

Ihmisen aiheuttama defaunaatio vähentää sademetsän biodiversiteettiä

Miina Suutari

Ihmisen toiminta muuttaa väistämättä ympäristöä sekä ympäristössä eläviä eliöyhteisöjä, ja muutoksen vaikutukset voivat edetä ekosysteemissä vyöryn omaisesti. Defaunaatio on ihmisen aiheuttama ja ylläpitämä ilmiö, jolla tarkoitetaan lajien tai populaatioiden paikallista katoamista tai vähenemistä, jonka vaikutukset ulottuvat myös toisaalle koskemattomaan luontoon. Katoavat eläimet jättävät jälkeensä lajistosta köyhiä ekosysteemejä, joista puuttuu lukemattomia tärkeitä ekologisia toimintoja ja vuorovaikutuksia; vaikutukset ulottuvat eläimistä kasveihin ja uhkaavat luonnon biodiversiteettiä. Tässä kirjoituksessa tarkastellaan defaunaatiota sademetsissä.

Johdanto

Viime vuosisadan aikana ihmisten lukumäärä on kasvanut räjähdysmäisesti: 1900-luvun alussa maailman väkiluku oli noin 1,5 miljardia mutta 2010-luvulla jo yli 7 miljardia. Luonnonvarojen kulutus on kasvanut vielä tätäkin voimakkaammin (Otto 2018). Eksponentiaalinen kasvu rajallisessa maailmassa ei ole kuitenkaan ongelmatonta. Ihminen on jättänyt ympäristöön niin suuren jäljen, että geologisessa ajanlaskussa on siirrytty uuteen epookkiin, antroposeeniin, jota leimaa ihmisen maailmanlaajuinen vaikutus. Ihminen vaikuttaa ympäristöönsä suoraan ja epäsuorasti, niin paikallisesti kuin maailmanlaajuisesti. Esimerkiksi kaupungistuminen muuttaa elinympäristöjä, lisää saasteita ja voi tuoda alueelle vieraslajeja.

Tällä hetkellä elämme luonnonhistorian lajirikkainta aikaa, mutta näin ei ole välttämättä tulevaisuudessa: meneillään on maapallon kuudes massasukupuuttoaalto (Ceballos ym. 2017). Vuoden 1500 jälkeen yli 320 maalla elävää selkärangkaislajia on kuollut sukupuuttoon (Dirzo ym. 2014; Young ym. 2016), näistä 200 on hävinnyt viimeisen sadan vuoden aikana (Ceballos ym. 2017). Tahti on kiihtyvää ja jopa ennennäkemättömän nopea. Kahdensadan lajin kuoleminen sukupuuttoon sadassa vuodessa tarkoittaa keskimäärin kahta lajia vuodessa;

fossiiliaineiston perusteella on laskettu, että aiempien sukupuuttoaaltojen aikaan vastaavaan määrään olisi kulunut noin 10 000 vuotta (Ceballos ym. 2017). Vaikka sukupuutot ovat peruuttamattoman luonteensa takia vakava uhka luonnon monimuotoisuudelle, pelkkä sukupuuttojen laskeminen ei anna meneillään olevasta ilmiöstä todenmukaista ja riittävää kuvaa.

Siinä missä sukupuutot tapahtuvat yleensä hitaasti, yksilömäärät voivat laskea nopeasti (Dirzo ym. 2014). Kuudes sukupuutto onkin pidemmällä, kuin mitä pelkkä lajien sukupuuttojen tarkkailu antaisi ymmärtää. Maailman nisäkkäistä 26 % on vaarantuneita tai uhanalaisia, linnuilla vastaava luku on 13 % (IUCN Red List 2021). Kaiken kaikkiaan villieläinten yksilömäärien on arveltu laskeneen jopa yli 50 % 1950-luvun jälkeen (Ceballos ym. 2017). Tähän lukuun ei kuitenkaan sisälly vain uhanalaisia lajeja, myös elinvoimaisiksi luokiteltujen, yleisten lajien yksilömäärät ovat laskussa. Yleisyys ei suojele lajia mahdolliselta sukupuutolta. Esimerkkinä tästä on muuttokyyhky (*Ectopistes migratorius*), joka oli aikoinaan hyvin runsaslukuinen, mutta kuoli sukupuuttoon 1900-luvun alussa pitkälti metsästyksen takia.

Lajien yksilömäärien lisäksi niiden levinneisyysalueet ovat pienentyneet. Tämä tarkoittaa joko populaatioiden kriittistä pienenemistä tai

paikallista katoamista. Ekosysteemipalvelut ja ekosysteemien toiminta johtuu ensisijaisesti lajien vuorovaikutussuhteista ja siksi niiden katoaminen on vakava uhka luonnon monimuotoisuudelle: populaatioiden mukana menettään vuorovaikutusverkostoja ja lajin sisäistä muuntelua. Monet erilliset populaatiot ovat lajeja suuremman sukupuuttouhan alla. Tämä on huolestuttavaa, koska paikallinen ilmiö voi muuttua maailmanlaajuiseksi ja populaatioiden sukupuutto voi olla koko lajin sukupuuton alkua. On arvioitu, että sukupuuttoon päätyneiden populaatioiden määrät liikkuvat miljoo- nissa, ja useat lajit ovat menettäneet jopa 50 % entisestä levinneisyysalueestaan (Young ym. 2016). Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna populaatioita katoaa eniten alueilta, joiden lajidi- versiteetti on suuri: tropiikista ja sademetsistä. Populaatioiden pienenemisen tai katoamisen taustalla voi vaikuttaa useita syitä, mutta kun ihminen aiheuttaa lajien vähenemisen niin voi- daan puhua defaunaatiosta.

