



Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2014

TONI KESKITALO | MIKA LAITA | KIRSI JÄRVISALO | JANNE RUUTH | HENNA TOIVANEN |



Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2014

TONI KESKITALO

MIKA LAITA

KIRSI JÄRVISALO

JANNE RUUTH

HENNA TOIVANEN

RAPORTEJA 109 | 2015

**UUDENMAAN ILMANLAADUN
BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2014**

Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Taitto: Taina Pipinen

Kansikuva: Nab Labs Oy

**Kartat: CLC2012 maankäyttö/maanpeite
(yleistetty 25ha) © SYKE, EEA**

**CLC2012 aineiston tuotannossa on käytetty
seuraavien tiedon tuottajien aineistoja: SYKE, MML,
MMM (peltotiedot 2012), VRK (rakennetut alueet
2012) ja satelliittikuvien tulkinnassa hyödynnetty
Metsähallituksen ja UPM Kymmene Oy:n aineistoja.
Painotalo: Juvenes Print Oy**

ISBN 978-952-314-348-7 (painettu)

ISBN 978-952-314-349-4 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 2242-2846 (painettu)

ISSN 2242-2854 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-349-4

www.doria.fi/ely-keskus

Sisällysluettelo

1. Johdanto	5
2. Tutkimusalue	7
2.1 Yleiskuvaus	7
2.1.1. Kuntamuutokset vuodesta 2009.....	7
2.2 Maankäyttö.....	8
2.3 Tuuliolot.....	8
2.4 Tutkimusalueen ilmanlaatu	9
2.4.1. Päästöt	9
2.4.2. Ilmanlaatu tausta-aseilla	15
3. Tutkimusaineisto ja -menetelmät.....	17
3.1 Havaintoalat.....	17
3.2 Tutkimusryhmä ja maastotöiden ajankohta.....	20
3.3 Havupuiden epifyyttijäkälien kartoittaminen.....	20
3.3.1. Ilmanpuhtausindeksi	25
3.4 Jäkäläkartoituksen virhelähteet ja luotettavuus	26
3.5 Paikkatietomenetelmät	27
3.6 Tilastomenetelmät.....	27
3.6.1. Taustamuuttujien vaikutus ja jäkälämuuttujien keskinäiset korrelaatiot....	27
3.6.2. Vuosien väliset vertailut.....	28
3.6.3. Regressioanalyysi	28
3.6.4. Yhteisöanalyysit	28
4. Tulokset.....	31
4.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste	31
4.2 Yleinen vaurioaste.....	33
4.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys	35
4.3.1. Ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien yleisyydet	37
4.3.2. Ilman epäpuhtauksista hyötyvien lajien yleisyydet.....	40
4.4 Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys	41
4.5 IAP-indeksi	42

5. Tulosten tarkastelu	43
5.1 Sormipaisukarve.....	45
5.2 Lajistolliset tunnukset	46
5.3 Levän yleisyys	47
6. Vertailu aikaisempiin tuloksiin.....	49
6.1 Vuosien välinen vertailu.....	49
6.1.1. Vertailu vuosien 2009 ja 2014 välillä.....	56
6.1.2. Vertailu vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 välillä	58
6.1.3. Vertailu vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 välillä tausta- ja taajama-aloilla	61
6.2 Kuntakohtainen vertailu ja Suomessa aiemmin tehdyt tutkimukset	63
7. Johtopäätökset.....	65
8. Lähteet	67

LIITTEET

Liite 1–22: Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta kunnittain.

Liite 23: Tulosten tilastollinen tarkastelu.

Liite 24: Vuosien välinen vertailu.

**Liite 25: Seuralaislajien lukumäärät vuosien
1998, 2000, 2004, 2009 ja 2014 kartoituksissa.**



1. Johdanto

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 2014 seurannassa bioindikaattoreina käytettiin männyillä kasvavia runkojäkäliä.

Mäntyjen epifyyttijäkäliät ovat hyviä ilmanlaadun bioindikaattoreita, sillä ne reagoivat herkästi ilman epäpuhtauksiin sekä ulkomuodollaan että lajiston koostumuksen ja runsauden muutoksilla. Epäpuhtauksien vaikutukset ilmenevät indikaattorilajeissa pitkällä aikavälillä, minkä vuoksi indikaattorimenetelmät soveltuvat erityisen hyvin pitkän aikavälin muutostrendien kuvaamiseen. Saastevaikutuksen ilmenemiseen vaikuttavat aina myös luontaiset tekijät, jotka voivat joko puskuroida tai voimistaa sitä.

Ilmanlaatua ja sen kehittymistä Uudellamaalla ja Itä-Uudellamaalla on selvitetty säännöllisten bioindikaattoritutkimusten avulla 1980-luvulta lähtien. Erillisiä seurantoja on tehty Porvoon seudulla ja Itä-Uudellamaalla 1980-luvulta lähtien (Huttunen 1988, Manninen ym. 1990, Niskanen ja Witick 1992, Pihlström ja Myllyvirta 1995, Pihlström ja Myllyvirta 2001). Pääkaupunkiseudulla ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta pysyvillä havaintoaloilla aloitettiin vuonna 1988, jonka jälkeen seurantoja jatkettiin aluksi vuosittain ja myöhemmin viiden vuoden välein (mm. Ruuhijärvi ym. 1988, Pihlström ym. 1994, Niskanen 1995, Niskanen ym. 1996, Niskanen ja Ellonen 1998); tosin ilman epäpuhtauksien vaikutuksia runkojäkäliin tiedetään pääkaupunkiseudulla tutkitun jo 1930-luvulla. Läntisellä Uudellamaalla bioindikaattoriseurantoja on tehty 1980- ja 1990-luvuilla (mm. Niskanen ja Veijola 1996, Niskanen ym. 1999). Myös Keski-Uudenmaan alueella on tehty bioindikaattoritutkimuksia 1990-luvulla (mm. Mäkinen ym. 1992).

Vuonna 1998 Uudenmaan ympäristökeskus asetti työryhmän laatimaan kattavan ilmanlaadun seurantaohjelman koko Uudellemaalle, jonka tarkoituksena oli parantaa tulosten vertailukelpoisuutta, raporttien tasoa ja seurannan laadun varmennusta sekä sovittaa yhteen paikallisia ja valtakunnallisia seurantoja (Airola ja Soininen 2000). Uuden seurantaohjelman mukainen bioindikaattoritutkimus tehtiin alueella vuosina 2000–2001 (Niskanen ym. 2001). Seurantaan osallistui tuolloin 25 Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan kuntaa. Vuosina 2004–2005 sekä 2009 seuranta toteutettiin koko Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan alueella (Polojärvi ym. 2005a, Huuskonen ym. 2009). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakunnat yhdistettiin Uudenmaan maakunnaksi vuonna 2011. Kuntauudistusten myötä Uudenmaan maakunnassa on 26 kuntaa. Vuonna 2014 toteutettu seuranta on jatkoa ilmanlaadun seurantaohjelman mukaisille bioindikaattoritutkimuksille, ja se toteutettiin Uudenmaan alueen 22 kunnassa samoilla tutkimusaloilla kuin edellisellä seurantakerroksella vuonna 2009. Tutkimusaloja oli yhteensä 734, ja jokaisella alalla oli kymmenen tutkimuspuuta.

Tutkimuksessa selvitettiin mäntyjen epifyyttijäkälien kunto, esiintyminen ja runsaus tutkimusalueella vuonna 2014, ja verrattiin saatuja tuloksia aiempien vuosien seurantojen tuloksiin. Tuloksia tulkittiin tarkastelemalla muuttujien vaihtelua suhteessa päästölähteisiin, vertailemalla lajistosuhteissa ja jäkälien kunnossa tapahtuneita muutoksia eri vuosina sekä vertaamalla jäkälälajiston muutoksia päästömäärien kehitykseen. Lisäksi tarkasteltiin jäkälien indikoimaa ilmanlaatua tausta-taajama-ala -jaottelun perusteella.



Tutkimukseen osallistui 22 Uudenmaan kuntaa, jotka myös rahoittivat tutkimusta.

Lisäksi tutkimukseen osallistuivat seuraavat yritykset:

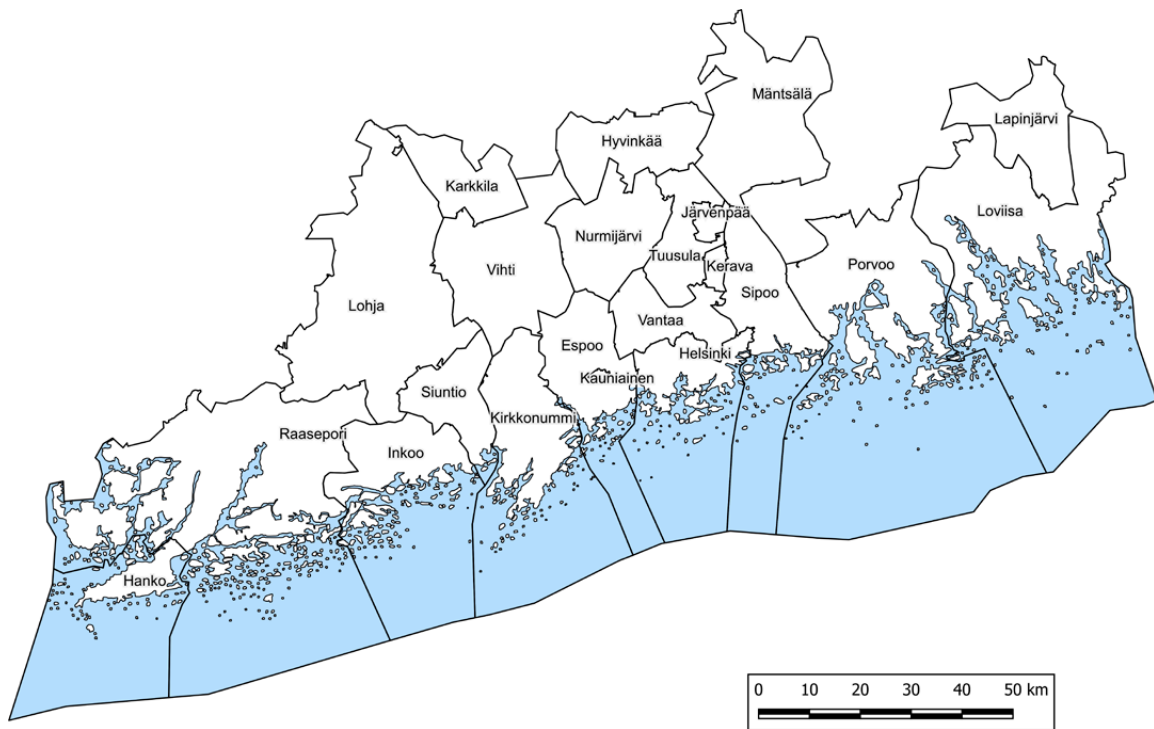
- Hyvinkään Lämpövoima Oy
- Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy
- Fortum Power and Heat Oy
- Kerava Energia Oy
- Mondi Lohja Oy Lohjan lämpölaitos
- Nordkalk Oy
- Sappi Finland Operation Oy
- Virkkalan Lämpö Oy
- Roution Huolto Oy
- Lohjan Energiahuolto Oy Loher
- HUS Kuntayhtymä
- Cembrit Production Oy
- Lemminkäinen Infra Oy
- Nordic Waterproofing Oy
- Destia Oy
- PEAB Industri Oy/MBR betoniasema
- Metsä Wood Kerto Lohja
- Lohjan Biolämpö Oy
- Ashland Finland Oy
- Borealis Polymers Oy
- Neste Oyj
- Porvoon Energia Oy
- Stryrochem Oy
- Helen Oy
- Vantaan Energia Oy
- Finavia Oyj
- Adven Oy
- Componenta Karkkila Oy
- Fermion Oy
- Genencor International Oy
- Oy ViskoTeepak Ab
- Printal Oy

Seurannan toteutti Nab Labs Oy Ambiotica. Maastotyöt tehtiin keväällä ja kesällä 2014, ja niihin osallistuivat tutkijat Kirsi Järvisalo, Janne Ruuth ja Anne Kiljunen sekä tutkimusavustajat Henna Toivanen, Janne Hesso ja Mari Jäntti. Tutkijat Toni Keskitalo, Mika Laita sekä Kirsi Järvisalo analysoivat tutkimusaineiston ja kirjoittivat tämän tutkimusraportin. Janne Ruuth ja Henna Toivanen tarkistivat ja viimeistelivät tämän raportin.

2. Tutkimusalue

2.1 Yleiskuvaus

Tutkimusalue kattoi Uudenmaan maakunnan melkein kokonaisuudessaan (Kuva 1). Uudenmaan alue on Suomen väkirikkainta seutua hieman yli 1,5 miljoonalla asukkaallaan, joista suurin osa asuu Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisen muodostamalla pääkaupunkiseudulla. Alueen vilkkaimmin liikennöityjä teitä ovat kehäväylät sekä valtatiет 1 (Helsingistä Lohjan läpi länteen), 3 (Hyvinkään läpi pohjoiseen), 4 (Mäntsälän läpi pohjoiseen), ja 6 (Helsingistä itään). Uusimaalainen luonto on monipuolista. Alueen lounaisosa kuuluu hemiboreaaliseen vyöhykkeeseen, ja pohjois- ja itäosat eteläboreaalisen vyöhykkeen vuokkovyöhykkeeseen eli lounaismaahan. Hemiboreaalinen vyöhyke alue on lehtoaluetta, jolla kasvuolosuhteet ovat hyvät. Etelässä tutkimusalue rajautuu Suomenlahteen. Alueen länsiosat ovat alavaa ja hyvin viljelyyn sopivaa, kun taas itäosan maaperä on karumpaa (Uudenmaan ympäristökeskus 2009).



Kuva 1. Bioindikaattoriseurantaan osallistuneet kunnat.
Figur 1. Kommuner som deltagit i undersökningen.

2.1.1. Kuntamuutokset vuodesta 2009

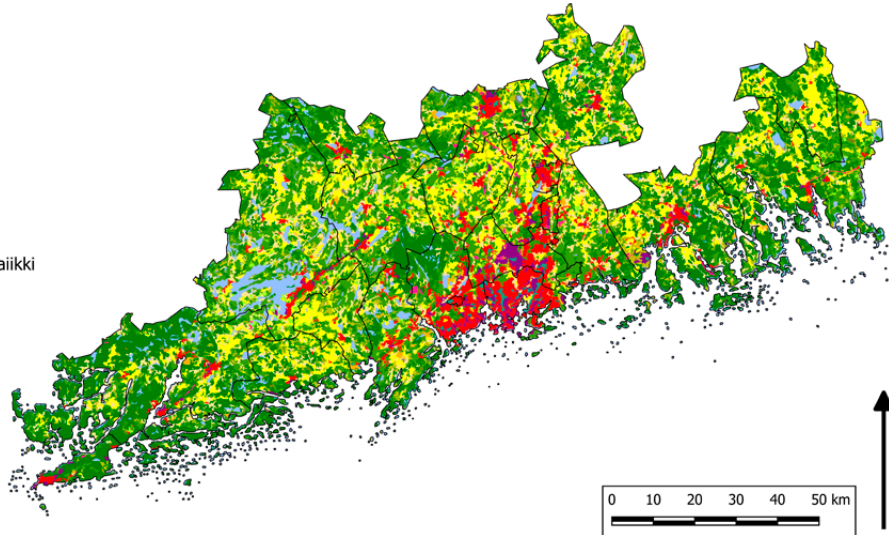
Tässä tutkimuksessa ei ollut mukana vuoden 2009 bioindikaattoritutkimukseen osallistuneita kuntia Askola, Myrskylä, Pornainen ja Pukkila. Kuntaliitosten takia kuntakartalta puuttuivat Karjalohja ja Nummi-Pusula, jotka liitettiin Lohjaan. Itäisellä Uudellamaalla uusi Loviisa muodostettiin Loviisasta, Liljendalista, Pernajasta ja Ruotsinpyhtäystä. Ruotsinpyhtään itäisin osa liitettiin Pyhtäeseen, ja se kuuluu siten Kymenlaakson maakuntaan. Kyseisellä liitetyllä alueella sijaitisi kolme havaintoalaa, eikä niillä tehty jäkälähavaintoja tässä tutkimuksessa.

2.2 Maankäyttö

Uudenmaan alueen maankäyttöä tarkasteltiin CLC 2012 -aineiston perusteella (yleistetty 25 ha) (Kuva 2). Taa-jinta asutus on pääkaupunkiseudulla Helsingin, Vantaan, Espoon ja Kauniaisten alueella. Asutusta on keskittynyt myös mm. valtatie 25 varteen Länsi-Uudellemaalle sekä Keski-Uudellemaalle. Metsäisimpiä alueita ovat Länsi-Uudenmaan syrjäisimmät alueet, Hankoniemi, Espoon–Vihdin rajaseutu sekä rannikkoalueet.

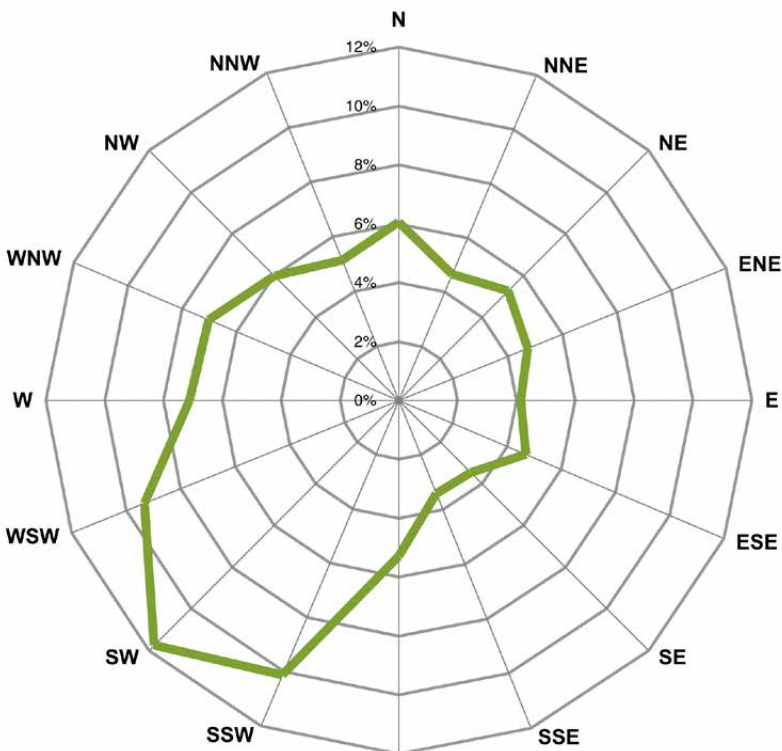
maankäyttö

- havumetsä
- sekametsä
- lehtimetsä
- harvapuustoinen alue
- kosteikko
- avosuo
- vesistö
- pelto
- viljelmä
- pienipiirteinen maatalousmosaiikki
- laidunmaa
- taajama
- teollisuus
- liikenne
- maa-aineisten ottoalue
- kaatopaikka
- rakennustyöalue
- puistometsä
- urheilu- tai vapaa-ajantoimintojen alue



Kuva 2. Maankäyttö Uudenmaan alueella (CLC2012 maankäyttö/maanpeite (yleistetty 25ha): © SYKE, EEA).
Figur 2. Markanvändning i Nyland. (CLC2012 markanvändning/marktäck (generaliserad 25ha) © SYKE, EEA)

2.3 Tuuliolot



Uudellamaalla vuonna 2013 yleisimpiä olivat lounaistuulet (11,8 %). Yleisiä olivat myös etelälounaan (10,1 %) ja länsilounaan (9,3 %) suunnalta puhaltavat tuulet. Havainnoista tyyntä (tuulen nopeus alle 0,5 m/s) oli 0,4 %, ja puuttuvia havaintoja oli 1,3 % eli kokonaisuutena vajaan viisi vuorokautta (Kuva 3.) (Ilmatieteen laitos 2014.)

Kuva 3. Tuulensuuntien jakauma Helsinki-Vantaan lentoasemalla vuonna 2013.
Figur 3. Distribution av vindriktningarna vid Helsingfors-Vanda flygplats år 2013.

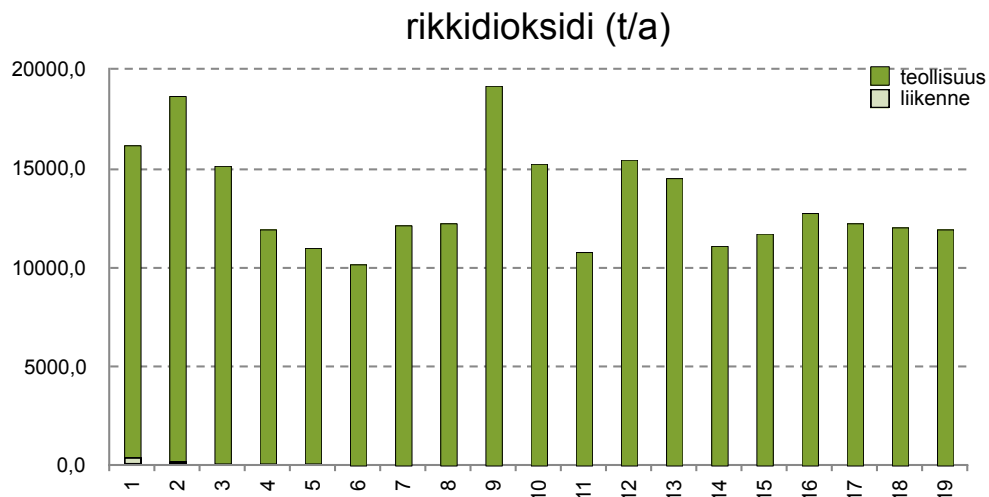


2.4 Tutkimusalueen ilmanlaatu

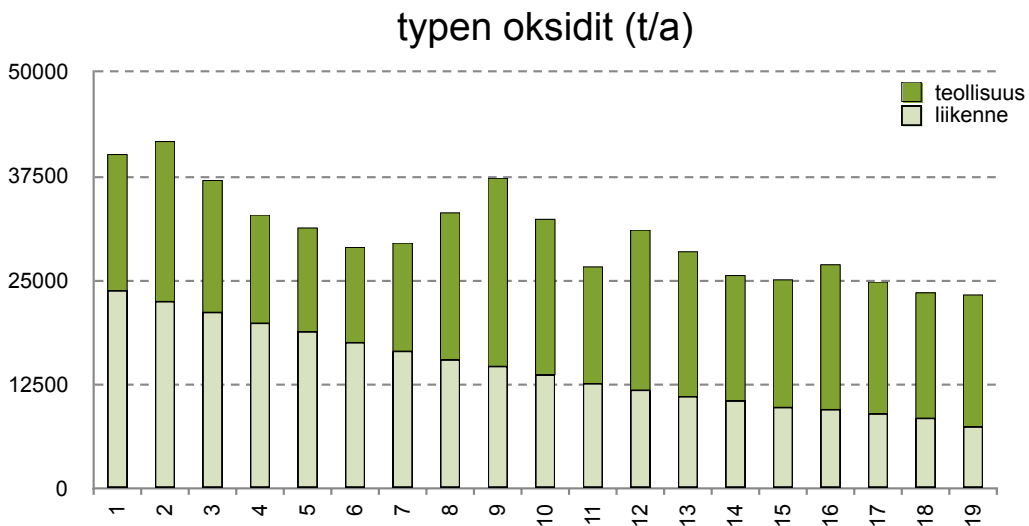
2.4.1. Päästöt

Tässä luvussa kuvataan tutkimusalueen päästömäärien kehitys, lupavelvollisten laitosten päästömäärät ja päästöjen jakautuminen kunnittain. Päästötietoina esitetään rikkidioksidin (SO_2), typen oksidien (NO_x) ja hiukkasten päästöt. Päästötiedot on koottu ympäristöhallinnon Vahti- ja Hertta-tietojärjestelmistä (ELY 2014), ja liikenteen päästötiedot on laskettu LIISA 2012 -laskentamallin avulla (VTT). Vahti-tietojärjestelmän päästötiedot kattavat lupavelvolliset laitokset, joiden tiedot esitetään alkaen vuodesta 1995 (kuvat 4–6). Päästömäärät on esitetty kartalla laitoskohtaisesti vuoden 2013 osalta (kuvat 7-9). Hertta-tietojärjestelmän päästötiedoissa on huomioitu lupavelvollisten pistemäisten päästölähteiden lisäksi liikenteen ja muiden toimintojen, kuten maatalouden ja pienteollisuuden päästöt, ja ne on esitetty 2000-luvulta alkaen (kuvat 10–12). Hertta-tietojärjestelmän päästö-tietojen perusteella on esitetty päästöt kunnittain vuosilta 2004, 2009 ja 2012 (kuvat 13–15).

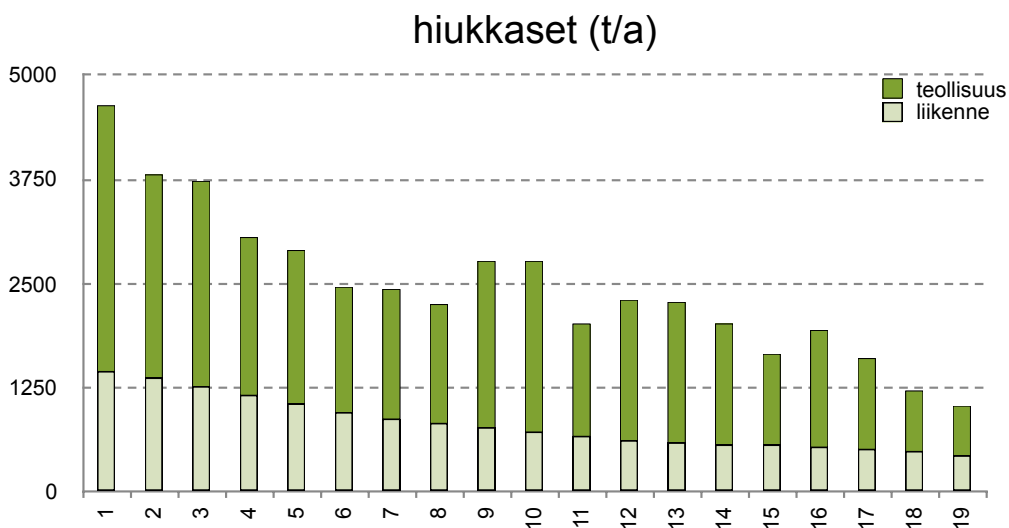
Kuvissa 4–6 on esitetty tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten sekä liikenteen päästöjen kehittyminen vuodesta 1995 vuoteen 2013 rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten osalta. Rikkidioksidipäästöt eivät ole vuoden 1995 jälkeen olleet selvästi pelkästään laskusuunnassa. Vuosina 2008–2013 päästöt ovat olleet tasolla 11 000–12 000 t/a. Liikenteen päästöjen osuus rikkipäästöistä on ollut 2000-luvulla hyvin pieni. (Kuva 4.) Typen oksidien päästöt ovat vähentyneet melkein puoleen verrattaessa 1990-luvun puoltaväliä vuoteen 2013. Liikenteen osuus typen oksidien päästöistä on ollut noin puolet tai vähemmän kokonaispäästömäärästä riippuen vuosittaisista tuotantomääristä. (Kuva 5.) Myös hiukkaspäästöt ovat vähentyneet selvästi 1980-lukuun verrattuna. Liikenteen osuus hiukkaspäästöistä on alle puolet. (Kuva 6.)



Kuva 4. Tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten ja liikenteen rikkidioksidipäästöt vuosina 1995–2013 (tn/v) (ELY 2014, LIISA 2012).
 Figur 4. Svaveldioxidutsläppen av anmälningsskyldiga anläggningar i forskningsområdet åren 1995–2013 (t/a) (ELY 2014, LIISA 2012).

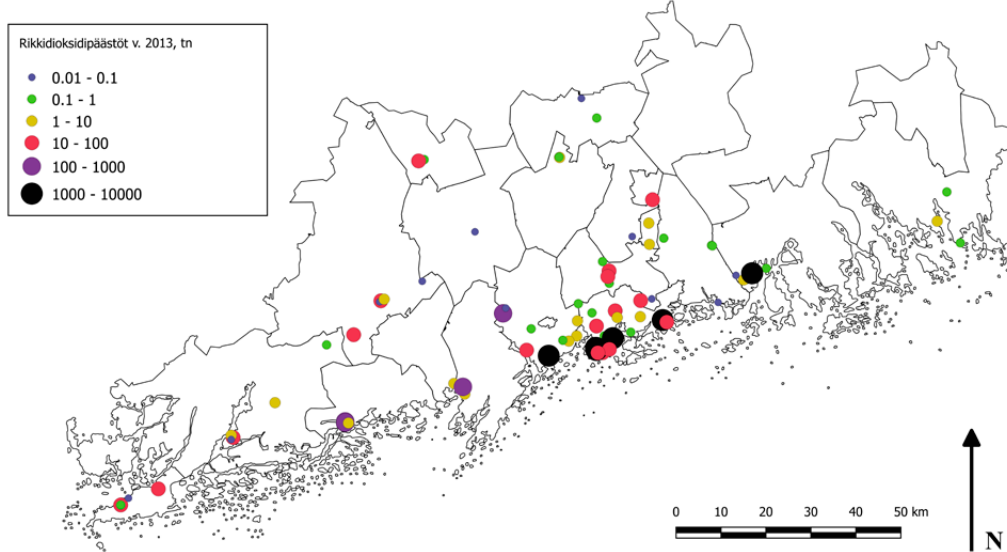


Kuva 5. Tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten ja liikenteen typen oksidien päästöt vuosina 1995–2013 (tn/v) (ELY 2014, LIISA 2012).
 Figur 5. Utsläppen av kväve oxider av anmälningsskyldiga anläggningar i forskningsområdet åren 1995–2013 (t/a) (ELY 2014, LIISA 2012).

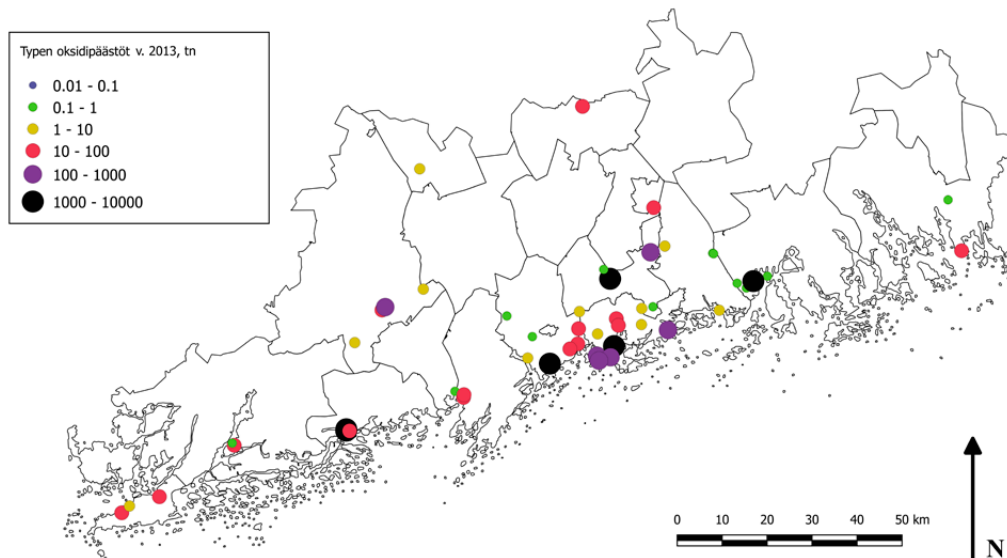


Kuva 6. Tutkimusalueen lupavelvollisten laitosten ja liikenteen hiukkaspäästöt vuosina 1995–2013 (tn/v) (ELY 2014, LIISA 2012).
 Figur 6. Partikelutsläppen av anmälningsskyldiga anläggningar i forskningsområdet åren 1995–2013 (t/a) (ELY 2014, LIISA 2012).

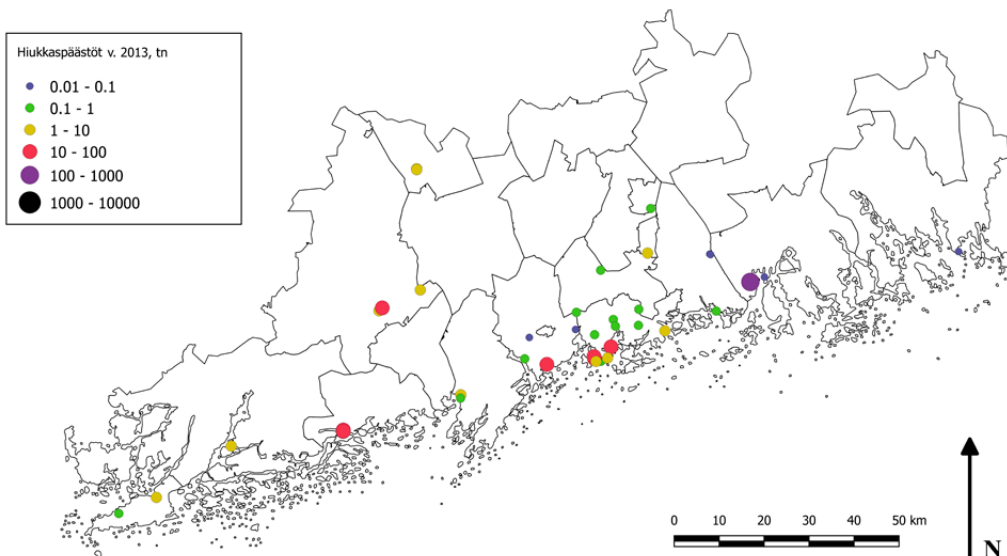
Kuvissa 7–9 on esitetty lupavelvollisten laitosten päästöt laitoksittain vuonna 2013. Lupavelvollisista laitoksista alueen merkittävin päästäjä sekä rikkidioksidin, typen oksidien että hiukkasten osalta on Neste Oyj:n Porvoon jalostamo. Merkittäviä päästölähteitä ovat myös Helsingin Energian sekä Fortumin voimalaitokset.



Kuva 7. Lupavelvollisten laitosten rikkidioksidipäästöt vuonna 2013 (ELY 2014).
Figur 7. Svavelutsläpp av anmälningsskyldiga anläggningar år 2013 (ELY 2014).



Kuva 8. Lupavelvollisten laitosten typen oksidien päästöt vuonna 2013 (ELY 2014).
Figur 8. Utsläpp av kväve oxider av anmälningsskyldiga anläggningar år 2013 (ELY 2014).

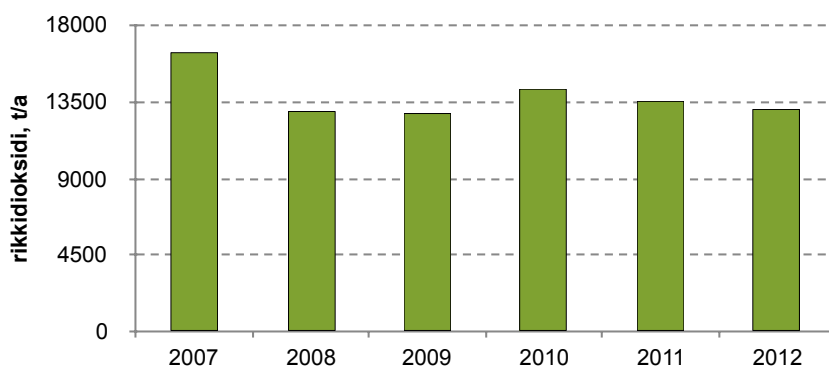


Kuva 9. Lupavelvollisten laitosten hiukkaspäästöt vuonna 2013 (ELY 2014).
Figur 9. Partikelutsläpp av anmälningsskyldiga anläggningar år 2013 (ELY 2014).

Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkaspitoisuuksien kehitys kaikkien päästölähteiden osalta tutkimusalueella vuosina 2007–2012 on esitetty kuvissa 10–12. Rikkidioksidipäästöjen kehitys tutkimusalueella ei ole ollut selvästi vähenevää tai kasvavaa. Alueen rikkidioksidipäästöt olivat suurimmillaan vuonna 2007 (16 400 t) ja alhaisimmillaan vuonna 2009 (12 900 t). Rikkidioksidipäästöt vähenivät huippuvuoden 2007 jälkeen vuoteen 2009 asti, mutta olivat seuraavina vuosina taas korkeammalla tasolla. (Kuva 10.)

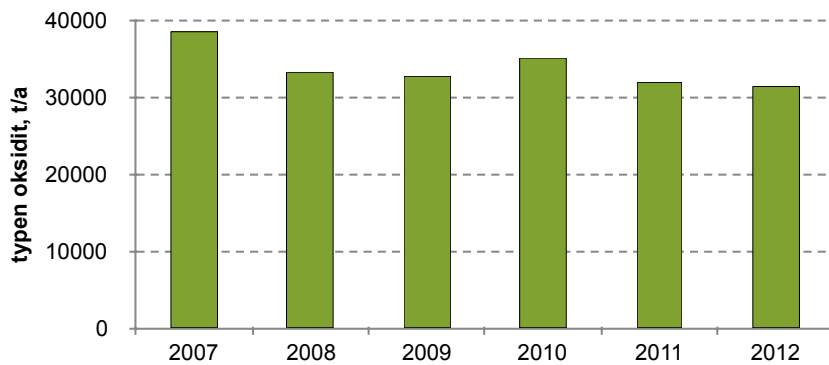
Typen oksidien päästöissä on ollut vuosina 2007–2013 lievästi vähenevä kehitys. Päästöt olivat rikkidioksidin tapaan suurimpia tarkastelujakson alussa vuonna 2007 (38 700 t) ja pienimmät tarkastelujakson lopussa vuonna 2012 (31 500 t). (Kuva 11.)

Hiukkaspäästöt ovat olleet vuosina 2007–2009 (~10 000 t/a) pienemmät kuin kolmena seuraavana vuonna (kuva 12). Hiukkaspäästöt olivat tarkastelujaksolla korkeimmillaan vuonna 2010 (12 000 t). Vuosien 2010–2012 päästöt ovat samaa tasoa kuin 2000-luvun alkupuolella. Hiukkaspäästöt olivat kasvaneet tasaisesti vuosina 2000–2004, minkä jälkeen ne pienivät selvästi ja pysyivät alhaisemmalla tasolla vuoteen 2007 asti (Huuskonen ym. 2010).



Kuva 10. Rikkidioksidipäästöjen (t/a) kehitys kaikkien päästölähteiden osalta vuosina 2007–2012 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2014).

Figur 10. Utvecklingen av svaveldioxidutsläppen åren 2007–2012 (Miljöförvaltnings Hertta-databas 2014).



Kuva 11. Typen oksidien päästöjen (t/a) kehitys kaikkien päästölähteiden osalta vuosina 2007–2012 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2014).

Figur 11. Utvecklingen av utsläppen av kväve oxider åren 2007–2012. (Miljöförvaltnings Hertta-databas 2014).



Kuva 12. Hiukkaspäästöjen (t/a) kehitys kaikkien päästölähteiden osalta vuosina 2007–2012 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä 2014).

Figur 12. Utvecklingen av partikelutsläppen åren 2007–2012. (Miljöförvaltnings Hertta-databas 2014).

Taulukossa 1 on esitetty rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästömäärät vuoden 2014 seurantaan osallistuneiden kuntien osalta vuosina 2004, 2009 ja 2012. Suurimmat päästömäärät tarkasteluvuosina syntyivät Helsingissä, Porvoossa, Espoossa ja Vantaalla. Vähiten päästöjä syntyi Kauniaisissa, Lapinjärvellä ja Siuntiossa. Sekä rikkidioksidin, typen oksidien että hiukkasten päästömäärät olivat yhteenlaskettuna tarkasteluvuosista suurimmillaan vuonna 2004. Yhteenlasketut pienimmät rikkidioksidin ja hiukkasten päästöt syntyivät vuonna 2009, typen oksidien pienimmät päästöt syntyivät vuonna 2012.

Tarkasteluvuosina rikkidioksidipäästöjä syntyi yli 1000 tonnia vuodessa Espoossa, Helsingissä, Inkoossa, Porvoossa ja Vantaalla. Näissä kunnissa myös typen oksidien päästöt olivat suurimpia. Inkoon päästömäärät olivat suurimmillaan vuonna 2004 päästömäärien ollessa muina vuosina huomattavasti pienempiä. Vaihtelu johdettiin Inkoon lauhdevoimalasta, jota on käytetty vaihtelevasti markkinatilanteen mukaan. Suurimpien rikkidioksidin päästäjien päästömäärät ovat laskeneet tarkastelujakson aikana lukuun ottamatta Espoota ja Vantaata, jossa päästömäärät ovat nousseet tai pysytelleet samalla tasolla eri tarkasteluvuosina. Suurimpien typen oksidien päästöjä tuottavien kuntien päästömäärät ovat olleet suurimmillaan vuonna 2004 ja laskeneet vuoteen 2009 ja 2012.

Suurimpien hiukkaspäästöjä tuottavien kuntien, kuten Espoon, Helsingin ja Vantaan hiukkaspäästöt ovat laskeneet vuodesta 2004 vuoteen 2009 ja nousseet jälleen 2012. Myös Hangossa, Kirkkonummella, Lohjalla ja Raaseporissa hiukkaspäästöt ovat laskeneet vuoteen 2009, mutta nousseet jälleen 2004 tasolle tai sen yli vuoteen 2012 mennessä. Tutkimusalueen kunnista vain Porvoossa ja Karkkilassa hiukkaspäästöt ovat olleet laskusuuntaisia.

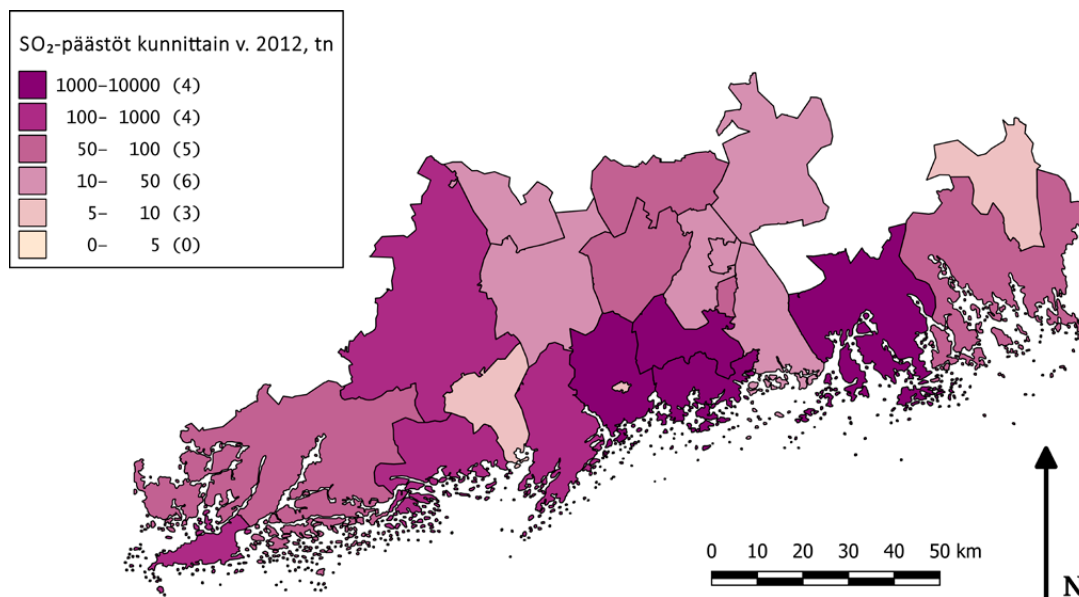
Taulukko 1. Tutkimusalueen päästöt rikkidioksidin, typen oksidien sekä hiukkasten osalta (t/a) kunnittain vuosina 2004, 2009 ja 2012. (Ympäristöhallinnon Herta-tietojärjestelmä, 2014.)

Tabell 1. Utsläppen av svaveldioxid, kväve oxider och partiklar (t/a) åren 2004, 2009 och 2012 (Miljöförvaltnings Herta-databas, 2014).

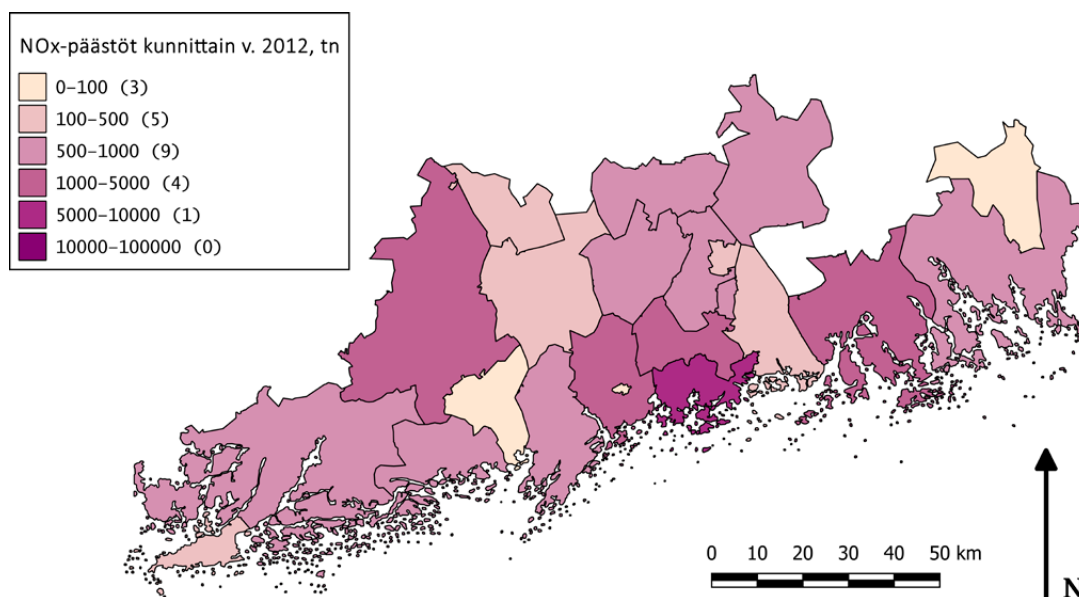
kunta	2004			2009			2012		
	SO ₂	NO _x	hiukkaset	SO ₂	NO _x	hiukkaset	SO ₂	NO _x	hiukkaset
Espoo	1744	5023	1515	1517	3792	1234	1798	3812	1560
Hanko	968	442	457	778	305	437	459	405	226
Helsinki	4197	13995	3675	2274	10645	2203	2702	9789	2778
Hyvinkää	76	1115	375	75	651	323	57	611	436
Inkoo	2634	3370	285	221	397	115	301	568	123
Järvenpää	55	570	268	45	412	224	38	425	278
Karkkila	30	223	145	64	164	126	30	138	118
Kauniainen	12	195	62	5	83	46	7	85	58
Kerava	72	676	230	92	501	196	75	557	255
Kirkkonummi	383	892	372	337	894	364	282	712	431
Lapinjärvi	21	134	77	9	89	78	8	85	82
Lohja	409	1724	527	363	1378	497	329	1335	510
Loviisa	52	670	257	54	495	278	58	564	301
Mäntsälä	44	842	324	29	567	307	31	526	354
Nurmijärvi	132	1060	435	76	727	457	85	710	533
Porvoo	5957	5531	762	5563	4936	584	5434	4246	519
Raasepori	91	821	372	85	614	364	80	746	392
Sipoo	58	731	286	38	533	262	33	458	273
Siuntio	13	151	70	16	177	71	9	100	80
Tuusula	83	832	372	58	568	330	42	556	396
Vantaa	880	4690	1376	1117	4079	1140	1120	4423	1398
Vihti	51	739	317	31	503	301	35	474	344
Yhteensä	17962	44426	12559	12847	32510	9937	13013	31325	11445

Kuvissa 13–15 on esitetty ilman epäpuhtauksien päästömäärät Uudellamaalla kunnittain vuonna 2012 Hertta-tietojärjestelmän tietojen mukaan. Vuonna 2012 rikkidioksidipäästöjä syntyi eniten Helsingissä, Espoossa, Porvoossa ja Vantaalla. Typen oksidien päästöjä muodostui eniten Helsingissä, Vantaalla ja Porvoossa, mutta myös muissa pääkaupunkiseudun ja läntisen Uudenmaan kunnissa. Asteikot ovat kuvissa samat kuin vuoden 2009 bioindikaattoriraportissa.

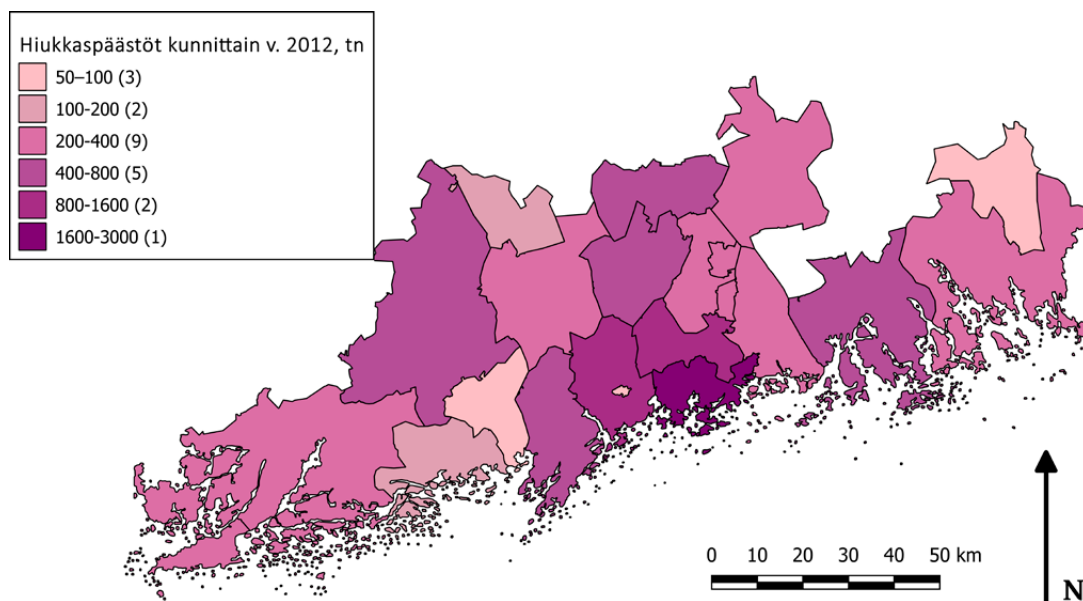
Hiukkaspäästöjä syntyi vuonna 2012 eniten Helsingissä, mutta myös Vantaalla, Espoossa, Nurmijärvellä, Porvoossa, ja Lohjalla päästömäärät olivat suuria. Vähiten rikin, typen ja hiukkasten päästöjä Uudenmaan alueella vuonna 2012 syntyi Kauniaisissa, Lapinjärvellä, Siuntiossa ja Karkkilassa.



Kuva 13. Rikkidioksidipäästöt Uudellamaalla kunnittain vuonna 2012 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä).
Figur 13. Svaveldioxidutsläpp i Nylands kommuner år 2012 (Miljöförvaltnings Hertta-databas).



Kuva 14. Typen oksidien päästöt Uudellamaalla kunnittain vuonna 2012 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä).
Figur 14. Utsläpp av kväve oxider i Nylands kommuner år 2012 (Miljöförvaltnings Hertta-databas).



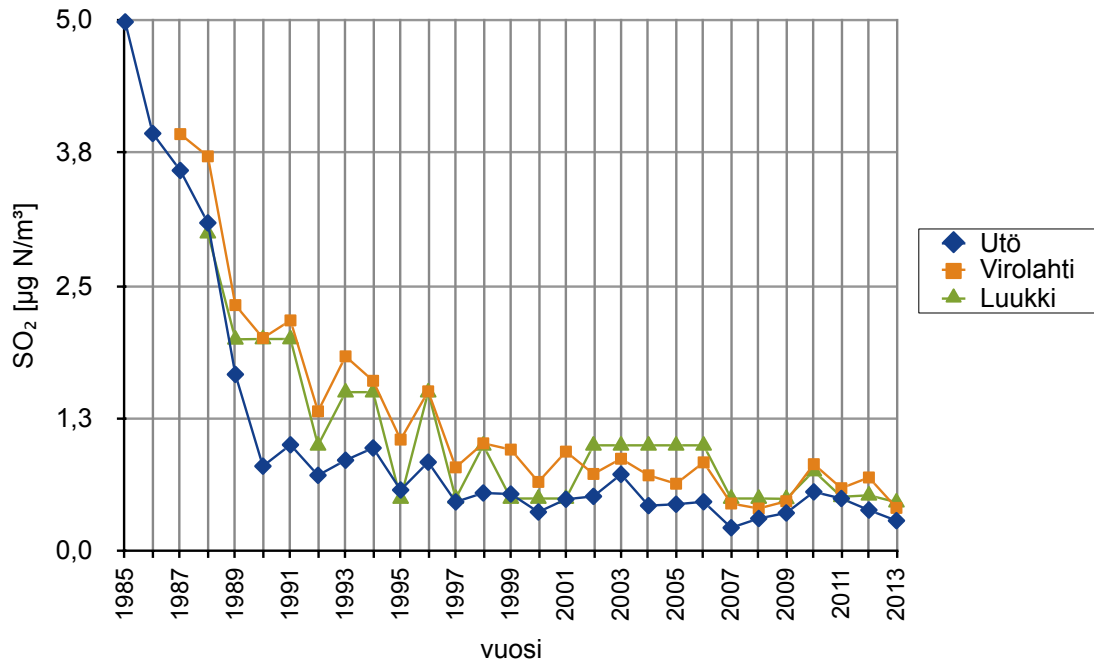
Kuva 15. Hiukkaspäästöt Uudellamaalla kunnittain vuonna 2012 (Ympäristöhallinnon Hertta-tietojärjestelmä).
 Figur 15. Partikelutsläpp i Nylands kommuner år 2012 (Miljöförvaltnings Hertta-databas).

2.4.2. Ilmanlaatu tausta-aseilla

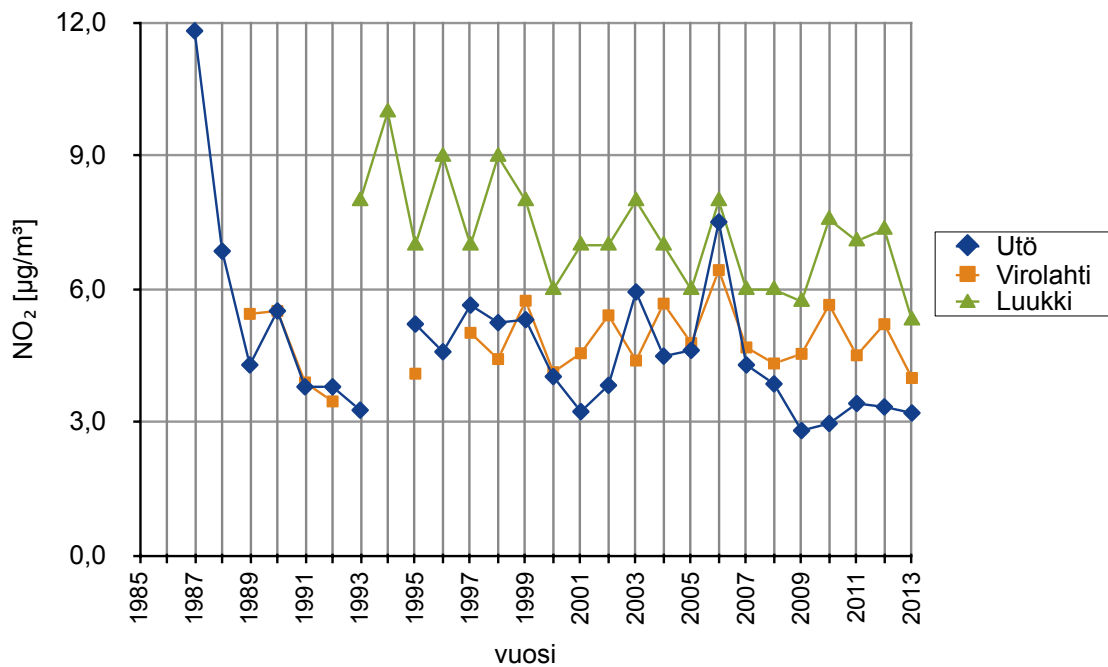
Kuvissa 16 ja 17 on esitetty kaasujen pitoisuuksia ilmassa Ilmatieteen laitoksen ylläpitämällä Utön ja Virolahden valtakunnallisilla tausta-aseilla sekä Espoon Luukin pääkaupunkiseudun tausta-aseilla. Kuvissa ilman epäpuhtauksien pitoisuudet tausta-aseilla ovat vähentyneet 1980-luvun alusta lähtien tarkasteltuna selvästi. Pitkäaikaisissa mittauksissa näkyy erityisen selkeästi rikin yhdisteiden pitoisuuksien pienentyminen viimeisten vuosikymmenien aikana. Ilman epäpuhtauksien vähentyminen on jatkunut vielä 1990-luvulla, vaikkakin hitaammin Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa (Kulmala ym. 1998).

Rikkidioksidin pitoisuus ilmassa on vähentynyt 1990-luvulla sekä valtakunnallisilla tausta-aseilla että Luukin tausta-aseilla. 2000-luvulla ei selvää vähenemistä ole havaittu, ja vuoden 2007 jälkeen pitoisuudet ovat olleet tarkastelluilla aseilla lähes samat (Kuva 16).

Ilmatieteen laitoksen kaasumaisen typpidioksidin pitoisuuksien aikasarjat ovat katkonaisia mittauksissa esiintyneiden vaikeuksien vuoksi. Typpidioksidipitoisuuksien aikasarjassa ei ole havaittavissa erityisen selvää laskua, vaan pitoisuudet ovat vaihdelleet aaltomaisesti. Sekä Utön että Virolahden asemalla mitatut typpipitoisuudet ovat olleet viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana suurimmillaan vuonna 2006, mutta ne ovat olleet sen jälkeen pienempiä. Luukin tausta-aseaman typpidioksidin pitoisuudet ovat olleet jonkin verran suuremmat kuin Utössä ja Virolahdella (Kuva 17).



Kuva 16. Rikkidioksidin pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ilmassa Utön, Virolahden ja Luukin mittausasemilla vuosina 1985–2013, vuosikeskiarvot (Lehikoinen 2009b, Niemi 2009, Salmi 2009, Ilmanlaatuportaali 2015).
 Figur 16. Halten av svaveldioxid ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i luften, årsmedeltalet vid mätningstationer i Utö, Vederlax och Luk åren 1985–2013 (Lehikoinen 2009b, Niemi 2009, Salmi 2009, Ilmanlaatuportaali 2015).



Kuva 17. Typpidioksidin pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ilmassa, vuosikeskiarvot Utön, Virolahden ja Espoon Luukin mittausasemilla vuosina 1985–2013. (Niemi 2009, Salmi 2009, Ilmanlaatuportaali 2015).
 Figur 17. Halten av kvävedioxid ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i luften, årsmedeltalet vid mätningstationer i Utö, Vederlax och Luk åren 1985–2013 (Niemi 2009, Salmi 2009, Ilmanlaatuportaali 2015).

3. Tutkimusaineisto ja -menetelmät

3.1 Havaintoalat

Tutkimus tehtiin 734 havaintoalalla, joissa jäkälälajisto arvioitiin kymmeneltä puulta. Kartoitusta pyrittiin tekemään samoilla havaintoaloilla ja -puilla kuin aiemmillä seurantakierroksilla, mutta maankäytön muutosten vuoksi uutena perustettiin 156 alaa. Yhteensä 578 havaintoalaa pysyi samalla paikalla. Osalla aloista yksi tai useampia havaintopuita vaihtui. Kaikki muutokset kirjattiin, ja ne huomioitiin vuosien välisiä tuloksia vertailtaessa. (Kuva 18 ja taulukko 2.)

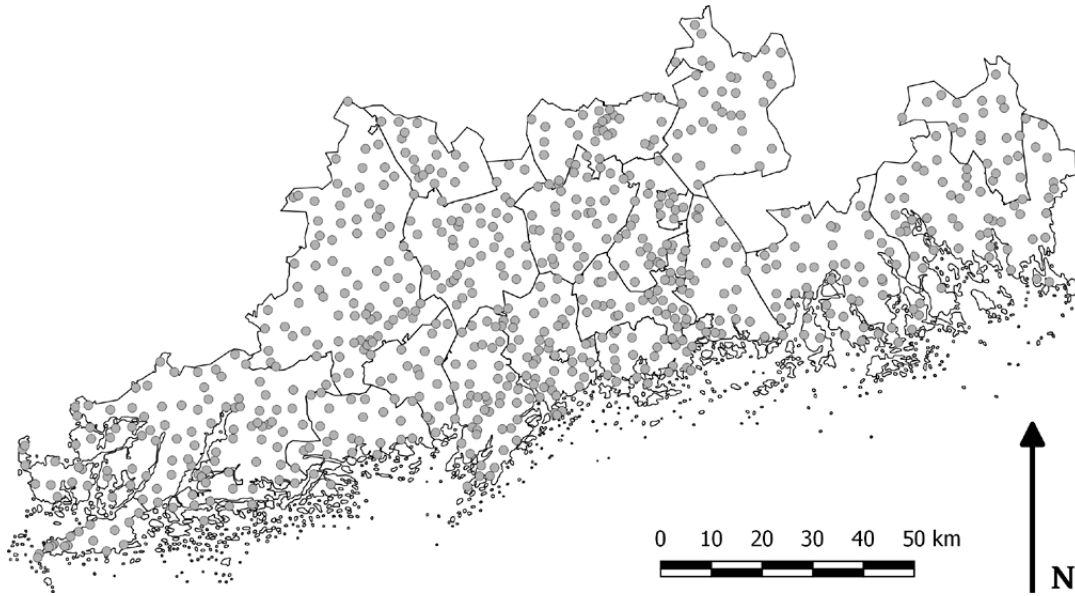
Tutkimusalat luokiteltiin taajama- ja tausta-aloihin Uudenmaan bioindikaattoriseurannan tarkkailuohjelman (Airola ja Soininen 2000) mukaisesti. Aloista 217 (30 %) luokiteltiin taajama-aloiksi, ja loput 517 (70 %) tausta-aloiksi (kuva 19.)

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-ala 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-ala määritettiin relaskoopin avulla, ja puuston ikä ja pituus määritettiin silmämääräisesti. Havaintoaloista otettiin lisäksi valokuvia.

