

Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012

Jyväskylän yliopisto
Ympäristöntutkimuskeskus

Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 176

Emmi Lehtonen
Irene Huuskonen
Toni Keskitalo
Mika Laita

Jyväskylä 2013



ETELÄ-KARJALAN MAAKUNNAN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2012

Emmi Lehtonen, Irene Huuskonen, Toni Keskitalo ja Mika Laita

Kartat:

Pohjakartat © Affecto Finland Oy, Karttakeskus.

CLC2000 maankäyttö/maanpeite (yleistetty 25 ha) © SYKE, EEA

CLC2000 aineiston tuotannossa on käytetty seuraavien tiedon tuottajien aineistoja: SYKE, MML, MMM (peltotiedot 1999), VRK (rakennetut alueet 2001) ja satelliittikuvien tulkinnassa hyödynnetty Metsähallituksen ja UPM Kymmene Oy:n aineistoja.

ISSN 0781-8793

ISBN 978-951-39-5047-7 (painettu)

ISBN 978-951-39-5048-4 (verkkojulkaisu)

Kopijyvä Oy, Jyväskylä 2013

TIIVISTELMÄ

Ilmanlaatua on seurattu Etelä-Karjalan alueen kunnissa 1980-luvulta lähtien käyttäen ilmentäjinä havupuita ja niiden rungoilla kasvavia jäkäliä. Vuonna 2005 tehtiin ensimmäinen laajempi Etelä-Karjalan maakunnan pohjois- ja keskiosat kattava ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus. Vuonna 2012 ilmanlaatua arvioitiin männyn epifyyttijäkälien esiintymisen ja kunnon sekä mäntyjen elinvoimaisuuden perusteella melkein koko maakunnan alueella.

Tutkimusalueen rikkidioksidipäästöt kasvoivat 2000-luvun alussa, mutta pienenivät vuosikymmenen loppupuolella selvästi. Myös typen oksidien ja hiukkasten päästöt pienentyivät 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen lopussa, joskin päästöissä on 2000-luvulla ollut paljon tuotannon intensiteetistä ja energiankulutuksesta johtuvaa vaihtelua. Pidemmällä aikavälillä Etelä-Karjalan alueen päästöt ovat pienentyneet selvästi 1980-luvun lopun tilanteesta. Myös ilmasta mitattujen epäpuhtauksien pitoisuudet ja laskeumat ovat pääasiassa laskeneet 2000-luvulle tultaessa verrattuna 1980- ja 1990-lukuihin. Tutkimusalueen suurimmat päästölähteet sijaitsevat Lappeenrannassa, Imatralla ja Simpeleellä.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset ilmanlaatua kuvaaviin jäkälämuuttujiin olivat koko Etelä-Karjalan maakunnan mittakaavassa lieviä. Teollisuuskeskittymien ympäristössä ja taajamissa vaikutukset olivat kuitenkin selviä ja näkyivät jäkälälajiston köyhtymisenä ja vaurioitumisena sekä levän yleisyytenä. Selvimät muutokset rajoittuivat kuitenkin melko suppeille, kuormitetuimmille alueille Lappeenrantaan Ihalaisen ja Kaukaan teollisuusalueen ympäristöön, Imatralla, Joutsenoon ja Simpeleelle Rautjärven kunnan alueelle. Jäkälälajisto oli monipuolisinta ja terveintä päästömääriltään pienempien kuntien eli Lemmin, Ruokolahden, Savitaipaleen ja Taipalsaaren alueella, mutta näidenkin kuntien alueella havaittiin paikallisia, pienialaisia muutoksia jäkälälajistossa. Keskeisimmät ilmanlaatua kuvaavat jäkälämuuttujat osoittivat ilmanlaadun olevan Etelä-Karjalan alueella hieman parempi kuin kuormitetuimmilla alueilla Uudellamaalla, Kokkolassa ja Pietarsaaressa sekä Turussa. Jäkälälajisto oli yhtä runsasta ja monipuolista tutkimusvuosina 2005 ja 2012. Keskimäärin sormipaisukarpeen kunto oli kuitenkin parantunut, levä oli harvinaistunut ja sormipaisukarpeen peittävyys kasvanut vuodesta 2005 vuoteen 2012. Lappeenrannan, Joutsenon, Imatran ja Rautjärven osalta tilanne oli jäkälämuuttujien osalta parhain vuonna 2012, jolloin vaurioasteet olivat pienempiä, jäkälälajisto monipuolisempaa ja levä harvinaisempaa kuin aikaisempina tutkimusvuosina. Kaikkina tutkimusvuosina jäkälälajistoltaan köyhtyneimmät ja vaurioituneimmat alueet sijaitsivat Imatralla, Joutsenossa ja Lappeenrannan keskustan tuntumassa, mutta lajistoltaan köyhtyneiden ja selvästi köyhtyneiden sekä selvästi vaurioituneiden alueiden vyöhykkeet olivat pääasiassa pienentyneet vuonna 2012 verrattuna aikaisempiin tutkimusvuosiin. Jäkälälajisto monipuolistui ja runsastui selvästi Rautjärven kunnan alueella tarkasteluajanjakson aikana, mutta Lappeenrannan eteläosissa (Vaalimaa ja Nuijamaa) sormipaisukarpeen vauriot kasvoivat hieman ja jäkälälajisto köyhtyi hieman vuosien 2005 ja 2012 välillä.

Männyt olivat tutkimusalueella keskimäärin lievästi harsuuntuneita (harsuuntumisaste 18,5 %). Harsuuntumisaste oli Etelä-Karjalassa selvästi valtakunnallista ja muualla Suomessa toteutettujen alueellisten tutkimusten keskiarvoja suurempi. Noin viidesosa tutkimuspuista oli ytimennävertäjän vahingoittamia ja vauriot painottuivat puunjalostusteollisuuden läheisyyteen samoille alueille, joilla neulasets olivat kellastuneita. Alat, joilla männyt olivat harsuuntuneita, sijoittuivat pääasiassa Lappeenrannan alueelle puunjalostusteollisuuden läheisyyteen, 6-tien varrelle ja sen eteläpuolelle sekä Ruokolahden keskiosiin. Keskimääräisessä neulasvuosikertojen määrässä ei ollut havaittavissa selkeää alueellista jakautumista. Tutkimustulosten ja tilastollisten tarkastelujen perusteella puuston kuntoon Etelä-Karjalan alueella vaikuttavat voimakkaasti muut tekijät kuin ilman epäpuhtaudet, kuten puiden ikä ja hyönteistuhot. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato voimistui tutkimusvuosien 2005 ja 2012 välillä. Männyt olivat harsuuntuneita molempina tutkimusvuosina pienialaisilla alueilla Joutsenossa ja Lappeenrannan keskusta-alueella, mutta muuten mäntyjen neulaskadossa ei havaittu samanlaista alueellista painottumista eri tutkimusvuosina.

Kaiken kaikkiaan ilmanlaatua kuvaavissa muuttujissa havaittiin muutoksia parempaan suuntaan tutkimusvuosien välillä. Jäkälämuuttujien osalta tilanne oli jonkin verran parantunut mutta neulaskato voimistunut tutkimusalueella vuonna 2012. Tutkimusalueen päästömäärien pienentyminen 2010-luvun loppupuolella näkyy tutkimuksessa jäkälälajiston elpymisenä ja vaurioiden pienentyminenä. Myös muutokset päästölähteiden toiminnan intensiteetissä voivat selittää vuosien välisiä lieviä paikallisia muutoksia jäkälälajistossa ja jäkälän kunnossa.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	1
2. TUTKIMUSALUE	2
2.1 YLEISKUVAUS.....	2
2.2 TUTKIMUSALUEEN ILMANLAATU	4
2.2.1 Päästöt	4
2.2.2 Ilmanlaatu tausta-aseilla.....	11
3. TUTKIMUSAINESTO JA –MENETELMÄT	14
3.1 HAVAINTOALAT	14
3.2 TUTKIMUSRYHMÄ JA MAASTOTÖIDEN AJANKOHTA	16
3.3 HAVUPUIDEN EPIFYTTIJÄKÄLIEN KARTOITTAMINEN.....	17
3.4 JÄKÄLÄKARTOITUKSEN VIRHELÄHTEET JA LUOTETTAVUUS	22
3.5 HAVUPUIDEN NEULASKADON ELI HARSUUNTUNEISUUDEN ARVIOIMINEN	23
3.6 NEULASKATOARVION VIRHELÄHTEET JA LUOTETTAVUUS	24
3.7 PAIKKATIENTOMENETELMÄT	24
3.8 TILASTOMENETELMÄT	25
3.8.1 Taustamuuttujien vaikutus ja ilmanlaatua kuvaavien muuttujien keskinäiset korrelaatiot.....	25
3.8.2 Vuosien väliset vertailut	25
3.8.3 Regressioanalyysi.....	25
3.8.4 Yhteisöanalyysit.....	26
4. TULOKSET	27
4.1 MÄNTYJEN RUNKOJÄKÄLÄT	27
4.1.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste	27
4.1.2 Yleinen vaurioaste	30
4.1.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys	32
4.1.4 Peittävyys.....	40
4.1.5 IAP-indeksi	41
4.2 MÄNTYJEN ELINVOIMAISUUS.....	43
4.2.1 Mäntyjen tuhot, taudit ja värimuutokset.....	43
4.2.2 Mäntyjen neulaskato ja neulasvuosikertojen määrä	44
5. TULOSTEN TARKASTELU	48
5.1 TAUSTAMUUTTUIJEN VAIKUTUS	48
5.2 TUTKITTUIJEN MUUTTUIJEN VÄLINEN RIIPPUVUUS.....	50
5.3 REGRESSIOANALYYSIT.....	51
5.3.1 IAP-indeksi	52
5.3.2 Ilman epäpuhtauksista kärsivät jäkälälajit	52
5.3.3 Sormipaisukarpeen vaurioaste	53
5.3.4 Yleinen vaurioaste.....	53
5.3.5 Sormipaisukarpeen peittävyys.....	54
5.3.6 Neulaskato	54
5.4 YHTEISÖANALYYSIT	54
5.5 YHTEENVETO	56
6. VERTAILU	55
6.1 VUOSIEN VÄLINEN VERTAILU	55
6.1.1 Mäntyjen epifyyttijäkälät.....	59
6.1.2 Mäntyjen elinvoimaisuus.....	63
6.2 VERTAILU MUUALLA SUOMESSA TEHTYIHIN TUTKIMUKSIIN SEKÄ ALUEEN KUNTIEN VÄLILLÄ	64
6.2.1 Mäntyjen runkojäkälät	65
6.2.2 Mäntyjen elinvoimaisuus.....	66
7. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	67

LÄHTEET

LIITTEET

1. Johdanto

Etelä-Karjalan ilmanlaatua on selvitetty 1980- ja 1990-luvuilla useissa kuntakohtaisissa ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa. Jäkäläkartoituksia on tehty aikaisemmin Lappeenrannassa (Marttila 1981, Korttisen 1998 mukaan), Rautjärvellä (Bäck 1984, Korttisen 1998 mukaan), Joutsenossa (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 1988, Korttisen 1998 mukaan) ja Imatralla (Piutunen 1993). Vuonna 1998 tehtiin ensimmäinen yhtenäinen jäkäläkartoitus, jossa olivat mukana Lappeenrannan, Joutsenon, Imatran ja Rautjärven kunnat (Korttinen 1998). Jäkäläkartoitusten lisäksi Imatran, Joutsenon, Lappeenrannan, Rautjärven ja Ruokolahden alueella on tutkittu ilmanlaadun biologisia vaikutuksia näkyvien metsävaurioiden avulla useissa eri selvityksissä (esim. Jokinen ym. 1990, Jokinen ym. 1995, Jokinen ym. 2000).

Vuonna 2005 tehtiin laajempi Etelä-Karjalan maakunnan pohjois- ja keskiosat kattava ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus, johon osallistuivat Imatran, Joutsenon, Lappeenrannan, Parikkalan, Rautjärven, Ruokolahden, Taipalsaaren ja Ylämaan kunnat. Joutseno ja Ylämaa ovat sittemmin liittyneet osaksi Lappeenrannan kaupunkia. Tutkimuksessa perustettiin maakunnan alueelle 240 pysyvää tutkimusala, joilta tutkittiin mäntyjen runkojäkäliä sekä mäntyjen elinvoimaisuutta (Haahla ym. 2006b).

Vuonna 2012 toteutettu seuranta on jatkumo vuoden 2005 tutkimukselle. Tutkimus toteutettiin samoilla havaintoaloilla kuin edeltävä tutkimus, mutta seuranta ulotettiin myös Lemm ja Savitaipaleen kuntien alueelle, jonne perustettiin yhteensä 23 uutta alaa. Etelä-Karjalan maakunnan alueelta tutkimukseen osallistuivat seuraavat kahdeksan kuntaa: Imatra, Lappeenranta, Parikkala, Rautjärvi, Ruokolahti, Taipalsaari, Lemi ja Savitaipale, jotka myös rahoittivat tutkimusta yhdessä paikallisten teollisuuslaitosten kanssa.

Bioindikaattoreina käytetään eliölajeja, jotka ilmaisevat ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Ympäristön tilassa tapahtuvat muutokset voidaan havaita esimerkiksi eliölajin rakenteen, eliöiden alkuainepitoisuuksien, runsauden ja levinneisyyden sekä eliöyhteisöjen rakenteen muutoksina. Vuoden 2012 seurannassa ilman epäpuhtauksien vaikutuksien ilmentäjinä käytettiin männyillä kasvavia runkojäkäliä sekä mäntyjen elinvoimaisuutta. Seuranta toteutettiin 263 havaintoalalla. Epifyyttijäkälälajiston esiintyminen, runsaus ja kunto sekä mäntyjen harsuuntuminen ja mahdolliset taudit ja tuhot havainnoitiin 5 männyltä jokaiselta havaintoalalta. Mäntyjen epifyyttijäkälät ovat hyviä ilmanlaadun bioindikaattoreita, sillä ne reagoivat herkästi ilman epäpuhtauksiin sekä ulkomuodollaan että lajiston koostumuksen ja runsauden muutoksilla. Epäpuhtauksien vaikutukset kuitenkin ilmenevät näissä indikaattorilajeissa hitaasti, minkä vuoksi menetelmät soveltuvat erityisen hyvin pitkän aikavälin muutostrendien kuvaamiseen. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksen ilmenemiseen vaikuttavat aina myös luontaiset tekijät, jotka voivat joko puskuroida tai voimistaa sitä.

Tutkimuksen tuloksia verrattiin vuonna 2005 toteutetun tutkimuksen tuloksiin (Haahla ym. 2006b). Tuloksia tulkittiin tarkastelemalla ilman laatua kuvaavien indikaattorimuuttujien vaihtelua suhteessa päästölähteisiin, vertailemalla lajistosuhteissa ja jäkälien kunnossa sekä mäntyjen elinvoimaisuudessa tapahtuneita muutoksia eri vuosina sekä vertaamalla jäkälälajiston ja mäntyjen elinvoimaisuuden muutoksia päästömäärien kehitykseen. Lisäksi tuloksia vertailtiin muualla Suomessa tehtyjen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimusten tuloksiin.

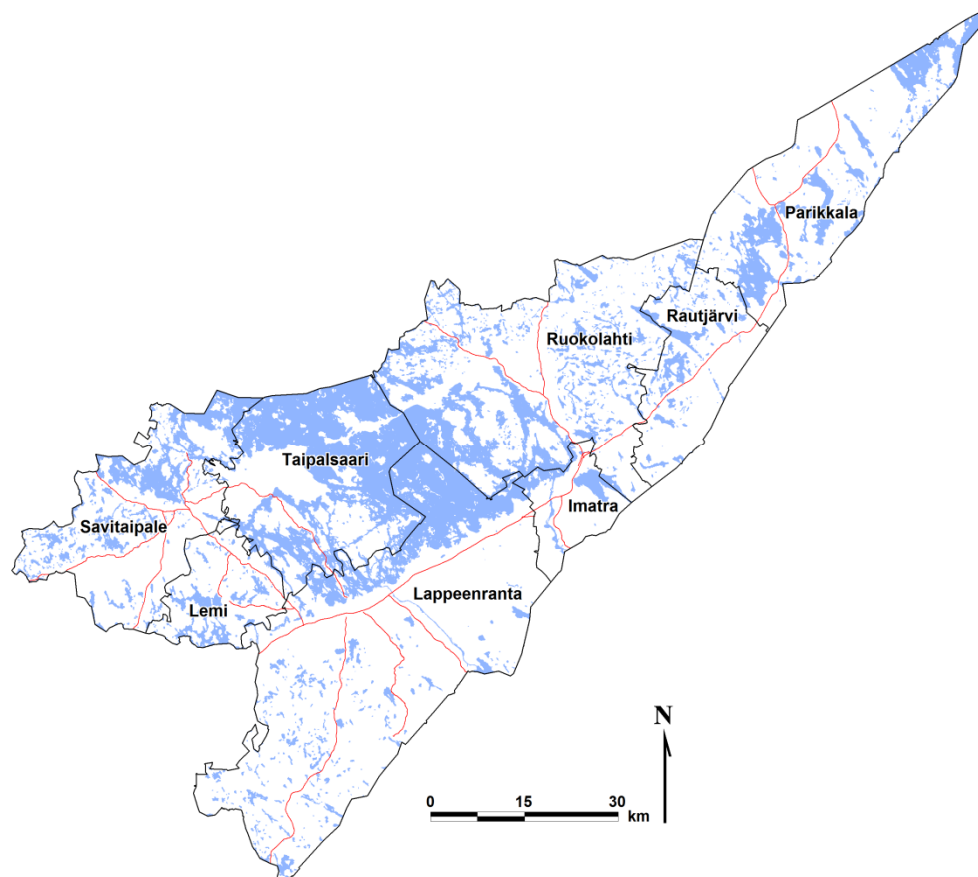
Tutkimuksen toteutti Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus. Maastotyöt tehtiin kesällä 2012, ja niihin osallistuivat tutkijat Emmi Lehtonen, Irene Huuskonen ja Anne Kiljunen sekä tutkimusavustaja Janne Ruuth. Tutkijat Emmi Lehtonen, Irene Huuskonen, Toni Keskitalo ja Mika Laita analysoivat tutkimusaineiston ja laativat tämän tutkimusraportin.

2. Tutkimusalue

2.1 Yleiskuvaus

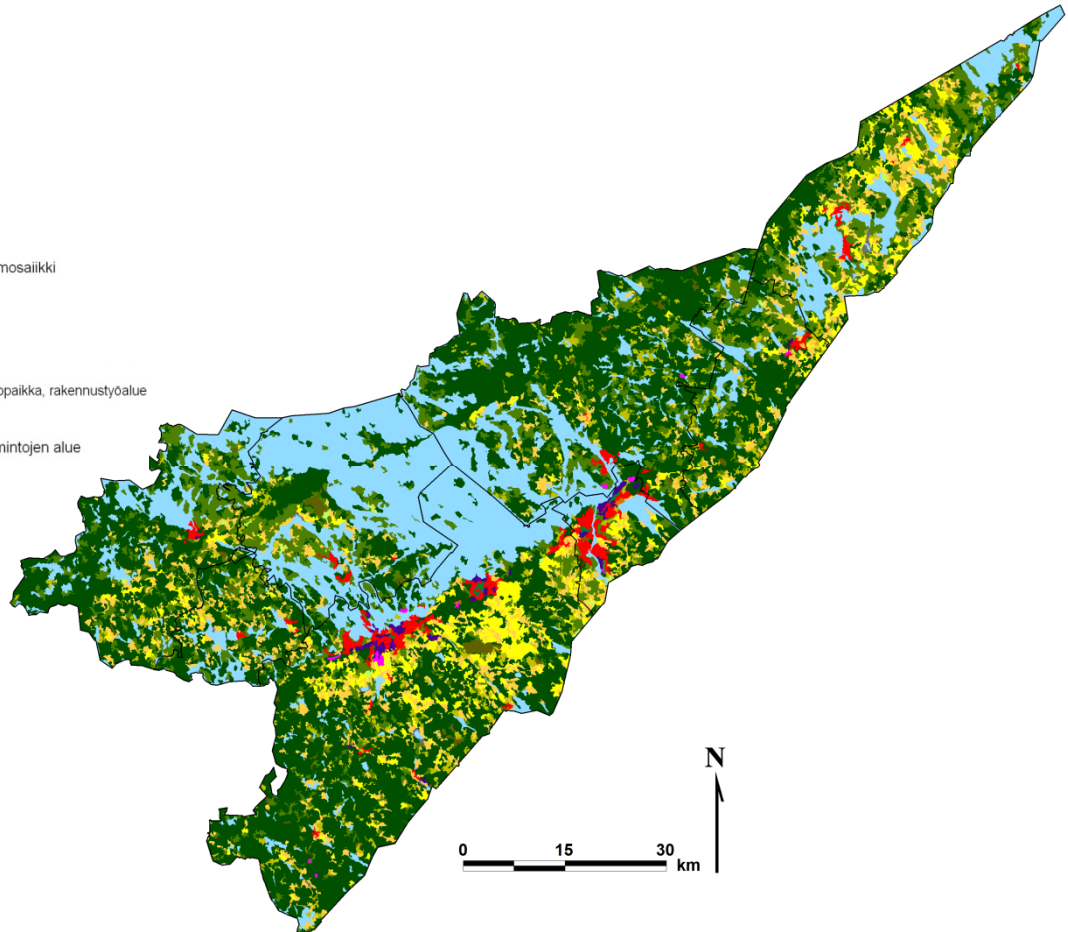
Tutkimusalue kattoi valtaosan Etelä-Karjalan maakunnasta, lukuun ottamatta Suomenniemen ja Luumäen kuntia maakunnan länsiosassa (kuva 1). Etelä-Karjala kuuluu eteläboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen ja kasvuolot ovat Suomen edullisimpia. Etelä-Karjalan ympäristölle on leimallista Salpausselkien harju-muodostumat ja vesistöjen runsaus. Kasvillisuuden pienipiirteinen vaihtelu on alueella tyypillistä: moreenimäkien tai kalliokumpujen niukka kasvillisuus vaihtuu nopeasti painanteiden tai rinteiden viljavaan kasvillisuuteen (Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus 2000).

Maakunnan vilkkaimmin liikennöityjä teitä ovat valtatie 6 (Lappeenrannasta koilliseen läpi maakunnan), 13 (Lappeenrannan eteläpuolelta Savitaipaleen ja Suomenniemen kautta luoteeseen) ja 62 (Ruokolahden kautta Puumalaan). Tihein asutus on maakunnassa keskittynyt kaupunki- ja kuntakeskusten yhteyteen etenkin Lappeenrannan, Imatran ja Joutsenon alueelle. Valtaosa Etelä-Karjalan maakunnan pinta-alasta on metsää, soita maakunnassa on vain vähän. Myös järvet, erityisesti Saimaa, peittävät suurta osaa maakunnasta. Viljelyalueita on runsaasti etenkin Lappeenrannan, Imatran, Joutsenon ja Savitaipaleen kaakkoisosissa, Parikkalassa ja Lemillä. (Kuva 2). Teollinen toiminta ja muu maankäyttö on muuttanut huomattavasti Etelä-Karjalan ympäristöä. Vesistöjen äärellä on runsaasti puunjalostusteollisuutta ja siihen liittyvää kemianteollisuutta ja lisäksi yhdyskunnat ja maa- ja metsätalous kuormittavat ympäristöä (Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus 2000).



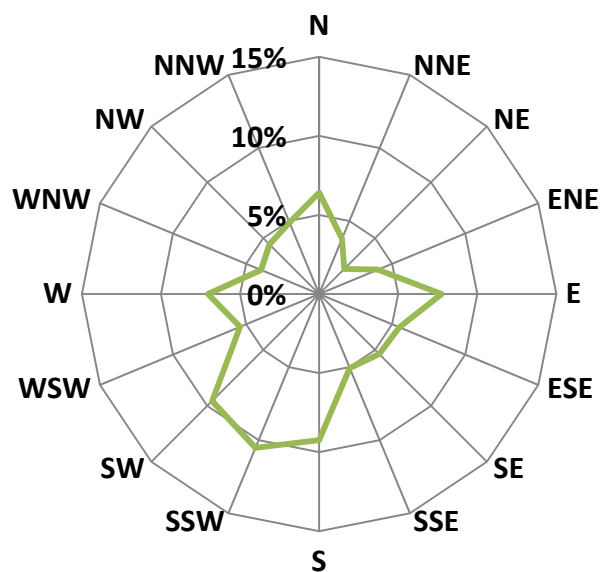
Kuva 1. Etelä-Karjalan bioindikaattoritutkimukseen vuonna 2012 osallistuneet kunnat.

Maankäyttö



Kuva 2. Maankäyttö Etelä-Karjalan alueella (CLC2000 maankäyttö/maanpeite (yleistetty 25ha): © SYKE, EEA).

Etelä-Karjalassa vallitsivat vuonna 2011 etelälounaasta (10,5 %), lounaasta (9,6 %) ja etelästä (9,2 %) puhaltavat tuulet. Myös itätuulet (7,7 %) ja länsituulet (7,0 %) olivat yleisiä. Tyyniä tunteja oli havaintoaineistosta 3,9 % ja puuttuvia havaintoja 0,9 %. (Kuva 3.) (Lappeenrannan lentokentän virallinen havaintoaineisto).



Kuva 3. Lappeenrannan lentokentällä vuonna 2011 vallinneet tuulensuunnat (Lappeenrannan lentokentän virallinen havaintoaineisto).

2.2 Tutkimusalueen ilmanlaatu

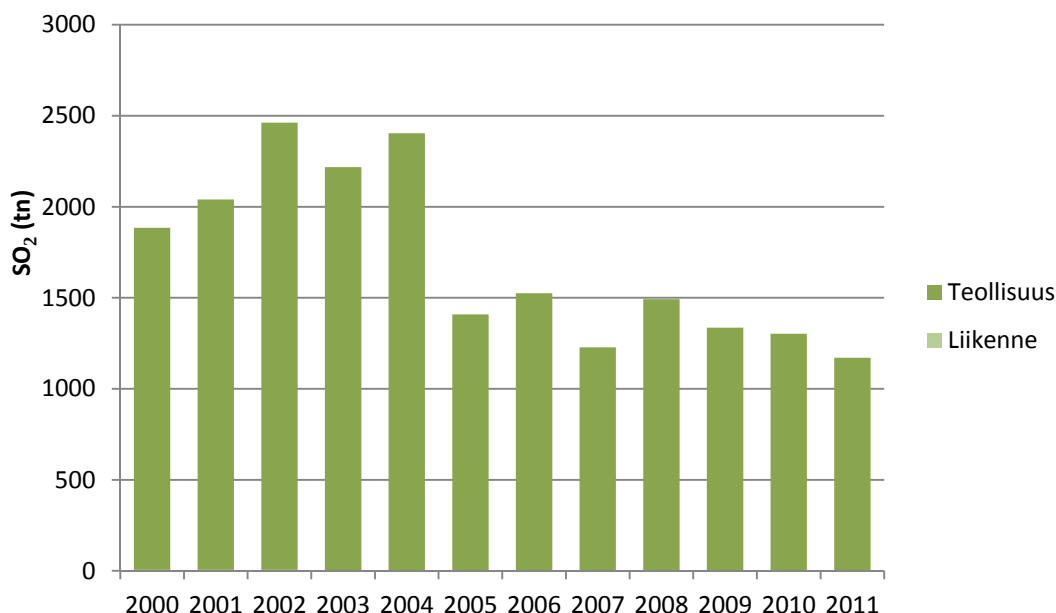
2.2.1 Päästöt

Tässä luvussa esitetään päästömäärien kehitys lupavelvollisten laitosten ja liikenteen osalta tutkimusalueella vuodesta 2000 alkaen (ympäristöhallinnon VAHTI-tietokanta, LIISA-laskentajärjestelmä). Lisäksi esitetään kuntakohtaiset päästömäärät vuonna 2010 sekä merkittävimpien lupavelvollisten päästölähteiden päästömäärät ja sijainnit vuonna 2011. Päästötiedot on koottu ympäristöhallinnon VAHTI- ja Hertta-tietojärjestelmistä. Imatran ja Lappeenrannan seudun ympäristötoimet toimittivat lupavelvollisten päästölähteiden sijaintitiedot (Ahonen 2012, Piutunen 2012). Liikenteen päästötiedot on laskettu LIISA 2011 – laskentamallin avulla, jossa on käytössä kertoimet aiempien vuosien päästöille.

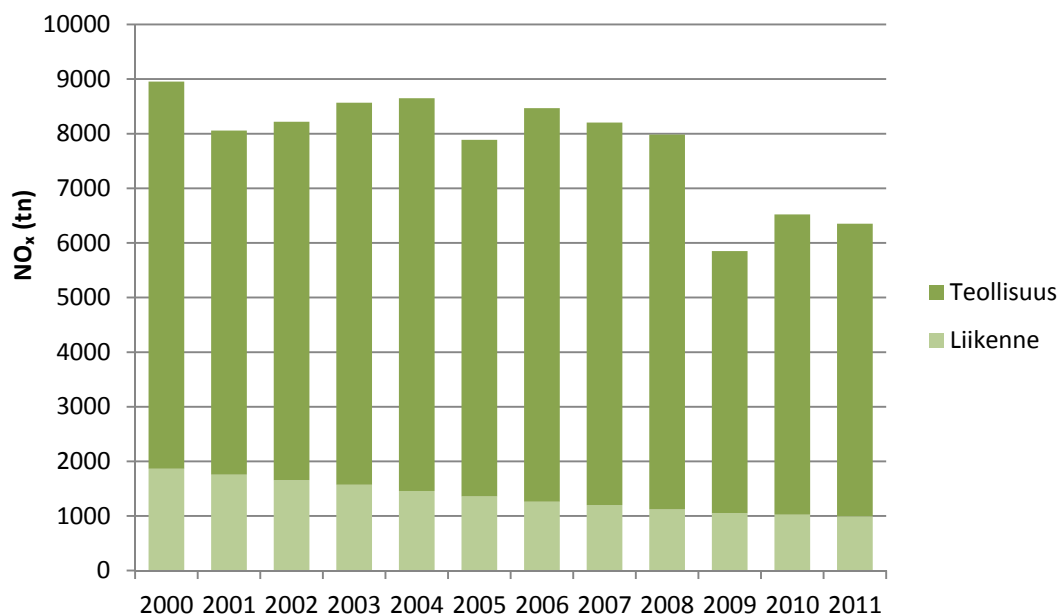
Kuvissa 4–6 on esitetty tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten sekä liikenteen päästöjen kehittyminen vuodesta 2000 vuoteen 2011 rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten osalta. Rikkidioksidin päästöt ovat kasvaneet melko tasaisesti 2000-luvun alusta vuoteen 2004 saakka. 2000-luvun jälkipuoliskolla rikkidioksidin päästöt ovat selvästi 2000-luvun alkua pienemmät, alle 1500 tonnia vuositasona. Rikkidioksidin päästöt olivat alimmillaan (< 1300 tn) vuosina 2007 ja 2011. Liikenteen osuus rikkidioksidin päästöistä on koko tarkasteluajanjaksoa ollut erittäin pieni. (Kuva 4.)

Tutkimusalueen typen oksidien päästöt ovat vuosina 2000–2008 pysytelleet melko tasaisesti 8000 tonnin tuntumassa, olleen korkeimmillaan vuonna 2000. Vuonna 2009 päästöt pienenevät 6000 tonnin tuntumaan ja pysyivät tällä alhaisemmalla tasolla tarkasteluajanjakson loppuun asti. Liikenteen osuus typen oksidien kokonaispäästömäärästä on pienentynyt tasaisesti tarkasteluajanjakson aikana. (Kuva 5.)

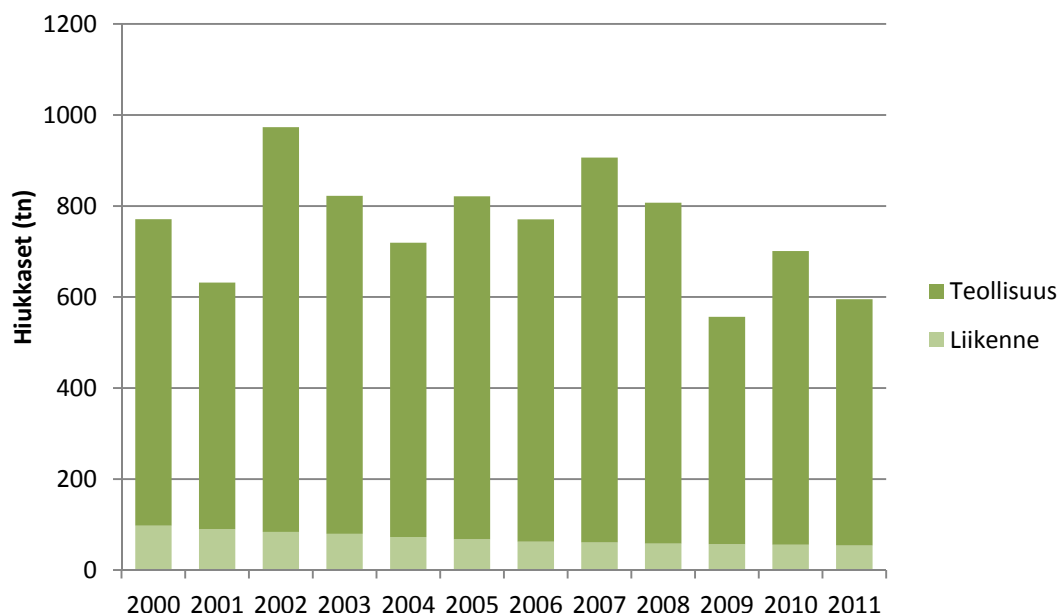
Tutkimusalueen hiukkaspäästöissä on ollut paljon vaihtelua eri vuosien välillä. Tarkasteluajanjaksoa hiukkasten vuosipäästöt vaihtelivat 560 (vuonna 2009) ja 970 tonnin välillä (vuonna 2002). Viimeiset kolme vuotta hiukkaspäästöt olivat hieman alhaisemmalla tasolla. Liikenteen osuus hiukkaspäästöistä on ollut pieni ja se on tasaisesti pienentynyt tarkasteluajanjakson aikana. (Kuva 6.)



Kuva 4. Tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten ja liikenteen rikkidioksidin päästöt (tn/v) vuosina 2000–2011 (Ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmä 2012, LIISA 2011).



Kuva 5. Tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten ja liikenteen typen oksidien päästöt (tn/v) vuosina 2000–2011 (Ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmä 2012, LIISA 2011).



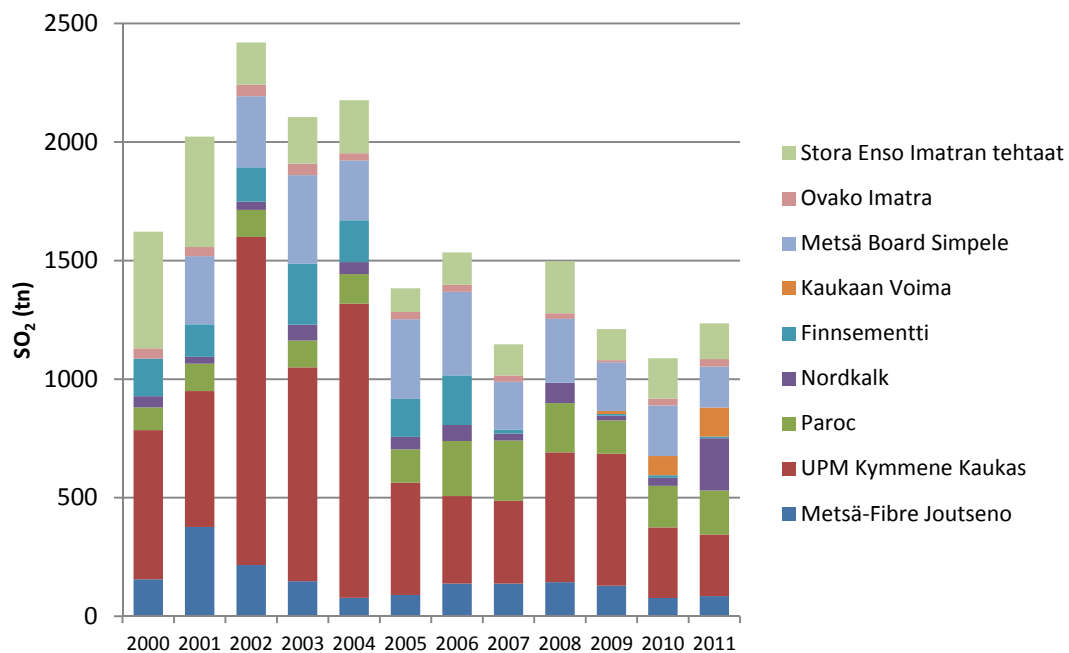
Kuva 6. Tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten ja liikenteen hiukkaspäästöt (tn/v) vuosina 2000–2011 (Ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmä 2012, LIISA 2011).

Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästöjen kehitys tutkimusalueella vuosina 2000–2011 päästölähteittäin on esitetty kuvissa 7–9. Tutkimusalueen suurin rikkidioksidin päästölähde on UPM Kymmenen Kaukaan tehtaas, joiden rikkidioksidin päästöt ovat tarkasteluajanjaksolla kuitenkin jonkin verran pienentyneet. Muita merkittäviä rikkidioksidin päästölähteitä ovat Stora Enson Tainionkosken ja Kaukopään kartonkitehtaas, Metsä Board Simpeleen kartonkitehdas sekä Paroc Lappeenranta, jonka rikkidioksidipäästöt ovat tarkasteluajanjaksolla jonkin verran kasvaneet. (Kuva 7.)

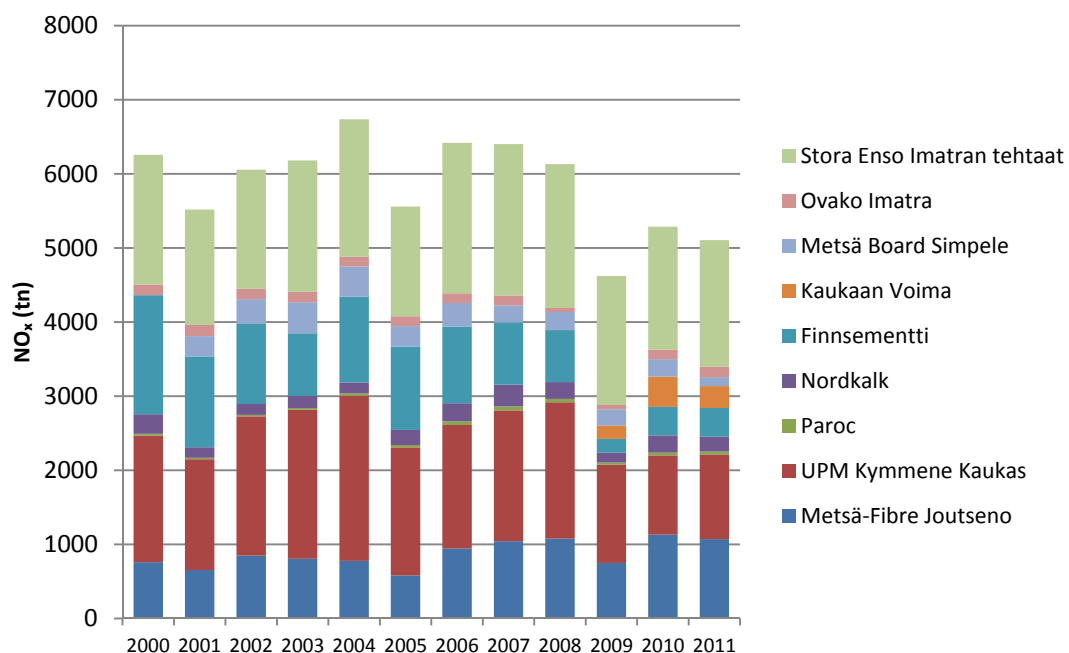
Tutkimusalueen suurimmat typen oksidien päästölähteet ovat etenkin tarkasteluajanjakson lopulla olleet Stora Enson Tainionkosken ja Kaukopään kartonkitehtaas, UPM Kymmenen Kaukaan tehtaas sekä Metsä Fibren Joutsenon sellutehdas. Näiden tehtaiden typen oksidien päästöissä ei tarkasteluajanjaksolla ole tapahtunut kovin merkittävää vaihtelua, tosin Kaukaan tehtaas päästöt ovat viime vuosina vähentyneet. 2000-luvun alku- ja keskivaiheilla myös Finnsementin (Lappeenranta) typen oksidien päästöt ovat olleet suurehkoja, mutta ne ovat selvästi pienentyneet tarkasteluajanjakson loppua kohden. (Kuva 8.)

Suurimmat hiukkasten päästölähteet ovat tutkimusalueella olleet Stora Enson Tainionkosken ja Kauko-pään tehtaat, UPM Kymmenen Kaukaan tehtaat sekä Metsä Fibren Joutsenon sellutehdas. Stora Enson Imatran tehtaiden hiukkaspäästöissä ei ole tapahtunut merkittävää vaihtelua, mutta Metsä Fibren Joutse-non tehtaen hiukkaspäästöt ovat kasvaneet ja Kaukaan tehtaen vähentyneet etenkin tarkasteluajanjakson lopussa. Myös Finnsementin hiukkaspäästöt ovat olleet melko suuret 2000-luvun alussa, mutta pienenty-neet selvästi tarkasteluajanjakson loppua kohti. (Kuva 9.)

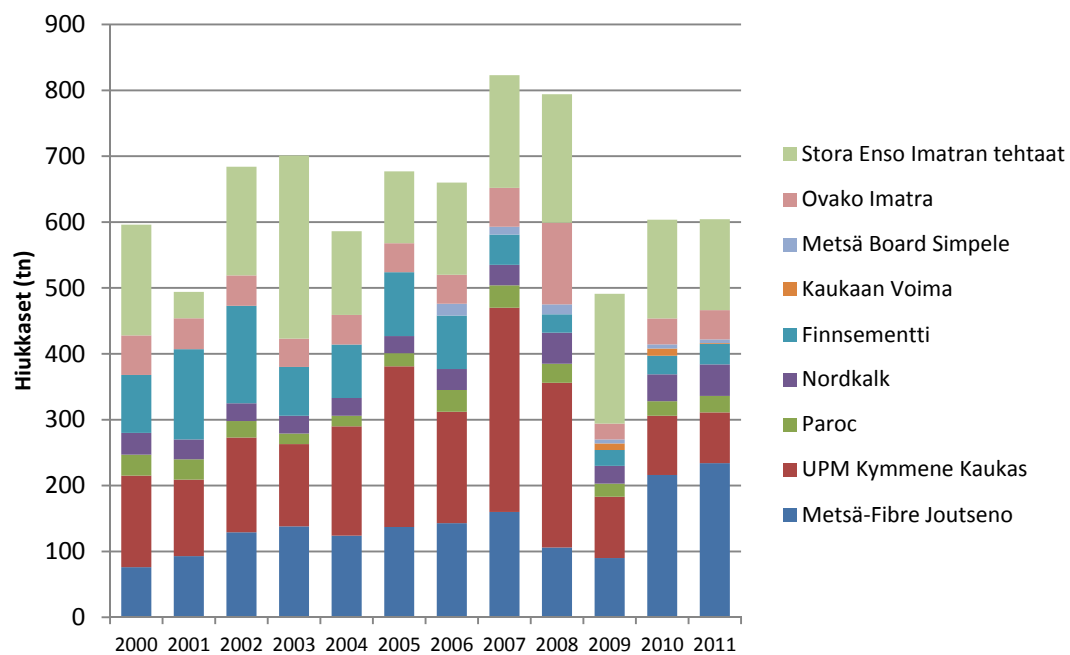
Kuvaan 10 on merkitty tutkimusalueen merkittävimpien rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten pääs-tölähteiden sijainnit. Näiden lisäksi Imatran ilmanlaatuun vaikuttaa myös venäläisen naapurikaupungin Svetogorskin alueella sijaitseva International Paperin omistama sellu- ja paperitehdas (ZAO Svetogorsk).



Kuva 7. Tutkimusalueen rikkidioksidin päästöt (tn/v) päästölähteittäin vuosina 2000-2011 (Ympäristöhallin-non VAHTI-tietojärjestelmä 2012).

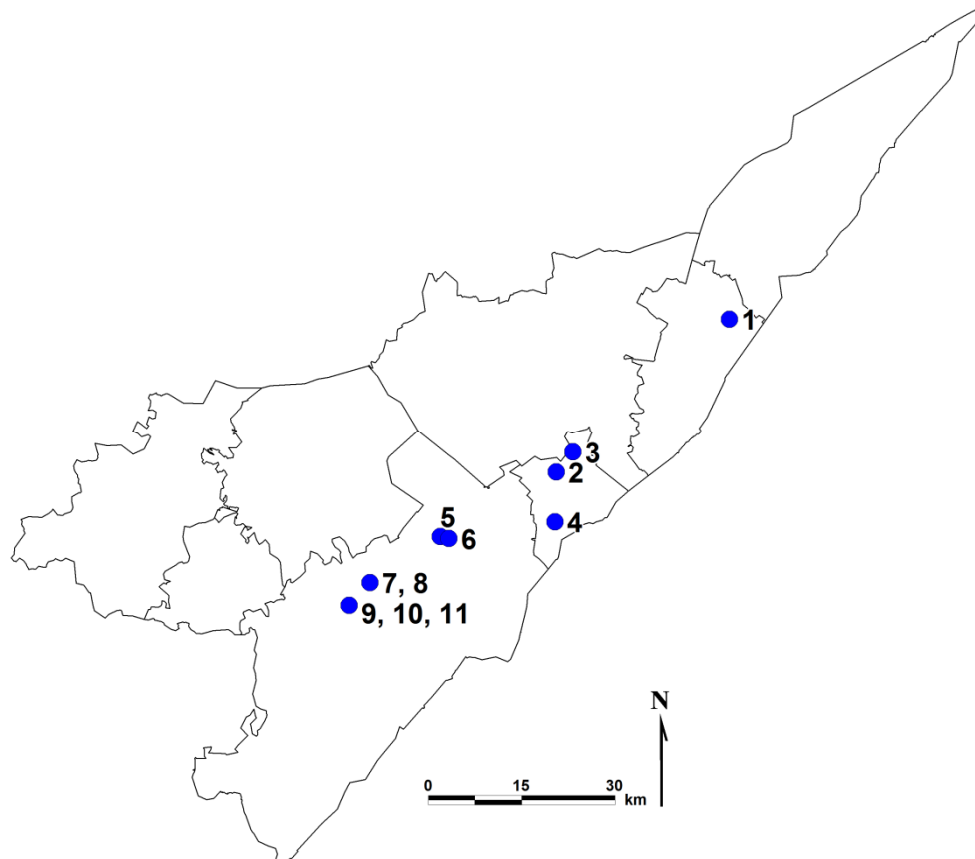


Kuva 8. Tutkimusalueen typen oksidien päästöt (tn/v) päästölähteittäin vuosina 2000-2011 (Ympäristöhal-linnon VAHTI-tietojärjestelmä 2012).



Kuva 9. Tutkimusalueen hiukkaspäästöt (tn/v) päästölähteittäin vuosina 2000-2011 (Ympäristöhallinnon Vahti-tietojärjestelmä 2012).

- 1 Metsä Board Simpele
- 2 Stora Enso Tainionkosken tehdas
- 3 Stora Enso Kaukopään tehdas
- 4 Ovako Imatra
- 5 Metsä Fibre Joutsenon tehdas
- 6 Stora Enso Honkalahden saha
- 7 UPM Kymmene Kaukaan tehtaat
- 8 Kaukaan voima
- 9 Paroc Lappeenrannan tehdas
- 10 Nordkalk
- 11 Finnsementti Lappeenrannan tehdas



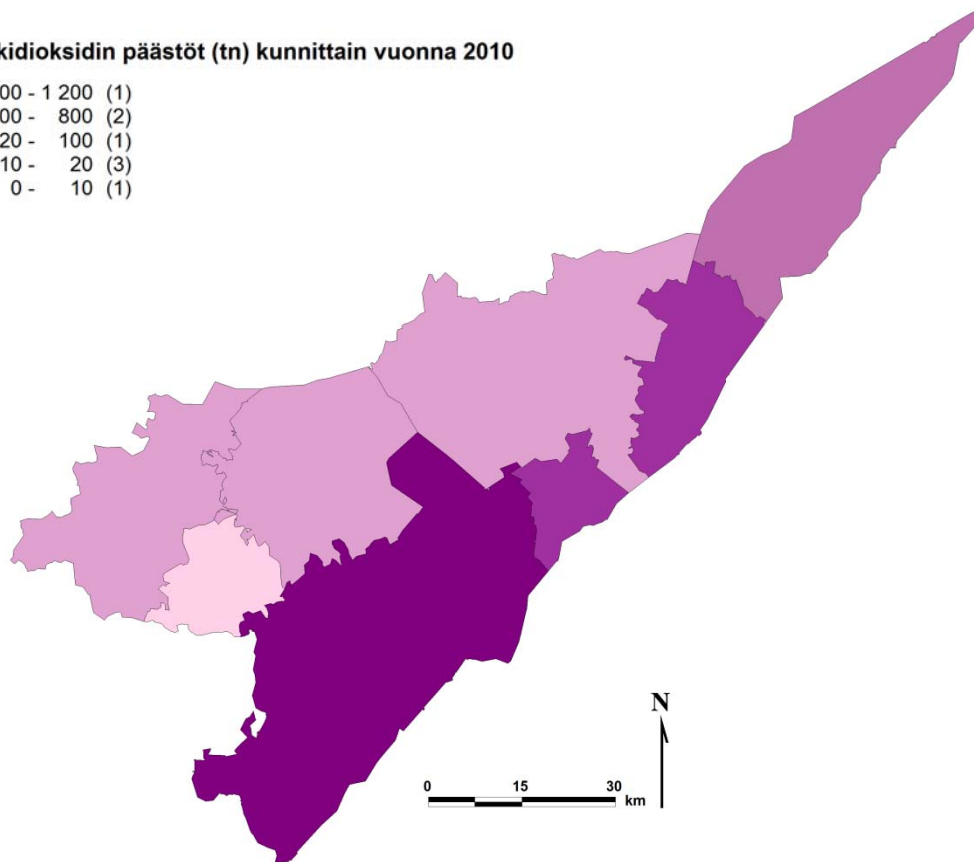
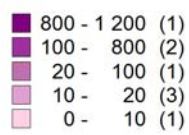
Kuva 10. Merkittävimmät päästölähteet Etelä-Karjalan alueella vuonna 2012.