Mitä defaunaatio on?

Termille defaunaatio (engl. *defaunation*) ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä suomennosta, mutta samaan tapaan kuin deforestaatiosta käytetään termiä metsäkato, defaunaatiosta voitaisiin mahdollisesti puhua eläinkatona. Tässä kirjoituksessa käytetään kuitenkin termiä defaunaatio. Defaunaatio on osa kuudetta massasukupuuttoa ja tärkeä tekijä globaaleissa ekologissa muutoksissa. Defaunaatiolla tarkoi- tetaan eläinten paikallista katoamista, jonka ihminen on aiheuttanut (Dirzo ym. 2014). Po- pulaatio voi joko kadota kokonaan tai pienen- tyä niin paljon, että sen ekologinen merkitys alueella muuttuu käytännössä olemattomaksi.

Defaunaatio voi tarkastelutasosta riippuen olla kryptistä tai ilmeistä. Ilmiöllä on kolme eri tasoa: 1) maailmanlaajuinen sukupuutto, 2) yhden populaation sukupuutto tai levennei- syysalueen pieneneminen ja 3) lajin paikallisen yksilömäärän väheneminen (Young ym. 2016). Lajistovaikutuksia havaitaan kaikilla tasoilla,

lajien sukupuuttoina, populaatioiden katoami- sena ja eläinten määrän vähenemisinä. Siinä missä sukupuutot keräävät paljon huomiota ja herättävät aiheellista huolta, voi esimerkiksi yleisen lajin yksilömäärien paikallinen vähe- neminen jäädä huomaamatta tai se voidaan mieltää merkityksettömäksi. Maailman kaikista trooppisista metsistä 88 %:ia uhkaa defaunaa- tio, esimerkiksi metsästyksen tai hakkuiden takia (Osuri ym. 2016). Pohjoisella pallonpuo- liskolla ilmiö on tapahtunut jo huomattavasti aikaisemmin, eoseenikaudella, jolloin esimer- kiksi mammutit ja niiden ylläpitämät elinympä- ristöt hävisivät.

Defaunaation vaikutukset ulottuvat lajien katoamista pidemmälle. Seurauksena voi olla muutoksia alueellisissa lajikoostumuksissa ja lajien välisissä vuorovaikutuksissa, ekologisissa ja evolutiivisissa prosesseissa sekä ekosysteemi- palveluissa (Culot ym. 2017). Vaikutukset voivat olla välittömiä, esimerkiksi muutokset kasvien fysiologiassa ja kasvussa tai muutok- set eläinten käyttäytymisessä. Vaihtoehtoi- sesti muutokset havaitaan vasta pidemmän ajan kuluttua, esimerkiksi muutoksina alueen eläinten ja kasvien yhteisörakenteessa, mikä voidaan todeta häiriöinä ekosysteemien toi- minnassa (Galetti & Dirzo 2013). Defaunaatiolla voi olla myös evolutiivisia seurauksia, kuten fenotyyppien ja populaatioiden geneettisen koostumuksen muutoksia (Galetti & Dirzo 2013; Brodie 2017). Defaunaatiolla on havaittu olevan suoria vaikutuksia muun muassa sie- menten leviämiseen, tuholaiistorjuntaan, hiilen ja ravinteiden kiertoon, lannan poistoon sekä ekosysteemipalveluihin ja ruuan saatavuuteen, joilla on yhteys ihmisten terveyteen (Dirzo ym. 2014).

Defaunaatio ei ole satunnaista: syyt ilmiön taustalla

Defaunaatio ei ole satunnaista vaan se koh- distuu tiettyihin lajeihin tai ekologiisiin omi- naisuuksiin, yleensä suuriin selkärangkaisiin. Kyseessä on ihmisen aikaansaama ilmiö, jota

ihminen myös ylläpitää suurin ja epäsuorin keinoin. Defaunaation taustalla on useita erisyyttä, jotka vaikuttavat toisiinsa ja ylläpitävät toisiaan. Tärkeimpiä defaunaatiota aiheuttavia suoria tekijöitä ovat metsästys, salametsästys, laitton eläinkauppa ja vieraslajit. Näiden lisäksi defaunaatioon vaikuttavat epäsuorat tekijät, kuten maankäytön muutokset, alueiden pirstoutuminen tai helpompi saavutettavuus (Galetti & Dirzo 2013). Maailman yhtenäisistä sademetsistä enää 12 % on kaukana teistä tai ihmisasutuksesta, joten ihmisen vaikutus ulottuu lähes jokaiseen maailman kolkkaan (Young ym. 2016).

Defaunaatio etenee yleensä kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa metsätetään yksinkertaisilla, perinteisillä välineillä, esimerkiksi ansoilla, ja saalis on tarkoitettu metsästäjän omaan käyttöön. Toisessa vaiheessa metsästys tehostuu parempien välineiden, esimerkiksi tuliaseiden ja verkkojen avulla, ja metsästys tähtää ainakin osittain, ellei kokonaan, kaupalliseen tarkoitukseen. Lopulta metsästyksestä siirrytään luonnonympäristön voimaperäiseen hyödyntämiseen, esimerkiksi hakuihin tai patojen rakentamiseen (Young ym. 2016). Viimeinen vaihe ei välttämättä kohdistu eläimiin, mutta elinympäristöjen kadotessa tai tuhoutuessa katoavat myös paikalla esiintyneet eläimet. Tällä hetkellä suuri osa maakoosteemista ja makean veden ekosysteemeistä on siirtynyt defaunaation kolmanteen vaiheeseen, elinympäristöjen hyödyntämiseen (Young ym. 2016). Vielä koskemattomat sademetsät ovat defaunaation ensimmäisessä tai toisessa vaiheessa.

