

Pro gradu -tutkielma

**Kimalaisten (*Bombus*) lajiston ja populaatiokokojen
arviointi linjalaskentamenetelmällä**

Kaisa Nikku



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ekologia ja evoluutiobiologia

10.3.2022

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ekologia ja evoluutiobiologia

Kaisa Nikku: Kimalaisten (*Bombus*) lajiston ja populaatiokokojen arviointi linjalaskentamenetelmällä
Pro gradu -tutkielma: 37 s., 1 liite (1 s.)
Työn ohjaajat: Yliopistolehtori Atte Komonen ja tutkimuskoordinaattori Mikael Puurtinen
Tarkastajat: Yliopistolehtori Tarmo Ketola ja museoamanuenssi Jyrki Torniainen

Maaliskuu 2022

Hakusanat: merkintä-takaisinpyydystys, pölyttäjä, säätekijöiden vaikutus

Kimalaiset ovat tärkeitä pölyttäjiä luonnon monimuotoisuuden ja maatalouden satojen kannalta. Kimalaiskannat ovat kuitenkin alkaneet vähentyä muiden hyönteiskantojen tapaan. Tämän vuoksi on tärkeää hankkia tietoa kimalaisten lajimääristä ja populaatiokoosta eri alueilla. Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää kimalaisten paikallista lajikoostumusta ja yksilömääriä, sekä arvioida linjalaskennan ja merkintä-takaisinpyydystyksen yhdistämisen käyttökelpoisuutta kimalaisten populaatiokoon arvioinnissa. Tutkimus toteutettiin neljällä eri linjalla Jyväskylässä. Linjoilla oli erilaisia elinympäristöjä, kuten niittyä, metsää ja puutarhaa. Kimalaisten laskenta toteutettiin kahdessa osassa: keväällä kuningatarlaskentana ja myöhemmin kesällä työläisten laskentana. Kimalaisia merkittiin kaiken kaikkiaan 1145 yksilöä, joista 53 saatiin uudelleenpyydettyä. Yksilöitä löytyi yhteensä 11 eri kimalaislajista. Vaikka linjat olivatkin lajistollisesti melko samanlaisia, eri lajien prosenttiosuudet vaihtelivat linjojen välillä. Lisäksi havaittiin, että säätekijät vaikuttavat kimalaisten esiintyvyyteen. Koska aiemmin pyydystettyjä ja merkittyjä kimalaisia löytyi vain 4,6 %, kimalaispopulaatioiden kokoa ei voitu luotettavasti estimoida. Alhainen uudelleenpyyntiosuus voi johtua siitä, että kimalaiset liikkuvat laajoilla alueilla, eivätkä välttämättä pala samalle alueelle. Linjalaskennan ja merkintä-takaisinpyynnin yhdistäminen ei siis ollut sopiva menetelmä tällaisten laajalla alueella liikkuvien hyönteisten populaatiokoon määrittämiseen.

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

Kaisa Nikku: Evaluation of Bumblebee (*Bombus*) Species and Population
Sizes Using Line Transect Method
MSc thesis: 37 p., 1 appendix (1 p.)
Supervisors: Senior Lecturer Atte Komonen and Research coordinator
Mikael Puurtinen
Inspectors: University Lecturer Tarmo Ketola and museum amanuensis
Jyrki Tornianen
March 2022

Keywords: mark-recapture, pollinator, weather effects

Bumblebees are important pollinators for biodiversity and agriculture. However, they have begun to decrease in numbers along with many other insect populations. Therefore, gathering information about the number of bumblebee species and their population sizes in different areas is important. The aim of this study was to gather information about the regional population sizes and species compositions of bumblebees and assess whether combining line transect with the mark-recapture method could be used to estimate the population size of bumblebees. The study was carried out on four different transect lines in Jyväskylä. The lines consisted of different habitats, such as meadows, woods, and gardens. Counting of bumblebees was executed in two parts: the queens were counted in the spring, whereas the workers were counted in the summer. A total of 1,145 bumblebees were caught, of which 53 were recaptured. All in all, 11 different species of bumblebees were found. Although the lines were similar in the species found, the percentages of different species altered between the lines. Windiness, cloudiness, and temperature affected the incidence of bumblebees. As only 4.6% of the previously captured and marked bumblebees were recaptured, population sizes could not be estimated reliably. Low recapture rate may result from the habit of bumblebees flying on vast areas and thus not necessarily returning to the same area to find forage. Therefore, combining line transect with the mark-recapture method is not a suitable method for measuring the population size of insects with such a broad territory.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1 Kimalaisten elintavat	1
1.2 Kimalaisten vaikutukset ympäristöön sekä hyönteis- ja kimalaiskato	3
1.3 Populaatiokoon arviointi	5
1.4 Tutkimuksen tavoitteet	7
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	8
2.1. Maasto-osuus	8
2.2 Linjojen kuvailut.....	10
2.3 Tilastollinen osuus	11
2.3.1 Yhteisöanalyysi.....	12
2.3.2 Yksilömääräanalyysi.....	12
3 TULOKSET	14
3.1 Löydetty kimalaislajisto	14
3.2 Kimalaisten populaatiokoko.....	14
3.3 Lajistolliset erot linjojen välillä.....	15
3.4 Säätekijöiden vaikutukset havaittujen kimalaisten määrään	16
3.4.1 Kuningattarien lukumäärään vaikuttavat mallit.....	16
3.4.2 Havaittujen työläisten määrään vaikuttavat mallit.....	19
4 TULOSTEN TARKASTELU	25
4.1 Linjojen samankaltaisuuden arviointi.....	25
4.1.1 Jaccardin samankaltaisuusindeksin tulokset	26
4.1.2 Bray-Curtiksen indeksin tulokset	26
4.2 Löydetty kimalaislajisto	27
4.3 Säätekijöiden vaikutukset havaittujen kimalaisten määrään	28
4.3.1 Säätekijöiden vaikutukset havaittuihin kuningattariin	28
4.3.2 Säätekijöiden vaikutukset havaittujen työläisten määrään.....	29
4.4 Merkintä-takaisinpyydystys -menetelmän ja linjalaskentamenetelmän soveltuvuus kimalaisten määrän tutkimiseen.....	31
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
KIITOKSET	33
KIRJALLISUUS	34
LIITE 1. KIMALAISTEN YKSILÖMÄÄRÄ LINJOITTAIN	38

SANASTO

Kimalaisyhteisö	Kaikki samalla alueella elävät kimalaislajit
Kuhnuri	Kimalaiskoiras
Populaatio	Samalla alueella elävät saman lajin yksilöt
Yhdyskunta	Saman kuningattaren munimat yksilöt, jotka osallistuvat yhteisen pesän hoitoon

1 JOHDANTO

Maailmanlaajuisesti kimalaisia on tavattu noin 260 eri lajia. Euroopassa tavataan vajaa 80 eri kimalaislajia, joista 38 voidaan löytää myös Suomesta. Lajit eivät ole tasaisesti jakautuneet, vaan osaa lajeista tavataan vain Lapissa tai saaristossa, kun taas osaa esiintyy koko maassa (Parkkinen ym. 2018, Suomen lajitietokeskus 2021).

Suomessa on tavattu kahdeksan eri loiskimalaislajia (Parkkinen ym. 2018, Suomen lajitietokeskus 2021). Loiskimalaiset eivät ole aitokimalaisten tavoin yhdyskuntahyönteisiä (Suomen lajitietokeskus 2021), vaan yhdyskuntaloisia (Løken 1984, Parkkinen ym. 2018). Loiskimalaisilla ei ole työläisiä, joten kuningatar tuottaa vain uusia kuningattaria ja kuhnureita (Alford 1975, Løken 1984).

1.1 Kimalaisten elintavat

Kimalaiset ovat yhdyskunnissa eläviä hyönteisiä, joilla on erittäin hierarkkinen sosiaalinen järjestelmä. Kimalaiset voidaan luokitella sen mukaan, mitä tehtävää ne toteuttavat yhdyskunnassa. Yhteen luokkaan kuuluvat kaikki työläiset (sosiaalinen yksikkö) ja toiseen luokkaan kuuluvat yhdyskunnan kaikki lisääntyvät yksilöt, eli kuningatar, kuhnurit ja uudet kuningattaret (Pamilo 1997).

Kimalaisyhdyskunnan perustaa keväällä jo syksyllä paritellut kuningatar, joka on ainut talvehtiva kasti. Keväällä ja alkukesällä kuningatar munii munia, joista kehittyy työläisyksilöitä. Työläiset eivät yleensä parittele ja lisäänty (Parkkinen ym. 2018). Joskus kimalaistyöläisen munasarjat kuitenkin saattavat kehittyä ja se munii hedelmöittymättömiä munia, joista kuoriutuu koiraita. Kuningatarkimalainen pyrkii syömään nämä munat ja munimaan omat munansa niiden tilalle (Free ym. 1969). Loppukesästä kuningatar munii hedelmöittyneitä munia, joista kuoriutuu

uusia kuningattaria, sekä hedelmöittymättömiä eli haploideja munia, joista kuoriutuu koiraita (Parkkinen ym. 2018).

Kimalaisilla lisääntyvien yksilöiden lukusuhteet voivat olla vinoutuneet kumman tahansa sukupuolen suuntaan. Kimalaispesä voi tuottaa enemmän kuhnureita ennen kuningattarien tuottamista, kun niillä on suurempi mahdollisuus päästä lisääntymään. Vaihtoehtoisesti pesä voi keskittyä uusien kuningattarien tuottamiseen ja luottaa siihen, että toiset pesät ovat tuottaneet kuhnureita (Beekman ja van Stratum 1998). Kimalaisten sukupuolijakauma on usein vinoutunut siten, että kuhnureita tuotetaan enemmän (Bourke 1997). Tämä voi johtua siitä, että kuhnureiden tuottaminen on kuningattarien tuottamista halvempaa. Kun yhdyskunnalla on vain niukasti resursseja käytettävissä, kimalaiskuningatar suosii kuhnureiden tuottamista. Jos resursseja on runsaasti, kuningatar tuottaa enemmän uusia kuningattaria (Beekman ja van Stratum 1998). Kuhnurit eivät jää yhdyskuntansa luokse, vaan lentävät kauas välttääkseen sukusiitoksen ja kilpailun resursseista oman pesänsä tuottamien uusien kuningattarien kanssa. Kuhnurit keskittyvät uusien kuningattarien löytämiseen ja paritteluun (Kraus ym. 2008).

Kimalainen käyttää ravinnokseen kasvien mettä ja siitepölyä. Kimalaiset keräävät ravintoa useasta kasviyksilöstä ja -lajista yhden lennon aikana (Leonhardt ym. 2012). Pitkäkieliset lajit, kuten pelto- ja tarhakimalainen keräävät ravintoa pitkätorvisista kukista, kun taas lyhytkieliset lajit, kuten kartano-, mantu- ja pensaskimalainen vierailevat useammin laakeissa kukissa (Parkkinen ym. 2018).

Siitepöly on helposti saatavilla oleva ravintokohde. Se sisältää paljon hyviä ravintoaineita, kuten esimerkiksi valkuaisaineita, jotka ovat tärkeitä kuningattaren munantuotannossa. Muita tärkeitä ravintoaineita ovat sokerit, tärkkelys ja rasvat (Parkkinen ym. 2018). Kimalaiset osaavat myöskin arvioida siitepölyn laadun ja pystyvät tämän vuoksi keräämään korkealaatuista ravintoa, joka sisältää enemmän proteiinia. Tämän taidon vuoksi kimalaiset usein suosivat hyvää siitepölyä tuottavia kasveja (Leonhardt ym. 2012).

Kimalaiset keräävät mettä kasveista. Aktiivivaiheen kukat tuottavat eniten mettä, joten kimalaiset oppivat tunnistamaan nuoret kukat vanhoista ja käyvät pääasiallisesti vain kasveissa, joissa on suurin määrä mettä. Aktiivivaiheen kukkien medessä on myöskin suurin sokeripitoisuus (Parkkinen ym. 2018).

