

Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 177

KOKKOLAN JA PIETARSAAREN SEUDUN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORITUTKIMUS VUONNA 2012

Irene Huuskonen, Emmi Lehkonen ja Mika Laita

2013



KOKKOLAN JA PIETARSAAREN SEUDUN ILMANLAADUN
BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2012

Irene Huuskonen, Emmi Lehkonen ja Mika Laita

Kartat:

Pohjakartat © Karttakeskus Oy, Lupa L10047/13.

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

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

ISSN 0781-8793

ISBN 978-951-39-5137-5 (painettu)

ISBN 978-951-39-5138-2 (verkkojulkaisu)

Jyväskylän yliopistopaino, Jyväskylä 2013

TIIVISTELMÄ

Ilmanlaatua on Kokkolan seudulla seurattu bioindikaattorien avulla 1970-luvulta lähtien, ja Pietarsaaren seudulla 2000-luvun alusta lähtien. Ilmanlaadun bioindikaattoreina käytettiin männyn runkojäkäliä ja männyn neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia. Vuonna 2012 bioindikaattoriseuranta toteutettiin ensimmäistä kertaa alueiden yhteisenä seurantana.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset bioindikaattoreihin olivat voimakkaimmin kuormitetuilla selvästi havaittavissa, hajakuormitetuilla alueilla vaikutukset olivat lieviä. Tutkituista muuttujista jäkälämuuttujat kuvasivat eri ilman epäpuhtauksien (rikkidioksidi, typen oksidit, hiukkaset ja metallipäästöt) yhteisvaikutusta. Neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuudet kuvasivat osittain ilman epäpuhtauksien kuormitusta (rikkidioksidi, typen oksidit, metallipäästöt), osin luonnollisia tekijöitä, lähinnä maaperän ominaisuuksia ja metsiköiden ravinnetilaa.

Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla on merkittävät suurteollisuuden ja energiantuotannon keskittymät, jotka aiheuttavat rikkidioksidin, typen oksidien, hiukkasten sekä raskasmetallien päästöjä. Nämä päästölähteet vaikuttavat jäkälälajiston koostumukseen ja kuntoon siten, että laitosten läheisyydessä lajiston kunto on huonompi ja lajisto köyhtyneempää kuin tausta-alueilla. Teollisuuden ja energiantuotannon lisäksi ilman epäpuhtauksien päästöjä aiheuttavat mm. liikenne ja karjatalous sekä turkistarhaus. Näistä etenkin turkistarhaus vaikuttaa erityisesti jäkälälajistoon, ja alueen turkistarhakeskittymien läheisyydessä jäkälälajisto on voimakkaasti köyhtynyttä ja vaurioitunutta.

Lupavelvollisten laitosten päästömäärät olivat suurimmillaan 1990-luvun puolivälistä tarkasteltuna 2000-luvun alussa, minkä seurauksena sekä jäkälälajisto oli keskimäärin huonokuntoisinta ja neulasten rikkipitoisuudet korkeimmillaan vuonna 2006, ja vuonna 2012 olivat palautuneet lähemmäksi vuoden 2002 tasoa. Uudenkaarlepyyn-Pedersören alueella sormipaisukarpeen vauriot ovat kasvaneet, ja Uudestakaarlepyystä Kokkolaan ulottuvalle rannikkoseudulle näyttää vahvistuneen muuta aluetta köyhtyneemmän lajiston vyöhyke.

Metallipäästölähteiden läheisyydessä, erityisesti Ykspihlajan alueella, raskasmetallien pitoisuudet ovat kohonneita sekä humuksessa, sammalissa että neulasissa. Päästöjen kokonaismäärässä mitattuna ja pitoisuuksien kannalta merkittävin yksittäinen ilman epäpuhtautena kulkeutuva metalli on sinkki. Ilman kautta leviävä metallikuormitus on vähentynyt Kokkolassa 1990-luvulta, mutta 2000-luvulla kuormituksessa ei ole tapahtunut Kokkolassa tai Pietarsaareissa merkittäviä muutoksia. 1990-luvun tasoon verrattuna sammalen metallipitoisuudet ovat laskeneet Kokkolassa. Neulasten, sammalen ja humuksen metallipitoisuuksissa on havaittavissa tutkimusvuosien välistä vaihtelua 2000-luvulla, mutta muutokset eivät ole yksiselitteisiä, ja pääasiassa pitoisuudet ovat pysytelleet keskimäärin samassa suuruusluokassa.