Uudet alat perustettiin 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 eliminoimaan 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 45 % sijaitsi tuoreilla mustikkatyypin (MT) kankailla ja 34 % kuivahkoilla puolukkatyypin (VT) kankailla. Kuivilla kanervatyypin (CT) kankailla sijaitsi 15 % aloista. Jäkälätyypin (CIT) karukkokankailla sekä käenkaali-mustikkatyypin lehtomaisilla kankailla sijaitsi kullakin 1,6 %, ja muuksi luokitelluilla metsätyypeillä 3 % havaintoaloista. Pääsääntöisesti valtalaji oli mänty, vain viidellä alalla valtalaji oli kuusi. Toinen valtalaji oli useimmiten kuusi tai koivu. Näiden lisäksi tutkimusaloilla havaittiin valtapuulajeina yksittäisillä aloilla haapaa, pihlajaa, raitaa, leppää, vaahteraa ja katajaa. (Taulukko 3.) Puusto oli keskimäärin 102-vuotias ja pituudeltaan keskimäärin 18-metrinen. Puuston keskimääräinen pohjapinta-ala oli 17 m² ja puiden keskimääräinen läpimitta 32 cm.



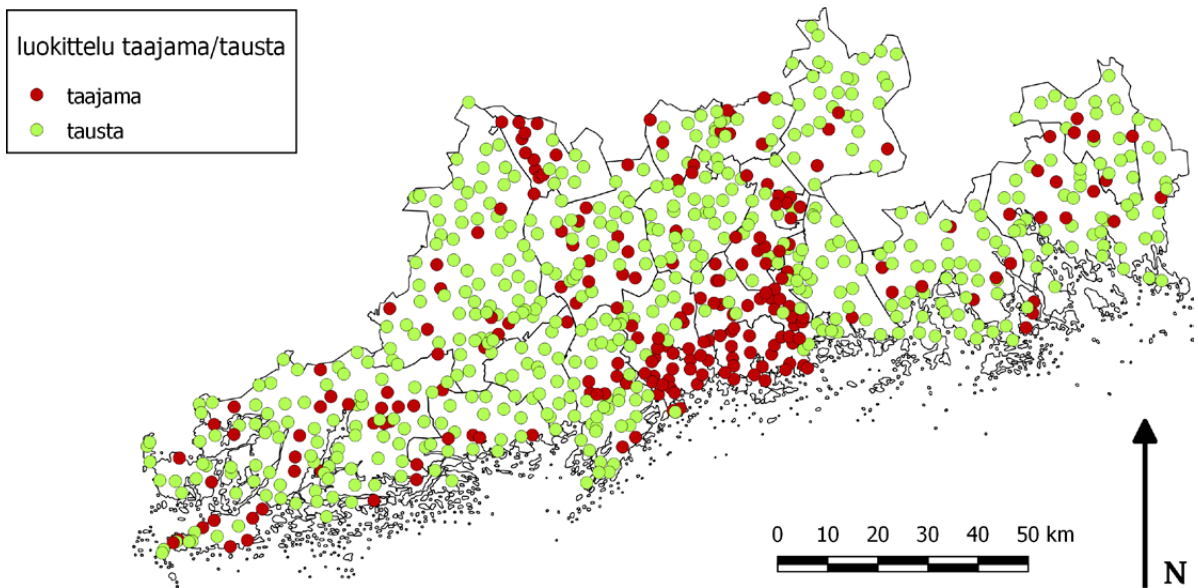


Kuva 18. Tutkimusalojen sijainti Uudellamaalla.
Figur 18. Provytornas läge i Nyland.

Taulukko 2. Havaintoalojen lukumäärä sekä uutena perustettujen havaintoalojen määrät kunnittain.
Tabell 2. Antalet av provytor kommunvist och antalet av provytor som grundades i 2014.



kunta	aloja	uusia
Espoo	44	5
Hanko	16	2
Helsinki	24	1
Hyvinkää	31	10
Inkoo	25	4
Järvenpää	8	4
Karkkila	19	9
Kauniainen	1	0
Kerava	6	2
Kirkkonummi	47	6
Lapinjärvi	22	8
Lohja	80	19
Loviisa	55	12
Mäntsälä	33	7
Nurmijärvi	34	10
Porvoo	49	12
Raasepori	101	18
Sipoo	23	2
Siuntio	18	2
Tuusula	20	5
Vantaa	33	6
Vihti	45	12
22 kuntaa	734	156



Kuva 19. Taajama- ja tausta-ajat.
Figur 19. Provytor i tätorter och bakgrundsområden.

Taulukko 3. Mäntyhavaintoaloja kuvaavia tunnuksia.
Tabell 3. Kännetecken för provytor.

tunnus		kpl	%	tunnus	kpl	%	
metsätyyppi	OMT	12	1,6	puuston	< 10	49	6,7
	MT	329	44,8	pohjapinta-ala [m ² /ha]	10–15	258	35,1
	VT	246	33,5		15–20	255	34,7
	CT	113	15,4	20–25	125	17,0	
	CLT	12	1,6	25–30	36	5,9	
	muu	22	3,0	> 30	11	1,5	
valtapuiden pituus [m]	> 10	1	0,1	havaintopuiden läpimitta [cm]	< 25	4	0,5
	10–15	124	16,9		25–30	223	30,4
	16–20	353	48,1		30–35	378	51,5
	21–25	224	30,5		35–40	104	14,2
	< 25	32	4,4		> 40	25	3,4
1. valtalaji	mänty	725	99,3	kehitysluokka	nuori	1	0,1
	kuusi	5	0,7		varttunut	44	6,0
					kypsä	689	93,9
2. valtalaji	mänty	5	0,7	puuston ikä (a)	< 60	0	0
	kuusi	414	56,4		60–80	45	6
	koivu	167	22,8		81–100	367	50
	haapa	8	1,1		101–120	249	34
	pihlaja	3	0,4		> 120	73	10
	raita	2	0,3				
	kataja	2	0,3				
	vaahtera	1	0,1				
-	132	18,0					

3.2 Tutkimusryhmä ja maastotöiden ajankohta

Jäkäläkartoitus tehtiin 31.3.–7.7.2014 välisenä aikana. Maastotöihin osallistuivat Nab Labs Oy Ambiotican tutkijat Kirsi Järvisalo (FM), Anne Kiljunen (FM), Janne Ruuth (fil.yo) ja tutkimusavustajat Henna Toivanen (Luk), Janne Hesso (LuK) sekä Mari Jäntti (LuK). Maastotyöt aloitettiin läntiseltä Uudeltamaalta ja edettiin kohti itää.

3.3 Havupuiden epifyyttijäkälien kartoittaminen

Tässä tutkimuksessa indikaattorilajeina käytettiin standardin SFS 5670 mukaisesti 12 männyillä yleisesti kasvaa jäkälälajia (taulukot 4 ja 5). Ruskoröyhelön tieteellinen nimi on nykyään *Tuckermannopsis chlorophylla*, kun se aikaisemmin oli *Cetraria chlorophylla*. Kartoituksessa harmaatyvikarve ja tuhkararve havainnoidaan yhtenä lajina.

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. Talviaikaan, jolloin ilmassa on yleensä enemmän epäpuhtauksia, runkojäkälät eivät ole lumikerroksen suojaamia, ja leudolla säällä niiden solutoiminta voi aktivoitua.

Jäkälät ilmentävät ilman epäpuhtauksien vaikutuksia yksilökohtaisesti. Epäpuhtaudet näkyvät silmin havaittavina morfologisina tai kemiallisina muutoksina, peittävyysmuutoksina 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. Jäkälälajin esiintymiseen vaikuttavat lajin saasteherkkyyden lisäksi myös luontaiset ympäristöolosuhteet, jonka vuoksi eri lajien indikaattoriarvot ovat erilaisia. Jotkin lajit suosivat toiset valoisia ja kuivia metsiköitä, kun toiset suosivat kosteampia sulkeutuneita metsiköitä. Osa lajeista suosii nuorempia ja osa vanhempia puita. Lajien erityispiirteitä sekä niiden indikaattoriarvot on kuvattu taulukossa 5.

Sormipaisukarve on erityisen hyvä ilman epäpuhtauksien indikaattori, sillä se kestää hyvin suuriakin saaste-pitoisuuksia ja 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. 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 jäkälisiin vaikuttava ilman epäpuhtaus on rikkidioksidi, mutta myös tyyppiyhdisteillä on vaikutusta, samoin alkalisilla päästöillä, jotka muuttavat erityisesti havupuulla kasvavien jäkäliden normaalista hapanta kasvualustaa emäksisemmäksi.

Morfologisena muutoksena tässä tutkimuksessa arvioitiin sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioastetta sekä yleistä vaurioastetta. Jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksia arvioitiin lajilukumäärän ja ilmanpuhtausindeksin avulla. Peittävyksiä arvioitiin sormipaisukarpeen sekä loppojen (*Bryoria* spp.) osalta pistefrekvenssimenetelmällä.

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

Tieteellisten nimien auktori on myös mainittu.

Tabell 4. De undersökta lavarterna och deras känslighet mot svaveldioxid (Kuusinen m.m. 1990).

Auktorsnamnet för vetenskapliga namn är också i tabellen.

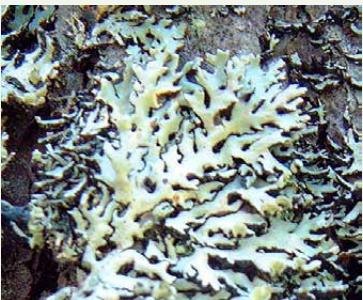


herkkyys	laji (tieteellinen nimi)	laji (suomalainen nimi)
kestävä, hyötyvä	<i>Algae + Scoliciosporum</i> (Stenh.) Vězda <i>Hypocenomyce scalaris</i> (Ach. ex Lilj.) M. Choisy	leväpeite ja vihersukkulajäkälä seinäsuomujäkälä
melko kestävä	<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Ach. <i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulfen) Nyl. <i>Tuckermannopsis chlorophylla</i> (Willd.) Hale <i>Vulpicida pinastri</i> (Scop.) J.-E. Matsson & M. J. Lai	sormipaisukarve keltatyvikarve ruskoröyhelö keltaröyhelö
melko herkkä	<i>Parmeliopsis hyperopta</i> (Ach.) Arnold <i>Imshaugia aleurites</i> (Ach.) S.L.F. Mey. <i>Platismatia glauca</i> (L.) W. L. Culb. & C. F. Culb. <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf <i>Parmelia sulcata</i> Taylor	harmaatyvikarve tuhkakarve harmaaröyhelö hankakarve raidanisokarve
herkkä	<i>Bryoria</i> Brodo & D. Hawksw. spp. <i>Usnea</i> Dill. ex Adans. spp.	lupot naavat

Taulukko 5. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus:

+++ = hyvä, ++ = kohtalainen, + = pieni, - = huono. Seurallislajien lukumäärät on laskettu tämän tutkimuksen havainnoista.

Tabell 5. Lavarter enligt standarden SFS 5670 som indikatorer på luftkvaliteten. Klassificering av indikatorvärde:

+++ = god, ++ = måttlig, + = låg, - = dålig. Mängden av åtföljande arter har beräknats på basen av materialet från den här studien.

Sormipaisukarve (<i>Hypogymnia physodes</i>) +++	
	Sormipaisukarve on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji, joka sietää eniten ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssit eli peittävyys pienentyvät vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Sormipaisukarve on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta. Seurallislajien lukumäärä 3,50.
Keltatyvikarve (<i>Parmeliopsis ambigua</i>) +++	
	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. Seurallislajien lukumäärä 3,52.
Harmaatyvikarve ja tuhkakarve (<i>Parmeliopsis hyperopta</i> & <i>Imshaugia aleurites</i>) +++	
	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 kuormitetuille alueille kuin sormipaisuja keltatyvikarpeella. Tuhka- ja harmaatyvikarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja, jotka tosin suosivat kuivia ja valoisia kalliomänniköitä. Seurallislajien lukumäärä 3,97.

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.

Lupot (*Bryoria* spp.) +++

Lupot ovat herkkiä 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 4,87.

Naavat (*Usnea* spp.) +++

Naavojen esiintymisfrekvenssit vaihtelevat ilmansaastekuormituksen mukaan yleensä samalla tavalla kuin lupoilakin. Niillä on paljon seuralaislajeja kuten lupoilakin, mikä osoittaa näiden jäkälälajien herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Naavojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Rannikon läheisyys suosii naavojen esiintymistä. Seuralaislajien lukumäärä 5,13.

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 alueille. Harmaaröyhelö on herkkä ilman epäpuhtauksille, mutta sen luontainen esiintyminen voi kuitenkin vaihdella suuresti, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi. Seuralaislajien lukumäärä 4,24.

Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +

Keltaröyhelön esiintyminen on usein varsin satunnaista, sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueilta 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 3,96

Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++

Hankakarve on hyvin yleinen jäkälälaji männyn rungolla. Keskimääräisen seuralaislajien määrän perusteella hankakarpeen voidaan katsoa olevan herkkä ilman epäpuhtauksille, ja myös sen esiintymisfrekvenssien 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 4,26.

Ruskoröyhelö (*Tuckermannopsis chlorophylla*, aikaisemmin *Cetraria chlorophylla*) –

Ruskoröyhelö on yleensä 12 indikaattorilajin joukossa yksi harvinaisimmista lajeista. Sen esiintyminen vaihtelee usein hyvin satunnaisesti ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueilta. Ilmanlaadun indikaattorina ruskoröyhelö on huono. Seuralaislajien lukumäärä 5,38.

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 4,78.

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.

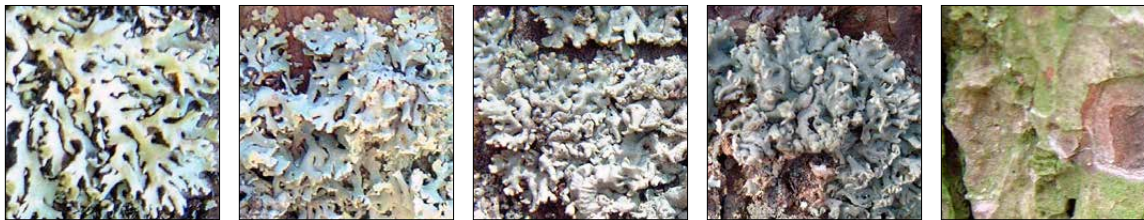
Mäntyjen rungoilta tutkittiin 12 jäkälälajin esiintyminen standardin SFS 5670 mukaan kuitenkin laajentaen standardinmukaista menetelmää siten, että kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmeasteisella luokituksella (taulukko 6). Kullakin havaintoalalla oli 10 tutkimuspuuta, joiden jäkälälajisto arvioitiin 50–200 cm:n korkeudelta. Sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste arvioitiin viisiasteisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (taulukko 8 ja kuva 20). Yleisessä vaurioasteessa eritellään kasvutavaltaan pensasmaisiksi lupot, naavat ja hankakarve, muut ilmansaasteista kärsivät lajit ovat lehtimäisiä. Sormipaisukarpeen ja luppojen (*Bryoria* spp.) esiintymisfrekvenssit laskettiin sapluunaruudukolta 1,2 m:n korkeudelta runkojen idän–koillisen ja lännen–lounaan puolelta. Esiintymisfrekvensseistä laskettiin kullekin puulle näiden lajien suhteellinen peittävyys.

Taulukko 6. Jäkälien runsauden luokittelu. Leväpeite (*Algae & Scoliciosporum*) ja seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) on luokiteltu peittävytenä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.
 Tabell 6. Klassificering av lavarnas riklighet. Algtäcket (*Algae & Scoliciosporum*) och flarnlaven (*Hypocenomyce scalaris*) är klassificerade enligt täckningsgrad (%), andra arter på basen av antalet blåffikar.

luokka	sekovarsien määrä, kpl	peittävyys, %
1	1–2	< 5
2	3–7	5–49
3	> 7	≥ 50

Taulukko 7. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus ja jäkälälajiston yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).
 Tabell 7. Skadeklassificering (SFS 5670) för blåslaven (*Hypogymnia physodes*).

vaurio	sormipaisukarpeen muutokset	lajiston yleiset muutokset
I terve	jäkälät terveitä tai lähes terveitä	kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia	pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
III selvä vaurio	jäkälät kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin	pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV paha vaurio	jäkälät pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai sekä että	pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V kuollut tai puuttuu		myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä



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

Kuva 20. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus (SFS 5670:n mukaan).
 Figur 20. Skadeklassificering (efter SFS 5670) för blåslaven (*Hypogymnia physodes*).

Taulukko 8. Jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella.
 Tabell 8. Klassificering av lavförekomsten på basen av artmängden.

lajilukumäärä	lajiston kuvaus
0–1	erittäin selvästi köyhtynyt
2–3	selvästi köyhtynyt
4–5	köyhtynyt
6–7	lievästi köyhtynyt
≥ 8	normaali jäkälälajisto

Kullekin tutkimuspuulle ja -alalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä. Ala- ja puukohtaisia lajilukumääriä laskettaessa ei huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä seinäsuomujäkälää sekä levää ja vihersukkulajäkälää, jolloin lajeja saattoi olla puuta tai alaa kohti enimmillään 10. Puhtailla tausta-alueilla havaitaan yleensä enemmän jäkälälajeja kuin kuormitetuilla alueilla. (Taulukko 8).

3.3.1. Ilmanpuhtausindeksi

Kullekin havaintoalalle laskettiin havaintopaikan jäkäläkasvillisuutta kuvaava ilmanpuhtaus- eli 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:

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

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 viherlevä/vihersukkulajäkälä (*Algae & Scoliciosporum*), jotka hyötyvät kuormituksesta. Seuralaislajien lukumäärää ei myöskään laskettu näille lajeille.

Myös aiemmissa Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan alueilla tehdyissä ilman laadun bioindikaattoritutkimuksissa IAP-indeksin arvot on laskettu alkuperäisen yhtälön (LeBlanc & DeSloover 1970) mukaisesti. Sovellettava seuralaislajien lukumäärä on kuitenkin vaihdellut tutkimusvuosittain. Edellisessä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään mahdollisimman laajasta havaintoaineistosta koottuja seuralaislajimääriä ilmeisesti indeksin vertailukelpoisuuden mahdollistamiseksi. Kuitenkin ympäristö- ja maisematason muuttujien on havaittu vaikuttavan jäkälälajistoon ja seuralaislajien määrään (Gombert ym. 2004), mitä voidaan pitää biologisesti odotettavana. Koska nämä muuttujat vaihtelevat tutkimusvuosien ja niiden välisten vuosien aikana, tulee seuralaislajien määrä laskea vain kyseisen tutkimuksen aineistosta. IAP-indeksit eivät siten voi lähtökohtaisesti täysin vertailukelpoisia eri tutkimusvuosien välillä.

Taulukko 9. Jäkälälajiston luokitus IAP-indeksin perusteella.
Tabell 9. Klassificering av lavförekomsten på basen av IAP-indexet.

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



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, minkä vuoksi vain luonnontilaisten jäkälien tunteminen ei ole taidollisesti 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 suomuina. Tämä suomupeite voi olla lähes yhtenäinen, selvästi havaittava peite kaarnalla, tai niukimmillaan lähes yksittäisiä suomuja. Tyvi- karpeiden osalta on kirjattu esiintymiseksi vain selvästi erottuva sekovarsi, ei kaarnan pinnalla oleva kellertävä tai vaalea jauomainen kasvusto. Edellä esitettyjen syiden vuoksi näiden lajien havainnointiin ja runsauden arviointiin liittyvät erityisen suuret virhelähteet, kun verrataan eri tutkijoiden tuloksia keskenään.

Subjektiviisiin arvioihin pohjautuva jäkäliden näkyvien vaurioiden arviointi ja luokittelu aiheuttaa myös tutkija-kohtaisia eroja jäkäläkartoituksen tuloksiin. Näiden virhelähteiden pienentämiseksi maastoryhmä koulutettiin ja arviointitasot saatettiin samalle tasolle testien avulla ennen maastokauden alkua.

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen selvityksessä (Polojärvi ym. 2005b) männyn epifyyttijäkäliden 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 mittausten 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 10.)

Taulukko 10. Jäkälähavaintojen mittaustarkkuus 95 %:n luottamusvälillä.
Tabell 10. Lavobservationernas mätningsprecision med en 95 % konfidensintervall.

	arviointitarkkuus	ero tuloksissa
Sormipaisukarpeen vauriot		
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
Jäkälälajien lukumäärä		
Yhden havainnoijan arvioiden välinen vaihtelu	11–23 %	0,9–1,6 lajia
Usean havainnoijan välinen vaihtelu yhdellä havaintoalalla	0–5 %	0–0,9 lajia
Sormipaisukarpeen peittävyys		
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 Paikkatietomenetelmät

Paikkatietoaineistojen käsittelyssä, tuottamisessa ja visualisoinnissa hyödynnettiin QGIS 2.10, MapInfo 8.0 sekä Surfer 8 -ohjelmistoja. Vyöhykekartat interpoloitiin kriging-menetelmällä Surfer 8:lla (laskentapisteiden välimatka 200 m). 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, eli mitä lähempänä alueet sijaitsevat toisiaan, sitä enemmän ne muistuttavat toisiaan jonkin ilmiön suhteen.

Vyöhykekarttoja tarkasteltaessa tulee huomioida, että interpolointitulokset on aina yleistys, jonka tarkkuuteen vaikuttaa ennen kaikkea tunnettujen pisteiden määrä ja tiheys. Näin ollen interpoloinnin tulosta voidaan 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. Uudellamaalla havaintoalaverkosto on tulosten yleistettävyyden kannalta hyvä havaintoalojen hilaverkoston sijoittelun ansiosta. Interpolointi myös tasoittaa tuloskarttojen mittakaavassa esitettyä jonkin verran suurimpia vaihteluja.

3.6 Tilastomenetelmät

Tilastomenetelmien avulla pyrittiin saamaan tietoa ilmanlaatu- ja taustamuuttujien vaikutuksesta tutkittuihin jäkälämuuttujiin, jäkälämuuttujien välisestä yhteisvaihtelusta, tausta- ja taajama-alojen välisistä eroista sekä vuosien välisistä eroista (Partanen ja Veijola 1996). Taustamuuttujiksi otettiin havaintoaloilla tehdyt 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 (ELY 2014). Lisäksi regressioanalyysissä tarkasteltiin Euroopan ympäristökeskuksen EEA:n kokoamien ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien vaikutusta jäkälämuuttujiin (ETC Air and Climate Change; Horalek ym. 2007) (Liite 23). Pitoisuudet on esitetty 10 x 10 km:n ruuduilla. Havaintoalalle annettiin arvo, sen mukaan, mihin pitoisuusruutuun se sijoittui. Johtuen pitoisuusaineiston huonosta resoluutiosta on tuloksia niiden osalta kuitenkin pidettävä lähinnä suuntaa-antavana.

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 ja ordinaatioiden tekemiseen R-ohjelmistoa (versio 3.1.2). R on on S-kieleen perustuva vapaasti saatavissa oleva ja käytettävä ohjelmointikieli, jota käytetään tilastollisten analyysien tekoon (R Development Core Team 2014).

3.6.1. Taustamuuttujien vaikutus ja jäkälämuuttujien keskinäiset korrelaatiot

Luokittelevien taustamuuttujien vaikutusta tutkittuihin ilmanlaatua kuvaaviin muuttujiin testattiin parametrittomalla Kruskalin–Wallisin varianssianalyysillä ja Mannin–Whitneyn U-testillä. Luokittelevina muuttujina käytettiin metsätyyppiä, metsikön kehitysastetta ja metsikön soveltuvuutta tutkimukseen. Jatkuvien taustamuuttujien ja tutkittavien jäkälämuuttujien välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla. Samoin jäkälämuuttujien keskinäisiä korrelaatioita tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla. Alle 0,3:n korrelaatiokerrointa ei yleisesti katsota merkitykselliseksi. Suurilla aineistoilla varsin pienetkin korrelaatiot voivat olla tilastollisesti merkitseviä. Siksi on syytä tarkastella korrelaatiota ja sen merkitsevyyttä yhdessä eikä luottaa pelkkään merkitsevyyteen.

Tutkittujen jäkälämuuttujien ja jatkuvien taustamuuttujien eroja tausta- ja taajama-aloittain tarkasteltiin parametrittömällä Mannin–Whitneyn U-testillä. Tausta- ja taajama-alojen eroja luokittelevien taustamuuttujien suhteen tarkasteltiin riippumattomuustestillä (Kshii-neliö-testi (X^2)). Keskeisimpien jäkälämuuttujien vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 välisiä eroja tausta- ja taajama-aloittain tarkasteltuna testattiin parametrittömällä merkkitestillä.

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

3.6.2. Vuosien väliset vertailut

Vuosien 2009 ja 2014 välisiä eroja jäkälämuuttujissa testattiin toisistaan riippuvien otosten t-testillä tai sen parametrittömällä vastineella merkkitestillä. Koska normaalisuusjakaumasta poikkeaminen ei varianssianalyyseissä ole kovin vaarallista, päädyttiin joissain tapauksissa käyttämään parametrissa toistomittausasetelman varianssianalyysia, vaikka normaalisuusoletus ei toteutunutkaan muunnoksista huolimatta. Jäkälämuuttujien eroja eri tutkimusvuosina tarkasteltiin myös kuntakohtaisesti toistomittausasetelman varianssianalyyseillä tai Friedmanin testillä.

Jäkälämuuttujien vuosien 2009 ja 2014 välisten muutosten alakohtaista merkitsevyyttä tarkasteltiin runkokoh-taisen aineiston ja parittaisten otosten merkkitestin avulla.

IAP-indeksi laskettiin kunkin havaintovuoden kohdalla nimen omaan sen vuoden havainnoista. Tämä huonon-taa IAP-indeksin vertailukelpoisuutta.

3.6.3. Regressioanalyysi

Tärkeimpien jäkälämuuttujien 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 jäkälämuuttujien vaihtelun selittämisessä, kun muut mahdolliset jäkälämuuttujiin 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 regressio-analyyysiin liittyvät oletukset (normaalisuus, lineaarisuus, homoskedastisuus, selittävien muuttujien korreloimat-tomuus, jäännösten riippumattomuus) eivät toteutuneet, yritettiin tilannetta korjata tekemällä selitettävälle muut-tujalla logaritmuunnos ($\lg(X+1)$), tai tekemällä keskenään korreloivista selittävästä muuttujista uusi muuttuja pääkomponenttianalyysin (PCA) avulla.

3.6.4. Yhteisöanalyysit

Ordinaatiokuvaajilla havainnollistettiin havaintoalojen jäkäläyhteisöjen sijoittumista toisiinsa nähden ja ympäris-tömuuttujien ja jäkäläyhteisöjen välistä suhdetta. Menetelmä perustuu tässä tapauksessa jäkäläyhteisöaineis-toista laskettuihin havaintoalojen etäisyysmatriiseihin. Ordinaatiot ja taustamuuttujien sovitukset tehtiin R:llä (versio 3.1.2), joka on S-kieleen perustuva vapaasti saatavissa oleva ja käytettävä ohjelmointikieli (R 2014). Sitä käytetään yleisesti ekologisten havaintojen tilastolliseen tarkasteluun.



R:n käyttäjät ovat tehneet tiettyihin tapauksiin soveltuvia lisäosia. Ordinaatioissa ja taustamuuttujien sovituk-
sissa käytettiin R:n vegan-pakettia (versio 2.2-1, Oksanen ym. 2014). Data käsiteltiin R:ää varten R Commander
-käyttöliittymällä (Fox ym. 2014). Datasta eroteltiin omiksi ryhmikseen jäkälälajien yleisyydet, jäkälälajien run-
saudet, jäkälähavainnoista saatavat suureet (IAP, lajilukumäärä, sormipaisukarpeen ja yleinen vaurioaste, sor-
mipaisukarpeen ja loppojen peittävyys) ja taustamuuttujat. Ordinaatioissa olivat mukana kaikki 734 havaintoalaa.

Ordinaatioon käytettiin NMDS-menetelmää (nonmetric multidimensional scaling), joka ei tee oletuksia muut-
tujien välisten riippuvuuksien lineaarisuudesta. NMDS sopii hyvin aineistolle, jossa on käytetty sattumanvarais-
ta, epäjatkuvaa 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 ilmoite-
taan stressiarvoltaan pienin ratkaisu. Stressiarvolla mitataan ordinaation poikkeamaa todellisesta tilanteesta eli
ordinaation onnistumista. Jotta ordinaatiota voitaisiin pitää onnistuneena ja väärin johtopäätösten riskiä piene-
nä, tulisi stressiarvon olla pienempi kuin 10. Stressiarvon lähestyessä 20:ta, väärintulkintojen todennäköisyys
kasvaa eikä ordinaatioon tulisi tällöin luottaa liikaa. Stressiarvo voi kasvaa myös otoskoon kasvaessa (McCune
& Grace 2002). Etäisyysmittana ordinaatioissa käytettiin Bray–Curtisin etäisyysmittaa. Akseleita pyritetään
metaMDS:ssä siten, että varianssi on suurin ensimmäisessä dimensiossa. Lopulta kullekin havaintoalalle saa-
daan koordinaatit sekä painotettuina keskiarvoina lasketut lajien tai suureiden sijainnit ordinaatioavaruudessa.
(Oksanen 2014.)

Taustamuuttujat sovitettiin ordinaatioon veganin envfit-funktiolla. Funktio antaa vektorien lisäksi r²-arvon ja
muuttujan merkittävyyden. Vektori osoittaa suuntaan, jossa ympäristömuuttujan muutos on ollut suurinta. Vek-
torin pituus puolestaan kertoo ordinaation ja ympäristömuuttujan välisestä korrelaatiosta (Oksanen 2014).



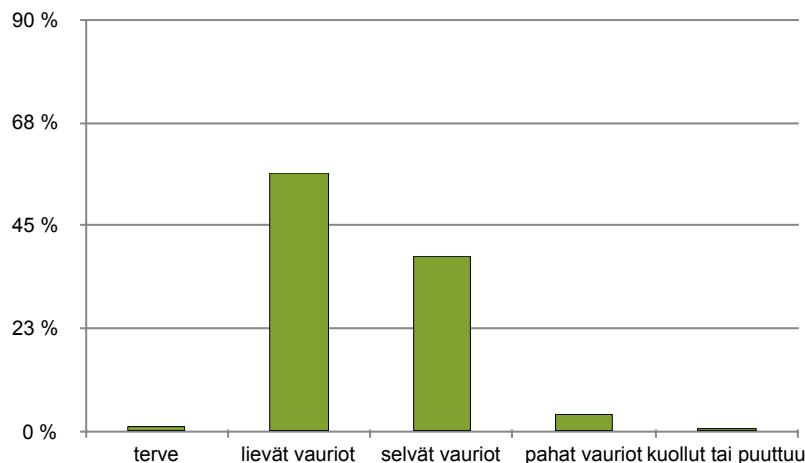
4. Tulokset

4.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste

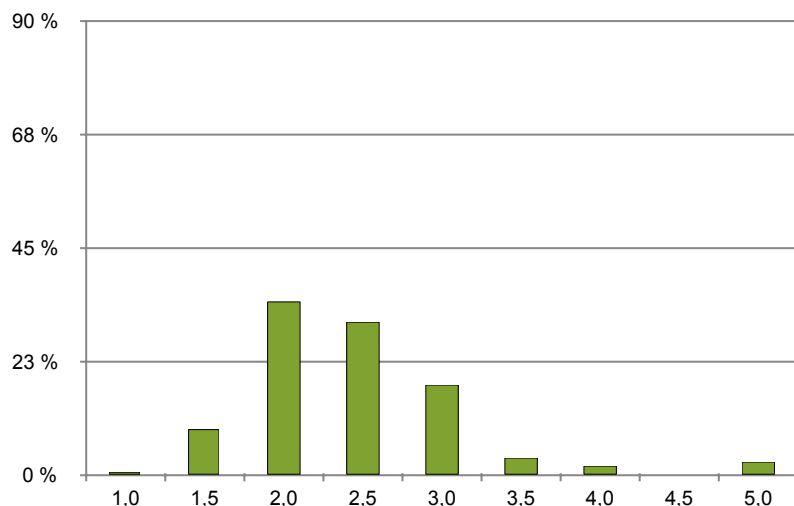
Sormipaisukarpeen vaurioasteita arvioitiin viisiportaisella asteikolla puolen vaurioluokan välein (ks. taulukko 7 ja kuva 20), jossa vaurioluokka 1 = terve, 2 = lievästi vaurioitunut, 3 = selvästi vaurioitunut, 4 = pahasti vaurioitunut ja 5 = kuollut tai puuttuva. Vaurioita arvioitiin puittain, jonka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

Sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurioaste näytealalla oli 2,5, eli lievästi vaurioitunut. Vaurioasteet vaihtelivat terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan. Vaurioiden jakaantumista koko aineistosta tutkittiin luokittelemalla vaurioasteet sekä havaintoaloittain että havaintopuittain (kuvat 21 ja 22). Suurimmalla osalla (56 %) havaintoaloista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta. Havaintoaloista terveiksi luokiteltiin 0,8 %, selvästi vaurioituneiksi 38 % ja pahasti vaurioituneiksi 4 %. Havaintoaloista 0,7 %:lla sormipaisukarve oli kuollutta.

Tutkimusrungoittain tarkasteltuna 9 %:lla rungoista sormipaisukarve oli tervettä tai melkein tervettä (vaurioaste 1 tai 1,5). Suurimmalla osalla (34 %) tutkimuspuista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta, ja 30 %:lla vauriot olivat lievän ja selvän välillä. Selviä vaurioita ja tätä suurempia vaurioita havaittiin 26 %:lla puista. Rungoista 2,7 %:lla (196 runkoa) sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui.



Kuva 21. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla luokiteltuna. n = 734.
Figur 21. Blåslavens skadefrekvenser på provytorna. n = 734.



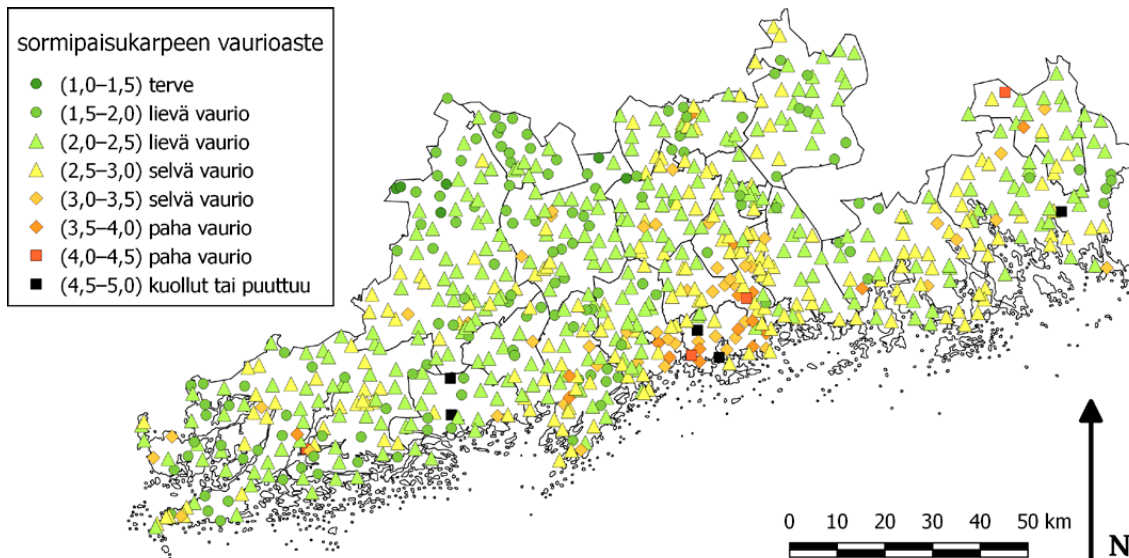
Kuva 22. Sormipaisukarpeen vaurioasteet luokiteltuna rungoittain. n = 7340.
Figur 22. Blåslavens skadefrekvenser på stammarna. n = 7340.

Sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui viideltä havaintoalalta, jotka sijaitsivat Loviisassa, Inkoossa NMC Termonovan solumuovitehtaan ympäristössä sekä Pältsbölessä, Helsingin Mustikkamaalla sekä Haagassa. Pahoja vaurioita havaittiin yhteensä 26:llä havaintoalalla Espoossa (2 kpl), Helsingissä (6 kpl), Hyvinkäällä (1 kpl), Kirkkonummella (2 kpl), Lapinjärvellä (2 kpl), Porvoossa (1 kpl), Raaseporissa (2 kpl), Tuusulassa (1 kpl), Vantaalla (6 kpl) ja Vihdissä (1 kpl). Selviä vaurioita havaittiin 281:llä havaintoalalla. Lieviä vaurioita havaittiin 418:llä havaintoalalla, jotka sijoituivat ympäri tutkimusaluetta. Sormipaisukarve oli tervettä kuudella havaintoalalla, jotka sijaitsivat Lohjalla (4 kpl) sekä Nurmijärvellä (1 kpl) ja Vihdissä (1 kpl). (Kuva 23.)

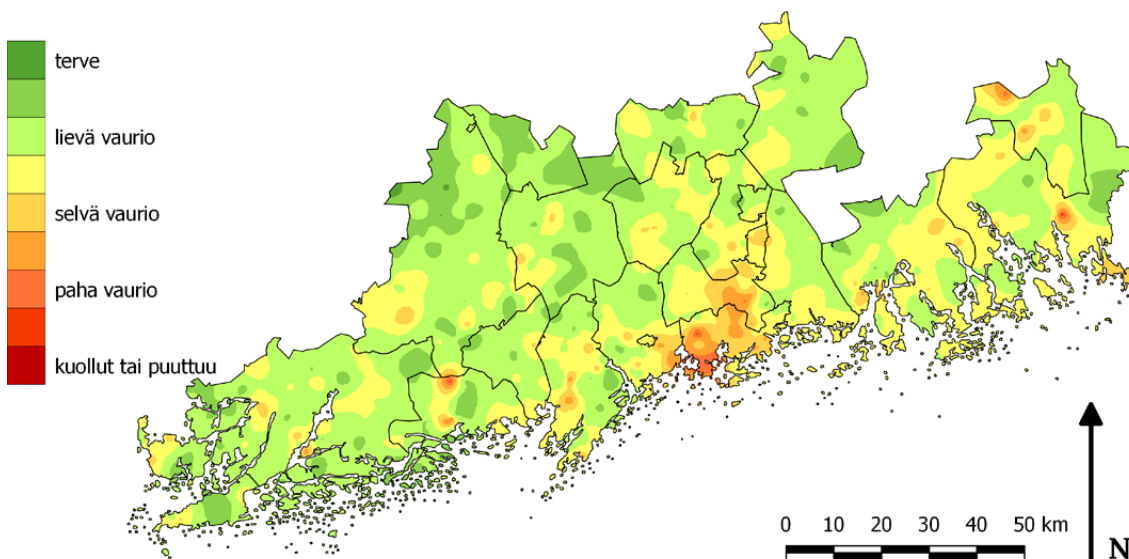
Täysin terveän sormipaisukarpeen vyöhyke oli hyvin pieni ja sijaitsi Lohjan rajaseudulla. Lievästi vaurioituneen sormipaisukarpeen (vaurioaste 1,5–2,0) huomattavia alueita esiintyi Lohjan pohjoisosissa, Karkkilassa, Vihdissä, Hankoniemellä, Mäntsälässä ja Ruotsinpyhtäällä Loviisassa. (Kuva 24.)

Suurimman osan tutkimusalueesta kattoi lievien (vaurioaste 2,0–2,5) vaurioiden vyöhyke. Sormipaisukarve oli laajalti selvästi vaurioitunutta (vaurioaste 2,5–3,5). Vaurioituneet alueet sijaitsivat taajamissa sekä pääteiden ympäristössä. Kuitenkin selviä vaurioita esiintyy myös alueilla, joissa ei ole selviä kuormittavia tekijöitä, kuten Porkkalanniemellä, Lapinjärven eteläosissa, Hyvinkään Kytäjällä ja Raaseporin länsikärjessä.

Ainoa laaja pahojen vaurioiden vyöhyke sijaitsi Helsingin kantakaupungissa, Espoon Tapiolassa sekä Viikistä Vantaan Tikkurilaan ulottuvalla alueella. Pahojen vaurioiden pistemäisiä esiintymiä oli myös Inkoossa, Loviisan keskustassa sekä Lapinjärven kirkonkylässä ja Porlammilla.



Kuva 23. Sormipaisukarpeen vaurioaste havaintoaloilla.
Figur 23. Blåslavens skadeklassen på provytorna.



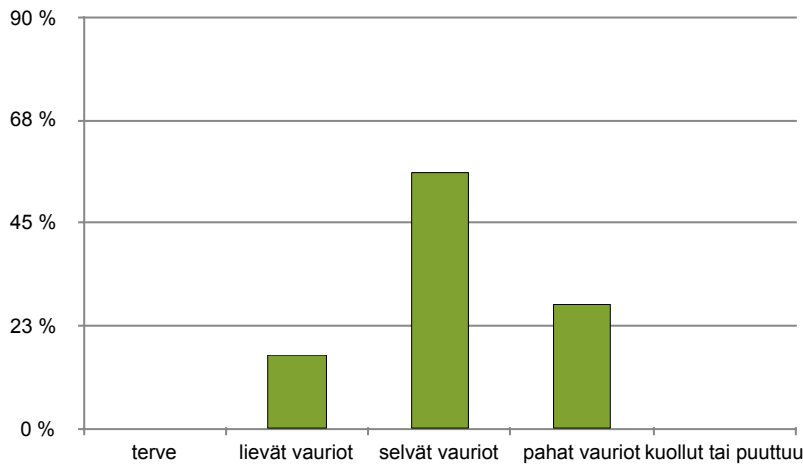
Kuva 24. Sormipaisukarpeen vaurioasteita kuvaavat vyöhykkeet.
Figur 24. Zoner som beskriver blåslavens skadeklass.

4.2 Yleinen vaurioaste

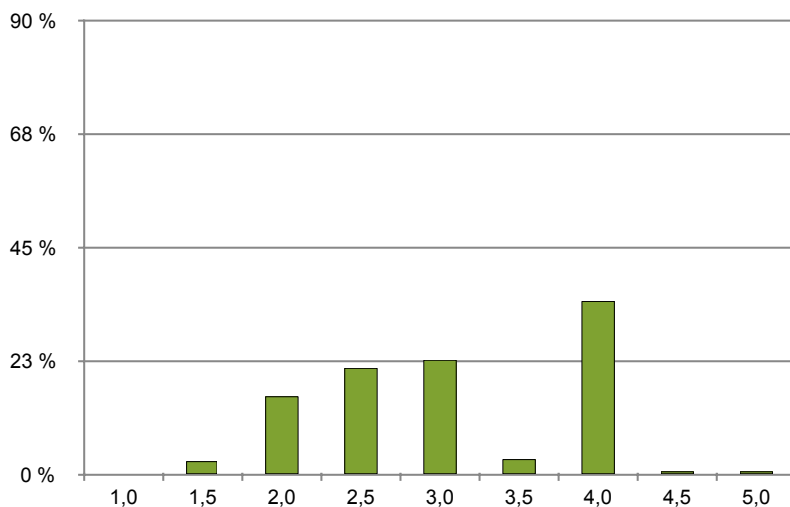
Yleistä vaurioastetta arvioitiin jäkälälajiston kunnon ja koostumuksen perusteella viisiportaisella asteikolla puolen vaurioluokan välein (ks. taulukko 7), jossa vaurioluokka 1 = terve, 2 = lievästi vaurioitunut, 3 = selvästi vaurioitunut, 4 = pahasti vaurioitunut ja 5 = kuollut tai puuttuva. Vaurioita arvioitiin puittain, jonka perusteella arvioitiin havaintoalan keskimääräinen vaurioaste.

Koko tutkimusalueen keskimääräinen yleinen vaurioaste oli 3,1, eli selvästi vaurioitunut. Vaurioasteet vaihtelivat terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan. Vaurioiden jakaantumista koko aineistosta tutkittiin luokittelemalla vaurioasteet sekä havaintoaloittain että havaintopuittain (kuvat 25 ja 26). Suurimmalla osalla (56 %) havaintoaloista jäkälät olivat selvästi vaurioituneita. Yksi havaintoala (Lohjalla) luokiteltiin terveeksi. Jäkälälajisto oli lievästi vaurioitunutta 16 %:lla havaintoaloista, pahasti vaurioitunutta 27 %:lla. Jäkäläien yleinen vaurioaste luokiteltiin kuolleeksi tai puuttuvaksi kahdella havaintoalalla, jotka sijaitsivat Helsingissä.

Tutkimusrungoittain tarkasteltuna 12 puulla lajisto oli täysin tervettä, ja 2 %:lla melkein tervettä (vaurioaste 1,5). Suurin osa tutkimusrungoista (34 %) luokiteltiin pahoin vaurioituneeksi (vaurioaste 4,0). Toiseksi suurin luokka oli selvän vaurion luokka (23 %). Normaalijakaumasta poikkeava jakauma selittyy yleisen vaurioasteen arviointiperusteella: puun jäkälälajisto luokitellaan pahoin vaurioituneeksi, jos puulla ei kasva pensasmaisia lajeja eli loppoja, naavoja tai hankakarvetta.

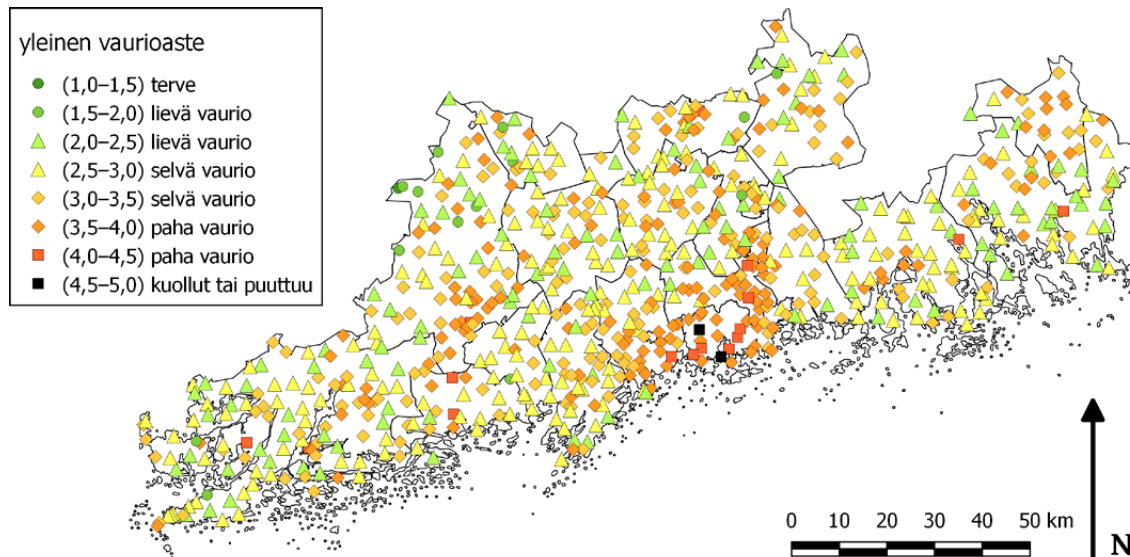


Kuva 25. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna aloittain. n = 734.
Figur 25. Allmänna skadefrekvenser på provtytor. n = 734.

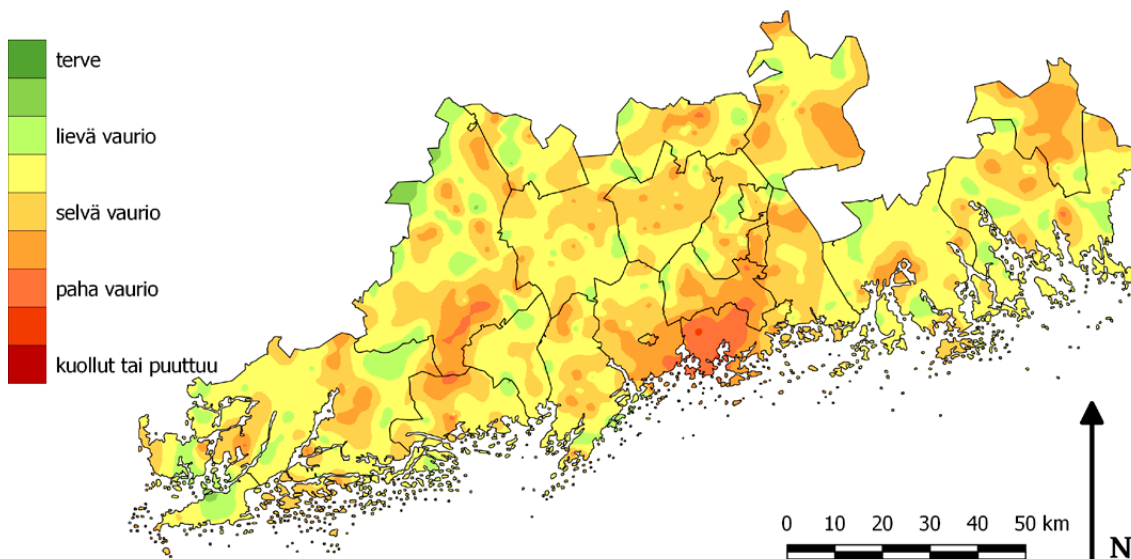


Kuva 26. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna rungoittain. n = 7340.
Figur 26. Allmänna skadefrekvenser på stammar. n = 7340.

Yleiset jäkälävauriot esiintyivät samankaltaisesti sormipaisukarpeen vaurioastekin osalta, mutta vauriot olivat keskimääräin 0,5–1 vaurioluokkaa suurempia kuin sormipaisukarpeen vauriot. Terveintä lajisto oli Lohjan kunnan koilliskolkassa sekä Hankoniemellä. Suurin osa tutkimusalueesta oli yleisen vaurioasteen osalta vähintään selvästi vaurioitunutta. (Kuvat 27 ja 28.)



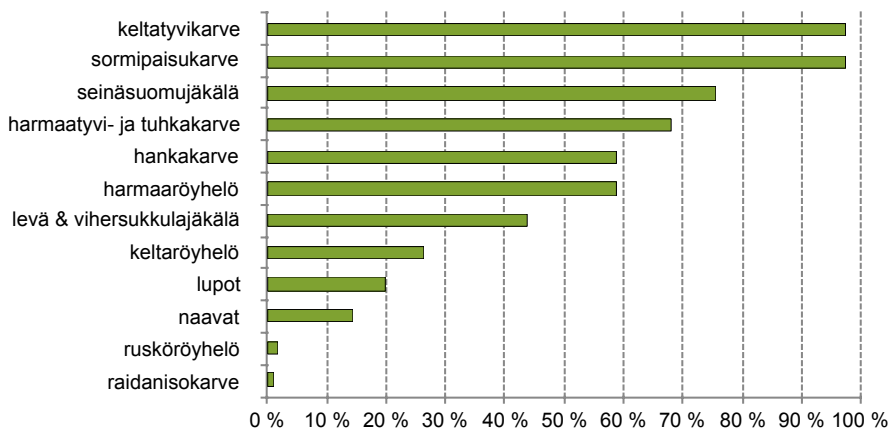
Kuva 27. Yleinen vaurioaste havaintoaloilla.
Figur 27. Den allmänna skadeklassen på provytorna.



Kuva 28. Yleisen vaurioasteen vyöhykkeet.
Figur 28. Zoner som beskriver den allmänna skadeklassen.

4.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys

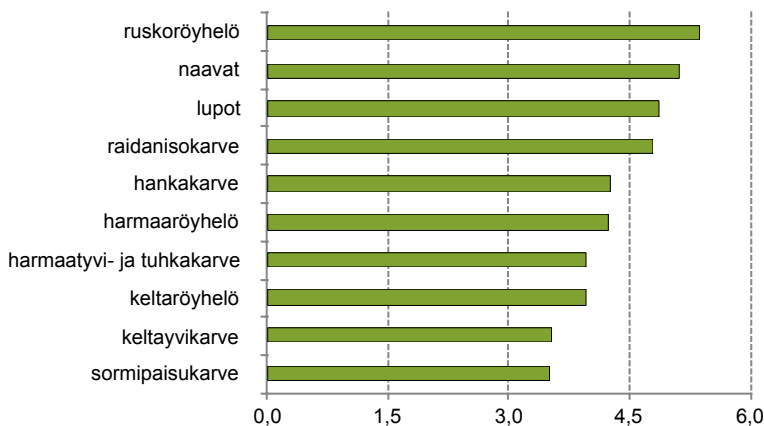
Yleisin laji tutkimusalueella oli keltatyvikarve, joka esiintyi 98 %:lla tutkimuspuista. Toiseksi yleisin oli sormipaisukarve, joka esiintyi 97 %:lla tutkimuspuista. Yli puolella tutkimuspuista esiintyi seinäsuomujäkälää (76 %), harmaa- ja tuhkatyvikarpeita (68 %), hankakarvetta (59 %) sekä harmaaröyhelöä (59 %). Viherlevää esiintyi 44 %:lla puista, keltaröyhelöä 26 %:lla, luppoja 20 %:lla ja naavoja 14 %:lla puista. Harvinaisimmat lajit olivat ruskoröyhelö (2 % puista) ja raidanisokarve (1 %). (Kuva 29.)



Kuva 29. Männyn runkojäkälien esiintymistiheys tutkimusalueella rungoittain.
 Figur 29. Förekomstfrekvens av lavararter i forskningsområdet på stammar.

Runkojäkäliden seuralaislajien, eli kyseisen lajin kanssa samalla rungolla esiintyvien muiden lajien määrät on esitetty alla (Kuva 30). Eniten seuralaislajeja oli tutkimusalueen toiseksi harvinaisimmalla lajilla, ruskoröyhelöllä (seuralaislajeja 6,7) ja tämän jälkeen naavoilla (6,3). Vähintään kuusi seuralaislajia oli myös lupoilta (6,0) sekä raidanisokarpeella (6,0). Ainakin viisi seuralaislajia oli hankakarpeella (5,4), harmaaröyhelöllä (5,4), tuhka- ja harmaatyvikarpeella (5,1) sekä keltaröyhelöllä (5,0). Vähiten seuralaislajeja oli sormipaisukarpeella (4,7) ja keltatyvikarpeella (4,7).

Tutkimuksessa havaitut seuralaislajimäärät noudattavat varsin hyvin oletuksia jäkälien herkkyydestä. Eniten seuralaislajeja oli toiseksi harvinaisimmalla ruskoröyhelöllä, jonka indikaattoriarvo on kuitenkin satunnaisen esiintymisen vuoksi pieni, ja myös harvinaisimmalla raidanisokarpeella oli paljon seuralaislajeja. Hyviä, erittäin herkkiä indikaattorilajeja ovat seuralaislajien ja yleisyyden puolesta lupot ja naavat. Melko herkkien lajien ryhmän muodostavat harmaaröyhelö, hankakarve sekä harmaa- ja tuhkatyvikarpeet. Keltaröyhelö on melko yleinen, mutta esiintyy satunnaisesti, eikä sen indikaattoriarvo ole erityisen hyvä. Vähiten seuralaislajeja oli kuorimitusta hyvin kestävillä lajeilla seinäsuomujäkälällä, viherlevällä, keltatyvikarpeella sekä sormipaisukarpeella.



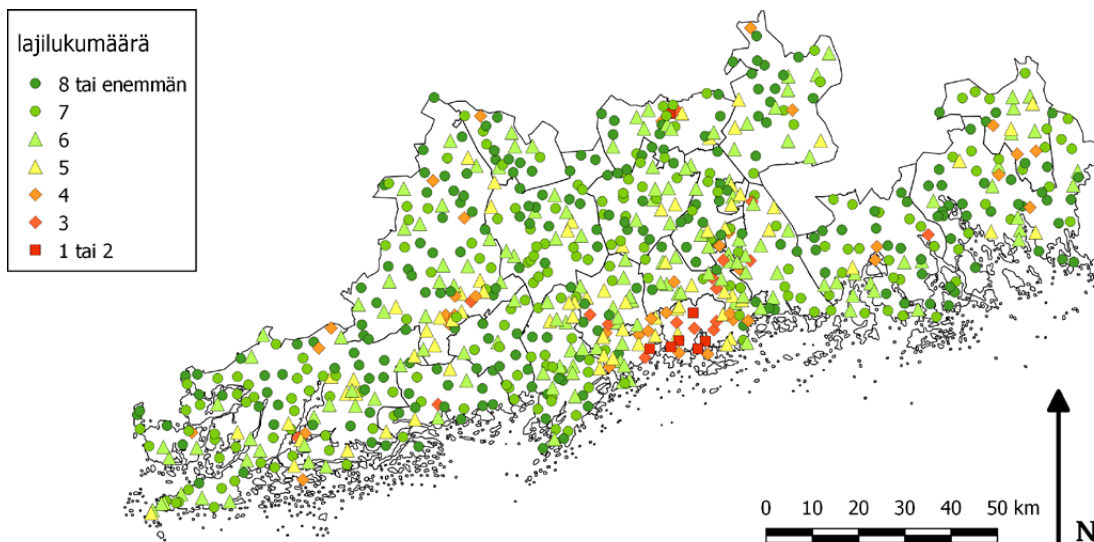
Kuva 30. Männyn runkojäkälien seuralaislajien lukumäärät.
 Figur 30. Antalet ledsagararter till lavar.

Tutkimusalueella havaittiin keskimäärin 6,7 lajia havaintoalaa kohti ja 4,4 lajia havaintopuuta kohti. Keskimäärin tutkimusalueen jäkälälajisto oli siis havaintoalakohtaista lajimäärää tarkasteltaessa lievästi köyhtynyttä, ja havaintopuukohtaista lajimäärää kohti tarkasteltaessa köyhtynyttä. Vaihteluväli havaintoaloilla oli 1–10 ja havaintopuilla 0–9. Kaikilla havaintoaloilla havaittiin siis vähintään yksi ilman epäpuhtauksista kärsivä jäkälälaji. Kokonaan jäkäläautoita havaintopuita tutkimusalueella oli 33. Vastaavasti puita, joilla havaittiin 9 ilman epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia, oli 7.

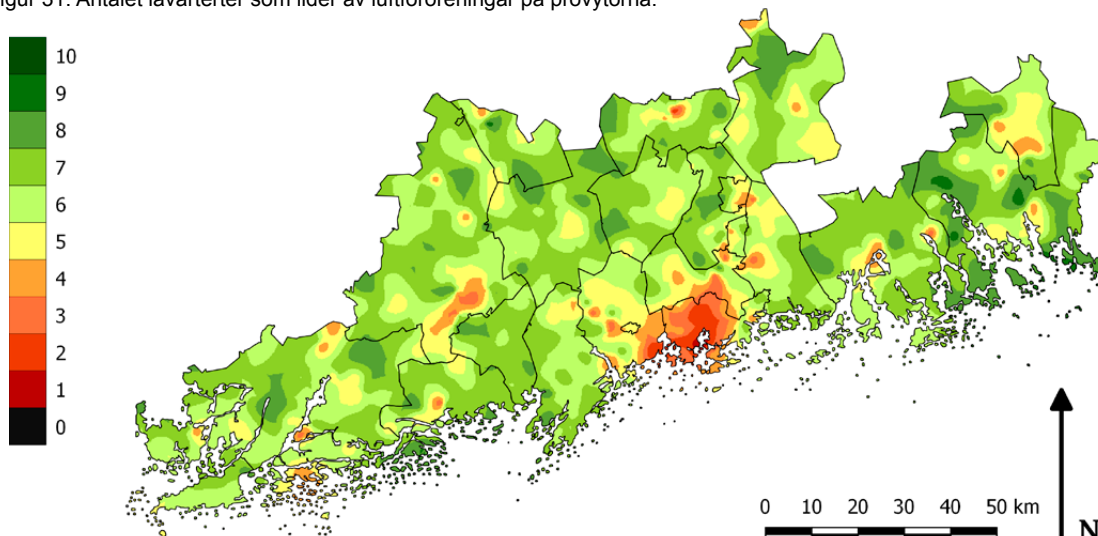
Aloja, joilla havaittiin ainoastaan yksi ilman epäpuhtauksista kärsivä jäkälälaji, oli yksi Helsingin Mustikka- maalla. Tämän alan lajisto oli erittäin selvästi köyhtynyt. Vain kahta ilman epäpuhtauksista kärsivää lajia ha- vaittiin kuudella alalla Helsingissä, Espoossa ja Hyvinkäällä. Aloja, joilla havaittiin kolme ilman epäpuhtauksista kärsivää lajia, oli 17 Espoossa, Helsingissä, Hyvinkäällä, Inkoossa, Lohjalla, Porvoossa, Sipoossa, Raaseporis- sa ja Vantaalla. 2–3 lajia luokitellaan selvästi köyhtyneeksi lajistoksi. 4–5 lajia eli köyhtynyt jäkälälajisto oli 113 alalla, jotka sijaitsivat eri puolilla tutkimusaluetta. Lievästi köyhtynyt lajisto eli 6–7 lajia oli 364 alalla—suurin osa havaintoaloista oli siis lajistoltaan lievästi köyhtyneitä. Luonnontilainen lajisto, eli vähintään 8 ilman epäpuhtauk- sista kärsivää lajia havaittiin 233 havaintoalalla. Jokaisen kunnan alueella Kauniaisista lukuun ottamatta (vain yksi havaintoala) oli vähintään yksi havaintoala, jonka jäkälälajisto oli luonnontilaista. (Kuva 31.)

Tutkimusalueella ei ollut erityisen selvää runsaslajista aluetta. Neljällä havaintoalalla havaittiin kaikkia kym- mentä herkkää lajia. Näistä aloista kolme sijaitsi Loviisassa ja yksi Karkkilassa.

Tutkimusalueen runsaslajisinta aluetta oli Itä-Uusimaa, jolle suurin osa 8 tai enemmän herkän lajin vyöhyk- keistä sijoittui. Lajistoltaan köyhtyneintä aluetta oli pääkaupunkiseutu. Muita lajistoltaan köyhtyneitä alueita esiin- tyi Lohjalla ja Hyvinkäällä. (Kuva 32.)



Kuva 31. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärät havaintoaloilla.
Figur 31. Antalet lavararterter som lider av luftföroreningar på provytorna.



Kuva 32. Vyöhykkeittäinen kuvaus ilman epäpuhtauksista kärsivien lajin lukumäärästä tutkimusalueella.
Figur 32. Zoner som beskriver antalet lavararterter som lider av luftföroreningar.