1.2 Kimalaisten vaikutukset ympäristöön sekä hyönteis- ja kimalaiskato

Kimalaiset ovat taloudellisesti merkittäviä pölyttäjiä. Niiden pölytyspalvelu ulottuu sekä villien kasvien että puutarhakasvien pölytykseen (Corbet ym. 1991). Kimalaiset ovat hyviä pölyttäjiä, sillä karvaisina hyönteisinä niihin tarttuu paljon siitepölyä. Karvaisuutensa ja suuren kokonsa vuoksi ne myös kykenevät lentämään kylmemmällä säällä kuin useat muut hyönteiset. Lisäksi ne valikoivat runsaasti siitepölyä sisältäviä kukkia ja siirtyvät kukkien välillä mehiläisiä nopeammin ja useammin (Parkkinen ym. 2018). Kimalaiset keräävät yleensä mettä ja siitepölyä kukista selvässä järjestyksessä, mutta kohdatessaan enemmän mettä ja siitepölyä sisältäviä kukkia, ne hylkäävät järjestelmällisen lentoreitin ja alkavat kerätä mettä satunnaisista kukista (Heinrich 1979). Koska kimalaisilla on tapana käydä yhden ravinnonhakumatkan aikana useassa eri kasvilajissa, saattavat ne kuljettaa kukan emeihin väärän kasvilajin siitepölyä (Leonhardt ym. 2012).

Kimalaisilla on merkittävä osa mustikoiden ja puolukoiden sadon suuruudessa, sillä kimalaiset ovat kyseisten kasvien tärkeitä pölyttäjiä. Metsäntutkimuslaitos (nykyinen Luonnonvarakeskus) tutki vuonna 2008 kontukimalaisten vaikutusta mustikan pölytyksessä. Tulosten mukaan kimalaisten läsnäolo nosti mustikoiden marjantuotantoa 12-kertaiseksi verrattuna niihin alueisiin, joissa kimalaisia ei ollut (Metla 2009). Tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut satunnaistamista, toistoja eikä kontrollia, joten sen tuloksia ei voida yleistää. Madi ja Veijonen (2019) tekivät tutkimuksen uudestaan ja huomasivat, että kimalaisten läsnäolo ei lisännyt marjantuotantoa.

Puutarhoissa kimalaisten taloudellisesti merkittävimmät pölytyskohteet ovat marjat, tomaatit ja hedelmäpuut. Vadelman pölytys sujuu kimalaisilta paremmin kuin mehiläisiltä. Kimalaiset pölyttävät myös härkäpapua, puna-apilaa sekä monia yrtti- ja maustekasveja (Pekkarinen ja Teräs 1977, Corbet ym. 1991). Kimalaiset ovat puna-apilan tärkein pölyttäjä. Ne pölyttävät noin 90 % puna-apilasta Etelä-Suomessa ja lähes kaiken pohjoisemmassa (Pekkarinen ja Teräs 1977). Kimalaiset ovat myös merkittäviä tomaattien pölyttäjiä kasvihuoneissa (Banda ja Paxton 1991, Corbet ym. 1991). Tämä johtuu siitä, että ne värisyttävät pölyttämäänsä kukkaa, mikä tehostaa tomaatin pölytystä (Banda ja Paxton 1991).

Kuten muidenkin hyönteisten, myös kimalaisten kannat ovat vähentyneet runsaasti (Kosior ym. 2007, IPBES 2019). Kymmentä prosenttia lajeista uhkaa tulevaisuudessa sukupuutto. Paikallista vähentymistä on huomattu hyönteisillä, kuten villeillä mehiläisillä ja perhosilla, mutta vähentymisen globaalista laajuudesta ei ole vielä tietoa (IPBES 2019). Vähentymistä on tapahtunut erityisesti silloin, kun kuumat lämpötilat lisääntyvät ja alueet kuivuvat enemmän. Viimeaikainen ilmastomuutos on johtanut voimakkaampaan ja laajemmalle levinneeseen kimalaisten vähenemiseen Euroopassa ja muualla maailmassa. Esimerkiksi Euroopassa hyönteisten yksilömäärät ovat vähentyneet noin 17 % (Soroye 2020).

Kimalaisten vähenemiseen on monia syitä. Maanmuokkaus on muuttanut ympäristöä, jolloin kimalaisille aikaisemmin suotuisat alueet ovat muuttuneet viljelymaaksi, joka ei ole niille sopivaa elinympäristöä (Goulson ym. 2008). Lisäksi muista lajeista kimalaisiin siirtyvät taudit, kuten hunajamehiläisten virustaudit, ovat siirtyneet kimalaisiin ja näin pienentäneet niiden kantoja (Genersch ym. 2006). Myöskin hyönteismyrkkyjen käyttö on vähentänyt kimalaisten yksilömäärää, kun pelloille tarkoitetut hyönteismyrkyt ovat levinneet ympäristöön (Thompson 2001).

Suomen kimalaiskantoja on tutkittu aikaisemmin, mutta niiden muutoksista ei ole paljon tietoa, sillä tutkimus on ollut vähäistä. Suurin osa kimalaisista luokitellaan kuitenkin luokkaan elinvoimaiset (LC) vuoden 2010 myrkkypistiäisten

uhanalaisuusarvioinnissa. Neljä lajia luokiteltiin silmälläpidettäviin (NT). Nämä lajit olivat juhannuskimalainen (*Bombus humilis*), tundrakimalainen (*Bombus hyperboreus*), sammalkimalainen (*Bombus muscorum*) ja kirjoloiskimalainen (*Bombus quadricolor*). Lisäksi ukonhattukimalainen (*Bombus consobrinus*) luokiteltiin erittäin uhanalaiseksi (EN) ja tarhaloiskimalainen (*Bombus barbutellus*) äärimmäisen uhanalaiseksi (CR) (Rassi ym. 2010).

1.3 Populaatiokoon arviointi

Linjalaskenta on populaatioekologinen tutkimustapa, jolla voidaan laskea alueella elävän lajin yksilömääriä. Linjalaskentaa käytetään pääasiassa sessiilien, eli liikkumattomien eliöiden, sekä hitaasti liikkuvien eliöiden populaatiokoon laskentaan. Sitä voidaan käyttää myös lintuihin niiden pesimäkaudella, sillä silloin ne hautovat pesissä munia ja ovat täten enemmän paikallaan (Anderson ym. 1979). Tekniikka soveltuu käytettäväksi kuitenkin myös muille eliöille, kuten perhosille, lepakoille ja kimalaisille (Anderson ym. 1979, Luomus 2018, Westphal ym. 2008).

Linjalaskennan periaatteena on, että tietyltä ennalta määritetyltä reitiltä lasketaan lajiryhmän yksilöt. Linja suunnitellaan etukäteen alueelle, jossa on toivottujen lajien elinaluetta ja täten myös yksilöitä. Linja suunnitellaan siten, että siihen osuu erilaisia ympäristötyyppejä, kuten metsää ja peltoa samassa suhteessa, kun niitä alueella esiintyy (Luomus 2018). Linjan pituus suunnitellaan lajiryhmän mukaan. Esimerkiksi kimalaisilla ja päiväperhosilla linja kannattaa pitää suhteellisen lyhyenä, noin 500–1000 metrin pituisena. Tämä johtuu siitä, että jo lyhyellä matkalla kohtaa monta yksilöä, eikä linjaa ole tarpeen pitkittää loputtoman pitkäksi.

Merkintä-takaisinpyydystys on ekologian menetelmä, jolla pystytään laskemaan tutkitun lajin populaatiokoko. Se perustuu siihen, että pyydystettyjen ja merkittyjen yksilöiden määrää verrataan pyydystettyjen merkitsemättömien yksilöiden määrään (Nichols 1992, Amstrup 2005). Merkintä-takaisinpyydystys toimii siten, että tietyltä alueelta pyydystetään niin monta yksilöä kuin mahdollista. Nämä

yksilöt merkitään joko yksilöllisillä tai geneerisillä merkeillä ja päästetään vapaaksi. Tietyn ajan kuluttua alueelta pyydystetään jälleen kaikki mahdolliset yksilöt sekä lasketaan jo merkittyjen ja merkitsemättömien yksilöiden lukusuhteet. Tätä voidaan toistaa muutaman kerran mahdollisimman tarkan populaatiokoon estimoinnin varmistamiseksi (Amstrup 2005).

Merkintä-takaisinpyydystyksessä on monia erilaisia malleja, jotka tulevat erilaisista olettamuksista. Mallit voidaan jakaa sen mukaan, että onko populaatio avoin vai suljettu. Avoimen populaation mallissa populaatiossa voi olla migraatiota syntyvyyden ja kuolevuuden lisäksi. Suljetun populaation mallissa oletetaan, että populaatioon ei ole migraatiota, vaan kaikki muutokset tulevat syntymästä ja kuolemasta. Toinen oletamus on se, että kaikilla tutkituilla yksilöillä on sama kiinnijäämisen todennäköisyys. Jos kaikilla yksilöillä on sama kiinnijäämisen todennäköisyys ja avoin populaatiomalli, kutsutaan mallia Jolly-Seber -malliksi. Jos taas avoimessa populaatiossa kaikilla yksilöillä ei ole sama kiinnijäämisen todennäköisyys, kyseessä on Cormack-Jolly-Seber -malli (Amstrup 2005).

Linjalaskennan ja merkintä-takaisinpyydystämisen yhdistämistä on käytetty tutkimuksissa, joissa on selvitetty lajin yksilömääriä. Näitä keinoja yhdistämällä on mahdollista saada mahdollisimman todenmukaista tietoa kannan koosta. Heliölä ym. (2016) käytti menetelmien yhdistämistä tutkiessaan harjusinisiiven (*Scolitantides vicrama*) kannankehitystä. Tässä tutkimuksessa menetelmien yhdistäminen oli onnistunutta ja takaisinpyydystystä oli paljon, joten estimointimenetelmällä saatiin laskettua lajin populaatiokoko. Tikkamäki ja Komonen (2011) käyttivät kyseisiä menetelmiä tutkiessaan kahden sarvijäärälajin populaatiokokoja. Tässä tutkimuksessa takaisinpyydystysprosentti jäi matalaksi, mutta kahden menetelmän yhdistäminen toimi toiselle tutkimuslajille. Molemmista tutkimuksista sai paljon tietoa populaatiokoista, joten menetelmien yhdistäminen on ollut aikaisemmin hyvä tapa tutkia hyönteisten populaatiokokoja. Tämän estimointimenetelmän ainoana vaikeuttavana on se, että se jättää paljon sattuman varaan. Menetelmä on erittäin paljon ajasta ja paikasta riippuvainen; vain osa

koealueen yksilöistä tulee havainnoiduksi, pyydystetyksi ja uudelleenpyydystetyksi (Ranius 2001, Ranius 2002).

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa kimalaisten lajikoostumuksesta ja eri populaatioiden koosta Jyväskylän alueella sekä eri ympäristötekijöiden vaikutuksista kimalaisten yksilömäärään. Tätä tutkittiin pyydystämällä kimalaisia eri linjoilla alku- ja loppukesästä. Populaatiokoon laskeminen toteutettiin kahdella eri tavalla: keväällä tapahtuvalla kuningatarpyynnillä sekä myöhemmin kesällä työläispyynnin muodossa. Näillä kahdella eri pyynnillä saatiin monipuolista tietoa alueen kimalaisista. Kuningatarpyynnissä saatiin tietoa siitä, mitä lajistoa alueella elää. Myöhemmin kesällä tapahtuneesta työläispyynnistä saadulla aineistolla pyrittiin laskemaan ekologinen populaatiokoko, eli kesällä kasveja pölyttävien kimalaisten yksilömäärä. Kun työläispyynnin aineistoa tutkittiin ja verrattiin kuningatarpyyntien aineistoon, saatiin tietää, kuinka tutkimuslinjojen ja niiden välittämän läheisyyden havaittu kimalaislajisto muuttui kesän aikana aktiivisuusuuden ja ympäristön hyödyntämisen suhteen.

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään populaatiokoon arvioimisen luotettavuutta paikallisten populaatiokojen mittarina. Tämä tehtiin yhdistämällä merkintä-takaisinpyydystys -menetelmää ja linjalaskentaa. Tarkoituksena oli siis selvittää, sopiiko kyseinen menetelmä kimalaisten kaltaisten paljon liikkuvien hyönteisten populaatiokokojen laskemiseen.

Tutkimuskysymykset olivat:

1. Minkälainen lajikoostumus Jyväskylän alueella on?
2. Kuinka suuria kimalaisten populaatiokokoja Jyväskylän alueella on?
3. Vaikuttivatko säätekijät (lämpötila, tuulen voimakkuus ja pilvisuus) kimalaisten havaittuun yksilömäärään?