Kaikkiaan ihmistoiminnan vaikutukset näkyivät Kokkolan-Pietarsaaren seudulla tutkituissa bioindikaattorilajeissa selvästi. Tarkasteltaessa sekä alkuainepitoisuuksia että jäkälälajiston kuntoa, eniten muuttuneet alueet sijaitsevat Kokkolassa Ykspihlajan alueella ja Uudenkaarlepyyn-Pedersören turkistarha-alueilla sekä Kaustisilla teollisuustoimintojen ja turkistarhakeskittymän ympäristössä. Samalla kuitenkin tutkimusalueen harvaan asutuille seuduille jää vyöhykkeitä, joilla jäkälälajisto on luonnontilaista ja alkuaineiden pitoisuudet luonnontilaisten tausta-alueiden tasoa.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUSALUE	2
2.1 YLEISKUVAUS.....	2
2.2 TUTKIMUSALUEEN ILMANLAATU.....	4
2.2.1 Päästöt.....	4
2.2.2 Päästömaerien kehitys.....	8
2.2.3 Ilmanlaatu Suomessa.....	11
3. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	12
3.1 HAVAINTOALAT.....	12
3.2 TUTKIMUSRYHMÄ JA MAASTOTÖIDEN AJANKOHTA.....	14
3.3 MÄNNYN RUNKOJÄKÄLÄT.....	15
3.3.1 Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä.....	15
3.3.2 Tutkitut jäkälälajit.....	15
3.3.3 Vaurioiden ja peittävyksien arvioiminen.....	19
3.4 NEULASTEN, SAMMALTEN JA HUMUKSEN ALKUAINEPITOISUUDET.....	21
3.4.1 Neulasten alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen.....	24
3.4.2 Sammalen alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen.....	25
3.4.3 Humuksen alkuainepitoisuudet ja kemialliset ominaisuudet ja niiden määrittäminen.....	26
3.5 PAIKKATUETOMENETELMÄT.....	28
3.6 TILASTOMENETELMÄT.....	28
3.6.1 Taustamuuttujien vaikutus.....	28
3.6.2 Regressioanalyysi.....	29
3.6.3 Faktorianalyysi.....	30
3.6.4 Korrelaatiot.....	30
3.6.5 Vuosien väliset vertailut.....	30
3.7 VIRHELÄHTEET JA LUOTETTAVUUS.....	31
3.7.1 Jäkäläkartoitus.....	31
3.7.2 Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittäminen.....	32
3.7.3 Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien määrittäminen.....	33
4. TULOKSET	34
4.1 MÄNTYJEN RUNKOJÄKÄLÄT.....	34
4.1.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste.....	34
4.1.2 Yleinen vaurioaste.....	37
4.1.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys.....	39
4.1.4 Peittävytydet.....	41
4.1.5 IAP-indeksi.....	43
4.2 MÄNNYN NEULASTEN ALKUAINEPITOISUUDET.....	45
4.3 SAMMALEN ALKUAINEPITOISUUDET.....	57
4.4 HUMUKSEN ALKUAINEPITOISUUDET.....	70
5. TULOSTEN TARKASTELU	86
5.1 JÄKÄLÄMUUTTUJIIEN TILASTOLLINEN TARKASTELU.....	86
5.1.1 Luokiteltujen muuttujien vaikutus.....	86
5.1.2 Regressioanalyysit.....	89
5.2 NEULASTEN JA SAMMALTEN ALKUAINEPITOISUUKSIEN TILASTOLLINEN TARKASTELU.....	92
5.2.1 Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi.....	92
5.2.2 Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi.....	95
5.3 HUMUKSEN ALKUAINEPITOISUUKSIEN KORRELAATIOT.....	97
5.4 YHTEENVETO.....	98
6. VERTAILU	99
6.1 VUOSIEN VÄLINEN VERTAILU.....	99
6.1.1 Mäntyjen runkojäkälät.....	99
6.1.2 Neulasten alkuainepitoisuudet.....	107
6.1.3 Sammalen alkuainepitoisuudet.....	110
6.1.4 Humuksen alkuainepitoisuudet.....	121
6.2 VERTAILU MUUALLA SUOMESSA TEHTYIHIN TUTKIMUKSIIN.....	127
6.2.1 Mäntyjen runkojäkälät.....	127
6.2.2 Neulasten alkuainepitoisuudet.....	128
6.2.3 Sammalen alkuainepitoisuudet.....	128
6.2.4 Humuksen alkuainepitoisuudet.....	130
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	131

1. Johdanto

Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen ilmanlaatua on selvitetty useissa ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa Kokkolan seudulla 1970-luvulta lähtien ja Pietarsaaren seudulla vuodesta 2000 lähtien. Kokkolan seudulla toteutetuissa tutkimuksissa on selvitetty mm. mäntyjen runkojäkäläkasvillisuutta, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia ja mäntyjen latvuskuntoa (Laaksovirta ja Olkkonen 1977, Kling ym. 1985, Väisänen 1986, Pesonen ym. 1987, Kekäläinen ja Vanhatalo 1993, Niskanen ym. 1998, Niskanen ym. 2003, Laita ym. 2008a). Vuoteen 2002 asti tutkimusalue kattoi Kokkolan seudulla Kokkolan, Kälviän, Kruunupyyn ja Luodon kunnat. Vuosien 2006-2007 tutkimuksessa tutkimusalue laajeni Halsuan, Himangan, Kanuksen, Kaustisen, Lestijärven, Lohtajan, Perhon, Toholammin, Ullavan ja Vetelin kuntien alueelle, joista Kaustinen ja entiset Lohtajan, Kälviän ja Ullavan kunnat kuntaliitosten seurauksena osana Kokkolan kaupunkia olivat mukana vuoden 2012 tutkimuksessa. Pietarsaaren seudulla tutkimuksia on tehty vuosina 2000-2001 ja 2006-2007 (Raitio ja Kärkkäinen 2002, Laita ym. 2008b), ja tutkimusalueeseen ovat kuuluneet Pietarsaaren lisäksi Uudenkaarlepyyn, Pedersören ja Luodon kunnat. Pietarsaaren alueella on tutkittu mäntyjen runkojäkälää, mäntyjen latvuskuntoa, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia sekä sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia.

Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen tutkimustulokset on aiempina vuosina raportoitu omissa alueellisissa raporteissaan, mutta vuoden 2012 tulokset raportoidaan yhdessä yhteisessä raportissa. Ilmanlaadun indikaattoreina käytettiin vuonna 2012 mäntyjen runkojäkälää, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia, sammalen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia. Bioindikaattoreina käytetään eliölajeja, jotka ilmentävät ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Ympäristön tilassa tapahtuvat muutokset voidaan havaita esimerkiksi eliölajin rakenteen, eliöiden alkuainepitoisuuksien, runsauden ja levinneisyyden sekä eliöyhteisöjen rakenteen muutoksina. Mäntyjen runkojäkälät ovat hyviä ilmanlaadun bioindikaattoreita, sillä ne reagoivat herkästi ilman epäpuhtauksiin sekä ulkomuodollaan että lajiston koostumuksen ja runsauden muutoksilla. Epäpuhtauksien vaikutukset ilmenevät jäkälälajeissa hitaasti, minkä vuoksi jäkäläkartoitusmenetelmät soveltuvat erityisen hyvin pitkän aikavälin muutostrendien kuvaamiseen. Männyn neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuudet puolestaan indikoivat epäpuhtauksien laskeumaa sekä metsämaan ravinnetilaa. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksen ilmenemiseen vaikuttavat aina myös luontaiset tekijät, jotka voivat joko puskuroida tai voimistaa sitä. Aikaisemmista seurannoista poiketen mäntyjen latvuskuntoa ei enää seurattu vuoden 2012 tutkimuksessa, sillä latvuskunnon on todettu ilmentävän huonosti ilman epäpuhtauksien vaikutuksia.

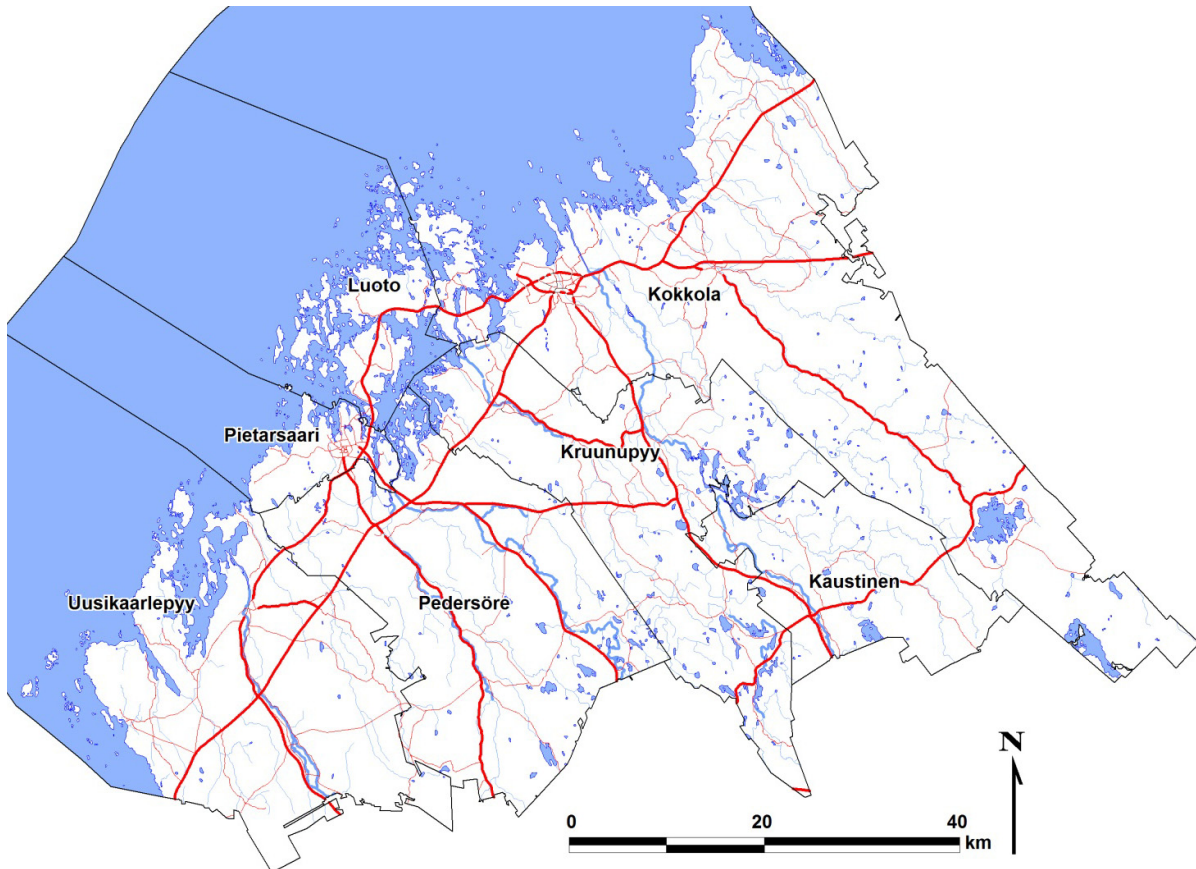
Tutkimusalueeseen kuuluivat Kokkolan, Kaustisen, Kruunupyyn, Luodon, Pedersören, Pietarsaaren ja Uudenkaarlepyyn kunnat. Kuntaliitosten seurauksena Kokkolan kaupunkiin ja siten tutkimusalueeseen kuuluvat entiset Lohtajan, Kälviän ja Ullavan kunnat. Tutkimus toteutettiin mukana olevissa tutkimuskunnissa samoilla tutkimusaloilla kuin aiemmissa tutkimuksissa. Lisäksi olemassa olevaa tutkimusalaverkostoa täydennettiin perustamalla uusia tutkimusaloja erilaisten päästölähteiden, esim. turkistarhojen, karjasuojien, teollisuuslaitosten ja ampumaratojen läheisyyteen sekä tausta-alueille. Yhteensä tutkimusaloja oli mukana 238, joista 137 Kokkolan ja 101 Pietarsaaren alueella. Tuloksia verrattiin vuosien 2006-2007 tutkimukseen sekä Kokkolan seudun tuloksia vuosien 1992, 1997 ja 2002 tuloksiin ja Pietarsaaren seudun tuloksia vuosien 2000-2001 tuloksiin. Lisäksi tuloksia verrattiin muualla Suomessa tehtyjen bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Tuloksia tulkittiin tarkastelemalla ilman laatua kuvaavien indikaattorimuuttujien vaihtelua suhteessa päästölähteisiin, vertailemalla tuloksia keskenään, vertailemalla lajistosuhteissa ja jäkälän kunnossa sekä alkuainepitoisuuksissa tapahtuneita muutoksia eri vuosina sekä tarkastelemalla tuloksia ja niiden muutoksia suhteessa päästömäärien kehitykseen.

