merkityt yksilöt ovat mutanteja, joiden silmät poikkeavat villityypistä.

soluihin. Jos solut ovat ehtineet jakautua ennen injektointia, CRISPR-Cas9-konstruktio ei leviä taasisesti joka soluun, jolloin osa aikuisen yksilön soluista sisältää muokatun geenin ja osa sisältää alkuperäisen geenin.

Munat saivat kehittyä aikuisiksi työläismuurahaisten hoidettavana, minkä jälkeen ne valokuvattiin silmien värin toteamiseksi ja tutkittava geenialue sekvensoitiin mutaatioiden varmistamiseksi.

Tulokset

Koetta varten saatiin kerättyä yhteensä 1624 munaa. Näistä 1228 injektoitiin CRISPR-Cas9-konstruktilla, 195 injektoitiin vedellä ja 201 jätettiin kokonaan injektoimatta. Vedellä injektoitu kontrollikäsitteily tehtiin, jotta voi-

tiin todeta että vain CRISPR-Cas9 aiheuttaa mutaatioita. Injektoimattomalla kontrollilla voitiin todeta itse injektointitapahtuman aiheuttama vahinko munien selviytymiskyvylle.

Kaikkiaan 16 yksilöä kasvoi aikuiseksi ennen kokeen päättymistä. Näistä 15 oli CRISPR-Cas9-käsiteltyjä ja yksi vesi-injektiokontrolliryhmästä. Kolmella CRISPR-Cas9-käsitellyistä yksilöistä oli villityypistä poikkeava silmien väri, mikä osoitti kokeen onnistuneen (Kuva 2). Aikuisten yksilöiden vähäinen määrä suhteessa kerättyjen munien määrään pääteltiin johtuneen liian viileästä kasvatuslämpötilasta. Munien annettiin kehittyä 23 asteen lämpötilassa, koska korkeammassa lämpötilassa kasvatuspesien kuivumisen, ja näin ollen muurahaisen kuoleamisen, riski oli liian suuri. Viileämpi lämpötila saattoi kuitenkin johtaa munien ja

toukkien kehityksen pysähtymiseen, mikä olisi todennäköisesti voitu estää nostamalla lämpötila 27–30 asteeseen. Kasvatukseen käytettyjen lämpökaappien varausaika ehti kuitenkin loppua, ennen kuin lämpötilan vaikutus kehitysnopeuteen ehdittiin selvittää ja koe täytyi saattaa päätökseen.

Tulokset tarkistettiin vielä sekvensoimalla tutkittavat geenialueet. Aikuisten työläisten lisäksi sekvensoitiin myös toukkia, jotka eivät ehtineet kasvaa aikuisiksi kokeen aikana. Yhteensä 20 CRISPR-Cas9-käsiteltyä yksilöä saatiin sekvensoitua (11 työläistä ja 9 toukkaa). Näistä seitsemällä (3 työläistä ja 4 toukkaa) havaittiin mutaatio CRISPR-Cas9-konstruktin kohdealueella, mikä jälleen kerran osoitti kokeen onnistuneen. Lisäksi 32 kontrolliyksilöä (1 työläinen ja 19 toukkaa vesi-injektoidusta kontrollista ja 1 työläinen ja 11 toukkaa injektoimattomasta kontrollista) sekvensoitiin. Yhdelläkään näistä yksilöistä ei havaittu mutaatioita. Aineistoa testattiin tilastollisesti Fisherin testillä, jonka mukaan CRISPR-käsiteltyjen ja käsittelemättömien yksilöiden indel-mutaatioiden määrä oli erilainen ja ero oli tilastollisesti merkitsevä. (Indel-mutaatioita esiintyy ainoastaan CRISPR käsitellyillä yksilöillä.)

Tilastollisia testauksia Fisherin testillä suoritettiin myös eri käsittelyjen vertailemiseksi. CRISPR-Cas9-konstruktin injektointin ei todettu lisäävän munien kuolleisuutta verrattuna vesi-injektointiin. Sen sijaan vahvempi CRISPR-Cas9-pitoisuus lisäsi munien kuolleisuutta verrattuna laimeampaan pitoisuuteen. Lisäksi itse injektiotapahtuma (vesi-injektio verrattuna injektoimattomaan) lisäsi munien kuolleisuutta.

Tutkimuksesta kirjoitettiin artikkeli, joka on hyväksytty julkaistavaksi *Insect Molecular Biology* -sarjassa (<https://doi.org/10.1111/imb.12809>).

Kirjallisuus

Chiu YK ym. 2020 Mutagenesis mediated

by CRISPR/Cas9 in the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Insectes Sociaux*, 67(2), 317–326. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/S00040-020-00755-8>

Haatanen M K, Ooik T van & Sorvari J 2015 Effects of overwintering temperature on the survival of the black garden ant (*Lasius niger*). *J Therm Biol* 49–50, 112–118. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.02.012>

Ishino Y ym. 1987 Nucleotide sequence of the *iap* gene, responsible for alkaline phosphatase isoenzyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *J Bact*, 169(12), 5429–5433. Saatavissa: <https://doi.org/10.1128/JB.169.12.5429-5433.1987>

Jinek M ym. 2012 A programmable dualRNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), 816–821. 51 Saatavissa: https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1225829/SUPPL_FILE/PAP.PDF

Sieber K ym. 2020 Embryo injections for CRISPR-mediated mutagenesis in the ant *Harpegnathos saltator*. *JoVE J Vis Exp* 61930. Saatavissa: <https://doi.org/10.3791/61930>

Taning C N T ym. 2017 CRISPR/Cas9 in insects: Applications, best practices and biosafety concerns. *J Ins Phys* 245–257. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/J.JINSPHYS.2017.01.007>

Trible W ym. (2017). orco Mutagenesis Causes Loss of Antennal Lobe Glomeruli and Impaired Social Behavior in Ants. *Cell* 170 727–735. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.07.001>

Yan H ym. 2017 An engineered orco mutation produces aberrant social behavior and defective neural development in ants. *Cell* 736–747. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867417307705>

FM Mauno Konu työskentee väitöskirjatutkijana Oulun yliopistossa. Väitöskirjatyössään hän tutkii muurahaisissa esiintyviä RNA-virusia bioinformatiikan keinoin. Työssä kartoitetaan muurahaislajien viruksia sekä vertaillaan, kuinka virusten monimuotoisuus riippuu muurahaislajien elintavoista ja ympäristöstä.



Kari Silfverberg (toim) Ilmastometsät – metsät planeetan pelastajina. Into Kustannus.

Ilmastometsät – monipuolinen luku-elämys

Jokin aika sitten ilmestyi Into Kustannus Oy:n kustantama kirja *Ilmastometsät*. Kirja on koelma kirjoituksia monelta tekijältä. Kirjoitukset on koottu Ilmastometsät-otsikon alle, vaikka kaikki kirjoitukset eivät keskitykään metsien rooliin ilmastomuutoksen torjunnassa.

Vaihtelevalta kirjoittajajoukolta on saatu yksiin kansiin vaihtelevia kirjoituksia, joista merkittävä osa on informatiivisia, hyviä ja mielenkiintoisia. Itse pidin mm. Risto Ihamäen kirjoituksesta *Biljoona, kolme biljoonaa vai seitsemän biljoonaa uutta puuta*, Hanna Matinpuron ja kumppaneiden kirjoituksesta *Paikallisyhteisöt ja etelän järjestöt metsien puolustajina* sekä Olavi Luukkasen katsauksesta Kiinan metsäpolitiikkaan.