Tutkimuskysymyksissä pohditut asiat tehtiin kimalaiskuningattarille ja -työläisille erikseen. Tämä johtui siitä, että ne olivat eri vuodenaikoihin liikkeellä.

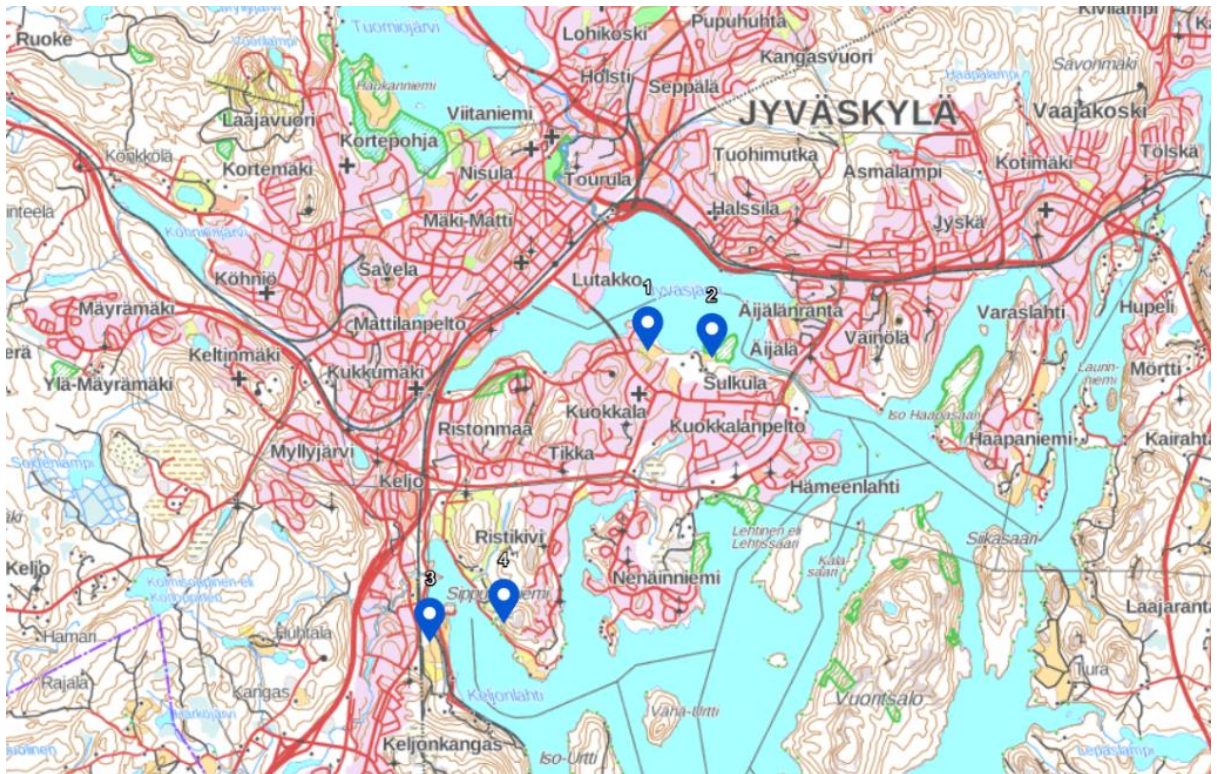
2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen aineisto koostui neljältä eri linjalta pyydetyistä kimalaisista. Ympäristötekijöistä saatu aineisto kerättiin samalla, kun linjaa alettiin kiertämään.

2.1. Maasto-osuus

Kartoitus tapahtui Jyväskylässä Kuokkalan ja Etelä-Keljon alueella. Linjoja oli neljä (Kuva 1) ja ne valittiin tiettyjen kriteerien mukaisesti. Linjaa kulkiessa molemmilla puolilla oli samanlaista kasvillisuutta ja linjat olivat 600–850 metrin pituisia. Lisäksi linja pilkottiin pienempiin laskentalohkoihin elinympäristöjen mukaan (SYKE PÖLYHYÖTY 2019). Tässä tutkimuksessa lohkojen määrä vaihteli 4–6 välillä, mikä mukaili Pölyhyöty-hankkeen ohjeita.

Laskentareitit kierrettiin useaan otteeseen kesän aikana sääolot huomioiden. Lämpötilan tuli olla vähintään +10 °C ja sään aurinkoinen. Puolipilvisellä säällä voitiin tehdä linjalaskentaa, jos lämpötila oli vähintään +17 °C. Pilvisellä säällä lämpötilan piti olla yli +20 °C, ja kimalaisten piti olla selvästi aktiivisia. Sateella linjalaskenta ei onnistunut, sillä tällöin kimalaiset eivät olleet liikkeellä (SYKE PÖLYHYÖTY 2019). Linjojen kierto ajoitettiin klo 10–18 aikaan, jolloin kimalaiset olivat aktiivisesti liikkeellä pesän ulkopuolella. Linjat kierrettiin toukokuussa ja kesäkuun alussa joka toinen päivä siten, että päivässä käytiin läpi kaksi eri linjaa. Heinä- ja elokuussa linjat kierrettiin harvemmin. Tällöin linjojen kiertäminen oli huomattavasti hitaampaa kimalaisten suuresta yksilömäärästä johtuen, joten päivässä käytiin yksi tai kaksi linjaa.



Kuva 1. Tutkimuksessa kimalaisten pyydystämiseksi kierrettyjen linjojen sijainnit. (Kuvan lähde: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>)

Kimalaisia pyrittiin pyydystämään PÖLYHYÖTY-hankkeen ohjeiden mukaisesti. Linjaa käveltiin tasaista vauhtia eteenpäin ja lajistoa havainnoitiin 5x5x5 metrin alueelta. Toisin sanoen, jos kimalainen havaittiin 5 m korkeudessa, 5 m edesspäin, tai 2,5 m jommalla kummalla sivulla, se pyrittiin nappaamaan kiinni. Tämä ei kuitenkaan tapahtunut käytännössä, sillä kimalaisia oli lähes mahdotonta saada kiinni noin suurelta alueelta. Varsinkin keväällä, kun kuningattaret liikkuvat pajuissa keräämässä mettä, niitä oli erittäin vaikeaa saada kiinni oksiston seasta. Kimalaiset myöskin pyrkivät usein pakenemaan, kun havaitsivat ihmisen tai haavin lähestyvän, minkä takia jokainen havaittu kimalainen ei päätynyt merkityksi.

Kimalaiset merkittiin yksilöllisillä merkeillä käyttäen pieniä numeroituja tarroja. Yksilöllisiä tarroja käytettiin, sillä yksilöllistä tunnistamista tarvittiin populaatiokoon laskemiseen. Yksilöllisiä tarroja käyttämällä saatiin myös selville, milloin ja missä aikaisemmin pyydystetty kimalainen oli merkitty. Tarrat kiinnitettiin kimalaisten etuselkään liimalla, jotta ne eivät pääsisi tippumaan. Liima jätti myös merkin kimalaisen selkään siltä varalta, että itse tarra irtoaisi. Merkkien

tippumisen varalta kimalaisten siivet merkittiin lisäksi erivärisillä tussi-merkinnöillä. Tämä ei kuitenkaan ollut yhtä tehokasta kuin liimamerkki. Merkitseminen tehtiin, jotta kimalaista ei laskettu uudeksi yksilöksi, kun se jäi uudestaan kiinni.

Kimalaisten merkitseminen tapahtui siten, että ne siirrettiin haavista merkitsemiskammioon, jossa merkki kiinnitettiin sen yläselkään ristikon läpi. Merkitsemisen yhteydessä kaikki kimalaiset lisäksi kuvattiin lajinmäärityksen varmistamiseksi. Pyydyttämisen yhteydessä kirjoitettiin muistiin linjan kiertämisen aloitus- ja lopetus aika, lämpötila, pilvisuus, tuulen voimakkuus, pyydytetyin yksilön laji ja sukupuoli, sekä merkin numero ja väri. Kimalaisten latinankieliset nimet noudattivat Suomen lajitietokeskuksen nimistöä (Laji.fi 2021).

2.2 Linjojen kuvailut

Linja 1 sijaitsi Kuokkalassa omenapuutarhalla ja sen viereisellä niityllä. Linja oli noin 820 m pitkä ja koostui kuudesta lohkosta. Omenapuutarhassa olevat omenapuut puhkesivat kukkaan vasta kuningatarpyynnin aivan viimeisinä päivinä, joten ne eivät ehtineet houkuttaa kovin montaa kimalaista. Linjalla kasvoi kuitenkin muutama pajupuu, jotka houkuttelivat kuningattaria. Omenapuiden alle oli loppukesään mennessä kasvanut suuri määrä kukkia, kuten valkoapilaa. Tämä houkutteli suuren määrän kimalaisia työläispyynnin aikana. Viimeisillä pyyntikerroilla nurmikko oli kuitenkin leikattu ja kimalaiset kadonneet omenapuutarhan alueelta. Viimeisellä kerralla omenapuutarhan alueelle ei päässyt, sillä se oli suljettu pois käytöstä. Omenapuutarhan viereisen niityn kasvustoa ei häiritty koko kesän aikana ja siihen kasvoi kesän aikana erittäin paljon kukkia, jotka houkuttelivat runsaasti kimalaisia.

Linja 2 sijaitsi Kuokkalassa siirtolapuutarhassa ja sitä ympäröivässä maastossa. Linja oli 630 m pitkä ja koostui kuudesta lohkosta. Linjalla oli keväällä monta kukkivaa pajua, mutta vain muutama niistä houkutteli kimalaisia. Myöskään

tuomen kukat eivät tällä linjalla kiinnostaneet kimalaisia. Linjalla oli kahdenlaista puustoista aluetta. Toisessa oli paljon kukkivia ruohovartisia kasveja, kuten lemmikkejä, kun taas toisessa oli puuston alla väljästi kukkimattomia kasveja, kuten metsäkortetta. Siirtolapuutarhan alueella oli paljon erilaisia kukallisia palstoja. Osa puutarhakukista houkutteli kimalaisia. Ensimmäisen lohkon pientareet ajettiin kesken työläispyynnin, joten kukkamäärä väheni kesken tutkimuksen.

Linja 3 sijaitsi Etelä-Keljossa. Linja oli 930 m pitkä ja koostui viidestä lohkosta. Linja koostui pääasiassa niitystä ja lyhyestä metsätaipaleesta. Metsätaipale oli lehtimetsää, ja sen keskellä oli pieniä aukioita, joilla kasvoi loppukesästä erittäin paljon jättipalsamia. Linjan varrella oli monta pajua, jotka houkuttelivat kuningattaria keväällä. Linjan niityillä kasvoi erittäin paljon kukkia, kuten maitohorsmaa, vadelmaa ja pietaryrttiä. Varsinkin alkukesästä niitty oli täynnä voikukkia. Kesän aikana puolet niityistä kuitenkin niitettiin. Linjalla esiintyi lisäksi runsaasti tarhamehiläisiä, sillä linjan välittömässä läheisyydessä oli mehiläistarhausta.

Linja 4 sijaitsi Etelä-Keljossa. Linja oli 830 m pitkä ja koostui neljästä lohkosta. Linja oli mäkistä. Alkumatka oli kukkaista aluetta, jota reunustivat muutamat lehtipuut ensimmäisessä ja toisessa lohkossa. Varsinkin toisessa lohkossa oli erittäin monta suurta pajua, jotka houkuttelivat kimalaisia alkukeväältä. Kolmas ja neljäs lohko olivat mustikkatyypin kangasta, missä kasvoi myös paikoittain kanervaa.

2.3 Tilastollinen osuus

Kimalaisia tutkittiin erikseen sekä yksilökohtaisesti että yhteisökohtaisesti. Tätä varten tehtiin erilaisia analyyseja, joilla selvitettiin lajikoostumusta sekä säätekijöiden vaikutuksia.