Ihmiset ovat metsästäneet villieläimiä tuhansia vuosia, mutta eivät koskaan samassa mittakaavassa kuin nykyään. Aseiden leviäminen ja liikenneyhteyksien paraneminen mahdollistavat laajamittaisen metsästyksen kaupalliseen tarkoitukseen, kun saaliin saaminen ja kuljettaminen kauppapaikoille, jopa satojen kilometrien päähän, on vaivatonta. Perinteinen kotitarvemetsästys ei ole kestä-

mätöntä, mutta defaunaation toisen vaiheen metsästys on (Young ym. 2016). Eläinten populaatiokoot laskevat rajusti, kun metsästys muuttuu kaupalliseksi (Benítez-López ym. 2017). Metsästys on merkittävä uhka biodiversiteetille ja koskee noin 19 %:ia trooppisista selkärangkaisista ja vaikuttaa niiden populaatiokokoihin ja yksilömääriin kaikkialla tropiikissa, aiheuttaen jopa paikallisia sukupuuttoja (Bello ym. 2015). Alueilla, joihin kohdistuu voimakas metsästyspaine, lintujen, nisäkkäiden ja kalojen määrät ovat vähentyneet 58–90 % (Correa ym. 2015; Benítez-López ym. 2017). Paikoin esimerkiksi Kaakkois-Aasiassa osa sademetsistä on jo tyhjentyneet eläimistä (Benítez-López ym. 2017). Metsästys on siinä määrin merkittävä tekijä, että eläinten yleisyys riippuu nykyään enemmän metsästyksestä kuin metsätyypistä, elinympäristöstä tai sen suojeleasteesta (Harrison 2011; Benítez-López ym. 2017). Monet viimeisen 200 vuoden aikana tapahtuneista sukupuutoista ovat seurausta eläinten liikkäyksestä (Otto 2018).

Metsästyksen voimakkuus riippuu kauppapaikkojen läheisyydestä, alueen suojelusta, metsätyypistä, mutta kaikkein tärkein tekijä on alueen saavutettavuus. Lintujen ja nisäkkäiden populaatiot pienenevät 7–40 kilometrin matkalla lähtöpisteestä, josta metsästäjät kulkevat alueelle (Benítez-López ym. 2017). Jokiekosysteemeissä vaikutukset voivat ulottua vielä laajemmalle; kalastus vaikuttaa esimerkiksi mustapakun (*Colossoma macropomum*) kantaan vielä 1000 kilometrin päässä Manauksen miljoonakaupungista (Tregidgo ym. 2017). Metsästyspaine on kaikista suurin kaupunkien eli tärkeiden kauppapaikkojen lähellä. Yleis-tään voidaan sanoa, että jos alueelle kulkee tie, siellä metsätetään. Tämä koskee myös suoje-lualueita. Noin 18 % trooppisista sademetsistä on lain nojalla suojeltu (Harrison 2011), mutta defaunaatiosta kärsii 88 % sademetsistä (Osuri ym. 2018). Tästä voidaan päätellä, että salametsästys on yksi suurimmista defaunaation syistä. Metsästyksen lisäksi elinympäristöjen tuhoutu-

minen on merkittävä defaunaatiota aiheuttava tekijä. Sademetsien kaupungistuminen on kiihtynyt ja väestö lisääntynyt, mikä lisää painetta asutuskeskusten leviämislle. Kaupungit vaikuttavat ympäristöönsä, ja väestön lisääntyminen ja muutokset maankäytössä luovat pirstoutuneita elinympäristöjä. Villieläimet ovat korvautuneet kotieläimillä, joiden biomassa on moninkertaisesti suurempi kuin luonnossa elävien nisäkkäiden ja lintujen biomassa yhteensä (Bar-On ym. 2018).