Taulukossa 1 ja kuvissa 11-13 on esitetty ilman epäpuhtauksien päästömäärät tutkimusalueella kunnittain vuonna 2010 ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmän mukaan (tiedot haettu v. 2012). Tutkimusalueen kunnista selvästi suurimmat rikkidioksidin päästömäärät vuonna 2010 oli Lappeenrannassa. Myös Imatralla ja Rautjärvellä rikkidioksidipäästöt olivat tutkimusalueen muita kuntia suuremmat. Typen oksideja syntyi eniten Lappeenrannassa ja Imatralla, muualla päästöt olivat selvästi alle 500 tonnia vuodessa. Hiukkaspäästöt olivat tutkimusalueella suurimmat Lappeenrannassa ja Imatralla. Vähiten rikkidioksidin ja typen oksidien päästöjä sekä hiukkaspäästöjä Etelä-Karjalan alueella syntyi Lemillä, Savitaipaleella ja Taipalsaarissa. Etelä-Karjalan kuntakohtaisiin päästömääriin vaikuttivat eniten alueen suurimmat teollisuuslaitokset, jotka sijaitsivat Lappeenrannassa, Imatralla ja Rautjärvellä.

Taulukko 1. Tutkimusalueen päästöt rikkidioksidin, typen oksidien sekä hiukkasten osalta (tn/v) kunnittain vuonna 2010. (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2012.)

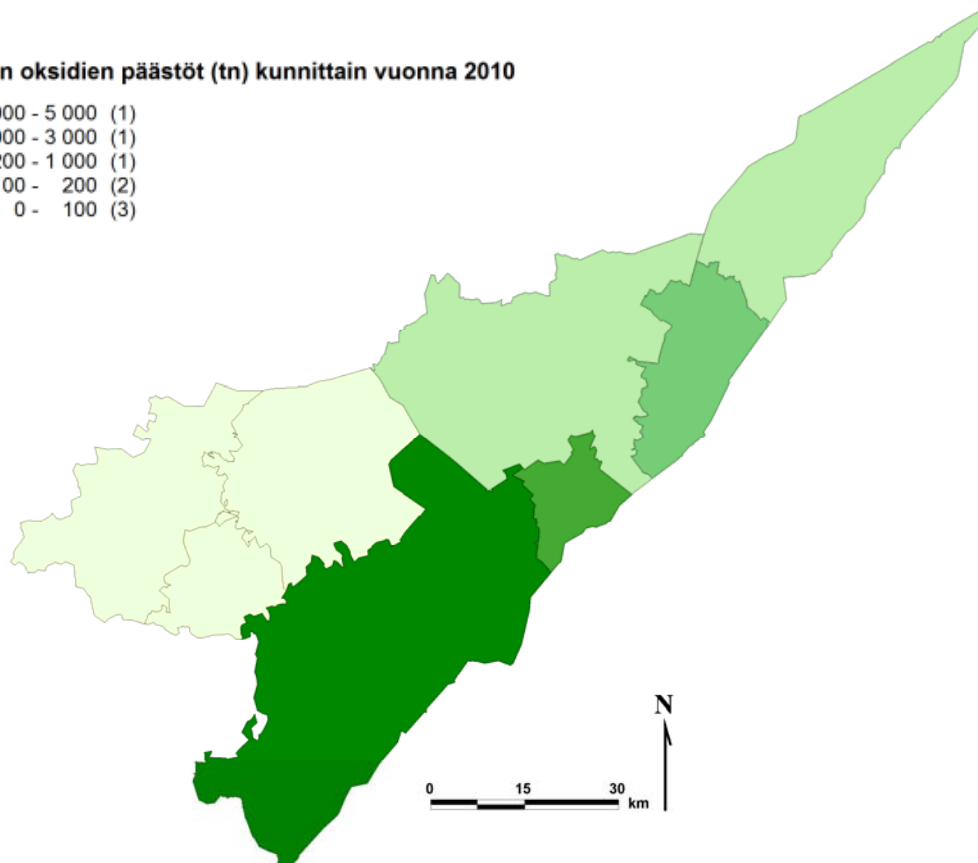
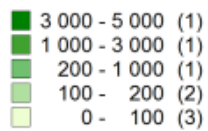
Kunta	SO ₂	NO _x	Hiukkaset
Imatra	242	2242	482
Lappeenranta	1013	4517	1231
Lemi	8	59	55
Parikkala	21	189	139
Rautjärvi	227	332	91
Ruokolahti	14	132	129
Savitaipale	13	93	92
Taipalsaari	11	88	119
Yhteensä	1548	7650	2337

Rikkidioksidin päästöt (tn) kunnittain vuonna 2010



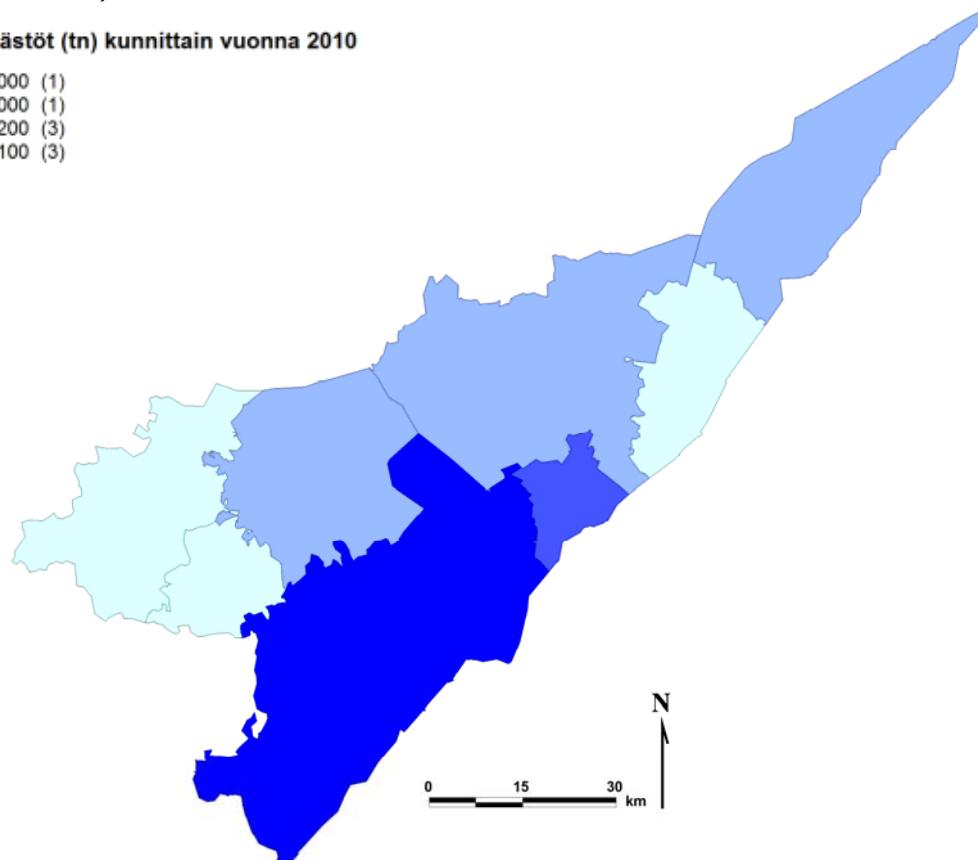
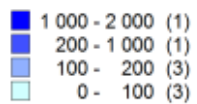
Kuva 11. Rikkidioksidin päästöt (tn) Etelä-Karjalassa kunnittain vuonna 2010 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2012).

Typen oksidien päästöt (tn) kunnittain vuonna 2010



Kuva 12. Typen oksidien päästöt (tn) Etelä-Karjalassa kunnittain vuonna 2010 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2012)

Hiukkaspäästöt (tn) kunnittain vuonna 2010



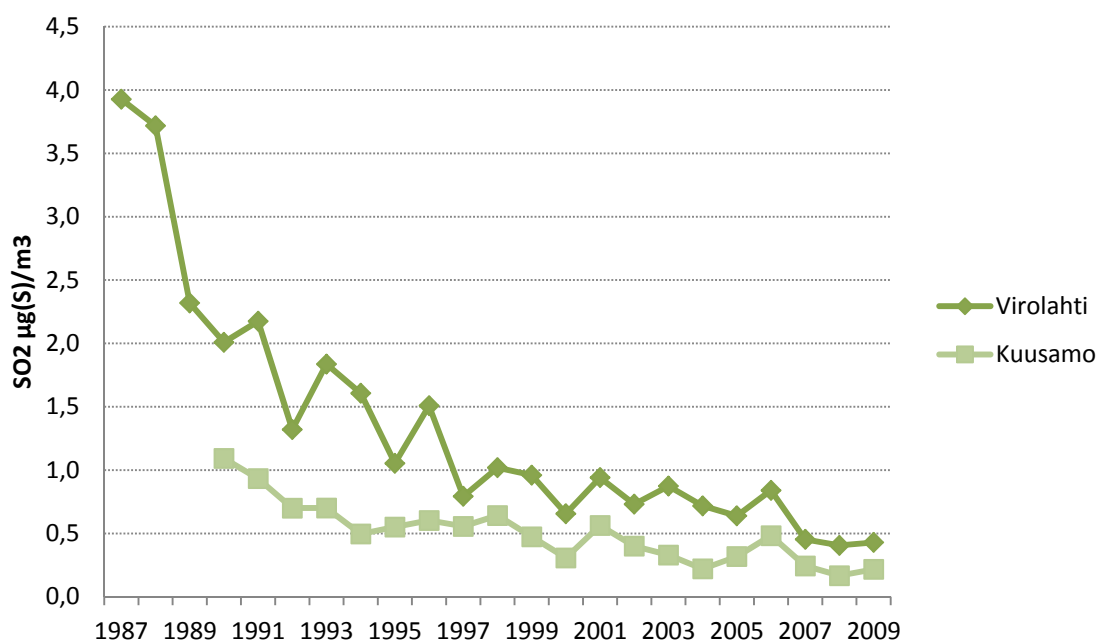
Kuva 13. Hiukkaspäästöt (tn) Etelä-Karjalassa kunnittain vuonna 2010 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2012).

2.2.2 Ilmanlaatu tausta-aseilla

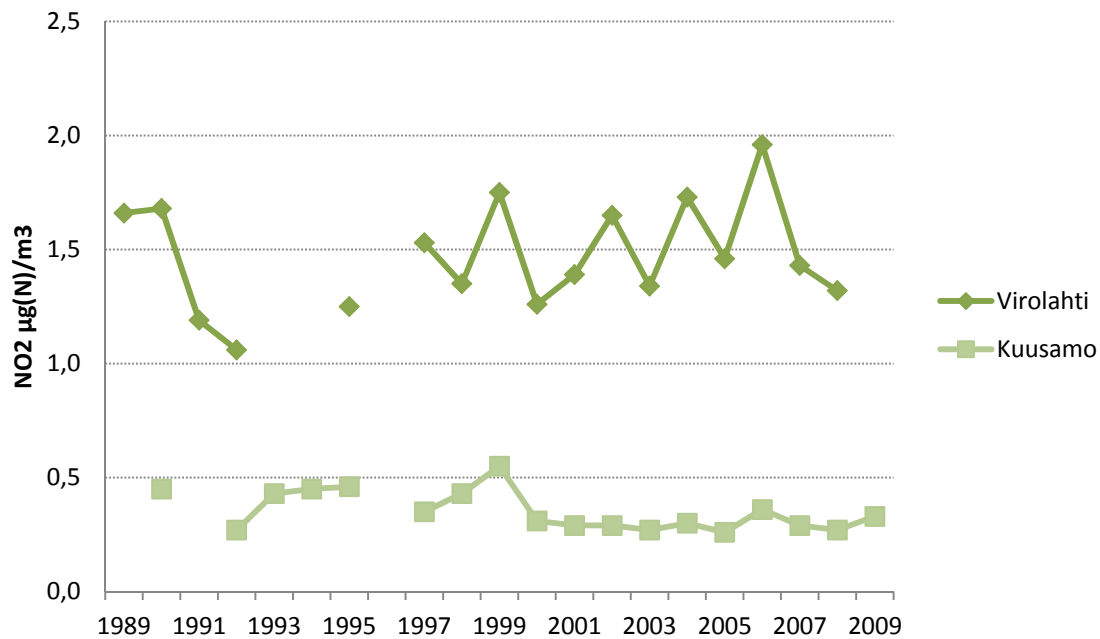
Lähes kaikkien merkittävimpien ilman epäpuhtauksien pitoisuudet tausta-aseilla ovat vähentyneet 1980-luvun alusta lähtien tarkasteltuna voimakkaasti. Pitkäaikaisissa mittauksissa näkyy erityisen selkeästi rikkiyhdisteiden pitoisuuksien ja laskeuman pienentyminen viimeisten vuosikymmenien aikana. Ilman epäpuhtauksien vähentyminen on jatkunut vielä 1990-luvulla, vaikkakin hitaammin Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa. (Kulmala ym. 1998.)

Kuvissa 14-15 on esitetty rikkidioksidin ja typpidioksin pitoisuuksia ilmassa Ilmatieteen laitoksen ylläpitämällä Virolahden ja Kuusamon Oulangan valtakunnallisilla tausta-aseilla. Kuvissa 16-18 on esitetty rikin ja typen vuosilaskeumia Virolahden ja Lieksan Hietajärven tausta-aseilla. Rikkidioksidin pitoisuus ilmassa on 1990- ja 2000-luvuilla vähentynyt Kuusamon ja Virolahden valtakunnallisilla tausta-aseilla. Virolahden tausta-aseilla rikkidioksidipitoisuudet ovat olleet korkeammalla tasolla kuin Kuusamon tausta-aseilla. (Kuva 14.)

Ilmatieteen laitoksen kaasumaisen typpidioksidin pitoisuuden aikasarjat Kuusamon Oulangan ja Virolahden tausta-aseilla ovat katkonaisia mittauksissa esiintyneiden vaikeuksien vuoksi. Virolahden ja Kuusamon tausta-aseilla typpidioksidipitoisuuden aikasarjassa ei ole havaittavissa selkeää laskusuuntausta, vaan pitoisuudet ovat vaihdelleet aaltomaisesti. Vuonna 2006 Kuusamon tausta-aseilla havaittiin hieman korkeampi typpidioksidin pitoisuus kuin 2000-luvulla keskimäärin. Samana vuonna Virolahdella havaittiin aikasarjan suurin pitoisuus. Virolahden tausta-aseilla typenoksidipitoisuudet ovat olleet korkeammalla tasolla kuin Kuusamon tausta-aseilla. (Kuva 15.)

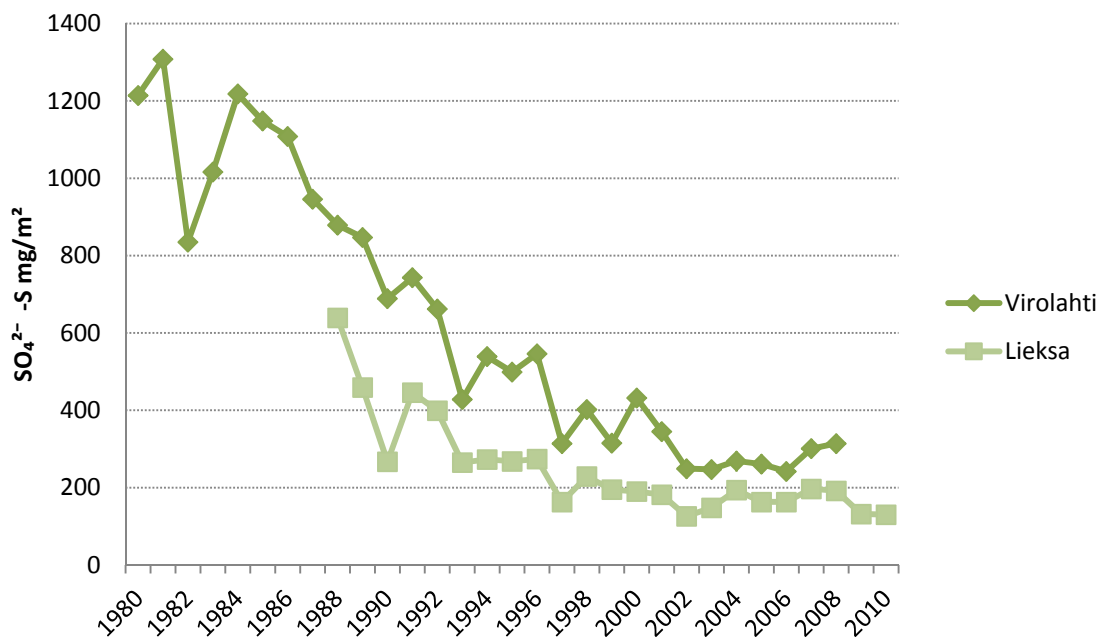


Kuva 14. Rikkidioksidin pitoisuus rikkinä ($\mu\text{g S}/\text{m}^3$) ilmassa Virolahden ja Kuusamon tausta-aseilla vuosina vuosina 1987–2009, vuosikeskiarvot (Salmi 2009, Salmi 2011a).

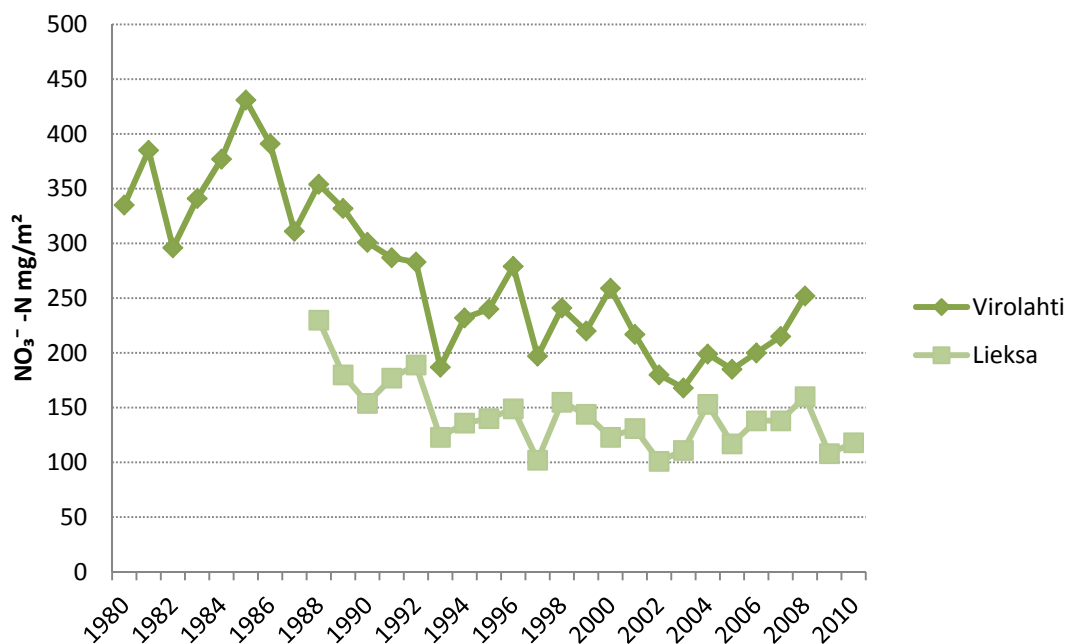


Kuva 15. Typpidioksidin pitoisuus typpenä ($\mu\text{g N/m}^3$) ilmassa Virolahden ja Kuusamon tausta-asemilla vuosina 1989–2009, vuosikeskiarvot (Salmi 2009, Salmi 2011a).

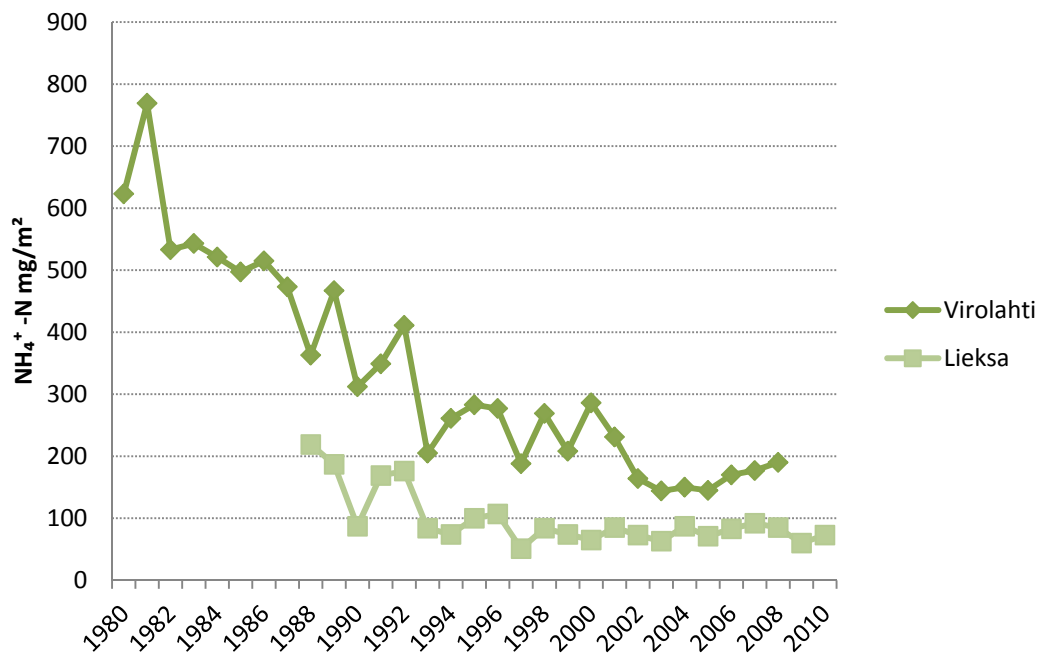
Sulfaattirikin vuosilaskeumassa on ollut melko selvä laskeva trendi 2000-luvulle saakka etenkin Virolahden mittausasemalla. 2000-luvulla sulfaattirikin vuosilaskeuman laskeva trendi on tasoittunut ja laskeuma on vaihdellut aaltomaisesti tarkasteluvuosien välillä. Myös nitraatti- ja ammoniumtypen vuosilaskeumissa on havaittavissa laskeva trendi 1990-luvun puoliväliin saakka, vaikka laskeumissa onkin tarkasteluvuosien välillä melko suuria eroja. 1990- ja 2000-lukujen vaihteesta lähtien nitraatti- ja ammoniumtypen vuosilaskeumat Lieksan Hietajärvellä ovat pysytelleet melko samalla tasolla tarkasteluajanjakson loppuun saakka, vaikkakin vaihtelu laskeumissa on ollut aaltomaista. Virolahden mittausasemalla nitraatti- ja ammoniumtypen vuosilaskeumat ovat vaihdelleet huomattavasti 1990-luvun puolivälin ja 2000-luvun alun välisellä ajanjaksolla. 2000-luvun loppupuolella typen laskeumat Virolahdella ovat lievästi kasvaneet. Virolahden tausta-asemalla rikki- ja typpilaskeumat ovat olleet korkeammalla tasolla kuin Lieksan Hietajärven asemalla. (Kuvat 16-18.)



Kuva 16. Sulfaattirikin vuosilaskeumat ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S mg/m}^2$) Virolahden ja Lieksan Hietajärven mittausasemilla vuosina 1980-2010 (Salmi 2009, Salmi 2011b).



Kuva 17. Nitraattityypen vuosilaskeumat (NO_3^- -N mg/m^2) Virolahden ja Lieksan Hietajärven mittausasemilla vuosina 1980-2010 (Salmi 2009, Salmi 2011b).



Kuva 18. Ammoniumtypen vuosilaskeumat (NH_4^+ -N mg/m^2) Virolahden ja Lieksan Hietajärven mittausasemilla vuosina 1980-2010 (Salmi 2009, Salmi 2011b).

3. Tutkimusaineisto ja –menetelmät

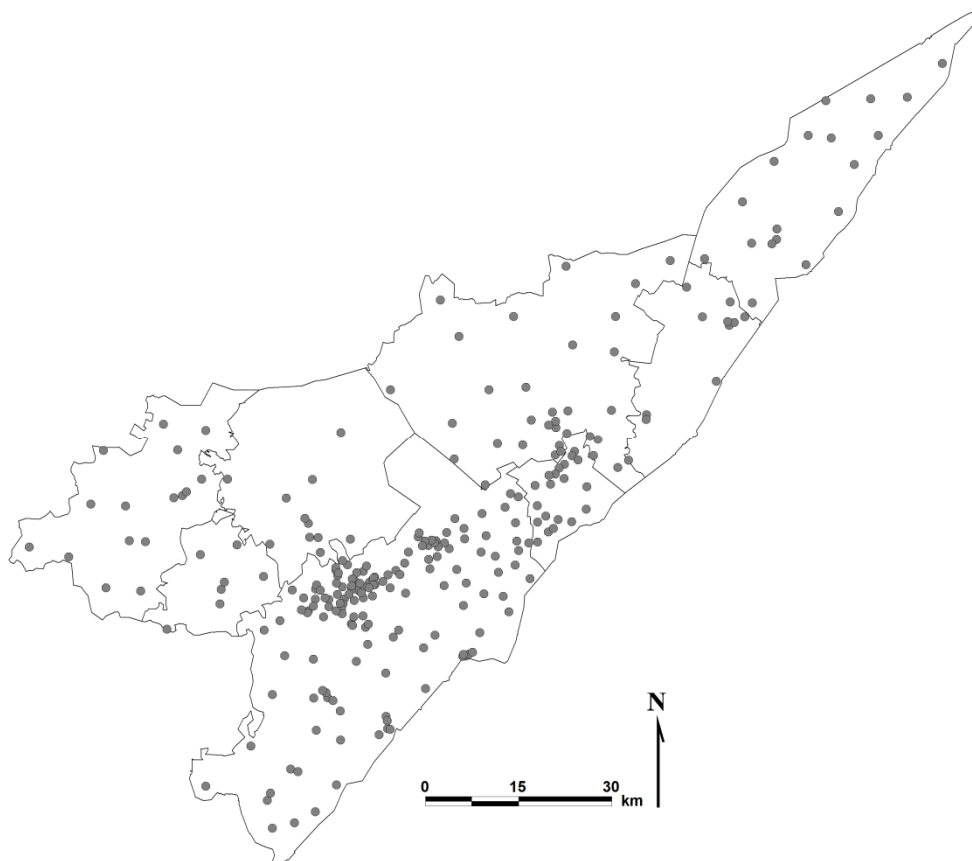
3.1 Havaintoalat

Tutkimus tehtiin 263 havaintoalalla, joilla tutkittiin mäntyjen runkojäkäliä ja mäntyjen neulaskadon määrää. Jäkälälajisto ja mäntyjen elinvoimaisuus arvioitiin viideltä puulta kultakin tutkimusalalta. Kartoitusta pyrittiin tekemään samoilla havaintoaloilla ja –puilla kuin edeltävässä vuonna 2005 toteutetussa tutkimuksessa, mutta maankäytön muutosten vuoksi uutena perustettiin 70 alaa. Erityisesti Rautjärven kunnan alueelle jouduttiin perustamaan runsaasti uusia aloja vuoden 2010 myrskytuhojen takia. Seurantaan ensimmäistä kertaa osallistuvien kuntien eli Lemmin ja Savitaipaleen alueelle perustettiin 23 uutta alaa. Osalla vanhoista aloista yksi tai useampia havaintopuita vaihtui. Kaikki muutokset kirjattiin, ja ne huomioitiin vuosien välisiä tuloksia vertailtaessa. (Kuva 19, taulukko 2.)

Näytealan sijainti määritettiin GPS-laitteella, ja kustakin havaintoalasta täytettiin taustatietolomake, johon merkittiin alan etsintäohje ja puiden sijainti. Havaintoalan metsätyyppi, puuston kehitysluokka sekä ikä ja pituus ja valtalajien pohjapinta-alat sekä havaintoalan topografia kirjattiin ylös. Lisäksi havaintoalan soveltuvuus luokiteltiin käyttäen asteikkoa hyvä-kohtalainen-huono. Havaintoalan soveltuvuus on havainnoitsijan subjektiivinen arvio havaintoalan soveltuvuudesta bioindikaattoritutkimukseen, ja sitä arvioitaessa huomioidaan jäkäläkartoitukseen käytettävää metsikköä koskevat kriteerit. Pohjapinta-alat määritettiin relaskoopin avulla, ja puuston ikä ja pituus määritettiin silmämääräisesti.

Tutkimuksessa ensimmäistä kertaa mukana olevien kuntien alueelle uudet alat perustettiin koko kunnan alueen kattavan hilaverkoston avulla. Havaintoalat sijoitettiin hilaruutujen sisään jäkäläkartoituksen kriteerit täyttävään männikköön. Tutkimusvuosien välillä tuhoutuneiden alojen tilalle perustettiin uudet alat lähimmälle jäkäläkartoitukseen soveltuvalla paikalla. Kriteerit jäkäläkartoituksessa käytettävälle metsikölle on esitetty standardissa SFS 5670. Näistä tärkeimpiä ovat metsikön ikä, puuston tiheys sekä aluskasvillisuuden esiintyminen. Valintakriteerien suhteen optimaaliset havaintoalat sijaitsevat kuivahkoilla tai kuivilla kankailla, joilla aluskasvillisuus on matalaa ja metsä melko harvaa. Havaintoalojen valinnalla pyritään eliminoidaan luontaiset jäkälälajiston koostumukseen sekä vaurioihin vaikuttavat mikroilmastolliset tekijät, joista tärkein on valoisuuden ja varjoisuuden suhde. Uusia tutkimusmetsiköitä valittaessa pyritään lisäksi välttämään reunavaikutusta tai esim. suppia ja paisterinteitä, joissa vallitsee poikkeava mikroilmasto. Myös hiljattain käsiteltyjä, esim. kolmen edellisen vuoden aikana harvennettuja metsiköitä vältettiin. Havaintopuut valittiin siten, että ne olivat läpimitaltaan vähintään 20 cm, ja kolmen metrin korkeudelle oksattomia. Pensaiden tai taimien ympäröimiä puita tai hyvin lähellä toisia puita kasvavia puita ei hyväksytty mukaan kartoitukseen.

Tutkimusmetsiköistä 37 % sijaitsi tuoreilla mustikkatyyppin (MT) kankailla. Lähes yhtä paljon, 35 %, aloista sijaitsi kuivahkoilla puolukkatyyppin (VT) kankailla. Lehtomaisilla kankailla (OMT) sijaitsi noin 5 % aloista ja kuivilla kanervatyyppin kankailla (CT) noin 8 % aloista. Muuksi luokitelluilla metsätyypeillä sijaitsi 16 % tutkimusaloista. Muuksi luokitellut metsiköt olivat pääasiassa tuoreita ja kuivia lehtoja tai nurmialueita. 48 % tutkimusaloista sijaitsi hyvin tutkimukseen soveltuvissa kypsissä, 80-100 vuotiaissa, männiköissä. Yhtä paljon tutkimusaloja sijaitsi tutkimukseen kohtalaisesti soveltuvissa männiköissä. Näiden alojen soveltuvuutta tutkimukseen heikensi usein runsas ja rehevä aluskasvillisuus. Varttuneissa männiköissä sijaitsi noin 30 % tutkimusaloista. Tutkimuspuiden keskimääräinen pituus oli 20,2 metriä. Läpimitaltaan puut olivat keskimäärin 33,8 cm ja puuston keskimääräinen pohjapinta-ala 21 m²/ha. Valtaosalla aloista valtalajina oli mänty ja toinen valtalaji oli useimmiten kuusi tai koivu. Näiden lisäksi tutkimusaloilla havaittiin toisina tai kolmansina valtapuulajeina yksittäisillä aloilla haapaa, hopeapajua, katajaa, lehtikuusta ja pihlajaa. (Taulukko 3.)



Kuva 19. Havaintoalojen sijainti tutkimusalueella vuonna 2012.

Taulukko 2. Havaintoalojen lukumäärä kunnittain sekä uutena perustettujen havaintoalojen määrät vuonna 2012.

Kunta	Vanhat alat	Uudet alat	Yhteensä
Imatra	17	3	20
Lappeenranta	113	37	150
Lemi	-	7	7
Parikkala	10	8	18
Rautjärvi	3	8	11
Ruokolahti	19	11	30
Savitaipale	-	16	16
Taipalsaari	8	3	11
8 kuntaa	170	93	263

Taulukko 3. Mäntyhavaintoaloja kuvaavia tunnuksia vuonna 2012.

Tunnus		Kpl	%
Metsätyyppi	OMT	12	4,6
	MT	98	37,3
	VT	92	35,0
	CT	20	7,6
	MUU	41	15,6
Soveltuvuus	hyvä	126	47,9
	kohtalainen	126	47,9
	huono	10	3,8
Kehitysluokka	kypsä	187	71,1
	varttunut	74	28,1
	nuori	2	0,8
1.valtalaji	mänty	261	99,2
	kuusi	2	0,8
2.valtalaji	haapa	4	1,5
	hopeapaju	1	0,4
	kataja	1	0,4
	koivu	97	36,9
	kuusi	106	40,3
	lehtikuusi	1	0,4
	mänty	2	0,8
	pihlaja	6	2,3
Valtapuiden pituus (m)	10-15	22	8,4
	15-20	126	47,9
	20-25	113	43,0
	25-30	2	0,8
Puuston pohjapinta-ala (m³/ha)	<10	2	0,8
	10-15	26	9,9
	15-20	83	31,6
	20-25	96	36,5
	25-30	44	16,7
	>30	12	4,6
Havaintopuiden halkaisija (cm)	<25	1	0,4
	25-30	59	22,4
	30-35	116	44,1
	35-40	61	23,2
	>40	26	9,9
Puuston ikä (v)	60-80	88	33,8
	80-100	146	56,2
	100-120	23	8,8
	>120	3	1,2

3.2 Tutkimusryhmä ja maastotöiden ajankohta

Jäkäläkartoitukset ja mäntyjen elinvoimaisuuden arvioinnit tehtiin 30.7.2012–12.9.2012 välisenä aikana. Maastotöihin osallistuivat Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tutkijat Emmi Lehkonen (FM), Irene Huuskonen (YTM) ja Anne Kiljunen (FM) sekä tutkimusavustaja Janne Ruuth (fil.yo).

3.3 Havupuiden epifyyttijäkälien kartoittaminen

Tässä tutkimuksessa indikaattorilajeina käytettiin standardin SFS 5670 mukaisesti 12 männyillä yleisesti kasvavaa jäkälälajia (taulukot 4 ja 5). Jäkälät koostuvat symbioosissa elävistä lehtivihreättömästä sieniosakkaasta ja yhteyttävästä leväosakkaasta. Ne menestyvät hyvin niukkaravinteisessa ja kuivassa elinympäristössä, missä korkeammat kasvit eivät selviä. Jäkälät kasvavat löyhärakenteisina sekovarsina ilman suojaavia pintasolukerroksia ja ilmarakoja ottaen ravinteensa ja vetensä suoraan ilmasta, sadevedestä tai runkovalunnasta. Tämä tekee jäkälät hyvin herkiksi ilman epäpuhtauksien vaikutuksille. Altistus tapahtuu pääasiassa siten, että epäpuhtaudet kiinnittyvät sieniosakkaan soluseinämien proteiineihin. Talviaikaankaan, jolloin ilmassa on yleensä enemmän epäpuhtauksia, runkojäkälät eivät ole lumikerroksen suojaamia, ja leudommilla säillä niiden solutoiminta voi aktivoitua.

Jäkälät ilmentävät ilman epäpuhtauksien vaikutuksia yksilökohtaisesti silmin havaittavina morfologisina tai kemiallisina muutoksina, peittävyysien muutoksina ja jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksina (Lodenius ym. 2002). Jäkälälajit reagoivat ilman epäpuhtauksiin eri tavoin. Ensimmäisenä ne vaikuttavat herkkiin lajeihin, joiden peittävyys puiden rungoilla pienenevät, kunnes laji ei enää pysty menestymään kasvupaikallaan. Tällöin kestävämmät lajit saattavat vallata vapautunutta elintilaa. Eräät lajit myös hyötyvät kuormituksesta. Taulukossa 4 on luokiteltu indikaattorilajit herkkyytensä mukaan neljään luokkaan. Tietyn lajin esiintymiseen vaikuttavat lajin saasteherkkyyden lisäksi myös luontaiset ympäristöolosuhteet, jonka vuoksi eri lajien indikaattoriarvot ovat erilaisia, toiset lajit esim. suosivat merenrantoja, toiset valoisia ja kuivia metsiköitä, toiset sulkeutuneempia metsiköitä, toiset nuorempia puita ja toiset vanhempia. Lajien erityispiirteitä sekä niiden indikaattoriarvot on kuvattu taulukossa 5.

Sormipaisukarve on erityisen hyvä ilman epäpuhtauksien indikaattori, sillä se kestää hyvin suuriakin ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, mutta indikoi niitä morfologisilla muutoksilla, joita arvioidaan vaurioasteen avulla. On myös esitetty, että sormipaisukarve saattaisi hyötyä ilman epäpuhtauksista tiettyyn kuormitustasoon asti (Anttonen 1990). Kuormitustason kasvaessa sormipaisukarve voi vahvana kilpailijana vallata kasvualaa muilta lajeilta, mikä näkyy lajin peittävyyskasvamisenä lievässä kuormitustasossa. Kuitenkin sormipaisukarvekin kestää kuormitusta vain tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen sen vauriot pahenevat ja peittävyys pienenee (vrt. esim. Niskanen ym. 2003a ja Niskanen ym. 1996).

Ilman epäpuhtauksien aiheuttamat muutokset jäkälissä ja jäkälälajistossa voivat ilmetä nopeasti etenkin suurissa pitoisuuksissa. Usein vaikutukset näkyvät vielä vuosienkin päästä kuormituksen vähennyttyä, koska jäkälät ovat hyvin hidaskasvuisia ja vaikutukset saattavat välittyä niihin myös kasvualustan muutosten kautta (Jussila ym. 1999). Tärkein jäkäliin vaikuttava ilman epäpuhtaus on rikkidioksidi, mutta myös typpiyhdisteillä on vaikutusta, samoin alkalisilla päästöillä, jotka muuttavat erityisesti havupuulla kasvavien jäkälien normaalisti hapanta kasvualustaa emäksisemmäksi.

Morfologisenä muutoksena tässä tutkimuksessa arvioitiin sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioastetta sekä yleistä vaurioastetta. Jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksia arvioitiin lajilukumäärän ja IAP-indeksin avulla. Peittävyysia arvioitiin kahden lajin osalta pistefrekvenssimenetelmällä.

Taulukko 4. Tutkitut jäkälälajit ja niiden herkkyydet rikkidioksidille (Kuusinen ym. 1990).

Herkkyys	Laji (tiet.)	Laji (suom.)
kestävä, hyötyvä	<i>Algae + Scoliciosporum</i>	leväpeite
	<i>Hypocenomyce scalaris</i>	seinäsuomujäkälä
melko kestävä	<i>Hypogymnia physodes</i>	sormipaisukarve
	<i>Parmeliopsis ambigua</i>	keltatyvikarve
	<i>Cetraria chlorophylla</i>	ruskoröyhelö
	<i>Vulpicida pinastri</i>	keltaröyhelö
melko herkkä	<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	harmaa tyvikarve
	<i>Parmeliopsis aleurites</i>	kalpea tyvikarve
	<i>Platismatia glauca</i>	harmaaröyhelö
	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	hankakarve
	<i>Parmelia sulcata</i>	raidanisokarve
herkkä	<i>Bryoria</i> sp.	lupot
	<i>Usnea</i> sp.	naavat

Taulukko 5. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni, - huono. Seuralaislajien lukumäärät on laskettu Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista (Huuskonen ym. 2010, Lehtonen ym. 2011, Huuskonen & Lehtonen 2012 ja tämä tutkimus).

Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) +++



Sormipaisukarve on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji, joka sietää eniten ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssit eli peittävyys pienentyvät vasta voimakkaasti kuormituilla alueilla. Sormipaisukarve on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta. Seuralaislajien lukumäärä 4,92.

Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++



Keltatyvikarve sietää myös hyvin ilman epäpuhtauksia ja sen esiintymisfrekvenssit noudattavat ilman epäpuhtauksien kuormitus-vyöhykkeitä. Keltatyvikarve viihtyy parhaiten sulkeutuneissa kosteissa metsissä (Pihlström & Myllyvirta 1995). Keltatyvikarvetta esiintyy hyvin yleisesti, ja se on ilman epäpuhtauksia kestävä, hyvä indikaattorilaji. Seuralaislajien lukumäärä 4,92.

Tuhkakarve ja harmaatyvikarve (*Parmeliopsis hyperopta* & *Imshaugia aleurites*) +++



Tuhkakarve ja harmaatyvikarve sijoittuvat kestävyydeltään kolmanneksi. Tämä sijoitus sopii yleensä hyvin näiden lajien esiintymisfrekvenssin alueelliseen jakaantumiseen, sillä kahta edellistä lajia herkempänä näiden lajien pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormituille alueille kuin sormipaisu- ja keltatyvikarpeella. Tuhka- ja harmaatyvikarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja, jotka tosin suosivat kuivia ja valoisa kalliomänniköitä. Seuralaislajien lukumäärä 5,33.

Seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ++



Seinäsuomujäkälää kasvaa luontaisesti vanhojen mäntyjen rungoilla. Se pystyy myös käyttämään hyväkseen ilmassa olevia epäpuhtauksia ja sen esiintyminen lisääntyy ilman saasteiden kuormituksen lisääntyessä. Seinäsuomujäkälä on kohtalaisen hyvä ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori eli sen esiintyminen kuvastaa lähinnä typpilaskeuman rehevöittävää vaikutusta. Seuralaislajien lukumäärä 5,29.

Lupot (*Bryoria* sp.) +++



Lupoilla on keskimäärin eniten seurannaislajeja rungoilla, mikä osoittaa sen herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Luppojen esiintymisfrekvenssit noudattavat yleensä ilmansaasteiden kuormitusta ja luppojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Lupot ovat hyviä ilman laadun indikaattoreita. Seuralaislajien lukumäärä 6,27.

Naavat (*Usnea* sp.) +++



Naavojen esiintymisfrekvenssit vaihtelevat ilmansaastekuormituksen mukaan yleensä samalla tavalla kuin lupoilakin. Naavojen seuralaislajien määrä on yleensä melko suuri kuten lupoilakin, mikä osoittaa näiden jäkälälajien herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Naavojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Rannikon läheisyys suosii naavojen esiintymistä. Seuralaislajien lukumäärä 6,22.

Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ++



Harmaaröyhelö on seuralaislajien määrän perusteella suhteellisen herkkä indikaattorilaji ja myös sen esiintymisfrekvenssit ovat yleensä loogisia: laji puuttuu kuormitetuilta alueilta ja eniten sitä todetaan puhtailla alueilla. Harmaaröyhelö on herkkä ilman epäpuhtauksille, mutta sen luontainen esiintyminen voi kuitenkin vaihdella suuresti, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi. Seuralaislajien lukumäärä 5,88.

Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +



Keltaröyhelön esiintyminen on usein varsin satunnaista, sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueita ja toisaalta se saattaa puuttua tausta-alueilta. Keltaröyhelön luontainen esiintyminen vaihtelee suuresti, mutta mahdollisesti myös ilman epäpuhtauksilla on vaikutusta sen esiintymiseen. Keltaröyhelön arvo ilman laadun indikaattorina jää kuitenkin pieneksi. Seuralaislajien lukumäärä 5,32.

Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) –



Ruskoröyhelö on yleensä 12 indikaattorilajin joukossa yksi harvinaisimmista lajeista. Sen esiintyminen vaihtelee usein hyvin satunnaisesti ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuiltakin alueilta. Ilmanlaadun indikaattorina ruskoröyhelö on huono. Seuralaislajien lukumäärä 6,94.

Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++



Hankakarve on hyvin yleinen jäkälälaji männyn rungolla. Keskimääräisen seuralaislajien määrän perusteella hankakarpeen voidaan katsoa olevan herkkä ilman epäpuhtauksille, ja myös sen esiintymisfrekvenssin alueellinen jakauma vastaa yleensä ilman epäpuhtauksien kuormituksen jakaumaa. Ilmansaasteet aiheuttavat selvästi havaittavia muutoksia hankakarpeen sekovarressa. Rannikon läheisyys suosii hankakarpeen esiintymistä, sillä se viihtyy valoisissa, kuivissa kalliomänniköissä. Indikaattorina se on kohtalainen. Seuralaislajien lukumäärä 5,80.

Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*) +



Raidanisokarve on harvinainen männyn rungolla esiintyvä jäkälälaji. Raidanisokarve on ravinteisuudesta hyötyvä jäkälälaji, jota esiintyy yleensä mm. kalkkipölyalueiden liepeillä. Raidanisokarve soveltuu kalkkipölyn indikaattoriksi. Yleensä raidanisokarve on niin harvinainen, että sen indikaattoriarvo jää pieneksi. Seuralaislajien lukumäärä 6,25.

Viherlevä ja vihersukkulajäkälä (*Algae & Scoliciosporum*) +++



Viherleväpeite lisääntyy lähinnä kasvaneen typpilaskeuman vaikutuksesta eli se on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori. Viherleväpeite ja vihersukkulajäkälä ovat hyviä typpikuormituksen indikaattoreita. Seuralaislajien lukumäärä 4,86.

Mäntyjen rungoilta tutkittiin 12 jäkälälajin esiintyminen standardin SFS 5670 mukaan kuitenkin laajentaen standardinmukaista menetelmää siten, että kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (taulukko 6). Kullakin havaintoalalla oli 5 tutkimuspuuta, joiden jäkälälajisto arvioitiin 50–200 cm:n korkeudelta. Sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste arvioitiin viisiasteisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (taulukot 7 ja 8, kuva 20). Yleisessä vaurioasteessa eritellään kasvutavaltaan pensasmaisiksi lupot, naavat ja hankakarve, loput lajit ovat lehtimäisiä. Sormipaisukarpeen ja luppojen (*Bryoria* sp.) esiintymisfrekvenssit laskettiin sapluunaruudukolta 1,2 m:n korkeudelta itä-koillisesta ja länsi-lounaasta. Esiintymisfrekvensseistä laskettiin kullekin puulle näiden lajien suhteellinen peittävyys.

Taulukko 6. Jäkälän runsauden luokittelu. Leväpeite (*Algae & Scoliciosporum*) ja seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) on luokiteltu peittävyysinä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.

Luokka	Sekovarsien määrä, kpl	Peittävyys, %
1	1 - 2	< 5
2	2 - 7	5 - 49
3	> 7	≥ 50

Taulukko 7. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus (SFS 5670).

Vaurio	Näkyvät muutokset
I terve	jäkälät terveitä tai lähes terveitä
II lievä vaurio	lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia
III selvä vaurio	jäkälät kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
IV paha vaurio	jäkälät pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
V kuollut tai puuttuu	



I = terve II = lievä vaurio III = selvä vaurio IV = paha vaurio V = kuollut tai puuttuu

Kuva 20. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus.

Taulukko 8. Yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

Yleinen vaurioluokitus	Näkyvät muutokset
I normaali	kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	pensasmaiset kitukasvuja, lehtimäiset normaaleja
III selvä vaurio	pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV paha vaurio	pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V kuolleet tai puuttuvat	myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä

Kullekin havaintopaikalle laskettiin havaintopaikan jäkäläkasvillisuutta kuvaava IAP-indeksi (Index of Atmospheric Purity, ilmanpuhtausindeksi) (LeBlanc ja DeSloover 1970). IAP-indeksillä voidaan esittää eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit yhtenä lukuarvona, jossa on otettu huomioon eri lajien herkkyydet ilman epäpuhtauksille. Korkea indeksiarvo kertoo runsaasta jäkälälajistosta ja siten hyvästä ilmanlaadusta, matalan indeksin arvon saavat puolestaan lajistoltaan köyhtyneet havaintoalat (taulukko 9). Indeksillä laskettiin kullekin havaintoalalle seuraavasti:

$$IAP = \sum_{i=1}^n (Q \times f) / 10$$

Q = kunkin jäkälälajin keskimääräinen seuralaislajien lukumäärä (ks. taulukko 5)

f = lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealalla (0-1)

n = jäkälälajien lukumäärä (10)

IAP-indeksi on laskettu käyttäen kymmentä standardin SFS 5670 mukaista indikaattorilajia. Laskennasta on jätetty pois seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ja levät sekä vihersukkulajäkälä (*Algae* ja *Scolio-sporum* sp.), jotka hyötyvät kuormituksesta.

Tässä selvityksessä käytetyt seuralaislajien lukumäärät (taulukko 5) on laskettu Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista, joka käsittää 7885 puuta (Huuskonen ym. 2010, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen & Lehkonen 2012). Vuoden 2005 tutkimuksessa käytetyt seuralaislajien lukumäärät oli laskettu Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan vuoden 2000 bioindikaattoritutkimuksen aineistosta. Vertailukelpoisuuden vuoksi aikaisempien tutkimusten IAP-indeksit laskettiin uudelleen käyttäen tässä tutkimuksessa määritettyjä seuralaislajimääriä. Kunkin lajin seuralaislajien määrissä seinäsuomujäkälä, levä sekä vihersukkulajäkälä on huomioitu.

Taulukko 9. Jäkälälajiston luokitus IAP-indeksin perusteella.

