

LuK-tutkielma

Suomen suurperhosfaunaltaan lajirikkaimmat kunnat

Kiia Karhukorpi, Juha-Pekka Savolainen ja Alisa Sievänen



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Biologia

3.12.2021

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Biologia

Karhukorpi Kiia, Savolainen Juha-Pekka ja Sievänen Alisa: Suomen
suurperhosfaunaltaan lajirikkaimmat kunnat
Kandidaatin tutkielma: 21 s.
Tutkielman ohjaajat: Yliopistonlehtori Anssi Vähätalo ja apurahatutkija Rémi
Dufлот
Joulukuu 2021

Hakusanat: Biodiversiteetti, kunnat, lajirikkaus, perhoset, rarefaktio,
regressioanalyysi, suurperhoset

Luonnon monimuotoisuuden suojelemiseksi tulisi suunnata suojelutoimia paikkoihin, joissa on suuri biodiversiteetti ja paljon uhanalaisia lajeja. Iso osa lajirikkauteen ja luonnon monimuotoisuuteen liittävästä päätöksenteosta tehdään kunnissa etenkin kaavoituksen yhteydessä. Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole tiedossa, miten lajirikkaus on jakaantunut Suomen kuntiin. Perhoset ovat lajirikas ryhmä, ja ne ovat herkkiä elinympäristön muutoksille, joten niiden lajirikkaus kuvastaa hyvin biodiversiteetin tilaa. LuK-tutkielmassa selvitettiin, missä sijaitsevat Suomen suurperhosfaunaltaan lajirikkaimmat kunnat. Aineisto suurperhoslajeista ja -havainnoista koottiin ajalta 2001–2020, jolloin havaintojen lukumäärä oli reilu kolme miljoonaa ja suurperhosten lajimäärä 878. Hypoteeseina oli, että suurperhosten lajirikkaus kasvaa pohjoisesta etelään mentäessä, ja lajirikkaus on suurempi pinta-alaltaan suuremmissa kunnissa. Rarefaktion avulla arvioitiin kotimaisten suurperhosten lajimäärää kokonaisuudessaan sekä uhanalaisten lajien osalta tekemällä havaintomäärät kussakin kunnassa vertailukelpoisiksi. Tutkittaviksi kunniksi valittiin ne, joista oli raportoitu yli 10 000 havaintoa ja joista vähintään 500 havaintoa koski uhanalaisia suurperhosia. Hypoteeseja testattiin regressioanalyysillä. Tutkielmassa tarkasteltiin erikseen sekä kaikkia lajeja että vain uhanalaisia lajeja. Kokonaislajimäärältään rikkaimmat kunnat olivat Kotka, Raasepori, Hanko, Hamina, Pyhtää ja Loviisa, jotka eivät eronneet toisistaan, kun huomioitiin lajimääräarvion epävarmuus. Uhanalaisten lajien osalta lajirikkaimmat kunnat olivat Kirkkonummi, Loviisa, Raasepori, Virolahti ja Kotka. Kaikkien lajien osalta lajirikkaimmat kunnat sijaitsivat Etelä-Suomessa, mutta uhanalaisten lajien kohdalla myös Lapissa Enontekiöllä lajimäärä oli suuri. Hypoteesien testauksissa saatiin selville, että leveysaste vaikutti lajirikkauteen siten, että etelässä lajeja oli enemmän kuin pohjoisessa. Kunnan pinta-alalla sen sijaan ei ollut vaikutusta lajimäärään, mikä oli hypoteesin vastainen tulos. Tämän tutkimuksen perusteella suurperhosfaunaltaan lajirikkaimpien kuntien voidaan siis sanoa olevan Etelä-Suomessa niin kaikkien kuin uhanalaisten lajien osalta. Huomattavaa kuitenkin on myös uhanalaisten lajien suuri määrä Lapissa.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science
Department of Biological and Environmental Science
Biology

Karhukorpi Kiia, Savolainen Juha-Pekka ja Sievänen Alisa: The most species-rich municipalities in Finland in Macrolepidoptera species

Bachelor of Science Thesis: 21 p.

Supervisors: Senior Lecturer Anssi Vähätalo and Visiting Researcher
Rémi Duflot

December 2021

Keywords: Biodiversity, Lepidoptera, Macrolepidoptera, municipalities, species richness, rarefaction, regression analysis

Conservation efforts are urgently needed for protecting the current biodiversity and they should be directed to sites with highest biodiversity and large number of endangered species. Although much of conservation efforts are done at the level of municipalities, we do not know how biodiversity and endangered species have been distributed in Finnish municipalities. Lepidoptera species are sensitive to changes of environment, so their species richness reflects the state of overall biodiversity. In this bachelor's thesis we identified the municipalities with highest species richness of Macrolepidoptera. 3 023 920 observations of 878 Macrolepidoptera species from 2001-2020 and their geographic locations were gathered from Finnish Biodiversity Information Facility website. Macrolepidoptera was chosen as a research subject because there were most observations of them compared to number of species. Our hypotheses were that species richness of Macrolepidoptera increases from north to south and in municipalities with a larger area. The species richness estimates were based on the same amount of observations derived through a rarefaction analysis in every municipality. In the results no single municipality stood out as the most species-rich for all or endangered species. The most species-rich municipalities were Kotka, Raasepori, Hanko, Hamina, Pyhtää, and Loviisa for all species. For endangered species, the most species rich municipalities were Kirkkonummi, Loviisa, Raasepori, Virolahti and Kotka. The most species rich municipalities located in Southern Finland when examining all species. When examining endangered species, it was notable that number of species was also high in Lapland in addition to the Southern Finland. Testing the hypotheses revealed that latitude had a strong effect on species richness so that in south there were more species than in north. Contrary to expected, area of municipality did not affect the number of species. Based on this research, the most species-rich municipalities are located in southern Finland for both all species and endangered species. However, it is important to consider the number of endangered species also in Lapland.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	1
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	4
2.1 Aineiston valinta	4
2.2 Rarefaktioanalyysi ja sen havainnollistaminen	4
2.3 Regressioanalyysit.....	6
3 TULOKSET	6
3.1. Suurperhosten lajimäärät ja rarefaktio.....	6
3.1.1 Kuntien lajimäärät laji.fi-tietokantoihin raportoitujen havaintojen perusteella.....	6
3.1.2 Suurperhosten lajimääräarviot kunnissa rarefaktion avulla.....	7
3.1.3 Uhanalaisten suurperhosten lajimääräarviot kunnissa rarefaktion avulla..	10
3.1.4 Kunnan maantieteellinen sijainti ja pinta-ala lajirikkautta selittävinä tekijöinä	12
4 TULOSTEN TARKASTELU	15
4.1 Tuloksien vertailu aiempiin tutkimuksiin.....	15
4.2 Leveysasteiden ja pinta-alan vaikutus lajimääriin	16
4.3 Tutkielman virhelähteet	17
Kiitokset	18
KIRJALLISUUS.....	19

1 JOHDANTO

Biodiversiteetillä tarkoitetaan luonnon monimuotoisuutta, joka voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, geneettiseen, lajistolliseen ja elinympäristöjen monimuotoisuuteen (Auvinen ym. 2020). Globaalilla tasolla on tarkasteltu kuitenkin eniten lajistollista monimuotoisuutta sen käytännöllisyyden takia (Pilotto ym. 2020). Biodiversiteetti vaihtelee suuresti globaalilla tasolla, ja siihen vaikuttavia tekijöitä on lukuisia. Merkittävimmät tekijät ovat kuitenkin globaalilla tasolla lämpötila, sadanta ja auringon säteily. Nämä ovat optimaalisimmat päiväntasaajan seuduilla trooppisilla alueilla, joissa olosuhteet pysyvät tasaisina ympäri vuoden. Globaalilla tasolla biodiversiteetti on sen kaikilla kolmella osa-alueella kokenut merkittävää vähenemistä, joka on ollut pääosin ihmistoiminnan seurausta. Merkittävimmät tekijät biodiversiteetin vähenemiselle ovat olleet ilmastonmuutos ja elinympäristöjen väheneminen (Hillebrand ym. 2018). Biodiversiteetin kehitys on ollut Suomessakin heikkenevä, ja suurimmat syyt ovat maa- ja metsätalouden tehostuminen (Auvinen ym. 2020). Tämä on aiheuttanut elinympäristöjen yksipuolistumista ja pirstaloitumista, joka taas on vaikuttanut etenkin metsistä ja perinneympäristöistä riippuvaisten lajien uhanalaistumiseen (Auvinen ym. 2020).