2.3.1 Yhteisöanalyysi

Tutkimuksessa haluttiin selvittää eri linjojen kimalaiskantojen lajikoostumuksellisia eroavaisuuksia. Tätä tutkittiin kahdella eri menetelmällä. Menetelmänä käytettiin käännteistettyä Jaccardin samankaltaisuusindeksiä (1), jolla laskettiin linjojen lajistollista samankaltaisuutta.

$$J(A, B) = 1 - \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = 1 - \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|} \quad (1)$$

Indeksissä J = samankaltaisuus, A = lajien määrä linjalla A, B = lajien määrä linjalla B, $A \cap B$ = laji, joka esiintyy molemmilla tutkittavilla linjoilla ja $A \cup B$ = laji, joka esiintyy vain toisella tutkittavista linjoista. Jaccardin samankaltaisuusindeksi laskee vertailukohteilla olevat samat lajit, mutta ei ota huomioon lajien yksilömääriä. Kyseisen menetelmän tulos vaihtelee välillä 0–1. Mitä pienempi luku saadaan, sitä enemmän eri linjat muistuttavat lajikoostumuksellisesti toisiaan. Bray-Curtiksen indeksillä (2) laskettiin myös linjojen lajistollista samankaltaisuutta.

$$BC_{ab} = 1 - \frac{2C_{ab}}{S_a + S_b} \quad (2)$$

Kyseisessä indeksissä C_{ab} = linjoilla olevien yhteisten lajien pienimpien yksilömäärien summa, S_a = lajin a yksilömäärä linjalla ja S_b = lajin b yksilömäärä linjalla. Bray-Curtiksen indeksi käytettiin laskemaan linjojen samankaltaisuutta toisiinsa nähden ottamalla laskuihin mukaan sekä lajit että niiden yksilömäärät. Kyseinen menetelmä on siis kvantitatiivinen. Jaccardin samankaltaisuusindeksin tapaan Bray-Curtiksen indeksin tulos vaihtelee välillä 0–1, ja pienempi arvo indikoi suurempaa lajistollista samankaltaisuutta.

2.3.2 Yksilömääräanalyysi

Säättekijät, eli lämpötila, tuulen kovuus ja pilvien peittävyys olivat ympäristömuuttujia, jotka muuttuivat päivittäin. Säättekijät havainnoitiin aina ennen linjan kiertämistä. Tällöin kirjattiin ylös ilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$), tuulen kovuus ja pilvisuus (%). Tuulen kovuus luokiteltiin johonkin seuraavista: heikko,

kohtalainen, kova ja yhdessä poikkeustapauksessa erittäin kova. Pilvien peittävyys arvioitiin silmämääräisesti viiden prosentin tarkkuudella sen mukaan, kuinka suuri osa taivaasta oli pilvien peitossa.

Eri säätekijöiden vaikutuksia havaittujen kimalaisten yksilömäärään laskettiin yleistetyllä lineaarisella mallilla. Mallin vastemuuttujana toimi havaittujen kimalaisten yksilömäärä lajista riippumatta. Eri säätekijät toimivat selittävinä muuttujina. Pilvisyys, tuulen voimakkuus ja lämpötila toimivat kovariaatteina ja linja toimi faktorina. Kuningattarille ja työläisille tehtiin erikseen mallinnukset. Eri mallit johtuivat siitä, että kuningattaret ja työläiset liikkuvat eri vuodenaikoihin; kimalaiskuningattaret liikkuvat keväällä ja kimalaistyöläiset liikkuvat kesällä. Tällöin pyyntilämpötiloissa oli erittäin suuria eroja keväisen kuningatarpyynnin ja kesäisen työläispyynnin välillä. Yhteinen malli olisi asettanut korkeamman lämpötilan kimalaisten yksilömäärää nostavaksi selittäväksi tekijäksi, vaikka ilmiö johtui siitä, että kimalaiskuningattaria on luonnollisesti vähemmän kuin työläisiä.

Havaittujen kimalaisten yksilömäärän tutkimiseksi tehtiin monia erilaisia malleja. Jokaiselle säätekijälle, sekä jokaiselle säätekijän yhdistelmälle tehtiin omat mallinsa. Mallit tehtiin myös erikseen tutkimuslinjojen vaikutukset mukaan ottaen sekä ilman tutkimuslinjojen vaikutusta. Kimalaiskuningattarille ja kimalaistyöläisille tehtiin 19 erilaista mallia.

Tilastollisien mallien kykyä selittää havaittujen kimalaisten yksilömäärän vaihtelua arvioitiin. Tämä tehtiin arvioimalla ja vertailemalla eri mallien tuottamia AIC-arvoja. Nämä arvot saatiin käyttämällä yleistettyä lineaarista mallia. AIC-arvoilla tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin jokin tietty malli sopii aineistoon. Parhaiten aineistoa selittävät mallit ovat pienin saatu AIC-arvo sekä sitä enintään 2,0 yksikköä suuremmat arvot (Wagenmakers & Farrell 2004). Delta-AIC:illa tarkoitetaan tietyn mallin AIC-arvon eroa kaikkien mallien pienimpään AIC-arvoon. Jos delta-AIC on arvoltaan alle 2,0, niin malli kuvaa aineistoa lähes yhtä hyvin kuin pienimmän

AIC-arvon saanut malli. AIC arvot laskettiin käyttäen IBM SPSS Statistics Version 26 -ohjelmistoa.

3 TULOKSET

3.1 Löydetty kimalaislajisto

Tutkimuksen aikana löydettiin yksilöitä 11 eri kimalaislajista. Nämä lajit olivat: hevoskimalainen (*Bombus veteranus*), kartanokimalainen (*Bombus hypnorum*), kivikkokimalainen (*Bombus lapidarius*), kontukimalainen (*Bombus terrestris*), mantuloiskimalainen (*Bombus bohemicus*), mantumaismainen, peltokimalainen (*Bombus pascuorum*), pensaskimalainen (*Bombus pratorum*), pitkäsiipikimalainen (*Bombus sporadicus*), sorokimalainen (*Bombus soroeensis*) ja tarhakimalainen (*Bombus hortorum*).

Koska mantukimalaista on maasto-olosuhteissa mahdotonta erottaa sen kahdesta sisarlajista, kangaskimalaisesta (*Bombus cryptarum*) ja isokimalaisesta (*Bombus magnus*), merkittiin kaikki tämän näköiset yksilöt mantumaismaiseksi. On siis mahdollista, että todellisuudessa lajeja havaittiin enemmänkin, mutta käytännön syistä johtuen nämä kolme lajia on niputettu yhdeksi ryhmäksi.

Kartoituksen aikana yleisin tavattu laji oli kivikkokimalainen, jota löytyi 56,33 % kaikista havainnoista. Toiseksi yleisin laji oli mantumaismaiset kimalaiset, joita löytyi 17,64 %. Loppuja lajeja löytyi pieniä määriä (Liite 1).

3.2 Kimalaisten populaatiokoko

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää kimalaisten populaatiokoko Jyväskylän alueella käyttämällä merkintä-takaisinpyydystysmenetelmää. Tutkimuksen aikana kimalaisia merkittiin 1145 yksilöä, joista 53 tuli

uudelleenpyydystetyiksi. Tämä vastaa 4,6 % uudelleenpyyntiosuutta. Populaatiokoon estimointi merkintä-takaisinpyydystysmenetelmällä vaatii tätä huomattavasti suuremman takaisinpyynti-määrän, jotta se olisi luotettavaa (Tikkamäki & Komonen 2011). Koska takaisinpyydystyksiä oli liian vähän, ei tätä menetelmää voitu soveltaa. Merkittyjen yksilöiden määrä antaa kuitenkin vähimmäisarvion kimalaisten määrästä. Kuningattarien vähimmäismäärä oli siis 272 yksilöä ja työläisten 873 yksilöä.

3.3 Lajistolliset erot linjojen välillä

Eri linjojen kuningatar- ja työläisyhteisöjen samankaltaisuus toisiinsa nähden saadaan selville, kun Jaccardin samankaltaisuusindeksin sekä Bray-Curtiksen indeksin tuloksia verrataan toisiinsa.

Linjat muistuttivat kohtalaisen paljon toisiaan sekä kuningatarpyynnin aikana että työläispyynnin aikana. Koko tutkimuksen aikana kaikkien linjojen kimalaislajisto muistuttivat myöskin melko paljon toisiaan (Taulukko 1). Nämä tulokset saatiin, kun käytettiin Jaccardin samankaltaisuus-indeksiä.

Linjat erosivat toisistaan kohtalaisesti sekä kuningatarpyynnin aikana että työläispyynnin aikana. Koko tutkimuksen aikana kaikkien linjojen kimalaislajisto erosi toisistaan kohtalaisen paljon (Taulukko 1). Nämä tulokset saatiin, kun käytettiin Bray-Curtiksen indeksiä.

Taulukko 1. Linjojen samankaltaisuudet toisiinsa nähden. Lajien esiintymisen huomioiva indeksi (Jaccardin samankaltaisuusindeksi) on diagonaalin yläpuolella. Lajimäärän ja yksilömäärän huomioon ottava indeksi (Bray-Curtiksen indeksi) on diagonaalin alapuolella.

	1K	2K	3K	4K	1T	2T	3T	4T
1K	0	0,125	0,400	0,200	0,222	0,333	0,545	0,300
2K	0,551	0	0,333	0,300	0,333	0,444	0,636	0,400
3K	0,229	0,626	0	0,364	0,400	0,500	0,400	0,300
4K	0,500	0,561	0,563	0	0,200	0,300	0,364	0,273
1T	0,759	0,901	0,717	0,835	0	0,125	0,400	0,111
2T	0,522	0,322	0,600	0,587	0,889	0	0,333	0,222
3T	0,494	0,800	0,394	0,610	0,553	0,754	0	0,300
4T	0,520	0,770	0,433	0,655	0,454	0,718	0,175	0

Lyhenteet: Numerot 1-4 = linjan numero, K = kuningattaret, T = työläiset. Esimerkiksi 1K = linjan 1 kuningattaret.

3.4 Säatekijöiden vaikutukset havaittujen kimalaisten määrään

3.4.1 Kuningattarien lukumäärään vaikuttavat mallit

Kaikkiaan 10 erilaista mallia selitti havaittujen kuningattarien yksilömäärää lähes yhtä hyvin (Taulukko 2).

Taulukko 2. Kimalaiskuningattarien mallien AIC-arvot. Lihavoidut mallit ovat parhaiten aineistoa selittäviä.

Mallin numero	Tekijät	AIC	df	p	Delta-AIC
1	L,P,C	417,172	5	0,089	0
2	P	417,703	1	0,317	0,531
3	L,T,P	417,804	5	0,113	0,632
4	L,C,P,C*P	417,999	6	0,098	0,825
5	L,C	418,202	4	0,165	1,030
6	L,T	418,278	4	0,170	1,106
7	C	418,614	1	0,765	1,442
8	T	418,635	1	0,795	1,463
9	L,T,P,T*P	418,700	6	0,125	1,528
10	L,C,T,P	419,089	6	0,142	1,917
11	C,P	419,383	2	0,517	2,211
12	T,P	419,650	2	0,591	2,478
13	L,C,T,P,T*P	419,650	7	0,136	2,478
14	L,C,T,P,C*P	419,996	7	0,152	2,824
15	L,C,T	420,114	5	0,253	2,942
16	C,T	420,538	2	0,921	3,388
17	L,C,T,P,C*T	420,716	7	0,189	3,544
18	C,T,P	421,318	3	0,709	4,146
19	L,C,T,C*T	421,933	6	0,343	4,761

L = linja, C = lämpötila (°C), T = tuuli, P = pilvisyys, * = kahden eri tekijän interaktio.

Paras yksittäinen aineistoon sopiva malli, joka selitti kuningattarien yksilömäärää, syntyi linjan, pilvisyyden ja lämpötilan vaikutuksista. Mallin tekijät vaihtelivat ei-merkitsevistä merkitseviin (linja: $df = 3$, $p = 0,033$; pilvisyys: $df = 1$, $p = 0,077$; tuulen voimakkuus: $df = 1$, $p = 0,403$). Vaikka nämä ympäristömuuttujat selittivätkin aineistoa parhaiten, ei malli kuitenkaan ollut tilastollisesti merkittävä ($p = 0,089$). Seuraavaksi parhaat yhdeksän mallia olivat AIC-arvojen perusteella lähes yhtä hyviä selittämään kuningattarien yksilömäärää linjoilla (delta-AIC = 0,531–1,917). Nämä mallit eivät olleet myöskään tilastollisesti merkitseviä.

Linjat poikkesivat toisistaan kimalaisten lukumäärän suhteen. Jokaista linjaa verrattiin linjaan 4. Linjalla 1 oli 2,1 yksilöä vähemmän. Tämä ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Linjalla 2 puolestaan oli 4,4 yksilöä vähemmän. Tämä ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Linjalla 3 taas oli 0,8 yksilöä vähemmän kuin linjalla 4. Tämäkään ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 3).