Risto Ihamäki kertoo selväsanaisesti, että Brasilian metsien hävittämisen juurisyyt eivät ole Brasilian huonot presidentit vaan amerikka-

laisten ja eurooppalaisten lihansyönti. Metsää raivataan paitsi laitumiksi, myös pelloiksi, joilla tuotetaan soijaa nautojen ruuaksi. Suomikin on tuonut tätä rehua omille lehmilleen ja edistänyt tätä kautta Brasilian metsien hävitystä.

Länsimaissa kannetaan huolta Intiassa ja Afrikassa vapaana käyskentelevistä lehmistä. Vaikka ne päästelevätkin metaania ilmakehään, ne eivät kuitenkaan ole yhtä suuri haitta kuin sademetsistä raivatuilla pelloilla laiduntavat lehmät tai nautakarja, joka syö näillä pelloilla kasvatettua rehua. Intian ja Afrikan lehmät syövät ihmisravinnoksi kelpaamatonta ruokaa, jopa paperipusseja, ja muuttavat heinät ja pusit ihmisravinnoksi. Peltoravintoa syövät naudat taas edustavat suurta tuhlausta, koska pelloilla voitaisiin kasvattaa naudanlihan energiasisältöön verrattuna jopa 18-kertainen määrä kasvisruokaa.

Kirja ei ole kattava eikä systemaattinen katsaus ilmastometsiin. Kirjalla ei näytä olevan varsinaista linjaa eikä selkeää tarkoitusta. Eri luvut ovat jopa keskenään ristiriidassa. Parissa luvussa rehvastellaan Suomen metsätalouden aikaansaannoksilla, kun taas Mika Jurvéliuksen artikkelissa muistutetaan, että suomalaiset ja baltit olivat koko maapallon pahimpia metsien hävittäjiä vuodesta 1000 vuoteen 1858.

Suomi-kirjoitukset ovat myös siinä mielessä vanhentuneita, että niistä puuttuu viime vuosien kehitys. On totta, että metsänieluja on saatu aikaan, osin monimuotoisuuden ja vesistöjen tilan kustannuksella, mutta kirjoituksissa jää sanomatta, että Suomen metsänielut on myös saatu pikavauhtia hävitettyä.

Soiden ojitus on synnyttänyt pysyvän hiilipäästön, kun ojitettujen soiden hapellinen turvekerros hajoaa. Viljavilta ojitetuilta soilta vapautuu myös typpioksiduulia, joka on 270 kertaa haitallisempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Tämänhetkinen arvio ojitettujen metsien maaperäpäästöistä on 8 miljoonaa CO₂-ekvivalenttitonnia vuodessa. Jotta tämä saadaan kompensoitua puiden kasvulla, puuston määrään pitää lisääntyä vuodessa arviol-

ta 5 miljoonalla kuutiometrillä. Tällä puuston määrän kasvulla päästään nollaan. Hiilinielujen voimistaminen edellyttää huomattavasti reippaampaa puuston määrän lisäystä, mihin päästään vain ja ainoastaan vähentämällä hakkuita.

Parissa kolmessa luvussa sanottiin suoraan, että ihmisten nykyinen elämäntapa ei voi jatkua. Tällä viitattiin mm. ruokatottumuksiin, ylikulutukseen ja fossiilisiin polttoaineisiin. Siksi onkin yllättävää, että sekä mennyt että nykyinen maa- ja metsätalouden linja sai myös kiitosta. Kirjassa keuhuttiin tehomaatalouden ja -metsätalouden aikaansaannoksia ja annettiin ymmärtää, että on vain hyvä, että maataloustuotanto keskitetään Brasiliaan, koska maatalouskasvit kasvavat siellä hyvin. Parissa kirjoituksessa sivuutettiin täysin ne ongelmat, joita tähänastiset käytännöt ovat aiheuttaneet. Näitä ongelmia ovat metsäkadon lisäksi pölyttäjäkato, biodiversiteetin väheneminen, vesistöjen kemikalisoituminen ja muu kuormittuminen sekä orgaanisen aineksen häviäminen maasta, minkä seurauksena osa pelloista on muuttunut pölykentiksi.

Kirjan pääpaino on Afrikassa, jonka metsityksessä on kaksi linjaa: pieni ja suuri, eli hyvä ja huono, eli peltometsätalous ja laaja-alaisten puuviljelmien perustaminen. Kirjan suuri linja tarkoittaa keinokasteltuja metsänistutuksia. Puita istutettaisiin Saharaan alueille, joilla ei juuri asu ihmisiä. Metsiä hoitamaan pitäisi perustaa kymmeniä metsäkaupunkeja ja tuhansia metsäkyliä. Kasteluun käytettäisiin pääasiassa pohjavettä.

Tallaiset metsäprojektit ovat kalliita ja riskialttiita. Nykytermein ilmaistuna hankkeiden resilienssi on alhainen. Alueet ovat poliittisesti epävakaita. Hiilensidonnalla kannalta ilmeisin riskitekijä on keinokastelu, jossa ei olisi varaa häiriöille. Kasteluun tarvittaisiin kuutiokilometreittäin pohjavettä. Lopputulema voi olla, että istutuspuut kuolevat poliittisen selkkauksen, rahanpuutteen tai teknisen häiriön sattuessa, mutta kuutiokilometreittäin pohjavettä on kuitenkin tuhlatu.

Esimerkkinä kastelumetsistä mainitaan Sini- sen ja Valkoisen Niilin yhtymäkohdassa oleva pieni läntti, jota kastellaan Khartumin jätevedellä. Kun kävin alueella, pienet puunalut olivat kyllä elossa, mutta ei alue mitään komeaa metsää vielä ollut.

Olen käynyt myös paikassa nimeltä Bura, jossa oli pieniä koealueita kastelumetsää. Viimeksi käydessäni kaikki kastellut puut olivat kuolleita, vaikka istutettu puulaji oli sitkeähäinen *Prosopis juliflora*. Vaikka kastelukoealojen prosopikset eivät menestynytkään kastelukatkosten vuoksi, ne levisivät hanakasti kastelukanavia pitkin ympäröiviin metsiin syrjäyttäen alkuperäistä kasvillisuutta.

Bura on esimerkki kalliista mutta pieleen menneestä kasteluhankkeesta. Alun perin Buraan piti perustaa ja asuttaa 23 kylää ja viljellä puuvillaa 6500 hehtaarilla. Kaikkiin kyliin rakennettiin jonkin verran infrastruktuuria. Lopulta vain kymmenkunta kylää asutettiin. Viimeksi käydessäni vain kahdessa kylässä oli elämää, ja puuvillan sijasta pelloilla kasvatettiin vihanneksia.

On myös olemassa hanke nimeltä Afrikan vihreä muuri, jossa tavoitellaan 8000 km pitkän metsäkaistaleen luomista Afrikan poikki Sahe- lin alueelle. Hankkeen alussa pääpaino oli istutuksissa, mutta kun ne eivät ottaneet menestyäkseen, painopiste siirtyi olemassa olevien puiden varjeluun ja edellytysten luomiseen puupeitteen luontaiselle uudistumiselle. Netistä voi lukea, että yli 80 % tuon alueen puunistutuksista epäonnistuu. Jos kaikki istutuspuut olisivat lähteneet kasvuun, alue olisi jo nyt Amazonin alueeseen verrattavaa järeää metsää.