Tutkimuksen tilaajana ovat tutkimukseen osallistuneet kunnat, jotka myös rahoittivat tutkimusta yhdessä alueen teollisuuden kanssa. Tutkimuksen toteutti Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus. Maastotyöt tehtiin kesällä 2012, ja niihin osallistuivat tutkijat Emmi Lehkonen, Irene Huuskonen ja Anne Kiljunen sekä tutkimusavustaja Janne Ruuth. Tutkija Irene Huuskonen analysoi tutkimusaineiston ja laati tämän tutkimusraportin.

2. Tutkimusalue

2.1 Yleiskuvaus

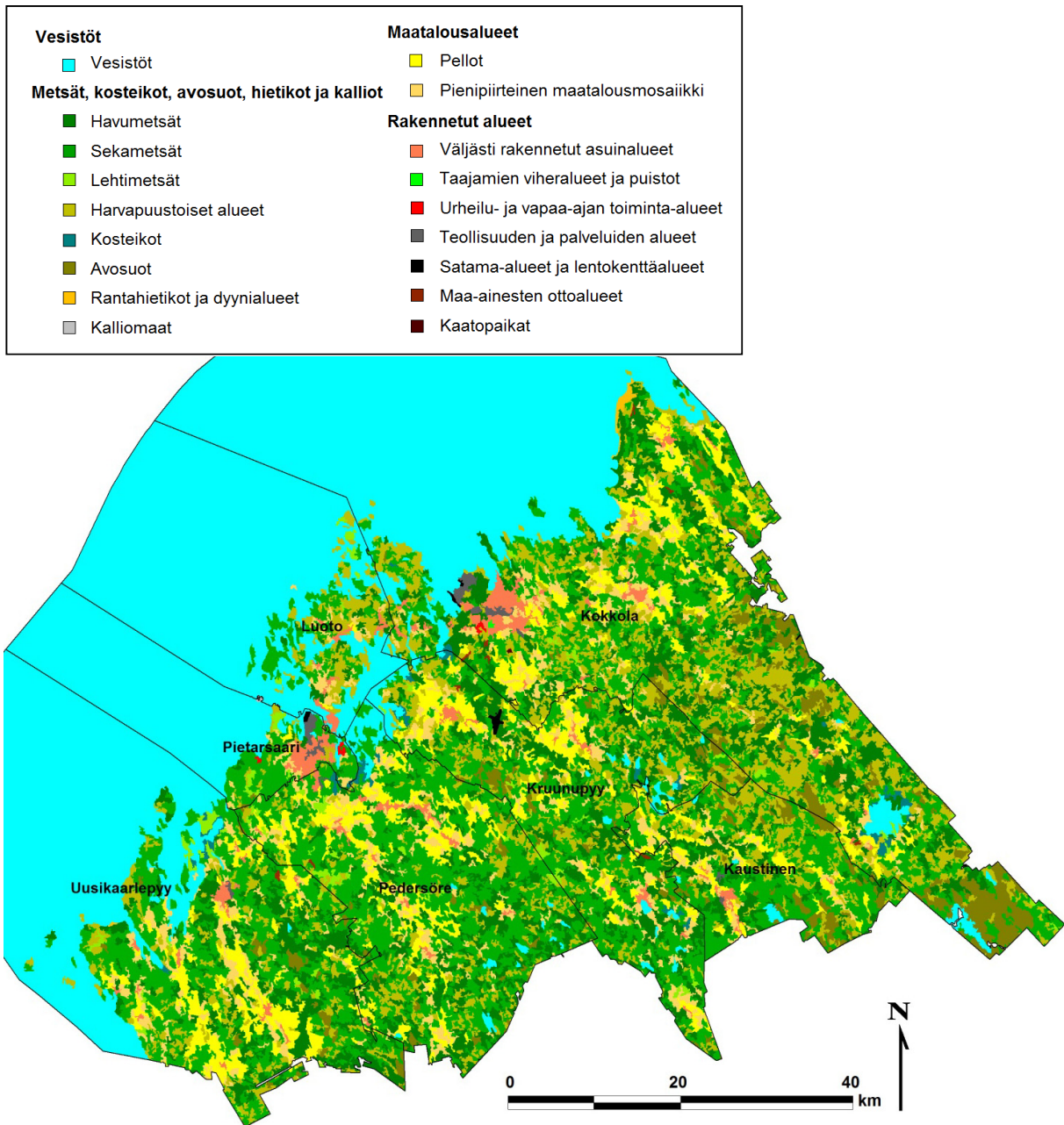
Kuvassa 1 on esitetty tutkimukseen osallistuneet kunnat. Kokkola, Kruunupyy, Kaustinen ja Luodon pohjoisosa ovat olleet Kokkolan seudun tutkimusaluetta, Pietarsaari, Pedersöre, Uusikaarlepyy sekä Luodon eteläosa Pietarsaaren seudun tutkimusaluetta.