Perhoset ovat yleisesti hyvin paljon tutkittu hyönteislahko (New 1997, Juslén ym. 2016), jonka taksonomiasta on kerääntynyt runsaasti tietoa verrattuna muihin hyönteislahkoihin. Monet muut selkärangattomien ryhmät ovat melko huonosti tunnettuja esimerkiksi niiden esiintyvyydeltään ja siitä, miten ne reagoivat ympäristön muutoksiin (Juslén ym. 2016). Suomessa perhoset ovat lajirikas eliöryhmä, sillä niiden lajimäärä on yli 2600 ja niistä on kerätty miljoonia havaintoja (Nupponen ym. 2019). Myös tietämys perhoslajistosta on yleisesti erittäin hyvällä tasolla. Tämän lisäksi perhoset ovat hyviä biodiversiteetin indikaattoreita niiden ekologisen herkkyyden vuoksi (New 1997), eli ne reagoivat elinympäristön muutoksiin helposti (Erhardt 1985). Nämä syyt tekevät perhosista mielekkään ryhmän tarkastella ympäristön tilaa ja biodiversiteettiä.

Suurperhosiin kuuluvat päiväperhoset, yökköset, kiitäjät, kehrääjät ja mittarit (Saarinen ym. 2019). Suurperhosten lajirikkautta on tutkittu aiemmin 10 x 10 km² -ruutujen avulla, mutta silloin lajirikkaimmat kunnat on listattu ruutujen lajimäärän sekä maakuntien lajimäärän mukaan (Huldén ym. 2000). Suurperhosten lajimäärää ei ole kuitenkaan ennen tarkasteltu pelkästään kuntien rajojen sisällä, sillä aikaisemmat 10 x 10 km² -ruudut ovat voineet mennä useammankin kunnan rajojen yli. Suurperhosten lajirikkauden kuntakohtainen tutkiminen on tärkeää, jotta voidaan tarkastella eri kuntien biodiversiteetin tasoa, ja näin arvioida, missä Suomen kunnissa voisi olla korkein biodiversiteetti.

Biodiversiteetiltään rikkaissa kunnissa ja erityisesti niissä kunnissa, joissa on paljon uhanalaisia perhosia, tulisi kaavoituksessa kiinnittää huomiota biodiversiteetin ylläpitämiseen. Suomen kunnissa perhosten tarvitsemien elinympäristöjen laatuun ja biodiversiteetin määrään voidaan vaikuttaa erityisesti siinä vaiheessa, kun esimerkiksi maakunnan, kunnan tai kunnan osa-alueelle tehdään jonkinlaista kaavoitussuunnitelmaa. Tällöin kaavoitettavien alueiden maankäyttöä ja niillä tapahtuvaa rakentamista suunnitellaan maakuntakaavassa, yleiskaavassa tai asemakaavassa riippuen siitä millainen alue on kyseessä (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999).

Luonnontieteellisen keskusmuseo Luomuksen ylläpitämään Laji.fi-tietokantaan on koottu havaintotietoja eri lajeista esimerkiksi tutkimuslaitoksilta, valtion organisaatioilta, luonnontieteellisten museoiden kokoelmista sekä kansalaistieteen kautta (Suomen lajitietokeskus 2021a). Tallennetut havainnot tulevat yhteiseen käyttöön Laji.fi-tietokantaan, jossa jokainen pystyy selata omia ja muiden havaintoja lajeista eri paikoista ja ajankohdilta (Suomen lajitietokeskus 2021b). Laji.fi:n tieto on pääasiassa avointa tietoa, mutta sensitiivistä lajitietoa ei julkaista, vaan niiden paikkatietoa joko karkeistetaan tai salataan (Suomen lajitietokeskus 2021c). Tällaista tietoa ovat mm. uhanalaisten lajien sijainnit, jotka voidaan salata esimerkiksi luonnonsuojelullisista syistä. Arkaluonteisen aineiston saamista varten voidaan hakea käyttöoikeutta tietoihin Lajitietokeskuksen aineistonpyyntöjärjestelmän kautta (Suomen lajitietokeskus 2021d). Havainnoituja perhoslajeja on laji.fi-tietokannassa yli

2631, joista 1607 lajia kuuluu pikkuperhosiin, ja 1024 lajia kuuluu suurperhosiin (Suomen lajitietokeskus 2021e).

Eri sijainneissa tai tietyllä aikavälillä esiintyvää eliön lajirikkautta voidaan vertailla vertailukelpoisesti rarefaktio-menetelmän avulla (Shimadzu 2018). Tämän tilastotieteellisen menetelmän avulla erikokoiset otokset muutetaan samankokoisiksi niin, että suurimmissa otoksissa on sama havaintomäärä tai havaittu yksilömäärä kuin pienimmässä otoksessa (Hsieh ym. 2016). Perhosten lajirikkautta kunnissa voidaan vertailla rarefaktio-menetelmällä. Vaikka kuntien havaintoaktiivisuudet poikkeaisivat toisistaan, niin rarefaktio tasoittaa suhdetta niissä kunnissa, joissa on vähemmän havaintoja suhteessa kuntiin, joissa on tehty enemmän havaintoja. Rarefaktio-menetelmä arvioi 95 % luottamusvälin lajimääräarviolle bootstrap-tekniikalla (Hsieh ym. 2016). Rarefaktio-käyrien tekoon voidaan käyttää iNEXT-pakettia, joka antaa arvion kunnan todellisesta suurperhoslajimäärästä ja sen epävarmuudesta ilmoitettujen havaintojen perusteella (Hsieh ym. 2016).

Tässä LuK-tutkielmassa tarkasteltiin Suomessa vakituisesti esiintyvien suurperhosten lajirikkautta Suomen kunnissa ajanjaksolla 1.1.2001–31.12.2020. Aineistona käytettiin Laji.fi-tietokantaan raportoituja suurperhoshavaintoja eri kunnista. Tutkimuskysymyksinä oli missä Suomen kunnissa on suurin suurperhosdiversiteetti kokonaisuudessaan ja uhanalaisten lajien osalta. Hypoteeseinamme oli, että suurperhosten lajimäärä kasvaa pohjoisesta etelään mentäessä (Virtanen & Neuvonen 1999), ja lajimäärä on suurempi pinta-alaltaan isommissa kunnissa (MacArthur & Wilson 1967). Tutkimuskysymystä ja siihen liittyviä hypoteeseja lähdettiin tarkastelemaan kvantitatiivisella tutkimuksella, jossa käytettiin rarefaktio- ja regressioanalyyseja.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineiston valinta

Aineiston muodostivat Laji.fi-tietokantoihin ilmoitetut havainnot suurperhosista ajanjaksolla 1.1.2001-31.12.2020. Suurperhosaineisto rajattiin vielä Suomessa vakituisesti lisääntyviin suurperhosiin, koska Suomen suurperhosfaunan lajirikkauden kannalta ei ollut mielekästä laskea mukaan Suomessa satunnaisesti vaeltavia suurperhoslajeja.