Toinen metsittämisen linja on peltometsätalous, josta on monia toimivia esimerkkejä pitkin Afrikkaa. *Ilmastometsät* -kirjassa kerrotaan mm. Nobel-palkitun Wangari Maathain aloittamasta puunistutuskampanjasta, jota Suomikin on ollut tukemassa. Kyse on hyödyllisten puulajien istuttamisesta pientiloille. Tällä tavalla on viherrytetty puiden avulla laajoja alueita siten, että paikallinen väestö hyötyy siitä. Samanlaisia

hankkeita on mm. Nakurussa ja Nyandaruaassa. Näilläkin alueilla Suomi on ollut mukana juonessa, mm. Miti Mingi -nimisen hankkeen kautta. Puupeatteen palautus peltometsätalouden keinoin edellyttää vakaita maanomistusoloja. Päinvastoin kuin kastelumetsätalous, peltometsätalous ja olemassa olevan kasvillisuuden hyödyntäminen on varsin halpaa, halvimmillaan ilmaista.

Osa Afrikasta, mm. Itä-Afrikan maiden keskusylängöt, on otollista aluetta puun kasvulle ja sadeveteen perustuvalla viljelymetsätaloudelle. Veli Pohjosen artikkelissa kerrotaan, että Etiopian eukalyptusistutuksilla on ollut suorastaan pelastava rooli Addis Abeban ja muunkin Etiopian polttopuuhuollossa. Jos jonnekin perustetaan muita puuistutuksia kuin peltometsiä, niin riittävän sateiset ja viileät kolkat ovat oikeita paikkoja tähän tarkoitukseen.

Vaikka esimerkkejä erittäin hyödyllisistä vieraslajien monokulttuureista löytyy, näilläkin alueilla tulisi pyrkiä vähitellen kotoperäisiin lajeihin ja monipuolisempiin metsiin, joista paikalliset hyötyvät. Osa Afrikan puuistutuksista on perustettu tulevaa ja osin kuviteltua saha- ja massateollisuutta varten. Kun teollisuus on sakannut, istutusmetsät ovat jääneet osittain hyödyntämättä. Vaikka metsät kasvavatkin hyvin, ne voivat kuitenkin olla riskialttiita, kuten *Cupressus lusitanica* -istutusten kirvatuhot ovat osoittaneet.

Kirjan päättää Eero Paloheimon kirjoitus *Ilmastometsät ja tulevaisuutemme*. Artikkelissa kannetaan huolta väkiluvun kasvusta ja keski-kulutuksesta. Itse en ole ihmiskunnan huolenaiheista aivan samaa mieltä. Väkiluvun kasvunopeus hidastuu koko ajan, ja mm. Japanissa väki jo vähenee. Väkimäärän kasvunopeus korreloi negatiivisesti mm. vaurauden ja naisten koulutustason kanssa. Yksi keino hidastaa väkimäärän kasvuvauhtia olisikin jakaa vaurautta köyhille ja koulutusta naisille.

Väkiluvun kasvun sijasta nimeäisin suurimaksi ongelmaksi talouden kasvun. Jos talous kasvaa "tasaisesti" 3 % vuodessa, kyse on itse

asiassa eksponentiaalisesta kasvusta (korkoa korolle). Kolmen prosentin vauhdilla talous 20-kertaistuu sadassa vuodessa. Yhtälö on selvästikin mahdoton rajallisessa maailmassa. Jos vaikkapa fossiilienergiasta päästäisiinkin eroon, esiin nousee jokin toinen planetaarinen raja. Kolmen prosentin kasvuvauhdilla tarvitaan sadan vuoden päästä 20-kertainen määrä tuulivoimaloita ja monia sellaisia metalleja tuulimyllyihin ja sähkölaitteisiin, joista jo nyt on pulaa. Teknologiset innovaatiot eivät ratkaise ongelmaa, koska ne lähes aina kiihdyttävät talouden kasvua, joka on se varsinainen ongelma.

Taloukasvun tavoittelu johtuu mm. siitä, että bruttokansantuotteen (BKT) kuvitellaan mittaavan hyvinvointia. Sen vuoksi poliitikot yrittävät kasvattaa BKT:tä, maksoi mitä maksoi. BKT:n keksijä Simon Kuznets kuitenkin nimenomaan painotti, että BKT ei mittaa hyvinvointia. Haitallinen tuotanto kasvattaa BKT:tä samalla tavalla kuin hyödyllinen tuotanto, ja turha kulutus kasvattaa BKT:tä mutta ei hyvinvointia. Monet hyvinvointia lisäävät asiat kuten vaikkapa omenien kasvatusta omalla pihalla, läheisistä huolehtiminen ja ystävällinen käytös eivät kasvata bruttokansantuotetta.

Portugalin henkeä kohti laskettu BKT on vain kolmannes amerikkalaisten BKT:sta, mutta silti ihmisten elämänlaatu on Portugalissa useimmilla mittareilla parempaa kuin Amerikassa. Eliniän odote on Portugalissa 5 vuotta pidempi. Amerikkalaiset tienasivat 1950-luvulla vain neljänneksen nykytienesteistä, mutta olivat silti onnellisempia.

Moni arvelee, että taloukasvun pysäyttäminen ja turhanpäiväisen kulutuksen lopettaminen merkitsee paluuta karumpaan elämään ja koettelee ennen muuta kehitysmaiden asukkaita. On kuitenkin laskeskeltu, että riittää, jos 20 % vauraimpia ihmisiä ja maita vähentää kulutustaan ja päästöjään. Afrikassa, jossa luonnonvaroja kulutetaan vähän ja ihmisten hiilijalanjälki on pieni, ei tarvitsisi tinkiä mistään, vaan elintaso voisi jopa parantaa ja kulutusta lisätä. Ongelmana on se, että suurimmilla kuluttajilla

on eniten valtaa, minkä vuoksi välttämättömiä muutoksia ei kyetä tekemään.

Vastuuta välttelevät suomalaiset toistelevat mielellään hokemaa, että kiinalaisten ilmasto-päästöt ovat se iso ongelma, ei suomalaisten. Henkeä kohti laskettu vuotuinen hiilijalanjälki on Suomessa 9.31, Ruotsissa 4.54, Kiinassa 7.38, ja Keniassa 0.33 CO₂-ekvivalenttitonnia. Kiina on kyllä kirinyt ilmaston turmelemisessa, mutta tässä asiassa kiinalainen on kuitenkin vielä selvästi jäljessä suomalaisesta.

Ilmastometsät -kirjassa on monia ajatuksia herättäviä lukuja. Kirjoitin tähän tarinaan vain pienen osan niistä ajatuksista, joita kirja minussa herätti. Ajatusten lisäksi kirjasta saa monenlaista tietoa. Lue siis ihmeessä kirja kannesta kanteen, jos vain käsiisi saat. Muistuttele kuitenkin itsellesi, että vaikka painetusta sanasta onkin kyse, kirja heijastelee kirjoittajien ajatusmaailmaa eikä suinkaan absoluuttista totuutta. Aivan jokaista kirjan lukua ei tarvitse ottaa vakavasti.

