Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ELINVOIMAA ALUEELLE 3 | 2017

Kainuun bioindikaattoriselvitys

ANU SEPPÄNEN (TOIM.)
TARJA LAATIKAINEN
JUHA PIISPANEN
JARMO POIKOLAINEN
JOUNI KARHU
REIJO SEPPÄNEN
EERO KUBIN

Kainuun bioindikaattoriselvitys

TOIM. ANU SEPPÄNEN

KIRJOITTAJAT

ILMAPÄÄSTÖT KAINUUSSA: TARJA LAATIKAINEN

HAVUPUIDEN KUNTO JA NEULASTEN KEMIALLINEN ANALYYSI:
TARJA LAATIKAINEN JA ANU SEPPÄNEN

EPIFYYTTIJÄKÄLIEN ALKUAINEANALYYSIT:
TARJA LAATIKAINEN JA ANU SEPPÄNEN

RASKASMETALLIEN LASKEUMASTA KAINUUSSA VALTAKUNNALLISTEN
SAMMALKARTOITUSTEN PERUSTEELLA: JUHA PIISPANEN,
JARMO POIKOLAINEN, JOUNI KARHU, REIJO SEPPÄNEN† & EERO KUBIN

KAINUUN JÄKÄLÄKARTOITUS: ANU SEPPÄNEN

PÄIVITETTY 20.12.2017 (SIVU 42)

ELINVOIMAA ALUEELLE 3 | 2017

KAINUUN BIOINDIKAATTORISELVITYS

Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Taitto: Seija Kemppainen
Kuvat: Anu Seppänen, ellei toisin ole mainittu
Kartat: © Maanmittauslaitos, ESRI Finland
Painotalo: Juvenes Print

ISBN 978-952-314-592-4 (painettu)
ISBN 978-952-314-593-1 (PDF)

ISSN-L 2242-282X
ISSN 2242-282X (painettu)
ISSN 2242-2838 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-593-1

www.doria.fi/ely-keskus

Sisältö

Johdanto **3**

1. Tutkimusalue **4**

2. Ilmapäästöt Kainuussa: Tarja Laatikainen **6**
Kirjallisuus **9**

3. Havupuiden kunto ja neulasten kemiallinen analyysi: Tarja Laatikainen ja Anu Seppänen **11**
Koealojen valinta ja sijainti **13**
Näytteiden keruu ja analysointi **13**
Tulokset ja tulosten tarkastelu **13**
Johtopäätökset **21**
Kirjallisuus **22**

4. Epifyyttijäkälien alkuaineanalyysit: Tarja Laatikainen ja Anu Seppänen **23**
Koealojen valinta ja sijainti **24**
Näytteiden keruu ja analysointi **24**
Tulokset ja tulosten tarkastelu **25**
Johtopäätökset **30**
Kirjallisuus **32**

5. Raskasmetallien laskeumasta Kainuussa valtakunnallisten sammalkartoitusten perusteella: Lunonnonvarakeskus (LUKE); Juha Piispanen, Jarmo Poikolainen, Jouni Karhu, Reijo Seppänen† & Eero Kubin **33**
Aineisto ja menetelmät **35**
Tulokset **36**
Johtopäätöksiä **40**
Kirjallisuus **43**

6. Kainuun jäkäläkartoitus: Anu Seppänen **45**
Tulokset ja johtopäätökset **48**
Havaintoalueet Hyrynsalmella 48
Havaintoalueet Kajaanissa 52
Havaintoalueet Kuhmossa 58
Havaintoalueet Paltamossa 62
Havaintoalueet Puolangalla 67
Havaintoalueet Ristijärvellä 72
Havaintoalueet Sotkamossa 76
Havaintoalueet Suomussalmella 82
Havaintoalueet Mondo Minerals Oy:n ympäristössä 87
Havaintoalueet Terrafame Oy:n Talvivaaran kaivosalueella 92

Liitteet **98**

Kuvailulehti **114**

Documentation page **115**

Johdanto

Kainuun ELY-keskus päivitti Kainuun ympäristön tilan tietoja toteuttamalla kesän 2015 aikana bioindikaattoriselvityksen. Tämä selvitys on aiemmin vuosina 1998–2000 toteutettujen selvityksien seurantaa. Tuolloin selvityksen kohteina olivat Kostamuksen rautakaivoskombinaatin, Kainuun lähialueiden ja paikallisten päästöjen leviäminen ja niiden luontovaikutukset sekä Kajaanin ilmanlaadun kehitys. Lisäksi Kainuussa on tehty ilmanlaatua selvittäviä jäkäläkartoituksia vuosina 1986, 1991, 1995 ja 2000.

Tässä vuonna 2015 toteutetussa selvityksessä tutkittiin Kainuun paikallisia päästöjä, niiden leviämistä ja luontovaikutuksia erilaisten bioindikaattoreiden (männyn neulaset, epifyyttijäkälät, sammalet) avulla. ELY-keskus toteutti hankkeessa Kainuun maakunnan laajuisen jäkälä- ja metsien kuntokartoituksen sekä keräsi bioindikaattorinäytteitä. Päästöjä tutkittiin analysoimalla kerätyistä näytteistä mm. rikki- ja metallipitoisuuksia. Jäkäläkartoituksen avulla seurattiin ilman epäpuhtauksien vaikutuksia keskustaajamissa ja niiden ulkopuolella, sekä teollisuuden toimintojen läheisyydessä. Näytteenoton ja kartoituksen lisäksi selvityksessä hyödynnettiin myös muita selvityksiä ja bioindikaattoriseurantoja, sekä Luonnonvarakeskuksen tekemiä sammalten raskasmetalliselvityksiä ja Ilmatieteen laitoksen tekemiä tutkimuksia.

Selvityksen toteutti Kainuun ELY-keskus ja yhteistyötahoina toimivat Ilmatieteenlaitos sekä Luonnonvarakeskus. Hankkeen rahoitukseen osallistuivat Kajaani, Sotkamo, Kuhmo, Suomussalmi, Hyrynsalmi, Ristijärvi sekä Puolanka sekä yrityksistä Talvivaara Sotkamo Oy (nykyinen Terrafame Oy) sekä Mondo Minerals B.V. Branch Finland.

1. Tutkimusalue

Projektissa selvitettiin sekä paikallisten päästölähteiden aiheuttamien että kaukokulkeumana ja lähialueilta saapuvien ilmaan joutuvien epäpuhtauksien määriä ja leviämistä sekä niiden luontovaikutuksia. Tutkimusalueena oli Kainuun maakunta. Vuoden 2000 tutkimuksessa (Kemppainen & Markkanen 2000) erityisenä mielenkiintona oli ollut Kostamuksen rautapellettitehtaalta saapuneiden päästöjen leviäminen ja luontovaikutukset. Kostamuksen rautakaivoskombinaatin päästöjen vähennyttyä tuotantomäärien laskun myötä, tämän selvityksen erityisenä mielenkiintona olivat maakunnan sisäisten päästölähteiden aiheuttamien ilmapäästöjen leviäminen ja luontovaikutukset. Maakunnan sisäisiä päästölähteitä ovat pääasiassa liikenne, energiantuotanto, kaivannais- ja muu teollisuus.

Kainuun ilmanlaatua selvitettiin erilaisten bioindikaattoritutkimusten avulla. Selvityksiä tehtiin kolmenlaisia:

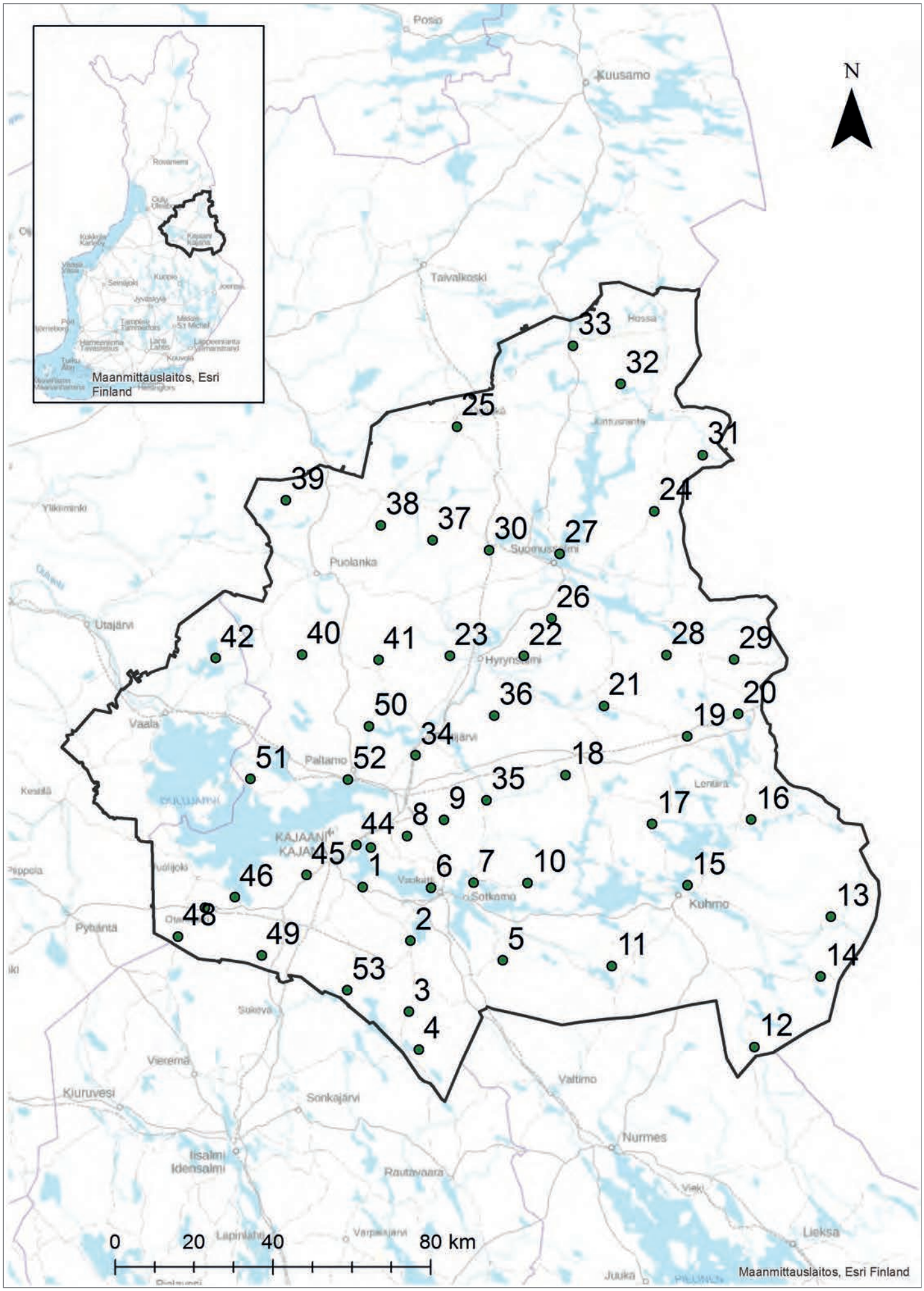
1) bioindikaattoriselvitykset männyn neulasista ja mäntyjen rungoilla kasvavista epifyyttijäkälistä kemiallisen alkuaineanalyysin avulla; lisäksi arvioitiin mäntyjen elinvoimaisuus

2) epifyyttijäkäläkartoituksen avulla, sekä

3) Luonnonvarakeskuksen toteuttaman sammalten näytteenoton avulla.

Epifyyttijäkälänäytteenotto, männyn neulasnäytteenotto sekä harsuuntuneisuuden arviointi suoritettiin pääosin samoilta koealoilta kuin vuonna 2000. Osa koealoista oli metsänhakkuiden vuoksi tai muusta syystä hävinnyt, jolloin näytteet otettiin lähinnä alkuperäistä koealaa sijaitsevasta, vastaavat kriteerit täyttävästä mäntymetsästä. Osa vanhoista koealoista vaihdettiin kokonaan uusiin koealoihin kattamaan laajemmin koko Kainuun aluetta ottaen huomioon päästöjä tuottavien toimintojen nykytilanne. Koealoja oli vuonna 2015 yhteensä 53 kappaletta, joista Sotkamossa sijaitsee 11 kpl, Suomussalmella 10 kpl, Kuhmossa 9 kpl, Kajaanissa 8 kpl, Puolangalla 5 kpl, Hyrynsalmella, Paltamossa ja Ristijärvellä kussakin kolme kappaletta sekä Vaalan alueella yksi. Koealojen sijainti on esitettynä kartassa sivulla 5. Koealat noudattelivat pääsääntöisesti vuoden 2000 selvitystä varten perustettuja koealoja, mutta koealojen verkostoa muokattiin niin, että koealat hajaantuivat tasaisemmin tutkimusalueelle (kuva 1). Näin saataisiin selville myös paikallisten päästölähteiden vaikutukset. Koealat sijaitsivat kangastyypin metsiköissä, joissa valtapuuna oli mänty ja joiden puuston tiheys oli normaalia kasvatusmetsää. Metsikön tuli olla mahdollisimman luonnontilainen ja iältään vähintään varttunutta kasvatusmetsää (vrt. Kemppainen 2000). Epifyyttijäkäläkartoitus toteutettiin kaikissa Kainuun kunnissa Vaalaa lukuun ottamatta. Jäkäläkartoitus toteutettiin sitä varten perustetuilta koealoilta, jotka olivat osittain samoja kuin alkuaineanalyysien näytteenottoa varten perustetut koealat. Jäkäläkartoituksen koealojen sijainnit ovat esitettyinä kappaleessa 6. Luonnonvarakeskuksen toteuttama sammalten raskasmetallikartoitus toteutettiin vuonna 2010 osana valtakunnallista seurantaa, joka on toteutettu samalla koealaverkostolla vuodesta 1985. Sammalten raskasmetallikartoituksesta kerrotaan luvussa 5.

Kuva: Marja-Leena Nenonen/YHA kuvapankki.



Kuva 1. Tutkimusalue.

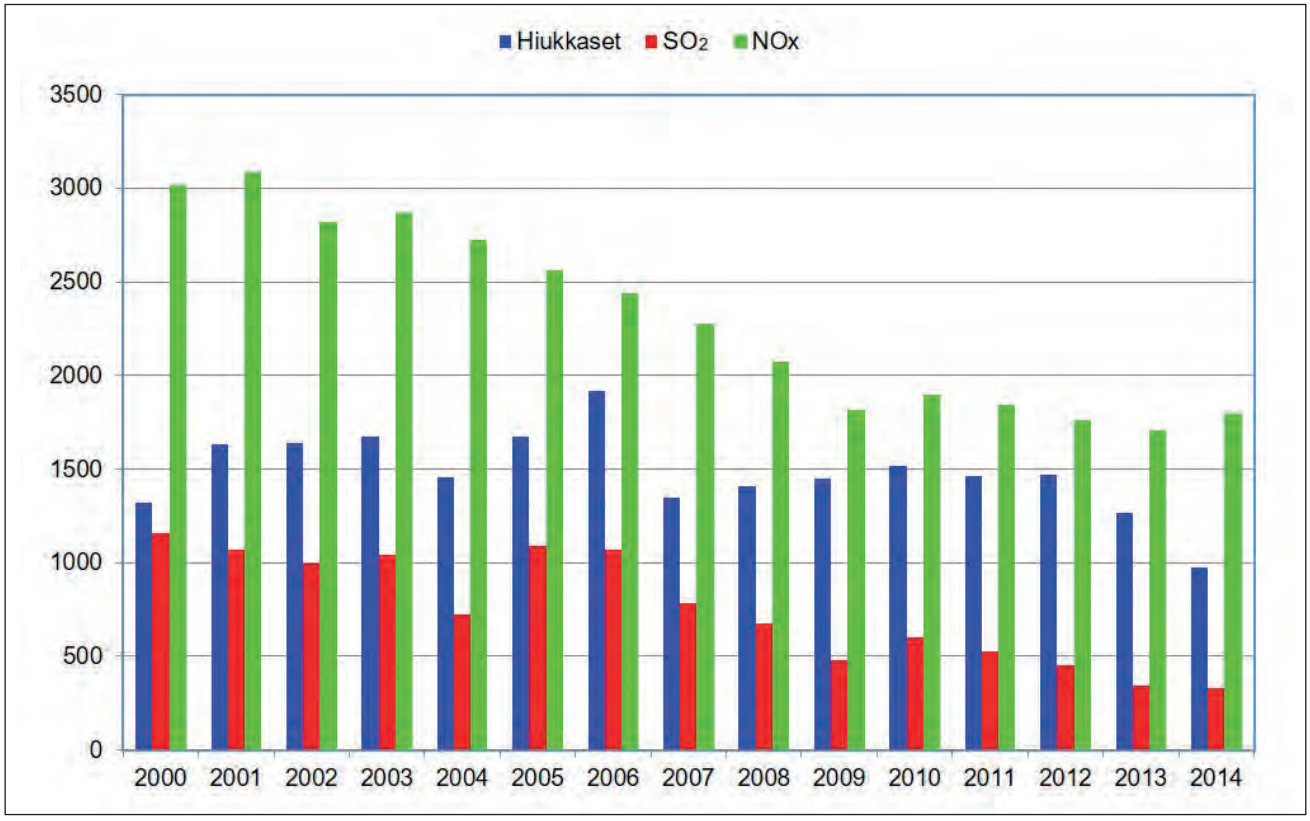
2. Ilmapäästöt Kainuussa

TARJA LAATIKAINEN

Ilmapäästöt ja niiden muodostuminen

Rikki- ja typpiyhdisteiden ympäristökuormitus on vähentynyt huomattavasti koko Suomessa 1970- ja 1980-luvuilta lähtien, jolloin niiden laskeumat aiheuttivat ympäristön happamoitumista ja metsävaurioita sekä typpi lisäksi rehevöitymistä. Kainuussa rikkidioksidipäästöt ovat vähentyneet 70 % ja typen oksidien päästöt reilut 40 % 2000-luvun alusta, sekä hiukkaspäästöt noin 50 % vuoden 2006 huippulukemasta (kuva 2). Kainuun omat päästöt ovat kuitenkin vähäiset koko Suomeen verrattuna. 2000-luvulla ilmoitusvelvollisten toimijoiden rikkidioksidipäästöt ovat olleet keskimäärin noin 2 % ja typen oksidien päästöt noin 5 % Suomen vastaavista kokonaispäästöistä (Ilmapäästöt 2016).

Rikkidioksidia (SO_2) syntyy rikkipitoisten polttoaineiden palamisessa energiantuotannossa sekä teollisuusprosesseista (SVT 2016). Rikkidioksidipäästöjä on rajoitettu kansainvälisesti ja nykyisin kohonneet rikkidioksidipitoisuudet ovat yleensä paikallisia ja liittyvät lähinnä teollisuuden toimintahäiriöihin. Typpidioksidia (NO_2) pääsee ilmaan kaikessa



Kuva 2. Hiukkas-, rikkidioksidi- ja typen oksidien päästöt (tn/vuosi) Kainuussa vuosina 2000-2014 (Ilmapäästöt / lähde: SYKE, ELY-keskukset 2016).

palamisessa. Suomessa typpidioksidin kokonaispäästöstä noin 65 % tulee energiatuotannosta ja teollisuusprosesseista ja loput 35 % liikenteestä. Typpidioksidipäästöt ovat nykyisin ongelmallisimpia kaupunkien katukuiluissa ruuhka-aikaan (Ilmanlaatuportaali 2016). Lisäksi kaasumaisia typpipäästöjä (NH_4-päästöistä noin 90 % ja N_2O-päästöistä noin 50 %) syntyy maataloudessa (Grönroos ym. 2009). Hiukkasia muodostuu eri polttoprosessien yhteydessä niin energiantuotannossa, teollisuudesta kuin liikenteestä.

Kainuussa rikkidioksidipäästöt ovat pääosin energiatuotannosta lähtöisin (taulukko 2.1). Typen oksidien päästöistä liki 60 % on peräisin liikenteestä ja loput 40 % energiantuotannosta. Hiukkaspäästöt ovat suurelta osin energiatuotannosta (liki 60 %) ja iso osa myös liikenteestä (noin 30 %). Teollisuuden ja maatalouden osuudet ilmapäästöistä ovat energiantuotantoon ja liikenteeseen verrattuna vähäisiä. Tilastoihin on laskettu mukaan tosin vain isoimmat ilmoitusvelvolliset toimijat. Paikallisesti myös pienemmät toimijat tuottavat jonkin verran ilmapäästöjä, joita ei kuitenkaan tilastoida. Tilastoissa voi olla myös puutteellisia tietoja.

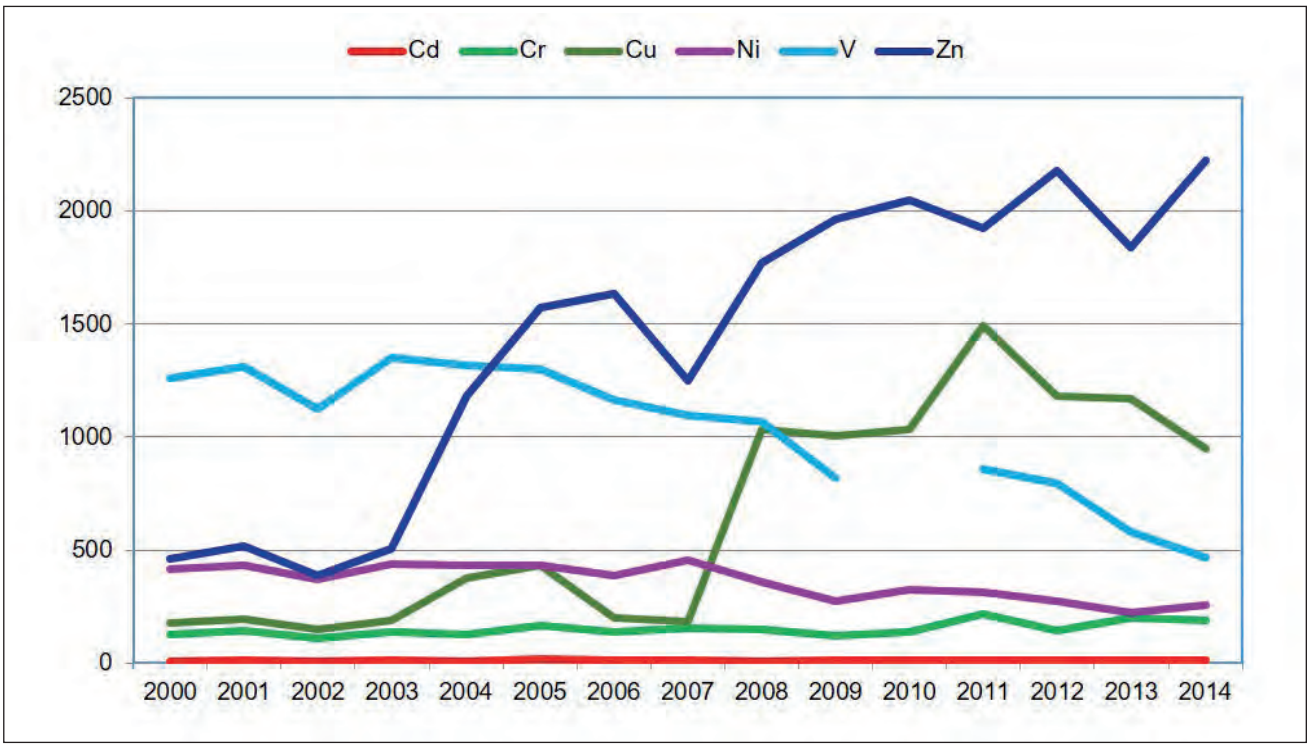
Taulukko 2.1. Kainuun ilmoitusvelvollisten toimijoiden ilmapäästöt (tonnia) ja päästöjen osuudet (%) toimialoittain vuonna 2014 (Ilmapäästöt / lähde: SYKE, ELY-keskukset 2016).

Toimiala	Hiukkaset		Rikkidioksidi		Typen oksidit	
	tonnia	osuus	tonnia	osuus	tonnia	osuus
Energia	570	58 %	378	99 %	735	41 %
Teollisuus	62	6 %	-		0	0 %
Liikenne	305	31 %	4	1 %	1 062	59 %
Maantalous	41	4 %	0,1	0,03 %	0,8	0,04 %
Yhteensä	**978**	**100 %**	**332**	**100 %**	**1 797**	**100 %**

Raskasmetallipäästöt Kainuussa

Malmien sulatus, teollisuusprosessit ja energiantuotanto vapauttavat ilmaan raskasmetalleja höyrystyneenä tai pieninä pisaroina. Lyijypäästöjä syntyi aiemmin myös liikenteestä, kunnes lyijyn käyttö bensiinissä lopetettiin (Suomessa vuonna 1994). Tärkeimpiä pohjoisen metsäekosysteemiin kohdistuvia raskasmetallipäästöjä ovat olleet lyijy (Pb), kadmium (Cd), sinkki (Zn), kupari (Cu), nikkeli (Ni), vanadiini (V), kromi (Cr), koboltti (Co) ja elohopea (Hg) (Ruusila ym. 1994). Kainuun raskasmetallipäästöistä (kuva 3) ovat 2000-luvulla kasvaneet sinkki- ja kuparipäästöt noin nelinkertaisesti, myös kromi 50 %:a, kun nikkeli- ja vanadiinipäästöt ovat sen sijaan vähentyneet. Kadmiumpäästöt ovat pysyneet kutakuinkin samansuuruisina koko 2000-luvun.

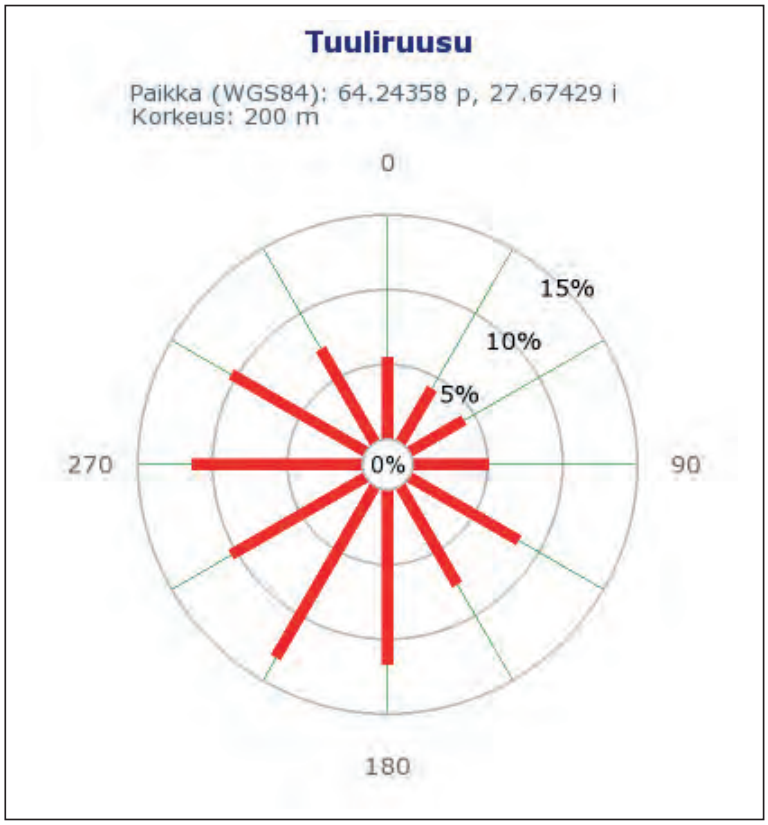
Kainuussa raskasmetallipäästöjä yhteensä syntyi 2014 eniten Sotkamossa (32 %) ja Kajaanissa (31 %), jotka vastasivat siten liki 2/3 koko maakunnan raskasmetallipäästöistä (taulukko 2.2). Kuhmo ja Suomussalmi tuottivat kumpikin reilut 10 % ja loput kunnat 2-5 % raskasmetallien kokonaispäästöistä Kainuussa (Ilmapäästöt 2016). Määrältään eniten pääsi ilmaan sinkkiä (2222 kg), kuparia (949 kg) ja vanadiinia (465 kg). Nikkelin (259 kg) ja kromin (191 kg) päästöt olivat jo selvästi vähäisemmät. Kadmiumin päästöt ovat olleet Kainuussa noin 10 kg/vuosi koko 2000-luvun (kuva 3).



Kuva 3. Raskasmetallipäästöt (kg) Kainuussa vuosina 2000–2014 (Ilmapäästöt / lähde: SYKE, ELY-keskukset 2016).

Taulukko 2.2. Kainuun raskasmetallipäästöt (kg) kunnittain ja kuntien osuudet (%) Kainuun kokonaispäästöistä vuonna 2014 (Ilmapäästöt /lähde: SYKE, ELY-keskukset 2016).

Kunta	Cd	Osuus	Cr	Osuus	Cu	Osuus	Ni	Osuus	V	Osuus	Zn	Osuus
	(kg)		(kg)		(kg)		(kg)		(kg)		(kg)	
Hyrynsalmi	0,4	4 %	4,7	2 %	35	4 %	5,4	2 %	5,8	1 %	102	5 %
Kajaani	3,0	28 %	79	41 %	333	35 %	84	33 %	125	27 %	501	23 %
Kuhmo	1,6	15 %	17	9 %	108	11 %	19	7 %	25	5 %	363	16 %
Paltamo	0,5	5 %	6,4	3 %	73	8 %	7,4	3 %	8,6	2 %	147	7 %
Puolanka	0,6	6 %	6,9	4 %	43	5 %	7,4	3 %	6,5	1 %	150	7 %
Ristijärvi	0,3	3 %	3,5	2 %	32	3 %	3,7	1 %	3,5	1 %	79	4 %
Sotkamo	2,3	21 %	55	29 %	210	22 %	110	43 %	253	55 %	459	21 %
Suomussalmi	2,0	19 %	20	10 %	115	12 %	22	9 %	37	8 %	422	19 %
Yhteensä	**10,7**	100 %	**192**	100 %	**949**	100 %	**259**	100 %	**464**	100 %	**2223**	100 %



Tuuliruusu Kajaanin Tihisenniemen teollisuusalueen keskimääräisistä tuulen suunnista vuoden aikana. Tuulen suunnalla tarkoitetaan ilmansuuntaa, jos tuuli puhaltaa. Ruusun palkin pituus kertoo ko. tuulen suunnan vallitsevuuden eli kuinka usein (%-osuus) tuuli ko. suunnasta puhaltaa. Tuulen suunnalla on merkitystä ilmapäästöjen leviämiseen (Ilmatieteen laitos, avoin aineisto, 2016).

Kainuun päästölähteet

Kainuussa ilmapäästöt ovat pääasiassa peräisin energiatuotannosta ja liikenteestä sekä vähäisemmältä osin teollisuudesta (taulukko 2.1). Kainuussa päästölähteitä on vähän ja ne ovat kokoluokaltaan suhteellisen pieniä. Kainuussa on kolme energiantuotannon direktiivilaitosta, joiden ilmapäästöjä Kainuun ELY-keskus seuraa (taulukko 2.3). Muita suurehkoja päästölähteitä energiantuotannon lisäksi ovat Terrafame Oy:n Talvivaaran kaivos sekä Mondo Minerals Oy:n kaivos. Muita, pienempiä päästölähteitä ovat pääasiassa kuntien pienet lämpökeskukset. Liikenteen päästöt keskittyvät taajamien ja vilkasliikenteisten teiden varsille.

Taulukko 2.3. Kainuun direktiivilaitosten ilmapäästöt (tn/v) vuonna 2016 (Ilmapäästöt / lähde: SYKE, ELY-keskukset 2016).

	Hiukkaset (tn)	Rikkidioksidi (tn)	Typen oksidit (tn)
Kainuun Voima Oy:n voimalaitos	12,4	249	196
Loiste Lämpö Oy:n voimalaitos	7,21	3,11	43,9
Kuhmon Lämpö Oy:n voimalaitos	0,54	18,1	8,71

Kirjallisuus

Grönroos, J., Mattila, P., Regina, K., Nousiainen, J., Perälä, P., Saarinen, K. & Mikkola-Pusa, J. 2009. Development on the ammonia emission inventory in Finland. Revised model for agriculture. Suomen ympäristö 8/2009. 60 s.

Ilmanlaatuportaali 2016. http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/komponentit.html

Ilmapäästöt 2016. Lähde: SYKE, ELY-keskukset. http://www.+syke.fi/avoindata

Ruusila, S., Uitamo, J. & Kellomäki, S. 1994. Ilman epäpuhtaudet pohjoisessa metsäekosysteemissä. Laskeuma – maaperä – puusto. Silva Carelica 26, 1994, 181 s.

Suomen virallinen tilasto 2016 (SVT): Ilmapäästöt toimialoittain. http://www.stat.fi/til/tilma/kas.html

Kuva: Riku Lumiaro/YHA kuvapankki.

3. Havupuiden kunto ja neulasten kemiallinen analyysi

TARJA LAATIKAINEN JA ANU SEPPÄNEN

METSÄEKOSYSTEEMIN TOIMINTAAN VAIKUTTAVAT EPÄPUHTAUDET, ILMANSAASTEET, VOIVAT OLLA JOKO KAASUJA, HÖYRYJÄ TAI HIUKKASIA. OSA NÄISTÄ EPÄPUHTAUKSISTA ON IHMISEN TUOTTAMIA JA OSALLA ON LUONTAISIA LÄHTEITÄ. KASVEILLE MYRKYLLISIÄ KAASUMAISIA YHDISTEITÄ OVAT MM. RIKKIDIOKSIDI, TYPEN OKSIDIT JA FLUORIDIT, JA MYRKYLLISIÄ METALLEJA OVAT MM. ALUMIINI, LYIJY, ELOHOPEA, KADMIUM JA SINKKI. MYÖS KASVIRAVINTEET, KUTEN TYPPIYHDISTEET, VOIVAT SUURINA MÄÄRINÄ VOIMISTAA KASVIN RAVINNE-EPÄTASAPAINOA JA HÄIRITÄ KASVIEN KEHITYSTÄ (RUUSILA YM. 1994). PUUT TARVITSEVAT KASVUUNSA AINAKIN 16 ERI RAVINNETTA, EIKÄ MIKÄÄN RAVINNE VOI KORVATA TOISTA (METSÄNLANNOITUSOPAS 2012).

Epäpuhtauksien päästölähteet voivat olla joko paikallisia tai päästöt voivat kaukokulkeutua satojen, jopa tuhansien kilometrien päästä. Malmien sulatus, teollisuusprosessit ja energiantuotanto vapauttavat ilmaan raskasmetalleja höyrystyneenä tai pieninä pisaroina. Ilman kautta kulkeutuvat epäpuhtaudet päätyvät metsäluontoon joko kuiva- tai märkälaskeumana kasvin, kuten havupuiden neulasten, pinnoille. Neulasten pinnalta epäpuhtaudet kulkeutuvat sisään kasvin solukkoon kaasujen oton yhteydessä ilmarakojen kautta.

Epäpuhtaudet vaikuttavat monin tavoin kasvien toimintaan. Vaikutukset kytkeytyvät puuston ravinnetilaan ja elinvoimaisuuteen, joilla puolestaan on vaikutusta mm. kasvin vastustuskykyyn sienitauteja ja tuhohyönteisiä vastaan. Metallien, erityisesti raskasmetallien, aiheuttamat puiden suorat myrkytystilat ovat myös mahdollisia erilaisten päästölähteiden läheisyydessä.

Ilman epäpuhtauksien levinneisyyttä voidaan selvittää neulasten alkuaineanalyyseillä. Ravinneanalyyseillä saadaan lisäksi tietoa puiden ravinnetilasta ja elinvoimaisuudesta.

Harsuuntuminen eli neulaskato on toinen puiden elinvoimaisuuden kuvaaja. Neulaskadolle voi olla useita syitä, kuten esimerkiksi puiden ikääntyminen, ilmasto, sieni- ja hyönteistuhot, kasvupaikkaominaisuudet tai esimerkiksi ihmisen toiminnasta aiheutuneet ilman epäpuhtaudet. Neulaset altistuvat ilman epäpuhtauksille solujen kaasunvaihdon kautta. Ilman epäpuhtaudet lyhentävät neulasten ikää, josta seuraa harsuuntumista ja neulasvuosikertojen vähyyttä. Vaikutukset voivat olla nähtävissä lyhyellä aikavälillä ja puut voivat palautua neulasiin vaikuttaneen stressin loputtua (Salemaa & Lindgren, 2000).

Harsuuntuneisuus ilmaistaan suhteellisena neulaskatona verrattuna saman ikäiseen harsuuntumattomaan puuhun. Euroopassa harsuuntuneisuus jaotellaan YK/ECE ja EU:n luokituksen mukaan viiteen luokkaan (taulukko 3.1). Pohjoismaisessa harsuuntumisluokituksessa on kymmenen luokkaa (taulukko 3.2).

Taulukko 3.1. Harsuuntumisluokat YK/ECE ja EU luokituksen mukaan (European comission 1997).

Harsuuntuneisuusluokka	Puuttuvat neulaset %	Harsuuntumisaste
0	alle 10	ei harsuuntumista
1	10-25	lievä
2	26-60	keskinkertainen
3	yli 60	runsas
4	100	kuollut

Taulukko 3.2. Pohjoismainen harsuuntumisluokitus (Hyvärinen et al. 1993)

Luokka	Neulaskato	Harsuuntumisaste
0	0-10	Ei harsuuntunut
1	11-20	Lievästi harsuuntunut
2	21-30	Kohtalaisesti harsuuntunut
3	31-40	
4	41-50	
5	51-60	
6	61-70	Vakavasti harsuuntunut
7	71-80	
8	81-90	
9	91-100	

Koealojen valinta ja sijainti

Maastotyöt suoritettiin kesällä 2015. Koealojen muodostamisen lähtökohtana olivat vuoden 2000 bioindikaattoriselvityksen koealat. Koska tässä selvityksessä pääpaino ei ole enää Kostamuksen päästöissä, koealaverkostoa hajautettiin ympäri Kainuuta. Osa koealoista pidettiin samoina kuin vuonna 2000, jotta tuloksiin saadaan suoraa vertailukelpoisuutta. Koealojen valinnassa olivat samat kriteerit kuin vuoden 2000 selvityksessä (Kemppainen, 2000). Osasta kriteerejä jouduttiin kuitenkin tinkimään, koska kaikilta alueilta ei ollut löydettävissä täysin kriteereihin sopivaa metsää.

Koealoja oli vuonna 2015 lopulta yhteensä 53 kpl. Koealoista Sotkamossa sijaitsi 11 kpl, Suomussalmella 10 kpl, Kuhmossa 9 kpl, Kajaanissa 8 kpl, Puolangalla 5 kpl, Hyrynsalmella, Paltamossa ja Ristijärvellä kussakin 3 kpl sekä Vaalan alueella yksi. Koealojen sijainti on esitetty kappaleen Tutkimusalue karttakuvassa s. 5.

Näytteiden keruu ja analysointi

Harsuuntuminen

Harsuuntumisen arviointia varten jokaiselta koealalta valittiin kolmen satunnaisen puun otos, joista harsuuntuminen ja neulasvuosikerrat arvioitiin. Näytepuut valittiin satunnaisuuden lisäksi seuraavien kriteereiden mukaan: puun tuli olla yksirunkoinen, läpimitan tuli rinnan korkeudella olla vähintään 20 cm, oksia ei saanut olla alle 3 m korkeudella, puut eivät saaneet olla tuhojen heikentämiä tai liian vanhoja, eivätkä ne saaneet olla kulutukselle alttiita. Harsuuntuminen arvioitiin Metsäntutkimuslaitoksen puiden elinvoimaisuuden arviointiin laadittujen ohjeiden mukaisesti (Salemaa & Lindgren 1998). Puista, joista arvioitiin harsuuntuminen, laskettiin lisäksi neulasvuosikertojen määrä. Koealan neulasvuosikertojen ja harsuuntumisen määräksi laskettiin kolmen havaintopuun keskiarvo. Salemaa & Lindgrenin (2000) mukaan harsuuntumisen ja neulasvuosikertojen visuaalinen arviointi sisältää aina virhelähteitä, joita ovat havaitsijan kokemus, koealan puuston tiheys, säätila ja valaistusolosuhteet.

Ravinne- ja metallianalyysien näytteet

Näytteiden otossa seurattiin soveltaen standardia SFS 5669. Neulasnäytteet otettiin kokoomanäytteinä koealojen kolmen valtapuun elävän latvuksen keskikolmanneksesta. Näyteoksat kerättiin männyistä oksasahalla vähintään 30 vuoden ikäisistä puista, jotta menetelmä olisi luotettava. Analyysinäytteet koostettiin kahdesta–kolmesta viimeisimmästä neulasvuosikerrasta. Näytteet suljettiin välittömästi ilmatiiviisiin minigrippusseihin ja niitä säilytettiin kylmälaukussa, kunnes ne pakastettiin myöhempää analyysiä varten

Pakastetut näytteet toimitettiin analysoitavaksi Luonnonvarakeskuksen keskuslaboratorioon Vantaalle. Ensin näytteet (5 g) kuivattiin ja jauhettiin. Alkuaineet määritettiin ICP-MS-tekniikalla, jossa näyte hajotetaan märkäpoltolla typpihapon ja vetyperoksidin avulla ennen määritystä. Näytteistä määritettiin rikki (S), typpi (N), fosfori (P), kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), mangaani (Mn), natrium (Na), alumiini (Al), boori (B), kadmium (Cd), kromi (Cr), kupari (Cu), rauta (Fe), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), sinkki (Zn), titaani (Ti) ja vanadiini (Va).

Analyysitulosten kuvaesityksissä tuloksia on interpoloitu ArcGIS-paikkatietoohjelman Spline with borders -menetelmällä, joka sovittaa havaintopisteisiin samanarvokäyriä käyrien mutkaisuuden minimoiden. Interpolointi on rajattu Kainuun maakuntarajojen mukaisesti. Näytepisteverkon harvalukuisuus maakunnan itä-, pohjois- ja länsiosissa aiheuttaa interpolointiin epävarmuutta. Interpolointi ei myöskään ota huomioon maakunnan eri osissa vallitsevia tuulen suuntia.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Harsuuntuminen

Neulasvuosikertojen määrä koealoilla vaihteli 3–5 välillä, keskiarvon ollessa 4,0. Vuoden 2000 selvityksessä vaihteluväli oli 3–5 ja keskiarvo 3,8. Yleisesti Kainuun korkeudella männyissä on todettu olevan kasvukauden aikana 4–5 neulasvuosikertaa. Kainuussa on 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun alussa tehdyissä kuntakohtaisessa puustovaurioselvityksessä männyn neulasten määrä vaihdellut yleisesti 4–7 neulasvuosikerran välillä (Huttunen & Manninen 1989, Manninen & Huttunen 1989, Rautio & Huttunen 1994). Vuonna 2000 neulasvuosikertojen määrään on voinut vaikuttaa neulasvuosikertojen arviointi elokuun jälkeen, jolloin puut ovat jo pudottaneet vanhimman neulasvuosikertansa. Vuonna 2000 suoritetussa arvioinnissa myös sateinen kesä on voinut vaikuttaa neulasten määrään, sillä männyt voivat karistaa vanhimpia neulasiaan normaalia enemmän (Kemppainen, 2000).

Harsuuntuneisuus oli vuoden 2015 koealoilla keskimäärin 14,3 %. Vuonna 2000 harsuuntuminen Kainuun alueella oli keskimäärin noin 19 % (Kemppainen & Markkanen 2000). Suomessa 1990-luvulla keskimääräinen harsuuntuminen on ollut 10 % (Salemaa & Lindgren 2000). Harsuuntuneisuus oli 42 koealalla alle 20 %, jolloin pohjoismaisen luokituksen mukaan puun elinvoimaisuuden ei katsota vielä laskeneen. 11 koealalla harsuuntuneisuus oli keskimäärin 21–40 %, joka on pohjoismaisen luokituksen mukaan lievästi harsuuntunut.

Kuva: Maire Peuraniemi/YHA kuvapankki.

Neulasten ravinnepitoisuus

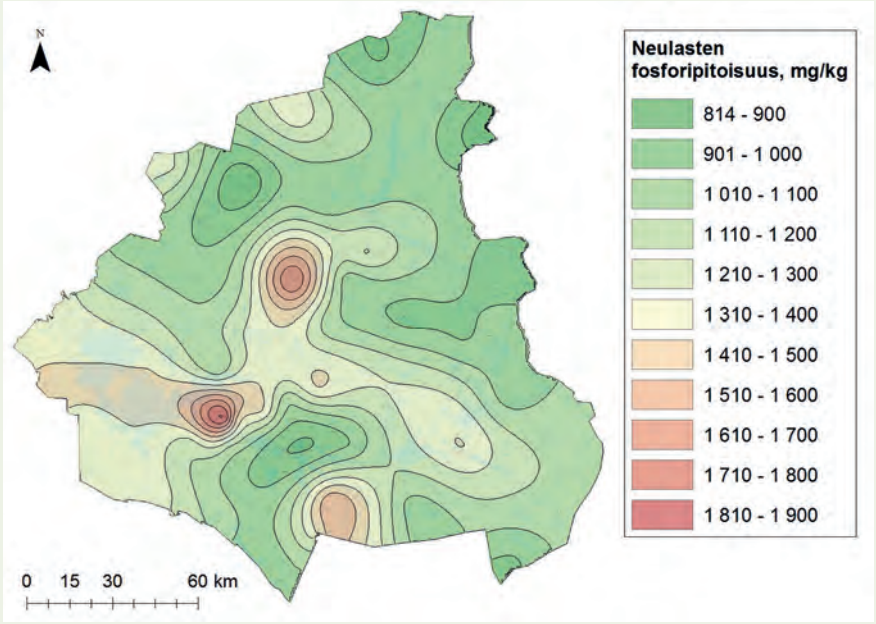
Männyn neulasten ravinnepitoisuudet vaihteluväleineen Kainuussa vuonna 2015 on esitetty taulukossa 3.3. Lisäksi taulukossa on vastaavat neulasten ravinnepitoisuudet Kainuussa vuosina 1994 ja 2000. Vertailuksi taulukkoon on lisätty myös valtakunnallisen selvityksen tuloksia vuodelta 1995 sekä kangasmaiden männynneulasten ravinteiden raja-arvoja, kun ravinnetila on alhainen (puutos) ja sopiva (optimi) (Farmit 2016). Erilaiset kasvupaikat vaikuttavat puiden ravinnetilaan, joten raja-arvot ovat lähinnä suuntaa antavia. Eri koealojen välinen vaihtelu oli joillakin ravinteilla suuri, boorilla peräti liki 10-kertainen.

Neulasten typpipitoisuus oli keskimäärin 12,0 mg/g, mikä kertoo mäntyjen kärsivän typen puutteesta suurimmassa osassa koealoja. Vuonna 2000 tulos oli vastaava. Vuonna 2015 vain kahdella koealalla, Kajaanin keskustan pohjoispuolella koealalla 44 (16,1 mg/g), ja Suomussalmella koealalla 25 (15,1 mg/g) typen pitoisuus oli yli sopivan ravinnetilan raja-arvon. Kainuussa ei siten ole merkkejä typpilaskeumasta ainakaan haitallisessa määrin. Kainuussa typen oksidien omat päästöt ovat liikenteestä (60 %) ja energiantuotannosta (40 %) lähtöisin.

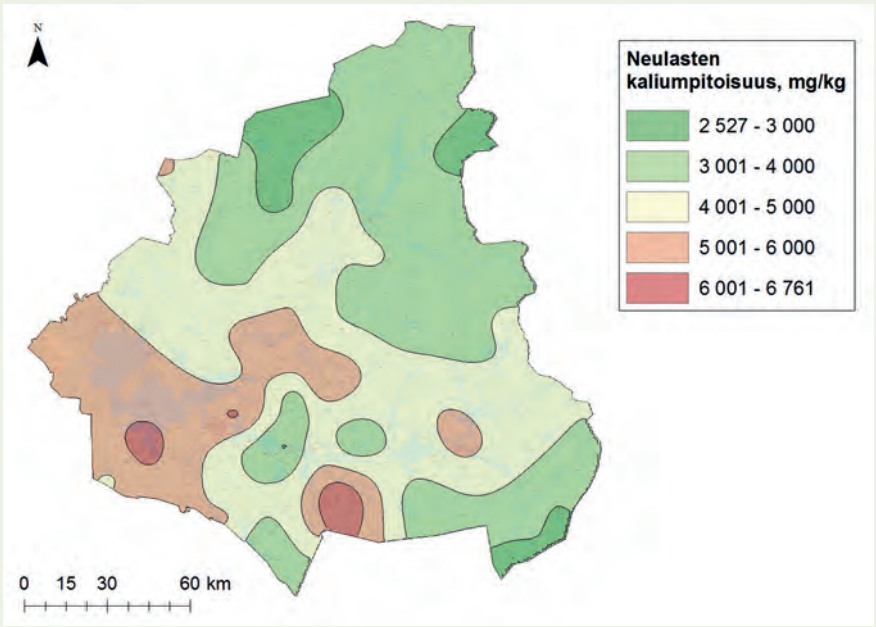
Taulukko 3.3. Neulasten ravinne- ja hivenainepitoisuuksia (1) tässä tutkimuksessa Kainuussa 2015 (n=53), (2) Kainuun bioindikaattoriselvityksessä 2000 (n=64) (Kemppainen 2000), (3) valtakunnallisessa kartoituksessa 1995 (Raitio 1995), (4) Kostamuksen tutkimuslinjalla Suomen puolella 1994 (Rautio & Huttunen 1994), sekä kangasmaiden männynneulasten ravinteiden raja-arvoja (Farmit 2016), n = koealojen lukumäärä.

Ravinne	2015 ka. (n=53)	Vaihteluväli	1998 ka. (n=64)	1995	1994	Ravinnetila alhainen	Ravinnetila sopiva
Typpi (mg/g)	12,0	9,24–16,1	11,5	10,6	10,2	<10,9	>14,0
Fosfori (mg/g)	1,18	0,81–1,88	1,40	1,48	1,32	<1,3	>1,6
Kalium (mg/g)	4,28	2,56–6,73	5,17	4,80	5,13	<3,9	>5,0
Kalsium (mg/g)	2,59	1,35–4.07	1,86	1,56	1,54	<2,5	>3,1
Magnesium (mg/g)	0,72	0,36–1,16	1,00	0,89	0,95	<0,9	>1,2
Mangaani (µg/g)	602	177–1420	465	-	-		>600?
Boori (µg/g)	8,29	2,32–20,7	10,6	-	-	<4,9	>8,0
Natrium (µg/g)	15,5	6,41–47,5	7,15 (n=60)*	-	-		
Kupari (µg/g)	2,56	1,83–3,78	2,58	-		<2,5	>3,5
Rauta (µg/g)	34,7	25,4–75,4	33,6 (n=63)*	-	-		
Sinkki (µg/g)	35,2	20,7–54,9	38,0	-	-	<40	>50
Rikki (mg/g)	0,77	0,57–1,10	0,83	0,95	1,15	<0,90	1,0–1,5

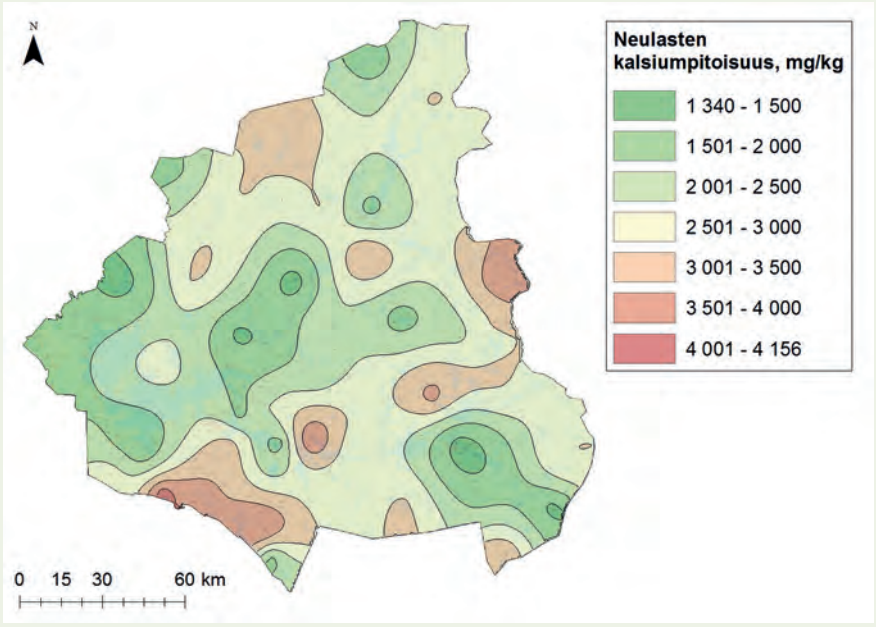
- = ei ole analysoitu; *n= poikkeava koealojen lukumäärä; ? = arveluttavan korkea

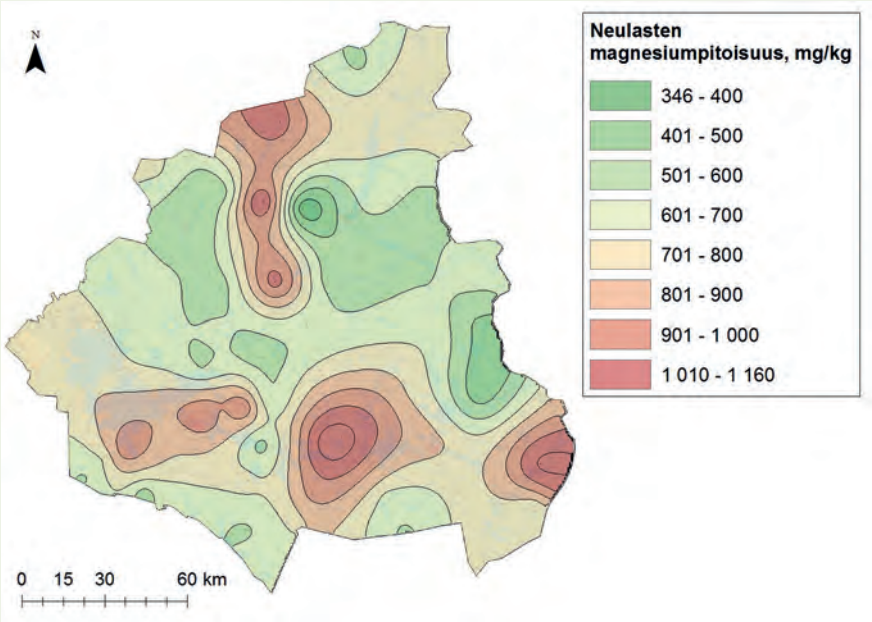


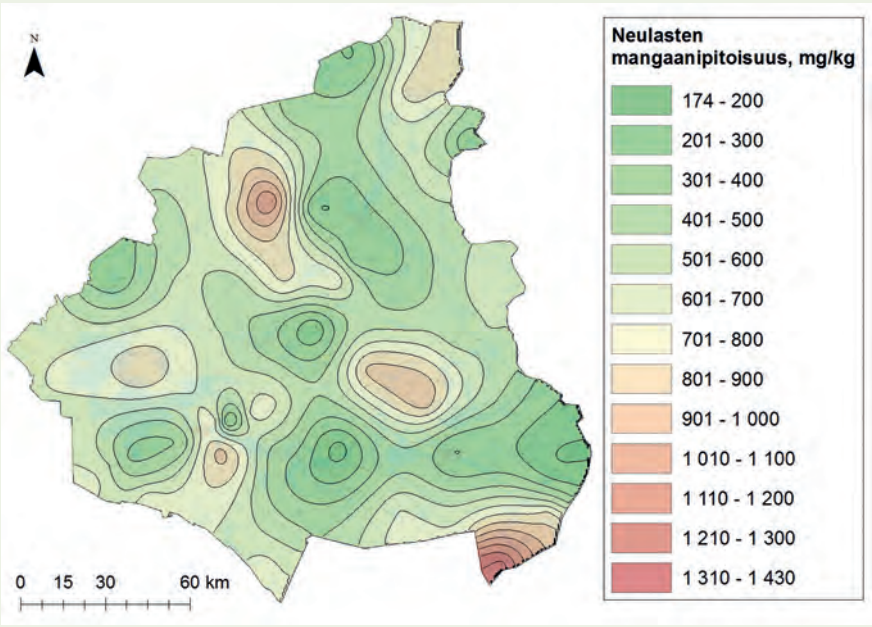
Toisen pääravinteen, fosforin, keskimääräinen pitoisuus, 1,18 mg/g, oli neulasissa selvästi aiempaa alhaisempi, ja siitä on yleisesti Kainuussa puutosta. Optimitilan rajan ylittäviä neulasten fosforipitoisuuksia löytyi vain Kajaanin pohjoispuolelta 1,88 mg/g (koeala 44), Hyrynsalmelta 1,80 mg/g (koeala 23) ja Sotkamosta 1,57 mg/g (koeala 5). Männyn neulasten fosforipitoisuuteen vaikuttaa puun juurten fosforin ottokyky (eli puun yleinen kunto) sekä maaperässä saatavilla olevan fosforin määrä ja liukoisuus. Fosforin liukoisuuteen vaikuttaa maan pH, johon puolestaan voi vaikuttaa rikki- ja typpiyhdisteiden aiheuttama hapan laskeuma. Fosforista tulee puutosta, jos sitä huuhtoutuu ravinnepäästöinä maaperästä erilaisten metsänhoitotoimenpiteiden, kuten hakkuiden, muokkausten ja ojitusten myötä. Fosforia voidaan tarvittaessa lisätä kangasmaille NP-lannoitteena.

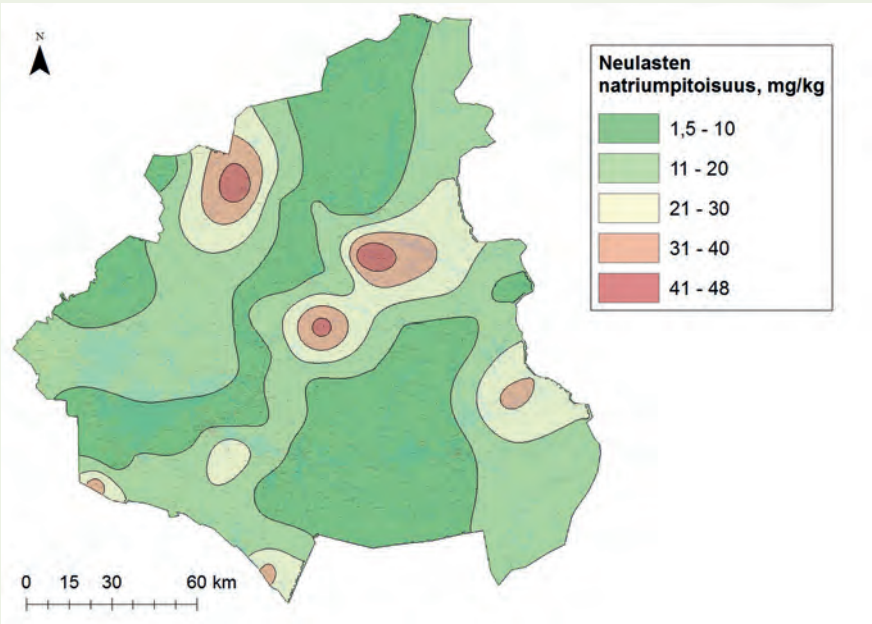


Muita ravinteita oli neulasissa kaliumia 4,28 mg/g, kalsiumia 2,59 mg/g ja magnesiumia 0,72 mg/g keskimääräisillä pitoisuuksilla. Pitoisuudet vaihtelivat eri koealoilla, mutta yleisesti ne olivat alle optimitason. Kaliumin pitoisuus on pysynyt eri selvityskerroilla suhteellisen tasaisena, mutta vuoteen 2000 verrattuina sen pitoisuudet ovat itärajalla laskeneet. Korkeimmat kaliumpitoisuudet löytyivät nyt Kajaanin pohjoispuolelta (koeala 44) ja Otanmäki-Vuottolahti -alueelta (koeala 46) sekä Sotkamosta (koeala 5).









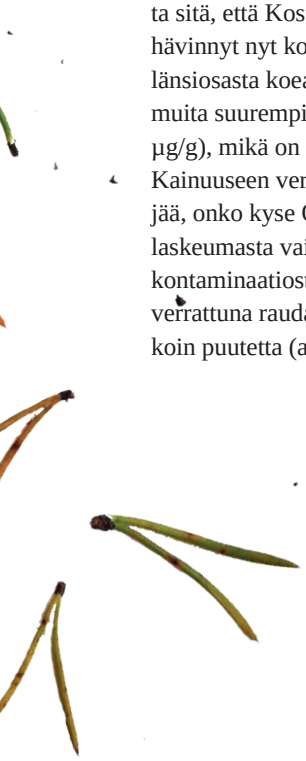
Kalsiumin määrä on sen sijaan noussut ja magnesiumin määrä hiukan laskenut aiempaan verrattuna. Kalsiumia löytyi neulasista eniten suunnilleen samoilta alueilta kuin vuonna 2000. Korkeimmat pitoisuudet analysoitiin Kajaanista 4,07 mg/g (koeala 49) ja Sotkamosta 3,88 mg/g (koeala 3) sekä Suomussalmen itärajan alueelta maksimissaan 3,66 mg/g. Magnesium on jakaantunut tasaisemmin koko Kainuun alueelle. Muutamaa koealaa lukuun ottamatta neulasten magnesiumpitoisuus oli alle puutosta osoittavan rajan (alle 1,2 mg/g).