Pilvisyys laski erittäin heikosti kuningattarien yksilömäärää (Kuva 2). Esimerkiksi 50 %:n pilvisyyden nousu vähensi kuningattarien lukumäärää 1,6 yksilöä. Pilvisyyden vaikutus kimalaisten runsauteen on melkein tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 3).

Lämpötila laski kuningattarien yksilömäärää heikosti (Kuva 3). Kymmenen asteen nousu lämpötilassa vähensi siis kuningattarien lukumäärää yhdellä yksilöllä. Lämpötilan vaikutus kuningattarien lukumäärään ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää (Taulukko 3).

Taulukko 3. Kuningattarien kaikkein parhaimman AIC-arvon mallin (linjan, pilvisyyden ja lämpötilan vaikutukset) tarkemmat tiedot.

Parametri	B	95 % Wald Luottamusvälit			Hypoteesi Testi		
		Keski- virhe	Alempi	Ylempi	Wald Chi-Square	df	p
(Intercept)	8,7	2,5	3,9	13,5	12,5	1	0,000
[linja=1]	-2,1	1,6	-5,1	0,9	1,8	1	0,179
[linja=2]	-4,4	1,6	-7,4	-1,3	7,8	1	0,005
[linja=3]	-0,8	1,5	-3,8	2,2	0,3	1	0,597
[linja=4]	0						
Pilvisyys	-0,0	0,0	-0,1	0,0	3,1	1	0,077
Lämpötila	-0,1	0,1	-0,3	0,1	0,7	1	0,403
(Skaala)	20,2	3,4	14,5	28,2			

3.4.2 Havaittujen työläisten määrään vaikuttavat mallit

Kolme erilaista mallia selittivät työläisten yksilömäärää lähes yhtä hyvin. Kyseiset mallit olivat erittäin samankaltaisia. Jokaisessa aineistoa selittävässä mallissa oli mukana sekä linja että tuulen kovuus selittävänä tekijänä. Tämän lisäksi selittäviä tekijöitä olivat myöskin lämpötila ja pilvisyys. Työläisten lukumäärää selittävät AIC-arvot olivat välillä 251,251–252,851 (Taulukko 4).

Taulukko 4. Kimalaistyöläisten mallien AIC-arvot. Lihavoidut mallit ovat parhaiten aineistoa selittäviä.

Mallin numero	Tekijät	AIC	df	p	Delta-AIC
1	L,C,T,P,T*P	251,251	7	0,001	0
2	L,T,P,T*P	252,400	6	0,002	1,149
3	L,C,T	252,851	5	0,003	1,600
4	L,T	254,570	4	0,007	3,320
5	L,C,T,C*T	254,594	6	0,006	3,343
6	L,C,T,P	254,737	6	0,006	3,486
7	L,T,P	255,533	5	0,009	4,282
8	L,C,T,P,C*P	256,041	7	0,009	4,790
9	L,C,T,P,C*T	256,475	7	0,011	5,224
10	L,C	257,401	4	0,022	6,150
11	L,P,C	259,015	5	0,038	7,764
12	T	259,915	1	0,089	8,664
13	L,C,P,C*P	260,234	6	0,050	8,983
14	T,P	261,291	2	0,173	10,040
15	C,T	261,910	2	0,263	10,659
16	P	262,665	1	0,715	11,414
17	C	262,797	1	0,964	11,546
18	C,T,P	263,249	3	0,314	11,998
19	C,P	264,632	2	0,920	13,381

L = linja, C = lämpötila (°C), T = tuuli, P = pilvisyys, * = kahden eri tekijän interaktio.

Työläisten yksilömäärää selitti parhaiten linjasta, lämpötilasta, tuulen kovuudesta, pilvien peittävydestä sekä tuulen kovuuden ja pilvien peittävyyden interaktiosta koostuva malli. Tämä malli oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Kaksi seuraavaa mallia olivat melkein yhtä hyviä selittämään työläisten lukumäärää (delta-AIC = 1,149–1,600). Nämä mallit olivat tilastollisesti merkitseviä.

Linjat poikkesivat toisistaan myös työläisten yksilömäärän suhteen. Jokaista linjaa verrattiin jälleen linjaan 4. Linjalla 1 oli 57,3 työläistä enemmän. Linjojen välinen ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Linjalla 2 puolestaan oli 4,2 työläistä vähemmän kuin linjalla 4. Tämä ero ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä. Linjalla 3 taas oli 22,4 työläistä enemmän kuin linjalla neljä. Tämäkään ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 5).

Pilvisyys laski työläisten yksilömäärää (Kuva 2). Yhden prosentin nousu pilvien peittävydessä johti siihen, että linjalta löytyy yksi työläinen vähemmän. Toisin sanoen 50 %:n pilvipeitteellä linjalta löytyy 50 työläistä vähemmän kuin pilvettömällä kelillä. Tämä tulos on tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 5).

Korkea lämpötila vaikutti työläisten yksilömäärään nostavasti (Kuva 3). Yhden asteen nousu lämpötilassa johtaa siihen, että linjalta löytyy kolme työläistä enemmän kuin aikaisemmin. Tämä tulos on lähes merkitsevä (Taulukko 5).

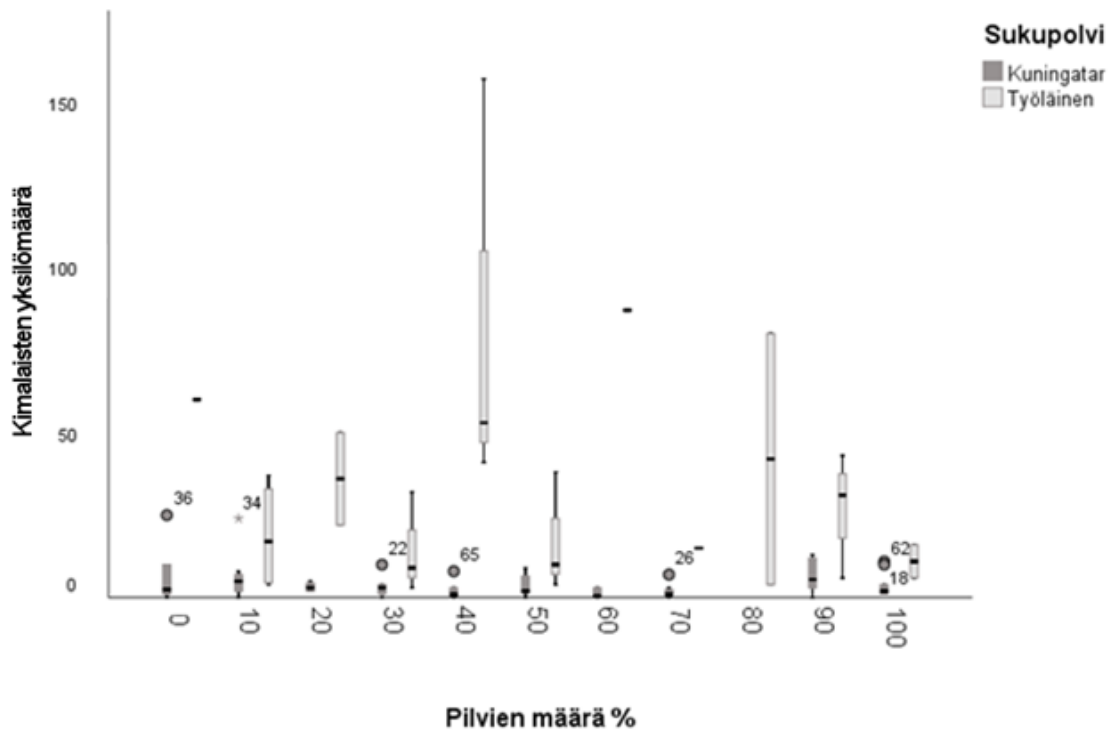
Voimakkaampi tuuli vähensi havaittujen työläisten lukumäärää (Kuva 4). Työläisten yksilömäärä väheni 43,6 yksilöä, kun tuulen luokitus kasvoi yhdellä. Tämä toisin sanoen tarkoittaa, että kohtalaisessa tuulessa työläisiä on 43,6 yksilöä vähemmän, kovassa tuulessa 87,3 yksilöä vähemmän ja erittäin kovassa tuulessa 130,9 yksilöä vähemmän heikkoon tuuleen verrattuna. Tämä tulos on erittäin merkitsevä (Taulukko 5).

Tuulen voimakkuuden ja pilvisyyden yhteisvaikutus vaikutti työläisten yksilömäärään. Heikossa tuulessa pilvisyyden kasvu vähensi kimalaisten määrää voimakkaammin kuin kovassa tuulessa. Kohtalaisessa tuulessa pilvisyyden kasvu

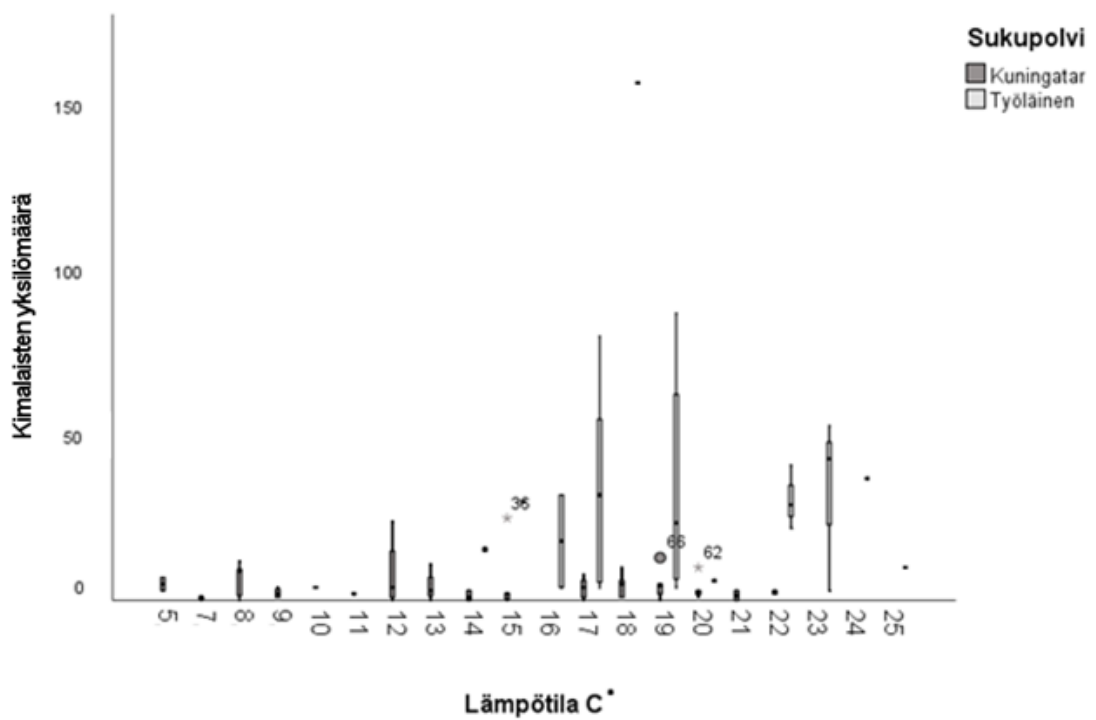
nosti hiukan havaittujen kimalaisten yksilömäärää (Kuva 5). Tämä tulos on tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 5).

Taulukko 5. Työläisten kaikkein parhaimman AIC-arvon mallin (linjan, lämpötilan, tuulen, pilvisyyden sekä tuulen ja pilvisyyden interaktion vaikutukset) tarkemmat tiedot.