TIMO PUKKALA

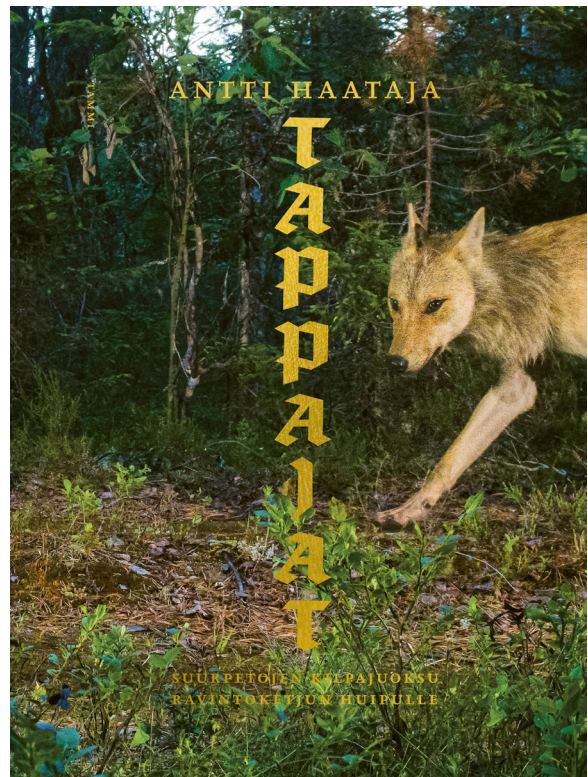
Suden ja metsäpeuran asialla

Antti Haataja: Tappajat. Suurpetojen kilpajuoksu ravintoketjun huipulle. Tammi.

Tietokirjailija ja luontokuvaaja Antti Haataja on julkaissut merkkiteoksen maamme suurpetojen ja metsäpeuran tilanteesta rajujen maankäytön muutosten ja ilmastomuutoksen globaalien uhan supistamassa elinympäristössä. Verrattuna Erkki "Susi" Pulliaisen perusteokseen *Suomen suurpedot* (1974) näkökulma on laajempi: tarkan suurpetojemme ja niiden luonnonmukaisen elintavan kuvauksen sijasta Haataja tuo esiin "supertappaja" ihmisen tuho-vaikutuksen haasteet eläinten selviytymiselle sekä vertailee laajemmin maamme elinoloja etenkin Pohjois-Amerikan tilanteeseen. Eläimiä tarkastellaan nyt ihmisen muokkaamassa ympäristössä ja pohditaan sen vaikutusta tappajien ja saaliseläinten vuorovaikutuksen muutoksiin. Vain kaupungit puuttuvat – toki ne eivät

ole varsinaisten suurpetojen elinympäristöjä.

Kirjan otsikointi säikäyttää helposti itseni kaltaista herkkätunteista humanistia: onko tämä teos vain konservatiivisen *survival of the fittest* -ajattelun tuote? Onneksi ei, teos on suurpetojen tilanteen kuvauksen lisäksi monipuolinen kuvaus ihmisen tuho-vaikutuksista luontoon. Siinä tarkastellaan monipuolisesti ilmastomuutoksen, voimaperäisen maankäytön (mm. avohakkuut) sekä myös vihreän teknologian (etenkin tuulivoimat) vaikutuksia ekosysteemien toimintaan. Teos huipentuu Suomen luontokadon synkkien ongelmien kuvaukseen: katoaako esimerkiksi susi pian lopullisesti?



Kirja kuvaa konkreettisesti kuinka monin tavoin ihminen ajaa pedot – ja metsäpeuran – ahtaalle. Tutkijan omat kokemukset ja pyrkimys eläytyä eläinten elämään luontokuvaajana elävöittävät esitystä. Haatajan mukaan "lineaariset rakenteet" kuten metsäautotiet, moottorikelkkareitit, voimalinjat ja avohakkuut ojineen muuttavat eläinten toimintaa. Meillä etenkin poronhoitoalue erityisoikeuksineen ja petovihakulttuureineen on petojen kannalta valtava este. Oulun rajoille (Ylikiiminki) ulottuvana se

estää suden leviämisen Lappiin ja sitä kautta muualle Skandinaviaan johtaen susikannan geneettiseen köyhtymiseen ja tuhoon lähivuosikymmeninä. Myös metsäpeuran leviäminen on estetty tuolle alueelle aitaamisella, ja ilmastomuutoksen edetessä tämä tulee köyhdyttämään lajin elinehtoja kun siirtyminen pohjoiseen ei onnistu. Tuho uhkaa myös sitä ellei poronhoitoalueen erityisoikeuksia pureta.

Haataja mallintaa asioita mielellään matemaattisesti aina susien lauman optimikoon määrittelystä niiden kansantaloudellisen arvon mittaamiseen. Utilitaristiset laskelmat ovat hätkähdyttäviä: meillä yksittäinen susi hyödyttää jopa yli viiden miljoonan euron edestä kokonaistaloutta (s. 165, 184–185). Susien lisääminen olisi siis erinomainen investointi. Tämä johtopäätös on huomattu jopa sanomalehtitöissä. Luonnon arvoa tarkasteltaessa onkin perusteetonta tuomita kaikki hyötylaskelmat. Ei ole realistista vedota joidenkin ekofilosofien tapaan vain luonnon ja eläinten ”mittaamattomaan arvoon”. Ekonomisen arvo on tärkeä tuoda näkyväksi, koska kuluttajakansalainen ymmärtää sen paremmin kuin esimerkiksi suden arvon ekosysteemin toiminnan kannalta – minkä tuki Haataja myös tuo hyvin esiin.

Maankäytön muutoksien, ilmastomuutoksen ja uusien energiantuotannon teknologioiden vaikutukset eläimiin on kuvattu laajasti. Tässä suhteessa maailma on perusteellisesti muuttunut sitten Pulliaisen teoksen päivien. Esimerkiksi lumiolojen muutos lämpenemisen myötä voi vaikeuttaa ahman lisääntymistä. Kuten Pulliainen (1974, s. 170–175) aikanaan totesi, ahma tekee pitkät pesäluolansa yleensä 1–3 metriin kinoksiin pitääkseen poikaset lämpiminä ja varastoidakseen ruokaa. Ilmastomuutoksen myötä ahma kuuluukin Haatajan mukaan häviäjiin (s. 132). Lämmön ja kosteuden lisääntyminen pahentaa myös räkkää, mikä haittaa karibujen (ja meillä metsäpeuran) vasomismenestystä (s. 134). Susi sen sijaan sopeutuu ilmastomuutokseen pedoistamme parhaiten (s. 138).

”Vihreän siirtymän” vaatimat uudet energiantuotannon muodot kuten tuulivoima eivät ole ekologisesti viattomia. Haataja kuvaa hyvin tuulivoimaan liittyviä ongelmia. Tuuliteollisuusalueet teineen ja voimalinjoineen muodostavat uhkan metsäpeurojen vaelluksille. Ne ovat vaarana myös suurille muuttolinnuille kuten hanhille, kurjille ja joutsenille. Esimerkiksi Oulujärven lähelle suunnitellut tuulivoimalat ovat näiden lintujen muuttoreiteillä. Ylipäätään tuulituotannon sijoittaminen ”mahdollisimman etäälle ihmisestä” johtaa tietysti eläinten elinympäristön heikentymiseen. (s. 110–111).

Kirjassa todetaan joitain hauskoja faktoja, jotka hämmästyttävät ainakin humanistia. Vaikka ihminen ilman muuta on ”supertappaja”, ei hänkään vedä vertoja hämähäkeille. Hämähäkit saalistavat 400–800 miljoonaa tonnia vuodessa, kun taas ihminen – ja valaat – jäävät toiseksi, noin 400 miljoonaan tonniin. Sudet jäävät vain 0,32 miljoonaan tonniin. (s. 195). Kaikki on siis suhteellista, jopa ihmisen kuvitelmat ylivoimaisuudesta... Hämähäkit ovat huomaamattomia petoja. Joskus harvoin kasteen jäädessä hämähäkinverkkoihin voi huomata, kuinka lähiluonto on täynnä noita hämähäkkien kutoimia pyydyksiä.