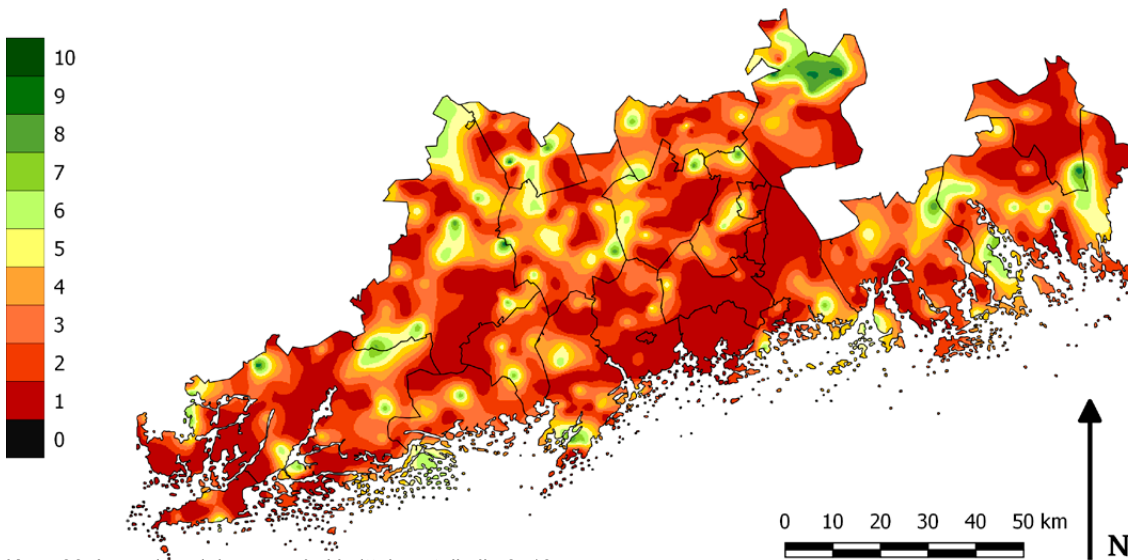
4.3.1. Ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien yleisyydet

Kuvissa 33-37 on esitetty ilman epäpuhtauksista kärsivien loppojen, naavojen, harmaaröyhelön, hankakarpeen sekä harmaa- ja tuhkatyvikarpeiden yleisyydet vyöhykkeinä asteikolla 0–10 (0 = lajia ei havaittu tutkimusalalla lainkaan, 10 = lajia havaittiin jokaisella tutkimuspuulla).

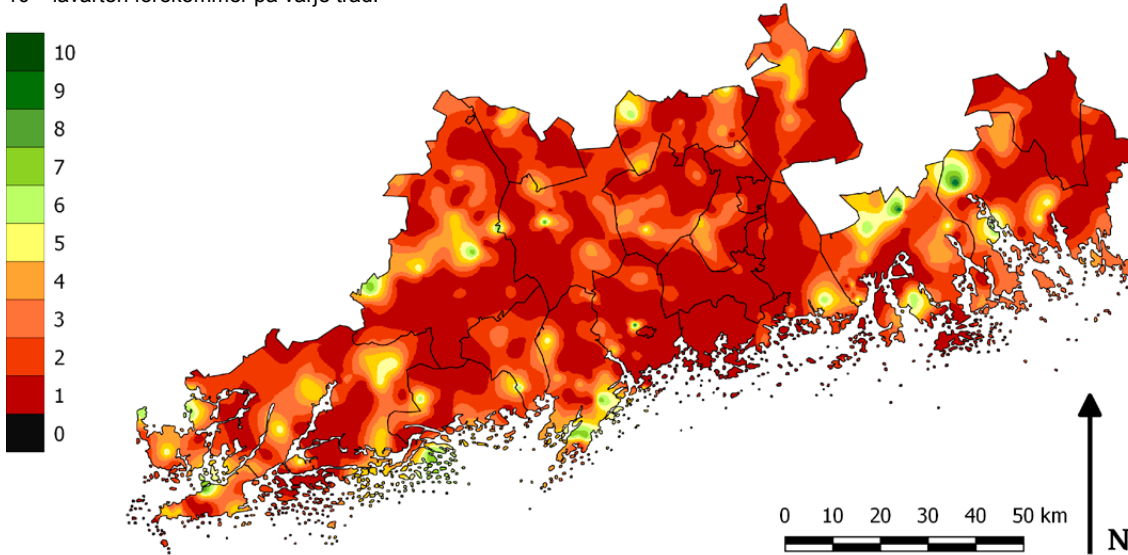
Luppoja havaittiin tutkimusalueella 20 %:lla puista ja 54 %:lla aloista. Sellaisia aloja, joilla luppoja esiintyi vähintään puolella alan puista, oli kuitenkin vain 124, eli 17 % aloista. Keskimäärin luppoja havaittiin näytealan 2 rungolta. Vyöhykkeet, joilla luppoja esiintyi runsaina, olivat melko pienialaisia, ja ne esiintyivät laikuittain tutkimusalueen eri puolilla. Laajimmat runsaan esiintymisen vyöhykkeet sijoituivat Mäntsälään, Lohjan ja Raaseporin rajalle, Kirkkonummella Porkkalanniemelle sekä Loviisan ja Lapinjärven rajalle. (Kuva 33.)

Naavoja havaittiin tutkimusalueella 14 %:lla puista ja 54 %:lla aloista. Sellaisia aloja, joilla naavoja esiintyi vähintään puolella alan puista, oli 66, eli 9 % aloista. Keskimäärin naavoja havaittiin 1,4 puulla. Kuten luppoja, myös naavoja tavattiin tutkimusaloilla säännöllisesti, mutta vain harvoin ne esiintyivät tutkimusaloilla runsaina. Myös naavoilla vyöhykkeet, joilla ne esiintyivät runsaina, olivat varsin pienialaisia, ja sijoituivat harvalukuisina ympäri tutkimusaluetta. Selvästi muuta aluetta runsaampana ne esiintyivät Raaseporin, Inkoon ja Kirkkonummen rannikolla sekä Loviisan ja Porvoon sisämaassa. Alueita, joilta sekä lupot että naavat puuttuivat, olivat pääkaupunkiseutu, Lohjan seutu sekä Lapinjärven seutu. (Kuva 34.)

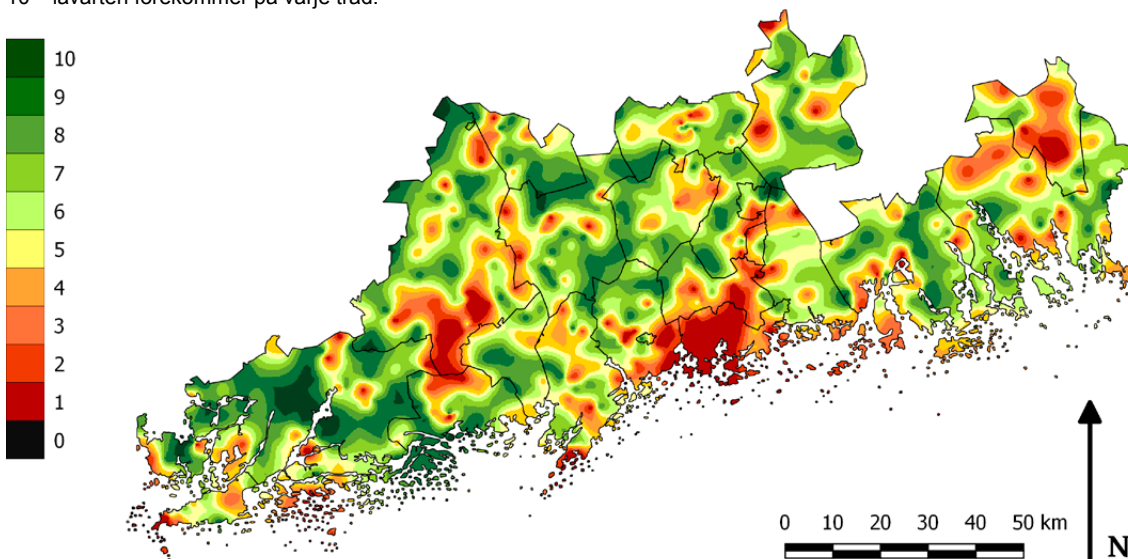
Harmaaröyhelö, hankakarve sekä harmaa- ja tuhkatyvikarpeet olivat selvästi luppoja ja naavoja yleisempiä, ja esiintyivät tutkimusalueella paikoitellen runsaana. Harmaa- ja tuhkatyvikarpeita tavattiin 68 %:lla tutkimuspuista, harmaaröyhelöä 59 %:lla ja hankakarvetta 59 %:lla puista. Vastaavasti näitä lajeja tavattiin tutkimusaloista 94, 89 ja 88 %:lla. Lajien keskimääräiset yleisyydet näytealan rungoilla olivat harmaa- ja tuhkatyvikarpeilla 6,8, harmaaröyhelöllä 5,9 ja hankakarpeella 5,9. Harmaaröyhelö ja hankakarve esiintyivät usein yhdessä, ja ne puuttuivat tai esiintyivät harvemmin pääkaupunkiseudulla, Inkoo–Lohja-aksellilla, Porvoon keskustan tuntumassa, Mäntsälän länsiosissa sekä Lapinjärvellä (kuvat 35 ja 36). Harmaa- ja tuhkatyvikarpeet olivat niin ikään vähälukuisempia pääkaupunkiseudulla ja Porvoon keskustan tuntumassa, sekä myös mm. Porkkalanniemellä (kuva 37).



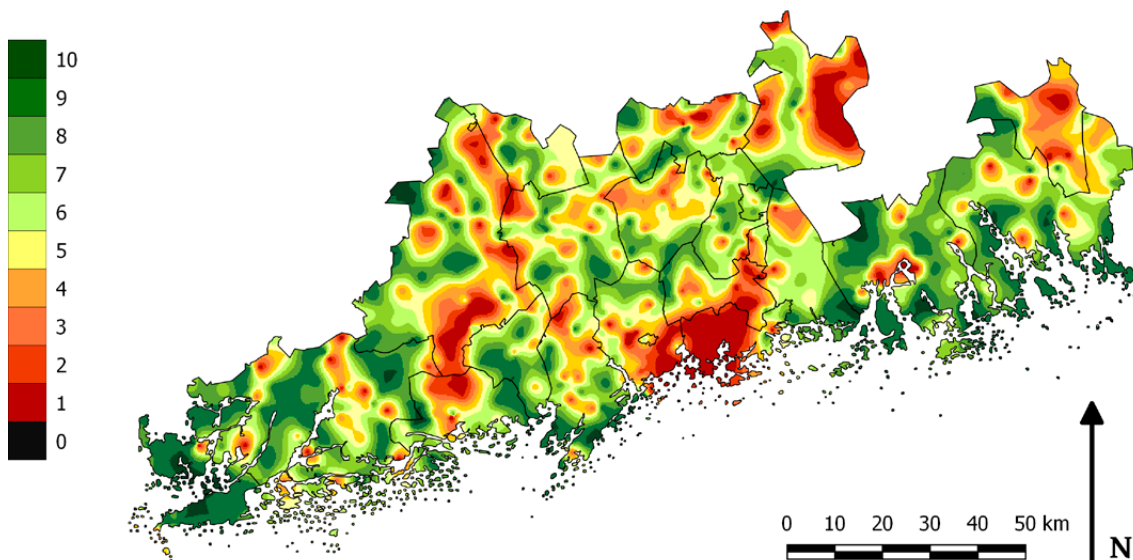
Kuva 33. Luppojen yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0–10, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 10 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.
 Figur 33. Förekomstzoner av tagellav på skalan 0–10, i vilken 0 = lavarten förekommer inte alls, 10 = lavarten förekommer på varje träd.



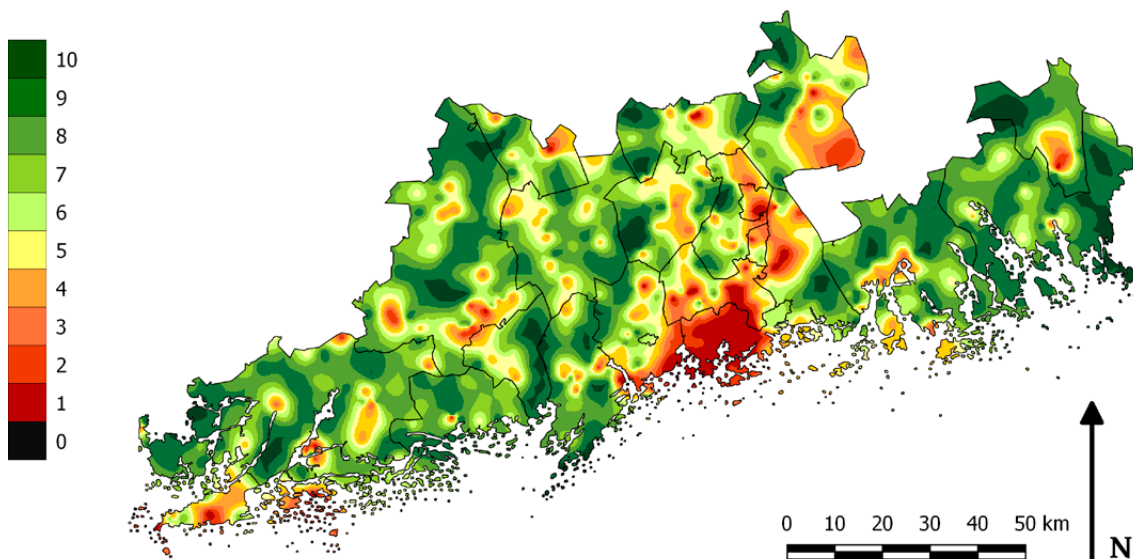
Kuva 34. Naavojen yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0–10, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 10 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.
 Figur 34. Förekomstzoner av skägglav på skalan 0–10, i vilken 0 = lavarten förekommer inte alls, 10 = lavarten förekommer på varje träd.



Kuva 35. Harmaaröyhelön yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0–10, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 10 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.
 Figur 35. Förekomstzoner av näverlav på skalan 0–10, i vilken 0 = lavarten förekommer inte alls, 10 = lavarten förekommer på varje träd.



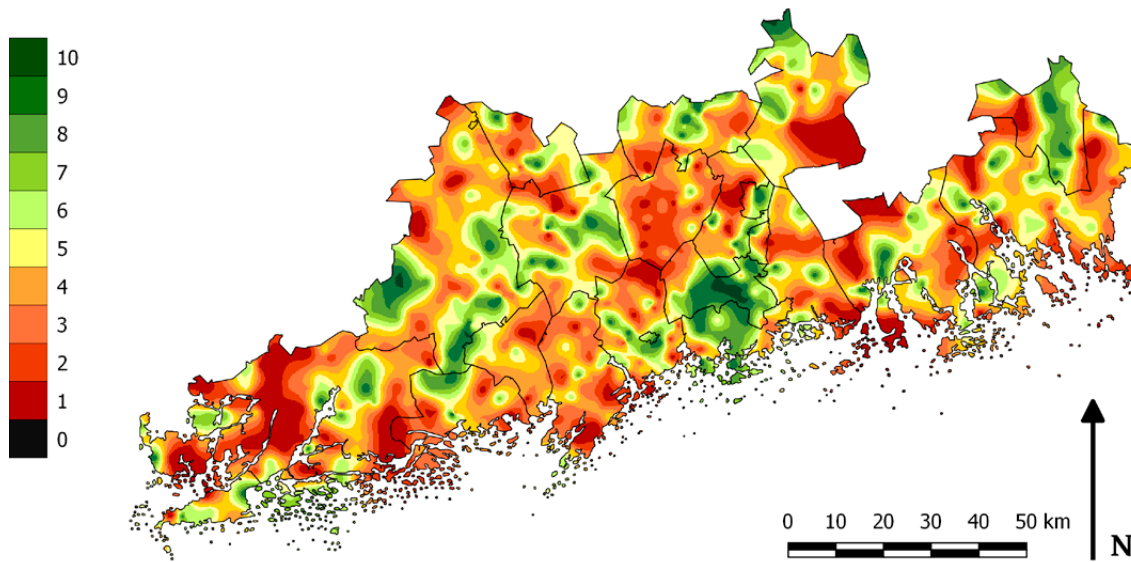
Kuva 36. Hankakarpeen yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0–10, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 10 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.
 Figur 36. Förekomstzoner av gällav på skalan 0–10, i vilken 0 = lavarten förekommer inte alls, 10 = lavarten förekommer på varje träd.



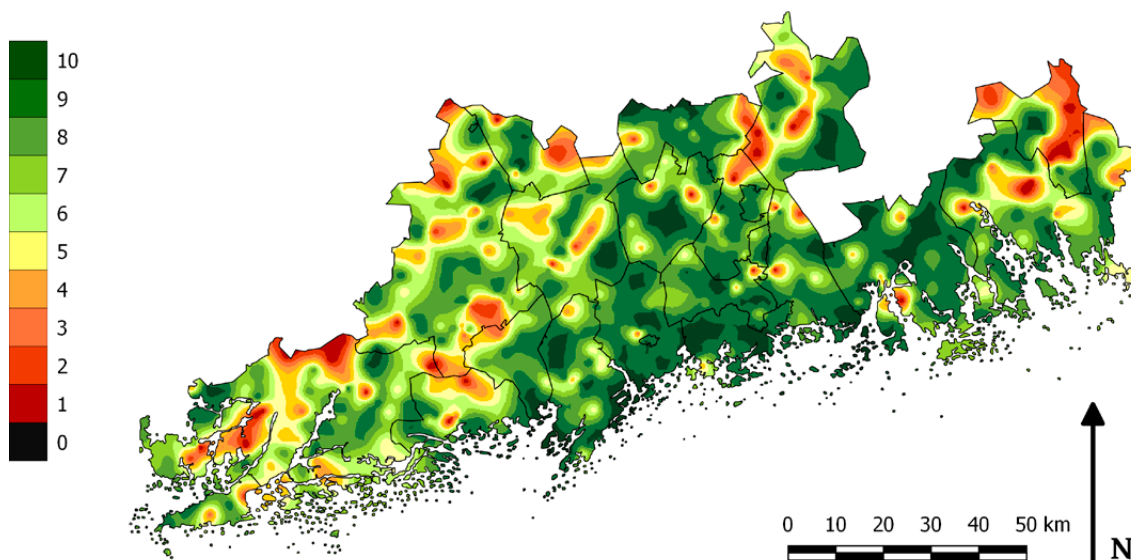
Kuva 37. Harmaa- ja tuhkatyvikarpeen yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0–10, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 10 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.
 Figur 37. Förekomstzoner av vedlav och klilav på skalan 0–10, i vilken 0 = lavarten förekommer inte alls, 10 = lavarten förekommer på varje träd.

4.3.2. Ilman epäpuhtauksista hyötyvien lajien yleisyydet

Vyöhykekartoissa kuvissa 38 ja 39 on esitetty ilman epäpuhtauksista hyötyvien lajien, viherlevän ja seinäsuomujäkälän yleisyydet asteikolla 0–10. Keskimäärin levää havaittiin 4,4 havaintopuulla havaintoalaa kohti ja seinäsuomujäkälää 7,6 havaintopuulla. Levää havaittiin 88 %:lla havaintoaloista ja seinäsuomujäkälää 95 %:lla. Levän sekä seinäsuomujäkälän levinneisyys oli käänteinen herkkiin lajeihin verrattuna. Niillä alueilla, joilla herkkiä lajeja oli harvassa tai puuttuivat, etenkin levä esiintyi runsaana. Näitä alueita olivat pääkaupunkiseutu, Inkoo–Lohja, Lapinjärvi ja Vihdin keskiosat.



Kuva 38. Viherlevän/vihersukkulajäkälän yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0–10, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 10 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.
Figur 38. Förekomstzoner av grönalg på skalan 0–10, i vilken 0 = lavarten förekommer inte alls, 10 = lavarten förekommer på varje träd.



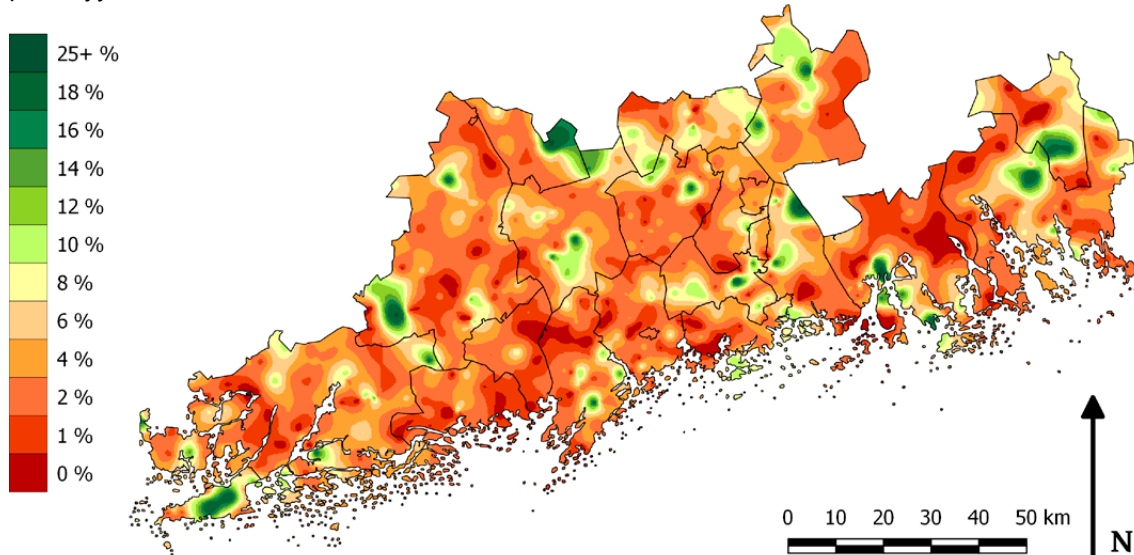
Kuva 39. Seinäsuomujäkälän yleisyys vyöhykkeittäin asteikolla 0–10, jossa 0 = laji ei esiinny havaintoalalla, 10 = laji esiintyy havaintoalan jokaisella puulla.
Figur 39. Förekomstzoner av flarnlav på skalan 0–10, i vilken 0 = lavarten förekommer inte alls, 10 = lavarten förekommer på varje träd.

4.4 Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

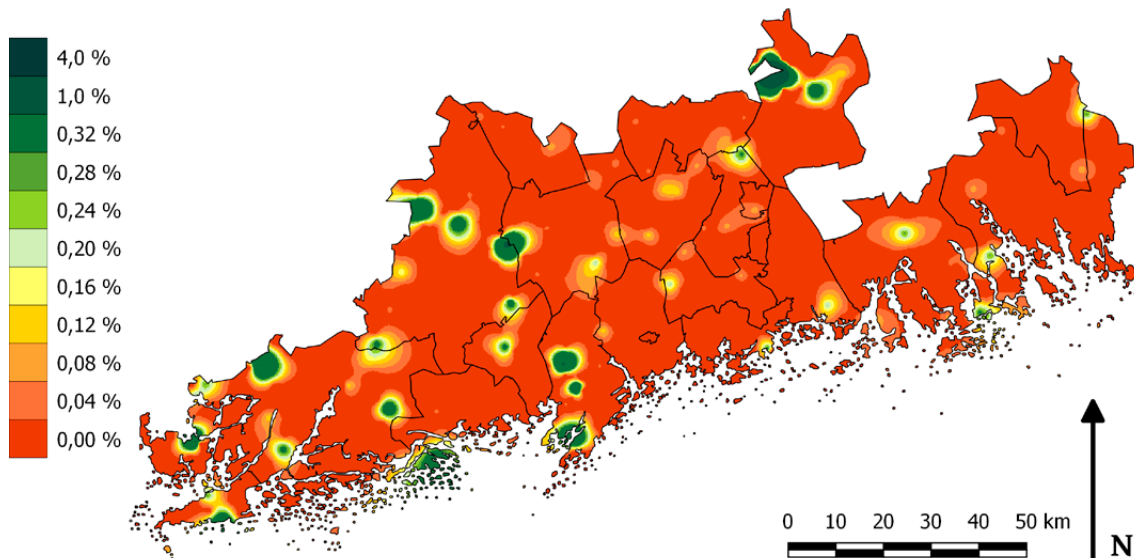
Kuvissa 40 ja 41 on esitetty sormipaisukarpeen sekä luppojen pistefrekvenssimenetelmällä lasketut peittävydet mäntyjen rungoilla havaintoalakohtaisista keskiarvoista yleistettynä vyöhykkeinä. Karttoja tarkasteltaessa on huomioitava, että erityisesti sormipaisukarpeen peittävyys reagoi ilman epäpuhtauksiin 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 6,2 %. Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurta erillisillä alueilla Uudenmaan eri puolilla. Laajimmat suuren peittävyden alueet sijoittuivat Mäntsälään, Karkkilaan, Lohjalle, Hankoniemelle, pohjoiseen Sipooseen sekä Lapinjärvelle ja Loviisan Liljendaliin. Pienempiä runsaan peittävyden alueita havaittiin Porvoon keskustassa, Itä-Vantaalla ja Raaseporissa Tammisaaren lähistöllä ja kunnan itäosassa.

Lupot esiintyivät runsaina vain yksittäisillä aloilla. Luppojen keskimääräinen peittävyys oli 0,03 %. Luppojen runsaudesta ei voi luotettavasti päätellä muuta kuin että ne eivät esiinny kuormitetuilla alueilla, muutoin niiden peittävydet ovat lähinnä satunnaisia.



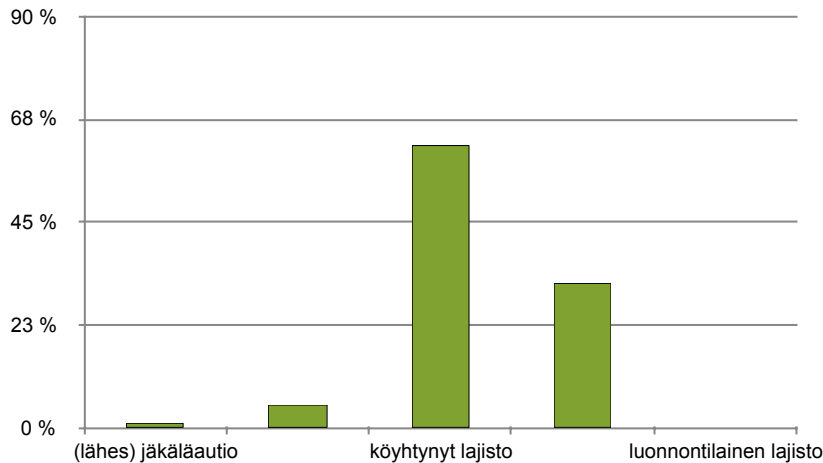
Kuva 40. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys (%) vyöhykkeinä.
Figur 40. Blåslavens genomsnittliga täckningsgradzoner (%).



Kuva 41. Luppojen keskimääräinen peittävyys (%) vyöhykkeinä.
Figur 41. Tagellavs genomsnittliga täckningsgradzoner (%).

4.5 IAP-indeksi

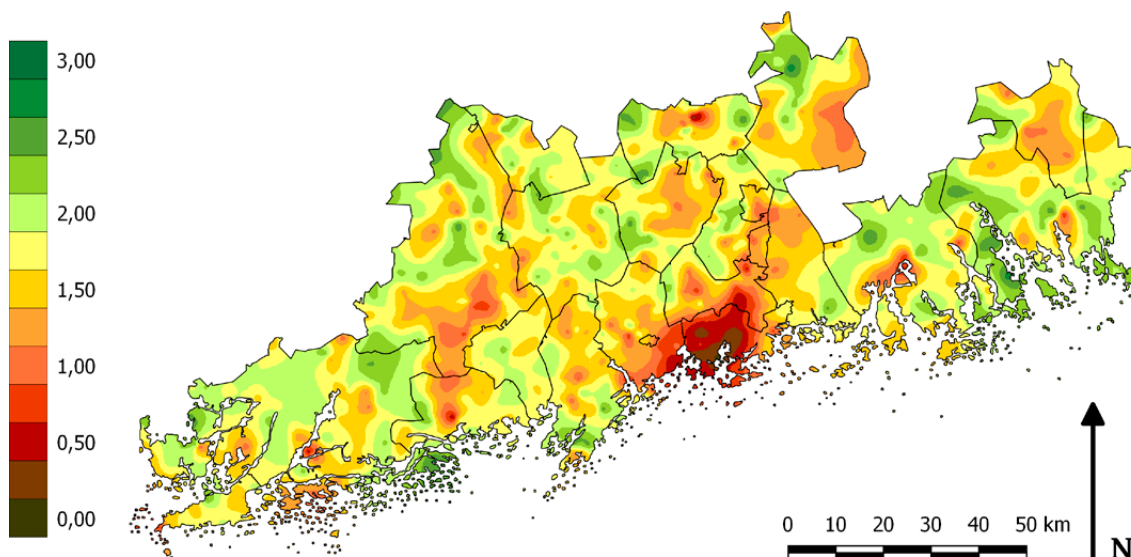
IAP-indeksi oli tutkimusalueella keskimäärin 1,7, minkä perusteella Uudenmaan runkojäkälien lajistoa voi kuvaila keskimäärin köyhtyneeksi. Pienin IAP-indeksin arvo oli 0,07 (jäkäläautio tai lähes jäkäläautio) ja suurin 2,96 (lievästi köyhtynyt lajisto). Suurimmalla osalla (62 %) tutkimusaloista oli IAP-indeksin arvon perusteella köyhtynyt jäkälälajisto. Toiseksi suurimmassa luokassa (32 %) lajisto oli lievästi muuttunutta. Selvästi köyhtynyt lajisto oli 5 %:lla aloista, ja jäkäläautioiksi tai melkein jäkäläautioiksi luokiteltiin 1 % aloista. Luonnontilaista vastaava jäkälälajistoa, jonka koostumukseen ilman epäpuhtaudet eivät ole vaikuttaneet, ei havaittu yhdelläkään havaintoalalla. (Kuva 42.)



Kuva 42. IAP-indeksin jakauma.
Figur 42. IAP-indexets distribution.

Täysin muuttumatonta jäkälälajistoa (IAP-indeksin arvo $> 3,0$) ei havaittu yhdelläkään havaintoalalla. Havaintoaloja, jotka olivat jäkäläautioita tai lähes jäkäläautioita (IAP $< 0,5$), oli yhdeksän, joista seitsemän sijaitsi Helsingissä, yksi Vantaalla ja yksi Hyvinkäällä.

IAP-indeksin vyöhykkeet sijoittuivat siten, että muuttuneinta jäkälälajisto oli pääkaupunkiseudulla, Porvoon keskustan tuntumassa, Lohjan–Inkoon alueella sekä Hyvinkään, Loviisan ja Tammisaaren keskustassa. Pienempiä selvästi köyhtyneen lajiston alueita oli myös muualla tutkimusalueen joka puolella. Selvimät lähes luonnontilaisen lajiston vyöhykkeet sijoittuivat läntiselle Uudellemaalle Raaseporiin, Lohjan Pusulaan, Mäntsälään sekä Loviisaan ja Hyvinkään ja Nurmijäven rajaseudulle. Myös muualla tutkimusalueella oli pienialaisia lähes luonnontilaisen jäkälälajiston vyöhykkeitä. Suurimmassa osassa tutkimusaluetta jäkälälajisto oli köyhtynyttä. (Kuva 43.)



Kuva 43. IAP-indeksi vyöhykkeittäin.
Figur 43. Zoner som beskriver IAP-indexet.

5. Tulosten tarkastelu

Saatuja tuloksia ja niihin vaikuttaneita tekijöitä tarkasteltiin muuttujakohtaisesti tilastollisten menetelmien avulla. Taustamuuttujina käytettiin paitsi havaintoalalta kirjattuja puusto- ja metsikkötunnuksia, myös päästö- ja ilmanlaatutietoja. Taustamuuttujien vaikutuksia tarkasteltiin regressioanalyysin, varianssianalyysin, korrelaatiotestien ja yhteisöanalyysien avulla. Lisäksi tarkasteltiin jäkälämuuttujien keskinäisiä riippuvuuksia. Tilastollisten testien tulokset on esitetty kattavasti liitteessä 23.

Taustamuuttujina käytettiin seuraavia muuttujia:

- havaintoalan soveltuvuus (luokiteltu muuttuja asteikolla hyvä – kohtalainen – huono)
- metsätyyppi (luokiteltu muuttuja)
- kehitysluokka (luokiteltu muuttuja asteikolla nuori – varttunut – kypsä)
- valtalajit (luokiteltu muuttuja)
- ikä (havaintopuiden arvioitu keskimääräinen ikä)
- pituus (metsikön valtapuiden arvioitu keskipituus)
- pohjapinta-ala (relaskoopilla kolmesta paikasta mitattujen tulosten keskiarvo, kaikki puulajit)
- havaintopuiden rinnankorkeusläpimitta

Regressioanalyysissä ja yhteisöanalyysissä hyödynnettiin ilmanlaatutietoina etäisyyttä lähimpään lupavelvolliseen laitokseen sekä tämän laitoksen rikkidioksidi-, hiukkas- ja typen oksidien päästöjä. Lähimmän lupavelvollisen laitoksen etäisyyden ja päästömäärien suhteen ei esim. vallitsevia tuulensuuntia tai muita päästöjen leviämisolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä tarkasteluissa otettu huomioon. Lisäksi regressioanalyysissä testattiin 10 km × 10 km:n ruuduille laskettujen rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuksien (EEA 2014) vaikutuksia. Pitoisuudet oli ilmoitettu vuosikeskiarvona µg/m³, ja ne koskivat vuotta 2012. Pitoisuuksiin liittyvät tulokset ovat viitteellisiä, sillä pitoisuustiedot ovat suuresta ruutukoosta johtuen epätarkkoja. Saadut tulokset osoittavat, että jäkälämuuttujien ja ilman epäpuhtauksille mallinnettujen pitoisuuksien välillä on malliin sisältyvistä epävarmuustekijöistä ja rajoitteista huolimatta selvä yhteys, mikä antaa hyvät lähtökohdat tulevaisuudessa tarkastella vaikutuksia tarkemmin kattavampien tausta-aineistojen avulla. Liikenteen (tie-, meri- ja lentoliikenne) päästöjen vaikutuksia ei tässä erikseen tilastollisesti tarkasteltu, mikä todennäköisesti vaikuttaa saatuihin selitystasoihin.

Jäkälämuuttujina tarkasteltiin sormipaisukarpeeseen liittyviä muuttujia sormipaisukarpeen vaurioastetta ja peittävyttä sekä lajiyhteisöä kuvaavia muuttujia lajilukumäärää, IAP-indeksiä ja yleistä vaurioastetta. Lisäksi tarkasteltiin loppujen peittävyttä ja levän yleisyyttä. Näiden muuttujien välillä vallinneet tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot kertovat niiden yhteismitallisuudesta; ne toisin sanoen kuvaavat samaa asiaa, kukin omalla tavallaan. Eri jäkälämuuttujien herkkyys ja reagoitintapa ilman epäpuhtauksiin ja luontaisiin tekijöihin on erilainen.

Havaintoaloilta kirjatulla taustamuuttujilla todettiin olevan vaikutusta kaikkiin tutkittuihin muuttujiin. Selvin vaikutus oli metsätyyppillä. Myös puuston iällä, pituudella, pohjapinta-alalla, havaintopuiden halkaisijalla, sekä kehitysluokalla oli vaikutusta jäkälämuuttujiin. Metsikön arvioitu soveltuvuus bioindikaattoritutkimuksiin vaikutti jäkälämuuttujiin, mikä kuvaa lähinnä arvioitsijoiden kykyä erottaa jäkäläkartoitukseen hyvin sopivat metsät. Havaintoalat tosin jakautuivat taajama- ja tausta-alueilla taustamuuttujien suhteen epätasaisesti, mikä voi vääristää tuloksia. Taajama-aloilla puut olivat paksumpia kuin tausta-aloilla, ne olivat kehitysluokaltaan useammin kypsiä taajamissa verrattuna tausta-aloihin, sekä havaintoalojen metsätyyppi oli taajama-aloilla rehevämpi kuin tausta-aloilla.

Tarkasteltaessa erittäin merkitseviä riippuvuuksia (p-arvo < 0,001) tutkittujen jäkälämuuttujien välillä, voidaan muuttujien välillä vallinneet riippuvuudet järjestää korrelaatiokerroimen suuruuden mukaan. Korrelaatiokerroin voi saada arvoja välillä miinus yhdestä yhteen, jossa lievästi positiiviset tai negatiiviset korrelaatiot kertovat vähäisestä yhteisvaihtelusta, ja korrelaatiokerroin 1 (tai -1) täysin lineaarisesta vaihtelusta muuttujien kesken. Korrelaatioita tulee tarkastella paitsi kertoimen, myös sen tilastollisen merkitsevyyden (merkitty tähdiillä: * = melkein merkitsevä, ** = merkitsevä, *** = erittäin merkitsevä) mukaan. Yleensä ottaen alle 0,3:n korrelaatiokerroimia pidetään vähäisinä, mutta niiden tilastollinen merkitsevyys kertoo siitä, etteivät riippuvuudet ole satunnaisia.

Taulukko 11. Jäkäläsuureiden väliset riippuvuudet, jotka ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0,001$ (***)).
 Tabell 11. Förhållanden mellan lavstorheter, vilka är statistiskt mycket betydande ($p < 0,001$ (***)).

	korrelaatio-kerroin	merkitsevyys
IAP × yleinen vaurioaste	-0,840	***
IAP × lajilukumäärä	0,760	***
lajilukumäärä × yleinen vaurioaste	-0,596	***
sormipaisukarpeen vaurioaste × yleinen vaurioaste	0,383	***
yleinen vaurioaste × levän yleisyys	0,321	***
IAP × loppojen peittävyys	0,312	***
sormipaisukarpeen vaurioaste × sormipaisukarpeen peittävyys	-0,305	***
yleinen vaurioaste × loppojen peittävyys	-0,298	***
IAP × sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,293	***
IAP × levän yleisyys	-0,254	***
lajilukumäärä × loppojen peittävyys	0,238	***
sormipaisukarpeen vaurioaste × levän yleisyys	0,230	***
levän yleisyys × sormipaisukarpeen peittävyys	0,218	***
lajilukumäärä × sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,190	***

Useimmin jonkin toisen ilmanlaatua kuvaavan muuttujan kanssa korreloi erittäin merkitsevästi levän yleisyys, seuraavaksi eniten lajilukumäärä, IAP-indeksi sekä sormipaisukarpeen ja yleinen vaurioaste. Kolmannella sijalla oli loppojen peittävyys, ja korrelaatio oli harvinaisinta sormipaisukarpeen peittävyyden kanssa.

Leväpeite on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori, eli se hyötyy kuormituksesta, joten sen vasteet ovat päinvastaisia kuin ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta heikkenevillä jäkälämuuttujilla. Lajilukumäärä, yleinen vaurioaste ja IAP-indeksi kuvaavat kaikki jäkälälajiston koostumusta, minkä takia niiden väliset korrelaatiot olivat voimakkaita.

Loppojen peittävyys korreloi muiden muuttujien kanssa, mutta niiden peittävyys ei ollut Uudellamaalla erityisen hyvin ilman epäpuhtauksien indikaattori, koska se ei esiintynyt niin runsaana, että olisi saanut peittävyysarvoja käytetyllä pistefrekvenssimenetelmällä. Sormipaisukarpeen peittävyys korreloi ainoastaan vaurioasteen ja levän yleisyyden kanssa. IAP-indeksi kuvaa näistä muuttujista herkkien lajien esiintymistä erityisen hyvin.

Tulosten tilastollinen tarkastelu osoittaa, että tutkitut muuttujat kuvasivat ilmanlaatua, osa paremmin kuin toiset. Luontaiset tekijät vaikuttavat indikaattorilajeihin, mitä voidaan vakioda sijoittamalla havaintoalat indikaattorilajien kannalta parhaiten soveltuviin metsiköihin. Alueilla, joissa havaintoalaverkosto on tiheä, kuten Uudenmaan tutkimusalueella, havaintoalojen sijoittelussa on tehtävä myös kompromisseja kattavuuden ja pysyvyyden varmistamiseksi vuosien välillä. Tilastomenetelmillä on mahdollista erotella luontaisten tekijöiden ja ilmanlaatuun liittyvien tekijöiden vaikutuksia, Tulosten perusteella jäkälämuuttujien yhteys ilmanlaatuun kuvaaviin muuttujiin on selvä.

Parhaiten ilmanlaatuun kuvasi negatiivisen korrelaation kautta leväpeite. Lajilukumäärä, IAP-indeksi ja sormipaisukarpeen vaurioaste olivat myös hyviä indikaattoreita. Yleinen vaurioaste korreloi ilmanlaadun kanssa, mutta sen luotettava arviointi on haastavaa, sillä yleisen vaurioasteen arviointiasteikkoon sisältyy oletuksia jäkälälajien reagoimisesta kuormitukseen sekä lajiston koostumuksen sekä jäkälämuodon osalta, eivätkä nämä oletukset toteudu etenkin kuormitetuilla alueilla. Sormipaisukarpeen peittävyys oli tarkastelluista muuttujista huonoin ilmanlaadun indikaattori, sillä sen vaihtelua selittivät enimmäkseen luonnolliset tekijät.

Seuraavassa tarkastellaan tutkittuja jäkälämuuttujia ja niiden vaihteluun vaikuttaneita tekijöitä tilastomenetelmien avulla.

5.1 Sormipaisukarve

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.

Regressioanalyysissä sormipaisukarpeen vaurioasteen vaihtelusta viisi muuttujaa selittivät yhteensä 9,4 %. Selittäviä muuttujia (sulkeissa taustamuuttujan voimakkuus suhteellisena osuutena, etumerkki kertoo vaikutuksen suunnan ja tähdet tilastollisen merkitsevyyden: * = melkein merkitsevä, ** = merkitsevä, *** = erittäin merkitsevä) olivat etäisyys lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä ($-0,43^{***}$), ilman arvioitu NO_2 -pitoisuus ($+0,28^{***}$), havaintopuiden ikä ($+0,15^{**}$), yhdistetty havaintopuiden läpimitta/pituus ($-0,07^*$), yhdistetty puuston pohjapinta-ala/pituus ($-0,04^*$). Ilmanlaatua kuvaavat muuttujat selittivät vaihtelusta viidenneksen (1,9 %). Sormipaisukarpeen vaurioaste kasvoi regressiomallin perusteella, kun havaintoala oli lähempänä päästölähdettä ja typpidioksidin pitoisuus oli suurempi. Enemmän kuitenkin vaikuttivat puun kasvupaikkaan liittyvät luontaiset tekijät ikä, havaintopuiden läpimitta sekä pituus ja puuston pohjapinta-ala. Puiden pituuden vaikutus voi liittyä kallioaloihin: sormipaisukarve usein kärsii kallioalojen paahteisuudesta ja kilpikaarnoittuvien mäntyjen huonosta kasvualustasta.

Regressiomallilla sormipaisukarpeen vaurioasteen selitysaste jäi kaikkein heikoimmaksi tarkastelluista muuttujista. Pieni selitysaste kertoo siitä, että regressiomallissa eivät todennäköisesti ole mukana kaikki sormipaisukarpeen vaurioasteeseen liittyvät tekijät.

Sormipaisukarpeen peittävyiden vaihtelusta kahden muuttujan regressiomalli selitti 19,6. Vaihtelusta ilmanlaatuun liittyvien muuttujien selitysaste oli kuitenkin vain 0,4 % luontaisten tekijöiden selittäessä loput. Parhaiten sormipaisukarpeen peittävyttä ennusti puuston ikä: iän kasvaessa peittävyys pieneni ($-0,83^{***}$). Toinen merkittävä selittävä tekijä oli pohjapinta-alan ja pituuden yhdistelmä ($-0,17^{***}$).

Tarkastelun perusteella sormipaisukarpeen peittävyttä ei voi pitää erityisen hyvänä ilmanlaadun indikaattorina. Tulos voi viitata välilliseen ilmanlaadun indikaatioon kilpailuvaikutuksen kautta: sormipaisukarve on vahva kilpailija, joka kestää ilman epäpuhtauksia varsin hyvin, ja pystyy kuormitetuilla alueilla valtaamaan herkemmiä lajeilta vapautunutta kasvutilaa. Sormipaisukarpeen on myös epäilty hyötyvän typpikuormituksesta. Sormipaisukarve tosin kärsii ilman epäpuhtauksien päästöistä ja ilmentää niitä ulkomuodollaan, mutta samalla se pystyy vahvana kilpailijana hyötymään kuormituksesta, mikä näkyy sormipaisukarpeen peittävyiden kasvuna kuormitetuilla alueilla.

Tarkasteltaessa taustamuuttujien vaikutuksia sormipaisukarpeeseen huomataan kehitysluokan ja puun läpimitan vaikuttavan sen esiintymiseen ja kuntoon: sormipaisukarve ei viihdy vanhoilla, kilpikaarnoittuvilla männylillä. Sormipaisukarpeen peittävyys on suurimmillaan varttuneissa männiköissä, kypsissä männiköissä peittävyys on pienempi. Iäkkäissä männiköissä sormipaisukarve oli vaurioituneempaa kuin nuoremmassa, mutta toisaalta tutkimuksen vanhimmat männiköt sijoituivat taajamien puistomaisille alueille. Lisäksi iäkkäitä mäntyjä esiintyi usein paahteisilla, harvapuustoisilla kallioaloilla.

Regressiomalliin ei ollut mahdollista sisällyttää metsätyyppin vaikutusta. Varianssianalyysin perusteella sormipaisukarpeen vauriot ja toisaalta myös peittävyys olivat sitä suurempia, mitä rehevämpi metsätyyppi oli alalla. Terveintä sormipaisukarve oli siellä, missä metsä oli kuivaa, karua ja valoisaa. Kuitenkin metsätyyppin epäsymmetrinen jakauma taajama- ja tausta-aloilla voi vaikuttaa tulkintaan. Vaurioaste ja peittävyys korreloivat keskenään negatiivisesti, eli sormipaisukarpeen peittäessä vain pienen alan männyn rungosta, se oli enemmän vaurioitunutta.

5.2 Lajistolliset tunnuksset

Lajistotunnuksina käsiteltiin IAP-indeksiä, herkkien lajien lukumäärää, yleistä vaurioastetta sekä loppujen peittävyttä. Tunnuksilla on voimakkaat keskinäiset korrelaatiot, sillä ne perustuvat loppujen peittävyttä lukuun ottamatta runkojäkälälajiston koostumukseen. Yleinen vaurioaste erottelee kestävämpien lehtimäisten ja herkkempien pensasmaisten lajien esiintymisen ja kunnon, minkä takia se vaihtelee samalla tavalla sormipaisukarpeen vaurioasteen, lajilukumäärän ja IAP-indeksin kanssa. Lajistotunnuksista IAP-indeksi ja lajilukumäärä olivat hyviä ilmanlaadun indikaattoreita, koska ne liittyvät yksittäisten jäkälälajien yleisyyden vaihteluun. Yleinen vaurioaste korreloi harvempien muuttujien kanssa. Regressioanalyysissä tutkitut taustamuuttujat selittivät enimmillään 21,5 % lajistotunnuksen vaihtelusta (IAP-indeksi). Ilmanlaatua kuvaavien muuttujien selitysaste oli suurin yleiselle vaurioasteelle (havaintopuun läpimitta ja pituus selittivät 51 % vaihtelusta).

Neljän selittävän muuttujan hierarkkinen regressiomalli selitti 21,5 % IAP-indeksin vaihtelusta. Luontaiset taustamuuttujat selittivät vaihtelusta 13,9 %, ja ilmanlaatumuuttujat 7,6 %. Mallin muuttujat olivat havaintopuiden läpimitta ja pituus (+0,32***), etäisyys lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä (+0,27***), ilman PM₁₀-pitoisuus (-0,25***) sekä ilman rikkidioksidipitoisuus (-0,15***). Ilmanpuhtausindeksi oli suurempi, kun havaintoalan puut olivat suurempia ja havaintoala sijaitsi etäällä päästölähteestä. IAP-indeksi oli sitä pienempi, mitä suurempi ilman hengitettävien hiukkasten sekä rikkidioksidin pitoisuus olivat. Puuston läpimitan ja pituuden vaikutus IAP-indeksiin liittyy havaintoalojen epätasaiseen jakautumiseen taajamaan ja tausta-alueille, eli taajama-aloilla puut olivat keskimäärin paksumpia. Havaintopuiden ikä ei vaihdellut tilastollisesti merkitsevästi taajaman ja taustan välillä.

Regressiomalli ei selittänyt ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien määrää havaintoaloilla aivan yhtä hyvin kuin IAP-indeksin vaihtelua. Kuuden selittävän muuttujan hierarkkinen regressiomalli selitti 17,6 % lajilukumäärän vaihtelusta. Malliin sisältyivät samat muuttujat kuin IAP-indeksin malliin sekä lisäksi pääkomponenttiyhdistelmä havaintoalan puiden pituudesta ja pohjapinta-alasta. Alaan liittyvät taustamuuttujat selittivät vaihtelusta 10,7 % ja ilmanlaatumuuttujat 6,9 % lajilukumäärän vaihtelusta. Regressiomallin ylivoimaisesti paras ennustava tekijä lajilukumäärälle oli etäisyys lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä (+0,44***). Likimain samantyyppisiä selittäviä tekijöitä olivat ilman PM₁₀-pitoisuus (-0,17***) ja SO₂-pitoisuus (-0,16***). Vähemmän selittävää voimaa oli havaintopuiden läpimitan ja pituuden yhdistelmällä (+0,09)**, pohjapinta-alan ja pituuden yhdistelmällä (-0,07*) sekä ilman NO₂-pitoisuudella (-0,06*). Mallin perusteella ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkälälajeja oli alalla sitä enemmän, mitä etäämpänä se oli lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä ja mitä pienempiä olivat ilman epäpuhtauksien pitoisuudet. Havaintopuiden läpimitan ja pituuden kasvaessa oli myös lajilukumäärä suurempi. Mutta toisaalta pohjapinta-alan ja puiden pituuden vähetessä lajilukumäärä pieneni.

Yleisen vaurioasteen vaihtelusta taustamuuttujat selittivät neljän muuttujan regressiomallissa 15,7 %. Luonnolliset taustamuuttujat selittivät yleisen vaurioasteen vaihtelusta 12,2 % ja ilmanlaatumuuttujat 3,5 %. Havaintopuiden läpimitta ja pituus ennustivat parhaiten yleistä vaurioastetta (-0,51***), eli vauriot olivat sitä pahempia, mitä pienempiä havaintopuut olivat. Seuraavaksi merkittävin tekijä oli etäisyys lähimpään lupavelvolliseen päästölähteeseen (+0,33***) jäkälävaurioiden ollessa pienempiä etäällä päästölähteestä. Ilman PM₁₀-pitoisuus (+0,16***) ja SO₂-pitoisuus (+0,07**) olivat vähempiarvoisia selittäviä tekijöitä mallissa. Yleinen vaurioaste oli sitä suurempi, mitä enemmän ilmassa oli epäpuhtauksia.

Lajistotunnuksset olivat vastaavasti kuten sormipaisukarpeen vaurioastekin sitä huonompia, mitä rehevämpi metsätyyppi oli kyseessä. Myös loppujen peittävyys oli suurempi karuilla metsätyypeillä kuin rehevillä. Rehevämmässä metsässä on latvuseros sulkeutuneempi ja metsä varjoisampaa kuin karuilla tyypeillä, minkä lisäksi nuoren puuston suuri määrä ja muu kasvillisuus heikentävät runkojäkäläien kasvuolosuhteita.

Lajistomuuttujista IAP-indeksi oli sitä suurempi, mitä suurempia havaintopuut olivat, ja sama yhteys, tosin heikkona, havaittiin lajilukumäärälle. Havaintopuiden suuri koko ennusti lisäksi pientä yleistä vaurioastetta hyvin tehokkaasti. Korrelaatio voi liittyä osaltaan metsätyypeihin ja toisaalta kallioloihin: vaikkakaan sormipaisukarve ei viihdy kallioloilla paahteisuuden ja puiden kilpakaarntumisen vuoksi erityisen hyvin, ovat nämä paikat varsin hyviä kasvupaikkoja useille herkille jäkälälajeille.

5.3 Levän yleisyys

Levä on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori, eli se runsastuu kuormitetuilla alueilla. Levän esiintymisen ja runsauden on katsottu kuvaavan erityisesti typpikuormitusta, josta sen arvellaan hyötyvän. Levän yleisyys korreloi useimpien muiden muuttujien kanssa erittäin merkittävästi, nimenomaan indikoiden jäkälävaurioita ja sormipaisukarpeen peittävyden pientymistä.

Levän yleisyyden ja IAP-indeksin välillä havaittiin negatiivinen, erittäin merkittävä korrelaatio, eli mitä enemmän levää puilla havaittiin, sitä heikompi oli jäkälälajien määrä ja kunto. Positiiviset korrelaatiot levän yleisyyden kanssa oli yleisellä vaurioasteella, sormipaisukarpeen vaurioasteella sekä sormipaisukarpeen peittävydellä. Toisin sanoen kun levää havaittiin enemmän, sormipaisukarve peitti suuremman osan rungosta mutta sen vauriot ja kaikkien lajien vauriot kasvoivat.

Regressionanalyysin perusteella tarkastellut taustamuuttujat selittivät 7,4 % levän yleisyyden vaihtelusta. Luontaiset taustamuuttujat selittivät vaihtelusta 7,2 % ja ilmanlaatua kuvaavat muuttujat vain 0,2 %. Parhaiten levän yleisyyttä ennusti puuston pohjapinta-alan ja pituuden yhdistelmä (+0,51***), jonka suurentuessa myös levä yleisty. Etäisyys lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä selitti neljänneksen vaihtelusta (-0,26***) siten, että lähempänä päästölähteitä levää havaittiin enemmän.

Havaintopuiden iällä (-0,24***) oli negatiivinen vaikutus levän yleisyyteen.

Regressioanalyysin perusteella puiden iän vaikutus levän yleisyyteen on negatiivinen, eli mitä vanhempia puut olivat, sitä vähemmän levää havaittiin. Kuitenkaan havaintopaikan puuston kehitysluokalla ei ollut tilastollisesti merkittävää yhteyttä levän yleisyyden kanssa.

Kuitenkin tarkasteltaessa varianssianalyysillä levän jakautumista luokkiin puiden kehitysluokan suhteen, havaittiin, että levä oli kypsissä metsiköissä yleisempää kuin varttuneissa. Varianssianalyysillä havaitun eron taustalla voi olla puiden erilainen jakautuminen tausta- ja taajama-aloille metsän kehitystason mukaan; iän mukaan vastaavaa jakautumista ei ollut havaittavissa. Myös metsikön soveltuvuus vaikutti levän esiintymiseen, sillä levä oli soveltuvuudeltaan kohtalaisiksi arvioiduissa metsiköissä yleisempää kuin hyvissä. Myös metsätypillä oli vaikutusta levän esiintymiseen; se oli yleisempää rehevämmissä metsätyypeillä kuin karuilla metsätyypeillä. Metsätypin vaikutus levän esiintymiseen oli siis päinvastainen kuin lajistotunnuksilla. Levä ei ilmeisesti kärsi varjostuksesta samalla tavoin kuin ilman epäpuhtauksille herkät jäkälälajit.





6. Vertailu aikaisempiin tuloksiin

6.1 Vuosien välinen vertailu

Tässä luvussa vertaillaan vuoden 2014 tuloksia aikaisempien vuosien bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Vertailuun on otettu mukaan vuodet 2000, 2004, 2009 ja soveltuvin osin 1998. Vertailuvuosina käytetyt menetelmät ja havaintoalat ovat samoja. Vertailuvuosien kattavuus vaihtelee, sillä vuonna 1998 tutkimus toteutettiin pääkaupunkiseudulla ja osassa Länsi-Uudenmaan kuntia, vuonna 2000 Länsi-Uudellamaalla ja osassa Itä-Uudenmaan kuntia, vuonna 2004 sekä Länsi- että Itä-Uudenmaan alueella, ja vuonna 2009 koko Uudellamaalla.

Vertailua havainnollistetaan esittämällä vyöhykekartat sormipaisukarpeen vaurioasteesta, lajilukumäärästä sekä IAP-indeksistä vuosina 1998, 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vyöhykkeet laskettiin käyttäen kaikkia aloja, eli vuosien välillä vaihtuneita havaintoaloja ei jätetty pois. Ruotsinpyhtään itäosassa sijainneet kolme havaintoalaa eivät ole mukana edellisvuosien karttojen vyöhykkeissä. IAP-indeksin arvot laskettiin kunkin havaintovuoden seuralaislajilukumäärän perusteella.

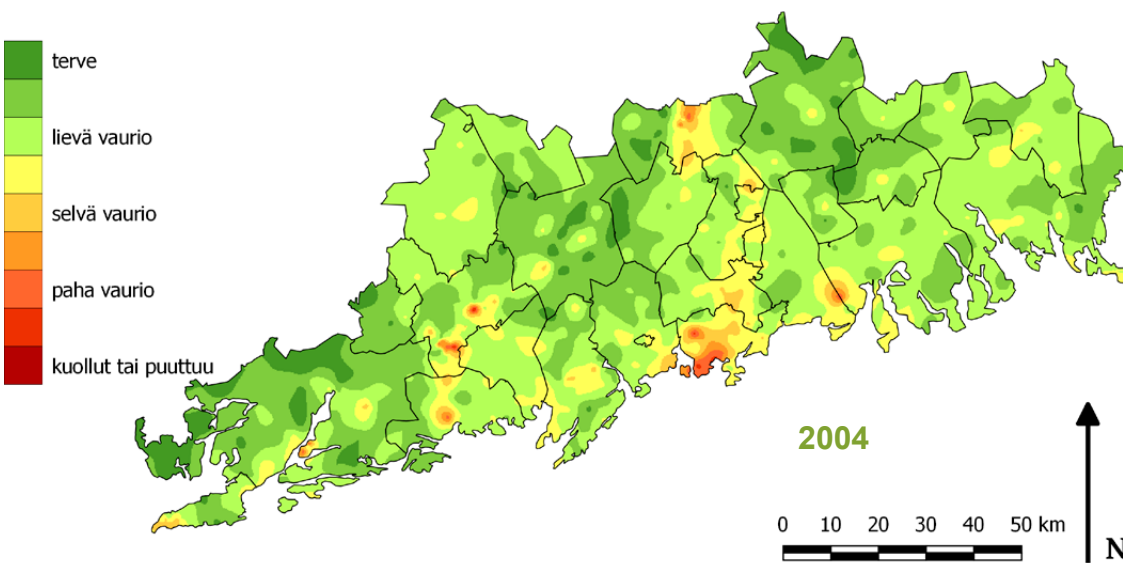
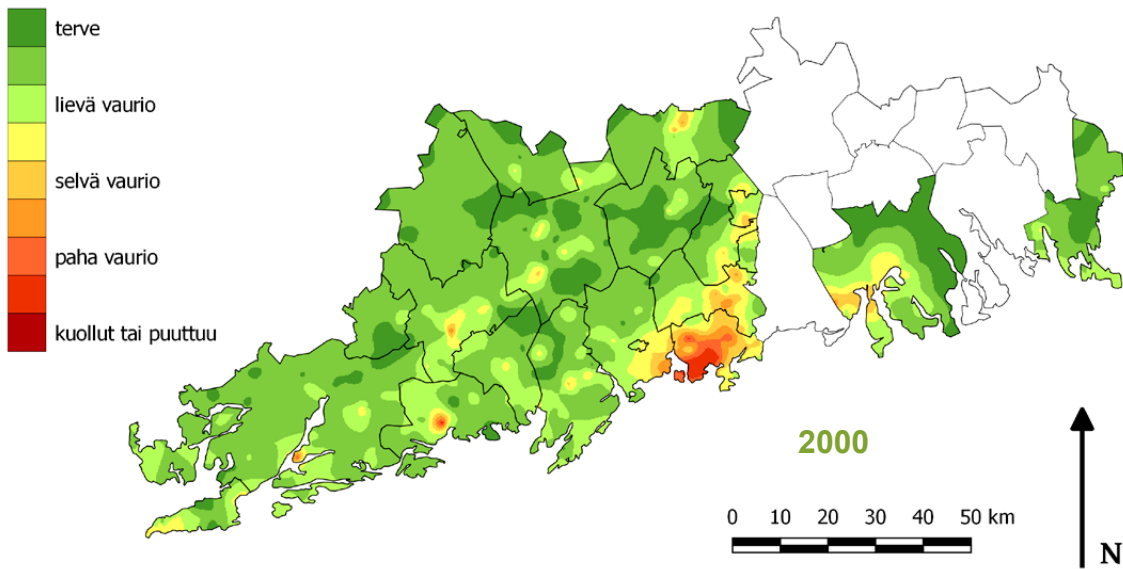
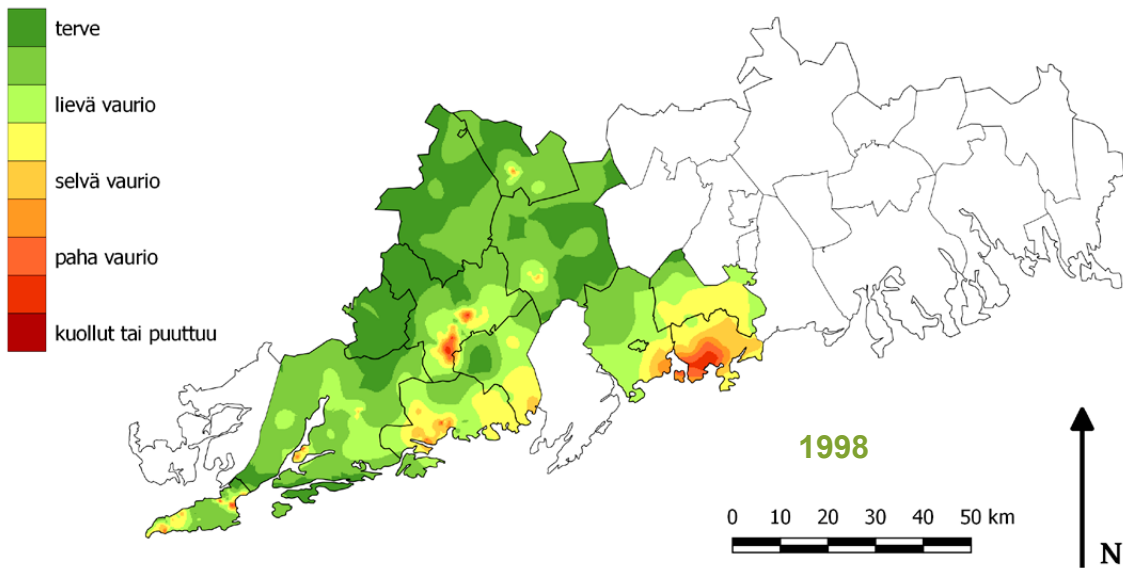
Karttatarkastelun tarkoituksena on saada yleiskuva jäkälän indikoimasta ilmanlaadun muutoksista alueella. Myöhemmin alojen ja runkojen vertailuista on käytetty vain samana säilyneitä havaintoaloja ja -runkoja. Liitteessä 24 on esitetty vuosien välisestä vertailusta taulukot, joista ilmenee se, ovatko vuosien väliset erot tilastollisesti merkitseviä.

Sormipaisukarpeen pahimmat vauriot keskittyvät jokaisena tutkimusvuonna Helsinkiin. Selviä tai pahoja vaurioita havaittiin kaikkina tutkimusvuosina Lohjan keskustassa, Inkoossa, Tammisaaressa ja Hankoniemellä. Vauriovyöhykkeiden koko ja vaurion aste ovat vaihdelleet suuresti, kuitenkin vauriot ovat keskimäärin kasvaneet tutkimusvuosina. Itäisellä Uudellamaalla selviä tai pahoja vaurioita havaittiin 2009 ja 2014 Loviisassa, Lapinjärvellä ja Porvoon Kilpilahdessa ja Tolkislandetissa. Aikaisempina vuosina näillä alueilla ei ollut selviä vaurioita.