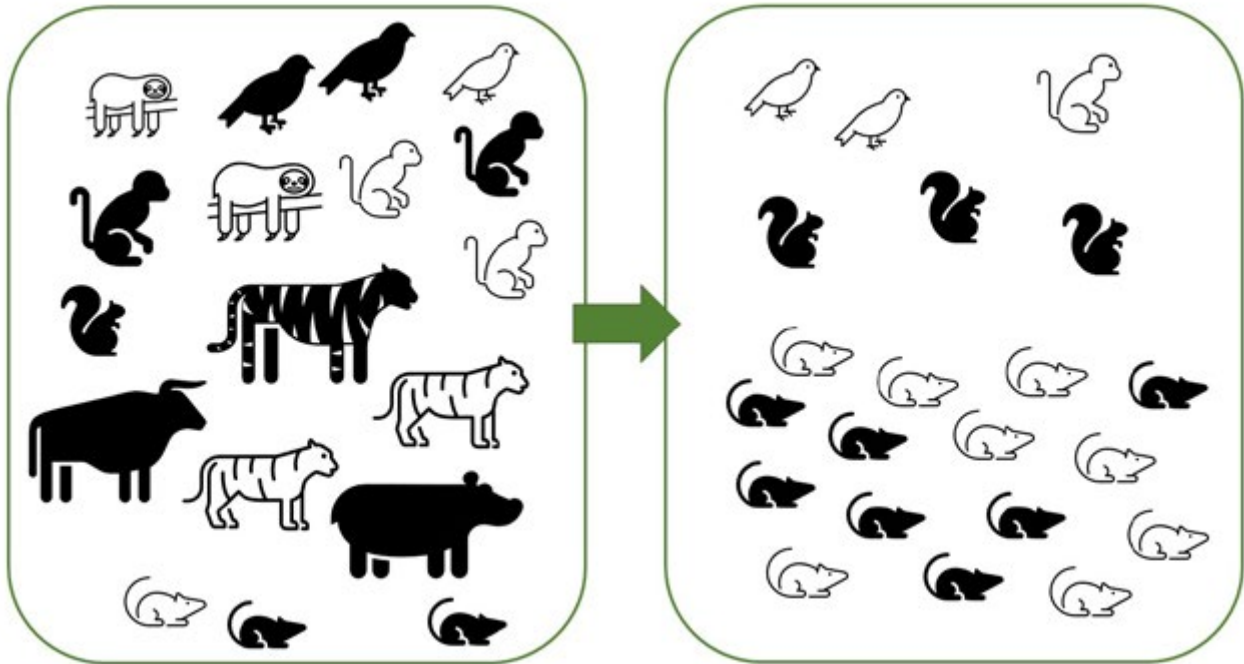
Sekä metsästyksellä että elinympäristöjen pirstoutuminen vaikuttavat ensimmäiseksi suuriin selkärangkaisiin. Metsästäjät suosivat suurta saalista, joista saatu lihamäärä ja muu taloudellinen tuotto yhtä eläintä kohti on suurempi. Suurten eläinten ekologia eroaa pienistä eläimistä, koska ne tarvitsevat suuremman alueen elinvoimaisen populaation ylläpitoon ja ne ovat usein pieniä eläimiä hitaampia lisääntymään. Siksi esimerkiksi toisistaan erillään olevat metsälaikut eivät kykene yksin ylläpitämään riittävän suurta populaatiota. Hitaampi lisääntymistahti tarkoittaa sitä, että populaatio palautuu hitaasti liikametsästyksen jälkeen, eikä toipumista ehdi välttämättä tapahtua, jos metsästyksellä jatkuu. Maantieteellisestä alueesta riippuen esimerkiksi nisäkkäiden defaunaation voidaan odottaa vaikuttavan kaikkiin yli kilon painoisiin eläimiin (Dantas de Paula ym. 2018).

Defaunaatio vaikuttaa eläinten diversiteettiin, tiheyteen ja biomassaan

Ihmistoiminta ja maankäyttö vaikuttavat eläimiin suoraan ja vähentävät niiden määrää. Defaunaatio voidaan havaita eläinten lajidiversiteetin, kannan tiheyden ja lajiston biomassan eroina eri alueiden välillä (Kuva 1). Metsästyspaine on tärkein muuttaja, mitä tulee eläinten runsauteen ja sen merkitys korostuu, kun vertaillaan alueen koko eläinlajistoa riistaeläimiin (Galetti ym. 2016). Riistaeläinten populaatiotiheys laskee metsästyspaineen lisääntyessä ja on korkeimmillaan suojelluilla alueilla, joilla ei metsästetä (Galetti ym. 2016; Benítez-López

ym. 2017). Jos tutkimukseen otetaan mukaan kaikki alueella tavattavat lajit, eläinten tiheydessä ei välttämättä tapahdu muutosta tai se voi olla jopa korkeampi alueilla, joilla metsästetään paljon. Pelkkä tiheyden tarkastelu ei siksi riitä defaunaation toteamiseen. Eläinten biomassa antaa paljon suoraviivaisemman tuloksen. Nisäkkäiden biomassa voi olla jopa 98 % pienempi alueilla, joilla metsästetään paljon (Galetti ym. 2016). Tämä johtuu siitä, että metsästyksen kohteena olevat riistaeläimet ovat kooltaan suurempia, kuin esimerkiksi siltä välttyvät jyrsijät. Biomassa, sekä yksin riistaeläinten tai kaikkien nisäkkäiden yhdessä, laskee metsästyspaineen noustessa. Tämä tulos pätee myös silloin, kun eläinten tiheys kasvaa defaunaation aikana. Biomassan menetys voi olla suurempi kuin tiheyden menetys: metsästettyjen ja koskemattomien alueiden välillä eläinten tiheys voi vaihdella 16-kertaisesti ja biomassa jopa 70-kertaisesti (Galetti ym. 2016). Esimerkiksi Amazonin sademetsässä metsästyksellä laskee kädellisten biomassa ja tiheyttä. Hämähäkkia-pinoiden (*Ateles* spp.) yksilömäärät pinta-ala-yksikköä kohden laskevat yli kymmenestä alle yhteen metsästyksen myötä ja villa-apinoiden (*Lagothrix* spp.) vastaava lasku on lähes 20:stä alle yhteen yksilöön (Peres ym. 2016). Apinoiden populaatiokoot ovat laskeneet 0–4 prosenttiin siitä, mitä ne ovat ei-metsästetyillä alueilla. Biomassassa laskettuna menetys on noin 96 %.