Muutoinkin hyönteisten rooli on huomattoman. Muurahaisten on todettu olevan kollektiivisesti ihmisen veroinen dominoiva maaorganismi. Muurahaisten laskettu biomassa on yhtä suuri kuin koko ihmislajin. Suomenkin metsissä muurahaisten voidaan sanoa olevan ”keskeisiä saalistajia, haaskaeläimiä ja maaperän muokkaajia”. Muurahaiset muodostavat vähintään noin 10 % maamme eläinten biomassasta. Tropiikissa luvut ovat vielä suuremmat. (Bert Hölldobler & Edward O. Wilson: *Journey to the Ants. A Story of Scientific Exploration*, Cambridge Mass. 1994, s. 1–6). Toki jos ihmisen tuottama materiaali otetaan huomioon, voidaan todeta että ihminen on ylivoimainen supersaastuttaja. Ongelma on se, että teknosysteemimme ”jätökset” eivät suurimmaksi osaksi palaudu luontoon vaan kertyvät ja jäävät pysyviksi haitoiksi ympä-

ristölle.

Valokuvateoksena kansainvälisesti palkitun luontokuvaaja Haatajan teos saattaa tuottaa pettymyksen kiiltokuvamaisiin luontokuvaan tottuneelle. Ahma ja susi kävelevät pitkin metsäautoteitä ja metsäpeurat laiduntavat hakkuuaukealla. Mutta: kaikki kuvat ovat autenttisia, haaskoja ei ole käytetty. Kirjan loppuluku *Tutkimusmenetelmä* perustelee tätä valintaa. Aiemmin Haataja toteaakin haaskoihin perustuvan kaupallisen kuvaustoiminnan olevan yksi petojen luontaista käyttäytymistä häiritsevän ja muuttavan tekijän.

Tutkimusmenetelmä -loppuluvussa (s. 293–301) olisi tuki ollut syytä pohtia myös teoksen tieteellisiä lähtökohtia ja sitä, mitkä kysymykset jäivät käsittelyn ulkopuolelle. Vaikka teos huomioi ”supertappaja” ihmisen kielteiset vaikutukset laajasti, siitä puuttuu poliittinen ja sosiaalinen näkökulma. Miksi esimerkiksi poronhoitoalue näyttää olevan valtiovallan erityisessä suojeluksessa? Onko taustalla elinkeinovapauden perinteinen kapitalistinen arvo? Miksei poronhoitoa voi jättää Euroopan ainoan alkuperäiskansan saamelaisten taloudelliseksi ja kulttuuriseksi erityisoikeudeksi? Toki nämä laajat kysymykset vaativat omat tutkimuksensa, mutta lukijalle olisi hyvä tehdä selväksi, että teoksen näkökulma on luonnontieteellinen ja sikäli rajoittunut.

Yleisarvioni teoksesta on hyvin myönteinen. Kirja on erinomaisen mielenkiintoinen ja hyvin kirjoitettu kuvaus suurpetojemme ja metsäpeuran ongelmista luontokadon ja ilmastonmuutoksen kynsissä. Kysymys ympäristöpolitiikasta jätetään auki. Se onkin toisten kirjojen asia. Haatajan mukaan tulee olla kaikesta huolimatta optimisti. Vaaditaan kuitenkin nykyistä paljon radikaalimpia toimia, jos suurpedot halutaan säilyttää. Esimerkiksi kolmasosan suojelumaamme pinta-alasta ei välttämättä riitä. Tässä kohtaa tekijä on ehkä turhan pessimistinen – onhan esimerkiksi susi sopeutunut elämään jopa keskellä tiheään asuttua Italiaa.

Mutta ainakin poronhoitoalueelle tulisi

tehdä jotain, kuten tekijä välillisesti antaa ymmärtää. Hän ei suoraan vaadi sen purkamista, vaikka tuo johtopäätös on selvä. Omasta mielestäni poronhoito tulisi vähitellen jättää Euroopan ainoalle alkuperäiskansalle saamelaisille. Toisin sanoen Pohjois-Pohjanmaan ja Etelä-Lapin poronhoito tulisi ajaa vähitellen alas. Tästä hyötyisivät paitsi suurpetomme – mukaan lukien Skandinavian suurpedot - ja metsäpeura sekä myös metsänhoito näillä alueilla. Haatajan teoksesta puuttuvat tällaiset poliittiset suositukset.

Kokonaisuutena kirja on todella laaja ja perusteellinen tietopaketti. Suomen lisäksi siinä kuvataan hyvin Skandinavian ja Pohjois-Amerikan tilannetta. Arktinen globaaliperspektiivi on siis hyvin esillä Siperian laajaa taigaa lukuunottamatta. Kirjan nimi on kuitenkin huonosti valittu ja liian perinteinen. Se ei vastaa teoksen monipuolista sisältöä. Seuraaviin painoksiin tai mahdolliseen englanninkokokseen tämä tärkeä asia tulisi korjata. Kirjan todellinen monipuolisuus ja ajankohtaisuus vaatisi arvoisensa otsikon.

KARI VÄYRYNEN

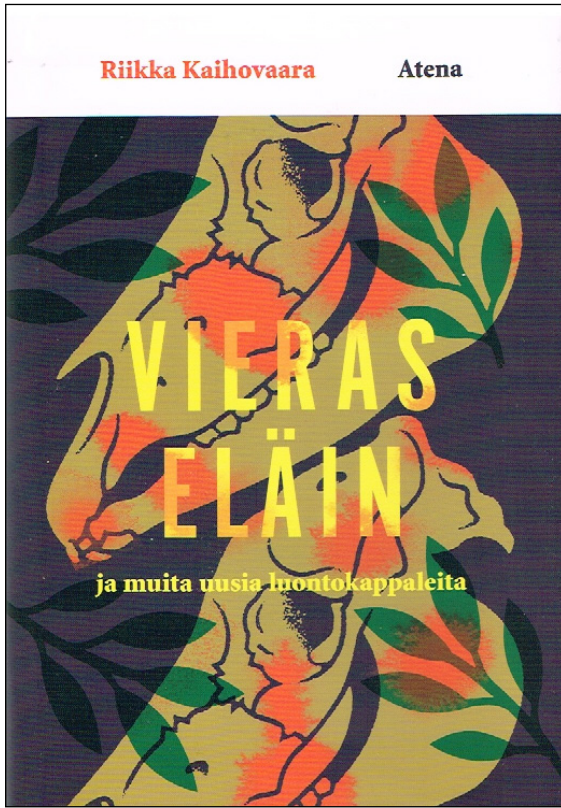
Ihmisen ongelmallinen luontosuhde

Riikka Kaihovaara. Vieras eläin ja muita uusia luontokappaleita. Atena.

Sami Keto. Enemmän kuin sapiens – kasvu elonkirjon jäseneksi. Into Kustannus.