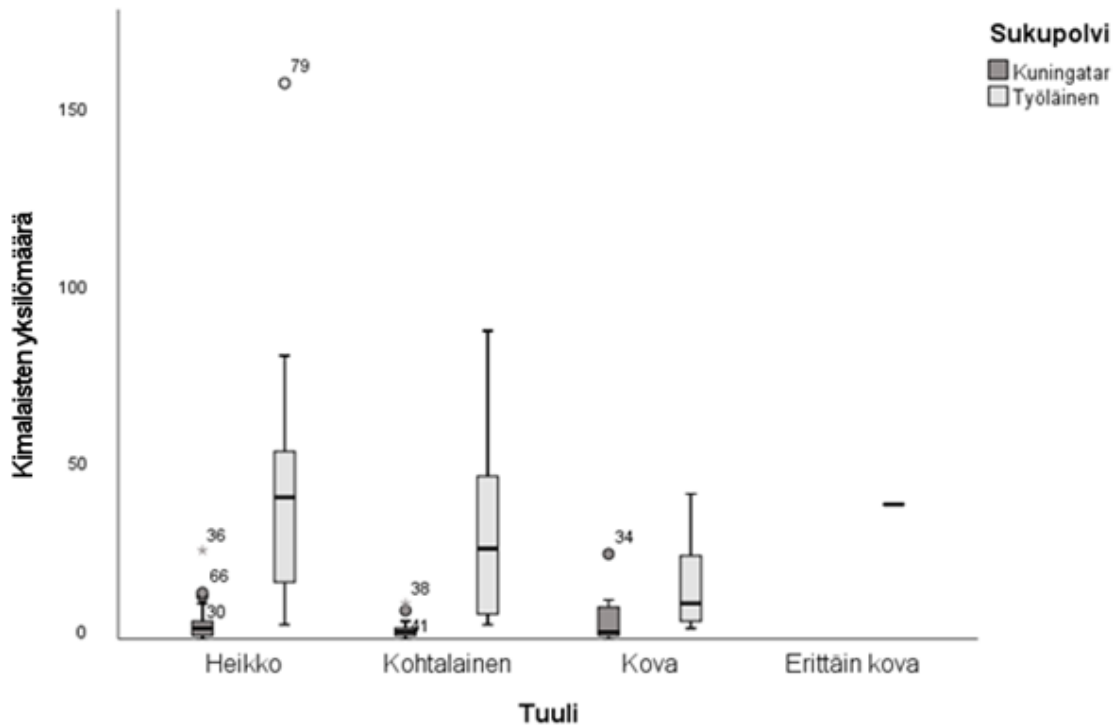
Parametri	B	Keski- virhe	95 % Wald Luottamusvälit		Hypoteesi Testi		
			Alempi	Ylempi	Wald Chi-Square	df	p
(intercept)	44,2	42,4	-38,9	127,4	1,1	1	0,298
[linja=1]	57,3	14,1	29,6	84,9	16,4	1	0,000
[linja=2]	-4,2	15,3	-34,1	25,8	0,1	1	0,785
[linja=3]	22,4	14,7	-6,5	51,3	2,3	1	0,128
[linja=4]	0						
Lämpötila	3,0	1,7	-0,2	6,3	3,3	1	0,067
Pilvisyys	-0,9	0,4	-1,7	-0,2	5,8	1	0,016
Tuuli	-43,6	12,3	-67,8	-19,4	12,5	1	0,000
Tuuli * Pilvisyys	0,5	0,2	0,1	0,8	6,1	1	0,013
(Skaala)	460,9	127,8	267,7	793,9			



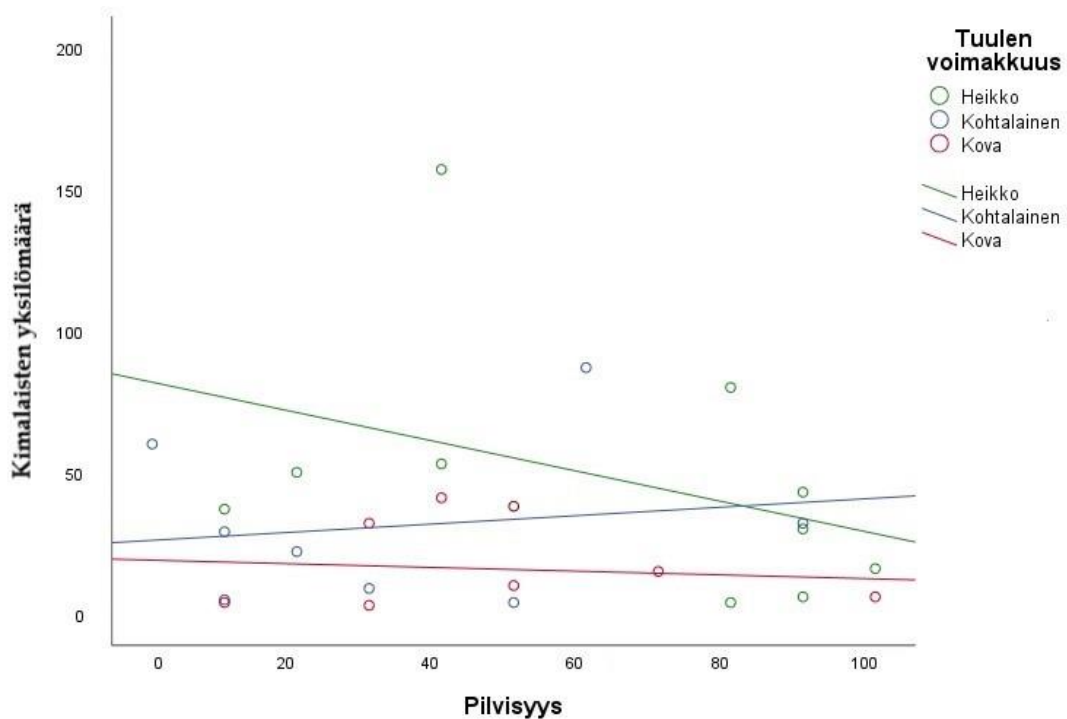
Kuva 2. Työläisten ja kuningattarien yksilömäärät taivaan pilvipeitteen suhteen.



Kuva 3. Työläisten ja kuningattarien yksilömäärät eri lämpötilassa.



Kuva 4. Työläisten ja kuningattarien yksilömäärät eri tuulen voimakkuuksissa. Erittäin kovaa tuulta havaittiin vain kerran.



Kuva 5. Tuulen voimakkuuden ja pilvien peittävyuden interaktion vaikutukset työläisiin. Erittäin kovaa tuulta havaittiin vain yhtenä päivänä, joten suoran esittäminen havainnosta ei ollut mahdollista.

4 TULOSEN TARKASTELU

4.1 Linjojen samankaltaisuuden arviointi

Tutkimuslinjojen kimalaisyhteisöjen lajistolliseen samankaltaisuuteen saattoi vaikuttaa monta eri tekijää. Eri linjoilla voitaisiin olettaa tavattavan eniten eroavaisuutta kuningataryhteisön ja työläisyhteisön välillä, sekä eri työläisyhteisöjen välillä. Tämä johtuu siitä, että keväällä kuningataryhteisön kaikki yksilöt hakevat ravintoa samasta ravintokasvista (pajun kukasta) (Ranta ym. 1981), joten kaikkia lähialueen kimalaiskuningattaria on todennäköistä havaita samalla alueella. Myöhemmin kesällä työläisyhteisö on erikoistunut omiin lempikasvilajeihinsa (Liang ym. 2021), mikä eroaa eri lajeilla imukärsän pituuden vuoksi (Ranta ym. 1981) tai kasvin värin mukaan (Raine ja Chittka 2007). Tämän vuoksi on mahdollista, että kesän aikana tavattavassa kimalaisyhteisöissä oli eroa linjojen välillä sen takia, että jokaisella linjalla ei ollut aikaisemmin tavatun lajin mieluisia kasvilajeja, ja nämä hankkivat ravintonsa muualta. Tämän perusteella kimalaisyhteisön muutosta voisi ennustaa alueen kukkien perusteella; mitä moninaisempi kukkayhteisö on sekä värien että kukkien muodon (syvätorvinen tai laakea kukka) mukaan, sitä monimuotoisempaa kimalaisyhteisöä alue voisi houkuttaa.

Aikaisemmat tutkimukset tukevat sitä, että kimalaisten lajimäärällä ja alueen kasvien monimuotoisuuden välillä on selkeä yhteys. Kimalaisyhteisö tulee lajimäärällisesti köyhtymään, mikäli eri alueiden kasviyhteisö muuttuu yksipuolisemmaksi (Hülsmann ym. 2015). Monipuolinen kasviyhteisö puolestaan ylläpitää alueella monimuotoista kimalaisyhteisöä (Hines ja Hendrix 2005, Hülsmann ym. 2015, Proesmans ym. 2019). Tulevaisuudessa tutkimusalueen ja lähialueiden kimalaislajisto saattaa siis muuttua, mikäli alue urbanisoituu tai kasviyhteisö köyhtyy vieraslajien dominoimisen vuoksi. Kuitenkin jos alueet säilyttävät lajirikkaan kasviyhteisön, tulevaisuudessa alueilla on myös mahdollista löytää laaja kimalaislajien kirjo.

4.1.1 Jaccardin samankaltaisuusindeksin tulokset

Linjan 1 kuningatar- ja työläisyhteisöt olivat lajistollisesti melko samanlaisia. Toisin sanoen, samoja lajeja esiintyi samalla linjalla koko tutkimuksen ajan. Linjan 2 kuningatar- ja työläisyhteisöt muistuttivat jossain määrin toisiaan. Linjalla tavattiin samoja lajeja koko tutkimuksen ajan, mutta näiden samojen lajien lisäksi alueella oli huomattavaa eroavaisuutta kuningattarien ja työläisten lajikoostumuksessa kesän myötä. Linjan 3 kuningatar- ja työläisyhteisöt olivat lajistollisesti kohtalaisen samankaltaisia. Linjan 4 kuningatar- ja työläisyhteisö lajistollisesti suhteellisen samankaltaista. Eri linjojen kuningatar- ja työläisyhteisöt vaihtelivat lajistollisesti erittäin samankaltaisesta kohtalaisen samankaltaiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisella tutkimuslinjalla tavattiin kuningatarpyynnin aikana lähes ainoastaan samoja lajeja. Linjojen työläisyhteisöt muistuttivat melko paljon muiden linjojen työläisyhteisöjä, sillä linjat olivat lajistollisesti kohtalaisen samankaltaisia vertailuarvojen perusteella. Toisin sanoen mitkään linjat eivät eronneet suuresti toisistaan, vaan kaikki olivat melko samanlaisia keskenään.

4.1.2 Bray-Curtiksen indeksin tulokset

Linjan 1 kuningatar- ja työläisyhteisöt eivät olleet kovinkaan samankaltaisia. Kimalaiskuningattarien ja kimalaistyöläisten välillä havaittiin eri kimalaislajien prosenttiosuuksissa huomattavia eroja. Toisin sanoen, vaikka linjalla oli samoja lajeja koko kesän ja kevään, niiden keskinäiset lukusuhteet muuttuivat merkittävästi. Linjan 2 kuningatar- ja työläisyhteisöt olivat suhteellisen samankaltaisia. Tämä johtui siitä, että yleiset lajit pysyivät runsaina molemmissa pyynneissä, vaikka linjan lajisto hiukan vaihtelikin näiden dominoivien lajien lisäksi. Linjan 3 kuningatar- ja työläisyhteisöt olivat melko samankaltaiset sekä keväällä että kesällä. Linjan 4 kuningatar- ja työläisyhteisöjen poikkesivat toisistaan melko paljon. Tämä johtui siitä, että kevään kuningatarpyyntien yleisin laji ei ollutkaan kesällä työläispyynnin aikana yleisin laji. Keväällä kuningatarpyyntien aikaan yleisin tavattu laji oli kartanokimalainen, kun taas työläispyynnin yleisin laji oli kivikkokimalainen, eikä kartanokimalaista juurikaan havaittu. Eri linjojen

kuningataryhteisöt vaihtelivat lajistollisesti paljon. Eri linjoissa oli enemmän eroa keskenään ja vaihtelu oli paljon suurempaa. Tämä voi johtua siitä, että vaikka linjalla tavattiinkin samoja lajeja, niin eri linjoilla eri lajien lukusuhteet erosivat toisistaan ja yleisin laji vaihteli linjojen välillä. Eri linjojen työläisyhteisöt erosivat muiden linjojen työläisyhteisöistä, ja hajontaa oli enemmän tätä indeksiä käytettäessä. Tämä saattoi johtua siitä, että eri linjoilla eri kimalaislajien yksilöiden lukusuhteet saattoivat erota toisistaan paljon.

4.2 Löydetty kimalaislajisto

Löydetyt lajit noudattivat aikaisempia tutkimuksia lajiston puolesta, mutta lajien välisissä runsaussuhteissa oli suuria eroavaisuuksia. Pölyhyöty-hankkeessa mantumaiskimalaiset olivat suurin lajiryhmä (Heliölä SYKE 2019 ja 2020), kun taas Gunnarsson ja Federsel (2014) tutkimuksen mukaan yleisin laji oli kontukimalainen. Nämä tulokset eroavat tämän tutkimuksen tuloksista, joissa kivikkokimalainen oli huomattavasti kumppaakin lajia yleisempi.