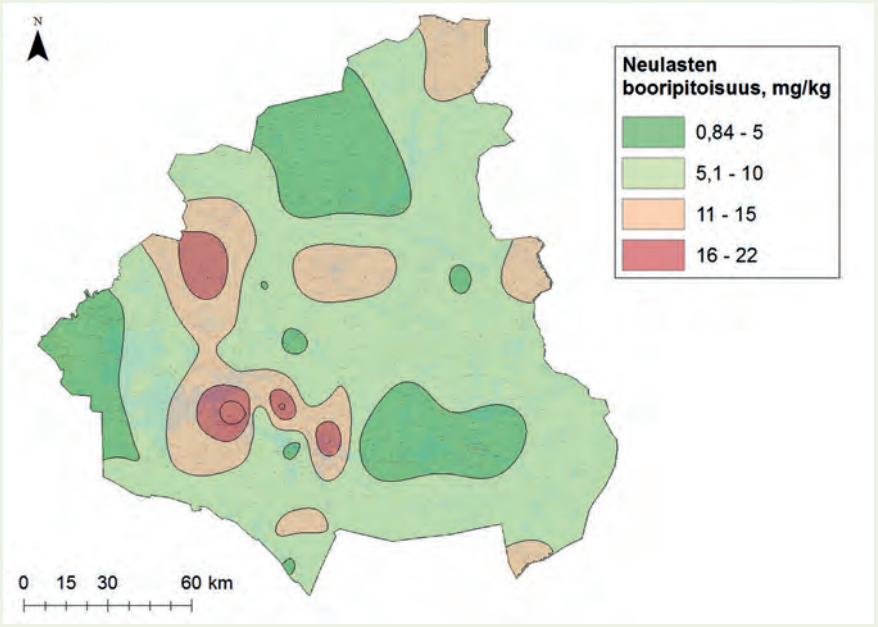
Edelliseen, vuoden 2000 tutkimukseen verrattuna mangaani- ja natriumpitoisuudet ovat kasvaneet ja boorin keskimääräinen pitoisuus laskenut. Eri koealojen välinen vaihtelu oli näillä ravinteilla suuri, boorilla peräti liki 10-kertainen. Mangaanin korkein pitoisuus 1420 µg/g mitattiin Kuhmosta (koeala 12). Natriumia löytyi eniten Puolanka-Suomussalmi -akselilta 45,4 - 47,5 µg/g (koealat 38 ja 27).

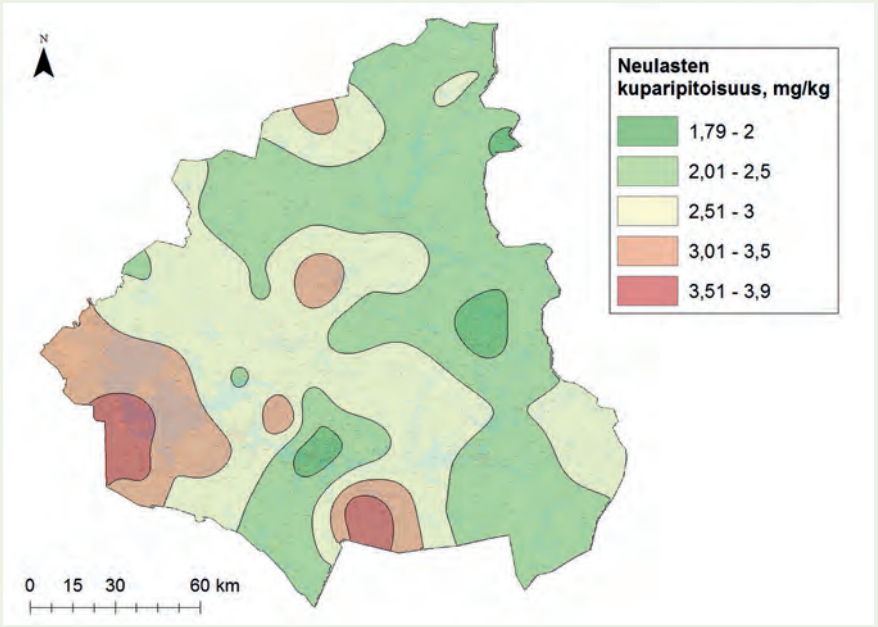
Boorin korkeimmat pitoisuudet mitattiin Kajaanin pohjoispuolelta koealoilta 8 (20,7 µg/g) ja 44 (20,0 µg/g). Boorin tilanne Kainuussa on sinänsä hyvä, sillä vain noin 10 %:ssa koealoista neulasten pitoisuus alitti puutosrajan (alle 4,9 µg/g), mutta toisaalta vain vajaa puolet ylitti sopivan ravinnetilan rajan. Boorin puutos on yleistä Kainuun, Lapin ja Itä-Suomen metsissä (Mikkolainen 2015). Puutos aiheuttaa tyypillisesti monihaaraista kasvua (Reinikainen ym. 1998).

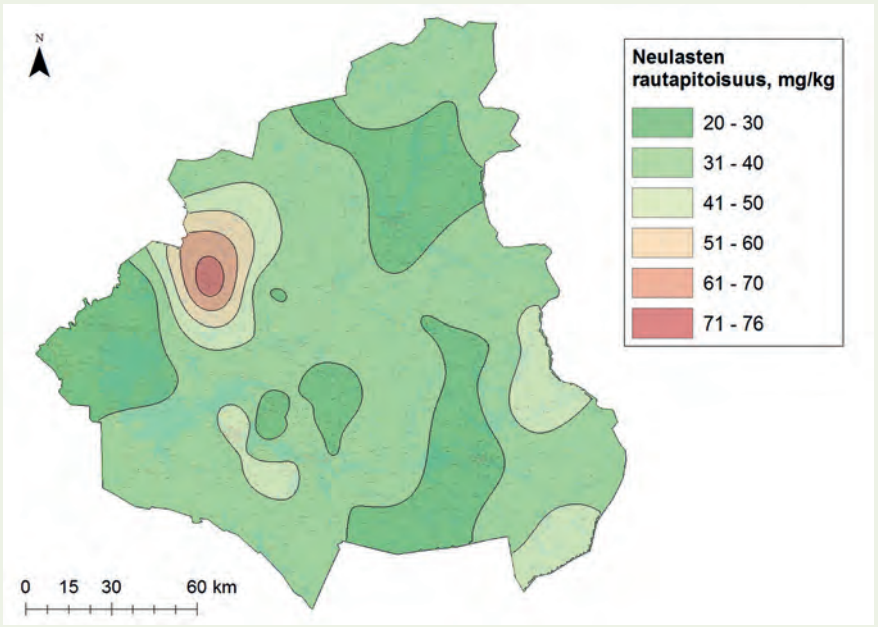
Hivenaineina toimivat metallit kupari, rauta, sinkki ja rikki ovat suurina pitoisuuksina myrkyllisiä, mutta pieninä elintärkeitä solun toiminnoille. Kuparin ja raudan pitoisuudet ovat vuoteen 2000 verrattuina itärajalla laskeneet ja Kainuun länsiosissa kasvaneet. Korkeimmat kuparipitoisuudet löytyivät Sotkamosta 3,75 µg/g (koeala 5) ja Otanmäestä 3,78 µg/g (koeala 47), joten metallipäästöjen voi olettaa olevan kaivannais- tai muusta teollisuudesta lähtöisin. Nämä pitoisuudet ovat myös ainoat, jotka ylittivät männyn hyvän ravinnetilan rajan. Vuoteen 2000 verrattuna kuparipitoisuudet ovat pysyneet samansuuruisina, eli Kainuun männyt kärsivät edelleen kuparin puutoksesta.

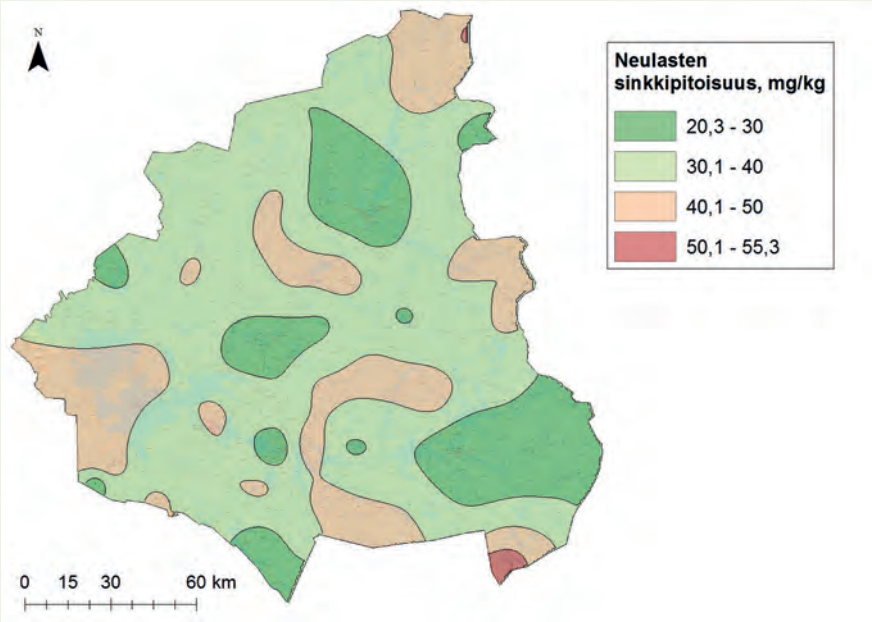
Neulasten rautapitoisuus, keskimäärin 34,7 µg/g, on verraten tasainen koko Kainuussa ja hyvin samankaltainen kuin vuonna 2000, lukuun ottamatta sitä, että Kostamuksen vaikutus on hävinnyt nyt kokonaan. Puolangan länsiosasta koealan 40 neulasista löytyi muita suurempi määrä rautaa (75,4 µg/g), mikä on kaksinkertainen muuhun Kainuuseen verrattuna. Arvailun varaan jää, onko kyse Oulusta päin tulleesta laskeumasta vai näytteen satunnaisesta kontaminaatiosta. Ravinnetilan optimiin verrattuna raudasta on Kainuussa paikoin puutetta (alle 30 µg/g).

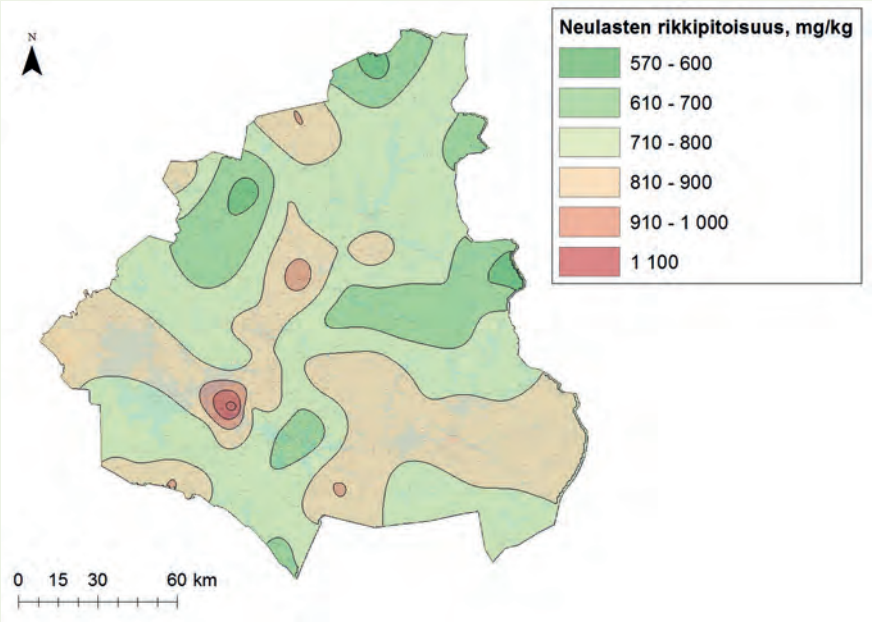












Neulasten sinkkipitoisuus on kautta Kainuun hieman laskenut aiemmasta, ja siinä näkyy vastaavanlainen yhden koealan pitoisuushuippu (54,9 µg/g) Kuhmon koealan 12 kohdalla kuin raudalla koealalla 40. Kolmannes neulasten sinkkipitoisuuksista oli alle ravinnetilan puutosrajan. Sinkin puutos näkyy puiden sykerömäisten neulastihentymien muodostumisena.

Neulasten rikkipitoisuus oli vuonna 2015 keskimäärin 0,77 mg/g. Pitoisuus on pienentynyt kauttaaltaan Kainuussa verrattuna esimerkiksi 1980-luvun lopulla tehtyihin selvityksiin, jolloin Kainuussa kaikissa tutkituissa kunnista oli todettu yleisesti yli 1 mg/g:n rikkipitoisuuksia. Tätä tasoa oleva rikkipitoisuus, 1,10 mg/g, mitattiin tässä selvityksessä ainoastaan Kajaanin keskustan pohjoispuolelta (koeala 44). Varsinkin itärajalle Kajaanista Vartiukseen menevällä linjalla, jolla vielä vuonna 2000 todettiin Kainuun suurimmat rikkipitoisuudet, pitoisuuden vähentyminen on nyt selvästi havaittavissa. Itärajalla aiemmin koholla olleet neulasten rikkipitoisuudet olivat Kostamuksen rautapellettitehtaan päästöistä lähtöisin. Nykyiset Kainuun rikkipäästöt ovat pääosin kuntien energiatuotannon synnyttämiä, jonka lisäksi itärajalla näkyy vielä Kostamuksen päästöjen vaikutus.

Taulukko 3.4. Neulasten metallipitoisuuksia tässä tutkimuksessa Kainuussa 2015 (n=53) ja Kainuun bioindikaattoriselvityksessä 1998 (Kemppainen 2000) (n=64). (n=koealojen lukumäärä)

Alkuaine	2015 ka. (n.=53)	Vaihteluväli	1998 ka. (n=64)
Alumiini (µg/g)	233	62,8–498	213
Kadmium (µg/g)	0,09	0,07-0,14	-
Kromi (µg/g)	0,40	0,27–0,68	-
Nikkeli (µg/g)	0,97	0,26–2,14	1,74 (n=48)*
Lyijy (µg/g)	<1,09	<1,05–1,71	-
Titaani (µg/g)	1,16	0,49–5,43	1,07 (n=60)*
Vanadiini (µg/g)	0,46	<0,32–0,89	0,68 (n=6)*

- = ei ole analysoitu, *n = poikkeava koealojen lukumäärä

Kuva: Seija Kemppainen.

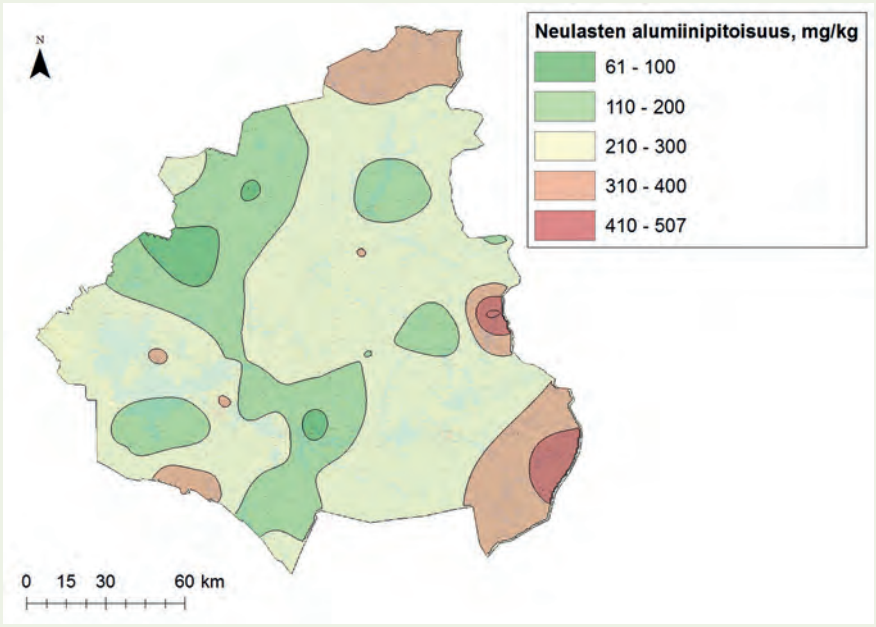
Neulasten metallipitoisuudet

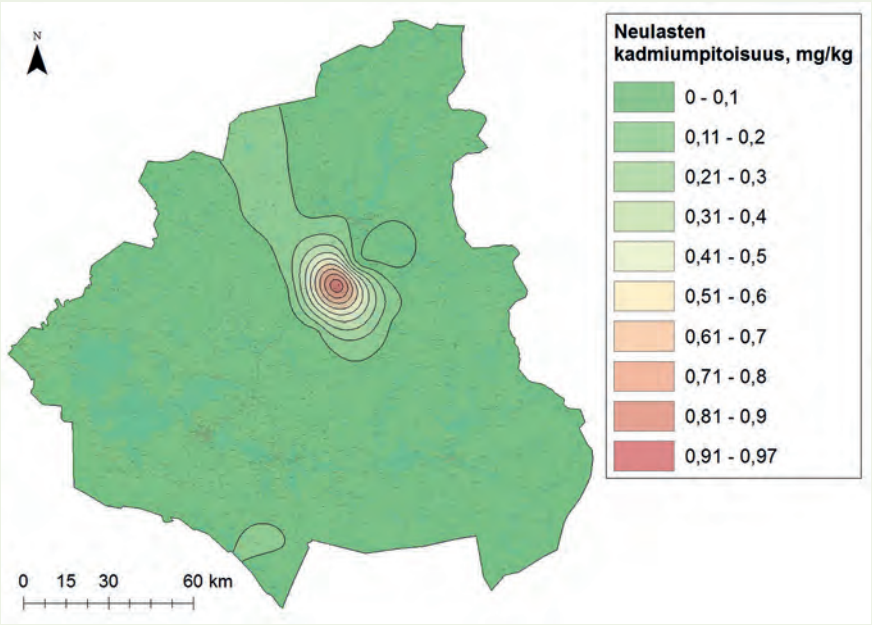
Taulukossa 3.4. on esitetty vuoden 2015 kesän bioindikaattoriselvityksessä määritettyjen neulasten raskasmetallipitoisuuksia sekä verrattu niitä vuoden 2000 selvityksen tuloksiin.

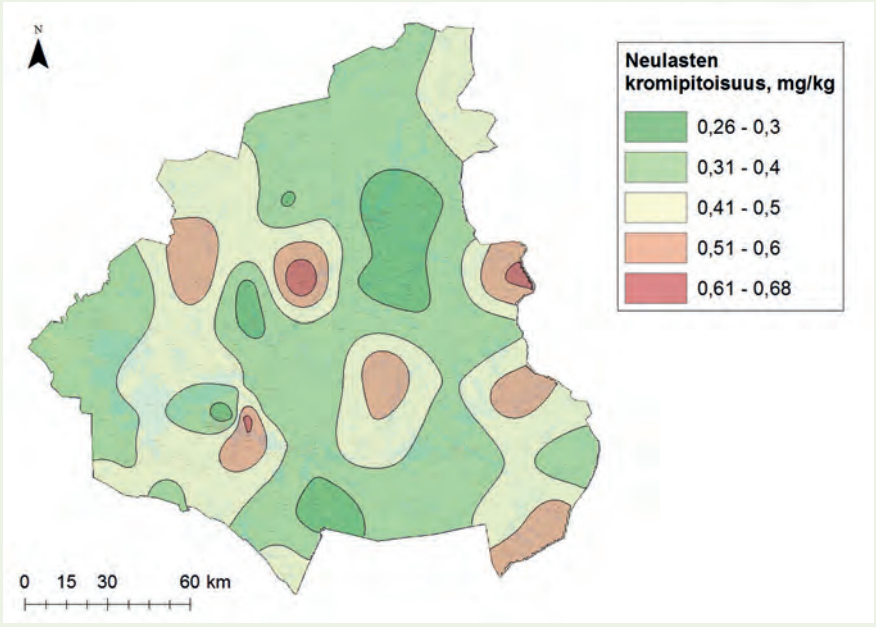
Alumiinia löytyi vuoden 2015 neulasissa suhteellisen samantasoisilla pitoisuuksilla eri puolin Kainuuta lukuun ottamatta Kuhmon itäosaa (koealat 13, 14 ja 20), jonka alueella alumiinipitoisuus oli suurimmillaan 498 µg/g. Keskimäärin Kainuussa oli alumiinia 233 µg/g. Kostamuksen alueen vaikutus näkyy tässä hyvin. Pitoisuudet olivat samaa tasoa kuin vuonna 2000.

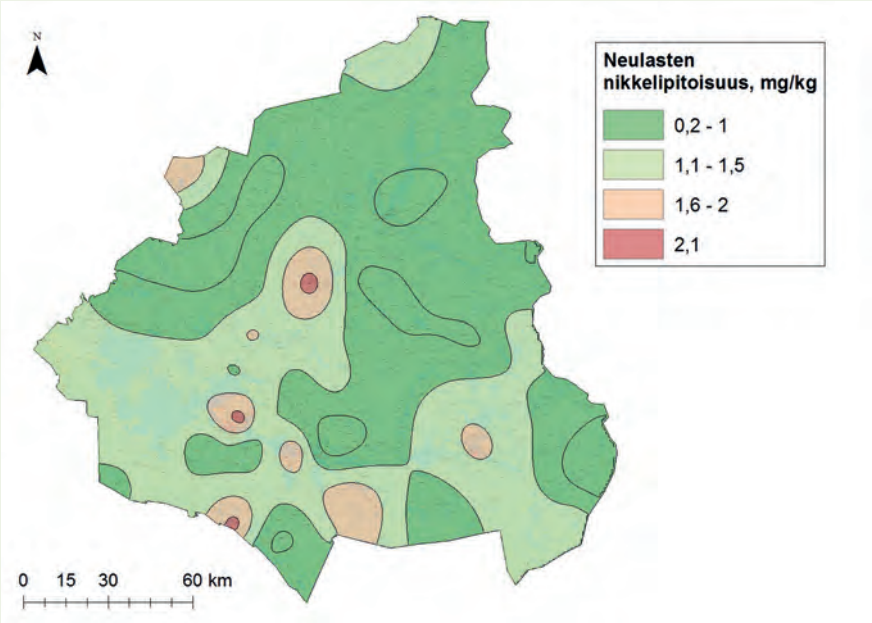
Neulasten kadmiumpitoisuus oli koko Kainuun alueella alhainen, ollen alle määritysrajan (0.08 µg/g). Tästä selvästi poikkesi Puolangan koealan 38 tulos 0,14 µg/g. Kyseinen koeala on asumatonta aluetta, joten selvää selitystä kohonneille pitoisuuksille ei löydy lähialueilta.

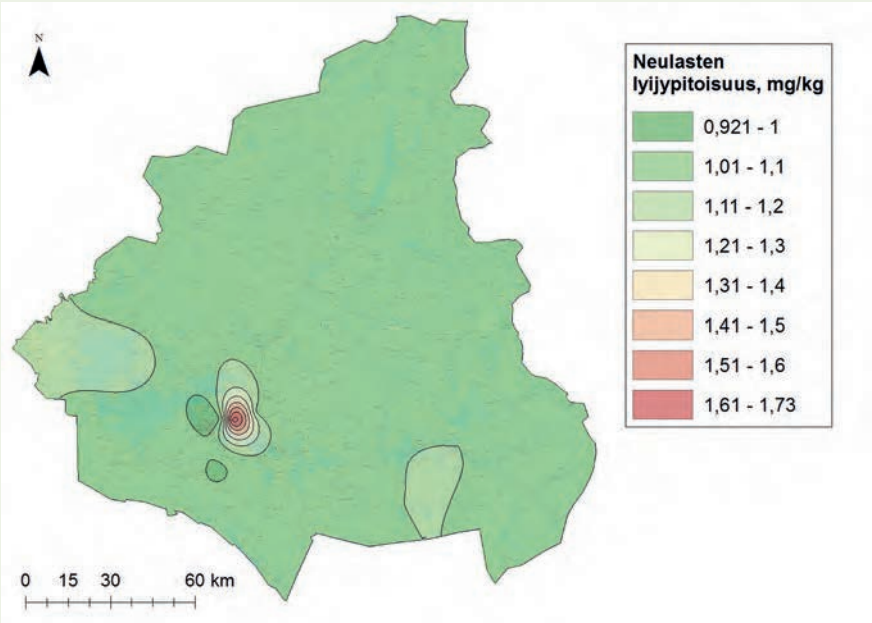
Neulasten kromipitoisuus oli keskimäärin 0,40 µg/g. Kohonneita kromipitoisuuksia mitattiin itärajalta sekä muun muassa Kajaanin pohjoispuolelta 0,60 µg/g (koeala 43) ja Hyrynsalmelta 0,68 µg/g (koeala 23), joista jälkimmäinen oli Kainuun suurin pitoisuus. Kromin päästöt ovat selvästi olleet osin paikallisia ja osin Kostamuksen teollisuusalueelta kaukokulkeutuneita.

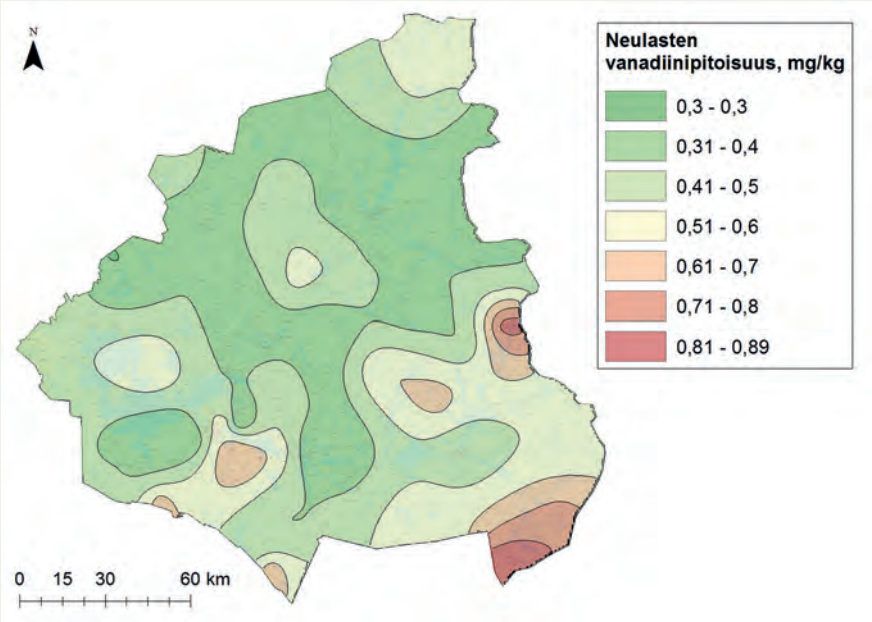












Neulasten nikkelipitoisuudet olivat valtaosassa Kainuuta alhaisia. Nikkeliä analysoitiin neulasista keskimäärin 0,97 µg/g, kun vuonna 2000 pitoisuus oli keskimäärin 1,74 µg/g. Nikkelin päästölähteet ovat olleet hyvin paikallisia. Korkeimmat pitoisuudet löytyivät Hyrynsalmelta 2,14 µg/g (koeala 23) sekä Kajaanista 2,11 µg/g (koeala 53) ja 2,07 µg/g (koeala 44). Sotkamossa korkeimmat nikkelipitoisuudet olivat 1,95 µg/g (koeala 5) ja 1,74 µg/g (koeala 6). Näistä koealat 5, 6 ja 53 ovat Talvivaaran kaivoksen ympäristössä. Hyrynsalmen ja Kajaanin koealan 44 tuloksia selittänee joku muu paikallinen lähde.

Lyijypäästöjen väheneminen 1990-luvulta lähtien näkyy myös tämän selvityksen tuloksissa. Neulasten lyijypitoisuudet olivat valtaosin alle määritysrajan. Vain Kajaanin pohjoispuolella sijaitsevalta koealalta 43 analysoitiin neulasista lyijyä 1,71 µg/g. Kappale 5 sammaltutkimuksessa (Piispanen ym.) oli sammalten keskimääräiseksi lyijypitoisuudeksi Kainuussa vuonna 2010 analysoitu 1.77 µg/g, mikä vastaa tässä selvityksessä koealalta 43 saatua neulasten lyijypitoisuutta. Sitä vastoin Kappaleessa 4 esitetyssä vuoden 2015 epifyyttijäkälätutkimuksessa lyijyä ei löydetty epifyyttijäkälistä mitattavia määriä edes tältä koealalta 43.

Lisäksi neulasnäytteistä analysoitiin titaani- ja vanadiinipitoisuudet. Neulasten titaanipitoisuudet (1,16 µg/g) olivat keskimäärin samaa tasoa verrattuna vuoden 2000 tuloksiin. Poikkeuksena on Puolangalta (koeala 40) mitattu muita selvästi korkeampi pitoisuus 5,43 µg/g. Vanadiinipitoisuudet olivat korkeimmat Kuhmon itärajalla, enimmillään 0,889 µg/g (koeala 12), indikoiden Kostamuksen päästöjen vaikutusta. Sotkamossa vanadiinipitoisuus oli myös koholla Talvivaaran alueella. Keskimäärin Kainuun alueella neulasissa oli vanadiinia 0,46 µg/g.

Kuva: Seija Kemppainen.

Johtopäätökset

Vuoden 2015 harsuuntumisselvityksen tulokset osoittavat, ettei ilman laadulla tai muilla neulasvuosikertoihin vaikuttavilla olosuhteilla ole ollut havupuiden kuntoa heikentäviä vaikutuksia Kainuun alueella. Harsuuntuneisuus oli vuoden 2015 koealoilla keskimäärin 14,3 %. Pohjoismaisen harsuuntuneisuusluokituksen mukaan arvioituna 20 %:lla koealoista olivat puut lievästi harsuuntuneet, kun pääosassa koealoista puun elinvoimaisuus ei ollut vielä laskenut.

Aikaisempiin selvityksiin verrattuna neulasten keskimääräisissä ravinnepitoisuuksissa ei Kainuun alueella ole tapahtunut suuria muutoksia. Vuoden 2015 selvityksessä koko Kainuun alueelta kerättyjen neulasten keskimääräiset ravinnepitoisuudet olivat yleisesti ottaen alhaisia kangasmaiden männynneulasten hyvän ravinnetilan raja-arvoihin verrattuna. Neulasten typpi- ja kalsiumpitoisuudet ovat jonkin verran kasvaneet ja fosfori- ja rikkipitoisuudet vähentyneet vuodesta 1994 lähtien. Fosforista, magnesiumista ja sinkistä on jopa puutetta. Vain boorin ja mangaanin keskimääräiset pitoisuudet olivat sopivan ravinnetilan raja-arvon yläpuolella. Suomen metsissä ravinnepuutokset ovatkin yleisiä (Raitio 1994, Mikkolainen 2015).

Neulasanalyysien tuloksia tarkasteltaessa Kainuun eri alueilta voidaan havaita useimpien alkuaineiden pitoisuuksien laskeneen itärajan läheisyydessä vuoden 2000 selvityksestä. Ravinteista ainoastaan kalsiumia ja magnesiumia on myös rajan tuntumassa edelleen korkeita pitoisuuksia.

Kohonneita neulasten metallipitoisuuksia löytyy alueellisesti niin Kostamuksen vaikutuksesta itärajan tuntumasta (alumiini, kromi, vanadiini) kuin eri kuntien paikallisten lähteiden (kuntakeskukset, tuotantolaitokset, kaivokset) lähettyviltä. Erityisesti merkillepantavia ovat korkea kadmiumpitoisuus Puolangalla Naulaperän kylän pohjoispuolella (koeala 38), kromipitoisuus Hyrynsalmella (koeala 23) ja lyijypitoisuus Kajaanin pohjoispuolella (koeala 43). Hyrynsalmen koealalta 23 löytyi myös korkeita pitoisuuksia nikkeliä, magnesiumia ja rikkiä. Lisäksi Puolangan koealalta 40 mitattiin korkeita boori-, rauta- ja titaanipitoisuuksia.

Neulasten alkuainepitoisuuksissa on muutoinkin todettavissa alueellisia keskittymiä, joissa on koholla useamman ravinteen tai raskasmetallin pitoisuudet. Näitä ovat muun muassa Kajaanin keskustan pohjoispuolella sijaitsevat koealat 43 ja 44, joista mitattiin korkeita pitoisuuksia rikkiä, typpeä, fosforia, kaliumia ja booria sekä kromia, lyijyä ja nikkeliä. Mitatut pitoisuudet ovat oletettavasti Kajaanin kaupungin eri päästölähteistä peräisin. Sotkamon koealalta 5, joka on Talvivaaran kaivoksen vaikutuspiirissä, analysoitiin korkeita kalium-, kupari- ja nikkelipitoisuuksia sekä lisäksi kohonneita rikki- ja fosforiarvoja. Kuhmon itärajalla näkyy edelleen Kostamuksen alueen päästöinä muun muassa korkeita pitoisuuksia mangaania, sinkkiä ja vanadiinia (koeala 12) sekä alumiinia ja kromia (koeala 14). Koealan 20 neulasista mitattiin myös alumiinia ja vanadiinia.

Yllättäen Suomussalmen Näljängän kylän eteläpuolelta (koeala 25) mitattiin neulasista kohonneita typpi-, kadmium-, kupari- ja magnesiumpitoisuuksia. Epifyyttijäkälien alkuaineanalyysien tulosten (kpl 4) mukaan sama koeala oli Kainuun puhtain alue. Neulas- ja epifyyttijäkälien analyysitulokset eivät muutoinkaan merkittävästi korreloineet keskenään yhdenkään tutkitun alkuaineen osalta. Epifyyttijäkälien tuloksissa on näkyvissä pidemmän aikavälin epäpuhtauskertymät, kun neulaset lyhyemmän elinkaaren vuoksi indikoivat paremminkin muutaman viimeisen vuoden päästöjä.

Neulasanalyysien mukaan vuonna 2015 merkittävästi kohonneita epäpuhtauspitoisuuksia ei todettu Ristijärven, Paltamon eikä Vaalan kuntien alueilta lainkaan.

Kirjallisuus

European commission 1997. Ten years of monitoring forest condition in Europe. Studies on temporal development, spatial distribution and impacts of natural and anthropogenic stress factors. Overview report.

Farmit 2016. Neulasanalyysien tulkinnan ohjearvoja. Viljavuuspalvelu Oy. WWW-lähde: http://www.farmit.net/metsa/metsanlannoitus/ravinneanalyysit/neulasanalyysien-tulkinnan-ohjearvoja (luettu 15.12.2016)

Huttunen, S. & Manninen, S. 1989. Sotkamon kunnan ilmansuojelun perusselvitys bioindikaattoreiden avulla. Oulun yliopisto, kasvitieteen laitos, Oulu. 26 s + liitteet.

Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H., Nieminen T. (toim.) 1993. Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki. 221 sivua.

Kemppainen S. 2000. Havupuiden kunto ja neulasten kemiallinen analyysi. Julkaisussa: Kemppainen S. ja Markkanen S.-L. (toim.) Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Suomen ympäristö 393. ss. 43-57.

Kemppainen S. ja Markkanen S.-L. 2000. Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Suomen ympäristö 393, 137 s.

Manninen S. & Huttunen S. 1989. Suomussalmen kunnan ilmansuojelun perusselvitys bioindikaattoreiden avulla. Oulun yliopisto, Kasvitieteen laitos, Oulu. 25 s + liitteet.

Metsänlannoitusopas 2012. Yara Suomi Oy. 27 s.

Mikkolainen, J.-M. 2015. Ravinteet neulasanalyysimetsissä. Metsätalouden koulutusohjelma, opinnäytetyö. MAMK. 37 s.

Raitio, H. 1994. Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysien valossa. Julkaisussa: Suomen metsien kunto ss. 25-34.

Raitio, H. 1995. Neulaset ja mäntyjen kunto. Julkaisussa: Tikkanen, E. (toim.) Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena. ss. 121-146.

Rautio, P. & Huttunen, S. 1994. Kainuun ilmanlaadun selvitys bioindikaation avulla 1993. Oulun yliopisto, Kasvitieteen laitos, Oulu. 52 s. + liitteet.

Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. 44 s.

Ruusila, S., Uitamo, J. & Kellomäki, S. 1994. Ilman epäpuhtaudet pohjoisessa metsäekosysteemissä. Laskeuma – maaperä – puusto. Silva Carelica 26, 1994, 181 s.

Salemaa, M. & Lindgren, M. 1998. Latvuksen kunto. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 691: 103-110

Salemaa &Lindgren 2000. Crown condition. Julkaisussa: Forest Condition in a changing environment – The Finnish case. Mälkönen, E. (toim.), Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Centre, Vantaa, Finland, Kluwer Academic Press, 2000.

SFS 5669. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen Standardoimisliitto SFS, 1990.74

4. Epifyyttijäkälien alkuaineanalyysit

TARJA LAATIKAINEN JA ANU SEPPÄNEN

Kuva: Marja-Leena Nenonen/YHA kuvapankki.

JÄKÄLIEN JA SAMMALTEN TIEDETÄÄN OLEVAN HERKKIÄ ILMANSAASTEIDEN INDIKAATTOREITA. PUIDEN OKSILLA JA RUNGOILLA KASVAVAT EPIFYYTTIJÄKÄLÄT ELÄVÄT ILMAN KOSTEUDEN VARASSA JA SAAVAT RAVINTEENSA SADEVEDESTÄ JA PINTAANSA KIINNITTYVISTÄ HIUKKASISTA TAI SUORAAN ILMASSA ESIINTYVISTÄ KAASUMAISISTA YHDISTEISTÄ, KUTEN TYPPI- JA RIKKIYHDISTEISTÄ. OSA EPIFYYTTIJÄKÄLIEN SADEVEDEN MUKANA SAAMISTA, RUNKOA PITKIN HUUHTOUTUVISTA RAVINTEISTA ON PERÄISIN PUUN OMISTA NEULASISTA, JOISTA HAPAN SADE IRROTTAA RAVINTEITA. OSA RAVINTEISTA ON PERÄISIN ILMAPÄÄSTÖJEN LASKEUMISTA, JOLLOIN NE VOIVAT KAUKOKULKEUTUA PITKÄNKIN MATKAN. SAMALLA JÄKÄLÄT KERÄÄVÄT ITSEENSÄ ILMAN KAUTTA KULKEUTUVIA EPÄPUHTAUKSIA, KUTEN RASKASMETALLEJA. USEIN ENSIMMÄINEN MERKKI ILMANSAASTEKUORMITUKSESTA ILMENEE JUURI EPIFYYTTIJÄKÄLIEN KUNNOSSA JA LUKUMÄÄRISSÄ. TÄSTÄ SYYSTÄ EPIFYYTTIJÄKÄLIÄ ONKIN KÄYTETTY ILMANLAADUN JA EPÄPUHTAUKSIEN LEVIÄMISTUTKIMUKSISSA BIOINDIKAATTOREINA (MIKKOLA 1993).

Suomessa on bioindikaattorilajina käytetty yleisesti koko maassa esiintyvää ja ilmansaasteita kestävää epifyyttijäkälää sormipaisukarvetta (*Hypogymnia physodes*). Sormipaisukarpeen alkuaineita analysoimalla voidaan arvioida eri alueiden ilmansaastekuormitusta (Kubin 1993). Koska sormipaisukarve kerää itseensä ravinteita ja metalleja koko elinajan, alkuainepitoisuudet indikoivat pidemmän aikaista kuormitusta verrattuna esimerkiksi männyn neulasiin.

Kainuussa toteutettiin kesällä 2015 toinen laaja bioindikaattoriselvitys, jossa selvitettiin maakunnan alueen ilman epäpuhtauslaskeumien laajuutta ja muutosta verrattuna vuonna 2000 tehtyyn vastaavaan selvitykseen (Kemppainen ja Markkanen 2000). Tässä selvityksessä kerättiin pääosin samoilta koealoilta kuin edellisellä kerralla männyistä neulas- ja epifyyttijäkälänäytteet, joista määritettiin ravinne- ja metallipitoisuudet.

Koealojen valinta ja sijainti

Vuonna 2015 epifyyttijäkälänäytteet kerättiin pääosin samoilta koealoilta kuin vuonna 2000. Osa koealoista oli metsänhakkuiden vuoksi tai muusta vastaavasta syystä hävinnyt, jolloin näytteet otettiin lähinnä alkuperäistä koealaa sijaitsevasta vastaavat kriteerit täyttävästä mäntymetsästä. Osa vanhoista koealoista vaihdettiin kokonaan uusiin koealoihin kattamaan laajemmin koko Kainuun aluetta ottaen huomioon päästöjä tuottavien toimintojen nykytilanne.

Koealoja oli vuonna 2015 yhteensä 53 kappaletta, joista Sotkamossa sijaitsi 11 kpl, Suomussalmella 10 kpl, Kuhmossa 9 kpl, Kajaanissa 8 kpl, Puolangalla 5 kpl, Hyrynsalmella, Paltamossa ja Ristijärvellä kussakin 3 kpl sekä Vaalan alueella yksi. Koealojen sijainti on esitetty 1. kappaleen tutkimusalueen karttakuvassa s. 5.

Koealat sijaitsivat kangastyypin metsiköissä, joissa valtapuuna oli mänty ja joiden puuston tiheys oli normaalia kasvatusmetsää. Metsikön tuli olla mahdollisimman luonnontilainen ja iältään vähintään varttunutta kasvatusmetsää (vrt. Kemppainen 2000).

Näytteiden keruu ja analysointi

Epifyyttijäkälänäytteiksi kerättiin sormipaisukarvetta kokoomanäytteenä kolmen männyn rungolta koealaa kohti. Puut eivät saaneet olla metsikön reunapuita. Näytteet kerättiin korkeimman lumirajan yläpuolelta, 1–2 m korkeudelta maan pinnasta. Pääosin näytteet kerättiin kuivalla säällä, mutta käytännön syiden ja olosuhteiden vuoksi jouduttiin välillä keräämään myös kosteampia näytteitä. Jäkälänäytteet suljettiin välittömästi ilmatiivisiin minigrip-pusseihin ja niitä säilytettiin kylmälaukussa, kunnes ne pakastettiin myöhempää analyysiä varten. Jäkälänäytteet (53 kpl) kerättiin kesällä 2015 samoilta koealoilta kuin analysoitavat neulasnäytteet.

Sormipaisukarve.

Pakastetut näytteet toimitettiin analysoitavaksi Luonnonvarakeskuksen keskuslaboratorioon Vantaalle. Ensin näytteet (5 g) kuivattiin ja jauhettiin. Alkuaineet määritettiin ICP-MS-tekniikalla, jossa näyte hajotetaan märkäpoltolla typpihapon ja vetyperoksidin avulla ennen määritystä. Näytteistä määritettiin rikki (S), fosfori (P), kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), mangaani (Mn), natrium (Na), alumiini (Al), boori (B), kadmium (Cd), kromi (Cr), kupari (Cu), rauta (Fe), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), sinkki (Zn), titaani (Ti) ja vanadiini (V). Typpi (N) määritettiin hiili-typpi-vety-analysaattorilla.

Analyysitulosten kuvaesityksissä tuloksia on interpoloitu Spline with borders -menetelmällä, joka sovittaa havaintopisteisiin samanarvonkäyriä käyrien mutkaisuuden minimoiden. Interpolointi on rajattu Kainuun maakuntarajojen mukaisesti. Näytepisteverkon harvalukuisuus maakunnan itä-, pohjois- ja länsiosissa aiheuttaa interpolointiin epävarmuutta. Interpolointi ei myöskään ota huomioon maakunnan eri osissa vallitsevia tuulen suuntia.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

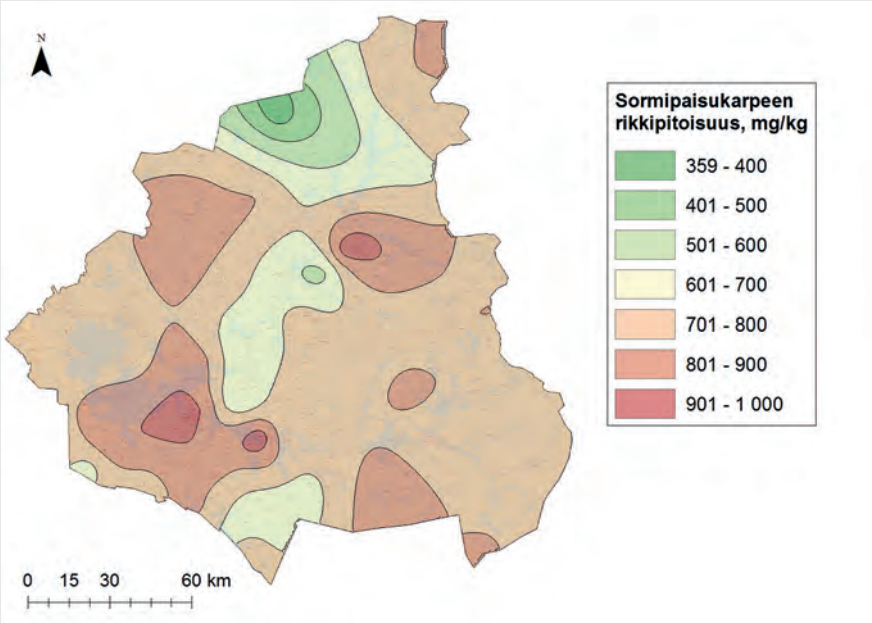
Männyn epifyyttijäkälä sormipaisukarpeen alkuainepitoisuudet Kainuussa vuosina 2015 ja 2000 on esitetty taulukossa 4.1. Vertailuksi taulukkoon on lisätty myös valtakunnallisen selvityksen tulokset vuosilta 1985–1986.

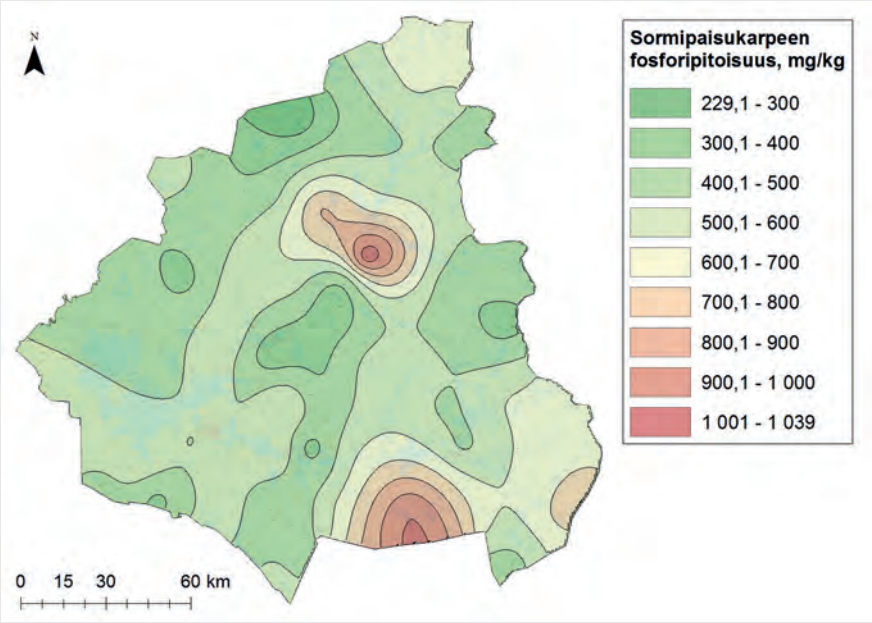
Monet alkuaineet, kuten typpi, rikki, fosfori, kalsium, kalium, magnesium ja natrium, ovat tärkeitä ravinteita kaikille eliöille, myös jäkälille. Erityisesti rikki ja typpi ovat välttämättömiä elintoiminnoille muun muassa proteiinien ja entsyymien rakenneosina. Kupari, rauta, mangaani ja sinkki ovat pieninä pitoisuuksina eliöille välttämättömiä hivenaineita, mutta suurina pitoisuuksina haitallisia. Kadmium, kromi, lyijy, nikkeli ja vanadiini ovat raskasmetalleja, jotka eivät ole välttämättömiä eliöille, ja suurina pitoisuuksina ne ovat myrkyllisiä.

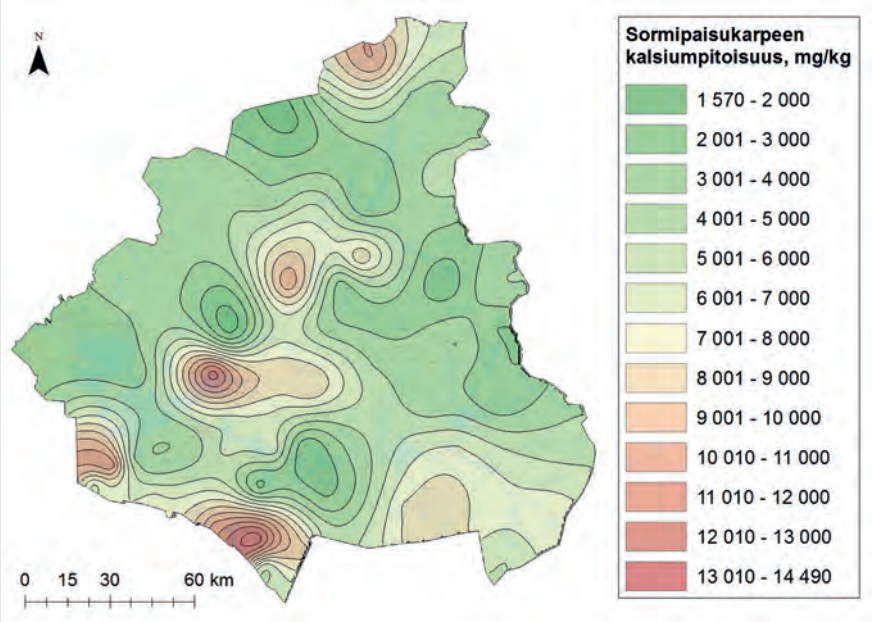
Taulukko 4.1. Epifyyttijäkälien alkuainepitoisuuksia 1) tässä tutkimuksessa Kainuussa 2015 (n=53), 2) Kainuun bioindikaattorikartoituksessa 2000 (n=64) ja 3) koko maassa vuosina 1985–1986 (Kubin 1993) (n = koealojen lukumäärä).

Alkuaine	2015 ka. (n=53)	vaihteluväli	1998 ka. (n=64)	1985–1986 ka.
Rikki (mg/g)	0,75	0,37–0,94	0,86	1,09
Typpi (mg/g)	7,32	5,62–8,88	7,70 (n=62)*	13,0
Fosfori (mg/g)	0,53	0,25–1,03	0,39	-
Kalsium (mg/g)	5,93	1,79–14,40	3,10	3,34
Kalium (mg/g)	2,14	0,99–3,29	2,03	2,75
Magnesium (mg/g)	0,54	0,30–0,75	0,43	0,40
Natrium (µg/g)	59,3	19,9–186	57,1	42,0
Alumiini (µg/g)	571	229–1390	753	-
Boori (µg/g)	1,39	0,57–2,74	3,20	-
Kadmium (µg/g)	0,40	0,16–0,81	0,30 (n=53)*	0,70
Kromi (µg/g)	2,56	1,03–7,16	1,25 (n=30)*	2,13
Kupari (µg/g)	5,08	2,61–7,93	5,60	7,30
Rauta (µg/g)	514	201–1290	613	544
Mangaani (µg/g)	200	34,1–541	126	131
Nikkeli (µg/g)	2,35	1,06–7,06	1,66 (n=57)*	2,62
Lyijy (µg/g)	2,65	1,59–5,75	4,70 (n=63)*	18,0
Sinkki (µg/g)	53,6	28,5–122	61,3	86,0
Titaani (µg/g)	29,9	9,71–107	29,8	25,9
Vanadiini (µg/g)	2,61	1,00–8,28	2,27 (n=63)*	-

- = ei ole analysoitu *n = poikkeava koealojen lukumäärä







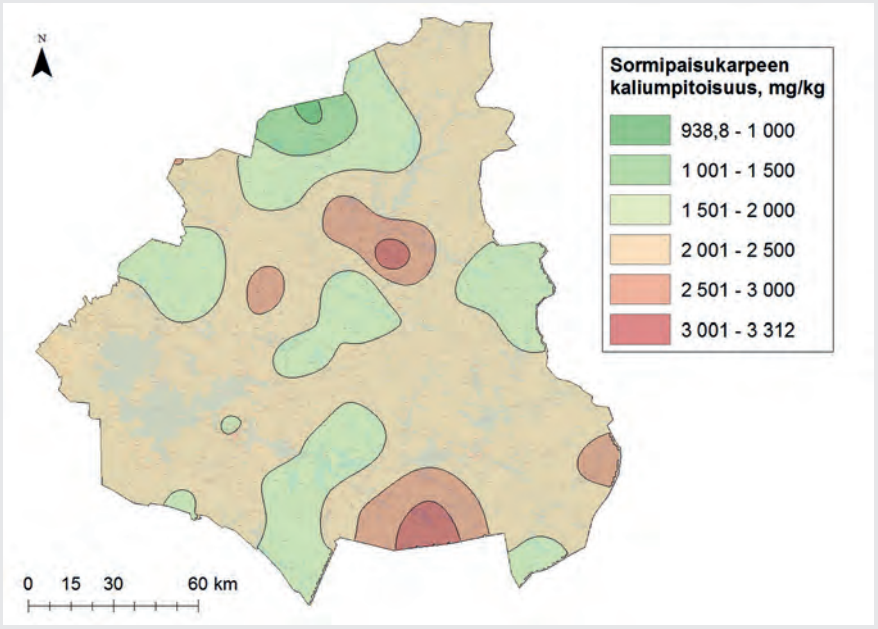
Sormipaisukarpeen rikkipitoisuus oli vuonna 2015 keskimäärin 0,75 mg/g (vaihteluväli 0,37–0,94 mg/g). Tulosten perusteella rikkilaskeuman kuormitus on vähentynyt Kainuun alueella 1980-luvulta lähtien (taulukko 4.1). Korkeimmat rikkipitoisuudet olivat Kajaanin, Sotkamon, erityisesti Vuokatin, sekä Suomussalmen keskusten alueella, johtuen oletettavasti näiden alueiden energiatuotannon ja teollisuuden päästöistä. Selvästi muita alhaisempi rikkipitoisuus (0,37 mg/g) oli Suomussalmella Näljängän kylän eteläpuolella (koeala numero 25).

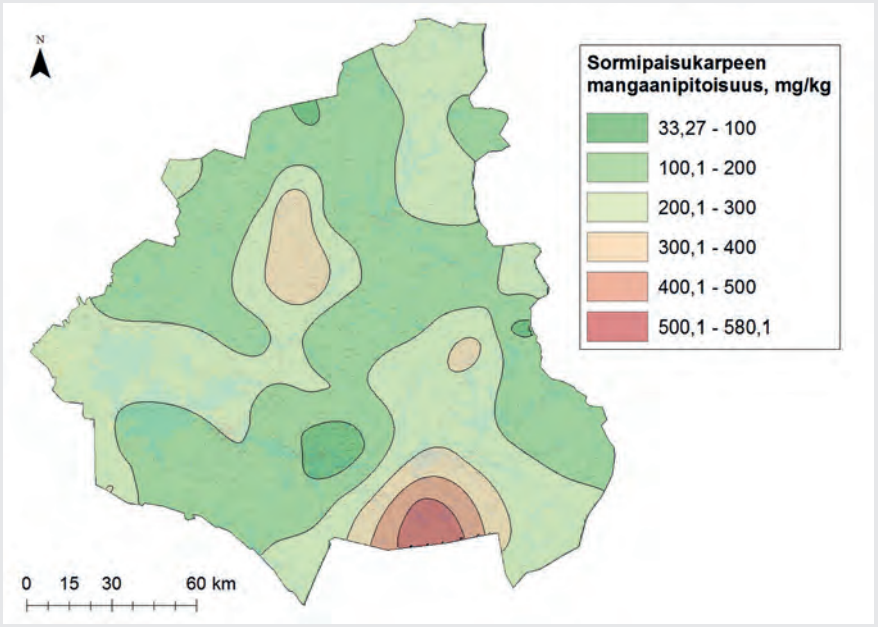
Epifyyttijäkälien typpipitoisuus (7,32 mg/g) oli keskimäärin samalla tasolla kuin edellisellä selvityskerralla vuonna 2000 (7,70 mg/g), mutta alueellinen hajonta (5,62–8,88) oli pienentynyt ja suurimmat pitoisuudet ovat selvästi alentuneet edelliskerrasta (14,9 mg/g). Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kajaanin ympäristössä (8,86 mg/g), Suomussalmella (8,74 mg/g) ja Puolangalla (8,88 mg/g) . Typpikuormitus on Kainuun alueella yleensä ottaen liki puoliintunut verrattuna 1980-luvun pitoisuuksiin, jolloin lähes koko Kainuun alueella sormipaisukarpeen typpipitoisuus ylitti 10 mg/g.

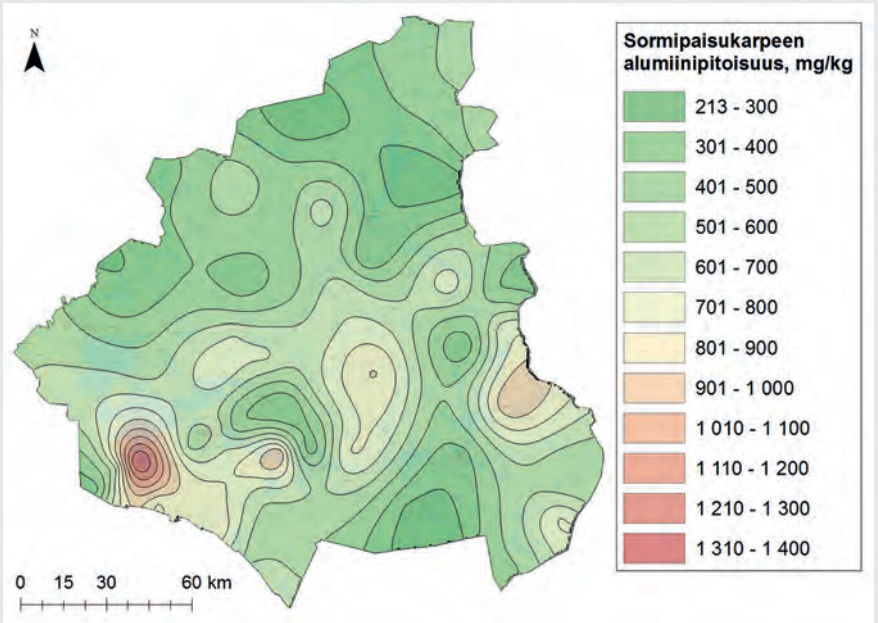
Kuva: Pirjo Ferin/YHA kuvapankki.

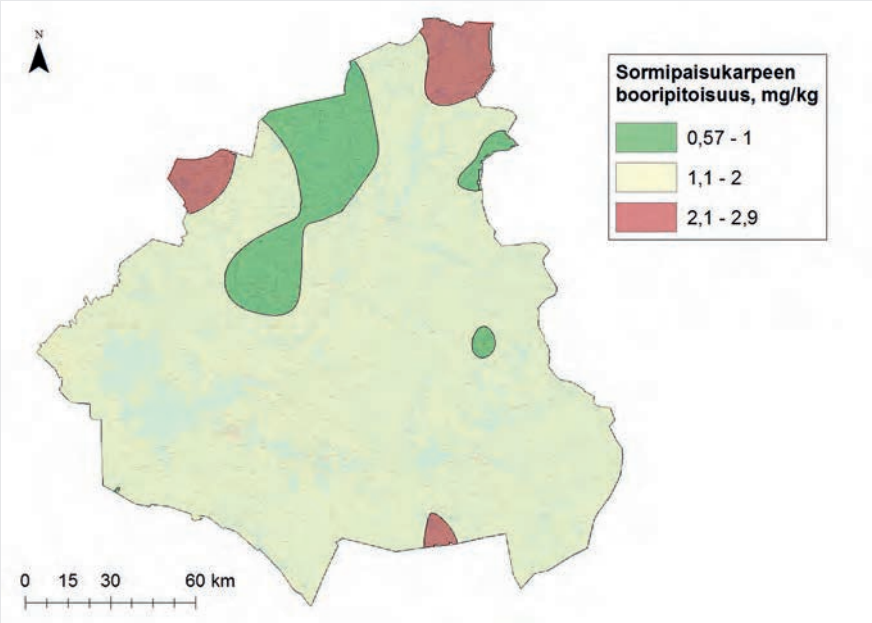
Muiden sormipaisukarpeesta tutkittujen nk. makroravinteiden eli fosforin, kalsiumin, kaliumin, magnesiumin ja natriumin, keskimääräiset pitoisuudet sekä pitoisuuksien vaihtelu Kainuun alueella olivat kaikki kasvaneet vuodesta 2000 (taulukko 4.1). Jäkälien fosfori- ja kalium- ja mangaanipitoisuudet olivat muutoin melko tasaisia koko Kainuun alueella paria poikkeusta lukuun ottamatta. Muuta aluetta selvästi korkeampia fosfori- ja kaliumpitoisuuksia löytyi Suomussalmen keskustan alueelta (P 1,03 mg/g ja K 3,29 mg/) sekä Kaakkois-Sotkamosta näytealalta 11 (P 0,98 mg/g ja K 3,10 mg/g). Sotkamon kaakkoisosassa oli koholla myös jäkälien mangaanipitoisuus (541 µg/g). Sormipaisukarpeen kohonneita kalsiumpitoisuuksia esiintyi poikki Kainuun lounais-koillis -suunnassa. Natriumin pitoisuuksien alueellinen vaihtelu oli sen sijaan vähentynyt.