Ihmisen suhde luontoon ja hänen elämäntapansa osana luonnonkiertoa puhuttaa. Ilmastonmuutos on arkipäivää ja luontokadoksi ristitty eliölaajien ja niiden asuttamien luonnonympäristöjen häviäminen on noussut kansainväliseksi huolenaiheeksi. Näiden ylätaason suurvaikutusten varjoon – joskaan ei niistä riippumattomaksi – on jäänyt tarkastelunäkökulma, jossa ihmisen luontosuhteen pohtiminen alkaa sen perusteluista, siitä ettei ihmisen kahlitsematon toiminta maapallolla ole enää (jos koskaan on ollut) oikeutettua, eikä ihminen voi perustella oikeuttaan käyttää luonnonvaro-

ja ja toisia eliölajeja omaksi hyväkseen sillä, että ihminen on luonnon erikoistapaus tai jotenkin muun luonnon ylä- tai ulkopuolella. Ihmisen erityisasemaa vastaan sotii monet – liian monet – eettiset, yhteiskunnalliset, humanistiset, oikeudelliset ja luonnontieteelliset tosiasiat ja havainnot. Riikka Kaihovaara ja Sami Keto pohjivat kirjoissaan tätä Ihmisen luontosuhteen peruslähtökohtaa.



Kaihovaaran ajattelu lähtee siitä, että jos ihminen alkaa pohtia syvemmin suhdettaan eläimiin ja luontoon yleensä, ihmiskulttuurin sovinnainten tapojen mietiskely johtaa hänet väistämättä ristiriitaan itsensä kanssa. Luonnon näkeminen pelkkänä luonnonvarana ja käsitys, että eläin on vain vaistonvarainen, ei-tunteva olio, joka ei älyä mitään eikä kykene tekemään valintoja, on väärä ja tieteellisesti osoitettu sellaiseksi. Tätä näkökantaa perustellakseen Kaihovaara on perehtynyt kirjallisuuteen ja viimeisimpään tutkimustietoon. Vaikka eläinten kognition, itsetietoisuuden ja niiden tuntoisuuden määrällinen toteaminen jäännöksettömästi jää kovan tieteen harmaalle alueelle, ny-

kyään pidetään itsestään selvänä, että eläimet tuntevat kipua ja monet lajit tunnistavat itsensä; eläinten kyvystä tehdä päätelmiä ja oppia asioita ollaan yksimielisiä.

Eläinten älykkyyden, kokemusten ja tunteusten tutkimus on ihmisen kokemusmaailmasta lähtevää ja ihmistutkimuksen siirtämistä eläinmaailmaan. Voi olla, että emme osaa tutkia eläinten (tai kasvien) tuntemuksia ja älykkyyttä oikealla tavalla, ja siksi näemme eliöiden todellisesta olemuksesta vain heijastuksia ongelmanratkaisukokeita tehdessämme. Kädellisten ja delfinien kieltä, kommunikaatiota, on tutkittu vuosikymmeniä, mutta yritämme keskustella niiden kanssa omin ehdoin; miksi delfinin kieltä pitäisi ymmärtää ihmisen käsittein. Jos kuitenkin voisimme vaihtaa ajatuksia delfinien ja valaiden kanssa, niin miten suhtautuisimme siihen, että ne kertoisivat elinolojensa häviämisestä valtamerissä ja ihmisen julmuuksista niitä kohtaan. Mitä vastaisimme?

Pelko, kärsimys, tuska, kuolema ja syyllisyys ovat Kaihovaaran kirjan avainkäsitteitä. Teoksen pääviesti rakentuu näille voimasanoille: elämä perustuu kuoleman välttelyyn, ja elämä on pelon ja kärsimyksen läpilyömiä. Miksi elämä maapallolla perustuu kärsimykseen? Tämä ei selviä lukijalle, sillä mainitut käsitteet kietoutuvat olennaisesti ihmiseen ja niiden ulottaminen eliöihin on ihmisen tunne-elämän siirtämistä osaksi eläinten kokemusmaailmaa. Biologiassa luonnonvalinta – jos se hyväksytään lähtökohdaksi – tuottaa kärsimystä. Elämä järjestäytyi syystä tai toisesta ravintoketjuiksi, joihin kipu ja kärsimys liittyvät. Ne ovat biologisten vuorovaikutusten olemassaolon ehto. Eliöiden tapa käyttää toisiaan omaksi hyödyksi on olemassa ihmisestä riippumatta.

Kaihovaara kertoo omakohtaisista ponnisteluista kohti asettamaansa eettistä päämäärää, jonka tavoittaminen on toisinaan vaikeaa. Kaihovaara pui lihansyöntiä monelta kantilta ja osoittaa havainnollisesti, miten ristiriitaisesti hän itsekin on aikojen kuluessa suhtautunut siihen, mitä on hyväksynyt lautaselleen. Omien

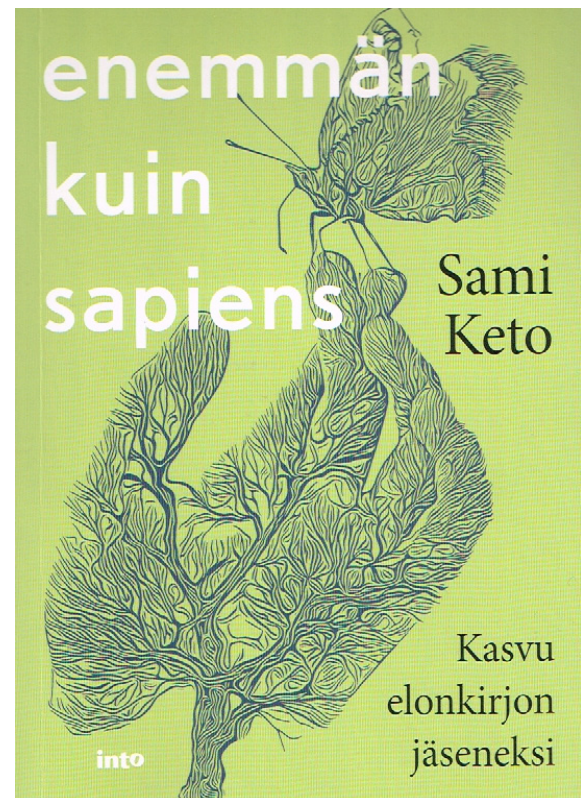
kokemusten avaaminen on kelpo tapa tuoda ongelma lähelle lukijaa. Kauhistelun tarkoitus on osoittaa, että me kaikki olemme syyllisiä. Syyllisyudentunto voi johtaa ihmisen muuttamaan tapojaan.

Omakokemuksellinen tietoaineksen käsitteily voi johtaa biologisen ja kulttuurisen tiedon sekoittumiseen tavalla, josta seuraa biologisen tiedon uustulkinta, eri tieteenalojen korrelointi niin, että argumentin tiedollinen perusta hämärtyy kohtalokkaasti. Ihmisen maailma on tehokas vertailukohta ja metafora, jolla puhutella ihmistä, mutta riittääkö se perustelemaan hänen toimintansa uudelleenarvion ja kääntämään kehityksen suuntaa ihmisen luontosuhteessa. Missä kulkee raja, jolla ihmiselle tyypillisiä tuntemuksia voi (saa) liittää perusteluiksi luontosuhteelle yhdessä luonnontieteellisen tiedon kanssa. Siihen Kaihovaaran kirja ei vastaa.