IAP-indeksi	Kuvaus jäkäläkasvillisuudesta
> 3	Luonnontilainen lajisto, mukana herkkiä jäkälälajeja
2 - 3	lajistossa on lieviä muutoksia, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti
1 - 2	lajisto on köyhtynyt, herkimpiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla
0,5 - 1	lajisto on erittäin selvästi köyhtynyt, herkimmat lajit puuttuvat yleisesti, rungoilla esiintyy yleisesti ilmansaasteista hyötyviä lajeja
< 0,5	jäkäläautio tai lähes jäkäläautio

Kullekin tutkimuspuulle ja -alalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lajimäärä. Ala- ja puukohtaisia lajimääriä laskettaessa ei huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä seinäsuomujäkälää sekä levää ja vihersukkulajäkälää, jolloin lajeja saattoi olla puuta tai alaa kohti enimmillään 10. Puhtailla taustalueilla havaitaan yleensä enemmän jäkälälajeja kuin kuormitetuilla alueilla. (Taulukko 10).

Taulukko 10. Jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella.

Lajilukumäärä	Lajiston kuvaus
0 - 1	Erittäin selvästi köyhtynyt
2 - 3	Selvästi köyhtynyt
4 - 5	Köyhtynyt
6 - 7	Lievästi köyhtynyt
≥ 8	Normaali jäkälälajisto

3.4 Jäkäläkartoituksen virhelähteet ja luotettavuus

Jäkäläkartoituksen tulosten luotettavuuteen vaikuttavat erityisesti kartoituksen tekijöiden lajintuntemus sekä kokemus bioindikaattoritutkimusten tekemisessä. Ainoastaan standardissa SFS 5670 esitettyjen 12 indikaattorilajin hallitseminen ei riitä, sillä lajintuntemuksen ollessa suppea voivat indikaattorilajit sekoittua muihin lajeihin. Ilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa lajien ulkonäköön huomattavia muutoksia, minä vuoksi vain luonnontilaisten jäkälien tunteminen ei ole tutkimuksen kannalta riittävää.

Eri jäkälälajien esiintymisen kirjaaminen voi vaihdella eri arvioitsijoiden kesken. Leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän kasvutavan vuoksi niiden havainnointi on erityisen hankalaa. Leväpeitettä voi esiintyä hyvinkin pieninä vihertävinä laikkuina. Seinäsuomujäkälä kasvaa yksittäisinä alle 1 mm:n kokoisina suomina. Tämä suomu peite voi olla lähes yhtenäinen, selvästi havaittava peite kaarnalla, tai niukimmillaan lähes yksittäisiä suomuja. Tyvikarpeiden osalta on kirjattu esiintymiseksi vain selvästi erottuva sekovarsi, ei kaarnan pinnalla oleva kellertävä tai vaalea jauhomainen kasvusto. Edellä esitettyjen syiden vuoksi näiden lajien havainnointiin ja runsauden arviointiin liittyvät erityisen suuret virhelähteet, kun verrataan eri tutkijoiden tuloksia keskenään.

Subjektiiivisiin arvioihin pohjautuva jäkälien näkyvien vaurioiden arviointi ja luokittelu aiheuttaa myös tutkijakohtaisia eroja jäkäläkartoituksen tuloksiin. Näiden virhelähteiden pienentämiseksi maastoryhmä koulutettiin ja arviointitasot saatettiin samalle tasolle testien avulla ennen maastokauden alkua. Maastoryhmän vaurioiden arviointitasoa ja jäkälälajien havainnoinnin tarkkuutta testattiin myös maastokauden aikana.

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen selvityksessä (Polojärvi ym. 2005) männyn epifyyttijäkälien ja sormipaisukarpeen vaurioiden havainnoinnin virhelähteistä todettiin, että arviot sormipaisukarpeen vaurioista eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien eivätkä eri havainnoijien arvioiden välillä. Havainnot ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärästä eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien havaintokertojen välillä, mutta eri havainnoijien välillä todettiin muutamia tilastollisesti merkitseviä eroja. Sormipaisukarpeen suhteellisissa peittävyyksissä todettiin tilastollisesti merkitseviä eroja sekä havainnoijien omien että eri havainnoijien tekemien mitausten välillä, kuten myös leväpeitteen arvioinnissa. Jäkälähavainnoista leväpeitteen havainnointi osoittautui tarkkuudeltaan epävarmimmaksi. Arviot leväpeitteen esiintymisestä poikkesivat havaintoaloilla, joilla leväpeitettä esiintyi mäntyjen rungoilla hyvin pieninä vihertävinä laikkuina. Leväpeitteestä poiketen seinäsuomujäkälän havainnoinnissa ei eroja todettu. (Taulukko 11.)

Taulukko 11. Jäkälähavaintojen mittaustarkkuus 95 %:n luottamusvälillä.

	ARVIOINTITARKKUUS	ERO TULOKSISSA
<i>Sormipaisukarpeen vauriot</i>		
Yhden havainnoijan arvioiden välinen vaihtelu	3 - 12 %	0,1 - 0,2 vaurioluokkaa
Usean havainnoijan välinen vaihtelu yhdellä havaintoalalla	10 - 16 %	0,2 - 0,4 vaurioluokkaa
<i>Jäkälälajien lukumäärä</i>		
Yhden havainnoijan arvioiden välinen vaihtelu	11 - 23 %	0,9 - 1,6 lajia
Usean havainnoijan välinen vaihtelu yhdellä havaintoalalla	0 - 5 %	0 - 0,9 lajia
<i>Sormipaisukarpeen peittävyys</i>		
Yhden havainnoijan arvioiden välinen vaihtelu	34 - 42 %	3,3 - 3,0 %-yks.
Usean havainnoijan välinen vaihtelu yhdellä havaintoalalla	11 - 22 %	0,7 - 4,9 %-yks.

3.5 Havupuiden neulaskadon eli harsuuntuneisuuden arvioiminen

Havupuiden neulaskato ei ilmennä nimenomaisesti ilman epäpuhtauksien vaikutuksia, vaan ensisijaisesti puun yleistä elinvoimaisuutta. Puun kasvupaikka, ikä, ilmasto-olosuhteet, sienitaudit, hyönteiset ja muut tuhonaiheuttajat vaikuttavat myös neulaskatoon. Epäpuhtauksien kuormitus yhdessä näiden tekijöiden kanssa voi johtaa suurempaan neulaskatoon kuin mitä tavattaisiin puhtaassa elinympäristössä (Jussila ym. 1999, Lindgren 2007). Joissain laajoja alueita kattavissa selvityksissä on havaittu korrelaatiota havupuiden neulaskadon ja epäpuhtauksien aiheuttaman kuormituksen välillä (Salemaa ym. 1991), mutta toisissa tutkimuksissa yhteyttä ei ole havaittu (Lindgren 2007).

Neulaskatoa arvioitaessa harsuuntuneiksi katsotaan puut, joiden neulaskato on yli 20 % tai 25 %. Tässä tutkimuksessa harsuuntumisen rajana käytettiin YK:n Euroopan talouskomission (ECE) käyttämää 25 %:n rajaa, jota myös Metsäntutkimuslaitos (Metla) käyttää. Tätä pienemmän vaihtelun katsotaan kuuluvan luontaiseen neulasmäärän vaihtelun piiriin. Männyllä neulaskato ilmenee usein epätasaisena, eli puussa voi olla yksittäisiä, muita voimakkaammin harsuuntuneita oksia. Voimakkaassa neulaskadossa latvus yleensä harsuuntuu melko tasaisesti. (Kuva 21.) Myös neulasvuosikertojen määrä kuvaa puun elinvoimaisuutta, ja yleensä neulaskadon lisääntyessä neulasvuosikertojen määrä vastaavasti vähenee.

Epäpuhtauksien kuormittamillakin alueilla havupuiden neulaskato on hyvin paikallinen ilmiö. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseurannassa mäntynäytealojen keskimääräisen neulaskadon on todettu edustavan vain kyseistä näytealaa, sillä tulosten yleistettävyyttä oli alle 0,3 km (Partanen ja Veijola 1996). Vaikka neulaskato ilmentääkin ilmanlaatua jokseenkin huonosti, on se kuitenkin selkeä puiden yleiskunnon mittari. Lisäksi neulaskadon arviointi on menetelmänä helppo ja nopea toteuttaa, ja sitä käytetäänkin paljon kansainvälisessä metsien tilan seurannassa.



Kuva 21. Eri asteisesti harsuuntuneita mäntyjä (ei neulaskatoa, lievä neulaskato, selvä neulaskato).

Mäntyjen harsuuntuneisuutta eli neulaskadon määrää arvioitiin Metsäntutkimuslaitoksen arviointiohjeiden mukaisesti (Lindgren ja Salemaa 1999). Havainnot tehtiin koealalla viideltä puulta tarkastelemalla kutakin puuta kiikareilla eri puolilta vähintään puun pituutta vastaavalta etäisyydeltä siten, että tarkasteltavan puun neulasmassaa verrattiin samalle kasvupaikalle kuvitellun terveen puun neulasmassaan. Arviot puun neulaskadon määrästä kirjattiin prosentteina, ja lisäksi arvioitiin neulasvuosikertojen määrä, mahdolliset tuhot ja taudit sekä neulasten väriviat (kellastuminen tai ruskettuminen). Neulasten värivikoja aiheuttavat ravinnepuutokset, hyönteistuhot (esim. kaarnakuoriaiset), sienet (esim. ruskopilkukkariste, männynharmaakariste ja männyn juurikääpä) sekä abioottiset tekijät, esim. ahava. Myös rikki- ja typpipäästöt voivat aiheuttaa värivikaisuutta. (Metla 2012.)

3.6 Neulaskatoarvion virhelähteet ja luotettavuus

Latvuksen kunnon arvioiminen on aina subjektiivista ja arviointitulokseen vaikuttavat esimerkiksi metsikön tiheydestä, sääoloista ja valaistuksesta aiheutuvat virhelähteet (Salemaa ym. 1993). Subjektiivisuudesta huolimatta harsuuntuneisuuden arviointi on käyttökelpoinen ja suhteellisen nopea menetelmä arviotaessa puiden elinvoimaisuutta. Menetelmän subjektiivisuudesta johtuvia eroja voidaan vähentää arvioijien koulutuksella sekä vakioimalla mahdollisimman monia arviointitulokseen vaikuttavia tekijöitä (arvioija, puu, tarkastelusuunta). Eri tutkimusten tulosten vertailukelpoisuutta vähentävät mm. arvioijien väliset erot, puiden erilaiset ikä- ja kokojakaumat sekä erilaiset kasvupaikat.

Metsäntutkimuslaitoksen arvioijien vertailussa on todettu, että 90 % yksittäisistä puista arvioidaan yhden neulaskatoluokan (± 10 %) virhemarginaalien sisälle. Näissä vertailuissa ei ole todettu tilastollisia eroja eri arvioijien välillä verrattaessa eri harsuuntuneisuusluokkiin luokiteltujen puiden osuuksia (Salemaa ym. 1993).

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen bioindikaattoritutkijoiden arviointitason vertailussa vuonna 1994 yhden neulaskatoluokan virherajoihin mahtui yli 95 % arvioiduista puista ja erot kohdepuiden jakaantumisessa neulaskatoluokkiin olivat pieniä ilman tilastollista merkitsevyyttä. Mäntyjen neulaskatoarvioiden keskiarvo oli alle yhden prosentin suurempi kuin metsäntutkimuslaitoksen arvioijien keskiarvo, eivätkä keskiarvot eronneet tilastollisesti toisistaan. (Niskanen 1995). Kesällä 1996 arviointitason todettiin vastaavan metsäntutkimuslaitoksen arvioijien tasoa (Niskanen ym. 1996). Kesällä 2000 ympäristöntutkimuskeskuksen maastoryhmän harsuuntuneisuusarviot olivat ensimmäisessä testissä keskimäärin 8 % pienempiä kuin Metlan arvioijien taso ryhmän sisäisen hajonnan ollessa kuitenkin pieni (Lindgren 2000). Myöhemmin samana kesänä maastoryhmän arviot eivät eronneet tilastollisesti Metlan Hannu Rantasen arvioista (Lindgren 2001). Vuonna 2007 yhden ympäristöntutkimuskeskuksen maastoryhmän jäsenen arviointitasot vastasivat hyvin Metlan arvioita, ja kahden jäsenen arviot olivat hieman Metlan arvioita korkeampia. (Lindgren 2007.)

Harsuuntuneisuuden arvioimiseen liittyvien virhelähteiden pienentämiseksi maastoryhmälle järjestettiin kesällä 2012 koulutusjakso ja arviointitasot testattiin ennen maastokauden alkua Metlan vertailupuilla yhdessä Metlan kanssa. Maastoryhmän ja Metlan neulaskatoarviot vastasivat hyvin toisiaan (Rantanen 2012).

3.7 Paikkatietomenetelmät

Paikkatietoaineistojen käsittelyssä, tuottamisessa ja visualisoinnissa hyödynnettiin MapInfo 8.0, MapViewer 5 sekä Surfer 8 -ohjelmistoja. Vyöhykekartat interpoloitiin kriging-menetelmällä. Kriging-menetelmä laskee tuntemattomalle pisteelle arvon painottamalla lähimpien tunnettujen pisteiden arvoja, mutta painotus ei perustu pelkästään pisteiden väliseen etäisyyteen ja ennustettuun sijaintiin, vaan myös tunnettujen pisteiden ja niiden arvojen spatiaaliseen järjestäytymiseen. Kriging-menetelmää käytettäessä huomioidaan spatiaalisen autokorrelaation vaikutus. Autokorrelaatio tarkoittaa sitä, että toisiaan lähellä olevissa paikoissa vastemuuttujan arvot ovat keskenään keskimäärin samanlaisempia kuin toisistaan kaukana olevissa paikoissa.

Vyöhykekarttoja tarkasteltaessa tulee huomioida, että interpolointitulokset on aina yleistys, jonka tarkkuuteen vaikuttaa ennen kaikkea tunnettujen pisteiden määrä ja tiheys. Näin ollen interpoloinnin tulosta voi-

daan pitää luotettavana niillä alueilla, joilla tunnettuja pisteitä (tutkimusaloja) on tiheässä, mutta harvan havaintoalaverkon alueilla interpoloinnin tulokseen tulee huomattavasti enemmän epävarmuustekijöitä. Kun havaintoalaverkosto on harva, yksittäisen havaintoalan tulos vaikuttaa laajempiin alueisiin kuin jos havaintoalaverkko olisi tiheä. Etelä-Karjalassa havaintoalaverkko on tiheämpi taajamissa ja harvempi tausta-alueilla, mikä voi vaikuttaa vyöhykekarttojen luotettavuuteen esimerkiksi Lemillä, Savitaipaleella, Ruokolahden pohjoisosissa ja Parikkalassa.

3.8 Tilastomenetelmät

Tilastomenetelmien avulla pyrittiin saamaan tietoa ilmanlaatu- ja taustamuuttujien vaikutuksesta tutkituihin muuttujiin, ilmanlaatua kuvaavien muuttujien välisestä yhteisvaihtelusta sekä vuosien välisistä eroista (Partanen ja Veijola 1996). Taustamuuttujiksi otettiin havaintoaloilla tehty havainnot sekä eräitä ilmanlaatua ja päästöjä kuvaavia muuttujia. Ilmanlaatu- ja päästömuuttujiksi valittiin havaintoalojen etäisyys lähimpään lupavelvolliseen teollisuus- tai energialaitokseen sekä tämän lähimmän laitoksen päästömäärät rikkidioksidin, typen oksidien sekä hiukkasten osalta (Ahonen 2012, Piutunen 2012, VAHTI 2012).

Mikäli tarkastellut muuttujat eivät noudattaneet parametrinen testien oletuksia, tehtiin niille logaritmi- ($\lg(X+1)$), potenssi- tai neliöjuurimuunnos. Jos muuttujat eivät muunnoksista huolimatta noudattaneet parametrinen testien oletuksia, käytettiin parametrittomia testejä. Tilastollisten testien tekemiseen käytettiin PASW Statistics 20.0 – ohjelmaa.

3.8.1 Taustamuuttujien vaikutus ja ilmanlaatua kuvaavien muuttujien keskinäiset korrelaatiot

Luokittelevien taustamuuttujien vaikutusta ilmanlaatua kuvaaviin muuttujiin testattiin parametrittomalla Kruskal-Wallisn varianssianalyysillä ja Mann-Whitneyn U-testillä. Luokittelevina muuttujina käytettiin metsätyyppiä, metsikön kehitysastetta ja metsikön soveltuvuutta tutkimukseen. Jatkuvien taustamuuttujien ja ilmanlaatua kuvaavien muuttujien välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla. Alle 0,3:n korrelaatiota ei yleisesti katsota merkitykselliseksi. Suurilla aineistoilla varsin pienetkin korrelaatiot voivat olla tilastollisesti merkitseviä. Tilastollisesti merkitsevä tulos ei siten aina merkitse sitä, että muuttujien välinen korrelaatio olisi voimakas.

Tilastollisissa tarkasteluissa on huomioitava se, että havaintoalat jakautuivat taustamuuttujien muodostamiin luokkiin epätasaisesti. Tämä voi osaltaan heikentää taustamuuttujien vaikutuksen tilastollisen arvioinnin luotettavuutta ja tulokset voivat erityisesti olla herkempiä parametrinen testien taustaoletusten rikkoutumisen aiheuttamille virheille, jotka vaikuttavat testin merkitsevyytasoon ja voimakkuuteen. Jos esimerkiksi sekä otoskoot että otosten varianssit eroavat ryhmittäin, riski tehdä tyypin 1 virhe, eli hylätä nollahypoteesi sen ollessa tosi, kasvaa (Ranta ym. 1989).

3.8.2 Vuosien väliset vertailut

Vuosien 1998, 2005 ja 2012 välisiä eroja tutkituissa muuttujissa tarkasteltiin parittaisten otosten merkkitestillä, toistomittausten varianssianalyysillä ja sen parametrittomalla vastineella Friedmanin testillä.

3.8.3 Regressioanalyysi

Tärkeimpien tutkittujen muuttujien riippuvuutta jatkuvista tausta- ja ilmanlaatua kuvaavista muuttujista tarkasteltiin usean selittävän muuttujan hierarkkisen regressioanalyysin avulla. Regressioanalyysin avulla pyrittiin vastaamaan siihen, miten selitettävän muuttujan arvojen vaihtelu riippuu selittävien muuttujien arvoista ja näiden muutoksista. Hierarkkisen regressioanalyysin avulla voitiin selvittää, mikä lopulta on ilmanlaatua kuvaavien muuttujien osuus tutkittujen vaihtelun selittämisessä, kun muut mahdolliset jäkä- ja mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaaviin muuttujiin vaikuttavat (tausta-)tekijät on huomioitu. Selittävät muuttujat lisättiin mukaan regressiomalliin tilastollisella STEPWISE-menetelmällä, joka tarkastaa aina jokaisen uuden mukaan otetun muuttujan jälkeen, onko jokin mallissa oleva muuttuja menettänyt merkityksensä. Tällöin vain merkitsevät selittävät muuttujat jäävät malliin mukaan. Mikäli regressioanalyysiin liittyvät oletukset (normaalisuus, lineaarisuus, homoskedastisuus, selittävien muuttujien korreloimatto-

muus, jäännösten riippumattomuus) eivät toteutuneet, yritettiin tilannetta korjata tekemällä selitettävälle muuttujalle logaritminmuunnos ($\lg(X+1)$). Joissain tapauksissa jäännökset kuitenkin riippuivat toisistaan eli olivat positiivisesti autokorreloituneita, mikä heikentää regressioanalyysiin liittyvää pienimmän neliösumman-estimointia ja t- ja F-testien tulosta. Autokorreloituneisuutta mitataan Durbin-Watsonin -testillä (d): käytännössä jäännökset ovat riippumattomia jos $1,6 < d < 2,4$.

3.8.4 Yhteisöanalyysit

Ordinaatiokuvaajilla havainnollistettiin havaintoalojen jäkäläyhteisöjen sijoittumista toisiinsa nähden ja ympäristömuuttujien ja jäkäläyhteisöjen välistä suhdetta. Menetelmä perustuu tässä tapauksessa jäkäläyhteisöaineistoista laskettuihin havaintoalojen etäisyysmatriiseihin. Ordinaatiot ja taustamuuttujien sovitukset tehtiin R:llä (versio 2.15.2), joka on S-kieleen perustuva vapaasti saatavissa oleva ja käytettävä ohjelmointikieli (R 2012). Sitä käytetään yleisesti ekologisten havaintojen tilastolliseen tarkasteluun. R:n käyttäjät ovat tehneet tiettyihin tapauksiin soveltuvia paketteja. Ordinaatioissa ja taustamuuttujien sovituksissa käytettiin R:n vegan-pakettia (Oksanen ym. 2012). Data käsiteltiin R:ää varten sopivaksi R Commander -käyttöliittymällä (Fox ym. 2009).

Datasta eroteltiin omiksi ryhmikseen jäkälälajien lukumäärät, jäkälälajien runsaudet, jäkälähavainnoista saatavat suuret (IAP, lajilukumäärä sekä alaa että puuta kohti, sormipaisukarpeen ja yleinen vaurioaste, sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys) ja taustamuuttujat. Lisäksi datasta poistettiin rivit, joilla oli puuttuvia arvoja. Jäkäläsuureiden arvot skaalattiin samalle asteikolle vertailun mahdollistamiseksi. Kaikkiaan ordinaatiossa oli mukana 261 havaintoalaa. Ordinaatioon käytettiin NMDS-menetelmää (nonmetric multidimensional scaling), joka ei tee oletuksia riippuvuuksien lineaarisuudesta. NMDS sopii hyvin aineistolle, jossa on käytetty sattumanvaraista, epäjatkovaa tai muuten epämääräistä mitta-asteikkoa (McCune & Mefford 1999). Käytetty vegan-paketin funktio metaMDS etsii satunnaisilla aloituksilla optimaalista ratkaisua. Jos löytyy kaksi riittävän samanlaista ratkaisua, niin metaMDS raportoi sen optimaalisena. Ellei optimaalista ratkaisua löydy, niin tuloksena ilmoitetaan stressiarvoltaan pienin ratkaisu. Stressiarvolla mitataan ordinaation poikkeamaa todellisesta tilanteesta eli ordinaation onnistumista. Jotta ordinaatiota voitaisiin pitää onnistuneena ja väärin johtopäätösten riskiä pienenä, tulisi stressiarvon olla pienempi kuin 10. Stressiarvon lähestyessä 20:ta, värintulkintojen todennäköisyys kasvaa eikä ordinaatioon tulisi tällöin luottaa liikaa. Stressiarvo voi kasvaa myös otoskoon kasvaessa (McCune & Grace 2002).

Etäisyysmittana ordinaatiossa käytettiin Bray-Curtisin etäisyysmittaa. Akseleita pyöritetään metaMDS:ssä siten, että varianssi on suurin ensimmäisessä dimensiossa. Lopulta kullekin havaintoalalle saadaan koordinaatit sekä painotettuina keskiarvoina lasketut lajien tai suureiden sijainnit ordinaatioavaruudessa. (Oksanen 2012.) Taustamuuttujat sovitettiin ordinaatioon veganin envfit-funktiolla. Funktio antaa vektorien lisäksi r^2 -arvon ja muuttujan merkitsevyyden. Vektori osoittaa suuntaan, jossa ympäristömuuttujan muutos on ollut suurinta. Vektorin pituus puolestaan kertoo ordinaation ja ympäristömuuttujan välisestä korrelaatiosta (Oksanen 2012).

4. Tulokset

4.1 Mäntyjen runkojäkälät

Mäntyjen jäkälälajistoa kuvaavien muuttujien keskiarvot, suurin ja pienin arvo sekä keskihajonta on esitetty taulukossa 12. Kutakin jäkälälajistoa kuvaavaa muuttujaa on tarkasteltu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Taulukko 12. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksin, alakohtaisen ja puukohtaisen lajimäärän, sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, sormipaisukarpeen peittävyys, luppojen peittävyys ja levän yleisyyden keskiarvo, keskihajonta ja pienin ja suurin arvo. Lajimääriä laskettaessa ei ole huomioitu levää ja seinäsuomujäkälää.

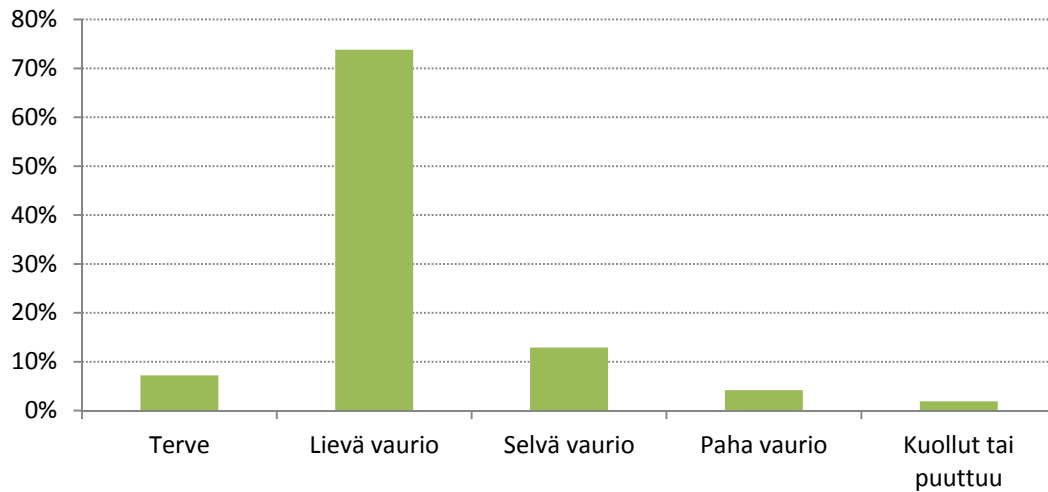
n = 263	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
IAP	2,6	0	4,7	0,94
Lajimäärä/näyteala	6,5	0	10	1,92
Lajimäärä/puu	4,9	0	9	1,61
Yleinen vaurioaste	3,0	1,4	5,0	0,84
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,1	1,0	5,0	0,70
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	14,1	0	72,3	10,82
Luppojen peittävyys (%)	0,10	0	2,2	0,33
Levän yleisyys	2,3	0	5	1,97

4.1.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste

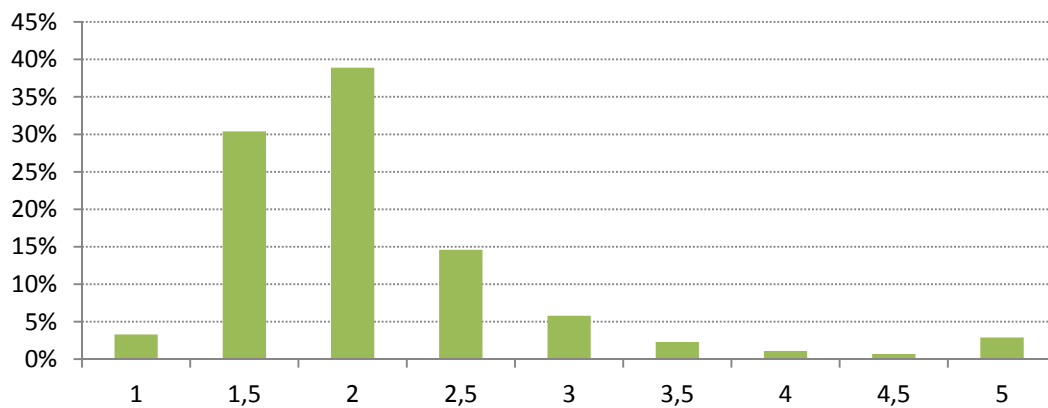
Sormipaisukarpeen vaurioasteita arvioitiin puolen vaurioluokan välein viisiportaisella asteikolla (ks. taulukko 7 ja kuva 20), jossa vaurioluokka 1 = terve, 2 = lievästi vaurioitunut, 3 = selvästi vaurioitunut, 4 = pahasti vaurioitunut ja 5 = kuollut tai puuttuva. Vaurioita arvioitiin puittain, minkä perusteella arvioitiin havaintoalan keskimääräinen vaurioaste.

Sormipaisukarpeen vauriot olivat tutkimusalueella keskimäärin lieviä (keskimääräinen vaurioaste 2,1). Vaurioasteet vaihtelivat tutkimusalueella terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan (taulukko 12). Vaurioiden jakaantumista koko aineistossa tutkittiin luokittelemalla vaurioasteet sekä havaintoaloittain että havaintopuittain (kuvat 22 ja 23). Suurimmalla osalla (74 %) havaintoaloista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta. Sormipaisukarve oli tervettä 7 %:lla havaintoaloista, selvästi vaurioitunutta 13 %:lla havaintoaloista ja pahasti vaurioitunutta 4,2 %:lla havaintoaloista. Sormipaisukarve puuttui viideltä havaintoalalta eli 1,9 % havaintoaloista.

Tutkimuspuittain tarkasteltuna sormipaisukarve oli tervettä tai melkein tervettä (vaurioaste 1 tai 1,5) 33,7 %:lla havaintopuista. Suurella osalla (39 %) tutkimuspuista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta, ja 13 %:lla vauriot olivat lievän ja selvän välillä (vaurioaste 2,5). Selviä ja tätä suurempia vaurioita havaittiin 10 %:lla puista. Rungoista 2,9 %:lla (38 runkoa) sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui.



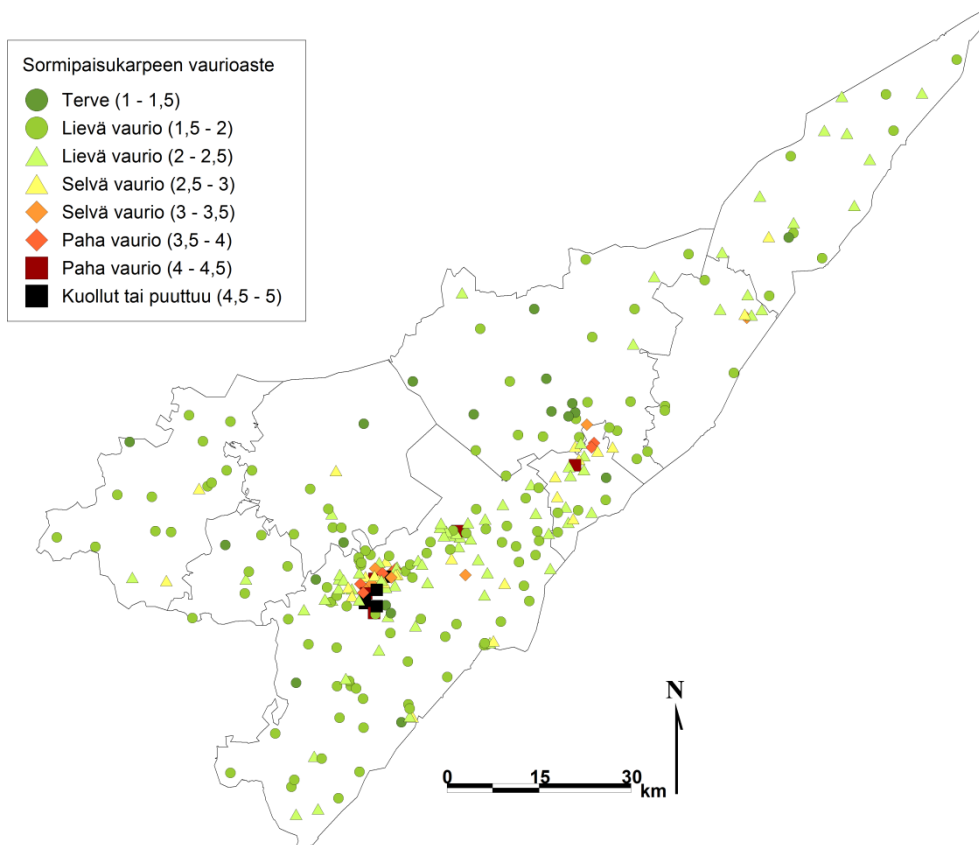
Kuva 22. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla luokittain vuonna 2012. N = 263.



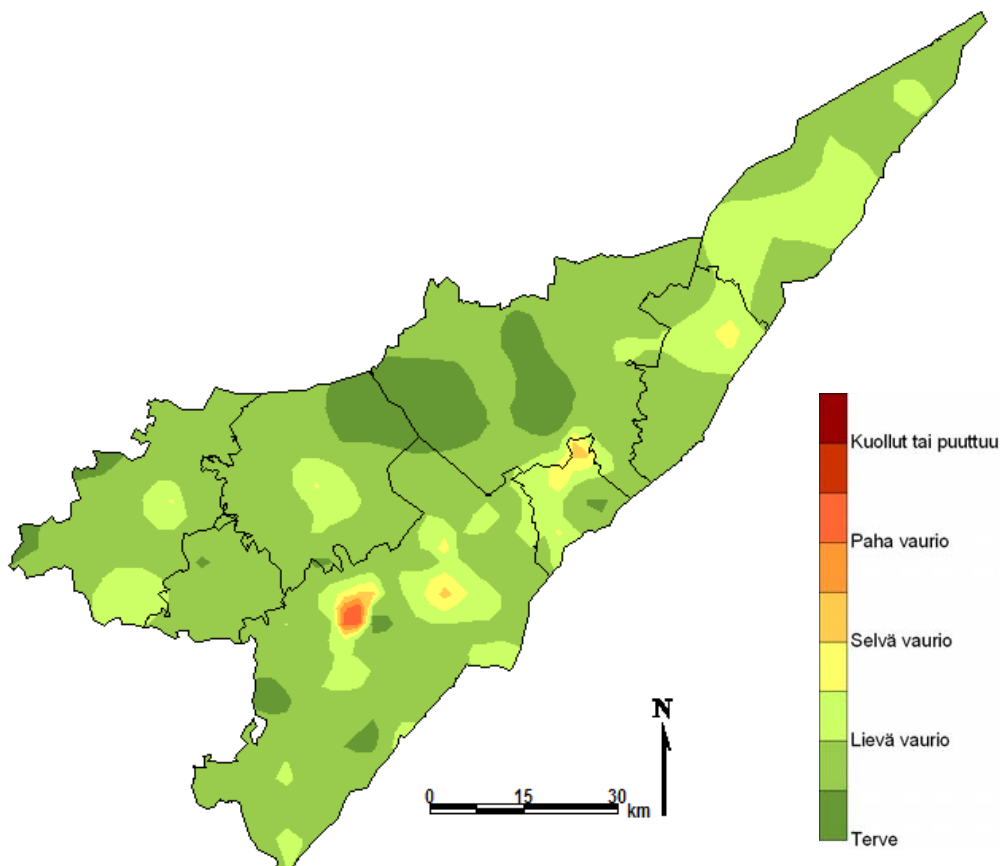
Kuva 23. Sormipaisukarpeen vaurioasteet luokiteltuna rungoittain vuonna 2012. N = 1315.

Sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui viideltä havaintoalalta, jotka sijaittivat Ihalaisen ja Kaukaan teollisuusalueiden ympäristössä Lappeenrannassa. Pahoja vaurioita havaittiin 11 havaintoalalla Lappeenrannan Ihalaisen ja Kaukaan teollisuusalueiden läheisyydessä sekä Imatran ja Joutsenon sellu- ja paperitehtaiden läheisyydessä. Selviä vaurioita havaittiin 34:lla havaintoalalla, jotka sijaittivat pääasiassa Lappeenrannan ja Rautjärven Simpeleen keskusta-alueella sekä Joutsenossa ja Imatralla. Lieviä vaurioita havaittiin 194:lla havaintoalalla, jotka sijoittuivat ympäri tutkimusalueetta, mutta erityisesti Lappeenrannasta Imatralla ulottuvalla vyöhykkeelle, Simpeleen keskusta-alueelle ja Parikkalaan. Sormipaisukarve oli tervettä 19:lla havaintoalalla, jotka painottuivat erityisesti Ruokolahden kunnan alueelle. (Kuva 24.)

Terveen (vaurioaste 1-1,5) sormipaisukarpeen vyöhykkeet sijoittuivat Ruokolahden kunnan alueelle ja Kyläniemeen Taipalsaaren kunnan alueelle. Lievästi vaurioituneen (vaurioaste 1,5-2,5) sormipaisukarpeen vyöhykkeet kattoivat valtaosan tutkimusalueesta. Selvästi vaurioituneen sormipaisukarpeen vyöhykkeitä muodostui Joutsenoon, Imatralla Stora Enson tehtaiden läheisyyteen ja Simpeleen keskusta-alueelle. Tutkimusalueen ainoa pahojen sormipaisukarpeen vaurioiden vyöhyke sijoittui Lappeenrantaan Ihalaisen teollisuusalueen ympäristöön. (Kuva 25.)



Kuva 24. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla vuonna 2012.



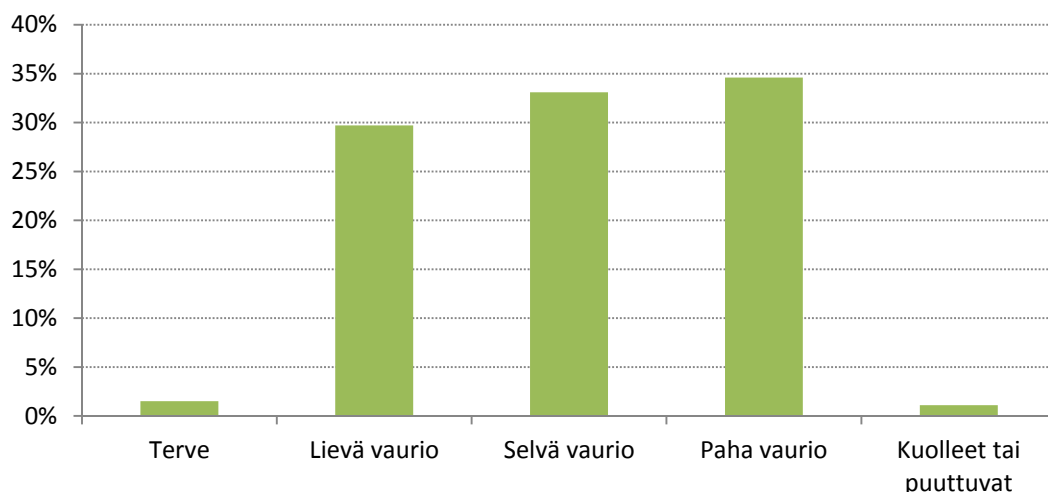
Kuva 25. Sormipaisukarpeen vaurioasteita kuvaavat vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2012.

4.1.2 Yleinen vaurioaste

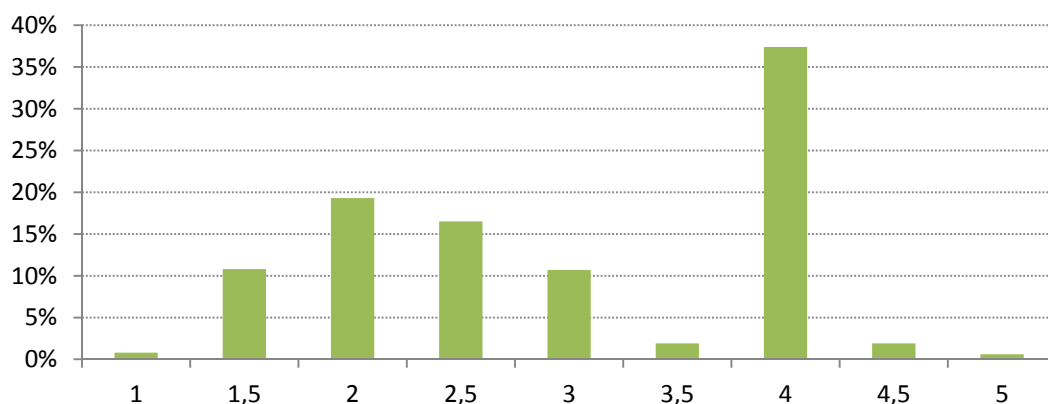
Yleistä vaurioastetta arvioitiin jäkälälajiston kunnon ja koostumuksen perusteella viisiportaisella asteikolla puolen vaurioluokan välein (ks. taulukko 8), jossa vaurioluokka 1 = terve, 2 = lievästi vaurioitunut, 3 = selvästi vaurioitunut, 4 = pahasti vaurioitunut ja 5 = kuollut tai puuttuva. Vaurioita arvioitiin puittain, jonka perusteella arvioitiin havaintoalan keskimääräinen vaurioaste.

Yleinen vaurioaste oli keskimäärin 3,0, eli jäkälälajisto oli tutkimusalueella keskimäärin selvästi vaurioitunutta. Vaurioasteet vaihtelivat terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan (taulukko 12). Vaurioiden jakaantumista koko aineistosta tutkittiin luokittelemalla vaurioasteet sekä havaintoaloittain että havaintopuittain (kuvat 26 ja 27). Suurimmalla osalla (35 %) havaintoaloista jäkälät olivat pahasti vaurioituneita. Melkein yhtä suurella osalla aloista jäkälät olivat lievästi (30 %) tai selvästi vaurioituneita (33%). Havaintoaloista 1,5 %:lla jäkälälajisto oli tervettä. Jäkälälajisto oli kuollutta tai puuttuvaa 3 alalla eli 1,1 %:lla havaintoaloista.

Tutkimuspuittain tarkasteltuna lajisto oli täysin tervettä (vaurioaste 1) 11 puulla, ja 11 %:lla melkein tervettä (vaurioaste 1,5). Suurimmalla osalla (39 %) tutkimuspuista lajisto oli pahasti vaurioitunutta. Yleinen vaurioaste arvioitiin lieväksi 30 %:lla ja selväksi 27 %:lla rungoista. Jäkälälajisto oli kuollut 8 tutkimusrungolla. Normaalijakaumasta poikkeava jakauma selittyy yleisen vaurioasteen arviointiperusteella: puun jäkälälajisto luokitellaan pahasti vaurioituneeksi, jos puulla ei kasva pensasmaisia lajeja (luppoja, naavoja tai harmaahankakarvetta), vaikka lehtimäiset lajit olisivatkin vain lievästi tai selvästi vaurioituneita.



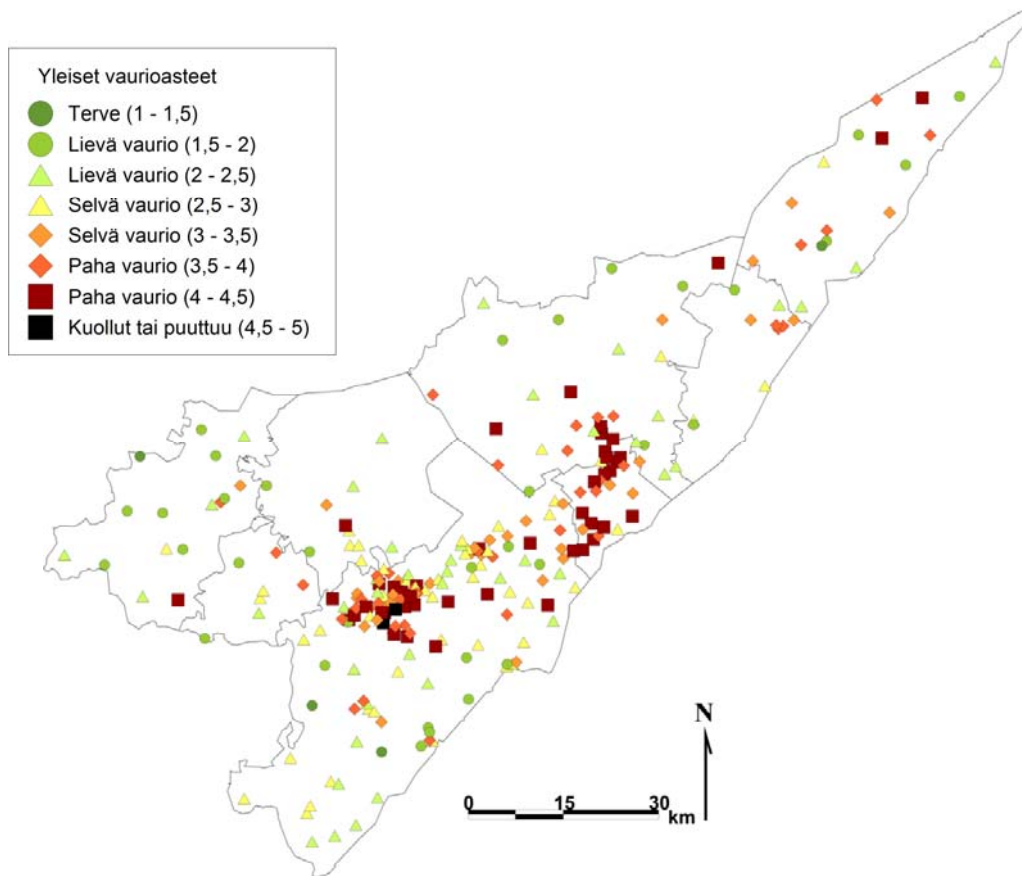
Kuva 26. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna aloittain vuonna 2012. N = 263.



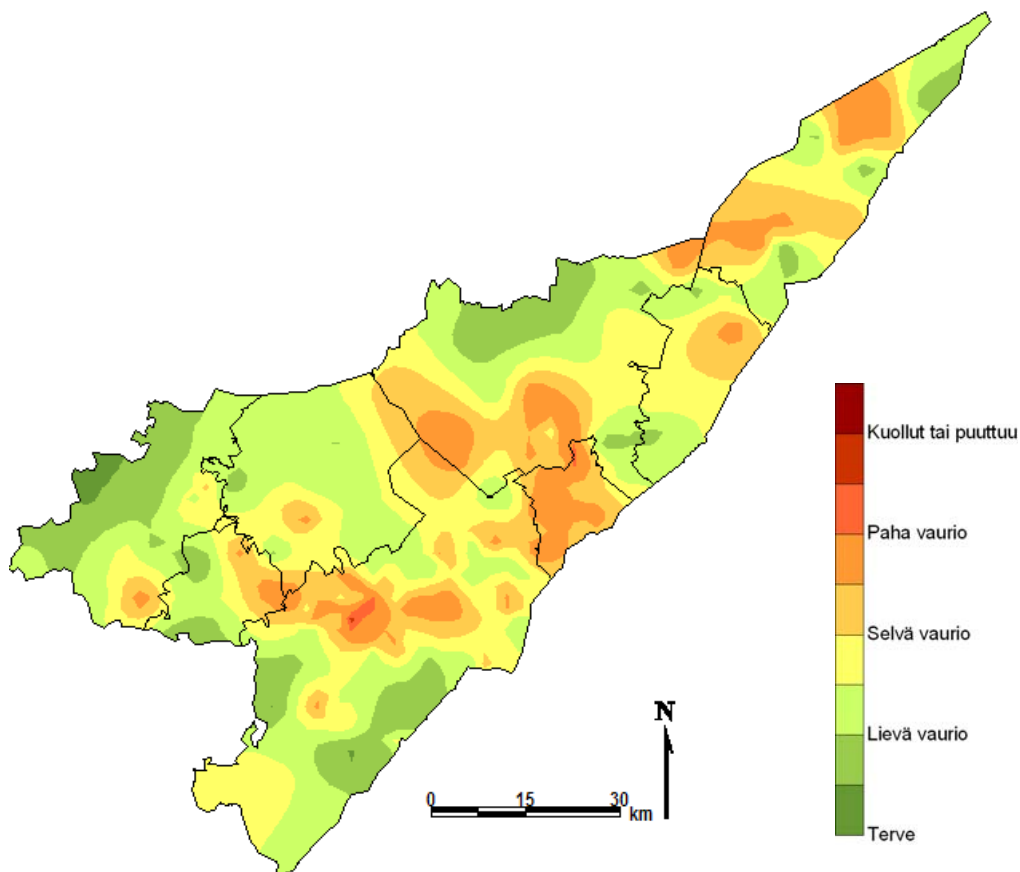
Kuva 27. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna rungoittain vuonna 2012. N = 1315.

Jäkälälajiston suurimmat vauriot painottuivat pääasiassa samoille alueille kuin sormipaisukarpeen vauriot, mutta jäkälälajiston yleiset vaurioasteet olivat keskimäärin 0,5-1,5 vaurioluokkaa sormipaisukarpeen vau-

rioastetta suurempia. Jäkälälajiston selvien ja pahojen vaurioiden vyöhykkeitä muodostui myös sellaisille alueille, joilla sormipaisukarpeen vauriot olivat lieviä, kuten Ruokolahden kaakkois- ja lounaisosaan, Imatralle, Lemin itäosaan, Parikkalan pohjoisosaan ja Lappeenrannan eteläosaan. Suunnilleen yhtä suuret osat tutkimusalueesta olivat yleisen vaurioasteen perusteella lievästi ja selvästi vaurioitunutta. Terve vyöhyke muodostui vain Savitaipaleen kunnan länsiosaan. (Kuvat 28 ja 29.)



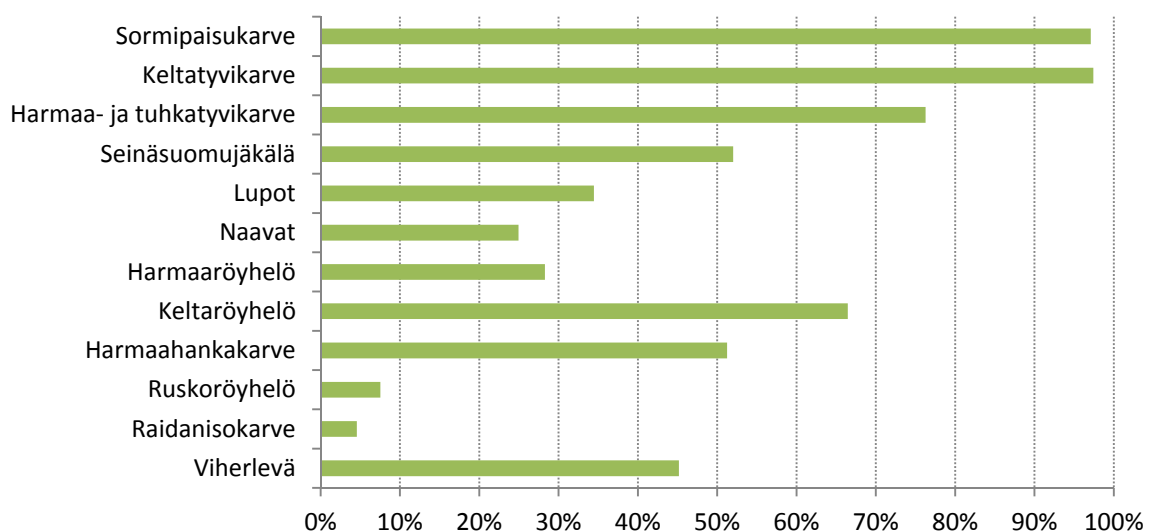
Kuva 28. Yleinen vaurioaste havaintoaloilla vuonna 2012.