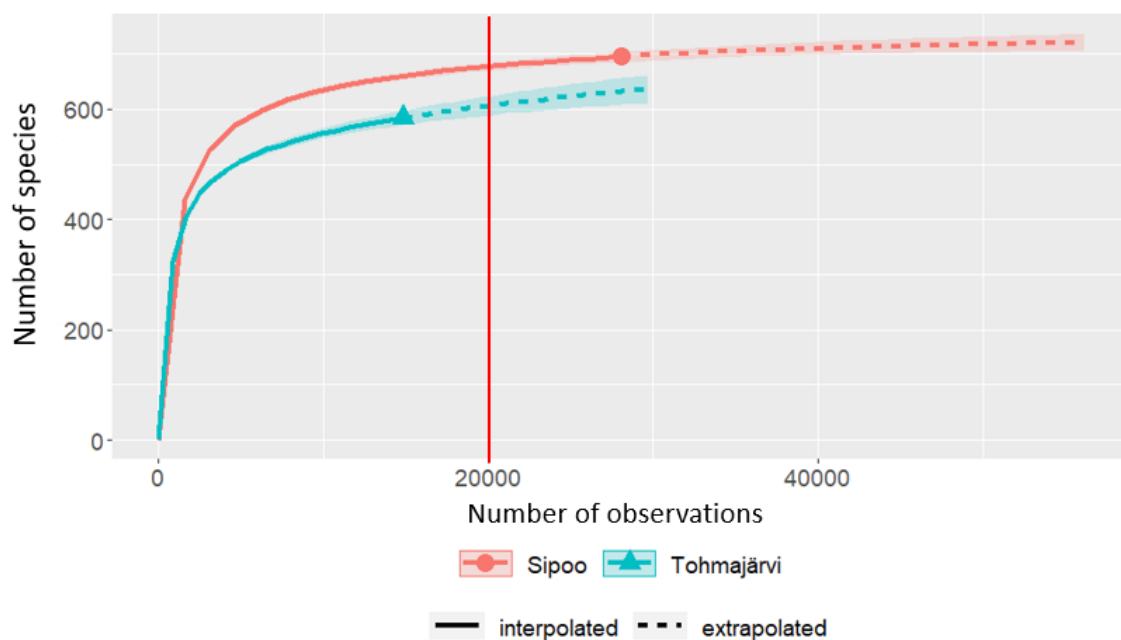
Ohjaaja Rémi Duflot latasi Laji.fi-tietokannasta 3 023 920 havaintoa 878 suurperhoslajista, joista 29 963 havaintoa ja 202 lajia koskivat uhanalaisia suurperhosia. Ohjaajat sekä Suomen perhostutkijain seuran toiminnanjohtaja ja vuoden 2019 uhanalaisuusluokitukseen osallistunut Jari-Pekka Kaitila tarkastivat aineiston, jotta aineistoon jäivät pelkästään Suomessa vakituisesti esiintyvät suurperhoslajit. Nämä suurperhoslajit kuuluivat uhanalaisuusluokkiin LC (elinvoimaiset), NT (silmläpidettävät), VU (vaarantuneet), EN (erittäin uhanalaiset), CR (äärimmäisen uhanalaiset) ja DD (puutteellisesti tunnetut). Uhanalaisiksi perhosiksi määritettiin luokkiin VU, EN ja CR kuuluvat lajit (Hyvärinen ym. 2019).

Jokainen havainto oli määritetty kuuluvaksi yhteen Suomen kuntaan. Havainnot sidottiin kuntaan siten, että valittiin se kunta, johon havainto oli ilmoitettu. Jos kuntaa ei oltu raportoitu, niin se määritettiin havainnon maantieteellisten koordinaattien perusteella. Esimerkiksi kun havainto oli ilmoitettu kymppiruudussa, niin havainto kiinnitettiin siihen kuntaan, joka sijaitsi kymppiruudun maantieteellisessä keskipisteessä. Kuntajaossa noudatettiin vuoden 2020 kuntajakoa, koska Laji.fi-tietokanta oli päivittänyt havainnot vuoden 2020 kuntajakoon. Esimerkiksi aiemmin Dragsfjärdin kuntaan raportoidut havainnot laskettiin kuuluvaksi Kemiönsaaren kuntaan, johon Dragsfjärd on liitetty tutkimusajanjakson aikana.

2.2 Rarefaktioanalyysi ja sen havainnollistaminen

Rarefaktioanalyysit tehtiin RStudio-ohjelmalla (versio 4.1.0 2021-05-18), johon oli ladattu INEXT-paketti (Hsieh ym. 2016). Rarefaktioanalyysia varten valittiin kunnat,

joissa kaikkien suurperhosten havaintomäärä oli vähintään 10 000 havaintoa ja uhanalaisten suurperhosten havaintomäärä vähintään 500 havaintoa, jolloin analyysiin valikoitui yhteensä 37 kuntaa. Rarefaktioanalyysi tehtiin ensin kaikille lajeille, jonka jälkeen ohjaajamme Anssi Vähätalo teki rarefaktion uhanalaisille lajeille. Lajimäärä kussakin kunnassa arvioitiin saman havaintomäärän perusteella. Kuntakohtaiset lajimääräarviot tehtiin 20 000 havainnon perusteella kaikille suurperhosille ja uhanalaisille lajeille 1000 havainnon perusteella. Riippuen kunnasta ilmoitetuista havaintomääristä lajimääräarvio joko interpoloitiin tai ekstrapoloitiin (Kuva 1). Interpolointi tarkoittaa, että kunnan lajimääräarvio 20 000 havainnon kohdalla voidaan saada tiedettyjen arvojen välistä. Jos kunta on ekstrapoloitu, niin kunnassa on ollut alle 20 000 havaintoa, jolloin lajimääräarvio on tavallaan ennustettu saadun aineiston perusteella. Bootstrap-tekniikkaan perustuen iNEXT -rarefaktiomenetelmä raportoi lajimääräarvion lisäksi 95 % luottamusvälit, jotka näkyvät varjostuksena kuvassa 1. Rarefaktion tuloksista tehtiin lämpökartat ArcGIS Desktop -ohjelman ArcMap-käyttöliittymällä (versio 10.8.1). Karttapohja Suomen kunnista ladattiin Maanmittauslaitoksen sivuilta, johon lopulta liitettiin rarefaktion tulokset, jotka oli koottu Excel-taulukkoon.



Kuva 1. Rarefaktiokuvaaja Sipoon ja Tohmajärven estimoiduista suurperhoslajimääristä. Y-akseli kuvaa näiden kuntien suurperhosten lajimäärää, ja

X-akseli taas suurperhosten havaintomääriä näissä kunnissa. Kuvaajan rarefaktiokäyrissä yhtenäinen viiva kuvaa suurperhoslajimäärien interpolointia ja katkonainen viiva taas suurperhoslajimäärien ekstrapolointia. Interpoloitu osa käyrästä kuvaa estimaatiota niille suurperhoslajimäärän arvoille, jotka sijaitsevat käytetyn datan sisältämien arvojen väleissä (Kangasaho ym. 1996). Ekstrapoloitu osa käyrästä on taas estimaatio sille, millainen suurperhoslajimäärä näissä kunnissa tulisi olemaan tulevaisuudessa käytetyn datan perusteella. Lajimäärät on arvioitu 20 000 havainnon perusteella, jotta kunnat olisivat vertailukelpoisia keskenään. Punainen pystyviiva kuvaa 20 000 havaintoa. Rarefaktiokuvaajan esimerkki on tehty RStudiolla käyttämällä iNEXT-pakettia.

2.3 Regressioanalyysit

Regressioanalyyseissä käytettiin Microsoft Excel –taulukkolaskentaohjelman vuoden 2016-versiota, jossa kunnat listattiin järjestykseen leveysasteittain etelästä pohjoiseen ja pinta-aloittain pienimmästä suurimpaan. Aineisto kuntien pinta-aloista ja leveysasteista saatiin Maanmittauslaitoksen sivuilta ladatusta samasta karttatiedostosta, jota käytettiin lämpökarttojen tekoon. Regressioanalyyseissä testattiin F-testillä, olivatko leveysasteiden ja pinta-alan vaikutukset suurperhoslajimääriin tilastollisesti merkitseviä. Tässä käytettiin apuna Excel-taulukkolaskentaohjelman tietanalyysipakettia.