Kaihovaaran valitsema kirjallisuudenlaji, esse, on keino puida vapaasti omia käsityksiä luonnosta ja samalla johdattaa lukija maailmankuvallisten kysymysten äärelle. Kaihovaaran kirja kertoo todellisuudesta ihmistodellisemmin kuin (luonnon)tiede, jonka pyrkimys on yrittää pitää tarkkailija erillään ihmisen omasta kokemusmaailmasta. Kaihovaaran kirja sisältää paljon hienoja huomioita ja oivalluksia. Hänen suorasukainen tapansa käsitellä aiheita on osoittaa niiden nurinkurisuuksia. Tässä hän onnistuu mainiosti. Kaihovaara ei kuitenkaan kehittele ajatustensa pohjalta yhtenäistä ajatusrakennelmaa, vaan esittää tekstissään huomattavan paljon kysymyslauseita, joihin hän ei anna vastauksia. Kirja pysyy omakohtaisena, tunnustuksellisena muttei julistavana. Kaihovaaran kirjan loppupäätelmä on ajaton ja ihmisen luontosuhteen kulmakivi: Ihmisen tragedia on, ettei edes ongelmasta tietoisiksi tuleminen johda korjaustoimenpiteisiin.

Myös Sami Keto tarkastelee kirjassaan ihmisen asemaa osana elollista luontoa, jota hän kutsuu jäsenyydeksi elonkirjossa. Keto lähestyy ihmisen olemusta vastakohtien tai ristiriito-

jen kautta. Mahdottomilla tai tarkoituksellisilla vastakohtaisuuksilla Keto luo kuvaa ihmisestä luonnossa sellaisena kuin hän on ja millaisena hänen ei tulisi olla. Hänen teesinsä peruskivinä toimivat sukupuoliroolit, yksilön ongelma, ihmisoikeudet tai ylikalastus, susi ja vieraslajit. Keto osoittaa, että ihmisen erityisyys luonnossa voidaan tieteellisesti romuttaa tai ainakin kyseenalaistaa. Keto pyrkii näyttämään, että ihminen luonnon viitekehyksessä on muutakin. Kirjassaan hän perustelee monien teorioiden ja filosofoiden avulla, että muunlajisuus ja lajien keskinäisriippuvuus johtavat ihmisen ja luonnon väliseen harmoniaan ja myötätuntoon, joka on luonnon yhteenkuuluvuutta lujittava voima. Kirjan löyhänä kantoaaltona lienee ollut Yuval Hararin menestyskirja *Sapiens*, johon Kedon kirjan nimi viittaa. Keto ei tosin perusta kirjansa viestiä Hararin väitteiden torjumiseen tai niiden edelleenkehittelyyn.



Kirjan nimi *Enemmän kuin sapiens* on kielikuva, joka voi tarkoittaa sitä, että ihminen on enemmän kuin rationaalinen olio tai että ihminen on myös jotain jota luonnontiede ei

tyhjentävästi selitä. Keto kirjoittaa hyvin vuosittain ja tuo omat motiivit ja perustelut esiin sekoittamalla ne kiehuvaan filosofiseen, historialliseen, yhteiskunnalliseen ja luonnontieteelliseen keitokseen. Esitystavassa piilee vaara, että fakta-asioiden selostaminen ja oman pohdinnan virta kiehuttavat keiton hellalle, kummitien ja seipitteen välinen ohuenohut seitti katkeaa. Ekologian ja luonnontieteiden selittäminen filosofin tai yhteiskuntatieteilijän keksimin rinnakkaistermein ei toimi, lähtökohdaksi on otettava jompikumpi mutta ei niiden sekoitusta. Esimerkiksi ota ja anna -periaate tarkoittaa ekologiassa aineen ja energian kiertokulkua. Jos käsitellään ympäristökriisiä, lajien häviämistä tai ilmaston fysiikkaa, luonnontieteellisen tiedon on oltava lähtökohdaksi. Kun taas pohdiskellaan ihmisen osaa luonnossa ja hänen yhteiskuntansa suhdetta ympäröivään maailmaan, yhteiskuntatieteet, humanismi ja filosofia käy alkupisteeksi. Ihmisen kehitys eettisesti ja moraalisesti uudelle tasolle, jonka toiminta perustuu myötätunnolle ja myönteisille vuorovaikutuksille lajien välillä, on etupäässä yhteiskuntafilosofinen kysymys; luonnontieteellisistä tosiasioista ei voida tunnetusti päätellä sitä miten ihmisen tulisi maapallolla toimia.

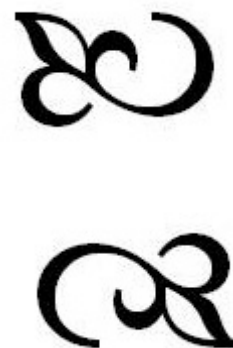
Tunnen Kaihovaaran ja Kedon edustamaa kirjallisuuden lajia huonosti, ja siksi luonnontieteellinen näkökulmani haittaa kummankin kirjan perusviestin ymmärtämistä. Olisin kaivannut kirjoihin tiiviimpää ilmaisua ja tiedollisten perustelujen täsmällisempää selittämistä. Biologisten ilmiöiden, historiallisten ja filosofisten tarkasteluiden sekä maailmankirjallisuuden yhteensovitus ei aina luonnistu, ja siksi monen tietoaineksen löyhä liittäminen ihmisen arvoituksen ratkaisuyritykseen aiheuttaa paikoin epäselvyyttä ja -täsmällisyyttä. Toisinaan liian monisanainen asianhaarojen pyörittely päättyy asian rehottavaan käsittelyyn ja kömpelöön aiheesta toiseen siirtyilyyn. Monet käsittekonstruktiot eivät antaudu lukijalle helpolla.

Keto kirjoittaa kirjansa loppuun ohjelman ekososiaalisesta kasvatuksesta, jota hän kutsuu

kanssaelon tutkimusasemaksi. Tavoiteohjelman suuntaviivat muistuttavat erehdyttävästi Luonto-Liiton 1950-luvun tavoitteita valistaa nuoria luonnonharrastajia. Vain tuntemalla luontoa ja harrastamalla sitä, voi oppia kunnioittamaan luontoa ja sen eliömaailmaa. Kunnioittamisesta syntyy, kuin itsestään, halu ja velvollisuus myös suojella luontoa. Luonnon kokeminen on luonnon kanssa vuorovaikutuksessa olemista, mikä voi johtaa ymmärrykseen, että luonnolla ja sen eliöillä on itseisarvo. Loppujen lopuksi oman henkilökohtaisen luontosuhteen pohtimiseen ei tarvita luonnontieteellisiä perusteita eikä historiallisia filosofioita tai aatteita, jo pelkkä kohtuuden periaate – jos se olisi luonteenomaista ihmiselle – olisi riittävä ehto elää ihmisiksi muun luonnon ja meidän toislaajisten kanssakulkijoiden kanssa.

En pidä Kaihovaaran ja Kedon kirjoja varsinaisina tietokirjoina, eivätkä ne ole pamfletteja, vaan ne ovat tarpeellisia keskustelukirjoja. Ihminen osana luontoa ja ihminen luonnon hyväksikäyttäjänä on sen verran laaja kokonaisuus kenen hyvänsä hallittavaksi, että kun joku ryhtyy aiheesta kirjoittamaan kirjaa, saa hän aina aikaiseksi tärkeän puheenvuoron, jota kannattaa kuunnella. Kaihovaaralla ja Kedolla on asiaa meille kaikille.