Kuva 29. Yleisen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2012.

4.1.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys

Yleisimmät lajit tutkimusalueella olivat sormipaisukarve ja keltatyvikarve, joita esiintyi lähes jokaisella tutkimuspuulla. Myös harmaa- ja tuhkatyvikarvetta kasvoi suurella osalla (76 %) tutkimuspuista. Yli puolella tutkimuspuista esiintyi keltaröyhelöä (67 %), seinäsuomujäkälää (52 %) ja hankakarvetta (51 %). Viherlevää esiintyi 45 %:lla puista, luppoja 34 %:lla, naavaa 25 %:lla ja harmaaröyhelöä 28 %:lla puista. Harvinaisimmat lajit olivat ruskoröyhelö (7,5 % puista) ja raidanisokarve (4,6 %). (Kuva 30.)

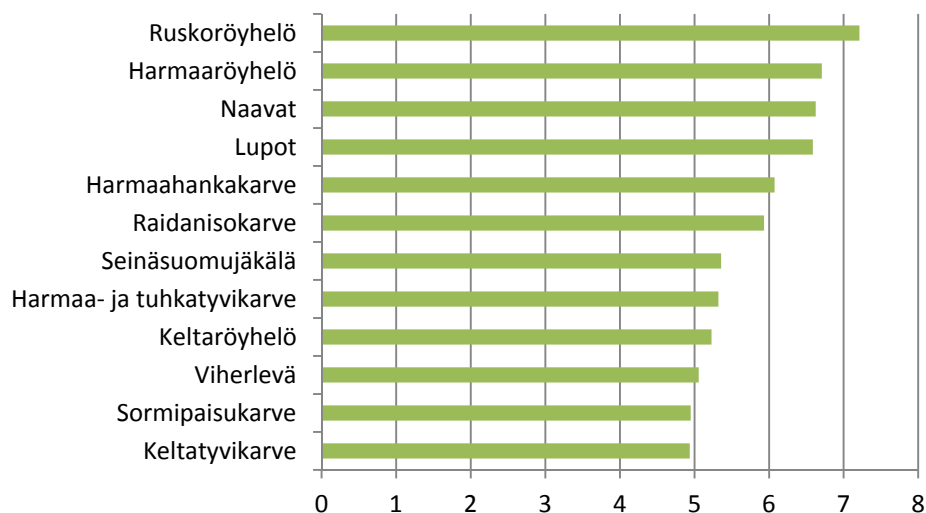


Kuva 30. Männyn runkojäkälien esiintymistiheys tutkimusalueella vuonna 2012.

Runkojäkälien seuralaislajien, eli kyseisen lajin kanssa samalla rungolla esiintyvien muiden lajien määrät, on esitetty kuvassa 31. Eniten seuralaislajeja (seuralaislajimäärät suluisissa) oli tutkimusalueella melko har-

vinaisena esiintyvillä ruskoröyhelöllä (7,21), harmaaröyhelöllä (6,71), naavoilla (6,63) ja lupoilta (6,59). Yli viisi seuralaislajia oli harmaahankakarpeella, raidanisokarpeella, seinäsuomujäkälällä, harmaa- ja tuhkatyvikarpeella, keltaröyhelöllä ja viherlevällä. Vähiten seuralaislajeja oli sormipaisukarpeella ja keltatyvikarpeella (4,95 ja 4,94).

Tutkimuksessa havaitut seuralaislajimäärät noudattavat melko hyvin oletuksia jäkälien herkkyydestä ilman epäpuhtauksille. Eniten seuralaislajeja oli tutkimusalueella harvinaisena esiintyvällä ruskoröyhelöllä, jonka indikaattoriarvo on kuitenkin satunnaisen esiintymisen vuoksi pieni. Hyviä indikaattorilajeja ovat seuralaislajien ja yleisyyden puolesta harmaaröyhelö, lupot ja naavat. Tutkimusalueen harvinaisimmalla lajilla raidanisokarpeella havaittiin vähemmän seuralaislajeja kuin muilla tutkimusalueilla. Tässä tutkimuksessa raidanisokarvetta esiintyi erityisesti Lappeenrannan Ihalaisen teollisuusalueen läheisyydessä, missä se indikoi teollisuusalueelta ilmaan pääsevää kalkkipölyä. Muut lajit esiintyivät kuitenkin niukkana Ihalaisen ympäristössä, mistä johtuen raidanisokarpeen seuralaislajimäärä jäi tutkimuksessa pieneksi. Keltaröyhelö on melko yleinen, mutta esiintyy satunnaisesti, eikä sen indikaattoriarvo ole erityisen hyvä. Vähiten seuralaislajeja oli kuormitusta hyvin kestäville lajeille viherlevällä, sormipaisukarpeella ja keltatyvikarpeella. Seinäsuomujäkälä on hyvin kuormitusta kestävä laji, mutta sillä oli melko paljon seuralaislajeja Etelä-Karjalassa. Toisaalta seinäsuomujäkälä viihtyy hyvin myös vanhoilla, kilpikaarnoittuvilla männyillä, mikä voi vaikuttaa sen seuralaislajien lukumäärään.



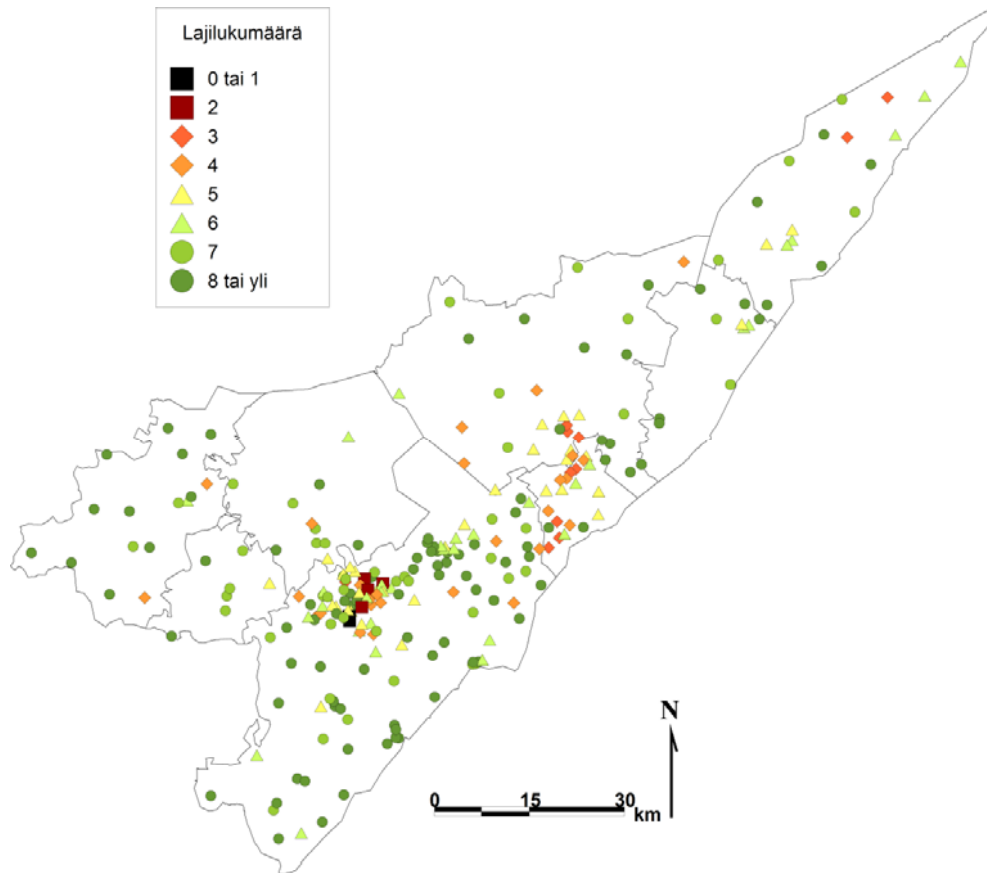
Kuva 31. Männyn runkojäkälien seuralaislajien lukumäärät tutkimusalueella vuonna 2012.

Tutkimusalueella havaittiin keskimäärin 6,5 lajia havaintoalaa kohti ja 4,9 lajia havaintopuuta kohti. Keskimäärin tutkimusalueen jäkälälajisto oli siis havaintoalakohtaista lajimäärää tarkasteltaessa lievästi köyhtynyttä ja puukohtaista lajimäärää tarkasteltaessa köyhtynyttä. Vaihteluväli havaintoaloilla oli 0-10 ja havaintopuilla 0-8. (Taulukko 12.) Kokonaan jäkäläautioita havaintopuita tutkimusalueella oli 8. Vastaavasti puita, joilla havaittiin 9 ilman epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia, oli 34. Yhdelläkään tutkimusrungolla ei havaittu kaikkia ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkälälajeja.

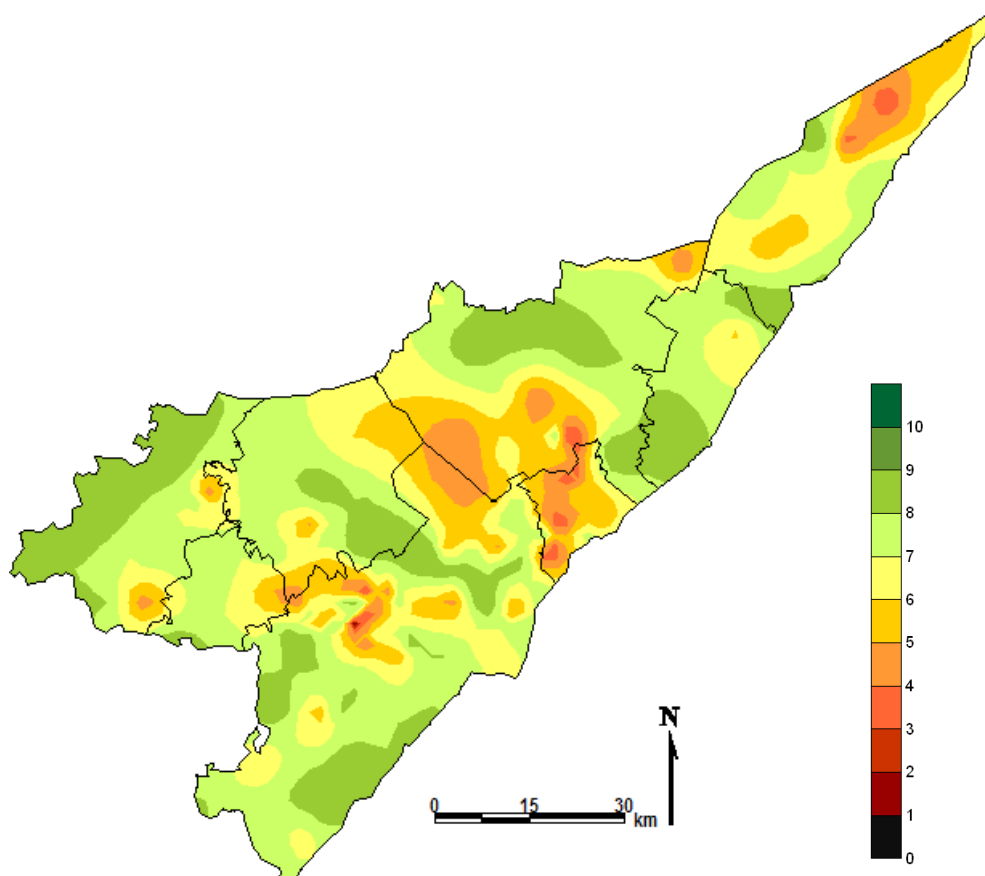
Jäkälälajisto oli erittäin selvästi köyhtynyttä kahdella Lappeenrannan Ihalaisen teollisuusalueen läheisyydessä sijaitsevalla alalla. Toisella alalla (127) ei havaittu lainkaan ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkälälajeja ja toisella havaittiin vain yksi laji. Vain kolme ilman epäpuhtauksista kärsivää lajia havaittiin 16 alalla, jotka sijoituivat tutkimusalueen merkittävimpien teollisuuslaitosten läheisyyteen Lappeenrantaan, Imatralle ja Imatran ja Ruokolahden kuntien rajoille. Myös Parikkalan kunnan pohjoisosassa oli kaksi lajistoltaan selvästi köyhtynyttä alaa. 4-5 lajia eli köyhtynyt jäkälälajisto oli 61 alalla, jotka nekin painottuivat merkittävämpien päästölähteiden läheisyyteen, tosin myös Parikkalan eteläosaan ja Savitaipaleelle. 6-7 lajia eli lievästi köyhtynyt lajisto oli 84 alalla. Suurin osa havaintoaloista (101) oli jäkälälajistoltaan luonnontilaisia eli niillä esiintyi vähintään 8 ilman epäpuhtauksista kärsivää lajia. (Kuva 32.)

Jäkälälajistoltaan tutkimusalueen runsaslajisinta aluetta olivat Ruokolahden pohjoisosat, Rautjärven ja Parikkalan eteläosat, Savitaipaleen länsiosa ja Lappeenrannan ja Joutsenon keskustaajamien välistä Taipal-

saarelle ulottuva vyöhyke. Lajistoltaan köyhtyneintä aluetta olivat Parikkalan pohjoisosa, Imatra kokonaisuudessaan, Ruokolahden eteläosat, Lappeenrannan keskustan seutu ja Lappeenrannan keskustasta Lemin itäosaan ulottuva vyöhyke. Myös Joutsenoon ja Ruokolahden kunnan koillisosaan muodostui pienialaisia köyhtyneen lajiston vyöhykkeitä. (Kuva 33.)



Kuva 32. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärät havaintoaloilla vuonna 2012.



Kuva 33. Vyöhykkeittäinen kuvaus ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärästä tutkimusalueella vuonna 2012.

Ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien yleisyydet

Kuvissa 34-37 on esitetty ilman epäpuhtauksista kärsivien luppohen, naavojen, harmaaröyhelön ja harmaahankakarpeen yleisyydet vyöhykkeinä asteikolla 0-5 (0 = lajia ei havaittu tutkimusalueella lainkaan, 5 = lajia havaittiin jokaisella tutkimuspuulla).

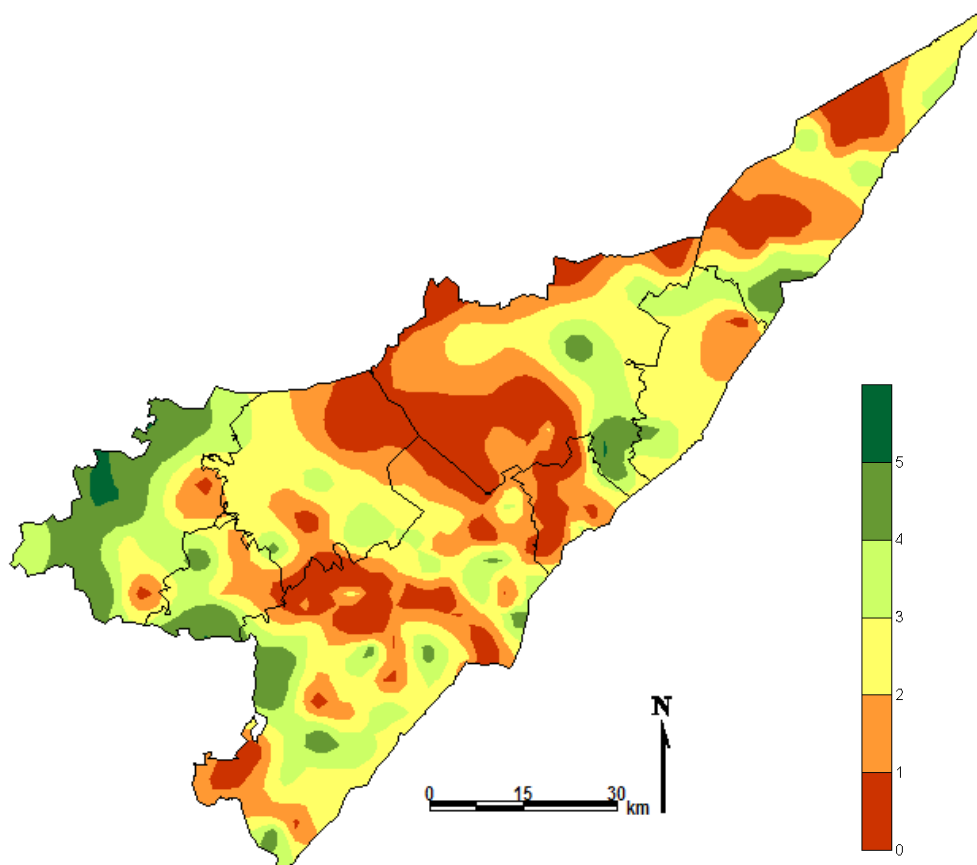
Luppoja havaittiin tutkimusalueella 34 %:lla puista ja 64 %:lla aloista. Kymmenesosalla havaintoaloista loppoja kasvoi jokaisella tutkimusrungolla. Keskimäärin loppoja havaittiin havaintoalalla 1,7 puulla. Vyöhykkeet, joilla loppot esiintyivät runsaina olivat varsin pienialaisia ja sijoittuivat Savitaipaleen kunnan alueelle, Lemminkäisen eteläosaan, Ruokolahden kaakkoisosaan ja Parikkalan eteläosaan. Alueet, joilla loppoja esiintyi vain yhdellä tutkimusrungolla tai ei lainkaan, sijoittuivat Parikkalaan, Joutsenoon, Imatralta Ruokolahden länsi- ja eteläosaan ulottuvalle vyöhykkeelle ja Vuoksesta pitkin Lappeenrannan keskusta-alueen kautta Taipalsaarelle ja Lemminkäisen ulottuvalle vyöhykkeelle. (Kuva 34.)

Naavoja havaittiin tutkimusalueella 25 %:lla puista ja 51 %:lla aloista. Naavoja kasvoi jokaisella tutkimusrungolla vain 7 %:lla havaintoaloista. Keskimäärin naavoja havaittiin 1,2 puulla. Naavat olivat yleisimpiä pienialaisilla alueilla Savitaipaleen luoteisosassa, Ruokolahden pohjoisosassa ja Parikkalassa. Naavat olivat harvinaisia samoilla alueilla kuin loppokin. (Kuva 35.)

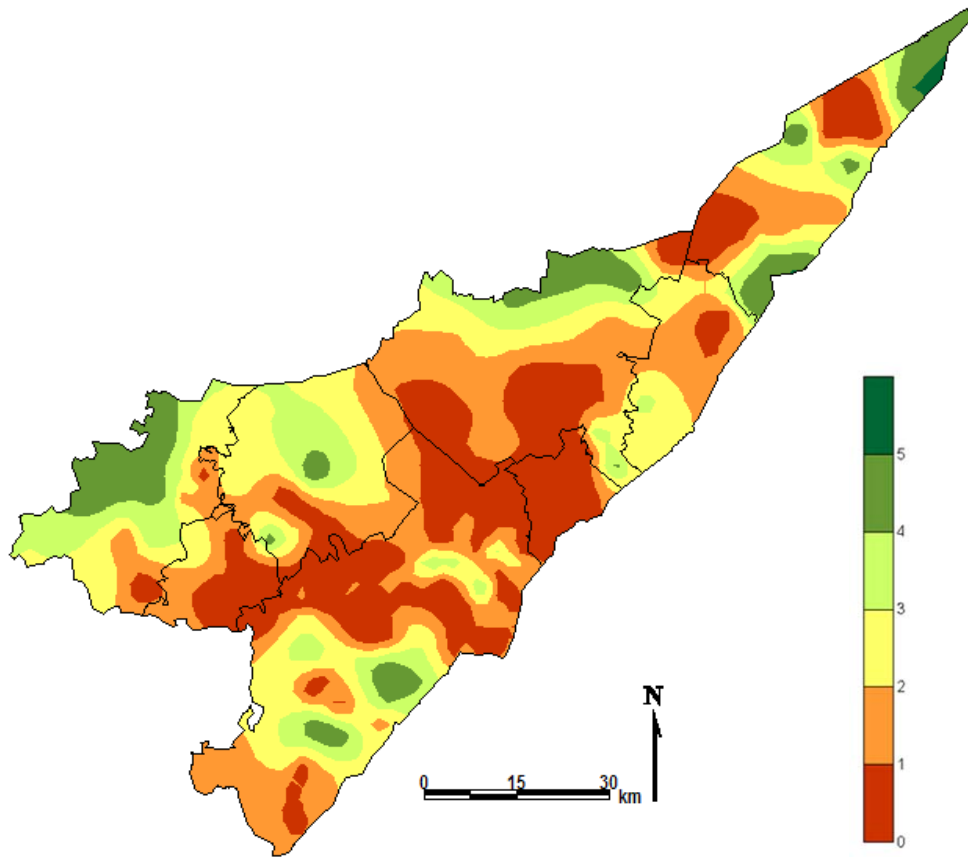
Harmaaröyhelöä tavattiin tutkimusalueen puissa selvästi harvemmin kuin harmaahankakarveta: sitä havaittiin 28 %:lla tutkituista puista ja 53 %:lla aloista. Keskimäärin harmaaröyhelö kasvoi havaintoalalla 1,4 puulla. Valtaosalla tutkimusalueesta harmaaröyhelöä ei tavattu lainkaan. Laji oli yleisin tutkimusalueen etelä- ja länsiosassa ja Ruokolahden kunnan pohjoisosassa. (Kuva 37.)

Harmaahankakarve oli tutkimusalueella melko yleinen laji, sitä havaittiin 51 %:lla puista 73 %:lla aloista. Melkein kolmasosalla havaintoaloista harmaahankakarveta kasvoi jokaisella tutkimusrungolla. Lajia esiintyi havaintoalalla keskimäärin 2,6 puulla. Harmaahankakarve oli yleisin tutkimusalueen etelä- ja lounais-

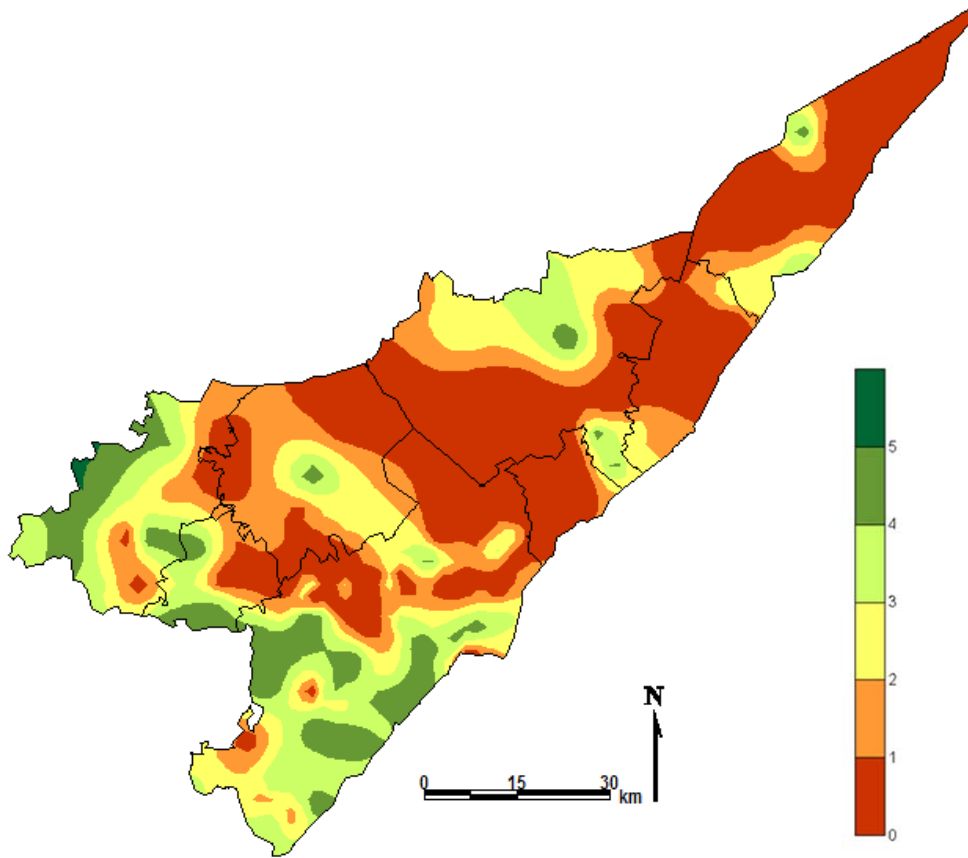
osissa. Vyöhykkeet, joilla harmaahankakarve esiintyi harvemmin tai puuttui, painottuivat samoille alueilla kuin luppojen ja naavojen vastaavat vyöhykkeet. (Kuva 36.)



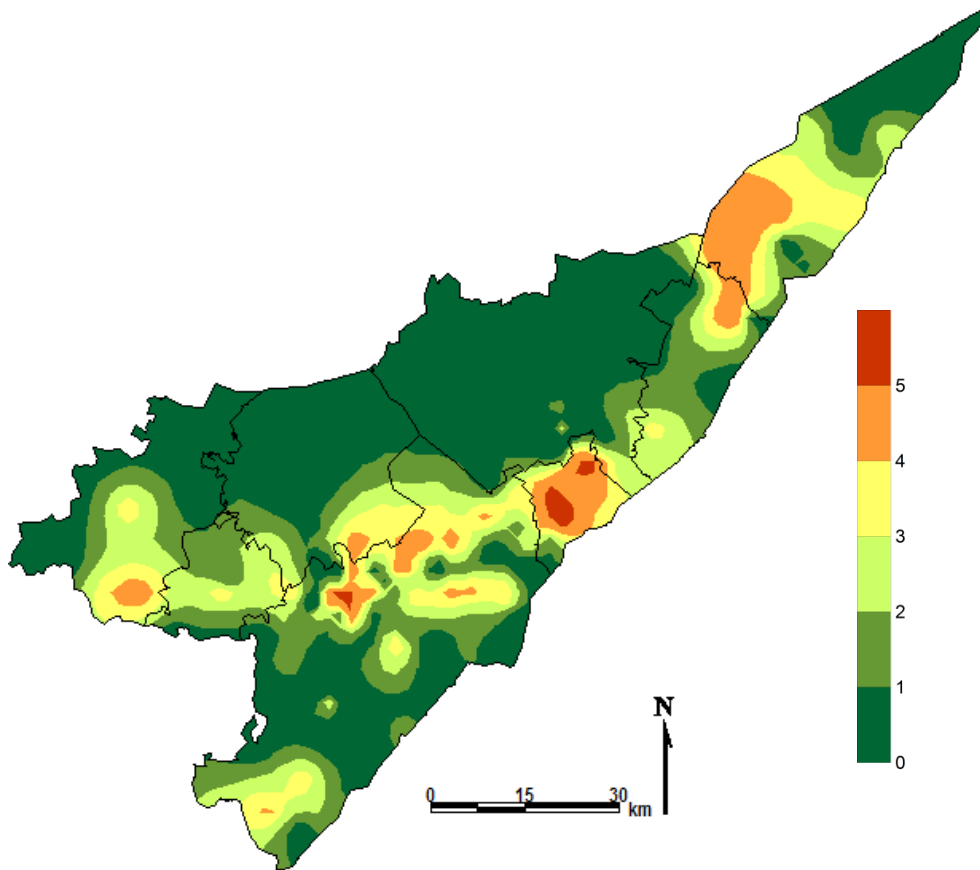
Kuva 34. Luppojen yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0-5, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 5 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.



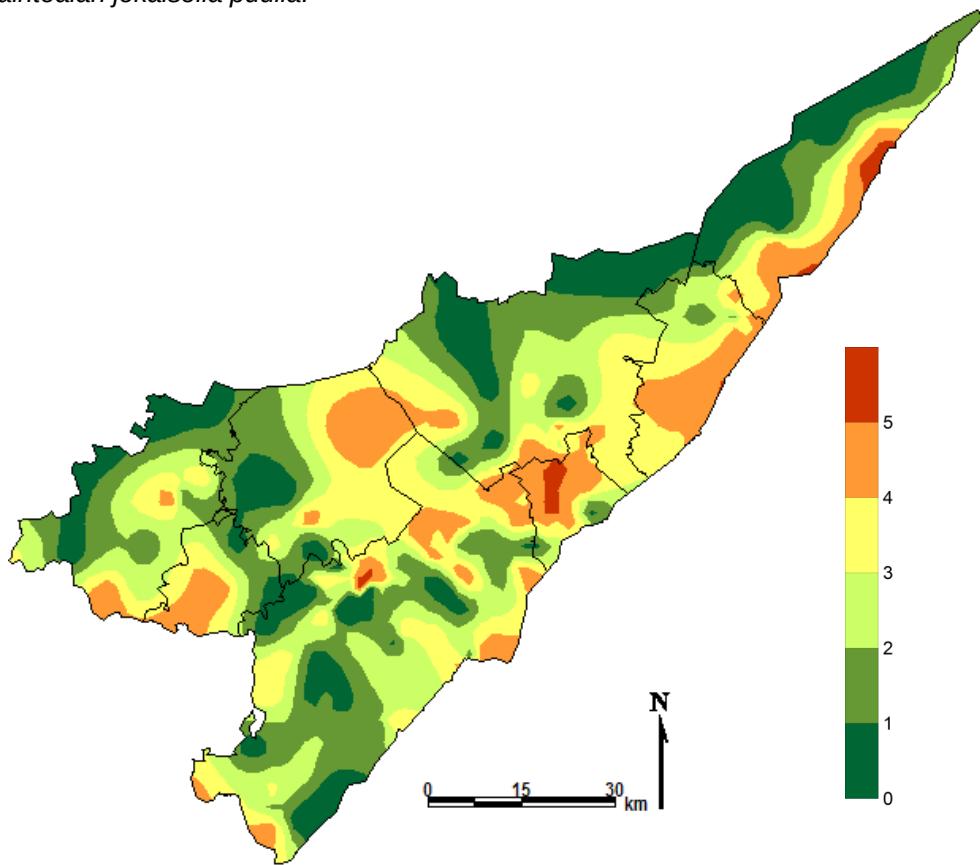
Kuva 35. Naavojen yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0-5, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 5 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.



Kuva 36. Harmaaröyhelön yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0-5, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 5 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.



Kuva 38. Viherlevän yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0-5, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 5 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.



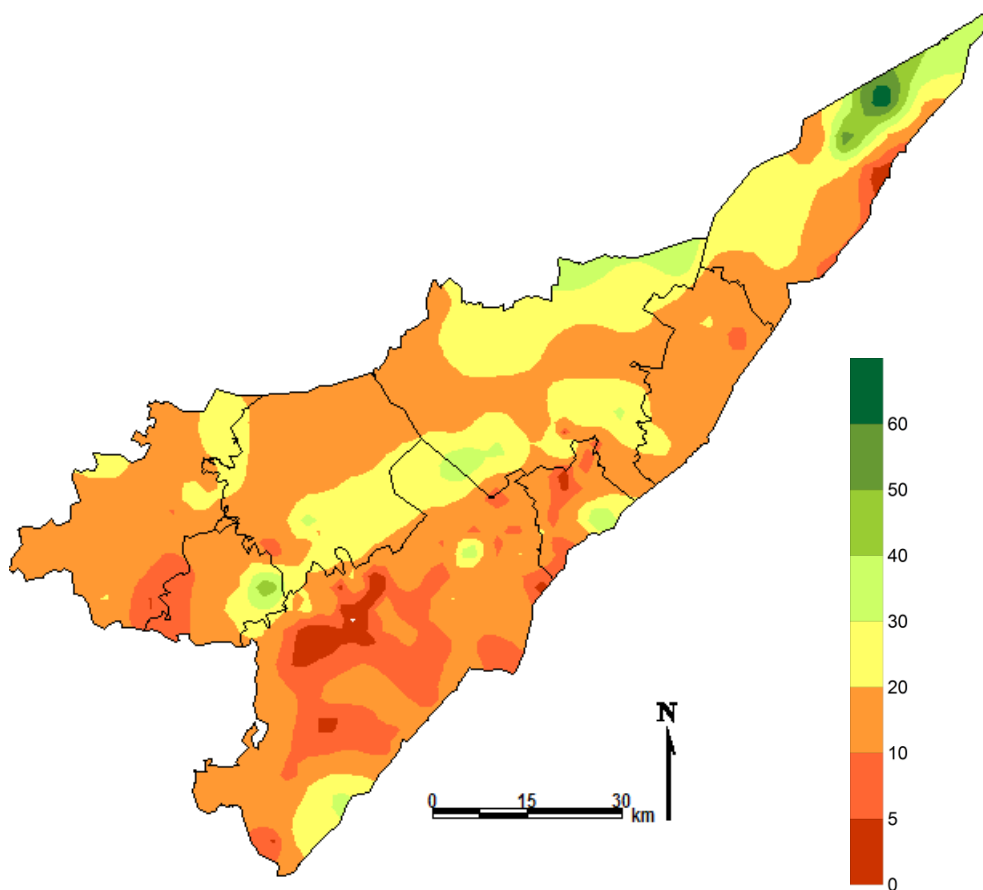
Kuva 39. Seinäsuomujäkälän yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0-5, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 5 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.

4.1.4 Peittävydet

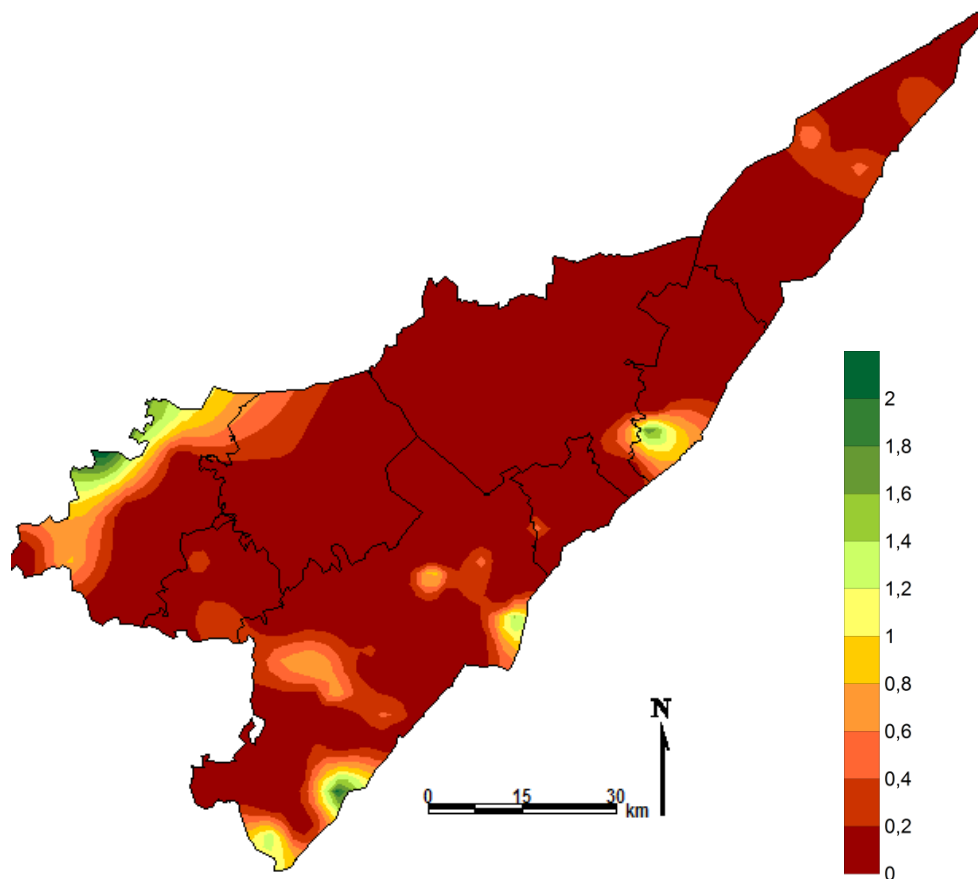
Kuvissa 40 ja 41 on esitetty sormipaisukarpeen sekä luppojen pistefrekvenssimenetelmällä lasketut peittävydet mäntyjen rungoilla havaintoalakohtaisista keskiarvoista yleistettyinä vyöhykkeinä. Karttoja tarkasteltaessa on huomioitava, että erityisesti sormipaisukarpeen peittävyys reagoi ilman epäpuhtauksiin epälineaarisesti: lajin peittävyys usein ensin kasvaa epäpuhtauksien vaikutuksesta, ja kuormitustason edelleen kasvaessa peittävyys jälleen pienenee. Lisäksi luontaiset tekijät vaikuttavat peittävyysiin melko voimakkaasti, esim. sormipaisukarpeen peittävyys on suurempi nuorissa kuin vanhoissa männiköissä.

Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys oli 14,1% (taulukko 12). Suurimpia sormipaisukarpeen peittävyksiä havaittiin Parikkalan pohjoisosassa ja Lemin itäosissa. Pienimmän sormipaisukarpeen peittävyyden vyöhykkeet muodostuivat Lappeenrannan keskusta-alueelle ja sen itä- ja eteläpuolelle, Imatralla ja Lemin ja Savitaipaleen kuntien rajalle. (Kuva 40.)

Lupot esiintyivät runsaina vain yksittäisillä aloilla. Luppojen keskimääräinen peittävyys oli 0,10 % (taulukko 12). Lupot olivat runsaita Rautjärven ja Lappeenrannan eteläosissa ja Savitaipaleen länsiosassa eli samoilla alueilla, joilla ilmanlaatu muiden jäkälätunnusten perusteella oli hyvä. Lupot puuttuivat tai niiden peittävyys oli pieni laajoilla alueilla, joilla ilman epäpuhtaudet ovat todennäköisesti vaikuttaneet epäpuhtauksille herkkien luppojen häviämiseen. (Kuva 41.).



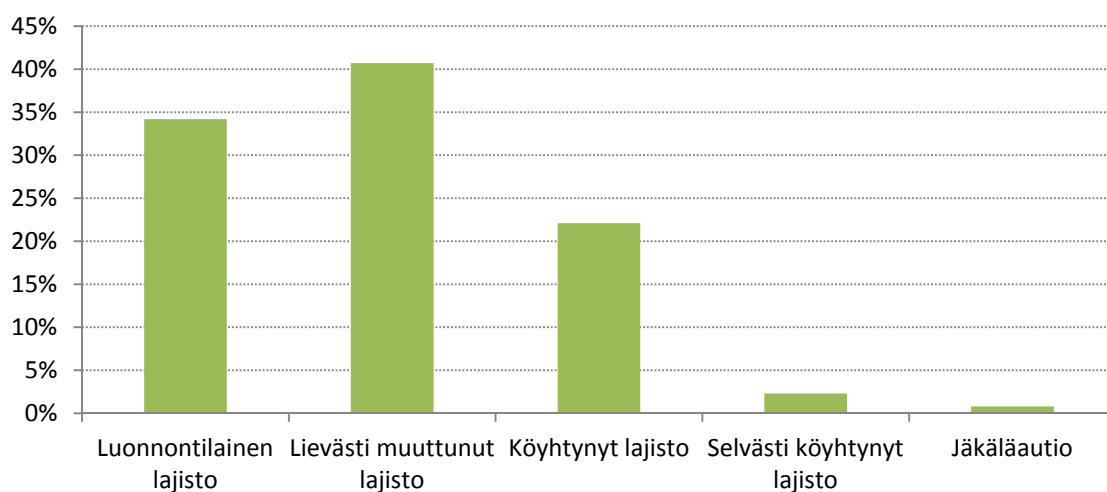
Kuva 40. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys (%) vyöhykkeinä tutkimusalueella vuonna 2012.



Kuva 41. Luppojen keskimääräinen peittävyys (%) vyöhykkeinä tutkimusalueella vuonna 2012.

4.1.5 IAP-indeksi

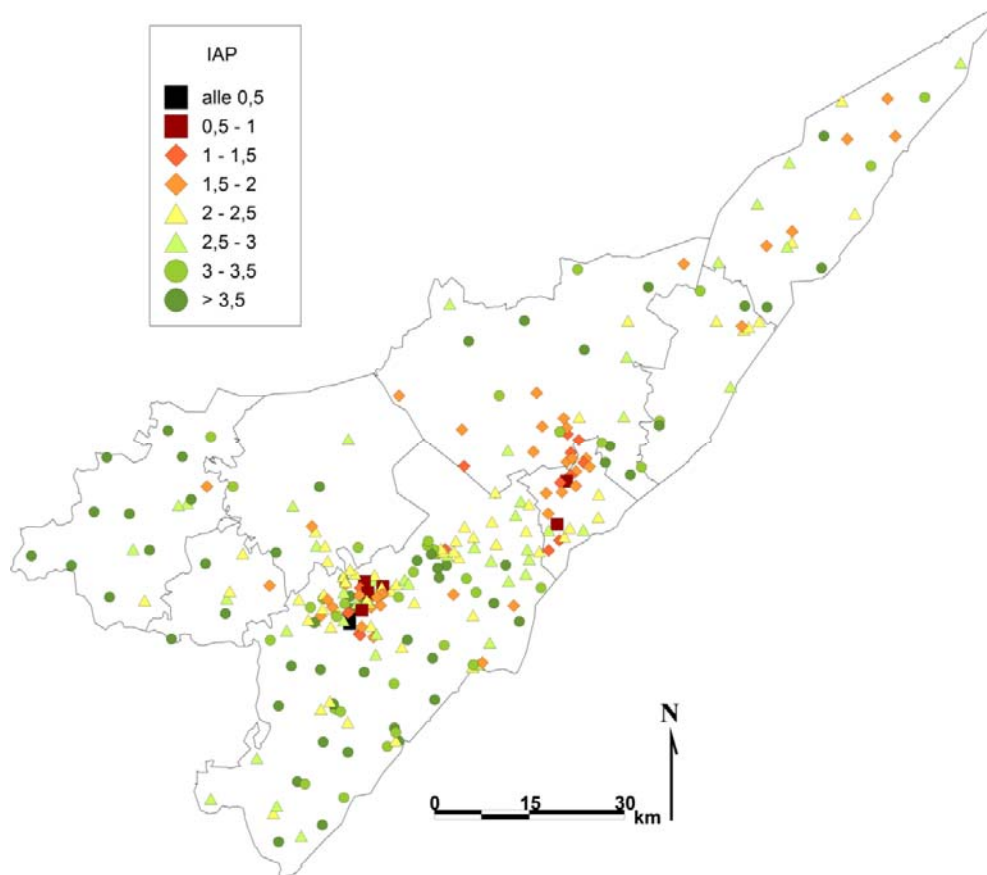
IAP-indeksi oli tutkimusalueella keskimäärin 2,6, minkä perusteella lajistoa voi kuvailla lievästi muuttuneeksi. Pienin IAP-indeksin arvo oli 0 (jäkäläautio) ja suurin 4,7 (luonnontilainen lajisto) (taulukko 12). Suurimmalla osalla (41 %) tutkimusaloista oli IAP-indeksin arvon perusteella lievästi muuttunut lajisto. Toiseksi suurimpaan luokkaan, jossa lajisto oli luonnontilaista, aloista sijoittui 34 %. Lajisto oli köyhtynyt 22 %:lla tutkimusaloista ja selvästi köyhtynyttä 2,3 %:lla. Jäkäläautioiksi tai melkein jäkäläautioiksi luokiteltiin 0,8 % aloista. (Kuva 42.)



Kuva 42. IAP-indeksin jakauma havaintoaloittain vuonna 2012.

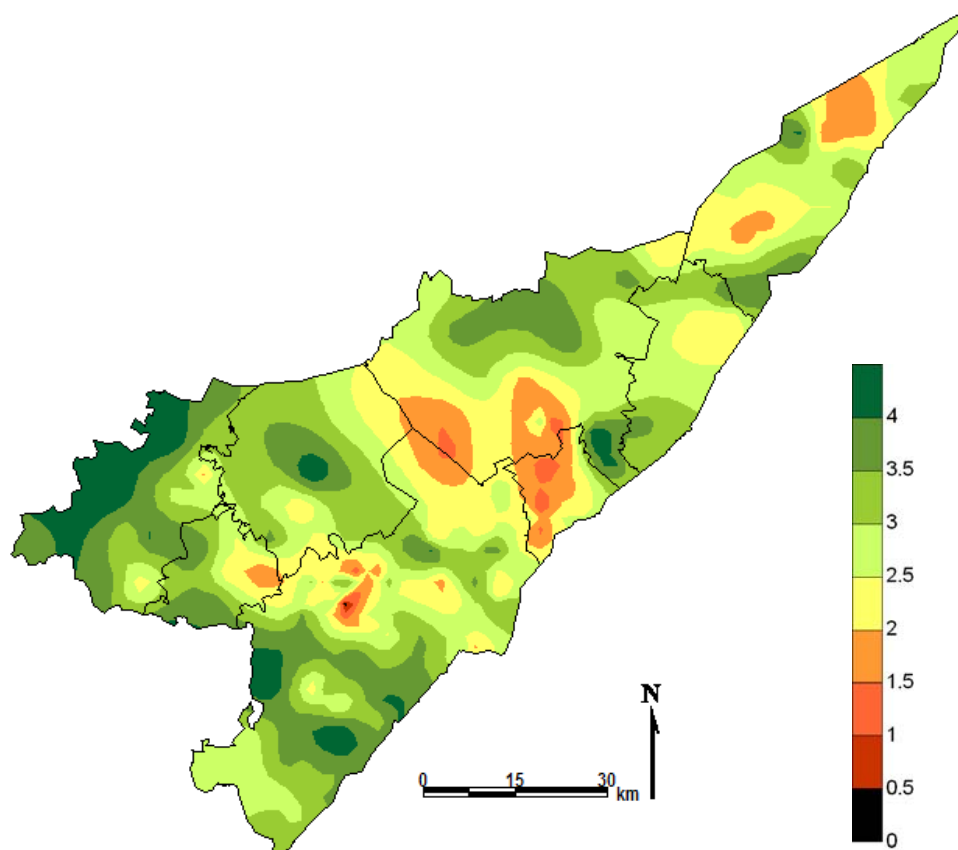
Täysin muuttumaton jäkälälajisto (IAP-indeksin arvo > 3) oli 112 havaintoalalla, jotka painottuivat Lappeenrannan etelä- ja keskiosiin, Savitaipaleelle ja Ruokolahdelle. Aloja, joiden jäkälälajisto oli lievästi muut-

tunut (IAP-indeksin arvo 2-3), oli tutkimusalueella 107, ne sijoituivat erityisesti Lappeenrannasta Joutsenon kautta Imatralla ulottuvalle vyöhykkeelle, Lappeenrannan eteläosaan, Simpeleelle ja Parikkalaan. Lajistoltaan köyhtyneet (IAP-indeksi 1-2) (58 alaa) ja erittäin selvästi köyhtyneet (IAP-indeksi 0,5-1) (6) alaa sijoituivat Lappeenrannan keskustan seudulle, Imatralla ja Ruokolahden eteläosiin ja hajanaisesti Parikkalaan. Kaksi Lappeenrannan Ihalaisen teollisuusalueen läheisyydessä sijaitsevaa alaa olivat jäkäläautioita (IAP-indeksi < 0,5). (Kuva 43.)



Kuva 43. IAP-indeksi tutkimusaloilla vuonna 2012.

Köyhtynein lajisto tutkimusalueella sijaitsi Lappeenrannan keskustan tuntumassa, Imatralla, Ruokolahden kunnan eteläosassa ja Parikkalassa. Lievästi muuttuneen lajiston vyöhykkeitä muodostui Parikkalaan, Rautjärveltä Ruokolahden länsiosiin ulottuvalle alueelle, Joutsenoon ja Lappeenrannan ja Joutsenon keskustaaajamien välistä Taipalsaarelle ja Lemille ulottuvalle alueelle. Jäkälälajisto oli luonnontilaista Ruokolahden pohjois- ja eteläosassa, Savitaipaleella, Taipalsaaren keskiosissa ja Lappeenrannan eteläosassa. (Kuva 44.)



Kuva 44. IAP-indeksi vyöhykkeittäin tutkimusalueella vuonna 2012.

4.2 Mäntyjen elinvoimaisuus

4.2.1 Mäntyjen tuhot, taudit ja värimuutokset

Tutkimusalueen puissa havaitut taudit, tuhot ja neulasten värimuutokset on esitetty taulukossa 13.

Tutkituista männyistä havaittiin melko vähän selviä tuhojen aiheuttajia. Tervasrosoa, jonka aiheuttavat sienet *Cronartium flaccidum* ja *Peridermium pini*, tavattiin vain viidellä tutkimusrungolla. Metsäntutkimuslaitoksen vuosina 2002-2005 toteuttamassa valtakunnallisessa tutkimuksessa keskimäärin 15,7 % männyistä oli tervasrosan vaivaamia (Lindgren ym. 2007), joten Etelä-Karjalan bioindikaattoritutkimuksen havaintopuilla tervasrosoa esiintyi vähemmän kuin Metlan tutkimuksessa.

Tutkimusalueen puista 15,2 %:lla tavattiin ytimennävertäjä. Metla havaitsi vuosien 2002-2005 valtakunnallisissa tutkimuksissaan ytimennävertäjää 5,9 % havaintopuista (Lindgren ym. 2007). Etelä-Karjalassa ytimennävertäjätuhot painottuivat puunjalostusteollisuuden läheisyyteen Joutsenoon, Imatralla ja Lappeenrantaan. Ytimennävertäjätuhot voivat jatkua vuodesta toiseen samalla paikalla, mikäli lähellä on sopivia lisääntymispaikkoja, kuten sahojen, puunjalostuslaitosten ja puutavaran varastointipaikkojen lähimetsät (Metla 2012).