Eläinten tiheys ja biomassa voivat siis muuttua samalla alueella eri tavalla. Siinä missä biomassa antaa aina samantapaisia tuloksia, tiheys voi vaihdella riippuen siitä, otetaanko mukaan kaikki alueen lajit vai ainoastaan metsästyksen kohteena olevat lajit. On mahdollista, että eläinten tiheys ja yksilömäärät kasvavat defaunaation edetessä. Kun biomassa laskee tiheyden kasvaessa, voidaan olettaa, että pienet eläimet yleistyvät. Defaunaatio voi todellakin hyödyttää joitakin lajeja: suurten eläinten kadotessa pienet yleistyvät (Galetti ym. 2016; Benítez-López ym. 2017). Esimerkiksi jyrsijät



Kuva 1. Defaunaatio vaikuttaa alueen diversiteettiin, biomassaan ja tiheyteen. Defaunaatio kohdistuu suuriin eläimiin ja kun ne vähenevät, pienikokoiset eläimet etenkin jyrsijät lisääntyvät. Jyrsijöiden massa on pieni, joten eläinten yhteen laskettu biomassa vähenee. Näistä muutoksista huolimatta yksilöitä voi olla aikaisempaa enemmän ja eläinten tiheys voi kasvaa.

voivat lisääntyä huomattavan paljon. Alueilla, joilta suuret sorkkaeläimet ovat kadonneet jyrsijöitä voi olla lähes puolet enemmän kuin alueilla, jotka eivät kärsi defaunaatiosta (Galetti ym. 2015).

Eläinten biomassan ja tiheyden lisäksi defaunaatio vaikuttaa niiden diversiteettiin. Defaunaatio ei välttämättä muuta α -diversiteettiä, mutta β - ja γ -diversiteetti pienenevät (Young ym. 2016). Alueet alkavat muistuttaa toisiaan lajistoltaan ja toiminnoltaan, ja defaunaatio vähentää koko sademetsän diversiteettiä. Alueen lajirikkaus ei näin ollen ole yksinään riittävä mittari, mitä tulee ekosysteemin hyvinvointiin. Lajidiversiteetin lisäksi tulee ottaa huomioon myös toiminnallinen ja fylogeneettinen diversiteetti (Young ym. 2016). Yleistäen voidaan sanoa, että defaunaation köyhdyttämissä metsissä biomassa on pienentynyt, jyrsijöiden määrä lisääntynyt ja diversiteetti vähentynyt. Sekä eläimet että eläinyhteisöt pienenevät ja tällä on vaikutuksia

ekosysteemin toimintaan.

Eläimet vaikuttavat ympäristöönsä: ekosysteemi rakentuu vuorovaikutusten varaan

Luonto ei koostu vain yksittäisistä lajeista, vaan se on kokonaisuus, jonka toiminta perustuu lajien välisille vuorovaikutussuhteille. Toimiva ekosysteemi rakentuu lajien ja tuotanto- eli trofiatasojen välisten vuorovaikutusten varaan. Lajien kadotessa katoavat myös niiden toiminnalliset ominaisuudet; itse asiassa lajien tarjoamien toimintojen ja palvelujen katoaminen tapahtuu usein ennen varsinaista populaation tai lajin sukupuuttoa (Young ym. 2016). Luonnon monimuotoisuudesta, biodiversiteetistä, puhuttaessa tuleekin lajidiversiteetin lisäksi ottaa huomioon toimintojen diversiteetti ja lajien katoamisen lisäksi on huomioitava toimintojen katoaminen. Alueen toiminnallinen diversiteetti voi pienentyä, vaikka α -diversiteetti pysyisi samana (Young ym. 2016). Näin voi tapahtua esimerkiksi silloin, kun alueen

suuret eläimet korvautuvat jyrsoilla, jotka vastaavat toiminnoiltaan toisiaan.

Sademetsien ekosysteemipalvelut ovat vaarantuneet metsästyksen takia: eläinten ja kasvien väliset mutualistiset suhteet, jotka ylläpitävät sademetsää ovat katoamassa (Peres ym. 2016). Defaunaatio aiheuttaa trofiatasolta toiselle ulottuvia, perättäisiä ja toisistaan riippuvia biologisia tapahtumia (kaskadeja), jotka häiritsevät eläinten ja kasvien välisiä vuorovaikutussuhteita. Populaatiot ja yksilöt ovat paikoin niin harvassa, että niiden välillä ei ole vuorovaikutusta; pienentyneen populaation vaikutus ekosysteemiin voi olla käytännössä olematon (Galetti ym. 2016). Defaunaatio voi siis aiheuttaa paikallisen lajikadon lisäksi myös toiminnallisen tyhjiön ekosysteemiin, jossa kriittiset vuorovaikutukset ovat lakanneet. Lopputuloksena voi olla kasvillisuudeltaan lajirikas ja näennäisesti hyvinvoiva ympäristö, josta suuri osa lajien välisistä vuorovaikutuksista puuttuu eläinten katoamisen vuoksi. Toiminnallisesti köyhtyneestä metsästä puhutaan tyhjän metsän syndroomana (Beck ym. 2013; Peres ym. 2016; Young ym. 2016). Ylimetsästetyt, lajistosta tyhjentyneet ekosysteemit ovat yleistymässä kaikkialla tropiikissa (Benítez-López ym. 2017).

Defaunaatio vaikuttaa tulevaisuuden sademetsään

Defaunaation vaikutus tulevaisuuden sademetsien eläinyhteisöihin on ilmiselvää, mutta mikäli ihmisen toiminta jatkuu samanlaisena kuin nykyään, vaikutukset ulottuvat myös kasviyhteisöihin. On arveltu, että trooppinen defaunaatio muuttaisi kasviyhteisöjä ja vähentäisi niiden diversiteettiä kaskadien kautta.

Eläimet voivat vaikuttaa ympäristöönsä troofisten ja ei-troofisten yhteyksien kautta (Beck ym. 2013). Troofisia vaikutuksia ovat muun muassa kasvien siementen syöminen ja niiden levittäminen tai trofiatasolla alaspäin kohdistuva alassuuntainen (top down) -kontrolli (Bello ym. 2015; Dantas de Paula ym.