3 TULOKSET

3.1. Suurperhosten lajimäärät ja rarefaktio

3.1.1 Kuntien lajimäärät laji.fi-tietokantoihin raportoitujen havaintojen perusteella

Kun kunnat laitettiin suuruusjärjestykseen Laji.fi-tietokantaan raportoitujen suurperhosten lajimäärän perusteella, niin suurimmat lajimäärät (yli 700 lajia) löytyivät eteläisistä kunnista (Taulukko 1). Raportoitujen havaintojen perusteella suurimmat lajimäärät löytyivät Kemiönsaaresta ja Virolahdesta (Taulukko 1). Kuntien välillä oli paljon eroja havaintomäärissä. Esimerkiksi lajimäärä oli sama Virolahdessa ja Raaseporissa, mutta niillä oli vähän yli 100 000 havaintoa eroa toisiinsa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Laji.fi-tietokantoihin raportoidut suurperhosten laji- ja havaintomäärät analyysiin valituissa 37 kunnassa järjestyksessä suurimmasta lajimäärästä pienimpään lajimäärään. Taulukkoon on listattu 20 kuntaa lajimäärän suuruuden perusteella.

	Kunta	Lajimäärä	Havaintomäärä
1	Kemiönsaari	758	115319
2	Violahti	756	162429
3	Raasepori	756	59904
4	Hanko	750	61097
5	Kotka	745	60703
6	Kirkkonummi	740	74506
7	Loviisa	733	37160
8	Parainen	731	77118
9	Helsinki	716	47877
10	Porvoo	715	48148
11	Pyhtää	710	19629
12	Hamina	708	18332
13	Lappeenranta	702	49132
14	Sipoo	695	28076
15	Kouvola	682	59853
16	Espoo	680	48003
17	Salo	679	45397
18	Inkoo	647	14158
19	Imatra	639	34235
20	Iitti	634	49113

3.1.2 Suurperhosten lajimääräarviot kunnissa rarefaktion avulla

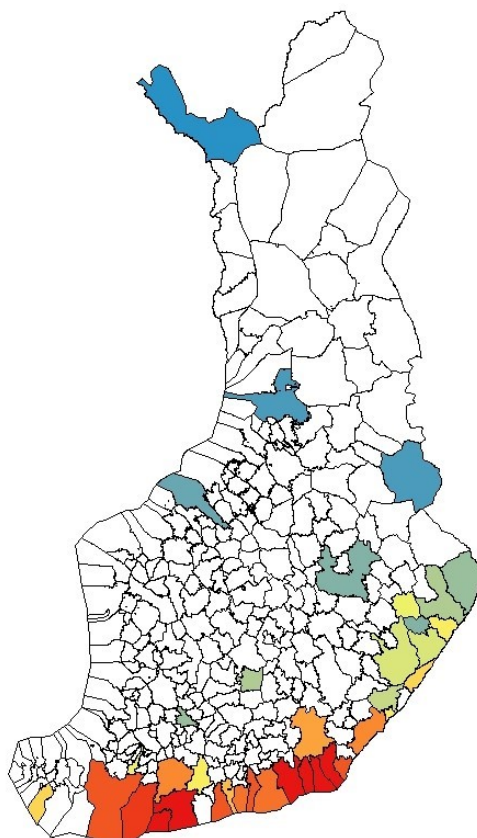
Taulukossa 1 raportoitu kuntien järjestys lajimäärän mukaan muuttui, kun lajirikkautta arvioitiin kussakin kunnassa 20 000 havainnon perusteella käyttäen rarefaktio-menetelmää (Kuva 1). Rarefaktion mukaan lajirikkaimmat kunnat olivat Kotka, Raasepori, Hanko, Hamina, Pyhtää ja Loviisa, joissa lajimääräarvio oli korkein saman 95 % luotettavuusvälin sisällä (Taulukko 2).

Kunnat jakautuivat omiin lajirikkausryhmiinsä eli mikään yksittäinen kunta ei erottunut lajirikkaimmaksi suurperhosfaunaltaan. Lajirikkausryhmillä tarkoitetaan siis ryhmiä, joissa kuntien arviot ovat lähellä toisiaan ja sisältyvät toistensa luottamusväleille. Esimerkiksi vaikka Kotkan arvio oli hieman suurempi kuin Hangon tai Pyhtään, niin lajimääräarvioiden 95 % luottamusvälit menivät päällekkäin näissä kunnissa, jolloin erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Taulukossa 2 lajirikkausryhmät on merkitty kirjaimilla ja kirjainyhdistelmillä, jotta ryhmät oli

helpompi hahmottaa. Esimerkiksi suurimpaan lajirikkausryhmään kuuluvia kuntia on merkitty kirjaimella a, kun taas Kemiönsaari sai merkinnän b, mikä tarkoittaa pienempää lajimääräarviota kuin ryhmässä a sekä suurempaa lajimääräarviota kuin ryhmässä c. Lämpökartta havainnollistaa lajirikkaimpien kuntien sijaintia (Kuva 2).

Taulukko 2. Rarefaktioanalyysin antamat kokonaislajimääräarviot Suomessa vakituisesti lisääntyville suurperhosille analyysiin valituissa kunnissa järjestettynä suurimmasta arviosta pienimpään. Virhemarginaali kuvaa 95 % luottamusväliä lajimääräarviolle kohti korkeampaa tai matalampaa lajimäärää. Esimerkiksi Kotkassa lajimääräarvio on 95 % todennäköisyydellä välillä 710–718. Taulukossa on esitetty 20 kuntaa 37 kunnasta.

	Kunta	Arvio	Virhemarginaali	Metodi	Ryhmä
1	Kotka	714	4	interpoloitu	a
2	Raasepori	712	5	interpoloitu	a
3	Hanko	712	5	interpoloitu	a
4	Hamina	710	9	ekstrapoloitu	a
5	Pyhtää	710	8	ekstrapoloitu	a
6	Loviisa	709	7	interpoloitu	a
7	Kemiönsaari	693	4	interpoloitu	b
8	Virolahti	681	3	interpoloitu	c
9	Kirkkonummi	681	5	interpoloitu	cd
10	Parainen	678	4	interpoloitu	cd
11	Sipoo	677	8	interpoloitu	cd
12	Porvoo	672	6	interpoloitu	cd
13	Helsinki	671	6	interpoloitu	d
14	Lappeenranta	653	7	interpoloitu	e
15	Salo	648	6	interpoloitu	ef
16	Kouvola	645	5	interpoloitu	ef
17	Espoo	635	7	interpoloitu	f
18	Parikkala	621	11	ekstrapoloitu	fg
19	Lemland	619	10	interpoloitu	fg
20	Imatra	613	7	interpoloitu	g



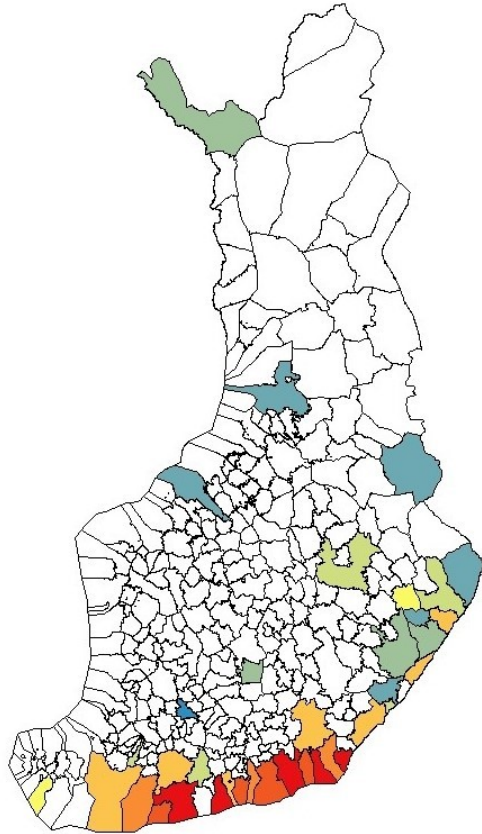
Kuva 2. Lämpökartta suurperhosten lajirikkaudesta analysoiduissa kunnissa. Karttaan on otettu mukaan 37 kuntaa, joita analysoitiin rarefaktiolla. Punainen väri kuvastaa suurempaa lajirikkautta, ja sininen väri vähäisempää lajirikkautta. Sama väri kuvastaa samaa lajirikkautta eri kunnissa, kun mukaan on huomioitu rarefaktion estimaattien 95 % luottamusvälit. Valkoisella merkityt kunnat eivät olleet mukana analyysissä. Taulukko 2 esittää samat lajimääräarviot luottamusväleineen 20 lajirikkaimman kunnan osalta.