Lajistollisia eroja tutkimusten välillä voi johtua maantieteellisistä eroista. Tämä tutkimus sijoittui maantieteellisesti pohjoisempaan kuin suurin osa muiden kartoitusten koalueista. Tämä tutkimus toteutettiin pelkästään Jyväskylän alueella, kun taas Pölyhyöty-hanke on koko maan laajuinen tutkimus (pääpainona kuitenkin Etelä-Suomi) ja Gunnarsson ja Federsel (2014) tutkimus toteutettiin Eteläisessä Ruotsissa. Tämän takia on mahdollista, että alueellisesti tutkimuspaikkojen lajisto voi poiketa lajikoostumuksen suhteen merkittävästi Keski-Suomen lajistosta. Eteläiset lajit olivat dominoivassa asemassa ja enemmän edustettuina kartoituslinjoilla.

On myös mahdollista, että erilaiset elinympäristöt vaikuttivat kimalaisten lajikoostumukseen. Pölyhyöty-hankkeessa noin puolet koalueista sijaitsi pientareella metsän reunassa (Heliölä SYKE 2019), kun taas tässä tutkimuksessa koalat olivat jakautuneet tasaisemmin niittyyn, metsään ja pientareeseen.

Gunnarsson ja Federsel (2014) tutkimus toteutettiin samantapaisissa koeasetelmissa; osa tutkimuslinjoista oli perinteisillä kukkaniityillä, puistoalueilla, siirtolapuutarhoissa ja hedelmätarhoilla (Gunnarsson ja Federsel 2014). Tässä tutkimuksessa siirtolapuutarhalla oli huomattavasti pienin kimalaisten havaittu yksilömäärä (Liite 1), mikä eroaa Anderssonin ym. (2007) tuloksista, joiden mukaan siirtolapuutarhoilla kimalaisten yksilö- ja lajimäärän pitäisi olla korkeampaa kuin muualla. Lajistollisesti tutkimuksessa havaittujen kimalaisten lajisto on samankaltainen, mukaan lukien sama yhteinen yleisin laji (Andersson ym. 2007).

4.3 Säätekijöiden vaikutukset havaittujen kimalaisten määrään

4.3.1 Säätekijöiden vaikutukset havaittuihin kuningattariin

Tutkittaessa eri säätekijöiden vaikutuksia kimalaisten runsauteen huomattiin, että moni eri malli selitti kimalaisten runsautta. Kuitenkin vain tutkimuslinjalla oli merkitsevä vaikutus havaittujen kimalaiskuningattarien yksilömäärään.

Lämpötilan nousu ei vähentänyt kimalaiskuningattarien yksilömäärää. Aikaisemmin on dokumentoitu, että suuret kimalaiset kykenevät liikkumaan alhaisessa lämpötilassa (Lundberg 1980). On siis mahdollista, että kuningattaret ovat hyvin sopeutuneita kylmään ilmaan kokonsa ansiosta (Heinrich ja Raven 1972). Alhaisessa lämpötilassa liikkuminen voi johtua siitä, että keväällä niiden ravinnoksi käyttämä siitepöly on pajun kukinnoissa erittäin lähekkäin, joten siirtymiseen ei mene suurta määrää energiaa (Heinrich ja Raven 1972). Ravinnon vähäisyys aiheuttaa myös sitä, että kimalaiset lähtevät etsimään ravintoa, vaikka sääolot eivät olisi hyvät (Lundberg 1980). Kimalaiskuningattaria näkyy kylmissä olosuhteissa myös sen takia, että ne ovat alkukesästä yhdyskunnan ainoa jäsen, joten ne käyttävät koko valoisan ajan ravinnon hankintaan (Teräs 1976). Aikaisempien tutkimusten mukaan lämpötilan nousu aiheuttaa kimalaisten liikkumisen lisääntymistä (Heinrich 1972, Heinrich ja Raven 1972, Teräs 1976). Teräksen (1976) tutkimuksen mukaan kimalaisten esiintymisen yksilömäärä on

suurimmillaan, kun lämpötila on 12,5–14,9 °C. Tämä tulos käy yhteen tämän tutkimuksen tulosten kanssa, sillä kuningatarkimalaisia tavattiin tutkimuksen aikana 5–22 °C:en lämpötilassa, mutta kimalaisten yksilömäärä oli suurimmillaan lämpötilan ollessa 12,5–14,9 °C.

Pilvisyys laskee kimalaisten yksilömäärää erittäin vähän. Tämä vastaa aikaisempaa tutkimusta, jonka mukaan pilvipeitteellä ei ollut yhtä suurta väliä kuin valon intensiteetillä (Lundberg 1980). Pilvisyys ei siis rajoittanut kimalaisten yksilömäärää.

4.3.2 Säätekijöiden vaikutukset havaittujen työläisten määrään

Havaittujen työläisten yksilömäärään oli monella tekijällä merkittävä vaikutus. Jokaisessa selittävässä mallissa oli linja ja tuulen voimakkuus selittävinä tekijöinä. Linjan vaikutus voi johtua siitä, että työläispyynnin aikana linjojen kimalaismäärässä oli huomattavasti suurempia eroja kuin kuningatarpyynnissä. Tällöin tutkittavalla linjalla on suurta merkitystä havaittujen kimalaisten määrään. Tuulen voimakkuus taas vaikuttaa erittäin vahvasti siihen, kuinka hyvin kimalaiset pystyivät liikkumaan paikasta toiseen, mikä puolestaan suoraan korreloi havaittujen kimalaisten yksilömäärään. Parhaiten aineistoon sopiva malli oli linjan, lämpötila, tuulen kovuuden, pilvisyyden sekä tuulen voimakkuuden ja pilvisyyden interaktion vaikutus.

Korkea lämpötila nosti kimalaisten yksilömäärää. Lämpötilan vaikutus kimalaisten esiintymiseen noudatti jo aikaisemmin tehtyjen tutkimusten tuloksia (Heinrich 1972, Heinrich ja Raven 1972, Teräs 1976). Teräksen (1976) tutkimuksen mukaan kimalaisten esiintymisen yksilömäärä on suurimmillaan, kun lämpötila on 12,5–14,9 °C, mutta osa lajeista suosii korkeampia, 17,5–19,9 °C:en lämpötiloja. Tässä tutkimuksessa työläisiä havaittiin 16–25 °C:en lämpötilassa, joten 12,5–14,9 °C:en lämpötilan ei voida tämän tutkimuksen pohjalta todeta sopivan työläisiin. Kuitenkin valtaosa tutkimuksessa pyydystetyistä kimalaistyöläisistä tavattiin 17–20

°C:en lämpötilassa, joten Teräksen (1976) tutkimuksen havaitsema 17,5–19,9 °C toteutuu tässä tutkimuksessa.

Kova tuuli laskee työläisten yksilömäärää. Tuulen vaikutus kimalaisten esiintymiseen on dokumentoitu jo aikaisemmissa tutkimuksissa (Teräs 1976, Lundberg 1980). Kimalaiset jatkavat liikkumista ja meden keruuta tuulessa, mutta ne pyrkivät välttämään navakkaa tuulta. Kovalla tuulella osa yksilöistä siirtyy ruokailemaan mataliin kasveihin (Teräs 1976). Kova tuuli mahdollisesti laskee kimalaisten yksilömäärää siksi, että kovassa tuulessa meden ja siitepölyn hankkiminen on hankalaa. Kovassa tuulessa kukat liikkuvat tuulen mukana, joten siihen laskeutuminen ja imukärsän oikein asettelu on hankalaa (Teräs 1976). Kovalla tuulella osa kimalaisista hakeutuu tuulensuojaan, joten on siis mahdollista, että tavallisesti korkeakasvillisilla linjoilla viihtyvät kimalaiset siirtyvät läheisille suojaisammille alueille.

Taivaan pilvipeite vähensi havaittujen työläisten yksilömäärää. Pilvipeitteen kimalaistyöläisiä vähentävä vaikutus oli suurempi kuin mitä kimalaiskuningattarien kohdalla havaittiin. Tämä havainto voi johtua siitä, että keväällä kuningattarien on pakko liikkua etsimässä ravintoa ja pesäpaikkaa myös ei-ideaaleissa sääolosuhteissa (Lundberg 1980), kun taas myöhemmin kesällä lentävät työläiset voivat valikoida lentokelin tarkemmin, sillä pesään on jo tuotu vararavintoa.

Pilvisyyden ja tuulen voimakkuuden yhteisvaikutus vaikutti havaittujen kimalaistyöläisten lukumäärään. Heikossa tuulessa pilvisyydellä oli kaikista suurin merkitys havaittujen kimalaisten yksilömäärään, jolloin kimalaisten yksilömäärä väheni kohtalaisesti.

4.4 Merkintä-takaisinpyydystys -menetelmän ja linjalaskentamenetelmän soveltuvuus kimalaisten määrän tutkimiseen

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, onko merkintä-takaisinpyydystys -menetelmän ja linjalaskennan yhdistäminen hyvä keino tutkia kimalaisten yksilömäärää. Menetelmä toimi joiltakin osin hyvin, mutta kokonaisuutena se ei toiminut niin hyvin kuin sen olisi toivottu toimivan. Menetelmän avulla saatiin kiinni runsaasti kimalaisia, joten linjalaskennallinen osuus toimi loistavasti.

Ongelmat kuitenkin nousivat pintaan merkintä-takaisinpyydystys -menetelmän kohdalla. Kimalaiset siis merkittiin yksilöllisillä merkeillä liimaamalla värikäs ja numeroitu tarra kimalaisten selkään, minkä jälkeen ne päästettiin takaisin luontoon. Tämän lisäksi niiden siipiin laitettiin tusseilla värikkäät merkit. Tussimerkinnät eivät kuitenkaan pysyneet siivissä muutamaa päivää pidempää, mikä havaittiin ensimmäisten takaisinpyydystysten kohdalla. Tarramerkinnät pysyivät paremmin kiinni, mutta kimalaiset onnistuvat silloin tällöin irrottamaan merkit selästään. Tästä ei ollut muuta haittaa, kun kimalaisen yksilöllisen tunnistamismahdollisuuden menetys. Aikaisemmin merkitty kimalainen pystyttiin silti tunnistamaan selkään jääneestä liimajäljestä. Suurin ongelma merkintä-takaisinpyydystys -menetelmässä kuitenkin oli se, että aikaisemmin merkittyjä kimalaisia ei juurikaan löytynyt uudestaan ja takaisinpyydystysprosentti jäi häviävän pieneksi.

Takaisinpyydystysprosentti saattoi jäädä pieneksi sen takia, että kimalaiset lentävät jopa 1,5 kilometrin päähän pesästään etsiessään mettä (Dramstad 1996, Osborne ym. 2008). Tämän vuoksi on mahdollista, että kimalaiset eivät välttämättä enää palanneet koelinjoille. On myöskin täysin mahdollista, että kimalaiset olivat samalla alueella, mutta eivät vain sattuneet koelinjalle juuri pyyntihetkellä.

Kimalaisten yksilömäärän tutkimiseen tämä menetelmä ei toiminut, sillä uudelleenpyydystämisen prosentuaalinen osuus jäi aivan liian pieneksi. Tämän vuoksi tähän tutkimukseen olisi voinut toimia toisenlainen versio merkintä-

takaisinpyydystämistä. Sen sijaan, että jokainen yksilö merkittiin omalla yksilöllisellä merkillään, olisivat merkit voineet hyvin olla geneerisiä ja ajaa silti saman asian. Lisäksi laskuihin olisi voitu ottaa myöskin ne yksilöt, jotka saatiin tunnistettua luonnossa, mutta joita ei jostain syystä saada kiinni ja merkittyä. Tämä oli yksi tutkimuksessa käytettyjen metodien suurimpia ongelmia, sillä moni kimalainen jäi merkitsemättä, koska se oli vaikeasti tavoitettavassa paikassa, kuten puun latvustossa.