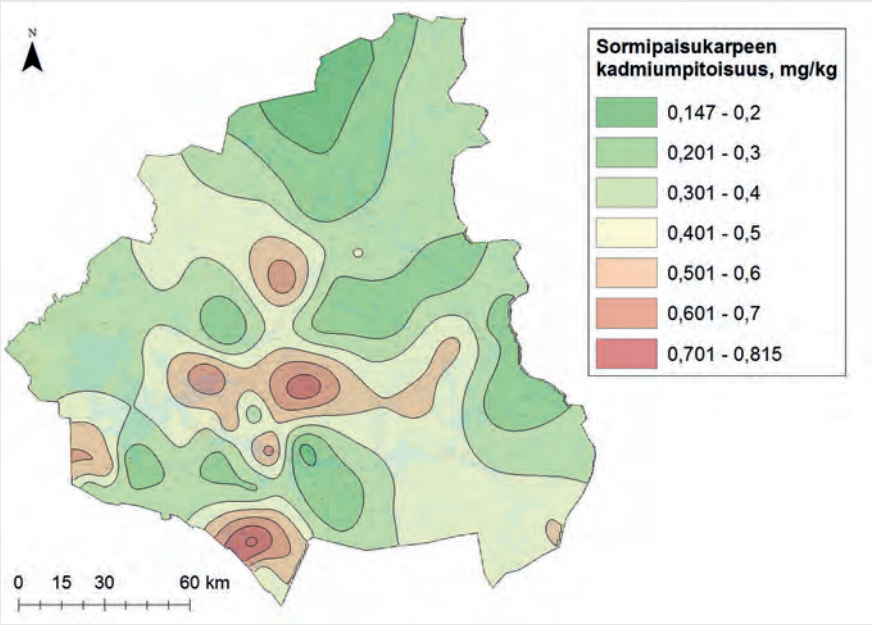
Alumiinikuormitus on Kainuun alueella vähentynyt ja se on pääosin tasaisesti jakaantunut. Eniten alumiinia löytyi Kajaanin Vuottolahdessa. Boorilaskeuma on myös vähentynyt ja se on jakaantunut tasaisesti koko Kainuun alueella.

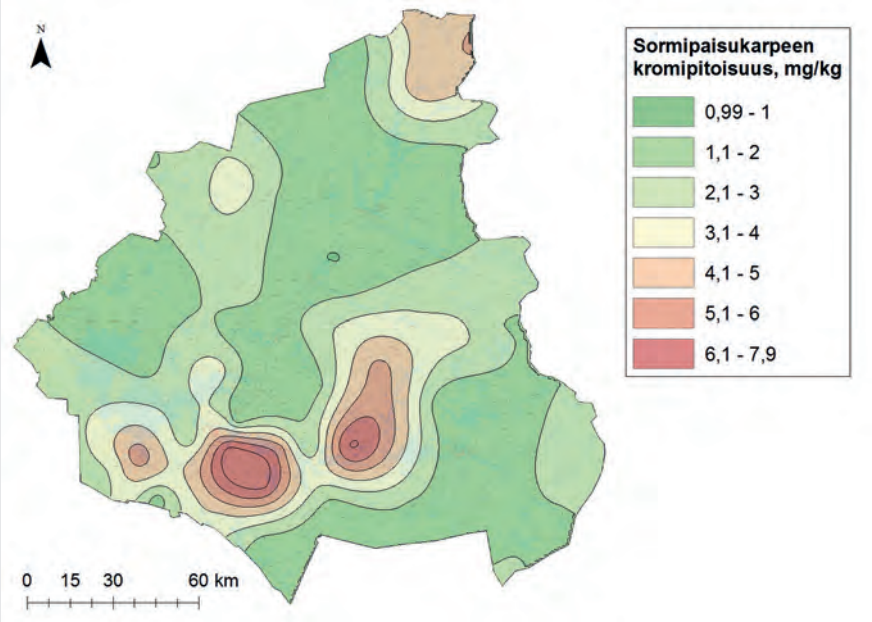












Raskasmetalleista löydettiin kadmiumia Sotkamon Kalmomäeltä (koeala 3) sekä Paltamon taajaman ja Sotkamon Korkeankylän alueilta. Kromia, kuparia, rautaa analysoitiin Talvivaaran ja Otanmäen kaivosalueiden pohjoispuolen näytteistä, kromia myös Sotkamon Soidinvaaran, sekä kuparia ja rautaa Kuhmon Kivijärven jäkälistä Hyrynsalmen rajalla. Korkeimmat nikkelipitoisuudet keskittyvät Talvivaaran kaivoksen ympärille. Sinkkiä mitattiin huomattavasti muita koealaoja enemmän Sotkamossa Ison Tipasjärven itäpuolen näytteistä (koeala 11), samoin vanadiinia ja titaania Otanmäen alueelta.

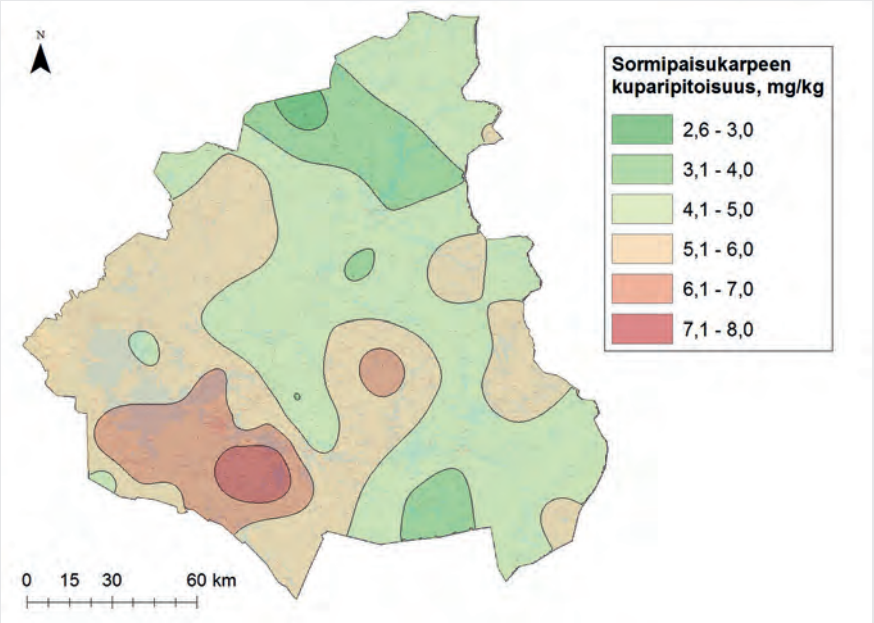
Selvityksessä ilmeni muutamia näytealoja, eräänlaisia keskittymiä, joissa esiintyi korkeampia ainepitoisuuksia useamman alkuaineen osalta. Näitä keskittymiä löytyi Kajaanista Vuottolahdesta (koeala 46), Sotkamosta Kontinjoelta (koeala 1), Tuhkakylästä (koeala 2), Kalmomäestä (koeala 3), Vuokatista (koeala 6) ja Iso Tipasjärven itäpuolelta (koeala 11), Puolangan Naulaperän kylän pohjoispuolella (koeala 38) sekä Suomussalmen keskustaajaman läheisyydestä (koeala 27) ja Perangan kylästä (koeala 33).

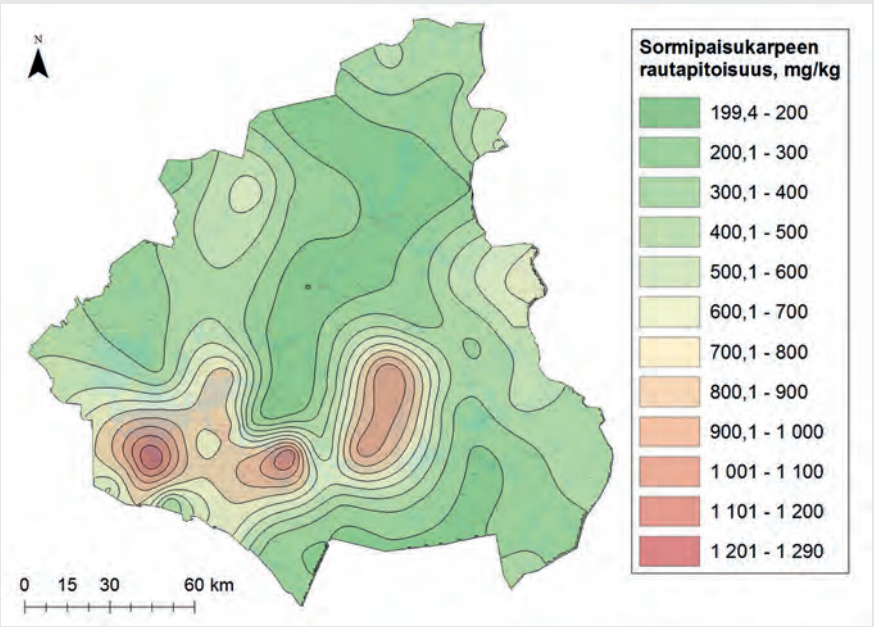
Vuottolahden pisteen sormipaisukarpeesta löytyi Kainuun suurimmat pitoisuudet alumiinia (1390 µg/g), rautaa (1290 µg/g), natriumia (186 µg/g), magnesiumia (0,75 mg/g), titaania (107 µg/g) ja vanadiinia (8,28 µg/g). Lisäksi alueella oli korkeita pitoisuuksia rikkiä, kuparia ja nikkeliä. Nämä päästöt ovat mitä todennäköisimmin vuonna 1985 lopetetun Otanmäen kaivoksen aikaisia, ja ovat edelleen mitattavissa pitkäikäisissä epifyyttijäkälissä.

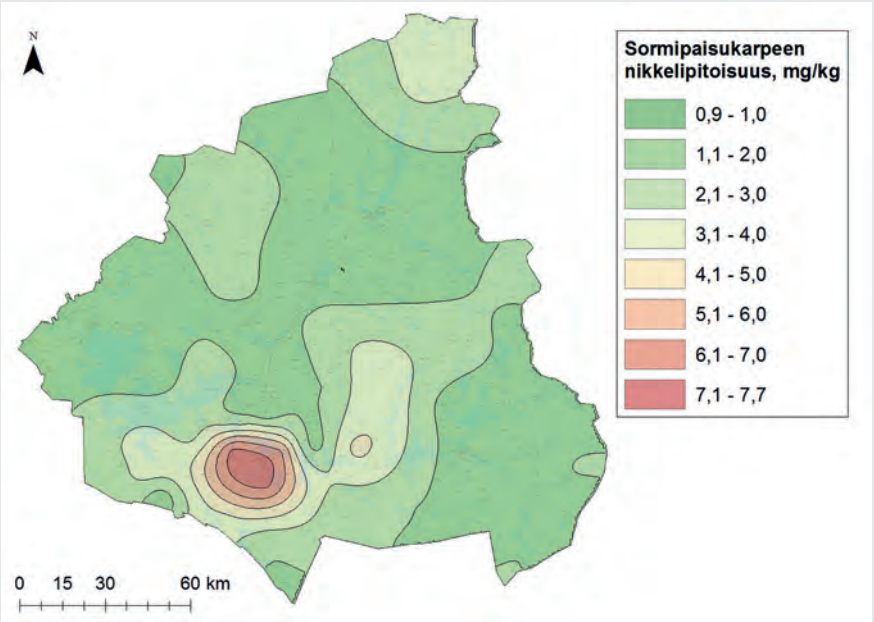
Sotkamossa muita suurempia metallipitoisuuksia analysoitiin näytealoilta, jotka ympäröivät Talvivaaran kaivosta. Kajaanin rajalla, 6-tien läheisyydessä sijaitsevalla Kontinjoen koealan jäkälistä löytyi Kainuun suurimmat pitoisuudet kromia (7,16 µg/g) ja nikkeliä (7,06 µg/g), Kalmonmäeltä kalsiumia (14,4 mg/g) ja kadmiumia (0,81 µg/g), sekä Tuhkakylältä kuparia (7,93 µg/g). Tuhkakylän alalla oli lisäksi korkeita pitoisuuksia kromia ja nikkeliä. Vuokatista mitattiin Kainuu suurin jäkälien rikkipitoisuus (0,94 mg/g), lisäksi alueella oli suuria pitoisuuksia alumiinia, nikkeliä, lyijyä, sinkkiä, titaania ja vanadiinia.

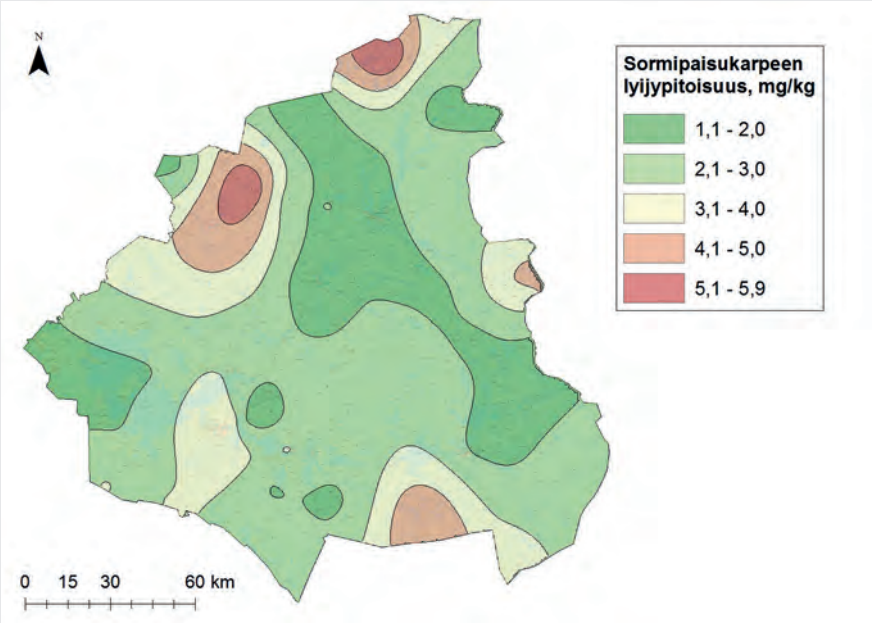
Sotkamon ja Kuhmon rajalla sijaitsevan Ison Tipasjärven alueen metallikuormituksen lähteenä on oletettavasti Kuolan alue, joka päästöt kuormittivat aiempina vuosikymmeninä laajemminkin Kainuun itäosaa. Vuonna 2015 tämän alueen epifyyttijäkälistä analysoitiin Kainuun suurimmat pitoisuudet mangaania (541 µg/g) ja sinkkiä (122 µg/g), lisäksi alueelta löytyi kohonneita pitoisuuksia fosforia, kaliumia, natriumia sekä rikkiä.

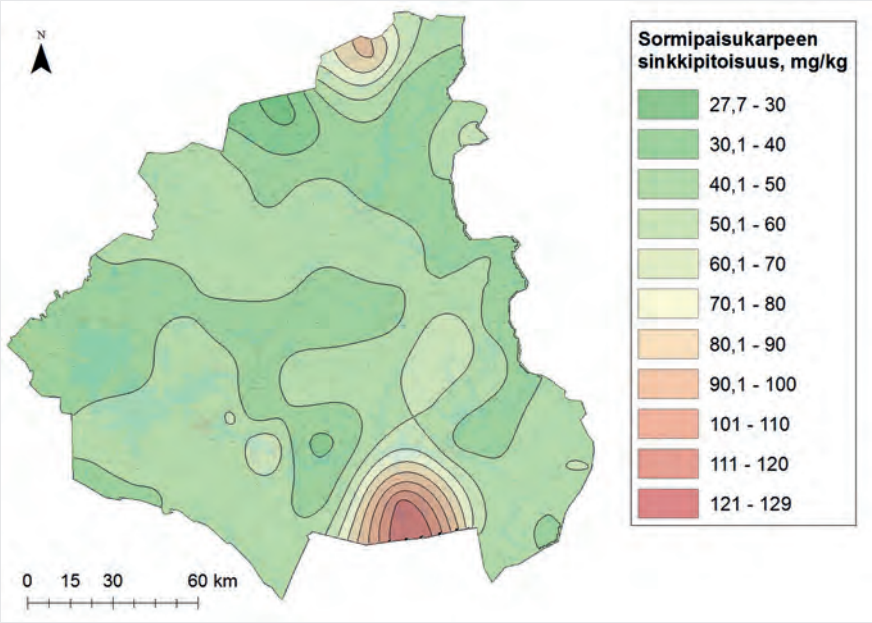
Suomussalmen keskustaajaman alueella oli Kainuun suurimmat sormipaisukarpeen fosfori- (1,03 mg/g) ja kaliumpitoisuudet (3,29 mg/g). Lisäksi alueen jäkälissä oli koholla rikki- ja natriumpitoisuudet. Kainuun korkein lyijypitoisuus (5,75 µg/g) mitattiin Suomussalmen Perangan kylän näytealan jäkälistä, joissa myös sinkkipitoisuus oli korkea. Perangan kuormituksen voidaan olettaa olevan niin ikään Kuolan alueelta lähtöisin. Puolangan Naulaperän epifyyttijäkälistä löytyi Kainuun suurin typpipitoisuus (8,88 mg/g) ja toiseksi suurin lyijypitoisuus (5,74 µg/g).

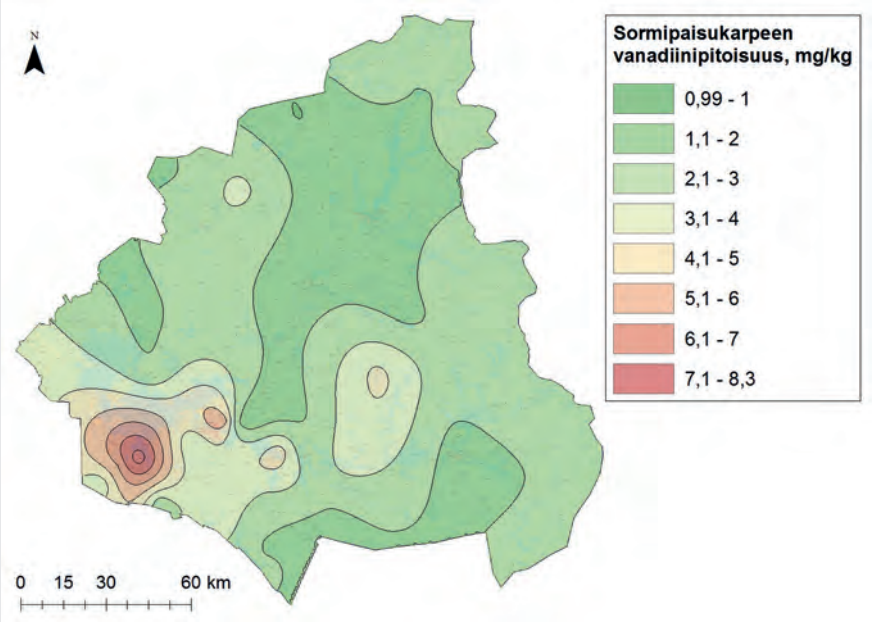












Suomussalmen Näljängän kylän eteläpuolella oleva näyteala (numero 25) osoittautui puolestaan Kainuun puhtaimmaksi alueeksi liki kaikkien tutkittujen alkuaineiden osalta. Ainoastaan typpi-, nikkeli- ja titaanipitoisuuksissa löytyi alhaisempia pitoisuuksia muilta koealueilta. Näljängän sormipaisukarvenäytteestä analysoitiin muun muassa selvästi muita alueita alhaisempia pitoisuuksia rikkiä (0,37 mg/g), fosforia (0,25 mg/g), kalsiumia (1,79 mg/g) ja kaliumia (0,99 mg/g). Kyseistä aluetta voikin pitää ilmanlaadun ja ympäristökuormituksen suhteen puhtaana taustaalueena, mutta toisaalta myös ravinteiden suhteen niukkana.

Johtopäätökset

Vuoden 2015 tuloksia tarkastellessa voidaan havaita Kainuun alueen rikkilaskeuman vähentyneen 1980-luvulta lähtien. Typpipitoisuus on Kainuun alueella samalla tasolla kuin vuonna 2000, mutta sen alueellinen hajonta on pienentynyt ja suurimmat pitoisuudet alentuneet. Muiden ravinteiden keskimääräiset pitoisuudet sekä pitoisuuksien vaihtelu olivat kasvaneet vuodesta 2000.

Metallikuormituksen osalta erityisesti kaivosteollisuuden vaikutus oli havaittavissa. Korkeita metallipitoisuuksia, esimerkiksi kadmium, kromi, kupari, rauta, sinkki ja nikkeli, mitattiin koealoilta, jotka olivat toimivien metallimalmikaivosten läheisyydessä. Lisäksi Otanmäen suljetun kaivoksen kuormitus on vieläkin havaittavissa alueen pitkäikäisissä epifyyttijäkälissä esimerkiksi kohonneina vanadiini- ja titaanipitoisuuksina. Kuolan alueen teollisuuden päästöt voivat olla yksi mahdollinen selitys kohonneille pitoisuuksille alueilla, joiden läheisyydessä ei ollut mitään selkeää päästölähdettä, kuten esimerkiksi Sotkamon Ison Tipasjärven alue ja Suomussalmen Perangan alue. Paikallinen teollisuus ja liikenne ovat todennäköisesti nostaneet alkuaineiden pitoisuuksia epifyyttijäkälissä asutuskeskusten läheisyydessä.

Lähes kaikkien tutkittujen alkuaineiden osalta puhtaimmaksi alueeksi osoittautui Suomussalmen Näljängän kylän koeala. Aluetta voidaan pitää ilmanlaadun ja ympäristökuormituksen suhteen puhtaana tausta-alueena, mutta myös sijainnilleen tyypillisesti ravinteiden suhteen niukkana. Toisaalta kappaleen 3. Havupuiden kunto ja neulasten kemiallinen analyysi -tuloksissa alueen koealoilta paljastui kohonneita typpi-, kadmium-, kupari- ja magnesiumpitoisuuksia. Neulasanalyyseissä paljastuvat muutaman viimeisen vuoden sisällä aiheutuneet kuormitukset, kun epifyyttijäkälien tuloksissa on nähtävissä pidemmän aikavälin epäpuhtauskertymät.

Kirjallisuus

Kemppainen S. 2000. Havupuiden kunto ja neulasten kemiallinen analyysi. Julkaisussa: Kemppainen S. & Markkanen S.-L. (toim.) Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Suomen ympäristö 393. ss. 43-57.

Kemppainen S. & Markkanen S.-L. 2000. Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Suomen ympäristö 393, 137 s.

Kubin, E. 1993. Sormipaisukarvejäkälän kemiallinen koostumus laskeuman kuvaajana. Julkaisussa: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L.Mikkelä, H. & Nieminen, T. (toim.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki, ss. 153-158.

Mikkola K. 1993. Ilmansaasteet ja lajien yleisyys. Julkaisussa: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L. Mikkelä, H. & Nieminen, T. (toim.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki, ss. 139-142.

Viereisen sivun kuva: Marja-Leena Nenonen/YHA kuvapankki.

5. Raskasmetallien laskeumasta Kainuussa valtakunnallisten sammalkartoitusten perusteella

JUHA PIISPANEN, JARMO POIKOLAINEN, JOUNI KARHU, REIJO SEPPÄNEN† & EERO KUBIN

LUONNONVARAKESKUS (LUKE)

RASKASMETALLEJA TAVATAAN KAIKKIALLA LUONNOSSA, ENNEN KAIKKEA MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ, MUTTA MYÖS VESISTÖISSÄ, ILMASSA JA ELÄVISSÄ ELIÖISSÄ. PÄÄSTÖINÄ NIITÄ LEVIÄÄ YMPÄRISTÖÖN SEKÄ LUONTAISISTA LÄHTEISTÄ ETTÄ IHMISTOIMINNASTA. LUONTAISIA PÄÄSTÖLÄHTEITÄ OVAT MM. TULIVUORET, METSÄPALOT JA MAAPERÄN RAPAUTUMINEN. IHMISTOIMINNAN TÄRKEIMPIÄ PÄÄSTÖLÄHTEITÄ OVAT KAIVOKSET, METALLIEN TUOTANTO, ÖLJYN, HIILEN JA JÄTTEIDEN POLTTO SEKÄ LIIKENNE. RASKASMETALLIEN HAITALLISET VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN RIIPPUVAT MUUN MUASSA NIIDEN MÄÄRÄSTÄ, ESIINTYMISMUODOSTA JA ALTISTUMISAJASTA. RASKASMETALLEISTA EI OLE YMPÄRISTÖLLE PELKÄSTÄÄN HAITTAA, VAAN MONET NIISTÄ, KUTEN KUPARI, SINKKI JA RAUTA, OVAT IHMISILLE JA MUILLE ELIÖILLE VÄLTTÄMÄTTÖMIÄ HIVENAINEITA. TOISET TAAS, KUTEN ELOHOPEA, LYIJY JA KADMIUM, OVAT IHMISILLE TARPEETTOMIA JA JO PIENINÄ MÄÄRINÄ MYRKYLLISIÄ. NIIDEN MYRKYLLISYYTTÄ LISÄÄ RIKASTUMINEN RAVINTOKETJUISSA. POHJOISILLA ALUEILLA RASKASMETALLIPÄÄSTÖJEN HAITTAVAIKUTUKSET OVAT ANKARISTA LUONNONOLOSUHTEISTA JOHTUEN ETELÄISIÄ ALUEITA SUUREMPIA.

Raskasmetalleja tulee ilman kautta maahan sekä märkälaskeumana sateen mukana että kuivalaskeumana pölyssä ja kaasumaisessa muodossa. Raskasmetallien pitoisuus voidaan mitata suoraan märkälaskeumasta, mutta niiden pitoisuus kuivalaskeumassa täytyy arvioida mallien avulla. Suorat mittaukset ovat kalliita ja mittausasemia on harvassa. Sen vuoksi on pyritty löytämään halvempia keinoja laskeuman seurantaan. Pitoisuuksien mittaus sammalista on osoittautunut hyväksi seurantatavaksi (Rühling & Tyler 1968, Zechmeister ym. 2003). Sammalet ottavat ravinteensa pääosin sadevedestä ja kuivalaskeumasta. Samalla niihin kertyy ilman epäpuhtauksia. Metalleja ei kerry sammaliin kuitenkaan täysin samassa suhteessa, kuin mitä niitä on laskeumassa, sillä ottotehokkuus riippuu mm. sammalten rakenteesta ja laskeuman laadusta (Zechmeister ym. 2003). Sammalten pitoisuuksien perusteella saadaan näin ollen suhteellinen kuva raskasmetallien laskeumasta.

Kainuun maakunnassa tehtiin vuonna 2000 kattava selvitys ilman epäpuhtauksien laskeumasta, sen alkuperästä ja vaikutuksista Kainuussa (Kemppainen & Markkanen 2000). Tähän selvitykseen kuului yhtenä osana Kainuun alueelle tulevan raskasmetallilaskeuman tarkastelu vuoden 1995 valtakunnallisen sammalkartoituksen perusteella (Poikolainen & Mikkola 2000). Sammalten raskasmetallipitoisuudet olivat kartoituksen perusteella yleensä Kainuussa alhaisia ja vain paikallisesti keskimääräistä korkeampia. Edellä mainitussa selvityksessä tutkittiin myös puilla kasvavan sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) raskasmetallipitoisuuksia (Kemppainen 2000) kuudella itärajalta länteen suuntautuvalla linjalla. Näissä tutkimuksissa todettiin Otanmäen entisen kaivoksen tienoilla kohtalaisen korkeita rauta-, vanadiini- ja titaanipitoisuuksia. Yleensä raskasmetallipitoisuudet sormipaisukarpeessa olivat tutkimuslinjoilla sammalten tavoin alhaisia ja vain paikoin, mm. Kajaanissa ja Kuhmossa, pitoisuudet nousivat keskimääräistä korkeammiksi. Kostamuksen rautapellettitehtaan päästöjä pidettiin tuolloin uhkana Kainuun luonnolle. Sammalten ja sormipaisukarpeen pitoisuuksien (Poikolainen & Mikkola 2000, Kemppainen 2000) perusteella Suomen puolelle ei Kostamuksesta kuitenkaan levinnyt merkittäviä määriä rautaa eikä muitakaan raskasmetalleja.

Vuosisadan vaihteen jälkeen Kainuun maakunnassa on tapahtunut muutoksia, joilla on ollut vaikutusta myös ilman epäpuhtauksien laskeumaan. Väestön määrä on vähentynyt voimakkaasti viimeisen 20 vuoden kuluessa. Maakunnan väkiluku on nykyään vain noin 78 500 asukasta. Väestön vähentyessä asutus ja teollinen toiminta ovat entistä enemmän keskittyneet Kajaanin kaupunkiin ja kuntien keskustaajamiin. Samaan aikaan energian tuottamisessa, kaivostoiminnassa ja teollisuuden rakenteissa on tapahtunut muutoksia, joilla on ollut sekä myönteisiä että haitallisia vaikutuksia raskasmetallien laskeumaan Kainuussa. Metsäntutkimuslaitos (nykyisin osa Luonnonvarakeskusta) on kartoittanut raskasmetallilaskeumaa Suomessa sammalten avulla viiden vuoden välein jo vuodesta 1985 lähtien. Viimeisin kartoitus tehtiin vuonna 2010. Valtakunnallisten kartoitusten tavoitteena on saada yleiskuva raskasmetallien laskeumasta Suomessa. Pitoisuuskarttoihin ei ole haluttu näkyviin pieniä päästölähteitä, jotta yleiskuva olisi mahdollisimman selkeä. Koealaverkostolla koealat sijaitsevat määrävälein, ja verkosto on suhteellisen harva. Lisäksi sammalnäytteiden keruussa on pyritty välttämään keruuta aivan päästölähteiden välittömästä läheisyydestä. Vuoden 2010 kartoituksessa näistä järjestelyistä kuitenkin poikettiin Kainuun maakunnan osalta siten, että Talvivaaran kaivoksen

ympäristöstä kerättiin muutamista paikoista lisänäytteitä näytealaverkoston harvuuden vuoksi, jotta saatiin tietoa kaivoksen vaikutuksista raskasmetallilaskeumaan.

Tässä artikkelissa on tarkasteltu näiden kartoitusten perusteella raskasmetallilaskeumassa Kainuussa tapahtuneita muutoksia koko seurantajaksolla ja erityisesti vuonna 1998 tehdyn selvityksen (Kemppainen & Markkanen 2000) jälkeen. Vuodesta 1990 lähtien Suomen raskasmetallikartoitukset sammalilla ovat olleet osa lähes koko Euroopan kattavaa seurantaa (Harmens ym. 2008, 2013). Kainuun tulosten vertailu sammalten pitoisuuksiin muualla Suomessa ja Euroopassa antaa hyvän kuvan raskasmetallilaskeuman suuruudesta Kainuussa.

Aineisto ja menetelmät

Suomessa valtakunnallinen raskasmetallikartoitus sammalten pitoisuuksien perusteella tehtiin ensimmäisen kerran vuonna 1985 (Rühling ym. 1987, Kubin & Lippo 1996). Sen jälkeen kartoitus on toistettu viiden vuoden välein vuoteen 2010 saakka. Vuosina 1985, 1990, 1995, 2000 ja 2005 sammalnäytteet kerättiin valtakunnan metsien 8. inventoinnin (VMI 8) pysyvältä koealaverkostolta, jolla koealarypäät sijaitsevat Etelä- ja Keski-Suomessa Kainuu mukaan lukien 16 km:n välein ja yhdellä rypäällä on neljä koealaa 400 metrin välein etelä-pohjoissuunnassa. Sammalnäytteet pyrittiin keräämään aina samoilta koealoilta. Kainuun maakunnassa mainittuina kartoitusvuosina sammalnäytteet kerättiin noin 80 koealalta. Vuonna 2010 näytteet kerättiin Lappia lukuun ottamatta valtakunnan metsien 11. inventoinnin koealoilta (VMI 11) puustomittausten yhteydessä. Sammalten keruupaikat olivat uusia ja koealojen määrä koko Suomessa väheni lähes puoleen aikaisemmasta. Muutoksella ei näyttänyt kuitenkaan olevan merkittävää vaikutusta tuloksiin, sillä suurimpien päästölähteiden vaikutukset sammalten pitoisuuksiin näkyivät yhtä hyvin kuin aikaisemmissa kartoituksissa. Koealaverkosto oli vuonna 2010 Kainuussa kuitenkin niin harva mm. vesistöjen vuoksi, että Talvivaaran kaivoksen läheisyyteen Sotkamossa ei sattunut yhtään koealaa. Kaivosalueen ympäriltä kerättiin sammalnäytteitä muutamilta lisäkoealoilta niin, että kartoituksessa saatiin tietoa myös kaivoksen vaikutuksesta raskasmetallilaskeumaan Kainuussa.

Näytteeksi on kerätty joko kerrossammalta (*Hylocomium splendens*) tai seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Sammalet on esikäsitelty Paljakan ympäristönäytepankissa Puolangalla. Kuivatuista näytteistä on erotettu analyysejä varten kolmen keräystä edeltäneen vuoden vuosikasvaimet. Näin ollen esimerkiksi vuonna 2010 kerättyihin sammaliin on kerääntynyt raskasmetalleja vuosina 2007, 2008 ja 2009 ja vielä vuonna 2010 keräysaikaan saakka. Sammalista on määritetty vuodesta 1985 lähtien kadmium (Cd), kromi (Cr), kupari (Cu), rauta (Fe), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), vanadiini (V) ja sinkki (Zn) sekä vuodesta 1995 lähtien myös arseeni (As) ja elohopea (Hg). Arseeni on puolimetalli, mutta se on otettu kartoituksiin mukaan myrkyllisyytensä vuoksi. Suomen kartoitukset ovat kuuluneet osana lähes koko Euroopan kattaviin sammalkartoituksiin (Harmens ym. 2008, 2013). Ruotsissa kartoitukset alkoivat jo 1970-luvun lopulla (Rühling & Skärby 1979) ja muualla Euroopassa 1990-luvulla (Rühling 1994, Harmens 2008). Laskeumakartoissa on eri raskasmetallien osalta käytetty samaa väriasteikkoa kuin eurooppalaisessa kartoituksessa (Harmens ym. 2008, 2013). Kartat sammalten raskasmetallipitoisuuksista antavat suhteellisen kuvan eri raskasmetallien laskeumasta Suomessa. Punainen väri ei vielä välttämättä tarkoita sitä, että laskeumasta olisi merkittävää terveydellistä haittaa ihmisille.

Taulukko 5.1. Sammalista mitattujen raskasmetallien keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg) vuosina 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 ja 2010 Kainuussa ja koko Suomessa.

Vuosi	Alue	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	V	Zn
1985	Kainuu	-	0.37	1.23	4.40	288	-	1.70	11.97	4.67	33.7
	Suomi	-	0.37	1.49	5.99	379	-	2.24	15.50	4.76	38.1
1990	Kainuu	-	0.25	1.35	4.02	286	-	1.55	7.36	2.74	31.2
	Suomi	-	0.28	1.59	5.98	405	-	1.97	10.20	3.48	36.5
1995	Kainuu	0.18	0.16	1.17	3.64	241	0.040	1.35	4.64	1.78	34.6
	Suomi	0.26	0.18	1.54	5.28	331	0.053	1.94	6.22	2.39	38.4
2000	Kainuu	0.18	0.11	1.11	2.69	164	0.040	1.18	2.47	0.91	23.2
	Suomi	0.19	0.12	1.25	3.96	259	0.048	1.83	3.37	1.45	28.8
2005	Kainuu	0.12	0.12	0.78	3.17	145	0.036	1.20	2.29	0.95	28.5
	Suomi	0.12	0.15	1.13	4.11	236	0.044	1.87	2.96	1.43	32.9
2010	Kainuu	0.09	0.12	0.92	4.12	232	0.039	3.00	1.77	1.11	30.0
	Suomi	0.11	0.12	0.97	5.03	243	0.042	2.51	2.05	1.09	31.0

Tulokset

Yleisenä huomiona tuloksista todettakoon, että kaikkien tutkittujen raskasmetallien keskimääräiset pitoisuudet sammalissa laskivat enemmän tai vähemmän koko Suomessa ja Kainuun maakunnassa vuodesta 1985 vuoteen 2000 (Taulukko 5.1). Sen jälkeen keskimääräisissä pitoisuuksissa ei nikkeliä lukuun ottamatta ole tapahtunut suuria muutoksia. Muutokset seurantajaksolla 1985–2010 ovat olleet koko Suomessa ja Kainuussa hyvin samansuuntaisia, vaikka Kainuussa pitoisuudet ovat olleet alempia kuin keskimäärin koko Suomessa. Seuraavassa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin eri raskasmetallien pitoisuuksia sammalissa Kainuussa painottuen vuoden 2010 kartoitukseen.

Nikkeli

Nikkeliä esiintyy yleisimmin sulfidimalmeissa. Sitä on myös rikastuneena raakaöljyssä. Nikkeliä pääsee ilmaan runsaimmin kaivos- ja metalliteollisuudesta sekä hiiltä ja öljyä käyttävistä voimalaitoksista. Suomessa nikkelipäästöt ilmaan ovat vähentyneet viimeisten 25 vuoden aikana vajaasta 63 tonnista alle 20 tonniin vuodessa (www.ymparisto.fi). Kainuussa Sotkamon ja Kajaanin rajamailla sijaitseva Talvivaaran kaivos on merkittävä nikkelin päästölähde. Se aloitti toimintansa vuonna 2008 ja on nykyisin suurimpia nikkelikaivoksia Euroopassa. Siellä käytetään malmin rikastamiseen uutta bioliuotustekniikkaa. Kaivosalueelta nikkeliä pääsee ilmaan pääasiassa malmin louhinnassa, murskauksessa ja sivukiven kasauksessa syntyvän pölyn mukana. Ilmapäästöjä huomattavasti suurempi ongelma kaivoksella on nikkelin pääsy jätevesien mukana vesistöihin. Talvivaaran lisäksi Kainuussa ei ole muita merkittäviä nikkelin päästölähteitä.

Sammalten keskimääräinen nikkelipitoisuus laski vuosien 1985–2005 kuluessa koko maassa 2,24 mg:sta 1,87 mg:aan ja Kainuussa 1,70 mg:sta 1,20 mg:aan kilossa (Taulukko 5.1). Pitoisuudet nousivat kuitenkin vuoden 2010 kartoituksessa edellisestä kartoituksesta selvästi (2,51 mg/kg ja 3,00 mg/kg). Kainuussa nousu johtuu Talvivaaran kaivoksen nikkelipäästöistä. Kaivoksen välittömässä läheisyydessä nikkelipitoisuudet sammalissa nousivat vuonna 2010 yli 15 mg:aan kilogrammassa. Keskimääräistä korkeampia pitoisuuksia todettiin usean kilometrin päässä kaivosalueesta. Vuoden 2010 valtakunnallisen kartoituksen tulokset eivät ole varsinkaan nikkelin osalta vertailukelpoisia aikaisempien kartoitusvuosien tuloksiin siinä mielessä, että vuonna 2010 koealoja oli Kainuussa aikaisempaa vähemmän ja Talvivaaran ympäristöstä otettiin lisänäytteitä. Talvivaaran ympäristöä lukuun ottamatta sammalten nikkelipitoisuudet ovat pysyneet Kainuussa samalla tasolla kuin vuonna 2005 ja ne ovat Euroopan tasolla alhaisia. Venäjältä Kostamuksen pellettitehtaasta pääsee ilmaan jonkin verran nikkeliä, mutta tehtaan nikkelipäästöt eivät näy sammalten pitoisuuksissa enää Kainuun puolella.

Kupari

Kuparia tavataan luonnossa vapaassa muodossa ja erilaisissa mineraaleissa, joista tärkeimmät ovat kuparikiisu, kuparihohde ja malakiitti. Kuparia pääsee ilmaan runsaimmin kaivos- ja metalliteollisuudesta sekä hiiltä käyttävistä voimalaitoksista. Ilmoitusvelvollisten päästölähteiden kuparipäästöt ilmaan laskivat Suomessa 1990-luvulla lähes 160 tonnista noin 80 tonniin vuodessa. Mukaan on laskettu myös liikenteestä aiheutuvat kuparipäästöt. Sen jälkeen päästöt ovat laskeneet vähitellen noin 60 tonniin (www.ymparisto.fi). Talvivaaran kaivoksella louhittavassa mustaliuskeessa on huomattavia määriä myös kuparia, jota erotetaan nikkelin tavoin malmin kasaliuotuksessa. Kuparia leviää kaivosalueelta ilmaan pääasiassa pölypäästöjen mukana. Muita merkittäviä kuparin päästölähteitä Kainuussa ei ole.

Seurantajaksolla 1985–2010 muutokset sammalten keskimääräisissä pitoisuuksissa ovat olleet Kainuussa samansuuntaisia kuin keskimäärin koko maassa. Sammalten keskimääräinen kuparipitoisuus laski vuodesta 1985 vuoteen 2000 koko Suomessa 5.99 mg:sta 3.96 mg:aan ja Kainuussa 4.40 mg:sta 2.69 mg:aan (Taulukko 1). Sen jälkeen sekä koko Suomessa että Kainuussa pitoisuudet ovat jonkin verran nousseet. Kainuussa nousu johtuu Talvivaaran kaivoksen pölypäästöistä. Kaivoksen lähialueella sammalten kuparipitoisuudet nousivat noin 10 mg:aan kilogrammassa sammalta. Muualla Kainuussa sammalten pitoisuudet ovat alhaisia ja vastaavat suhteellisen puhtaan taustaalueen pitoisuuksia.

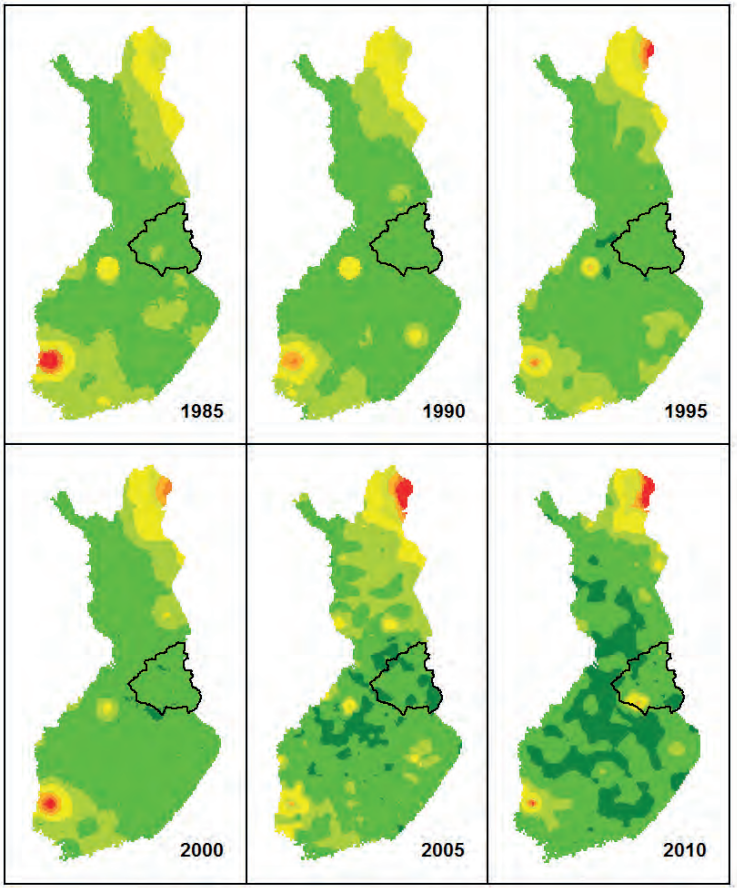
Lyijy

Lyijyä tavataan yleisesti monissa mineraaleissa, mm. lyijyhohteessa. Lyijyllisen bensiinin käyttö autoissa oli vielä 25-30 vuotta sitten vuotta sitten Suomessa suurin lyijyn päästölähde. Liikenteen lyijypäästöt vähentyivät kuitenkin huomattavasti, kun Suomessa ja monissa muissa Euroopan maissa lopetettiin lyijyllisen bensiinin myynti 1990-luvun alkupuolella. Muita päästölähteitä ovat mm. rauta- ja terästeollisuus, lasiteollisuus ja energiantuotanto. Kun Suomen lyijypäästöt ilmaan olivat vielä 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa selvästi yli 300 tonnia vuodessa, niin nykyisin ne ovat vain runsaat 20 tonnia vuodessa (www.ymparisto.fi). Kainuussa ei ole ollut seurantajaksolla 1985–2010 muita merkittäviä lyijyn päästölähteitä kuin liikenne.

Lyijyttömään bensiiniin siirtyminen näkyy voimakkaana sammalten lyijypitoisuuden alenemisena koko Suomessa. Kun keskimääräinen lyijypitoisuus oli vuonna 1985 koko Suomessa yli 15 mg/kg ja Kainuussa noin 12 mg/kg, niin vuonna 2010 vastaavat pitoisuudet olivat ainoastaan 2.05 mg/kg ja 1.77 mg/kg. Pitoisuudet ovat samaa tasoa kuin muualla Fennoskandian pohjoisosissa ja alimpia koko Euroopassa.

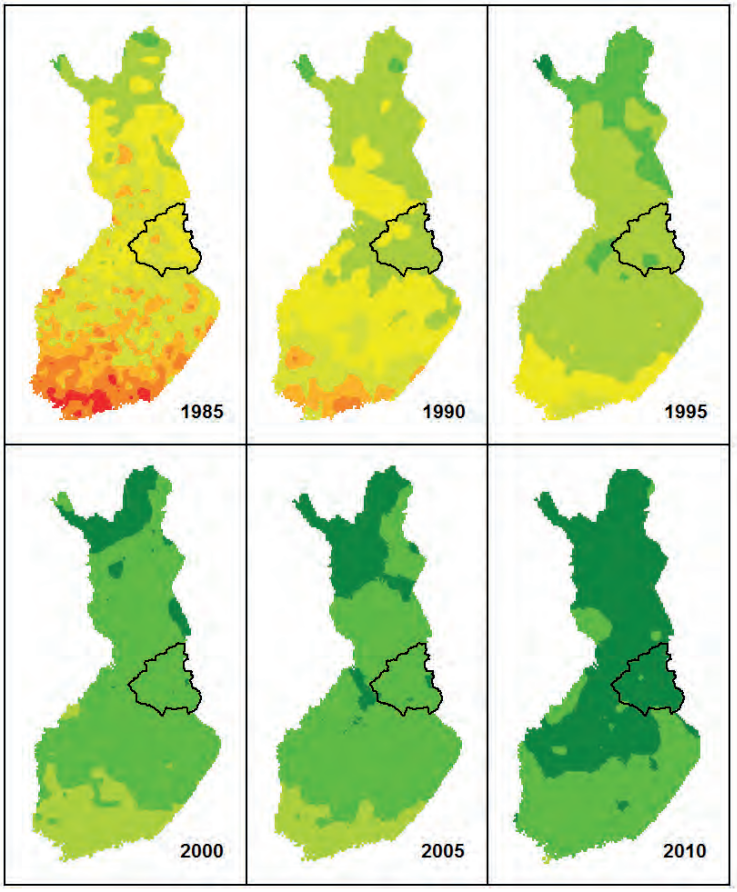
Nikkeli (Ni)
mg/kg

- < 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 6
- 6 - 9
- 9 - 12
- 12 - 15
- > 15



Lyijy (Pb)
mg/kg

- < 2
- 2 - 4
- 4 - 8
- 8 - 12
- 12 - 16
- 16 - 20
- 20 - 30
- > 30



Kadmium

Kadmium on sinkkiryhmään kuuluva metalli, jota on kallio- ja maaperässä suhteellisen vähäisiä määriä. Teollisuuden raaka-aineeksi sitä saadaan lähinnä sinkkimalmin jalostuksen sivutuotteena. Pääosa kadmiumpäästöistä on ihmisperäisiä. Suomessa suurimpia päästölähteitä ovat sinkkimalmia jalostavat laitokset, terästeollisuus sekä kivihiiltä käyttävät energiantuotantolaitokset. Kadmiumin käyttöä teollisissa tuotteissa on pyritty viime vuosikymmeninä vähentämään mm. EU:n direktiiveillä. Suomessa ilmoitusvelvollisten päästölähteiden kadmiumpäästöt ilmaan vähenivät 1990-luvulla 6,3 tonnista 1,3 tonniin. Sen jälkeen päästömäärissä ei ole tapahtunut suuria muutoksia. Vuonna 2010 päästöt olivat 1,4 tonnia (www.ymparisto.fi).

Päästöissä tapahtunut muutos näkyy hyvin myös sammalten kadmiumpitoisuuksissa. Pitoisuudet olivat vuonna 1985 sekä Kainuussa että koko Suomessa keskimäärin 0.37 mg/kg, mistä ne laskivat tasaisesti vuoteen 2000 mennessä 0.12 mg:n tasolle. Sen jälkeen keskimääräisissä pitoisuuksissa ei ole koko Suomessa eikä Kainuussa tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kainuussa ei ole mitään merkittäviä kadmiumin päästölähteitä. Talvivaaran kaivoksella louhittavassa mustaliuskeessa on monien muiden raskasmetallien tavoin myös kadmiumia, joten sitä pääsee jonkin verran pölypäästöissä myös ympäristöön. Sammalten kadmiumpitoisuuksiin näillä päästöillä ei kuitenkaan näytä olevan merkittävää vaikutusta.

Elohopea

Elohopea esiintyy luonnossa metallisena, epäorgaanisina suoloina ja erilaisina yhdisteinä. Sitä on maa- ja kalliopeerässä yleensä vain vähäisiä määriä. Ympäristön suhteen se on ongelmallinen metalli, koska se muodostaa helposti erilaisia yhdisteitä. Huoneenlämmössä nestemäisenä esiintyvä elohopea höyrystyy helposti ja leviää ympäristöön. Elohopeaa pääsee ilmaan enemmän luonnollisista (mm. tulivuoret, metsäpalot, maaperä) kuin ihmisperäisistä päästölähteistä (mm. sähkön ja lämmön tuotanto, teollisuuden prosessit). Se esiintyy ilmakehässä pääasiassa kaasumaisessa muodossa, joten se saattaa kulkeutua päästölähteestä jopa tuhansien kilometrien päähän. Osa ilmakehässä olevasta elohopeasta laskeutuu maahan, mistä se lämpötilan noustessa voi uudelleen haihtua ilmaan. Elohopean päästöt ilmaan Suomessa ovat vaihdelleet viimeisten 15 vuoden kuluessa 0,5 tonnista 1,1 tonniin vuodessa (www.ymparisto.fi). Päästöt vähenivät 1990-luvun alkupuolella jonkin verran, mutta ne ovat pysyneet sen jälkeen pitkään suurin piirtein samalla tasolla. Viime vuosina päästöt ovat hieman taas nousseet ollen vuonna 2010 hieman alle tonnin. Kaukokulkeumalla on huomattava vaikutus elohopean laskeumaan myös Suomessa. Kainuussa elohopeapäästöt suoraan ilmaan ihmistoiminnasta ovat vähäiset. Talvivaaran kaivokselta pääsee elohopeaa kuitenkin jätevesien mukana vesistöihin.

Elohopeapitoisuuksia alettiin mitata sammalista valtakunnallisissa kartoituksissa vuonna 1995. Sammalten keskimääräiset pitoisuudet koko Suomessa ja Kainuun maakunnassa ovat olleet vuosina 1995–2010 alhaisia eikä pitoisuuksissa ole tapahtunut merkittävää alentumista. Elohopean luonteesta johtuen sammalten pitoisuudet eivät todennäköisesti ole kovin hyvä mittari elohopean laskeumasta.

Arseeni

Arseeni on puolimetalli, jota tavataan luonnossa erilaisissa mineraaleissa, joista yleisin on arseenikiisu. Suomessa arseenin suurimpia päästölähteitä ovat erilaiset metallisulatot, muu metalliteollisuus ja fossiilisia polttoaineita käyttävät lämpövoimalaitokset. Kaivostoiminnassa sitä leviää pölypäästöjen mukana kaivosten lähiympäristöön. Nykyään arseenin käyttöä on rajoitettu useimmissa maissa ja Suomessa arseenia sisältävät tuotteet luetaan nykyisin ongelmajätteeksi.

Arseenipäästöt ovat vähentyneet selvästi Suomessa viimeisten kahden vuosikymmenen aikana mm. käyttörajoitusten vuoksi. Kun arseenipäästöjen määräksi arvioitiin vuonna 1980 noin 65 tn ja vuonna 1990 vielä noin 35 tn, niin vuonna 2000 ne olivat enää vajaat 5 tn vuodessa (www.ymparisto.fi). Vuonna 2010 päästöt olivat jo alle 4 tn. Kainuussa ei ole merkittäviä arseenin päästölähteitä.

Valtakunnallisessa kartoituksessa sammalten arseenipitoisuus mitattiin ensimmäisen kerran vuonna 1995. Silloin arseenin keskimääräinen pitoisuus koko Suomessa oli 0,26 mg/kg ja Kainuussa 0.18 mg/kg. Sen jälkeen pitoisuudet ovat alentuneet vähitellen niin, että vuonna 2010 keskimääräinen pitoisuus oli koko Suomessa enää 0,11 mg/kg ja Kainuussa ainoastaan 0.09 mg/kg. Kainuussa pitoisuuksien vaihtelu oli vähäistä ja pitoisuudet olivat alhaisimpia koko Euroopassa ja samalla tasolla kuin muualla Fennoskandian pohjoisosissa.

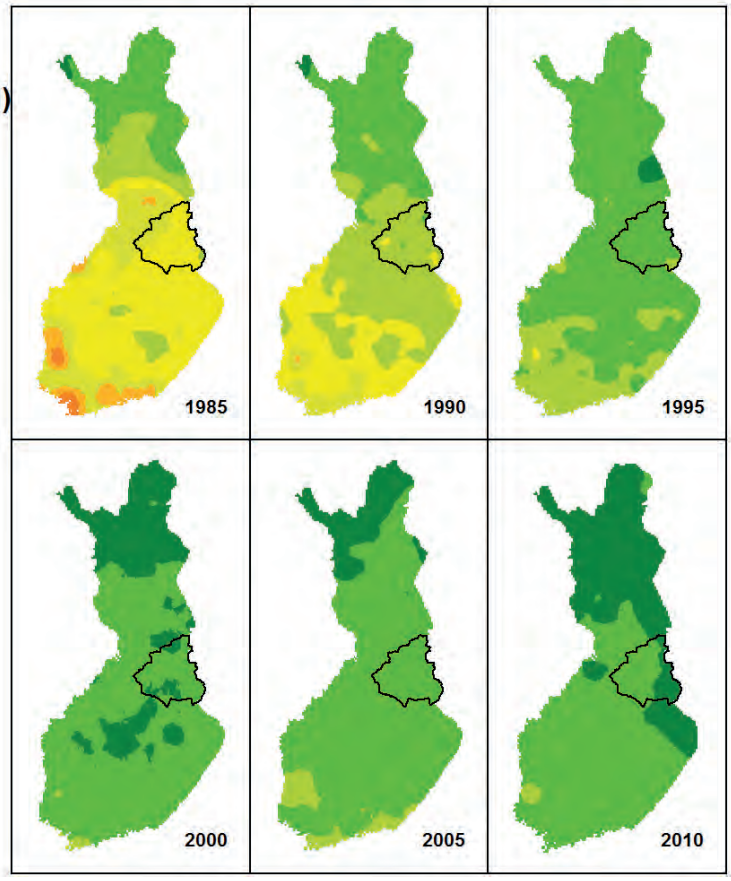
Rauta

Rauta on maankuoren yleisimpiä alkuaineita. Tärkeimmät mineraalit, joissa sitä esiintyy, ovat rikkikiisu, magnetiitti ja hematiitti. Rauta ei ole ympäristön kannalta erityisen vaarallinen raskasmetalli. Raudan pääasiallisimmat päästölähteet Suomessa ovat rauta- ja terästeollisuuden tuotantolaitokset. Rautaa pääsee ilmaan runsaasti myös luonnollisista päästölähteistä kuten maaperästä pölyn mukana. Rautapäästöjä ilmaan ei tilastoida. Kainuussa vuonna 1949 toimintansa aloittanut Otanmäen kaivos oli aikanaan Suomen suurin rautakaivos, joka oli merkittävä raudan ja vanadiinin päästölähde. Kaivos lopetettiin vuonna 1985. Kainuun alueella ei ole nykyisin mitään erityisen merkittävää ihmistoimintaan kuuluvaa raudan päästölähdettä. Talvivaaran kaivoksen eri prosesseissa rautaa leviää pölyn mukana lähiympäristöön. Itärajan takana sijaitsee Kostamuksen kaivos ja rautapellettitehdas, josta pääsee ilmaan lähinnä rautaa, vanadiinia, nikkeliä ja rikkiä.

Sammalten rautapitoisuus oli vuoden 1985 kartoituksessa koko Suomessa

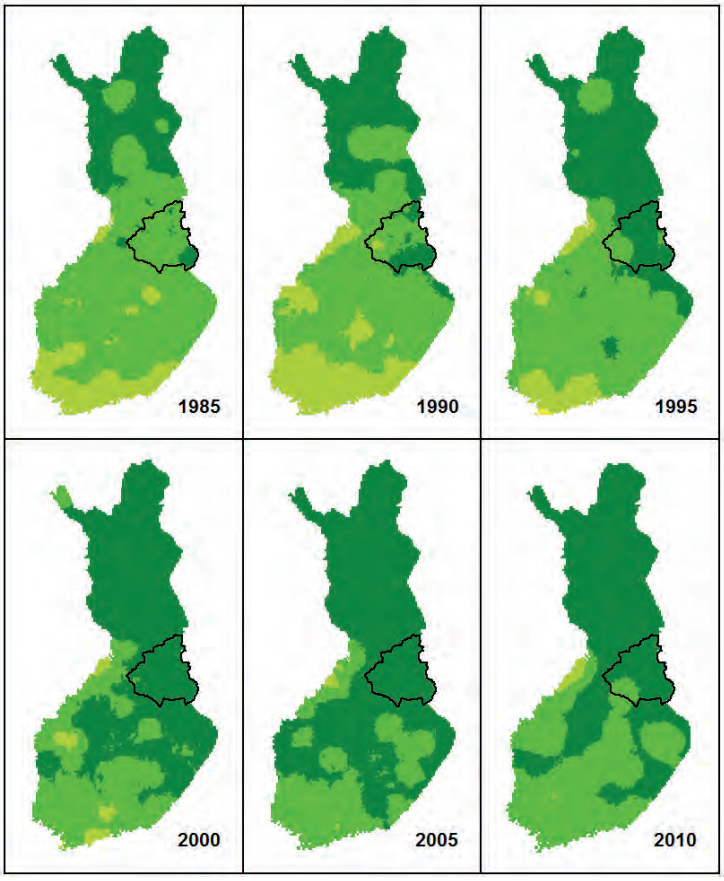
Kadmium (Cd)
mg/kg

- < 0,1
- 0,1 - 0,2
- 0,2 - 0,3
- 0,3 - 0,4
- 0,4 - 0,5
- 0,5 - 0,6
- 0,6 - 0,8
- > 0,8



Rauta (Fe)
mg/kg

- < 250
- 250 - 500
- 500 - 1000
- 1000 - 1500
- 1500 - 2000
- 2000 - 3000
- 3000 - 4000
- > 4000



keskimäärin 379 mg/kg ja Kainuussa 288 mg/kg. Sen jälkeen pitoisuudet ovat laskeneet vähitellen niin, että vuonna 2005 keskimääräinen pitoisuus Suomessa oli 236 mg/kg ja Kainuussa 145 mg/kg. Euroopan tasolla nämä ovat alhaisimpia pitoisuuksia. Kainuussa keskimäärinen pitoisuus nousi vuonna 2010 kuitenkin 232 mg:aan. Nousu johtui Talvivaaran kaivoksen pölypäästöistä. Kaivoksen läheisyydessä korkeimmat pitoisuudet sammalissa jäivät kuitenkin suhteellisen mataliksi eli noin 400 mg:aan kilossa. Muualla Kainuussa pitoisuudet eivät nousseet vuosista 2000 ja 2005. Kostamuksen pellettitehtaan rautapäästöt eivät näkyneet sammalten rautapitoisuudessa vuonna 2010 Kainuun puolella edes rajaseudulla.

Vanadiini

Vanadiinilla on harvoja mineraaleja, mutta sitä esiintyy muiden metallien yhteydessä. Sitä on myös öljyssä ja kivihiilessä. Vanadiinia pääsee ilmaan pääasiassa rauta- ja terästeollisuudesta, öljynjalostamoista sekä öljyä ja kivihiiltä polttavista energiantuotantolaitoksista. Vanadiinin päästöt ilmaan vähentyivät jonkin verran Suomessa 1990-luvulla, jonka jälkeen päästöt ovat vaihdelleet noin 60 tonnista lähes 70 tonniin (www.ymparisto.fi).