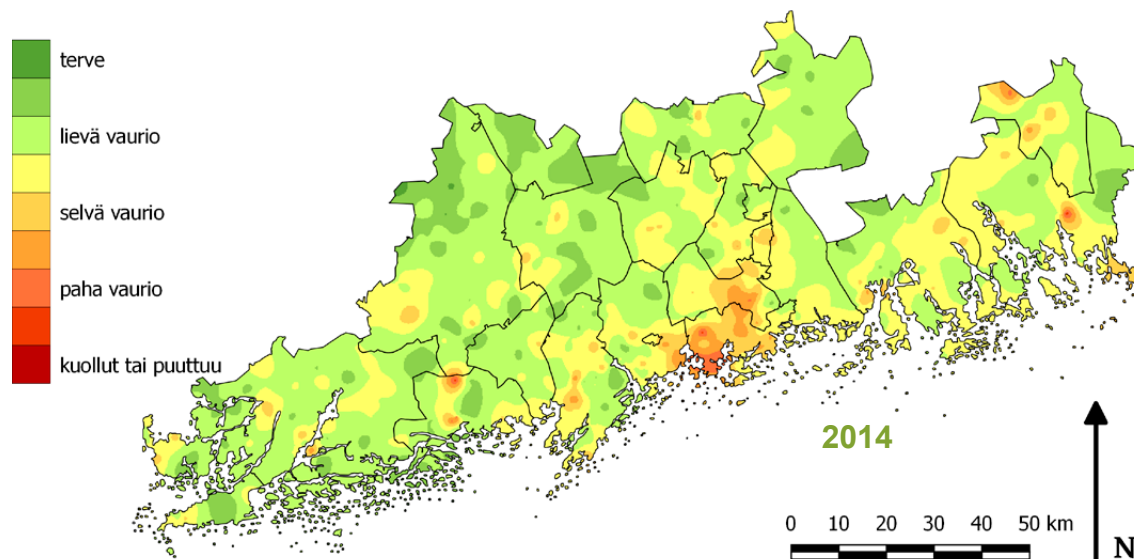
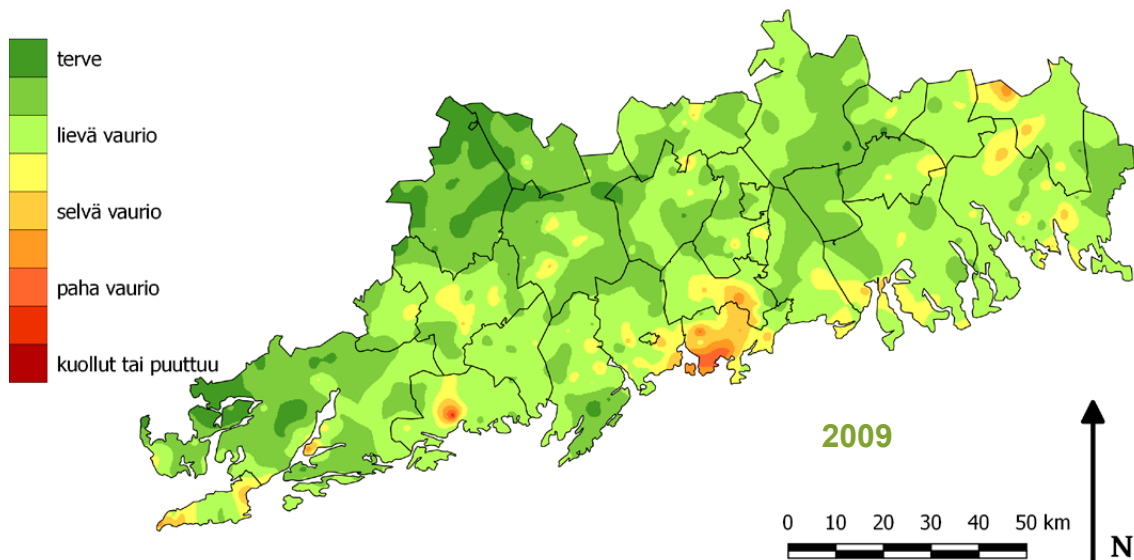
Sormipaisukarve on ollut terveintä Raaseporin länsiosissa, nykyisen Lohjan pohjoisosissa (Nummi-Pusula), Karkkilassa ja Nurmijärven pohjoiskolkassa. Terveimmän vyöhykkeen laajuus on pienentynyt vuosien edetessä, ja erityisesti vuonna 2014 terveen sormipaisukarpeen alueet olivat pieniä. Kaikkein terveimmän sormipaisukarpeen alue sijoittui vuonna 1998 Länsi-Uudellemaalle, vuonna 2000 Porvoon itäosaan ja Ruotsinpyhtäälle, vuonna 2004 Mäntsälän ja Askolan alueelle sekä vuonna 2009 Sipoosta Pornaisten kautta Mäntsälään ulottuvalle alueelle (kuvat 44 ja 45).

Lajistoltaan köyhtynein vyöhyke sijaitsi jokaisena tutkimusvuotena Helsingissä, ja ulottui sieltä Vantaan ja Espoon puolelle. Lohjalle sijoittui jokaisena tutkimusvuotena köyhtynyt vyöhyke. Myös Inkoossa oli köyhtynyt vyöhyke vuotta 1998 lukuun ottamatta, joka joinain tutkimusvuosina yhdistyi Lohjan vauriovyöhykkeeseen. Lohjan köyhtynyt alue on pienentynyt vuoden 2004 jälkeen. Porvoon keskustan alueella oli jokaisena tutkimusvuotena lajistoltaan köyhtynyt vyöhyke. Pienempiä lajistoltaan köyhtyneitä tai lievemmin köyhtyneitä vyöhykkeitä havaittiin eri paikoissa eri puolilla tutkimusaluetta eri vuosina. Luonnontilaisinta jäkälälajisto oli Itä-Uudellamaalla ja Länsi-Uudenmaan rannikolla. (Kuvat 46 ja 47.)

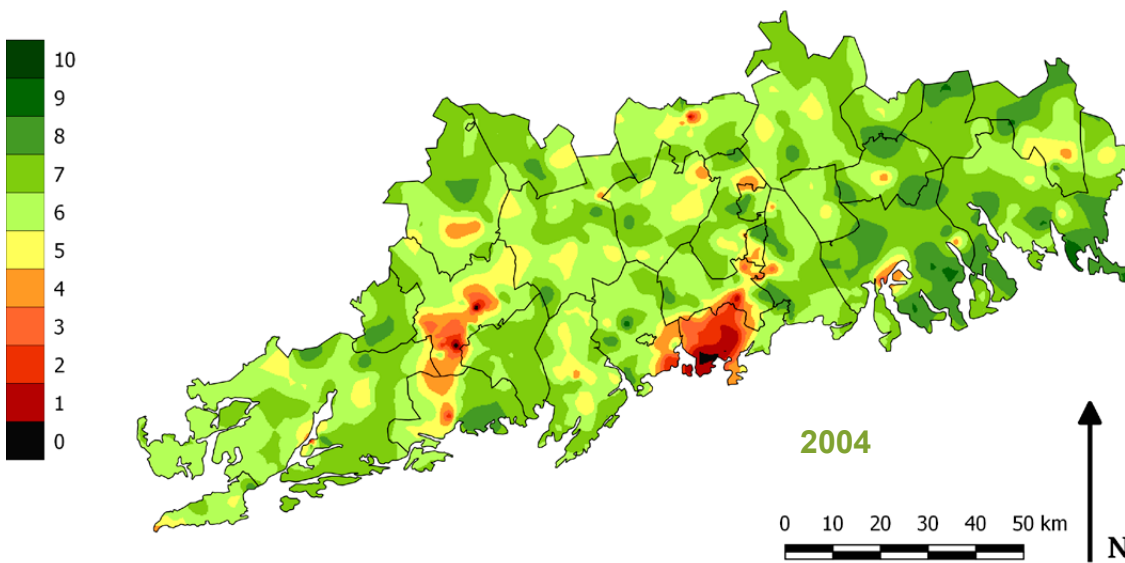
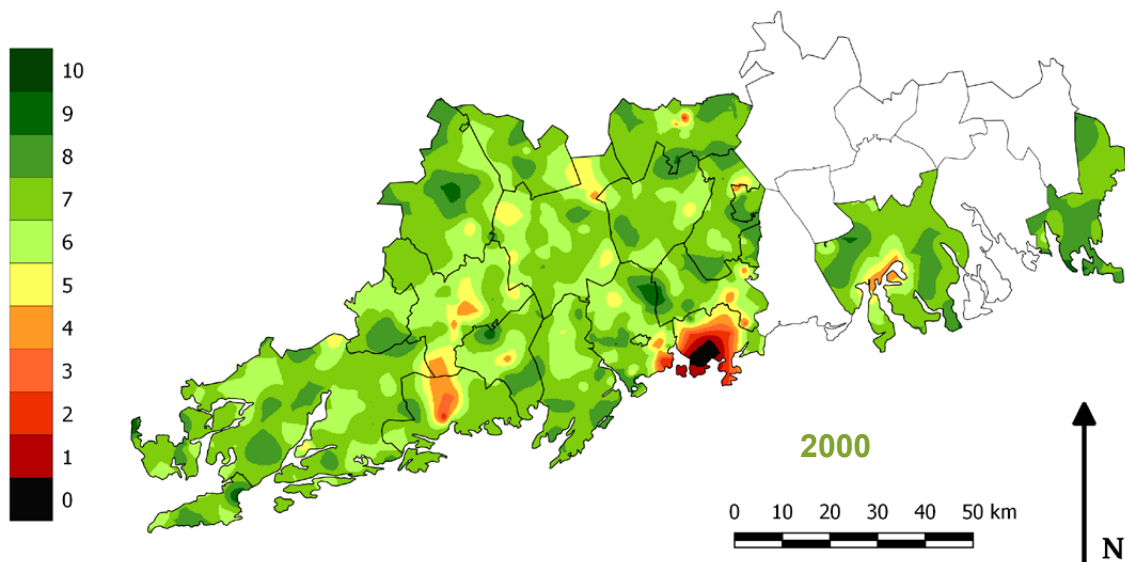
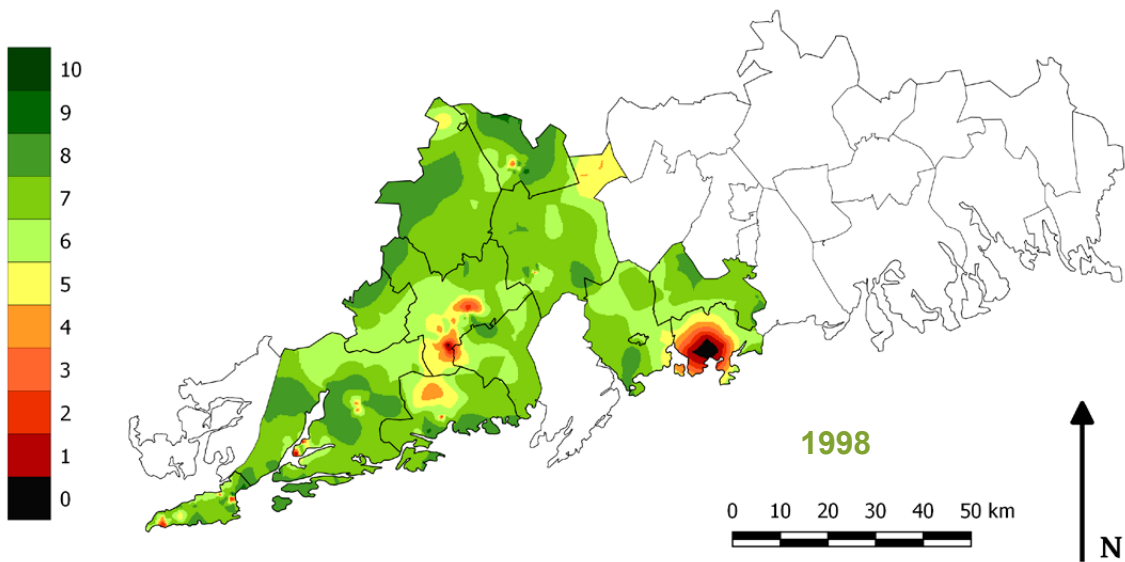
IAP-indeksin vaihtelu vuosien välillä oli samankaltaista selvemmin köyhtyneiden alueiden sijainnin suhteen. Vuonna 2004 indeksin arvot olivat etenkin Länsi-Uudellamaalla huomattavan alhaisia. Vuoteen 2009 tultaessa lajisto oli monipuolistunut. Itä-Uudenmaan jäkälälajisto oli sekä vuonna 2004 että vuonna 2009 monipuolisempaa kuin Länsi-Uudellamaalla. Vuonna 2014 IAP-indeksin mukaan jäkälälajisto oli köyhtynyt vuoteen 2009 verrattuna, eikä itäisen ja läntisen Uudenmaan välillä ollut tutkimusalueella suurta eroa. (Kuvat 48 ja 49.)



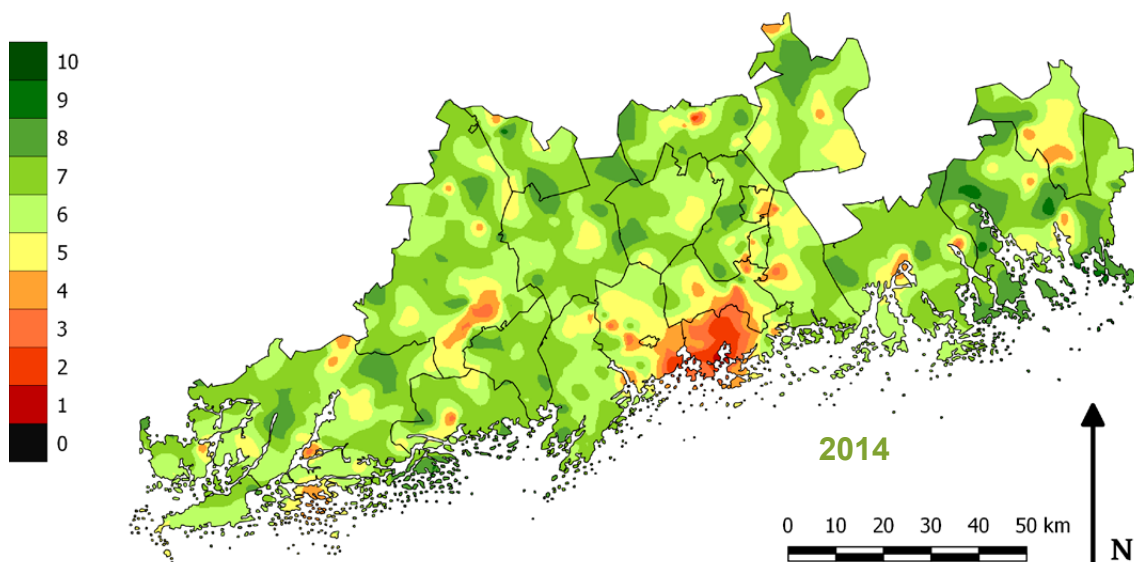
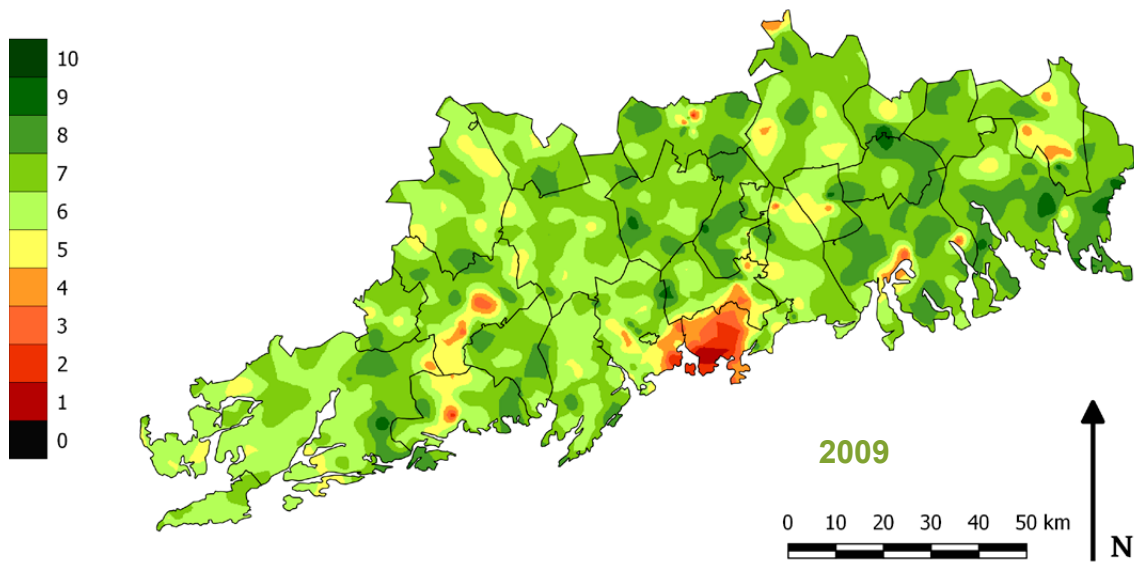
Kuva 44. Sormipaisukarpeen vaurioasteet tutkimusalueella vuosina 1998, 2000 ja 2004.
 Figur 44. Blåslavens skadeklasser på forskningsområdet åren 1998, 2000 och 2004.



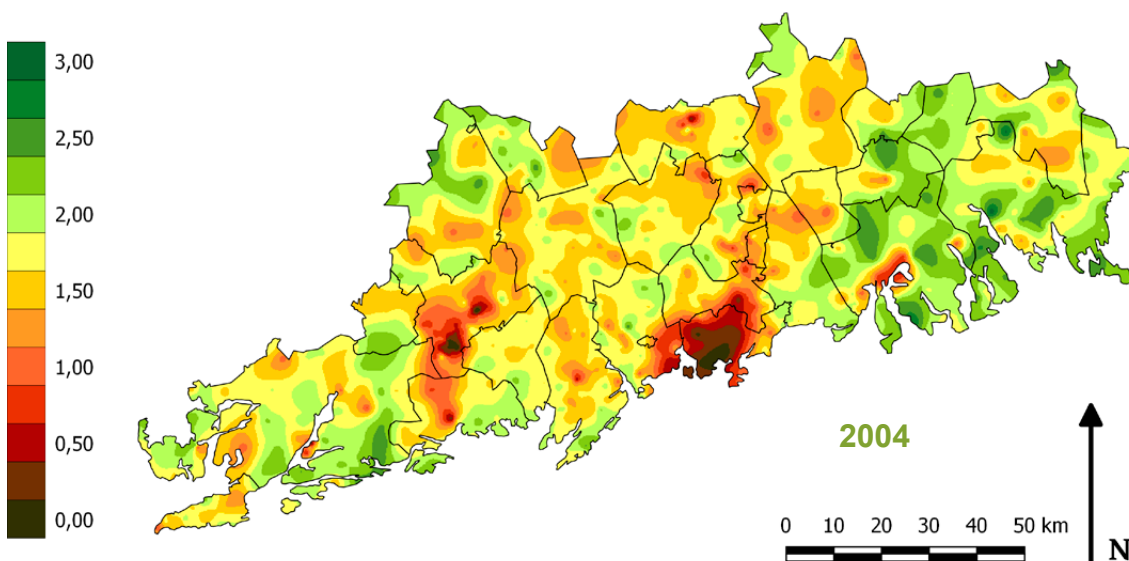
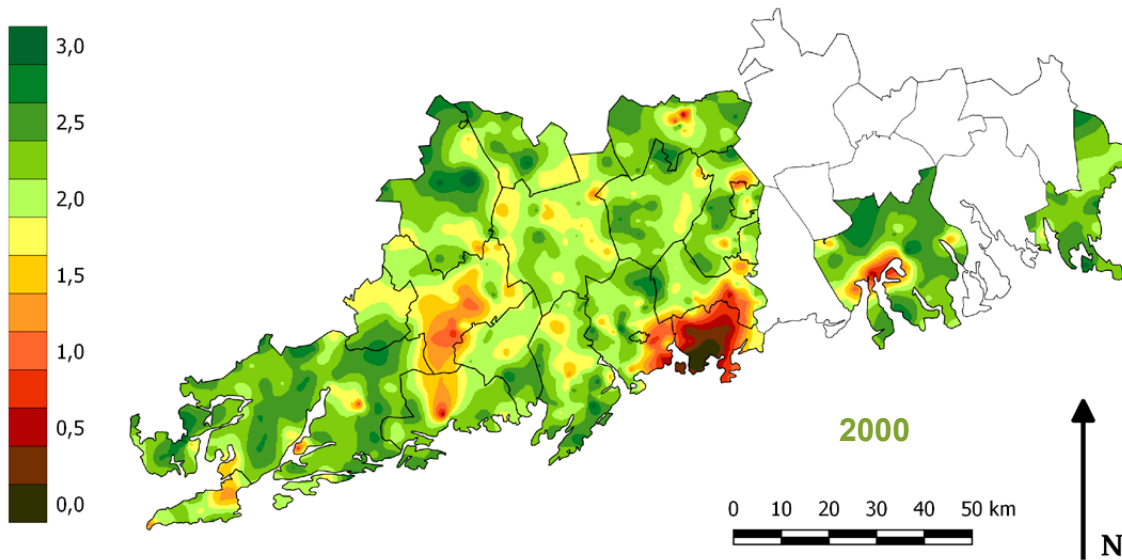
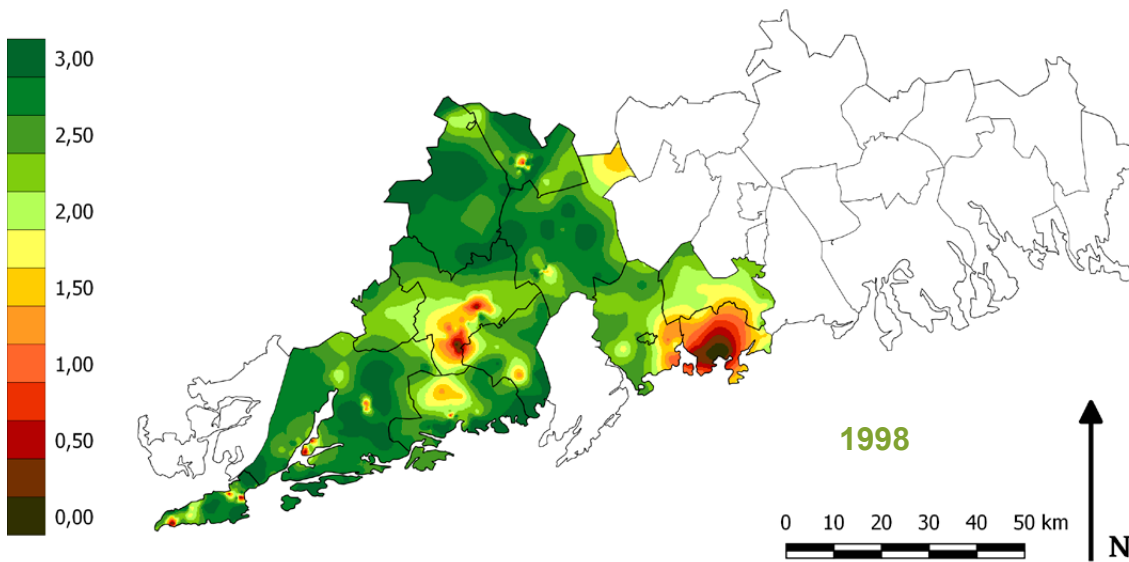
Kuva 45. Sormipaisukarpeen vaurioasteet tutkimusalueella vuosina 2009 ja 2014.
 Figur 45. Blåslavens skadeklasser på forskningsområdet åren 2009 och 2014.



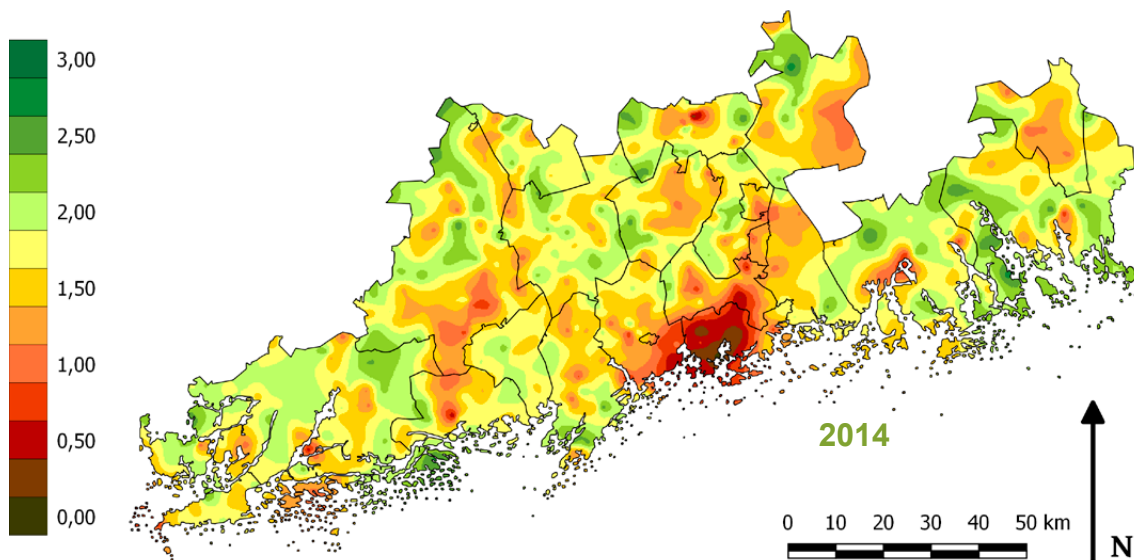
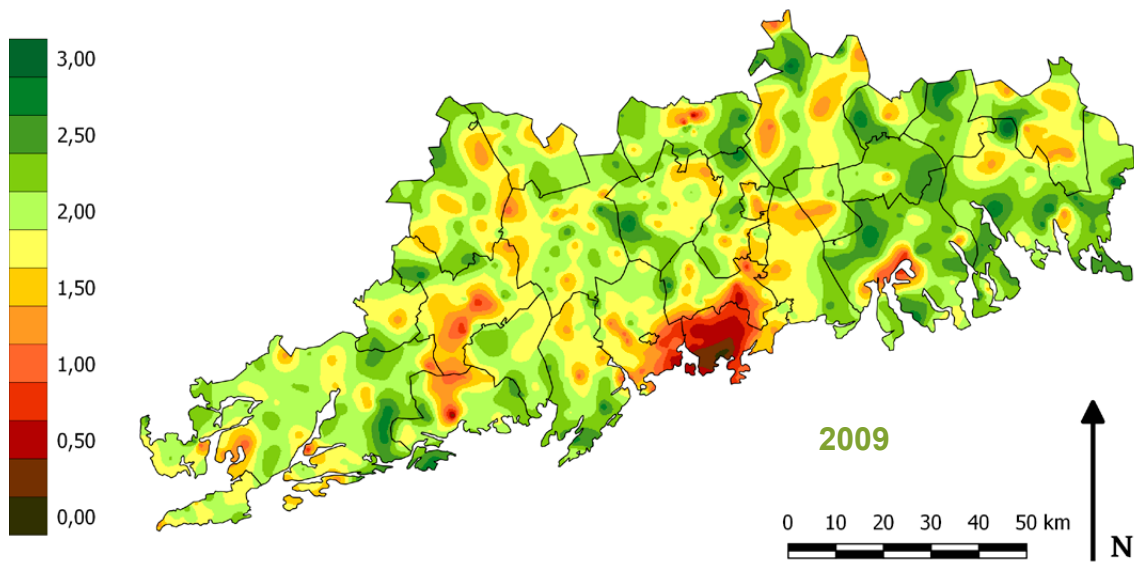
Kuva 46. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärät havaintoaloilla vyöhykkeittäin vuosina 1998, 2000 ja 2004.
 Figur 46. Zoner av antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar åren 1998, 200 och 2004.



Kuva 47. Ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälälajien lukumäärät havaintoaloilla vyöhykkeittäin vuosina 2009 ja 2014.
 Figur 47. Zoner av antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar åren 2009 och 2014.



Kuva 48. IAP-indeksin vyöhykkeet vuosina 1998, 2000 ja 2004.
 Figur 48. Zoner som beskriver IAP-indexet åren 1998, 2000 och 2004.



Kuva 49. IAP-indeksin vyöhykkeet vuosina 2009 ja 2014.
Figur 49. Zoner som beskriver IAP-indexet åren 2009 och 2014.

6.1.1. Vertailu vuosien 2009 ja 2014 välillä

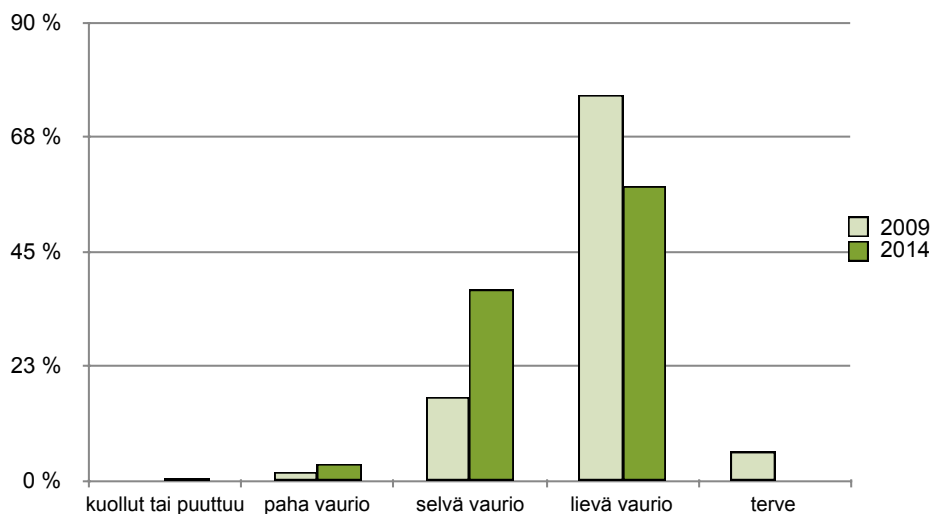
Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja eri tutkimusvuosina ja vuosien väliset tilastolliset vertailut on esitetty taulukossa 12. Keskimääräinen IAP-indeksin arvo oli vuonna 2014 hieman pienempi kuin vuonna 2009. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien ala- ja runkokohtaiset lajilukumäärät olivat pienempiä vuonna 2014 kuin vuonna 2009 eron ollessa molemmilla muuttujilla tilastollisesti erittäin merkitsevä. Myös sormipaisukarpeen keskimääräisen vaurioasteen kasvu oli tilastollisesti erittäin merkitsevä tarkasteluvuosien välillä. Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys kasvoi tilastollisesti merkitsevästi vuodesta 2009 vuoteen 2014. Levän yleisyys lisääntyi tilastollisesti melkein merkitsevästi näiden vuosien välillä.

Taulukko 12. Männyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2009 ja 2014. Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty merkkiteistillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). $n = 578$.

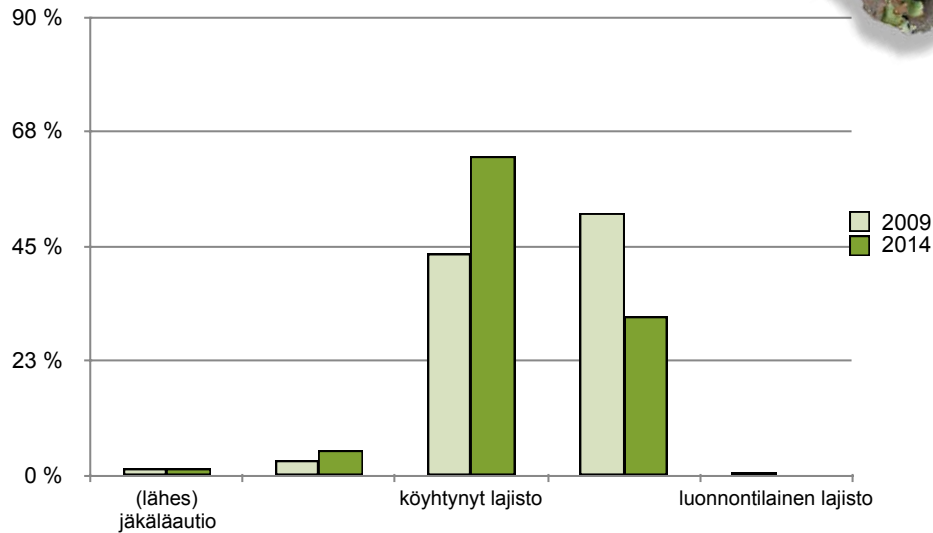
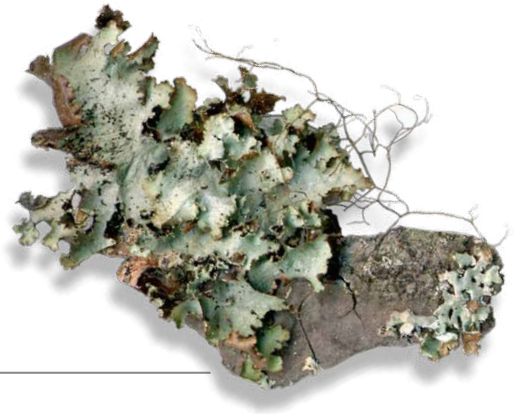
Tabell 12. Kännetecken som beskriver tallens stamlavar på de provytor, som var desamma åren 2009 och 2014. Jämförelsen mellan åren är genomförd med märketest. Nästan betydande ($p < 0,05$) testresultat har märkts med en stjärna (*), betydande ($p < 0,01$) med två (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre stjärnor (***). $n = 578$.

n = 578		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	testisuure S	p-arvo
IAP-indeksi	2009	2,0	0,51	0,2	3,2	501	0,000 ***
	2014	1,7	0,49	0,1	3,0		
lajilukumäärä (alakohtainen)	2009	7,0	1,40	1	10	84	0,000 ***
	2014	6,7	1,47	1	10		
lajilukumäärä (runkokohtainen)	2009	4,7	1,16	0,2	7,2	339	0,000 ***
	2014	4,4	1,09	0,2	7,6		
sormipaisukarpeen vaurioaste	2009	2,1	0,49	1,1	4,9	167	0,000 ***
	2014	2,4	0,50	1,4	4,8		
sormipaisukarpeen peittävyys (%)	2009	4,0	3,70	0	26,5	302	0,005 **
	2014	4,7	4,60	0	37,0		
luppojen peittävyys (%)	2009	0,01	0,06	0	0,5	77	0,005 **
	2014	0,04	0,21	0	4,0		
levän yleisyys	2009	3,9	3,60	0	10	289	0,012 *
	2014	4,3	3,16	0	10		

Kuvissa 50 ja 51 on esitetty havaintoalojen jakaantuminen luokkiin sormipaisukarpeen vaurioasteen ja IAP-indeksin mukaan vuosina 2009 ja 2014. Sormipaisukarpeen vaurioasteen terve ja lievästi vaurioitunut luokka ovat pienentyneet vuoteen 2009 verrattuna, ja selvän vaurion luokka selvästi kasvanut. IAP-indeksin jäkäläaution luokka on pysynyt samalla tasolla, köyhtyneiden lajistojen luokat ovat kasvaneet vuodesta 2009 vuoteen 2014, ja lievästi muuttuneen ja luonnontilaisen lajiston luokat pienentyneet.

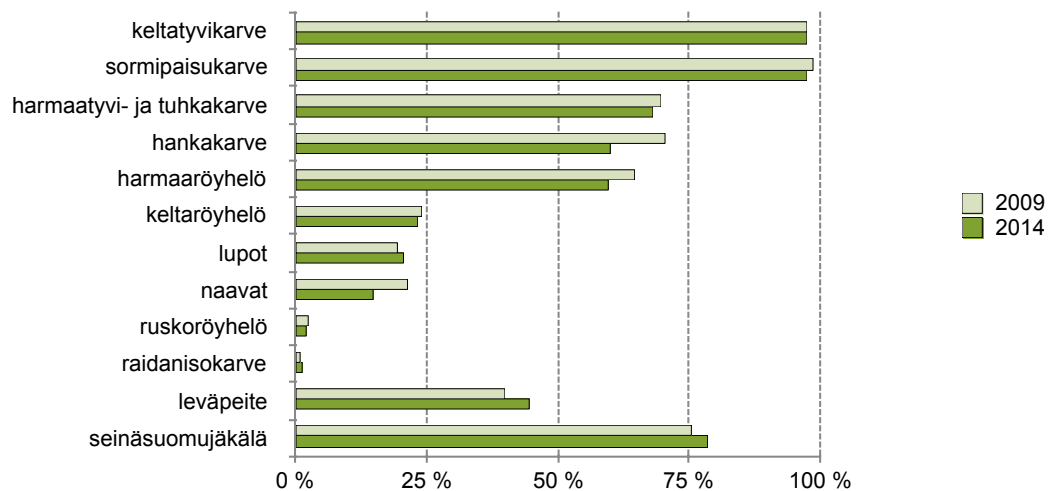


Kuva 50. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna sormipaisukarpeen vaurioasteen mukaan vuosina 2009 ja 2014. $n = 578$.
Figur 50. Provytor, som var desamma åren 2009 och 2014, klassificerade enligt blåslavens skadeklasser. $n = 578$.



Kuva 51. Samana pysyneet havaintoalat luokiteltuna IAP-indeksin arvon mukaan vuosina 2009 ja 2014. n = 578.
Figur 51. Provytor, som var desamma åren 2009 och 2014, klassificerade enligt IAP-indexets värden. n = 578.

Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit samana pysyneillä rungoilla vuosina 2009–2014 on esitetty kuvassa 52. Runsaus oli kasvanut luppojen, seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen osalta vuodesta 2009 vuoteen 2014. Keltatyvikarpeen runsaus sekä raidanisokarpeen vähät esiintymät olivat pysyneet samalla tasolla, ja muiden lajien esiintyminen oli vähentynyt. Kaikkein selvimmin runsauden väheneminen näkyi hankakarpeen, harmaaröyhelön ja naavojen kohdalla. Kaikkien muiden lajien paitsi keltatyvikarpeen, harmaa- ja tuhkatyvikarpeen sekä keltaröyhelön runsauden muutos vuodesta 2009 vuoteen 2014 oli tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 52. Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit vuosina 2009 ja 2014 samoina pysyneillä rungoilla. n = 6488.
Figur 52. Lavarternas förekomstfrekvenser åren 2009 och 2014 på samma stammar. n = 6488.

6.1.2. Vertailu vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 välillä

Vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 välinen vertailu koskee läntistä Uuttamaata sekä itäiseltä Uudeltamaalta Porvoota, Loviisan aluetta ennen kuntaliitoksia ja Ruotsinpyhtään aluetta. Jäkälätunnukset samana pysyneiltä havaintoaloilta näiltä alueilta eri vuosina on esitetty taulukossa 13.

Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja eri tutkimusvuosina ja vuosien väliset tilastolliset vertailut on esitetty liitteessä 24. Seuranta-ajanjakson 2000–2014 aikana keskimääräinen ilmanpuhtausindeksi ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärä olivat pienimmillään vuosina 2004 ja 2014. Vuonna 2009 ne olivat lähempänä vuoden 2000 parempaa tasoa.

Sormipaisukarpeen keskimääräiset vauriot olivat suurimmillaan vuonna 2014 ja pienimmät vuonna 2000. Ero kaikkien vuosien parittaisessa vertailussa oli keskimääräiselle vaurioasteelle tilastollisesti merkitsevä. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys oli pienimmillään vuonna 2009 (3,7 %) ja suurimmillaan vuonna 2000 (6,7 %). Luppojen keskimääräinen peittävyys oli enintään 0,03 % kaikkina tutkimusvuosina, ja erityisesti vuonna 2014 alojen välinen vaihtelu oli hyvin suurta.

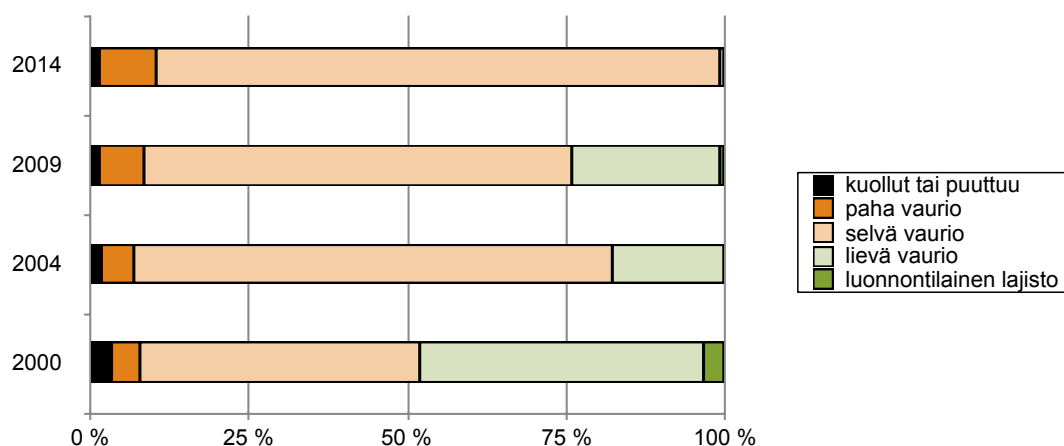
Levä on yleistynyt seurantajakson 2000–2014 aikana. Vuonna 2000 levää havaittiin keskimäärin 2,2 puulla havaintoalaa kohti, kun vuonna 2014 sitä havaittiin vähintään neljällä puulla havaintoalaa kohti. Merkitsevyyssotot ja testisuureet sekä jäkälätunnusten kehitys vuosina 2000–2014 on esitetty liitteessä 24.

Taulukko 13. Mäntyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.
Tabell 13. Kännetecken som beskriver tallens stamlavar på de provytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.

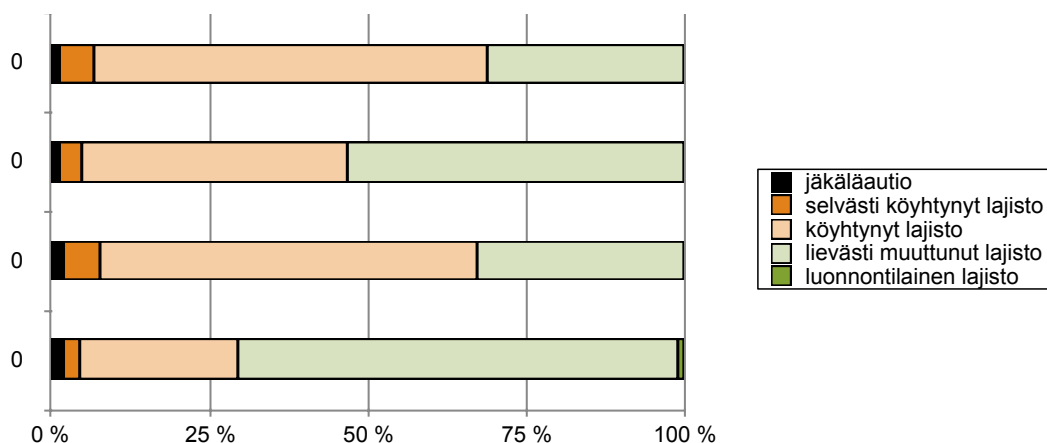
n = 486		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
IAP-indeksi	2000	2,1	0,54	0	3,2
	2004	1,8	0,49	0	2,8
	2009	2	0,51	0,2	3,1
	2014	1,7	0,48	0,1	2,8
lajilukumäärä	2000	7,1	1,42	1	10
	2004	6,7	1,45	1	10
	2009	6,9	1,42	1	10
	2014	6,6	1,45	1	9
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2	0,64	1	5
	2004	2,2	0,57	1,1	4,8
	2009	2,1	0,52	1,1	4,9
	2014	2,4	0,51	1,4	4,8
sormipaisukarpeen peittävyys (%)	2000	6,4	5,37	0	47
	2004	4,1	3,53	0	27
	2009	3,7	3,41	0	26
	2014	4,5	4,37	0	37
luppojen peittävyys (%)	2000	0,03	0,1	0	0,9
	2004	0,01	0,04	0	0,5
	2009	0,01	0,06	0	0,5
	2014	0,03	0,14	0	1,3
levän yleisyys	2000	2,2	3,01	0	10
	2004	3,8	3,63	0	10
	2009	4	3,64	0	10
	2014	4,2	3,16	0	10

Kuvissa 53 ja 54 on esitetty havaintoalojen jakaantuminen luokkiin sormipaisukarpeen vaurioasteen ja IAP-indeksin mukaan vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Sormipaisukarpeen vaurioasteen suurin luokka on jokaisena tutkimusvuonna ollut lievien vaurioiden luokka, joka oli vuonna 2009 suurimmillaan. Selvien vaurioiden luokka oli suurin vuonna 2014. Selvästi vaurioitunutta sormipaisukarvetta havaittiin myös eniten vuonna 2014. Kuolleen tai puuttuvat sormipaisukarpeen luokka oli suurin vuonna 2000. Terveen sormipaisukarpeen alojen lukumäärä on vähentynyt tutkimusvuodesta toiseen.

IAP-indeksin mukaan luokitelluista, samoina pysyneistä havaintoaloista suurin luokka oli vuosina 2000 ja 2009 lievästi muuttuneen lajiston luokka mutta tutkimusvuosina 2004 ja 2014 köyhtyneen lajiston luokka. Selvästi köyhtyneiden sekä jäkäläautioiden alojen määrässä ei ole tapahtunut kovin suuria muutoksia.

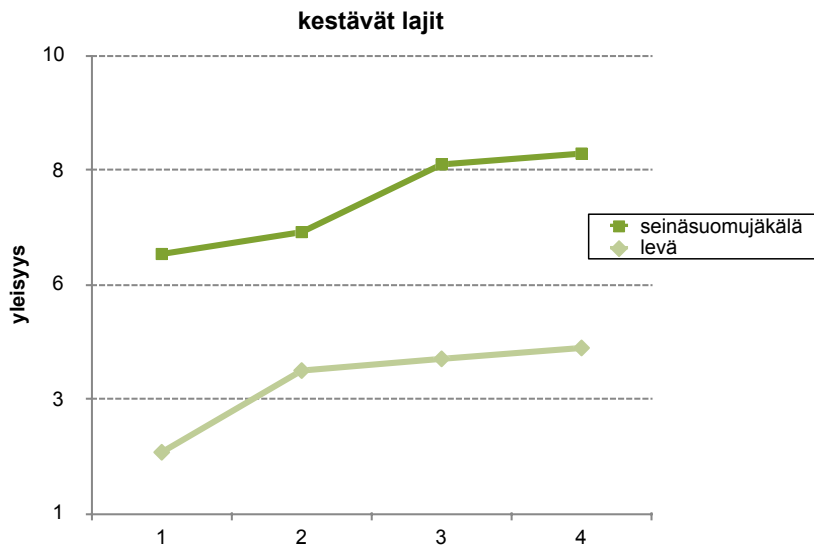


Kuva 53. Havaintoalojen jakaantuminen luokkiin sormipaisukarpeen vaurioasteen mukaan vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.
 Figur 53. Distribution av provytor i klassen baserad på blåslavens skadeklassen åren 2000, 2004, 2009 och 2014. n = 486.

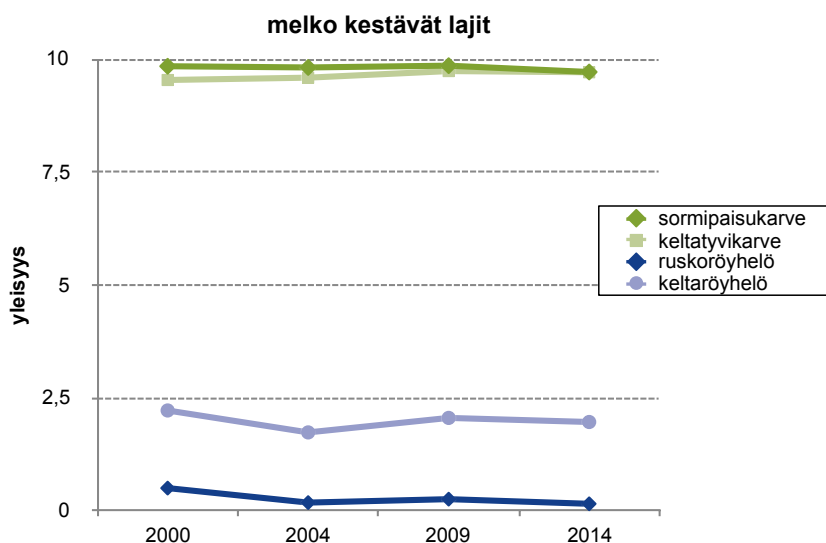


Kuva 54. Havaintoalojen jakaantuminen luokkiin IAP-indeksin mukaan vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.
 Figur 54. Distribution av provytor i klassen baserad på IAP-indexet åren 2000, 2004, 2009 och 2014. n = 486.

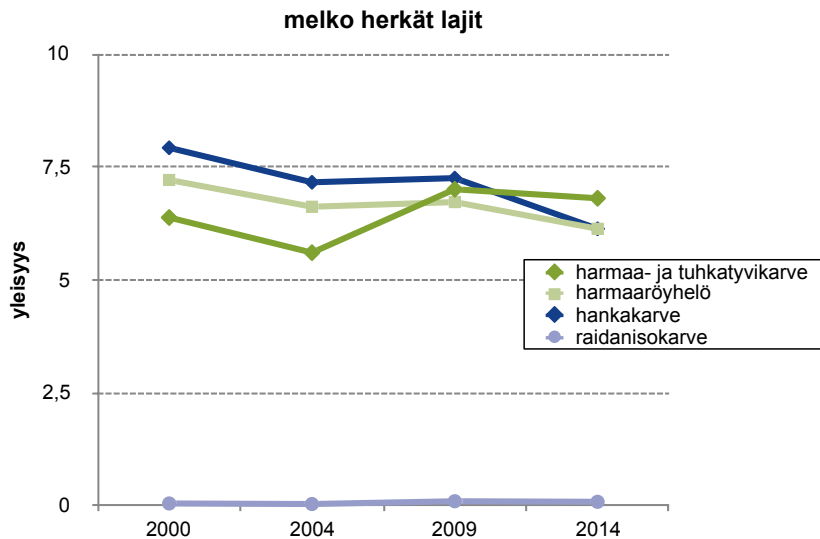
Kuvissa 55–57 on esitetty jäkälälajien keskimääräisen yleisyyden (esiintyminen 0–10 puulla alaa kohti) kehitys vuosina 2000–2014 siten, että lajit on ryhmitelty erikseen kestäviin, melko kestäviin, melko herkkiin ja herkkiin lajeihin (taulukko 4). Kestävät jäkälälajit, levä ja seinäsuomujäkälä, yleistyivät havaintoaloilla tutkimusvuosien välillä (kuva 55). Melko kestävien lajien yleisyys ei vaihdellut suuresti, mutta tilastollisesti merkittävää oli sormipaisukarpeen yleisyyden pieni väheneminen vuodesta 2009 vuoteen 2014 (kuva 56). Melko herkistä lajeista yleisyys kasvoi harmaa- ja tuhkatyvikarpeille koko havaintojakson 2000–2014 aikana. Harmaaröyhelö ja hankakarve harvinaistuivat tutkimusjakson aikana (kuva 57). Ilmansaasteille hyvin herkät lupot ja naavat ovat harvinaistuneet vuodesta 2000 alkaen, mutta luppojen yleisyys ei ole pienentynyt vuoden 2009 jälkeen (kuva 58).



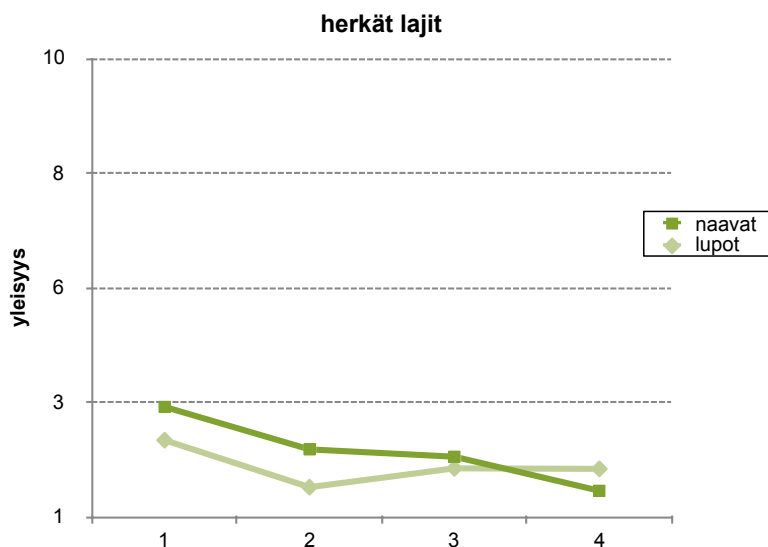
Kuva 55. Kestävien jäkälälajien (ks. taulukko 4) keskimääräinen esiintyminen Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.
 Figur 55. Genomsnittlig förekomst av uthålliga lavararter på provtytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 och 2014. n = 486.



Kuva 56. Melko kestävien jäkälälajien (ks. taulukko 4) keskimääräinen esiintyminen Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.
 Figur 56. Genomsnittlig förekomst av relativt uthålliga lavararter på provtytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 och 2014. n = 486.



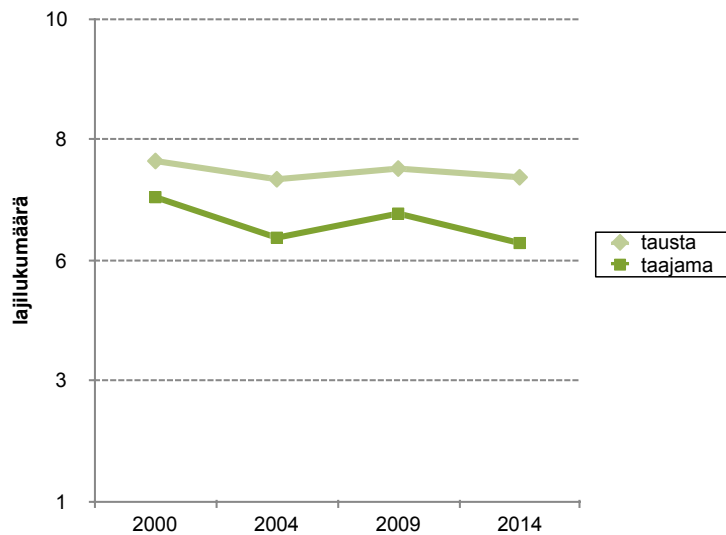
Kuva 57. Melko herkkien jäkälälajien (ks. taulukko 4) keskimääräinen esiintyminen Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.
 Figur 57. Genomsnittlig förekomst av relativt känsliga lavararter på provtytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 och 2014. n = 486.



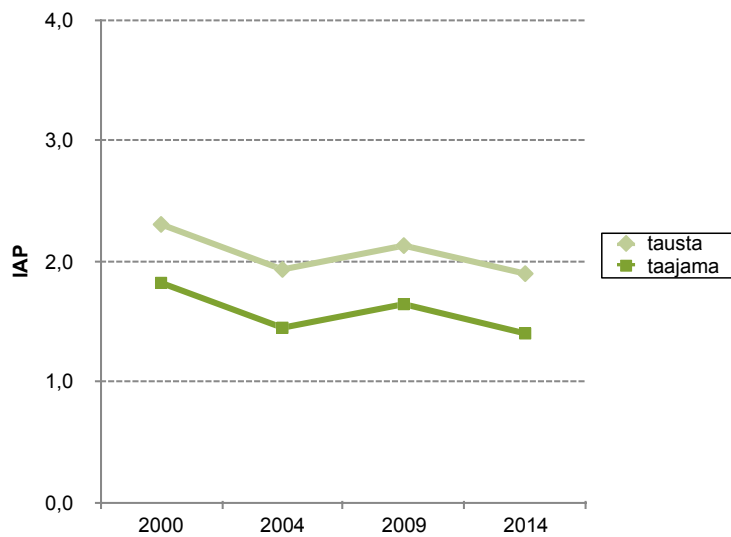
Kuva 58. Herkkien jäkälälajien (ks. taulukko 4) keskimääräinen esiintyminen Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. n = 486.
 Figur 58. Genomsnittlig förekomst av känsliga lavararter på provtytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 och 2014. n = 486.

6.1.3. Vertailu vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 välillä tausta- ja taajama-aloilla

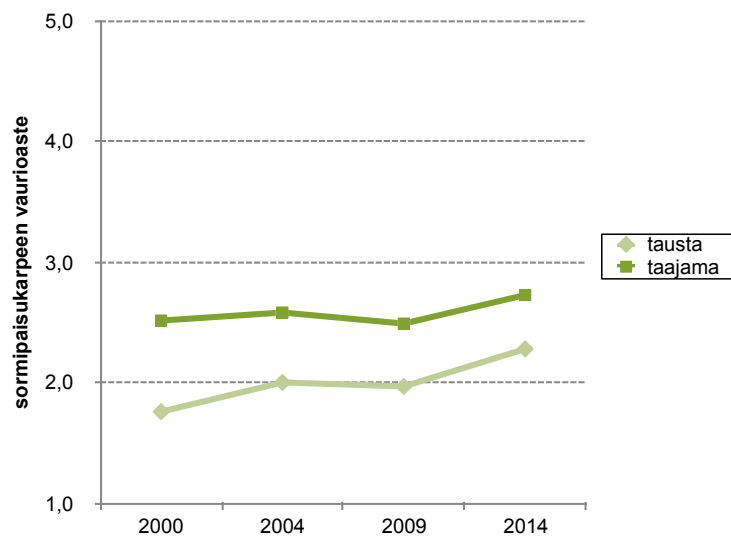
Keskimääräiset ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärät ja ilmanpuhtausindeksin arvot vaihtelivat samalla tavalla sekä tausta- että taajama-aloilla kaikkina vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Lajilukumäärä oli suurimmallaan vuonna 2000 ja pienimmillään vuonna 2014 sekä tausta- että taajama-aloilla (kuvat 59 ja 60). Jäkälälajisto oli kaikkina tutkimusvuosina köyhtyneempää taajama-aloilla kuin tausta-aloilla. Sormipaisukarpeen keskimääräiset vauriot olivat puolestaan suunnilleen samalla tasolla vuosina 2000–2009, mutta vuonna 2014 vauriot olivat selvästi suurempia sekä taajama- että tausta-aloilla. Vauriot olivat lievempiä tausta-aloilla kaikkina tutkimusvuosina (kuva 60).



Kuva 59. Lajilukumäärän keskiarvot taajama- ja tausta-aloittain samoina pysyneillä aloilla tutkimusvuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014.
 Figur 59. Genomsnittliga artmängder i tätorterna och bakgrundsområdena på provtytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 och 2014.



Kuva 60. Ilmanpuhtausindeksin keskiarvot taajama- ja tausta-aloittain samoina pysyneillä aloilla tutkimusvuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014.
 Figur 60. Genomsnittliga IAP-index i tätorterna och bakgrundsområdena på provtytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 och 2014.



Kuva 61. Sormipaisukarpeen vaurioasteen keskiarvot taajama- ja tausta-aloittain samoina pysyneillä aloilla tutkimusvuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014.
 Figur 61. Blåslavens genomsnittliga skadeklasser i tätorterna och bakgrundsområdena på provtytor, som var desamma åren 2000, 2004, 2009 och 2014.

6.2 Kuntakohtainen vertailu ja Suomessa aiemmin tehdyt tutkimukset

Tässä tutkimuksessa sormipaisukarpeen keskimääräiset vauriot olivat suurimmat vertailussa mukana olleista selvityksistä. Toiseksi suurin vaurioaste oli vuonna 2005 Etelä-Karjalassa. IAP-indeksi oli yhtä suuri kuin Länsi-Suomessa vuonna 2006 ja suurempi kuin Turussa vuonna 2005. Herkkien lajien lukumäärä oli tätä tutkimusta suurempi ainoastaan Pohjois-Karjalassa 2010. Likimain sama määrä herkkiä lajeja havaittiin Pyhäjärvisuudulla 2007. (Taulukko 14.)

Lajisto on monipuolisinta tutkimusalueen kunnista Loviisassa. Myös Inkoossa, Karkkilassa, Siuntiossa, Tuusulassa ja Vihdissä on herkkien lajien lukumäärä keskimäärin yli 7,0. Sormipaisukarve on terveintä Karkkilan, Lohjan ja Mäntsälän havaintoaloilla. Pääkaupunkiseudulla, Keravalla ja Tuusulassa havaittiin suurimmat sormipaisukarpeen vauriot ja vähiten lajeja. (Taulukko 15.)

Taulukko 14. Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavia muuttujia Uudenmaan alueen bioindikaattoritutkimuksessa 2014 sekä aikaisemmin eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2007, Haahla ym. 2006a, Haahla ym. 2006b.

Tabell 14. Kännetecken som beskriver tallarnas stamlavar i bioindikatoruppföljningar i Nyland och undersökningar utförda tidigare andra delar av Finland. Resultaten från källorna Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2007, Haahla ym. 2006a, Haahla ym. 2006b.

alue	N	tutkimusvuosi	sormipaisukarpeen vaurioaste	IAP	lajilukumäärä / puu
Uusimaa	734	2014	2,5	1,7	5,6
Etelä-Karjala	263	2012	2,1	2,1	4,9
Pohjois-Karjala	300	2010	1,9	2,7	6,7
Uusimaa	776	2009	2,1	2,0	4,7
Pyhäjärvisuutu	98	2007	2,1	2,3	5,3
Vakka-Suomi	103	2006	2,1	2,2	5,1
Länsi-Suomi	398	2006	2,1	1,7	4,1
Turku	145	2005	2,2	1,5	3,6
Keski-Suomi	492	2005	2,0	2,4	
Etelä-Karjala	240	2005	2,3	2,0	

Taulukko 15. Keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste, lajilukumäärä ja IAP-indeksi Uudenmaan tutkimuskunnissa sekä koko tutkimusalueella.