Tutkituista puista noin 42 %:lla oli värivikoja: noin 18 %:lla tutkituista puista oli ruskistuneita neulasia ja 26 %:lla kellastuneita neulasia. Alat, joilla havaittiin kellastuneita neulasia sijoittuivat Lappeenrannasta Joutsenon kautta Imatralla ulottuvalle vyöhykkeelle ja tämän eteläpuolelle eli alueella, missä merkittävimmät päästölähteet sijaitsevat. Ruskistuneita neulasia tavattiin Lappeenrannan ja Imatran keskustajaman tuntumassa, mutta myös Lappeenrannan eteläosasta Lemminkäisen kautta Savitaipaleelle ulottuvalla vyöhykkeellä. Neulasten värivikojen yleisyyttä tutkimuksessa selittää maastotöiden jatkuminen syyskuuhun asti, jolloin mäntyjen vanhimmat neulasvuosikerrat alkoivat vanhetessaan ruskistua tai kellastua (Metla 2012).

Runkovaurioita (esim. halkeamat rungossa, kaarnavauriot) havaittiin 1,7 %:lla tutkituista puista.

Taulukko 13. Taudit, tuhot ja neulasten värimuutokset tutkimusalueen puissa (N = 1315).

Vaurio	Puiden määrä	%-puista
Taudit		
Tervasroso	5	0,4 %
Ytimennävertäjä	200	15,2 %
Värimuutokset		
Ruskistuneita neulasia	239	18,2 %
Kellastuneita neulasia	343	26,1 %
Muut vauriot		
Runkovaurio	22	1,7 %

4.2.2 Mäntyjen neulaskato ja neulasvuosikertojen määrä

Tutkimusalueen puiden keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä oli 3,2 ja määrä vaihteli välillä 1-4 neulasvuosikertaa. Koko tutkimusalueella mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli 18,5 %. Neulaskadon määrä vaihteli välillä 8-85 %. (Taulukko 14.) Metlan metsien terveydentilaa koskevien tulosten mukaan männyn keskimääräinen harsuuntumisaste oli vuosina 2002-2005 noin 9,4 % ja vuosina 1985-2010 maan eteläosissa 10,6 % (Lindgren ym. 2007, Nevalainen 2011).

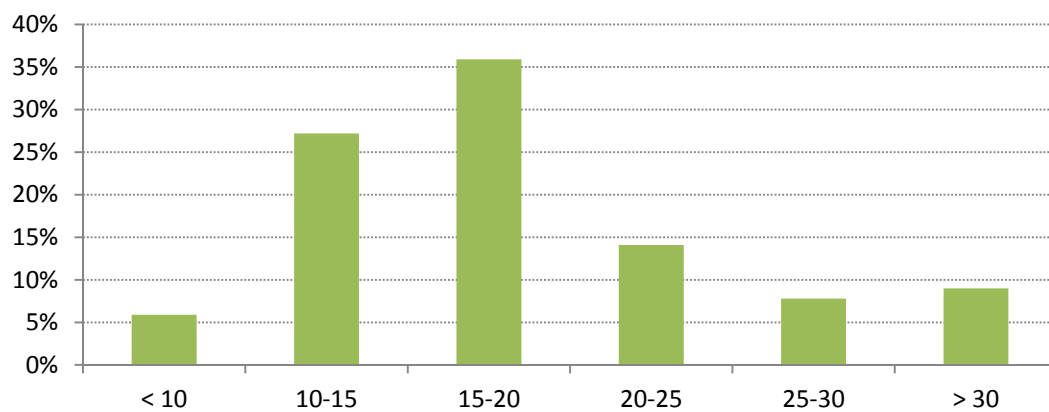
Taulukko 14. Männyn neulaskato ja neulasvuosikertojen määrä tutkimusalueella. n = tutkimuspuiden lukumäärä.

n = 1315	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Neulasvuosikertojen määrä	3,2	1	4	0,49
Neulaskato (%)	18,5	8	85	9,15

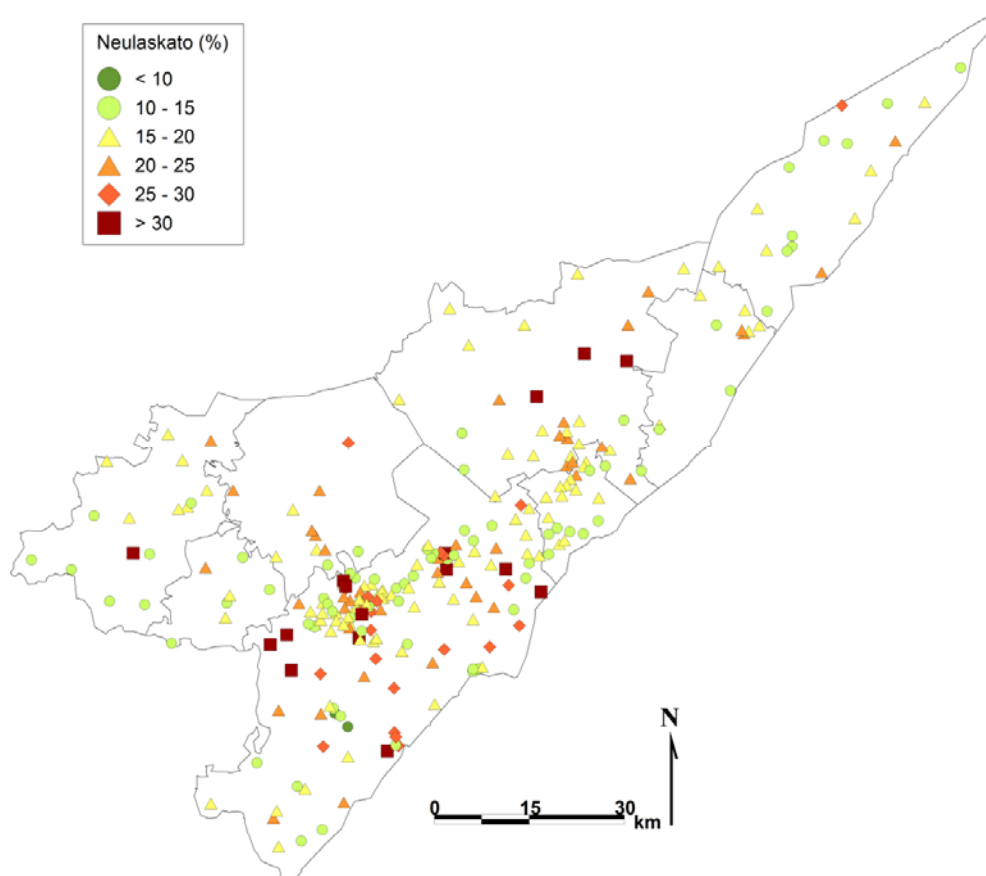
Valtaosa (77 %) tutkimuspuista oli lievästi harsuuntunut (neulaskato 10-25 %). Harsuuntumattomia mäntyjä (harsuuntumisaste alle 10 %) oli noin 6 % tutkituista puista. Harsuuntuneiden puiden osuus (neulaskato yli 25 %) tutkimusmännnyistä oli noin 17 % eli 221 puuta. Valtaosa (27 %) tutkimusmännnyistä sijoitui harsuuntumisasteeltaan luokkaan 15-20 %. (Kuva 45.)

Tutkimusmännnyt olivat keskimäärin harsuuntuneita 37 havaintoalalla. Nämä alat sijoittuivat pääasiassa Lappeenrannan alueelle puunjalostusteollisuuden läheisyyteen, 6-tien varrelle ja sen eteläpuolelle sekä Ruokolahden keskiosiin. Myös aloista, joilla neulaskato oli välillä 20-25 %, valtaosa sijoittui puunjalostusteollisuuden läheisyyteen ja teiden varsille, mutta myös hajanaisesti ympäri tutkimusaluetta. Puunjalostusteollisuuden läheisyydessä ytimennävertäjätuhot olivat selvästi yleisempiä kuin tutkimusalueelle keskimäärin, ja osaksi tämän vuoksi neulaskatoarviot olivat suurempia näillä alueilla. (Kuva 46.)

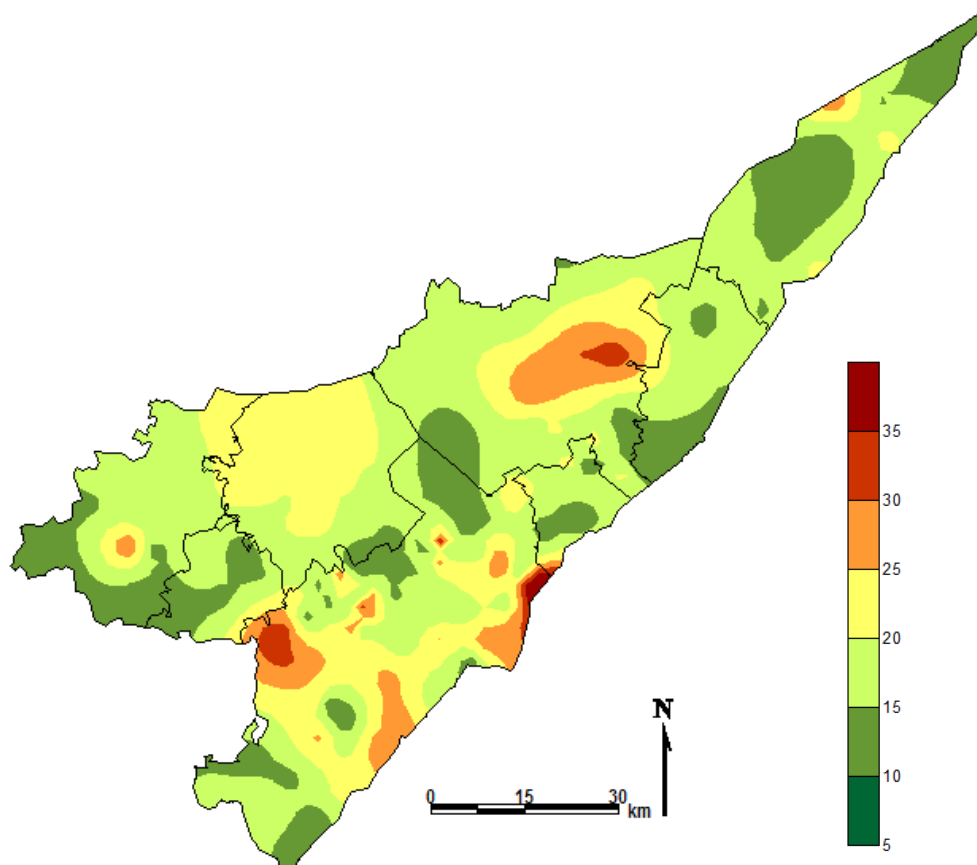
Harsuuntuneiden mäntyjen vyöhykkeet sijaitsivat Ruokolahden keskiosassa, joillain alueilla Lappeenrannan ja Venäjän rajan tuntumassa, Lappeenrannan keskustan länsipuolella lähellä Lemin kunnan rajaa ja pienialaisilla alueilla Joutsenossa, Lappeenrannan keskustan tuntumassa ja Savitaipaleen kunnan eteläosassa. Valtaosa tutkimusalueesta oli lievästi harsuuntunutta (neulaskatoluokat 15-20 % ja 20-25 %). (Kuva 47.)



Kuva 45. Mäntyjen jakautuminen neulaskatoluokkiin tutkimusalueella. $N = 1315$.

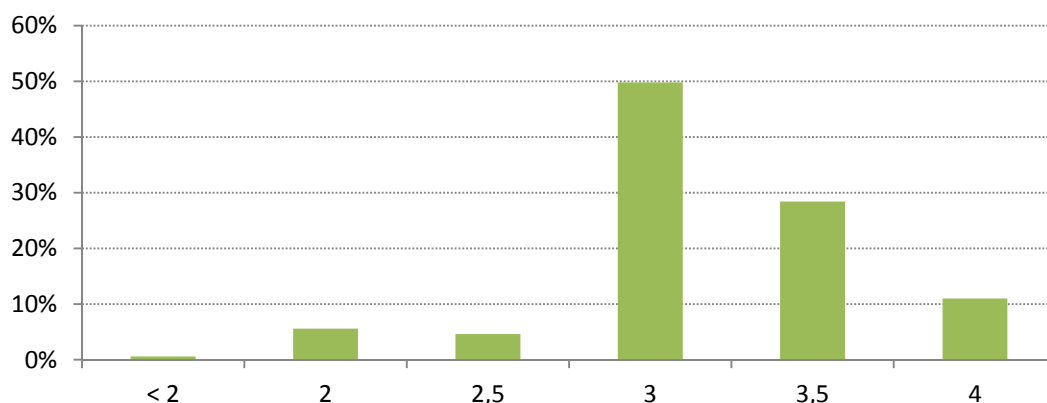


Kuva 46. Mäntyjen neulaskato havaintoaloilla vuonna 2012.

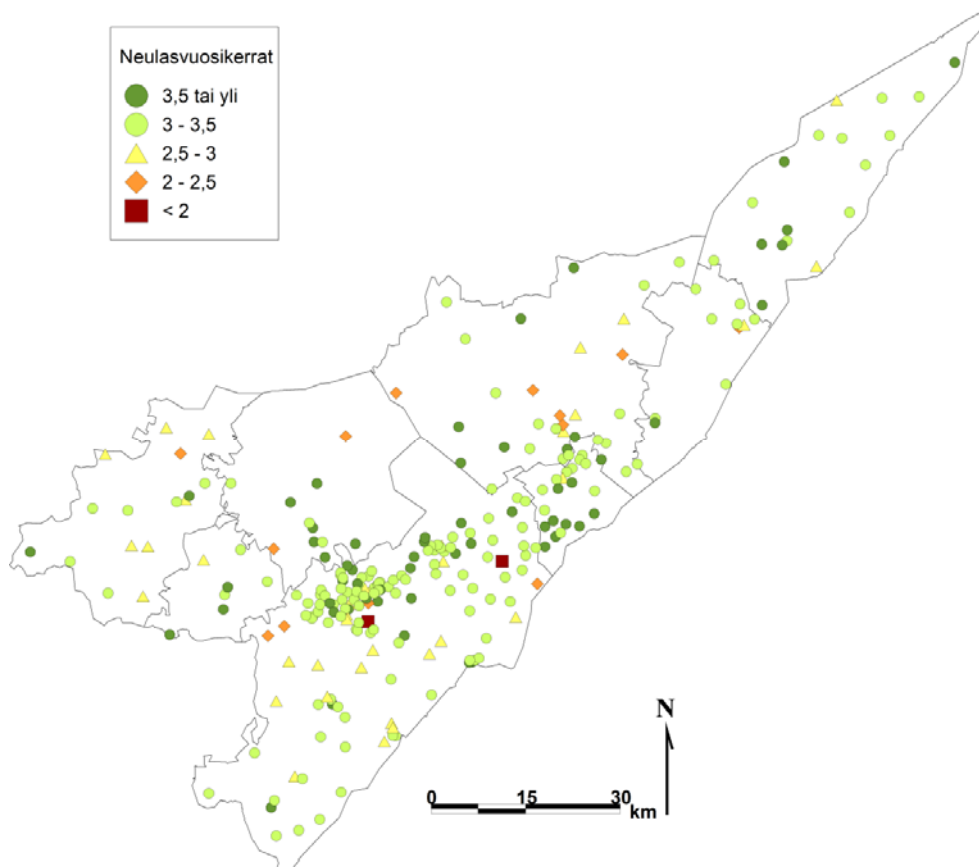


Kuva 47. Mäntyjen neulaskato vyöhykkeittäin tutkimusalueella vuonna 2012.

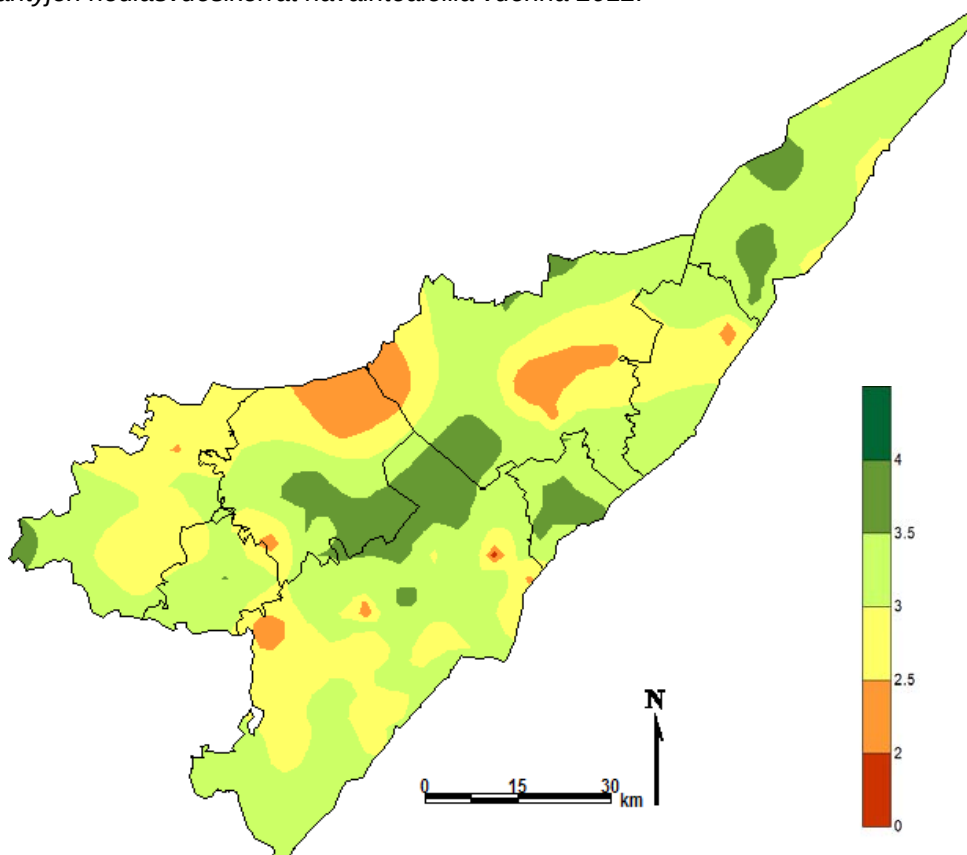
Valtaosalla (81 %) tutkimusaloista todettiin keskimäärin vähintään 3 neulasvuosikertaa. Suurimmalla osalla (50 %) tutkimuspuista havaittiin 3 neulasvuosikertaa. Hieman alle kolmasosalla (29 %) tutkimuspuista oli 3,5 ja 11 %:lla 4 neulasvuosikertaa. Alle kolme neulasvuosikertaa havaittiin 11 %:lla tutkimuspuista (kuva 48). Keskimääräisessä neulasvuosikertojen määrässä ei ollut havaittavissa selkeää alueellista jakautumista (kuva 49). Valtaosalla tutkimusalueesta havaittiin 3 neulasvuosikertaa tai enemmän. Alle 3 neulasvuosikertaa havaittiin Rautjärven keskiosista Ruokolahdelle ulottuvalla vyöhykkeellä, Taipalsaaren pohjoisosasta Savitaipaleelle ulottuvalla vyöhykkeellä sekä Lappeenrannan etelä- ja keskiosissa. (Kuva 50.)



Kuva 48. Mäntyjen jakautuminen neulasvuosikertaluokkiin tutkimusalueella. N = 1315.



Kuva 49. Mäntyjen neulasvuosikerrat havaintoaloilla vuonna 2012.



Kuva 50. Mäntyjen neulasvuosikerrat vyöhykkeittäin tutkimusalueella vuonna 2012.

5. Tulosten tarkastelu

Saatuja tuloksia ja niihin vaikuttaneita tekijöitä tarkasteltiin muuttujakohtaisesti tilastollisten menetelmien avulla. Taustamuuttujina käytettiin paitsi havaintoalalta kirjattuja puusto- ja metsikkötunnuksia, myös päästötietoja. Taustamuuttujien vaikutuksia tarkasteltiin regressioanalyysin, varianssianalyysin ja korrelaatiotestien avulla. Lisäksi tarkasteltiin jäkälämuuttujien ja mäntyjen elinvoimaisuusmuuttujien välisiä riippuvuuksia

Taustamuuttujina käytettiin seuraavia muuttujia:

- havaintoalan soveltuvuus (luokiteltu muuttuja asteikolla hyvä – kohtalainen – huono)
- metsätyyppi (luokiteltu muuttuja)
- kehitysluokka (luokiteltu muuttuja asteikolla nuori – varttunut – kypsä)
- ikä (havaintopuiden arvioitu keskimääräinen ikä)
- pituus (metsikön valtapuiden arvioitu keskipituus)
- pohjapinta-ala (relaskoopilla kolmesta paikasta mitattujen tulosten keskiarvo, kaikki puulajit)
- havaintopuiden rinnankorkeusläpimitta
- havaintoalan etäisyys lähimmästä päästölähteestä
- lähimmän ilmoitusvelvollisen laitoksen rikkidioksidi-, typen oksidi- ja hiukkaspäästöt

5.1 Taustamuuttujien vaikutus

Taustamuuttujat ovat muuttujia, jotka eivät itsessään kuvaa ilmanlaatua, mutta saattavat vaikuttaa ilmanlaadusta kertoviin muuttujiin. Taustamuuttujia ovat esimerkiksi metsätyyppi, puiden ikä, puiden läpimitta ja metsän kehitysaste ja pohjapinta-ala. Nämä muuttujat havainnoidaan kaikilta näytealoilta. Eräissä ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa (esim. Haahla ym. 2006b ja Niskanen 2003b) taustamuuttujien vaikutusta ilmanlaatua kuvaaviin muuttujiin on tutkittu Kruskal-Wallis varianssianalyysin avulla ja havaittu taustamuuttujilla olevan vaikutusta varsinaisiin muuttujiin. Myös tässä tutkimuksessa taustamuuttujilla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus useisiin indikaattorimuuttujiin (taulukko 15).

Metsikön soveltuvuus vaikutti kaikkiin muihin ilmanlaatua kuvaaviin muuttujiin paitsi sormipaisukarpeen peittävyys, neulasvuosikertoihin ja neulaskatoon. Metsikön soveltuvuutta jäkäläkartoitukseen arvioidaan sen perusteella, kuinka hyvät kasvuolosuhteet metsikössä on päällysjäkälien kannalta. Jäkälän kasvuolosuhteita huonontavat liika varjoisuus, paahteisuus tai epäsuotuisat mikroilmastolliset tekijät. Kasvuolosuhteita voidaan arvioida puuston iän, puulajisuhteiden, metsätyyppin, puuston pohjapinta-alan ja pituuden perusteella. Havaintoalan soveltuvuus on havainnoijan subjektiivinen arvio siitä, kuinka paljon nämä tekijät vaikuttavat jäkälän kasvuolosuhteisiin. Soveltuvuudeltaan hyväksi luokitellussa metsikössä vaikutus oletetaan vähäiseksi, soveltuvuudeltaan kohtalaisessa metsikössä taustamuuttujilla on havaittavaa vaikutusta jäkäliin, ja soveltuvuudeltaan huonossa metsikössä taustamuuttujien vaikutus on suuri. Ilmanpuhtausindeksin arvot ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lajilukumäärät olivat suurempia soveltuvuudeltaan hyväksi luokitelluissa metsiköissä kuin soveltuvuudeltaan kohtalaiseksi tai huonoksi luokitelluissa metsiköissä, ja ilmanpuhtausindeksi oli lisäksi suurempi soveltuvuudeltaan kohtalaisissa metsiköissä kuin soveltuvuudeltaan huonoissa metsiköissä. Myös luppojen peittävyys oli suurempi soveltuvuudeltaan hyväksi luokitelluissa metsiköissä verrattuna soveltuvuudeltaan kohtalaiseksi luokiteltuihin metsiköihin. Jäkälän yleinen vaurioaste ja sormipaisukarpeen vaurioaste olivat suurimmillaan soveltuvuudeltaan huonoissa metsiköissä, ja suurempia soveltuvuudeltaan kohtalaisissa kuin hyvissä metsiköissä. Levä oli yleisempää soveltuvuudeltaan huonoiksi ja kohtalaiseksi luokitelluissa metsiköissä kuin soveltuvuudeltaan hyväksi luokitelluissa metsiköissä.

Metsätyyppillä oli vaikutusta melkein jokaiseen tutkittuun muuttujaan. Ilmanpuhtausindeksin arvot ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lukumäärät olivat pääsääntöisesti suurempia parittaisten vertailujen karummissa metsätyypeissä, esimerkiksi puolukkatyyppin (VT) metsiköissä verrattuna mustikkatyyppin (MT) metsiköihin tai kanervatyyppin (CT) metsiköissä verrattuna mustikkatyyppin (MT) metsiköihin. Yleinen vaurioaste oli puolestaan pääsääntöisesti suurempi ja levä yleisempää parittaisten vertailujen rehevämmissä metsätyypeissä (esimerkiksi OMT-tyypin metsiköissä verrattuna VT-tyypin metsiköihin. Rehe-

vämmissä metsätyypeissä, kuten käenkaali-mustikkatyyppin (OMT) ja MT-tyypin metsätyypeissä on myös sulkeutuneempi latvuseros ja enemmän kasvillisuutta pensaskerroksessa, jolloin näiden aiheuttama varjostus voi heikentää jäkälien elinmahdollisuuksia ja pienentää IAP-indeksin arvoa ja lajilukumäärää ja vastaavasti lisätä jäkälien vaurioita.

Luppojen peittävyys oli suurempi joidenkin parittaisten vertailujen karummissa metsätyypeissä. Lupot ovat herkkiä ilman epäpuhtauksille, joten niiden suurempi peittävyys karuimmissa metsätyypeissä selittyy edellä mainitulla bioindikaattorialojen alueellisella jakautumisella. Samoin rehevempien metsätyyppien kasvillisuuden aiheuttama varjostus voi vaikuttaa myös luppoihin.

IAP-indeksin arvot ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajimäärä olivat pääsääntöisesti pienempiä, vaurioasteet olivat suurempia ja levä yleisempää luokan ”muu” metsätyypeissä verrattuna muihin tarkemmin määriteltyihin metsätyyppeihin. Nämä voivat selittyä sillä, että luokka sisältää mm. taajamien puistometsiköt, joihin kohdistuu enemmän ilman epäpuhtauksien vaikutuksia. Lisäksi luokkaan ”muu” kuuluu bioindikaattoritutkimukseen ylipäättänsä huonosti soveltuvia kasvillisuustyyppejä, kuten soistuneita ja reheviä metsätyyppejä. Myös männyn neulasvuosikertoja oli enemmän luokan ”muu” metsätyypeissä kuin muissa tarkastelluissa metsätyypeissä. Männyn neulasvuosikerrat kertovat männyn elinvoimaisuudesta eli puiden kasvun kannalta hyvästä kasvupaikasta, jossa jäkälien elinolosuhteet eivät kuitenkaan välttämättä ole optimaaliset.

Tutkimusmetsän kehitysluokalla oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sormipaisukarpeen peittävyyteen. Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurempi varttuneissa metsiköissä verrattuna kypsiin metsiköihin. Sormipaisukarve kasvaa usein runsaana nuorehkojen mäntyjen rungoilla, mutta sen peittävyys pienenee puun iän ja ympärysmitan kasvaessa. Etenkin kilpikaarnoittuvien vanhojen mäntyjen rungot ovat sormipaisukarpeelle melko huono kasvualusta nuorempiin mäntyihin verrattuna.

Taulukko 15. Taustamuuttujien suhteen tarkasteltujen ilmanlaatua kuvaavien muuttujien tilastollisten analyysien testisuureet ja niiden merkitsevyystasot (p). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

Tarkasteltu muuttuja	Soveltuvuus Kruskal-Wallis		Metsätyyppi Kruskal-Wallis		Kehitysluokka Mann-Whitney	
	testisuure	p	testisuure	p	testisuure	p
Sormipaisukarpeen vaurioaste	18,783	0,000***	46,331	0,000***	-1,522	0,128
Yleinen vaurioaste	48,420	0,000***	91,312	0,000***	-0,807	0,420
Lajimäärä	32,722	0,000***	76,096	0,000***	-0,528	0,598
Ilmanpuhtausindeksi	47,861	0,000***	96,309	0,000***	-0,438	0,661
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	5,706	0,058	8,788	0,067	3,505	0,000***
Luppojen peittävyys (%)	10,988	0,004**	21,537	0,000***	-0,317	0,751
Levän yleisyys	13,508	0,001**	47,932	0,000***	-0,358	0,721
Neulasvuosikerrat	0,134	0,935	29,890	0,000***	-0,704	0,481
Neulaskato (%)	0,490	0,783	3,163	0,531	-1,578	0,114

Jatkuvien taustamuuttujien ja tutkittujen muuttujien välisiä korrelaatioita on tarkasteltu taulukossa 16. Mukana tarkasteluissa on myös ilmanlaatua kuvaava muuttuja havaintoalan etäisyys lähimpään päästölähteeseen.

Havaintoalan etäisyys lähimmästä päästölähteestä korreloi useiden ilmanlaatua kuvaavien muuttujien kanssa. Ilmanpuhtausindeksi, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärä ja luppojen ja sormipaisukarpeen peittävyys kasvoivat, kun etäisyys lähimpään päästölähteeseen kasvoi. Vastaavasti sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste olivat suurimmillaan lähellä päästölähdettä. Myös levä yleisyyden pienetessä päästölähteeseen. Tutkimuspuiden läpimitan ja etäisyyden päästölähteestä välillä havaittiin negatiivinen riippuvuus: etäisyyden kasvaessa tutkimuspuiden läpimitta pieneni. Tutkimusal-

een merkittävimmät päästölähteet sijaitsevat taajama-alueella, joilla tutkimusmännnyt ovat usein puistometsien iäkkäitä ja läpimitaltaan suuria puita.

Puiden iän ja sormipaisukarpeen peittävyiden välillä oli erittäin merkitsevä korrelaatio: mitä vanhempia tutkimuspuut olivat sitä pienempi oli sormipaisukarpeen peittävyys. Sormipaisukarpeen peittävyiden ja puuston iän osalta havaittu korrelaatio vahvistaa luokiteltujen taustamuuttujien Kruskal-Wallis ja Mann-Whitneyn testien antamaa tulosta, jonka mukaan sormipaisukarpeen peittävyys oli suurempi varttuneissa kuin kypsissä metsissä. Sormipaisukarpeen peittävyiden osalta puuston iän merkitys on melko suuri. Myös neulaskadon ja neulasvuosikertojen määrän sekä puiden iän välillä oli tilastollisesti merkitseviä, joskin melko pieniä korrelaatioita. Mitä vanhempia tutkimuspuut olivat sitä vähemmän niissä oli neulasvuosikertoja ja sitä harsuuntuneempia ne olivat. Tämä tulos on yhteneväinen muiden tutkimusten kanssa, joiden mukaan puiden ikä on merkittävä puiden harsuuntumiseen vaikuttava tekijä (Jussila ym. 1999, Lindgren 2007).

Puiden halkaisija korreloi erittäin merkitsevästi useiden ilmanlaatua kuvaavien jäkälämuuttujien kanssa. Ilmanpuhtausindeksi, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä ja sormipaisukarpeen peittävyys pienenevät ja yleinen ja sormipaisukarpeen vaurioaste kasvoivat sekä levä yleistyivät havaintopuiden halkaisijan kasvaessa. Tähän voi vaikuttaa erittäin iäkkäiden puiden sijoittuminen taajamien puistomaisiin metsiin ja paahteisille kallioille, joissa myös lajisto voi olla köyhtyneempää ja vauriot suurempia kuin muilla aloilla. Samoin paksujen ja kilpikaarnoittuvien mäntyjen rungot ovat huono kasvualusta etenkin sormipaisukarpeelle.

Taulukko 16. Tutkittujen muuttujien ja jatkuvien taustamuuttujien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). $N = 263$.

	Etäisyys päästölähteestä	Pohjapinta-ala	Puiden ikä	Puiden pituus	Puiden halkaisija
Pohjapinta-ala	0,083	1			
Puiden ikä	-0,079	-0,04	1		
Puiden pituus	-0,085	0,247***	0,083	1	
Puiden halkaisija	-0,381***	-0,059	0,434***	0,351***	1
IAP	0,461***	-0,011	-0,032	-0,162**	-0,367***
Lajilukumäärä	0,348**	-0,013	0,023	-0,155*	-0,291***
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	0,426***	0,112	-0,379***	-0,089	-0,287***
Luppojen peittävyys (%)	0,228***	0,035	0,057	-0,038	-0,145*
Sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,517***	-0,007	0,150*	0,003	0,291***
Yleinen vaurioaste	-0,536***	0,019	-0,044	0,167**	0,307***
Levä	-0,498***	0,142*	-0,062	0,063	0,234***
Neulasvuosikerrat	-0,127*	0,102	-0,232***	-0,109	0,027
Neulaskato	-0,108	-0,125*	0,179**	-0,029	-0,024

5.2 Tutkittujen muuttujien välinen riippuvuus

Tilastollisesti merkitseviä riippuvuuksia havaittiin useiden ilmanlaatua kuvaavien jäkälämuuttujien kesken (taulukko 17). Voimakkaimpia korrelaatioita ilmanlaatua kuvaavien muuttujien välillä havaittiin IAP-indeksiin ja lajilukumäärän välillä. IAP-indeksi lasketaan lajilukumäärän pohjalta, joten näiden muuttujien välinen positiivinen korrelaatio oli odotettu. Ilmanpuhtausindeksi ja lajilukumäärä korreloivat puolestaan negatiivisesti yleisen vaurioasteen kanssa. Sen sijaan ilmanpuhtausindeksiin ja lajilukumäärän korrelaatiot sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä, mutta korrelaatiokertoimet olivat melko pieniä. Sormipaisukarpeen vaurioaste puolestaan korreloi yleisen vaurioasteen kanssa. Korrelaatiot kertovat tarkasteltujen muuttujien välisestä lineaarisesta riippuvuudesta. Muuttujien väliset korrelaatiot viittaavat siihen, että niiden vasteet muuttujien vaihtelua aiheuttaviin tekijöihin ovat samankaltaisia. Lajilukumäärä ja IAP-indeksi korreloivat yleisen vaurioasteen kanssa voimallisemmin kuin sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa sen vuoksi, että yleinen vaurioaste huomioi erikseen lehti- ja pensas-

maisten lajien esiintymisen, joten havaintopuulla havaittujen jäkälien lajimäärä vaikuttaa sen vaurioluokitukseen. Toisaalta vaurioluokitukseen vaikuttaa myös sormipaisukarpeen vaurioaste.

Sekä yleinen vaurioaste että sormipaisukarpeen vaurioaste olivat sitä suurempia mitä yleisempää levä oli tutkimusalalla. Koska levä on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori, on odotettavaa, että levän yleistyessä myös jäkälien vauriot ovat suurempia. Levän yleistyessä ilmanpuhtausindeksi ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärä puolestaan pienenivät, mutta korrelaatiokertoimet olivat pieniä. Ilmanpuhtausindeksin ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärän ja luppojen peittävyys väliset positiiviset korrelaatiot olivat myös odotettuja, sillä ne kaikki ovat ilman epäpuhtauksien negatiivisia indikaattoreita eli niiden arvojen oletetaan olevan sitä suurempia mitä puhtaampaa ilma on. Levä ja yleinen vaurioaste puolestaan korreloivat negatiivisesti luppojen ja sormipaisukarpeen peittävyyden kanssa.

Neulasvuosikertojen määrän ja neulaskadon välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio eli puiden harsuuntumisasteen kasvaessa neulasvuosikertojen määrät vähenivät, mikä on hyvin odotettu tulos. Neulasvuosikertojen määrä oli puolestaan sitä suurempi mitä yleisempää levä oli ja mitä suurempi oli sormipaisukarpeen peittävyys, tosin korrelaatiokertoimet olivat pieniä.

Taulukko 17. Tutkittujen muuttujien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). $N = 263$

	IAP	Lajilukumäärä	Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	Luppojen peittävyys (%)	Sormipaisukarpeen vaurioaste	Yleinen vaurioaste	Levä	Neulasvuosikerrat
Lajilukumäärä	0,898***	1						
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	0,164**	0,160**	1					
Luppojen peittävyys (%)	0,460***	0,344***	-0,024	1				
Sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,334***	-0,232***	-0,363***	-0,12	1			
Yleinen vaurioaste	-0,864***	-0,759***	-0,209**	-0,400***	0,444***	1		
Levä	-0,253***	-0,136*	-0,163**	-0,189**	0,525***	0,368***	1	
Neulasvuosikerrat	-0,106	-0,071	0,274***	-0,161**	0,054	0,054	0,207**	1
Neulaskato (%)	0,025	-0,013	-0,217***	0,104	0,014	0,029	-0,173**	-0,453***

5.3 Regressioanalyysit

Regressioanalyysin avulla tutkittiin taustamuuttujien vaikutusta seitsemään muuttujaan, joiden oletetaan kuvaavan ilmanlaatua: IAP-indeksiin, ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lajilukumäärään, yleiseen vaurioasteeseen, sormipaisukarpeen vaurioasteeseen, sormipaisukarpeen peittävyyteen ja neulaskatoon. Myös levän yleisyydelle, luppojen peittävyydelle ja neulasvuosikertojen määrälle tehtiin regressioanalyysi, mutta analyysistä ei saatu mielekkäitä tuloksia. Regressioanalyysissä hyödynnettiin ilmanlaatutietoina etäisyyttä lähimpään lupavelvolliseen laitokseen sekä tämän laitoksen rikkidioksidi-, hiukkas- ja typen oksidien päästöjä (ks. luku 2.2.1). Lähimmän lupavelvollisen laitoksen etäisyyden ja päästömäärien suhteen ei esim. vallitsevia tuulensuuntia tai muita päästöjen leviämisolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä tarkasteluissa otettu huomioon. Selittävinä havaintoalaa kuvaavina taustamuuttujina mallissa käytettiin havaintoalan puuston keskimääräistä ikää, pituutta, pohjapinta-alaa ja läpimittaa.

Taulukoissa esiintyvä vakio (regressiokerroin) kertoo selitettävän muuttujan riippuvuutta selittävästä muuttujasta eli se kuvaa selittävän muuttujan muutoksen vaikutuksen suuruutta selitettävän muuttujan arvoihin. Vakion etumerkki kertoo riippuvuuden suunnan. Standardoitu B-kerroin kertoo puolestaan kunkin selittävän muuttujan mittayksiköstä riippumattoman vaikutuksen selitettävään muuttujaan. Näiden kertoimien avulla voidaan vertailla eri muuttujien keskinäistä tärkeyttä tarkasteltavan muuttujan selittäjinä. Testisuure t :n ja p -arvon avulla voidaan tarkastella regressiomalliin kuuluvien termien (sarake B) tilastollista merkitsevyyttä.

Saadut tulokset osoittavat, että jäkälämuuttujien ja päästölähteiden välillä on malliin sisältyvistä epävarmuustekijöistä ja rajoitteista huolimatta melko selvä yhteys. Myös puuston läpimitalla on selkeä vaikutus jäkälämuuttujiin: puuston läpimitan kasvaessa jäkälien vauriot kasvoivat, jäkäläyhteisö köyhtyi ja sormipaisukarpeen peittävyys pieneni. Puuston läpimitan havaittiin olevan sitä suurempi mitä lähempänä päästölähdettä havaintoala sijaitsi, mikä voi osittain selittää myös läpimitan ja jäkälämuuttujien välisiä yhteyksiä. Regressioanalyysien selitysasteet olivat kuitenkin melko pieniä kaikkien tutkittujen muuttujien suhteen, mikä kertoo lähinnä siitä, että malleissa eivät todennäköisesti olleet mukana kaikki selitettäviin muuttujiin vaikuttavat tekijät. Esimerkiksi laajempien ja yksityiskohtaisempien päästö- ja ilmanlaatumuuttujien mukaan ottaminen analyysiin selittäviksi muuttujiksi olisi todennäköisesti nostanut regressiomallien selitysasteita. Myöskään liikenteen päästöjen vaikutuksia ei tässä erikseen tilastollisesti tarkasteltu, mikä todennäköisesti vaikuttaa saatuihin selitysasteisiin. Seuraavassa regressioanalyysin tuloksia käsitellään yksityiskohtaisemmin muuttujakohtaisesti.

5.3.1 IAP-indeksi

Kahden selittävän muuttujan hierarkkinen regressiomalli selitti 23,7 % ilmanpuhtausindeksin vaihtelusta. Etäisyys päästölähteestä selitti 15,7 % IAP-indeksin vaihtelusta. Puuston läpimita selitti 8 % ilmanpuhtausindeksin vaihtelusta. Ilmanpuhtausindeksin arvot kasvoivat, kun etäisyys lähimpään lupavelvolliseen päästölähteeseen kasvoi. Ilmanpuhtausindeksin arvot puolestaan pienenivät kun puuston läpimita kasvoi. (Taulukko 18.)

Taulukko 18. Ilmanpuhtausindeksille tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

	B	standardoitu B	testisuure t	p-arvo
vakio	4,26		10,92	0,000***
etäisyys päästölähteestä	0,03	0,32	5,59	0,000***
läpimita	-0,06	-0,30	-5,23	0,000***

Puuston läpimitan vaikutus ilmanpuhtausindeksiin liittyy todennäköisesti aiemmin todettuun puuston läpimitan ja alan etäisyyden päästölähteestä väliseen riippuvuuteen.

5.3.2 Ilman epäpuhtauksista kärsivät jäkälälajit

Kolmen selittävän muuttujan hierarkkinen regressiomalli selitti 15,9 % ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärän vaihtelusta. Läpimita selitti 9,9 %, etäisyys lähimmästä päästölähteestä 4,1 % ja puuston ikä 1,9 % lajilukumäärän vaihtelusta. Kun etäisyys lähimpään lupavelvolliseen päästölähteeseen kasvoi, kasvoi myös alakohtainen jäkälien lajilukumäärä. Jäkälien lajilukumäärä puolestaan pieneni kun puuston läpimita kasvoi, mutta kasvoi puuston iän kasvaessa. (Taulukko 19.)

Taulukko 19. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärälle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

	B	standardoitu B	testisuure t	p-arvo
vakio	8,75		9,79	0,000***
läpimita	-0,12	-0,31	-4,89	0,000***
etäisyys päästölähteestä	0,03	0,20	3,38	0,001**
ikä	0,02	0,15	2,43	0,016*

Etäisyys päästölähteestä selitti pienemmän osan ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärän vaihtelusta kuin IAP-indeksin vaihtelusta. Tämä johtuu siitä, että IAP-indeksi ottaa huomioon eri lajien herkkyden epäpuhtauksille, kun taas lajilukumäärä käsittelee herkkyydeltään erilaisia lajeja samanarvoisina.

5.3.3 Sormipaisukarpeen vaurioaste

Sormipaisukarve on ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa keskeinen laji, joka ilmentää ilman epäpuhtauksien kuormitusta sekä ulkomuodollaan että runsaudellaan. Sormipaisukarve on hyvin yleinen laji, joka puuttuu ainoastaan kaikkein kuormitetuimmilta alueilta, ja bioindikaattoritutkimukseen soveltuvilla aloilla vain harvoin luontaisten tekijöiden vaikutuksesta.

Viiden selittävän muuttujan hierarkkinen regressiomalli selitti 27,5 % sormipaisukarpeen vaurioasteen vaihtelusta. Suurimman osan sormipaisukarpeen vaihtelusta selittivät etäisyys päästölähteestä (14,2 %), ja puuston läpimitta (5,7%). Puiden pituus ja lähimmän ilmoitusvelvollisen päästölähteen rikkidioksi- ja hiukkaspäästöt selittävät kukin vain alle 5 % vaurioasteen vaihtelusta. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli sitä suurempi mitä lähempänä päästölähdettä havaintoala sijaitsi. Regressiomallin mukaan puuston läpimitan kasvaessa sormipaisukarpeen vaurioasteet kasvoivat, mutta puuston pituuden kasvaessa vaurioasteet pienenevät. Sormipaisukarpeen vaurioaste kasvoi lähimmän päästölähteen rikkidioksidipäästöjen suurenessa, mutta pieneni hiukkaspäästöjen kasvaessa. Jäännösten autokorreloituneisuutta mittaava Durbin-Watsonin testisuureen pienehkö arvo ($d=1,57$) viittaa positiivisen autokorrelaation olemassaoloon, mikä voi heikentää sormipaisukarpeelle tehdyn regressiomallin luotettavuutta. (Taulukko 20.)

Taulukko 20. Sormipaisukarpeen vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

	B	standardoitu B	testisuure t	p-arvo
vakio	0,42		9,81	0,000***
etäisyys päästölähteestä	0,00	-0,38	-6,50	0,000***
läpimitta	0,01	0,32	5,57	0,000***
pituus	-0,01	-0,19	-3,41	0,001**
SO ₂	0,00	0,18	3,13	0,002**
Hiukkaset	0,00	-0,17	-2,83	0,005**

Etäisyys lähimpään päästölähteeseen selitti melko suuren osan sormipaisukarpeen vaurioasteessa havaitusta vaihtelusta. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että sormipaisukarpeen vaurioaste on hyvä ilman laatua kuvaava indikaattori.

5.3.4 Yleinen vaurioaste

26,9 % yleisen vaurioasteen vaihtelusta selittyi kolmen selittävän muuttujan hierarkkisella regressiomallilla. Etäisyys päästölähteestä selitti 21,6 % yleisen vaurioasteen vaihtelusta. Taustamuuttujat puiden läpimitta ja ikä selittivät yhteensä vain 5,3 % vaurioasteen vaihtelusta. Regressiomallin mukaan yleinen vaurioaste pieneni etäisyyden kasvaessa päästölähteeseen. Yleinen vaurioaste puolestaan kasvoi puuston läpimitan kasvaessa, mutta pieneni puuston iän kasvaessa. (Taulukko 21.)

Taulukko 21. Yleiselle vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

	B	standardoitu B	testisuure t	p-arvo
vakio	2,52		6,87	0,000***
etäisyys päästölähteestä	-0,03	-0,40	-7,25	0,000***
läpimitta	0,04	0,25	4,17	0,000***
ikä	-0,01	-0,14	-2,55	0,012*

Odotetusti yleisen vaurioasteen regressiomalli muistuttaa muiden lajistotunnusten regressiomallia: yleinen vaurioaste pyrkii kuvaamaan useiden ilman epäpuhtauksiin reagoivien lajien muutoksia.

5.3.5 Sormipaisukarpeen peittävyys

Viiden selittävän muuttujan hierarkkinen regressiomalli selitti 31,7 % sormipaisukarpeen peittävyyden vaihtelusta. Ilman laatua kuvaavat muuttujat selittivät 20,6 % sormipaisukarpeen peittävyyden vaihtelusta ja taustamuuttujat 11,1 %. Etäisyys päästölähteestä ennusti parhaiten alakohtaista sormipaisukarpeen peittävyyttä: etäisyyden kasvaessa sormipaisukarpeen peittävyys kasvoi. Lähimmän päästölähteen rikki-dioksidipäästöt selittivät 4,3 % sormipaisukarpeen peittävyyden vaihtelusta ja rikkidioksidipäästöjen kasvaessa sormipaisukarpeen peittävyys pieneni. Puuston läpimitta selitti 7,5 % sormipaisukarpeen peittävyyden vaihtelusta: sormipaisukarpeen peittävyys pieneni puuston läpimitan kasvaessa. Samoin puuston iän kasvaessa sormipaisukarpeen peittävyys pieneni. (Taulukko 22.)

Taulukko 22. Sormipaisukarpeen peittävyydelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

	B	standardoitu B	testisuure t	p-arvo
vakio	2,06		12,55	0,000***
etäisyys päästölähteestä	0,01	0,38	6,72	0,000***
läpimitta	-0,02	-0,23	-3,95	0,000***
SO ₂	-0	-0,267	-4,935	0,000***
ikä	-0,01	-0,209	-3,802	0,000***
hiukkaset	0	0,185	3,238	0,001**

Ilmanlaatua kuvaavat muuttujat selittivät viidesosan sormipaisukarpeen peittävyyden vaihtelusta. Regressiomallin mukaan sormipaisukarpeen peittävyys on näin ollen suhteellisen hyvä ilmanlaadun bioindikaattori. Paksujen ja kilpikaarnoittuvien mäntyjen rungot ovat huono kasvualusta etenkin sormipaisukarpeelle, mikä voi selittää sormipaisukarpeen peittävyyden ja puuston läpimitan välistä yhteyttä.

5.3.6 Neulaskato

Kahden selittävän muuttujan regressiomalli selitti vain 3,8 % neulaskadon vaihtelusta. Puuston ikä selitti 2,2 % ja puuston pohjapinta-ala vain 1,6 % neulaskadon vaihtelusta. Puuston ikäänntyessä neulaskato kasvoi ja pohjapinta-alan kasvaessa neulaskadon määrä pieneni. (Taulukko 23.) Regressiomallin mukaan puuden harsuuntumiseen vaikuttavat voimakkaasti muut tekijät kuin ilmanlaatua kuvaavat muuttujat ja tarkasteluissa mukana olleet taustamuuttujat.

Taulukko 23. Neulaskadolle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

	B	standardoitu B	testisuure t	p-arvo
vakio	1,24		24,17	0,000***
ikä	0,00	0,14	2,29	0,023*
pohjapinta-ala	0,00	-0,13	-2,07	0,040*

5.4 Yhteisöanalyysit

Ordinaatio suoritettiin sekä kahdessa että kolmessa ulottuvuudessa jäkälälajien yleisyydelle (jäkälälajien esiintyminen havaintoalalla 0-5) ja jäkälälajien runsaudelle (jäkälälajien keskimääräinen runsaus havaintoaloilla 0-3). Jäkälälajien yleisyyden perusteella tehdyn kolmiakselisen ordinaation stressiarvo oli 0,10 ja jäkälälajien runsauden perusteella tehdyn 0,09. Taustamuuttujat sovitettiin jäkälälajien runsauden kolmiakseliseen ordinaatioon (taulukko 24).