3.1.3 Uhanalaisten suurperhosten lajimääräarviot kunnissa rarefaktion avulla

Uhanalaisten suurperhosten lajirikkautta arvioitiin kussakin kunnassa 1000 havainnon perusteella, ja lajirikkaimmat kunnat olivat Kirkkonummi, Loviisa, Raasepori, Virolahti ja Kotka (Taulukko 3). Uhanalaisten suurperhosten lajimääräarvio interpoloitiin kunnissa, joissa oli enemmän kuin 1000 havaintoa ja ekstrapoloitiin alle 1000 havaintoa sisältävissä kunnissa. Lajimääräarvioiden 95 % luottamusvälit menivät päällekkäin esimerkiksi Porvoossa, Pyhtäässä ja Helsingissä (Taulukko 2). Lämpökartta havainnollistaa kuntien sijaintia ja lajirikkautta ryhmittäin (Kuva 3). Kartalla käy myös ilmi, että myös pohjoisessa uhanalaisten lajien määrä oli suurempi, kuin joissain eteläisemmissä kunnissa.

Taulukko 3. Rarefaktioanalyysin antamat lajimääräarviot Suomessa vakituisesti lisääntyville uhanalaisille suurperhosille analyysin valituissa kunnissa järjestettynä suurimmasta arviosta pienimpään. Virhemarginaali kuvaa 95 % luottamusväliä lajimääräarviolle kohti korkeampaa tai matalampaa lajimäärää. Esimerkiksi Kirkkonummella lajimääräarvio on 95 % todennäköisyydellä välillä 92–108. Taulukossa on esitetty 20 kuntaa 37 kunnasta.

	Kunta	Arvio	Virhemarginaali	Metodi	Ryhmä
1	Kirkkonummi	100	8	ekstrapoloitu	a
2	Loviisa	94	8	ekstrapoloitu	ab
3	Raasepori	92	5	interpoloitu	ab
4	Virolahti	91	4	interpoloitu	ab
5	Kotka	89	4	interpoloitu	abc
6	Porvoo	87	8	ekstrapoloitu	abce
7	Pyhtää	86	10	ekstrapoloitu	abce
8	Helsinki	86	7	ekstrapoloitu	abce
9	Hanko	86	3	interpoloitu	bce
10	Kemiönsaari	82	3	interpoloitu	ce
11	Hamina	77	6	ekstrapoloitu	ef
12	Sipoo	74	10	ekstrapoloitu	efg
13	Lappeenranta	71	4	interpoloitu	f
14	Kouvola	67	4	interpoloitu	fg
15	Espoo	65	7	ekstrapoloitu	fgh
16	Parainen	63	3	interpoloitu	gh
17	Tohmajärvi	63	12	ekstrapoloitu	fgh
18	Parikkala	63	8	ekstrapoloitu	fgh
19	Salo	59	6	ekstrapoloitu	gh
20	Liperi	58	4	interpoloitu	h



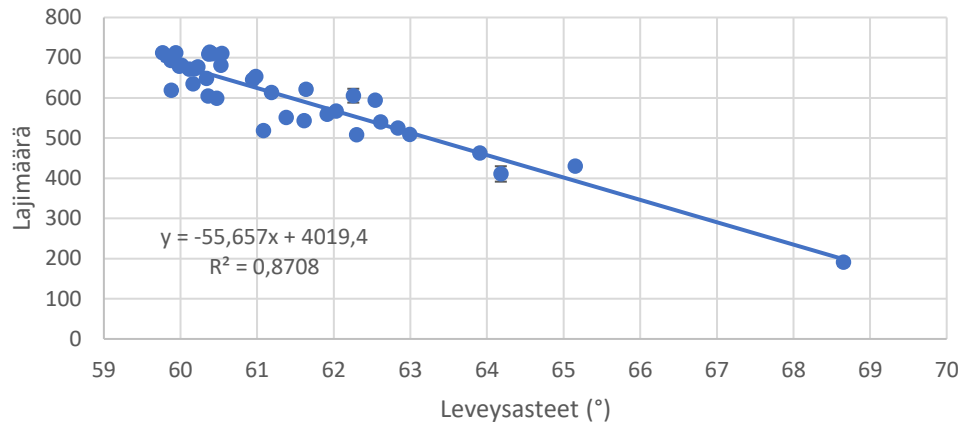
Kuva 3. Lämpökartta uhanalaisten suurperhosten lajirikkaudesta 37 analysoidussa kunnassa. Punainen väri kuvastaa suurempaa lajirikkautta, ja sininen väri vähäisempää lajirikkautta. Kartassa on huomioitu rarefaktion 95 % luottamusvälit, eli sama väri kuvastaa samaa lajirikkautta kunnassa ryhmien mukaan. Valkoisella merkityt kunnat eivät olleet mukana analyysissä. Taulukko 3 esittää samat lajimääräarviot luottamusväleineen 20 lajirikkaimman kunnan osalta.

3.1.4 Kunnan maantieteellinen sijainti ja pinta-ala lajirikkautta selittävinä tekijöinä

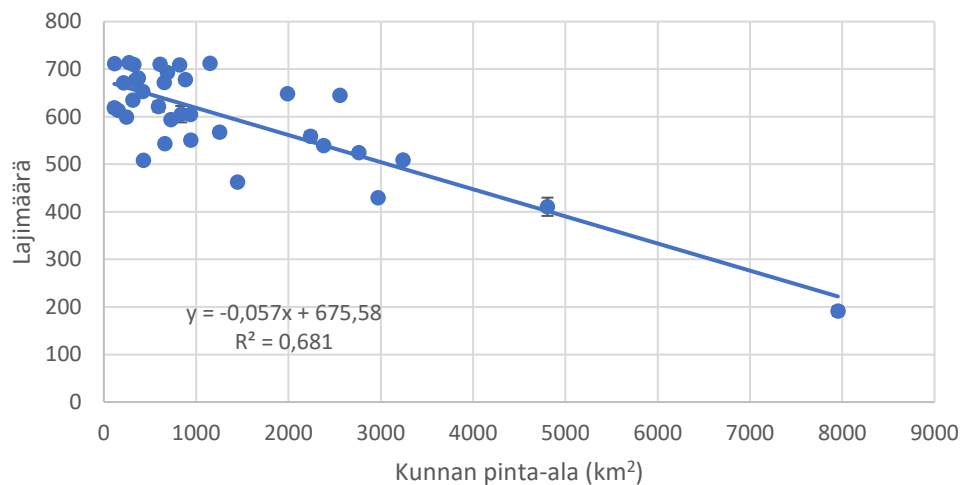
Regressioanalyysissä tutkittiin leveysasteiden ja pinta-alan vaikutusta rarefaktioilla saatuihin suurperhosten lajimääräarvioihin Suomen kunnissa niin kokonaislajimäärien kuin uhanalaisten lajien osalta (Kuvat 4–7). Suurperhosten lajimäärät laskivat tilastollisesti merkitsevästi kunnan leveysasteen kasvaessa ($F_{1,35} = 223, p < 0,001$; Kuva 4). Kunnan leveysaste selitti 87 % lajimäärän vaihtelusta ($R^2 = 0,87$; Kuva 4). Leveysasteilla oli vaikutusta myös uhanalaisten suurperhosten lajimääriin ($F_{1,35} = 17, p < 0,001$; Kuva 6). Kunnan leveysaste selitti 34 % uhanalaisten suurperhosten lajimäärän vaihtelusta ($R^2 = 0,34$; Kuva 6). Leveysasteiden vaikutusta uhanalaisten suurperhosten lajimääriin vähensi kuitenkin Enontekiön suuri uhanalaisten lajien määrä (Kuva 3). Enontekiön lajimääräarvio oli 45, mutta se ei näy taulukossa, koska Taulukko 3 rajattiin kuvaamaan 20 kuntaan 37 kunnasta. Enontekiön leveysaste on $68,5^\circ$ (Kuva 6) ja pinta-ala lähes 8000 km^2 (Kuva 7).