Kuva 1. Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen bioindikaattoritutkimukseen vuonna 2012 osallistuneet kunnat sekä alueen päätiestö.

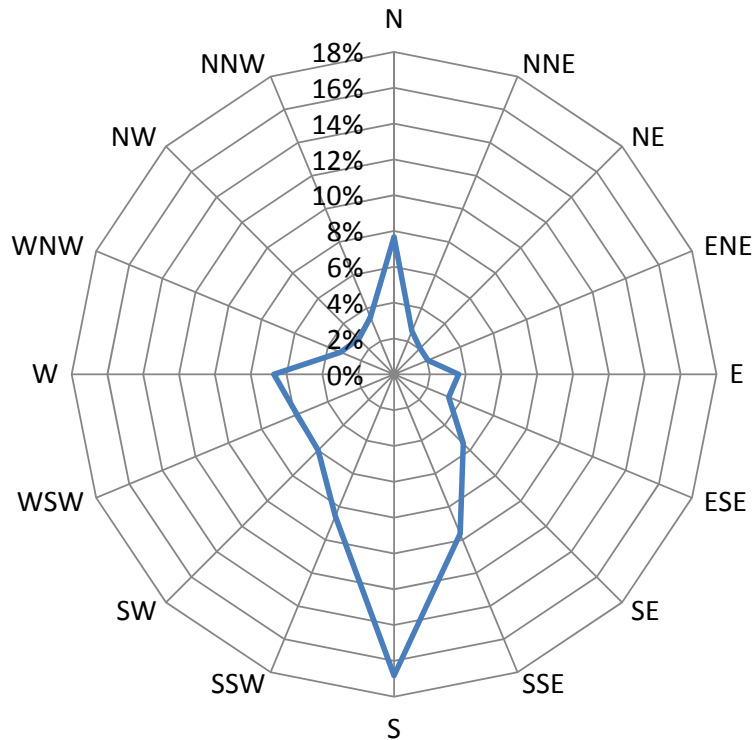
Kuvassa 2 on esitetty maankäyttö tutkimusalueella CLC2000-maankäyttö/maanpeite-aineiston mukaisesti. Suomen kasvimaantieteellisessä aluejaossa Kokkolan ja Pietarsaaren seudun sijoittuvat Etelä-Pohjanmaan vyöhykkeelle, pohjoisin osa on lähellä Pohjanmaan-Kainuun vaihtumisvyöhykettä (Kalliola 1973). Luonnolle leimaa-antava tekijä on mereisyys, joka tasoittaa lämpötilanvaihteluita ja ohentaa talvista lumipeitettä. Pohjanmaan seudulle tyypillisesti alue on alavaa ja loivapiirteistä. Järviä on vähän, mutta aluetta halkovat joet ja jokilaaksot, joihin viljelyalueet pääasiassa sijoittuvat. Maatalousmaan osuus tutkimusalueen pinta-alasta on 17 %. Alueen maaperä on pääasiassa moreenia; lajittuneemmat maalajit sijoittuvat jokien varsille. Turvemaat ovat etenkin tutkimusalueen pohjoisosissa yleisiä. (Geologian tutkimuskeskus 2007.) Rannikko on maankohoamisaluetta; Pietarsaaren alueella maa kohoaa vuosittain 8-9 mm (Pohjanmaan liitto 2006). Alueen kallioperä koostuu pääasiassa kiilleliuskeesta ja migmatiitista (Geologian tutkimuskeskus 1999). Kokkolan seudulle on tyypillistä sulfidipitoisten hienoainessedimenttien, ns. alunamaiden suuri määrä. Sulfidimineraaleihin on sitoutuneena suuri määrä raskasmetalleja, ja näiden mineraalien rapautuminen aiheuttaa happamoittavien yhdisteiden sekä raskasmetallien vapautumista maaperään ja vesiin (Björklund ym. 1996).