2018). Ei-troofisia tekijöitä ovat mm. maan taloutuminen ja muokkautuminen sorkkaeläinten liikkuaessa alueella (Camargo-Sanabria ym. 2015). ”Tyhjästä metsästä” nämä toiminnot puuttuvat. Suurten eläinten katoaminen vaikuttaa kasvien lisääntymiselle olennaisesti prosesseihin: ne ovat ainoita, jotka pystyvät levittämään suuria siemeniä ja säätelemään siementuholaisten kantaa, esimerkiksi resurssikilpailun tai saalistuksen kautta. Alueesta riippuen selkärankaisten hedelmäsyöjät levittävät 70–95 % trooppisten puulajien siemenistä (Correa ym. 2015). Defaunaation takia yleistyvät jyrsoit eivät pysty korvaamaan suuria eläimiä, koska pienet eläimet eivät kykene kokonsa puolesta nielemään kookkaita siemeniä kokonaisina vaan tuhoavat ne (Bello ym. 2015; Correa ym. 2015). Pienten selkärankaisten yleistymisen voikin muuttaa kasvien ja eläinten välisen mutualistisen suhteen antagonistiseksi, jopa päinvastaiseksi vaikutukseksi.

Kasvien kannalta defaunaatio ja satunnaiset sukupuutot eroavatkin oleellisesti toisistaan: esimerkiksi taimien diversiteetti ja siementen keskimääräinen koko vähenevät voimakkaammin kuin satunnaisissa sukupuutoissa (Donoso ym. 2017). Satunnaisissa sukupuutoissa eläinten samankaltaiset ja päällekkäiset toiminnot suojaavat ekosysteemiä, mutta defaunaatiossa toiminnallinen diversiteetti voi laskea nopeasti, koska defaunaatio kohdistuu tiettyihin lajeihin ja toiminnallisiin ominaisuuksiin. Defaunaatio koskettaa erityisesti kasveja, joilla on suuret eläinten levittämät siemenet. Kasvit, joiden siemenet leviävät tuulen tai veden matkassa tai pienten eläinten levittämänä, pystyvät levittämään normaalisti defaunaatiosta huolimatta. Suurten eläinten katoaminen voi kuitenkin hyödyttää yleisiä lajeja. Normaalitylanteessa eläimet tallovat ja syövät eniten yleisten puuvartisten lajien taimia, mutta defaunaatiossa tämä ekosysteemivaikutus katoaa. Defaunaatio ja tallomisen puute lisäävät taimien määrää ja niiden tiheyttä mutta vähentävät niiden diversiteettiä (Beck ym. 2013; Harrison ym. 2013;

Camargo-Sanabria ym. 2015).

Defaunaatioissa kasviyhteisöt muuttuvat yksipuolisemmiksi muutaman lajin vallitsemiksi kasvustoiksi (Kurten 2013). Nisäkkäiden puuttuminen vaikuttaa negatiivisesti lajirikkauteen mutta positiivisesti yleisiin lajeihin (Camargo-Sanabria ym. 2015). Yleiset pienisemeniset lajit ovat esimerkiksi Etelä-Amerikassa yleensä pioneerilajeja, joita on lajimääräisesti vähän (Dantas de Paula ym. 2018). Nämä lajit ovat yleensä myös nopeakasvuisia ja pieniä. Sademetsien lajisto siirtyy kohti varhaista sukukessiota, jossa vain muutama laji on yleinen. Tämä muutos näkyy jo pienillä metsälaikuilla, joilta suuret eläimet puuttuvat: suurisemenisiä lajeja on selvästi vähemmän kuin suuremmilla metsäalueilla (Dantas de Paula ym. 2018). 15 vuoden pitkäaikaisseurannassa havaittiin, että lajeilla, joiden siemeniä suuret eläimet levittivät, oli vähemmän nuoria taimia kuin passiivisesti leviävillä lajeilla (Harrison ym. 2013). Alueen puulajiston diversiteetti laski hitaasti mutta tasaisesti. Vaikka selviä kasviyhteisön koostumuksen muutoksia voidaan havaita jo näin lyhyen ajan sisällä, eläinten katoaminen kasvattaa tällä hetkellä ennen kaikkea suurisemenisten kasvien sukupuuttovelkaa. Metsän puusto uudistuu hitaasti, joten defaunaation todelliset vaikutukset selviävät vasta paljon myöhemmin (Dantas de Paula ym. 2018). ”Tyhjä metsä” voivat siis vaikuttaa normaaleilta hyvinkin pitkään.

Sademetsän kyky sitoa hiiltä riippuu sen lajistosta: defaunaatiolla on vaikutusta

Sademetsien defaunaatiolla voi olla kauaskantoisia, tropiikin ulkopuolelle ulottuvia vaikutuksia. Yksi tärkeimmistä sademetsän ekosysteemipalveluista on hiilen varastointi: trooppiset metsät ovat suurimpia maanpäällisiä hiilivarastoja ja näin ollen tärkeitä ilmastonmuutoksen säätelijöitä (Osuri ym. 2016). Tällä hetkellä sademetsät ovat tärkeitä hiilinieluja, mutta jos niiden toiminta häiriintyy ja hiilen sitomiskyky heikkenee, vaikutukset voivat olla

ilmastoa lämmittäviä. Maailmanlaajuisesti metsien varastoima hiili on noin puolet ilmakehän hiilestä, noin 400 miljardia tonnia, ja metsien väheneminen vastaa noin 20 %:sta ilmakehään vapautuvista kasvihuonekaasuista (Peres ym. 2016). Sademetsät varastoivat maailmalaajuisesti 55 %:ia metsien hiilestä (Peres ym. 2016).