Tabell 15. Blåslavens skadeklass, artantal och IAP-index i Nylands forskningskommuner och i hela forskningsområdet.

kunta	sormipaisukarpeen vaurioaste	herkkien lajien lukumäärä	IAP
Espoo	2,6	5,6	1,4
Hanko	2,4	6,7	1,7
Helsinki	3,3	4,3	0,9
Hyvinkää	2,4	6,7	1,8
Inkoo	2,4	7,2	1,8
Järvenpää	2,4	6,5	1,6
Karkkila	2,0	7,1	1,9
Kauniainen	2,5	5,0	1,7
Kerava	3,0	6,3	1,4
Kirkkonummi	2,5	6,8	1,8
Lapinjärvi	2,6	6,5	1,7
Lohja	2,2	6,7	1,8
Loviisa	2,5	7,5	2,0
Mäntsälä	2,2	6,8	1,8
Nurmijärvi	2,5	6,9	1,7
Porvoo	2,5	6,9	1,8
Raasepori	2,3	6,7	1,9
Sipoo	2,5	6,3	1,7
Siuntio	2,4	7,2	1,9
Tuusula	2,6	7,1	1,8
Vantaa	2,9	5,7	1,4
Vihti	2,3	7,2	1,9
Koko tutkimusalue	2,5	6,7	1,7



7. Johtopäätökset

Ilmanlaatua ja sen kehittymistä on Uudenmaan kunnissa seurattu bioindikaattorimenetelmin 1980-luvulta alkaen, ja 2000-luvun alusta seuranta on toteutettu yhdennetyn seurantaohjelman mukaisesti. Vuonna 2014 seuranta toteutettiin lähes koko Uudenmaan maakunnan laajuudessa. Seurannassa käytettiin ilman epäpuhtauksiin ilmentäjinä mäntyjen epifyyttijäkälä. Tutkimusalue on yli 1,5 miljoonalla asukkaallaan Suomen väkirikkainta seutua, ja alueen ilman epäpuhtauksien päästöt muodostuvat pääosin energiantuotannosta, teollisuudesta ja liikenteestä. Maaseutualueilla myös maataloustoiminnoilla on paikallisia ilmanlaatuvaikutuksia.

Tutkimusalueen päästömäärät ovat laskeneet selvästi 1980- ja 1990-luvun jälkeen mutta 2000-luvulla päästöt eivät ole enää pienentyneet, ja päästömääriin ovat vaikuttaneet lähinnä tuotannon intensiteetti sekä kulutus, esim. energiantuotantoon vaikuttavat tekijät ja liikenteen kehitys; liikennemäärät ovat kasvaneet. Samalla tarkasteltujen epäpuhtauksien päästöt ovat liikenteen osalta vähentyneet.

Myös ilmasta mitattujen epäpuhtauksien pitoisuudet sekä laskeumat ovat laskeneet 2000-luvulle tultaessa selvästi verrattuna 1980- ja 1990-lukuihin. Typen oksidien ja hiukkasten päästöt ovat kasvaneet Uudellamaalla 2000-luvun alkupuoliskon, ja lähteneet vuosien 2003 ja 2004 jälkeen vähentymään. Rikkidioksidipäästöt olivat 2000-luvulla suurimmillaan vuonna 2003, jonka jälkeen vuosittaiset päästömäärät ovat vaihdelleet. Tutkimusalueen suurimmat päästölähteet sijaitsevat pääkaupunkiseudulla, Porvoossa ja Inkoossa. Länsi-Uudellamaalla on jonkin verran pieniä lupavelvollisia laitoksia, kun taas Itä-Uudellamaalla on Porvoon Kilpilahtea lukuun ottamatta varsin vähän lupavelvollisia päästölähteitä. Alueen vilkkaimmin liikennöidyt tiet ovat kehäylyt pääkaupunkiseudulla sekä valtatie 1, 3, 4 ja 6.

Vuonna 2014 terveintä sormipaisukarvetta kasvoi Karkkilassa (vaurioaste 2,0), kun taas pahiten vaurioitunut se oli Helsingissä (vaurioaste 3,3). Ilmanpuhtausindeksin ja lajilukumäärän perusteella monipuolisinta ja luonnontilaisinta jäkälälajisto oli Loviisan alueella (IAP 2,0), mutta myös Vihdissä, Karkkilassa, Raaseporissa, ja Siuntiossa (IAP 1,9) oli yleiseen tasoon verrattuna melko hyvä tilanne.

Sormipaisukarve oli tervettä vain kuudella havaintoalalla, jotka sijaitsivat Lohjalla, Nurmijärvellä ja Vihdissä. Muualla sormipaisukarpeen vauriot olivat vähintään lieviä tai selviä. Lievästi vaurioituneen sormipaisukarpeen (vaurioaste 1,5–2,0) alueita esiintyi Lohjan pohjoisosissa, Karkkilassa, Vihdissä, Hankoniemellä, Mäntsälässä ja Ruotsinpyhtäällä Loviisassa.

Tilastollisessa tarkastelussa ilman rikkidioksidipitoisuudella ei ollut merkitsevää yhteyttä sormipaisukarpeen vaurioasteeseen kun taas typpidioksidipitoisuudella oli. Suurin mallinnettu typpidioksidin pitoisuus oli Helsingin kantakaupungissa, jossa oli myös suuret sormipaisukarpeen vauriot. Jäkäläyhteisöä kuvaavat tunnuksat (IAP-indeksi ja lajilukumäärä sekä yleinen vaurioaste) ja sormipaisukarpeen vaurioita kuvaavat tunnuksat eivät vaihdelleet tutkimusalueella täysin samankaltaisesti, mutta muuttujia on pidettävä ensisijaisesti toisiaan täydentävinä ilmanlaadun kuvaajina.

Tulosten tilastollinen tarkastelu osoitti, että ilman epäpuhtaudet vaikuttavat merkittävästi useisiin tarkastelluista jäkälämuuttujista. Suurin vaikutus jäkälämuuttujiin oli etäisyydellä lähimpään lupavelvolliseen päästölähteeseen. Parhaiten ilman epäpuhtauksia indikoivat IAP-indeksi sekä lajilukumäärä. Tilastoanalyysissä huomiointiin etäisyys lähimpään lupavelvolliseen päästölähteeseen, mutta liikenteen vaikutuksia ei tässä yhteydessä

tarkasteltu. Kuitenkin liikenteen vaikutukset jäkälälajistoon ovat havaittavissa mm. vertailemalla taajamissa ja tausta-alueilla sijaitsevien havaintoalojen jäkäläyhteisöjä. Jäkäläyhteisöt taajama- ja tausta-alueilla poikkesivat toisistaan melkein kaikkien ilmanlaatua kuvaavien muuttujien suhteen siten, että jäkälät taajama-aloilla olivat vaurioituneempia kuin tausta-aloilla, ja jäkälälajisto oli taajama-aloilla köyhtyneempää kuin tausta-aloilla.

Jäkäläkartoitusten tuloksia vertailtiin vuosien 1998, 2000, 2004, 2009 ja 2014 välillä. Vuosina 2004 ja 2009 jäkäläkartoitukset tehtiin koko Uudenmaan alueella, mutta vuonna 2000 kartoituksessa oli mukana läntinen Uusimaa ja Itä-Uudeltamaalta vain yksittäisiä kuntia, ja vuoden 1998 tulokset koskevat ainoastaan läntistä ja keskistä Uttamaata. Neljä itäisen Uudenmaan kuntaa ei ollut mukana vuoden 2014 tutkimuksessa.

Ilman epäpuhtauksista kärsivät jäkälät harvinaistuivat vuodesta 2009 vuoteen 2014. Samalla aikavälillä ilmanpuhtausindeksi pieneni, sormipaisukarpeen vaurioaste kasvoi ja levä yleisty. Nämä kaikki ovat merkkejä ilmanlaadun heikentymisestä. Ilmanlaadun parantumista jäkälätunnukset osoittivat vain joillain yksittäisillä paikoilla kuten Hankoniemellä. Herkkien ja melko herkkien lajien esiintyminen on harvinaistunut tarkkailuvuosien aikana, vaikkakin luppojen sekä harmaa- ja tuhkatyvikarpeen yleisyys ei olekaan enää vähentynyt vuodesta 2009. Kestävät, ilman epäpuhtauksista hyötyvät lajit levä ja seinäsuomujäkälä ovat yleistyneet tarkastelujakson aikana 2000–2014.

Selvin jäkälälajiston ja jäkälien kunnon muutosalue kaikkina tutkimusvuosina on ollut Helsingissä. Helsingin sormipaisukarpeen vauriot ovat pahentuneet vuonna 2014 vuoden 2004 tasolle, vaikka jäkälälajien lukumäärä onkin kasvanut. Muista selvästi lajistonsa ja jäkälien kunnon osalta muuttuneita alueita on ollut Lohjan taajamissa, Porvoossa, Inkoossa ja Hyvinkäällä. Pieniä vaurioituneita alueita on havaittu myös tutkimusalueen muissa osissa, mutta vaurioiden sijoittuminen ja niiden taso ovat vaihdelleet vuosien välillä.

Kokonaisuutena jäkälävauriot eivät keskittyneet erityisen selvästi kuormitetuille alueille. Lievät ja selvätkin vauriot ovat yleistyneet maaseudulla. Kaikkein pahimmat vauriot havaittiin kuitenkin kaupungeissa ja teollisuuslaitosten läheisyydessä. Luonnontilaista jäkälälajistoa havaittiin vain hyvin pienellä alueella Lohjan pohjoisosassa ja parissa yksittäisessä paikassa. Vaikka lajilukumäärä olisikin melko suuri, voivat jäkälien vauriot olla huomattavan suuria. Taantumista on tapahtunut vuoden 2009 jälkeen erityisesti tausta-aloilla. Rikkidioksidin ja typpidioksidin päästöt tutkimusalueella eivät ole käytännössä pienentyneet vuoden 2008 jälkeen. Tämän perusteella jäkälillä ei ole ollut mahdollisuutta toipua aikaisemmasta kuormituksesta.

Uudenmaan bioindikaattoriseurannan taajama- ja tausta-alueilla havaittiin selviä eroja kaikkien ilmanlaatua kuvaavien jäkälämuuttujien välillä, erityisesti IAP-indeksin ja lajilukumäärän osalta. Selvästi muuttuneinta jäkälälajisto oli kokonaiskuvaltaan tutkimusvuosien aikana vuonna 2014. IAP-indeksin ja lajilukumäärän perusteella vuodet 2004 ja 2014 olivat samalla tasolla, mutta sormipaisukarpeen vaurioaste oli vuonna 2014 selvästi suurin tutkimusjakson aikana.

8. Lähteet

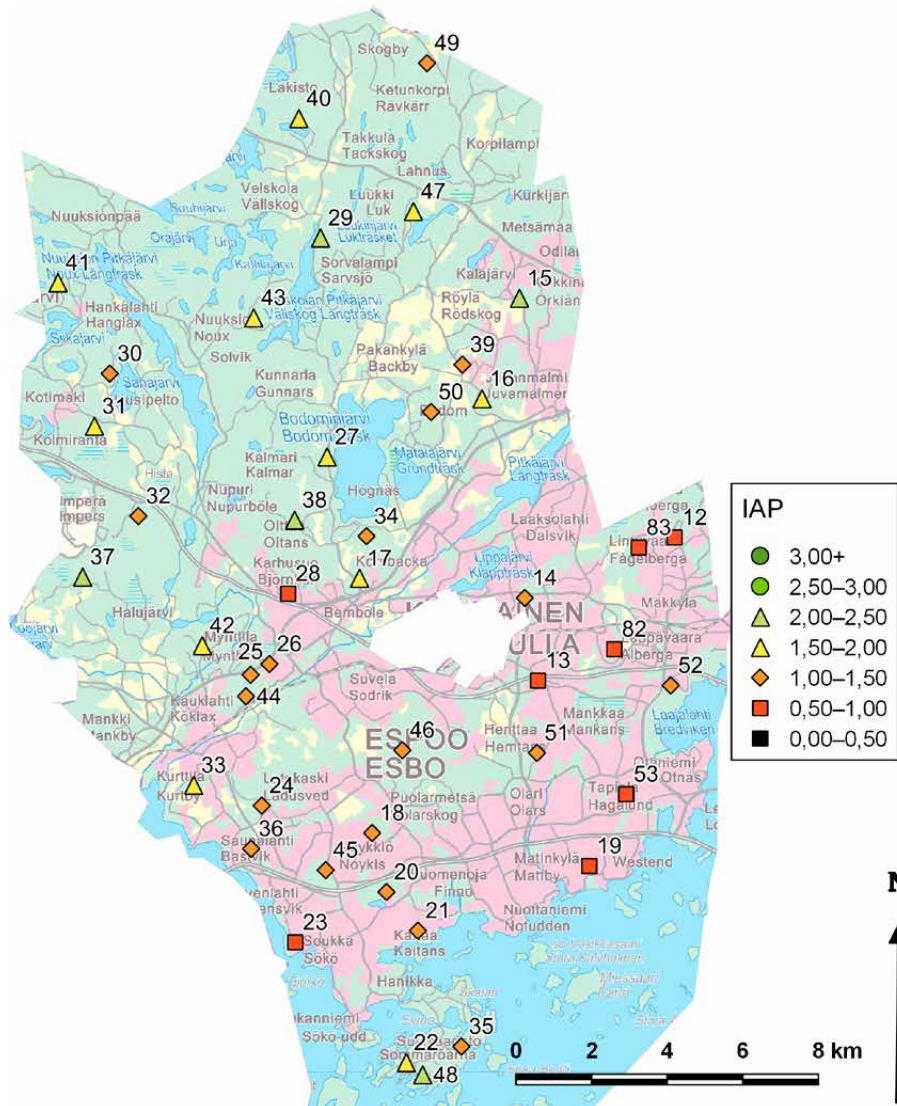
- Airola, H. & Soininen, J. 2000. Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä: tarkkailuohjelma Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueelle. Uudenmaan ympäristökeskus, monisteita nro 66. Helsinki. ISBN 952-5237-48-6.
- Anttonen, T. 1990. Laskeuman ravinteiden vaikutus sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) kasvuun. Kuopion yliopisto, ekologisen ympäristöhygienian laitos. Opinnäytetutkimus.
- EEA 2014: AirBase - The European air quality database. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/ds_resolveuid/3c756b2021754f6bba40447397d67fdf . Vierailtu 5/2015.
- ELY 2014: Uudenmaan lupavelvollisten laitosten päästötiedot vuosilta 1995-2013. Uudenmaan ELY-keskus. Kirjallinen tiedonanto 11/2014.
- Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9): 1–42.
- Gombert ym. 2004: Gombert, S., Asta, J. & Seaward M. R. D., Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). *Sci. Tot. Env.* 2004, 324 (1–3), 183–199.
- 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. 2003b. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2005-2006. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 161. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. ISBN 951-40-1270-4.
- Huttunen, S. 1988. Porvoon seudun metsät. Bioindikaattoritutkimus vuosina 1985-1986. Oulun yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita nro 32. ISSN 0357-7805.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. & Ellonen, E. 2009. Pyhäjärvisuon ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007-2008. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E., Keskitalo, T. & Laita, M. 2010. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Edita, Helsinki. ISBN 978-952-257-018-5 (painettu).
- Ilmatieteen laitos 2015: Ilmatieteen laitoksen avointa dataa. Lisenssi: Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen (CC 4.0). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>. Haettu 5.5.2015.
- Jussila, I., Joensuu, E. & Laiho, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki. ISBN 1238-8602.
- 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. ja 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., ja 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., ja 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.
- LIISA 2012 -laskentajärjestelmä. 2014. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/kunnat2.htm>. [Tiedot tallennettu 10/2014]
- 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.
- Manninen, S., Lamppu, J., Rautio, P. & Osmo, J. 1990. Porvoon seudun metsien seurantaohjelma. Ympäristöinstituutti, li. Tutkimusraportti 9/1990.
- McCune B. & Grace J. 2002. Analysis of Ecological Communities. With a contribution from Dean L. Urban. MjM Software Design, Oregon, USA. 300 s.
- McCune, B. & Mefford, M.J. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.

- Mäkinen A., Luhtala R. & Ruuhijärvi R. 1992. Ilman epäpuhtauksien vaikutus Tuusulan, Järvenpään ja Keravan metsiin. Bioindikaattoriseuranta vuonna 1991. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitos.
- Niemi, J., Malkki, M., Myllynen, M., Lounasheimo J., Kousa, A., Julkunen, A., Koskentalo, T. 2009. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2008. YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. YTV:n julkaisuja 15/2009. ISBN (pdf) 978-951-798-749-3. ISSN 1796-6965.
- Niskanen, I. & Witick, A. 1992. Porvoon seudun metsien bioindikaattoriseuranta 1991-1992. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Jyväskylä 1992.
- Niskanen, I. 1995. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11. ISSN 0357-5454.
- Niskanen, I. & Veijola, H. 1996. Pohjan, Tammisaaren, Inkoon, Siuntion, Vihdin, Kirkkonummen, Karjalohjan, Nummi-Pusulan, Sammatin, Karjaan ja Hangon bioindikaattoritutkimukset vuonna 1995. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Niskanen, I., Veijola, H. ja Ellonen, T. 1996. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1996. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 17.
- Niskanen, I. & Ellonen, T. 1998. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1998. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11. ISSN 0357-5454.
- Niskanen, I., Ellonen, T., Nousiainen, O., Hilli, M., Somppi, K. & Veijola, H. 1999. Länsi-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1998. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 128/1999.
- Niskanen, I., Ellonen, T. ja 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. ja 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. ja Laitakari, V. 2003b. Kotkan kaupungin ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2002. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 155. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. ISBN 951-39-1438-0.
- Oksanen, J., Guillaume, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Wagner, H. 2014. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.2-1. <http://cran.r-project.org/>, <http://vegan.r-forge.r-project.org/>. [viitattu 1/2015]
- Partanen, P. ja Veijola, H. 1996. Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. YTV, Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996:18. ISSN 0357-5454.
- Pihlström, M., Mäkinen, A., Hämekoski, K. & Ruuhijärvi, R. 1994. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta 1988-1993. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1994:9. ISSN 0357-5454.
- Pihlström, M. & Myllyvirta, T. 1995. Ilman epäpuhtauksien leviämisen- ja vaikutustutkimus Itä-Uudellamaalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa 1994-1995. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry, Porvoo. Tutkimusraportti.
- Pihlström, M. & Myllyvirta, T. 2001. Ilman epäpuhtauksien leviäminen ja vaikutukset metsiin vuosina 1999-2000 Itä-Uudellamaalla, Päijät-Hämeessä, Kymilaaksossa ja osassa Keski-Suomen kuntia. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry, Porvoo. Tutkimusraportti.
- Polojärvi, K., Niskanen, I., Haahla, A. ja Ellonen, T. 2005a. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuosina 2004 ja 2005. Alueelliset ympäristöjulkaisut 385. Uudenmaan ympäristökeskus. ISBN 952-11-1984-5.
- Polojärvi, K., Niskanen, I., Haahla, A. ja Ellonen, T. 2005b. Mittaustarkkuus mäntyjen runkojäkälistön ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioiden havainnoinnissa. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 89/2005.
- R 2014: R Development Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- Ranta, E., Rita, H. ja Kouki, J. 1989. Biometria. Helsinki, Yliopistopaino, 569 s. ISBN 951-570-032-9.
- Ruuhijärvi, R., Mäkinen, A., Pihlström, M. & Hiironniemi, K. 1988. Suunnitelma ilman epäpuhtauksien seurannaksi pääkaupunkiseudulla bioindikaattorien avulla. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1988: 5.
- Salmi, T. 2009. Utön ja Virolahden tausta-asemien laskeuma- ja pitoisuustietoja. I Imatieteen laitos. Kirjallinen tiedonanto 11/2009.
- SFS 5670. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. (1990). Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- Uudenmaan ympäristökeskus. 28.4.2009. Ympäristön tila Uudellamaalla. www.ymparisto.fi > Uusimaa > Ympäristön tila. [viitattu 10/2009]

Liite 1.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Espoon kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Esbo stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Espoon kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Esbo stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Espoon kaupungin alueella sijaitti 44 havaintoalaa, joista 31 sijaitti taajama-alueilla ja loput 13 tausta-alueilla. Sormipaisukarpeen vauriot olivat Espoossa keskimäärin selviä ja jonkin verran suurempia kuin tutkimusalueella keskimäärin. Ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkälälajeja esiintyi Espoossa vähemmän kuin tutkimusalueella kokonaisuutena, ja pääpiirteissään Espoon jäkälälajisto on luokiteltavissa selvästi köyhtyneeksi kun koko tutkimusalueen lajisto on lievästi köyhtynyt. (Taulukko 1.) Selvimät muutokset jäkälälajistossa havaittiin taajaan asutuilla alueilla. Yhteensä 23 alalla sormipaisukarpeen vauriot olivat vähintään selviä ja kahdella näistä pahoja.

Lopuilla 21 alalla sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta, eikä se ollut tervettä millään havaintoalalla. Ilman epäpuhtauksista kärsiviä lajeja havaittiin 8 (luonnontilainen lajisto) yhteensä kuudella havaintoalalla, jotka sijaittivat Röylässä, Oittaalla, Nöykkiössä ja itäisessä Espoossa. Yhdellä alalla Tapiolassa havaittiin vain kaksi tällaista lajia. (Taulukko 1)

Ilmanpuhtausindeksin arvot ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä ovat pienentyneet Espoossa vuodesta 2000 vuoteen 2014. Vuosien 2004 ja 2009 välillä indeksin muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Sormipaisukarpeen vaurioaste on tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin aikaisempina tutkimusvuosina (Taulukko 2.). Edelliseen tutkimukseen vuonna 2009 verrattuna Espoossa on jäkälälajisto köyhtynyt ja jäkälän vauriot pahentuneet. Pohjois- ja Keski-Espoossa on jäkälälajien lukumäärän perusteella lajisto kuitenkin enintään lievästi köyhtynyttä.

I Esbo stad fanns 44 observationsytor, varav 31 var belägna i tätorter och 13 i bakgrundsområden. I Esbo var blåslavens skador i genomsnitt tydliga och en aning större än genomsnittet i undersökningsområdet. Det förekom färre lavararter som tar skada av luftföroreningar i Esbo än i hela undersökningsområdet, och generellt sett kan lavarterna i Esbo klassificeras som tydligt utarmade medan arterna i hela undersökningsområdet är lätt utarmade. (Tabell 1.) De tydligaste förändringarna i lavarterna observerades i tätt bebodda områden. På sammanlagt 23 ytor var blåslavens skador minst tydliga och på två av dessa allvarliga. På de återstående 21 ytorna var blåslaven lätt skadad, och den var inte frisk på någon av observationsytorna. Man observerade åtta arter som tar skada av luftföroreningar (arter i naturtillstånd) på sammanlagt sex observationsytor, som låg i Rödskog, Oitans, Nöykis och östra Esbo. På en yta i Hagalund observerades endast två arter av detta slag. (Tabell 1.)

Värdena för indexet för luftens renhet och antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar hade från 2000 till 2014 minskat i Esbo. Mellan 2004 och 2009 var indexförändringen inte av statistisk betydelse. I denna undersökning är blåslavens skadeklass av statistiskt större betydelse än under tidigare undersökningsår (tabell 2). I jämförelse med föregående undersökning 2009 har lavarterna i Esbo utarmats och lavarnas skador förvärrats. I norra och mellersta Esbo är arterna dock högst lätt utarmade om man utgår från antalet lavararter.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Espoon kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Esbo stads område och hela undersökningsområdet.

Espoo, n = 44	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	0,49	1,7	3,8
lajilukumäärä	5,6	1,48	2	8
ilmanpuhtausindeksi	1,4	0,43	0,5	2,3
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarpeen vaurioastetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Espoon kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. 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 (***).

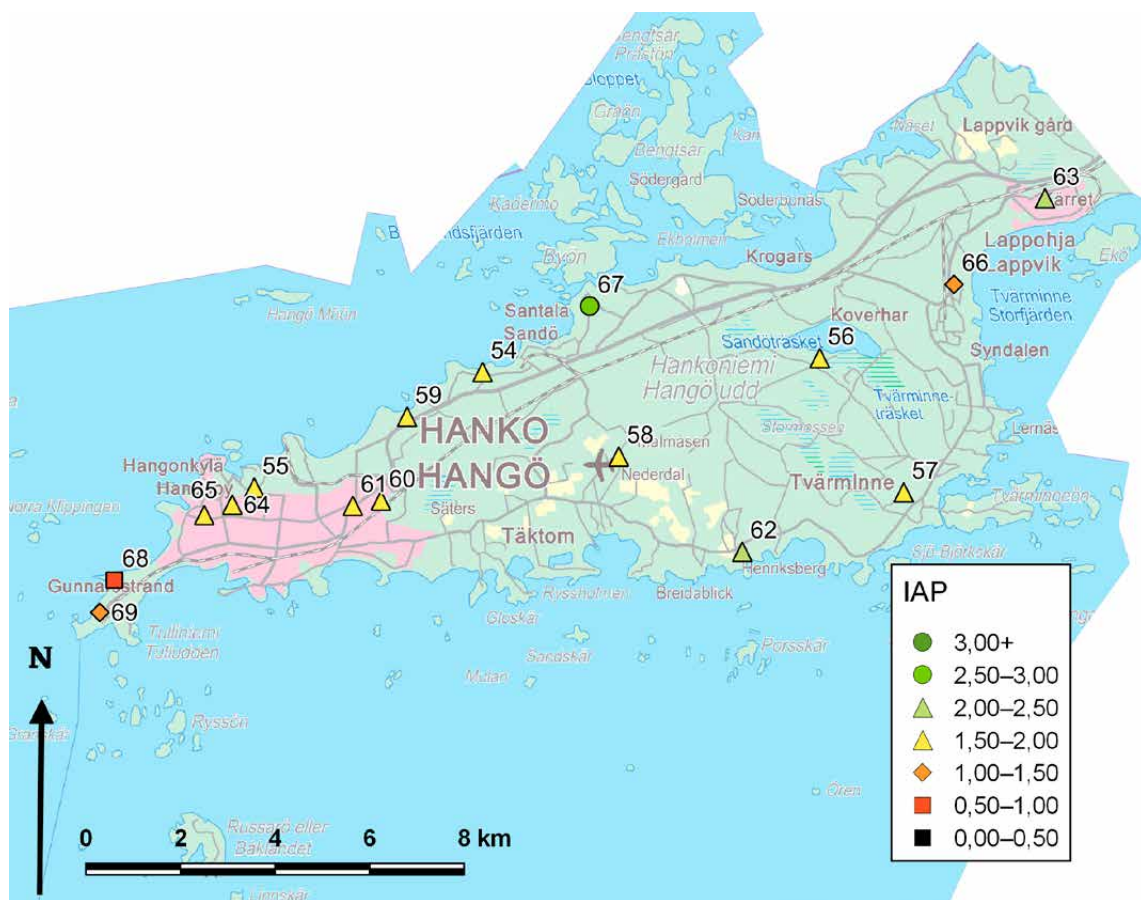
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavarter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på de oförändrade observationsytorna i Esbo åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

Espoo, pysyneet, n = 39		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,2	0,51	1,4	3,7	0,377
	2004	2,2	0,42	1,5	3,4	
	2000	2,2	0,51	1,4	3,7	0,065
	2009	2,3	0,39	1,6	3,4	
	2000	2,2	0,51	1,4	3,7	0,000***
	2014	2,5	0,48	1,6	3,8	
	2004	2,2	0,42	1,5	3,4	0,099
	2009	2,3	0,39	1,6	3,4	
	2004	2,2	0,42	1,5	3,4	0,000***
	2014	2,5	0,48	1,6	3,8	
	2009	2,3	0,39	1,6	3,4	0,000***
	2014	2,5	0,48	1,6	3,8	
lajilukumäärä	2000	7,2	1,54	2,0	10,0	0,001**
	2004	6,5	1,27	2,0	9,0	
	2000	7,2	1,54	2,0	10,0	0,008**
	2009	6,3	1,52	2,0	9,0	
	2000	7,2	1,54	2,0	10,0	0,000***
	2014	5,7	1,41	2,0	8,0	
	2004	6,5	1,27	2,0	9,0	0,327
	2009	6,3	1,52	2,0	9,0	
	2004	6,5	1,27	2,0	9,0	0,001**
	2014	5,7	1,41	2,0	8,0	
	2009	6,3	1,52	2,0	9,0	0,009**
	2014	5,7	1,41	2,0	8,0	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,1	0,54	0,7	2,9	0,000***
	2004	1,7	0,47	0,5	2,3	
	2000	2,1	0,54	0,7	2,9	0,000***
	2009	1,7	0,46	0,7	2,4	
	2000	2,1	0,54	0,7	2,9	0,000***
	2014	1,4	0,40	0,5	2,1	
	2004	1,7	0,47	0,5	2,3	0,749
	2009	1,7	0,46	0,7	2,4	
	2004	1,7	0,47	0,5	2,3	0,000***
	2014	1,4	0,40	0,5	2,1	
	2009	1,7	0,46	0,7	2,4	0,000***
	2014	1,4	0,40	0,5	2,1	

Liite 2.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Hangon kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Hangö stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Hangon kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Hangö stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Hangon kaupungin alueella sijaitsi 16 havaintoalaa, joista puolet sijaitsi taajama-alueella ja loput tausta-alueilla. Keskimääräinen ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä oli Hangossa sama kuin tutkimusalueella keskimäärin (lievästi köyhtynyt lajisto). Sormipaisukarpeen vaurioaste oli hieman pienempi (lievät vauriot) ja ilmanpuhtausindeksi hieman suurempi (köyhtynyt lajisto) kuin keskimäärin koko tutkimusalueella. Sormipaisukarve oli Hangon alueella selvästi vaurioitunutta seitsemällä havaintoalalla taajamien ja teollisuuden lähei-

sydnessä sekä lievästi vaurioitunutta muualla. Pahoja vaurioita ei havaittu mutta ei täysin tervettäkin sormipaisukarvetta. Jäkälälajisto oli selvästi köyhtynyttä yhdellä alalla Tulliniemessä, luonnontilaista yhdellä alalla Santalassa, lievästi köyhtynyttä neljällä havaintoalalla ja köyhtynyttä loppuilla kymmenellä. (Kuva 1.)

Sormipaisukarpeen vaurioaste oli samalla tasolla kuin vuosina 2000 ja 2004 mutta pienempi kuin vuonna 2009. Lajilukumäärässä tai IAP-indeksissä ei ole tapahtunut merkittävää muutosta edellisiin tutkimusvuosiin verrattuna. (Taulukko 2)

Hangon kaupungin alueen merkittävimmät rikin, typen ja hiukkasten päästölähteet, Tulliniemen lähistöllä sijaitsevat Ulko- ja Länsisatama ja Lappohjassa sijaitseva Koverharin terästehdas selittänevät jäkälälajiston suurimpien muutosten alueellista painottumista Lappohjan, Tulliniemen ja Hangon keskustan läheisyyteen.

I Hangö stad fanns 16 observationsytor, varav hälften var belägna i tätorten och resten i bakgrundsområden. Det genomsnittliga antalet lavarter som tar skada av luftföroreningar var i Hangö som i undersökningsområdet i genomsnitt (lätt utarmade arter). Blåslavens skadeklass var lite mindre (lätta skador) och indexet för luftens renhet var en aning större (utarmade arter) än genomsnittet i hela undersökningsområdet. I Hangö var blåslaven tydligt skadad på sju observationsytor i närheten av tätorter och industrin samt lätt skadad på andra håll. Allvarliga skador observerades inte men inte heller helt frisk blåslav. Lavarterna var tydligt utarmade på en yta på Tulludden, i naturtillstånd på en yta i Sandö, lätt utarmade på fyra observationsytor och utarmade på de återstående tio ytorna. (Figur 1.)

Blåslavens skadeklass var på samma nivå som åren 2000 och 2004 men mindre än 2009. Det förekom inte några betydande förändringar i artantalet eller IAP-indexet i jämförelse med tidigare undersökningsår. (Tabell 2.)

De största svavel-, kväve- och partikelutsläppskällorna i Hangö stad, Yttre hamnen och Västra hamnen i närheten av Tulludden och stålfabriken i Koverhar i Lappvik, förklarar varför de största förändringarna i lavarterna är koncentrerade i närheten av Lappvik, Tulludden och Hangö centrum.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälän lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Hangon kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavarter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Hangö stads område och hela undersökningsområdet.

Hanko, n = 16	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,4	0,45	1,8	3,2
lajilukumäärä	6,7	0,95	5	9
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,39	0,9	2,5
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,4	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Hangon kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 1998, 2000, 2004 ja 2009. Vuosien väliset vertailut on tehty Bonferronin monivertailumenetelmällä, paitsi sormipaisukarpeen vauriolle merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testituloksella on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

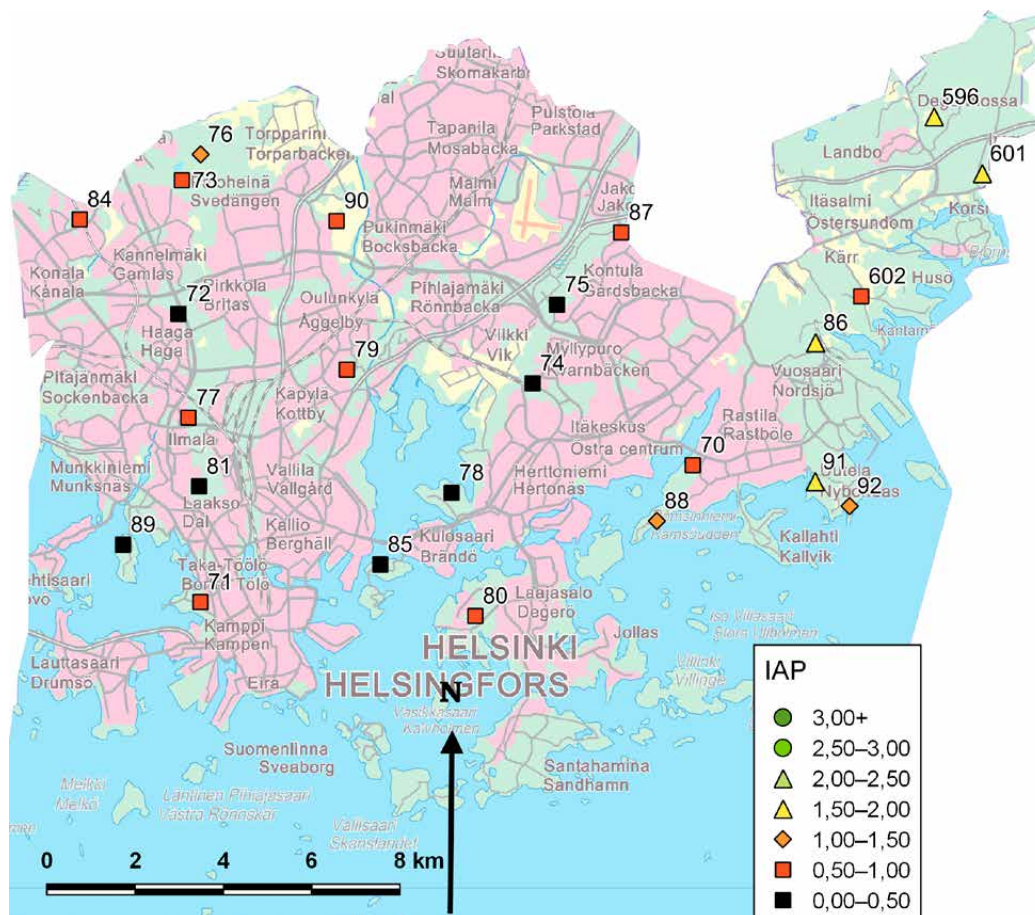
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Hangö åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

Hanko, pysyneet, n = 14		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,2	0,59	1,2	3,1	0,424
	2004	2,4	0,65	1,3	3,5	
	2000	2,2	0,59	1,2	3,1	0,000***
	2009	2,7	0,58	2,0	3,8	
	2000	2,2	0,59	1,2	3,1	0,581
	2014	2,4	0,43	1,8	3,0	
	2004	2,4	0,65	1,3	3,5	0,013*
	2009	2,7	0,58	2,0	3,8	
	2004	2,4	0,65	1,3	3,5	1,000
	2014	2,4	0,43	1,8	3,0	
	2009	2,7	0,58	2,0	3,8	0,003**
2014	2,4	0,43	1,8	3,0		
lajilukumäärä	2000	7,4	1,16	6	10	0,021*
	2004	6,2	1,19	4	9	
	2000	7,4	1,16	6	10	0,289
	2009	7,0	0,88	6	8	
	2000	7,4	1,16	6	10	0,109
	2014	6,6	1,01	5	9	
	2004	6,2	1,19	4	9	0,180
	2009	7,0	0,88	6	8	
	2004	6,2	1,19	4	9	0,070
	2014	6,6	1,01	5	9	
	2009	7,0	0,88	6	8	0,727
2014	6,6	1,01	5	9		
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,1	0,47	1,3	2,6	0,000***
	2004	1,7	0,40	0,9	2,4	
	2000	2,1	0,47	1,3	2,6	0,424
	2009	2,0	0,31	1,3	2,5	
	2000	2,1	0,47	1,3	2,6	0,057
	2014	1,7	0,41	0,9	2,5	
	2004	1,7	0,40	0,9	2,4	0,002**
	2009	2,0	0,31	1,3	2,5	
	2004	1,7	0,40	0,9	2,4	0,791
	2014	1,7	0,41	0,9	2,5	
	2009	2,0	0,31	1,3	2,5	0,013*
2014	1,7	0,41	0,9	2,5		

Liite 3.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Helsingin kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Helsingfors stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Helsingin kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Helsingfors stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Helsingin kaupungin alueella sijaitti 24 näytealaa, joista 21 sijaitti taajamaksi luokitellulla alueella. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli keskimäärin melkein yhden vaurioluokan suurempi kuin koko tutkimusalueella keskimäärin. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajeja oli keskimäärin yli kaksi vähemmän kuin tutkimusalueella, ja IAP-indeksi oli selvästi pienempi. Sormipaisukarve oli pahasti vaurioitunutta seitsemällä alalla (Kamppi, Seurasaaari, Mustikkamaa, Laakso, Haaga, Rastila, Vuosaari, Kontula), ja vauriot olivat vähäisimpiä kolmella alalla Paloheinän ja Hakuninmaan suunnalla sekä Itäsalmen lähistöllä. Viidellä havaintoalalla, jotka sijaitsivat Mustikkamaalla, Seurasaaressa, Laaksossa, Herttoniemessä ja Itä-Pakilassa, havaittiin vain 1 tai 2 epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia. Sormipaisukarpeen lisäksi aloilla havaittiin keltatyvikarvetta paitsi Mustikkamaan alalla,

jossa havaittiin ainoastaan sormipaisukarvetta. Vähiten muuttunutta jäkälälajisto oli Helsingin itäosissa, mutta sielläkin sormipaisukarpeen vauriot olivat enimmäkseen selviä. Ilmanpuhtausindeksin perusteella seitsemän havaintoalaa oli jäkäläautoita tai lähes jäkäläautoita. Näillä aloilla sormipaisukarpeen vauriot olivat vähintään selviä.

Tarkasteluvuosien 2000–2014 aikana ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä ei ole muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi. Ilmanpuhtausindeksi oli pienentynyt merkitsevästi vuodesta 2009, mutta oli yhtä suuri kuin vuonna 2000. Sormipaisukarpeen vaurioaste puolestaan on kasvanut merkitsevästi vuoteen 2014, kun lähtövuosi tarkastelussa on 2004 tai 2009. (Taulukko 2.) Helsingissä ei ole enää täysin jäkäläautoita havaintoaloja.

I Helsingfors stad fanns 24 observationsytor, varav 21 var belägna i områden som klassas som tätorter. Blåslavens skadeklass var i genomsnitt nästan en skadeklass större än i hela undersökningsområde i genomsnitt. Det fanns i genomsnitt över två färre lavararter som tar skada av luftföroreningar än i undersökningsområdet, och IAP-indexet var tydligt mindre. Blåslaven var allvarligt skadad på sju ytor (Kampen, Fölisön, Blåbärslandet, Dal, Haga, Rastböle, Nordsjö, Gårdsbacka) och skadorna var lättare på tre ytor i riktning mot Svedängen och Håkansåker samt i närheten av Östersundom. På fem observationsytor, som var belägna i Blåbärslandet, på Fölisön, i Dal, Hertonäs och Östra Baggböle, observerades endast 1 eller 2 lavararter som tar skada av luftföroreningar. Utöver blåslav observerades på ytorna också stocklav med undantag för ytan i Blåbärslandet, där man observerade endast blåslav. De minst förändrade lavararterna fanns i östra Helsingfors, men också där var blåslavens skador mest tydliga. På basis av indexet för luftens renhet var sju observationsytor lavökna eller nästan lavökna. På dessa ytor var blåslavens skador minst tydliga.

Under undersökningsåren 2000–2014 förändrades inte antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar på ett statistiskt betydelsefullt sätt. Indexet för luftens renhet hade blivit betydligt mindre sedan 2009, men var lika stort som 2000. Blåslavens skadeklass hade däremot ökat avsevärt fram till 2014 i jämförelse med 2004 eller 2009. (Tabell 2.) I Helsingfors finns det inte längre observationsytor som är totala lavökna.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Helsingin kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Helsingfors stads område och hela undersökningsområdet.

Helsinki, n = 24	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	3,3	0,69	2,3	4,8
lajilukumäärä	4,3	1,89	1	8
ilmanpuhtausindeksi	0,9	0,51	0,1	1,9
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Helsingin kaupungin pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty Bonferronin monivertailumenetelmällä, paitsi sormipaisukarpeen kohdalla merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**), ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). Tarkastelussa ovat mukana aikaisemmin Sipoon alueella sijainneet alat.

Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Hangö åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***). Observationsytor som låg i Sibbo kommuns område ingår i statistiken.

Helsinki, pysyneet, n = 20		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	3,5	1,03	2,1	5,0	0,004***
	2004	3,1	0,88	1,6	4,8	
	2000	3,5	1,03	2,1	5,0	0,019*
	2009	3,1	0,80	2,0	4,5	
	2000	3,5	1,03	2,1	5,0	0,824
	2014	3,4	0,70	2,4	4,8	
	2004	3,1	0,88	1,6	4,8	1,000
	2009	3,1	0,80	2,0	4,5	
	2004	3,1	0,88	1,6	4,8	0,031*
	2014	3,4	0,70	2,4	4,8	
	2009	3,1	0,80	2,0	4,5	0,000***
2014	3,4	0,70	2,4	4,8		
lajilukumäärä	2000	4,0	2,68	1	9	1,000
	2004	3,8	2,20	1	7	
	2000	4,0	2,68	1	9	0,302
	2009	4,2	2,10	1	9	
	2000	4,0	2,68	1	9	0,804
	2014	4,0	1,82	1	8	
	2004	3,8	2,20	1	7	0,057
	2009	4,2	2,10	1	9	
	2004	3,8	2,20	1	7	0,344
	2014	4,0	1,82	1	8	
	2009	4,2	2,10	1	9	0,774
2014	4,0	1,82	1	8		
ilmanpuhtausindeksi	2000	0,9	0,69	0,0	2,0	0,263
	2004	0,8	0,57	0,0	1,9	
	2000	0,9	0,69	0,0	2,0	0,824
	2009	0,9	0,49	0,2	1,7	
	2000	0,9	0,69	0,0	2,0	1,000
	2014	0,8	0,44	0,1	1,8	
	2004	0,8	0,57	0,0	1,9	0,012**
	2009	0,9	0,49	0,2	1,7	
	2004	0,8	0,57	0,0	1,9	0,824
	2014	0,8	0,44	0,1	1,8	
	2009	0,9	0,49	0,2	1,7	0,012**
2014	0,8	0,44	0,1	1,8		

Taulukko 2. Sormipaisukarpeen vaurioastetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Hyvinkään kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkiteistillä. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

Hyvinkää, pysyneet, n = 21		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,1	0,65	1,2	3,7	0,041*
	2004	2,5	0,89	1,2	4,4	
	2000	2,0	0,62	1,2	3,7	0,824
	2009	2,1	0,44	1,2	3,2	
	2000	2,1	0,65	1,2	3,7	0,189
	2014	2,4	0,46	1,8	3,6	
	2004	2,1	0,44	1,2	3,2	0,263
	2009	2,1	0,41	1,2	3,2	
	2004	2,5	0,78	1,2	4,4	0,782
	2014	2,4	0,46	1,8	3,6	
	2009	2,1	0,44	1,2	3,2	0,078
	2014	2,4	0,46	1,8	3,6	
lajilukumäärä	2000	7,0	1,40	2	9	0,001**
	2004	6,4	1,60	1	8	
	2000	7,0	1,40	2	9	1,000
	2009	7,0	1,66	2	9	
	2000	7,0	1,40	2	9	0,180
	2014	6,7	1,65	2	9	
	2004	6,4	1,60	1	8	0,065
	2009	7,0	1,66	2	9	
	2004	6,4	1,60	1	8	0,774
	2014	6,7	1,65	2	9	
	2009	7,0	1,66	2	9	0,227
	2014	6,7	1,65	2	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,1	0,56	0,4	2,8	0,000***
	2004	1,6	0,49	0,2	2,3	
	2000	2,1	0,56	0,4	2,8	0,189
	2009	2,0	0,59	0,5	2,9	
	2000	2,1	0,56	0,4	2,8	0,000***
	2014	1,8	0,59	0,3	2,7	
	2004	1,6	0,49	0,2	2,3	0,001**
	2009	2,0	0,59	0,5	2,9	
	2004	1,6	0,49	0,2	2,3	0,383
	2014	1,8	0,59	0,3	2,7	
	2009	2,0	0,59	0,5	2,9	0,001**
	2014	1,8	0,59	0,3	2,7	

sijaitsevalla alalla 151. Kolmella havaintoalalla Malmin seudulla ja Nötterdalenissa sormipaisukarpeen vauriot olivat selviä. Inkoon loppuilla 20 alalla vauriot olivat lieviä, mutta tervettä sormipaisukarvetta havaittu missään.

Sormipaisukarpeen vaurioasteessa ja lajilukumäärässä ei ole samoina pysyneillä aloilla tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia vuosien 2009 ja 2014 välillä. Sormipaisukarpeen vaurioaste on kasvanut ja ilmanpuhtausindeksi pienentynyt merkitsevästi tai melkein merkitsevästi vuoden 2014 tuloksissa verrattuna vuoteen 2000. Ilmanpuhtausindeksi oli tilastollisesti vähintään merkitsevästi pienempi vuonna 2014 kuin vuosina 2000 ja 2009, mutta vuoteen 2004 verrattuna ero ei ollut merkitsevä.

I Ingå kommun gjordes lavobservationer på 25 observationsytor, varav 21 klassades som bakgrundsområden och 4 som tätorter. Blåslavens skadeklass och indexet för luftens renhet var på nästan samma nivå i Ingå i genomsnitt än i hela undersökningsområdet. Antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar var större i Ingå än i undersökningsområdet i genomsnitt. (Tabell 1.) Arterna på ytan (132) som är belägen i nära Ingå centrum och i den omedelbara närheten av NMC Termonovas industrianläggning var i skenet av IAP-indexet mycket tydligt utarmade. Blåslaven var på denna yta död eller saknades och samma situation förekom också på yta 151 i Pålshöle. På tre observationsytor i Malm och i Nötterdalen var blåslavens skador tydliga. På de återstående 20 ytorna i Ingå var skadorna ringa, men frisk blåslav observerades inte någonstans.

I blåslavens skadeklass och artantal har det inte skett några statistiskt betydande förändringar på de oförändrade ytorna mellan åren 2009 och 2014. Blåslavens skadeklass har ökat och indexet för luftens renhet har minskat betydligt eller nästan betydligt i resultaten från 2014 jämfört med 2000. Indexet för luftens renhet var av minst mindre statistisk betydelse 2014 än åren 2000 och 2009, men jämfört med 2004 var skillnaden inte betydande.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Inkoon kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Ingå kommuns område och hela undersökningsområdet.

Inkoo, n = 25	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,4	0,72	1,7	4,7
lajilukumäärä	7,2	1,38	3	9
ilmanpuhtausindeksi	1,8	0,47	0,5	2,8
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Inkoon kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. 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 (***).

Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Ingå åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

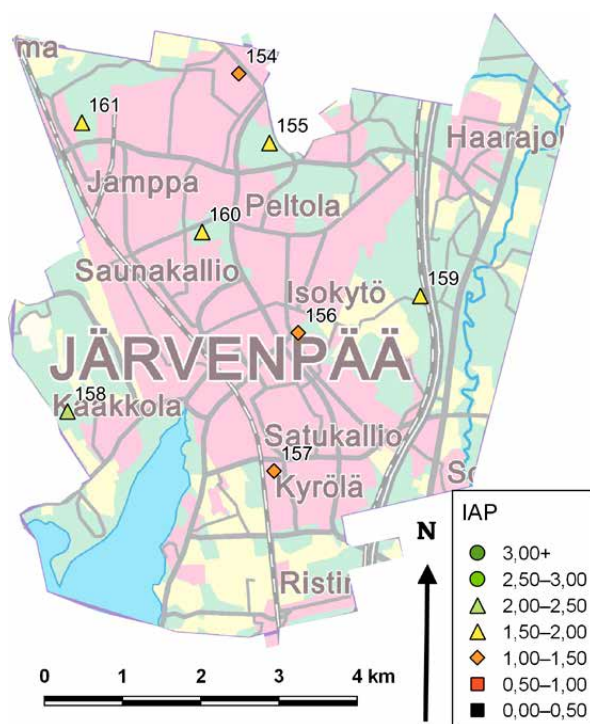
Inkoo, pysyneet, n = 21		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,0	0,73	1,0	4,9	0,503
	2004	2,2	0,61	1,5	4,3	
	2000	2,0	0,73	1,0	4,9	0,001**
	2009	2,3	0,65	1,8	4,9	
	2000	2,0	0,73	1,0	4,9	0,007**
	2014	2,3	0,60	1,7	4,5	
	2004	2,2	0,61	1,5	4,3	0,359
	2009	2,3	0,65	1,8	4,9	
	2004	2,2	0,61	1,5	4,3	0,078
	2014	2,3	0,60	1,7	4,5	
	2009	2,3	0,65	1,8	4,9	0,648
	2014	2,3	0,60	1,7	4,5	
lajilukumäärä	2000	7,0	1,52	2	9	0,302
	2004	6,6	1,50	2	9	
	2000	7,0	1,52	2	9	1,000
	2009	7,1	1,55	2	9	
	2000	7,0	1,52	2	9	0,210
	2014	7,3	1,38	3	9	
	2004	6,6	1,50	2	9	0,118
	2009	7,1	1,55	2	9	
	2004	6,6	1,50	2	9	0,057
	2014	7,3	1,38	3	9	
	2009	7,1	1,55	2	9	0,302
	2014	7,3	1,38	3	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,2	0,49	0,5	2,7	0,000***
	2004	1,8	0,45	0,4	2,4	
	2000	2,2	0,49	0,5	2,7	0,189
	2009	2,1	0,52	0,3	2,8	
	2000	2,2	0,49	0,5	2,7	0,007**
	2014	1,9	0,46	0,5	2,8	
	2004	1,8	0,45	0,4	2,4	0,027*
	2009	2,1	0,52	0,3	2,8	
	2004	1,8	0,45	0,4	2,4	0,189
	2014	1,9	0,46	0,5	2,8	
	2009	2,1	0,52	0,3	2,8	0,000***
	2014	1,9	0,46	0,5	2,8	

Liite 6.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Järvenpään kaupungin alueella

Järvenpään kaupungin alueella sijaitsi kahdeksan havaintoalaa, jotka kaikki olivat taajama-aloja. Keskimääräiset ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien määrä sekä ilmanpuhtausindeksi olivat vähän pienempiä kuin tutkimusalueella keskimäärin. Sormipaisukarpeen vaurioaste hieman pienempi, eli keskimääräiset vauriot olivat lieviä. (Taulukko 1). Luonnontilaisin lajisto ja pienin sormipaisukarpeen vaurioaste havaittiin Kaakkolassa sijaitsevalla alalla 158. Pahimmat vauriot olivat Kyrölän havaintoalalla 157.

Vain neljän samana pysyneellä alan pohjalta ei voi tehdä pitkälle meneviä päätelmiä jäkälälajiston muutoksista. Sormipaisukarpeen vaurioasteen, lajilukumäärän tai ilmanpuhtausindeksin muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kuitenkin lajilukumäärän lasku 8,2:sta 6,8:aan antaa viitettä jäkälälajiston köyhtymisestä 14 vuoden aikana 2000–2014.



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Järvenpään kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Järvenpään kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Järvenpää, n = 8	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,4	0,26	2,0	2,9
lajilukumäärä	6,5	1,60	5	9
ilmanpuhtausindeksi	1,6	0,40	1,1	2,4
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Järvenpään kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty Bonferronin monivertailumenetelmällä. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

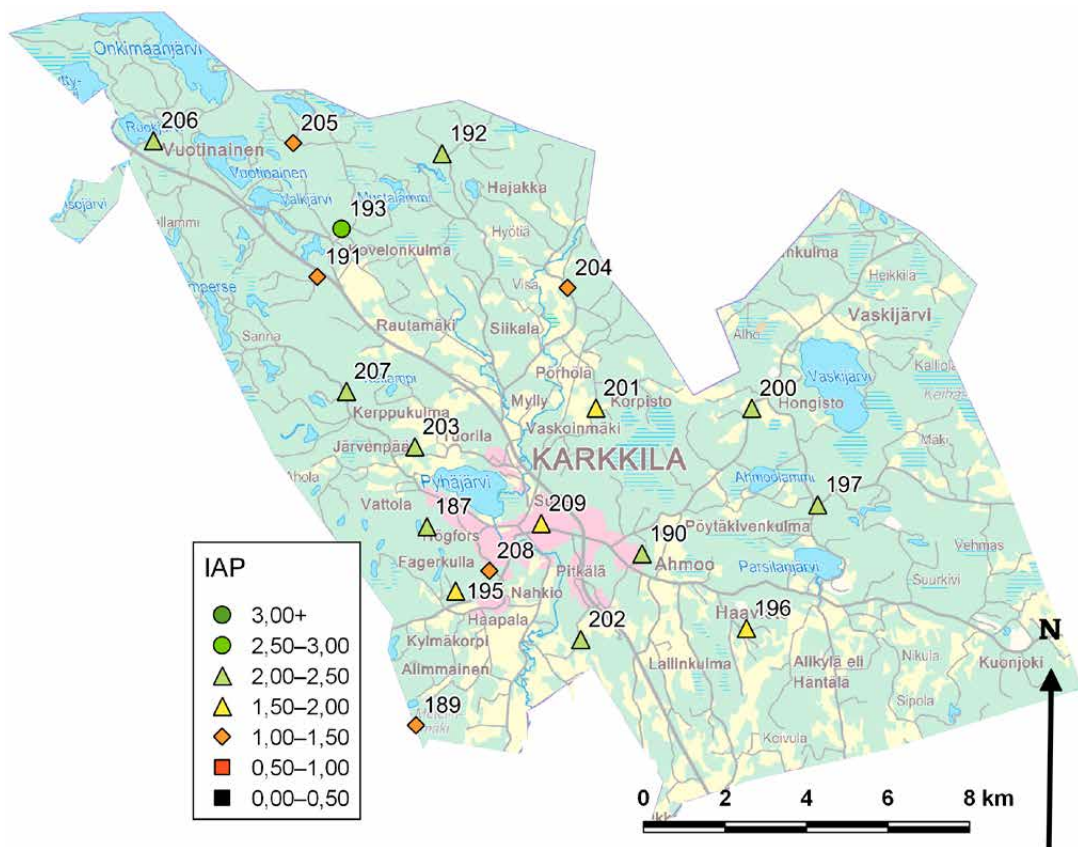
Järvenpää, pysyneet, n = 4		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,5	0,74	1,6	3,4	1,000
	2004	2,6	0,55	2,0	3,2	
	2000	2,5	0,74	1,6	3,4	0,250
	2009	2,0	0,33	1,6	2,4	
	2000	2,5	0,74	1,6	3,4	0,625
	2014	2,3	0,36	2,0	2,8	
	2004	2,6	0,55	2,0	3,2	0,125
	2009	2,0	0,33	1,6	2,4	
	2004	2,6	0,55	2,0	3,2	0,250
	2014	2,3	0,36	2,0	2,8	
	2009	2,0	0,33	1,6	2,4	0,125
	2014	2,3	0,36	2,0	2,8	
lajilukumäärä	2000	8,2	0,96	7	9	0,500
	2004	7,5	1,91	5	9	
	2000	8,2	0,96	7	9	0,250
	2009	7,2	1,26	6	9	
	2000	8,2	0,96	7	9	0,250
	2014	6,8	2,06	5	9	
	2004	7,5	1,91	5	9	1,000
	2009	7,2	1,26	6	9	
	2004	7,5	1,91	5	9	0,500
	2014	6,8	2,06	5	9	
	2009	7,2	1,26	6	9	1,000
	2014	6,8	2,06	5	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,2	0,29	1,8	2,5	0,125
	2004	1,8	0,35	1,4	2,3	
	2000	2,2	0,29	1,8	2,5	0,625
	2009	1,9	0,52	1,4	2,6	
	2000	2,2	0,29	1,8	2,5	0,125
	2014	1,7	0,54	1,1	2,4	
	2004	1,8	0,35	1,4	2,3	1,000
	2009	1,9	0,52	1,4	2,6	
	2004	1,8	0,35	1,4	2,3	0,625
	2014	1,7	0,54	1,1	2,4	
	2009	1,9	0,52	1,4	2,6	0,125
	2014	1,7	0,54	1,1	2,4	

Liite 7.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Karkkilan kaupungin alueella

Karkkilan kaupungin alueella sijaitsi 19 havaintoalaa, joista 15 oli tausta-aloja ja 4 sijaitsi taajama-alueilla. Keskimäärin sormipaisukarpeen vaurioaste oli pienempi sekä lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi suurempia kuin tutkimusalueella yleensä. Kaikkiaan ilmanlaatu jäkälähavaintojen perusteella on Karkkilassa selvästi parempi kuin Uudellamaalla keskimäärin. Siltikin Karkkilassa havaittiin seitsemällä alalla ilmanpuhtausindeksin valossa köyhtynyt lajisto. Nämä alat sijaitsivat enimmäkseen tausta-alueilla Vuotinaisen ja Sovelonkulman lähellä, Siikalassa sekä kunnan eteläosissa. Alojen lähistöllä ei ole mitään selviä kuormittavia tekijöitä paitsi Karkkilan keskustan lähellä sijaitsevalla alalla 208. Sormipaisukarpeen vauriot olivat koko kunnan alueella lieviä.

Karkkilassa ilmanpuhtausindeksi on pienentynyt tutkimusvuosien 2000–2014 aikana. Ero oli tilastollisesti merkitsevä tai melkein merkitsevä verrattaessa jokaista edellistä tutkimusvuotta vuoteen 2014. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli vuonna 2014 melkein merkitsevästi suurempi kuin vuonna 2000.



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Karkkilan kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Karkkilan kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Karkkila, n = 19	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,0	0,22	1,7	2,5
lajilukumäärä	7,1	1,41	4	10
ilmanpuhtausindeksi	1,9	0,44	1,2	2,5
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

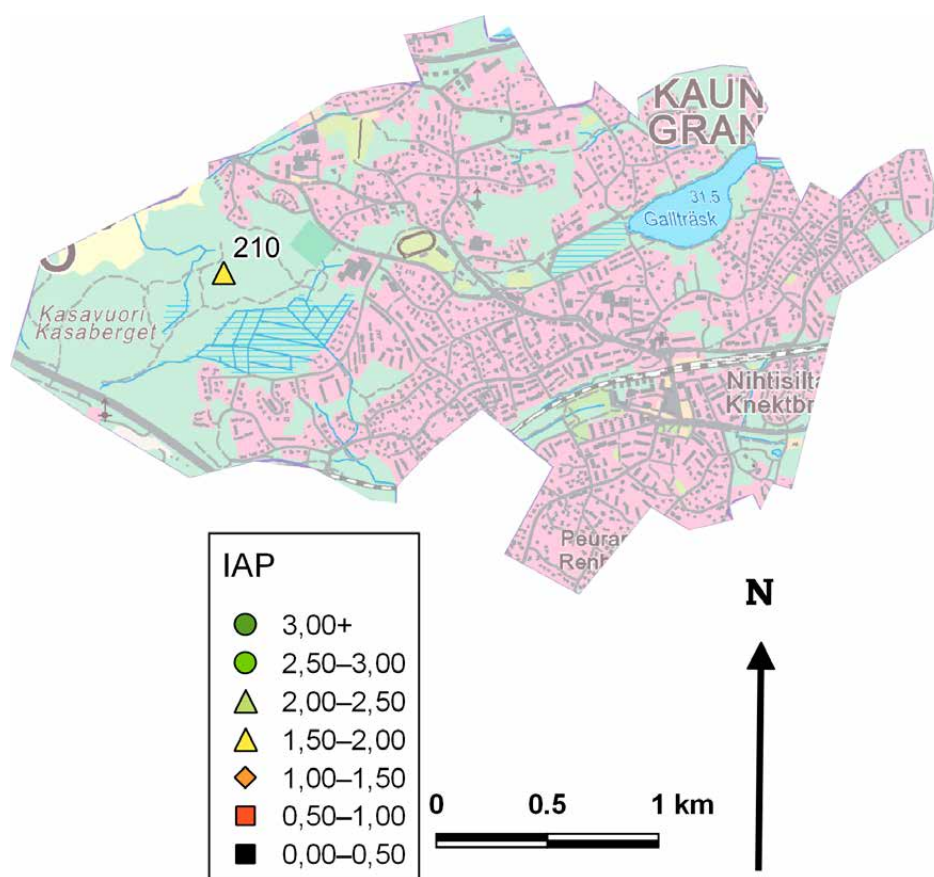
Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Karkkilan kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty Bonferronin monivertailumenetelmällä, paitsi sormipaisukarpeen vauriolle merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

Karkkila, pysyneet, n = 10		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,6	0,48	1,0	2,7	0,039*
	2004	2,0	0,39	1,2	2,4	
	2000	1,6	0,48	1,0	2,7	0,727
	2009	1,6	0,48	1,1	2,8	
	2000	1,6	0,48	1,0	2,7	0,021*
	2014	2,0	0,20	1,8	2,5	
	2004	2,0	0,39	1,2	2,4	0,109
	2009	1,6	0,48	1,1	2,8	
	2004	2,0	0,39	1,2	2,4	1,000
	2014	2,0	0,20	1,8	2,5	
	2009	1,6	0,48	1,1	2,8	0,109
	2014	2,0	0,20	1,8	2,5	
lajilukumäärä	2000	7,5	0,85	7	9	1,000
	2004	7,3	0,67	6	8	
	2000	7,5	0,85	7	9	0,219
	2009	6,8	0,63	6	8	
	2000	7,5	0,85	7	9	0,453
	2014	6,9	0,98	5	8	
	2004	7,3	0,67	6	8	0,125
	2009	6,8	0,63	6	8	
	2004	7,3	0,67	6	8	0,125
	2014	6,9	0,98	5	8	
	2009	6,8	0,63	6	8	0,375
	2014	6,9	0,98	5	8	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,4	0,34	1,9	2,8	0,021*
	2004	2,0	0,36	1,3	2,5	
	2000	2,4	0,34	1,9	2,8	0,021*
	2009	2,0	0,32	1,5	2,3	
	2000	2,4	0,34	1,9	2,8	0,002**
	2014	1,7	0,41	1,2	2,4	
	2004	2,0	0,36	1,3	2,5	1,000
	2009	2,0	0,32	1,5	2,3	
	2004	2,0	0,36	1,3	2,5	0,002**
	2014	1,7	0,41	1,2	2,4	
	2009	2,0	0,32	1,5	2,3	0,021*
	2014	1,7	0,41	1,2	2,4	

Liite 8.

Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Kauniaisten kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Grankulla stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Kauniaisten kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Grankulla stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.na.

Kauniaisten kaupungin alueella oli yksi taajama-alueella sijaitseva havaintoala (kuva 1). Kauniaisten havaintoalan jäkälän muutoksista kertovat muuttujat vastasivat sormipaisukarpeen ja ilmanpuhtausindeksin osalta koko tutkimusalueen keskiarvoa. Ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkälälajeja oli vähemmän kuin koko alueella keskimäärin. Tutkimusvuosien aikana havaittiin pahimmat vauriot, vähiten lajeja sekä pienin IAP-indeksi vuonna 2014.

I Grankulla stad fanns en observationsyta som låg i tätorten (bild 1). Variablerna som vittnar om förändringarna som skett i lavarna på observationsytan i Grankulla motsvarade i fråga om blåslaven och indexet för luftens renhet genomsnittet i undersökningsområdet. Det fanns färre lavararter som tar skada av luftföroreningar än i hela området i genomsnitt. Under undersökningsåren observerades de allvarligaste skadorna, minsta antalet arter och lägsta IAP-indexet 2014.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Kauniaisten kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Grankulla stads område och hela undersökningsområdet

Kauniainen, n = 1	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	–	2,5	2,5
lajilukumäärä	5,0	–	5	5
ilmanpuhtausindeksi	1,7	–	1,7	1,7
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarpeen, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien määrän ja ilmanpuhtausindeksin arvot Kauniaisten kaupungin havaintoalalla vuosina 1998, 2000, 2004, 2009 ja 2014.

Tabell 2. Värden för blåslavens skadeklass, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på observationsytan i Grankulla åren 1998, 2000, 2004, 2009 och 2014.

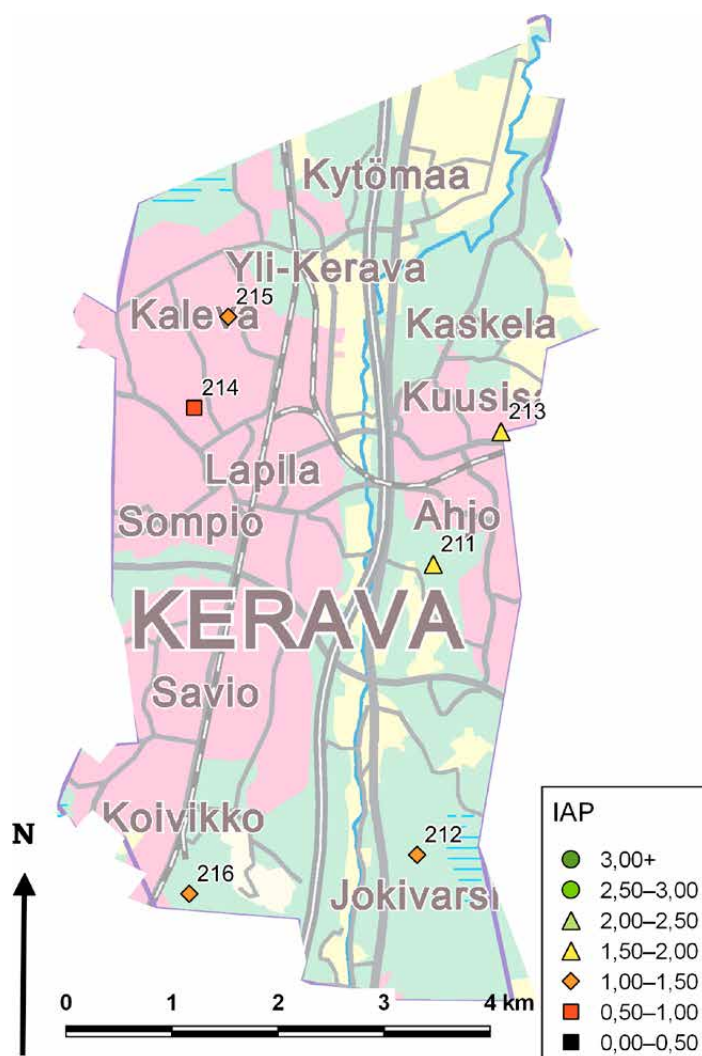
Kauniainen, n = 1	1998	2000	2004	2009	2014
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,1	2,2	2,3	2,0	2,5
lajilukumäärä	8	7	7	7	5
ilmanpuhtausindeksi	2,5	2,6	2,1	2,1	1,9

Liite 9.

Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Keravan kaupungin alueella

Keravan kaupungin alueella tehtiin jäkälähavaintoja kuudella havaintoalalla, jotka sijaitsivat yhtä lukuun ottamatta taajama-alueella. Keskimäärin katsottuna sormipaisukarpeen vaurioaste, ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärä sekä ilmanpuhtausindeksi viittasivat huonompaan ilmanlaatuun kuin koko tutkimusalueen arvot.

Vain neljän samana pysyneen alan pohjalta ei voi tehdä pitkälle meneviä päätelmiä jäkälälajiston muutoksista. Sormipaisukarpeen vaurioasteen, lajilukumäärän tai ilmanpuhtausindeksin muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Lajilukumäärän pieneneminen 8,5:stä 7,0:aan sekä ilmanpuhtausindeksin pieneneminen 2,2:sta 1,5:een seuraavat Uudellamaalla yleistä lajin harvinaistumista.



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Keravan kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Keravan kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Kerava, n = 6	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	3,0	0,30	2,7	3,5
lajilukumäärä	6,3	1,37	4	8
ilmanpuhtausindeksi	1,4	0,29	0,9	1,8
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

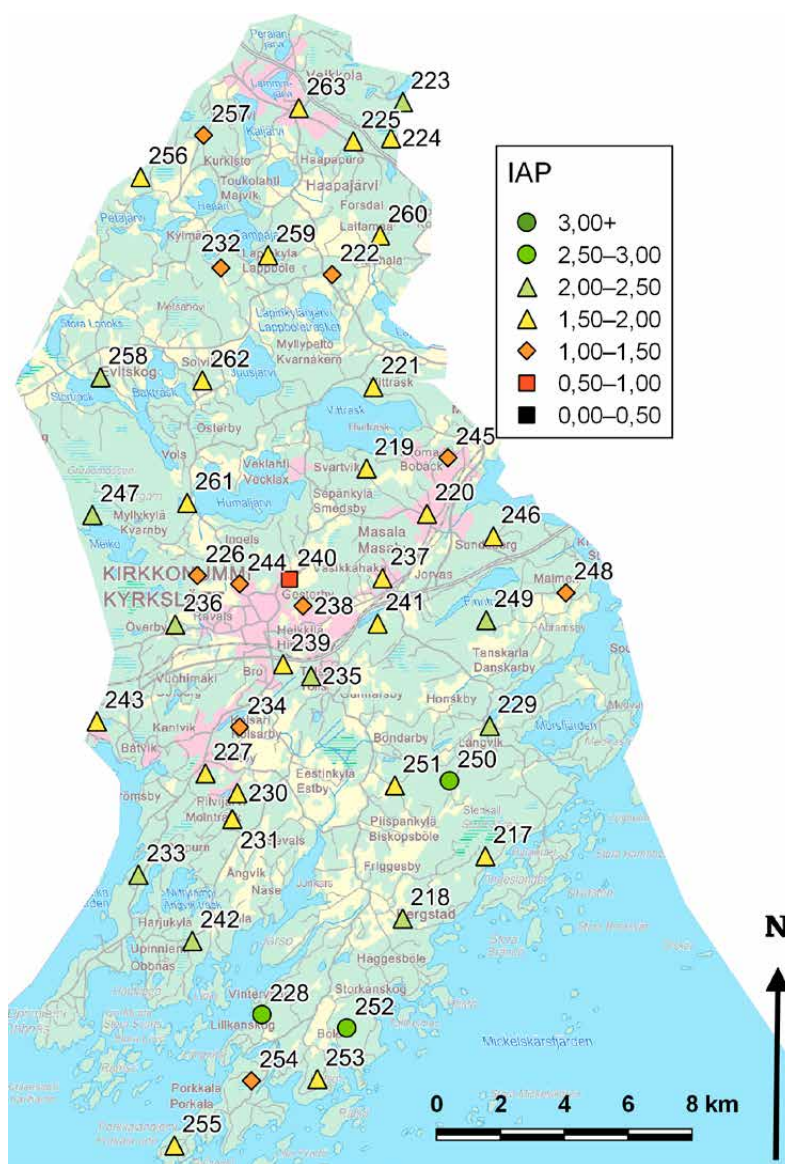
Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Keravan kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

Kerava, pysyneet, n = 4		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,2	0,34	1,7	2,5	0,125
	2004	2,5	0,36	2,0	2,8	
	2000	2,2	0,34	1,7	2,5	0,125
	2009	2,4	0,24	2,1	2,6	
	2000	2,2	0,34	1,7	2,5	0,125
	2014	3,0	0,34	2,6	3,5	
	2004	2,5	0,36	2,0	2,8	0,625
	2009	2,4	0,24	2,1	2,6	
	2004	2,5	0,36	2,0	2,8	0,125
	2014	3,0	0,34	2,6	3,5	
	2009	2,4	0,24	2,1	2,6	0,125
	2014	3,0	0,34	2,6	3,5	
lajilukumäärä	2000	8,5	0,55	8	9	1,000
	2004	7,0	2,31	5	9	
	2000	8,5	0,55	8	9	1,000
	2009	7,8	1,50	6	9	
	2000	8,5	0,55	8	9	0,125
	2014	7,0	0,78	6	8	
	2004	7,0	2,31	5	9	0,500
	2009	7,8	1,50	6	9	
	2004	7,0	2,31	5	9	1,000
	2014	7,0	0,78	6	8	
	2009	7,8	1,50	6	9	0,625
	2014	7,0	0,78	6	8	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,2	0,17	2,0	2,4	0,125
	2004	1,7	0,16	1,5	1,8	
	2000	2,2	0,17	2,0	2,4	0,125
	2009	1,9	0,34	1,6	2,3	
	2000	2,2	0,17	2,0	2,4	0,125
	2014	1,5	0,20	1,3	1,8	
	2004	1,7	0,16	1,5	1,8	0,125
	2009	1,9	0,34	1,6	2,3	
	2004	1,7	0,16	1,5	1,8	1,000
	2014	1,5	0,20	1,3	1,8	
	2009	1,9	0,34	1,6	2,3	0,625
	2014	1,5	0,20	1,3	1,8	

Liite 10.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Kirkkonummen kunnan alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Kyrksläotts kommuns område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Kirkkonummen kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Kyrksläotts kommuns område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Kirkkonummen kunnan alueella sijaitse 47 havaintoalaa, joista 17 oli taajama-aloja ja loput 30 sijaitsivat tausta-alueilla (kuva 1). Keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste oli suurempi ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä sekä ilmanpuhtausindeksi olivat hieman pienempiä kuin tutkimusalueella keskimäärin (taulukko 1). IAP-indeksin perusteella jäkälälajisto oli Kirkkonummella lievästi köyhtynyttä tai köyhtynyttä paitsi havaintoalalla 240 Gesterbyssä. Lajisto oli köyhtynyttä 33 alalla ja lievästi köyhtynyttä 13 alalla.

Tutkimusvuosien aikana sormipaisukarpeen vaurioaste samoina pysyneillä aloilla oli suurin vuonna 2014, ja erot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä aikaisempiin vuosiin verrattuna. Lajilukumäärä ei ole muuttunut merkitsevästi vuoden 2004 jälkeen, ja se oli suurimmillaan vuonna 2000. Ilmanpuhtausindeksi oli vuonna 2014 erittäin merkitsevästi pienempi kuin vuosina 2000 ja 2009 mutta merkitsevää eroa ei havaittu vuoteen 2004 verrattaessa. (Taulukko 2.) Jäkälälajiston suurimmat muutokset esiintyvät Kirkkonummella kirkonkylän lähellä, mutta myös muualla on köyhtyneen lajiston aloja.

I Kyrkslättts kommun fanns 47 observationsytor, varav 17 var belägna i tätorter och de återstående 30 i bakgrundsområden (bild 1). Blåslavens genomsnittliga skadeklass var större medan antalet arter som tar skada av luftföroreningar och indexet för luftens renhet var en aning mindre än i undersökningsområdet i genomsnitt (tabell 1). Utifrån IAP-indexet var lavarerna i Kyrkslätt lätt utarmade eller utarmade, med undantag för observationsyta 240 i Gesterby. Arterna var utarmade på 33 ytor och lätt utarmade på 13 ytor.

Under undersökningsåren var blåslavens skadeklass på de oförändrade ytorna störst 2014 och skillnaderna var statistiskt mycket betydande i jämförelse med tidigare år. Artantalet har inte förändrats avsevärt efter 2004 och var som störst 2000. Indexet för luftens renhet var 2014 mycket betydligt mindre än åren 2000 och 2009 men man observerade inte någon betydlig skillnad i jämförelse med 2004. (Tabell 2.) I Kyrkslätt förekom de största förändringarna i lavarerna förekom i närheten av kyrkbyn, men det fanns också på andra håll ytor med utarmade arter.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkäläien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Kirkkonummen kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Kyrkslättts kommuns område och hela undersökningsområdet.

Kirkkonummi, n = 47	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	3,0	0,30	2,7	3,5
lajilukumäärä	6,3	1,37	4	8
ilmanpuhtausindeksi	1,8	0,40	0,9	2,6
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,9	0,52	0,1	3,2

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Kirkkonummen kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. 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 (***)

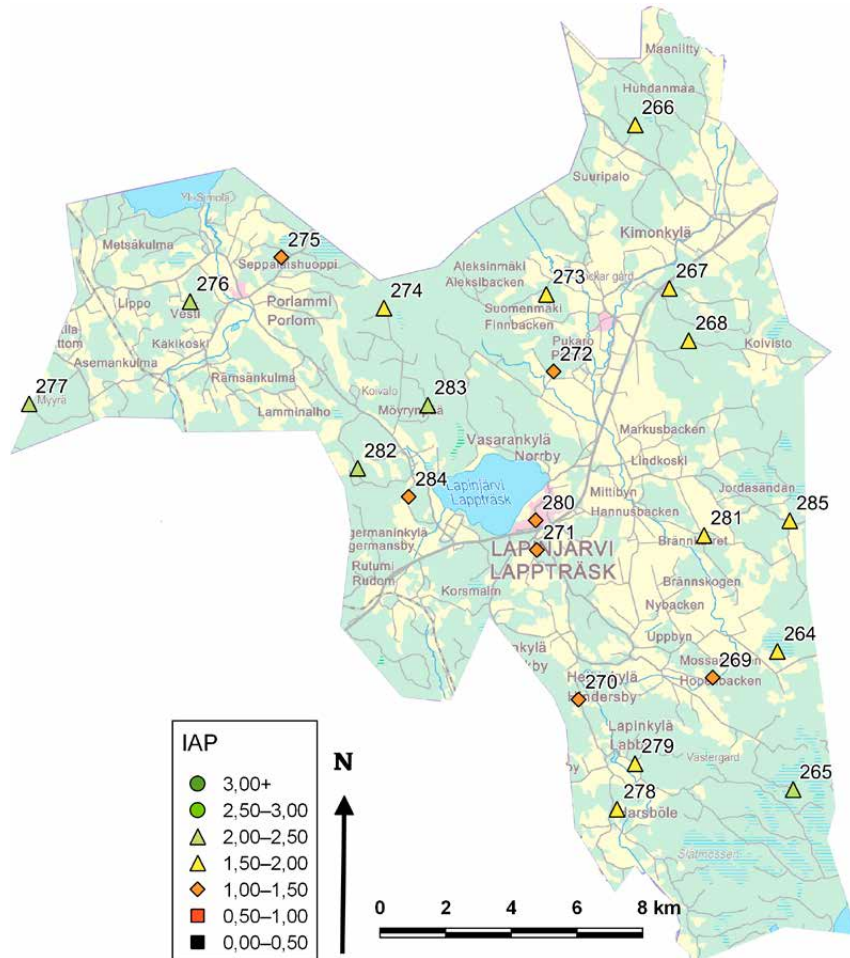
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Kyrkslätt åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

Kirkkonummi, pysyneet, n = 41		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,0	0,47	1,1	3,1	0,001**
	2004	2,3	0,48	1,3	3,3	
	2000	2,0	0,47	1,1	3,1	0,256
	2009	2,1	0,37	1,4	3,0	
	2000	2,0	0,47	1,1	3,1	0,000***
	2014	2,5	0,54	1,6	4,0	
	2004	2,3	0,48	1,3	3,3	0,034*
	2009	2,1	0,37	1,4	3,0	
	2004	2,3	0,48	1,3	3,3	0,038*
	2014	2,5	0,54	1,6	4,0	
	2009	2,1	0,37	1,4	3,0	0,000***
2014	2,5	0,54	1,6	4,0		
lajilukumäärä	2000	7,6	0,95	6	9	0,000***
	2004	6,6	0,97	4	8	
	2000	7,6	0,95	6	9	0,015*
	2009	7,1	0,96	5	9	
	2000	7,6	0,95	6	9	0,002**
	2014	6,9	1,07	5	9	
	2004	6,6	0,97	4	8	0,007**
	2009	7,1	0,96	5	9	
	2004	6,6	0,97	4	8	0,210
	2014	6,9	1,07	5	9	
	2009	7,1	0,96	5	9	0,200
2014	6,9	1,07	5	9		
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,3	0,40	1,3	3,2	0,000***
	2004	1,8	0,36	0,6	2,5	
	2000	2,3	0,40	1,3	3,2	0,001**
	2009	2,1	0,41	1,0	2,9	
	2000	2,3	0,40	1,3	3,2	0,000***
	2014	1,8	0,42	0,9	2,6	
	2004	1,8	0,36	0,6	2,5	0,000***
	2009	2,1	0,41	1,0	2,9	
	2004	1,8	0,36	0,6	2,5	0,755
	2014	1,8	0,42	0,9	2,6	
	2009	2,1	0,41	1,0	2,9	0,000***
2014	1,8	0,42	0,9	2,6		

Liite 11.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Lapinjärven kunnan alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Lapträsk's kommun's område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Lapinjärven kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Lapträsk's kommun's område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Lapinjärven alueella havaintoja tehtiin 22 havaintoalalla, jotka yhtä lukuun ottamatta sijaitsivat tausta-alueilla (kuva 1). Keskimääräiset sormipaisukarpeen vaurioaste, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi erosivat Lapinjärvellä vain vähän koko alueen keskiarvoista. IAP-indeksin pohjalta jäkälälajisto oli 17 alalla köyhtynyttä ja 4 alalla lievästi köyhtynyttä. Lievästi köyhtyneet alat sijaitsivat harvaan asutuilla seuduilla ja etäällä suurista teistä. Suurimmat muutokset lajistossa olivat sijoittuneet myös vähän kuormitetuille seuduilla. Sormipaisukarve oli pahasti vaurioitunut kahdella havaintoalalla: uusi ala 275 sijaitsi Porlammista koilliseen ja ala 284 itse Lapinjärven länsipuolella. Kumpikin sijaitsi kallioisella mäellä.

Tilastollisesti merkitseviä muutoksia samoina pysyneillä aloilla oli tapahtunut vain sormipaisukarpeen vaurioasteessa vuosien 2004 ja 2014 välillä. Muutokset vuodesta 2009 vuoteen 2014 eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, joten jäkälälajiston voi sanoa olevan likimain samassa kunnossa kuin vuonna 2009.

I Lappfjärd undersöktes 22 observationsytor, varav alla utan en var belägna i bakgrundsområden (bild 1). Blåslavens genomsnittliga skadeklass, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och indexet för luftens renhet avvek endast lite från genomsnittet i hela området. Utifrån IAP-indexet var lavarterna utarmade på 17 ytor och lätt utarmade på 4 ytor. Ytorna med lätt utarmade arter var belägna i glest bebodda områden och avlägset från stora vägar. De största förändringarna i arterna förekom också i lätt belastade områden. Blåslaven var allvarligt skadad på två observationsytor: den nya ytan 275 var belägen nordost om Porlom och yta 284 väster om själva Lappfjärd. Bådadera låg i en bergig sluttning.

På de oförändrade ytorna förekom det statistiskt betydande förändringar endast i blåslavens skadeklass mellan 2004 och 2014. Förändringarna från 2009 till 2014 var inte statistiskt betydande och således kan man konstatera att statusen hos lavarterna var nästan samma som 2009.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälkien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Lapinjärven kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Lapträsk kommun område och hela undersökningsområdet.

Lapinjärvi, n = 22	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	0,57	2,0	4,2
lajilukumäärä	6,5	1,53	4	9
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,38	1,1	2,4
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälkien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Lapinjärven kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2004 ja 2009. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkiteistillä. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

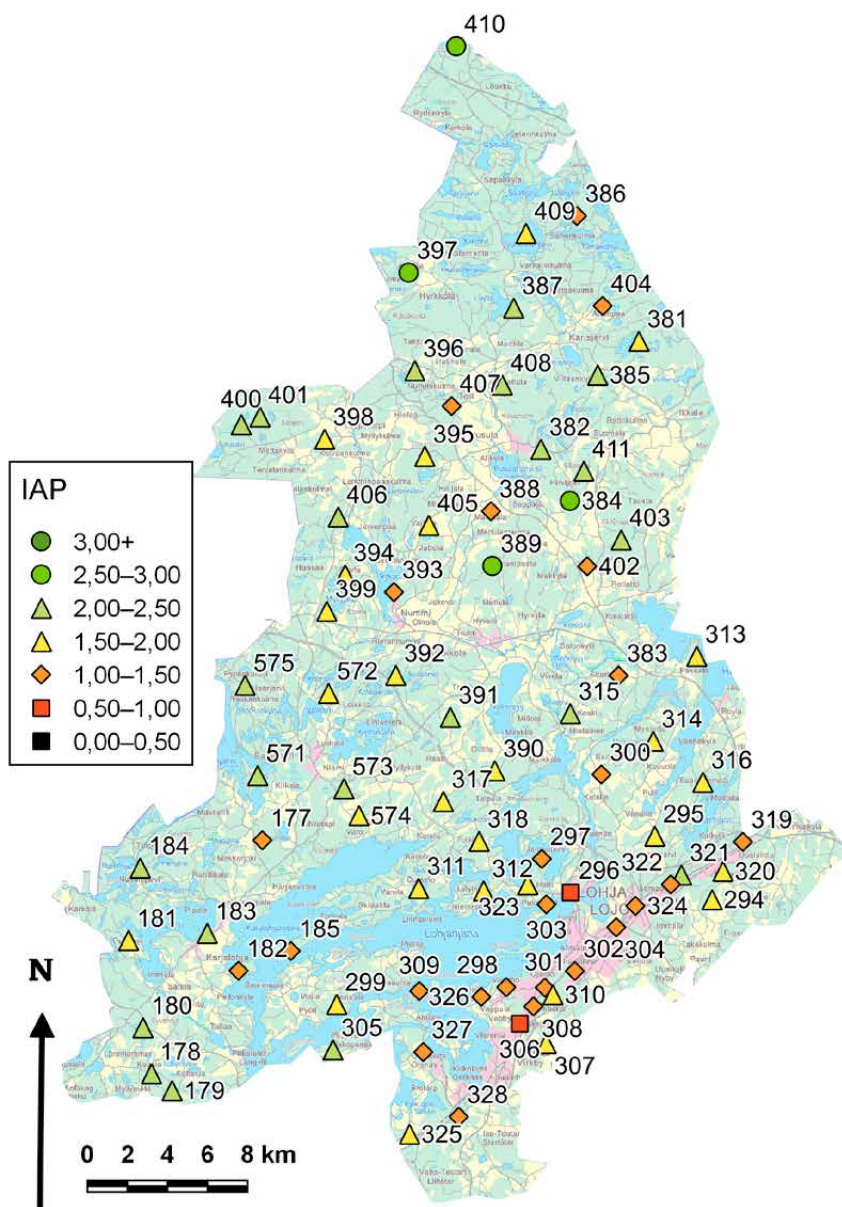
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Lapträsk åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat (p < 0,05) är märkt med en asterisk (*), betydande (p < 0,01) med två asterisker (**) och synnerligen betydande (p < 0,001) med tre (***).

Lapinjärvi, pysyneet, n = 14		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2004	2,2	0,41	1,7	3,1	0,581
	2009	2,3	0,42	1,9	3,5	
	2004	2,2	0,41	1,7	3,1	0,013**
	2014	2,5	0,46	2,0	3,8	
	2009	2,3	0,42	1,9	3,5	0,581
	2014	2,5	0,46	2,0	3,8	
lajilukumäärä	2004	6,7	1,49	4	9	1,000
	2009	6,5	1,79	4	10	
	2004	6,7	1,49	4	9	0,344
	2014	6,3	1,77	4	9	
	2009	6,5	1,79	4	10	0,453
	2014	6,3	1,77	4	9	
ilmanpuhtausindeksi	2004	1,9	0,40	1,4	2,6	0,791
	2009	1,9	0,43	1,3	2,8	
	2004	1,9	0,40	1,4	2,6	0,057
	2014	1,8	0,39	1,2	2,4	
	2009	1,9	0,43	1,3	2,8	0,424
	2014	1,8	0,39	1,2	2,4	

Liite 12.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Lohjan kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Lojo stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Lohjan kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Lojo stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Lohjan kaupungin alueella jäkälähavaintoja tehtiin 80 alalla, joista 13 oli taajama-aloja ja loput 67 sijaitsivat tausta-alueilla. Keskimääräinen ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärä sekä ilmanpuhtausindeksi olivat samalla tasolla kuin tutkimusalueella keskimäärin. Keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste oli hieman pienempi kuin tutkimusalueella kokonaisuutena. Ilmanpuhtausindeksin perusteella jäkälälajisto oli selvästi köyhtynyttä kahdella alalla Routionmäessä (296) ja Virkkalassa, ja köyhtynyttä 52 sekä lievästi köyhtynyttä 26 alalla. Lajistoltaan lievästi köyhtyneet alat sijaitsivat enimmäkseen etäällä suurista taajamista erityisesti Karjalohjan, Sammatin ja Pusulan alueilla.

Sormipaisukarpeen vaurioaste oli Lohjan nykyisellä alueella hieman mutta tilastollisesti erittäin merkittävästi suurempi vuonna 2014 kuin vuosina 2000 ja 2009. Ilmanpuhtausindeksin muutos vuodesta 2000 ja 2009 oli tilastollisesti erittäin merkittävä. Näiden suureiden voi sanoa olleen vuonna 2014 samalla tasolla kuin vuonna 2004. Lajilukumäärä oli kasvanut vuodesta 2004 vuoteen 2014 hieman (melkein merkittävästi), mikä aiheutti sen, ettei IAP-indeksi muuttunut näiden vuosien välillä, vaikka seuralajien lukumäärä oli pienentynyt.

I Lojo stad undersökte lavar på 80 observationsytor, varav 13 var belägna i tätorter och 67 i bakgrundsområden. Det genomsnittliga antalet arter som tar skada av luftföroreningar och indexet för luftens renhet låg på samma nivå som i undersökningsområdet i genomsnitt. Blåslavens genomsnittliga skadeklass var en aning mindre än i hela undersökningsområdet. På basis av indexet för luftens renhet var lavarerna tydligt utarmade på två ytor i Routiobacka (296) och Virkby, utarmade på 52 och tydligt utarmade på 26 ytor. Ytor med lätt utarmade arter låg till största delen avlägsnat från de stora tätorterna, i synnerhet i Karislojo, Sammatti och Pusula.

I Lojos nuvarande område var blåslavens skadeklass en aning större men statistiskt sett av mycket större betydelse 2014 än åren 2000 och 2009. Förändringen av indexet för luftens renhet från 2000 och 2009 var statistiskt mycket betydande. Det kan konstateras att dessa storheter var 2014 på samma nivå som 2004. Artantalet hade vuxit en aning (nästan av betydelse) mellan åren 2004 och 2014, vilket medförde att IAP-indexet inte hade förändrats under denna tid trots att antalet åtföljande arter hade minskat.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkäläien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Lohjan kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada lätt av luftföroreningar och IAP-indexet i Lojo stads område och hela undersökningsområdet.

Lohja, n = 80	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,2	0,42	1,3	3,5
lajilukumäärä	6,7	1,48	3	9
ilmanpuhtausindeksi	1,8	0,48	0,9	2,8
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Lohjan kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. 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 (***).

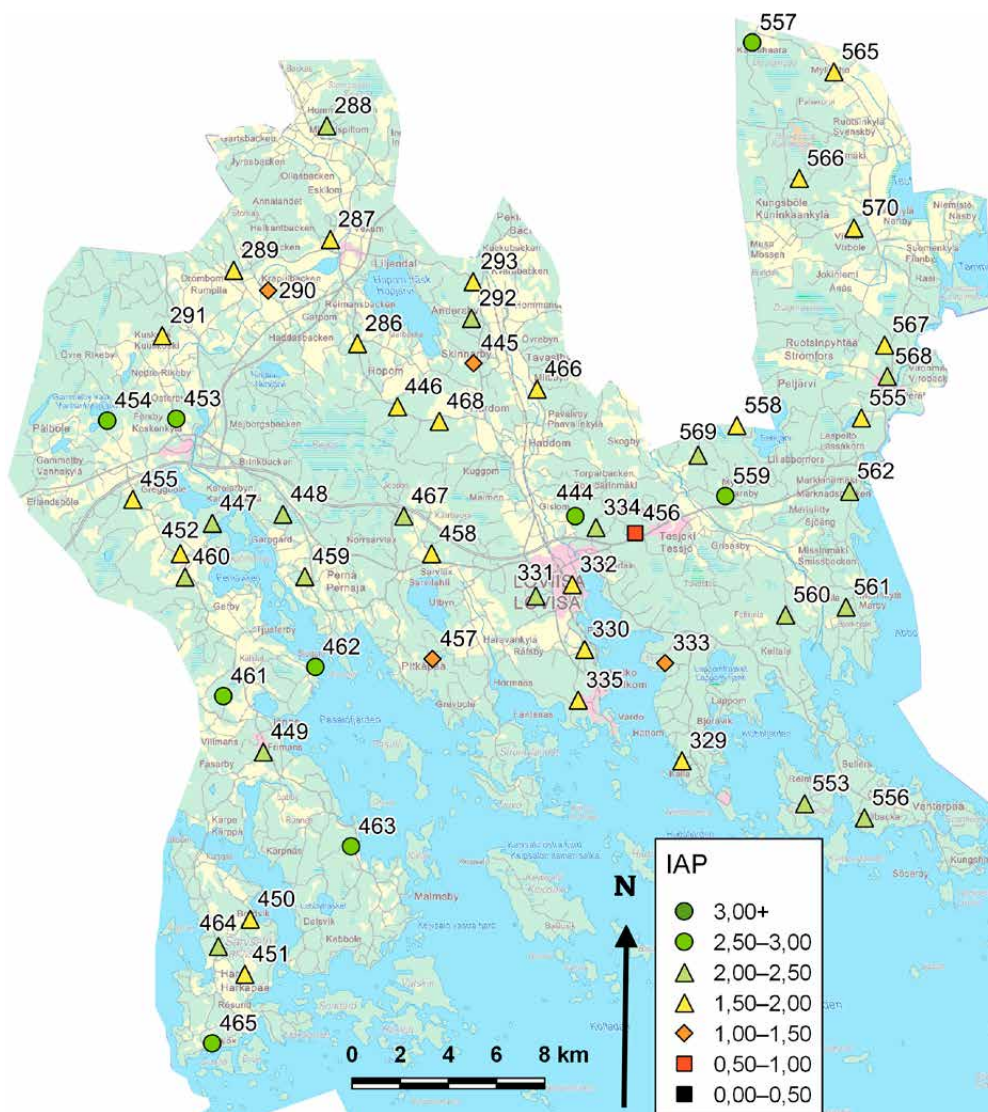
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Lojo åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

Lohja, pysyneet, n = 61		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,9	0,41	1,1	3,0	0,000***
	2004	2,2	0,42	1,3	3,5	
	2000	1,9	0,41	1,1	3,0	0,067
	2009	2,0	0,44	1,2	3,0	
	2000	1,9	0,41	1,1	3,0	0,000***
	2014	2,2	0,40	1,4	3,5	
	2004	2,2	0,42	1,3	3,5	0,025*
	2009	2,0	0,44	1,2	3,0	
	2004	2,2	0,42	1,3	3,5	0,699
	2014	2,2	0,40	1,4	3,5	
	2009	2,0	0,44	1,2	3,0	0,000***
	2014	2,2	0,40	1,4	3,5	
lajilukumäärä	2000	7,0	1,13	4	9	0,000***
	2004	6,4	1,39	3	9	
	2000	7,0	1,13	4	9	0,875
	2009	7,0	1,36	3	9	
	2000	7,0	1,13	4	9	0,096
	2014	6,7	1,47	3	9	
	2004	6,4	1,39	3	9	0,005**
	2009	7,0	1,36	3	9	
	2004	6,4	1,39	3	9	0,044*
	2014	6,7	1,47	3	9	
	2009	7,0	1,36	3	9	0,200
	2014	6,7	1,47	3	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,0	0,49	0,9	2,9	0,000***
	2004	1,7	0,44	0,8	2,5	
	2000	2,0	0,49	0,9	2,9	0,040*
	2009	1,9	0,44	0,9	2,9	
	2000	2,0	0,49	0,9	2,9	0,000***
	2014	1,7	0,44	0,9	2,5	
	2004	1,7	0,44	0,8	2,5	0,000***
	2009	1,9	0,44	0,9	2,9	
	2004	1,7	0,44	0,8	2,5	0,200
	2014	1,7	0,44	0,9	2,5	
	2009	1,9	0,44	0,9	2,9	0,000***
	2014	1,7	0,44	0,9	2,5	

Liite 13.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Loviisan kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Lovisa stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Loviisan kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Lovisa stads område. Provytornas nummer är bredvid symbolerna.

Loviisan kaupungin alueella sijaitsi 55 havaintoalaa, joista 6 kappaletta sijaitsi taajamassa ja loput 49 tausta-alueilla. Sormipaisukarve oli keskimäärin Loviisan alueella yhtä vaurioitunutta kuin koko tutkimusalueella. Ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi olivat suurempia kuin keskimäärin tutkimus-alueella. Ilmanpuhtausindeksiin nojautuen jäkälälajisto oli selvästi köyhtynyttä yhdellä alalla (ala 456) Tesjoen

lähellä. Tällä alalla sormipaisukarve oli kuollutta tai se puuttui, ja lajilukumäärä oli 4. Lajilukumäärä oli 4 myös havaintoalalla 445 Skinnarbyssä. Loviisassa sijaitsi myös kolme havaintoalaa, joilla havaittiin kaikki 10 tutkittua ilman epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia (alat 444, 453 ja 461). Kuitenkaan jäkälän yleisyys ei näillä aloilla ollut riittävä, jotta IAP olisi ollut suurempi kuin 3. Muualla Loviisan alueella lajisto oli köyhtynyttä tai lievästi köyhtynyttä. Köyhtyneen lajiston alat sijaitsivat joka puolella Loviisaa, eivätkä ne keskittyneet selvästi taajamien tai pääteiden läheisyyteen.

Loviisan vuodesta 2000 alkaen samana pysyneet alat sijaitsivat aikaisemmilla Loviisan kaupungin ja Ruotsinpyhtään alueilla. Näillä aloilla sormipaisukarpeen vaurioaste oli vuonna 2014 tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin vuonna 2004 mutta vuodesta 2009 muutos ei ollut merkitsevä. Lajilukumäärässä ja ilmanpuhtausindeksissä havaittiin melkein merkitsevä ja ilmanpuhtausindeksissä erittäin merkitsevä pieneneminen vuodesta 2009.

I Lovisa stad fanns 55 observationsytor, varav 6 var belägna i tätorter och 49 i bakgrundsområden. I Lovisa var blåslaven i genomsnitt lika skadad som i hela undersökningsområdet. Antalet arter som tar skada av luftföroreningar och indexet för luftens renhet var större än genomsnittet i undersökningsområdet. Vid analys av indexet för luftens renhet var lavarerna tydligt utarmade på en yta (yta 456) i närheten av Tessjö. På denna yta var blåslaven död eller saknades, och artantalet var fyra. Artantalet var också fyra på observationsyta 445 i Skinnarby. I Lovisa fanns också tre observationsytor med alla tio undersökta lavararter som tar skada av luftföroreningar (ytorna 444, 453 och 461). Dock var inte förekomsten av lavarna på dessa ytor tillräckligt stor för att IAP-värdet skulle ha varit större än 3. I övriga Lovisa var arterna utarmade eller lätt utarmade. Ytorna med utarmade arter var belägna överallt i Lovisa utan att vara tydligt koncentrerade till områden i närheten av tätorter eller huvudvägar.

De ytor som förblivit oförändrade i Lovisa sedan från och med 2000 låg i områden som tidigare tillhörde Lovisa stad och Strömfors kommun. På dessa ytor var blåslavens skadeklass 2014 av statistiskt större betydelse än 2004 men jämfört med 2009 är förändringen inte betydande. I artantalet förekom en nästan betydande minskning och i indexet för luftens renhet en mycket betydande minskning i jämförelse med 2009.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Loviisan kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Lovisa stads område och hela undersökningsområdet.

Loviisa, n = 55	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,47	1,7	4,8
lajilukumäärä	7,5	1,46	4	10
ilmanpuhtausindeksi	2,0	0,45	0,7	2,9
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

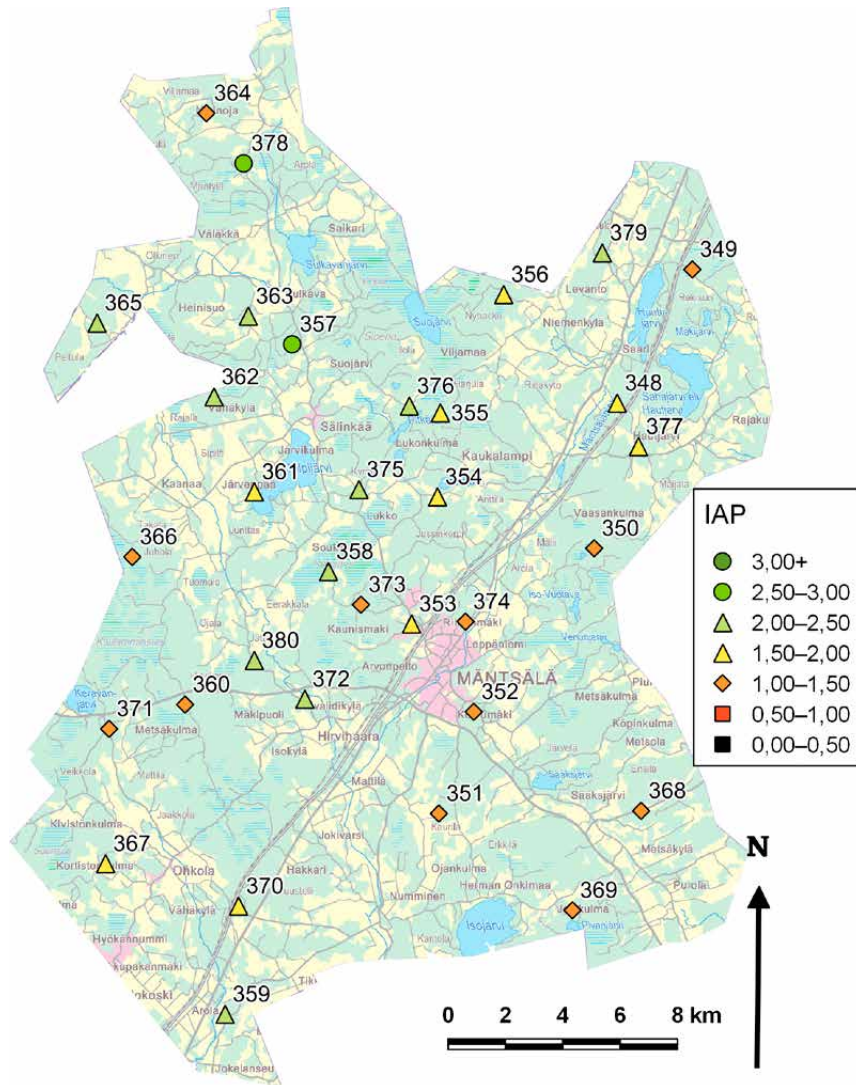
Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Loviisan kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Lovisa åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***)

Loviisa, pysyneet, n = 16		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,8	0,40	1,2	2,7	0,001**
	2004	2,2	0,29	1,8	2,7	
	2000	1,8	0,40	1,2	2,7	0,021*
	2009	2,2	0,46	1,5	3,0	
	2000	1,8	0,40	1,2	2,7	0,001**
	2014	2,4	0,45	1,7	3,5	
	2004	2,2	0,29	1,8	2,7	1,000
	2009	2,2	0,46	1,5	3,0	
	2004	2,2	0,29	1,8	2,7	0,210
	2014	2,4	0,45	1,7	3,5	
	2009	2,2	0,46	1,5	3,0	0,118
	2014	2,4	0,45	1,7	3,5	
lajilukumäärä	2000	7,9	0,89	6	9	1,000
	2004	7,9	1,26	5	10	
	2000	7,9	0,89	6	9	1,000
	2009	7,9	1,02	7	10	
	2000	7,9	0,89	6	9	0,070
	2014	7,2	1,13	6	9	
	2004	7,9	1,26	5	10	1,000
	2009	7,9	1,02	7	10	
	2004	7,9	1,26	5	10	0,039*
	2014	7,2	1,13	6	9	
	2009	7,9	1,02	7	10	0,039*
	2014	7,2	1,13	6	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,4	0,36	1,7	3,1	0,004**
	2004	2,2	0,32	1,7	2,8	
	2000	2,4	0,36	1,7	3,1	0,804
	2009	2,3	0,36	1,7	2,9	
	2000	2,4	0,36	1,7	3,1	0,001**
	2014	2,0	0,29	1,5	2,5	
	2004	2,2	0,32	1,7	2,8	0,210
	2009	2,3	0,36	1,7	2,9	
	2004	2,2	0,32	1,7	2,8	0,021*
	2014	2,0	0,29	1,5	2,5	
	2009	2,3	0,36	1,7	2,9	0,000***
	2014	2,0	0,29	1,5	2,5	

Liite 14.

Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Mäntsälän kunnan alueella



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Mäntsälän kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Mäntsälän kunnan alueella jäkälähavainnoja tehtiin 33 havaintoalalla, joista 31 sijaitsi tausta-alueilla ja kaksi alaa taajamassa. Sormipaisukarpeen vauriot olivat hieman pienempiä kuin keskimäärin tutkimusalueella, ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä sekä ilmanpuhtausindeksi olivat lähes samalla tasolla kuin tutkimusalueella kokonaisuutena. Ilmanpuhtausindeksin perusteella jäkälälajisto oli Mäntsälässä köyhtynyttä (21 alaa) tai lievästi köyhtynyttä (12 alaa). Alalla 374 kirkonkylän laitamilta havaittiin vain 4 ilman epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia. Sormipaisukarve oli selvästi vaurioitunutta kunnan länsiosissa 8 havaintoalalla (364, 378, 365, 361, 366, 360, 367 ja 370). Mäntsälässä sormipaisukarpeen vaurioasteella ei ollut yhteyttä ilmanpuhtausindeksiin.

Sormipaisukarpeen vaurioaste oli vuonna 2014 tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin vuosina 2004 ja 2009. Vuonna 2014 ei ollut enää yhtään alaa, joilla sormipaisukarve oli tervettä. Lajilukumäärän ja ilmanpuhtausindeksin muutos vuosien 2009 ja 2014 välillä ei ollut merkitsevää.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Mäntsälän kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

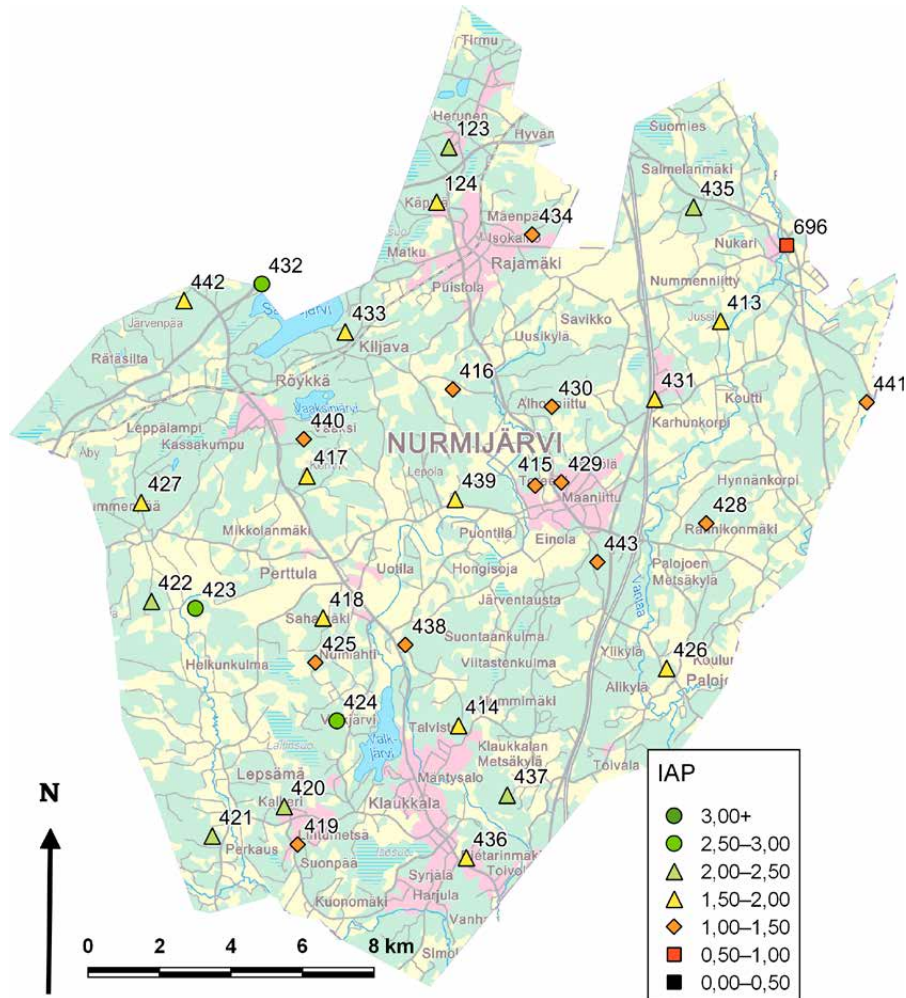
Mäntsälä, n = 33	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,2	0,31	1,7	2,9
lajilukumäärä	6,8	1,35	4	9
ilmanpuhtausindeksi	1,8	0,48	1,2	3,0
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Mäntsälän kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2004 ja 2009. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevää ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevää ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevää ($p < 0,001$) kolmella (***).

Mäntsälä, pysyneet, n = 26		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2004	1,8	0,43	1,2	2,8	0,015*
	2009	1,9	0,21	1,4	2,5	
	2004	1,8	0,43	1,2	2,8	0,001**
	2014	2,2	0,30	1,7	2,8	
	2009	1,9	0,21	1,4	2,5	0,000***
	2014	2,2	0,30	1,7	2,8	
lajilukumäärä	2004	6,9	1,02	5	9	0,267
	2009	7,2	0,97	5	8	
	2004	6,9	1,02	5	9	1,000
	2014	7,0	1,25	4	9	
	2009	7,2	0,97	5	8	0,388
	2014	7,0	1,25	4	9	
ilmanpuhtausindeksi	2004	1,9	0,38	1,0	2,5	0,000***
	2009	2,1	0,50	1,2	3,2	
	2004	1,9	0,38	1,0	2,5	0,029*
	2014	2,0	0,54	1,3	3,2	
	2009	2,1	0,50	1,2	3,2	0,327
	2014	2,0	0,54	1,3	3,2	

Liite 15.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Nurmijärven kunnan alueella



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Nurmijärven kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Nurmijärven kunnan alueella sijaitsevat 34 havaintoalaa, joista 12 oli taajama-aloja ja loput 22 tausta-aloja. Keskimääräiset sormipaisukarpeen vaurioaste ja ilmanpuhtausindeksi olivat Nurmijärvellä saman suuruiset koko tutkimusalueen keskiarvojen kanssa, kun taas ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä oli hiukan suurempi. Ilmanpuhtausindeksin perusteella jäkälälajisto oli köyhtynyt 10 havaintoalalla ja lievästi köyhtynyt 23 alalla. Köyhtyneet alat sijaitsevat suurelta osin Nurmijärven taajamissa sekä teiden läheisyydessä. Yhdellä alalla Nukarissa (ala 696) lajisto oli selvästi köyhtynyt. Ilmanpuhtausindeksin nojalla luonnontilaisia aloja ei ollut, mutta lajilukumäärän perusteella (vähintään 8 ilman epäpuhtauksista kärsivää lajia) sellaisia oli 10 kappaletta. Kahdella havaintoalalla lajilukumäärä oli 5 (alat 428 ja 443). Sormipaisukarve oli tervettä yhdellä alalla kunnan pohjoisosassa (442), ja muualla vauriot olivat lieviä tai selviä.

Tutkimusjaksolla 2000–2014 sormipaisukarpeen vauriot olivat suurimmat vuonna 2014, ja ero muihin tutkimusvuosiin oli tilastollisesti vähintään merkitsevä. Lajilukumäärä ei osoittanut merkitsevää muutosta vuosiin 2000 ja 2004 verrattuna, mutta se oli merkitsevästi pienempi kuin vuonna 2009. Ilmanpuhtausindeksi oli erityisen merkitsevästi pienempi kuin edellisinä tarkasteluvuosina. Nurmijärven selvimmät laaja-alaiset jäkälälajiston muutokset esiintyivät kirkonkylän, Rajamäen ja 3-tien ympäristössä.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Nurmijärven kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Nurmijärvi, n = 34	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,37	1,5	3,3
lajilukumäärä	6,9	1,04	5	9
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,45	1,0	2,8
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

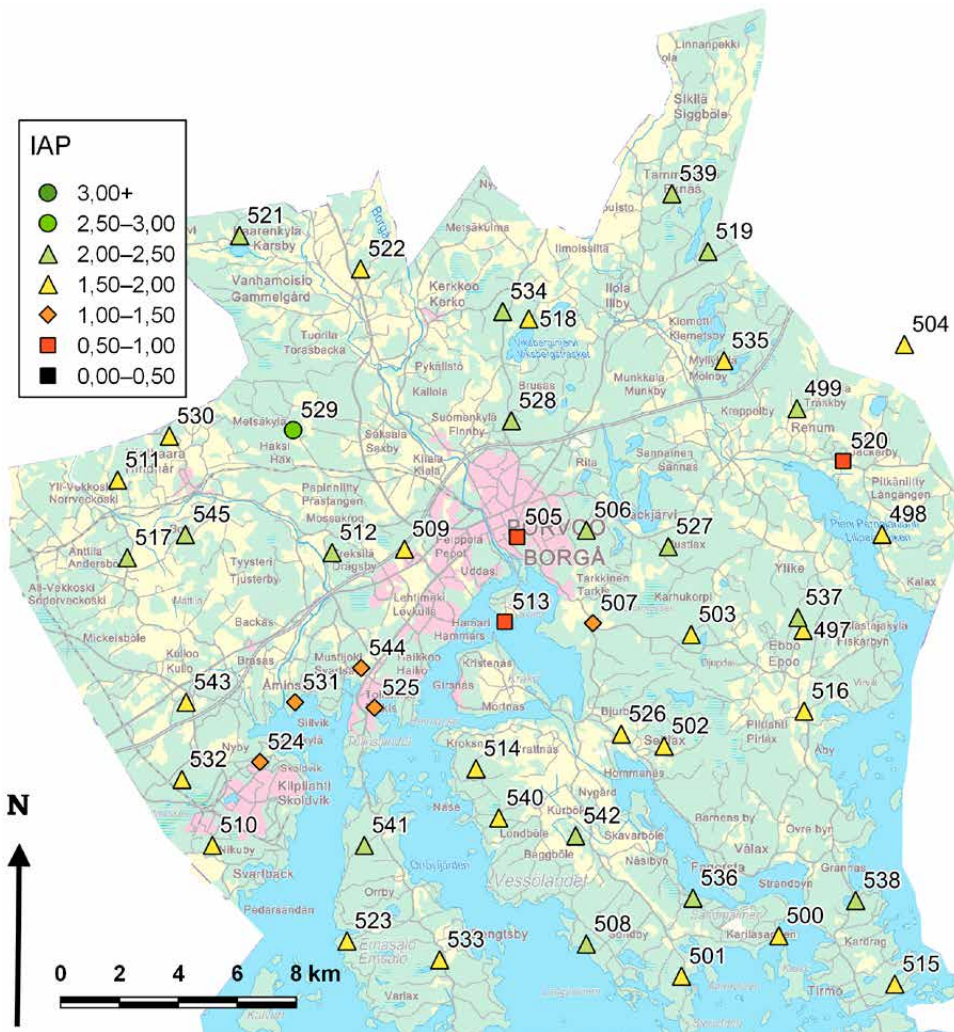
Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Nurmijärven kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

n = 24		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,6	0,32	1,2	2,5	0,041*
	2004	1,9	0,39	1,2	2,5	
	2000	1,6	0,32	1,2	2,5	0,007**
	2009	1,9	0,27	1,4	2,3	
	2000	1,6	0,32	1,2	2,5	0,000***
	2014	2,3	0,31	1,5	2,9	
	2004	1,9	0,39	1,2	2,5	0,839
	2009	1,9	0,27	1,4	2,3	
	2004	1,9	0,39	1,2	2,5	0,001**
	2014	2,3	0,31	1,5	2,9	
	2009	1,9	0,27	1,4	2,3	0,000***
	2014	2,3	0,31	1,5	2,9	
lajilukumäärä	2000	7,1	0,88	5	9	0,092
	2004	6,7	1,17	4	9	
	2000	7,1	0,88	5	9	0,143
	2009	7,5	1,02	6	10	
	2000	7,1	0,88	5	9	0,549
	2014	7,0	1,12	5	9	
	2004	6,7	1,17	4	9	0,001**
	2009	7,5	1,02	6	10	
	2004	6,7	1,17	4	9	0,065
	2014	7,0	1,12	5	9	
	2009	7,5	1,02	6	10	0,007**
	2014	7,0	1,12	5	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,2	0,32	1,4	2,8	0,000***
	2004	1,8	0,35	0,7	2,4	
	2000	2,2	0,32	1,4	2,8	0,152
	2009	2,2	0,43	1,3	3,1	
	2000	2,2	0,32	1,4	2,8	0,000***
	2014	1,8	0,47	1,0	2,8	
	2004	1,8	0,35	0,7	2,4	0,000***
	2009	2,2	0,43	1,3	3,1	
	2004	1,8	0,35	0,7	2,4	0,152
	2014	1,8	0,47	1,0	2,8	
	2009	2,2	0,43	1,3	3,1	0,000***
	2014	1,8	0,47	1,0	2,8	

Liite 16.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Porvoon kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Borgå stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Porvoon kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Borgå stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Porvoon kaupungin alueella tehtiin jäkälähavainnoja 49 havaintoalalla, joista viisi sijaitti taajamissa, loput 44 tausta-alueilla. Keskimääräinen ilmanpuhtausindeksi ja sormipaisukarpeen vaurioaste eivät eronneet koko tutkimusalueen vastaavista keskiarvoista. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä oli hiukan suurempi kuin tutkimusalueella keskimäärin. (Taulukko 1.) Jäkälälajisto oli köyhtynyttä tai selvästi köyhtynyttä erityisesti

taajamissa ja teollisuusalueiden lähellä. Lajisto oli selvästi köyhtynyttä Porvoossa kolmella alalla, jotka sijaitsivat Porvoon keskustassa (ala 505), Sikosaassa (513) sekä Jakarissa (520). Kaikkiaan ilmanpuhtausindeksin perustella lajisto oli selvästi köyhtynyttä kolmella alalla, köyhtynyttä 28 alalla ja lievästi köyhtynyttä 18 alalla. Jakarin havaintoalalla havaittiin vain kolme ilman epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia, ja Porvoon keskustassa sekä Sikosaassa lajeja oli neljä. Seuraavaksi pienin lajilukumäärä oli Kilpilahden jalostamon lähellä sijaitsevalla alalla 524.

Vuonna 2014 ilmanlaatua kuvaavat suuret indikoivat heikompaa ilmanlaatua vuoteen 2009 verrattuna. Muutos oli selvin sormipaisukarpeen vaurioasteessa sekä ilmanlaatuindeksissä (muutos erittäin merkitsevä). Selvimät muutokset jäkälälajistossa keskittyivät Porvoon keskustan, Kilpilahden ja Tolkisen alueille, mutta köyhtyneitä havaintoaloja esiintyi laajalti.

I Borgå stad undersöktes lavar på 49 observationsytor, varav fem var belägna i tätorter och 44 i bakgrundsområden. Det genomsnittliga indexet för luftens renhet och blåslavens genomsnittliga skadeklass avvek inte från motsvarande medelvärden i hela undersökningsområdet. Antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar var en aning större än i undersökningsområdet i genomsnitt. (Tabell 1.) Arterna var utarmade eller tydligt utarmade i synnerhet i tätorterna och i närheten av industriområden. I Borgå var arterna tydligt utarmade på tre ytor som låg i Borgå centrum (505), Svinö (513) och Jackarby (520). Allt som allt var arterna på basis av indexet för luftens renhet tydligt utarmade på tre ytor, utarmade på 28 och lätt utarmade på 18 ytor. På observationsytan i Jackarby observerades endast tre lavararter som tar skada av luftföroreningar och i Borgå centrum och på Svinö var arterna fyra. Nästminsta artantalet förekom på yta 524 i närheten av raffinaderiet i Kilpilahti.

Storheterna som beskriver luftkvaliteten 2014 tyder på en sämre luftkvalitet jämfört med 2009. Förändringen syns bäst i blåslavens skadeklass och i indexet för luftens kvalitet (mycket betydande förändring). De tydligaste förändringarna i lavarterna var koncentrerade till Borgå centrum, Kilpilahti och Tolkis, men utarmade observationsytor förekom i stor utsträckning.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälalien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Porvoon kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Borgå stads område och hela undersökningsområdet.

Porvoo, n = 49	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,39	1,8	3,7
lajilukumäärä	6,9	1,21	3	9
ilmanpuhtausindeksi	1,8	0,43	0,7	2,8
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Porvoon kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. 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 (***)

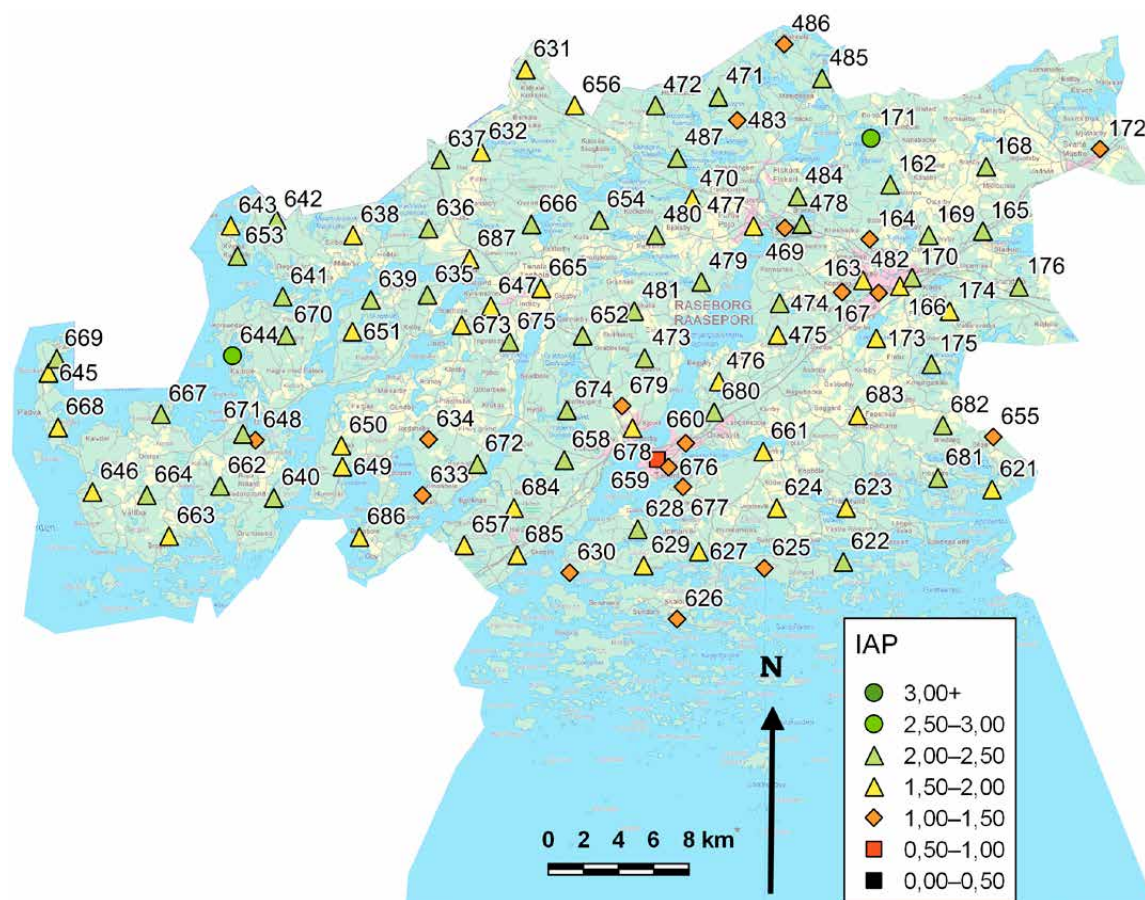
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Borgå åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

Porvoo, pysyneet, n = 37		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,9	0,64	1,1	3,4	0,004**
	2004	2,2	0,35	1,5	2,8	
	2000	1,9	0,64	1,1	3,4	0,003**
	2009	2,2	0,34	1,4	3,4	
	2000	1,9	0,64	1,1	3,4	0,000***
	2014	2,5	0,32	1,8	3,1	
	2004	2,2	0,35	1,5	2,8	1,000
	2009	2,2	0,34	1,4	3,4	
	2004	2,2	0,35	1,5	2,8	0,007**
	2014	2,5	0,32	1,8	3,1	
	2009	2,2	0,34	1,4	3,4	0,000***
2014	2,5	0,32	1,8	3,1		
lajilukumäärä	2000	7,3	1,33	4,0	9,0	0,169
	2004	7,6	1,56	3,0	9,0	
	2000	7,3	1,33	4,0	9,0	0,690
	2009	7,3	1,57	3,0	9,0	
	2000	7,3	1,33	4,0	9,0	0,286
	2014	6,9	1,31	3,0	9,0	
	2004	7,6	1,56	3,0	9,0	0,405
	2009	7,3	1,57	3,0	9,0	
	2004	7,6	1,56	3,0	9,0	0,001***
	2014	6,9	1,31	3,0	9,0	
	2009	7,3	1,57	3,0	9,0	0,041*
2014	6,9	1,31	3,0	9,0		
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,3	0,60	0,6	3,1	0,003**
	2004	2,1	0,58	0,5	2,7	
	2000	2,3	0,60	0,6	3,1	0,099
	2009	2,1	0,57	0,7	3,0	
	2000	2,3	0,60	0,6	3,1	0,000***
	2014	1,8	0,46	0,7	2,8	
	2004	2,1	0,58	0,5	2,7	0,324
	2009	2,1	0,57	0,7	3,0	
	2004	2,1	0,58	0,5	2,7	0,001**
	2014	1,8	0,46	0,7	2,8	
	2009	2,1	0,57	0,7	3,0	0,000***
2014	1,8	0,46	0,7	2,8		

Liite 17.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Raaseporin kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Raseborgs stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Raaseporin kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Raseborgs stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Raaseporin kaupungin alueella tehtiin jäkälähavaintoja 101 havaintoalalla, joista kaikkiaan 89 sijaitti tausta-alueilla ja loput 12 luokiteltiin taajama-aloiksi. Keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste oli hiukan pienempi ja ilmanpuhtausindeksi suurempi kuin tutkimusalueella keskimäärin. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä oli puolestaan samalla tasolla. Selvimät muutokset jäkälälajistossa esiintyvät enimmäkseen taa-

jamien läheisyydessä Tammisaarella ja Karjaalla sekä Raaseporin eteläosissa. Selvästi köyhtynyttä lajisto oli kaikkiaan 54 alalla kunnan eri osissa ja lievästi köyhtynyttä 46 alalla. Yhdellä alalla (659) Tammisaaren keskustassa lajisto oli selvästi köyhtynyttä, ja siellä lajilukumäärä oli vain 3 ja sormipaisukarpeen vauriot pahoja. Sormipaisukarpeen vauriot olivat pahoja myös alalla 679 Sköldargårdissa. Sormipaisukarve ei ollut missään täysin tervettä, ja vauriot olivat selviä 30 alalla ja lieviä 69 alalla. Vähiten muuttunutta ja terveintä lajisto on Tenholan ja Pohjan seudulla.