Taulukko 24. Taustamuuttujien sovituksen tulokset jäkälien runsaudelle. NMDS1, NMDS2 ja NMDS3 ovat vektoreiden suunnan kosineja suhteessa ordinaatioakselihin ja r2 kertoo ordinaation ja taustamuuttujien välisen riippuvuuden suuruuden. Melkein merkitsevä (p < 0,05) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

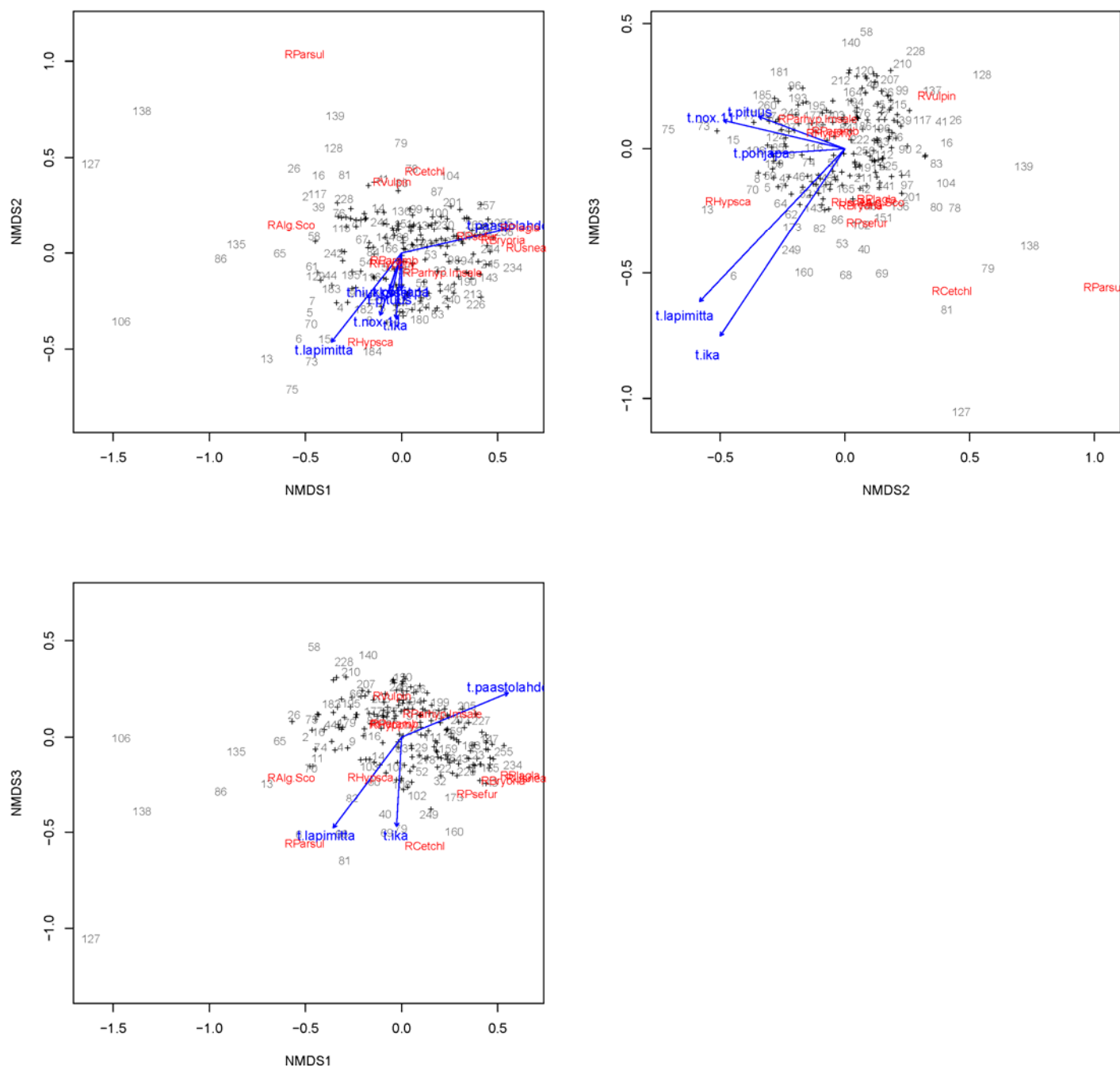
	akselit 1+2				akselit 1+3				akselit 2+3			
	NMDS1	NMDS2	r2	p-arvo	NMDS1	NMDS3	r2	p-arvo	NMDS2	NMDS3	r2	p-arvo
Pohjapinta-ala	0,00	-1,00	0,02	0,049*	-0,07	-1,00	0,00	0,990	-1,00	-0,07	0,02	0,042*
Ikä	-0,08	-1,00	0,08	0,001***	-0,06	-1,00	0,14	0,001***	-0,55	-0,83	0,22	0,001***
Pituus	-0,24	-0,97	0,04	0,005**	-0,55	0,83	0,01	0,349	-0,94	0,35	0,04	0,009**
Läpimitta	-0,62	-0,79	0,24	0,001***	-0,60	-0,80	0,22	0,001***	-0,69	-0,73	0,19	0,001***
Etäisyys päästölähteeseen (km)	0,97	0,22	0,22	0,001***	0,92	0,38	0,23	0,001***	0,48	0,88	0,02	0,078
Päästölähteen hiukaspäästö	-0,31	-0,95	0,03	0,035*	-0,96	0,29	0,00	0,542	-1,00	0,10	0,02	0,060
Päästölähteen NOx-päästö	-0,33	-0,95	0,08	0,001***	-0,83	0,56	0,02	0,088	-0,97	0,23	0,07	0,002**

Ordinaatiokuvaajista voidaan tarkastella jäkälälajien ja havaintoalojen, jäkälälajien ja taustamuuttujien ja havaintoalojen ja taustamuuttujien välisiä suhteita. Havaintoalojen sijainti ordinaatiossa kuvastaa sitä, mitkä lajit ovat tunnusomaisia havaintoaloille ja millä taustamuuttujilla on ollut eniten vaikutusta alojen jäkäläyhteisöjen koostumukseen. Akselistossa toisiaan lähellä olevat alat ovat lajistoltaan ja lajiston runsaussuhteiltaan samankaltaisia.

Ilman epäpuhtauksien suhteen herkat ja melko herkat lajit sijoittuivat jäkälälajiston runsauden mukaan tehdyssä ordinaatiossa pääasiassa eri puolelle kuin ilman epäpuhtauksia kuvaavien muuttujien vektorit, mutta samalle puolelle, missä etäisyys lähimpään päästölähteeseen kasvoi. Ilman epäpuhtauksista hyötyvä levä sijoittui pääasiassa herkkien ja melko herkkien lajien vastakkaiselle puolelle. Ordinaatiosta voidaan myös nähdä, että keltaröyhelö viihtyy nuorissa metsiköissä ja seinäsuomujäkälä puolestaan iäkkäämmissä metsissä, joissa puiden rungot ovat paksuja. Ilman epäpuhtauksille herkat ja melko herkat lajit sijoittuivat ordinaatiossa hyvin lähelle toisiaan, kuten myös ilman epäpuhtauksia suhteellisen hyvin kestävät lajit (sormipaisukarve, harmaa- ja tuhkatyvikarve, keltatyvikarve). (Kuva 51.)

Jäkälälajien runsauden suhteen tehdyssä ordinaatiossa alat hajaantuivat eniten puuston läpimitan ja iän sekä alan etäisyyden lähimpään päästölähteeseen mukaan. Selvää alojen ryhmittymistä ei ordinaatiossa ole kuitenkaan havaittavissa. Jäkälälajistoltaan muuttuneimmat alat sijaitsivat ordinaatiossa vastakkaisella puolella kuin alan etäisyyttä lähimpään päästölähteeseen kuvaava vektori, kun taas jäkälälajistoltaan luonnontilaisimmat alat sijaitsivat samalla puolella tämän taustamuuttujavektorin kanssa. Jäkälälajistoltaan köyhtyneitä aloja sijaitsi myös puuston läpimittaa kuvaavan vektorin suunnassa. Kuormittuneimmat alat ovatkin bioindikaattoritutkimuksissa usein suurimpien taajamien puistomaisia läpimitaltaan suuria metsiköitä, joissa myös levä on yleistä. Myös raidanisokarpeen esiintyminen erotteli aloja jonkin verran ordinaatioavaruudessa. (Kuva 51.)

Kaiken kaikkiaan yhteisöanalyysien tulokset vahvistavat muualla tutkimuksessa, esimerkiksi regressioanalyyseissa, saatuja tuloksia.



Kuva 51. Havaintoalojen sijoittuminen kolmiulotteiseen NMDS-ordinaatioon jäkälälajien runsauden mukaan. Vain merkitsevät ($p < 0,05$) taustamuuttujavektorit on sovitettu aineistoon.

5.5 Yhteenveto

Tulosten tilastollinen tarkastelu osoittaa, että tutkitut muuttujat kuvasivat ilmanlaatua, osa paremmin kuin toiset. Luontaiset tekijät vaikuttavat jäkälälajeihin, ja tätä vaikutusta voidaan vakiodia sijoittamalla havaintoalat indikaattorilajien kannalta soveltuvimpiin metsiköihin. Havaintoalojen sijoittelussa on tehtävä kuitenkin myös kompromisseja kattavuuden ja pysyvyyden varmistamiseksi vuosien välillä. Tilastomenetelmillä on mahdollista erotella luontaisten tekijöiden ja ilmanlaatuun liittyvien tekijöiden vaikutuksia. Tulosten perusteella jäkälämuuttujien yhteys ilmanlaatuun on melko selvä. Parhaiten ilmanlaatua kuvasivat yleinen vaurioaste ja sormipaisukarpeen peittävyys. Neulaskadon ja neulasvuosikertojen määrän sekä ilmanlaatua kuvaavien muuttujien välillä ei havaittu selkeää yhteyttä. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että puiden neulaskatoon vaikuttavat voimakkaasti muut tekijät (esim. Lindgren ym. 2007).

6. Vertailu

6.1 Vuosien välinen vertailu

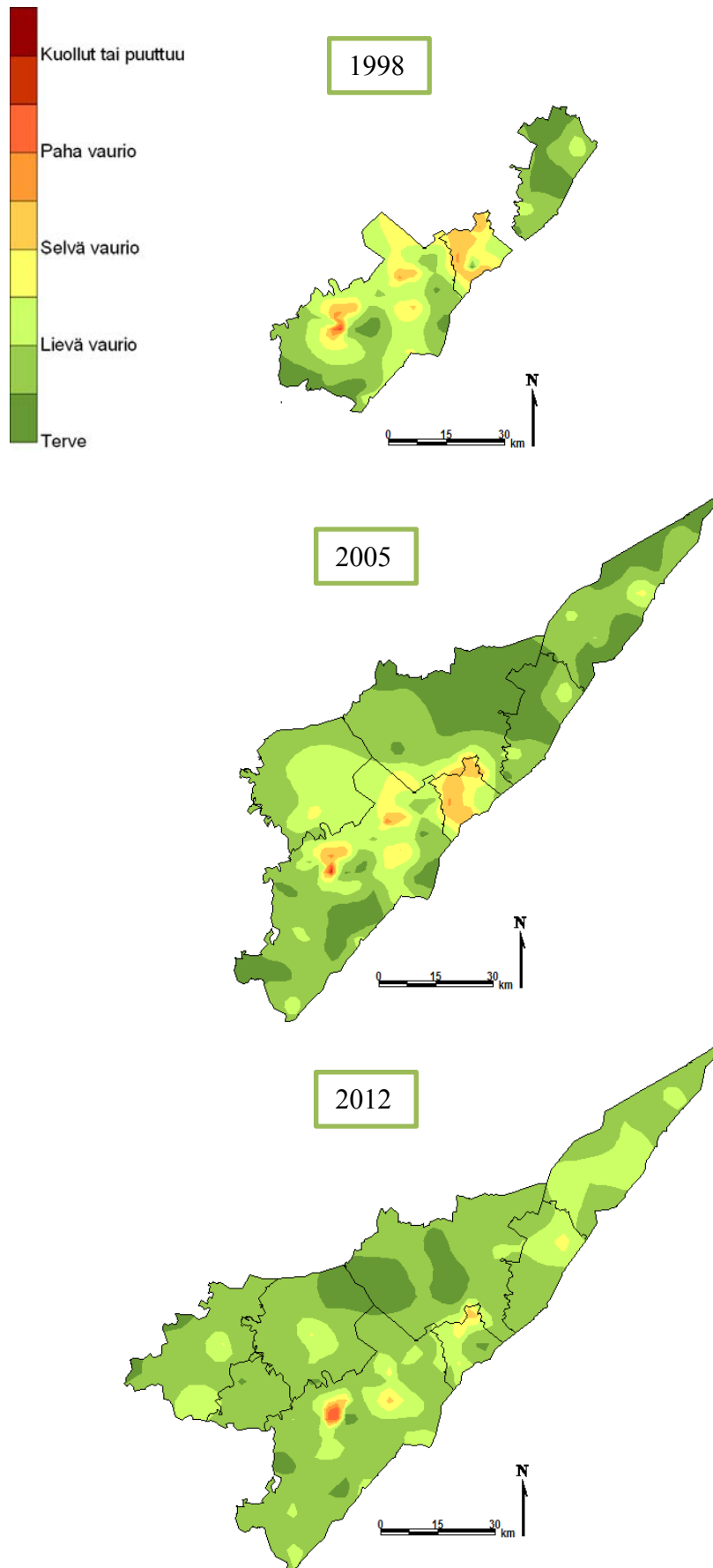
Tässä luvussa vertaillaan vuoden 2012 tuloksia aikaisempien vuosien bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Vertailuun on otettu mukaan vuodet 1998 ja 2005 (Korttinen 1998, Haahla ym. 2006b). Vertailuvuosina käytetyt menetelmät ja havaintoalat ovat samoja. Vertailujen kattavuus vaihtelee: vuonna 1998 tutkimuksessa mukana olivat Lappeenranta, Joutseno (nykyisin osa Lappeenrantaa), Imatra ja Rautjärvi. Vuonna 2005 mukaan tulivat Parikkala, Ruokolahti, Taipalsaari ja Ylämaa (nykyisin osa Lappeenrantaa) ja vuonna 2012 myös Lemi ja Taipalsaari liittyivät mukaan tutkimukseen. Mäntyjen epifyyttijäkälät olivat mukana jokaisena tutkimusvuotena, mutta mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavat tulokset olivat vertailukelpoisia vain vuosina 2005 ja 2012. Vertailun havainnollistamiseksi alla esitetään vyöhykekartat sormipaisukarpeen vaurioasteesta, lajilukumääristä ja IAP-indeksistä vuosilta 1998, 2005 ja 2012 ja neulaskadosta vuosilta 2005 ja 2012. Vyöhykekarttoja laadittaessa vaihtuneita aloja ei ole jätetty pois, vaan tarkoituksena on saada yleiskuva jäkälien indikoimasta ilmanlaadun vaihtelusta alueella eri vuosina. Myöhemmin aloja ja puita sekä niiden keskiarvoja eri vuosina tutkittujen muuttujien osalta vertailtaessa on vertailusta jätetty vaihtuneet alat pois. Vuoden 1998 tutkimuksessa havaintopuita ei oltu merkitty maastoon, joten myöhemmissä tutkimuksissa ei välttämättä ole olleet samat puut mukana kuin vuoden 1998 tutkimuksessa. Vuosien 2005 ja 2012 tutkimusten osalta vertailut on tehty samoina pysyneillä havaintorungoilla.

Sormipaisukarpeen suurimmat vauriot sijoittuivat kaikkina tutkimusvuosina Lappeenrannan keskusta-alueen seudulle, Joutsenoon ja Imatralla, mutta vuosina 1998 ja 2005 selvien vaurioiden vyöhykkeet ulottuivat hieman laajemmalle alueelle kuin vuonna 2012. Imatran, Joutsenon, Lappeenrannan ja Taipalsaaren kuntien rajoille muodostui vuonna 2005 laaja lievien ja selvien vaurioiden vyöhyke, joka vuoden 2012 tutkimuksessa pirstoutui pienemmiksi alueiksi. Toisaalta Rautjärven pohjoisosista Parikkalan keskiosiin ulottuvalle alueella muodostui vuonna 2012 lievien vaurioiden vyöhyke, jota ei vuoden 2005 tutkimuksessa alueella vielä ollut. Ruokolahdella, Parikkalassa ja Lappeenrannan eteläosissa terveen sormipaisekarpeen vyöhykkeet kutistuivat tutkimusten välillä. (Kuva 52.)

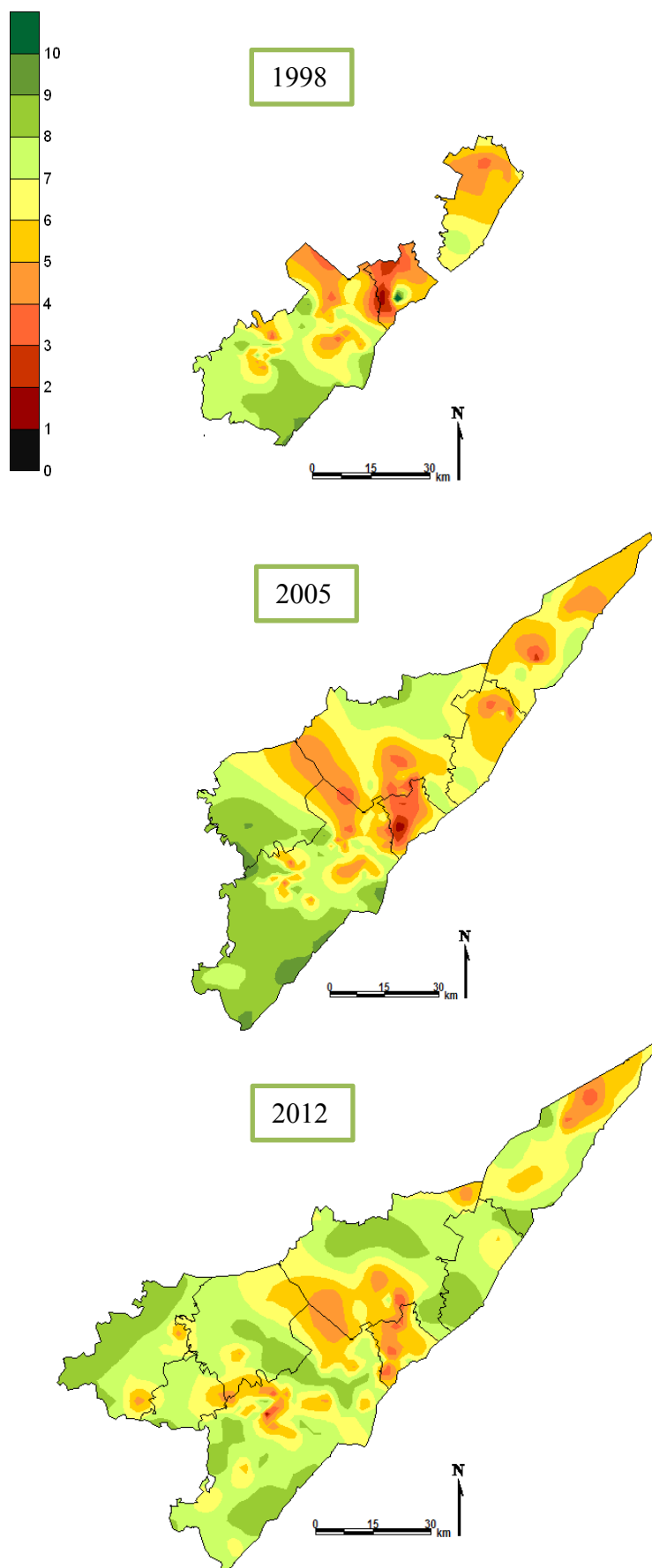
Kaikkina tutkimusvuosina jäkälälajistoltaan köyhtyneimmät alueet sijaitsivat Imatralla, Joutsenossa ja Lappeenrannan keskustan tuntumassa, mutta vuosina 1998 ja 2005 lajistoltaan köyhtyneiden ja selvästi köyhtyneiden alueiden vyöhykkeet ulottuivat hieman laajemmalle alueelle kuin vuonna 2012. Lappeenrannan keskustan tuntumassa sijaitseva lajistoltaan selvästi köyhtynyt alue oli kuitenkin laajimmillaan vuonna 2012. Vuosina 2005 ja 2012 jäkälälajistoltaan köyhtyneitä alueita muodostui lisäksi Ruokolahden etelä- ja länsiosiin ja Parikkalaan. Vuosina 1998 ja 2005 Rautjärven kuntaan muodostui lisäksi laajat köyhtyneen ja selvästi köyhtyneen lajiston vyöhykkeet, joita ei vuoden 2012 tutkimuksessa alueella enää ollut. Lappeenrannan eteläosan luonnontilaisen lajiston vyöhyke pieneni vuosien 2005 ja 2012 välillä, mutta Ruokolahden pohjoisosiin ja Rautjärven eteläosiin muodostui vuonna 2012 luonnontilaisen lajiston vyöhykkeet, joita ei aikaisempina tutkimusvuosina alueella vielä ollut. (Kuva 53.)

IAP-indeksin vaihtelu eri tutkimusvuosina oli hyvin samankaltaista kuin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärän vaihtelu. IAP-indeksin perusteella lajistoltaan lievästi ja selvästi köyhtyneiden alueiden vyöhykkeet olivat hieman suppeampia kuin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärän perusteella muodostetut. IAP-indeksin perusteella muodostetut luonnontilaisen lajiston vyöhykkeet sijoittuivat pääosin samoille alueille kuin jäkälien lajilukumäärän perusteella muodostetut. (Kuva 54.)

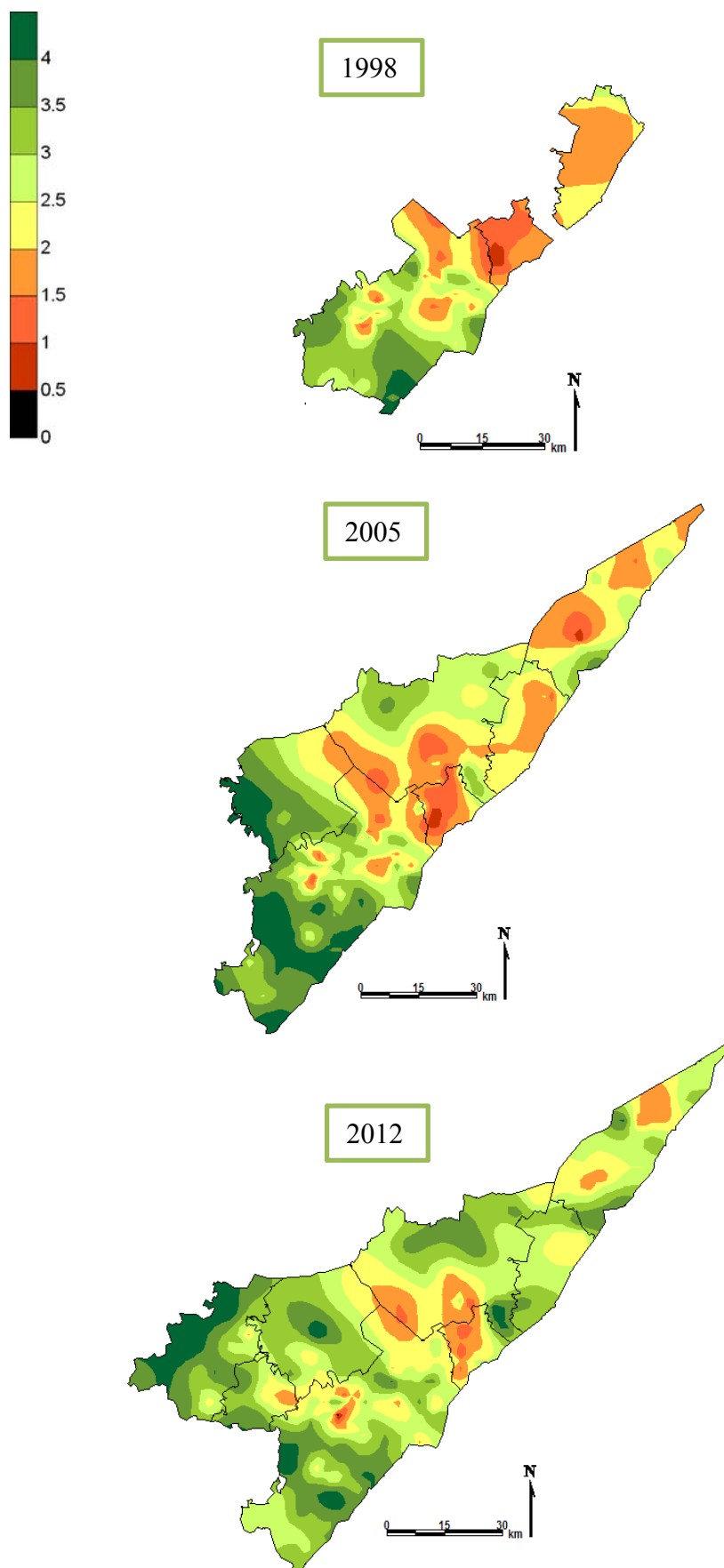
Vuonna 2005 hyvin pienialaiset harsuuntuneen puuston vyöhykkeet sijaitsivat Ruokolahden pohjoisosassa, Joutsenossa ja Lappeenrannan keskusta-alueen tuntumassa. Vuonna 2012 männyt olivat harsuuntuneita Ruokolahden keskiosassa, joillain alueilla Lappeenrannan ja Venäjän rajan tuntumassa, Lappeenrannan keskustan länsipuolella lähellä Lemin kunnan rajaa ja pienialaisilla alueilla Joutsenossa, Lappeenrannan keskustan tuntumassa ja Savitaipaleen kunnan eteläosassa. Vuonna 2005 valtaosa tutkimusalueesta kuului harsuuntumisasteeltaan luokkaan 10-15 %, kun vuonna 2012 valtaosa alueesta kuului neulaskatoluokkiin 15-20% ja 20-25 %. (Kuva 55.)



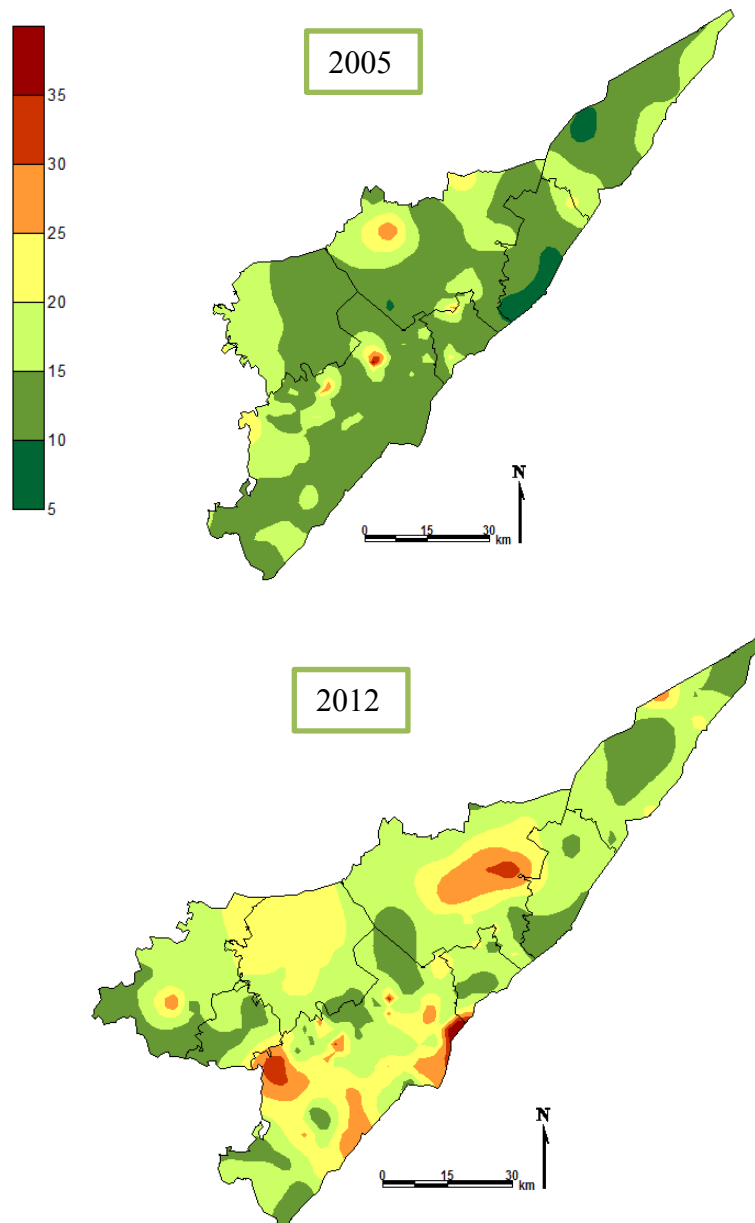
Kuva 52. Sormipaisukarpeen vaurioasteet tutkimusalueella vuosina 1998, 2005 ja 2012.



Kuva 53. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkäläen lukumäärät havaintoaloilla vyöhykkeittäin 1998, 2005 ja 2012.



Kuva 54. IAP-indeksin vyöhykkeet tutkimusalueella vuosina 1998, 2005 ja 2012.



Kuva 55. Mäntyjen neulaskadon vyöhykkeet tutkimusalueella vuosina 2005 ja 2012.

6.1.1 Mäntyjen epifyyttijäkälät

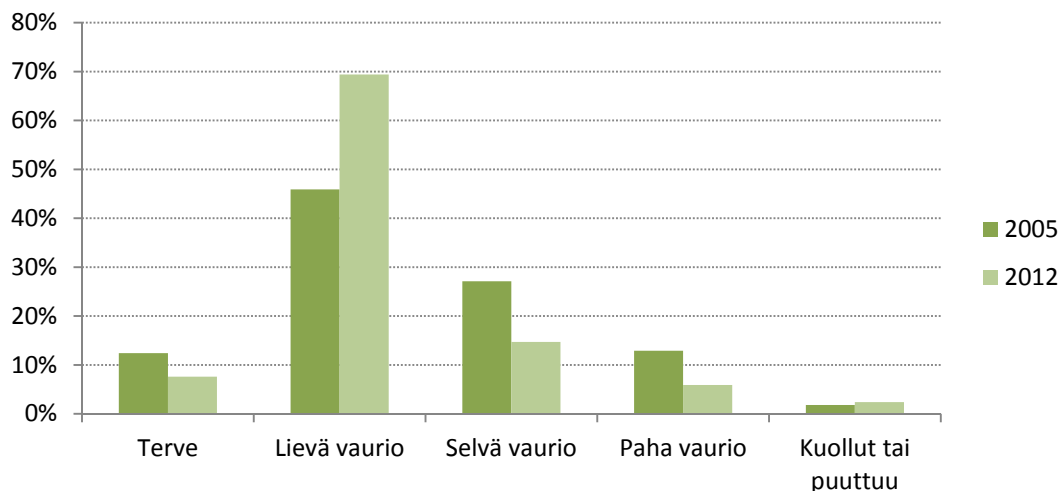
Vertailu vuosien 2005 ja 2012 välillä

Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja vuosina 2005 ja 2012 ja vuosien väliset tilastolliset vertailut on esitetty taulukossa 25. Ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkälälajeja havaittiin keskimäärin saman verran ja keskimääräinen ilmanpuhtausindeksi oli yhtä suuri molempina tutkimusvuosina. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli vuonna 2012 keskimäärin 0,2 vaurioluokkaa pienempi kuin vuonna 2005 ja vuosien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys kasvoi selvästi vuodesta 2005 vuoteen 2012, mutta luppojen keskimääräinen peittävyys oli sama molempina tutkimusvuosina. Levää esiintyi tutkimusrungoilla hieman vähemmän vuonna 2012 kuin vuonna 2005 ja vuosien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä. (Taulukko 25.)

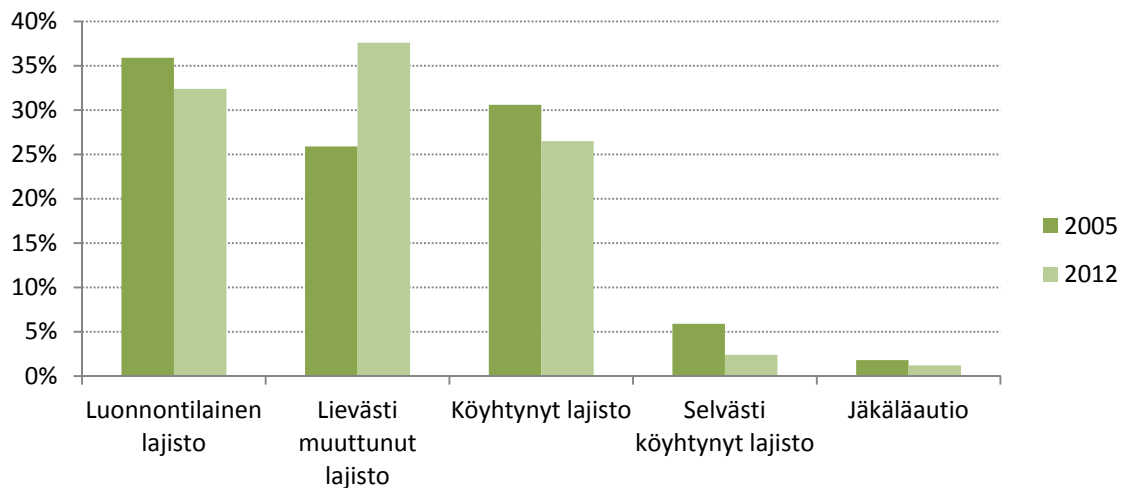
Taulukko 25. Männyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja Etelä-Karjalan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2005 ja 2012. Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). N = 170. Vuoden 2005 tulokset on julkaisusta Haahla ym. 2006b.

n = 170	Vuosi	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta	testisuure Z	p-arvo
Ilmanpuhtausindeksi	2005	2,5	0,2	4,8	1,08	84,000	0,754
	2012	2,5	0	4,7	0,95		
Lajilukumäärä (alakohtainen)	2005	6,4	1	10	2,23	60,000	0,721
	2012	6,4	0	10	1,97		
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2005	2,4	1,0	5,0	0,82	46,000	0,000***
	2012	2,2	1,0	5,0	0,76		
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	2005	9,2	0	42	7,35	119,000	0,000***
	2012	12,8	0	72	10,83		
Luppojen peittävyys (%)	2005	0,1	0	1,5	0,23	19,000	0,874
	2012	0,1	0	2,2	0,34		
Levän yleisyys	2005	2,8	0	5	2,12	2 069,500	0,021*
	2012	2,5	0	5	2,01		

Kuissa 56 ja 57 on esitetty havaintoalojen jakaantuminen luokkiin sormipaisukarpeen vaurioasteen ja IAP-indeksin mukaan vuosina 2005 ja 2012. Sormipaisukarpeen vaurioasteen terve luokka on pienentynyt 5 % vuoteen 2005 verrattuna, ja lievien vaurioiden luokka on puolestaan kasvanut 24 % edeltävästä tutkimuksesta. Sekä selvästi että pahasti vaurioituneiden alojen määrä on pienentynyt tutkimusten välillä. Jäkälälajistoltaan lievästi muuttuneet alat ovat lisääntyneet jonkin verran (12 %-yksikköä) vuodesta 2005 vuoteen 2012, mutta vastaavasti lajistoltaan köyhtyneiden alojen osuus on vähentynyt noin 8 % tutkimusten välillä. Myös luonnontilaisen lajiston omaavien alojen määrä on hieman pienentynyt tutkimusvuosien välillä.

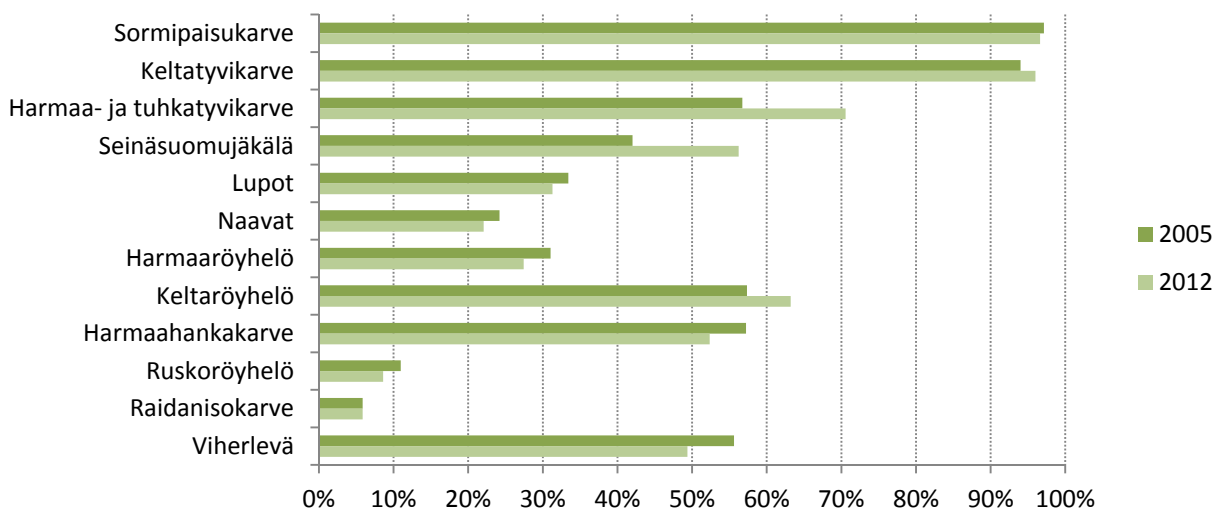


Kuva 56. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna sormipaisukarpeen vaurioasteen mukaan vuosina 2005 ja 2012. N = 170.



Kuva 57. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna IAP-indeksin arvon mukaan vuosina 2005 ja 2012. N = 170.

Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit samana pysyneillä rungoilla vuosina 2005 ja 2012 on esitetty kuvassa 58. Harmaa- ja tuhkatyvikarve, seinäsuomujäkälä ja keltaröyhelö olivat selvästi yleisempiä vuonna 2012 kuin vuonna 2005. Ilman epäpuhtauksille hervät lajit lupot, naavat ja harmaahankakarve harvinaistuivat vuodesta 2005 vuoteen 2012, mutta toisaalta myös ilman epäpuhtauksien positiiviset indikaattorit viherlevä ja vihersukkulajäkälä harvinaistuivat tutkimusvuosien välillä. (Kuva 58.)



Kuva 58. Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit tutkimusalueella vuosina 2005 ja 2012. N = 802.

Vertailu vuosien 1998, 2005 ja 2012 välillä

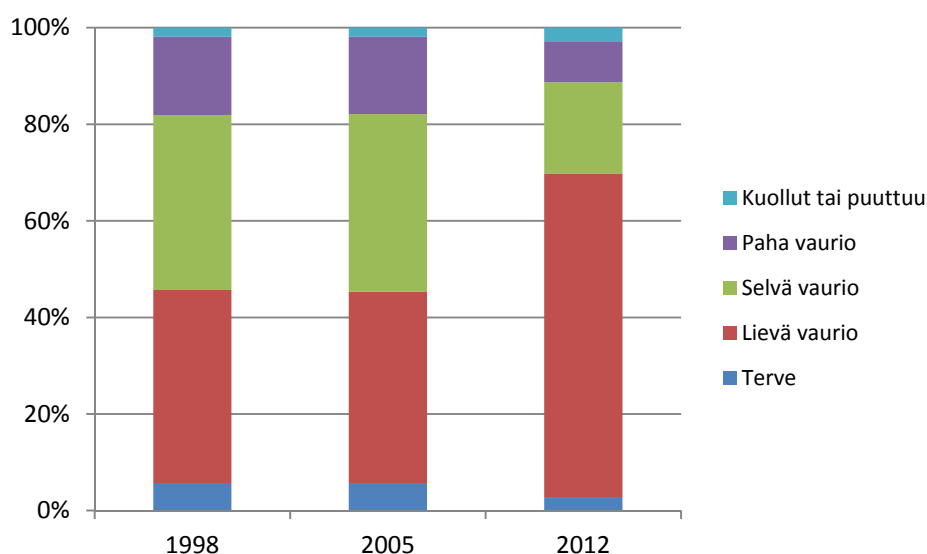
Mäntyjen runkojäkälä kuvaavia tunnuslukuja vuosina 1998, 2005 ja 2012 ja vuosien väliset tilastolliset vertailut on esitetty taulukossa 26. Ilmanpuhtausindeksi ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärä olivat hieman korkeampia vuonna 2012 kuin vuosina 2005 ja 1998, mutta vuosien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurioaste oli selvästi pienempi ja peittävyys selvästi suurempi vuonna 2012 kuin vuosina 2005 ja 1998, mutta vuosien 1998 ja 2005 välillä vaurioasteessa ja peittävyydessä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Luppojen keskimääräinen peittävyys oli yhtä suuri kaikkina tutkimusvuosina. Levä oli selvästi harvinaisempaa vuonna 2012 kuin aikaisempina tutkimusvuosina, mutta tutkimusvuosien 1998 ja 2005 välillä levän yleisyydessä ei ollut eroa.

Taulukko 26. Männyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja Etelä-Karjalan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 1998, 2005 ja 2012. Vuosien väliset vertailut on tehty toistomittausten varianssianalyysillä (F) tai Friedmanin testillä (Chi Square). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). N =170. Vuosien 1998 ja 2005 tulokset ovat julkaisuista Korttinen 1998 ja Haahla ym. 2006b.

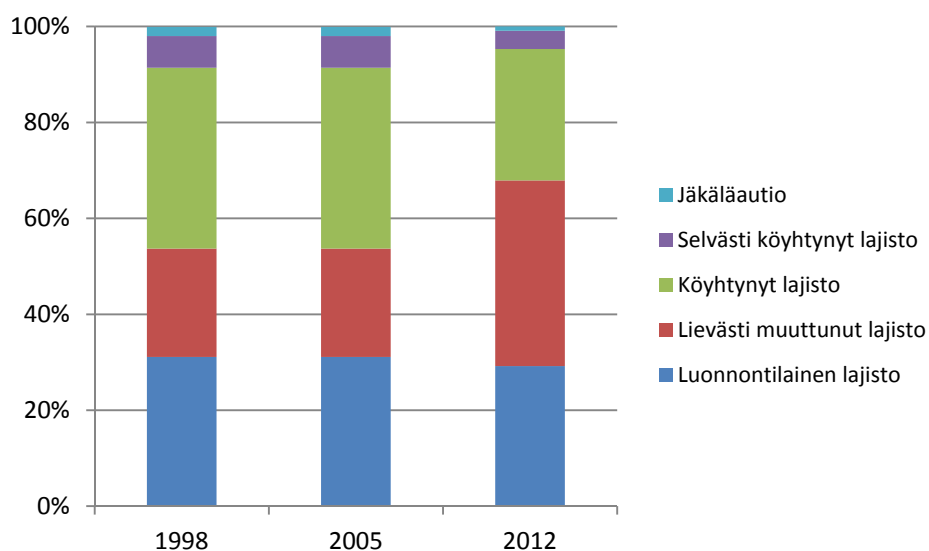
n = 106	Vuosi	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta	testisuure	p-arvo
Ilmanpuhtausindeksi	1998	2,3	0,4	4,5	1,04	Z = 2,82	0,096
	2005	2,3	0,4	4,5	1,04		
	2012	2,4	0	4,7	0,92		
Lajilukumäärä (alakohtainen)	1998	6,0	1,0	10	2,31	Chi Square = 2,564	0,277
	2005	6,0	1,0	10	2,31		
	2012	6,4	0	10	2,03		
Sormipaisukarpeen vaurioaste	1998	2,6	0,6	5,0	0,79	Z = 32,271	0,000***
	2005	2,7	1,2	5,0	0,76		
	2012	2,3	1,2	5,0	0,80		
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	1998	7,7	0	28	6,01	Chi Square = 45,036	0,000***
	2005	7,8	0	28	6,02		
	2012	10,6	0	41	8,02		
Luppojen peittävyys (%)	1998	0,1	0	1,0	0,20	Chi Square = 0,56	0,756
	2005	0,1	0	1,0	0,20		
	2012	0,1	0	2,2	0,32		
Levän yleisyys	1998	3,5	0	5	1,89	Chi Square = 11,373	0,003**
	2005	3,5	0	5	1,86		
	2012	3,0	0	5	1,93		

Kuvissa 59 ja 60 on esitetty havaintoalojen jakaantuminen luokkiin sormipaisukarpeen vaurioasteen ja IAP-indeksin mukaan vuosina 1998, 2005 ja 2012. Vuosina 1998 ja 2005 havaintoalat jakautuvat vaurioasteluokkiin hyvin samankaltaisesti. Vuonna 2012 lievät sormipaisukarpeen vauriot omaavien alojen määrä on kasvanut ja selvät ja pahat vauriot omaavien alojen määrä on pienentynyt verrattuna edeltäviin tutkimusvuosiin. Terveen sormipaisukarpeen luokka oli vuonna 2012 hieman pienempi kuin aikaisempina tutkimusvuosina. (Kuva 59.)

Vuosina 1998 ja 2005 havaintoalat jakautuvat myös IAP-indeksin mukaisiin luokkiin samoin osuuksin. Vuonna 2012 jäkälälajistoltaan lievästi muuttuneiden alojen osuus on kasvanut ja lajistoltaan köyhtyneiden ja selvästi köyhtyneiden osuus on pienentynyt edeltäviin tutkimuksiin verrattuna. (Kuva 60.)



Kuva 59. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna sormipaisukarpeen vaurioasteen mukaan vuosina 1998, 2005 ja 2012. N = 106.



Kuva 60. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna IAP-indeksin mukaan vuosina 1998, 2005 ja 2012.

6.1.2 Mäntyjen elinvoimaisuus

Vertailu vuosien 2005 ja 2012 välillä

Tutkimusalueen puissa havaitut taudit, tuhot ja neulasten värimuutokset vuosina 2005 ja 2012 on esitetty taulukossa 27. Tervasrosan vaivaamia tutkimusmäntyjä on molempina tutkimusvuosina ollut suunnilleen yhä paljon. Ytimennävertäjän vaurioittamien puiden osuus pienentyi noin 7 %-yksikköä vuodesta 2005 vuoteen 2012. Ruskistuneita neulasia havaittiin hieman enemmän vuonna 2012 kuin vuonna. Kellastuneita neulasia omaavien puiden osuus oli vuonna 2012 huomattavasti suurempi kuin vuonna 2005. Tähän on voinut vaikuttaa maastotöiden ajoittuminen: vuonna 2005 maastotyöt tehtiin elokuun puolella, kun vuonna 2012 ne kestivät syyskuun puoliväliin asti. Neulasten ruskistuminen ja kellastuminen lisääntyy kasvukauden loppua kohti.

Taulukko 27. Taudit, tuhot ja neulasten värimuutokset tutkimusalueen puissa vuosina 2005 ja 2012 (N = 802).

	2005		2012	
	puiden lkm	% puista	puiden lkm	% puista
tervasroso	4	0,5 %	5	0,6 %
ytimennävertäjä	182	22,7 %	126	15,7 %
ruskeita neulasia	121	15,1 %	140	17,5 %
keltaisia neulasia	39	4,9 %	257	32,0 %

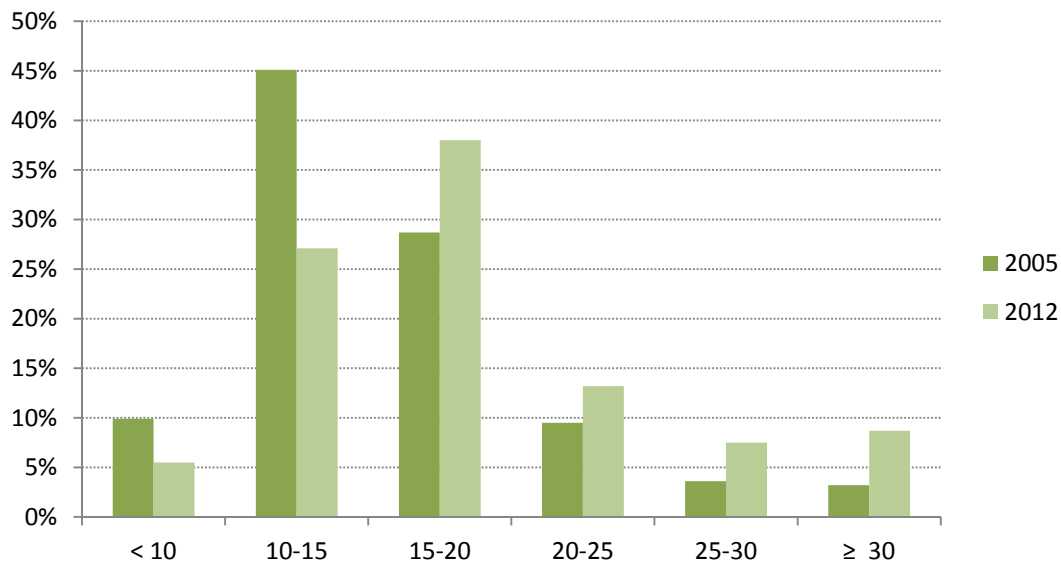
Mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavia tunnuslukuja vuosina 2005 ja 2012 ja vuosien väliset tilastolliset vertailut on esitetty taulukossa 28. Keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä oli hieman alhaisempi vuonna 2012 kuin vuonna 2005 ja vuosien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli yli 3 %-yksikköä suurempi vuonna 2012 kuin vuonna 2005.

Taulukko 28. Mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavia tunnuslukuja Etelä-Karjalan samoina pysyneillä havaintopiilla vuosina 2005 ja 2012. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). N = 802. Vuoden 2005 tulokset ovat julkaisusta Haahla ym. 2006b.