Tutkimusalue kuuluu Keski-Pohjanmaan ja Pohjanmaan maakuntiin. Alueella asuu yhteensä n. 100 000 ihmistä. Väestömäärältään suurin kunta on Kokkola n. 46 000 asukkaallaan, toisena Pietarsaari n. 20 000 asukkaallaan. (Tilastokeskus 2013.) Tutkimusaluetta halkoo lounas-koillinen-suunnassa 8-tie, jonka keskimääräinen vuorokausiliikenne vaihtelee välillä 4000-12 000 ajoneuvoa vuorokaudessa (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2012). Kokkola on perinteisesti vahvaa teollisuusaluetta. Ykspihlajan alueella on merkittävä suurteollisuuden keskittymä. Myös alkutuotannon rooli Kokkolan seudulla on merkittävä, ja tulee vahvistumaan Kokkolan seudulle suunniteltujen kaivoshankkeiden myötä (Keski-Pohjanmaan liitto 2008). Pietarsaaren seudulla on mm. massa- ja paperiteollisuutta, veneteollisuutta ja elintarviketeollisuutta (Pohjanmaan liitto 2006). Maatalous ja alueellisena erityispiirteenä turkistarhaus ovat alueella tärkeitä elinkeinoja; kaikista Suomen kunnista Uudessakaarlepyyssä turkiselinkeinon verotulojen osuus kaikista kunnan verotuloista vuosina 2009-2011 oli suurin (Pyykkönen ja Huovari 2012).



Kuva 2. Maankäyttö Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla (CLC2000 maankäyttö/maanpeite (yleistetty 25ha): © SYKE, EEA).

Kuvassa 3 on esitetty vallitsevat tuulensuunnat alueella vuonna 2011 Kruunupyyn lentokentän säähavaintoaineiston perusteella (Weather Underground 2013). Alueella vallitsivat eteläpuoleiset tuulet.



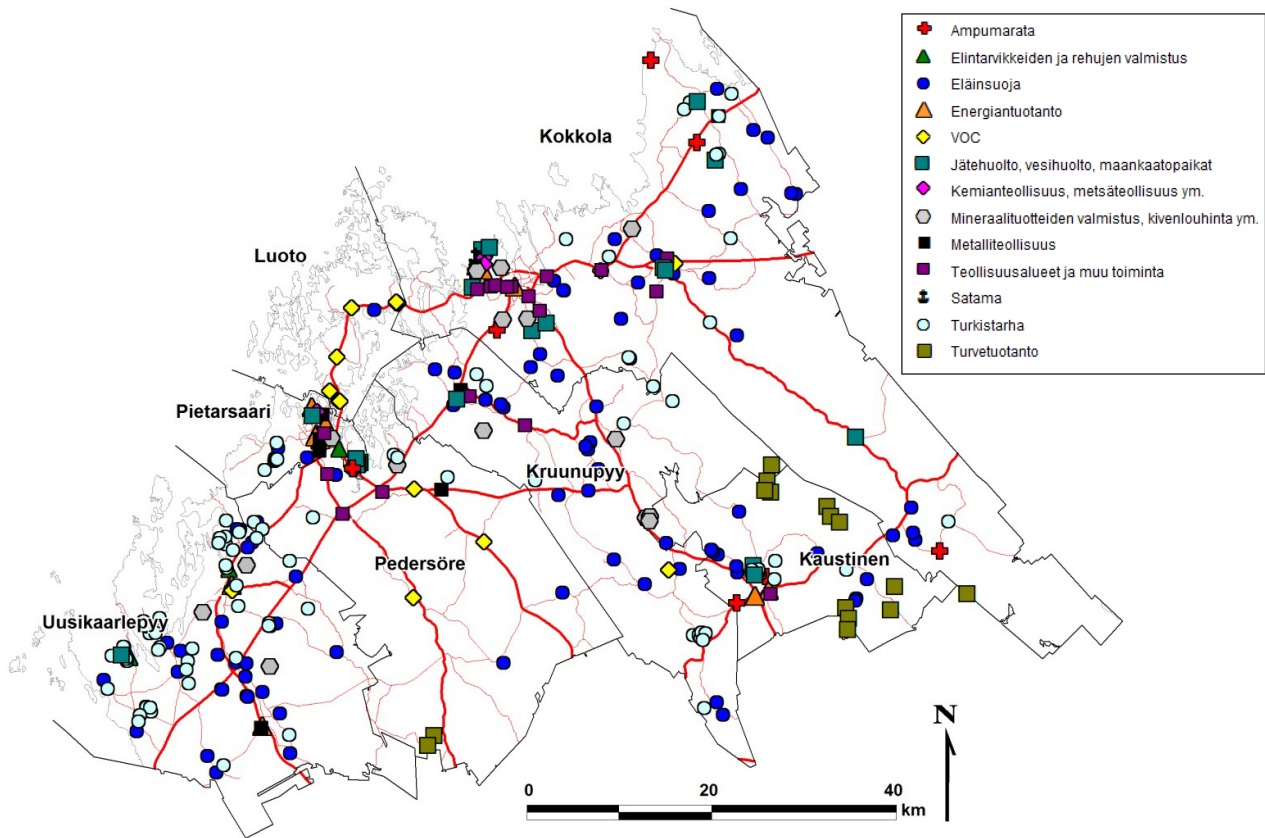
Kuva 3. Kruunupyyn lentokentällä vuonna 2011 vallinneet tuulensuunnat (Weather Underground 2013).