Suurperhosten lajimääriin vaikutti myös kunnan pinta-ala. Lajimääräarviot laskivat tilastollisesti merkitsevästi kunnan pinta-alan kasvaessa ($F_{1,35} = 61, p < 0,001$; Kuva 5). Pinta-alan vaikutus kokonaislajimäärän vaihtelusta oli 68 % ($R^2 = 0,68$). Pinta-alalla oli vaikutusta myös uhanalaisten suurperhosten lajimääriin ($F_{1,35} = 43, p < 0,001$; Kuva 7) ja kunnan pinta-ala selitti 17 % uhanalaisten suurperhosten lajimäärä vaihtelusta ($R^2 = 0,17$).

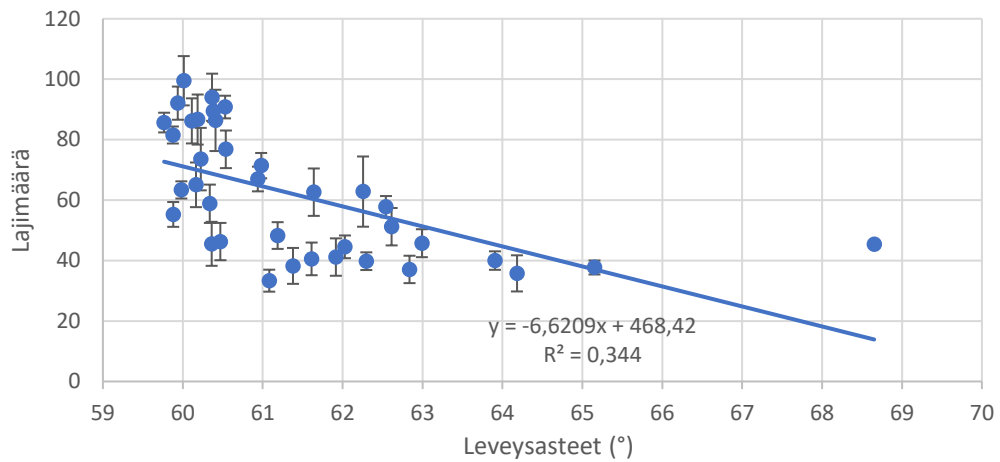
Kuntien pinta-alat kasvoivat kohti pohjoista ($F_{1,35} = 83, p < 0,001$; Kuva 3). Joten lajimääräarvion riippuvuuden kunnan pinta-alasta selitti se, että eteläiset lajirikkaat kunnat olivat pienempiä kuin suuret lajiköyhät pohjoiset kunnat.



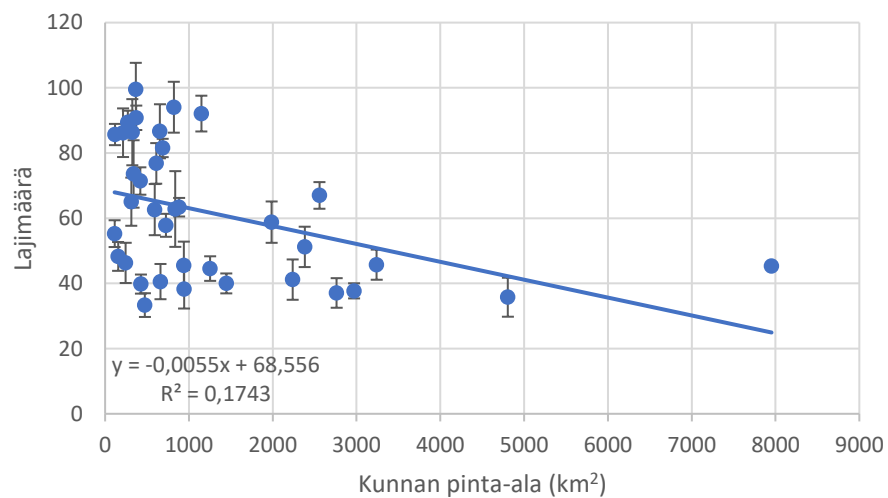
Kuva 4. Kokonaislajimääräarvion (Taulukko 2) riippuvuus kunnan leveysasteesta. Pisteet ja niissä olevat virhepalkit kuvaavat kunnan kokonaislajimääräarviota sekä 95 % luottamusvälejä (Taulukko 2). Suora kuvaa regressioyhtälöä, joka on ilmoitettu kuvassa selitysasteen (R^2) kanssa.



Kuva 5. Kokonaislajimääräarvion (Taulukko 2) riippuvuus pinta-alasta. Pisteet ja niissä olevat virhepalkit kuvaavat kunnan kokonaislajimääräarvioita sekä 95 % luottamusvälejä (Taulukko 2). Suora kuvaa regressioyhtälöä, joka on ilmoitettu kuvassa selitysasteen (R^2) kanssa.



Kuva 6. Uhanalaisten suurperhosten lajimääräarvion (Taulukko 3) riippuvuus kunnan leveysasteesta. Pisteet ja niiden virhepalkit kuvaavat uhanalaisten suurperhosten lajimääräarviota sekä 95 % luottamusvälejä (Taulukko 3). Suora kuvaa regressioyhtälöä, joka on ilmoitettu selityssasteen (R^2) kanssa.



Kuva 7. Uhanalaisten suurperhosten lajimääräarvion (Taulukko 3) riippuvuus kunnan pinta-alasta. Pisteet ja niiden virhemarginaalit kuvaavat uhanalaisten suurperhosten lajimääräarviota ja 95 % luottamusvälejä (Taulukko 3). Suora kuvaa regressioyhtälöä, joka on ilmoitettu selityssasteen (R^2) kanssa.

4 TULOSEN TARKASTELU

Tämän tutkimuksen mukaan suurperhosfaunaltaan lajirikkaimmat kunnat sijaitsevat eteläisessä Suomessa. Näihin kuntiin kuuluvat Kotka, Raasepori, Hanko, Hamina, Pyhtää ja Loviisa. Yksittäistä kuntaa ei saatu kuvastamaan Suomen lajirikkainta kuntaa, sillä kun huomioitiin rarefaktion tulosten estimaatit ja luottamusvälit, niin useammassa kunnassa olisi ollut mahdollisesti yhtä suuri lajirikkaus.

Uhanalaisten suurperhosten osalta lajirikkaimmat kunnat sijaitsevat myös etelässä. Nämä kunnat olivat Kirkkonummi, Loviisa, Raasepori, Virolahti ja Kotka. Kun tarkasteltiin rarefaktion tulosten estimaattien luottamusvälejä, ei tässäkään saatu yhtä yksittäistä kuntaa kuvaamaan uhanalaisten suurperhosten osalta lajirikkainta kuntaa. Merkittävin ero verrattaessa kaikkia suurperhoslajeja pelkästään uhanalaisiin on se, että myös pohjoisessa Suomessa on huomattava määrä uhanalaisia suurperhosia.