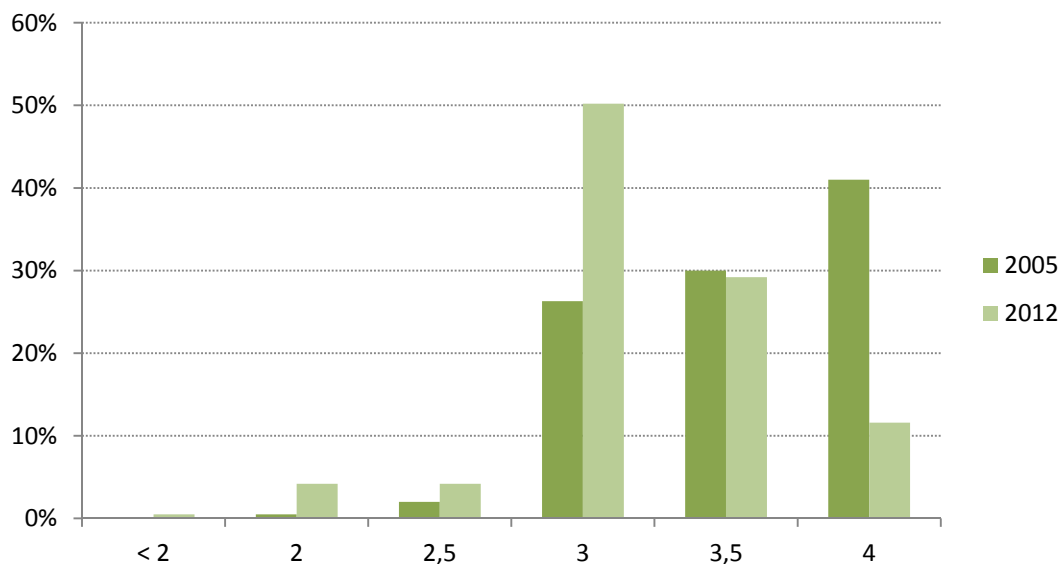
n = 802	Vuosi	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta	testisuure Z	p-arvo
Neulasvuosikerrat	2005	3,5	1,0	5,0	0,46	15,252	0,000***
	2012	3,2	1	4,0	0,47		
Neulaskato (%)	2005	15,1	5	75	6,80	-10,814	0,000***
	2012	18,4	3	80	8,74		

Kuvissa 61 ja 62 on esitetty havaintoalojen jakaantuminen luokkiin neulaskadon ja neulasvuosikertojen määrän mukaan vuosina 2005 ja 2012. Harsuuntuneiden puiden määrä kasvoi tutkimusvuosien välillä: vuonna 2005 harsuuntuneiden puiden osuus oli 6,8 % kun se vuonna 2012 oli 16,2 %. Lievästi harsuuntuneiden (harsuuntumisaste 10-25 %) havaintopuiden osuus pienentyi tutkimusvuosien välillä noin 5 %-yksikköä. Valtaosa tästä muutoksesta tapahtui neulaskatoluokkaan 10-15 % kuuluvien puiden määrän pienentymisellä, kun taas tätä suurempien neulaskatoluokkien osuudet kasvoivat. Harsuuntumattomien puiden (neulaskato alle 10 %) osuus tutkituista puista oli vuonna 2012 pienempi kuin vuonna 2005. Vuosien välisessä tarkastelussa ovat mukana vain samoina pysyneet havaintopuut.

Vuonna 2005 suurimmalla osalla tutkimusmännystä oli 4 neulasvuosikertaa, kun taas vuonna 2012 suurin neulasvuosikertaluokka oli 3 neulasvuosikertaa. Alle kolme neulasvuosikertaa omaavien mäntyjen osuudet olivat hieman suuremmat vuonna 2012 kuin vuonna 2005, ja vastaavasti vuonna 2012 neljä neulasvuosikertaa tavattiin huomattavasti pienemmällä osalla tutkimusmännystä kuin vuonna 2005.



Kuva 61. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna neulaskadon mukaan vuosina 2005 ja 2012. N = 802.



Kuva 62. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna neulasvuosikertojen määrän mukaan vuosina 2005 ja 2012. N = 802.

6.2 Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin sekä alueen kuntien välillä

Tässä luvussa vertaillaan muualla Suomessa tehtyjen tutkimusten tuloksia Etelä-Karjalan bioindikaattori-tutkimuksen tuloksiin sekä tutkimusalueen kuntien tuloksia keskenään.

6.2.1 Mäntyjen runkojäkälet

Taulukossa 29 on verrattu Etelä-Karjalan maakunnan alueen bioindikaattoritutkimuksen tuloksia eri puolilla Suomea tehtyjen tutkimusten tuloksiin jäkälämuuttujien osalta. Keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste oli Etelä-Karjalan maakunnassa samaa tasoa kuin Uudellamaalla, Pyhäjärvisseudulla, Vakka-Suomessa ja Länsi-Suomessa. Keski-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa sormipaisukarpeen vauriot olivat hieman pienemmät ja Kokkolassa ja Pietarsaassa sekä Turussa hieman suuremmat kuin Etelä-Karjalassa. Etelä-Karjalassa havaittiin enemmän ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkäälälajeja runkoa kohti kuin Kokkolassa ja Pietarsaassa, Uudellamaalla, Länsi-Suomessa ja Turussa. Ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkäälälajeja havaittiin Etelä-Karjalassa kuitenkin keskimäärin vähemmän kuin Pohjois-Karjalassa, Pyhäjärvisseudulla ja Vakka-Suomessa. (Taulukko 29.)

Taulukko 29. Sormipaisukarpeen vaurio ja puukohtainen lajilukumäärä Etelä-Karjalan maakunnan alueen bioindikaattoritutkimuksessa 2012 sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Huuskonen & Lehtonen 2012, Lehtonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2010, Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2007, Haahla ym. 2006a, Haahla ym. 2006b.

Alue	n	Tutkimusvuosi	Sormipaisukarpeen vaurio	Lajilukumäärä / puu
Etelä-Karjala	263	2012	2,1	4,9
Kokkola & Pietarsaari	238	2012	2,3	3,9
Pohjois-Karjala	300	2010	1,9	6,0
Uusimaa	776	2009	2,1	4,7
Pyhäjärviseutu	98	2007	2,1	5,3
Vakka-Suomi	103	2006	2,1	5,1
Länsi-Suomi	398	2006	2,1	4,1
Turku	145	2005	2,2	3,6
Keski-Suomi	492	2005	2,0	

Taulukossa 30 on vertailtu tutkimusalueen kuntia keskenään sormipaisukarpeen vaurioasteen, lajilukumäärän sekä IAP-indeksin osalta. Tutkimusalueen jäkäälälajistoltaan luonnontilaisimmat kunnat olivat Lemi, Savitaipale, Taipalsaari ja Rautjärvi. Jäkäälälajisto oli köyhtyneintä Imatralla. Muissa kunnissa jäkäälälajisto oli lievästi köyhtynyttä. Lappeenrannan kunnan alueella sijaittivat sekä eniten että vähiten ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkäälälajeja sisältäneet alat. Sormipaisukarve oli keskimäärin selvästi vaurioitunut Imatran kaupungin alueella, muiden kuntien alueella sormipaisukarpeen vauriot olivat lieviä. Sormipaisukarve oli terveintä Lemin, Ruokolahden, Savitaipaleen ja Taipalsaaren kuntien alueella. (Taulukko 30.)

Taulukko 30. Sormipaisukarpeen vaurioasteen, lajilukumäärän ja ilmanpuhtausindeksin keskiarvot sekä pienimmät ja suurimmat arvot Etelä-Karjalan tutkimuskunnissa sekä koko tutkimusalueella vuonna 2012.

	Ilmanpuhtausindeksi			Lajilukumäärä			Sormipaisukarpeen vaurioaste		
	KA	Pienin	Suurin	KA	Pienin	Suurin	KA	Pienin	Suurin
Imatra	1,7	0,8	3,0	4,8	3	9	2,5	1,4	4,4
Lappeenranta	2,6	0,0	4,7	6,6	0	10	2,2	1,2	5,0
Lemi	3,0	1,5	4,1	7,1	5	9	1,8	1,4	2,2
Parikkala	2,6	1,5	4,3	6,4	3	9	2,0	1,3	2,6
Rautjärvi	2,8	2,0	3,9	7,5	5	9	2,1	1,5	3,1
Ruokolahti	2,6	1,2	4,6	6,3	3	9	1,8	1,0	3,0
Savitaipale	3,5	1,8	4,6	7,5	4	9	1,8	1,3	2,7
Taipalsaari	2,9	1,6	4,6	6,9	4	9	1,8	1,3	2,6
Koko tutkimusalue	2,6	0	4,7	6,5	0	10	2,1	1,0	5,0

6.2.2 Mäntyjen elinvoimaisuus

Taulukossa 31 on verrattu Etelä-Karjalan maakunnan alueen bioindikaattoritutkimuksen tuloksia eri puolilla Suomea tehtyjen tutkimusten tuloksiin mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavien muuttujien osalta. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli Etelä-Karjalassa suurempi kuin vertailualueilla. Kotkan seudulla mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli lähellä Etelä-Karjalan tasoa. Neljännes Etelä-Karjalan ja Kotkan seudun tutkimusmännystä oli harsuuntunut. Harsuuntuneiden puiden osuus oli Etelä-Karjalassa selvästi suurempi kuin Pyhäjärvisseudulla, Länsi-Suomessa ja Keski-Suomessa. Keskimääräisissä neulasvuosikertojen määrissä ei vertailtavien alueiden välillä ollut kovin merkittäviä eroja.

Taulukko 31. Mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavia tunnuslukuja Etelä-Karjalan maakunnan alueen bioindikaattoritutkimuksessa 2012 sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2007, Haahla ym. 2006a ja Niskanen ym. 2003b.

Alue	Tutkimusvuosi	n	Neulaskadon keskiarvo (%)	Harsuuntuneiden puiden osuus (%)	Neulasvuosikertojen määrä
Etelä-Karjala	2012	1315	19	25	3,2
Pyhäjärviseu	2007	980	16	5	3,1
Vakka-Suomi	2006	515	16	18	3,1
Turun seutu	2005	725	15	10	3,3
Länsi-Suomi	2006	3968	14	6	3,4
Keski-Suomi	2005	4920	14	8	3,3
Kotka	2002	1244	18	25	3,1

Taulukossa 32 on vertailtu tutkimusalueen kuntia keskenään neulaskadon ja neulasvuosikertojen osalta. Männyt olivat harsuuntuneimpia Lappeenrannassa, Ruokolahdella ja Taipalsaarella. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli pienin Lemin ja Parikkalan kunnissa. Sekä tutkimusalueen harsuuntunein että neulaskadoltaan vähäisin ala sijaitsivat Lappeenrannassa. Eniten neulasvuosikertoja havaittiin Lappeenrannassa, Lemillä ja Parikkalassa ja vähiten Savitaipaleella, Ruokolahdella ja Rautjärvellä.

Taulukko 32. Mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavien tunnuslukujen alakohtaiset keskiarvot sekä pienimmät ja suurimmat arvot Etelä-Karjalan tutkimuskunnissa sekä koko tutkimusalueella vuonna 2012.

	Neulaskato (%)			Neulasvuosikerrat		
	KA	Pienin	Suurin	KA	Pienin	Suurin
Imatra	16,1	10,8	21,2	3,4	2,9	3,8
Lappeenranta	19,4	8,2	52,0	3,2	1,7	4,0
Lemi	14,7	11,8	20,2	3,3	2,9	3,6
Parikkala	15,8	11,2	29,4	3,3	2,9	3,8
Rautjärvi	16,2	11,0	22,4	3,1	2,0	3,5
Ruokolahti	19,8	11,8	33,6	3,1	2,0	3,6
Savitaipale	16,6	10,4	32,2	3,0	2,4	3,7
Taipalsaari	20,0	14,6	25,0	3,2	2,1	3,7
Koko tutkimusalue	18,5	8,2	52,0	3,2	2	4

7. Johtopäätökset

Etelä-Karjalan alueella on runsaasti puunjalostusteollisuutta ja siihen liittyvää kemianteollisuutta sekä energiantuotantoa. Teollisuus keskittyy pääasiassa Lappeenrantaan, Joutsenon alueelle, Imatralla ja pienemmässä mittakaavassa Rautjärvelle. Merkittäviä päästöjä tutkimusalueella aiheuttavat myös Imatralla sijaitseva terästehdas ja Lappeenrannassa Ihalaisen teollisuusalue, jossa suoritetaan mineraalien louhintaa ja jatkojalostusta. Imatran ilmanlaatuun vaikuttavat myös venäläisen naapurikaupungin Svetogorskin päästöt. Maaseutualueilla, kuten Savitaipaleen, Imatran, Joutsenon ja Lappeenrannan kaakkoisosissa sekä Parikkalassa, myös maataloustoiminnoilla voi olla paikallisia ilmanlaatuvaikutuksia.

Tutkimusalueen rikkidioksidipäästöt kasvoivat 2000-luvun alussa, mutta pienenevät vuosikymmenen loppupuolella selvästi. Myös typen oksidien ja hiukkaspäästöt pienentyivät 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen lopussa, joskin päästöissä on 2000-luvulla ollut paljon tuotannon intensiteetistä ja energiankulutuksesta johtuvaa vuosien välistä vaihtelua. Pidemmällä aikavälillä Etelä-Karjalan alueen päästöt ovat pienentyneet selvästi 1980-luvun lopun tilanteesta. Tehtaiden prosessiuudistusten myötä erityisesti kasvillisuudelle haitallisen rikkidioksidin päästöt ovat pienentyneet. Liikenteen osalta rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästömäärät ovat pidemmällä aikavälillä vähentyneet selvästi, mutta paikallisesti muun muassa taajamissa liikenteen typen oksidien päästöillä voi olla huomattava merkitys. Myös ilmasta mitattujen epäpuhtauksien pitoisuudet ja laskeumat ovat pääasiassa laskeneet 2000-luvulle tultaessa verrattuna 1980- ja 1990-lukuihin. Tutkimusalueen päästö määriltään suurimmat lupavelvolliset rikkidioksidin pistemäiset päästölähteet sijaitsivat Lappeenrannassa, Imatralla ja Simpeleellä. Suurimmat typen oksidien ja hiukkasten päästölähteet sijaitsivat Lappeenrannassa, Imatralla ja Joutsenon alueella. Vähiten päästöjä tutkimusalueella syntyi Lemillä, Savitaipaleella ja Taipalsaareissa. Alueen vilkkaimmin liikennöidyt tiet ovat valtatie 6, 13 ja 62.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset ilmanlaatua kuvaaviin jäkälämuuttujiin olivat koko Etelä-Karjalan maakunnan mittakaavassa lieviä. Teollisuuskeskittymien ympäristössä ja taajamissa vaikutukset olivat kuitenkin selviä ja näkyivät jäkälälajiston köyhtymisenä ja vaurioitumisena sekä levän yleisyytenä. Joiltain aloilta ilman epäpuhtauksista kärsivät jäkälälajit puuttuivat kokonaan. Selvimät muutokset rajoittuivat kuitenkin melko suppeille, kuormitetuimmille alueille Lappeenrantaan Ihalaisen ja Kaukaan teollisuusalueen ympäristöön, Imatralla, Joutsenon ja Simpeleelle Rautjärven kunnan alueelle. Tulosten tilastollinen tarkastelu vahvisti, että etäisyys päästölähteestä oli merkittävin jäkälämuuttujiin vaikuttanut tekijä. Tutkimusalueella vallitsevat etelän- ja lounaan puoleiset tuulet ja suurimpien päästölähteiden vaikutukset jäkäläkasvillisuuteen näkyvät myös päästölähteiden pohjoispuolella Ruokolahden ja Taipalsaaren kuntien eteläosassa. Jäkälälajisto oli köyhtynyt myös Parikkalan kunnan alueella, jossa maataloustoiminnoilla on voinut olla paikallisia vaikutuksia jäkälälajistoon. Jäkälälajisto oli monipuolisinta ja terveintä päästö määriteltään pienempien kuntien eli Lemin, Ruokolahden, Savitaipaleen ja Taipalsaaren alueella, mutta näidenkin kuntien alueella havaittiin paikallisia, pienialaisia muutoksia jäkälälajistossa esimerkiksi Lemin Kuukanien hakkeella toimivan lämpölaitoksen läheisyydessä tai Savitaipaleen keskustaajaman koillispuolella ja kunnan eteläosassa. Savitaipaleen kunnan eteläosan ala (252) on soveltuvuudeltaan kohtalainen, millä voi olla vaikutusta alan jäkälätuloksiin. Verrattaessa tuloksia muiden alueellisten ilmanlaadun bioindikaattoritutkimusten tuloksiin, keskeisimmät ilmanlaatua kuvaavat jäkälämuuttujat osoittavat ilmanlaadun olevan Etelä-Karjalan alueella hieman parempi kuin kuormitetuimmilla alueille Uudellamaalla, Kokkolassa ja Pietarsaareissa sekä Turussa.

Jäkälälajisto oli yhtä runsasta ja monipuolista tutkimusvuosina 2005 ja 2012. Keskimäärin sormipaisukarpeen kunto oli kuitenkin parantunut, levä oli harvinaistunut ja sormipaisukarpeen peittävyys kasvanut vuodesta 2005 vuoteen 2012. Lappeenrannan, Joutsenon, Imatran ja Rautjärven osalta tilanne oli jäkälämuuttujien osalta parhain vuonna 2012, jolloin vaurioasteet olivat pienempiä, jäkälälajisto monipuolisempaa ja levä harvinaisempaa kuin aikaisempina tutkimusvuosina. Vuosien 1998 ja 2005 välillä ei näiden kuntien osalta havaittu merkittäviä muutoksia ilman laatua kuvaavissa jäkälämuuttujissa. Lievästi vaurioituneiden ja lievästi köyhtyneiden alojen lukumäärä oli kuitenkin lisääntynyt ja sormipaisukarpeen vaurioasteeltaan terveiden tai jäkälälajistoltaan luonnontilaisten alojen määrä vähentynyt vuonna 2012 verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin. Vastavaasti selvästi ja pahasti vaurioituneiden tai jäkälälajistoltaan

köyhtyneiden alojen määrä väheni tutkimusvuosien välillä. Enemmän tietoa muutosten suunnasta saada, kun tarkastellaan muutoksia vuosien 1998, 2005 ja 2012 välillä alueellisesti. Kaikkina tutkimusvuosina jäkälälajistoltaan köyhtyneimmät ja vaurioituneimmat alueet sijaitsivat Imatralla, Joutsenossa ja Lappeenrannan keskustan tuntumassa, mutta lajistoltaan köyhtyneiden ja selvästi köyhtyneiden sekä selvästi vaurioituneiden alueiden vyöhykkeet olivat pienentyneet vuonna 2012. Lappeenrannan keskusta-alueella jäkälälajistoltaan köyhtyneet ja selvästi vaurioituneet alueet eivät kuitenkaan merkittävästi kutistuneet. Jäkälälajisto monipuolistui ja runsastui selvästi Rautjärven kunnan alueella tarkasteluajanjakson aikana, mutta Lappeenrannan eteläosissa (Vaalimaa ja Nuijamaa) sormipaisukarpeen vauriot kasvoivat hieman ja jäkälälajisto köyhtyi hieman vuosien 2005 ja 2012 välillä.

Männyt olivat tutkimusalueella keskimäärin lievästi harsuuntuneita (harsuuntumisaste 18,5 %). Harsuuntuneiden puiden osuus oli tutkimuksessa melko suuri. Harsuuntumisaste oli Etelä-Karjalassa selvästi valtakunnallista ja muualla Suomessa toteutettujen alueellisten tutkimusten keskiarvoja suurempi. Noin viidesosa tutkimuspuista oli ytimennävertäjän vahingoittamia ja vauriot painottuivat puunjalostusteollisuuden läheisyyteen samoille alueille, joilla neulasets olivat kellastuneita. Alat, joilla männyt olivat harsuuntuneita, sijoittuivat pääasiassa Lappeenrannan alueelle puunjalostusteollisuuden läheisyyteen, 6-tien varrelle ja sen eteläpuolelle sekä Ruokolahden keskiosiin. Keskimääräisessä neulasvuosikertojen määrässä ei ollut havaittavissa selkeää alueellista jakautumista. Tutkimustulosten ja tilastollisten tarkastelujen perusteella puuston kuntoon Etelä-Karjalan alueella vaikuttavat voimakkaasti muut tekijät kuin ilman epäpuhtaudet, kuten puiden ikä ja hyönteistuhot. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato voimistui tutkimusvuosien 2005 ja 2012 välillä. Ytimennävertäjätuhot vähenivät, mutta kellastuneita neulasia havaittiin huomattavasti enemmän vuonna 2012 kuin vuonna 2005. Maastotyöt jatkuivat vuonna 2012 pidemmälle syksyyn ja neulasten kellastuminen voimistuu kasvukauden loppua kohden, mikä voi osittain selittää tulosta. Männyt olivat harsuuntuneita molempina tutkimusvuosina pienialaisilla alueilla Joutsenossa ja Lappeenrannan keskusta-alueella, mutta muuten mäntyjen neulaskadossa ei havaittu samanlaista alueellista painottumista eri tutkimusvuosina.

Kaiken kaikkiaan ilmanlaatua kuvaavissa muuttujissa havaittiin muutoksia parempaan suuntaan tutkimusvuosien välillä. Jäkälämuuttujien osalta tilanne oli jonkin verran parantunut mutta neulaskato voimistunut tutkimusalueella vuonna 2012. Tutkimusalueen päästömäärien pienentyminen 2010-luvun loppupuolella näkyy tutkimuksessa jäkälälajiston elpymisenä ja vaurioiden pienentymisenä. Myös muutokset päästölähteiden toiminnan intensiteetissä voivat selittää vuosien välisiä lieviä paikallisia muutoksia jäkälälajistossa ja jäkälien kunnossa. Esimerkiksi Lappeenrannassa sijaitsevien UPM Kymmenen Kaukaan tehtaan ja Finnsementin Lappeenrannan tehtaan sekä Metsä Board Simpeleen tehtaan päästöt ovat viimeisen 10 vuoden aikana pienentyneet selvästi, mutta Ihalaisen teollisuusalueella sijaitsevien Parocin ja Nordkal-kin tehtaiden rikkidioksidipäästöt ovat jonkin verran kasvaneet tarkasteluajanjakson lopussa.

Bioindikaattoriseurantaa olisi jatkossa hyvä toteuttaa koko maakunnan laajuisena 10 vuoden välein. Alueen merkittävien pistemäisten päästölähteiden seurantaväli voisi olla lyhyempikin. Tällöin päästäisiin hyvin käsiksi paikallisen ilmanlaadun muutoksiin ja muutosten vaikutuksiin lyhyellä aikavälillä.

Lähteet

- Ahonen, A. 2012. Lupavelvollisten laitosten sijainti Imatran seudulla vuonna 2012. Imatran seudun ympäristötoimi. Kirjallinen tiedonanto 10/2012.
- Anttonen, T. 1990. Laskeuman ravinteiden vaikutus sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) kasvuun. Kuopion yliopisto, ekologisen ympäristöhygienian laitos. Opinnäytetutkielma.
- Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9): 1-42.
- Haahla, A. Polojärvi, K., Niskanen, I., Laita, M. & Ellonen, T. 2006a. Keski-Suomen maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2005-2006. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 162. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. ISBN 951-39-2546-3.
- Haahla, A., Niskanen, I., Polojärvi, K., & Ellonen, T. 2006b. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2005-2006. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 161. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. ISBN 951-40-1270-4.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. & Ellonen, E. 2009. Pyhäjärvisuudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007-2008. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E., Keskitalo, T. & Laita, M. 2010. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattorisuranta vuonna 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. Helsinki, 184 s.
- Huuskonen, I. & Lehtonen, E. 2012. Kokkolan ja Pietarsaaren bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Raportointi käynnissä.
- ICP Vegetation 2009. International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops. United Nation Economic Commission for Europe (UNECE).
- Jokinen, J., Säynätkari, T., Häkkinen, A. J. & Laine, E. 1990. Imatran ilman epäpuhtauksien biologisten vaikutusten seuranta vuonna 1989. Ilmatieteen laitos. Ilmanlaatuosasto.
- Jokinen, J., Haarala, S., Mäkinen, E. & Leppänen, A. 1995. Imatra-Svetogorsk-Joutseno-Lappeenranta-Rautjärvi-Ruokolahti-alueen näkyvien metsävaurioiden kartoitus vuonna. Ilmatieteen laitos. Ilmanlaatuosasto. Helsinki 1995.
- Jokinen, J., Haarala, S., Jokela, T. & Pesonen, R. 2000. Imatran-Joutsenon-Rautjärven-Ruokolahden seudun ilmanlaadun vaikutusten seurantatutkimus vuonna 1999. Mäntypuuston vauriokartoitus ja mitaukset värintunnistimella. Ilmatieteen laitos - Ilmanlaadun tutkimus. Helsinki.
- Jussila, I., Joensuu, E. & Laiho, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattorisuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki.
- Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2000. Kaakkois-Suomen ympäristön tila - raportti. Saatavilla osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=11305&lan=fi>.
- Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2008. Kaakkois-Suomi - Ympäristön tila. Saatavilla osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=98397&lan=fi>.
- Korttinen, M. 1998. Lappeenrannan, Joutsenon, Imatran ja Rautjärven jäkäläkartoitus 1998. Imatran kaupunki. Ympäristötoimi/Ympäristönsuojelu.
- Kulmala, A., Leinonen, L., Ruoho-Airola, T., Salmi, T. & Waldén, J. 1998. Air quality trends in Finland. Ilmanlaatumittauksia, Air quality measurements. Ilmatieteen laitos, Helsinki. ISBN 951-697-488-0.
- Kuusinen, K., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E.-L. 1990. Epiphytic lichens on conifers in the 1960s to 1980s in Finland. Teoksessa Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. ISBN 3-540-52213-1. S. 397-420.
- Laita, M., Huuskonen, I., Haahla, A., Polojärvi, K. ja Ellonen, T. 2007. Turun seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 163. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E., & Ellonen, T. 2008a. Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 164. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E., & Ellonen, T. 2008b. Länsi-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.

- LeBlanc, F. & DeSloover, J. 1970. Relation between industrialisation and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.* 48: 1485-1496. ISSN 0008-4026.
- Lehkonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. & Laita, M. 2011. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun biondikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.
- LIISA-laskentajärjestelmä 2011. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/kunnat2.htm>. [Tiedot tallennettu 11/2012].
- Lindgren, M. 2000. Mätäkivenmäen testimännikön arviointitulokset. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Lausunto 15.6.2000.
- Lindgren, M. 2001. Uusinta-arvioinnin (5.7.2000) tulokset Mätäkivenmäen testimänniköstä. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Lausunto 6.7.2001.
- Lindgren, M. 2007. Mätäkivenmäen testimännikön tulokset. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Lausunto 21.6.2007.
- Lindgren, M. & Salemaa, M. 1999. Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi. Vuotuisen seurannan (ICP level 1) & ympäristön yhdenmetyksen seurannan koealat 1999. Metsäntutkimuslaitos.
- Lindgren, M., Nevalainen, S. & Pouttu, A. 2007. Valtakunnallisen latvuskunnon seurannan tulokset. Teoksessa: Merilä, P., Kilponen, T. & Derome, J. (toim.). Forest condition monitoring in Finland - National report 2002-2005. Metlan työraportteja 45. Sivut 21-40.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P. & Willamo, R. 2002. Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. ISSN 1456-8284.
- McCune, B. & Mefford, M.J. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- McCune, B. & Grace, J. 2002. Analysis of Ecological Communities. With a contribution from Dean L. Urban. MjM Software Design, Oregon, USA. 300 s.
- Metla 2012. Metsäntutkimuslaitoksen MetInfo - Metsien terveys, metsätuho-opas. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/opas/index.htm>. [Luettu 28.11.2012]
- Nevalainen, S. 2011. Metsien terveydentila. Teoksessa: Lehkonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. & Laita, M. 2011. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun biondikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011. Sivut 72-76.
- Niskanen, I. 1995. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11. ISSN 0357-5454.
- Niskanen, I., Veijola, H. & Ellonen, T. 1996. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1996. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 17.
- Niskanen, I., Ellonen, T. & Nousiainen, O. 2001. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2000 ja 2001. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki. Alueelliset ympäristöjulkaisut 238. ISBN 952-11-0999-8.
- Niskanen, I., Polojärvi, K., Witick, A., Haahla, A. & Laitakari, V. 2003a. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2002. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 156. Jyväskylän yliopisto. ISBN 951-39-1583-2.
- Niskanen, I., Polojärvi, K., Haahla, A. & Laitakari, V. 2003b. Kotkan kaupungin ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2002. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 155. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. ISBN 951-39-1438-0.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, R., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H. & Wagner, H. 2012. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-5. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Partanen, P. & Veijola, H. 1996. Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. YTV, Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996:18. ISSN 0357-5454.
- Pihlström, M. & Myllyvirta, T. 1995. Ilman epäpuhtauksien leviämis- ja vaikutustutkimus Itä- Uudellamaalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa 1994-1995. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry, Porvoo. Tutkimusraportti.
- Piutunen, S. 1993. Imatran alueen jäkäläkartoitus vuonna 1993. Imatran kaupunki. Ympäristönsuojelutoimisto.

- Piutunen, S. 2012. Lupavelvollisten laitosten sijainti Lappeenrannan seudulla vuonna 2012. Lappeenrannan seudun ympäristötoimi. Kirjallinen tiedonanto 10/2012.
- Polojärvi, K., Niskanen, I., Haahla, A. & Ellonen, T. 2005. Mittaustarkkuus mäntyjen runkojäkälistön ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioiden havainnoinnissa. Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus. Tutkimusraportti 89/2005.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989. Biometria. Helsinki, Yliopistopaino, 569 s. ISBN 951-570-032-9.
- Rantanen, H. 2012. Harsuuntumisen arvioinnin koulutustilaisuuden tulokset (Mätäkenmäki). Metsätutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Suullinen tiedonanto 15.6.2012.
- R Core Team 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>.
- Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E.-L. & Lindgren, M. 1991. Forest condition in Finland 1986-1990. Silva Fennica 25 (3): 147-175.
- Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E.-L., Nieminen, T. & P. Nöjd 1993. Latvustunnukset ja puun kasvu elinvoimaisuuden ilmentäjinä. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja T. Nieminen (toim.). Metsäluento ja ilmansaasteet. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. Helsinki, Gummerus. ISBN 951-40-1270-4. S. 75-92.
- Salmi, T. 2009. Virolahden tausta-aseman laskeuma- ja pitoisuustietoja. Ilmatieteen laitos. Kirjallinen tiedonanto 11/2009.
- Salmi, T. 2011a. Ilomantsin ja Kuusamon tausta-asemien pitoisuustietoja. Ilmatieteen laitos. Kirjallinen tiedonanto 03/2011.
- Salmi, T. 2011b. Liekan Hietajärven tausta-aseman laskeumatietoja. Ilmatieteen laitos. Kirjallinen tiedonanto 04/2011.
- SFS 5670. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkeläkartoitus. 1990. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2012. Tiedot poimittu 11/2012.
- Ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmä 2012. Tiedot poimittu 10/2012.

LIITE 1. Etelä-Karjalan maakunnan bioindikaattoritutkimuksen havaintoalakohtaiset tulokset vuodelta 2012. Jäkäläkartoituksen tulokset ja mäntyhavainnot ovat viiden puun keskiarvoja. Taulukon lyhenteiden selitykset:

ala	= havaintoalan numero
x	= havaintoalan x-koordinaatti (ykJ)
y	= havaintoalan y-koordinaatti (ykJ)
nvk	= neulasvuosikertojen määrä
nkato	= neulaskadon määrä (%)
Hypphy	= <i>Hypogymnia physodes</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5, 0: jäkälää ei todettu tutkituilla rungoilla, 5: jäkälää todettiin kaikilla rungoilla)
Paramb	= <i>Parmeliopsis ambigua</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Ph&Ial	= <i>Parmeliopsis hyperopta</i> & <i>Imshaugia aleurites</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Hypsca	= <i>Hypocnomyce scalaris</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Bryoria	= <i>Bryoria</i> spp., esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Usnea	= <i>Usnea</i> spp., esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Plagla	= <i>Platismatia glauca</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Vulpin	= <i>Vulpicida pinastri</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Psefur	= <i>Pseudevernia furfuracea</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Cetchl	= <i>Cetraria chlorophylla</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
Parsul	= <i>Parmelia sulcata</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
AlgSco	= <i>Algae</i> & <i>Scoliciosporum</i> , esiintymisfrekvenssi havaintoalalla (0-5)
IAP	= havaintoalan IAP-indeksi
HypVaur	= Sormipaisukarpeen (<i>Hypogymnia physodes</i>) keskimääräinen vaurioaste (1-5, luokitus: 1 = normaali, 2 = lievä vaurio, 3 = selvä vaurio, 4 = paha vaurio), 5 = kuollut tai puuttuu)
YIVaur	= Jäkälälajiston keskimääräinen vaurioaste (1-5, luokitus: 1 = normaali, 2 = lievä vaurio, 3 = selvä vaurio, 4 = paha vaurio, 5 = kuolleet tai puuttuvat)
RHypphy	= <i>Hypogymnia physodes</i> , peittävyys/runsaus (0-3, luokitus: 0 = ei havaittu, 1 = 1-2 sekovartta/runko, 2 = 3-7 sekovartta/runko, 3 = > 7 sekovartta/runko)
RParamb	= <i>Parmeliopsis ambigua</i> , peittävyys/runsaus (0-3)
RPh&Ial	= <i>Parmeliopsis hyperopta</i> & <i>Imshaugia aluerites</i> , peittävyys/runsaus (0-3)
RHypsca	= <i>Hypocnomyce scalaris</i> , peittävyys/runsaus (0-3, luokitus: 1 = < 5 %, 2 = 5-49 %, 3 = > 50 %)
RBryoria	= <i>Bryoria</i> spp., peittävyys/runsaus (0-3)
RUsnea	= <i>Usnea</i> spp., peittävyys/runsaus (0-3)
RPlagla	= <i>Platismatia glauca</i> , peittävyys/runsaus (0-3)
RVulpin	= <i>Vulpicida pinastri</i> , peittävyys/runsaus (0-3)

RPsefur = *Pseudevernia furfuracea*, peittävyys/runsaus (0-3)
RCetchl = *Cetraria chlorophylla*, peittävyys/runsaus (0-3)
RParsul = *Parmelia sulcata*, peittävyys/runsaus (0-3)
RAlgSco = *Algae & Scoliciosporum*, peittävyys/runsaus (0-3, luokitus: 1 = < 5 %, 2 = 5-49 %, 3 = > 50 %)
lajlkm1 = Jäkälälajien lukumäärä havaintoalalla (SFS 5670 mukaiset lajit)
lajlk2 = Jäkälälajien lukumäärä havaintoalalla (SFS 5670 mukaiset lajit), ei viherleväpeite ja seinäsuomujäkälä
HypPsum = *Hypogymnia physodes*, peittävyys pistefrekvenssillä mitattuna (0-1000)
BryPsum = *Bryoria* spp., peittävyys pistefrekvenssillä mitattuna (0-1000)

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
1	3600798	6795013	3,3	17,0	4	5	2	4	0	0	0	3	0	0	2	5	1,7	3,9	4,1
2	3600372	6794309	3,2	18,0	3	5	1	3	0	0	0	5	0	0	0	5	1,4	3,7	4,2
3	3601351	6793683	3,1	12,2	5	5	5	5	1	0	0	1	2	0	0	5	2,0	2,8	3,8
4	3599163	6792931	3,0	21,2	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	5	1,5	2,4	4,0
5	3598315	6792354	3,3	17,4	5	5	2	5	0	0	0	0	0	0	0	5	1,2	2,7	4,0
6	3597675	6791394	2,9	19,0	2	5	0	5	1	0	0	0	1	0	0	5	0,9	4,4	3,9
7	3596681	6791166	3,3	16,4	5	5	1	5	0	0	0	1	0	0	0	5	1,2	2,4	4,0
8	3599142	6790681	3,7	17,4	5	5	3	5	2	1	0	0	1	0	0	4	1,8	2,2	3,2
9	3596940	6789728	3,7	18,6	5	5	3	5	1	0	0	2	0	0	0	5	1,6	2,1	3,8
10	3594464	6789531	3,3	19,6	5	5	3	5	1	0	0	1	0	0	0	5	1,5	2,6	3,9
11	3594786	6786294	3,3	16,0	5	5	3	5	0	0	0	2	0	0	0	5	1,5	2,7	4,0
12	3602759	6789350	3,2	17,8	5	5	5	5	2	0	0	3	0	0	0	5	2,1	1,4	3,2
13	3596184	6784609	3,6	14,4	5	2	0	5	0	0	0	1	0	0	0	5	0,8	2,4	4,0
14	3594848	6783639	3,6	12,2	5	5	4	4	2	1	0	5	2	2	1	5	3,0	1,9	3,0
15	3596561	6782057	3,8	15,2	5	5	2	5	0	0	0	0	0	0	0	2	1,2	2,3	4,0
16	3597366	6782660	3,1	18,4	5	4	0	2	0	1	0	5	0	1	4	5	2,2	2,9	3,8
17	3598174	6784042	3,8	10,8	5	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	5	2,0	1,8	4,0
18	3594865	6780464	3,5	14,6	5	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1,4	1,8	4,0
19	3602681	6785741	3,8	13,2	5	5	4	0	0	0	0	5	0	1	0	4	2,1	1,5	4,0
20	3600363	6783721	3,5	12,6	5	5	4	5	4	0	1	4	1	1	0	5	2,7	2,0	2,8
21	3580648	6779371	3,5	16,2	5	5	5	2	1	0	1	4	1	1	0	4	2,4	2,1	3,8
22	3578697	6778112	2,9	30,2	5	5	5	5	3	3	3	5	5	4	0	1	4,3	2,2	2,8
23	3577309	6777640	3,0	20,4	5	5	5	4	5	1	4	3	5	0	0	0	3,6	1,5	1,8
24	3578863	6779704	3,1	14,6	5	5	5	4	2	1	1	5	2	0	0	5	2,8	2,1	3,4
25	3577271	6779906	3,0	22,8	5	5	5	5	0	1	4	4	4	1	0	3	3,1	2,1	3,2
26	3578475	6780644	2,6	52,0	2	5	1	0	0	0	0	5	0	0	1	4	1,5	4,2	4,0
27	3578292	6780291	3,2	26,0	5	5	5	2	1	0	0	5	2	0	0	2	2,4	2,2	3,8
28	3577792	6780758	3,1	28,8	5	5	4	5	1	0	0	3	3	0	0	2	2,2	1,8	3,2
29	3576698	6780602	3,4	11,8	5	5	5	5	3	1	2	4	5	1	0	5	3,4	2,3	2,8
30	3576292	6779863	3,4	13,2	5	5	5	4	3	2	2	5	5	1	0	4	3,6	2,0	2,5
31	3575651	6781262	3,5	14,8	5	5	5	5	4	1	3	2	5	0	0	5	3,3	2,0	2,4

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
32	3575806	6781913	3,7	15,8	5	5	5	5	3	2	2	3	5	0	1	4	3,4	2,1	2,5
33	3580199	6781990	3,2	20,8	5	5	4	5	2	0	0	2	3	0	0	5	2,2	2,4	3,1
34	3582994	6782637	3,4	13,8	5	5	5	5	0	2	0	1	4	0	0	3	2,3	2,3	3,1
35	3581541	6784214	4,0	13,0	5	5	5	4	3	0	0	5	0	0	0	3	2,4	1,5	2,8
36	3583109	6780964	3,5	18,0	5	5	2	0	2	2	1	5	5	0	0	3	2,9	1,5	1,6
37	3585764	6778810	3,2	18,4	5	5	5	2	4	0	1	3	2	0	0	0	2,7	1,9	2,4
38	3581861	6776013	3,1	24,0	5	5	5	5	3	4	2	2	5	0	0	1	3,4	2,2	2,4
39	3579792	6773467	3,4	15,2	5	5	1	0	0	0	0	5	0	0	0	5	1,6	3,4	4,0
40	3583379	6773832	3,3	21,4	5	5	2	5	4	2	0	3	5	3	1	5	3,4	2,3	2,6
41	3582903	6770238	3,3	16,4	5	5	0	0	1	0	1	5	2	2	0	2	2,3	2,1	3,5
42	3586209	6772142	3,0	21,0	5	5	5	3	4	5	1	4	5	1	0	3	3,9	2,5	2,5
43	3590224	6769244	2,8	26,6	5	5	5	3	5	1	3	4	5	0	0	0	3,6	1,7	2,2
44	3589323	6771740	3,1	14,4	5	5	3	2	0	0	0	2	0	0	0	4	1,5	1,9	4,0
45	3588546	6775598	3,3	25,0	5	5	5	0	1	0	1	5	2	0	0	3	2,5	1,5	3,4
46	3593651	6774549	2,4	52,0	5	5	5	5	4	2	2	1	4	0	0	0	3,1	2,0	2,5
47	3591244	6776729	3,0	11,6	5	5	5	5	3	3	0	1	5	0	0	0	3,0	1,7	2,0
48	3588050	6778160	1,7	35,0	5	5	5	1	5	4	4	4	5	1	0	0	4,3	1,6	1,7
49	3591805	6779074	3,2	13,2	5	5	5	0	1	0	1	5	1	1	0	1	2,5	1,6	3,2
50	3591290	6783538	3,2	17,8	5	5	5	5	1	0	0	4	1	1	0	1	2,3	2,1	3,6
51	3590489	6788225	3,2	25,8	5	5	5	5	3	1	1	3	3	0	0	4	2,8	2,0	2,5
52	3589638	6786037	3,5	19,6	5	5	4	4	4	1	1	2	4	0	0	3	2,8	1,8	2,6
53	3591515	6780601	3,0	19,2	5	5	2	2	2	2	4	1	4	0	0	3	2,7	1,8	3,0
54	3585896	6785015	3,2	13,0	5	5	2	3	1	1	0	2	3	0	0	5	2,0	2,3	3,0
55	3586562	6781493	3,0	22,4	5	5	5	1	0	0	0	5	0	0	0	1	2,0	1,7	4,0
56	3579888	6780316	3,2	14,8	5	5	5	5	2	1	0	0	4	0	0	4	2,4	1,9	2,8
57	3591765	6787700	3,3	19,4	5	5	5	3	2	0	1	2	0	0	0	3	2,1	1,7	3,4
58	3581462	6793819	3,9	11,4	5	3	0	0	0	1	0	4	0	0	0	1	1,3	1,9	3,7
59	3586415	6789666	3,4	17,4	5	5	5	5	0	0	1	0	5	0	0	0	2,2	1,9	1,9
60	3593409	6780276	3,2	18,4	5	5	5	1	0	0	0	5	0	0	0	3	2,0	2,1	4,0
61	3565546	6774122	3,1	17,2	5	5	0	5	0	0	0	4	0	0	0	3	1,4	2,9	4,0
62	3566829	6775737	3,0	15,4	5	5	4	5	2	1	2	1	4	0	0	3	2,6	2,5	2,9

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
63	3567321	6776599	3,4	14,4	5	5	5	5	1	1	1	0	4	0	0	0	2,3	1,7	2,2
64	3567761	6773972	3,4	18,6	5	5	5	5	0	0	0	0	5	1	0	4	2,2	3,0	2,9
65	3566894	6773229	2,9	15,6	2	5	1	4	0	0	0	4	0	0	0	3	1,2	4,5	4,0
66	3568274	6771779	3,5	23,6	5	5	3	2	0	0	0	5	0	0	0	2	1,8	2,0	4,1
67	3566800	6771454	2,2	27,4	5	5	3	0	0	0	0	4	0	0	0	2	1,7	2,4	4,0
68	3564938	6772853	3,3	13,6	5	4	0	4	3	0	0	2	4	4	1	5	2,6	4,0	3,5
69	3565689	6772861	3,1	21,6	5	5	0	5	4	2	1	4	5	5	3	5	3,9	2,9	2,8
70	3565725	6775515	3,2	15,0	5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	1,0	2,1	3,2
71	3564274	6776788	3,5	13,6	5	5	4	2	0	0	0	5	1	0	0	5	2,1	1,8	3,7
72	3563458	6777460	3,6	12,4	5	5	5	5	0	0	0	5	3	0	0	4	2,4	1,7	2,8
73	3568641	6774812	3,2	19,4	5	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	2,2	4,1
74	3565052	6774533	3,7	22,0	5	5	1	4	0	0	0	3	0	0	0	5	1,4	3,4	4,0
75	3566271	6773793	2,9	27,6	4	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	3,6	4,3
76	3566505	6772251	3,5	14,6	5	5	5	4	0	0	0	5	0	0	0	5	2,0	2,6	4,0
77	3562715	6775069	3,6	26,0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	1,8	4,0
78	3563468	6773237	3,4	24,4	5	5	4	1	3	1	4	5	5	5	4	5	4,7	2,6	2,8
79	3563745	6771318	2,9	16,4	5	3	2	0	2	2	3	5	4	2	5	5	3,8	3,3	3,2
80	3562629	6772026	3,3	21,0	5	5	2	3	2	0	0	5	3	5	1	5	3,1	3,7	3,7
81	3564527	6772071	3,1	15,8	5	2	0	2	2	0	2	4	4	1	5	5	2,8	3,1	3,3
82	3564931	6773380	3,2	16,0	5	5	1	4	0	0	0	2	4	0	0	5	1,8	2,9	3,2
83	3562835	6769319	3,1	17,2	5	5	2	1	2	1	1	5	4	1	3	2	3,2	1,9	2,3
84	3561259	6771214	3,4	16,8	5	5	5	5	1	0	0	5	0	0	0	5	2,2	2,0	3,7
85	3569986	6774105	3,3	16,6	5	5	5	5	0	2	0	2	3	0	0	0	2,3	1,6	2,9
86	3563585	6770493	3,6	14,0	5	2	1	0	0	0	0	0	1	0	2	5	1,2	4,3	4,2
87	3557203	6771479	3,3	16,2	5	5	2	0	2	2	3	5	5	0	0	0	3,2	1,9	2,4
88	3558844	6755360	3,0	20,2	5	5	5	0	0	0	0	5	1	0	0	1	2,2	1,5	3,7
89	3561067	6755392	3,5	8,2	5	5	5	3	1	2	4	5	4	0	0	4	3,4	1,8	2,7
90	3560834	6756201	3,2	13,2	5	5	5	1	2	0	4	5	5	2	0	0	3,6	1,6	2,1
91	3560273	6756579	2,9	18,0	5	5	3	0	1	0	2	4	2	0	0	1	2,3	2,4	3,6
92	3563088	6753288	3,0	9,0	5	5	4	1	1	0	2	1	2	0	0	0	2,1	1,8	3,2
93	3561948	6754975	3,3	14,2	5	5	4	0	2	2	4	4	4	0	0	1	3,3	1,9	2,6

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
95	3571151	6750330	3,1	25,6	5	5	4	3	2	2	4	5	5	3	0	2	3,9	2,7	2,7
96	3570700	6750429	3,0	14,2	5	5	5	0	1	0	1	1	2	1	0	1	2,2	2,0	3,6
97	3570459	6752395	2,9	28,4	5	5	4	2	5	4	5	5	5	0	0	0	4,2	1,5	1,6
98	3570692	6751695	2,7	28,2	5	5	5	5	2	1	4	4	5	0	0	2	3,4	1,7	1,8
99	3559159	6772873	3,0	15,8	5	5	5	0	0	0	3	5	3	0	4	1	3,2	2,0	3,4
100	3583260	6762120	3,7	12,2	5	5	5	0	1	2	0	5	5	0	0	0	3,0	1,5	1,5
101	3582824	6762043	3,5	12,2	5	5	3	5	1	0	1	2	5	0	0	0	2,3	1,9	2,6
102	3583778	6762440	3,2	11,6	5	5	2	2	2	2	1	3	4	0	0	2	2,6	2,0	2,6
103	3584366	6762743	3,0	17,8	5	5	1	4	0	0	1	1	3	0	0	0	1,7	2,8	3,4
104	3582921	6762379	3,0	13,0	5	5	1	0	3	0	5	5	5	1	0	2	3,3	1,5	1,5
105	3562471	6773825	3,0	22,8	5	5	4	2	1	1	0	5	5	0	0	5	2,8	2,3	2,0
106	3563322	6769655	2,9	18,6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,3	4,7	4,7
107	3568334	6774447	3,0	16,0	5	5	4	4	1	0	0	1	4	0	0	5	2,1	3,7	3,5
108	3568479	6774665	3,2	18,8	5	5	3	5	0	0	1	3	5	0	0	3	2,3	2,4	2,6
109	3570775	6775161	3,3	12,8	5	5	5	4	1	0	3	1	1	0	0	3	2,2	1,6	3,2
110	3572066	6775866	3,3	13,6	5	5	5	1	2	0	2	4	4	0	0	5	2,9	2,1	2,8
111	3573462	6777063	3,8	11,4	5	5	5	1	3	0	3	5	5	1	0	5	3,5	1,7	2,2
112	3574074	6778845	3,5	17,8	5	5	5	2	2	2	3	5	5	0	1	4	3,6	1,9	2,4
113	3566086	6772631	3,1	16,8	5	5	2	5	0	1	0	5	0	0	2	5	2,1	2,2	3,7
114	3566763	6768552	1,8	27,0	5	5	5	1	1	0	0	4	0	0	1	0	2,2	1,2	3,6
115	3568687	6773581	3,5	15,8	5	5	0	3	0	0	1	4	2	0	0	5	1,8	2,8	3,7
116	3568383	6773527	3,3	17,2	5	5	4	4	1	0	0	2	2	0	0	4	2,0	2,6	3,4
117	3567702	6773063	3,2	28,0	4	5	1	0	0	0	0	5	0	0	0	5	1,5	3,4	4,1
118	3572506	6766300	3,5	14,8	5	5	5	4	3	2	4	4	2	2	0	1	3,5	1,8	2,6
119	3573623	6772231	3,7	15,6	5	5	4	2	0	0	0	5	0	0	1	4	2,1	2,1	4,0
120	3557985	6769391	3,1	18,4	5	5	5	1	0	0	0	5	0	0	0	0	2,0	2,0	4,0
121	3557812	6769057	3,2	12,6	5	5	5	3	4	3	5	5	5	0	0	2	4,1	1,7	1,6
122	3558804	6770117	3,3	15,8	5	5	5	3	0	0	0	3	0	0	0	5	1,8	1,9	4,0
123	3559091	6771259	3,0	17,2	5	5	5	1	0	0	0	4	1	0	1	0	2,2	2,0	3,8
124	3559271	6773545	3,0	10,8	5	5	5	5	0	0	1	1	3	0	0	1	2,1	2,0	3,4
125	3559905	6772667	3,3	13,0	5	5	2	3	1	0	1	1	1	0	0	5	1,7	2,2	3,6