Otanmäen kaivos oli aikoinaan myös merkittävä vanadiinin päästölähde. Vuoden 1985 kartoituksessa todettiin Vuolijoen tienoilla sammalissa keskimääräistä korkeampia vanadiinipitoisuuksia, mutta sen jälkeen pitoisuudet ovat olleet alhaisia. Vuonna 1985 sammalten vanadiinipitoisuus oli keskimäärin koko Suomessa ja Kainuussa noin 5 mg/kg. Pitoisuudet laskivat selvästi aina vuoteen 2000 saakka, jolloin ne olivat koko Suomessa keskimäärin 1.45 mg/kg ja Kainuussa ainoastaan 0.91 mg/kg. Sen jälkeen pitoisuudet ovat edelleen laskeneet koko Suomessa jonkin verran. Kainuussa keskimääräinen vanadiinipitoisuus kuitenkin nousi hieman vuonna 2010. Maakunnan lounaisosissa pitoisuudet olivat jonkin verran korkeampia kuin muualla Kainuussa. Syynä korkeampiin pitoisuuksiin olivat todennäköisesti etelän suunnasta tuleva kaukokulkeuma ja Talvivaaran kaivoksen päästöt (öljyä käyttävä lämpölaitos ja pöly). Kostamuksen pellettitehtaan vanadiinipäästöt eivät näkyneet sammalissa Kainuun puolella vuonna 2010.

Kromi

Kromia tavataan luonnossa muun muassa kromiitissa. Kovuutensa ja korroosionkestävyytensä vuoksi sitä käytetään paljon metalliteollisuudessa. Kromia pääsee Suomessa ilmaan ja vesistöihin erityisesti ferrokromin ja muiden kromiyhdisteiden tuotannosta. Muita päästölähteitä ovat muun muassa rauta- ja terästeollisuus, energiantuotantolaitokset ja kaivokset. Koko maassa kromipäästöt ilmaan vähenivät 1990-luvulla noin 40 tonnista noin 20 tonniin vuodessa. 2000-luvun alkupuolella päästöt kasvoivat uudelleen noin 30 tonniin, kun laskelmiin otettiin mukaan myös liikenteen kromipäästöt. Sen jälkeen päästömäärät ovat vaihdelleet 15 tonnista 27 tonniin. (www.ymparisto.fi).

Sammalten keskimääräisissä kromipitoisuuksissa on ollut seurantajaksolla koko Suomessa ja Kainuussa samansuuntainen muutos. Keskimääräinen kromipitoisuus oli vuonna 1985 Suomessa 1,49 mg/kg ja Kainuussa 1,23 mg/kg, jonka jälkeen pitoisuudet ovat vähitellen laskeneet niin, että vuonna 2010 ne olivat 0,97 mg/kg ja 0.92 mg/kg. Kainuussa ei ole nykyisin mitään merkittäviä kromin päästölähteitä. Euroopan tasolla Kainuussa sammalten kromipitoisuudet ovat alhaisia.

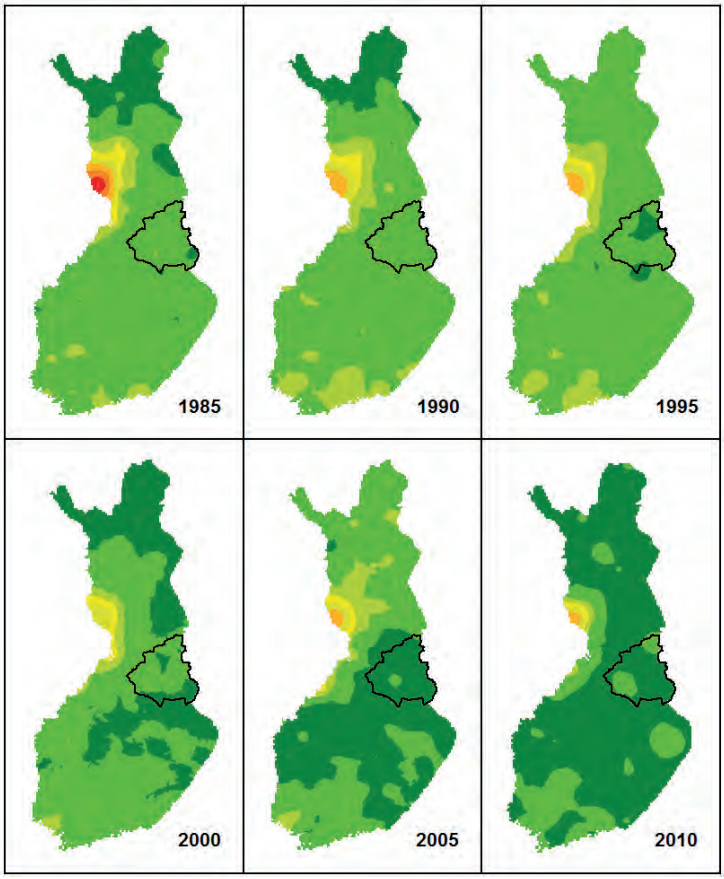
Sinkki

Sinkkiä on mineraaleista muun muassa sinkkivälkkeessä, josta sitä valmistetaan teollisuuden käyttöön rikastamalla. Suurimpia päästölähteitä ovat energiantuotantolaitokset, liikenne ja metalliteollisuus. Sinkin päästöt ilmaan vähenivät Suomessa vuosien 1990–2000 välillä 590 tonnista noin 90 tonniin. Sen jälkeen päästöt ovat nousseet yli 100 tonniin johtuen siitä, että päästöarvoihin on otettu mukaan myös liikenteestä aiheutuvat päästöt (www.ymparisto.fi). Vuonna 2010 päästöt olivat 160 tonnia, josta liikenteen päästöjen osuus oli 24 tonnia.

Sammalten keskimääräinen sinkkipitoisuus pysyi koko Suomessa ja Kainuussa vuodesta 1985 vuoteen 1995 suurin piirtein samalla tasolla (koko Suomi noin 38 mg/kg ja Kainuu noin 32 mg/kg), jonka jälkeen keskimääräiset pitoisuudet laskivat tasolle 29 mg/kg ja 23 mg/kg. Vuosina 2005 ja 2010 pitoisuudet olivat jonkin verran näitä arvoja korkeampia. Talvivaaran kaivoksella louhittavassa mustaliuskeessa on runsaasti sinkkiä, jota rikastetaan kaivoksella sinkkisulfidiksi. Kaivoksen ympäristössä sammalten sinkkipitoisuudet eivät olleet vuonna 2010 kuitenkaan merkittävästi muuta maakuntaa korkeampia. Sinkin pitoisuuksien vaihtelu sammalissa on yleensä vähäisempää kuin monien muiden raskasmetallien eivätkä sen pitoisuudet sammalissa jostain syystä korreloi kovin hyvin päästöjen kanssa. Sammalet saavat sinkkiä todennäköisesti sekä ilman kautta että maaperästä.

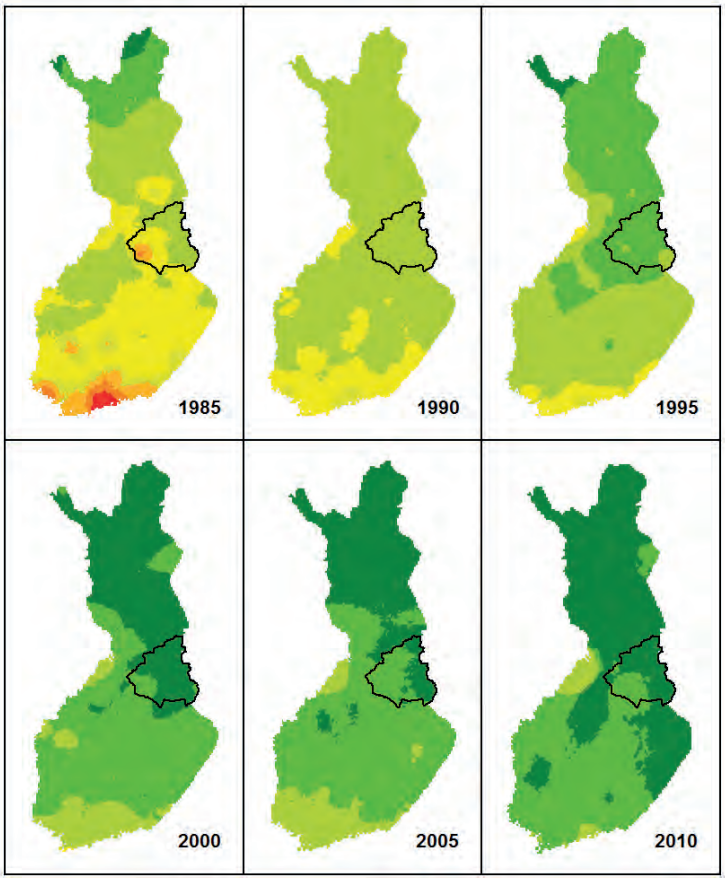
Kromi (Cr)
mg/kg

- < 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 6
- 6 - 10
- 10 - 15
- > 15



Vanadiini (V)
mg/kg

- < 1
- 1 - 2
- 2 - 4
- 4 - 6
- 6 - 8
- 8 - 10
- 10 - 12
- > 12



Johtopäätöksiä

Kainuussa raskasmetalleja pääsee ilmaan pääasiassa kaivostoiminnasta, teollisuudesta, energiantuotannosta ja tieliikenteestä. Raskasmetallien päästölähteitä on vähän ja suurimmat päästölähteet sijaitsevat Sotkamossa ja Kajaanissa. Raskasmetalleja tulee Kainuuseen jossain määrin myös kaukokulkeumana. Kainuun maakunnassa raskasmetallien kokonaispäästöt ilmaan ovat vähäiset, mikä näkyy myös sammalten raskasmetallipitoisuuksissa. Lähes kaikkien tutkittujen raskasmetallien pitoisuudet ovat suurimmassa osassa Kainuuta matalimpia koko Euroopassa ja samalla tasolla kuin muualla Fennoskandian pohjoisosissa. Nikkeliä lukuun ottamatta metallien keskimääräiset pitoisuudet eivät ole enää muuttuneet merkittävästi vuoden 2000 jälkeen, mikä osoittaa, että pitoisuudet alkavat olla jo lähellä puhtaan tausta-alueen pitoisuuksia. Ennen vuotta 2000 uudet puhdistusmenetelmät teollisuudessa ja lyijyttömään bensiiniin siirtyminen liikenteessä vähensivät erityisesti lyijyn, kadmiumin ja vanadiinin pitoisuuksia voimakkaasti myös Kainuussa. Päästöt teollisuudesta, energiantuotannosta ja liikenteestä ovat edelleen vähentyneet vuoden 2000 jälkeen. Muun muassa paperitehtaan lopettaminen Kajaanissa vuoden 2008 lopussa vähensi hiukkaspäästöjä Kajaanin kaupungin alueella.

Sammalkartoitusten perusteella Talvivaaran kaivos on tällä hetkellä ainoa merkittävä raskasmetallien päästölähde Kainuussa. Kaivosalueelta raskasmetalleja pääsee ilmaan pääasiassa pölyssä, jota syntyy mm. louhinnassa, murskauksessa ja sivukiven kasauksessa. Pölyä leviää pääasiassa kaivosalueelle. Sammalten pitoisuuksien perusteella kaivoksen raskasmetallipäästöt ilmaan eivät olleet nikkeliä ja kuparia lukuun ottamatta suuria. On kuitenkin huomattava, että viimeisimpään kartoitukseen sammalnäytteet kerättiin kesällä 2010, jolloin kaivos oli ollut toiminnassa vasta reilun vuoden verran. Kaivoksen rakentamisaikana pölyäminen oli voimakkaampaa ja raskasmetallit levisivät laajemmalle alueelle kuin nykyisin. Tuotannon alettua kaivosyhtiö on kiinnittänyt erityistä huomiota pölypäästöjen vähentämiseen. Tuotantoprosessissa käytetään erilaisia pölynkeräimiä ja esimerkiksi hienomurskaus tehdään katetussa tilassa. Lisäksi hiukkaspäästöjä mitataan jatkuvasti useissa seurantapisteissä. Kainuussa on toiminnassa muitakin kaivoksia, mutta niillä on vähän vaikutusta raskasmetallilaskeumaan. Sotkamon itäosassa on hopeakaivos ja länsiosassa Mondo Minerals B.V.:n talkkikaivos (Lahnaslampi ja Punasuo). Näistä kaivoksista raskasmetalleja leviää lähinnä kaivuun yhteydessä syntyneistä maakasoista pölyn mukana lähiympäristöön. Päästöt rajoittuvat niin pienille alueille ja ne ovat niin vähäisiä, etteivät ne näy valtakunnallisissa kartoituksissa sammalissa.

Kirjallisuus

Harmens, H., Norris, D. and the participants of the moss survey. 2008. Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe (1990–2005). ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK.

Harmens, H., Norris, D., Mills, G. and the participants of the moss survey. 2013. Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe. ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK.

http://icpvegetation.ceh.ac.uk

Kemppainen, S. 2000. Epifyyttijäkälien kemiallinen analyysi. Julkaisussa: Kemppainen, S. & Markkanen, S.-L. (toim.). Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Suomen ympäristö 392: 58–66.

Kemppainen, S. & Markkanen, S-L. (toim.). 2000. Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Suomen ympäristö 392.

Kubin, E. & Lippo, H. 1996. The atmospheric heavy metal deposition in Finland from 1985 to 1990. Appl. Geochem. 11:155–161.

Poikolainen, J. & Lippo, H. 2000. Kostamuksen rautapellettitehtaan päästöjen vaikutus laskeumaan Kostamuksen ympäristössä ja Kainuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 759. 33 s.

Poikolainen, J. & Mikkola, K. 2000. Sammalet ilman epäpuhtauksien bioindikaattorina Kainuussa. Julkaisussa: Kemppainen, S. & Markkanen, S.-L. (toim.). Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Suomen ympäristö 392: 67–78.

Poikolainen, J., Kubin, E., Piispanen, J. & Karhu, J. 2004. Atmospheric heavy metal deposition in Finland during 1985–2000 using mosses as bioindicators. The Science of the Total Environment 318: 171–185.

Rühling, Å. 1994. Atmospheric heavy metal deposition in Europe – estimation based on moss analysis. Nord 9:1–53.

Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K., Mäkinen, A. & Steinnes, E. 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985. Nord 21:1–44.

Rühling, Å. & Skärby, L. 1979. Landsomfattande kartering av regionala tungmetallhalter i mossa. National survey of regional heavy metal concentrations in moss. Statens naturvårdsverk PM 1191: 1–28.

Rühling, Å. & Tyler, G. 1968. An ecological approach to the lead problem. Botaniska Notiser 122:248–342.

Suomen ympäristökeskuksen Internet-sivut: Raskasmetallit http://www.ympäristö.fi

Zechmeister, H.G., Grodzińska, K. & Szarek-Łukaszewska, G. 2003. Bryophytes. In: Markert, B.A., Breure, A.M., & Zechmeister, H.G. (Eds.). Bioindicators and biomonitors. Elsevier Science Ltd., Amsterdam. pp. 329–375.

Ympäristön tila Kainuussa 2013. Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Ympäristö- ja luonnonvarat. www.ely-keskus.fi/julkaisut

6. Kainuun jäkäläkartoitus

ANU SEPPÄNEN

JÄKÄLÄKARTOITUS ON KÄYTETYIN BIOINDIKAATIOMENETELMÄ. JÄKÄLÄKARTOITUKSESSA KARTOITETAAN MÄNTYJEN RUNGOILLA KASVAVIEN, NK. EPIFYYTTIJÄKÄLIEN LAJISTOKOOSTUMUS INDIKAATTORILAJIEN OSALTA SEKÄ SORMIPAISUKARPEEN (*HYPOGYMNIA PHYSODES*) JA LUPPOJEN (*BRYORIA SPP.*) PEITTÄVYYS JA SORMIPAISUKARPEEN VAURIOASTE. USEIMMAT EPIFYYTTIJÄKÄLISTÄ OVAT HERKKIÄ ILMAN LAADUSSA ILMENEVILLE EPÄPUHTAUKSILLE, JOITA OVAT ESIMERKIKSI RIKKIDIOKSIDI, FLUORIYHDISTEET, TYPPIYHDISTEET, OTSONI JA RASKASMETALLIT. MYÖS PÖLY VOI SUURINA PITOISUUKSINA AIHEUTTAA VAURIOITA. LAJIEN HERKKYYS EPÄPUHTAUKSILLE VAIHTELEE. OSA LAJEISTA SIETÄÄ HYVIN KOHONNEITA RIKKIDIOKSIDI- JA TYPPIPITOISUUKSIA, JOPA NIIN ETTÄ LISÄYS ILMAN RAVINTEISUUDESSA VOI JOPA EDISTÄÄ NIIDEN KASVUA. HERKIMPIIN LAJEIHIN KUULUVAT RIHMAMAISET JA PENSASMAISET JÄKÄLÄLAJIT, KUTEN NAAVAT JA LUPOT. KESTÄVIMPIIN KUULUVAT RUPIMAISET LAJIT KUTEN ESIMERKIKSI VIHERKUPRUJÄKÄLÄ.

Jäkälät koostuvat sieniosakkaasta ja leväosakkaasta, joka on usein viherlevä ja/tai sinibakteeri. Jäkälät ottavat kasvamiseen tarvittavat ravinteet suoraan ilmasta, niiden pinnalle putoavasta sadevedestä, runkovalunnasta ja pölystä. Koska niillä ei ole suojaavaa pintakerrosta, ne eivät voi valikoida tarvitsemiaan ravinteita, vaan niiden sekovarteen kertyy kaikkia sadeveden ja pölyn sisältämiä aineita.

Epifyyttijäkälien esiintymistä sääteleviä tekijöitä ovat esimerkiksi metsäkuvion latvuston läpi tulevan valon määrä, kosteusolosuhteet, lämpötila, kasvualustan pH, ravinteisuus, sekä metsäkuvion puuston ikä- ja lajistorakenne sekä kuvion jatkuvuus (Hauck 2011). Esimerkiksi kuusia sisältävän mäntyvaltaisen metsän mikroilmasto on kosteampi kuin mäntymetsän, jossa kuusta on vähemmän, ja sopivasti kuusia sisältävä mäntymetsä sisältää rikkaamman lajiston kuin pelkkää mäntyä sisältävä metsäkuvio. Myös poronhoidolla on todettu olevan vaikutusta epifyyttijäkälälajistoon. Epifyyttijäkälät ovat porojen ravintoa talvella (Oksanen 1995).

Jäkäläkartoitusta varten on olemassa yleiseurooppalainen standardi (SFS-EN 16413, 2014). Tässä kartoituksessa käytettiin kuitenkin vanhempaa suomalaista standardia SFS-5670, jotta tulosten vertailukelpoisuus aiempien kartoitusten tuloksiin saatiin säilytettyä. Menetelmä pohjautuu mäntyjen rungoilla kasvavien indikaattorilajien esiintymiseen, runsauteen sekä havaittaviin vaurioihin.

Kajaanissa on aiemmin tehty jäkäläkartoituksia vuosina 1986, 1991 ja 2000 (Keskitalo 1986, Kajaanin kaupunki 1991, Poikolainen & Soppela 2000). Vuonna 2000 tehtiin jäkäläkartoitukset myös Kuhmossa, Paltamossa, Hyrynsalmella, Sotkamossa ja Suomussalmella. Tämän kertaisen bioindikaattoriselvityksen yhteydessä jäkäläkartoitus suoritettiin kaikissa Kainuun kunnissa Vaalaa lukuun ottamatta, sekä Terrafamen ja Mondo Mineralsin kaivosalueiden ympäristöissä.

Jäkäläkartoituksen menetelmät

Havaintoalueiden ja näytepuiden valinta

Jäkäläkartoitukset tehtiin Kajaanin, Paltamon, Hyrynsalmen, Ristijärven, Suomussalmen, Puolangan, Sotkamon ja Kuhmon kunnissa sekä Terrafamen ja Mondo Mineralsin kaivosalueiden ympäristössä kesän 2015 aikana Kartoitus suoritettiin Suomen standardoimisliiton jäkäläkartoitusstandardin mukaan (SFS5-5670, 1990). Jäkäläkartoitusstandardi SFS-5670 on korvautunut uudella, yleiseurooppalaisella jäkäläkartoitusstandardilla (SFS-EN 16413, 2014). Kartoitus suoritettiin kuitenkin vanhan standardin mukaisesti jotta vertailukelpoisuus aikaisempien selvitysten tuloksiin säilyisi. Koealat valittiin mäntyvaltaisilta kankailta. Jokaiselta koealalta havainnoitiin viiden näytepuun otos. Näytepuiden tuli olla eläviä ja rungon läpimitta tuli rinnan korkeudelta olla vähintään 20 cm. Standardin mukaan näytepuiden tulisi olla oksattomia kolmen metrin korkeuteen asti, mutta tästä vaatimuksesta jouduttiin käytännön syistä johtuen tinkimään myös tässä kartoituksessa niin, että kuolleita oksantynkiä saattoi esiintyä alueella josta jäkäläkartoitus suoritettiin (n. 100–200 cm puun tyvestä).

Kunnissa, joissa oli aiemmin suoritettu jäkäläkartoituksia, pyrittiin koealat pitämään samoina tulosten vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi. Osa näytealoista jouduttiin uudelleensijoittamaan standardikelpoisen metsän tultua päätehakkuuvaiheeseen. Mikäli sopivalta etäisyydeltä ei löytynyt korvaavaa koealaa, jouduttiin koeala poistamaan.

Jäkälälajien kartoitus

Kartoituksessa havainnoitiin 13 epifyyttijäkälälajin tai -suvun esiintyminen koealan näytepuilla. Lajien esiintyminen arvioitiin puun rungon ympäri 100–200 cm korkeudelta. Jokainen laji sai esiintyvyydelleen frekvenssiarvon 0–5 riippuen siitä, monellako näytepuun rungolla se esiintyi. Frekvenssiarvolla 0 lajia ei tavattu yhdenkään puun

rungolta, kun taas frekvenssiarvolla 5 se esiintyi jokaisen näytepuun rungolla. Kartoituksessa havainnoidut lajit ja niiden herkkyys rikkidioksidille on listattu taulukkoon 6.1.

Indikaattorijäkälälajit ovat eri tavoin herkkiä ilmansaasteille. Esimerkiksi lupot ja naavat ovat hyvin herkkiä ilman rikkidioksidipitoisuuksille, kun seinäsuomujäkälä ja viherkuprujäkälä sekä sen kanssa symbioosissa elävät levät kestävät kohtalaisen hyvin ilmassa esiintyviä saasteita.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyyden arviointi

Kartoituksessa arvioidaan sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) ja luppojen (*Bryoria spp.*) runsaus pistefrekvenssimenetelmää käyttäen. Arviointi tapahtuu 30 cm x 40 cm kokoista kalvoruudukkoa käyttäen sadan pisteen systemaattisena otantana puun koillis- ja lounaispuolelta 120-160cm korkeudelta. Kalvoruudukko on jaettu 100 ruutuun joiden keskipisteestä arvioidaan lajin esiintyminen. Pistefrekvenssi kertoo, kuinka monen ruudun keskipisteessä laji esiintyi. Tuloksissa pistefrekvenssit esitetään viiden puun summana, jolloin korkein mahdollinen pistefrekvenssi on 1000. Tuloksissa on huomattava, että vaikka luppojen pistefrekvenssi olisi 0, niitä voi silti esiintyä havaintoalueen jokaisella viidellä puulla, jolloin niiden esiintymisfrekvenssi on 5. Tämä johtuu siitä että jäkälien esiintymisfrekvenssi arvioidaan paljon laajemmalta pinta-alalta kuin niiden runsaus.

Taulukko 6.1. Jäkäläkartoituksessa havainnoitavat lajit ja niiden herkkyys rikkidioksidille. (Poikolainen & Soppela 2000)

Jäkälälaji tai –suku	Tieteellinen nimi	Herkkyys SO2:lle
Lupot	*Bryoria spp.*	Herkkä
Naavat	*Usnea spp.*	Herkkä
Tuhkakarve	*Imshaugia aleurites*	Suhteellisen herkkä
Harmaatyvikarve	*Parmeliopsis hyperopta*	Suhteellisen herkkä
Raidanisokarve	*Parmelia sulcata*	Suhteellisen herkkä
Hankakarve	*Pseudevernia furfuracea*	Suhteellisen herkkä
Harmaaröyhelö	*Plasmatia glauca*	Suhteellisen herkkä
Sormipaisukarve	*Hypogymnia physodes*	Suhteellisen herkkä
Keltatyvikarve	*Parmeliopsis ambigua*	Suhteellisen herkkä
Ruskoröyhelö	*Cetraria chlorophylla*	Suhteellisen herkkä
Keltaröyhelö	*Cetraria pinastri*	Suhteellisen herkkä
Seinäsuomujäkälä	*Hypocenomyce scalaris*	Kestävä
Viherkuprujäkälä + viher- ja sinilevät	*Scoliciosporum chlorococcum* + Algae	Kestävä

Sormipaisukarpeen vaurioasteen arviointi

Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioaste arvioitiin puun rungon ympäriltä 50 - 200 cm korkeudelta. Jäkälälajin vaurioaste arvioitiin seuraavan asteikon avulla (SFS-5670):

I - normaali: Jäkälät terveitä tai lähes terveitä (mustia täpliä saa esiintyä)

II - lievä vaurio: Lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia.

III - selvä vaurio: Kitukasvuisia ja vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin.

IV - paha vaurio: Pieniä, ryppyisiä ja vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin

V - kuollut tai puuttuu: Pieniä yksilöitä saattaa kasvaa suojaisissa kaarnanraoissa.

Tulokset ja johtopäätökset

Havaintoalueet Hyrynsalmella

Havaintoalueina käytettiin vuoden 2000-selvityksessä perustettuja havaintoalueita, joita oli Hyrynsalmen kunnan alueella yhteensä 20 kappaletta. Näistä viisi sijaitsee kunnan keskustaajamassa tai sen välittömässä läheisyydessä. Havaintoalueista 15 kappaletta sijaitsee haja-asutusalueilla kunnan eri puolilla. Jäkäläkartoitus suoritettiin kesä-heinäkuussa 2015.

Indikaattorijäkälien määrä

Indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli Hyrynsalmen kunnan alueella leväpeite pois lukien viidestä kahdeksaan, keskiarvon ollessa 6,3. Indikaattorijäkälälajien määrä on edelliseen kartoitukseen verrattuna laskenut, keskiarvon ollessa vuonna 2000 7,8, vaihteluväli 6–10. Lajimäärä kunnan keskiosissa vaihteli viiden ja kahdeksan välillä. Lajimäärä vaihteli tasaisesti koko kunnan alueella.

Ilmansaasteiden vaikutuksen katsotaan olevan ilmeinen, kun lajimäärä on havaintoalueella alle 4 (Mäkinen ym. 1991). Yhdelläkään Hyrynsalmen havaintoalueella lajimäärä ei jäänyt neljään tai alle. Näin ollen ei voida lajimäärien perusteella erottaa alueita, joilla ilmansaasteilla olisi ilmeisiä vaikutuksia.

Näytepuuta kohden laskettu indikaattorijäkälälajien leväpeite mukaan lukien määrä vaihteli välillä 3,2–6, keskiarvon ollessa 4,6. Lajikeskiarvo jäi alle 4,6 kahdeksalla havaintoalueella. Vuonna 2000 lajimäärä näytepuuta kohti vaihteli 4,6–8,0 välillä, keskiarvon ollessa 5,8. Lajimäärä näytepuuta kohti on siis hieman laskenut. Lajimäärien keskiarvo näytepuuta kohti oli laskenut seitsemällä havaintoalueella alle viiteen, kun se vuonna 2000 oli alle viisi kolmella havaintoalueella. Yksi näistä havaintoalueista sijaitsee Hyrynsalmen keskustaajamassa, loput viisi sijaitsevat valtatie viiden halkaiseman kunnan itäpuoliskolla. Lajimäärien perusteella ei voitu erottaa alueellisia vaihteluita, jotka johtuisivat selvästi ilmansaasteiden vaikutuksista Hyrynsalmen kunnan alueella. Suurempi vaikutus jäkälälajien esiintymiseen on todennäköisesti kasvupaikkatekijöillä.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

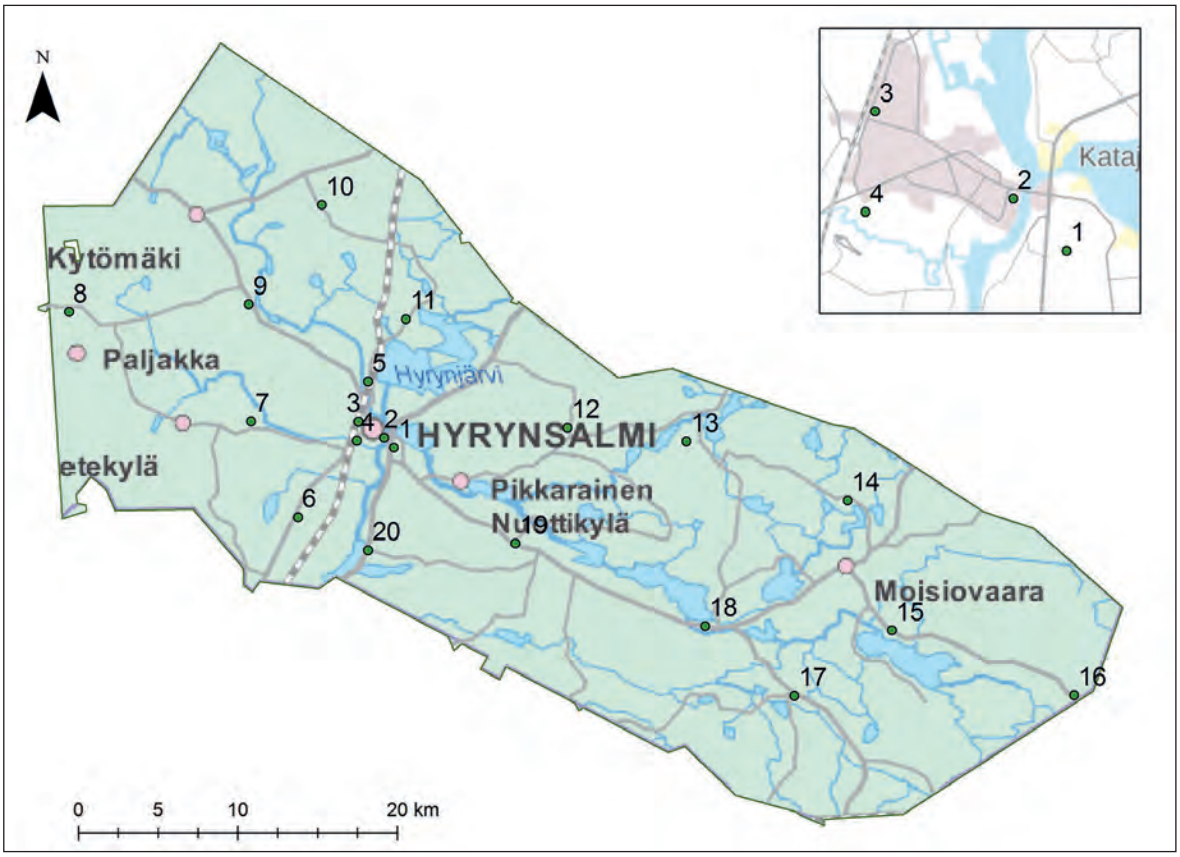
Sormipaisukarvetta, keltatyvikarvetta sekä harmaatyvi- ja tuhkakarvetta tavattiin kaikilla näytepuilla eikä muutoksia ollut havaittavissa vuoden 2000 kartoitukseen verrattuna, taulukko 6.2. Harmaaröyhelöä esiintyi kohtalaisen tasaisesti, mutta sen esiintyvyys on pienentynyt. Hankakarvetta tai raidanisokarvetta ei Hyrynsalmen havaintoalueilla havaittu ollenkaan. Vuoden 2000 kartoituksessa hankakarvetta tavattiin vain neljällä havaintoalueella, raidanisokarvetta ei yhdelläkään havaintoalueella.

Ilman epäpuhtauksille herkistä indikaattorijäkälistä luppojen ja naavojen esiintyvyys oli vuoden 2000 tuloksiin verrattuna vähentynyt. Lähes puolella havaintoalueista luppojen esiintymisfrekvenssi oli viisi, viidellä havaintoalueella luppoja ei tavattu ollenkaan ja lopuilla havaintoalueilla frekvenssi vaihteli yhdestä neljään. Naavoja havaittiin luppoja vähemmän.

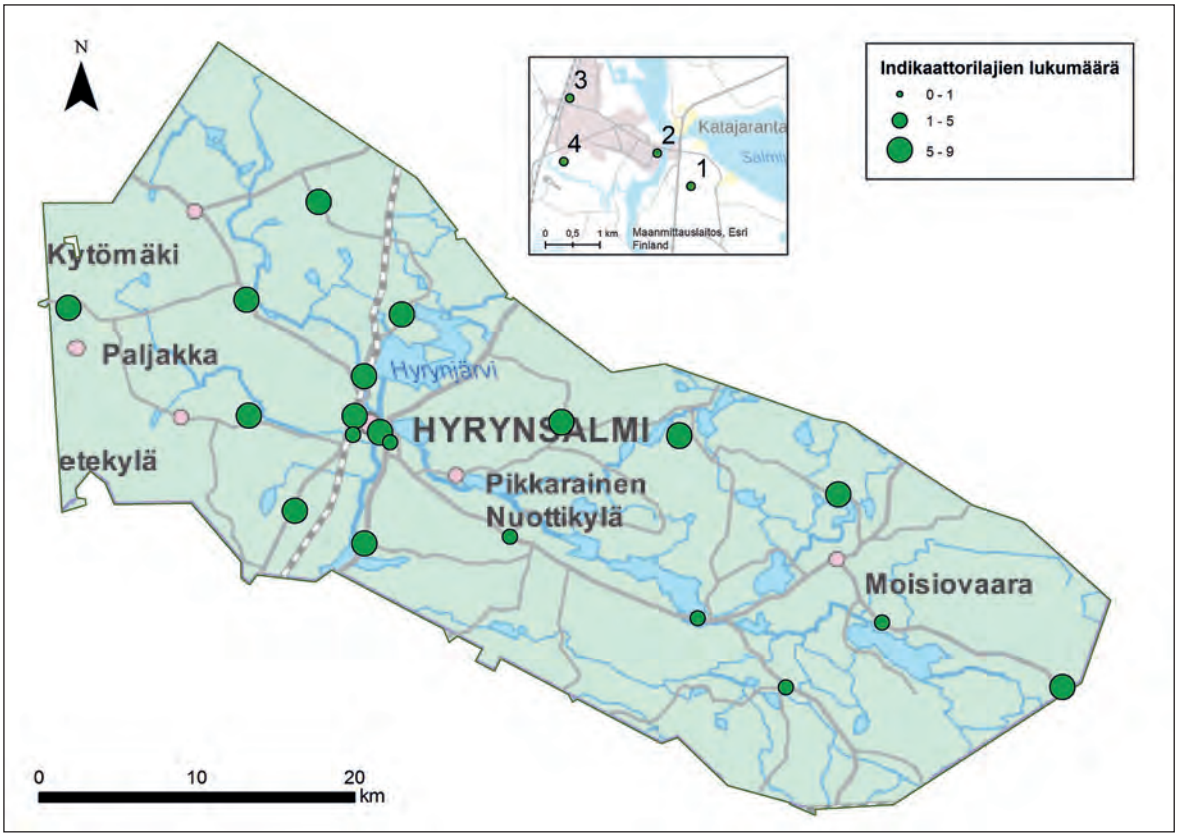
Seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen määrä on tuloksissa vähentynyt vuodesta 2000. Todennäköisesti niiden määrä on kuitenkin aliarvioitu, sillä seinäsuomujäkälä ja leväpeite kasvavat männyn tyvestä runkoa ylöspäin, esiintyen useimmiten alle 1 metrin korkeudella. Lajien esiintyvyys arvioidaan 1–2 metrin korkeudelta, jolloin seinäsuomujäkälä ja leväpeite jäävät huomioimatta, vaikka esiintyisivätkin männyn rungolla.

Taulukko 6.2. Indikaattorijäkälälajien esiintyminen mäntyjen rungoilla Hyrynsalmella vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	25,0	15,0	5,0	5,0	10,0	40,0
Naavat	40,0	15,0	10,0	20,0	10,0	5,0
Harmaaröyhelö	40,0	20,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Keltaröyhelö	25,0	25,0	15,0	10,0	10,0	15,0
Ruskoröyhelö	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hankakarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	90,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0
Leväpeite	95,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Jäkäläkartoituksen havaintoalueet Hyrynsalmen kunnan alueella.



Indikaattorilajien lukumäärät Hyrynsalmen kunnan alueella vuonna 2015.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli Hyrynsalmen havaintoalueilla 3,5 % ja 35,8 % välillä, keskiarvon ollessa 13,8 %. Vuonna 2000 sormipaisukarpeen peittävyyden vaihteluväli oli ollut 0,5 ja 17,4 % välillä, keskiarvon ollessa 7,9 %. Keskiarvo on siis noussut, kuten myös minimi ja maksimiarvot. Peittävyyden vaihteluilla ei vaikuta olevan alueellista, ilman epäpuhtauksista johtuvaa suuntausta. Vuonna 2000 on todettu Hyrynsalmen keskusta-alueen alhaisen peittävyyden johtuvan pienilmasto- ja kasvupaikkatekijöistä enemmän kuin ilman epäpuhtauksista.

Luppojen peittävyys vaihteli 0,0 % ja 10,9 % välillä, keskiarvo oli 2,6 %. Vuonna 2000 luppojen peittävyyden vaihteluväli oli 0 % ja 9,4 % välillä, keskiarvon ollessa 2,9 %. Keskiarvo on hieman laskenut mutta maksimi noussut yli 10 %:iin. Luppojen peittävyys vaikutti olevan korkeaa keskusta-alueella ja laskevan muilla kunnan ympäri sijaitsevilla havaintoalueilla. Todennäköisesti syy alueellisille vaihteluille löytyy muista kasvupaikkatekijöistä kuin ilman epäpuhtauksista.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Hyrynsalmen havaintoalueiden sormipaisukarpeista havainnoitiin lieviä ja selviä vaurioita keskustaajaman alueella sekä vilkasliikenteisimpien teiden varsilla. Tämä viittaa ilmansaasteiden lieviin vaikutuksiin. Muualla kunnassa ei vaurioita havaittu. Sormipaisukarpeen vaurioasteet ovat kasvaneet vuodesta 2000. Sormipaisukarpeen vaurioasteet esitetty luokittain taulukossa 6.3.

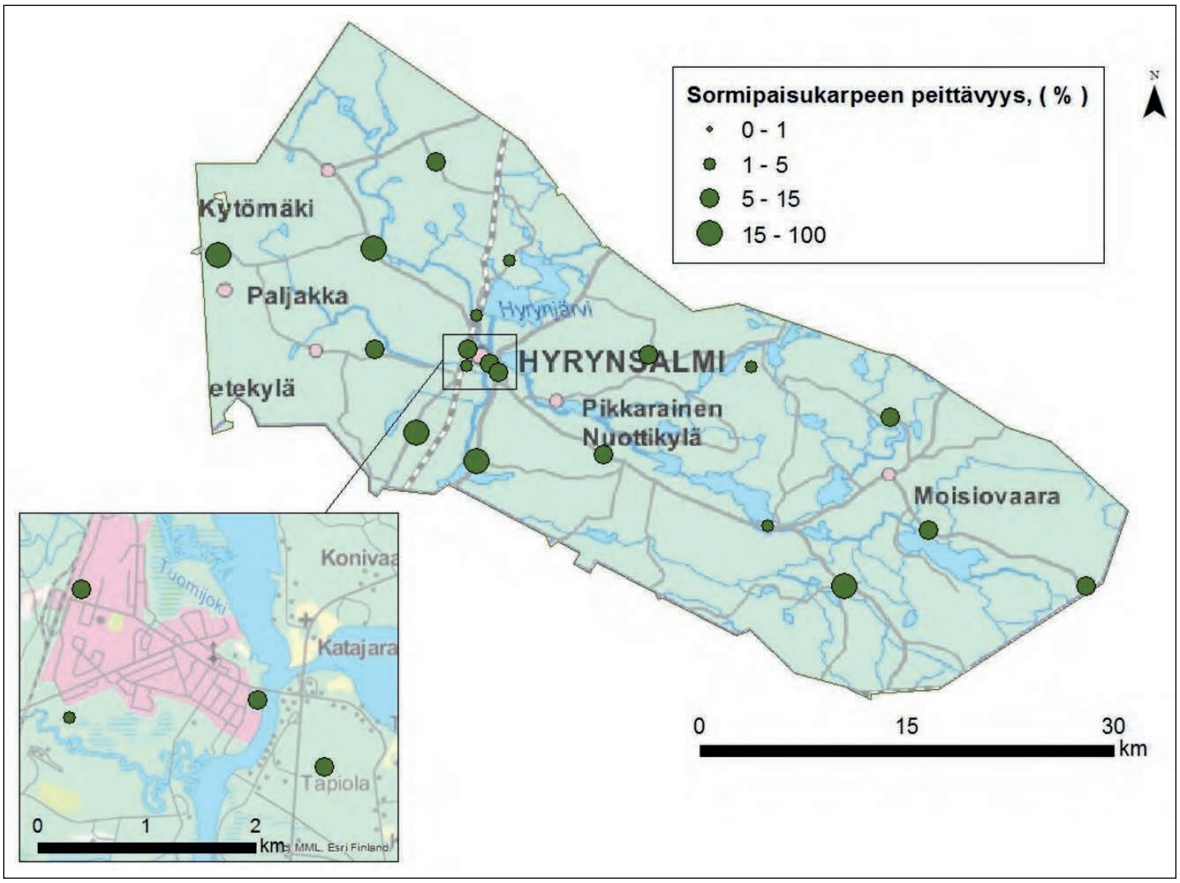
Sormipaisukarve.

Johtopäätökset

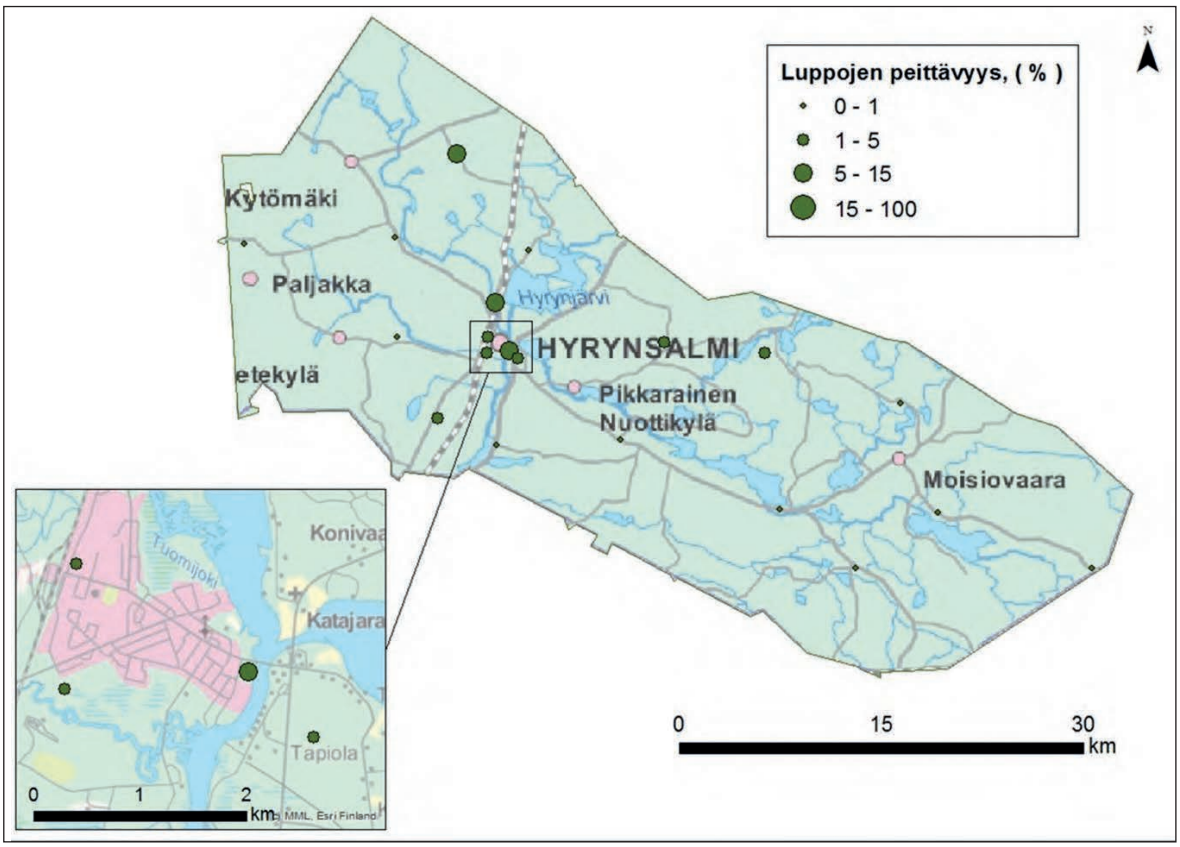
Hyrynsalmen kunnan alueella havainnoitujen indikaattorijäkälien määrä on edelliseen kartoitukseen verrattuna laskenut. Näytepuuta kohti laskettu lajimäärä on kunnan alueella laskenut hieman vuodesta 2000. Lajimäärä vaihteli tasaisesti ympäri kuntaa eikä yhdelläkään havaintoalueella jäänyt neljään tai alle. Näin ollen ei lajimäärien perusteella voida erottaa alueita joilla ilmansaasteilla olisi ilmeisiä vaikutuksia. Suurempi vaikutus epifyyttisten jäkälälajien esiintymiseen on todennäköisesti kasvupaikkatekijöillä. Ilman epäpuhtauksille herkistä indikaattorijäkälistä luppojen ja naavojen esiintyvyys oli vuoden 2000 tuloksiin verrattuna vähentynyt. Naavoja havaittiin luppoja vähemmän. Seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen määrä on tuloksissa vähentynyt verrattuna vuoteen 20000. Todennäköisesti niiden määrä on kuitenkin aliarvioitu. Sormipaisukarpeen peittävyys on Hyrynsalmen alueella kasvanut vuodesta 2000. Peittävyyden vaihteluilla ei vaikuttanut olevan alueellista, ilman epäpuhtauksista johtuvaa jakautumista. Vuonna 2000 on todettu Hyrynsalmen keskusta-alueen alhaiselle peittävyydelle syyksi ilmansaasteita ennemmin kasvupaikkatekijät. Luppojen peittävyys on keskiarvoltaan hieman laskenut, mutta maksimi on noussut. Luppojen peittävyys vaikuttaa olevan korkeaa kunnan keskustaajaman alueella ja laskevan muilla kunnan havaintoalueilla. Todennäköisesti syy alueelliselle vaihtelulle löytyy muista kasvupaikkatekijöistä ilman epäpuhtauksien sijaan. Hyrynsalmi on myös poronhoitoaluetta, ja porot käyttävät epifyyttijäkäliä ravintonaan. Hyrynsalmen havaintoalueiden sormipaisukarpeista havainnoitiin lieviä ja selviä vaurioita keskustaajaman alueella sekä vilkasliikenteisten teiden varsilla. Vaurioasteet olivat kasvaneet vuodesta 2000. Tämä viittaa ilmansaasteiden lieviin vaikutuksiin.

Taulukko 6.3. Sormipaisukarpeen vaurioasteet Hyrynsalmen kunnan alueella vuonna 2015, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
80,0	15,0	5,0	0,0	0,0



Sormipaisukarpeen peittävyys Hyrynsalmen kunnan alueella vuonna 2015.



Luppojen peittävyys Hyrynsalmen kunnan alueella vuonna 2015.

Havaintoalueet Kajaanissa

Kajaanin kunnan alueella oli yhteensä 116 havaintoaluetta. Kajaanissa aikaisemmat jäkäläkartoitukset on suoritettu vuosina 1991 ja 2000. Havaintoalueet on pidetty pääosin samoina kuin aikaisemmissa selvityksissä. Osaa havaintoalueista jouduttiin käytännön syiden vuoksi siirtämään tai lakkauttamaan. Uusia havaintoalueita perustettiin 8 kpl VT5:den varteen ja Otanmäen lähettyville. Maastotyöt suoritettiin elokuussa 2015.

Indikaattorijäkälälajien määrä

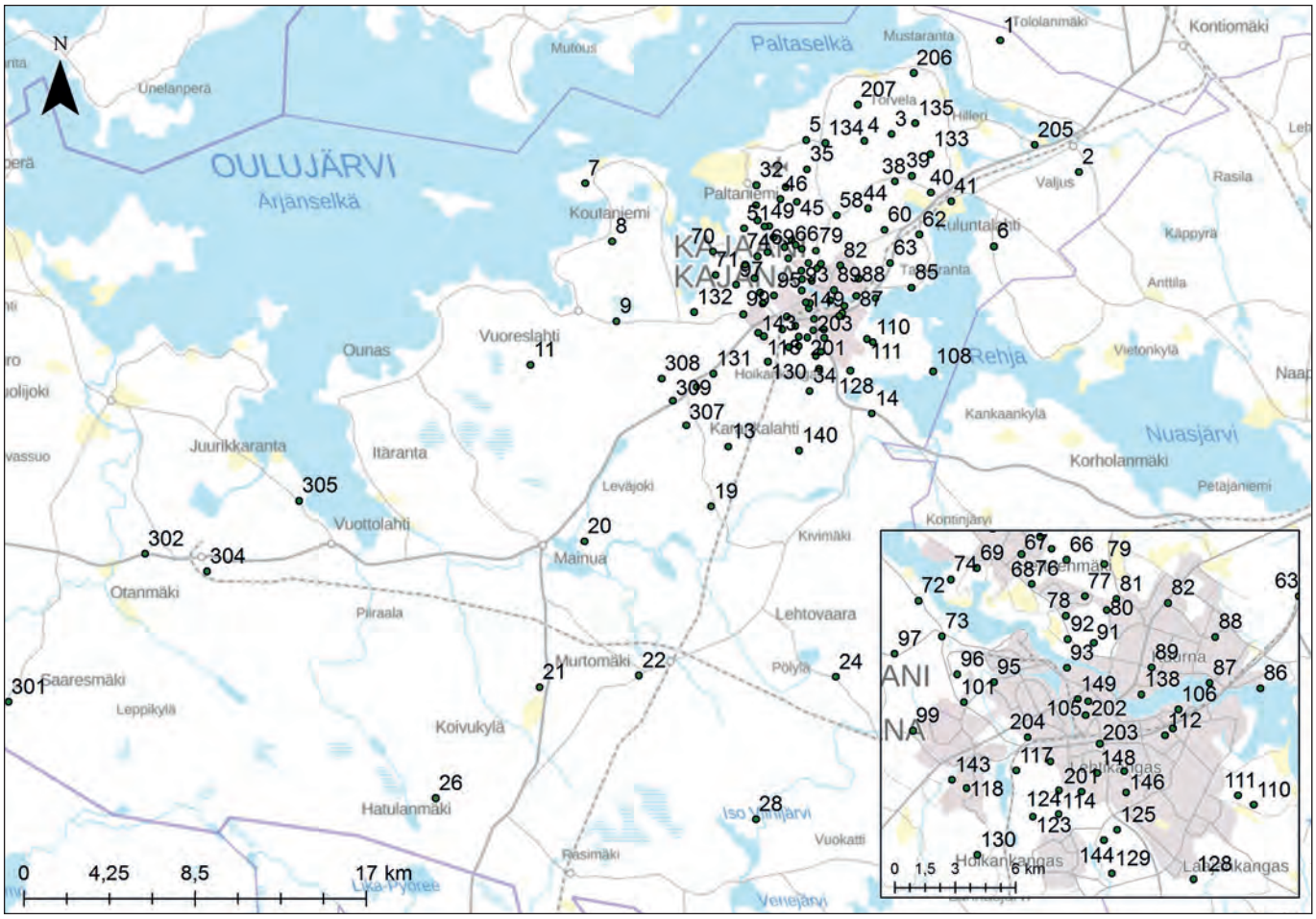
Indikaattorijäkälälajien määrä havaintoalueilla vaihteli leväpeite pois lukien kolmen ja yhdeksän välillä, keskiarvon ollessa 5,9 lajia. Vuoden 2000 kartoituksessa lajimäärät olivat vaihdelleet yhdestä kymmeneen keskiarvon ollessa 6,9. Näinollen lajimäärässä on tapahtunut pientä laskua. Määrissä ei suurta alueellista vaihtelua, mutta Auralan alueella ja Nakertajan suunnassa on myös lajimäärältään alhaisempaa aluetta.

Indikaattorijäkälälajien määrä kertoo ilman puhtaudesta: mitä enemmän lajeja esiintyy, sitä puhtaampaa ilma alueella on. Ilmansaasteiden vaikutusta pidetään selvänä, mikäli lajimäärä on laskenut neljään tai sen alle (Mäkinen ym. 1991). Alueita, joilla lajimäärä oli alle neljä, olivat Auralan alue ja sieltä Nakertajan suuntaan sekä Ammeniemi ja Hoikankankaan Rouvakangas. Alhainen jäkälälajiston määrä yhdellä Rouvakankaan havaintoalueista voi myös osittain selittyä pölyn vaikutuksesta, koska lajimäärä oli korkeampi Rouvakankaan muilla havaintoalueilla. Muita lajien määrään vaikuttavia tekijöitä ovat mm. metsän ikä ja puiden lajistorakenne.

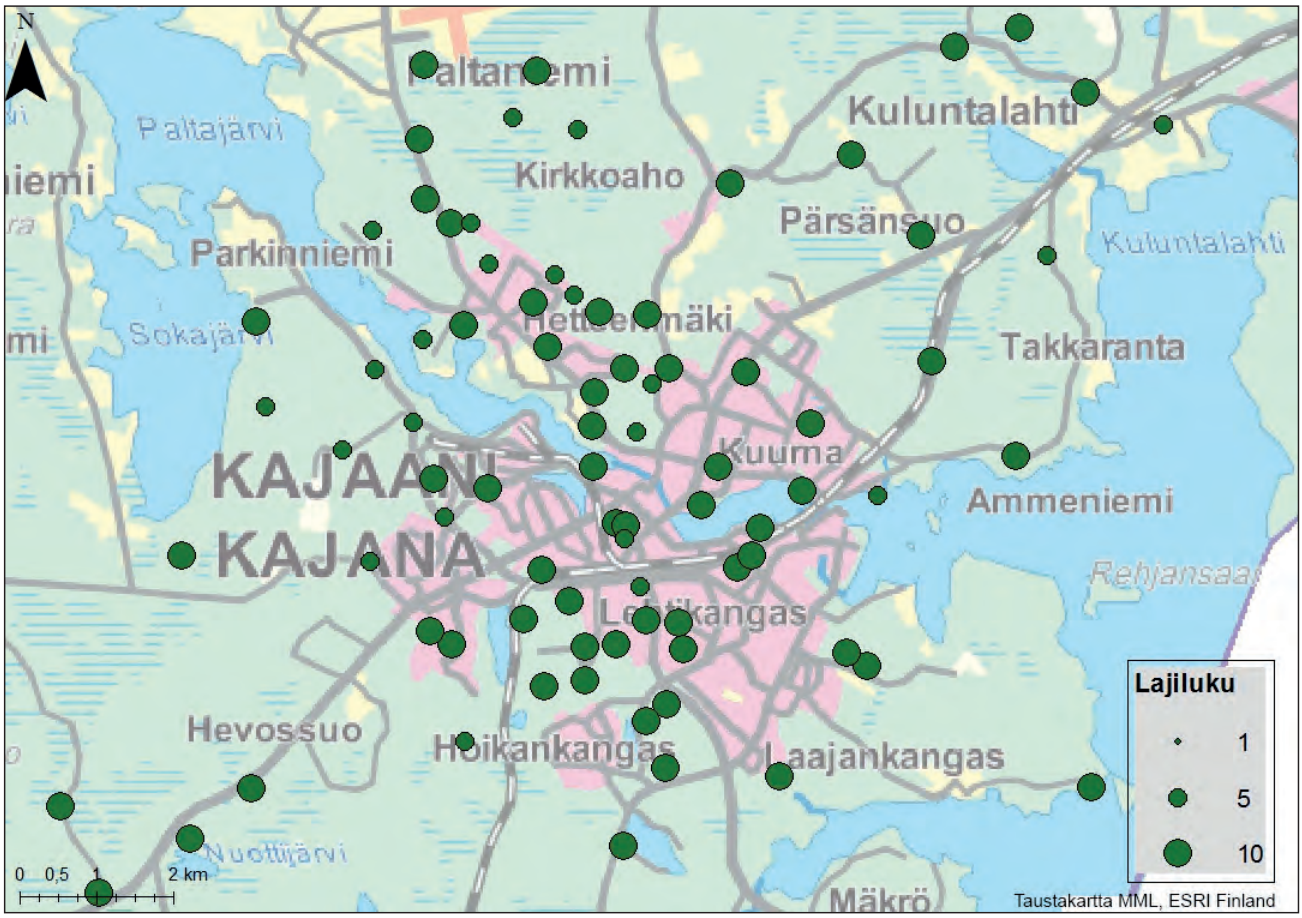
Indikaattorijäkälälajien määrä puuta kohti leväpeite mukaan laskettuna vaihteli 2,4 ja 6,8 välillä, keskiarvon ollessa 5,9. Vuoden 1998 kartoituksessa lajimäärä vaihteli 2,0 ja 7,8 välillä, keskiarvon ollessa 5,4. Keskiarvossa on tapahtunut pientä nousua, mutta lajimäärä vaikuttaa muuten hieman laskeneen. Lajimäärältään alhaisia alueita olivat Tihisenniemen alueelta länteen ja Nakertajan suuntaan, mutta myös Kuluntalahden suunnalla ja Huuhkajanvaaralla sekä Hoikankankaan ympäristössä. Keskustan alueella lajimäärä nousi monessa paikassa yli viiteen.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

Jäkäläkartoituksessa tavattiin Kajaanin kunnan alueella kaikkia indikaattorijäkälälajeja raidanisokarvetta lukuun ottamatta. Sormipaisukarpeen esiintyminen on määrällisesti hieman huonontunut vuoden 2000 kartoitukseen verrattuna. Tosin kartoituksessa löytyi vain kaksi paikkaa joissa sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssi ei ollut 5: Auralan kompostin alue (frekvenssi 2) sekä kaupungin ydinkeskustan lähellä oleva havaintoalue (frekvenssi 4). Ydinkeskustan havaintoalueella esiintyvyyteen vaikuttanee myös havaintoalueen elinolosuhteet, sillä kyseessä



Havaintoalueiden sijainnit Kajaanin alueella vuonna 2015.



Indikaattorijäkälälajien määrä Kajaanin alueella vuonna 2015.

oli vanha puistomännikkö. Auralan kompostin alueella havaintoalueen metsä vaikutti iän, tiheyden ja lajistorakenteen puolesta jäkälille suotuisalta elinympäristöltä joten ilmapäästöjen vaikutus oli ilmeinen.

Keltatyvikarpeen esiintyvyys on parantunut vuosien saatossa, samoin kuin harmaatyvi- ja tuhkakarpeella. Lupoilla esiintyvyys on heikentynyt, samoin naavoilla. Usealla lajilla, kuten ruskoröyhelöllä, lupoilla ja naavoilla, määrä on kasvanut vuoden 1991 kartoituksesta vuoden 2000 kartoitukseen mennessä mutta sen jälkeen se on uudestaan laskenut. Keltaröyhelön esiintyvyydessä muutokset ovat samansuuntaisia mutta vaihtelu on pienempää. Seinäsuomujäkälän määrä on ollut hienoisessa kasvussa. Raidanisokarvetta ei havaintoalueilta löytynyt tässäkään selvityksessä.