Jos kuitenkin välttämättä halutaan käyttää merkintä-takaisinpyydystys -menetelmää, voisi koealueen jakaa linjan sijaan lohkoihin, joilla kulkeminen ja kimalaisten pyydystäminen ei olisi yhtä rajoitettua. Heliölä ym. (2016) tekemässä tutkimuksessa tämä toimi erinomaisesti, sillä tällöin tutkittava hyönteinen pystyi tulemaan uudelleenpyydetyksi, vaikkei se osunutkaan uudestaan linjalle. Tällainen menetelmä olisi saattanut toimia myös tässä tutkimuksessa erinomaisesti, sillä näin samalla pellolla mettä keräävä merkitty kimalainen olisi voinut tulla uudelleenpyydetyksi, vaikka se olisikin ollut nyt käytetyn linjan mukaan liian kaukana.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksesta käy ilmi, että erilaisilla sää- ja ympäristötekijöillä oli vaikutusta kimalaisten esiintymisen runsauteen. Erityisesti sillä oli vaikutusta, millaiselta paikalta kimalaisia etsi. Säätekijöistä taas etenkin tuulen voimakkuudella oli suuri vaikutus. Samalla huomattiin, että Jyväskylän alueella on monia eri kimalaislajeja, joista muutama laji dominoi yleisyydellään ainakin valituilla tutkimusalueilla. Tutkimuksen aikana huomattiin, että merkintä-takaisinpyydystys -menetelmän ja linjalaskentamenetelmän yhdistäminen ei toimi runsaasti liikkuvan hyönteisen kuten kimalaisen populaatiokoon estimoimisessa.

KIITOKSET

Suurimmat kiitokset ohjaajilleni Atte Komoselle ja Mikael Puurtiselle merkittävästä tuesta ja avusta. Kiitokset apurahasta Suomen hyönteistieteelliselle seuralle, Vuokon luonnonsuojelusäätiölle sekä Societas pro Fauna et Flora Fennicalle.

KIRJALLISUUS

- Alford D. V. 1975. *Bumblebees*. Davis-Poynter, Lontoo.
- Amstrup S. C., McDonald T. L. & Manly B. F. J. 2005. *Handbook of capture-recapture analysis*. Princeton University Press, Princeton.
- Anderson D. R., Laake J. L., Crain B. R. & Burnham K. P. 1979. Guidelines for Line Transect Sampling of Biological Populations. *J. Wildl. Manag.* 43: 70–78.
- Andersson E., Barthel S. & Ahrné K. 2007. Measuring social–ecological dynamics behind the generation of ecosystem services. *Ecol. Appl.* 17: 1267–1278.
- Banda H. J. & Paxton R. J. 1991. POLLINATION OF GREENHOUSE TOMATOES BY BEES. *Acta Hortic.* 288: 194–198.
- Beekman M. & van Stratum P. 1998. Bumblebee sex ratios: why do bumblebees produce so many males? *Proc. Biol. Sci.* 265: 1535–1543.
- Bourke A. F. 1997. Sex ratios in bumble bees. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 352: 1921–1933.
- Corbet S. A., Williams I. H. & Osborne J. L. 1991. Bees and the Pollination of Crops and Wild Flowers in the European Community. *Bee World* 72: 47–59.
- Dramstad W. E. 1996. Do bumblebees (Hymenoptera: Apidae) really forage close to their nests? *J. Insect Behav.* 9: 163–182.
- Free J. B., Weinberg I. & Whiten A. 1969. The Egg-Eating Behaviour of *Bombus Lapidarius* L. *Behaviour* 35: 313–317.
- Genersch E., Yue C., Fries I. & de Miranda J. R. 2006. Detection of Deformed wing virus, a honey bee viral pathogen, in bumble bees (*Bombus terrestris* and *Bombus pascuorum*) with wing deformities. *J. Invertebr. Pathol.* 91: 61–63.
- Goulson D., Lye G. C. & Darvill B. 2008. Decline and Conservation of Bumble Bees. *Annu. Rev. Entomol.* 53: 191–208.
- Gunnarsson B. & Federsel L. M. 2014. Bumblebees in the city: abundance, species richness and diversity in two urban habitats. *J. Insect Conserv.* 18: 1185–1191.
- Heinrich B. 1972. Temperature Regulation in the Bumblebee *Bombus vagans*: A Field Study. *Science* 175: 185–187.
- Heinrich B. & Raven P. H. 1972. Energetics and Pollination Ecology. *Science* 176: 597–602.
- Hines H. M. & Hendrix S. D. 2005. Bumble Bee (Hymenoptera: Apidae) Diversity and Abundance in Tallgrass Prairie Patches: Effects of Local and Landscape Floral Resources. *Environ. Entomol.* 34: 1477–1484.

- Hülsmann M., von Wehrden H., Klein A.-M. & Leonhardt S. D. 2015. Plant diversity and composition compensate for negative effects of urbanization on foraging bumble bees. *Apidologie* 46: 760–770.
- Heliölä J., Kallio E., Kuussaari M., Nieminen M. J. & Väisänen R. 2016. Harjusinisiiven kannankehitys ja nykytila Säkölänharjulla. *Baptia* 41: 72–82.
- IPBES. 2019. Brondízio E. S., Settele J., Díaz S. & Ngo H. T. (toim.) *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES secretariat, Bonn, Saksa.
- Kosior A., Celary W., Olejniczak P., Fijał J., Król W., Solarz W. & Płonka P. 2007. The decline of the bumble bees and cuckoo bees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) of Western and Central Europe. *Oryx* 41: 79–88.
- Kraus F. B., Wolf S. & Moritz R. F. A. 2008. Male flight distance and population substructure in the bumblebee *Bombus terrestris*. *J. Anim. Ecol.* 78: 247–252.
- Suomen lajitietokeskus. <https://laji.fi/taxon/MX.53474> (luettu 15.5.2021)
- Heliölä J. SYKE. 2019. Kimalaisseurannan vuoden 2019 tulokset. <https://www.syke.fi/download/noname/%7BBFBDD7F3-8019-41B4-9E4B-3304D0945462%7D/155608> (luettu 20.1.2022)
- Heliölä J. SYKE. 2020. Kimalaisseurannan vuoden 2020 tulokset. <https://www.syke.fi/download/noname/%7B3E903A65-D685-4701-B0EB-2E2E91F05126%7D/165575> (luettu 20.1.2022)
- Liang H., Zhao Y.-H., Rafferty N. E., Ren Z.-X., Zhong L., Li H.-D. & Wang H. 2021. Evolutionary and ecological factors structure a plant–bumblebee network in a biodiversity hotspot, the Himalaya–Hengduan Mountains. *Funct. Ecol.* 35: 2523–2535.
- Løken A. 1984. Scandinavian species of the genus *Psithyrus* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae). *Entomol. Scand. Suppl.* 23: 1–45.
- Lundberg H. 1980. Effects of weather on foraging-flights of bumblebees (Hymenoptera, Apidae) in a subalpine/alpine area. *Ecography* 3: 104–110.
- Leonhardt, S.D., Blüthgen, N. The same, but different: pollen foraging in honeybee and bumblebee colonies. *Apidologie* 43, 449–464 (2012)
- Luomus. 2018. <http://www.luomus.fi/fi/linjalaskenta-ohjeet> (luettu 13.2.2020)
- Madi A. & Veijonen K. 2019. Kontukimalaisen (*Bombus terrestris*) vaikutus mustikan (*Vaccinium myrtillus*) satoon. LuK-tutkielma, Jyväskylän yliopisto.
- Metsäntutkimuslaitos. 2009. <http://www.metla.fi/tiedotteet/2009/2009-04-08-marjat-ja-kimalaiset.htm> (luettu 4.3.2020)
- Nichols J. D. 1992. Capture-Recapture Models: Using marked animals to study population dynamics. *Bioscience* 42: 94–102.

- Osborne J. L., Martin A. P., Carreck N. L., Swain J. L., Knight M. E., Goulson D., Hale R. J. & Sanderson R. A. 2008. Bumblebee flight distances in relation to the forage landscape. *J. Anim. Ecol.* 77: 406–415.
- Parkkinen S., Paukkunen J. & Teräs I. 2018. *Suomen kimalaiset*. Docendo, Jyväskylä.
- Pamilo P., Gertsch P., Thorén P. & Seppä P. 1997. Molecular Population Genetics of Social Insects. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 28: 1–25.
- Pekkarinen A. & Teräs I. 1977. Suomen kimalaisista ja loiskimalaisista. *Luonnon tutkija* 81: 1–24.
- Proesmans W., Smagghe G., Meeus I., Bonte D. & Verheyen K. 2019. The effect of mass-flowering orchards and semi-natural habitat on bumblebee colony performance. *Landsc. Ecol.* 34: 1033–1044.
- Raine N. E. & Chittka L. 2007. The Adaptive Significance of Sensory Bias in a Foraging Context: Floral Colour Preferences in the Bumblebee *Bombus terrestris*. *PLoS One* 2: e556. DOI: 10.1371/journal.pone.0000556
- Ranius T. 2001. Constancy and asynchrony of *Osmoderma eremita* populations in tree hollows. *Oecologia* 126: 208–215.
- Ranius T. 2002. Population ecology and conservation of beetles and pseudoscorpions living in hollow oaks in Sweden. *Anim. Biodivers. Conserv.* 25: 53–68.
- Ranta E., Lundberg H. & Teräs I. 1981. Patterns of resource utilization in two Fennoscandian bumblebee communities. *Oikos* 1–11.
- Rassi P., Hyvärinen E., Juslén A. & Mannerkoski I. 2010. *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Roff D. A. 1973. An examination of some statistical tests used in the analysis of mark-recapture data. *Oecologia* 12: 35–54.
- Soroye P., Newbold T. & Kerr J. 2020. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science* 367: 685–688.
- Syke. 2019. PÖLYHYÖTY-hanke. <https://www.syke.fi/hankkeet/polyhyoty> (luettu 9.4.2020)
- Thompson H. M. 2001. Assessing the exposure and toxicity of pesticides to bumblebees (*Bombus* sp.). *Apidologie* 32: 305–321.
- Teräs I. 1976. Flower visits of bumblebees, *Bombus* Latr. (Hymenoptera, Apidae), during one summer. *Annales Zoologici Fennici* 13: 200–232.
- Tikkamäki T. & Komonen A. 2011. Estimating population characteristics of two saproxylic beetles: A mark-recapture approach. *J. Insect Conserv.* 15: 401–408.
- Wagenmakers E.-J. & Farrell S. 2004. AIC model selection using Akaike weights. *Psychon. Bull. Rev.* 11: 192–196.

Westphal C., Bommarco R., Carré G., Lamborn E., Morison N., Petanidou T., Potts S. G., Roberts S. P. M., Szentgyörgyi H., Tscheulin, Vaissière B. E., Woyciechowski M., Biesmeijer J. C., Kunin W. E., Settele J. & Steffan-Dewenter I. 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecol. Monogr.* 78: 653–671.

LIITE 1. KIMALAISTEN YKSILÖMÄÄRÄ LINJOITTAIN

Liite 1. Kimalaisten yksilömäärät linjoittain sekä eri lajien prosentuaaliset osuudet kaikista pyydetyistä yksilöistä.

LAJI	LINJA 1 KUNINGAT TARET	LINJA 2 KUNINGAT TARET	LINJA 3 KUNINGAT TARET	LINJA 4 KUNINGAT TARET	LINJA 1 TYÖLÄI SET	LINJA 2 TYÖLÄI SET	LINJA 3 TYÖLÄI SET	LINJA 4 TYÖLÄI SET	YHT	YHT %
Hevoskimalainen	0	0	3	1	1	6	3	3	17	1,49
Kartanokimalainen	2	4	2	44	2	2	11	6	73	6,38
Kivikkokimalainen	22	4	35	10	354	6	93	121	645	56,33
Kontukimalainen	6	0	0	3	19	3	7	7	45	3,93
Mantuloiskimalainen	1	3	1	4	0	0	0	0	9	0,79
Mantumaismainen	26	9	31	19	50	8	30	29	202	17,64
Peltokimalainen	2	3	5	4	3	3	19	10	49	4,28
Pensaskimalainen	0	0	0	4	0	0	8	0	12	1,05
Pitkäsiipikimalainen	1	4	0	3	5	3	0	9	25	2,18
Sorokimalainen	1	1	1	3	3	0	0	3	12	1,05
Tarhakimalainen	0	0	1	0	0	0	1	1	3	0,26
<i>Uudelleenpyydetty</i>	2	0	2	5	20	7	7	10	53	4,63
YHT:	63	28	81	100	457	38	179	199	1145	100