Defaunaatio vaikuttaa sademetsän kasviyhteisöön kaskadien kautta ja pienisemeniset ja passiivisesti leviävät puuvartiset lajit yleistyvät. Siemenen koon ja aikuisen puun koon välillä on yhteys. Siemenen suurempi koko tarkoittaa myös suurempaa täysikasvuista puuta, ja näin ollen myös suurempaa biomassaa ja kykyä varastoida hiiltä (Bello ym. 2015). Puun kyky sitoa hiiltä riippuu sen tiheydestä, halkaisijasta ja korkeudesta. Neotropiikissa puut, joilla on suuret eläinten levittämät siemenet ovat tiheämpiä, joten ne sitovat enemmän hiiltä itseensä (Osuri ym. 2016). Näiden puiden katoaminen ja korvautuminen pienillä laskee koko sademetsän biomassaa ja sen kykyä sitoa hiiltä. Koska puiden kato johtuu levittäjien kadosta, defaunaatio vaikuttaa sademetsän hiilitasapainoon.

Sademetsiin varastoitunutta hiiltä menetetään eniten laajoilla metsäkatoalueilla, mutta defaunaatioalue on tätä aluetta suurempi (Peres ym. 2016). Metsästyks ulottuu suuremmalle alueelle kuin metsäkato ja hakkuut yhteensä (Harrison ym. 2013). Jos defaunaatio muuttaa kaikkien näiden vaikutusalueiden kasviyhteisöjä, seuraukset alueiden ekologialle ovat huomattavat. Pahimmillaan lajiston vaihtuminen voi vapauttaa ilmakehään noin 2,6 Pg hiiltä (Osuri ym. 2016). Defaunaation odotetaan siis vähentävän merkittävästi sademetsän kykyä sitoa hiiltä, mutta tarkoista määristä ei vallitse yksimielisyys: biomassan arvellaan vähenevän 2,5–37 % (Osuri ym. 2016, Dantas de Paula ym. 2018). Näiden muutosten aikajänteen arvioiminen on vaikeaa, mutta koska muutos on yhteydessä puulajiston vaihtumiseen, vaikutukset havaitaan vasta tulevaisuudessa, mahdollisesti vasta sadan vuoden päästä. Etelä-Amerikassa, Afrikassa ja Etelä-Aasiassa sademetsiin sitou-

tuneen hiilen määrä todennäköisesti laskee, koska eläinten levittämien puulajien osuus on suuri verrattuna passiivisesti leviäviin lajeihin. Sen sijaan Kaakkois-Aasiassa ja Australiassa defaunaatiolla ei nähtävästi ole vaikutusta hiilen sidontaan, sillä siellä on paljon passiivisesti leviäviä puulajeja (Osuri ym. 2016). Kuitenkin jo Etelä-Amerikan ja Afrikan sademetsien hiilinielujen supistumisella voi olla kauaskantoisia seurauksia. Nykyinen metsien käyttö kuitenkin määrittää olennaisesti tulevien hiilivarantojen määrän ja puiden sukupuuttovelan lisäksi defaunaatio kasvattaa ihmiskunnan ilmastovelkaa.

Yhteenveto

Defaunaatio on ihmisen aikaansaama ja ylläpitämä ilmiö, jonka vaikutukset näkyvät ennen kaikkea maailman lajirikkaimmilla alueilla trooppisissa. Suurilla selkärangkaisilla on tärkeitä ja korvaamattomia vaikutuksia ekosysteemien toimintaan ja juuri nämä lajit ovat haavoittuvimpia ihmisen vaikutuksille: metsästykselle, salametsästykselle, elinympäristöjen pirstoutumiselle ja tuhoutumiselle.

Defaunaation vaikutukset eivät rajoitu yksilöiden, populaatioiden tai lajien paikalliseen katoamiseen, vaan sen vaikutukset etenevät kaskadina ekosysteemissä. Ns. tyhjiä metsistä, joista eläimet puuttuvat, puuttuu myös lukemattomia tärkeitä ekologisia vuorovaikutuksia ja toimintoja. Tämä elinympäristöjen laadullinen ja määrällinen tyhjiö vaikuttaa esimerkiksi kasvien lisääntymiseen ja voi muuttaa sademetsän puiden lajikoostumusta. Defaunaation vaikutuksesta suuremmat lajit korvautuvat pienillä ja ekosysteemin toimintojen diversiteetti vähenee (Culot ym. 2013; Galetti ym. 2016; Dantas de Paula ym. 2018). Koko sademetsän biodiversiteetti laskee ja alueet voivat alkaa muistuttaa ekologisesti toisiaan. Suurten eläinten katoaminen vaikuttaa erityisesti suurisiemenisten, suurten puiden lisääntymiseen. Suurten puiden korvautuminen pienillä laskee sademetsän kykyä sitoa hiiltä ja voi lopulta vai-

kuttaa ilmastonmuutokseen (Bello ym. 2015).

Toistaiseksi yhteenkään defaunaatiota aiheuttavaan tekijään ei ole puututtu tehokkaasti. Päinvastoin, eläinten metsästys on lisääntynyt ja ihmiset ovat levittäytyneet yhä laajemmille alueille sekä synnyttäneet ilmastonmuutoksesta uuden uhkatekijän (Dirzo ym. 2014). Eläinten ja ekosysteemipalveluiden katoaminen koskettaa kuitenkin myös ihmisiä. Eläimet ovat tärkeitä siementen levittäjiä ja pölyttäjiä, ne kontrolloivat tuholaisia ja muokkaavat ympäristöä. Näiden toimintojen häviäminen on menetys myös ihmiselle.