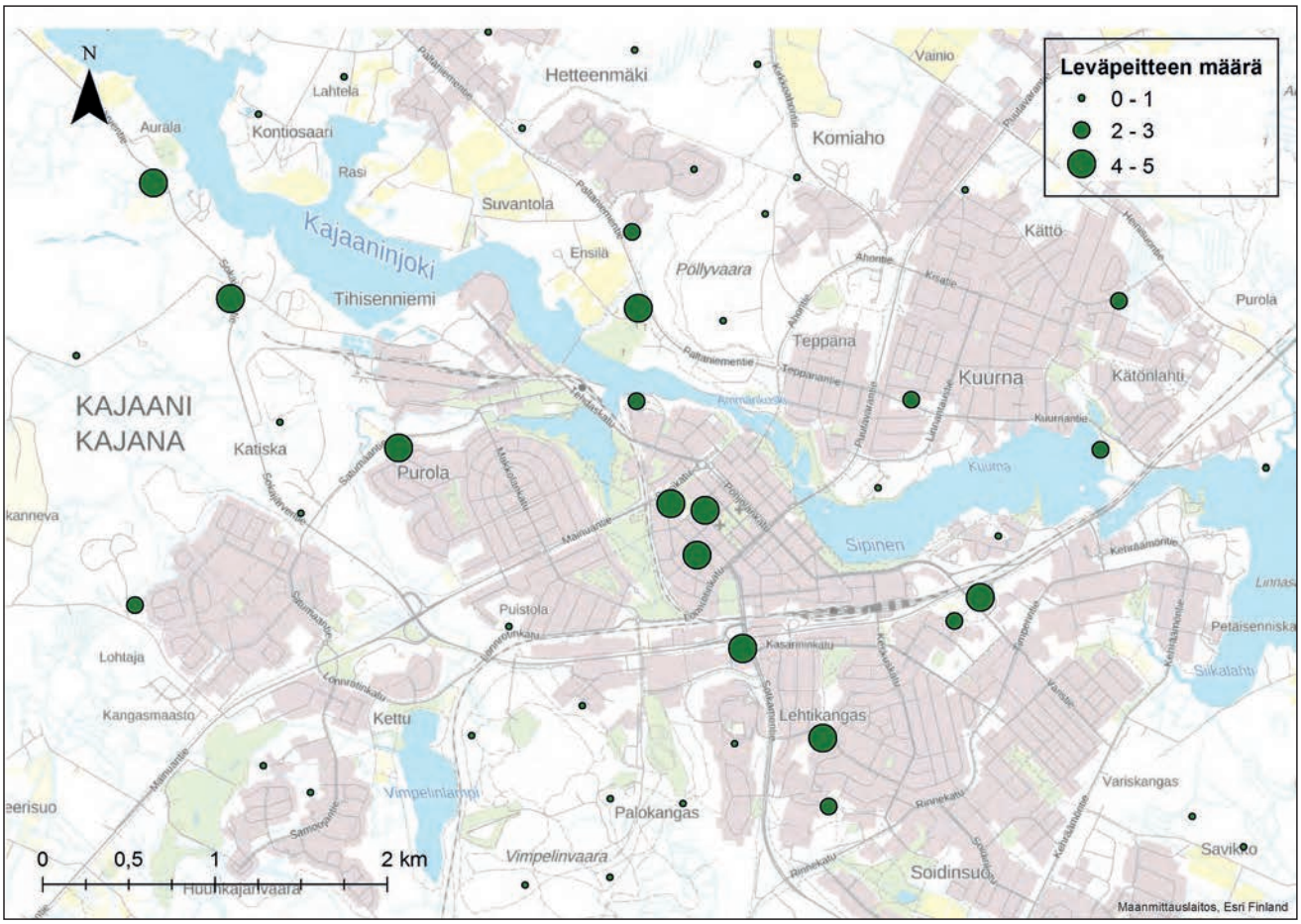
Leväpeite on prosentuaalisesti vähentynyt Kajaanin alueella aikaisempien selvityksien tuloksiin verrattaessa. Leväpeitettä esiintyy keskustan alueella, Auralan suunnalla sekä Nakertajassa, Hetteenmäessä, Lehtikankaan ja Kylmän alueella sekä Kuurnassa, Kätössä ja Komiahossa. Leväpeite kertoo mm. autojen ilmapäästöjen, teollisuuden, maatalouden jne. typen lannoittavasta vaikutuksesta. Leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän määrä usein aliarvioituu kartoituksissa johtuen niiden tavasta kasvaa puun tyvestä ylöspäin, jolloin ne useimmiten esiintyvät alle yhden metrin korkeudella, eivätkä näinollen tule lasketuksi mukaan.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli 0 % ja 35,0 % välillä, keskiarvon ollessa 11,6 %. Vuoden 2000 selvityksessä peittävyys vaihteli 0,0 % ja 44,7 % välillä, keskiarvon ollessa 12,4 %. Sormipaisukarpeen peittävyydessä on tapahtunut niin vähäisiä muutoksia että peittävyyttä voidaan pitää likimain samana kuin vuonna 2000. Ainoa paikka jossa peittävyys oli 0 %, oli Auralan kompostialueen läheinen havaintoalue. Vuonna 2000 kyseisellä havaintoalueella sormipaisukarpeen peittävyys on ollut 56.

Kajaanin kaupunkialueen ulkopuolella sormipaisukarpeen alhaisia peittävyyksiä oli havaittavissa Otanmäen taajaman keskellä sekä Auralan kompostialueen ja Majasaaren kaatopaikan läheisyydessä.

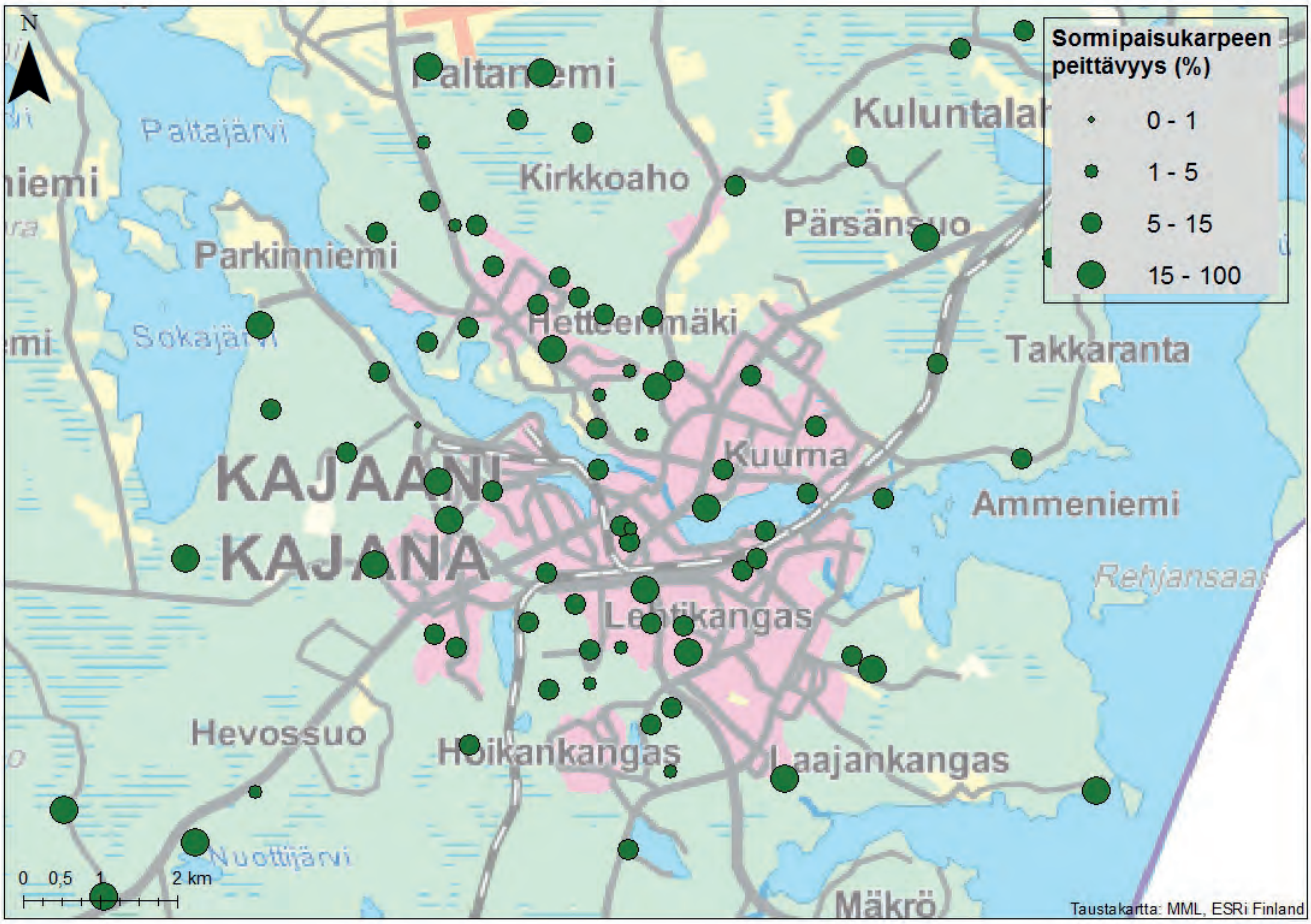
Luppojen peittävyys, vaihteli 0 % ja 8,5 % välillä, keskiarvon ollessa 0,5 %. Vuonna 2000 luppojen peittävyys vaihteli 0 % ja 14,5 % välillä, keskiarvon ollessa 2,1 %. Tulokset todennäköisesti johtuvat erilaisesta arviointitavasta, muiden parametrien osoittaessa jäkälälajiston parantumista. Keskusta-alueen muutamien havaintoalueiden luppojen suuret peittävyydet johtuvat todennäköisesti keskustan typpipitoisesta kuormituksesta sekä hyvistä paikallisista kasvupaikkaolosuhteista. Varsinaisia alueellisia vaihteluita ei ollut havaittavissa.



Leväpeitteen esiintyminen Kajaanin alueella vuonna 2015.

Taulukko 6.4. Indikaattorijäkälälajien esiintyminen mäntyjen rungoilla Kajaanissa vuonna 2015. Mukana ovat vain ne havaintoalueet jotka ovat olleet mukana myös aikaisemmissa selvityksissä, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	98,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,9	2,8	96,3
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	1,9	1,9	8,3	87,9
Lupot	27,8	17,6	14,8	11,1	13,00	15,7
Naavat	44,4	22,2	16,7	8,3	7,5	0,9
Harmaaröyhelö	64,8	12,0	10,2	8,3	2,8	1,9
Keltaröyhelö	28,7	14,8	21,3	12,0	9,3	13,9
Ruskoröyhelö	91,6	5,6	1,9	0,9	0,0	0,0
Hankakarve	90,7	5,6	2,8	0,9	0,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	61,1	17,6	7,4	3,7	1,9	8,3
Leväpeite	60,18	6,5	3,7	12,0	9,3	8,3



Sormipaisukarpeen peittävyys Kajaanin alueella vuonna 2015.

Luppojen peittävyys Kajaanin alueella vuonna 2015.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Selvimmät ilmanlaadun vaikutukset sormipaisukarpeen vaurioasteisiin ovat keskustan alueella, Auralan kompostialueen läheisyydessä sekä Majasaaren kaatopaikan lähettyvillä. Auralan kompostialueen läheinen jäkäläautio johtuu todennäköisesti kompostoinnista tulevista päästöistä, jotka vaikuttavat lähialueen kasvupaikka-olosuhteisiin. Majasaaren kaatopaikan läheisellä koealueella ei varsinaista jäkäläautiota tavattu mutta sormipaisuakarpeissa oli havaittavissa selviä vaurioasteita. Kartoitustuloksia verrattaessa on otettava huomioon havainnoijasta riippuvaiset erot sormipaisukarpeen vaurioasteessa. Selvät vauriot ovat helpoimmin havaittavissa, kun taas lievästi vaurioisien erottaminen vaurioitumattomista voi olla ongelmallisempaa. Tulosten luotettavuus kasvaa mikäli kartoitukset tekee sama henkilö.Sormipaisukarpeen vaurioasteet esitettynä luokittain taulukossa 6.5.

Indikaattorijäkälälajien muodostamat vyöhykkeet

Jäkäläkartoituksen tuloksien perusteella pyrittiin erottelemaan vyöhykkeet, joissa havaintoalueen useimmat ehdot täyttyisivät.

Lähellä jäkäläautiota oleva vyöhyke

- epifyyttijäkälälajien kokonaismäärä leväpeite poislukien >4
- näytepuuta kohti laskettu indikaattorilajien määrä 3 tai vähemmän
- herkät, suhteellisen herkät lajit ja osa suhteellisen kestävistä lajeista puuttuivat
- levää käytännöllisesti katsoen kaikilla näytepuilla
- sormipaisukarpeen peittävyys <1%:n ja luppojen peittävyys 0%
- sormipaisukarve pahoin tai selkeästi vaurioitunutta

Välialue

- epifyyttijäkälien kokonaismäärä leväpeite poislukien 4–5
- näytepuuta kohti laskettu indikaattorilajien määrä 3–4
- herkkiä lajeja niukasti tai ei ollenkaan ja suhteellisen herkkiä lajejakin suhteellisen vähän
- leväpeitettä useimmilla puilla
- sormipaisukarpeen peittävyys yleensä 1–5 % ja luppojen 0–1 %
- sormipaisukarve lievästi tai korkeintaan selvästi vaurioitunutta

Taisteluvyöhyke

- epifyyttijäkälälajien kokonaismäärä leväpeite poislukien yleisesti 5–6
- näytepuuta kohti laskettu indikaattorilajien määrä yleisesti 4–5
- herkkiä lajeja ja paikoin suhteellisen herkkiä lajejakin yleensä suhteellisen vähän
- leväpeitettä muutamilla puilla
- sormipaisukarpeen peittävyys yleensä jo >5 % ja luppojen peittävyys 0–2 %
- sormipaisukarve lievästi vaurioitunutta

Tausta-alue

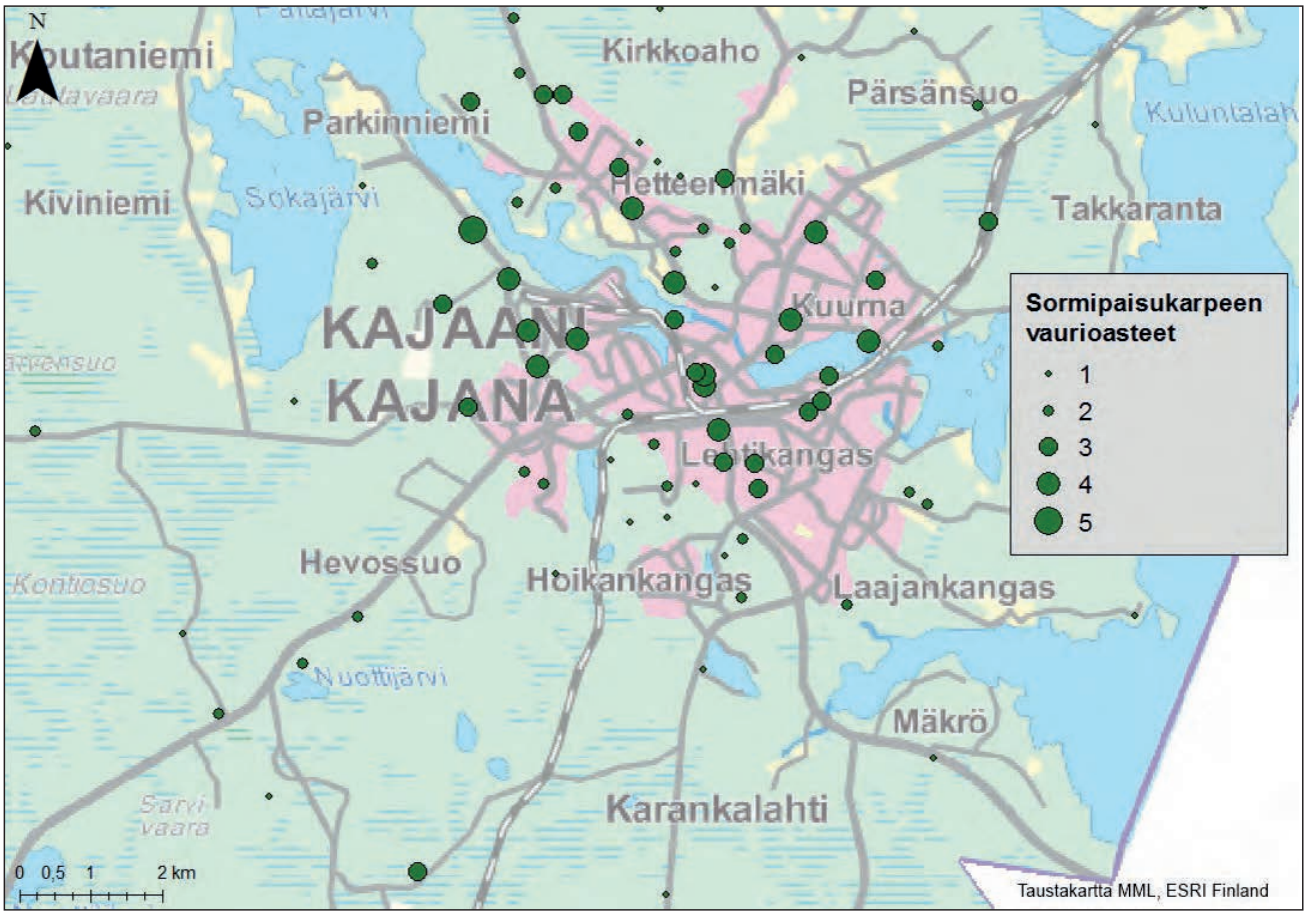
- epifyyttijäkälälajien kokonaismäärä leväpeite poislukien vähintään 7
- näytepuuta kohti lasketti indikaattorijäkälälajien määrä vähintään 5
- herkkiä ja suhteellisen herkkiä lajeja yleisesti
- sormipaisukarpeen peittävyys yleisesti >5% ja luppojen peittävyys >1%
- leväpeitettä ei esiinny
- sormipaisukarpeessa ei vaurioita

Johtopäätökset

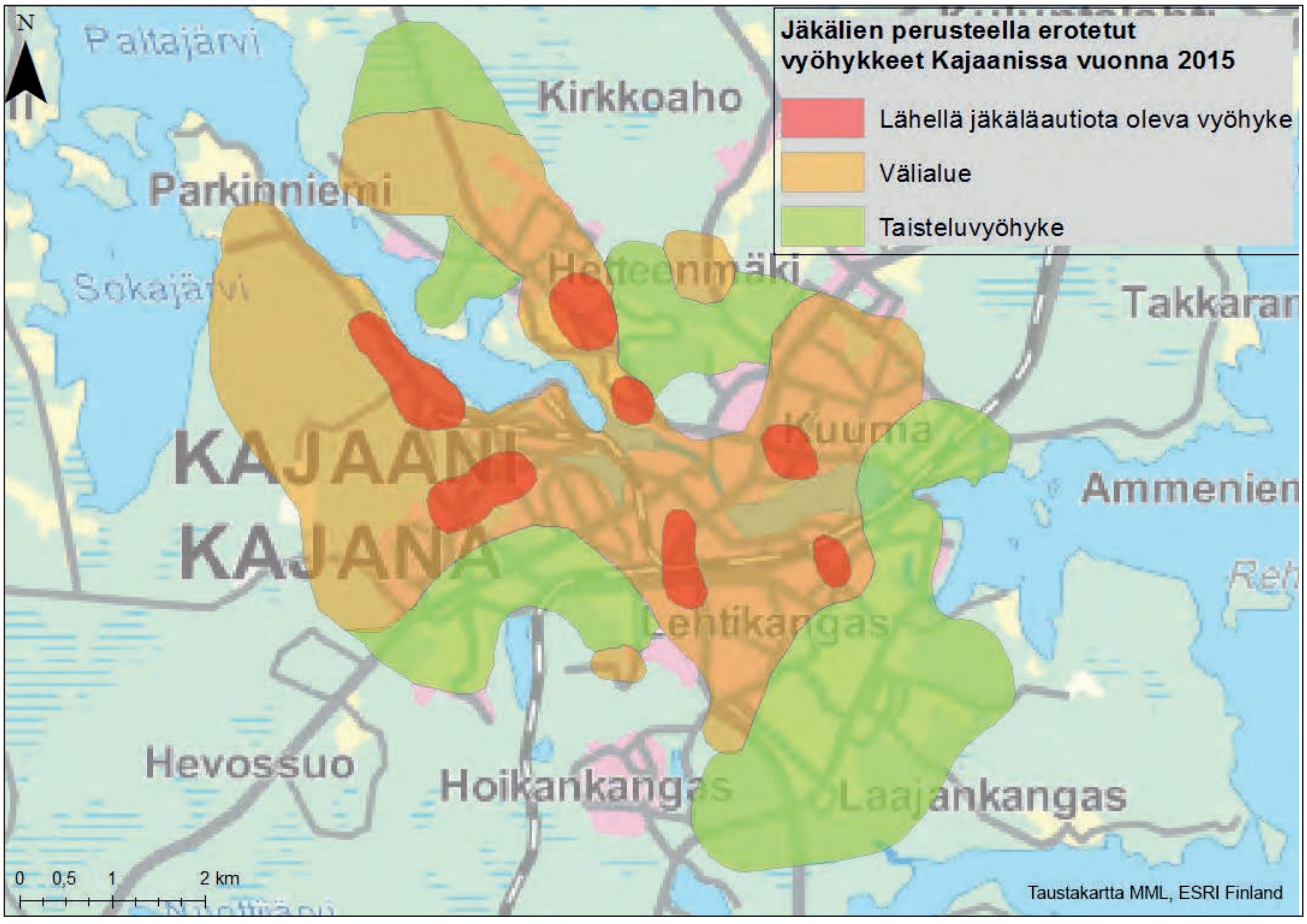
Kajaanin alueen jäkäläkartoituksessa havaittiin keskusta-alueen jäkälälajiston lähteneen elpymään edelliseen selvitykseen verrattuna. Keskustan ilmanlaatu on todennäköisesti parantunut. Lajimäärä on tosin keskusta-alueen ulkopuolella laskenut. Muutos voi johtua todennäköisesti metsätalouden vaikutuksesta epifyyttijäkälien kasvupaikka-olosuhteisiin. Yksinkertaistamalla metsien lajisto- ja ikärakennetta myös jäkälälajisto köyhtyy (esim. Callaway ym. 2001, Aragón ym. 2010, Hauck 2011). Yksi selittävä tekijä voivat myös olla typpipäästöt, joiden on todettu pitkällä aikavälillä köyhdyttävän jäkälälajistoa (esim. Ström 2011). Samankaltainen suuntaus on ollut havaittavissa myös Kuopiossa toteutetussa jäkäläkartoituksessa (Rundgren 2013). Selkeimmät ilmapäästöjen luontovaikutukset olivat havaittavissa Majasaaren kaatopaikan ja Auralan kompostialueen ympärillä. Auralan kompostialueen jäkäläautio voi olla myös perua aikaisempien päästöjen vaikutuksesta. Muutoin Tihisenniemen alueella oli havaittavissa parannusta lajistossa. Tihisenniemen alueella ja sen länsipuolella sekä Nakertajan suunnassa on nähtävissä viitteitä päästöjen vaikutuksista useammalla parametrilla tarkasteltuna. Valtatie viiden vaikutukset eivät kartoituksen mukaan yllä kauas tien läheisyydestä. Luppojen peittävyys ja frekvenssi ovat laskeneet edelliseen kartoituskertaan verrattuna, mutta eroavaisuus voi johtua arviointitavasta.

Taulukko 6.5. Sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurioaste Kajaanissa vuonna 2015. Mukana ovat vain ne havaintoalueet jotka ovat olleet mukana myös aikaisemmissa selvityksissä, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
42,6	26,8	18,5	11,1	1,0



Sormipaisukarpeen vaurioasteiden jakautuminen Kajaanissa vuonna 2015.



Indikaattorijäkäläkartoituksen perusteella erotetut vyöhykkeet Kajaanissa vuonna 2015.

Havaintoalueet Kuhmossa

Kuhmossa oli 29 havaintoaluetta. Havaintoalueet olivat suurin piirtein samoja kuin vuonna 2000. Kuhmon keskustaajamassa ja sen välittömässä läheisyydessä sijaitsi 10 havaintoaluetta, loppujen 19 havaintoalueen sijaitessa eri puolilla kuntaa. Maastotyöt suoritettiin heinäkuussa 2015.

Indikaattorijäkälälajien määrä

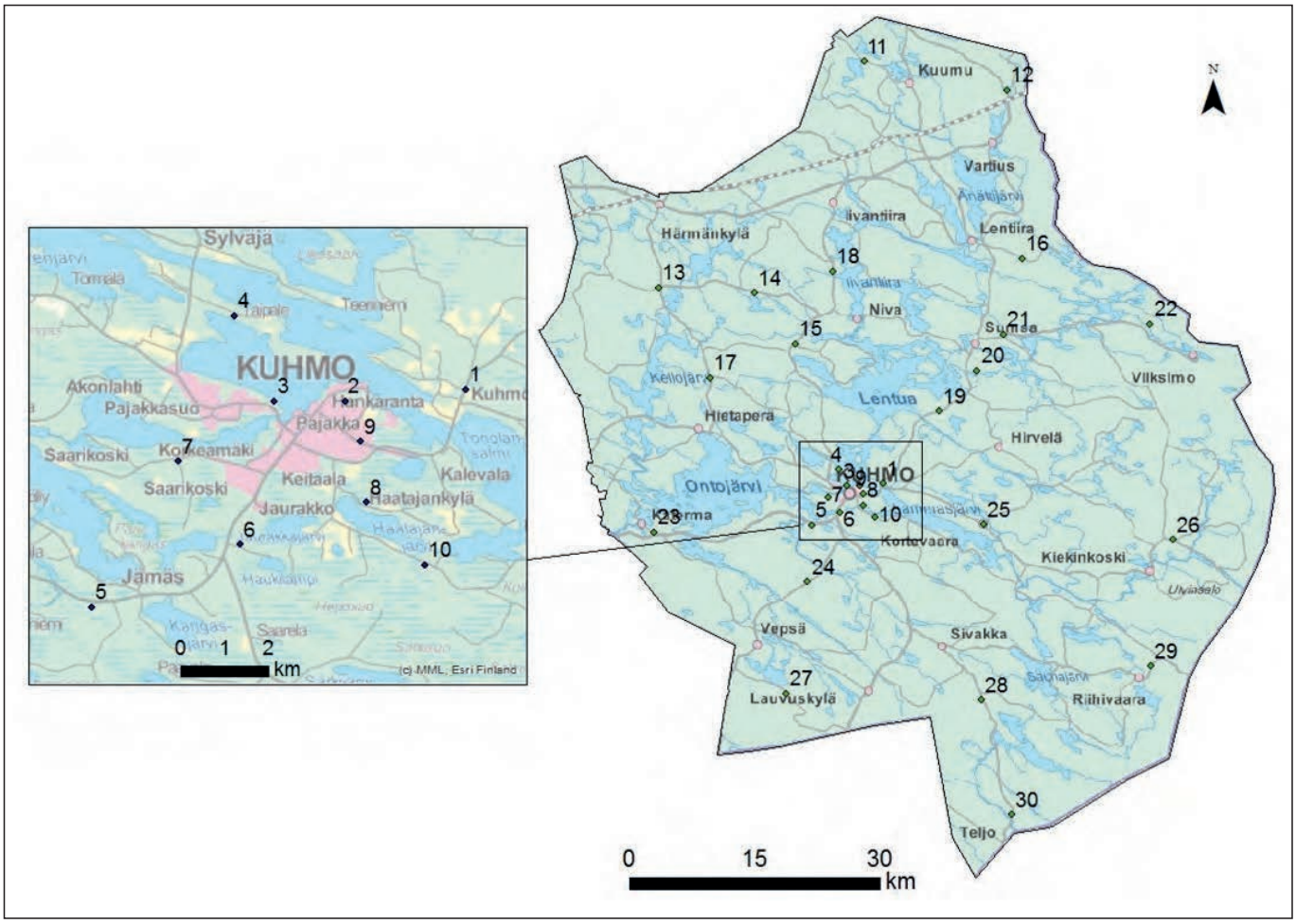
Indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli viiden ja yhdeksän välillä, keskiarvon ollessa 6,7. Vuonna 2000 indikaattorijäkälälajien määrä on vaihdellut viidestä yhdeksään, keskiarvon ollessa 7,1. Vaihteluväli on pysynyt samana mutta keskiarvo on hieman laskenut. Alueellisia eroavaisuuksia ei ollut havaittavissa vaan lajimäärä vaihteli tasaisesti kunnan ympäri. Muutamalla keskustan alueen havaintoalueella oli huomattavan korkea lajimäärä, jopa 9. Heti keskustaajaman ulkopuolella lajiluku laski kahdella havaintoalueella viiteen, lähtien taas nousuun normaaliin taustaaluelukemiin, vähintään 7 lajia.

Ilmansaasteiden vaikutuksen katsotaan olevan ilmeinen, kun lajimäärä on havaintoalueella alle 4 (Mäkinen ym. 1991). Yhdelläkään Kuhmon kunnassa sijaitsevalla havaintoalueella lajimäärä ei jäänyt alle neljään. Näinollen ei voida lajimäärän perusteella erottaa alueita joilla ilmansaasteilla olisi luontovaikutuksia.

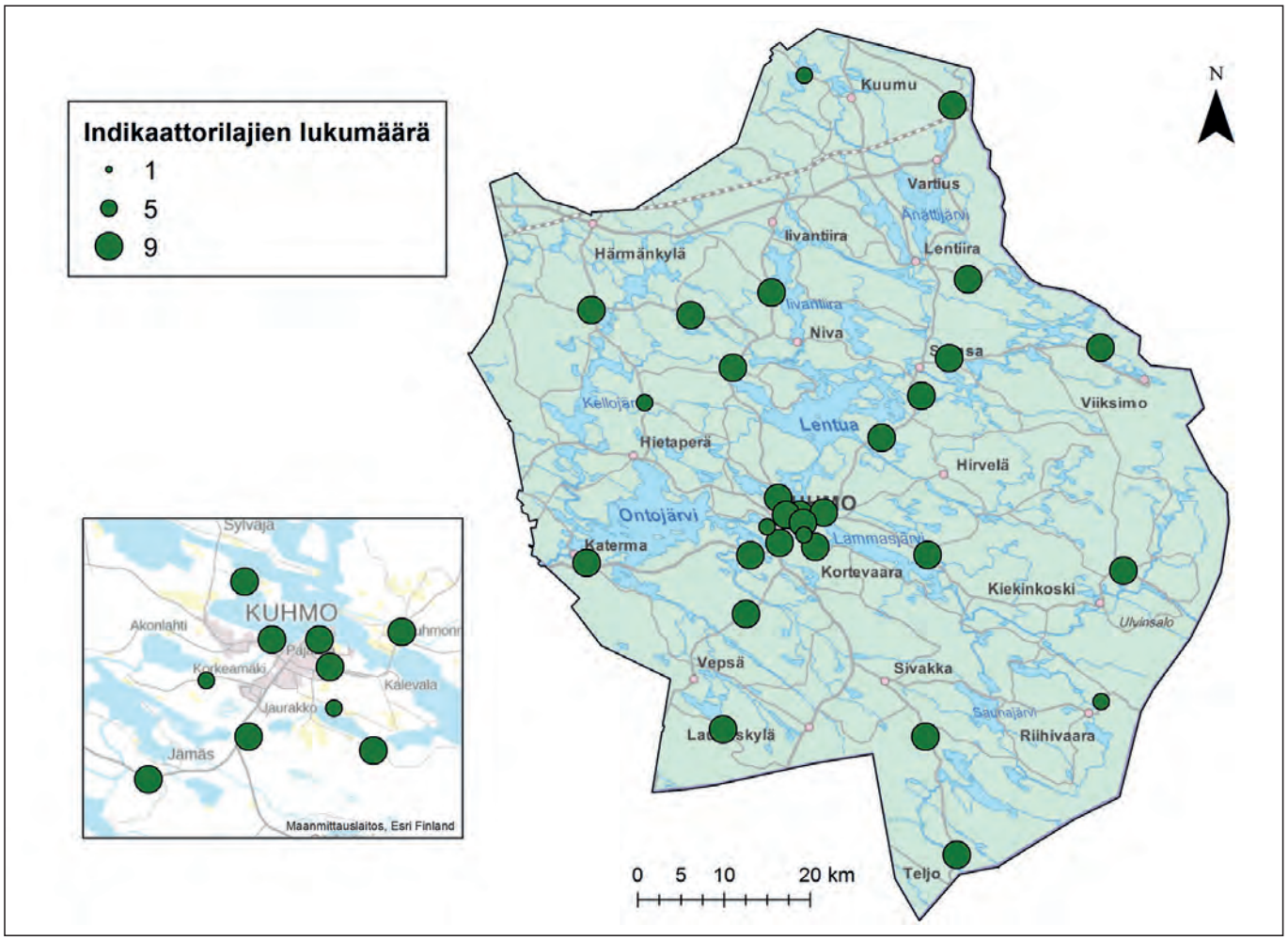
Havaintoalueen näytepuuta kohden indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli 3,8 ja 6,6 välillä. Keskiarvo puuta kohti oli 5,2 lajia. Vuonna 2000 indikaattorijäkälälajien määrä havaintoalueen puuta kohden vaihteli 4,4–7,0 välillä, keskiarvon ollessa 5,6. Vuoteen 2015 mennessä sekä vaihteluväli että keskiarvo ovat laskeneet. Näytepuuta kohden lasketussa indikaattorilajien määrässä ei havaittu alueellisia vaihteluita jotka olisivat kertoneet ilman huonosta laadusta. Lajikeskiarvo näytepuuta kohti jäi alle viiden kymmenellä havaintoalueella, kun vuonna 2000 se jäi alle viiden vain viidellä havaintoalueella. Kolme näistä kymmenestä havaintoalueesta sijaitsi juuri Kuhmon keskustaajaman ulkopuolella, loppujen seitsemän sijaitessa vaihtelevasti ympäri kuntaa.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

Indikaattorijäkälälajien esiintymisfrekvenssit on lueteltuna taulukossa 6.6. Sormipaisukarpeen, keltatyvikarpeen sekä harmaatyvi- ja tuhkakarpeen esiintyminen ovat pysyneet samoina vuodesta 2000. Ilmanlaadulle herkkien indikaattorilajien, luppojen ja naavojen määrässä on tapahtunut pientä laskua vuodesta 2000. Luppojen ja naavojen esiintymisessä ei ollut havaittavissa ilmapäästöistä johtuvaa alueellisuutta. Samoin pientä laskua on myös harmaaröyhelön määrässä vuodesta 2000. Hankakarpeen määrä oli hieman kasvanut verrattuna vuoteen 2000. Raidanisokarvetta ei havaittu tässäkään kartoituksessa.



Havaintoalueet Kuhmon alueella vuonna 2015.



Indikaattorijäkälälajien määrä Kuhmon kunnan alueella.

Ruskoröyhelö on vähentynyt vuodesta 2000. Ruskoröyhelöä tavattiin kuudelta eri havaintoalalta, eikä sijainneissa ollut mitään säännönmukaisuuksia. Keltaröyhelön määrät ovat lisääntyneet vuoden 2000 määristä. Keltaröyhelö voi jopa hyötyä ravinnelisäyksestä, joka voisi selittää sen määrän kasvua. Toisaalta sekä ruskoröyhelö että keltaröyhelö eivät välttämättä ole parhaita yksittäisiä ilmanlaadun indikaattorijäkäliä vaihtelevan esiintymisensä vuoksi.

Seinäsuomujäkälän määrä on ollut lievässä kasvussa vuodesta 2000. Tämä kertonee ilman kasvaneesta ravinnekuormituksesta. Laji viihtyy yleensä iäkkäiden mäntyjen tyviosassa ilmentäen kasvualustan ja ilman typpipitoisuutta. Seinäsuomujäkälän määrä tavataan aliarvioida kartoituksissa, joissa lajimäärä arvioidaan 1–2 metrin korkeudelta, seinäsuomujäkälän useimmiten esiintyessä alle 1 m korkeudella puun tyvestä. Leväpeitettä ei havaittu Kuhmon havaintoalueilta vuonna 2000, eikä sitä havaittu tässäkään kartoituksessa.

Taulukko 6.6. Indikaattorijäkälälajien esiintyminen mäntyjen rungoilla Hyrynsalmella vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	16,7	6,7	10,0	13,3	33,3	20,0
Naavat	13,3	6,8	20,0	23,3	23,3	13,3
Harmaaröyhelö	36,7	23,3	13,3	10,0	10,0	6,7
Keltaröyhelö	23,3	3,3	16,7	10,0	26,7	20,0
Ruskoröyhelö	76,7	13,4	3,3	3,3	3,3	0,0
Hankakarve	80,0	10,0	3,3	6,7	0,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	83,3	3,3	6,7	6,7	0,0	0,0
Leväpeite	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Keltaröyhelö.

Tuhkakarve.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli välillä 4,2 %–36,5 % keskiarvon ollessa 14,7 %. Vuonna 2000 sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli välillä 0,2 %–26,6 % keskiarvon ollessa 6,7 %. Sormipaisukarpeen peittävyys on kasvanut vuodesta 2000. Peittävyys ei jäänyt alle 1 % yhdelläkään havaintoalueista. Sormipaisukarpeen peittävyys on jakautunut kohtalaisen tasaisesti ympäri kuntaa eikä ilmansaasteiden vaikutuksesta kertovaa alueellisuutta ollut havaittavissa.

Luppojen peittävyys vaihteli välillä 0 %–3,9 % keskiarvon ollessa 0,7 %. Vuonna 2000 luppojen peittävyys vaihteli välillä 0,0–4,3 %, keskiarvo oli 1,1 %. Luppojen peittävyys on laskenut vuodesta 2000. Luppojen peittävyydessä ei havaittu ilmansaasteista kertovia alueellisia piirteitä. Todennäköisesti erot luppojen peittävyyden osalta johtuvat eroavaisuuksista peittävyyden arviointitavoissa, eivätkä näin ollen kerro ilmanlaadun kehityksestä.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

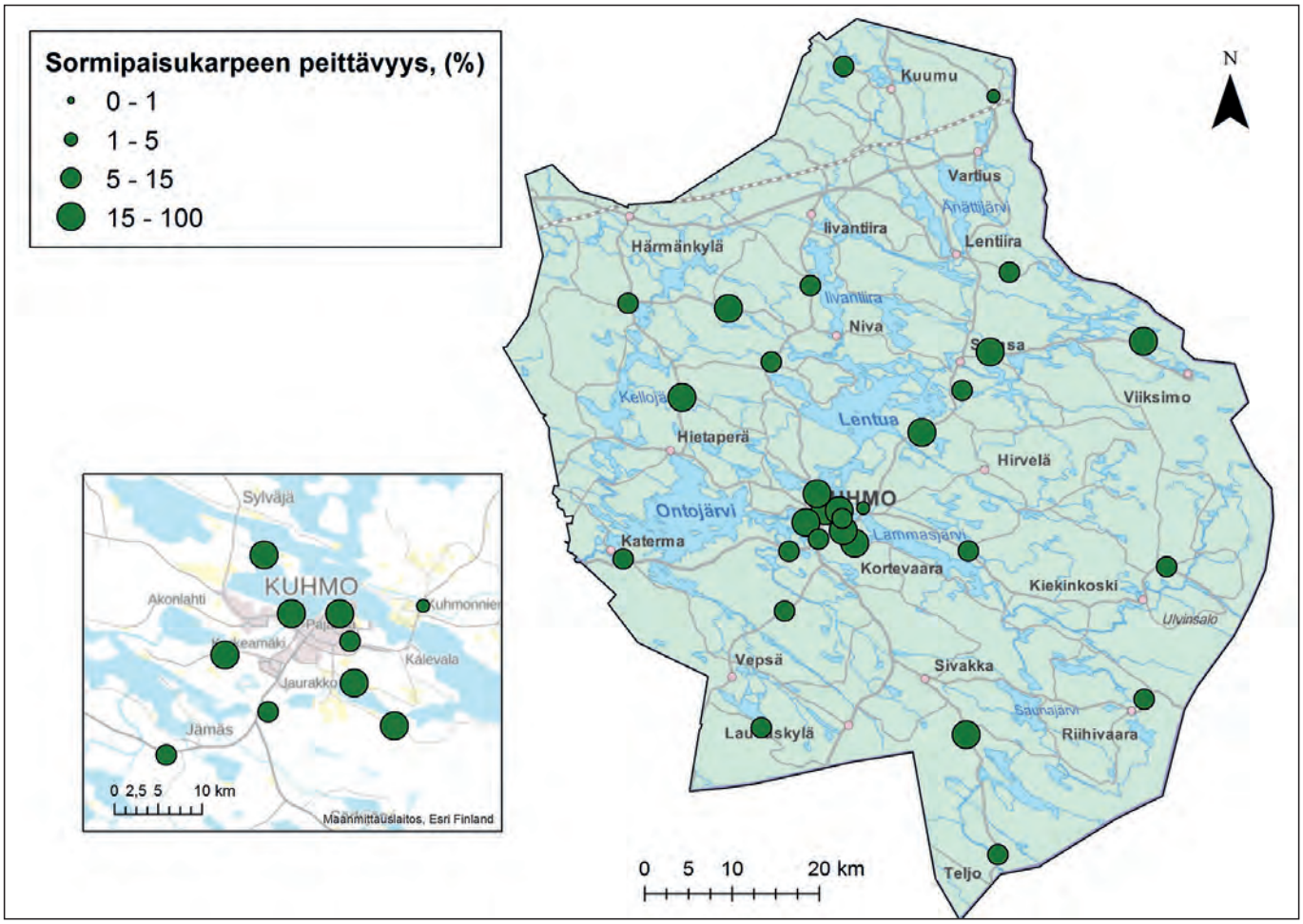
Sormipaisukarve oli selvästi vaurioitunutta Kuhmon keskustan alueen havaintoalueilla. Lieviä vaurioita sormipaisukarpeessa oli havaittavissa keskustaajaman ulkopuolella. Muualla Kuhmon kunnan alueella sormipaisukarve oli normaalia. Vuoden 2000 tuloksiin verrattuna hieman enemmän sormipaisukarvetta luokiteltiin vaurioluokkiin kaksi ja kolme, eli lievä ja selvä vaurio. Erot vuoden 2000 tuloksiin voivat johtua myös eroista arviointitavoissa.

Johtopäätökset

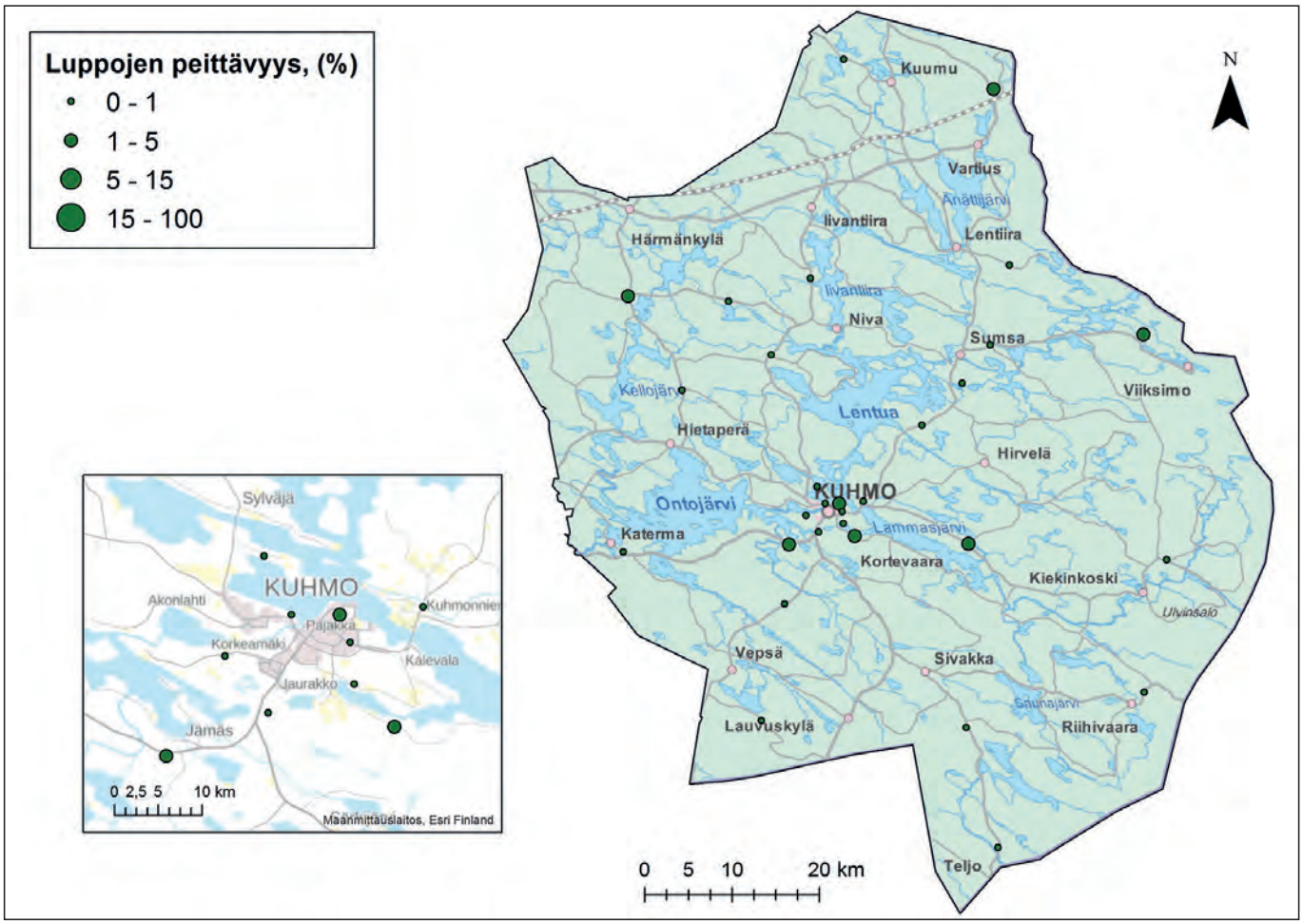
Kuhmon alueen havaintoalueiden lajimäärä oli pysynyt suunnilleen samana vuoteen 2000 verrattuna, lajimäärän keskiarvo oli hieman laskenut. Lajimäärissä ei havaittu ilmansaasteista kertovaa alueellisuutta, eikä lajimäärä laskenut alle neljän yhdelläkään havaintoalueella. Näin ollen lajimäärän perusteella ei erotettu ilman epäpuhtauksien vaikutusalueita. Näytepuuta kohti laskettu indikaattorilajien määrässä vaihteluväli ja keskiarvo olivat hieman laskeneet, mutta ilmansaasteista kertovaa alueellisuutta ei ollut havaittavissa. Lajien esiintyminen oli pysynyt lähestulkoon samana kuin vuonna 2000, eikä leväpeitettä ei havaittu tässäkään kartoituksessa. Sormipaisukarpeen peittävyys oli kasvanut reilusti vuoteen 2000 verrattuna. Luppojen peittävyys oli laskenut, mutta tulos johtuu todennäköisesti arviointitapaan liittyvistä eroavaisuuksista eikä näinollen kerro ilman laadusta. Sormipaisukarpeen vaurioitumisen perusteella voidaan päätellä keskusta-alueen ja vilkasliikenteisimpien teiden liikenteellä ja muilla taajama-alueen toiminnoilla olevan lieviä vaikutuksia epifyyttijäkäliin. Vaikutukset selviävät lähinnä lievinä ja selvinä vaurioina sormipaisukarpeessa. Ilman epäpuhtaudet ovat kuitenkin lieviä, minkä osoittaa keskustan havaintoalueiden runsas jäkälälajisto, joka sisälsi myös herkimpiä epifyyttijäkälälajeja. Keskustaajaman ulkopuolellakaan ei havaittu merkkejä ilmansaasteiden vaikutuksista epifyyttijäkäliin, vaan havaintoalueilta havainnoidut indikaattorijäkälämäärät vastasivat lähes kaikkialla normaalia tausta-alueen lajimäärää. Vaihtelu johtui todennäköisimmin lähinnä kasvupaikkatekijöistä.

Taulukko 6.7. Sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurioitumisaste Kuhmossa vuonna 2015, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
73,3	16,7	10,0	0,0	0,0



Sormipaisukarpeen peittävyys Kuhmon alueella.



Luppojen peittävyys Kuhmon alueella.

Havaintoalueet Paltamossa

Paltamon kunnan alueella sijaitsee 19 havaintoaluetta, joista viisi sijaitsee kunnan keskustaajamassa tai sen läheisyydessä. 14 havaintoaluetta sijaitsee keskustaajaman ulkopuolella eri puolilla kuntaa. Jäkäläkartoitus Paltamon alueella suoritettiin heinäkuussa 2015.

Indikaattorijäkälälajien määrä

Indikaattorijäkälälajien määrä ilman leväpeitettä vaihteli Paltamon alueella viidestä kahdeksaan, keskiarvon ollessa 6,8. Vuonna 2000 indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli 6 ja 10 välillä. Keskiarvo oli 7,3. Kokonaisuutena lajimäärät olivat hieman laskeneet. Jäkälien lajimäärän perusteella ei voitu erottaa alueita, joilla olisi ilmeisiä ilmansaasteiden vaikutuksia. Korkeahko lajimäärä keskustaajaman alueella viitannee päästöjen ravinnelisäyksen lajimäärää kasvattavaan vaikutukseen.

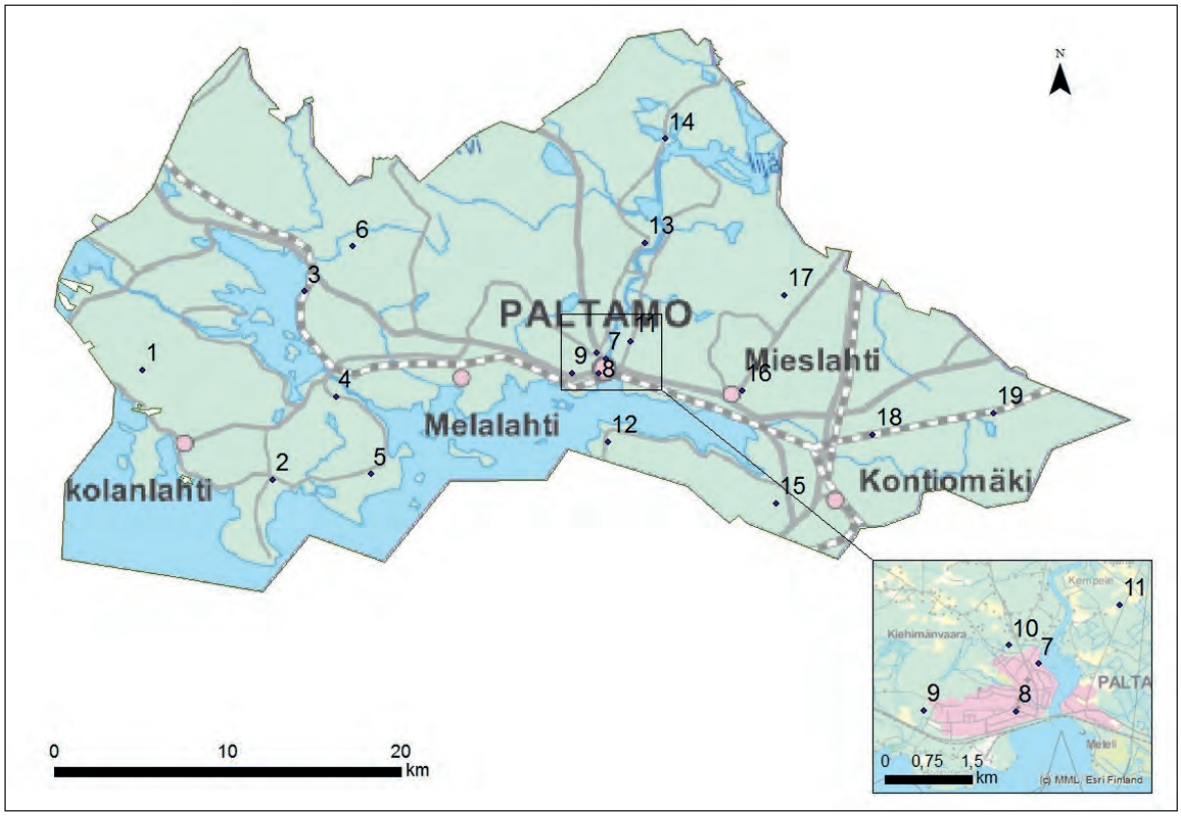
Muualla kunnassa lajimäärän muutoksia selittävät tekijät löytyvät kasvupaikkatekijöistä.

Lajiluku havaintoalan näytepuuta kohti leväpeite mukaan laskettuna vaihteli 3,6 ja 6,6 välillä, keskiarvon ollessa 5,1. Vuonna 2000 indikaattorijäkälälajien määrä näytepuuta kohti leväpeite mukaan laskettuna vaihteli 4,2–7,0 välillä, keskiarvo oli 5,7. Vaihteluväli ja keskiarvo ovat siis hieman laskeneet. Paltamon keskustaajaman alueella lajimäärät näytepuuta kohden vaihtelivat 6,6 ja 4,6 välillä.

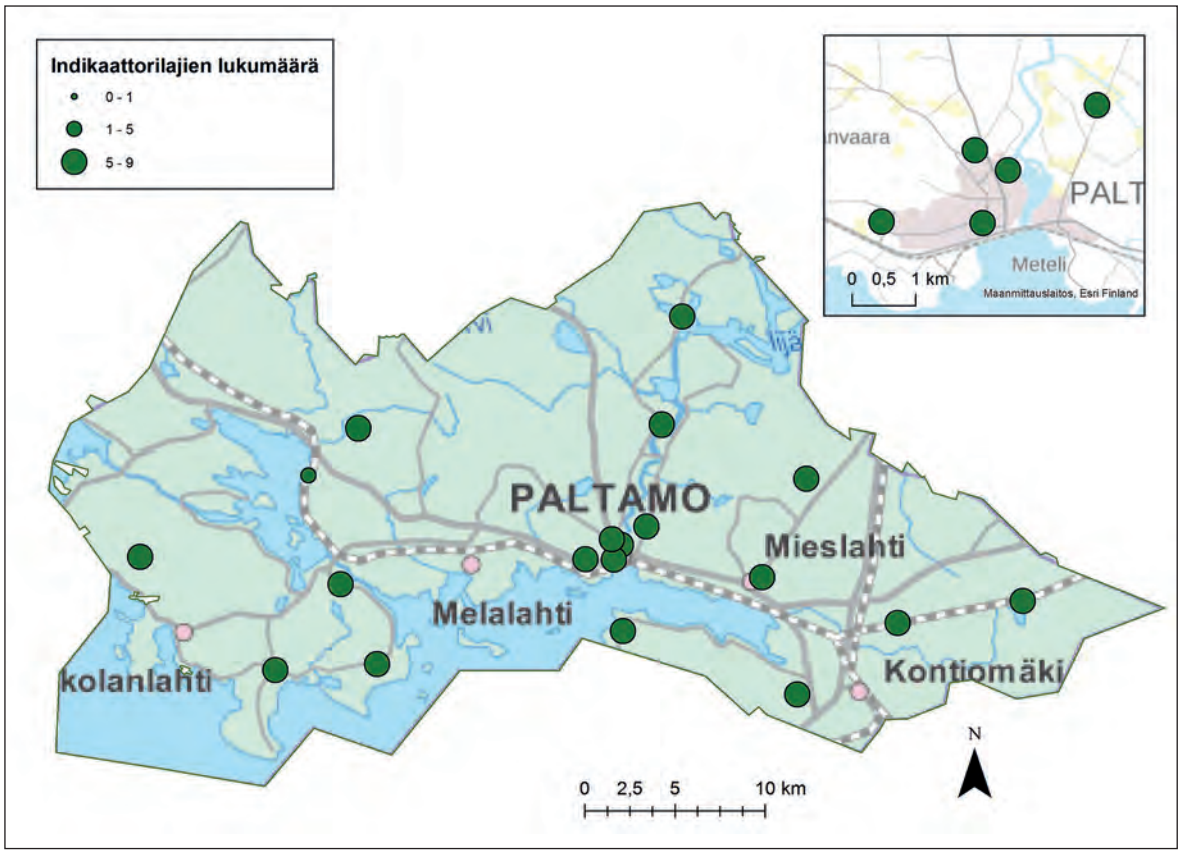
Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

Sormipaisukarpeen ja keltatyvikarpeen esiintyvyydessä ei ole muutoksia verrattuna vuoteen 2000. Harmaatyvi- ja tuhkakarpeen esiintyvyys on kasvanut hieman. Ilmanlaadun muutoksille herkempien luppojen ja naavojen esiintyvyydessä on ollut laskua vuoteen 2000 verrattuna. Selvää ilman epäpuhtauksista johtuvaa alueellisuutta luppojen ja naavojen esiintymisfrekvenssissä ei kuitenkaan voitu erottaa. Myös harmaaröyhelön määrä oli hieman laskenut edelliseen selvitykseen verrattuna. Aiemmissa selvityksissä on voitu todeta harmaaröyhelöä tavattavan muutenkin niukasti Paltamon alueella (Poikolainen ym. 1998). Hankakarvetta ei löydetty tässä kartoituksessa yhdeltäkään havaintoalueelta. Hankakarve on Kainuussa muutenkin suhteellisen harvinainen. Raidanisokarvetta ei havaittu tässäkään kartoituksessa.

Ruskoröyhelön esiintyvyydessä on ollut lievää kasvua vuoteen 2000 verrattuna. Samoin keltaröyhelön esiintyvyys on lisääntynyt. Keltaröyhelön määrän kasvua selittää mahdollisesti sen hyötyminen lievästä ravinnelisäyksestä. Toisaalta, ruskoröyhelö ja keltaröyhelö eivät ole myöskään parhaita mahdollisia yksittäisiä ilmanlaadun indikaattorijäkälälajeja niiden vaihtelevan esiintymisen vuoksi.



Havaintoalueet Paltamon kunnan alueella vuonna 2015.

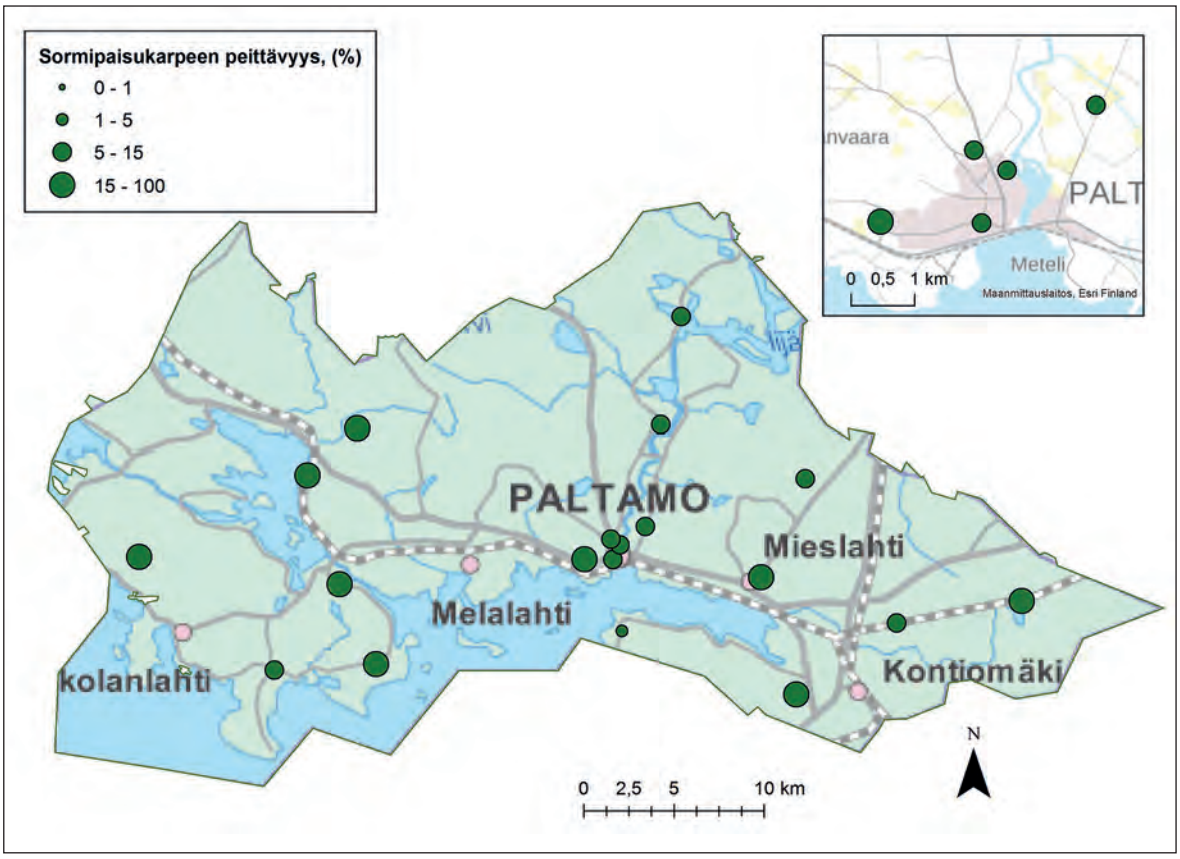


Indikaattorilajien lukumäärät Paltamon kunnan alueella vuonna 2015.