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
126	3560672	6771456	3,6	12,8	5	5	2	0	0	0	0	5	0	0	1	5	1,9	2,7	4,0
127	3563390	6768900	2,9	23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,0	5,0	5,0
128	3564871	6767311	3,2	33,2	1	5	1	0	0	0	0	5	1	0	1	3	1,5	4,4	3,8
129	3565082	6767067	3,1	16,8	5	5	1	3	0	0	0	3	0	0	0	2	1,4	1,6	4,1
130	3567529	6764007	2,7	25,4	5	5	5	3	5	0	1	4	0	0	0	1	2,7	1,6	2,2
131	3572705	6775222	3,1	19,2	5	5	4	3	1	2	0	5	5	0	0	2	2,9	2,2	2,4
132	3571140	6773075	3,3	13,4	5	5	5	1	2	2	3	5	4	0	0	1	3,4	1,8	2,6
133	3562395	6775924	3,0	19,4	5	5	5	0	2	0	3	5	4	0	0	2	3,1	1,7	2,4
134	3562383	6776351	3,4	30,0	5	5	5	0	1	0	0	5	0	0	0	0	2,2	1,8	3,7
135	3563109	6770607	3,0	16,6	3	3	1	0	0	0	0	2	1	0	0	5	1,0	3,8	4,1
136	3561297	6770052	3,5	17,4	5	5	3	3	3	0	1	4	5	2	2	3	3,3	2,6	2,7
137	3562429	6769373	3,2	17,8	5	5	2	0	0	1	0	5	2	0	4	1	2,6	2,1	3,2
138	3565327	6771061	3,0	38,0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5	0,5	5,0	4,6
139	3565300	6768400	3,1	12,6	0	5	1	0	0	0	0	5	2	0	2	5	1,6	5,0	3,6
140	3567145	6766750	3,2	18,6	4	5	5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1,8	2,3	4,1
141	3567618	6767270	3,0	15,8	5	5	5	1	0	0	0	5	1	1	2	1	2,6	1,2	3,6
142	3585554	6765893	3,3	29,4	5	5	5	4	0	1	5	0	4	0	0	1	2,7	1,8	2,7
143	3576490	6763422	2,9	22,8	5	5	4	3	5	3	5	1	5	0	0	0	3,7	1,7	1,8
144	3571630	6765167	3,1	15,2	5	5	5	0	0	0	1	5	0	0	0	5	2,2	2,1	4,0
145	3570411	6759378	3,1	27,4	5	5	5	3	0	5	2	4	5	0	0	2	3,4	1,7	2,0
146	3552160	6755906	2,8	21,8	5	5	5	4	5	3	5	5	5	2	0	0	4,5	1,4	1,4
147	3558770	6761622	2,9	26,2	5	5	5	0	2	4	4	5	5	0	0	0	3,8	1,7	2,1
148	3565687	6761251	2,8	22,8	5	5	5	2	4	3	5	4	5	0	0	1	4,0	2,3	2,5
149	3555363	6772746	3,0	24,4	5	5	5	0	0	0	0	5	0	0	0	4	2,0	1,4	4,0
150	3554150	6762184	2,6	31,2	5	5	5	4	5	3	5	3	5	0	0	2	4,0	1,6	1,8
151	3553425	6767823	2,4	32,2	5	5	1	1	2	1	2	3	4	0	1	2	2,6	2,1	2,8
152	3577524	6776148	3,0	17,4	5	5	4	1	3	5	5	1	5	0	0	0	3,7	2,5	2,6
153	3550855	6766294	2,2	33,4	5	5	5	0	3	0	4	5	4	0	0	0	3,4	1,7	2,6
154	3562775	6775489	3,2	33,0	5	5	5	0	2	0	1	1	1	0	0	1	2,1	1,8	3,3
155	3576836	6756859	3,0	17,0	5	5	5	2	3	4	5	1	5	0	0	0	3,7	1,5	1,8
156	3560409	6768411	3,2	19,6	5	5	5	4	1	1	4	2	0	0	0	1	2,5	1,6	3,4

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&Ial	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
157	3578340	6765476	2,7	26,4	5	5	5	4	3	2	3	2	3	0	0	0	3,1	1,5	2,9
158	3556874	6769548	3,0	12,0	5	5	5	1	0	0	1	5	1	0	0	1	2,3	2,0	3,8
159	3633310	6829265	3,4	12,6	5	5	5	3	1	1	0	0	5	0	0	0	2,3	1,9	1,8
160	3632546	6828553	3,8	12,6	5	5	0	5	4	4	1	0	5	0	0	1	2,7	1,3	1,4
161	3633368	6830950	3,5	11,2	5	5	1	0	0	1	0	5	0	0	0	4	1,7	2,3	3,7
162	3621706	6826145	3,1	16,4	5	5	5	0	3	0	1	5	1	0	0	5	2,7	2,0	3,1
163	3638022	6825189	2,9	21,6	5	5	5	5	4	5	4	3	4	0	0	1	3,9	1,9	2,4
164	3632875	6841822	3,8	12,8	5	5	5	1	2	3	0	5	1	0	0	3	2,8	1,7	2,6
165	3629382	6819050	3,6	14,2	5	5	5	3	5	5	3	3	4	1	0	3	4,0	1,9	2,1
166	3643276	6833756	3,1	15,8	5	5	4	4	1	1	0	5	2	0	0	4	2,4	2,1	3,4
167	3629308	6828679	3,7	15,8	5	5	2	3	0	1	0	3	0	0	0	4	1,6	2,6	3,8
168	3627842	6835322	3,1	15,8	5	5	4	0	1	1	1	5	2	0	0	5	2,5	2,0	3,2
169	3612379	6801055	3,1	16,2	5	5	5	4	2	4	1	5	1	1	0	2	3,2	1,6	2,5
170	3612339	6800308	3,5	13,2	5	5	5	4	5	2	2	4	3	3	0	4	3,8	1,8	1,8
171	3625707	6815458	2,0	21,4	5	5	5	5	2	1	0	0	1	0	0	4	2,0	3,1	3,6
172	3628168	6816798	3,3	15,4	5	5	5	5	1	3	1	1	2	0	0	0	2,5	2,0	3,0
173	3625853	6819234	3,0	18,2	5	5	5	5	3	3	3	1	4	5	0	5	3,9	2,2	2,4
174	3618826	6821582	3,4	17,0	5	5	5	3	4	3	1	3	5	0	0	0	3,4	1,7	1,6
175	3623603	6806446	3,0	14,8	5	5	5	5	2	1	0	5	2	0	0	0	2,7	1,8	2,9
176	3609506	6793633	3,3	11,2	5	5	5	3	2	2	2	5	2	0	0	2	3,0	1,5	2,4
177	3621352	6816830	3,2	11,0	5	5	5	1	2	1	0	3	0	1	0	4	2,4	2,2	3,4
178	3626495	6815891	2,7	17,8	5	5	4	0	0	0	0	5	1	1	0	4	2,2	2,0	3,6
179	3625406	6816037	3,2	22,4	5	5	3	2	0	0	0	5	1	0	0	5	2,0	2,7	3,8
180	3597704	6794468	3,1	21,0	5	5	4	5	1	0	0	0	4	0	0	0	2,0	2,7	2,9
181	3598356	6795972	3,6	18,0	5	5	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1,4	1,6	4,0
182	3598635	6795017	3,3	24,2	5	5	5	5	0	0	0	1	0	0	0	5	1,6	2,4	4,0
183	3599597	6798011	3,6	16,8	5	5	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	1,3	3,0	4,0
184	3597813	6798975	2,6	20,2	5	3	4	5	0	0	0	0	0	0	0	3	1,2	1,6	4,0
185	3597723	6799991	2,0	19,2	5	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	1,4	4,0
186	3596605	6799379	3,2	21,6	5	5	5	2	3	1	1	5	4	1	0	0	3,3	1,4	2,3
187	3592441	6796076	3,3	16,4	5	5	4	5	1	1	0	0	0	0	0	0	1,7	1,8	3,7

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
188	3603822	6794365	3,6	12,8	5	5	4	3	5	0	2	5	3	4	0	5	3,7	2,6	3,0
189	3604536	6797010	3,4	18,4	5	5	5	4	5	4	5	5	5	2	0	0	4,6	1,8	1,8
190	3603283	6797543	3,3	23,0	5	5	5	5	5	2	3	1	5	0	0	1	3,4	1,9	2,0
191	3607757	6792433	3,3	22,8	5	5	5	4	5	5	5	5	5	0	0	2	4,5	1,9	2,2
192	3606744	6801770	3,0	11,8	5	5	3	4	4	1	0	5	0	1	0	2	2,6	1,5	2,4
193	3597238	6801484	2,4	20,6	5	5	3	1	0	0	0	2	1	0	0	2	1,6	1,2	3,8
194	3588398	6796322	3,6	18,4	5	5	5	0	2	2	0	4	2	0	0	1	2,7	1,8	2,9
195	3581159	6799683	3,5	12,4	5	5	2	5	0	0	0	3	0	0	0	0	1,5	1,0	4,0
196	3587033	6805088	3,4	21,8	5	5	5	0	1	2	0	5	5	0	0	1	3,0	1,7	2,1
197	3571199	6805067	2,0	17,4	5	5	5	4	1	1	0	2	0	0	0	0	2,0	1,3	3,5
198	3582221	6813658	3,3	18,8	5	5	5	0	3	2	3	5	4	2	0	0	3,8	1,6	1,7
199	3579227	6819512	3,1	16,4	5	5	5	1	0	3	2	2	3	0	0	0	2,7	2,0	2,3
200	3599705	6801664	2,9	19,4	5	5	4	0	1	0	0	5	0	0	0	0	2,1	1,6	3,7
201	3591007	6816864	3,5	15,6	5	5	3	2	2	4	3	5	5	1	0	0	3,7	1,4	1,5
202	3600483	6812297	2,5	30,2	5	5	4	2	5	2	5	5	3	2	0	1	4,0	1,7	2,1
203	3607177	6811178	2,4	33,6	5	5	5	4	3	1	1	5	2	0	0	0	2,9	2,1	2,7
204	3607412	6816867	2,9	22,4	5	5	3	2	2	2	0	3	2	0	0	0	2,4	1,9	3,0
205	3599440	6824967	3,6	15,0	5	5	5	0	0	5	3	5	3	0	0	0	3,4	1,9	1,8
206	3593832	6800190	3,0	16,6	5	5	5	3	0	0	0	1	1	0	0	0	1,7	1,3	3,6
207	3616207	6825845	3,4	17,2	5	5	3	0	0	0	0	5	0	0	0	1	1,8	1,8	4,0
208	3610607	6822170	3,0	21,2	5	5	5	0	4	5	3	4	4	0	0	0	3,9	2,0	1,7
209	3592979	6805517	2,0	30,8	5	5	5	4	0	0	0	2	0	0	0	0	1,7	1,4	4,0
210	3642080	6845560	3,4	13,0	5	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1,5	2,0	4,0
211	3638378	6846001	3,4	13,8	5	5	5	1	4	5	5	3	5	1	0	3	4,3	2,0	1,8
212	3641207	6851561	2,9	29,4	5	5	4	0	0	1	1	4	1	0	0	0	2,2	2,0	3,6
213	3645781	6841285	3,0	15,8	5	5	5	5	4	5	1	1	5	0	0	1	3,4	2,1	1,6
214	3649653	6845969	3,0	21,8	5	5	5	5	1	0	0	1	1	0	0	3	1,9	1,6	3,6
215	3559897	6778779	3,6	14,6	5	5	4	0	0	0	0	4	3	0	0	0	2,2	1,3	2,8
216	3558159	6781217	3,6	17,6	5	5	5	0	2	2	0	4	3	0	0	1	2,8	1,8	2,5
217	3559524	6781181	3,0	20,0	5	5	3	2	2	0	1	4	2	0	0	2	2,3	1,7	2,8
218	3557960	6783459	3,6	21,6	5	5	5	5	0	1	2	1	4	0	0	0	2,4	2,2	2,5

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
219	3557418	6784275	3,4	24,6	5	5	3	5	0	0	0	3	0	0	0	1	1,6	1,8	4,0
220	3551771	6780122	2,1	18,2	5	5	5	4	5	5	2	3	5	0	0	3	3,9	1,9	1,8
221	3554440	6787505	3,6	19,2	5	5	5	0	1	0	2	5	2	0	0	0	2,6	1,6	3,2
222	3544951	6790574	3,0	24,0	5	5	5	1	3	3	0	4	5	0	0	1	3,3	1,6	1,7
223	3563195	6798163	2,3	25,0	5	5	5	5	0	3	0	4	5	0	0	0	2,9	1,4	2,0
224	3564734	6780924	3,7	14,6	5	5	5	2	4	1	2	5	4	0	1	5	3,5	1,9	2,2
225	3558647	6790502	3,7	20,4	5	5	5	2	4	5	5	5	5	2	0	0	4,6	2,6	2,2
226	3659964	6857583	3,5	12,2	5	5	5	2	3	5	0	0	3	0	0	0	2,9	1,6	2,0
227	3654313	6852126	3,1	15,2	5	5	5	1	3	5	0	0	5	0	0	0	3,1	2,2	1,8
228	3648425	6851890	3,3	14,2	5	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1,5	1,9	4,0
229	3555106	6743920	2,8	13,2	5	5	5	2	4	3	4	4	5	0	0	3	3,9	2,3	2,6
230	3555724	6735313	3,3	13,4	5	5	5	0	0	0	1	4	5	0	0	0	2,6	2,1	2,0
231	3552159	6734446	3,1	15,2	5	5	5	5	5	2	4	2	4	0	0	2	3,5	2,0	2,4
232	3559072	6737079	3,4	12,6	5	5	5	0	3	2	5	4	3	0	0	2	3,5	1,5	2,3
233	3562485	6741366	3,0	22,0	5	5	5	0	2	2	3	5	5	0	0	1	3,5	1,7	2,1
234	3559226	6750189	3,0	27,0	5	5	5	2	5	5	5	0	5	0	0	0	3,9	1,6	2,0
235	3556319	6743535	3,1	16,2	5	5	3	3	2	0	3	5	5	1	1	4	3,3	1,7	2,3
236	3551369	6738920	3,6	20,0	5	5	2	1	0	2	1	5	1	0	0	5	2,2	1,8	2,8
237	3541453	6741186	3,2	15,8	5	5	5	4	1	1	3	2	2	0	0	2	2,6	1,5	2,9
238	3563142	6748599	3,2	17,2	5	5	5	2	4	5	5	5	5	2	0	0	4,6	1,5	1,4
239	3548733	6747636	3,1	13,0	5	5	5	0	0	2	0	5	3	0	0	0	2,6	1,8	2,6
240	3551872	6740082	3,3	8	5	5	5	4	3	1	4	1	3	0	0	3	2,9	1,7	2,7
241	3543965	6772814	3,0	13,6	5	5	4	5	1	0	0	5	5	1	0	5	2,8	2,2	2,7
242	3550743	6774914	3,2	14,8	5	5	0	1	1	0	0	3	1	0	0	3	1,5	1,9	3,8
243	3544448	6774025	3,6	15,0	5	5	5	4	2	1	0	2	1	0	0	1	2,2	1,5	2,5
244	3535213	6766455	3,5	12,8	5	5	5	5	5	2	5	4	5	1	0	0	4,1	1,6	1,6
245	3540596	6778397	2,9	20,2	5	5	5	4	5	3	5	3	5	0	0	1	4,0	1,4	1,5
246	3546485	6779989	3,1	11,8	5	5	5	0	1	0	1	5	0	1	0	2	2,4	1,9	3,7
247	3543764	6770489	3,6	15,0	5	5	5	4	5	0	4	4	5	0	0	2	3,6	1,8	2,1
248	3537716	6787945	2,6	18,0	5	5	5	0	0	0	2	5	2	0	0	0	2,5	1,9	3,6
249	3536314	6787577	3,0	17,2	5	5	3	5	2	4	1	0	5	0	0	1	2,7	2,7	2,2

ala	x	y	nvk	nkato	Hypphy	Paramb	Ph&lal	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Cetchl	Parsul	AlgSco	IAP	HypVaur	YIVaur
250	3538348	6788532	3,7	13,2	5	5	5	2	2	4	2	4	5	1	0	1	3,6	1,7	1,8
251	3513083	6779643	3,6	12,6	5	5	5	3	3	3	3	5	5	0	0	0	3,7	1,5	2,1
252	3530982	6772567	2,9	10,4	5	5	5	2	0	0	0	5	0	0	0	5	2,0	2,5	4,0
253	3519407	6778088	3,1	12,8	5	5	5	0	5	3	5	5	4	0	0	0	4,1	1,5	1,9
254	3529175	6780643	2,6	32,2	5	5	5	2	2	1	0	5	4	0	0	2	2,9	1,8	2,7
255	3522974	6786567	3,4	14,2	5	5	5	1	5	5	5	5	5	1	0	1	4,6	1,8	1,5
256	3528586	6786249	3,1	16,6	5	5	5	3	5	4	3	5	5	0	0	4	4,1	1,8	1,9
257	3524997	6795207	2,6	18,4	5	5	5	0	5	4	5	5	4	0	0	0	4,2	1,3	1,4
258	3534664	6799534	2,7	18,0	5	5	5	0	5	5	4	5	5	1	0	0	4,5	1,7	1,7
259	3541445	6798515	2,9	20,8	5	5	5	1	4	2	1	5	5	0	0	1	3,5	1,8	2,2
260	3540810	6790550	3,0	17,6	5	5	5	4	0	0	0	0	2	0	0	0	1,7	1,9	3,3
261	3525426	6773072	3,1	13,0	5	5	5	5	5	3	3	5	4	0	0	4	3,9	2,2	2,4
262	3536949	6795299	2,4	16,2	5	5	5	2	4	4	4	5	5	1	0	0	4,2	1,6	1,8
263	3531746	6780514	2,9	13,6	5	5	5	1	4	4	5	5	5	0	0	2	4,2	1,7	1,9

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUsnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAlgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
1	3600798	6795013	2,4	3	0,8	0,8	0	0	0	1,4	0	0	0,6	2	7	5	3	0
2	3600372	6794309	1,8	3	0,4	1	0	0	0	3	0	0	0	2,8	6	4	20	0
3	3601351	6793683	3	3	2,8	1,4	0,2	0	0	0,2	0,6	0	0	1,8	8	6	74	0
4	3599163	6792931	3	3	1,2	1,6	0	0	0	0	0	0	0	1,4	5	3	204	0
5	3598315	6792354	3	2,6	0,4	2,2	0	0	0	0	0	0	0	1,6	5	3	5	0
6	3597675	6791394	0,8	3	0	2,8	0,6	0	0	0	0,2	0	0	1,2	6	4	0	0
7	3596681	6791166	3	3	0,2	2	0	0	0	0,2	0	0	0	2	6	4	70	0
8	3599142	6790681	3	3	1,4	2,4	0,8	0,2	0	0	0,2	0	0	0,8	8	6	45	0
9	3596940	6789728	3	3	1,4	1,6	0,2	0	0	0,6	0	0	0	1,2	7	5	64	0
10	3594464	6789531	3	3	1,4	1,6	0,2	0	0	0,2	0	0	0	1,6	7	5	131	0
11	3594786	6786294	2,6	3	0,8	1,2	0	0	0	0,8	0	0	0	2,4	6	4	88	0
12	3602759	6789350	3	3	2,6	1,4	0,4	0	0	0,6	0	0	0	1	7	5	146	0
13	3596184	6784609	3	0,4	0	2	0	0	0	0,2	0	0	0	1	5	3	36	0
14	3594848	6783639	3	3	0,8	0,8	1,2	0,4	0	2,8	0,8	0,8	0,2	1,2	11	9	272	7
15	3596561	6782057	3	2	0,6	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0,4	5	3	24	0
16	3597366	6782660	3	2,4	0	0,4	0	0,2	0	3	0	0,2	1,6	1,8	8	6	76	0
17	3598174	6784042	3	3	2,2	1,2	0	0	0	3	0	0	0	1,2	6	4	218	0
18	3594865	6780464	3	3	0	0	0	0	0	2,4	0	0	0	0,2	4	3	163	0
19	3602681	6785741	3	3	1,4	0	0	0	0	3	0	0,2	0	0,8	6	5	436	0
20	3600363	6783721	3	3	1,2	1,4	1	0	0,2	1	0,2	0,2	0	1,4	10	8	120	0
21	3580648	6779371	3	3	1,8	0,4	0,2	0	0,2	1,6	0,2	0,4	0	0,8	10	8	298	0
22	3578697	6778112	3	3	2,8	1	0,6	0,6	1	1,8	2	2	0	0,2	11	9	80	0
23	3577309	6777640	3	3	3	0,8	2	0,2	2,2	1	2,8	0	0	0	9	8	107	1
24	3578863	6779704	3	3	2,8	0,8	0,8	0,4	0,4	2,2	0,8	0	0	1	10	8	140	1
25	3577271	6779906	3	3	2,2	1	0	0,2	1,2	2	1,6	0,2	0	0,8	10	8	98	0
26	3578475	6780644	1,2	3	0,2	0	0	0	0	2,4	0	0	0,2	2,4	6	5	40	0
27	3578292	6780291	3	3	1,4	0,4	0,2	0	0	3	0,8	0	0	0,4	8	6	120	0
28	3577792	6780758	3	3	1	1,6	0,2	0	0	1	1,4	0	0	0,4	8	6	103	0
29	3576698	6780602	3	3	3	1	1,4	0,2	0,4	2,2	1,4	0,2	0	1,2	11	9	164	0
30	3576292	6779863	3	3	3	0,8	1	0,6	0,4	2,2	2,6	0,2	0	0,8	11	9	140	0
31	3575651	6781262	3	3	2,8	1	1,6	0,2	0,6	0,6	2,4	0	0	1	10	8	149	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUsnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAIgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
32	3575806	6781913	3	3	2,2	1,2	1,8	0,8	0,6	0,6	2,4	0	0,4	0,8	11	9	143	0
33	3580199	6781990	3	3	2	2	0,8	0	0	0,8	1,4	0	0	1,6	8	6	163	0
34	3582994	6782637	3	3	2,2	1,6	0	0,4	0	0,2	2	0	0	0,8	8	6	39	0
35	3581541	6784214	3	3	3	0,8	1	0	0	1,6	0	0	0	0,6	7	5	127	0
36	3583109	6780964	3	3	0,4	0	0,4	0,4	0,2	3	2,2	0	0	0,6	9	8	519	0
37	3585764	6778810	3	3	3	0,8	2,2	0	0,6	1,8	1	0	0	0	8	7	58	6
38	3581861	6776013	3	3	2,8	1,4	1,4	0,8	1	0,6	2,8	0	0	0,2	10	8	75	2
39	3579792	6773467	3	2,6	0,2	0	0	0	0	2,4	0	0	0	2	5	4	218	0
40	3583379	6773832	3	3	0,4	1,8	1	0,4	0	1,4	2,6	1	0,2	2	11	9	122	4
41	3582903	6770238	3	3	0	0	0,2	0	0,6	3	1	0,6	0	0,4	8	7	208	0
42	3586209	6772142	3	3	3	0,6	1,8	2,6	0,4	1,8	3	0,2	0	0,6	11	9	85	2
43	3590224	6769244	3	3	2,2	0,8	2,6	0,2	1,4	1,8	2,4	0	0	0	9	8	167	16
44	3589323	6771740	3	3	0,6	0,4	0	0	0	0,6	0	0	0	1	6	4	189	0
45	3588546	6775598	3	3	2,8	0	0,2	0	0,4	3	0,8	0	0	0,6	8	7	194	0
46	3593651	6774549	3	3	2,8	1,8	1	1	0,6	0,6	2	0	0	0	9	8	25	0
47	3591244	6776729	3	3	3	1,6	1	0,6	0	0,2	2,4	0	0	0	8	7	79	1
48	3588050	6778160	3	3	3	0,2	1,4	2	1,8	2	3	0,2	0	0	10	9	145	0
49	3591805	6779074	3	3	3	0	0,2	0	0,2	3	0,4	0,2	0	0,2	9	8	226	0
50	3591290	6783538	3	3	2,2	1,4	0,2	0	0	2	0,2	0,2	0	0,2	9	7	67	0
51	3590489	6788225	3	3	2	1	1	0,2	0,2	1,4	1	0	0	1	10	8	120	0
52	3589638	6786037	3	3	1,8	1	2	0,2	0,4	0,4	1,4	0	0	0,6	10	8	111	0
53	3591515	6780601	3	3	0,6	0,4	0,6	0,6	1,8	0,2	2,4	0	0	0,6	10	8	231	0
54	3585896	6785015	3	3	0,8	1,2	0,2	0,2	0	1,2	1,2	0	0	1	9	7	159	0
55	3586562	6781493	3	3	2,6	0,2	0	0	0	3	0	0	0	0,2	6	4	73	0
56	3579888	6780316	3	3	3	1,2	1	0,2	0	0	1,8	0	0	0,8	8	6	45	0
57	3591765	6787700	3	3	2,6	0,6	0,4	0	0,2	0,6	0	0	0	0,6	8	6	247	0
58	3581462	6793819	3	1,6	0	0	0	0,2	0	1,6	0	0	0	0,2	5	4	411	0
59	3586415	6789666	3	3	1,8	1	0	0	0,2	0	2	0	0	0	6	5	51	0
60	3593409	6780276	3	3	2	0,2	0	0	0	2	0	0	0	0,8	6	4	123	0
61	3565546	6774122	3	2,4	0	1,4	0	0	0	1,6	0	0	0	0,8	5	3	253	0
62	3566829	6775737	3	3	1,4	2,2	0,4	0,2	0,8	0,2	2	0	0	0,6	10	8	21	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUSnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAIgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
63	3567321	6776599	3	3	3	2,2	0,4	0,2	0,2	0	2,2	0	0	0	8	7	5	0
64	3567761	6773972	3	3	2	1,6	0	0	0	0	2,6	0,2	0	0,8	7	5	4	0
65	3566894	6773229	1	3	0,2	1,4	0	0	0	1,6	0	0	0	0,8	6	4	0	0
66	3568274	6771779	2,8	3	0,8	0,4	0	0	0	3	0	0	0	0,4	6	4	156	0
67	3566800	6771454	3	3	1,2	0	0	0	0	2	0	0	0	0,4	5	4	31	0
68	3564938	6772853	2,8	2,2	0	1	0,6	0	0	0,6	1,4	1,6	0,2	1,8	9	7	8	1
69	3565689	6772861	3	2,6	0	1,8	0,8	0,6	0,2	1,6	2,4	1,8	1	1,4	11	9	40	1
70	3565725	6775515	3	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1,2	4	2	47	0
71	3564274	6776788	3	3	1,2	0,4	0	0	0	3	0,2	0	0	1,4	7	5	277	0
72	3563458	6777460	3	3	3	1	0	0	0	1,6	0,6	0	0	0,8	7	5	128	0
73	3568641	6774812	2,6	2,2	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	0
74	3565052	6774533	3	2,8	0,2	1,6	0	0	0	1	0	0	0	1,2	6	4	158	0
75	3566271	6773793	2,2	1,6	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	4	0
76	3566505	6772251	2,6	3	1,4	0,8	0	0	0	3	0	0	0	2,6	6	4	73	0
77	3562715	6775069	3	3	2,6	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	9	0
78	3563468	6773237	3	3	1	0,2	1	0,2	1,2	2,8	1,8	2,6	1,8	1,4	12	10	172	0
79	3563745	6771318	3	0,8	0,4	0	0,6	0,8	0,6	2	2,2	0,4	2,4	2,4	11	10	45	0
80	3562629	6772026	3	2,6	1	0,6	0,6	0	0	3	1,8	2,6	0,2	2	10	8	18	1
81	3564527	6772071	3	0,8	0	0,4	0,6	0	0,4	1	1,4	0,2	3	2,4	10	8	40	0
82	3564931	6773380	3	3	0,2	1,6	0	0	0	0,6	2	0	0	2	7	5	48	0
83	3562835	6769319	3	3	0,4	0,2	0,6	0,2	0,4	3	2	0,2	1	0,4	12	10	64	0
84	3561259	6771214	3	3	2,4	1,2	0,2	0	0	2,4	0	0	0	1,4	7	5	103	0
85	3569986	6774105	3	3	2	1,4	0	0,6	0	0,6	1	0	0	0	7	6	60	0
86	3563585	6770493	2,6	0,8	0,2	0	0	0	0	0	0,2	0	0,4	2	6	5	6	0
87	3557203	6771479	3	3	0,8	0	1,2	0,4	1,2	3	2,2	0	0	0	8	8	324	0
88	3558844	6755360	3	3	3	0	0	0	0	2,8	0,2	0	0	0,2	6	5	56	0
89	3561067	6755392	3	3	3	0,6	0,4	0,4	1,8	2,4	2	0	0	1,2	10	8	58	0
90	3560834	6756201	3	3	2,2	0,2	1,2	0	1,4	3	2,4	0,8	0	0	9	8	174	18
91	3560273	6756579	3	3	1,6	0	0,2	0	1,2	2,2	1,2	0	0	0,2	8	7	118	0
92	3563088	6753288	3	3	2	0,2	0,2	0	0,6	0,4	0,4	0	0	0	8	7	55	0
93	3561948	6754975	3	3	2,2	0	0,4	0,6	2,2	1,6	1,8	0	0	0,2	9	8	65	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUsnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAIgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
94	3569340	6749465	3	3	2,4	0,8	1,6	0,6	2	1	2,4	0	0	0	9	8	55	0
95	3571151	6750330	3	3	2,2	0,8	0,8	0,6	1,2	3	3	0,8	0	0,6	11	9	134	0
96	3570700	6750429	3	3	3	0	0,2	0	0,4	0,4	0,4	0,2	0	0,2	9	8	90	0
97	3570459	6752395	3	3	1,4	0,4	3	1	3	2,4	2,4	0	0	0	9	8	127	6
98	3570692	6751695	3	3	2,8	1	0,8	0,2	2	1,2	3	0	0	0,4	10	8	55	0
99	3559159	6772873	3	3	2,4	0	0	0	0,6	3	1	0	1,2	0,2	8	7	119	0
100	3583260	6762120	3	3	2,6	0	0,2	0,4	0	3	3	0	0	0	7	7	226	0
101	3582824	6762043	3	3	1,2	1,8	0,2	0	0,2	0,8	2,2	0	0	0	8	7	202	0
102	3583778	6762440	3	2,6	0,8	0,4	1	0,4	0,6	1	2,4	0	0	0,4	10	8	183	0
103	3584366	6762743	3	3	0,6	1,6	0	0	0,4	0,6	1	0	0	0	7	6	34	0
104	3582921	6762379	3	3	0,4	0	1,6	0	2,4	3	3	0,4	0	0,4	9	8	237	1
105	3562471	6773825	3	3	1,6	0,8	0,2	0,4	0	2,4	3	0	0	1,4	9	7	59	0
106	3563322	6769655	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	2	1	0	0
107	3568334	6774447	3	3	2,2	0,8	0,2	0	0	0,2	2	0	0	1,4	8	6	5	0
108	3568479	6774665	3	3	1,4	1,4	0	0	0,6	1	3	0	0	0,6	8	6	44	0
109	3570775	6775161	3	3	2,6	0,8	0,4	0	1,4	0,2	0,4	0	0	0,6	9	7	76	0
110	3572066	6775866	3	3	2,4	0,4	0,8	0	0,6	2,4	1,8	0	0	1,6	9	7	201	0
111	3573462	6777063	3	3	3	0,2	0,8	0	1,2	3	2	0,2	0	1	10	8	170	0
112	3574074	6778845	3	3	3	0,4	0,4	0,4	1	2,8	2,6	0	0,2	0,8	11	9	182	0
113	3566086	6772631	3	3	0,4	1	0	0,2	0	3	0	0	0,8	1	8	6	53	0
114	3566763	6768552	3	3	2,8	0,2	0,2	0	0	2,2	0	0	0,6	0	7	6	51	0
115	3568687	6773581	3	3	0	0,6	0	0	0,2	2,2	0,4	0	0	1	7	5	127	0
116	3568383	6773527	3	3	2	1,4	0,2	0	0	1,2	0,4	0	0	1,2	8	6	39	0
117	3567702	6773063	2,4	3	0,4	0	0	0	0	2,6	0	0	0	2,6	5	4	13	0
118	3572506	6766300	3	3	3	1	0,8	0,4	1,6	2,4	0,8	0,8	0	0,2	11	9	138	0
119	3573623	6772231	3	2,8	1	0,4	0	0	0	3	0	0	0,2	1	7	5	31	0
120	3557985	6769391	3	3	3	0,2	0	0	0	3	0	0	0	0	5	4	156	0
121	3557812	6769057	3	3	2,6	0,6	2	1	3	2,2	3	0	0	0,4	10	8	45	0
122	3558804	6770117	3	3	3	1	0	0	0	0,8	0	0	0	2	6	4	62	0
123	3559091	6771259	3	3	3	0,2	0	0	0	2,2	0,2	0	0,4	0	7	6	104	0
124	3559271	6773545	3	3	3	1,2	0	0	0,6	0,2	1	0	0	0,2	8	6	111	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUSnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAlgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
125	3559905	6772667	3	2,6	0,6	0,6	0,2	0	0,2	0,4	0,2	0	0	1	9	7	188	0
126	3560672	6771456	3	3	0,4	0	0	0	0	3	0	0	0,4	1,4	6	5	189	0
127	3563390	6768900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	1	0	0	0
128	3564871	6767311	0,6	2,8	0,6	0	0	0	0	3	0,4	0	0,2	0,8	7	6	67	0
129	3565082	6767067	2,6	2,8	0,2	0,8	0	0	0	1	0	0	0	0,6	6	4	36	0
130	3567529	6764007	3	3	2,4	1	2,2	0	0,2	1,4	0	0	0	0,2	8	6	79	3
131	3572705	6775222	3	3	2,4	0,6	0,4	0,6	0	3	2,6	0	0	0,4	9	7	164	0
132	3571140	6773075	3	3	2,8	0,2	0,6	0,4	1,4	2,6	2,2	0	0	0,2	10	8	74	0
133	3562395	6775924	3	3	2,2	0	0,8	0	1	2,2	1,8	0	0	0,4	8	7	148	0
134	3562383	6776351	3	3	2	0	0,4	0	0	3	0	0	0	0	5	5	105	1
135	3563109	6770607	1,8	1,4	0,2	0	0	0	0	0,6	0,4	0	0	1,2	6	5	5	0
136	3561297	6770052	3	3	0,6	0,6	0,8	0	0,4	2	2,4	0,8	0,6	0,6	11	9	96	0
137	3562429	6769373	3	3	0,4	0	0	0,2	0	3	0,6	0	1,2	0,2	8	7	78	0
138	3565327	6771061	0	0,6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	3	2	0	0
139	3565300	6768400	0	3	0,4	0	0	0	0	2,2	1,2	0	1	1,4	6	5	0	0
140	3567145	6766750	2,4	2,6	1,6	0	0	0	0	1,8	0	0	0	0	4	4	4	0
141	3567618	6767270	3	3	3	0,2	0	0	0	2,4	0,2	0,2	0,4	0,2	9	7	92	0
142	3585554	6765893	3	3	2,2	1,2	0	0,2	1,8	0	1,6	0	0	0,2	8	6	67	0
143	3576490	6763422	3	3	2	1	2,6	0,6	3	0,2	2,6	0	0	0	9	8	56	1
144	3571630	6765167	3	3	2,8	0	0	0	0,2	2,4	0	0	0	1,2	6	5	63	0
145	3570411	6759378	3	3	2,6	1	0	1,2	1,2	1,6	2,6	0	0	0,4	9	7	103	0
146	3552160	6755906	3	3	2	1,2	2,6	0,6	3	1,8	3	0,4	0	0	10	9	172	0
147	3558770	6761622	3	3	3	0	1,2	1,8	2,4	2	3	0	0	0	8	8	66	9
148	3565687	6761251	3	3	2,8	0,4	1,2	1	2,4	2,2	3	0	0	0,2	10	8	123	1
149	3555363	6772746	3	3	1,2	0	0	0	0	3	0	0	0	0,8	5	4	160	0
150	3554150	6762184	3	3	3	0,8	2,2	1,2	3	0,6	2,8	0	0	0,4	10	8	44	7
151	3553425	6767823	3	3	0,2	0,2	0,8	0,2	0,8	1,2	2	0	0,2	0,4	11	9	90	0
152	3577524	6776148	3	3	1,6	0,2	1,2	1,6	1,8	0,2	3	0	0	0	9	8	17	14
153	3550855	6766294	3	3	2,8	0	1,6	0	2	2,8	2,2	0	0	0	7	7	191	2
154	3562775	6775489	3	3	2,2	0	0,6	0	0,2	0,6	0,2	0	0	0,2	8	7	124	0
155	3576836	6756859	3	3	2,2	0,8	1,4	1,2	2,6	0,4	2,2	0	0	0	9	8	88	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUSnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAIgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
156	3560409	6768411	3	3	2,8	1,2	0,2	0,4	2	0,4	0	0	0	0,2	9	7	31	1
157	3578340	6765476	3	3	3	0,8	0,6	0,4	1	0,4	0,8	0	0	0	9	8	50	0
158	3556874	6769548	3	3	2,2	0,2	0	0	0,4	3	0,2	0	0	0,2	8	6	75	0
159	3633310	6829265	3	3	3	1	0,2	0,4	0	0	3	0	0	0	7	6	225	0
160	3632546	6828553	3	3	0	1,2	1,4	2,4	0,4	0	3	0	0	0,2	8	6	297	0
161	3633368	6830950	3	3	0,2	0	0	0,2	0	2,4	0	0	0	0,8	6	5	231	0
162	3621706	6826145	3	3	2,8	0	0,6	0	0,2	3	0,4	0	0	1,2	8	7	164	0
163	3638022	6825189	3	3	3	1,2	1,4	2	1,6	0,8	1,4	0	0	0,2	10	8	87	0
164	3632875	6841822	3	3	3	0,2	0,8	1,4	0	2,2	0,2	0	0	0,6	9	7	226	0
165	3629382	6819050	3	3	3	0,6	2,8	2,6	1,8	1	2,2	0,2	0	0,6	11	9	170	0
166	3643276	6833756	3	3	2	0,8	0,6	0,2	0	2,2	0,4	0	0	0,8	9	7	131	0
167	3629308	6828679	3	3	0,8	0,6	0	0,2	0	1,2	0	0	0	1	7	5	210	0
168	3627842	6835322	3	3	1,2	0	0,6	0,2	0,2	3	0,4	0	0	1	9	8	290	0
169	3612379	6801055	3	3	3	0,8	0,8	1,2	0,4	2,8	0,4	0,2	0	0,4	11	9	160	0
170	3612339	6800308	3	3	3	1	2	0,8	0,8	1,6	1,2	1,4	0	1	11	9	226	22
171	3625707	6815458	3	3	3	1,4	0,4	0,4	0	0	0,4	0	0	1	8	6	17	0
172	3628168	6816798	3	3	3	1,2	0,2	0,6	0,2	0,2	0,4	0	0	0	9	8	210	0
173	3625853	6819234	3	3	3	1,2	1,2	1,2	1	0,2	1,4	2,8	0	1	11	9	121	0
174	3618826	6821582	3	3	2,6	0,6	2,2	0,6	0,4	0,6	3	0	0	0	9	8	138	0
175	3623603	6806446	3	3	2,8	1	0,4	0,2	0	2	0,6	0	0	0	8	7	142	0
176	3609506	6793633	3	3	3	0,6	0,6	0,4	0,8	2,8	0,4	0	0	0,4	10	8	170	0
177	3621352	6816830	3	3	1,8	0,2	0,6	0,2	0	0,8	0	0,2	0	0,8	9	7	227	0
178	3626495	6815891	3	3	1,2	0	0	0	0	1,2	0,2	0,2	0	1,2	7	6	175	0
179	3625406	6816037	3	3	0,8	0,4	0	0	0	2,4	0,2	0	0	1,6	7	5	85	0
180	3597704	6794468	3	3	2,4	2,2	0,4	0	0	0	1,8	0	0	0	6	5	78	0
181	3598356	6795972	3	3	0,4	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	6	5	441	0
182	3598635	6795017	3	3	2,2	1,6	0	0	0	0,2	0	0	0	1,4	6	4	165	0
183	3599597	6798011	3	3	0	1,2	0	0	0	1,2	0	0	0	0	4	3	222	0
184	3597813	6798975	3	1,8	2,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0,6	5	3	33	0
185	3597723	6799991	3	3	3	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	11	0
186	3596605	6799379	3	3	3	0,4	1,4	0,2	0,4	2,4	1,4	0,2	0	0	10	9	281	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUSnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAIgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
187	3592441	6796076	3	3	2	1,4	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	6	5	195	0
188	3603822	6794365	3	3	2,2	0,8	2	0	0,4	2,2	1,4	1	0	1,4	10	8	217	0
189	3604536	6797010	3	3	2,8	0,8	2,8	1,8	1,8	2,8	2,6	0,4	0	0	10	9	148	3
190	3603283	6797543	3	3	3	1	2,2	0,4	1,2	0,2	2,2	0	0	0,2	10	8	39	0
191	3607757	6792433	3	3	3	1	2,2	1,4	1,8	2,6	2,4	0	0	0,4	10	8	102	0
192	3606744	6801770	3	3	1,8	0,8	0,8	0,2	0	2,4	0	0,2	0	0,4	9	7	337	0
193	3597238	6801484	3	3	1	0,2	0	0	0	0,4	0,2	0	0	0,4	7	5	226	0
194	3588398	6796322	3	3	2,4	0	0,6	0,4	0	2	0,6	0	0	0,2	8	7	332	0
195	3581159	6799683	3	3	0,8	1	0	0	0	1,4	0	0	0	0	5	4	170	0
196	3587033	6805088	3	3	2,6	0	0,6	0,4	0	2,6	2,2	0	0	0,2	8	7	177	0
197	3571199	6805067	3	3	2,8	1,4	0,2	0,2	0	0,4	0	0	0	0	7	6	101	0
198	3582221	6813658	3	3	2,8	0	1,2	1	1,4	1,8	0,8	0,4	0	0	9	9	269	0
199	3579227	6819512	3	3	3	0,4	0	1,2	0,4	0,8	0,8	0	0	0	8	7	186	0
200	3599705	6801664	3	3	2,2	0	0,2	0	0	3	0	0	0	0	5	5	295	0
201	3591007	6816864	3	3	0,8	0,4	0,6	1,8	1,4	2,2	3	0,2	0	0	10	9	281	0
202	3600483	6812297	3	3	2,2	0,4	2,2	0,6	2,2	3	0,8	0,4	0	0,2	11	9	109	0
203	3607177	6811178	3	3	3	0,8	1	0,2	0,2	2	0,6	0	0	0	9	8	133	0
204	3607412	6816867	3	3	1,8	0,4	0,6	0,6	0	1,6	0,4	0	0	0	8	7	248	0
205	3599440	6824967	3	3	3	0	0	2,2	1,4	3	1,8	0	0	0	7	7	352	0
206	3593832	6800190	3	3	1,8	0,6	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	6	5	126	0
207	3616207	6825845	3	3	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0,2	5	4	398	0
208	3610607	6822170	3	3	3	0	2	1,8	1,8	2,4	2	0	0	0	8	8	192	2
209	3592979	6805517	3	3	3	1	0	0	0	0,6	0	0	0	0	5	4	185	0
210	3642080	6845560	3	3	0	0	0	0	0	2,8	0	0	0	0	3	3	622	0
211	3638378	6846001	3	3	3	0,2	2,2	3	2	1,4	2,4	0,2	0	0,6	11	9	100	6
212	3641207	6851561	3	3	2,4	0	0	0,2	0,2	1,8	0,2	0	0	0	7	7	236	0
213	3645781	6841285	3	3	3	1,6	1,8	2	0,2	0,2	3	0	0	0,2	10	8	50	5
214	3649653	6845969	3	3	3	1	0,2	0	0	0,2	0,2	0	0	0,6	8	6	125	0
215	3559897	6778779	3	3	1	0	0	0	0	2,2	1,2	0	0	0	5	5	272	0
216	3558159	6781217	3	3	2,8	0	0,8	0,4	0	2	1,4	0	0	0,2	8	7	197	0
217	3559524	6781181	3	3	1,6	0,4	0,6	0	0,2	0,8	0,4	0	0	0,4	9	7	270	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUsnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAIgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
218	3557960	6783459	3	3	2,4	1,8	0	0,2	0,4	0,2	2,2	0	0	0	8	7	127	0
219	3557418	6784275	3	3	1,2	1,6	0	0	0	1,2	0	0	0	0,2	6	4	413	0
220	3551771	6780122	3	3	3	0,8	1,6	2	0,4	0,6	3	0	0	0,6	10	8	37	1
221	3554440	6787505	3	3	2,4	0	0,2	0	0,6	2,6	1,2	0	0	0	7	7	173	0
222	3544951	6790574	3	3	3	0,2	0,8	1	0	2	2,4	0	0	0,2	9	7	216	0
223	3563195	6798163	3	3	2,8	1,2	0	0,6	0	1	3	0	0	0	7	6	161	0
224	3564734	6780924	3	3	2	0,4	1,6	0,2	1,2	3	2,2	0	0,2	1,6	11	9	263	0
225	3558647	6790502	3	3	2,8	0,4	2,4	1,8	1,6	2,6	3	1	0	0	10	9	170	2
226	3659964	6857583	3	3	2,8	0,4	1,4	2,6	0	0	1	0	0	0	7	6	336	0
227	3654313	6852126	3	3	2,8	0,2	1,4	2,4	0	0	1,4	0	0	0	7	6	203	4
228	3648425	6851890	3	2,4	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3	723	0
229	3555106	6743920	3	3	3	0,6	1,4	1,6	1,8	1	3	0	0	0,6	10	8	75	0
230	3555724	6735313	3	3	3	0	0	0	0,6	2,4	2,8	0	0	0	6	6	258	0
231	3552159	6734446	3	3	2,6	1,6	2,4	0,4	1,6	0,8	2,4	0	0	0,6	10	8	37	14
232	3559072	6737079	3	3	2,2	0	1,2	0,8	2	2,4	1,6	0	0	0,4	9	8	269	2
233	3562485	6741366	3	3	2,6	0	1	0,4	1,2	3	2,2	0	0	0,2	9	8	328	21
234	3559226	6750189	3	3	2,8	0,4	2,6	1,8	3	0	2,8	0	0	0	8	7	52	2
235	3556319	6743535	3	3	1	0,8	0,6	0	1	2,6	3	0,4	0,2	1	11	9	179	0
236	3551369	6738920	3	2,8	1	0,4	0	0,4	0,2	2,8	0,6	0	0	1,4	9	7	151	0
237	3541453	6741186	3	3	2,4	1,2	0,2	0,2	1,4	0,4	0,8	0	0	0,4	10	8	200	0
238	3563142	6748599	3	3	3	0,4	2	2,2	2,6	2,6	2,6	0,4	0	0	10	9	103	0
239	3548733	6747636	3	3	2,4	0	0	0,4	0	3	1	0	0	0	6	6	164	0
240	3551872	6740082	3	3	3	1	1	0,4	2,2	0,2	0,6	0	0	0,6	10	8	142	0
241	3543965	6772814	3	3	1	1	0,4	0	0	2,6	2,2	0,2	0	1,8	9	7	249	0
242	3550743	6774914	3	3	0	0,4	0,2	0	0	1,4	0,2	0	0	0,6	7	5	530	0
243	3544448	6774025	3	3	3	0,8	0,4	0,2	0	0,6	0,2	0	0	0,2	9	7	73	0
244	3535213	6766455	3	3	3	1	2,8	0,4	3	1,6	2,8	0,2	0	0	10	9	62	0
245	3540596	6778397	3	3	3	1	2,6	1,4	2,6	0,8	2,6	0	0	0,2	10	8	108	3
246	3546485	6779989	3	3	2,6	0	0,2	0	0,2	3	0	0,2	0	0,4	8	7	142	0
247	3543764	6770489	3	3	2,8	0,8	2,8	0	1,2	1,4	1,6	0	0	0,4	9	7	173	4
248	3537716	6787945	3	3	3	0	0	0	0,6	3	0,6	0	0	0	6	6	156	0

ala	x	y	RHypphy	RParamb	RPh&lal	RHypsca	RBryoria	RUsnea	RPlagla	RVulpin	RPsefur	RCetchl	RParsul	RAlgSco	lajlkm1	lajlk2	HypPsum	BryPsum
249	3536314	6787577	3	3	0,6	2	0,8	1,4	0,4	0	2,6	0	0	0,2	9	7	93	0
250	3538348	6788532	3	3	3	0,4	1,2	1	0,8	2,2	2,2	0,2	0	0,2	11	9	308	0
251	3513083	6779643	3	3	2,8	0,6	1	0,8	1,4	2,4	2,4	0	0	0	9	8	154	0
252	3530982	6772567	3	3	1,8	0,4	0	0	0	2,6	0	0	0	2,2	6	4	40	0
253	3519407	6778088	3	3	2,8	0	2	0,6	2	3	1,6	0	0	0	8	8	130	9
254	3529175	6780643	3	3	3	0,4	0,6	0,4	0	2,8	1,2	0	0	0,4	9	7	163	0
255	3522974	6786567	3	3	3	0,2	3	2,8	2,6	2,2	3	0,2	0	0,2	11	9	100	8
256	3528586	6786249	3	3	3	0,6	3	1,4	1,4	1,8	3	0	0	0,8	10	8	154	0
257	3524997	6795207	3	3	2,2	0	3	1,2	2,8	3	2	0	0	0	8	8	268	22
258	3534664	6799534	3	3	3	0	2,4	3	2	1,8	2,8	0,2	0	0	9	9	150	13
259	3541445	6798515	3	3	3	0,2	1,6	0,8	0,6	2,6	2	0	0	0,2	10	8	227	7
260	3540810	6790550	3	3	2,6	0,8	0	0	0	0	0,4	0	0	0	5	4	181	0
261	3525426	6773072	3	3	2,6	1	1,8	1	1	3	2,4	0	0	0,8	10	8	210	0
262	3536949	6795299	3	3	2,8	0,4	2,4	2,4	0,8	1,6	2,2	0,4	0	0	10	9	132	0
263	3531746	6780514	3	3	3	0,2	2,2	1,4	1,6	2,6	2,8	0	0	0,4	10	8	115	0