PASI REUNANEN



ILMOITUS SEURAN JÄSENILLE



Suomen Biologian Seura Vanamon sääntömääräinen vuosikokous järjestetään

torstaina 25.5.2023 klo 18.00

Tieteiden talossa salissa 505 osoitteessa Kirkkokatu 6, 00170 Helsinki. Kokoukseen voi osallistua myös etäyhteyksin. Kokouksessa käsitellään yhdistyksen sääntömääräiset asiat, kuten toimintakertomus, toimintasuunnitelma ja tilinpäätös, sekä valitaan hallitukseen jäsenet erovuoroisten tilalle kaudelle 2023–2026. Lisäksi kokouksessa julkistetaan vuoden 2023 apurahojen myönnöt sekä kuullaan perinteinen vuosikokousesitelmä, jonka aihe varmistuu lähempänä kokousta.

Tervetuloa!

Kokoukseen pitää ennakoilmoittautua. Ilmoittautumislomake löytyy osoitteesta: <https://forms.gle/SSdqymW2wgnHxxjd7> sekä seuran verkkosivuilta. Huomaa, että ilmoittautuminen vaaditaan myös niiltä, jotka osallistuvat kokoukseen etäyhteyksellä. Ilmoittautuneille lähetetään sähköpostiin etäkokouslinkki ennen kokousta.

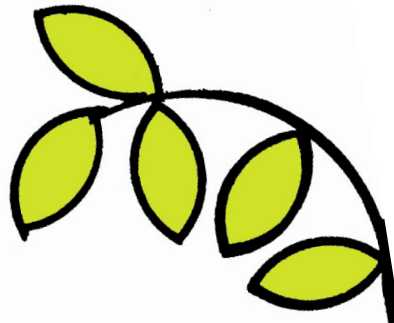
Itsenäisen Suomen tieteen historia -hanke

Lisäksi haluan kiinnittää huomionne käynnissä olevaan *Itsenäisen Suomen tieteen historia* -hankkeeseen. Hankkeessa kerätään suomalaisella tiedekentällä toimineiden kokemuksia ja muistitietoa, ja sen tarkoituksena on koota tietoa siitä, miten eri tieteenalat ovat kehittyneet Suomessa. Hanke toteutetaan yhteistyössä Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran, Svenska litteraturstälsskapet i Finlandin, Suomen Tiedeseuran, Suomalaisen Tiedeakatemian, Tieteellisten Seurain Valtuuskunnan, Kansallisarkiston ja Suomen Historiallisen Seuran kanssa. tiedonkeruuseen voi osallistua 31.8.2023 asti osoitteessa: <http://www.finlit.fi/tieteentekijat>. Koska seuran jäsenistössä on paljon tieteentekijöitä ja tutkijoita, mahdollisimman monen seuran jäsenen kannustetaan osallistumaan tämän muistitiedon keruuseen, jotta saadaan kartutettua tärkeitä tietoa biologian alan historias- ta Suomessa!

Mukavaa kevättä,

Niko Johansson
Sihteeri

Suomen Biologian Seura Vanamo ry.



Kirjoittaisinko Luonnon Tutkijaan

Ensimmäiset tieteelliset seurat perustettiin Suomeen 1800-luvulla. Koska Suomessa ei ollut olemassa julkaisukanavia tieteellisille tutkimuksille tai tiedonannoille, seurat perustivat omia lehtiä, joissa tutkimusten tuloksia voitiin esittää ja levittää uutta tietoa jäsenkunnan keskuuteen. Tieteellisten seurojen lisäksi myös pienemmät yhdistykset julkaisivat tiedonantoja erilaisissa lehtisissä ja aviiseissa. Useilla tieteellisillä seuroilla oli oma julkaisusarja tieteellisille artikkeleille ja yleistajuisille tiedettä tunnetuksi tekevälle kirjoittelulle. Suomen Biologian Seura Vanamo ry on julkaissut tieteellisten Annales-sarjoja lisäksi vuodesta 1897 alkaen yleistajuista, suomenkielistä julkaisua Luonnon Tutkijaa (vuoteen 1946 asti Luonnon Ystävä), jonka tarkoitus oli levittää etupäässä kotimaista luonnontieteellistä tutkimustietoa jäsenkuntaan ja valistaa suurta yleisöä biologian alan valtavirrasta maailmalla. Lehti toimi Vanamon jäsenkunnan tiedonantajana, mutta se on ollut ja tulee olemaan biologian alan merkittävin julkaisukanavana, joka on tavoittanut alan laajan lukijakunnan. Luonnon Tutkija on kaikkien biologien oma lehti kautta aikojen. Lehti on avoin kaikille biologisesta tutkimuksesta kertoville kirjoituksille, mutta toivottaa tervetulleeksi myös mitä moninaisimmat kirjoitukset, joilla on liittymäkohta biologisiin ilmiöihin. Tämä tarkoittaa sitä, että myös Sinä, Hyvä Lukija, voit tarttua kynään ja kirjoittaa Luonnon Tutkijaan.

Luonnon Tutkijan Juttutyypit

Pääkirjoitus. Päätoimittaja tai toimitusneuvosto laatii tavallisesti pääkirjoituksen, mutta pääkirjoituspalsalle on perinteisesti hyväksytty myös vieraillevien kirjoittajien kirjoituksia. Pääkirjoitus on pituudeltaan noin yhden liuskan pituinen (so. 3100 merkkiä välilyönteineen).

Pitkät jutut. Tutkimusartikkeli ja katsausartikkeli ovat Luonnon Tutkijan pääjuttutyyppejä. Niille ei anneta tiukkoja kirjoitusten pituusvaatimuksia, vaan kirjoituksen laajuus ratkeaa toimitustyön yhteydessä. Tutkimusartikkeli esittelee kohdennetusti yhden tutkimusaihepiirin, sen menetelmät ja aineistot. Tuloksia käsitellään pohdinnan yhteydessä. Artikkelissa esitetään tutkimuskysymys yleisellä tasolla, ei samalla tavalla tiukkaan muotovaatimukseen kangistuvasti, kuten varsinaisen tieteellisen tutkimuksen raportoinnin yhteydessä. Katsausartikkeli on laaja, tiettyä aihetta taustoittava ja vapaasti käsittelevä juttutyyppi. Tutkimusartikkeli ja katsausartikkeli lähetetään vertaisarvioon. Pitkiin juttuihin kirjoittaja voi halutessaan laatia lyhyen englanninkielisen tiivistelmän (700 merkkiä välilyönteineen).

Tiedonannot. Tiedonannot ovat muutaman liuskan mittaisia ilmoitusluonteisia kirjoituksia lukijakunnalle vapaista, biologian alan aiheista.

Kirjallisuusarvostelut. Lehteen voi toimittaa kirjallisuusarvioita uutuuskirjoista. Kirja-arvostelun mukaan tulee liittää skannattu kuva kirjan kannesta ja kirjan täsmälliset viittaustiedot.

Muistokirjoitukset. Luonnon Tutkijan pitkä perinne on julkaista muistokirjoitus edesmenneistä biologi- ja luonnontutkijakunnan merkkihenkilöistä ja alan vaikuttajista.

Henkilökuvat. Henkilökuvat valottavat tutkijoiden ja tutkimusten arkea.

Ajattelun aiheet. Ajattelun aiheet on liuskan pituinen kolumnin muotoon kirjoitettu alan ajankohtaisia aiheita puiva keskustelunherättäjä.

Antikvariaatista. Antikvariaatista-kirjoitus tuo historian havinan Luonnon Tutkijan sivuille. Kirjoituksessa siteerataan tutkimusperinteiden menneiden aikojen uranuurtajien kirjoituksia muistuttamaan nykyajan tutkijakuntaa, että monilla ajatuksilla on sittenkin pitkät juuret menneisyudessa.