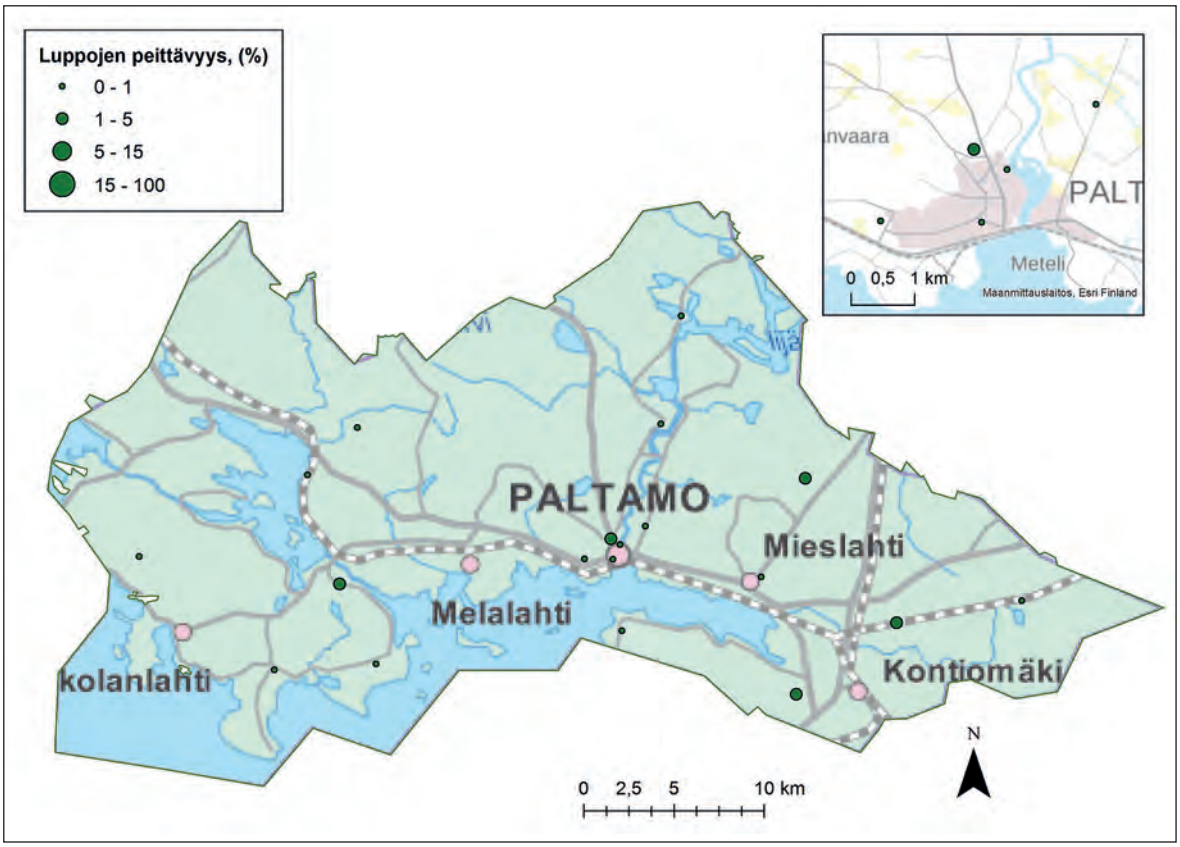
Seinäsuomujäkälän esiintyvyys oli kasvanut vuoteen 2000 verrattuna. Seinäsuomujäkälän esiintyvyyden määrä yleensä aliarvioidaan kartoituksissa, joissa lajimäärä arvioidaan 1-2 metrin korkeudelta. Seinäsuomujäkälä esiintyy usein alle 1 metrin korkeudella puun tyvestä, ja sen esiintyminen ilmentää kasvualustan ja ilman typpipitoisuutta. Myös leväpeitteen määrä oli kasvanut vuodesta 2000. Leväpeitteenkin määrä yleensä aliarvioidaan herkästi, koska leväpeite on haastava havainnoitava sen esiintyessä vähäisessä määrissä puun kaarnan pinnalla. Kasvanut leväpeitteen esiintyvyys kertoo ilman lisääntyneen typpipitoisuuden vaikutuksista.

Taulukko 6.8. Indikaattorijäkälälajien esiintymisfrekvenssit Paltamon kunnan alueella vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	5,3	10,6	36,8	15,8	15,8	15,8
Naavat	15,8	5,3	26,2	31,6	15,8	5,3
Harmaaröyhelö	36,8	15,8	21,0	15,8	5,3	5,3
Keltaröyhelö	21,1	15,8	0,0	15,8	26,2	21,1
Ruskoröyhelö	78,9	10,5	5,3	5,3	0,0	0,0
Hankakarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	52,6	31,6	5,3	10,5	0,0	0,0
Leväpeite	89,4	5,3	0,0	5,3	0,0	0,0



Sormipaisukarpeen peittävyys (%) Paltamon kunnan alueella vuonna 2015.



Luppojen peittävyys (%) Paltamon kunnan alueella vuonna 2015.

Taulukko 6.9. Sormipaisukarpeen vaurioasteet Paltamon havaintoalueilla 2015, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
68,4	26,3	5,3	0,0	0,0

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeen peittävyys Paltamon kunnan havaintoalueilla vaihteli 5,0 % ja 27,2 % välillä, keskiarvon ollessa 15,3 %. Vuonna 2000 sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli 1,4 % ja 30,2 % välillä. Keskiarvo oli 8,3 %. Sormipaisukarpeen peittävyyden vaihteluväli on pienentynyt ja keskiarvoisesti peittävyys on noussut. Peittävyys oli tasaista ympäri kunnan, eikä ilmapäästöihin viittaavaa alueellisuutta voitu havainnoida. Yksittäiset, matalamman sormipaisukarpeen peittävyyden omaavien havaintoalojen tulokset selittyvät todennäköisemmin kasvupaikkatekijöillä.

Luppojen peittävyys Paltamon kunnan havaintoalueilla vaihteli 0 % ja 3,6 % välillä. Keskiarvo luppojen peittävyydelle oli 0,8 %. Vuonna 2000 luppojen peittävyys vaihteli 0 % ja 7,8 % välillä, keskiarvon ollessa 1,2 %. Luppojen peittävyys on pienentynyt verrattuna vuoteen 2000. Luppojen peittävyys vaihteli tasaisesti ympäri kunnan. Matalia peittävyyksiä havainnoitiin Paltamon keskustaajamassa sijaitsevilla havaintoalueilla hautausmaata lukuun ottamatta. Tulokset voivat johtua myös eroista havainnointitavassa. Kunnan keskustaajaman alhaiseen peittävyyteen todennäköisenä osasyynä ovat pöly ja ilmansaasteet. Muualla kunnassa vähäinen peittävyys voi johtua useista eri tekijöistä, kasvupaikka- ja ilmastotekijöiden lisäksi Kajaanista Paltamoon kulkeutuvista päästöistä. Valtakunnallisessa epifyyttijäkäläkartoituksessa vuonna 1995 havaittiin luppoja Kainuussa vähiten Oulujärven ympäristössä (Poikolainen ym. 1998)

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Sormipaisukarpeessa havainnoitiin selviä vaurioita yhdellä keskustaajaman havainnointialueella, ja lieviä vaurioita muilla keskustaajaman havainnointialueilla. Sormipaisukarpeen vauriot ovat hieman lisääntyneet vuoteen 2000 verrattuna. Keskustaajaman ulkopuolella todettiin lieviä vaurioita vain yhdellä havainnointialueella, joka sijaitsee Variskylässä. Keskustaajaman alueen havainnointialueilla sormipaisukarpeen vauriot johtuvat todennäköisesti paikallisista päästöistä, liikenteestä ja pölystä.

Harmaahankakarve.

Johtopäätökset

Paltamon kunnan havaintoalueiden lajimäärissä on tapahtunut pientä laskua vuoteen 2000 verrattuna. Ilmansaasteista kertovaa alueellisuutta ei voitu tuloksista erottaa, eikä lajimäärä laskenut alle neljän yhdelläkään havaintoalueella. Keskustan havaintoalueiden korkeahko lajimäärä voi johtua ilmapäästöjen ravinteisuutta lisäävistä vaikutuksista. Näytepuuta kohti laskettu lajimäärän keskiarvo oli hieman laskenut edellisiin tuloksiin verrattuna, mutta ilmansaasteista kertovaa alueellisuutta ei ollut havaittavissa. Herkimpien indikaattorijäkälien esiintyvyydessä oli tapahtunut laskua vuoteen 2000 verrattuna. Seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen määrässä on tapahtunut kasvua, joka kertoo kasvaneista typpipäästöistä. Sormipaisukarpeen peittävyyden vaihteluväli oli pienentynyt ja keskiarvo noussut. Peittävyys oli tasaista ympäri kunnan eikä sen perusteella voitu erottaa ilmapäästöjen vaikutusalueita. Yksittäisillä havaintoalueilla pienempi peittävyys johtuu todennäköisemmin kasvupaikkaolosuhteista. Luppojen peittävyys oli pienentynyt vuodesta 2000. Peittävyydestä ei voitu erottaa ilmapäästöjen vaikutusalueita. Tulokset voivat johtua havainnoijakohtaisista eroista. Luppojen määrän on myös todettu olevan Kainuun alueella vähimmillään Oulujärven ympärillä. Sormipaisukarpeessa havainnoitiin lieviä ja selviä vaurioita Paltamon keskustaajaman alueella. Vauriot johtuvat todennäköisesti keskustaajaman alueen liikenteen ja asutuksen päästöistä.

Jäkäläkartoituksen havaintoalueiden sijainti Puolangan kunnassa.

Havaintoalueet Puolangalla

Puolangalle perustettiin kartoitusta varten 13 havaintoaluetta. Havaintoalueista neljä sijaitsee Puolangan keskustaajamassa ja lähiympäristössä, loput havaintoalueet sijaitsevat eri puolilla kuntaa. Kartoitukset suoritettiin heinäkuussa 2015.

Indikaattorijäkälälajien määrä

Indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli välillä 6 – 9, keskiarvo oli 7,2. Suurimmat lajiluvut löytyivät keskustaajaman läheisyydestä. Lajimäärä oli kohtalaisen tasaista ympäri kunnan. Puolangan alueella ei lajimäärän perustella ollut havaittavissa ilmansaasteiden vaikutuksia. Puolangan lajiluku oli tausta-alueiden lukemissa, vähintään seitsemän lajia, paitsi parilla havaintoalueella jossa matalampi lajiluku, kuusi lajia, johtui ilmansaasteita todennäköisemmin havaintoalueen kasvupaikkatekijöistä. Näytepuuta kohti lajimäärä vaihteli 4,2 – 6,8 välillä, keskiarvon ollessa 5,4. Myös näytepuuta kohti laskettu lajimäärä oli kohtalaisen tasaista ympäri kunnan eikä ilmansaasteista johtuvia alueita voitu luvun perusteella erottaa.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

Ilman epäpuhtauksille herkkiä naavoja ja luppoja tavattiin tasaisesti läpi kunnan. Ainoa havaintoalue jossa luppoja tai naavoja ei tavattu, oli Lauttavaaran havaintoalue, jossa todennäköisesti naavojen ja luppojen puuttuminen ei kuitenkaan johdu ilman epäpuhtauksista vaan kasvupaikallisista tekijöistä. Keltaröyhelöä havaittiin kaikilla havaintoalueilla. Ruskoröyhelöä tai raidanisokarvetta ei havaittu yhdeltäkään havaintoalueelta. Hankakarvetta oli havaittavissa kolmelta havaintoalueelta, Puolangan keskustaajamasta ja kunnan eteläosan havaintoalueilta.

Seinäsuomujäkälää havainnoitiin kahdelta havaintoalueelta ja leväpeitettä oli havaittavissa yhdellä havaintoalueella.

Havaintoalueet, joilta seinäsuomujäkälät ja leväpeite havaittiin, sijaitsevat Puolangan keskustaajaman lähettyvillä, ja voivat näin kertoa keskustaajaman alueen liikenteestä ja asumisesta johtuvien typpipäästöjen vaikutuksista. Leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän määrä yleensä aliarvioidaan kartoituksissa. Molemmat ovat pieninä määrinä haastavia havaittavia ja alkavat yleensä kasvaa puun tyvestä ylöspäin. Niitä voi esiintyä alle yhden metrin korkeudelta. Kartoituksessa lajit havainnoidaan 1 – 2 m korkeudelta, joten leväpeite ja seinäsuomujäkälä voivat näinollen jäädä havainnoimatta, vaikka niitä esiintyisikin.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

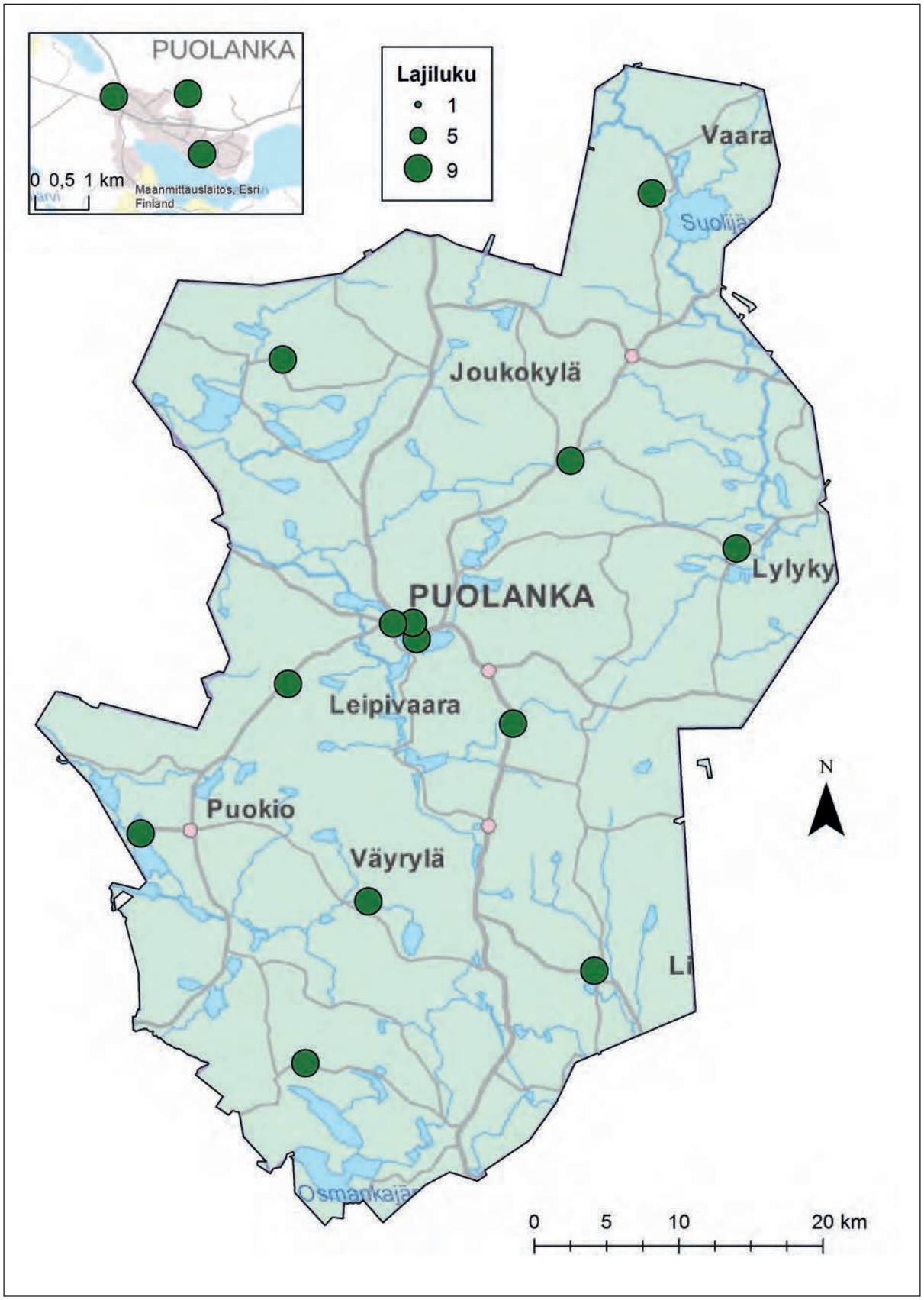
Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli 3,4 % - 34,0 % välillä, keskiarvon ollessa 15,1 %. Sormipaisukarpeen peittävyydessä ei erottunut ilmansaasteista johtuvia alueita. Alueelliset erot sormipaisukarpeen peittävyydessä johtuvat todennäköisimmin kasvupaikkatekijöistä. Peittävyys vaihteli tasaisesti kunnan eri osissa.

Seinäsuomujäkälää.

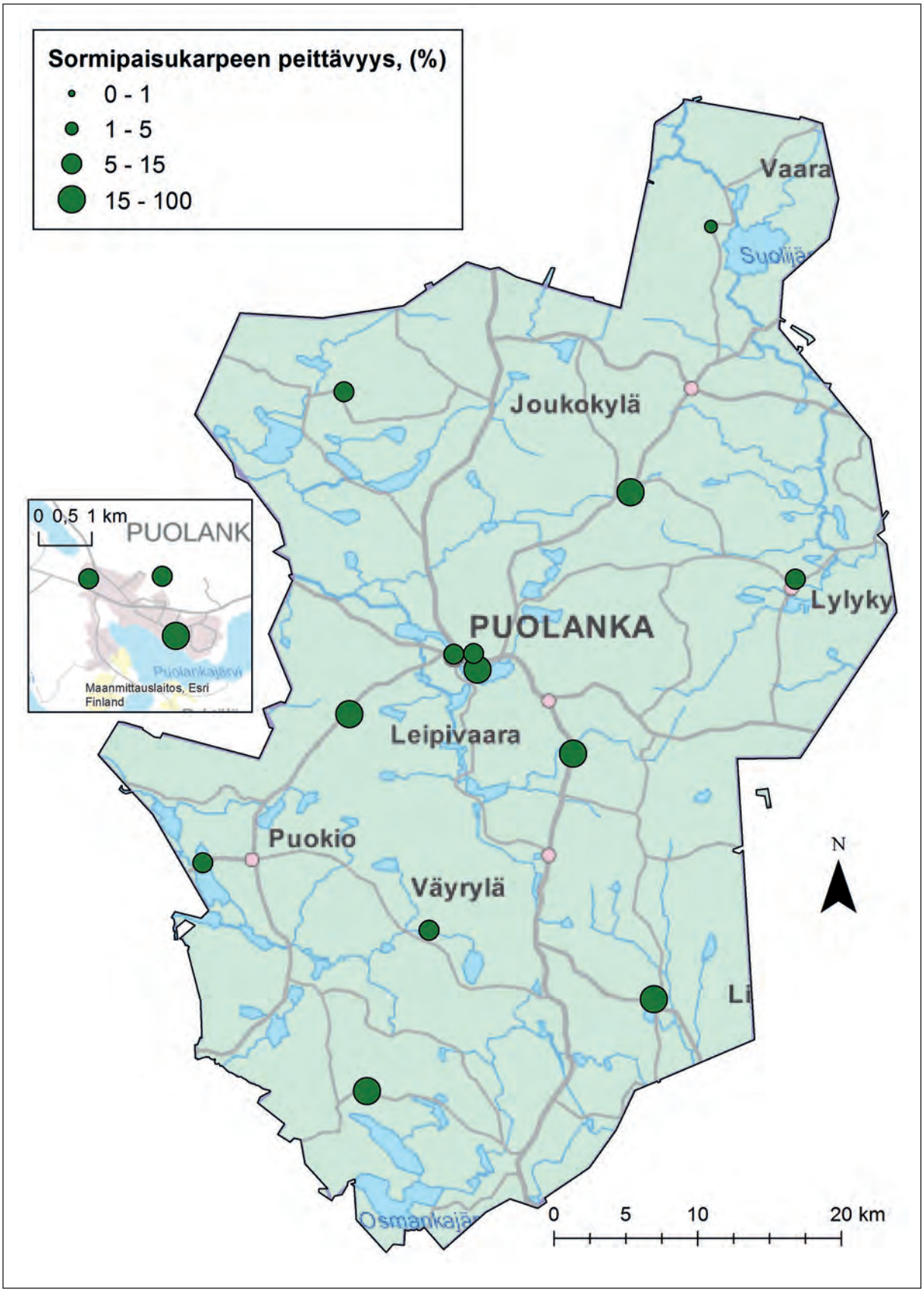
Luppoa männyn rungolla.

Taulukko 6.10. Indikaattorijäkälälajien esiintyminen mäntyjen rungoilla Puolangalla vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	0,0	7,7	15,4	23,1	7,7	46,1
Naavat	7,7	7,7	30,8	38,4	15,4	0,0
Harmaaröyhelö	7,7	30,7	23,1	15,4	15,4	7,7
Keltaröyhelö	0,0	38,4	15,4	7,7	15,4	23,1
Ruskoröyhelö	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hankakarve	76,9	0,0	15,4	0,0	7,7	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	84,6	7,7	7,7	0,0	0,0	0,0
Leväpeite	92,3	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0



Indikaattorijäkälälajien määrä Puolangan kunnan havaintoalueilla vuonna 2015.



Sormipaisukarpeen peittävyys (%) Puolangan kunnan havaintoalueilla vuonna 2015.

Luppojen peittävyys (%) Puolangan kunnan havaintoalueilla vuonna 2015.

Taulukko 6.11. Sormipaisukarpeen vaurioaste Puolangan kunnan alueella vuonna 2015, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
92,3	7,7	0,0	0,0	0,0

Luppojen peittävyys vaihteli välillä 0 % - 6,9 %, keskiarvon ollessa 1,4 %. Suurin luppojen peittävyys löytyi Pakolanahossa sijaitsevalta havaintoalueelta Puolangan kunnan kaakkoisosasta. Luppojen peittävyydessä ei voitu erottaa ilmansaasteista johtuvia matalan peittävyyden alueita. Luppojen peittävyys vaihteli tasaisesti kunnan eri osissa. Luppojen peittävyyteen vaikuttaa myös arviointitapa.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Puolangan kunnan alueella sormipaisukarpeen vauriot ovat hyvin vähäisiä. Suurin osa havaintoalueista kuului luokkaan yksi, normaali. Lievästi vaurioituneeksi luokiteltiin yksi havaintoalue Puolangan keskustaajamassa. Ilmapäästöjen vaikutuksia ei Puolangalla havaintojen mukaan ole keskustaajaman lieviä, paikallisia vaikutuksia lukuun ottamatta.

Johtopäätökset

Indikaattorilajien määrä Puolangan kunnan alueella vaihteli tasaisesti ollen normaaleissa tausta-aluelukemissa. Keskustaajaman alueella poikkeuksellisen korkeita lajimääriä voivat selittää kohonneet typpipäästöt. Näytepuuta kohti laskettu lajimäärä oli kohtalaisen tasaista ympäri kuntaa eikä ilmansaasteista johtuvia vaikutusalueita voitu tulosten perusteella erottaa. Puolanka on myös poronhoitoaluetta, jolloin porojen laidunnuksella voi olla vaikutuksia epifyyttijäkälälajistoon. Ilmansaasteille herkkiä indikaattorijäkäliä, luppoja ja naavoja, havainnoitiin tasaisesti ympäri kuntaa. Kahdelta havaintoalueelta löydetty seinäsuomujäkälä ja yhdeltä havaintoalueelta löydetty leväpeite kertovat keskustaajaman liikenteestä ja muista toiminnoista johtuvien typpipäästöjen vaikutuksista. Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyyden perusteella ei voitu erottaa ilmansaasteiden vaikutusalueita, vaan peittävyys oli tasaista ympäri kunnan. Sormipaisukarpeen vauriot ovat vähäisiä, vain yksi keskustaajaman havaintoalue luokiteltiin lieväksi vaurioituneeksi. Tulosten perusteella voidaan havaita vähäisiä ja paikallisia ilmapäästöjen vaikutuksia indikaattorijäkälissä Puolangan kunnan keskustaajaman alueella.

Jäkäläkartoituksen havaintoalueiden sijainti Ristijärven kunnassa.

Havaintoalueet Ristijärvellä

Ristijärvelle perustettiin kartoitusta varten 18 kappaletta havaintoalueita. Havaintoalueista neljä sijaitsee Ristijärven keskustaajamassa, loput 14 kappaletta sijaitsee eri puolilla Ristijärven kuntaa. Maastotyöt suoritettiin heinäkuussa 2015.

Indikaattorijäkälälajien määrä

Indikaattorijäkälälajien määrä Ristijärven kunnan alueella vaihteli leväpeite pois lukien 5 ja 9 välillä, keskiarvon ollessa 6,8. Lajimäärä havaintoalueen puuta kohti leväpeite mukaan laskettuna vaihteli 4,2 ja 6,8 välillä. Keskiarvo oli 5,3. Lajimäärän vaihtelu oli kohtalaisen tasaista ympäri kunnan eikä sen perusteella voitu havaita ilmansaasteiden vaikutusalueita.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

Sormipaisukarve, keltatyvikarve, harmaatyvi- ja tuhkakarvetta tavattiin kaikilta havaintoalueilta kaikilta näytepuilta. Ilmansaasteille herkkiä luppoja oli havaittavissa kaikilla havaintoalueilla yhtä lukuun ottamatta, jossa luppojen puuttuminen johtui ilmansaasteita todennäköisemmin kasvupaikkatekijöistä. Naavoja oli löydettävissä muilta paitsi kolmelta havaintoalueelta. Näistä havaintoalueista kaksi sijaitsee Ristijärven keskustaajamassa, joten ilman laatu voi olla yksi osasyy naavojen puuttumiseen havaintoalueilla. Keltaröyhelö oli yleistä ja sen esiintyvyys vaihteli. Ruskoröyhelöä, harmaaröyhelöä ja hankakarvetta havaittiin myös usealta havaintoalueelta. Raidanisokarvetta ei havaittu yhdelläkään havaintoalueella.

Leväpeitettä havaittiin alueelta kolmelta havaintoalueelta, joista kaksi sijaitsee Ristijärven keskustaajaman alueella.

Seinäsuomujäkälää löydettiin kolmelta havaintoalueelta joista kaksi sijaitsee Ristijärven keskustaajaman alueella ja yksi viitostien lähettyvillä. Leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän esiintyminen kertoo liikenteen ja asumisen tuottamista lievästi rehevöittävistä päästöistä keskustaajaman alueella.

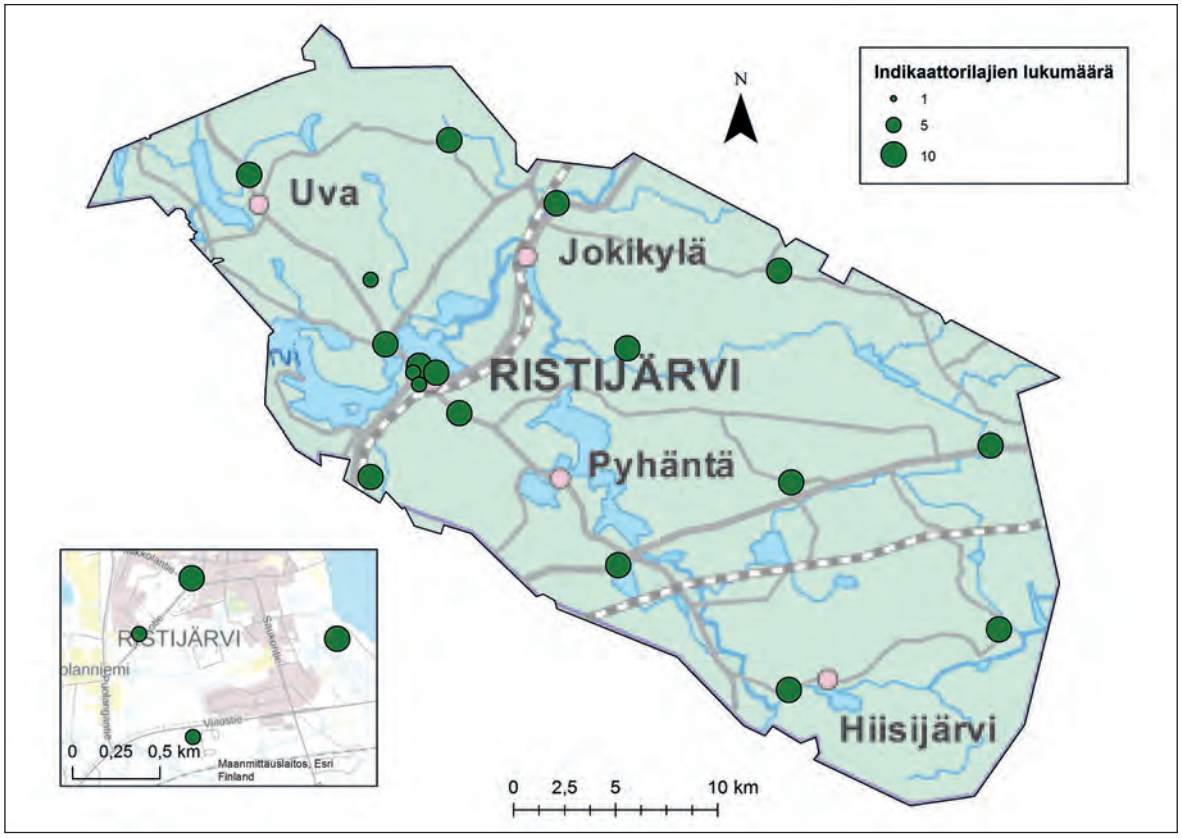
Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyyys

Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli 5,5 % ja 27,8 % välillä, keskiarvon ollessa 15,0. Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli tasaisesti ympäri kuntaa. Ristijärven keskustaajaman havaintoalueilla oli peittävyys hieman alhaisempaa.

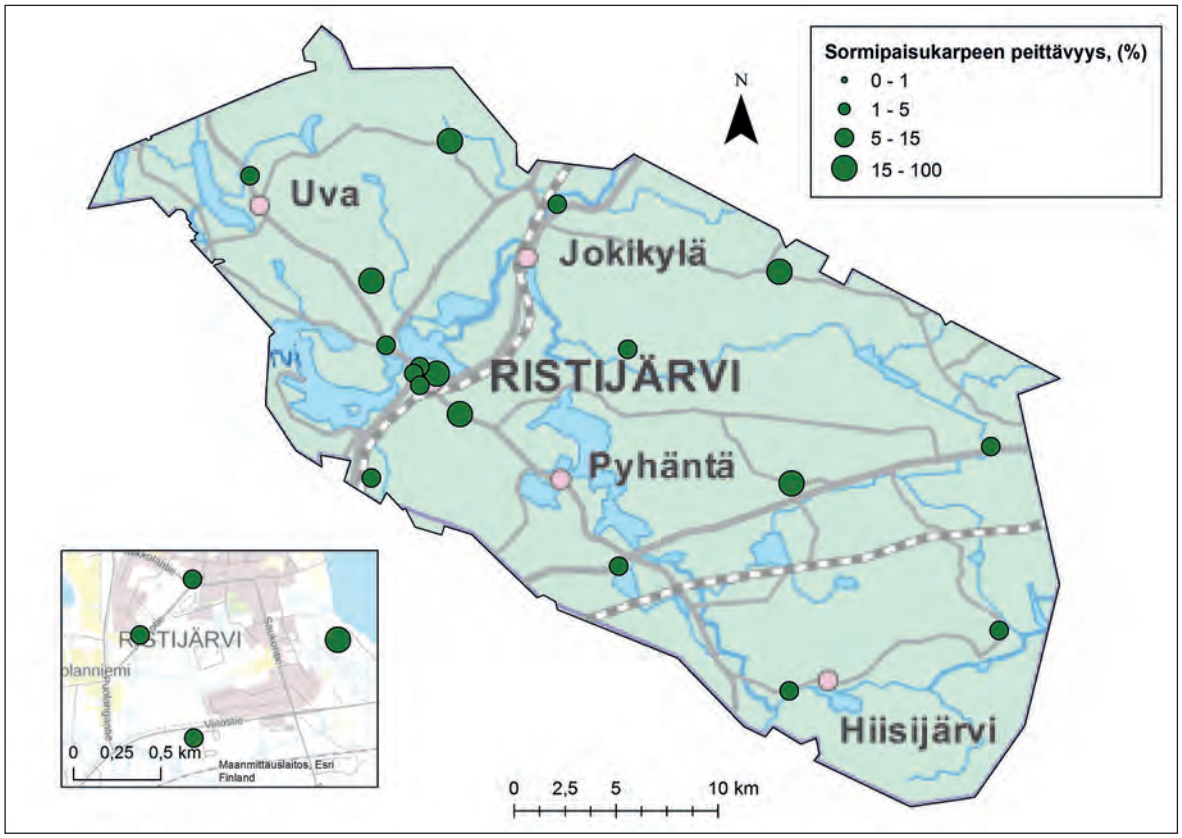
Luppojen peittävyys vaihteli 0 % ja 8,8 % välillä. Keskiarvo oli 1,3 %. Luppojen peittävyys jakautui tasaisesti kunnan ympäri eikä sen perusteella voitu erottaa alueita joilla olisi ilmansaasteiden vaikutuksia.

Taulukko 6.12. Indikaattorijäkälälajien esiintymisfrekvenssit Ristijärven kunnan alueella vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

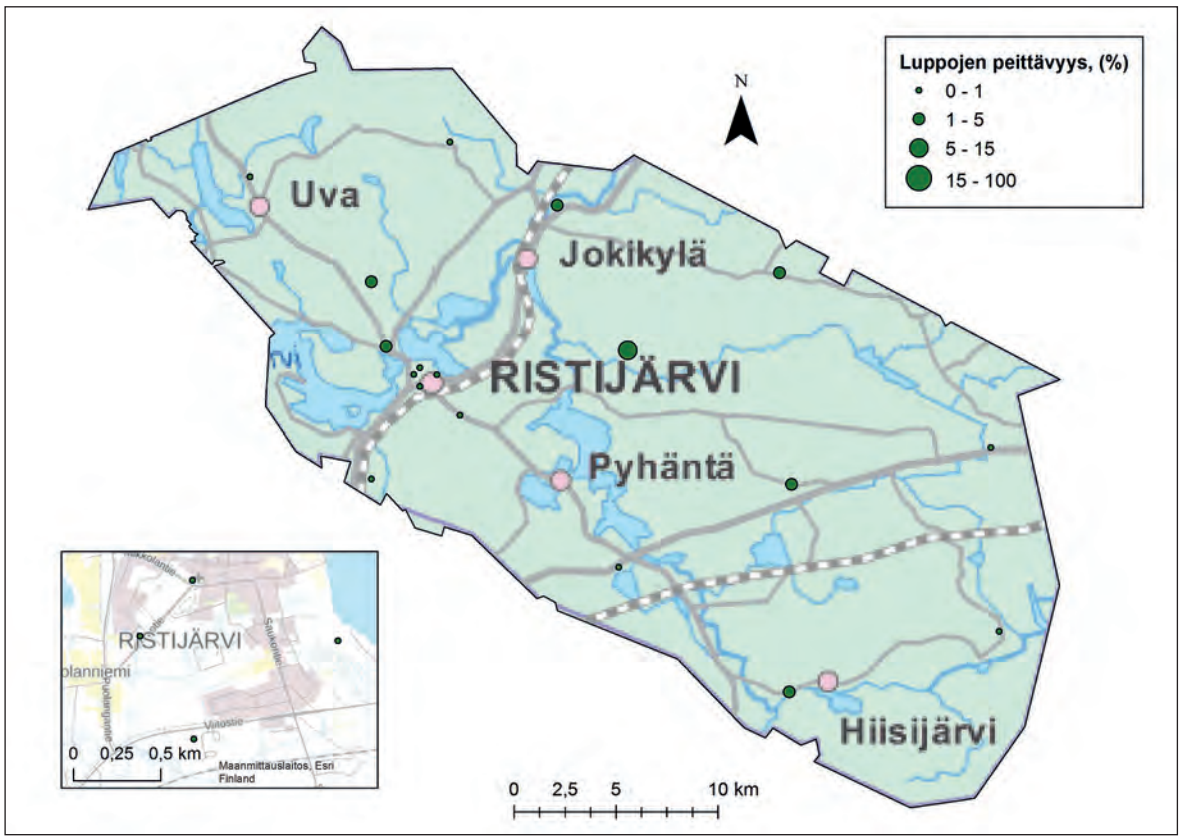
Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	5,5	5,5	16,7	22,1	16,7	33,3
Naavat	16,7	33,3	11,1	33,3	5,6	0,0
Harmaaröyhelö	16,7	0,0	33,3	27,8	11,1	11,1
Keltaröyhelö	22,2	5,6	11,1	5,6	22,2	33,3
Ruskoröyhelö	83,4	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Hankakarve	83,4	0,0	11,1	5,5	0,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	72,3	16,7	5,5	5,5	0,0	0,0
Leväpeite	83,5	5,5	5,5	5,5	0,0	0,0



Indikaattorilajien lukumäärä Ristijärven kunnan havaintoalueilla vuonna 2015.



Sormipaisukarpeen peittävyys (%) Ristijärven kunnan alueella vuonna 2015.



Luppojen peittävyys (%) Ristijärven kunnan alueella vuonna 2015.

Taulukko 6.13. Sormipaisukarpeen vaurioaste Ristijärven kunnan alueella vuonna 2015, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
83,3	16,7	0,0	0,0	0,0

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Ristijärven kunnan havaintoalueiden sormipaisukarpeissa oli havaittavissa lieviä vaurioita keskustaajaman alueella ja jätteenkäsittelylaitoksen läheisyydessä. Muualla Ristijärven kunnan havaintoalueilla ei ollut havaittavissa merkkejä sormipaisukarpeen vaurioitumisesta.

Johtopäätökset

Ristijärven kunnan havaintoalueilla lajimäärä vaihteli kohtalaisen tasaisesti kunnan ympäri, eikä sen perusteella voitu havaita ilmansaasteiden vaikutusalueita. Ilmansaasteille herkkiä luppoja oli havaittavissa kaikilla havaintoalueilla yhtä lukuun ottamatta, jossa luppojen puuttuminen johtuu todennäköisemmin kasvupaikkatekijöistä. Leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän esiintyminen kertoo liikenteen ja asumisen tuottamista lievästi rehevöittävistä päästöistä keskustaajaman alueella. Sormipaisukarpeen peittävyys oli kohtalaisen tasaista ympäri kunnan, joskin keskustaajaman havaintoalueilla peittävyys oli hieman alhaisempaa. Luppojen peittävyys oli myös tasaista ympäri kunnan, eikä sen perusteella voitu erottaa alueita joilla olisi ilmansaasteiden vaikutuksia. Sormipaisukarpeissa oli havaittavissa lieviä vaurioita keskustaajaman alueella ja jätteenkäsittelylaitoksen läheisyydessä. Tulokset viittaavat lieviin ilmapäästöjen vaikutuksiin keskustaajaman alueella, jätteenkäsittelylaitoksen ympäristössä sekä valtatie viiden läheisyyessä.

Keltatyvi- ja tuhkakarve.

Havaintoalueet Sotkamossa

Sotkamon kunnan alueella oli 25 havaintoaluetta. Sotkamon kunnan alueella sijaitsevat myös Mondo Minerals Oy:n kartoituksen havaintoalueet sekä Terrafame Oy:n Talvivaaran kaivosalueen Sotkamon kunnan puoleiset havaintoalueet. Pääosin Sotkamon kunnan havaintoalueet olivat samoja kuin vuoden 2000 kartoituksessa. Osaa havaintoalueista jouduttiin siirtämään vanhan havaintoalueen tultua päätehakkuuvaiheeseen. Siirrettävät havaintoalueet pyrittiin pitämään mahdollisimman lähellä alkuperäisiä jotta verrannollisuus säilyisi. Havaintoalueista kymmenen sijaitsee Sotkamon keskustaajamassa, Vuokatti mukaan luettuna. 15 havaintoaluetta sijaitsee eri puolilla kuntaa haja-asutusalueilla. Kartoitukset suoritettiin kesäkuussa 2015.

Naavaa.

Indikaattorijäkälälajien määrä

Sotkamon havaintoalueilla indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli välillä 4–8 keskiarvon ollessa 7,6. Edellisessä kartoituksessa keskiarvo Sotkamon alueella oli 7,4, joten voidaan todeta indikaattorijäkälälajien määrän hieman kasvaneen. Toisaalta lajimäärän maksimi oli 8, edellisessä kartoituksessa sen ollessa 10. Lajimäärässä ei ollut havaittavissa alueellisia vaihteluita, vaan se oli kohtalaisen tasaista kunnan eri puolilla. Sotkamon keskustaajaman havaintoalueilla lajimäärä oli 7–8, samoin Vuokatissa sijaitsevilla havaintoalueilla lajimäärä oli seitsemän tai kahdeksan.

Vuokatissa poikkeuksena olivat Pisterinniemen alue ja Leivolankylän havaintoalue, joilta laskettiin viisi indikaattorilajia. Sotkamon kunnan alueella näytepuuta kohden laskettu indikaattorijäkälälajien määrä leväpeite mukaan lukien vaihteli välillä 3,6–6,6 keskiarvon ollessa 5,1.

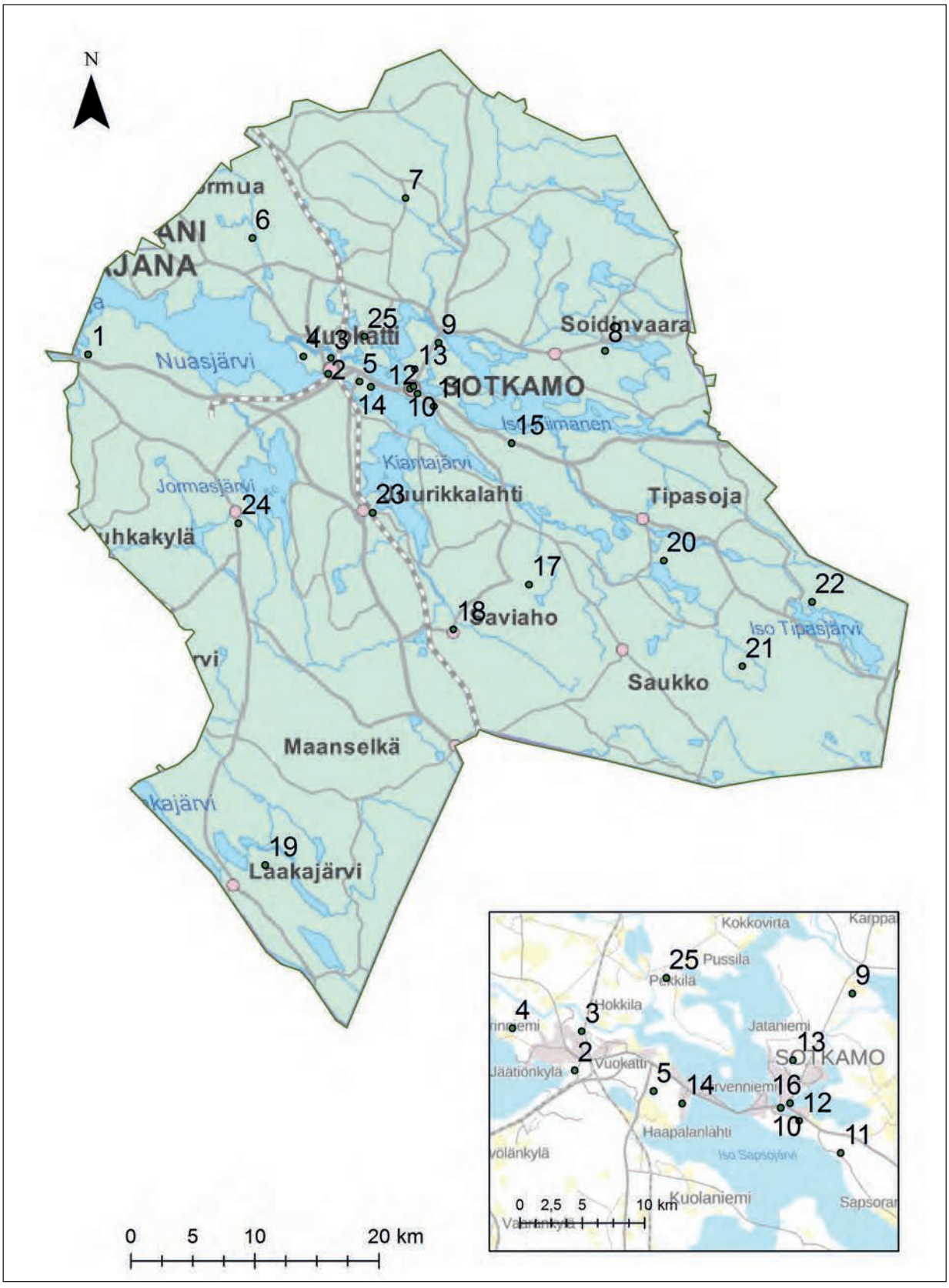
Mikäli lajiluku on neljä tai alle, ilmapäästöjen vaikutuksien katsotaan olevan selviä (Mäkinen ym. 1991). Näinollen Pisterinniemessä ja Kontinjoen lähettyvillä alhainen lajiluku voi mahdollisesti liittyä ilmapäästöjen lieviin vaikutuksiin.

Taulukko 6.14. Indikaattorijäkälälajien esiintyminen Sotkamon kunnan alueella vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

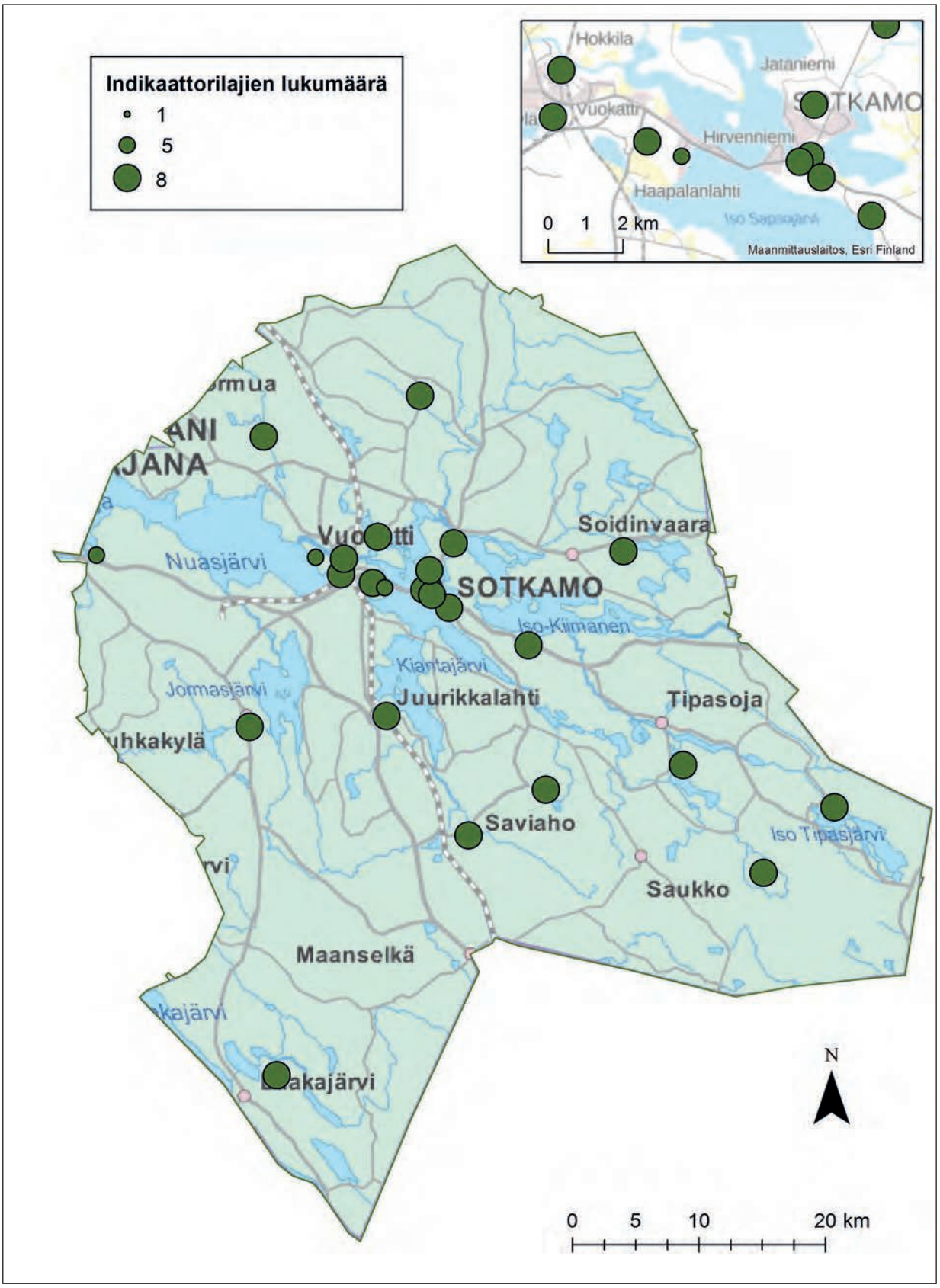
Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	12,0	20,0	4,0	16,0	8,0	40,0
Naavat	8,0	8,0	20,0	12,0	24,0	28,0
Harmaaröyhelö	36,0	36,0	12,0	0,0	8,0	8,0
Keltaröyhelö	24,0	4,0	12,0	20,0	4,0	36,0
Ruskoröyhelö	92,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hankakarve	68,0	12,0	12,0	4,0	4,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	96,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Leväpeite	96,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

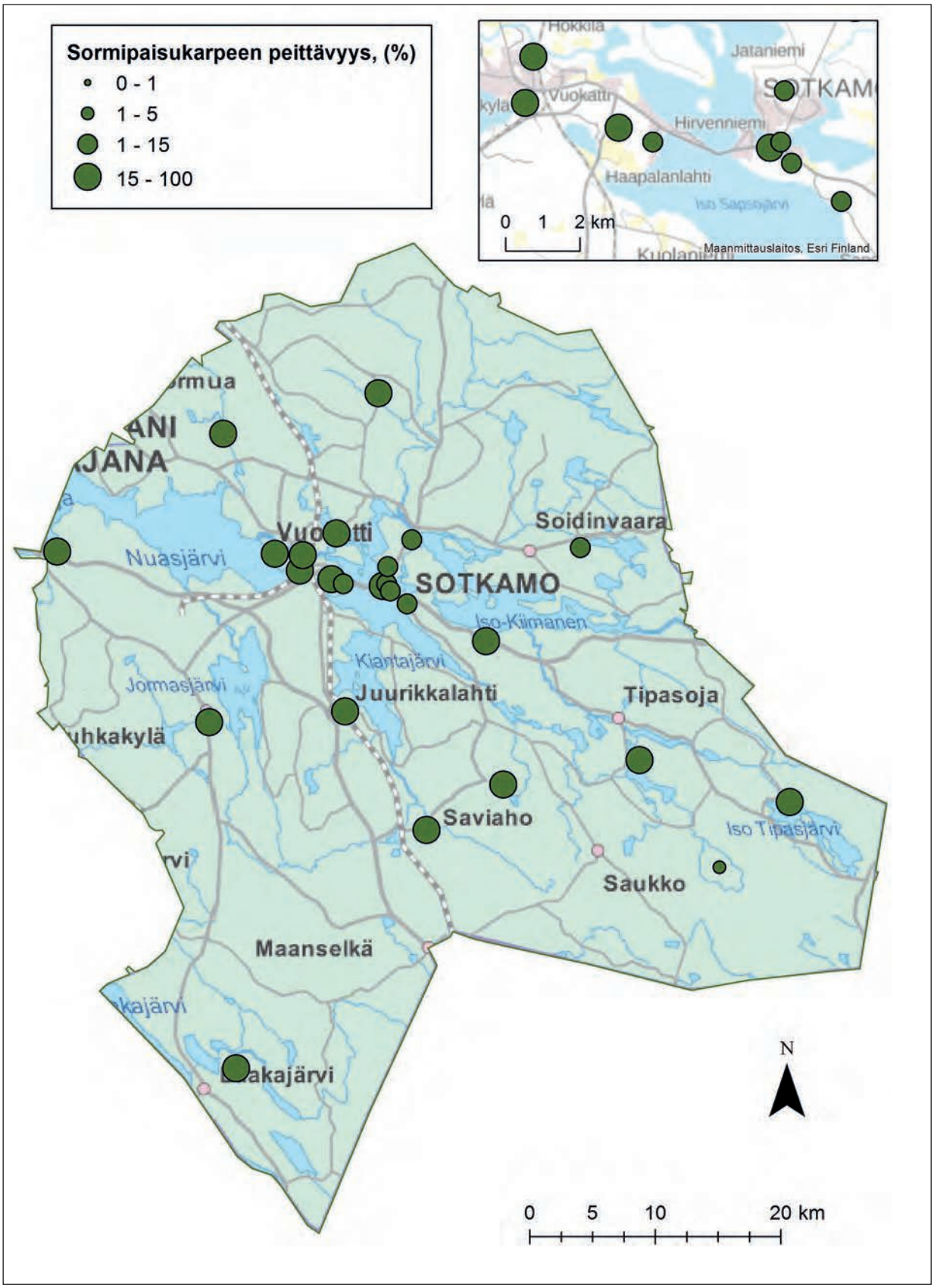
Sormipaisukarvetta, keltatyvikarvetta ja harmaatyvi- sekä tuhkakarvetta tavattiin kaikilta Sotkamon kunnan havaintoalueilta. Näiden kolmen indikaattorilajin esiintymisessä ei havaittu muutosta vuoteen 2000 verrattuna. Luppojen esiintyvyys on hieman vähentynyt vuoden 2000 selvityksestä. Samoin on tapahtunut naavoille. Eniten niitä molempia esiintyi silti frekvenssillä 5, kuten vuonna 2000.



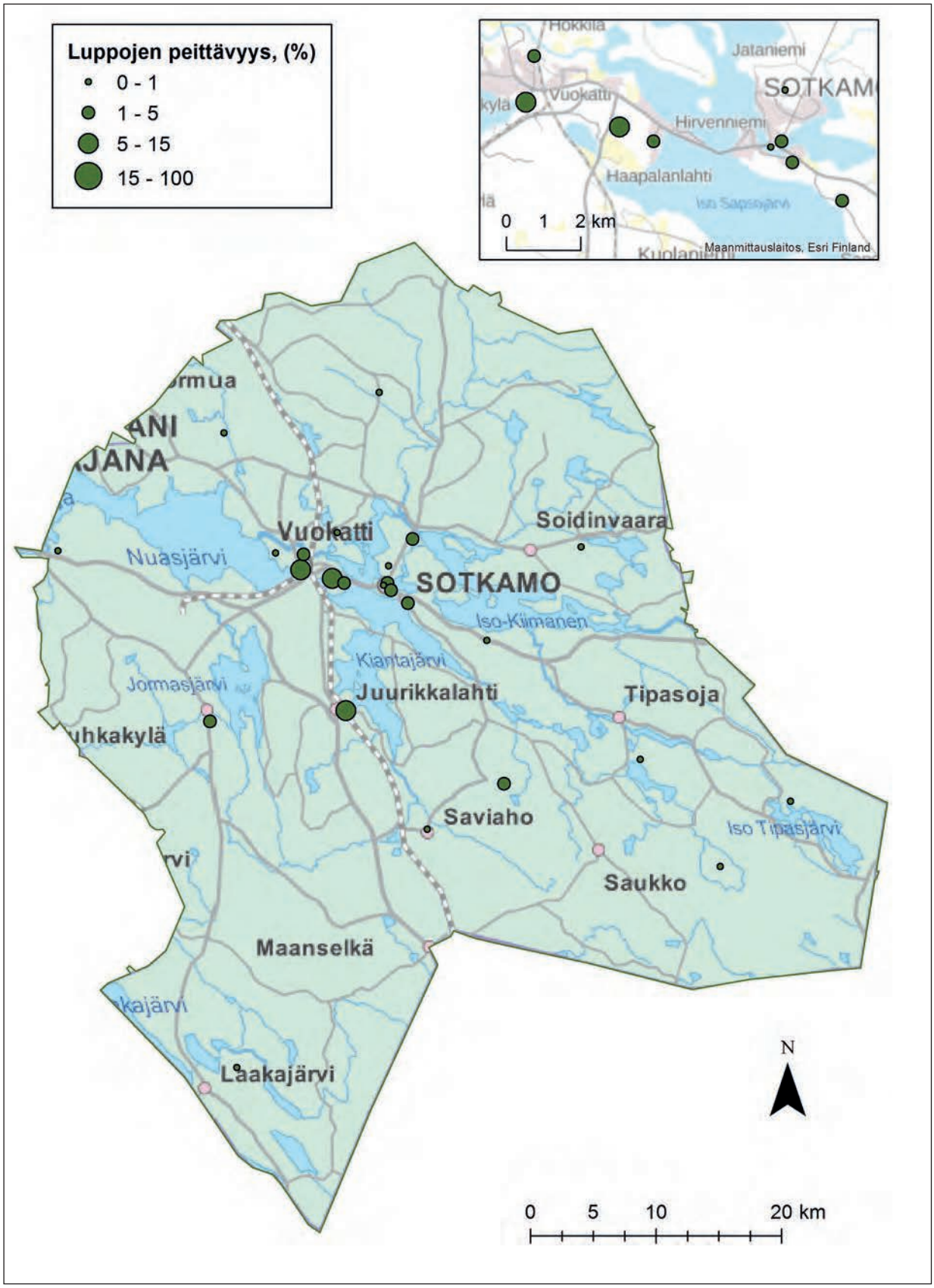
Jäkäläkartoituksen havaintoalueiden sijainti Sotkamon kunnassa.



Indikaattorilajien määrä Sotkamon kunnan alueella vuonna 2015.



Sormipaisukarpeen peittävyys Sotkamon kunnan alueella vuonna 2015.



Luppojen peittävyys Sotkamon kunnan alueella vuonna 2015.

Taulukko 6.15. Sormipaisukarpeen vaurioluokitus Sotkamon kunnan alueella vuonna 2015 ja vuonna 1998 (Poikolainen ym. 2000), % havaintoalueista

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
40,0	32,0	24,0	4,0	0,0

Harmaaröyhelöllä oli tapahtunut suurempaa muutosta vähenevään suuntaan. Myös keltaröyhelöllä esiintyvyydessä on ollut muutosta vähenevään suuntaan. Ruskoröyhelö oli vähentynyt entisestään, yltäen frekvenssille yksi vain 8,0 % havaintoalueista. Hankakarpeen määrä oli kasvanut vuodesta 2000. Raidanisokarvetta ei tavattu yhdelläkään havaintoalueella.

Leväpeitteen määrä on kasvanut hieman vuodesta 2000. Leväpeitettä oli havainnoitavissa Pisterinniemen havaintoalueella. Leväpeitteen määrä kertoo kohonneiden typpi- ja rikkipäästöjen vaikutuksesta. Myös leväpeite voi olla hankala havainnoitava sen kasvaessa tummana nukkana kaarnan pinnalla, jolloin sen määrä voi herkästi aliarvioitua.

Vanhoilla puilla ja sopivan varjoisilla kasvupaikoilla viihtyvää seinäsuomujäkälää ei tavattu kuin yhdellä havaintoalueella. Tämä voi kertoa myös sopivan ikäisiä puita sisältävien metsien vähäisyydestä. Seinäsuomujäkälän määrä myös yleensä aliarvioidaan standardin mukaisissa kartoituksissa. Lajimäärä arvioidaan 100 – 200 cm korkeudelta. Seinäsuomujäkälä alkaa kasvaa männyn tyvestä ylöspäin ilmentäen kasvualustan ja ilman typpipitoisuutta, jolloin sitä mahdollisesti esiintyy rungolla, mutta ei yli 100 cm korkeudella, jolloin sitä ei oteta huomioon.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli 5,4 % ja 38,5 % välillä. Keskiarvo oli 18,8 %. Vuonna 2000 sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli 0 ja 30,9 % välillä, keskiarvon ollessa 9,8 %.

Peittävyys on kasvanut ja vaihteluväli pienentynyt minimin osalta, maksimi on kuitenkin kasvanut. Pääasiallisesti sormipaisukarpeen peittävyys oli pienempää keskustaajaman alueella ollen suurempi kunnan etelä- ja pohjoisosissa. Kuitenkin Sotkamon keskustan Syntiniemestä laskettiin kunnan alueen kolmanneksi suurin peittävyys, 31,4 %.

Luppojen peittävyyden vaihtelu oli 0 % - 7,4 %, keskiarvon ollessa 1,95 %. Vuonna 2000 luppojen peittävyys vaihteli 0 ja 9,8 % välillä, ollen keskiarvoisesti 1,0 %. Luppojen peittävyys on siis kasvanut vuodesta 2000, mutta vaihteluväli on hieman pienentynyt. Luppojen peittävyys oli runsasta Sotkamon ja Vuokatin taajama-alueen ympärillä. Pienemmät peittävyydet muualla kunnassa johtuvat ilmapäästöjä todennäköisemmin kasvupaikkatekijöistä.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Sormipaisukarpeita, joita voitiin luokitella luokkaan 1 (ei vauriota) oli vähemmän kuin vuonna 2000. Lievää vauriota ja näkyvää vauriota esiintyi enemmän, ja keskustasta yksi havaintoalue luokiteltiin vaurioluokkaan neljä, paha vaurio. Suurimmat vaurioasteet havaittiin Sotkamon kunnan keskustaajamassa sijaitsevilla havaintoalueilla, sekä vilkasliikenteisimpien teiden lähettyvillä sijaitsevilla havaintoalueilla keskustaajaman ulkopuolella. Sotkamon ja Vuokatin alueella ilmenevät vauriot sormipaisukarpeessa johtuvat todennäköisesti ilman epäpuhtauksista ja pölystä.

Johtopäätökset

Sotkamon kunnan alueella tehdyn indikaattorijäkäläkartoituksen perusteella voidaan todeta indikaattorijäkälälajien määrän hieman kasvaneen vuodesta 2000. Lajimäärässä ei ollut havaittavissa alueellisia vaihteluita, vaan se oli kohtuullisen tasaista ympäri kuntaa. Vuokatissa lajimäärien perusteella Pisterinniemessä ja Leivolankylän havaintoalueella voi olla havaittavissa ilmapäästöjen lieviä vaikutuksia, vaikka lajiluku ei suoranaisesti ole alle neljä. Ilmansaasteille herkkien luppojen ja naavojen määrässä oli havaittavissa pientä vähenemistä. Seinäsuomujäkälää oli havaittavissa yhdellä havaintoalueella. Leväpeitteen määrän lisääntyminen kertoo ilman kasvaneesta typpikuormituksesta. Pisterinniemessä oli myös havaittavissa leväpeitettä. Sormipaisukarpeen peittävyys Sotkamon kunnan havaintoalueilla oli kasvanut ja vaihteluväli pienentynyt minimin osalta, maksimi on kuitenkin kasvanut. Pääasiallisesti sormipaisukarpeen peittävyys oli pienempää keskustaajaman alueella, kuitenkin Sotkamon keskustan Syntiniemestä laskettiin kunnan alueen kolmanneksi suurin peittävyys. Luppojen peittävyys on keskiarvoisesti kasvanut vuodesta 2000, vaikka vaihteluväli oli hieman pienentynyt. Luppojen peittävyys oli runsasta Sotkamon ja Vuokatin taajama-alueen ympärillä. Pienemmät peittävyydet muualla kunnassa johtuvat todennäköisesti kasvupaikkatekijöistä. Sormipaisukarpeen vaurioasteet olivat kasvaneet vuodesta 2000. Suurimmat vaurioasteet olivat havaittavissa Sotkamon keskustaajamassa sijaitsevilla havaintoalueilla, sekä vilkasliikenteisimpien teiden lähettyvillä sijaitsevilla havaintoalueilla keskustaajaman ulkopuolella. Sotkamon ja Vuokatin alueella vaikutukset jäkälälajistoon ja sormipaisukarpeen vaurioasteisiin johtuvat todennäköisesti liikenteen ja teollisten toimintojen aiheuttamista ilman epäpuhtauksista ja pölystä.