Muutokset Raaseporissa sormipaisukarpeen vaurioasteessa, lajilukumäärässä ja ilmanpuhtausindeksissä olivat tilastollisesti vähintään melkein merkitseviä siten, että vuoden 2014 tulokset viittasivat heikompaan ilmanlaatuun kuin vuonna 2009. Alat, joilla lajisto on köyhtyneintä, olivat eri aloja kuin vuonna 2009.

I Raseborgs stad undersöktes lavar på 101 observationsytor, varav allt som allt 89 var belägna i tätorter och de övriga 12 klassificerades som bakgrundsområden. Blåslavens genomsnittliga skadeklass var lite mindre och indexet för luftens renhet större än i undersökningsområdet i genomsnitt. Antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar låg däremot på samma nivå. De tydligaste förändringarna i lavarterna förekom främst i närheten av tätorter i Ekenäs, Karis och i södra Raseborg. Arterna var utarmade på sammanlagt 54 ytor i olika delar av kommunen och lätt utarmade på 46 ytor. På en yta (659) i Ekenäs centrum var arterna tydligt utarmade och där var artantalet endast tre och blåslavens skador allvarliga. Blåslavens skador var allvarliga också på yta 679 i Sköldargård. Blåslaven var inte på någon yta frisk och skadorna var tydliga på 30 ytor och lätta på 69 ytor. Arterna var minst förändrade och friskast i Tenala och Pojo.

I Raseborg var förändringarna i blåslavens skadeklass, artantal och indexet för luftens renhet av minst nästan statistisk betydelse så, att resultatet från 2014 skulle tyda på en sämre luftkvalitet än 2009. Ytor med utarmade arter var inte samma ytor som 2009.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Raaseporin kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Raseborgs stads område och hela undersökningsområdet.

Raasepori, n = 101	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,3	0,43	1,6	4,1
lajilukumäärä	6,7	1,25	3	9
ilmanpuhtausindeksi	1,9	0,39	0,5	2,7
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Raaseporin kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. 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 (***)

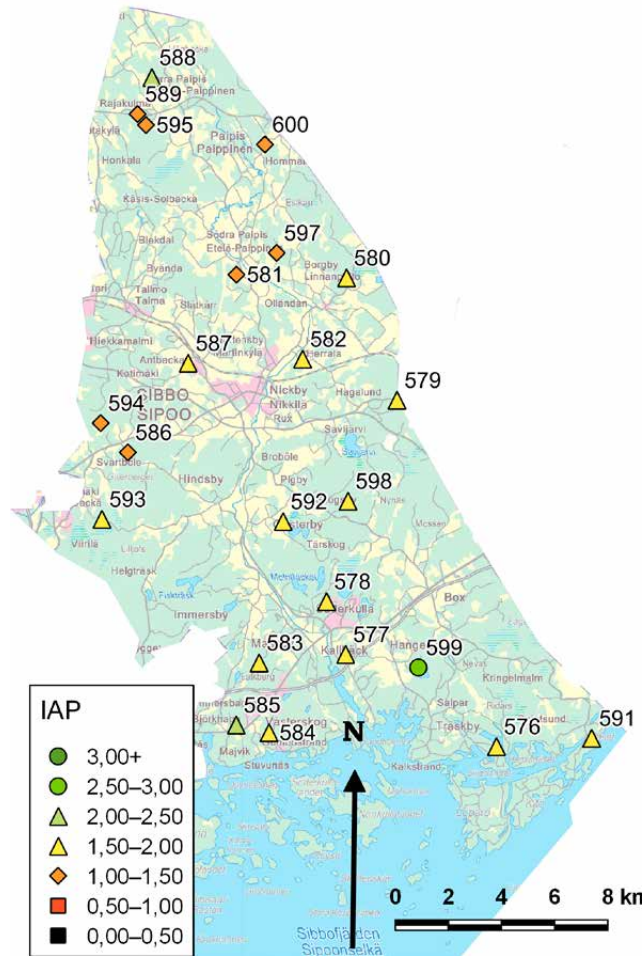
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavarter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Raseborg åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***)

Raasepori, pysyneet, n = 83		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,9	0,64	1,1	3,4	0,004**
	2004	2,2	0,35	1,5	2,8	
	2000	1,9	0,64	1,1	3,4	0,003**
	2009	2,2	0,34	1,4	3,4	
	2000	1,9	0,64	1,1	3,4	0,000***
	2014	2,5	0,32	1,8	3,1	
	2004	2,2	0,35	1,5	2,8	1,000
	2009	2,2	0,34	1,4	3,4	
	2004	2,2	0,35	1,5	2,8	0,007**
	2014	2,5	0,32	1,8	3,1	
	2009	2,2	0,34	1,4	3,4	0,000***
	2014	2,5	0,32	1,8	3,1	
lajilukumäärä	2000	7,3	1,33	5	10	0,169
	2004	7,6	1,56	5	9	
	2000	7,3	1,33	5	10	0,690
	2009	7,3	1,57	5	10	
	2000	7,3	1,33	5	10	0,286
	2014	6,9	1,31	3	9	
	2004	7,6	1,56	5	9	0,405
	2009	7,3	1,57	5	10	
	2004	7,6	1,56	5	9	0,001***
	2014	6,9	1,31	3	9	
	2009	7,3	1,57	5	10	0,041*
	2014	6,9	1,31	3	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,4	0,42	0,8	3,1	0,000***
	2004	2,0	0,39	0,7	2,7	
	2000	2,4	0,42	0,8	3,1	0,000***
	2009	2,1	0,40	0,7	2,9	
	2000	2,4	0,42	0,8	3,1	0,000***
	2014	1,9	0,39	0,5	2,7	
	2004	2,0	0,39	0,7	2,7	0,001**
	2009	2,1	0,40	0,7	2,9	
	2004	2,0	0,39	0,7	2,7	0,661
	2014	1,9	0,39	0,5	2,7	
	2009	2,1	0,40	0,7	2,9	0,000***
	2014	1,9	0,39	0,5	2,7	

Liite 18.

Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Sipoon kunnan alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Sibbo kommuns område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Sipoon kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Sibbo kommuns område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Sipoon kunnan alueella sijaitti 23 havaintoalaa, joista 6 oli taajama-aloja ja 17 tausta-aloja. Sormipaisukarpeen vaurioaste ja ilmanpuhtausindeksi olivat samalla tasolla kuin koko tutkimusalueella keskimäärin. Keskimäärin ilman epäpuhtauksista kärsiviä jäkälälajeja oli alueella enemmän kuin koko tutkimusalueella. Kahdella havaintoalalla Svartbölessä (586) ja Pohjois-Paippisten lähellä (589) lajilukumäärä oli 3. Lajisto oli köyhtynyttä ilmanlaatuindeksin nojalla 20 alalla sekä lievästi köyhtynyttä 3 alalla (rannikon lähellä ja Pohjois-Paippisissa). Sormipaisukarve ei ollut missään tervettä, ja sormipaisukarpeen vauriot olivat yhteensä 10 alalla selviä ja 13 alalla lieviä.

Tilastollisesti tarkasteltuna Sipoon samoina pysyneillä havaintoaloilla sormipaisukarpeen vaurioaste oli erittäin merkittävästi kasvanut vuodesta 2009 vuoteen 2014. Ilmanpuhtausindeksi oli vuonna 2014 melkein merkittävästi pienempi kuin vuosina 2004 ja 2009. Lajilukumäärässä ei ollut tapahtunut tutkimusvuosina merkittäviä muutosta.

I Sibbo kommun fanns 23 observationsytor, varav 6 var tätorter och 17 bakgrundsområden. Blåslavens skadeklass och indexet för luftens renhet var på samma nivå än i hela undersökningsområdet i genomsnitt. I genomsnitt förekom det i området fler lavararter som tar skada av luftföroreningar än i hela undersökningsområdet. På två observationsytor i Svartböle (586) och i närheten av Norra Paipis (589) var artantalet tre. Enligt indexet för luftens kvalitet var arterna utarmade på 20 ytor och lätt utarmade på tre ytor (nära kusten och i Norra Paipis). Blåslaven var inte på någon yta frisk och dess skador var tydliga på sammanlagt 10 ytor och lätta på 13 ytor.

Statistiskt sett hade blåslavens skadeklass på oförändrade observationsytor i Sibbo mycket betydligt från 2009 till 2014. År 2014 var indexet för luftens renhet nästan betydligt mindre än åren 2004 och 2009. I artantalet hade det under undersökningsåren inte skett några betydande förändringar.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Sipoon kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Sibbo kommuns område och hela undersökningsområdet.

Sipoo, n = 23	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,31	1,8	3,0
lajilukumäärä	6,3	1,37	3	8
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,35	1,1	2,6
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Sipoon kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2004 ja 2009. Vuosien väliset vertailut on tehty parittaisten otosten t-testillä. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**), ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

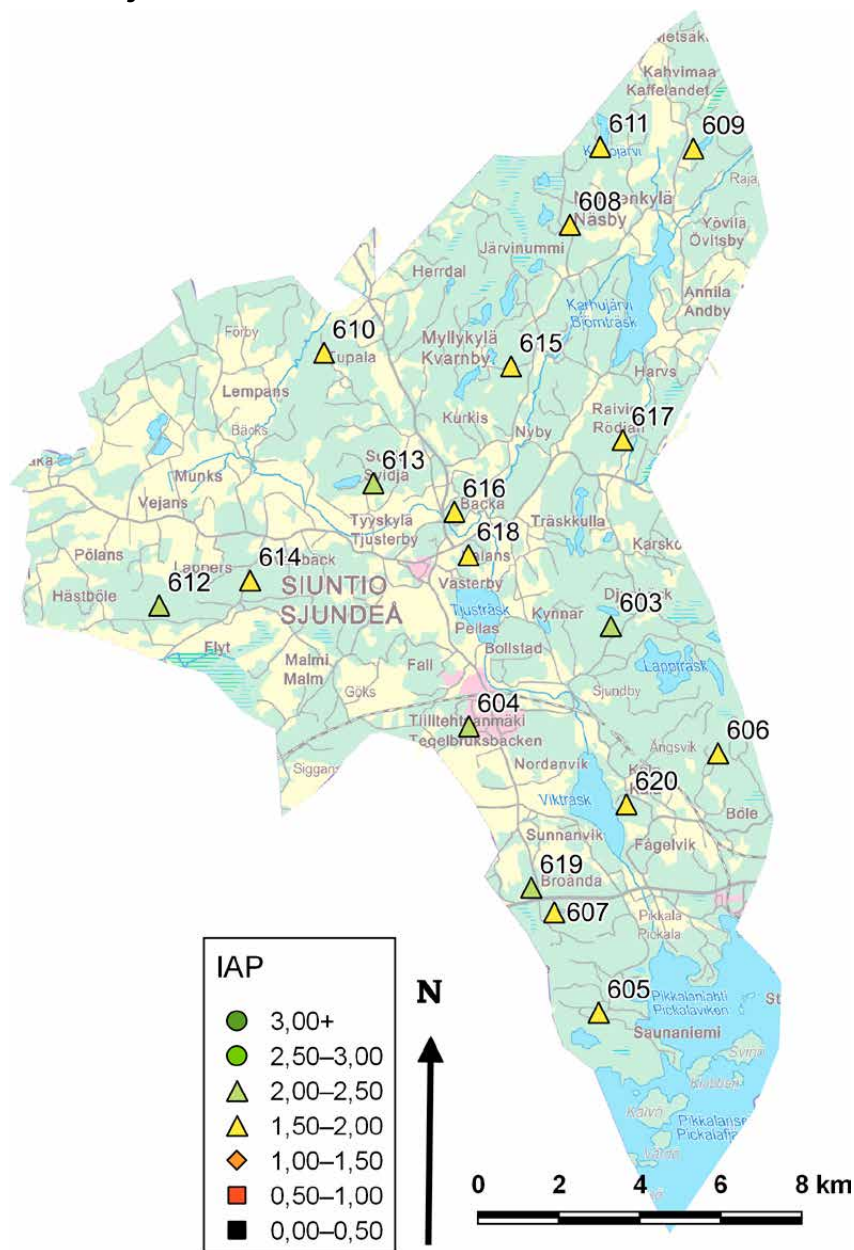
Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Sibbo åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat (p < 0,05) är märkt med en asterisk (*), betydande (p < 0,01) med två asterisker (**) och synnerligen betydande (p < 0,001) med tre (***).

Sipoo, pysyneet, n = 21		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2004	2,3	0,28	1,8	2,9	0,167
	2009	2,2	0,30	1,8	2,8	
	2004	2,3	0,28	1,8	2,9	0,078
	2014	2,6	0,27	2,1	3,0	
	2009	2,2	0,30	1,8	2,8	0,000***
	2014	2,6	0,27	2,1	3,0	
lajilukumäärä	2004	6,8	1,45	3	9	0,388
	2009	6,5	1,33	3	9	
	2004	6,8	1,45	3	9	0,057
	2014	6,3	1,38	3	8	
	2009	6,5	1,33	3	9	0,549
	2014	6,3	1,38	3	8	
ilmanpuhtausindeksi	2004	2,0	0,42	1,2	2,6	1,000
	2009	2,0	0,34	1,2	2,7	
	2004	2,0	0,42	1,2	2,6	0,041*
	2014	1,8	0,37	1,2	2,8	
	2009	2,0	0,34	1,2	2,7	0,041*
	2014	1,8	0,37	1,2	2,8	

Liite 19.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Siuntion kunnan alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Sjundeå kommuns område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Siuntion kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Sjundeå kommuns område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Siuntion kunnan alueella tehtiin havaintoja 18 alalla, joista yksi oli taajama-ala ja loput sijaitsivat tausta-alueilla. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi olivat Siuntiossa hieman suurempia kuin tutkimusalueella keskimäärin. Sormipaisukarpeen keskimääräisessä vaurioasteessa ei ollut suurta eroa koko tutkimusalueen keskiarvoon verrattuna. Jäkälälajisto oli ilmanpuhtausindeksin perusteella köyhtynyttä 13 havaintoalalla, ja 5 alalla se oli lievästi köyhtynyttä. Sormipaisukarve oli selvästi vaurioitunutta viidellä alalla kunnan itäosissa. Lopuilla havaintoaloilla vauriot olivat lieviä. Lajilukumäärä oli koko Siuntiossa vähintään 6 eli tämän perusteella lajisto oli enintään lievästi köyhtynyttä.

Siuntiossa ei samoina pysyneillä aloilla havaittu merkitseviä muutoksia sormipaisukarpeen vaurioasteessa, tai lajilukumäärässä vuosien 2009 ja 2014 välillä. Tutkimusvuosien aikana sormipaisukarpeen vauriot ja ilmanlaatuindeksi indikoivat parempaa ilmanlaatua vuosina 2000 ja 2009 kuin vuonna 2014. Kaikkiaan Siuntion ilmanlaatu oli jäkälätunnusten valossa hieman parempi kuin Uudellamaalla keskimäärin.

I Sjundeå kommun undersöktes 18 ytor, varav en var en tätort och resten var belägna i bakgrundsområden. Antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och indexet för luftens renhet var lite större i Sjundeå än genomsnittet i undersökningsområdet. I blåslavens genomsnittliga skadeklass förekom det inte någon större avvikelse från hela undersökningsområdets medelvärde. Utifrån indexet för luftens renhet var lavarterna utarmade på 13 observationsytor och på 5 ytor var de lätt utarmade. Blåslaven var tydligt utarmad på fem ytor i kommunens östra delar. På de övriga observationsytorna var skadorna lätta. Artantalet i hela Sjundeå var minst 6, det vill säga att på basis av detta var arterna högst lätt utarmade.

På de oförändrade ytorna i Sjundeå förekom inte några betydande förändringar i blåslavens skadeklass eller artantal mellan 2009 och 2014. Blåslavens skadeklass och indexet för luftens kvalitet tyder på bättre luftkvalitet åren 2000 och 2009 än 2004. Sammanfattningsvis var luftkvaliteten i Sjundeå i skenet av lavindikatorerna en aning bättre än i Nyland i genomsnitt.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkäläien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Siuntion kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Sjundeå kommuns område och hela undersökningsområdet.

Siuntio, n = 18	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,4	0,36	1,9	3,1
lajilukumäärä	7,2	0,81	6	9
ilmanpuhtausindeksi	1,9	0,22	1,5	2,4
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

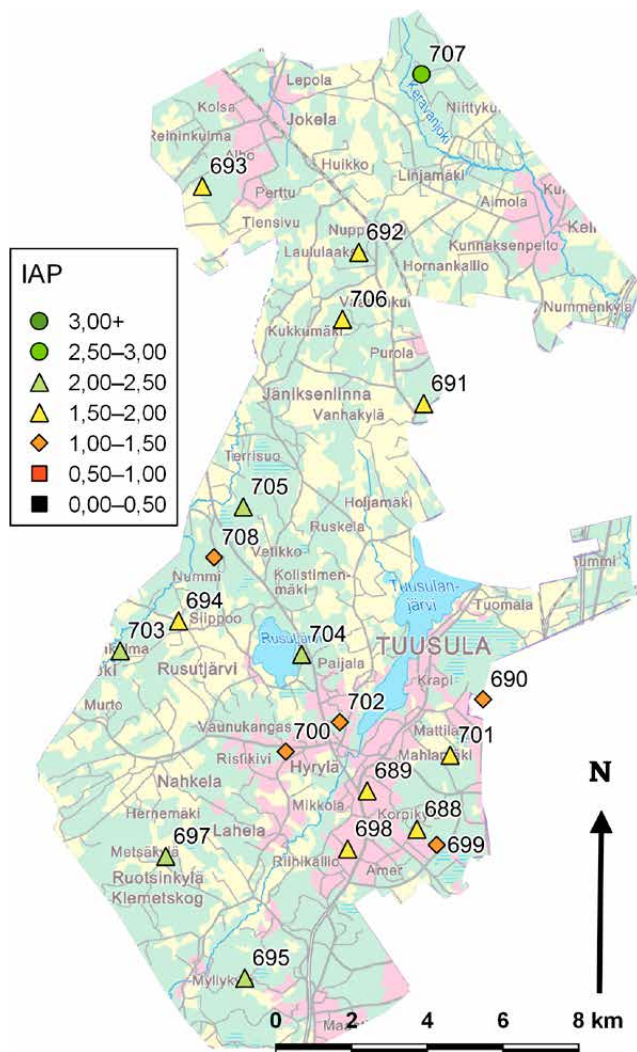
Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Siuntion kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Sjundeå åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

Siuntio, pysyneet, n = 16		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,8	0,44	1,1	2,8	0,002**
	2004	2,3	0,46	1,5	3,0	
	2000	1,8	0,44	1,1	2,8	0,022*
	2009	2,2	0,19	1,9	2,5	
	2000	1,8	0,44	1,1	2,8	0,021*
	2014	2,4	0,37	1,8	3,1	
	2004	2,3	0,46	1,5	3,0	0,180
	2009	2,2	0,19	1,9	2,5	
	2004	2,3	0,46	1,5	3,0	0,804
	2014	2,4	0,37	1,8	3,1	
	2009	2,2	0,19	1,9	2,5	0,118
	2014	2,4	0,37	1,8	3,1	
lajilukumäärä	2000	7,2	1,44	4,0	10,0	1,000
	2004	7,4	0,62	6,0	8,0	
	2000	7,2	1,44	4,0	10,0	0,774
	2009	7,4	0,89	6,0	9,0	
	2000	7,2	1,44	4,0	10,0	0,774
	2014	7,2	0,83	6,0	9,0	
	2004	7,4	0,62	6,0	8,0	1,000
	2009	7,4	0,89	6,0	9,0	
	2004	7,4	0,62	6,0	8,0	0,687
	2014	7,2	0,83	6,0	9,0	
	2009	7,4	0,89	6,0	9,0	0,727
	2014	7,2	0,83	6,0	9,0	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,2	0,32	1,7	3,0	0,004**
	2004	1,9	0,24	1,6	2,4	
	2000	2,2	0,32	1,7	3,0	0,210
	2009	2,1	0,25	1,8	2,5	
	2000	2,2	0,32	1,7	3,0	0,001**
	2014	1,9	0,20	1,5	2,2	
	2004	1,9	0,24	1,6	2,4	0,021*
	2009	2,1	0,25	1,8	2,5	
	2004	1,9	0,24	1,6	2,4	0,454
	2014	1,9	0,20	1,5	2,2	
	2009	2,1	0,25	1,8	2,5	0,000***
	2014	1,9	0,20	1,5	2,2	

Liite 20.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Tuusulan kunnan alueella



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Tuusulan kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Tuusulan kunnan alueelle sijoittui 20 havaintoalaa, joista 11 sijaitsi taajamissa ja 9 tausta-alueilla. Keskimääräiset sormipaisukarpeen vaurioaste, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä sekä ilmanpuhtausindeksi osoittivat hiukan parempaa ilmanlaatua kuin tutkimusalueella keskimäärin. Jäkälälajisto oli Tuusulassa köyhtynyttä 14 havaintoalalla ja lievästi köyhtynyttä 6 alalla. Lievästi köyhtyneen lajiston alat olivat tausta-aloja ja sijaitsivat maaseudulla. Sormipaisukarpeen vauriot olivat pahoja Hyrylän keskustan lähellä (ala 689). Vauriot olivat selviä 9 ja lieviä samoin 9 alalla. Korpikylässä sijaitsevalla alalla 699 lajilukumäärä oli 4 (köyhtynyt), ja yhdeksällä alalla se oli 8 tai enemmän (normaali lajisto).

Tuusulassa sormipaisukarpeen vaurioaste ja ilmanpuhtausindeksi ovat muuttuneet vuosien 2009 ja 2014 välillä siten, että ne osoittavat ilmanlaadun heikentyneen. Lajilukumäärä ei ollut muuttunut tilastollisesti merkittävästi. Vuosien 2004 ja 2014 välillä ei ollut merkittäviä muutoksia, joten käytettyjen mittareiden nojalla ilmanlaatu oli samalla tasolla näinä vuosina.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Tuusulan kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Tuusula, n = 20	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	0,46	1,8	3,7
lajilukumäärä	7,1	1,41	4	9
ilmanpuhtausindeksi	1,8	0,43	1,2	2,5
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

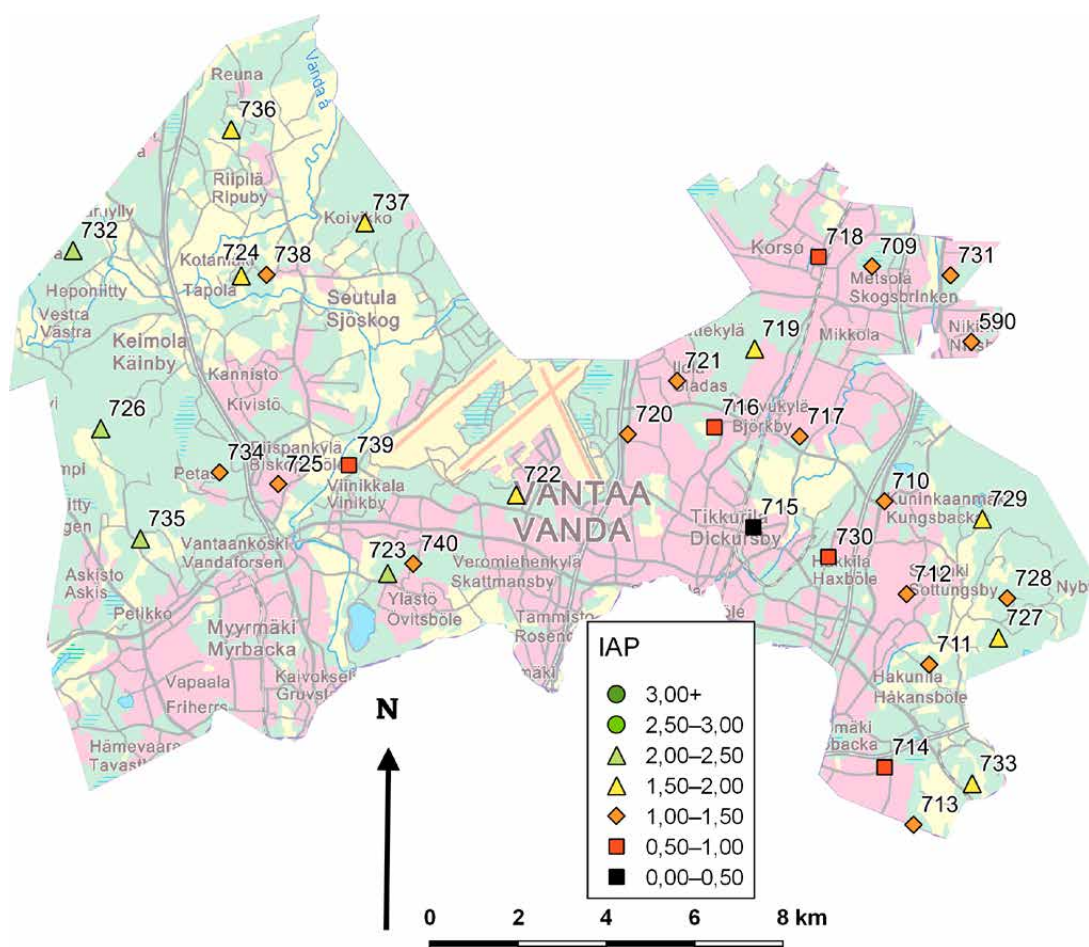
Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Tuusulan kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

Tuusula, pysyneet, n = 15		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,9	0,55	1,2	3,1	0,002**
	2004	2,3	0,35	1,6	2,8	
	2000	1,9	0,55	1,2	3,1	0,035*
	2009	2,0	0,24	1,6	2,4	
	2000	1,9	0,55	1,2	3,1	0,007**
	2014	2,5	0,38	1,8	3,1	
	2004	2,3	0,35	1,6	2,8	0,002**
	2009	2,0	0,24	1,6	2,4	
	2004	2,3	0,35	1,6	2,8	1,000
	2014	2,5	0,38	1,8	3,1	
	2009	2,0	0,24	1,6	2,4	0,007**
	2014	2,5	0,38	1,8	3,1	
lajilukumäärä	2000	7,7	0,72	7	9	0,039*
	2004	6,9	1,16	4	9	
	2000	7,7	0,72	7	9	0,453
	2009	8,0	1,20	5	10	
	2000	7,7	0,72	7	9	0,508
	2014	7,3	1,35	5	9	
	2004	6,9	1,16	4	9	0,004**
	2009	8,0	1,20	5	10	
	2004	6,9	1,16	4	9	0,146
	2014	7,3	1,35	5	9	
	2009	8,0	1,20	5	10	0,344
	2014	7,3	1,35	5	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,4	0,33	1,8	3,0	0,000***
	2004	1,8	0,39	1,0	2,5	
	2000	2,4	0,33	1,8	3,0	0,035*
	2009	2,2	0,42	1,3	3,0	
	2000	2,4	0,33	1,8	3,0	0,000***
	2014	1,9	0,42	1,2	2,5	
	2004	1,8	0,39	1,0	2,5	0,001**
	2009	2,2	0,42	1,3	3,0	
	2004	1,8	0,39	1,0	2,5	0,302
	2014	1,9	0,42	1,2	2,5	
	2009	2,2	0,42	1,3	3,0	0,001**
	2014	1,9	0,42	1,2	2,5	

Liite 21.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuranta Vantaan kaupungin alueella

Undersökning av luftkvaliteten med hjälp av bioindikatorer i Vanda stads område



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Vantaan kaupungin alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Figur 1. De genomsnittliga värdena av IAP-indexet i Vanda stads område. Observationsytornas nummer anges bredvid symbolerna.

Vantaan kaupungin alueella sijaitti 33 havaintoalaa, joista 25 sijoittui taajamiin ja 8 tausta-alueille. Keskimääräiset sormipaisukarpeen vaurioaste, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi olivat Vantaalla kaikki selvästi heikommalla tasolla kuin tutkimusalueella keskimäärin. Selvimmät muutokset lajistossa esiintyivät kunnan itäosassa ja Helsinki-Vantaan lentoaseman länsipuolella. Kolmella havaintoalalla Tikkurilassa, Koivukylässä ja Korsossa (alat 715, 716 ja 718) havaittiin ainoastaan kolme ilman epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia. Kolmella alalla lajilukumäärä oli 4 (590 Nikinmäessä, 714 Rajamäessä ja 739 Viinikkalassa).

Ilmanpuhtausindeksin perusteella lajisto luokiteltiin lähes jäkäläautioksi alalla 715 Tikkurilassa ja selvästi köyhtyneeksi 5 havaintoalalla. Lajisto oli köyhtynyttä 23 alalla ja lievästi köyhtynyttä 4:llä. Sormipaisukarve oli pahoin vaurioitunutta neljällä havaintoalalla (710, 714, 715 ja 730), ja vauriot olivat lieviä seitsemällä alalla kaupungin kaakkoisrajan lähellä sekä koillisosissa. Lopuilla 22 alalla sormipaisukarpeen vauriot olivat selviä.

Vantaalla vuosien 2009 ja 2014 välillä sormipaisukarpeen vaurioaste, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä sekä ilmanpuhtausindeksi olivat kaikki muuttuneet tilastollisesti erittäin merkitsevästi heikompaan ilmanlaatua osoittavaan suuntaan. Vuosina 2000–2009 sormipaisukarpeen vaurioaste ei ollut muuttunut tilastollisesti merkitsevästi. Ilmanpuhtausindeksin ja lajilukumäärän tapauksessa tilanne oli tarkasteluvuosista paras vuonna 2000.

I Vanda stad fanns 33 observationsytor, varav 25 var belägna i tätorter och 8 i bakgrundsområden. Blåslavens genomsnittliga skadeklass, antalet lavarter som tar skada av luftföroreningar och indexet för luftens renhet var i Vanda alla på en tydligt lägre nivå än i undersökningsområdet i genomsnitt. De tydligaste förändringarna i arterna i kommunens östra delar och väster om Helsingfors-Vanda flygplats. På tre observationsytor i Dickursby, Björkby och Korso (ytor 715, 716 och 718) observerades endast tre lavarter som tar skada av luftföroreningar. På tre ytor var artantalet fyra (590 i Nissbacka, 714 i Rajamäki och 739 i Vinikby). Enligt indexet för luftens renhet klassades arterna som nästan lavöken på yta 715 i Dickusby och tydligt utarmade på fem observationsytor. Arterna var utarmade på 23 ytor och lätt utarmade på 4 ytor. Blåslaven var allvarligt skadad på fyra observationsytor (710, 714, 715 och 730) och skadorna var lätta på sju ytor i närheten av stadens sydöstra gräns och i nordost. På de återstående 22 ytorna var blåslavens skador tydliga.

Mellan åren 2009 och 2014 hade blåslavens skadeklass, antalet lavarter som tar skada av luftföroreningar och indexet för luftens renhet i Vanda alla förändrats på ett statistiskt mycket betydande sätt som tyder på sämre luftkvalitet. Åren 2000–2009 hade blåslavens skadeklass inte förändrats på ett statistiskt betydande sätt. I fråga om indexet för luftens renhet och artantalet under undersökningsåren var situationen bäst 2000.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Vantaan kaupungin alueella ja koko tutkimusalueella.

Tabell 1. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavarter som lätt tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet i Vanda stads område och hela undersökningsområdet.

Vantaa, n = 33	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,9	0,53	1,9	4,1
lajilukumäärä	5,7	1,46	3	9
ilmanpuhtausindeksi	1,4	0,44	0,5	2,4
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

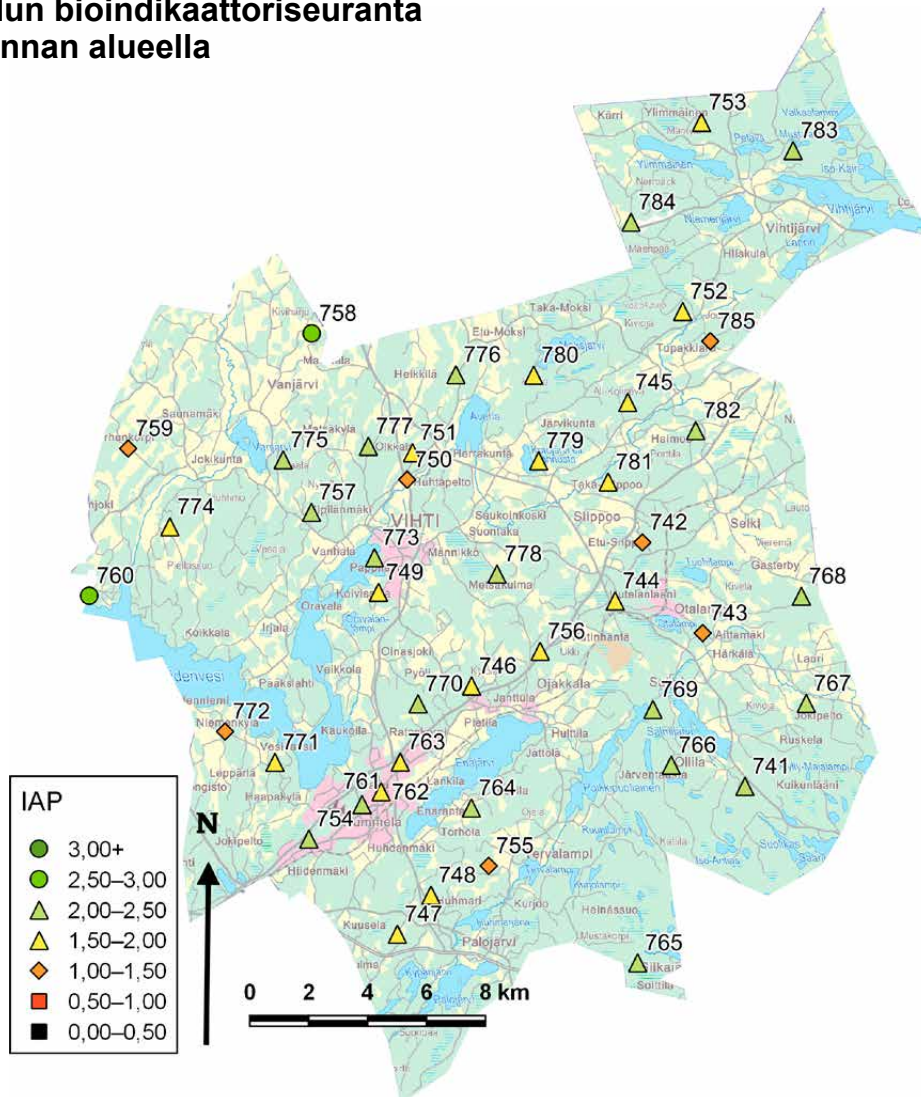
Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Vantaan kaupungin samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

Tabell 2. Indikatorer (medelvärde, standardavvikelse, minsta och största värden) som beskriver blåslavens skador, antalet lavararter som tar skada av luftföroreningar och IAP-indexet på oförändrade observationsytor i Vanda åren 2000, 2004, 2009 och 2014. Jämförelse mellan åren genomfördes med märketest. Nästan betydande testresultat ($p < 0,05$) är märkt med en asterisk (*), betydande ($p < 0,01$) med två asterisker (**) och synnerligen betydande ($p < 0,001$) med tre (***).

Vantaa, pysyneet, n = 26		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2,4	0,61	1,4	3,7	1,000
	2004	2,4	0,43	1,6	3,1	
	2000	2,4	0,61	1,4	3,7	0,839
	2009	2,4	0,42	1,5	3,5	
	2000	2,4	0,61	1,4	3,7	0,001**
	2014	2,8	0,48	1,9	3,6	
	2004	2,4	0,43	1,6	3,1	0,690
	2009	2,4	0,42	1,5	3,5	
	2004	2,4	0,43	1,6	3,1	0,000***
	2014	2,8	0,48	1,9	3,6	
	2009	2,4	0,42	1,5	3,5	0,000***
	2014	2,8	0,48	1,9	3,6	
lajilukumäärä	2000	7,2	1,29	3	9	0,008**
	2004	6,5	1,39	3	9	
	2000	7,2	1,29	3	9	0,267
	2009	6,8	1,33	4	9	
	2000	7,2	1,29	3	9	0,001**
	2014	6,1	1,32	3	9	
	2004	6,5	1,39	3	9	0,096
	2009	6,8	1,33	4	9	
	2004	6,5	1,39	3	9	0,118
	2014	6,1	1,32	3	9	
	2009	6,8	1,33	4	9	0,000***
	2014	6,1	1,32	3	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,0	0,44	1,1	2,9	0,000***
	2004	1,6	0,39	0,8	2,2	
	2000	2,0	0,44	1,1	2,9	0,002**
	2009	1,7	0,47	0,8	2,9	
	2000	2,0	0,44	1,1	2,9	0,000***
	2014	1,5	0,42	0,6	2,4	
	2004	1,6	0,39	0,8	2,2	0,001**
	2009	1,7	0,47	0,8	2,9	
	2004	1,6	0,39	0,8	2,2	0,076
	2014	1,5	0,42	0,6	2,4	
	2009	1,7	0,47	0,8	2,9	0,000***
	2014	1,5	0,42	0,6	2,4	

Liite 22.

Ilmanlaadun bioindikaattorisuuranta Vihdin kunnan alueella



Kuva 1. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot Vihdin kunnan alueella. Havaintoalojen numerot ovat symboleiden vieressä.

Vihdin kunnan alueella sijaitsi 45 havaintoalaa, joista 11 oli taajama-aloja ja 34 tausta-aloja. Keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste, ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi olivat Vihdissä hieman parempaan ilmanlaatuun viittaavia kuin tutkimusalueella keskimäärin (taulukko 1). Jäkälälajisto oli köyhtynyttä 24 alalla ja lievästi köyhtynyttä 21 alalla. Kaikkein köyhtyneimmät alat (IAP 1,0–1,5) sijaitsivat kunnan eri puolilla eivätkä aivan taajamien läheisyydessä. Muut lajistoltaan köyhtyneet alat eivät sijaitsivat usein taajamien tai valtatie 25:n lähellä. Lajilukumäärä oli 5 (köyhtynyt) kolmella havaintoalalla ja 8 tai enemmän (normaali lajisto) 18 alalla. Sormipaisukarve oli tervettä yhdellä alalla Vihdin pohjoisosassa Ylimmäisen lähellä. Vauriot eivät olleet pahoja missään, ja kahdeksalla alalla vauriot olivat selviä. Selvät sormipaisukarpeen vauriot esiintyivät Nummelassa, Vihdin kirkonkylän lähellä sekä Niemenkylässä.

Tarkasteluvuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014 sormipaisukarpeen vaurioaste oli suurin vuonna 2014. Lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi eivät olleet muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi vuosien 2009 ja 2014 välillä, eikä lajilukumäärä ollut muuttunut merkitsevästi koko jakson aikana. Ilmanpuhtausindeksi oli pienin vuonna 2004.

Taulukko 1. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Vihdin kunnan alueella ja koko tutkimusalueella.

Vihti, n = 45	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,3	0,53	1,5	3,5
lajilukumäärä	7,2	1,09	5	9
ilmanpuhtausindeksi	1,9	0,39	1,1	2,6
Koko alue, n = 734	keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin
sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	0,51	1,3	4,8
lajilukumäärä	6,7	1,48	1	10
ilmanpuhtausindeksi	1,7	0,49	0,1	3,0

Taulukko 2. Sormipaisukarvetta, ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälien lajilukumäärää ja ilmanpuhtausindeksiä kuvaavia tunnuslukuja Vihdin kunnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty merkkitestillä. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

Vihti, pysyneet, n = 33		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	p-arvo
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	1,8	0,60	1,1	3,1	0,061
	2004	2,0	0,53	1,1	3,1	
	2000	1,8	0,60	1,1	3,1	0,002**
	2009	2,0	0,48	1,1	3,1	
	2000	1,8	0,60	1,1	3,1	0,000***
	2014	2,2	0,45	1,5	3,5	
	2004	2,0	0,53	1,1	3,1	0,377
	2009	2,0	0,48	1,1	3,1	
	2004	2,0	0,53	1,1	3,1	0,001**
	2014	2,2	0,45	1,5	3,5	
	2009	2,0	0,48	1,1	3,1	0,000***
	2014	2,2	0,45	1,5	3,5	
lajilukumäärä	2000	7,1	1,12	5	9	0,359
	2004	6,8	0,97	5	9	
	2000	7,1	1,12	5	9	1,000
	2009	7,1	0,98	5	9	
	2000	7,1	1,12	5	9	0,678
	2014	7,1	1,11	5	9	
	2004	6,8	0,97	5	9	0,238
	2009	7,1	0,98	5	9	
	2004	6,8	0,97	5	9	0,064
	2014	7,1	1,11	5	9	
	2009	7,1	0,98	5	9	0,648
	2014	7,1	1,11	5	9	
ilmanpuhtausindeksi	2000	2,2	0,29	1,6	2,8	0,000***
	2004	1,8	0,32	1,1	2,5	
	2000	2,2	0,29	1,6	2,8	0,080
	2009	2,1	0,38	1,1	2,9	
	2000	2,2	0,29	1,6	2,8	0,000***
	2014	1,9	0,40	1,1	2,6	
	2004	1,8	0,32	1,1	2,5	0,005**
	2009	2,1	0,38	1,1	2,9	
	2004	1,8	0,32	1,1	2,5	0,296
	2014	1,9	0,40	1,1	2,6	
	2009	2,1	0,38	1,1	2,9	0,080
	2014	1,9	0,40	1,1	2,6	

Liite 23. Tulosten tilastollinen tarkastelu

1.1. Taustamuuttujien vaikutus

Taustamuuttajat 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 muuttajat havainnoidaan kaikilta näytealoilta. Eräissä ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa (esim. Haahla ym. 2006b ja Niskanen 2003b) taustamuuttujien vaikutusta ilmanlaatua kuvaaviin muuttujiin on tutkittu Kruskal–Wallisin varianssianalyysin avulla ja havaittu taustamuuttujilla olevan vaikutusta varsinaisiin muuttujiin. Myös tässä tutkimuksessa taustamuuttujilla oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta useisiin indikaattorimuuttujiin (Taulukko 1).

Kehitysluokan suhteen luokitellussa aineistossa oli tilastollisesti merkitseviä eroja luokkien välillä vain sormipaisukarpeen peittävydessä. Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurempi varttuneissa metsiköissä verrattuna kypsiin metsiköihin. Sormipaisukarve kasvaa usein runsaana nuorehkojen mäntyjen rungoilla, mutta sen peittävyys pienenee puun iän ja ympärysmittan kasvaessa. Etenkin kilpikaarnoittuvien vanhojen mäntyjen rungot ovat sormipaisukarpeelle melko huono kasvualusta nuorempiin mäntyihin verrattuna.

Metsikön soveltuvuudella oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen ja ilmanpuhtausindeksin suuruuteen ja levän yleisyyteen. Metsikön soveltuvuutta jäkäläkartoitukseen arvioidaan sen perusteella, kuinka hyvät kasvuolosuhteet metsikössä on päällysjäkälien kannalta. Jäkälien kasvuolosuhteita huonontavat liika varjoisuus, paahteisuus tai epäsuotuisat mikroilmastolliset tekijät. Kasvuolosuhteita voidaan arvioida puuston iän, puulajisuhteiden, metsätypin, puuston pohjapinta-alan ja pituuden perusteella. Havaintoalan soveltuvuus on havainnoitsijan subjektiivinen arvio siitä, kuinka paljon nämä tekijät vaikuttavat jäkälän kasvuolosuhteisiin. Soveltuvuudeltaan hyväksi luokitellussa metsikössä vaikutus oletetaan vähäiseksi, kohtalaisessa metsikössä taustamuuttujilla on havaittavaa vaikutusta jäkäliin, ja huonoissa metsikössä taustamuuttujien vaikutus on suuri. Ilmanpuhtausindeksin arvot olivat suurempia hyväksi luokitelluissa metsiköissä kuin kohtalaiseksi tai huonoksi luokitelluissa metsiköissä, ja suurempia kohtalaisissa metsiköissä kuin huonoissa metsiköissä. Jäkälän yleinen vaurioaste oli suurimmillaan huonoissa metsiköissä, ja suurempi kohtalaisissa metsiköissä kuin hyvissä metsiköissä. Levä oli yleisempää ja sormipaisukarpeen peittävyys oli suurempi kohtalaiseksi luokitelluissa metsiköissä kuin hyväksi luokitelluissa metsiköissä. Koska havaintoalojen soveltuvuuden luokittelu perustuu erityisesti alan soveltuvuuteen jäkälän esiintymiselle, on soveltuvuuden vaikutus jäkälämuuttujiin odotettua.

Metsätypillä oli vaikutusta jokaiseen ilmanlaatua kuvaavaan muuttujaan. Ilmanpuhtausindeksin arvot ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lukumäärät olivat pääsääntöisesti suurempia pareittaisten vertailujen karummissa metsätyypeissä, esimerkiksi puolukkatypin (VT) metsiköissä verrattuna mustikkatypin (MT) metsiköihin tai jäkälätypin (CIT) metsiköissä verrattuna kanervatypin (CT) metsiköihin.

Yleinen vaurioaste oli puolestaan pääsääntöisesti suurempi ja levä yleisempää pareittaisten vertailujen rehevämmissä metsätyypeissä (esimerkiksi OMT-typin metsiköissä verrattuna VT-typin metsiköihin). Bioindikaattorialojen metsätyypit painottuivat tutkimuksessa alueellisesti siten, että MT- ja VT-metsätyypit painottuivat taajama-aloille ja tausta-aloille painottuivat taas karummat CT- ja CIT-metsätyypit (ks. luku 5.2, Taulukko 4). Tämä voi osaltaan selittää IAP-indeksin ja jäkälän lajilukumäärän suuremmat arvot, levän harvemman esiintymisen ja vaurioasteiden pienemmät arvot karuimmissa metsätyypeissä. Rehevämmissä metsätyypeissä, kuten käenkaali-mustikkatypin (OMT) ja MT-typin metsätyypeissä on myös sulkeutuneempi latvuskerros ja enemmän kasvillisuutta pensaskeroksessa, jolloin näiden aiheuttama varjostus heikentää jäkälän elinmahdollisuuksia ja siten pienentää IAP-indeksiä ja lajilukumäärää ja vastaavasti lisää jäkälän vaurioita.

Luppojen peittävyys oli suurempi pareittaisten vertailujen karummissa metsätyypeissä. Lupot ovat herkkiä ilman epäpuhtauksille, joten niiden suurempi peittävyys karuimmissa metsätyypeissä selittynee edellä mainitulla bioindikaattorialojen alueellisella jakautumisella. Samoin rehevämpien metsätyyppien kasvillisuuden aiheuttama varjostus voi vaikuttaa myös luppoihin. Sormipaisukarpeen peittävyys oli pareittaisissa vertailuissa suurempi

pääsääntöisesti rehevämmissä metsätyypeissä. Sormipaisukarve on vahva kilpailija ja se on voinut vallata rehevissä metsissä tilaa muilta sellaisissa olosuhteissa heikommin menestyviltä jäkälälajeilta.

IAP-indeksin arvot ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajimäärä olivat pääsääntöisesti pienempiä ja sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste olivat suurempia ja levä yleisempää muu-luokan metsätyypeissä verrattuna muihin tarkemmin määriteltyihin metsätyyppeihin. Nämä voivat selittyä sillä, että luokka sisältää mm. taajamien puistometsiköt, joihin kohdistuu enemmän ilman epäpuhtauksien vaikutuksia. Muu-luokan metsätyypit painottuivatkin tutkimuksessa taajama-aloille (taulukko 1). Lisäksi muu-luokkaan voi kuulua bioindikaattoritutkimukseen ylipäättänsä huonosti soveltuvia kasvillisuustyyppisiä, kuten soistuneita metsätyyppejä.

Taulukko 1. Taustamuuttujien perusteella tarkasteltujen muuttujien tilastollisten analyysien testisuureet ja niiden merkitsevyydet (p). Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**), ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***). Kehitysluokan tarkastelussa jätettiin pois yksi nuori havaintoala, koska Mannin–Whitneyn testissä luokittelevalla muuttujalla tulee olla vain kaksi arvoa.

tarkasteltu muuttuja	metsätyyppi		kehitysluokka		soveltuvuus	
	Kruskal–Wallis		Mann–Whitney		Kruskal–Wallis	
	testisuure	p	testisuure	p	testisuure	p
sormipaisukarpeen vaurioaste	38,89	0,000***	17704	0,061	11,10	0,004 **
yleinen vaurioaste	115,26	0,000***	14315	0,536	9,20	0,010 *
lajilukumäärä	52,29	0,000***	16523	0,306	2,74	0,255
ilmanpuhtausindeksi	88,64	0,000***	14277	0,518	4,96	0,084
sormipaisukarpeen peittävyys %	44,27	0,000***	6450	0,000***	0,56	0,755
luppojen peittävyys %	30,68	0,000***	16189	0,191	0,08	0,962
levän yleisyys	53,75	0,000***	14557	0,657	7,38	0,025 *

Taulukko 2. Muuttujien väliset Spearmanin korrelaatiokerroimet. Melkein merkitsevä (p < 0,05) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**), ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***).

n = 734	puiden ikä	puiden pituus	pohjapinta-ala	puiden halkaisija
puiden pituus	-0,217***	1		
pohjapinta-ala	-0,162***	0,405***	1	
puiden halkaisija	0,257***	0,223***	0,049	1
IAP	-0,049	-0,179***	-0,086*	-0,234***
sormipaisukarpeen peittävyys %	-0,434***	0,026***	0,182***	-0,048
luppojen peittävyys %	0,087*	-0,135***	-0,068	-0,049
sormipaisukarpeen vaurioaste	0,120*	-0,081*	-0,041	0,114**
yleinen vaurioaste	-0,004	0,226***	0,074*	0,224***
lajilukumäärä	-0,007	-0,169***	-0,096**	-0,112**
levän yleisyys	-0,163***	0,136***	0,211***	0,116**

1.2. Taajama-tausta-vertailu

1.2.1. Havaintoalojen jakaantuminen tausta- ja taajama-aloille taustamuuttujien suhteen

Havaintoalojen jakautumista taustamuuttujien suhteen taajama- ja tausta-aloille on tarkasteltu jatkuvien muuttujien osalta taulukossa 14 ja luokiteltujen muuttujien osalta taulukossa 15. Jatkuvista taustamuuttujista ainoastaan tutkimuspuiden läpimitalla oli tilastollisesti merkitsevä eroa tausta-alueilla ja taajamassa sijaitsevien alojen välillä (taulukko 3): puut olivat paksumpia taajamassa kuin tausta-alueilla sijaitsevilla havaintoaloilla.

Havaintoalat jakautuivat taajama- ja tausta-aloille epätasaisesti kehitysluokan ja metsätyyppien suhteen, sen sijaan soveltuvuuden suhteen eroja ei ollut (Taulukko 4). Kypsäksi luokiteltuja havaintoaloja oli enemmän taajamissa ja varttuneita aloja tausta-alueilla. Rehevämmät ja muu-luokan metsätyypit painottuivat tutkimuksessa taajamaan ja karumpia metsätyyppejä (CT, CIT) esiintyi enemmän tausta-alueilla.

Taulukko 3. Jatkuvat taustamuuttujat tausta- ja taajama-aloittain tarkasteltuna. Taulukossa ovat myös tilastolliset testisuureet ja merkitsevyydet (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		keskiarvo	keskihajonta	Mann-Whitney	
				testisuure	p
ikä	taajama	103,1	14,1	59919	0,141
	tausta	101,2	14,6		
pituus	taajama	17,8	3,3	54469	0,534
	tausta	18,0	3,8		
pohjapinta-ala	taajama	16,6	4,7	57110	0,698
	tausta	16,6	5,1		
läpimitta	taajama	32,9	3,7	68027	0,000***
	tausta	31,6	3,4		

Taulukko 4. Luokittelevien taustamuuttujien tausta- ja taajama-alojen suhteen tehdyn riippumattomuustestin tulokset (testisuure ja p-arvo).

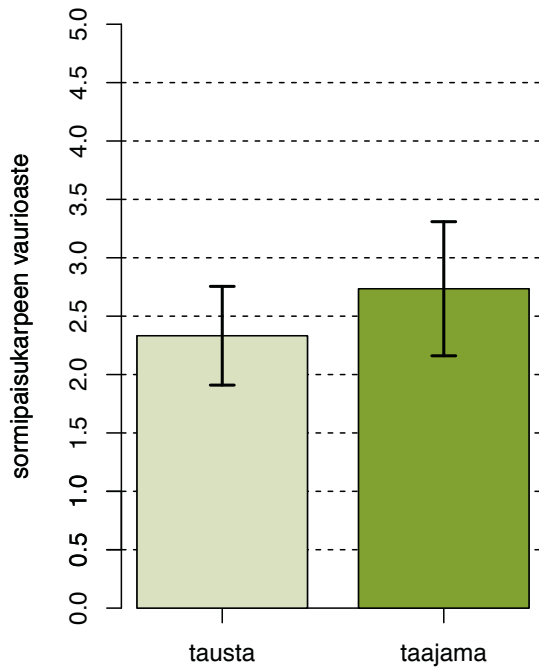
tarkasteltu muuttuja	riippumattomuustesti	
	X ²	p
kehitysluokka	6,15	0,046*
soveltuvuus	0,02	0,990
metsätyyppi	40,76	0,000***

1.2.2. Tutkitut muuttujat tausta- ja taajama-aloilla

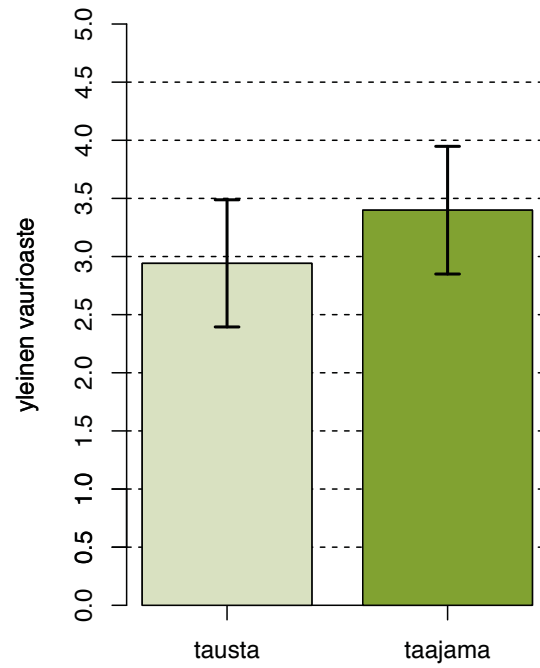
Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavat tunnusluvut taajama- ja tausta-aloilla on esitetty taulukossa 5 sekä kuvissa 1–7. Sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste olivat suurempia taajamassa sijaitsevilla aloilla kuin tausta-aloilla; taajama-aloilla sormipaisukarpeen vaurioaste oli keskimäärin selvä ja tausta-aloilla lievä (Kuva 1). Yleinen vaurioaste oli taajama-aloilla puoli vaurioluokkaa suurempi kuin tausta-aloilla (Kuva 2). Tutkimuksen suurimmat vauriot havaittiin taajamassa sijaitsevalla alalla. Keskimääräiset ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi olivat suuremmat tausta-aloilla kuin taajamassa. IAP-indeksin mukaan sekä tutkimuksen tausta-alojen että taajama-alojen jäkälälajisto oli köyhtynyttä (0–3). Tausta-aloilla havaittiin keskimäärin 1,2 ilman epäpuhtauksista kärsivää jäkälälajia enemmän kuin taajama-aloilla (Kuva 4). Tutkimuksen runsain ja monipuolisin jäkälälajisto oli tausta-alueella sijaitsevalla havaintoalalla ja köyhtynein lajisto taajama-alalla. Sormipaisukarpeen keskimääräisessä peittävydessä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa tausta- ja taajama-alojen välillä (Kuva 5). Lupon peittävydet olivat suuremmat tausta-aloilla verrattuna taajamassa sijaitseviin aloihin (Kuva 6). Levä oli yleisempää taajama-aloilla kuin tausta-aloilla: taajamassa levää esiintyi keskimäärin noin kuudella tutkimusrungolla, kun tausta-aloilla levää havaittiin keskimäärin vain neljällä tutkimusrungolla (Kuva 7).

Taulukko 5. Mäntyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja tausta- ja taajama-aloittain tarkasteltuna. Mukana taulukossa ovat myös tilastolliset testisuureet ja merkitsevyydet (p). Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***). N (taajama) = 220, N (tausta) = 556.

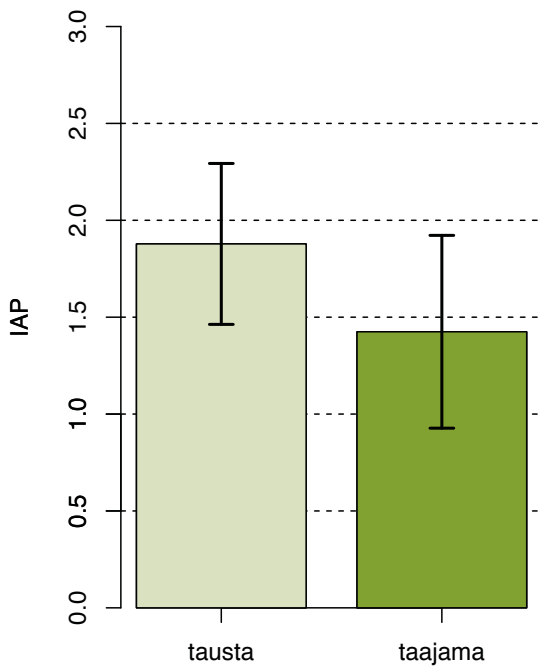
		keskiarvo	keskihajonta	pienin	suurin	Mann-Whitney	
						testisuure U	p
sormipaisukarpeen vaurioaste	taajama	2,7	0,57	1,6	4,8	80838	0,000***
	tausta	2,3	0,42	1,3	4,7		
yleinen vaurioaste	taajama	3,4	0,55	2,0	4,8	81049	0,000***
	tausta	2,9	0,55	1,5	4,4		
herkkien lajien lukumäärä	taajama	5,8	1,67	1	9	35194	0,000***
	tausta	7,0	1,24	3	9		
ilmanpuhtausindeksi	taajama	1,4	0,50	0,1	2,4	27914	0,000***
	tausta	1,9	0,42	0,7	3,0		
sormipaisukarpeen peittävyys %	taajama	5,3	5,09	0	37,0	59211	0,235
	tausta	4,9	4,89	0,05	28,7		
luppojen peittävyys %	taajama	0,01	0,07	0	0,95	50321	0,000***
	tausta	0,04	0,22	0	4,0		
levän yleisyys	taajama	5,6	3,45	0	10	72600	0,000***
	tausta	3,9	2,99	0	10		



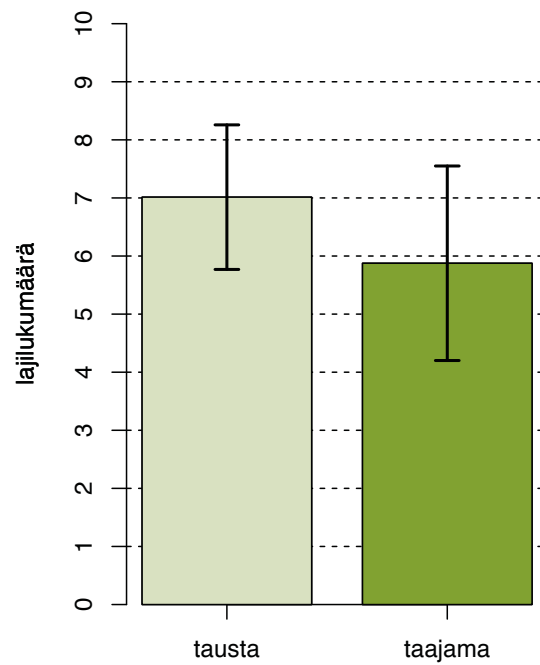
Kuva 1. Sormipaisukarpeen keskimääräiset vaurioasteet (\pm keskihajonta) tausta- ja taajama-aloittain.



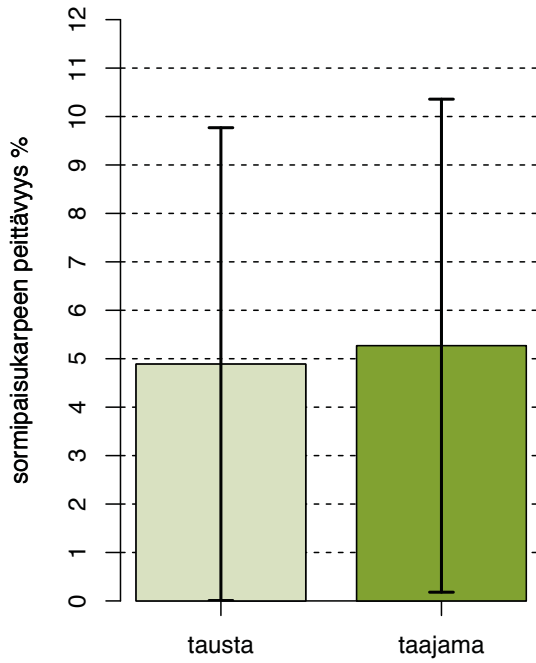
Kuva 2. Yleisen vaurioasteen keskimääräiset arvot (\pm keskihajonta) tausta- ja taajama-aloittain.