Kirjallisuus:

- Bar-On Y, Phillips R & Milo R 2018 The biomass distribution on Earth. *Proc Nat Acad Sci* 115: 6506–6511.
- Beck H, Snodgrass J & Thebpanya P 2013 Long-term enclosure of large terrestrial vertebrates: Implications of defaunation for seedling demographics in the Amazon rainforest. *Biol Cons* 163: 115–121.
- Bello C, Galetti M, Pizo M, Magnago L, Rocha M, Lima R, Peres C, Ovaskainen O & Jordano P 2015 Defaunation affects carbon storage in tropical forests. *Science Advances* 1. doi: 10.1126/sciadv.1501105.
- Benítez-López A, Alkemade R, Schipper A, Ingram D, Verweij P, Eikelboom J & Huijbregts M 2017 The impact of hunting on tropical mammal and bird populations. *Science* 356: 180–183.
- Brodie J 2017 Evolutionary cascades induced by large frugivores. *Proc Nat Acad Sci* 114: 11998–12002.
- Camargo-Sanabria A, Mendoza E, Guevara R, Martínez-Ramos M & Dirzo R 2015 Experimental defaunation of terrestrial mammalian herbivores alters tropical rainforest understorey diversity. *Proc R Soc B* 282: 2014–2580.
- Ceballos G, Ehrlich P & Dirzo R 2017 Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population

- losses and declines. *Proc Nat Acad Sci* 114: 6089–6096.
- Correa S, Araujo J, Penha J, Nunes da Cunha C, Stevenson P & Anderson J 2015 Overfishing disrupts an ancient mutualism between frugivorous fishes and plants in Neotropical wetlands. *Biol Cons* 191: 159–167.
- Culot L, Bovy E, Vaz-de-Mello F, Guevara R & Galetti M 2013 Selective defaunation affects dung beetle communities in continuous Atlantic rainforest. *Biol Cons* 163: 79–89.
- Culot L, Bello C, Batista J, do Couto H & Galetti M 2017 Synergistic effects of seed disperser and predator loss on recruitment success and long-term consequences for carbon stocks in tropical rainforests. *Scientific Reports* 7: 7662.
- Dantas de Paula M, Groeneveld J, Fischer R, Taubert F, Martins V & Huth A 2018 Defaunation impacts on seed survival and its effect on the biomass of future tropical forests. *Oikos* 127: 1526–1538.
- Dirzo R, Young H, Galetti M, Ceballos G, Isaac N & Collen B 2014 Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345: 401–406.
- Donoso I, Schleuning M, García D & Fründ J 2017 Defaunation effects on plant recruitment depend on size matching and size trade-offs in seed-dispersal networks. *Proc R Soc B* 284: 2016–2664.
- Galetti M & Dirzo R 2013 Ecological and evolutionary consequences of living in a defaunated world. *Biol Cons* 163: 1–6.
- Galetti M, Guevara R, Neves C, Rodarte R, Bovendorp R, Moreira M, Hopkins J & Yeakel J 2015 Defaunation affects the populations and diets of rodents in Neotropical rainforests. *Biol Cons* 190: 2–7.
- Galetti M, Brocardo C, Begotti R, Hortenci L, Rocha-Mendes F, Bernardo C, Bueno R, Nobre R, Bovendorp R, Marques R, Meirelles F, Gobbo S, Beca G, Schmaedecke G & Siqueira T 2016 Defaunation and biomass collapse of mammals in the largest Atlantic forest remnant. *Anim Cons* 20: 270–281.
- Harrison R 2011 Emptying the Forest: Hunting and the Extirpation of Wildlife from Tropical Nature Reserves. *BioScience* 61: 919–924.
- Harrison R, Tan S, Plotkin J, Slik F, Detto M, Brenes T, Itoh A & Davies S 2013 Consequences of defaunation for a tropical tree community. *Ecol Lett* 16: 687–694.
- IUCN 2021 The IUCN Red List of threatened species. Versio 2021-3. Saatavissa <https://www.iucnredlist.org>. [Viittauspäivä 28.2.2022]
- Kurten E 2013 Cascading effects of contemporaneous defaunation on tropical forest communities. *Biol Cons* 163: 22–32.
- Osuri A, Ratnam J, Varma V, Alvarez-Loayza P, Hurtado Astaiza J, Bradford M, Fletcher C, Ndoundou-Hockemba M, Jansen P, Kenfack D, Marshall A, Ramesh B, Rovero F & Sankaran M 2016 Contrasting effects of defaunation on aboveground carbon storage across the global tropics. *Nature Comm* 7:11351 doi: 10.1038/ncomms11351.
- Otto S 2018 Adaptation, speciation and extinction in the Anthropocene. *Proc R Soc B* 285: 2018–2047.
- Peres C, Emilio T, Schiatti J, Desmoulière S & Levi T 2016 Dispersal limitation induces long-term biomass collapse in overhunted Amazonian forests. *Proc Nat Acad Sci* 113: 892–897.
- Tregidgo D, Barlow J, Pompeu P, de Almeida Rocha M & Parry L 2017 Rainforest metropolis casts 1,000-km defaunation shadow. *Proc Nat Acad Sci* 114: 8655–8659.
- Young H, McCauley D, Galetti M & Dirzo R 2016 Patterns, Causes, and Consequences of Anthropocene Defaunation. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 47: 333–358.

Miina Suutari on biologian maisteriopiskelija Helsingin yliopistosta. Defaunaation jälkeen hän on tehnyt Vanamon rahoittaman maisteritutkielman lepakoiden antipredaatiivasteista BatLab Finland -ryhmän jäsenenä.