Seinäsuomujäkälää.

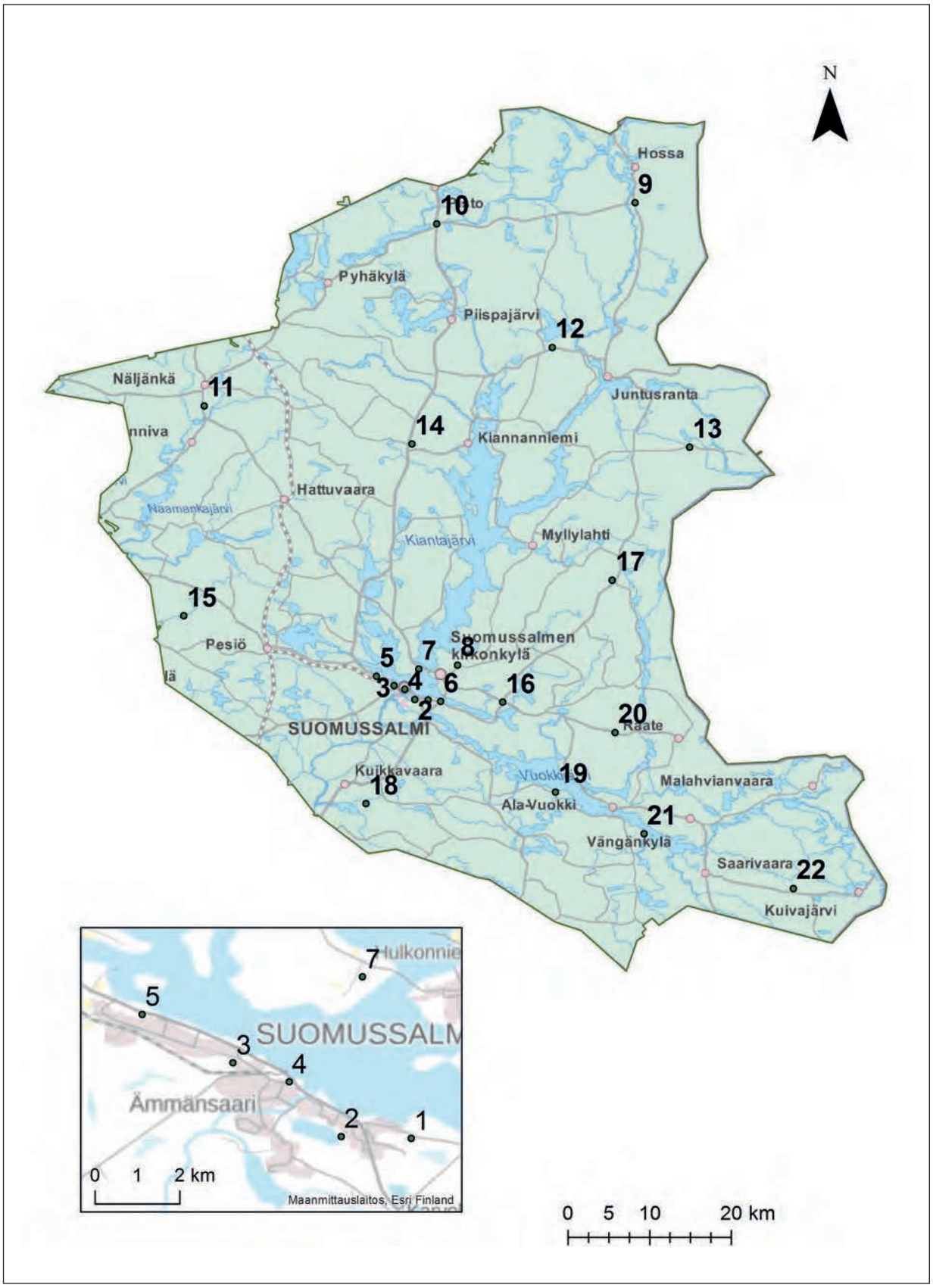
Havaintoalueet Suomussalmella

Suomussalmen kunnan alueella sijaitsi yhteensä 22 havaintoaluetta, jotka oli perustettu vuoden 2000 selvitystä varten. Tässä selvityksessä käytettiin samoja havaintoalueita. Havaintoalueista kuusi sijaitsi Suomussalmen kuntakeskuksessa Ämmänsaaressa tai sen läheisyydessä. Loput 16 havaintopaikkaa oli sijoitettu eri puolille kuntaa. Jäkäläkartoituksen maastotyöt tehtiin heinäkuussa 2015.

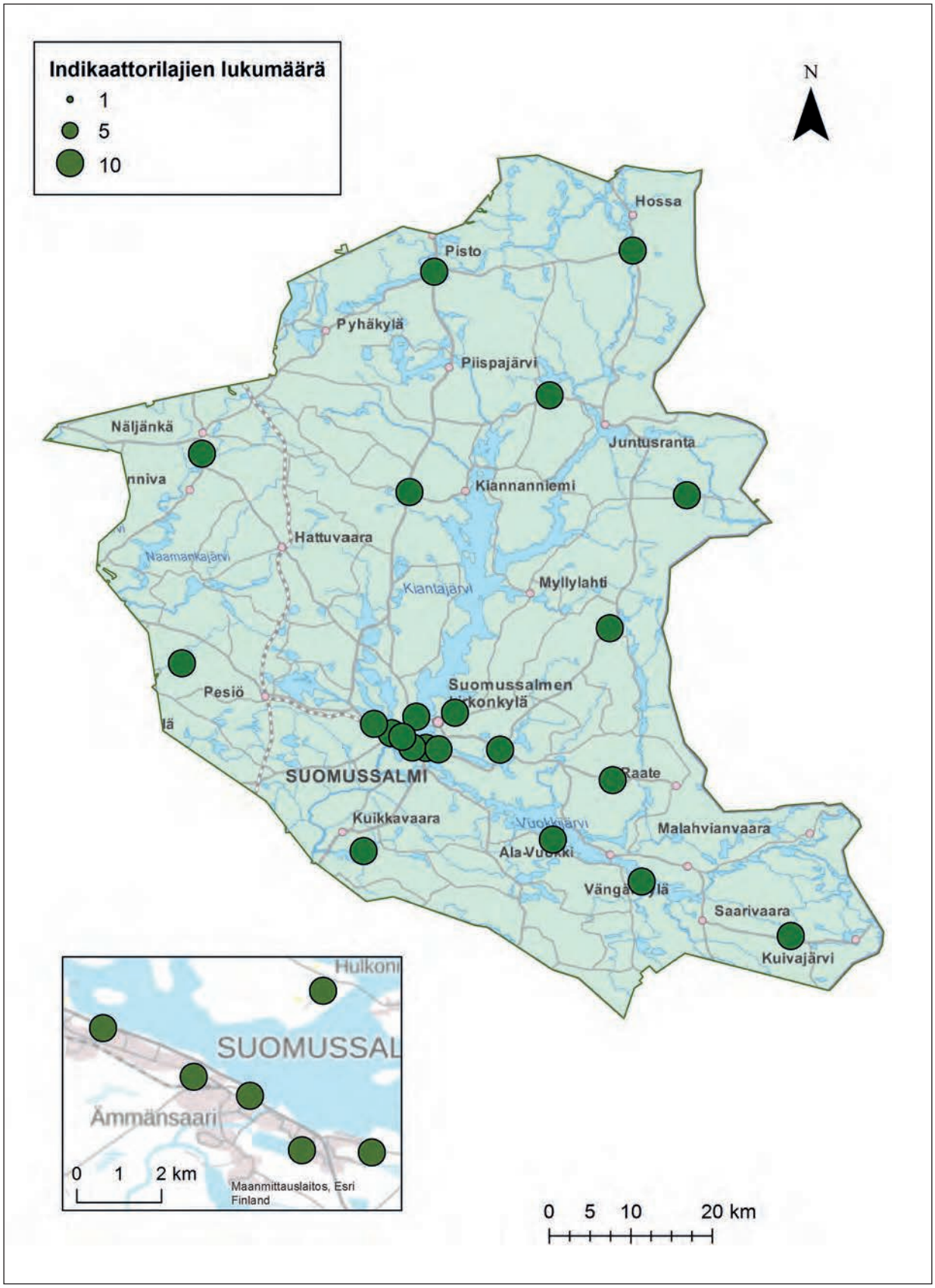
Indikaattorijäkälälajien määrä

Indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli Suomussalmen kunnan alueella leväpeite pois lukien viiden ja yhdeksän välillä, keskiarvon ollessa 6,6. Vuonna 2000 vaihteluväli oli neljästä yhdeksään keskiarvon ollessa 7,2. Vaihteluväli oli pysynyt muuten samana mutta minimi on noussut, ja keskiarvo laskenut hieman. Indikaattorijäkälien määrässä ei havaittu alueellisia ilmansaasteisiin viittaavia piirteitä. Mikäli lajiluku on 4, ilmansaasteiden vaikutuksen voidaan katsoa olevan ilmeisiä (Mäkinen ym. 1991). Yhdelläkään Suomussalmen havaintoalueella lajiluku ei jäänyt alle neljään. Näinollen ei voida lajimäärän perusteella erottaa alueita joilla olisi havaittavissa ilmansaasteiden luontovaikutuksia.

Havaintoalueen näytepuuta kohti esiintyneiden indikaattorijäkälälajien määrä leväpeite mukaan laskettuna vaihteli 3,6 ja 7,0 lajin välillä, keskiarvon ollessa 5,0. Vuonna 2000 lajimäärä näytepuuta kohti vaihteli välillä 4,0 ja 6,8 keskiarvon ollessa 5,4. Näytepuuta kohti lasketuissa lajimäärissä on tapahtunut vaihteluvälin kasvua ja keskiarvon pienenemistä. Indikaattorijäkälien lajikeskiarvo näytepuuta kohti jäi alle viiden kymmenellä havaintoalueella. Näistä havaintoalueista viisi sijaitsi Ämmänsaaren taajama-alueella, loppujen viiden sijaitessa eri puolilla kuntaa. Alhainen lajikeskiarvo johtunee muista kasvupaikkatekijöistä taajama-alueen ulkopuolella. Alhaiseen lajikeskiarvoon taajama-alueen sisällä vaikuttavat pöly ja ilman muut epäpuhtaudet.



Jäkäläkartoituksen havaintoalueiden sijainnit Suomussalmen kunnassa ja keskustaajamassa.



Indikaattorijäkälälajien lukumäärä Suomussalmen kunnan alueella vuonna 2015.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

Sormipaisukarvetta, keltatyvikarvetta ja harmaatyvi- ja tuhkakarvetta havaittiin kaikilta havaintoalueilta frekvenssillä viisi. Näiden kolmen lajin esiintymisessä ei ole tapahtunut muutoksia vuoteen 2000 verrattuna. Luppojen määrä oli hieman vähentynyt, mutta tämä johtuu ilmansaasteita todennäköisemmin kasvupaikkatekijöiden vaikutuksista. Naavojen esiintyvyys oli lisääntynyt. Hankakarpeen määrä on pysynyt samana vuoteen 2000 verrattuna. Raidanisokarvetta ei tavattu tässäkään kartoituksessa.

Harmaaröyhelön esiintyvyys on vähentynyt vuoteen 2000 verrattuna. Keltaröyhelön esiintyvyydessä on tapahtunut kasvua. Ruskoröyhelön esiintyvyys on vähentynyt vuoteen 2000 verrattuna. Keltaröyhelön määrän kasvua voi selittää sen hyötyminen lievästä ravinnelisäyksestä. Toisaalta ruskoröyhelö ja keltaröyhelö eivät ole välttämättä parhaita yksittäisiä indikaattorijäkäliä vaihtelevan esiintymisensä vuoksi.

Seinäsuomujäkälän esiintyvyys oli pienentynyt vuoteen 2000 verrattuna, mutta seinäsuomujäkälän määrä yleensä aliarvioidaan kartoituksissa, joissa lajimäärä arvioidaan 1–2 metrin korkeudelta. Seinäsuomujäkälä esiintyy useimmiten alle 1 m korkeudella puun tyvestä, ilmentäen kasvualustan ja ilman typpipitoisuutta. Leväpeitteen määrä on lisääntynyt vuodesta 2000. Myös leväpeitteen määrä aliarvioituu herkästi, koska leväpeite on haastava havainnoitava sen esiintyessä vähäisessä määrin kaarnan pinnalla. Kasvanut leväpeitteen määrä kertoo ilman lisääntyneiden typpipäästöjen vaikutuksista.

Taulukko 6.16. Indikaattorijäkälien esiintyminen mäntyjen rungoilla Suomussalmella vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	9,1	4,6	13,6	22,7	22,7	27,3
Naavat	22,7	27,3	27,3	9,1	9,1	4,5
Harmaaröyhelö	41,0	22,7	4,5	18,2	13,6	0,0
Keltaröyhelö	22,7	18,2	18,2	0,0	13,6	27,3
Ruskoröyhelö	54,6	31,8	13,6	0,0	0,0	0,0
Hankakarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	86,4	4,6	9,0	0,0	0,0	0,0
Leväpeite	77,3	9,1	13,6	0,0	0,0	0,0

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeella vaihteli 3,1 % –35,4 %. Keskiarvo sormipaisukarpeen peittävyydelle oli 12,1 %. Vuonna 2000 sormipaisukarpeen peittävyys Suomussalmen kunnan alueella vaihteli 0,6 % –32,3 %, keskiarvo oli 7,3 %. Edellisen selvityksen tuloksiin verrattuna sormipaisukarpeen peittävyys kunnan alueella on lisääntynyt. Ämmänsaaren keskustaajaman havaintoalueiden peitteisyydet olivat matalampia kuin muualla kunnassa sijaitsevien havaintoalueiden. Peittävyys oli alle 4 % vain kolmella kasvualueella, joista yksi sijaitsi Ämmänsaaren keskustaajamassa ja loput Suomussalmen kunnan pohjoisosassa. Ämmänsaaren keskustaajaman alhaiset peitteisyydet johtuvat todennäköisesti liikenteen, teollisuuden ja asumisen päästöjen yhteisvaikutuksista, muualla kunnassa peitteisyyden vaihteluita selittävä tekijä löytyy kasvupaikkatekijöistä.

Lupoilla peittävyys vaihteli 0 %–8,9 % välillä, keskiarvon ollessa 1,6 %. Vuonna 2000 luppojen peittävyys vaihteli 0 %–15,8 % välillä, keskiarvo oli 3,3 %. Luppojen peitteisyys on näinollen pienentynyt. Tulos johtuu todennäköisesti erilaisesta arviointitavasta. Siitä huolimatta tuloksissa on nähtävissä, kuinka Ämmänsaaren keskustaajaman alueella luppojen peittävyys on vähäisempää kuin muualla kunnassa. Ämmänsaaren keskustaajamassa luppojen peitteisyyteen ovat todennäköisesti vaikuttaneet liikenteen, asumisen ja teollisuuden päästöt ja pöly. Muualla kunnassa peittävyyden vaihtelu selittyy kasvupaikkatekijöillä.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Sormipaisukarpeessa todettiin lieviä vaurioita kahdella havaintoalueella ja selviä vaurioita yhdellä. Nämä vauriota ilmentävät havaintoalueet sijaitsevat Ämmänsaaren keskustaajaman alueella. Vauriot ilmentävät pölyn, liikenteen ja teollisuuden päästöjen vaikutuksia. Muualla Suomussalmen kunnan alueen havaintoalueilla ei voitu todeta vaurioita sormipaisukarpeessa.

Taulukko 6.17. Sormipaisukarpeen vaurioasteet Suomussalmen kunnan alueella vuonna 2015, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
86,4	9,1	4,5	0,0	0,0

Kuva: Kalervo Ojutkangas/YHA kuvapankki.

Johtopäätökset

Suomussalmen kunnan alueen havaintoalueilla indikaattorijäkälälajien määrien vaihteluvälin minimi oli noussut ja keskiarvo hieman laskenut. Indikaattorijäkälien määrässä ei havaittu alueellisia ilmansaasteisiin viittaavia piirteitä. Yhdelläkään havaintoalueella lajimäärä ei laskenut alle neljään. Havaintoalueen näytepuuta kohti lasketuissa lajimäärissä oli tapahtunut vaihteluvälin kasvua ja keskiarvon pienenemistä. Indikaattorijäkälien lajikeskiarvo näytepuuta kohti jäi alle viiden kymmenellä havaintoalueella. Näistä havaintoalueista viisi sijaitsi Ämmänsaaren taajama-alueella. Loput viisi sijaitsivat eri puolilla kuntaa. Lajikeskiarvon alhaisuus voi johtua taajaman ulkopuolella muista kasvupaikkatekijöistä. Alhaiseen lajikeskiarvoon taajaman sisällä vaikuttavat pöly, liikenteen ja teollisuuden päästöt, sekä muut ilman epäpuhtaudet. Ilmapäästöjen vaikutuksille herkistä indikaattorilajeista luppojen määrä oli hieman vähentynyt, mutta tämä johtunee ilmansaasteita todennäköisemmin kasvupaikkatekijöiden vaikutuksista. Naavojen esiintyvyys sen sijaan oli lisääntynyt. Keltaröyhelön esiintyvyydessä oli tapahtunut kasvua. Keltaröyhelön määrän lisääntymistä voi selittää sen hyötyminen ravinnelisäyksestä. Leväpeitteen määrä oli myös lisääntynyt, ja tämä kertoo lisääntyneestä ilman typpikuormituksesta. Seinäsuomujäkälän määrä oli vähentynyt, mutta todennäköisesti määrä on aliarvioitu. Sormipaisukarpeen peittävyys kunnan alueella on lisääntynyt edellisen selvityksen tuloksiin verrattuna. Ämmänsaaren keskustaajaman havaintoalueiden peitteisyydet olivat matalampia kuin muualla kunnassa sijaitsevien havaintoalueiden. Ämmänsaaren keskustaajaman alhaiset peittävyydet johtuvat todennäköisesti liikenteen, teollisuuden ja asumisen päästöjen yhteisvaikutuksista, muualla kunnassa peitteisyyden vaihteluita selittävä tekijä löytyy kasvupaikkatekijöistä. Luppojen peitteisyys on hieman pienentynyt. Tulos johtuu todennäköisesti erilaisesta arviointitavasta. Siitäkin huolimatta tuloksista voidaan nähdä kuinka Ämmänsaaren keskustaajamassa luppojen peitteisyys on pienempää kuin muualla kunnassa. Ämmänsaaren keskustaajaman luppojen pientä peitteisyyttä selittävät todennäköisesti liikenteen, asumisen ja teollisuuden päästöt sekä pöly. Muualla kunnassa peittävyyden vaihtelu selittyy kasvupaikkatekijöillä. Sormipaisukarpeissa todettiin lieviä vaurioita kahdella havaintoalueella ja selviä vaurioita yhdellä. Vauriota ilmentävät havaintoalueet sijaitsevat Ämmänsaaren keskustaajamassa. Vauriot ilmentävät pölyn, liikenteen ja teollisuuden päästöjen vaikutuksia. Muualla kunnassa sijaitsevilla havaintoalueilla vaurioita sormipaisukarpeissa ei todettu.

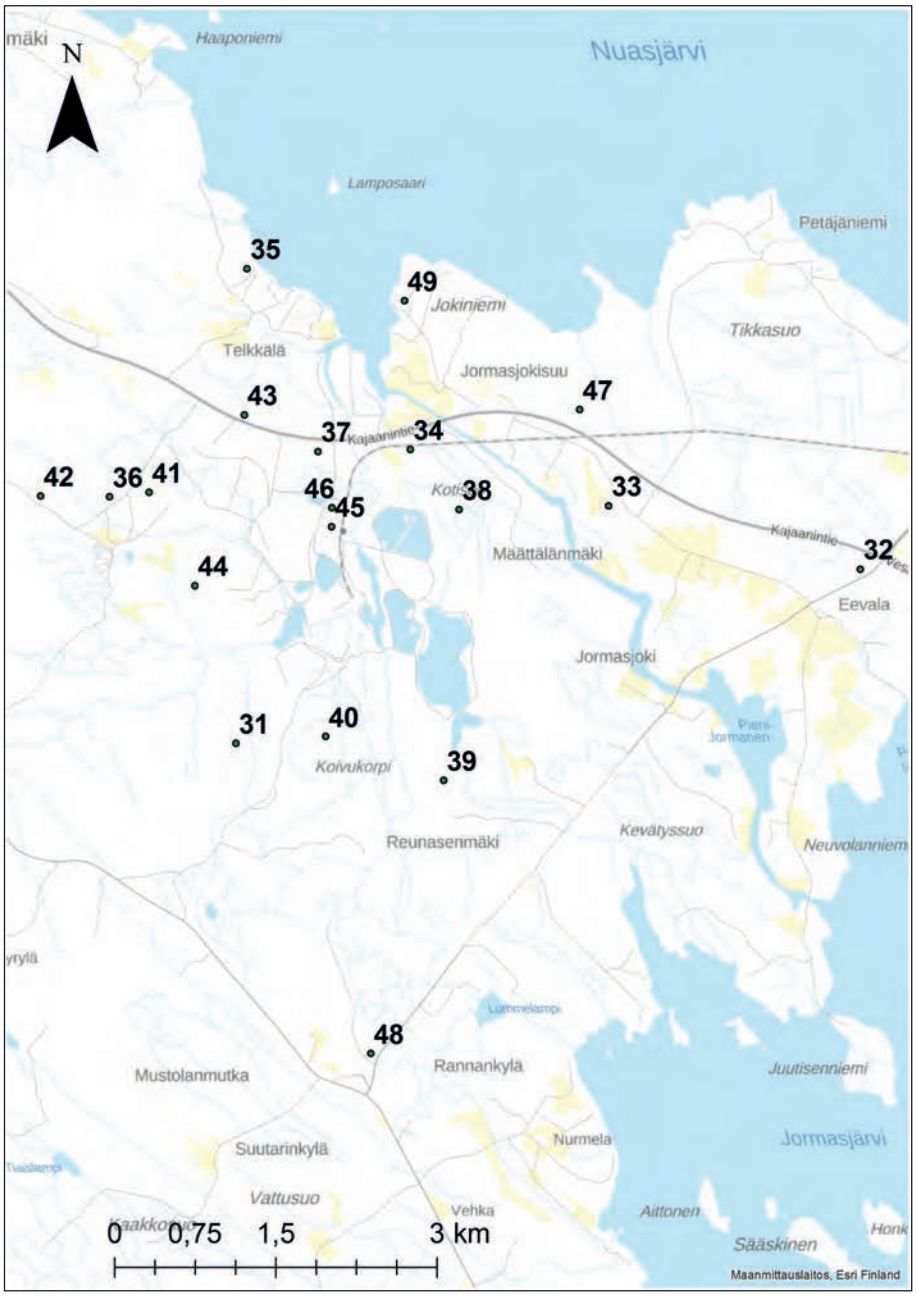
Havaintoalueet Mondo Minerals Oy:n ympäristössä

Mondo Minerals Oy:n ympäristössä sijaitsi yhteensä 19 havaintoaluetta. Havaintoalueista 2 sijaitsi kaivosalueen sisällä loppujen 17 havaintoalueen sijaitessa kaivosalueen ympäristössä vaihtelevin etäisyyksin. Havaintoalueet olivat pääosin samoja kuin vuoden 2000 selvityksessä, mutta käytännön syistä osa havaintoalueista jouduttiin uudelleensijoittamaan. Kenttätyöt tehtiin lokakuussa 2015.

Indikaattorijäkälälajien määrä

Indikaattorijäkälälajien määrä alueella vaihteli leväpeite pois lukien 1 – 9 välillä, keskiarvon ollessa 6,8. Vuonna 2000 indikaattorijäkälien määrä alueella vaihteli 3 ja 10 välillä, keskiarvo oli 6,9. Lajimäärät ovat siis pysyneet lähestulkoon ennallaan. Ilmansaasteiden vaikutuksen katsotaan olevan ilmeinen kun lajiluku on neljä tai alle (Mäkinen ym. 1991). Tämän perusteella voidaan todeta lajimäärän perusteella tuotantoalueella olevan selviä ilmapäästöjen vaikutuksia jäkälälajistossa. Kuitenkin lajimäärä oli alle neljä vain yhdellä havaintoalueella

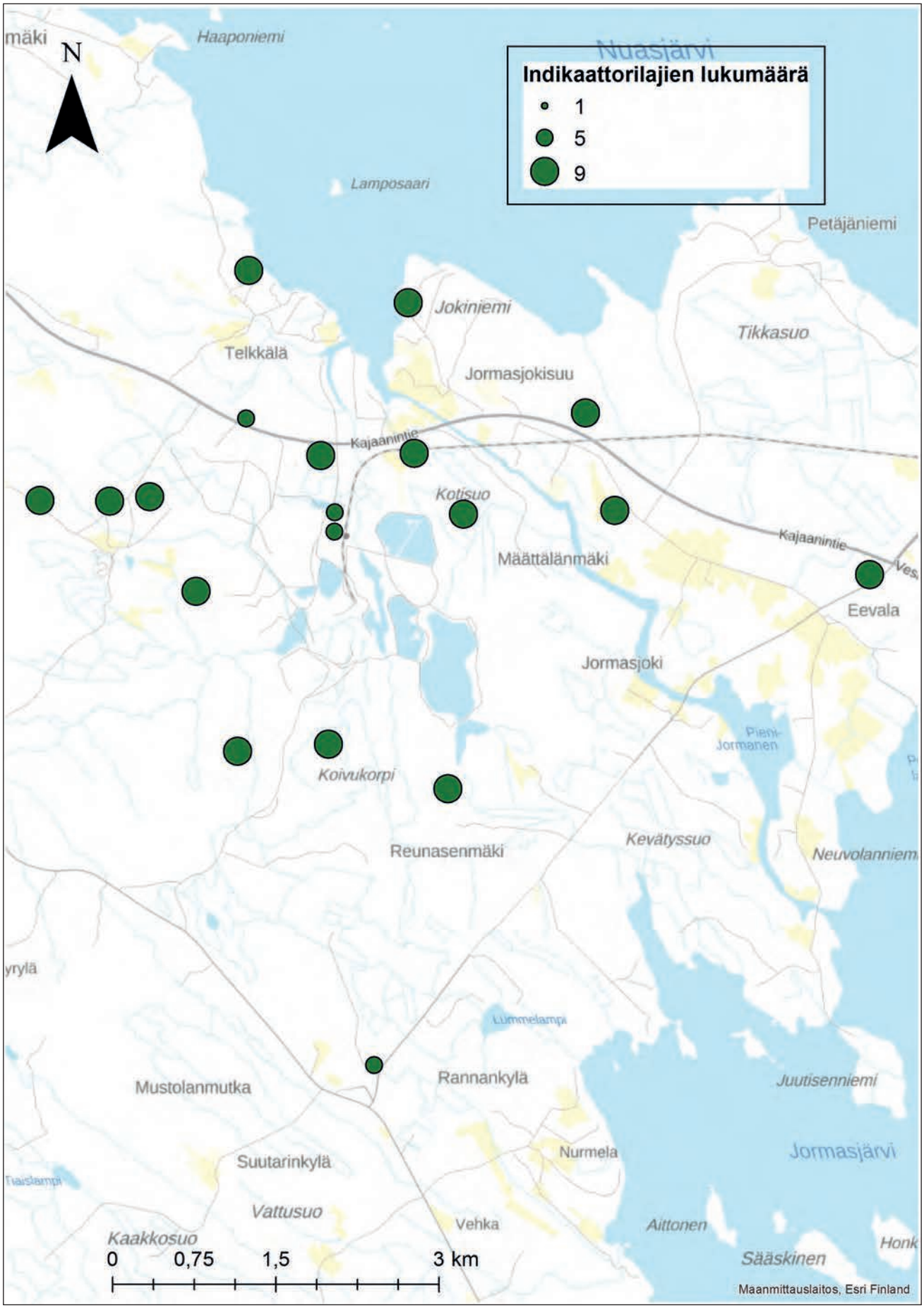
Havaintoalueen näytepuuta kohti laskettu indikaattorilajien määrä leväpeite mukaan laskettuna vaihteli 3,8 ja 6,4 välillä, keskiarvo oli 4,5. Vuonna 2000 havaintoalueen näytepuuta kohti laskettu indikaattorijäkälälajien määrä vaihteli 1,8 ja 6,8 välillä, keskiarvo oli 5,5. Havaintoalueen näytepuuta kohti laskettuna lajimäärä on keskiarvoltaan laskenut.



Jäkäläkartoituksen havaintoalueet Mondo Mineralsin ympäristössä.

Taulukko 6.18. Indikaattorijäkälälajien esiintyminen Mondo Minerals kaivosalueen ympäristössä vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0	89,4
Keltatyvikarve	5,3	0,0	5,3	0,0	0,0	89,4
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	89,4
Lupot	10,5	15,8	26,3	21,1	10,5	15,8
Naavat	26,3	10,5	42,2	10,5	10,5	0,0
Harmaaröyhelö	42,2	15,8	21,1	5,2	10,5	5,2
Keltaröyhelö	31,6	21,1	10,5	21,1	5,2	10,5
Ruskoröyhelö	89,5	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Hankakarve	78,9	21,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	47,4	26,3	10,5	15,8	0,0	0,0
Leväpeite	79,0	10,5	0,0	0,0	10,5	0,0



Indikaattorijäkälälajien määrä Mondo Mineralsin havaintoalueilla vuonna 2015.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

Sormipaisukarpeen, keltatyvikarpeen, sekä harmaatyvi- ja tuhkakarpeen esiintyvyys on hieman laskenut vuodesta 2000. Ruskoröyhelön esiintyvyys on laskussa, vaikka ruskoröyhelöä olikin alkanut kasvaa kaivosalueen keskellä. Typpipäästöistä hyötyvän keltaröyhelön määrä alueella on lisääntynyt. Keltaröyhelö ja ruskoröyhelö eivät vaihtelevan esiintymisensä takia ole välttämättä parhaita mahdollisia yksittäisiä indikaattorijäkäliä. Ilmapäästöille herkemmän hankakarpeen määrä oli lievässä kasvussa verrattuna vuoteen 2000. Myös ilmansaasteille herkkien luppojen määrä oli kasvanut, ja luppoja havainnoitiin myös kaivosalueelta. Naavojen ja harmaaröyhelön esiintyvyys oli vähentynyt, mutta todennäköisesti kasvupaikkatekijöillä on suurempi vaikutus kuin ilmapäästöillä. Raidanisokarvetta ei löytynyt tässäkään kartoituksessa.

Seinäsuomujäkälän esiintyvyys oli kasvanut verrattuna vuoteen 2000. Samoin leväpeitettä oli nähtävissä useammalla havaintoalueella kuin edellisessä selvityksessä. Seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen esiintymisen lisääntyminen kertoo ilman kasvaneen typpikuormituksen vaikutuksista. Seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen esiintyminen usein aliarvioidaan kartoituksissa, joissa lajit kartoitetaan 1 – 2 metrin korkeudelta puun rungolta. Seinäsuomujäkälä ja leväpeite alkavat usein kasvaa puun tyvestä ylöspäin, ja voivat esiintyä puun rungolla vaikka eivät kartoituskorkeudella esiinnykään.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli 0 % ja 21,7 % välillä, keskiarvo alueella oli 11,8 %. Vuonna 2000 sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli nollan ja viiden välillä. Peittävyyden keskiarvo vuonna 2000 oli 8,2 %. Tuloksista voidaan todeta sormipaisukarpeen peittävyyden kasvaneen havaintoalueilla. Pienimmät peittävyydet löytyivät kaivosalueen keskeltä.

Luppojen peittävyys havaintoalueilla vaihteli 0 % ja 2,6 % välillä. Luppojen peittävyyden keskiarvo oli 0,3 %. Vuonna 2000 luppojen peittävyys vaihteli 0 % ja 9,8 % välillä, keskiarvo oli 1,0 %. Keskiarvoltaan luppojen peittävyys on laskenut. Todennäköisesti tulos luppojen osalta johtuu erilaisesta peitteisyyden arviointitavasta. Luppojen peitteisyyksistä ei ole erotettavissa ilmansaasteiden vaikutusalueita.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

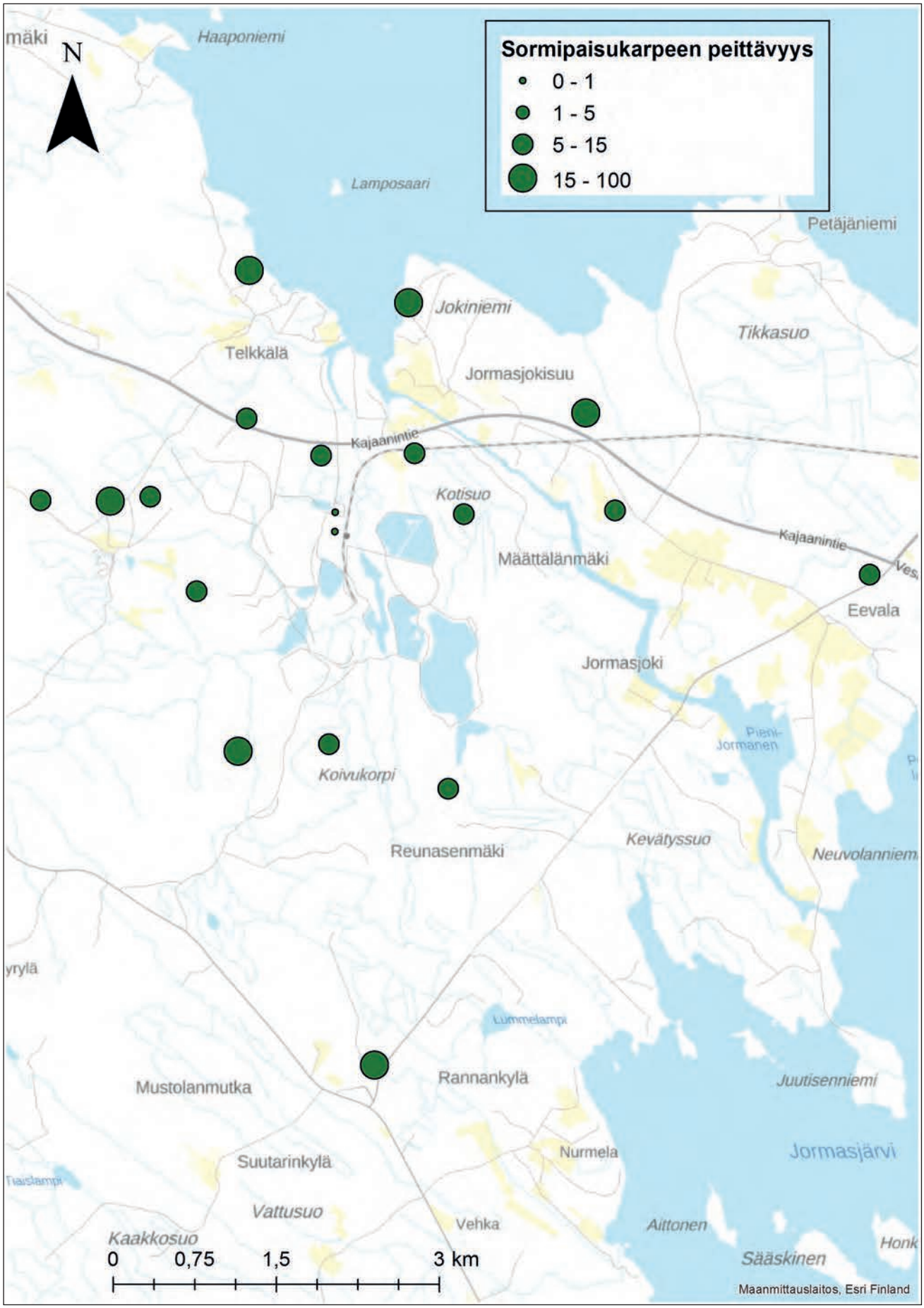
Suurimmat vauriot havaintoalueiden sormipaisukarpeilla löytyivät kaivosalueelta, jossa sormipaisukarpeet olivat joko pahoin vaurioituneita tai kuolleita. Vauriot sormipaisukarpeissa lieventyvät kaivosalueelta poispäin, ja palautuivat pian normaaleiksi. Vuoteen 2000 verrattuna sormipaisukarpeen vaurioasteessa on tapahtunut kehitystä parempaan suuntaan, sillä vähemmän havaintoalueiden sormipaisukarpeista luokiteltiin kuuluvaksi luokkaan kolme, selvästi vaurioituneeksi.

Johtopäätökset

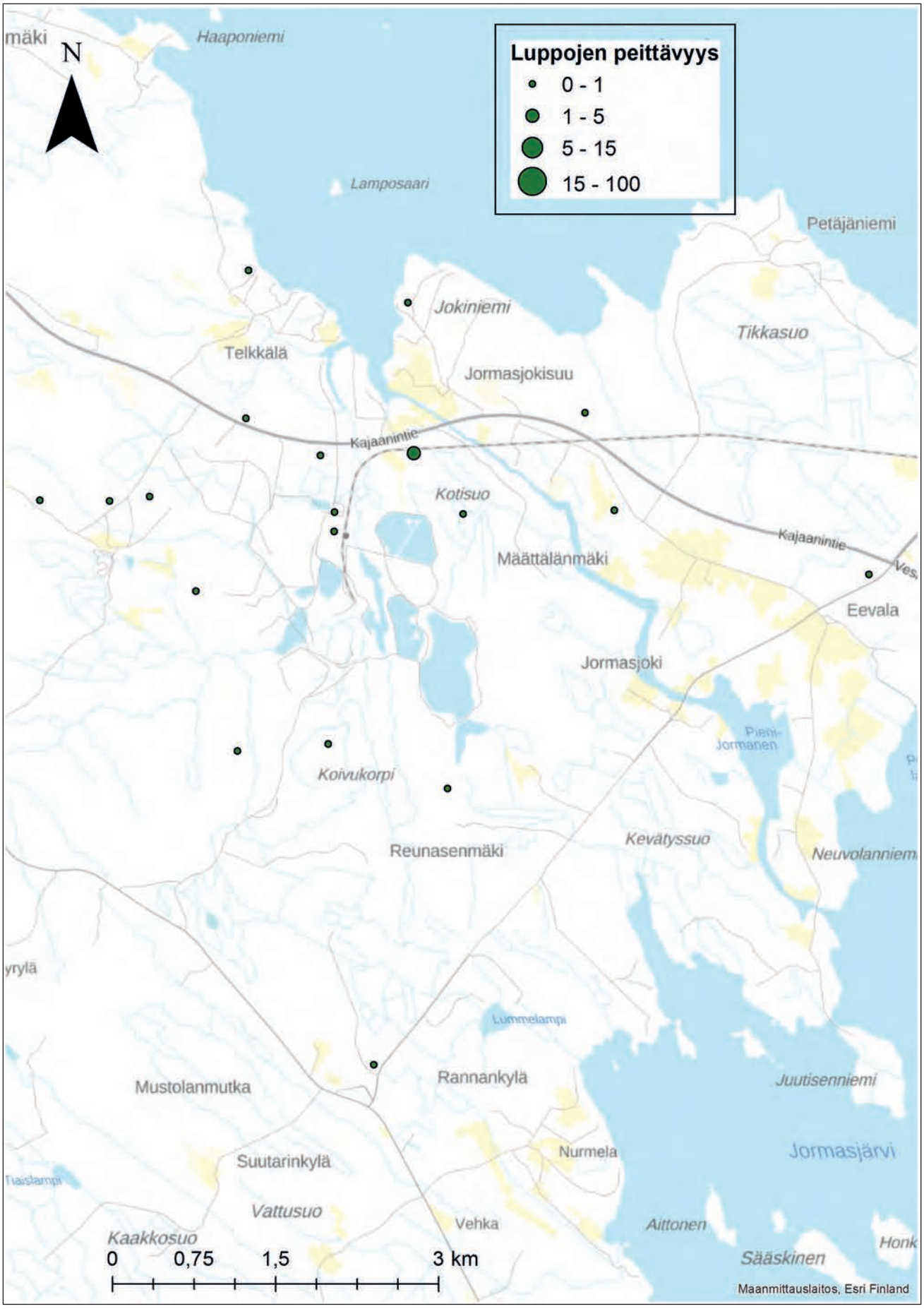
Indikaattorijäkälälajien määrät Mondo Mineralsin alueella ovat pysyneet lähestulkoon ennallaan. Lajimäärän perusteella voitiin todeta selviä ilmapäästöjen vaikutuksia jäkälälajistossa tuotantoalueella. Havaintoalueen näytepuuta kohti laskettuna lajimäärä on keskiarvoltaan laskenut. Ilmansaasteille herkkien luppojen määrä oli lisääntynyt ja niitä oli alkanut kasvaa myös tuotantoalueella. Seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen esiintyminen on lisääntynyt ja kertoo ilman kasvaneesta typpikuormituksesta. Sormipaisukarpeen peittävyys oli kokonaisuutena kasvanut, pienimmät peittävyydet löytyivät tuotantoalueelta. Alueella ilmaa kuormittavat kaivosalueelta ja alueen sorateiltä leviävä pöly, pakokaasut ja kaivosalueen muut ilmapäästöt kuten typpi ja rikki. Luppojen peittävyys on laskenut, mutta todennäköisesti tulos johtuu erilaisesta arviointitavasta. Luppojen peitteisyyksistä ei ollut erotettavissa alueellisuutta, joka olisi kertonut ilmapäästöjen vaikutuksista. Sormipaisukarpeissa oli havaittavissa enimmillään pahoja vaurioita tai ne olivat kuolleita. Vauriot lähtivät paranemaan kaivosalueelta poispäin ja sormipaisukarpeet palautuivat pian normaaleiksi. Vuoteen 2000 verrattuna sormipaisukarpeen vaurioasteissa on tapahtunut elpymistä. Tulosten perusteella voidaan todeta epifyyttijäkälälajiston alkaneen elpyä rikkipäästöjen vähentyessä alueella, mutta kuitenkin vielä on löydettävissä merkkejä typpikuormituksen vaikutuksista.

Taulukko 6.19. Sormipaisukarpeen vaurioaste Mondo Minerals kaivosalueella vuonna 2000 ja 2015, % havaintoalueista.

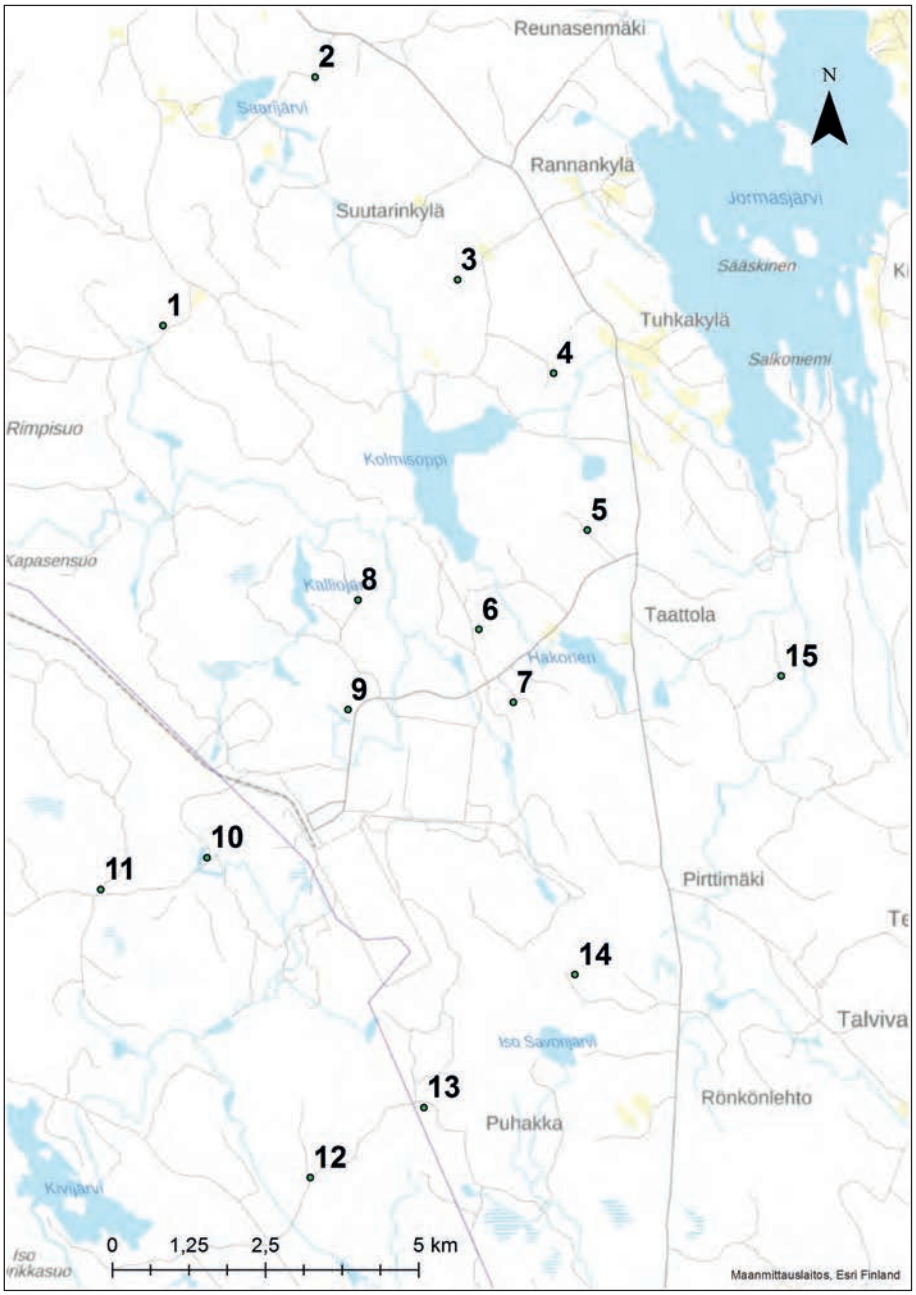
Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
26,3	57,8	5,3	5,3	5,3



Sormipaisukarpeen peittävyys (%) Mondo Minerals havaintoalueilla vuonna 2015.



Luppojen peittävyys (%) Mondo Minerals havaintoalueilla vuonna 2015.



Jäkäläkartoituksen havaintoalueet Terrafame Oy:n Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä.

Havaintoalueet Terrafame Oy:n Talvivaaran kaivosalueella

Terrafame Oy:n Talvivaaran kaivosalueelle perustettiin 15 havaintoaluetta jäkäläkartoitusta varten. Havaintoalueet sijaitsivat kaivosalueen välittömässä läheisyydessä sekä lähiympäristössä. Kartoitukset tehtiin syyskuussa 2015.

Indikaattorijäkälälajien määrä

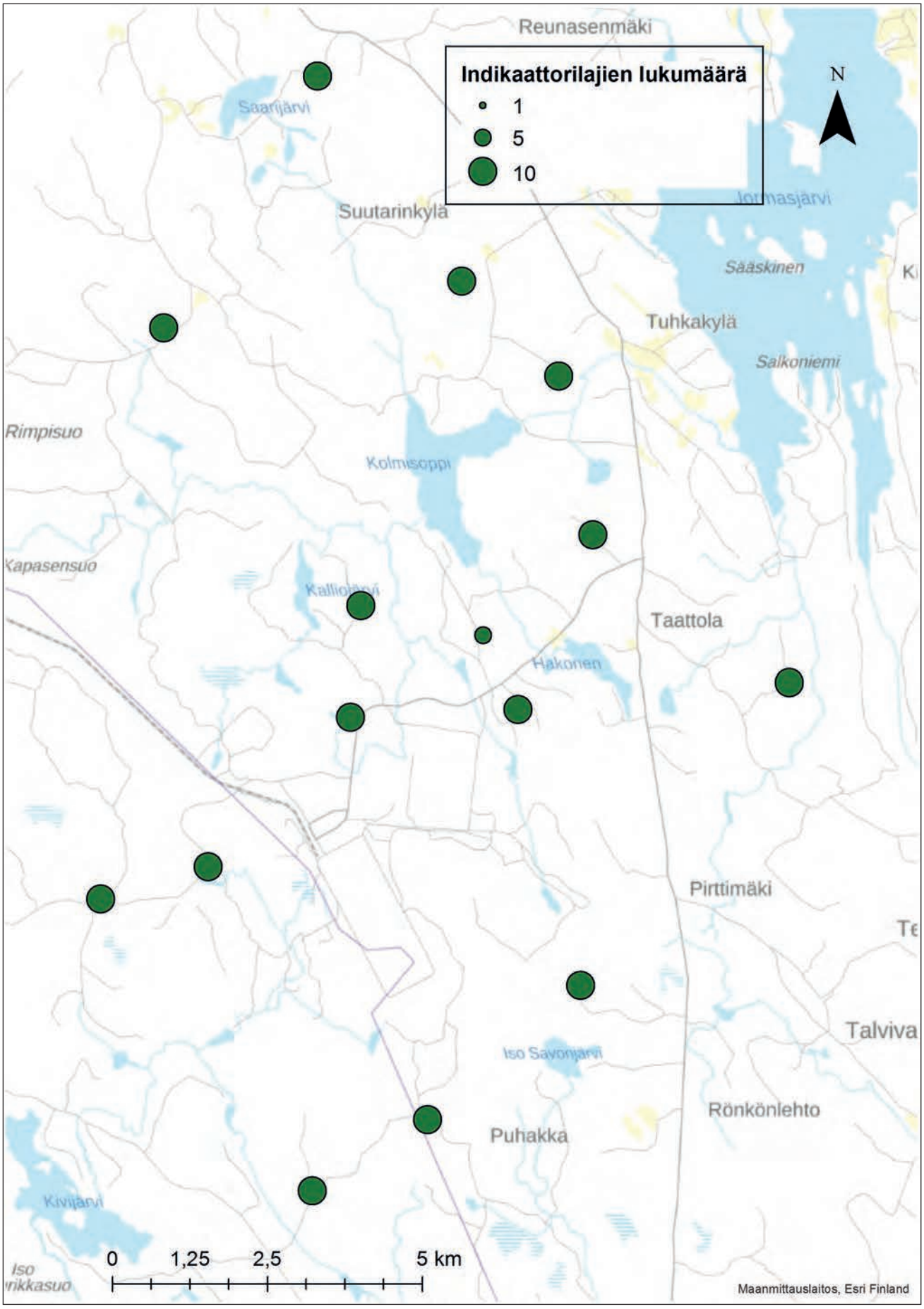
Indikaattorijäkälälajien määrä alueella leväpeite pois laskettuna vaihteli 5 ja 8 välillä, keskiarvon ollessa 6,6. Havaintoalueen näytepuuta kohti lasketun lajimäärän vaihtelu oli leväpeite mukaan luettuna 4,2 – 6,6, keskiarvo oli 5,2. Mikäli lajeja löytyy havaintoalueelta neljä tai alle, on ilmansaasteiden vaikutus selvää (Mäkinen ym. 1991). Yhdeltäkään havaintoalueelta ei näin vähää lajimäärää löytynyt. Ilmansaasteiden vaikutuksesta kertovaa säännönmukaisuutta lajimäärän vähyydessä ei havaittu. Korkea lajimäärä voi kertoa myös toiminnan ilman ravinteisuutta lisäävästä vaikutuksesta josta lajisto voi hyötyä, tiettyyn pisteeseen asti.

Indikaattorijäkälälajien esiintyminen

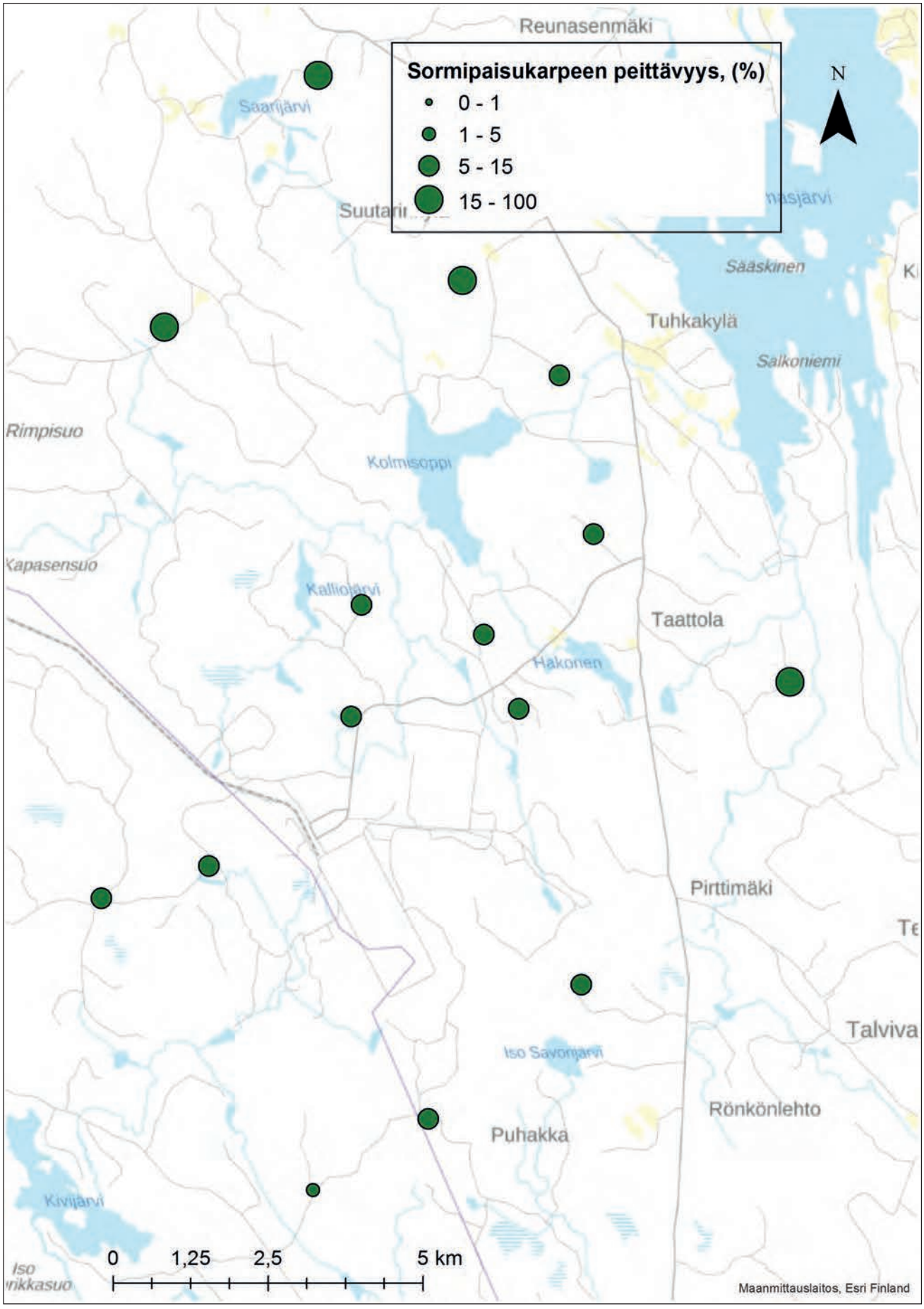
Sormipaisukarvetta, keltatyvikarvetta ja harmaatyvi- sekä tuhkakarvetta havaittiin kaikilta havaintoalueilta. Ilmansaasteille herkistä indikaattorijäkälistä luppoja tavattiin kahta havaintoaluetta lukuun ottamatta kaikilta havaintoalueilta. Naavoja esiintyi hieman luppoja vähemmän, puuttuen kolmelta havaintoalueelta. Harmaaröyhelöä tavattiin muilta paitsi kolmelta havaintoalueelta. Hankakarvetta tavattiin vain kahdelta havaintoalueelta. Raidanisokarvetta tai ruskoröyhelöä ei havaittu yhdeltäkään havaintoalueella. Keltaröyhelö oli kartoitusalueella yleinen, mutta ruskoröyhelön ohella se ei ole parhaita yksittäisiä ilmanlaadun indikaattorilajeja vaihtelevan esiintymisensä vuoksi.

Taulukko 6.20. Indikaattorijäkälälajien esiintyminen Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä vuonna 2015, % havaintoalueista (frekvenssi 0 = lajia ei tavattu yhdelläkään näytepuulla; 5 = laji tavattiin kaikilla viidellä näytepuun rungolla).

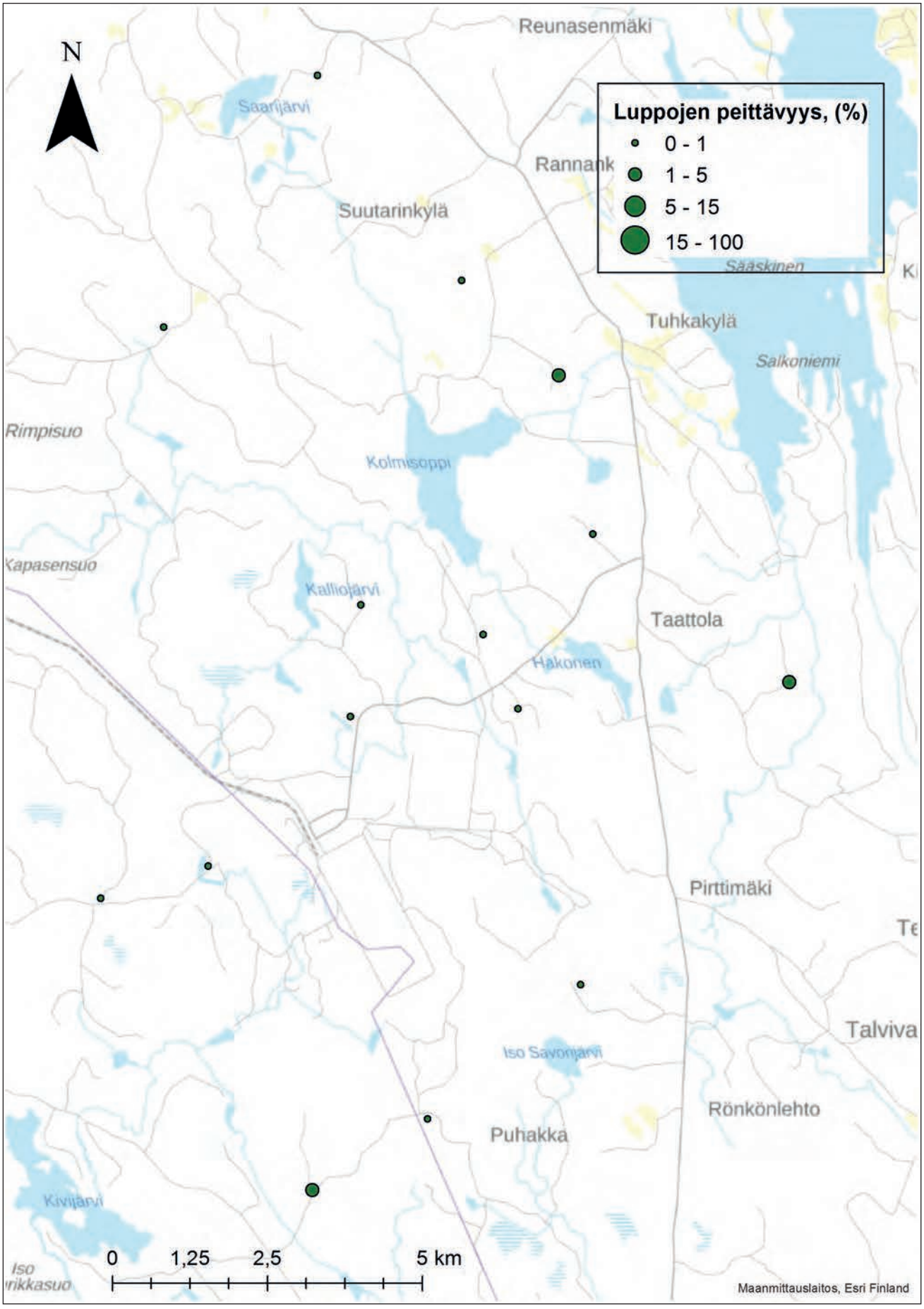
Jäkälälaji	Frekvenssi					
	0	1	2	3	4	5
Sormipaisukarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Keltatyvikarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Lupot	26,7	13,2	6,7	26,7	20,0	6,6
Naavat	33,3	20,0	13,3	26,7	6,7	0,0
Harmaaröyhelö	13,3	13,3	26,7	40,0	6,7	0,0
Keltaröyhelö	13,3	0,0	0,0	26,7	6,7	53,3
Ruskoröyhelö	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hankakarve	86,6	0,0	0,0	6,7	6,7	0,0
Raidanisokarve	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Seinäsuomujäkälä	93,3	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Leväpeite	93,3	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0



Indikaattorijäkälälajien määrä Talvivaaran havaintoalueilla vuonna 2015.



Sormipaisukarpeen peittävyys (%) Terrafamen Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä vuonna 2015.



Luppojen peittävyys (%) Terrafamen Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä vuonna 2015.

Taulukko 6.21. Sormipaisukarpeen vaurioasteet Terrafamen Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä vuonna 2015, % havaintoalueista.