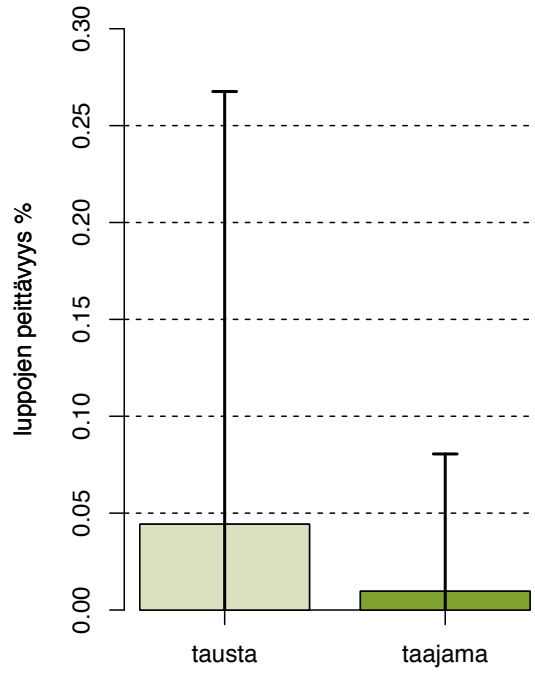
Kuva 3. Keskimääräiset ilmanpuhtausindeksin arvot (\pm keskihajonta) tausta- ja taajama-aloittain.



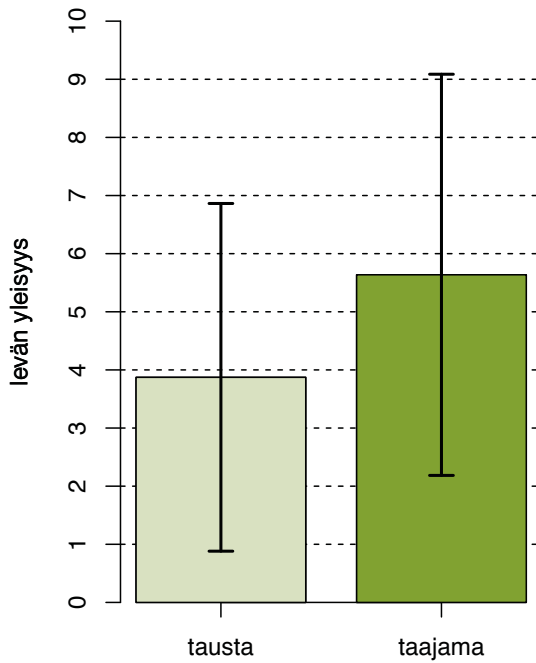
Kuva 4. Ilman epäpuhtauksista kärsivien keskimääräiset lukumäärät (\pm keskihajonta) tausta- ja taajama-aloittain.



Kuva 5. Sormipaisukarpeen keskimääräiset peittävydet (%) (\pm keskihajonta) tausta- ja taajama-aloittain.



Kuva 6. Luppojen keskimääräiset peittävydet (%) (\pm keskihajonta) tausta- ja taajama-aloittain.



Kuva 7. Levän esiintyminen havaintorungoilla (\pm keskihajonta) tausta- ja taajama-aloittain.

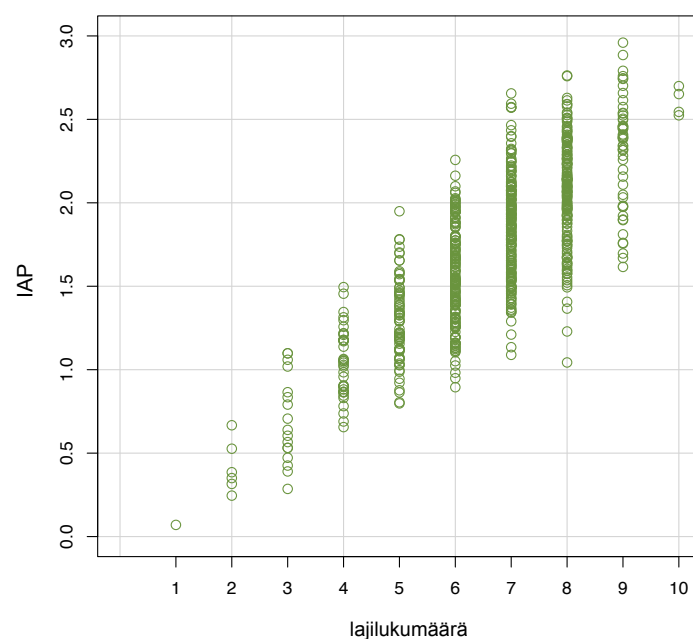
1.2. Tutkittujen muuttujien välinen riippuvuus

Tilastollisesti merkitseviä riippuvuuksia havaittiin useiden ilmanlaatua kuvaajien muuttujien kesken, ja kaikki olivat merkitsevyydeltään erittäin merkitseviä ($p < 0,001$) (Taulukko 6). Voimakkaimpia korrelaatioita havaittiin IAP-indeksin ja lajilukumäärän välillä (Kuva 8). IAP-indeksi lasketaan jäkälälajien lukumäärän pohjalta, joten näiden muuttujien välinen positiivinen korrelaatio oli odotettavissa. IAP-indeksi ja lajilukumäärä korreloivat erittäin merkitsevästi negatiivisesti yleisen vaurioasteen kanssa ja myös sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa mutta pienemmällä korrelaatiokertoimella (Kuva 9). Sormipaisukarpeen vaurioaste puolestaan korreloi yleisen vaurioasteen kanssa (Kuva 10). Korrelaatiot viittaavat siihen, että muuttujat mittaavat samaa asiaa, mutta hieman eri tavoin. Lajilukumäärä ja IAP-indeksi korreloivat yleisen vaurioasteen kanssa voimakkaammin kuin sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa sen vuoksi, että yleinen vaurioaste huomioi erikseen lehti- ja pensasmaisten lajien esiintymisen, joten havaintopuulla havaittujen jäkäläien lajimäärä vaikuttaa sen vaurioluokitukseen. Tosin myös sormipaisukarpeen vaurioaste vaikuttaa vaurioluokitukseen.

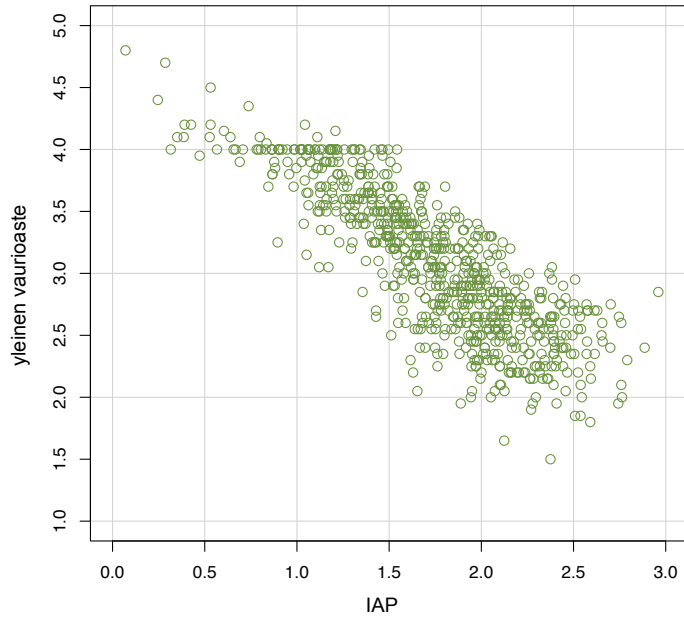
Sekä yleinen vaurioaste että sormipaisukarpeen vaurioaste olivat sitä suurempia mitä yleisempää levä oli tutkimusalalla (Kuva 11 levän yleisyys ja yleinen vaurioaste). Koska levä on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori, on luonnollista, että levän yleistyessä myös jäkäläien vauriot ovat suurempia. Ilmanpuhtausindeksin ja luppojen peittävyys välinen positiivinen korrelaatio oli myös odotettu, sillä ne molemmat ovat ilman epäpuhtauksien negatiivisia indikaattoreita eli niiden oletetaan olevan sitä suurempia mitä puhtaampaa ilma on.

Taulukko 6. 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 (***).

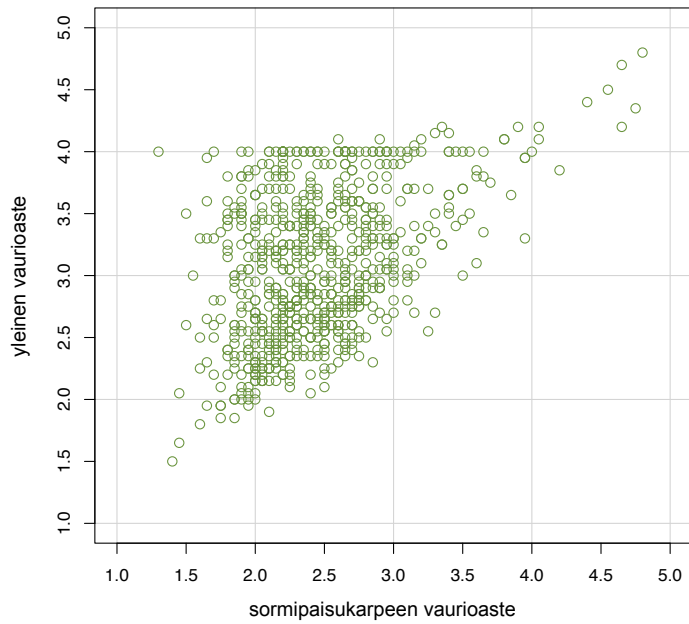
n = 734	IAP	sormipaisukarpeen peittävyys %	luppojen peittävyys %	sormipaisukarpeen vaurioaste	yleinen vaurioaste	lajilukumäärä
sormipaisukarpeen peittävyys %	0,004	1				
luppojen peittävyys %	0,312***	-0,031	1			
sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,293***	-0,305***	-0,055	1		
yleinen vaurioaste	-0,840***	-0,016	-0,298***	0,382***	1	
lajilukumäärä	0,760***	0,024	0,238***	-0,190***	-0,596***	1
levä	-0,254***	0,218***	-0,129***	0,230***	0,321***	-0,086



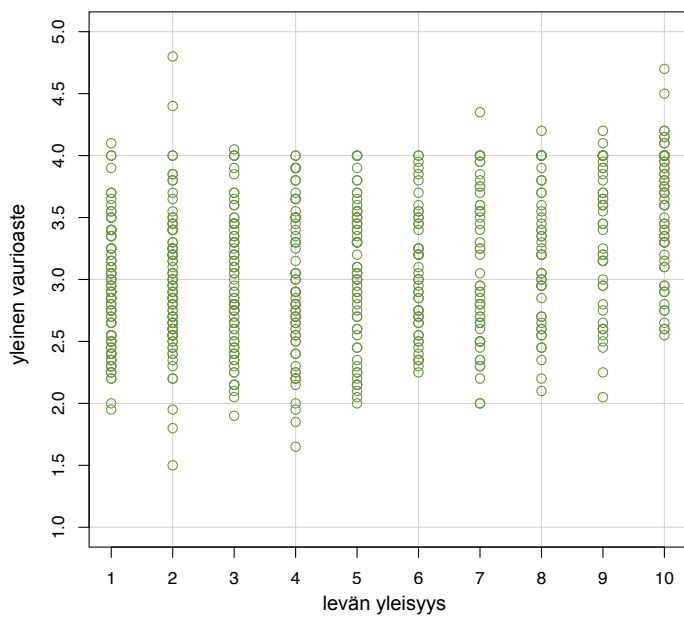
Kuva 8. Alakohtaisen lajilukumäärän ja IAP-indeksin välinen riippuvuus.



Kuva 9. Alakohtaisen IAP-indeksin ja yleisen vaurioasteen välinen riippuvuus.



Kuva 10. Alakohtaisen sormipaisukarpeen vaurioasteen ja yleisen vaurioasteen välinen riippuvuus.



Kuva 11. Alakohtaisen levän yleisyyden ja yleisen vaurioasteen välinen riippuvuus.

1.4. Regressioanalyysit

Regressioanalyysin avulla tutkittiin taustamuuttujien vaikutusta viiteen jäkälämuuttujaan, joiden oletetaan kuvaavan ilmanlaatua: IAP-indeksiin, ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lajilukumäärään, sormipaisukarpeen vaurioasteeseen, sormipaisukarpeen peittävyys ja yleiseen vaurioasteeseen. Regressioanalyysissä selittäviä ilmanlaatua kuvaavia muuttujia olivat havaintopaikan etäisyys lähimpään ilmoitusvelvolliseen päästölähteeseen, lähimmän päästölähteen rikkidioksidi-, typpidioksidi- ja hiukkaspäästöt sekä ilman rikkidioksidi-, typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet (ks. luku 2.2.2). Ilman epäpuhtauksien pitoisuudet kuvaavat keskiarvoisia pitoisuuksia vuonna 2012, mutta tietojen katsottiin olevan vertailukelpoisia, sillä jäkälälajit reagoivat ympäristön muutoksiin varsin hitaasti. Selittävinä havaintoalaa kuvaavina taustamuuttujina mallissa käytettiin havaintoalan puuston keskimääräistä ikää, pituutta, pohjapinta-alaa ja läpimittaa.

Taustamuuttujista havaintopuiden läpimitta ja puuston pituus sekä toisaalta puuston pohjapinta-ala ja pituus korreloivat keskenään voimakkaasti positiivisesti. Tämän takia kummastakin suureparista muodostettiin uusi muuttuja pääkomponenttianalyysin avulla, joita sitten käytettiin regressioissa. Näin saatiin myös yksi muuttuja vähemmän tarkasteltavaksi. Taulukoissa esiintyvä vakio kertoo vaihtelun ”lähtötason”, jota merkitsevästi vaikuttavat, selittävät muuttujat joko vähentävät tai lisäävät riippuen niihin liittyvän kertoimen etumerkistä (sarake ”B”). ”Osuus selitysasteesta” kertoo, kuinka suuren osan selitysasteesta kyseinen selittävä muuttuja selittää. Testisuure t:n ja p-arvon avulla voidaan tarkastella regressiomalliin kuuluvien termien (sarake B) tilastollista merkitsevyyttä.

Regressioanalyysissä lähimmän lupavelvollisen päästölähteen päästömäärät eivät olleet yhdenkään muuttujan kohdalla merkitseviä.

1.4.1. IAP-indeksi

IAP-indeksin vaihtelusta neljän muuttujan regressiomalli selitti 21,5 %. Taustamuuttujat selittivät vaihtelusta 13,9 % ja ilmanlaatumuuttujat 7,6 %. eniten vaikuttivat läpimitan ja pituuden PCA-yhdistelmä sekä etäisyys lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä. IAP indeksi kasvoi, kun nämä suureet kasvoivat. IAP-indeksi puolestaan pieneni eli jäkälälajisto köyhtyi, kun ilman hiukkasten ja rikkidioksidin määrä kasvoi. (Taulukko 7).

Taulukko 7. Ilmanpuhtausindeksille tehdyn regressioanalyysin tulokset (4 muuttujaa). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

	$r^2 = 0,215$	B	osuus selitysasteesta	testisuure t	p-arvo
vakio		3,08		14,29	0,000 ***
PCA (läpimitta ~ pituus)		0,10	32,1 %	7,80	0,000 ***
etäisyys lähimmästä päästölähteestä		0,02	27,2 %	7,19	0,000 ***
PM ₁₀ -pitoisuus		-0,06	25,4 %	-6,94	0,000 ***
SO ₂ -pitoisuus		-0,33	15,4 %	-5,40	0,000 ***

Puuston läpimitan vaikutus ilmanpuhtausindeksiin liittyy todennäköisesti havaintoalojen epätasaiseen jakaantumiseen läpimitan suhteen tausta- ja taajama-aloille, eli taajama-aloilla puut olivat keskimäärin iäkkäämpiä ja paksumpia kuin tausta-aloilla.

1.4.2. Ilman epäpuhtauksista kärsivät jäkälälajit

Kuuden selittävän muuttujan regressiomalli selitti 17,6 % herkkien jäkälälajien lukumäärän vaihtelusta. Taustamuuttujat selittivät vaihtelusta 10,7 % ja ilmanlaatumuuttujat 6,9 %. Merkittävin tekijä oli havaintoalan etäisyys lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä, jonka kasvaessa lajienkin lukumäärä kasvoi. Hiukkasten, rikkidioksidin ja typpidioksidin pitoisuudet vaikuttivat lajilukumäärää pienentävästi. (Taulukko 8)

Taulukko 8. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärälle tehdyn regressioanalyysin tulokset (6 muuttujaa). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

$r^2 = 0,176$	B	osuus selityksasteesta	testisuure t	p-arvo
vakio	10,21		14,56	0,000 ***
etäisyys lähimmästä päästölähteestä	0,05	44,3 %	6,22	0,000 ***
PM ₁₀ -pitoisuus	-0,14	17,1 %	-3,86	0,000 ***
SO ₂ -pitoisuus	-0,78	16,0 %	-3,74	0,000 ***
PCA (läpimitta ~pituus)	0,16	9,4 %	2,87	0,004 **
PCA (pohjapinta-ala ~ pituus)	-0,14	7,0 %	-2,47	0,014 *
NO ₂ -pitoisuus	-0,04	6,3 %	-2,34	0,019 *

1.4.3. Sormipaisukarpeen vaurioaste

Viiden taustamuuttujan regressiomalli selitti 9,4 % sormipaisukarpeen vaurioasteen vaihtelusta. Taustamuuttujat selittivät kaikkiaan 7,5 % ja ilmanlaatumuuttujat 1,9 %. Vauriot vähenivät, kun etäisyys lähimpään lupavelvolliseen laitokseen kasvoi mutta kasvoivat, kun NO₂-pitoisuus kasvoi. (Taulukko 9) Typpidioksidin suuri määrä kertoo läheisyydestä päästölähteisiin, joten se on sidoksissa myös etäisyyteen lähimmästä päästölähteestä.

Regressiomallilla sormipaisukarpeen vaurioasteen selitysaste jäi kaikkein heikoimmaksi tarkastelluista muuttujista. Pieni selitysaste kertoo siitä, että regressiomallissa eivät välttämättä ole mukana kaikki sormipaisukarpeen vaurioasteeseen liittyvät tekijät. Puuston läpimitan vaikutus liittyy puuston sulkeutuneisuuden vaikutukseen. Puiden piteuden vaikutus voi liittyä kallioaloihin: sormipaisukarve usein kärsii kallioalojen paahteisuudesta ja kilpikaarnoituvien mäntyjen tarjoamasta huonosta kasvualustasta.

Taulukko 9. Sormipaisukarpeen vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset (5 muuttujaa). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

$r^2 = 0,094$	B	osuus selityksasteesta	testisuure t	p-arvo
vakio	1,87		12,58	0,000 **
etäisyys lähimmästä päästölähteestä	-0,01	42,5 %	-4,94	0,000 ***
NO ₂ -pitoisuus	0,02	27,8 %	4,00	0,000 ***
ikä	0,00	15,1 %	2,95	0,003 **
PCA (läpimitta ~pituus)	-0,04	7,3 %	-0,04	0,041 *
PCA (pohjapinta-ala ~ pituus)	-0,04	4,1 %	-0,05	0,041 *

1.4.4. Yleinen vaurioaste

Jäkäliden yleisen vaurioasteen vaihtelusta yhteensä 15,7 % on selitettävissä neljän muuttujan regressiomallilla. Taustamuuttujat selittivät 12,2 % vaihtelusta ja ilmanlaatumuuttujat 3,5 %. PCA-yhdistetty puiden läpimitta ja pituus oli alakohtaisen yleisen vaurioasteen paras ennustin käänteisesti: läpimitan ja piteuden kasvaessa yleinen vaurioaste pieneni. Samanlainen käänteinen riippuvuus oli vaurioasteen ja lähimmän lupavelvollisen laitoksen etäisyydellä. Yleinen vaurioaste kasvoi, kun ilman SO₂- ja PM₁₀-pitoisuus kasvoivat. (Taulukko 10).

Taulukko 10. Yleiselle vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset (4 muuttujaa). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***).

$r^2 = 0,157$	B	osuus selityksasteesta	testisuure t	p-arvo
vakio	2,07		7,70	0,000 ***
PCA (läpimitta ~ pituus)	-0,14	51,4 %	-8,13	0,000 ***
etäisyys lähimmästä päästölähteestä	-0,02	33,0 %	-5,67	0,000 ***
PM ₁₀ -pitoisuus	0,05	16,2 %	4,57	0,000 ***
SO ₂ -pitoisuus	0,23	7,4 %	3,09	0,002 **

1.4.5. Sormipaisukarpeen peittävyys

Kahden selittävän muuttujan regressiomalli selitti 19,6 % sormipaisukarpeen peittävyyden vaihtelusta. Taustamuuttujat selittivät tästä 19,2 % ja ilmanlaatuun liittyvät muuttujat vain 0,4 %. Puuston ikä ennusti parhaiten ala-kohtaista sormipaisukarpeen peittävyyttä negatiivisesti: puuston iän kasvaessa peittävyys pieneni. Pohjapinta-ala ja puiden pituuden kasvaessa sormipaisukarpeen peittävyys lisääntyi. (Taulukko 11)

Taulukko 11. Sormipaisukarpeen peittävyydelle tehdyn regressioanalyysin tulokset (2 muuttujaa). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

$r^2 = 0,196$	B	osuus selityksasteesta	testisuure t	p-arvo
vakio	17,98		15,03	0,000 ***
puiden ikä	-0,13	83,3 %	-10,95	0,000 ***
PCA (pohjapinta-ala ~ pituus)	-0,69	16,7 %	4,90	0,000 ***

1.4.6. Levän yleisyys

Kolmen selittävän muuttujan regressiomalli selitti 7,9 % levän yleisyyden vaihtelusta. Luontaiset taustamuuttujat selittivät vaihtelusta 7,7 % ja ilmanlaatua kuvaavat muuttujat vain 0,2 %. Puuston pohjapinta-ala ja pituuden kasvaessa levä yleistyi, ja levä harvinaistui, mitä kauempana havaintoala sijaitti lähimmästä lupavelvollisesta päästölähteestä ja mitä nuorempia puut olivat. (Taulukko 12)

Taulukko 12. Levän yleisyydelle tehdyn regressioanalyysin tulokset (3 muuttujaa). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

$r^2 = 0,074$	B	osuus selityksasteesta	testisuure t	p-arvo
vakio	7,88		9,21	0,000 ***
PCA (pohjapinta-ala ~ pituus)	0,51	50,8 %	5,17	0,000 ***
etäisyys lähimmästä päästölähteestä	-0,07	25,6 %	-3,67	0,000 ***
puiden ikä	-0,03	23,6 %	-3,52	0,000 ***

1.5. Yhteisöanalyysit

Ordinaatio suoritettiin sekä kahdessa että kolmessa dimensiossa jäkälälajien yleisyydelle (jäkälälajien esiintyminen havaintoalalla, 0–10), jäkälälajien runsaudelle (jäkälälajien keskimääräinen runsaus havaintoaloilla, 0–3) sekä jäkäläsuureille (lajilukumäärä, IAP-indeksi, sormipaisukarpeen vaurioaste, yleinen vaurioaste, sormipaisukarpeen peittävyys ja loppojen peittävyys). Havaittujen stressiarvojen perusteella (Taulukko 13) sekä havainnollisuuden vuoksi taustamuuttujat sovitettiin vektoreina jäkälälajien yleisyyden kolmiakseliseen ordinaatioon ja jäkäläsuureiden kaksiakseliseen ordinaatioon (Taulukko 14 ja 15).

Taulukko 13. NMDS-ordinaatioiden stressiarvot 2 ja 3 kolmen ordinaatioakselin ratkaisuille.

* = optimaalinen ratkaisu

	2 akselia	3 akselia
jäkälän yleisyys	0,167	0,119
jäkälän runsaus	0,176	0,115 *
jäkäläsuureet	0,091	0,060

Taulukko 14. Taustamuuttujien sovituksen tulokset jäkäläsuureille. NMDS1 ja NMDS2 ovat vektoreiden suunnan kosineja suhteessa ordinaatioakseleihin ja r^2 kertoo ordinaation ja taustamuuttujien välisen riippuvuuden suuruuden. Merkitsevyydet: * < 0,05; ** < 0,01; *** < 0,001.

taustamuuttuja	NMDS1	NMDS2	r^2	p-arvo
etäisyys päästölähteeseen km	-0,996	0,094	0,087	0,000 ***
havaintopuiden ikä	0,115	0,993	0,179	0,000 ***
ilman NO _x -pitoisuus	0,748	0,664	0,076	0,000 ***
ilman PM ₁₀ -pitoisuus	0,814	0,580	0,063	0,000 ***
ilman SO ₂ -pitoisuus	0,829	-0,559	0,006	0,092
havaintopuiden pituus	0,262	-0,965	0,104	0,000 ***
pohjapinta-ala	0,150	-0,989	0,049	0,000 ***
päästölähteen NO _x -päästö	0,448	0,894	0,019	0,003 **
päästölähteen SO ₂ -päästö	0,522	0,853	0,009	0,044 *
päästölähteen hiukkaspäästö	0,578	0,816	0,013	0,013 *
havaintopuiden läpimitta	0,988	0,158	0,058	0,000 ***

Taulukko 15. Taustamuuttujien sovituksen tulokset jäkälän yleisyydelle. NMDS1, NMDS2 ja NMDS3 ovat vektoreiden suunnan kosineja suhteessa ordinaatioakseleihin ja r^2 kertoo ordinaation ja taustamuuttujien välisen riippuvuuden suuruuden. Merkitsevyydet: * < 0,05; ** < 0,01; *** < 0,001.

taustamuuttuja	NMDS1	NMDS2	NMDS3	r^2	p-arvo
etäisyys päästölähteeseen km	-0,592	0,777	-0,215	0,096	0,000 ***
havaintopuiden ikä	-0,133	-0,978	-0,161	0,211	0,000 ***
ilman NO _x -pitoisuus	0,493	-0,828	-0,265	0,075	0,000 ***
ilman PM ₁₀ -pitoisuus	0,469	-0,869	-0,158	0,085	0,000 ***
ilman SO ₂ -pitoisuus	0,502	-0,626	0,597	0,010	0,055
havaintopuiden pituus	0,496	0,824	-0,275	0,161	0,000 ***
pohjapinta-ala	0,491	0,721	0,488	0,048	0,000 ***
päästölähteen NO _x -päästö	0,133	-0,962	0,239	0,019	0,005 **
päästölähteen SO ₂ -päästö	0,168	-0,945	0,281	0,013	0,022 *
päästölähteen hiukkaspäästö	0,397	-0,746	0,535	0,012	0,033 *
havaintopuiden läpimitta	0,590	-0,730	0,346	0,079	0,000 ***

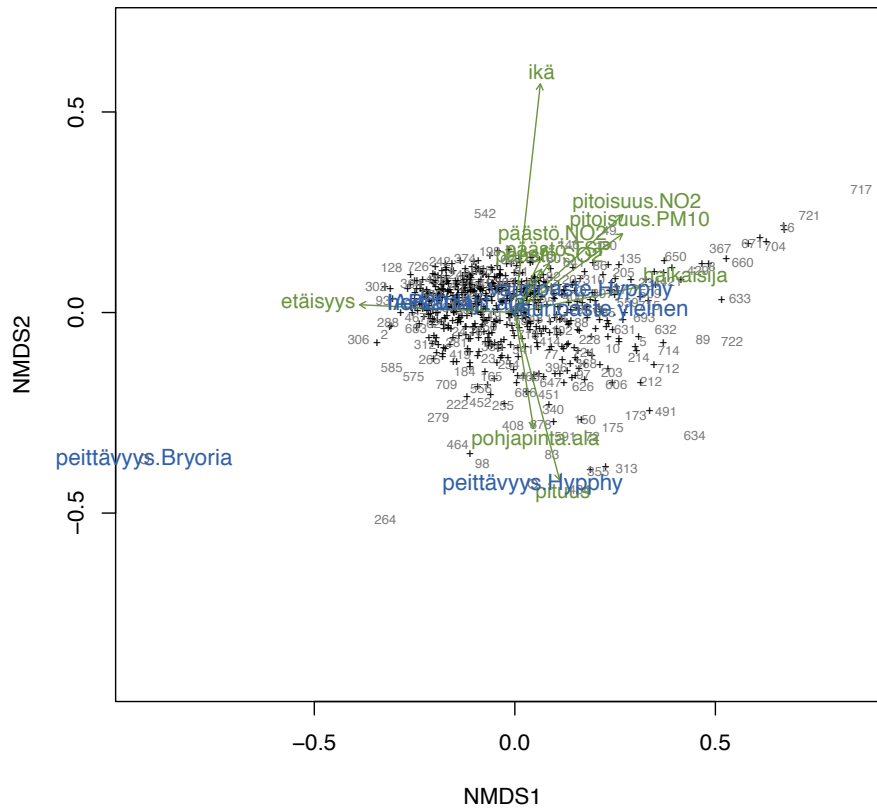
Ordinaatiokuvaajista voidaan tarkastella jäkälälajien ja havaintoalojen, jäkälälajien ja taustamuuttujien ja havaintoalojen ja taustamuuttujien välisiä suhteita. Havaintoalojen sijainti ordinaatiossa kuvastaa sitä, mitkä lajit ovat tunnusomaisia havaintoaloille ja millä taustamuuttujilla on ollut eniten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

Ilman epäpuhtauksien suhteen herkäät ja melko herkäät lajit sijoittuivat jäkälälajiston yleisyyden mukaan tehdyssä ordinaatiossa pääasiassa eri puolelle kuin ilman epäpuhtauksia kuvaavien muuttujien vektorit, mutta samalle puolelle, missä etäisyys lähimpään päästölähteeseen kasvoi. Ilman epäpuhtauksista hyötyvät lajit sijoittuivat ordinaatiossa puolestaan pääasiassa sille puolelle, missä ilman epäpuhtauksia kuvaavien muuttujien muutos on ollut suurinta. Sekä jäkälälajiston yleisyyden että jäkäläsuureiden mukaan tehdyistä ordinaatiokuvaajista voidaan myös nähdä, että keltaröyhelö viihtyy sulkeutuneissa, pohjapinta-alaltaan suurissa metsissä. Tällaisissa pohjapinta-alaltaan suurissa ja nuorehkoissa metsissä myös sormipaisukarpeen peittävyys on suuri. Seinäsuomujäkälä puolestaan viihtyy ordinaation mukaan vanhoissa puissa, joiden läpimitta on kuitenkin pieni.

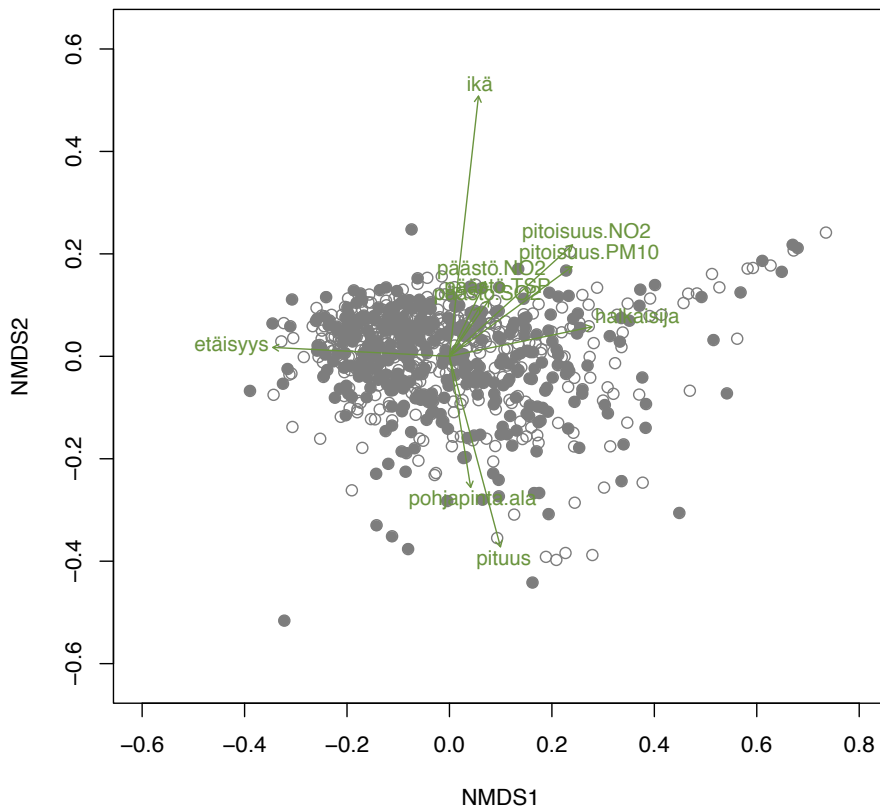
Jäkäläsuureista sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste sijoittuivat sille puolelle jäkäläsuureiden perusteella tehtyä ordinaatiota, jonne rikkidioksidi- ja hiukkaspitoisuuksien vektorit osoittivat, ja ilman epäpuhtauksien negatiivinen indikaattori luppojen peittävyys sijoittui vastakkaiselle puolelle (Kuvat 12, 13, 14 ja 15).

Jäkälän yleisyyden suhteen tehdyssä ordinaatiossa havaintoalat hajaantuivat eniten ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien, alan etäisyyden lähimpään päästölähteeseen ja puuston pituuden ja pohjapinta-alan mukaan. Selviä alojen ryhmittymisiä ei ordinaatiossa ole kuitenkaan havaittavissa. Kuormittuneimmat ja jäkälälajistoltaan köyhtyneimmät alat sijaittivat ordinaatiossa ilman epäpuhtauksia kuvaavien vektoreiden ja ympärysmitta-vektori-

jäkäläsuureet (taustamuuttujat vektoreina, akselit 1 & 2)



Kuva 15. Havaintoalojen sijoittuminen kaksiolotteiseen NMDS-ordinaatioon ns. jäkäläsuureiden mukaan. Vain merkitsevät ($p < 0,05$) taustamuuttujavektorit on merkitty kuvioon.



Kuva 16. Havaintoalojen sijoittuminen kaksiolotteiseen NMDS-ordinaatioon jäkälähavainnoista laskettujen jäkäläsuureiden mukaan. Havaintoalat on luokiteltu taajama- ja tausta-aloihin (tausta-ala = harmaa pallo, taajama-ala = valkoinen pallo). Vain merkitsevät ($p < 0,05$) taustamuuttujavektorit on merkitty kuvioon.

Liite 24.

Vuosien välinen vertailu

Vuosien 2009 ja 2014 väliset muutokset

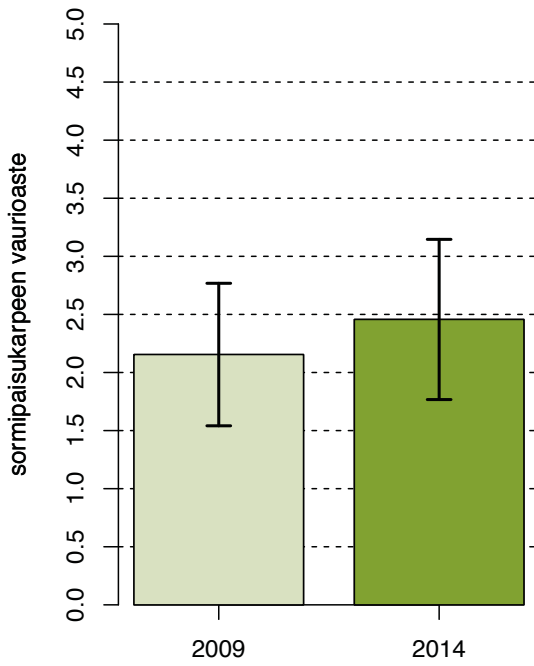
Taulukossa 1 on esitetty alakohtaisten vertailujen tulokset ilmanpuhtausindeksin, alakohtaisen lajilukumäärän, sormipaisukarpeen vaurioasteen, sormipaisukarpeen peittävyys, luppojen peittävyys ja levän yleisyyden osalta. Taulukossa on esitetty muuttujien keskiarvot, keskihajonnat, pienimmät ja suurimmat arvot sekä vuosien välisten vertailujen merkitsevyytaso. Taulukossa 2 on esitetty runkokohtaisten vertailujen tulokset jäkälälajien runsauksien, sormipaisukarpeen ja luppojen runsauksien sekä sormipaisukarpeen vaurioasteen ja runkokoh-
taisen lajimäärän osalta. Taulukossa on esitetty muuttujien keskiarvot, keskihajonnat, pienimmät ja suurimmat arvot, testisuureen arvot sekä vertailun tilastollinen merkitsevyys. Kuivissa 1–4 on esitetty runkokohtaisten ver-
tailujen tulokset sormipaisukarpeen vaurioasteen, sormipaisukarpeen peittävyys, luppojen peittävyys ja lajilukumäärän osalta kaavioina.

Taulukko 1. Samoina pysyneiden havaintoalojen keskimääräisiä tietoja (keskiarvo, keskihajonta, suurin ja pienin) vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. N = 486.

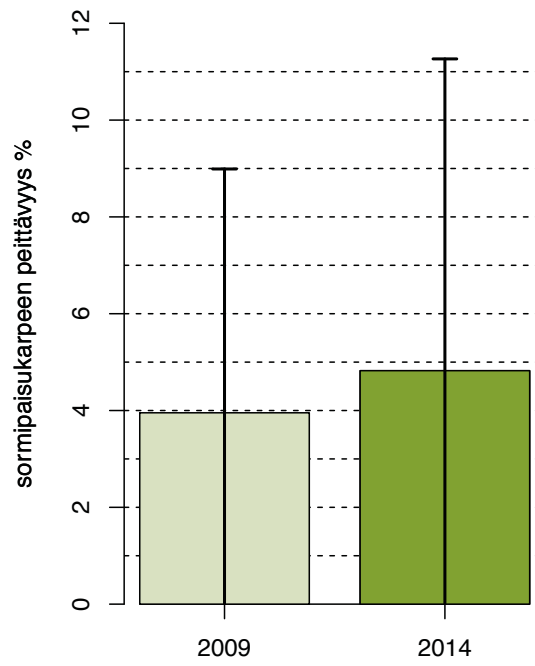
n = 486		Keskiarvo	Keskihajonta	Pienin	Suurin
IAP-indeksi	2000	2,1	0,54	0	3,2
	2004	1,8	0,49	0	2,8
	2009	2	0,51	0,2	3,1
	2014	1,7	0,48	0,1	2,8
lajilukumäärä	2000	7,1	1,42	1	10
	2004	6,7	1,45	1	10
	2009	6,9	1,42	1	10
	2014	6,6	1,45	1	9
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2	0,64	1	5
	2004	2,2	0,57	1,1	4,8
	2009	2,1	0,52	1,1	4,9
	2014	2,4	0,51	1,4	4,8
sormipaisukarpeen peittävyys (%)	2000	6,4	5,37	0	47
	2004	4,1	3,53	0	27
	2009	3,7	3,41	0	26
	2014	4,5	4,37	0	37
luppojen peittävyys (%)	2000	0,03	0,1	0	0,9
	2004	0,01	0,04	0	0,5
	2009	0,01	0,06	0	0,5
	2014	0,03	0,14	0	1,3
levän yleisyys	2000	2,2	3,01	0	10
	2004	3,8	3,63	0	10
	2009	4	3,64	0	10
	2014	4,2	3,16	0	10

Taulukko 2. Männen runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoringoilla vuosina 2009 ja 2014. Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty merkkitestillä. Kun suureen keskiarvo oli suurempi vuonna 2014, erotus on negatiivinen. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testituloks on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**), ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***). n = 6415.

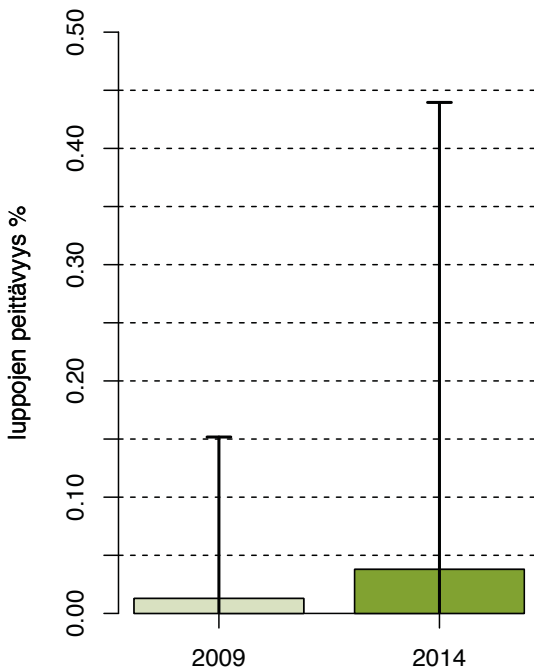
n = 6415		Keskiarvo	Keskihajonta	Pienin	Suurin	erotus 2009–2014	p-arvo
sormipaisukarpeen runsaus	2009	2,9	0,41	0	3	0,06	0,000 ***
	2014	2,9	0,56	0	3		
keltatyvikarpeen runsaus	2009	2,9	0,53	0	3	-0,00	0,487
	2014	2,9	0,53	0	3		
harmaa- ja tuhkatyvikarpeiden runsaus	2009	1,6	1,26	0	3	0,01	0,370
	2014	1,6	1,28	0	3		
luppojen runsaus	2009	0,3	0,70	0	3	-0,04	0,000 ***
	2014	0,3	0,77	0	3		
naavojen runsaus	2009	0,3	0,62	0	3	0,09	0,000 ***
	2014	0,2	0,53	0	3		
harmaaröyhelön runsaus	2009	1,6	1,34	0	3	0,11	0,000 ***
	2014	1,5	1,37	0	3		
keltaröyhelön runsaus	2009	0,5	0,91	0	3	-0,00	0,178
	2014	0,5	0,93	0	3		
hankakarpeen runsaus	2009	1,7	1,29	0	3	0,23	0,000 ***
	2014	1,5	1,35	0	3		
ruskoröyhelön runsaus	2009	0,0	0,20	0	3	0,00	0,020 *
	2014	0,0	0,20	0	3		
raidanisokarpeen runsaus	2009	0,0	0,16	0	3	-0,00	0,048 *
	2014	0,0	0,19	0	3		
seinäsuomujäkälän runsaus	2009	1,2	0,87	0	3	0,20	0,000 ***
	2014	1,0	0,70	0	3		
levän ja vihersukulajäkälän runsaus	2009	0,6	0,75	0	3	0,05	0,000 ***
	2014	0,5	0,60	0	3		
sormipaisukarpeen peittävyys (%)	2009	4,0	5,0	0	63	-0,87	0,279
	2014	4,8	6,4	0	79		
luppojen peittävyys (%)	2009	0,01	0,14	0	4,0	-0,03	0,100
	2014	0,04	0,40	0	13		
sormipaisukarpeen vaurioaste	2009	2,2	0,61	1	5	-0,30	0,000 ***
	2014	2,5	0,69	1	5		
yleinen vaurioaste	2009	2,9	0,77	1	5	-0,14	0,000 ***
	2014	3,1	0,80	1	5		
lajilukumäärä	2009	4,7	1,46	0	9	0,26	0,000 ***
	2014	4,4	1,48	0	9		



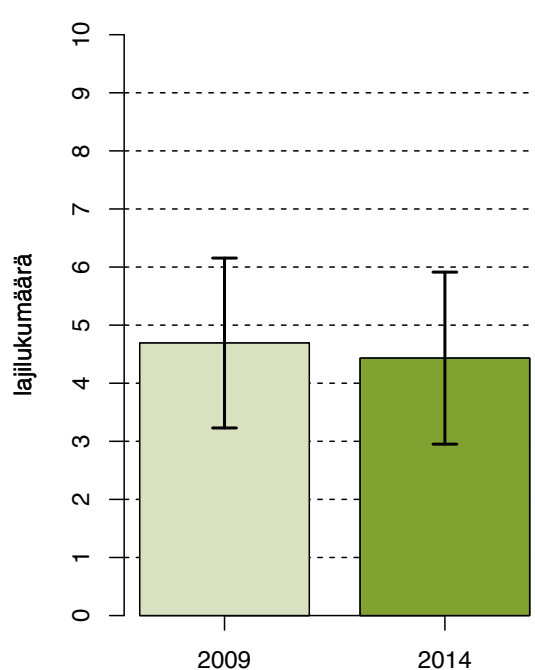
Kuva 1. Sormipaisukarpeen keskimääräiset vaurioasteet (\pm keskihajonta) Uudenmaan samoina pysyneillä havaintorungoilla vuosina 2009 ja 2014. n = 6415.



Kuva 2. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys prosentteina (\pm keskihajonta) Uudenmaan samoina pysyneillä havaintorungoilla vuosina 2009 ja 2014. n = 6415.



Kuva 3. Luppojen keskimääräinen peittävyys prosentteina (\pm keskihajonta) Uudenmaan samoina pysyneillä havaintorungoilla vuosina 2009 ja 2014. n = 6415.



Kuva 4. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien keskimääräinen lajilukumäärä (\pm keskihajonta) Uudenmaan samoina pysyneillä havaintorungoilla vuosina 2009 ja 2014. n = 6415.

Vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 väliset muutokset

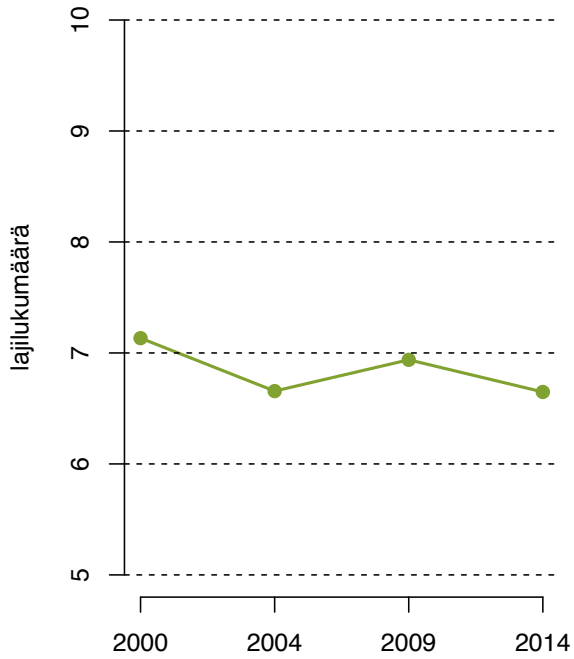
Taulukossa 3 on esitetty vuosien 2000, 2004, 2009 ja 2014 välisten vertailujen tulokset vuosivertailupareittain. Taulukossa 4 esitetään vuosien väliset tilastolliset vertailut tärkeimmille jäkälämuuttujille tausta- ja taajamajaottelun suhteen tarkasteltuna. Kuvissa 5–7 on esitetty ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärän, ilmanpuhtausindeksin ja sormipaisukarpeen vaurioasteen kehitys vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Näissä kaavioissa asteikko ei kata suureen koko vaihteluväliä.

Taulukko 3. Männyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014. Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty Bonferronin monivertailumenetelmällä ja sormipaisukarpeen vaurion osalta merkkiteistillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). N = 486.

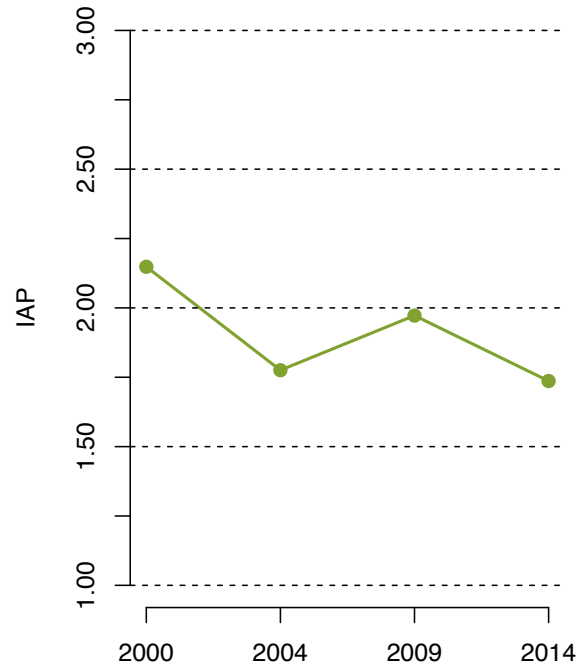
n = 486	alkuvuosi	loppuvuosi	t	p-arvo
ilmanpuhtausindeksi	2000	2004	33,65	0,000 ***
	2000	2009	13,51	0,000 ***
	2000	2014	29,69	0,000 ***
	2004	2009	-17,03	0,000 ***
	2004	2014	3,10	0,002 **
	2009	2014	22,78	0,000 ***
lajilukumäärä	2000	2004	9,33	0,000 ***
	2000	2009	3,58	0,000 ***
	2000	2014	7,23	0,000 ***
	2004	2009	-5,64	0,000 ***
	2004	2014	0,16	0,873
	2009	2014	6,12	0,000 ***
sormipaisukarpeen vaurioaste	2000	2004	-	0,000 ***
	2000	2009	-	0,000 ***
	2000	2014	-	0,000 ***
	2004	2009	-	0,045 *
	2004	2014	-	0,000 ***
	2009	2014	-	0,000 ***
sormipaisukarpeen peittävyys [%]	2000	2004	16,91	0,000 ***
	2000	2009	18,43	0,000 ***
	2000	2014	11,90	0,000 ***
	2004	2009	5,90	0,000 ***
	2004	2014	-2,85	0,004 **
	2009	2014	-8,07	0,000 ***
luppojen peittävyys [%]	2000	2004	4,84	0,000 ***
	2000	2009	3,59	0,000 ***
	2000	2014	-0,67	0,513
	2004	2009	-1,09	0,275
	2004	2014	-3,69	0,000 ***
	2009	2014	-3,21	0,001 **
levän yleisyys	2000	2004	-11,10	0,000 ***
	2000	2009	-13,43	0,000 ***
	2000	2014	-15,07	0,000 ***
	2004	2009	-1,39	0,166
	2004	2014	-2,62	0,009 **
	2009	2014	-1,51	0,131

Taulukko 4. Vuosien väliset tilastolliset vertailut tärkeimmille jäkälämuuttujille tausta- ja taajamajaottelun suhteen tarkasteltuna. Melkein merkitsevä (p < 0,05) testituloks on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***). Viimeinen sarake kertoo, kummassa ryhmässä tarkasteltujen muuttujien arvot ovat olleet suurempia. N (taajama) = 160, N (tausta) = 326.

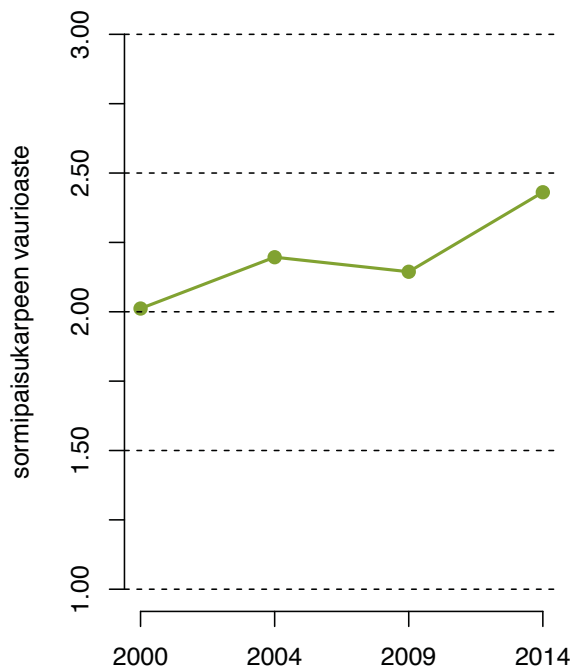
tarkasteltu muuttuja	vertailupari		merkkitesti		suurempi arvo
			erotus	p-arvo	
sormipaisukarpeen vaurioaste	tausta	2000 / 2004	-0,24	0,000 ***	2004
		2000 / 2009	-0,21	0,000 ***	2009
		2000 / 2014	-0,52	0,000 ***	2014
		2004 / 2009	0,03	0,240	
		2004 / 2014	-0,28	0,000 ***	2014
		2009 / 2014	-0,31	0,000 ***	2014
	taajama	2000 / 2004	-0,07	0,036 *	2004
		2000 / 2009	0,03	0,804	
		2000 / 2014	-0,21	0,000 ***	2014
		2004 / 2009	0,09	0,081	
		2004 / 2014	-0,15	0,009 **	2014
		2009 / 2014	-0,24	0,000 ***	2014
lajimäärä	tausta	2000 / 2004	0,34	0,000 ***	2000
		2000 / 2009	0,14	0,021 *	2000
		2000 / 2014	0,30	0,000 ***	2000
		2004 / 2009	-0,20	0,008 **	2009
		2004 / 2014	-0,04	0,481	
		2009 / 2014	0,16	0,058	
	taajama	2000 / 2004	0,76	0,000 ***	2000
		2000 / 2009	0,31	0,041 *	2000
		2000 / 2014	0,86	0,000 ***	2000
		2004 / 2009	-0,45	0,000 ***	2009
		2004 / 2014	0,10	0,844	
		2009 / 2014	0,55	0,000 ***	2009
ilmanpuhtausindeksi	tausta	2000 / 2004	0,37	0,000 ***	2000
		2000 / 2009	0,18	0,000 ***	2000
		2000 / 2014	0,41	0,000 ***	2000
		2004 / 2009	-0,18	0,000 ***	2009
		2004 / 2014	0,02	0,069	
		2009 / 2014	0,22	0,000 ***	2009
	taajama	2000 / 2004	0,37	0,000 ***	2000
		2000 / 2009	0,16	0,000 ***	2000
		2000 / 2014	0,44	0,000 ***	2000
		2004 / 2009	-0,18	0,000 ***	2009
		2004 / 2014	0,03	0,065	
		2009 / 2014	0,25	0,000 ***	2009



Kuva 5. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälien lajilukumäärä Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014 (vaihteluväli 0–10). Ero kaikkien muiden vuosiparien välillä paitsi 2004/2014 oli erittäin merkitsevä.



Kuva 6. Keskimääräinen ilmanpuhtausindeksi Uudenmaan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014 (vaihteluväli 0–3,5). Ero kaikkien muiden vuosiparien välillä paitsi 2004/2014 oli erittäin merkitsevä.



Kuva 7. Sormipaisukarpeen keskimääräiset vaurioasteet Uudenmaan samoina pysyneinä havaintoaloilla vuosina 2000, 2004, 2009 ja 2014 (vaihteluväli 1–5). Ero kaikkien vuosiparien välillä oli tilastollisesti merkitsevä lukuun ottamatta paria 2004/2009.



KUVAILEHTI

Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 109/2015				
Vastuualue Ympäristö ja luonnonvarat				
Tekijät Toni Keskitalo, Mika Laita Kirsi Järvisalo, Janne Ruuth Henna Toivanen		Julkaisuaika Joulukuu 2015		
		Kustantaja /Julkaisija Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
		Hankkeen rahoittaja /toimeksiantaja Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
Julkaisun nimi Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2014				
Tiivistelmä <p>Ilmanlaatua on seurattu Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan alueen kunnissa käyttäen ilmentäjinä havupuita ja niiden rungoilla kasvavia jäkäläliä 1980-luvulta lähtien. Seuranta on toteutettu uusitun, yhteisen seurantaohjelman mukaisesti vuodesta 2000 lähtien. Ensimmäisellä kierroksella 2000–2001 osa Itä-Uudenmaan kunnista jäi yhteisen hankkeen ulkopuolelle, mutta seuraavilla seurantakierroksilla 2004–2005 sekä 2009 osanotto on ollut kattavaa. Vuonna 2014 neljä kuntaa kaikkiaan 26 kunnasta jättäytyi tutkimuksesta pois. Ilmanlaatua arvioitiin männyn epifyyttijäkälien esiintymisen ja kunnan perusteella.</p> <p>Jäkälälajisto oli taantunut ja jäkälien kunto huonontunut lähes koko tutkimusalueella edellisiin tutkimusvuosiin 2000 ja 2009 verrattuna. Vuonna 2004 useat lajistoja ja jäkälien kuntoa kuvaavat tunnusluvut olivat samalla tasolla kuin vuonna 2014. Kuitenkin sormipaisukarpeen vauriot olivat vuonna 2014 suuremmat tausta-alueilla, vaikka kaikkein pahimpien vaurioiden alueet olivatkin pienentyneet.</p> <p>Suurimmat jäkälämuutokset vuonna 2014 sijaitsivat pääkaupunkiseudulla. Muita lajiston ja jäkälien kunnan osalta selvästi muuttuneita alueita olivat Hyvinkään keskusta, Lohjan taajamat ja Pohjois-Inkoo, Tammisaari, Porvoo (alueella keskusta–Kilpilahti) ja Nelostien ympäristö. Lajistoltaan luonnontilaisimmat alueet olivat melko pieniä ja sijaitsivat hajallaan tausta-alueilla Lohjalla, Inkoon saaristossa, Nurmijärvellä, Hyvinkäällä, Mäntsälässä, Vihdin rajaseuduilla, Porvoossa ja Loviisassa.</p> <p>Tausta-alojen jäkälälajisto oli vähemmän muuttunutta ja lajirikkaampaa kuin taajama-alueiden. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä oli kasvanut jonkin verran reuna-alueilla vuoteen 2009 verrattuna, erityisesti Porvoon seudulla ja Raaseporin länsiosassa, mutta pienentynyt muuttuneilla alueilla.</p> <p>Lajiston köyhtyminen vuosien 2009 ja 2014 välillä johtuu mahdollisesti siitä, että Uudenmaan alueen rikkidioksidipäästöt ovat eivätkä ole vähentyneet vuoden 2008 jälkeen. Runkojäkälillä ei ole ollut mahdollisuutta toipua aikaisemmasta runsaasta kuormituksesta. Vuoden 2000 tienoilla rikkidioksidin ja typen oksidien päästöissä oli notkahdus, ja silloin jäkälät ovat voineet tervehtyä 1990-luvun korkeammasta päästötasosta.</p>				
Asiasanat (YSA:n mukaan) bioindikaattorit, jäkälät, ilmanlaatu, ympäristön tila, seuranta, Uusimaa, Itä-Uusimaa				
ISBN (Painettu) 978-952-314-348-7	ISBN (PDF) 978-952-314-349-4	ISSN-L 2242-2846	ISSN (painettu) 2242-2846	ISSN (verkkopainettu) 2242-2854
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN:978-952-314-349-4		Kieli Suomi
Sivumäärä 145				
Julkaisun tilaukset Julkaisu on saatavissa verkossa www.doria.fi				
Kustannuspaikka ja -aika Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus			Painotalo Juvenes Print Oy	

Publikationens serie och nummer Rapporter 109/2015				
Ansvarsområde Miljö och naturresurser				
Författare Toni Keskitalo, Mika Laita, Kirsi Järvisalo, Janne Ruuth, Henna Toivanen		Publiceringsdatum December 2015		
		Utgivare / Förläggare Närings-, trafik- och miljöcentralen i Nyland		
		Projektets finansör/uppdragsgivare Närings-, trafik- och miljöcentralen i Nyland		
Publikationens titel Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattorisearanta vuonna 2014 (Uppföljning av bioindikatorer för luftkvaliteten i Nyland 2014)				
Sammandrag <p>Sedan 1980-talet har man följt upp luftkvaliteten i kommunerna i Nyland och Östra Nyland med hjälp av indikatorer: barrträd och lavar som växer på deras stammar. Uppföljningen har sedan 2000 genomförts genom ett förnyat, gemensamt uppföljningsprogram. Under den första omgången 2000–2001 blev en del av kommunerna i Östra Nyland utanför det gemensamma projektet, men de följande uppföljningsomgångerna 2004–2005 och 2009 var deltagandet omfattande. År 2014 avstod fyra av sammanlagt 26 kommuner från att delta i undersökningen. Luftkvaliteten har undersökts utifrån förekomsten av och statusen hos tallens epifytlavar.</p> <p>Lavarerna har utarmats och lavarnas status har försämrats i nästan hela undersökningsområdet jämfört med de tidigare undersökningsåren 2000 och 2009. År 2004 var flera indikatorer som beskriver arterna och statusen hos lavarna på samma nivå som 2014. Dock var blåslavens skador 2014 större i bakgrundsområdena, även om områdena med de allvarligaste skadorna dock hade blivit mindre.</p> <p>De största förändringarna i lavarna hade 2014 skett i huvudstadsregionen. Andra områden som hade tydligt förändrats i fråga om arterna och statusen hos lavarna var Hyvinge centrum, tätorterna i Lojo och norra Ingå, Ekenäs, Borgå (i området centrum–Kilpi-lahti) och området kring riksväg 4. Områdena där arterna var i så gott naturtillstånd som möjligt var ganska små och låg utspridda i bakgrundsområdena i Lojo, Ingå skärgård, Nurmijärvi, Hyvinge, Mäntsälä, gränsområdena i Vichtis, Borgå och Lovisa.</p> <p>Arterna i bakgrundsområdena hade förändrats mindre och var artrikare än arterna i tätorterna. Mängden lavararter som tar skada av luftföroreningar hade vuxit en aning i randområdena jämfört med 2009, i synnerhet i Borgånejden och västra Raseborg, men sjunkit i de förändrade områdena.</p> <p>Utarmningen av arterna mellan 2009 och 2014 beror eventuellt på att svaveldioxidhalterna i Nyland har inte minskat efter 2008. Det har varit omöjligt för stamlavarna att återhämta sig från den tidigare stora belastningen. Kring år 2000 förekom det en nedgång i svaveldioxid- och kväveoxidutsläppen, varvid det har varit möjligt för lavarna att återhämta sig de högre utsläppsnivåerna från 1990-talet.</p>				
Nyckelord (enligt Allärs) bioindikatorer, lavar, luftkvalitet, miljöns tillstånd, uppföljning, Nyland, Östra Nyland				
ISBN (tryckt) 978-952-314-348-7	ISBN (PDF) 978-952-314-349-4	ISSN-L 2242-2846	ISSN (tryckt) 2242-2846	ISSN (webbpublikation) 2242-2854
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN:978-952-314-349-4		Språk Finska
				Sidantal 145
Beställningar Publikationen finns på webben: www.doria.fi				
Förläggningsort och datum Närings-, trafik och miljöcentralen i Nyland			Tryckeri Juvenes Print Oy	

RAPORTEJA 109 | 2015
UUDENMAAN ILMANLAADUN
BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2014

Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-314-348-7 (painettu)
ISBN 978-952-314-349-4 (PDF)

ISSN-L 2242-2846
ISSN 2242-2846 (painettu)
ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-349-4

www.doria.fi/ely-keskus | www.ely-keskus.fi