2.2 Tutkimusalueen ilmanlaatu

Tässä luvussa esitellään tutkimusalueen merkittävimmät ilman epäpuhtauksien päästölähteet sekä päästömärien kehitys vuodesta 1995 lähtien.

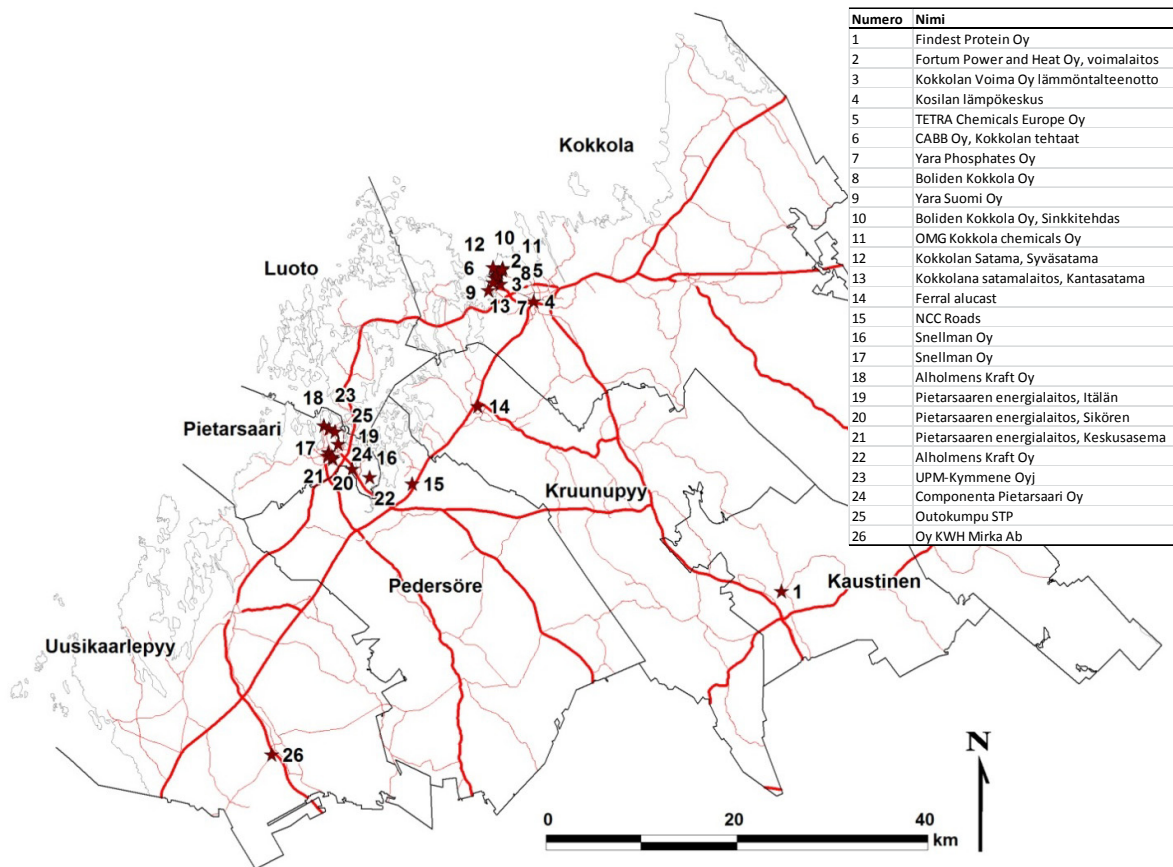
2.2.1 Päästöt

Kuvassa 4 on esitetty tutkimusalueen päästölähteet. Tarkastelussa on mukana lupavelvolliset päästölähteet, joista aiheutuu rikki-, typpi-, hiukkas-, pöly-, metalli- tai haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjä. Eläinsuojien ja turkistarhojen osalta mukana ovat aluehallintoviraston ympäristöluvittamat tilat ja tarhat. Toiminnot on kartassa luokiteltu siten, että jätehuolto, jätevedenpuhdistamot ja maankaatopaikat on kuvattu samalla symbolilla, kemianteollisuus, metsäteollisuus ja kemikaalien tai polttonesteiden varastointi, käyttö tai käsittely on kuvattu samalla symbolilla, mineraalituotteiden valmistus ja kivenlouhinta, murskaamot, asfalttiasemat tai kalkkikiven jauhatus on kuvattu samalla symbolilla, ja muuhun toimintaan ja teollisuusalueisiin on luettu mukaan pienet teollisuusaluekeskittymät ja tekstiilien vesipesulat ja kemialliset pesulat. Tiedot toimintojen sijainnista on kerätty ko. kuntien ympäristönsuojeluviranomaisilta. Suurimmasta osasta kuvassa esitetyistä päästölähteistä ei päästötietoja raportoida; esimerkiksi eläinsuojien ja turkistarhojen päästöt ovat hajapäästöjä, joiden määrästä ei ole olemassa tilastotietoa.



Kuva 4. Kokkolan ja Pietarsaaren alueen päästölähteet.

Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten laitoskohtaiset päästömäärät sekä liikenteen päästömäärät kunnittain vuonna 2011 on esitetty taulukossa 1. Kuvassa 5 on samat päästölähteet esitetty kartalla. Teollisuuden päästötiedot perustuvat VAHTI-tietokantoihin. Liikenteen päästöt on laskettu VTT:n LIISA 2011-laskentajärjestelmällä.



Kuva 5. Merkittävimmät päästölähteet tutkimusalueella.

Vuoden 2011 tietojen perusteella tutkimusalueella raportoitiin syntyneen eniten typen oksidien päästöjä, yhteensä 3496 tonnia. Näistä 78 % syntyi teollisuuden piirissä. Suurin osa typen oksidien päästöistä syntyi Pietarsaassa, ja suurin päästäjä oli UPM Kymmene Oy. Liikenteen typen oksidien päästöjä syntyi kunnista eniten Kokkolassa.