Vaurioluokka				
1	2	3	4	5
33,3	40,0	26,7	0,0	0,0

Seinäsuomujäkälää ja leväpeitettä oli havaittavissa yhdellä kartoitusalueen havaintoalueella. Seinäsuomujäkälän ja leväpeitteen määrä aliarvioidaan herkästi kartoituksissa, joissa lajimäärä arvioidaan 1 – 2 metrin korkeudelta männyn rungolta. Seinäsuomujäkälä ja leväpeite alkavat kasvaa puun tyveltä ylöspäin, esiintyen useimmiten noin 0,5 metrin korkeudella.

Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys

Sormipaisukarpeen peittävyys vaihteli havaintoalueilla 5,0 % ja 25,3 % välillä. Keskiarvo oli 12,1 %. Peittävyydessä oli havaittavissa alueellista vaihtelua, sen ollessa pienimmillään kaivosalueen läheisyydessä ja alkaessa kasvaa kaivosalueelta poispäin mentäessä.

Luppojen peittävyys vaihteli 0 % ja 2,6 % välillä. Keskiarvo luppojen peittävyydelle oli 0,5 %. Myös luppojen peittävyydessä oli havaittavissa samankaltaista alueellista vaihtelua kuin sormipaisukarpeella. Luppojen peittävyys oli pienimmillään kaivosalueen läheisyydessä ja alkoi kasvaa kaivosalueelta poispäin mentäessä.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

Sormipaisukarpeen vaurioasteet jakautuivat kohtalaisesti vauriottoman, lievän ja selkeän vaurioluokan välillä. Eniten havaintoalueita luokiteltiin lievästi vaurioisiksi. Selvää ja lievää vauriota oli havaittavissa havaintoalueilla jotka olivat lähimpänä päästölähdettä. Sormipaisukarpeen vaurioasteet lievenivät kaivosalueelta poispäin mentäessä muuttuen lopulta vauriottomaksi. Myös alueen muissa, herkemmissä indikaattorijäkälissä, kuten naavoissa, lupoissa, harmaaröyhelössä ja hankakarpeessa, oli havaittavissa vaurioita lähempänä päästölähdettä.

Johtopäätökset

Terrafamen Talvivaaran kaivosalueen ympäristön havaintoalueilta ei löytynyt lajimäärien perusteella alueita, joilla ilmansaasteiden vaikutukset olisivat selkeitä. Korkea lajimäärä voi kertoa toiminnasta aiheutuvasta ilman typpikuormituksesta. Lajeja tavattiin havaintoalueilla kattavasti, ilmansaasteille herkkien naavojen ja luppojen puuttuessa vain muutamalta havaintoalueelta. Seinäsuomujäkälää ja leväpeitettä oli havaittavissa yhdellä havaintoalueella, mutta todennäköisesti niiden määrä on aliarvioitu. Seinäsuomujäkälä ja leväpeite ilmentävät kasvualustan ja ilman typpikuormitusta. Sormipaisukarpeiden ja luppojen peittävyyksissä oli havaittavissa alueellista vaihtelua, sen ollessa pienimmillään kaivosalueen läheisyydessä ja alkaessa kasvaa kaivosalueelta poispäin. Sormipaisukarpeissa oli havaittavissa selvää ja lievää vauriota lähimpänä kaivosaluetta sijaitsevilla havaintoalueilla. Alueella ilmaa kuormittavat kaivosalueelta ja alueen runsailta sorateiltä leviävä pöly, pakokaasut ja kaivosalueen muut ilmapäästöt, kuten rikki ja typpi.

Luppoa.

Kirjallisuutta

Aragón, G., Martinez, I., Izquierdo, P., Belinchón, R. & Escudero, A. 2010. Effects of forest management on epiphytic lichen diversity in Mediterranean forests. Applied Vegetation Science, Vol. 13, No.2 (April 2010), pp. 183–194.

Callaway, R.M., Henderson, C. & Pipp, A.K. 2001. Effects of forest age and forest structure on Epiphytic Lichen Biomass and Diversity in a Douglas-fir Forest. Northwest Science, Vol. 75, No.1, 2001.

Hauck M. 2011. Site factors controlling epiphytic lichen abundance in northern coniferous forests. Flora 206:2, pp. 81–90.

Kajaanin kaupunki 1992. Jäkäläkartoitus 1991. Kajaani, ympäristölautalunta, erillistutkimukset, 12 s. + liitteet.

Keskitalo, P. 1986. Epifyyttijäkäläkartoitus Kajaanin kaupungissa kesällä 1986. Kajaanin kaupunki, terveyslautakunnan valvontajaosto. Raportti 5.8.1986, 23 s.

Mäkinen, A., Pihlström, M. & Ruuhijärvi, R. 1991. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1990. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1991:26. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV.

Oksanen J. 1995. Jäkälät reagoivat herkimmin. Julkaisussa: Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena, Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti. Tikkanen, E. (toim.) Maa- ja metsätalousministeriö, Metsäntutkimuslaitos 1995, ss.104–124.

Poikolainen J. 1998. Epifyyttijäkälien runsaus havupuilla Pohjois-Suomessa vuosina 1985 ja 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 1998.

Poikolainen J. & Soppela K. 2000. Epifyyttijäkäläkartoitus vuonna 1998. Julkaisussa: Kemppainen, S. & Markkanen, S-L. Ilman kautta tuleva kuormitus, sen alkuperä ja vaikutukset Kainuussa. Kainuun ympäristökeskus 2000, ss. 79–116.

Rundgren, E. 2013. Kuopion kaupungin ilmanlaatua mittaava jäkäläbioindikaattoritutkimus vuonna 2013. Tutkimusraportti, Suomen luonnonsuojeluliitto.

SFS-EN 16413. Ambient air. Biomonitoring with lichens. Assessing epiphytic lichen diversity.

SFS-5670. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus.

Ström, C. 2011. Lichen decline in areas with increased nitrogen deposition might be explained by parasitic fungi: A survey in parasitic fungi on the lichen Alectoria sarmentosa after 4 years of nitrogen fertilization. B.Sc-thesis, Umeå University, Faculty of Science and Technology, Department of Ecology and Environmental Sciences. 2011.

Liite 1. Neulasnäytteiden ravinne- ja alkuaineanalyysien tulokset kesällä 2015

Koeala	Kunta	N	Al	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg
		mg/g	µg/g	µg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	mg/g
1	Sotkamo	12,5	246	10,4	3,06	<0,08	0,59	2,76	39,9	4,28	0,82
2	Sotkamo	10,7	216	7,59	2,63	<0,08	0,39	2,21	41,2	4,00	0,73
3	Sotkamo	11,6	107	10,3	3,88	0,108	0,35	2,11	32,3	3,68	0,59
4	Sotkamo	11,2	255	4,94	2,06	<0,08	0,49	2,21	35,7	3,29	0,66
5	Sotkamo	13,4	232	7,88	2,57	<0,08	0,28	3,75	30,0	6,73	0,92
6	Sotkamo	9,66	264	4,87	1,93	<0,08	0,41	1,83	38,3	3,00	0,58
7	Sotkamo	9,72	63	19,2	3,85	<0,08	0,30	1,93	29,5	4,50	0,81
8	Sotkamo	12,3	168	20,7	2,44	0,097	0,32	3,31	29,6	4,69	0,96
9	Sotkamo	12,2	198	7,47	2,58	0,077	0,36	2,08	30,2	3,58	0,61
10	Sotkamo	12,6	167	2,32	2,89	<0,08	0,47	2,33	37,2	3,52	1,16
11	Sotkamo	12,3	262	8,00	2,98	<0,08	0,36	2,62	28,6	3,58	0,66
12	Kuhmo	11,5	334	10,9	3,41	0,087	0,52	2,24	42,8	2,79	0,79
13	Kuhmo	12,8	426	7,95	2,84	<0,08	0,36	2,60	30,5	3,75	1,11
14	Kuhmo	12,9	406	9,43	1,47	<0,08	0,54	2,16	46,8	2,96	0,74
15	Kuhmo	13,1	264	2,91	1,40	<0,08	0,32	2,38	26,2	5,24	0,81
16	Kuhmo	12,7	223	5,36	2,90	<0,07	0,54	2,50	45,3	4,13	0,47
17	Kuhmo	12,5	265	6,29	3,55	0,097	0,39	2,65	27,0	4,89	0,79
18	Kuhmo	12,0	200	6,12	2,61	<0,08	0,57	2,91	37,5	4,59	0,77
19	Kuhmo	10,5	166	6,22	2,44	0,076	0,33	1,86	29,5	3,62	0,65
20	Kuhmo	9,86	498	7,14	3,06	0,076	0,37	2,21	41,4	4,15	0,49
21	Hyrynsalmi	9,97	220	7,59	1,85	<0,08	0,32	2,20	29,7	3,36	0,63
22	Hyrynsalmi	13,7	259	11,3	2,82	0,097	0,32	2,59	31,3	3,67	0,57
23	Hyrynsalmi	13,8	290	13,4	1,35	<0,07	0,68	3,43	33,1	4,97	1,03
24	Suomussalmi	10,5	203	8,46	2,90	<0,08	0,31	2,19	27,9	3,08	0,61
25	Suomussalmi	15,1	205	2,33	3,34	0,097	0,38	3,15	28,9	2,77	1,04
26	Suomussalmi	12,8	171	4,09	1,92	<0,08	0,27	2,24	26,3	3,54	0,57
27	Suomussalmi	13,5	303	10,6	3,46	<0,08	0,30	2,95	29,4	4,17	0,53
28	Suomussalmi	10,5	242	4,56	2,69	<0,08	0,35	2,06	37,8	3,79	0,60
29	Suomussalmi	9,72	259	11,8	3,66	0,095	0,57	2,04	38,6	3,73	0,62
30	Suomussalmi	11,0	299	4,05	2,99	<0,07	0,38	2,23	34,3	4,63	0,36
31	Suomussalmi	10,2	225	5,30	2,71	<0,08	0,48	1,89	35,2	2,56	0,74
32	Suomussalmi	10,9	299	10,6	2,89	<0,08	0,40	2,53	30,7	3,59	0,77
33	Suomussalmi	9,43	378	7,38	1,82	<0,07	0,36	2,03	38,8	3,31	0,59
34	Ristijärvi	13,0	223	4,79	1,69	<0,08	0,32	2,84	31,9	5,73	0,56
35	Ristijärvi	13,3	209	9,82	2,31	<0,08	0,32	2,89	25,9	5,63	0,71
36	Ristijärvi	11,3	211	7,48	2,44	<0,07	0,36	2,22	35,1	4,30	0,63
37	Puolanka	12,5	137	2,55	2,71	<0,08	0,29	2,28	35,2	2,85	1,08
38	Puolanka	9,24	96	7,31	3,02	0,139	0,44	2,00	40,6	3,12	0,59
39	Puolanka	13,3	248	5,80	1,94	0,097	0,42	2,57	32,8	4,92	0,70
40	Puolanka	11,1	74	18,4	2,99	0,095	0,57	2,84	75,4	4,08	0,62
41	Puolanka	11,1	203	5,04	2,27	<0,08	0,27	2,45	32,2	4,05	0,58
42	Vaala	11,6	146	7,16	1,45	<0,08	0,33	2,53	25,9	4,61	0,67
43	Kajaani	14,1	146	5,89	1,93	<0,08	0,60	2,94	25,4	5,80	0,89
44	Kajaani	16,1	294	20,0	2,21	0,075	0,31	2,65	44,0	6,02	0,97
45	Kajaani	11,3	151	14,9	2,64	0,075	0,42	3,25	31,8	5,36	0,85
46	Kajaani	13,3	149	8,93	1,63	<0,08	0,43	3,12	36,7	6,18	0,94
47	Kajaani	12,7	196	4,94	2,16	<0,07	0,38	3,78	39,0	5,79	0,72
48	Kajaani	12,6	201	9,38	2,95	0,076	0,48	3,16	39,1	4,84	0,60
49	Kajaani	14,1	374	8,38	4,07	0,076	0,37	2,89	31,6	5,32	0,58
50	Paltamo	12,5	197	8,60	1,48	<0,08	0,31	2,75	39,2	5,31	0,62
51	Paltamo	12,0	307	7,42	2,70	<0,08	0,43	3,21	28,9	5,23	0,71
52	Paltamo	11,0	202	9,34	1,96	<0,08	0,46	2,45	31,8	4,56	0,61
53	Kajaani	12,1	290	5,60	3,56	0,074	0,41	2,46	32,5	5,05	0,65

	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn	Ti	V
	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	µg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g
	912	26,4	0,75	1,19	<1,09	0,84	39,0	2,11	0,68
	584	8,13	1,20	0,99	<1,09	0,70	41,2	1,33	0,51
	637	15,4	0,40	1,06	<1,08	0,77	26,9	1,60	0,41
	756	30,8	0,78	1,01	<1,08	0,68	26,3	2,52	0,63
	392	<6,47	1,95	1,57	<1,08	0,90	42,2	0,54	0,41
	496	12,9	1,74	0,93	<1,08	0,68	22,7	1,53	0,55
	399	6,57	0,30	0,89	<1,07	0,66	44,6	1,15	<0,32
	728	<6,46	0,99	1,41	<1,08	0,86	36,1	1,01	0,45
	682	18,1	0,71	1,13	<1,09	0,73	31,7	1,02	0,49
	177	7,63	0,57	1,00	<1,09	0,81	29,7	2,09	0,33
	685	7,04	0,67	1,07	<1,1	0,74	38,9	0,81	0,55
	1420	14,8	1,20	0,98	<1,08	0,71	54,9	1,59	0,89
	241	11,4	0,26	1,18	<1,09	0,81	24,4	0,89	0,59
	818	12,9	1,16	1,15	<1,07	0,80	34,5	1,57	0,76
	307	7,34	1,57	1,40	<1,1	0,87	20,7	0,73	0,43
	506	30,5	1,05	1,08	<1,07	0,79	31,0	2,97	0,54
	925	<6,47	1,31	1,34	<1,08	0,79	43,0	0,60	0,63
	899	10,1	0,64	1,28	<1,08	0,83	42,5	1,39	0,58
	584	<6,5	0,49	1,00	<1,08	0,68	32,2	0,62	0,42
	600	13,1	1,20	1,07	<1,08	0,72	41,4	0,88	0,81
	541	11,9	0,48	0,97	<1,09	0,63	29,4	0,55	0,37
	749	12,2	0,41	1,08	<1,08	0,72	44,9	0,55	0,48
	787	7,03	2,14	1,80	<1,07	0,94	41,3	0,92	0,51
	623	19,4	0,51	1,03	<1,08	0,72	34,1	0,60	0,37
	498	9,19	0,66	1,36	<1,08	0,90	30,4	0,68	0,35
	364	6,55	0,45	1,10	<1,08	0,75	22,6	0,61	<0,32
	339	47,5	0,61	1,30	<1,09	0,84	32,7	0,72	0,39
	515	24,6	0,75	1,05	<1,09	0,71	39,7	0,90	0,40
	664	9,94	0,58	0,92	<1,06	0,60	40,0	1,48	0,47
	350	10,7	0,76	1,04	<1,05	0,71	26,3	0,73	0,38
	333	15,5	0,62	0,84	<1,09	0,64	25,1	0,84	0,33
	819	10,1	0,80	1,07	<1,08	0,75	47,3	0,55	0,52
	365	6,41	1,23	0,89	<1,06	0,58	35,6	0,80	0,50
	509	8,55	1,11	1,36	<1,08	0,80	26,2	0,80	0,39
	511	<6,47	1,07	1,41	<1,08	0,85	40,7	0,64	0,36
	243	43,7	1,06	1,18	<1,06	0,69	28,6	1,20	<0,32
	1160	11,1	0,79	1,03	<1,08	0,80	40,7	0,66	0,49
	830	45,4	0,31	0,81	<1,07	0,57	35,9	1,29	0,38
	623	7,48	1,71	1,30	<1,07	0,83	39,7	0,92	0,43
	619	13,5	0,44	1,07	<1,06	0,68	40,4	5,43	0,39
	539	10,0	0,87	1,18	<1,09	0,75	35,5	0,49	0,34
	366	<6,47	0,54	1,14	<1,08	0,77	29,5	0,53	<0,32
	322	<6,47	1,45	1,50	1,71	0,84	33,0	1,36	<0,32
	681	<6,46	2,07	1,88	<1,08	1,10	42,0	0,74	0,50
	434	8,15	0,83	1,28	<1,08	0,75	31,7	0,64	<0,32
	394	10,3	1,31	1,39	<1,09	0,76	35,3	1,75	<0,33
	602	6,72	1,09	1,36	<1,06	0,78	47,4	1,40	0,39
	758	35,5	0,90	1,32	<1,09	0,82	25,1	2,03	0,45
	763	15,6	1,02	1,37	<1,09	0,90	41,6	1,17	0,62
	589	10,2	1,54	1,26	<1,09	0,83	29,2	0,60	0,35
	882	15,3	1,27	1,40	<1,11	0,83	42,7	0,78	0,58
	661	15,2	0,97	1,14	<1,09	0,75	32,0	0,98	0,40
	718	17,7	2,11	1,19	<1,06	0,78	34,0	1,37	0,51

Liite 2. Epifyyttijäkälänäytteiden ravinne- ja alkuaineanalyysien tulokset kesällä 2015

Koeala	Kunta	N	Al	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg
		mg/g	µg/g	µg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	mg/g
0	Sotkamo	8,22	736	1,80	6,18	0,31	7,16	6,98	855	2,12	0,64
2	Sotkamo	6,86	660	1,61	2,94	0,30	7,09	7,93	854	1,86	0,52
3	Sotkamo	6,15	535	1,18	14,4	0,81	1,82	5,27	364	1,85	0,48
4	Sotkamo	7,33	689	1,48	6,52	0,48	1,56	5,17	357	1,90	0,51
5	Sotkamo	6,48	570	1,25	3,30	0,23	1,87	5,37	398	2,36	0,61
6	Sotkamo	8,66	964	1,46	6,31	0,62	5,45	6,51	1150	2,01	0,67
7	Sotkamo	6,77	373	1,45	2,30	0,19	2,34	4,72	511	1,75	0,41
8	Sotkamo	5,89	375	1,52	7,12	0,35	1,57	5,75	261	2,22	0,53
9	Sotkamo	6,35	316	1,72	7,39	0,63	1,33	3,97	262	2,23	0,52
10	Sotkamo	7,02	794	1,45	4,01	0,34	7,01	5,40	1030	1,85	0,57
11	Sotkamo	8,45	263	1,98	8,07	0,42	1,85	3,81	357	3,10	0,70
12	Kuhmo	7,98	485	1,52	6,00	0,49	2,05	4,57	425	1,90	0,52
13	Kuhmo	7,59	510	1,52	6,27	0,39	2,56	4,27	436	2,52	0,67
14	Kuhmo	7,70	798	1,82	7,81	0,50	1,88	5,34	380	2,11	0,62
15	Kuhmo	6,69	382	1,14	7,14	0,43	1,28	4,20	291	2,07	0,56
16	Kuhmo	7,09	946	1,51	3,35	0,25	1,78	5,39	507	2,25	0,44
17	Kuhmo	8,14	495	1,22	4,31	0,51	1,67	4,82	447	2,29	0,59
18	Kuhmo	7,34	901	1,30	5,20	0,43	5,17	6,44	1080	2,34	0,64
19	Kuhmo	7,31	341	0,93	4,99	0,51	3,09	4,45	389	2,34	0,61
20	Kuhmo	7,34	731	1,33	3,09	0,28	2,04	5,45	585	1,72	0,32
21	Hyrynsalmi	7,36	631	1,81	3,63	0,26	3,21	4,68	383	2,02	0,42
22	Hyrynsalmi	5,62	610	1,63	3,91	0,29	1,17	3,94	259	1,80	0,37
23	Hyrynsalmi	5,91	479	1,18	10,5	0,66	1,16	4,53	201	2,12	0,54
24	Suomussalmi	7,07	247	0,99	5,41	0,37	1,16	3,86	271	2,25	0,55
25	Suomussalmi	7,09	229	0,57	1,79	0,16	1,03	2,61	204	0,99	0,30
26	Suomussalmi	7,09	366	1,48	3,59	0,31	1,15	4,05	255	2,36	0,51
27	Suomussalmi	8,74	347	1,79	8,54	0,40	1,29	3,99	278	3,29	0,60
28	Suomussalmi	7,44	741	1,10	2,33	0,27	2,30	5,50	546	1,89	0,41
29	Suomussalmi	7,37	414	1,32	4,76	0,31	2,40	4,66	701	1,88	0,37
30	Suomussalmi	6,80	639	1,00	6,27	0,24	1,53	4,82	370	2,73	0,60
31	Suomussalmi	7,97	531	0,82	5,03	0,35	2,12	5,01	589	2,08	0,57
32	Suomussalmi	7,43	465	2,20	5,17	0,33	4,51	4,51	370	2,25	0,65
33	Suomussalmi	6,94	410	1,38	10,8	0,20	2,43	4,85	511	2,19	0,66
34	Ristijärvi	5,82	700	1,33	7,55	0,47	1,36	4,34	251	1,83	0,44
35	Ristijärvi	7,46	643	1,35	8,86	0,75	1,85	5,00	442	2,05	0,54
36	Ristijärvi	7,46	655	1,29	4,96	0,29	2,76	4,90	377	1,97	0,47
37	Puolanka	8,82	419	1,00	4,53	0,39	1,87	4,69	384	2,02	0,61
38	Puolanka	8,88	562	1,30	4,76	0,39	3,32	5,51	634	1,86	0,50
39	Puolanka	7,83	380	2,74	4,15	0,41	2,09	4,51	383	2,46	0,58
40	Puolanka	8,18	415	1,14	4,04	0,40	1,84	5,42	472	1,74	0,43
41	Puolanka	7,73	366	0,64	3,58	0,36	2,45	4,90	404	2,69	0,66
42	Vaala	7,45	319	1,31	4,39	0,38	1,42	5,25	347	1,99	0,56
43	Kajaani	7,04	443	1,08	6,51	0,59	1,62	5,15	461	2,30	0,63
44	Kajaani	7,84	580	1,25	6,52	0,45	2,97	6,03	737	2,04	0,52
45	Kajaani	8,37	591	1,33	4,22	0,41	2,75	6,19	763	2,05	0,55
46	Kajaani	8,86	1390	1,55	5,10	0,26	5,45	6,97	1290	2,27	0,75
47	Kajaani	7,55	703	1,38	11,3	0,58	3,54	6,34	951	2,30	0,58
48	Kajaani	6,55	393	1,00	6,90	0,36	2,35	4,34	601	2,21	0,60
49	Kajaani	6,95	811	1,59	7,42	0,35	1,76	5,47	441	1,91	0,34
50	Paltamo	6,76	704	1,41	2,21	0,22	1,64	4,11	416	2,34	0,38
51	Paltamo	6,28	580	1,59	3,90	0,39	1,83	5,03	419	2,15	0,43
52	Paltamo	7,14	749	1,15	13,3	0,67	3,37	5,95	831	2,25	0,71
53	Kajaani	7,00	880	1,58	11,0	0,51	3,34	6,33	746	2,31	0,53

	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn	Ti	V
	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	µg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g
	191	58,7	7,06	0,57	3,27	0,86	51,4	53,6	3,70
	113	58,8	6,95	0,48	2,00	0,78	56,9	40,9	3,14
	200	48,4	2,45	0,44	2,63	0,65	54,3	18,8	2,00
	238	63,0	1,96	0,52	2,38	0,76	52,5	20,0	2,12
	233	48,7	2,61	0,58	1,93	0,68	47,3	22,4	2,08
	135	66,5	5,71	0,58	3,03	0,94	68,3	68,8	4,31
	34	47,7	1,80	0,38	2,47	0,72	42,2	31,7	2,12
	104	36,1	1,35	0,53	1,59	0,62	42,5	15,3	1,55
	175	57,5	1,86	0,60	2,36	0,70	49,2	13,0	1,60
	96	75,0	4,11	0,55	2,49	0,75	41,7	74,6	3,72
	541	94,7	2,04	0,98	4,70	0,88	122	18,8	2,10
	285	54,1	2,02	0,46	3,86	0,81	51,1	23,7	2,39
	190	72,8	1,99	0,70	2,72	0,78	59,6	27,8	2,10
	265	53,4	1,51	0,72	2,12	0,77	50,5	23,2	2,28
	254	33,6	1,52	0,50	1,96	0,70	50,3	14,7	1,66
	157	91,2	1,59	0,60	1,59	0,78	49,6	30,6	2,66
	274	39,7	1,84	0,50	2,55	0,83	61,4	22,4	2,38
	240	103	3,58	0,57	2,91	0,71	55,1	84,4	4,08
	312	46,5	2,42	0,47	1,84	0,72	67,2	23,8	2,10
	97	45,6	1,79	0,36	2,46	0,80	45,0	18,9	2,42
	172	68,9	2,30	0,51	2,10	0,76	47,9	19,5	1,94
	202	58,5	1,06	0,45	1,91	0,60	47,6	13,1	1,70
	376	32,7	1,16	0,53	1,65	0,65	53,1	9,7	1,48
	266	27,1	1,78	0,52	2,69	0,68	49,7	11,7	1,79
	96	19,9	1,24	0,25	<1,1	0,37	28,5	11,8	1,00
	178	42,2	1,22	0,70	1,81	0,75	50,6	13,3	1,51
	159	86,2	1,48	1,03	1,83	0,93	58,3	14,6	1,36
	131	55,3	1,78	0,45	2,12	0,82	50,1	22,8	2,58
	213	56,0	2,17	0,43	3,79	0,79	49,9	29,4	2,82
	132	49,5	1,50	0,80	2,01	0,70	57,5	11,6	1,66
	129	56,6	1,95	0,44	2,07	0,77	63,7	28,8	2,87
	214	51,0	3,28	0,60	2,35	0,76	46,0	16,1	2,00
	214	56,8	2,85	0,59	5,75	0,68	89,7	31,7	2,81
	226	47,2	1,16	0,35	2,20	0,61	46,4	13,6	1,93
	197	49,7	2,04	0,41	2,61	0,75	57,0	23,0	2,42
	103	98,7	2,68	0,38	1,89	0,74	44,2	22,2	2,17
	373	48,0	1,93	0,52	2,57	0,79	47,9	21,1	2,20
	127	64,8	2,43	0,42	5,74	0,79	53,4	33,5	3,12
	230	48,4	1,95	0,54	2,14	0,79	54,9	20,4	1,97
	157	39,2	1,86	0,39	3,77	0,83	49,3	22,4	2,26
	265	41,4	2,20	0,57	3,28	0,76	52,8	23,3	2,14
	169	41,3	1,38	0,46	3,24	0,76	49,7	16,6	1,92
	196	42,0	2,54	0,51	2,13	0,75	62,3	27,1	2,28
	229	52,0	2,44	0,51	3,28	0,86	53,5	47,6	5,03
	136	53,6	3,10	0,50	3,65	0,91	54,0	46,2	3,34
	114	186	3,92	0,57	2,22	0,88	52,2	107	8,28
	201	77,6	2,57	0,56	2,28	0,81	52,2	68,0	5,96
	301	61,9	2,13	0,43	3,05	0,64	44,0	42,8	3,14
	145	65,6	1,28	0,38	3,01	0,74	49,5	27,3	2,82
	151	47,9	1,46	0,55	2,27	0,71	47,1	24,0	2,32
	239	69,1	1,44	0,46	2,07	0,76	48,4	23,3	2,33
	280	78,0	2,60	0,53	2,89	0,83	58,0	41,6	3,33
	139	73,5	3,33	0,57	2,63	0,80	51,8	52,6	3,54

Liite 3. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Hyrynsalmella

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	4	0	1	0	0	0	0	0	0	87	15	1	5	4
2	5	5	5	5	3	1	1	0	0	0	1	1	92	69	3	9	5,4
3	5	5	5	5	4	4	2	0	0	0	0	0	69	41	1	7	6
4	5	5	5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	39	29	2	5	5
5	5	5	5	5	2	1	3	0	0	0	0	0	35	109	2	7	5,2
6	5	5	5	5	4	2	3	0	0	0	0	0	327	16	1	7	5,8
7	5	5	5	1	3	3	4	0	0	0	0	0	74	5	1	7	5,2
8	5	5	5	4	5	0	5	0	0	0	0	0	310	1	1	6	5,8
9	5	5	5	2	1	2	4	0	0	0	1	0	238	0	1	8	5
10	5	5	5	5	2	3	0	0	0	0	0	0	102	82	1	6	5
11	5	5	5	1	4	3	2	0	0	0	0	0	38	0	1	7	5
12	5	5	5	5	1	5	0	0	0	0	2	0	110	19	1	7	5,6
13	5	5	5	3	0	2	2	0	0	0	0	0	49	17	1	6	4,4
14	5	5	5	1	3	3	3	0	0	0	0	0	147	0	1	7	5
15	5	5	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	150	0	1	5	3,4
16	5	5	5	5	3	4	1	0	0	0	0	0	128	10	1	7	5,6
17	5	5	5	0	1	0	5	0	0	0	0	0	274	0	1	5	4,2
18	5	5	5	2	0	0	1	0	0	0	0	0	42	5	1	5	3,6
19	5	5	5	0	1	0	1	0	0	0	0	0	88	0	1	5	3,4
20	5	5	5	1	3	0	5	0	0	0	0	0	358	0	2	6	4,8

Liite 4. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Kajaanissa

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	1	1	0	4	0	0	0	0	0	171	0	1	6	4,2
2	5	5	5	5	2	2	2	0	0	0	1	0	40	9	1	8	5,4
3	5	5	5	3	0	0	2	0	0	0	0	0	37	3	1	5	4
4	5	5	5	5	3	5	3	2	0	0	1	0	43	26	1	9	6,8
5	5	5	5	5	2	0	0	0	1	0	0	0	73	33	1	6	4,6
6	5	5	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	152	10	1	5	4,2
7	5	5	5	4	1	3	0	1	2	0	0	0	35	15	1	8	5,2
8	5	5	5	2	0	1	2	0	0	0	0	1	151	3	1	7	4,2
9	5	5	5	0	0	0	3	1	0	0	0	0	184	0	2	5	3,8
11	5	5	5	5	4	2	0	0	0	0	0	0	95	11	1	6	5,2
13	5	5	5	1	0	0	4	0	0	0	0	0	219	0	3	5	4
14	5	5	5	0	1	0	2	0	0	0	0	0	104	0	1	5	3,6
19	5	5	5	1	4	3	0	0	0	0	1	0	118	5	1	7	4,8
20	5	5	5	4	3	2	2	0	0	0	0	0	49	11	1	7	5,2
21	5	5	5	5	1	4	0	0	0	0	0	0	195	50	2	6	5
22	5	5	5	0	1	0	2	0	1	0	0	0	91	0	1	6	3,8
24	5	5	5	3	2	0	3	0	0	0	0	0	272	0	1	6	4,6
26	5	5	5	2	3	2	5	0	1	0	0	0	213	0	1	8	5,6
28	5	5	5	5	1	0	3	0	0	0	0	0	137	24	1	6	4,8
30	5	5	5	5	4	4	1	1	3	0	0	0	350	25	1	9	6,6
32	5	5	5	1	1	0	5	0	0	0	1	0	230	0	2	7	4,6
33	5	5	5	2	2	0	2	0	0	0	0	0	74	6	1	6	4,4
34	5	5	5	4	4	3	1	0	0	0	0	0	108	12	1	7	5,4
35	5	5	5	4	5	1	3	1	1	0	0	1	115	5	1	9	6,2
38	5	5	5	1	1	0	4	0	0	0	0	0	134	0	1	6	4,2
39	5	5	5	5	2	0	5	0	0	0	0	0	150	32	2	6	5,4
40	5	5	5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	23	0	2	5	3,4
41	5	5	5	0	3	3	0	0	0	0	3	0	132	0	2	6	4,8
44	5	5	5	0	2	0	1	0	0	0	0	0	133	0	1	5	3,6
45	5	5	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0	56	0	1	5	3,6
46	5	5	5	1	1	0	3	0	0	0	0	0	49	0	1	6	4
47	5	5	5	2	1	1	4	2	0	0	0	0	99	1	2	8	5
48	5	5	5	2	0	0	0	0	0	0	1	0	77	3	2	5	3,6
49	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	52	0	3	4	3,2
51	5	5	5	4	3	0	2	0	0	0	0	0	38	0	3	6	4,8
52	5	5	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	64	0	3	4	3,2
53	5	5	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	100	0	3	4	3,2
55	5	5	5	4	3	2	4	0	0	0	0	0	96	1	1	7	5,6
58	5	5	4	3	2	3	5	0	0	0	0	0	280	5	1	7	5,4
60	5	5	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	107	0	2	5	3,4
62	5	5	5	1	1	0	1	0	0	0	0	0	78	2	1	6	3,6

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
63	5	5	5	0	0	0	2	0	0	0	1	1	93	0	3	6	3,8
66	5	5	5	0	0	0	2	0	0	0	1	0	141	0	1	5	3,6
67	5	5	4	5	2	3	4	0	0	0	2	4	115	12	1	9	6,4
68	5	5	5	2	0	0	3	0	0	0	3	4	52	1	3	7	5,4
69	5	5	4	2	4	0	5	0	0	0	0	0	179	1	2	6	5
70	5	5	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	122	0	1	4	3,4
71	5	5	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	138	0	2	5	3,4
72	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	4	2,4
73	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	5	61	0	4	5	5
74	5	5	3	2	1	0	4	0	0	0	0	4	199	0	2	7	4,8
76	5	5	4	0	0	0	4	0	0	0	5	4	24	0	4	6	5,4
77	5	5	5	5	1	3	0	0	0	0	0	0	45	11	2	6	4,8
78	5	5	4	4	1	0	0	0	0	0	1	4	89	0	2	7	4,8
79	5	5	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	191	0	3	5	3,4
80	5	5	5	5	0	2	0	0	0	0	5	2	62	25	2	7	5,8
81	5	5	5	2	0	0	1	0	0	0	1	1	111	0	2	7	4
82	5	5	5	0	0	1	0	0	0	0	2	3	60	0	4	6	4,2
85	5	5	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	79	0	1	4	3,6
86	5	5	5	5	2	3	2	0	1	0	1	5	105	28	2	10	6,8
87	5	5	5	5	3	0	2	1	0	0	2	3	57	4	4	9	6,2
88	5	5	5	3	2	0	3	0	0	0	0	4	70	0	3	7	5,4
89	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	4	45	0	4	5	4,8
91	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	4	1	99	7	1	6	5
92	5	5	2	4	0	0	0	0	0	0	5	5	60	0	4	6	5,2
93	5	5	4	1	0	0	2	0	0	0	4	3	131	0	3	7	4,8
95	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	1	5	166	0	4	6	5,2
96	5	5	5	0	0	0	2	0	0	0	0	4	72	0	4	5	4,2
97	5	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	3	209	0	3	5	3,8
99	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	2	183	0	3	5	4,4
101	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	3	71	0	4	5	4,6
105	5	4	3	4	0	0	4	3	0	0	5	5	81	5	4	8	6,6
106	5	5	5	5	4	2	2	0	0	0	0	3	240	30	3	8	6,2
108	5	5	5	2	2	2	0	0	0	0	0	0	299	0	1	6	4,2
110	5	5	5	3	0	0	3	0	0	0	2	0	132	2	2	6	4,6
111	5	5	5	1	0	0	3	0	0	0	2	1	122	0	2	7	4,4
112	5	5	4	0	0	0	2	0	0	0	5	3	142	0	3	6	4,8
113	5	4	4	3	0	0	1	0	0	0	5	4	116	0	3	7	5,2
114	5	5	5	1	0	0	2	0	0	0	0	2	77	0	2	6	4
115	5	5	5	2	1	1	1	0	1	0	0	3	116	6	2	9	4,8
117	5	5	5	4	4	1	2	0	2	0	1	0	58	10	1	9	5,8
118	5	5	5	0	1	0	5	0	0	0	1	0	54	0	2	6	4,4
123	5	5	5	4	2	1	0	0	0	0	0	0	75	0	1	6	4,4
124	5	5	5	1	0	0	1	0	0	0	0	3	57	0	1	6	4,2
125	5	5	5	2	1	0	0	0	0	0	1	0	41	0	2	6	3,8
128	5	5	5	3	3	2	0	0	0	0	0	0	108	7	2	6	4,6
129	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	178	0	2	4	4
130	5	5	5	4	0	2	1	0	0	0	2	0	49	8	1	7	4,8
131	5	5	5	2	2	3	3	0	0	0	2	2	132	15	2	9	5,8
132	5	5	5	3	2	4	2	0	0	0	0	0	37	6	1	7	5,2
133	5	5	5	5	3	5	0	0	0	0	0	0	254	85	1	6	5,6

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
134	5	5	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	109	30	1	5	4,2
135	5	5	5	2	1	0	5	0	0	0	0	0	343	0	1	6	4,6
138	5	5	5	0	1	0	2	0	0	0	0	3	82	0	3	6	4,2
140	5	5	5	3	1	0	0	0	0	0	1	0	156	0	1	6	4
143	5	5	5	1	1	0	5	0	0	0	0	0	182	1	2	6	4,4
144	5	5	5	1	1	1	0	0	0	0	0	3	128	6	1	7	4,2
145	5	5	5	0	0	0	1	0	0	0	5	5	79	0	3	6	5,2
146	5	5	5	1	0	0	5	0	0	0	3	3	92	0	3	7	5,4
148	5	5	5	2	0	0	1	1	0	0	2	1	163	2	3	8	4,4
149	5	5	5	1	0	0	2	0	0	0	5	5	107	0	3	7	5,6
201	5	5	5	4	2	1	0	0	2	0	1	0	69	55	1	8	5
202	4	4	4	0	0	0	1	0	0	0	3	4	20	0	4	6	3,6
203	5	5	5	0	0	0	4	0	0	0	5	5	37	0	4	6	5,8
204	5	5	5	3	4	0	0	0	0	0	1	3	60	0	2	7	5,2
205(KAL1)	5	5	5	3	1	1	0	0	0	0	0	0	144	1	2	6	4
206(KAL2)	5	5	5	1	2	0	2	0	0	0	0	0	86	0	1	6	4
208(KAL3)	5	5	5	3	2	2	3	0	0	0	0	0	149	4	1	7	5
301	5	5	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	174	14	1	5	4,2
302	5	5	5	2	2	1	5	0	0	0	0	0	151	7	1	7	5
304	5	5	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	67	0	2	5	3,4
305	5	5	5	2	2	1	5	0	0	0	0	0	151	7	2	7	5
306	5	5	5		1	1	5						174	0	2	6	4,4
307	5	5	5	5	3	5	2		2		1		144	15	1	9	6,6
308	5	5	5	2	2								261	0	1	5	3,8
309	5	5	5	1	1		4		1				157	0	2	7	4,4

Liite 5. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Kuhmossa

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	4	4	4	2	0	1	0	0	0	42	9	2	8	6
2	5	5	5	4	5	1	1	4	3	0	0	0	248	20	3	9	6,6
3	5	5	5	4	3	0	4	0	3	0	0	0	365	1	3	7	5,8
4	5	5	5	4	2	0	2	1	0	0	3	0	240	7	2	8	5,4
5	5	5	5	5	3	2	5	0	0	0	0	0	142	22	1	7	6
6	5	5	5	2	2	1	0	0	0	0	0	0	120	6	2	6	4
7	5	5	5	0	4	0	2	0	0	0	0	0	249	0	1	5	4,2
8	5	5	5	0	0	0	4	0	1	0	0	0	263	0	2	5	4
9	5	5	5	2	3	0	3	2	0	0	0	0	140	0	3	7	5
10	5	5	5	3	5	1	3	0	0	0	0	0	267	39	1	7	5,4
11	5	5	5	4	0	0	3	0	0	0	0	0	53	2	1	5	4,4
12	5	5	5	5	1	5	0	0	0	0	3	0	46	11	1	7	5,8
13	5	5	5	5	3	4	2	1	0	0	0	0	69	24	1	8	6
14	5	5	5	4	3	2	5	0	0	0	2	0	153	0	1	8	6,2
15	5	5	5	3	2	3	3	0	0	0	0	0	59	0	1	7	5,2
16	5	5	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	106	3	1	6	4,2
17	5	5	5	0	2	0	5	0	0	0	0	0	242	0	1	5	4,4
18	5	5	5	1	5	4	0	0	0	0	0	0	110	0	1	6	5
19	5	5	5	2	3	1	5	0	0	0	0	0	178	2	2	7	5,2
20	5	5	5	1	0	0	2	0	0	0	1	0	63	0	1	6	3,8
21	5	5	5	4	4	2	0	0	0	0	0	0	201	10	1	6	5
22	5	5	5	5	1	0	4	0	0	0	0	0	153	38	1	6	5
23	5	5	5	5	4	5	4	3	2	0	0	0	130	8	1	9	7,6
24	5	5	5	3	0	2	5	0	0	0	2	0	87	0	1	7	5,4
25	5	5	5	4	4	3	4	1	0	0	0	0	103	15	1	8	6,2
26	5	5	5	4	3	1	5	0	0	0	0	0	69	2	1	7	5,6
27	5	5	5	5	5	3	4	1	0	0	0	0	93	0	1	8	6,6
28	5	5	5	0	2	1	5	0	0	0	0	0	240	0	1	6	4,6
29	5	5	5	0	4	0	4	0	0	0	0	0	80	0	1	5	4,6
30	5	5	5	4	4	3	4	0	1	0	0	0	100	3	1	8	6,2

Liite 6. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Paltamossa

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	4	3	1	4	0	0	0	1	0	208	0	1	8	5,6
2	5	5	5	2	0	1	1	0	0	0	1	0	120	1	1	7	4
3	5	5	5	0	2	0	5	0	0	0	0	0	247	0	1	5	4,4
4	5	5	5	4	2	2	4	0	0	0	0	0	252	13	1	7	5,4
5	5	5	5	1	4	0	5	0	0	0	0	0	177	0	2	6	5
6	5	5	5	2	3	3	0	2	0	0	2	0	157	2	1	8	5,4
7	5	5	5	2	2	0	3	1	0	0	1	1	90	0	3	9	5
8	5	5	5	3	3	2	0	0	0	0	3	3	122	6	2	8	5,8
9	5	5	5	3	0	0	4	1	0	0	0	0	151	0	2	6	4,6
10	5	5	5	5	4	5	1	3	0	0	0	0	71	22	2	8	6,6
11	5	5	5	3	4	0	5	0	0	0	3	0	131	0	2	7	6
12	5	5	5	2	3	0	4	0	0	0	0	0	50	0	1	6	4,8
13	5	5	5	2	0	2	1	0	0	0	1	0	114	0	1	7	4,2
14	5	5	5	2	3	3	0	0	0	0	1	0	148	9	1	7	4,8
15	5	5	5	5	3	3	4	0	0	0	0	0	190	40	1	7	6
16	5	5	5	2	5	2	3	0	0	0	0	0	194	1	1	7	5,4
17	5	5	5	4	2	4	0	0	0	0	1	0	101	16	1	7	5,2
18	5	5	5	1	1	1	3	0	0	0	0	0	115	36	1	7	4,2
19	5	5	5	5	2	0	5	0	0	0	0	0	272	4	1	6	5,4

Liite 7. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Puolangalla

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	5	3		1						34	7	1	6	4,8
2	5	5	5	5	2	3	5						198	22	1	7	6
3	5	5	5	2		1	4						144	4	1	6	4,4
4	5	5	5	4	2	1	1						53	8	1	7	4,6
5	5	5	5	3	4	4	3		4		1		218	14	2	9	6,8
6	5	5	5	2	2	1	1						73	0	1	7	4,2
7	5	5	5	5	1	5	1				2	1	75	6	1	8	6
8	5	5	5	1	3	2	5						245	0	1	7	5,2
9	5	5	5	5	3	4	2						163	69	1	7	5,8
10	5	5	5	5	2	2	4						126	20	1	7	5,6
11	5	5	5	3	3	2	5						340	0	1	7	5,6
12	5	5	5	3	3	1	2		2				231	4	1	8	5
13	5	5	5	5	4	3	1		2				68	31	1	8	6

Liite 8. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Ristijärvellä

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	3	1	2	0	0	0	0	0	0	101	1	1	6	4,2
2	5	5	5	2	2	3	5	1	0	0	1	3	242	3	1	10	6,4
3	5	5	5	3	3	3	0	0	0	0	0	0	78	7	1	6	4,8
4	5	5	5	5	3	5	1	0	0	0	0	0	90	28	1	7	5,8
5	5	5	5	4	3	3	2	1	0	0	3	0	76	6	1	9	6,2
6	5	5	5	1	3	5	2	0	2	0	2	0	133	0	1	9	6
7	5	5	5	5	3	2	5	0	0	0	0	0	236	21	1	7	6
8	5	5	5	5	3	3	4	1	3	0	0	0	254	18	1	9	6,8
9	5	5	5	5	1	2	0	0	0	0	0	1	130	88	1	7	4,8
10	5	5	5	5	1	3	0	0	0	0	1	0	79	26	1	7	5
11	5	5	5	0	1	2	4	0	0	0	0	0	252	0	1	6	4,4
12	5	5	5	3	2	2	5	0	0	0	0	0	91	1	1	7	5,4
13	5	5	5	2	0	0	5	0	0	0	0	0	278	15	1	5	4,4
14	5	5	5	4	1	2	3	0	0	0	1	0	55	19	2	8	5,2
15	5	5	5	4	4	4	4	0	2	0	0	0	154	7	1	8	6,6
16	5	5	5	5	0	0	4	0	0	0	0	0	137	7	2	5	4,8
17	5	5	5	2	0	0	5	0	0	0	0	0	90	0	2	5	4,4
18	5	5	5	3	1	4	5	0	0	0	0	2	229	1	1	8	6

Liite 9. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Sotkamossa

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	4	2	0	3	1	0	0	0	0	229	1	2	5	4,6
2	5	5	5	5	3	5	1	0	1	0	0	0	184	74	2	8	6
3	5	5	5	3	4	1	3	0	0	0	0	0	158	31	3	7	5,2
4	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	2	176	0	2	5	3,8
5	5	5	5	5	4	1	5	0	0	0	0	0	170	63	3	7	6
6	5	5	5	3	2	0	5	0	0	0	0	0	172	6	1	6	5
7	5	5	5	2	5	0	5	0	1	0	0	0	385	1	1	7	5,6
8	5	5	5	5	1	1	0	0	0	0	0	0	59	9	1	6	4,2
9	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	148	44	3	6	6
10	5	5	5	4	4	0	5	0	4	0	0	0	314	5	3	7	6,4
11	5	5	5	3	4	1	3	0	0	0	1	0	87	14	2	8	5,4
12	5	5	5	5	5	0	3	0	3	0	0	0	107	30	3	7	6,2
13	5	5	5	1	2	2	0	0	0	0	0	0	59	0	3	6	4
14	5	5	5	1	2	1	0	0	0	0	0	0	139	26	2	5	3,8
15	5	5	5	1	1	0	5	0	0	0	0	0	234	0	2	6	4,4
16	5	5	5	5	5	1	0	1	2	0	0	0	150	33	4	8	5,8
17	5	5	5	5	5	4	0	0	0	0	0	0	275	37	1	6	5,8
18	5	5	5	1	3	1	4	0	1	0	0	0	242	2	1	8	5
19	5	5	5	3	4	1	5	0	2	0	0	0	335	0	1	8	6
20	5	5	5	1	3	0	2	0	0	0	0	0	217	0	1	6	4,2
21	5	5	5	5	5	4	2	0	2	0	0	0	54	18	1	8	6,6
22	5	5	5	0	2	1	5	0	0	0	0	0	252	0	1	6	4,6
23	5	5	5	5	5	2	5	0	0	0	0	0	233	63	2	7	6,4
24	5	5	5	5	4	2	2	0	0	0	0	0	154	31	2	7	5,6
25	5	5	5	3	1	0	5	0	0	0	0	0	179	0	1	6	4,8

Liite 10. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Suomussalmella

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	3	0	1	2	1	0	0	0	2	41	13	1	8	4,4
2	5	5	5	1	1	0	1	0	0	0	0	0	32	0	2	6	3,6
3	5	5	5	4	2	3	2	1	0	0	0	0	138	20	1	8	5,4
4	5	5	5	0	0	0	1	0	0	0	3	1	148	0	3	6	4
5	5	5	5	4	3	0	1	0	0	0	0	1	80	7	2	7	4,8
6	5	5	5	0	3	0	2	0	1	0	0	0	116	0	1	6	3,6
7	5	5	5	5	1	3	0	1	0	0	0	0	156	58	1	7	5
8	5	5	5	3	4	4	4	1	0	0	2	2	195	0	1	10	7
9	5	5	5	4	2	1	4	0	0	0	0	0	354	26	1	7	5,2
10	5	5	5	5	0	3	0	1	0	0	0	0	37	89	1	6	4,8
11	5	5	5	2	0	4	5	0	0	0	0	2	106	0	1	7	5,6
12	5	5	5	5	2	1	1	0	0	0	0	0	31	39	1	7	4,8
13	5	5	5	3	2	0	4	0	0	0	0	0	43	0	1	6	4,8
14	5	5	5	5	4	4	0	1	0	0	0	0	56	29	1	7	5,8
15	5	5	5	5	2	2	5	0	0	0	0	0	154	33	1	7	5,8
16	5	5	5	4	5	0	5	2	0	0	0	0	107	0	1	7	6,2
17	5	5	5	3	1	1	5	0	0	0	0	0	305	0	1	7	5
18	5	5	5	2	2	0	2	0	0	0	0	0	104	0	1	6	4,2
19	5	5	5	2	1	1	0	2	0	0	3	0	104	14	1	8	4,8
20	5	5	5	3	1	0	5	1	0	0	0	0	153	0	1	7	5
21	5	5	5	4	1	0	5	0	0	0	0	0	131	1	1	6	5
22	5	5	5	5	0	3	0	2	0	0	0	0	78	29	1	6	5

Liite 11. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Mondo Minerals Oy:n Sotkamon kaivoksen alueella

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
31	5	5	5	2	2	0	5	0	0	0	0	0	203	0	1	6	4,8
32	5	5	5	1	2	0	1	0	0	0	1	0	134	0	2	7	4
33	5	5	5	1	3	3	2	0	1	0	1	0	148	0	1	9	5,2
34	5	5	5	5	2	5	1	1	0	0	3	0	83	26	2	9	6,4
35	5	5	5	2	2	2	4	0	1	0	0	0	151	1	2	8	5,2
36	5	5	5	3	1	2	2	0	1	0	1	0	165	4	1	9	5
37	5	5	5	5	0	0	3	0	0	0	3	1	72	6	2	7	4,6
38	5	5	5	4	4	4	0	0	0	0	1	0	66	4	2	7	5,6
39	5	5	5	3	1	1	1	0	1	0	2	0	149	0	2	9	4,8
40	5	5	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	147	1	2	6	4,2
41	5	5	5	4	2	2	1	0	0	0	0	0	90	1	2	7	4,8
42	5	5	5	5	4	4	3	0	0	0	0	0	94	2	1	7	6,2
43	5	5	5	0	0	0	3	0	0	0	1	0	71	0	2	5	3,8
44	5	5	5	3	2	1	3	0	0	0	0	0	85	6	2	7	4,8
45	3	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	4	1	1	4	5	2,4
46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5	2	1,2
47	5	5	5	2	3	2	0	0	0	0	2	0	190	3	2	7	4,8
48	5	5	5	1	0	0	5	0	0	0	0	0	217	0	1	5	4,2
49	5	5	5	2	2	0	0	0	0	0	3	1	177	0	2	7	4,6

Liite 12. Jäkäläkartoituksen tulokset näytealoittain Terrafame Oy:n Sotkamon Talvivaaran kaivosalueella

1 = Sormipaisukarve
2 = Keltatyvikarve
3 = Harmaatyvi- ja tuhkakarve
4 = Lupot
5 = Naavat
6 = Harmaaröyhelö
7 = Keltaröyhelö
8 = Ruskoröyhelö
9 = Hankakarve
10 = Raidanisokarve
11 = Seinäsuomujäkälä
12 = Leväpeite

Näytealan nro	Indikaattorijäkälälajit, frekvenssit 1 - 5												Frekvenssi 1 - 1000		Vaurioaste	Lajimäärä	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sormipaisu-karve	Lupot	Sormipaisu-karve	Yht.	Ka.
1	5	5	5	3	3	2	5	0	0	0	0	0	297	1	1	7	5,6
2	5	5	5	1	2	2	5	0	0	0	0	0	178	0	1	7	5
3	5	5	5	3	3	2	3	0	0	0	0	1	253	0	1	8	5,4
4	5	5	5	4	4	3	3	0	0	0	0	0	62	12	1	7	5,8
5	5	5	5	0	1	2	5	0	0	0	0	0	96	0	2	6	4,6
6	5	5	5	0	0	1	5	0	0	0	0	0	119	0	3	5	4,2
7	5	5	5	2	0	3	3	0	4	0	0	0	137	1	3	7	5,4
8	5	5	5	4	2	0	5	0	0	0	0	0	106	0	2	6	5,2
9	5	5	5	3	1	4	5	0	0	0	0	0	110	5	3	7	5,6
10	5	5	5	1	0	1	5	0	0	0	0	0	149	0	2	6	4,4
11	5	5	5	4	4	0	5	0	0	0	0	0	143	0	2	6	5,6
12	5	5	5	5	2	3	0	0	0	0	1	0	50	26	1	7	5,2
13	5	5	5	4	3	3	0	0	0	0	0	0	75	4	2	6	5
14	5	5	5	3	1	3	3	0	0	0	0	0	106	6	2	7	5
15	5	5	5	4	3	3	5	0	3	0	0	0	206	21	1	8	6,6

K U V A I L U L E H T I

Julkaisusarjan nimi ja numero
Elinvoimaa alueelle 3/2017

Vastuualue
Ympäristö ja luonnonvarat

Tekijät
Anu Seppänen (toim.), Tarja Laatikainen, Juha Piispanen, Jarmo Poikolainen, Jouni Karhu, Reijo Seppänen, Eero Kubin

Julkaisuaika
Marraskuu 2017

Kustantaja /Julkaisija
Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Hankkeen rahoittaja / toimeksiantaja
Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Julkaisun nimi
Kainuun bioindikaattoriselvitys

Tiivistelmä

Selvityshankkeessa tutkittiin Kainuun ilmanlaatua, ilmapäästöjen laskeumaa ja luontovaikutuksia. Käytössä olivat erilaiset bioindikaattorit, kuten mäntyjen neulaset, epifyyttijäkälät ja metsän pohjalla kasvavat sammalet.

Männynneulasista ja epifyyttijäkälistä (sormipaisukarve *Hypogymnia physodes*) otetut näytteet analysoitiin Luonnonvarakeskuksen laboratoriossa ICM-MS-analysaattorilla. Analyysissä selvitettiin näytteisiin kertyneitä alkuaineita, kuten rikkiä ja erilaisia raskasmetalleja. Tulosten perusteella pystyttiin toteamaan ilmapäästöjen vaikutuksesta kohonneita alkuainepitoisuuksia kuntien keskustaajamissa sekä teollisten toimintojen ympäristöissä. Tuloksissa oli selvästi nähtävissä kaivostoiminnan vaikutuksia sekä lyhyeltä että pitkältä aikaväliltä. Kohonneita alkuaineiden pitoisuuksia oli löydettävissä paitsi Terrafame Oy:n Talvivaaran sekä Mondo B.V. Branchin Sotkamon kaivosalueiden, myös 1980-luvulla lopetetun Otanmäen kaivoksen ympäristöstä.

Luonnonvarakeskus on tehnyt valtakunnallisen sammalten raskasmetallipitoisuuksien kartoituksia jo vuodesta 1985 lähtien viiden vuoden välein. Tässä selvityksessä olevat sammalten raskasmetallipitoisuuskartoituksen näytteet ja tulokset ovat vuodelta 2010. Näytteet kerättiin noin 80 koealalta. Näytteeksi on kerätty joko kerrossammalta (*Hyloconium splendens*) tai seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Tulosten mukaan raskasmetallien päästölähteitä on Kainuun maakunnassa vähän, ja suurimmat päästölähteet sijaitsevat Sotkamossa ja Kajaanissa. Ainoa merkittäväksi luokiteltava päästölähde Kainuussa on Terrafame Oy:n Talvivaaran metallimalmikaivos, jonka päästöt sammalten pitoisuuksien perusteella eivät kuitenkaan olleet nikkeliä ja kuparia lukuun ottamatta suuria. Raskasmetalleja saapuu Kainuuseen myös jonkin verran kaukokulkeumana. Maakunnassa raskasmetallien kokonaispäästöt ilmaan ovat kuitenkin vähäiset ja lähes kaikkien tutkittujen metallien pitoisuudet ovat suurimmassa osassa Kainuuta matalimpia koko Euroopassa.

Päästöjen luontovaikutuksia ja päästölähteitä selvitettiin myös toteuttamalla jäkäläkartoitus Kainuun kunnissa ja Terrafame Oy:n Talvivaaran kaivosalueen sekä Mondo Minerals B.V. Branchin Sotkamon kaivoksen alueilla. Pääasiassa kuntien alueilla suurimmat päästöt ovat paikallisia ja niiden aiheuttamat lievät vaikutukset jäkälälajistoon ilmenevät keskustaajamien alueilla. Kajaanin alueella on havaittavissa jäkälälajiston elpymistä menneiden vuosikymmenien kuormituksesta. Myös mukana olleiden kaivoksien alueilla todettiin rikillä ja pölyllä olevan vaikutuksia lajistokoostumuksiin.

Asiasanat (YSA:n mukaan)
Kainuu, ilmanlaatu, päästöt, laskeuma, bioindikaattorit, jäkäläkartoitus

ISBN (painettu)	ISBN (PDF)	ISSN-L	ISSN (painettu)	ISSN (verkkojulkaisu)
978-952-314-592-4	978-952-314-593-1	2242-282X	2242-282X	2242-2838

www	URN	Kieli	Sivumäärä
www.doria.fi/ely-keskus	URN:ISBN:978-952-314-593-1	Suomi	115

Julkaisun tilaukset

Kustannuspaikka ja -aika
Kajaani 2017

Painotalo
Juvenes Print

DOCUMENTATION PAGE

Publication series and numbers Regional Viability 3/2017	
Area(s) of responsibility Environment and Natural Resources	
Author(s) Anu Seppänen (ed.), Tarja Laatikainen, Juha Piispanen, Jarmo Poikolainen, Jouni Karhu, Reijo Seppänen, Eero Kubin	Date November 2017
	Publisher Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Kainuu
	Financier/commissioner Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Kainuu

Title of publication

Kainuun bioindikaattoriselvitys

(Survey on bioindicators in Kainuu)

Abstract

The project studied the quality of air in Kainuu region, the deposition of airborne pollution and its effects on living biota. The effects of airborne pollution were studied by the means of bioindicators and lichen survey.

Samples were taken from pine needles, epiphytic lichens (*Hypogymnia physodes*) and mosses from the forest floor. The samples from pine needles and epiphytic lichens were analyzed in the laboratory of LUKE Natural Resources Institute with ICP-MS-technique for chemical elements, such as sulfur and heavy metals, for example. The results showed elevated concentrations in municipality centrals and in the vicinity of industrial facilities. Elevated concentrations were also measured around mining sites of Terrafame and Otanmäki, which was shut down in the 1980's, showing how mining activities can have effects both short- and long-term.

LUKE Natural Resources Institute has been working on heavy metal surveys for forest floor mosses on national scale since 1985. In this survey the samples and results are from the analyses of the year 2010. Samples were collected from approximately 80 sampling sites. Samples are either from stair-step moss (*Hyloconium splendens*) or red-stemmed feathermoss (*Pleurozium schreberi*). The results showed how few there are sources of emissions inside the province of Kainuu, the biggest emission sources being traceable to cities of Sotkamo and Kajaani. Only emission source which could be classified as significant was the polymetallic mine site of Talvivaara, owned by the mining company Terrafame Oy. Emissions from the mining site, as recorded by the mosses, were significant only for nickel and copper. Some amount of heavy metals arrive to province of Kainuu as far-transported. Within the province, the total emissions of heavy metals were very small, and for nearly every metal studied, the concentrations were lowest in the scale of Europe.

The effects of airborne impurities and their sources were studied with the method of epiphytic lichen survey in the municipalities of Kainuu region and in the vicinity of Talvivaara mine site of Terrafame Oy and mine site of Mondo Minerals B.V. Branch in Sotkamo. The results showed how most of the emissions are local and effects of emissions to epiphytic lichens is limited to the most occupied areas of municipalities, with main sources being industrial activities, transportation and living. In the area of Kajaani, the results showed how the epiphytic lichen species diversity is recovering from the pollution of past decades. In the mining sites, results showed negative effects to epiphytic lichen species diversity from sulfur and dust.

Keywords

Kainuu region, air quality, airborne pollution, deposition, bioindicators, lichen survey

ISBN (print)	ISBN (PDF)	ISSN-L	ISSN (print)	ISSN (online)	
978-952-314-592-4	978-952-314-593-1	2242-282X	2242-282X	2242-2838	
www		URN		Language	Number of pages
www.doria.fi/ely-keskus		URN:ISBN:978-952-314-593-1		Finnish	115

Distributor

Place of publication and date	Printing place
Kajaani 2017	Juvenes Print

ELINVOIMAA ALUEELLE 3 | 2017
KAINUUN BIOINDIKAATTORISELVITYS

Kainuun eliinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-314-592-4 (painettu)
ISBN 978-952-314-593-1 (PDF)

ISSN-L 2242-282X
ISSN 2242-282X (painettu)
ISSN 2242-2838 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-593-1

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