4.1 Tuloksien vertailu aiempiin tutkimuksiin

Aikaisemmin Suomessa on tehty tutkimusta suurperhoslajimäärästä 10 x 10 km² -ruutujen mukaisesti (Huldén ym. 2000). 10 x 10 km² -ruutuja on silloin järjestetty sen mukaan, missä ruuduissa lajimäärä on ollut ilmoitusten perusteella vähintään 80 % maakunnan lajimäärästä. Seitsemän lajimäärältään korkeimman ruudun kunnat ovat tuolloin olleet Virolahti, Kuopio, Jyväskylä, Hangon Tvärminne, Kotka, Maarianhamina ja Lahti. Esimerkiksi Virolahden ruudun lajimäärä 703 on ollut 91 % maakunnan lajimäärästä, Kuopion ruudun lajimäärä 533 on ollut 90 % maakunnan lajimäärästä ja Jyväskylän ruudun lajimäärä 505 on ollut 89 % maakunnan lajimäärästä. Näistä kunnista Hanko ja Kotka löytyvät myös rarefaktioanalyysin antamista kaikkien suurperhosten lajimääräarvion korkeimmista lajirikkausryhmistä, kun taas Virolahti löytyi uhanalaisten suurperhosten korkeimmista lajirikkausryhmistä. Eliömaakunnissa

suurperhoslajimäärät ovat olleet suuria (yli 700 suurperhoslajia) varsinkin Uudellamaalla, Varsinais-Suomessa, Etelä-Karjalassa, Etelä-Hämeessä, Ahvenanmaalla ja Etelä-Savossa vuoden 1987 jälkeen, ja näistä Uudellamaalla on ollut korkein suurperhoslajimäärä eli 863 lajia (Huldén ym. 2000, Suomen lajitietokeskus 2021f). Rarefaktioanalyyseista sekä kokonaislajimääräarvion että uhanalaisten lajimääräarvion antamat kunnat sijoittuvat varsinkin maakuntalajimäärältään korkeimpiin maakuntiin eli Uudellemaalle, Varsinais-Suomeen ja Etelä-Karjalaan. Erityisesti Uudellemaalle sijoittui useita kuntia korkeimmista lajirikkausryhmistä.

Pohjois-Suomessa suurperhosten lajimääräarviot ovat pienempiä kuin etelässä, mutta uhanalaisten suurperhosten määrä on suurempi. Ilmastonmuutoksen voidaan uskoa olevan yksi merkittävä syy suureen uhanalaisten lajien määrään pohjoisessa (Nupponen ym. 2019). Ilmastonmuutoksen myötä pohjoisen Suomen elinympäristöt vähenevät, joten myös siellä elävien lajien elintila vähenee. Lisäksi ilmaston lämmitessä useat eteläisemmät lajit levittäytyvät pohjoisemmaksi ja näin vievät elintilaa alkuperäisiltä pohjoisilta lajeilta (Virtanen & Neuvonen 1999, Nupponen ym. 2019). Pohjoisten lajien uhanalaistumista kiihdyttää myös erityisesti se, että monet näistä lajeista ovat spesialisteja elinympäristövaatimuksiltaan (Virtanen & Neuvonen 1999), eivätkä ne näin ollen sopeudu helposti vaihtoehtoihin elinympäristöihin. Suomen suurperhoslajistosta 11 % on pohjoisia lajeja (Virtanen & Neuvonen 1999), joten ilmastonmuutoksella voidaan uskoa olevan huomattava vaikutus koko Suomen suurperhoslajistoon.

4.2 Leveysasteiden ja pinta-alan vaikutus lajimääriin

Tutkimuksemme mukaan leveysasteet vaikuttavat pinta-alaa selkeämmin suurperhosten lajimääriin niin kokonaislajimäärien kuin uhanalaistenkin lajien osalta. Tämä havainto tukee hypoteesia, jossa oletettiin pohjoisilla leveysasteilla esiintyvän vähemmän lajeja kuin eteläisillä leveysasteilla. Ilmasto-oloilla on ratkaiseva merkitys tässä suhteessa (Heliölä ym. 2021). Lyhyemmän kasvukauden

vuoksi pohjoisemmilla leveysasteilla haasteellisemmat olosuhteet perhosten toukkien ravintonaan käyttämien kasvilajien menestymiselle (Ilmatieteenlaitos 2021). Uhanalaisissa lajeissa lajimäärien laskeva trendi on kuitenkin lievempi kuin kokonaislajimäärien osalta, johon on vaikuttanut uhanalaisten suurempi osuus kokonaislajimäärästä pohjoisimmassa Suomessa. Varsinkin Enontekiön uhanalaisten suurperhosten lajimäärä oli merkittävän suuri, joka osaltaan lieventää leveysasteiden laskevan trendin vaikutusta uhanalaisten suurperhosten lajimääriin. Ilmaston lämmitessä esimerkiksi avoimet tunturiniityt ovat metsittyneet, jolloin niistä riippuvaiset lajit ovat joutuneet siirtymään yhä pohjoisemmaksi tai ylemmäksi tuntureita, jolloin niiden elintila on jäänyt kapeaksi. Tällöin monen Pohjois-Suomessa esiintyvän perhoslajin luokitus on muuttunut uhanalaiseksi, ja niiden levinneisyys on keskittynyt pohjoisimpiin kuntiin, kuten Enontekiölle. (Heliölä ym. 2021)

Tutkimuksessa havaitsimme, että havainto, jossa lajimäärät vähenivät pinta-alan kasvaessa, on hypoteesin vastainen. Hypoteesissa oletettiin lajimäärän kasvavan, kun pinta-ala kasvaa, eli suuremmalle pinta-alalle mahtuisi enemmän elinympäristöjä ja samalla enemmän lajeja. Pohjois-Suomessa ilmasto-olot ovat ankarammat, joka vaikuttaa taas vähentävästi elinympäristöihin ja edelleen lajimääriin (Heliölä ym. 2021). Tällöin lajimäärä Pohjois-Suomen suurissa kunnissa jää vähäiseksi, vaikka pinta-alaa on enemmän.

4.3 Tutkielman virhelähteet

Koska tutkimuksen aineistona käytettiin Laji.fi-tietokantaan raportoituja havaintoja, tutkimus voi sisältää myös epävarmuuksia. Raportoidut havainnot on kerätty kansalaistieteen avulla, eli asiantuntijoiden lisäksi myös vapaaehtoiset harrastajat ovat keränneet ja raportoineet havaintoja (Bonney ym. 2009). Vapaaehtoiset harrastajat ovat eritasoisia esimerkiksi lajinmääritystaidoiltaan, minkä vuoksi harvinaisempia tai vaikeammin tunnistettavia lajeja ei ole raportoitu niin paljon kuin vaikka helposti tunnistettavia lajeja (Cooper ym. 2012). Lisäksi

havainnointitavat ja raportointiaktiivisuus vaihtelevat eri harrastajien ja siten myös kuntien välillä. Tästä voi seurata, että kunnissa, joissa asuu kokeneita harrastajia ja asiantuntijoita, raportoidaan enemmän havaintoja ja useammista lajeista. Kokeneemmat perhosharrastajat voivat näin nostaa tietyssä suhteessa lajimäärää muihin kuntiin nähden. Esimerkiksi Kotkassa saattaa asua enemmän kokeneita perhosharrastajia, jotka raportoivat havaintoja useammista lajeista runsaasti ja säännöllisesti. Sen sijaan esimerkiksi Imatralla voi olla paljon aloittelevia harrastajia, jotka eivät välttämättä havainnoi aktiivisesti ympäri vuoden, kuten kokeneemmat harrastajat, jolloin lajimäärä voi jäädä pienemmäksi. Näin ollen ne kunnat, joissa ei ole paljoa kokeneita harrastajia, ovat voineet jäädä pois rarefaktioanalyysistä, koska niissä ei ole ollut tarpeeksi havaintoja. Silti näissä kunnissa voi olla suuri suurperhoslajimäärä, joka voitaisiin selvittää lisäämällä ensin havainnointiaktiivisuutta tai kouluttamalla havainnoitsijoita ja tekemällä sitten rarefaktion näille kunnille.

Vaikka suurperhoslajimäärästä löytyykin aiempaa tietoa, niin tässä tutkimuksessa arvioitiin ensimmäistä kertaa Suomessa vakituisesti lisääntyvien suurperhosten lajirikkautta kunnissa vertailukelpoisella tavalla. Tämän työn tulokset ovat arvokkaita kunnallisessa tai maakunnallisessa kaavoituksessa, kun halutaan ylläpitää ja suojella biodiversiteettiä.

Kiitokset

Kiitämme ohjaajiamme yliopistonlehtori Anssi Vähätaloa ja apurahatutkija Rémi Dufloia tutkielman ohjaamisesta. Kiitämme Suomen perhostutkijain seuran toiminnanjohtajaa ja vuoden 2019 uhanalaisuusluokitukseen osallistunutta Jari-Pekka Kaitilaa avusta tutkielman aineiston tarkastamisessa. Kiitämme myös Suomen Lajitietokeskusta suurperhosten havainto- ja lajimäärä tiedoista. Lisäksi kiitämme toisiamme omasta osallistumisestamme tutkielman tekemiseen.

KIRJALLISUUS

- Auvinen A., Kemppainen E., Jäppinen J., Heliölä J., Holmala K., Jantunen J., Koljonen M., Kolström T., Lumiaro R., Punttila P., Venesjärvi R., Virkkala R. & Ahlroth P. 2020. Suomen biodiversiteettistrategian ja toimintaohjelman 2012–2020 toteutuksen ja vaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja, Valtioneuvoston kanslia, saatavissa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162392/VNTEA_S_2020_36.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Bonney R., Cooper C.B., Dickinson J., Kelling S., Phillips T., Rosenberg K.V. & Shirk J. 2009. Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *Bioscience* 59: 977–984.
- Cooper C.B., Hochachka W.M. & Dhondt A.A. 2012. The Opportunities and Challenges of Citizen Science as a Tool for Ecological Research. Teoksessa: Dickinson J.L. & Bonney J., Richard E. (toim.), *Citizen Science : Public Participation in Environmental Research*, Cornell University Press, s. 99–113.
- Erhardt A. 1985. Diurnal Lepidoptera: Sensitive Indicators of Cultivated and Abandoned Grassland. *J Appl Ecol* 22: 849–861.
- Heliölä J., Kuussaari M. & Pöyry J. 2021. Pölyttäjien tila Suomessa: Kansallista pölyttjästrategiaa tukeva taustaselvitys. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja* 34/2021
- Hillebrand H., Blasius B., Borer E.T., Chase J.M., Downing J.A., Eriksson B.K., Filstrup C.T., Harpole W.S., Hodapp D., Larsen S., Lewandowska A.M., Seabloom E.W., Van de Waal, Dedmer B. & Ryabov A.B. 2018. Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: Consequences for conservation and monitoring. *J Appl Ecol* 55: 169–184
- Hsieh T.C., Ma K.H. & Chao A. 2016. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods Ecol Evol* 7: 1451–1456.
- Huldén L. (toim.), Albrecht A., Itämies J., Malinen P. & Wettenhovi J. 2000. *Suomen suurperhosatlas: Finlands storffjärilsatlas = Atlas of Finnish macrolepidoptera*. Suomen perhostutkijain seura ry, Helsinki.
- Hyvärinen E., Juslén A., Kemppainen E., Uddström A. & Liukko U. 2019. *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Ilmatieteenlaitos 2021. *Terminen kasvukausi*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/terminen-kasvukausi> (luettu 9.11.2021)

- Juslén A., Cardoso P., Kullberg J., Saari S. & Kaila L. 2016. Trends of extinction risk for Lepidoptera in Finland: the first national Red List Index of butterflies and moths. *Insect Conserv Divers* 9: 118–123.
- Kangasaho J. 1996. *Numeerinen matematiikka*. Porvoo; Helsinki; Juva. WSOY.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132
- MacArthur Robert H. & Wilson Edward O. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- New T.R. 1997. Are Lepidoptera an effective 'umbrella group' for biodiversity conservation? *J Insect Conserv* 1: 5–12.
- Nupponen K., Nieminen M., Kaitila J., Hirvonen P., Leinonen R., Koski H., Kullberg J., Laasonen E., Pöyry J., Sallinen T. & Välimäki P. 2019. Perhoset • Lepidoptera. Teoksessa: Hyvärinen E., Juslén A., Kemppainen E., Uddström A. & Liukko U. (toim.), *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019*, Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, s. 470–476.
- Pilotto F., Kühn I., Adrian R., Alber R., Alignier A., Andrews C., Bäck J., Barbaro L., Beaumont D., Beenaerts N., Benham S., Boukal D.S., Bretagnolle V., Camatti E., Canullo R., Cardoso P.G., Ens B.J., Everaert G., Evtimova V., Feuchtmayr H., García-González R., Gómez García D., Grandin U., Gutowski J.M., Hadar L., Halada L., Halassy M., Hummel H., Huttunen K., Jaroszewicz B., Jensen T.C., Kalivoda H., Schmidt I.K., Kröncke I., Leinonen R., Martinho F., Meesenburg H., Meyer J., Minerbi S., Monteith D., Nikolov B.P., Oro D., Ozoliņš D., Padedda B.M., Pallett D., Pansera M., Pardal M.Â., Petriccione B., Pipan T., Pöyry J., Schäfer S.M., Schaub M., Schneider S.C., Skuja A., Soetaert K., Sprinġe G., Stanchev R., Stockan J.A., Stoll S., Sundqvist L., Thimonier A., Van Hoey G., Van Ryckegem G., Visser M.E., Vorhauser S. & Haase P. 2020. Meta-analysis of multidecadal biodiversity trends in Europe. *Nature Communications* 11: 3486, doi:10.1038/s41467-020-17171-y.
- Saarinen K., Aarnio H., Jantunen J., Ojalainen P. & Haahtela T. 2019. 100 suomalaista perhosta. Gummerus, Helsinki.
- Shimadzu H. 2018. On species richness and rarefaction: size- and coverage-based techniques quantify different characteristics of richness change in biodiversity. *J Math Biol* 77: 1363–1381.
- Suomen lajitietokeskus 2021a. *Suomen Lajitietokeskus pähkinänkuoressa*. <https://laji.fi/about/2915> (luettu 9.11.2021)
- Suomen lajitietokeskus 2021b. *Laji.fi-portaali*. <https://laji.fi/about/788> (luettu 9.11.2021)
- Suomen lajitietokeskus 2021c. *Sensitiivisen lajitiedon käsittely Suomen Lajitietokeskuksessa*. <https://laji.fi/about/709> (luettu 9.11.2021)

- Suomen lajitietokeskus 2021d. *Lajitietokeskuksen palvelut ja käyttöohjeet*. <https://laji.fi/about/5699> (luettu 9.11.2021)
- Suomen lajitietokeskus 2021e. *Perhoset*. <https://laji.fi/taxon/browse?informalGroupFilters=MVL.31> (luettu 9.11.2021)
- Suomen lajitietokeskus 2021f. *Eliömaakunnat*. <https://laji.fi/about/5719> (luettu 9.11.2021)
- Virtanen T. & Neuvonen S. 1999. Climate change and macrolepidopteran biodiversity in Finland. *Chemosphere - Global Change Science* 1: 439–448.