Rikkidioksidipäästöjä syntyi yhteensä 2280 tonnia, ja ne jakaantuivat melko tasaisesti Kokkolan ja Pietarsaaren teollisuuden kesken. Suurin yksittäinen rikkidioksidin päästölähde oli Oy Ahlholmens Kraft Ab Pietarsaassa, jonka osuus kaikista rikkipäästöistä oli 43 %.

Hiukkaspäästöjä raportoitiin alueella syntyneen vuonna 2011 yhteensä 329 tonnia, joista 87 % syntyi teollisuudessa. Suurimmat hiukkaspäästölähteet olivat Oy Ahlholmens Kraft Ab ja UPM Kymmene Oy Pietarsaassa.

Taulukko 1. Tutkimusalueen päästöt rikkidioksidin, typen oksidien sekä hiukkasten osalta (tn/v) kunnittain vuonna 2011. Tähdellä merkityillä toimijoilla ei ole vuotuista raportointivelvollisuutta, vaan raportointi tapahtuu esimerkiksi viiden vuoden välein.

Laitos	Kunta	SO ₂	% kunnan teollisuus-päästöistä	% koko alueen teollisuus-päästöistä	NO _x	% kunnan teollisuus-päästöistä	% koko alueen teollisuus-päästöistä	% kunnan kaikista päästöistä	% alueen kaikista päästöistä	hiukkaset	% kunnan teollisuus-päästöistä	% koko alueen teollisuus-päästöistä	% kunnan kaikista päästöistä	% alueen kaikista päästöistä
Findest Protein Oy	Kaustinen	8	100 %	0,4 %	15	100 %	1 %	23 %	0 %	0,9	100 %	0,3 %	24 %	0,3 %
Boliden - Rikkihappotehdas	Kokkola	538	49 %	24 %	20	3 %	1 %	2 %	1 %	*	*	*	*	*
Yara Suomi Oy	Kokkola	74	7 %	3 %	142	18 %	5 %	13 %	4 %	2	6 %	1 %	4 %	1 %
Yara Phosphates Oy	Kokkola	7	1 %	0 %	35	4 %	1 %	3 %	1 %	0,9	3 %	0,3 %	2 %	0,3 %
Tetra Chemicals Europe Oy*	Kokkola	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Oy Kokkola Power Ab	Kokkola	334	30 %	15 %	195	25 %	7 %	18 %	6 %	6	17 %	2 %	12 %	2 %
Kokkolan Voima Oy	Kokkola	101	9 %	4 %	164	21 %	6 %	15 %	5 %	3	8 %	1 %	5 %	1 %
Boliden - Sinkkitehdas	Kokkola	12	1 %	1 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %	19	53 %	7 %	36 %	6 %
Kokkolan Satama		0	0 %	0 %	197	25 %	7 %	18 %	6 %	3	9 %	1 %	6 %	1 %
CABB Oy		0	0 %	0 %	30	4 %	1 %	3 %	1 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %
Muut	Kokkola	42	4 %	2 %	2	0,2 %	0,1 %	0,2 %	0,1 %	2	5 %	1 %	3 %	1 %
Yhteensä	Kokkola	1107	100 %	49 %	786	100 %	29 %	72 %	22 %	36	100 %	13 %	68 %	11 %
NCC Roads Oy	Pedersöre	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Oy Alholmens Kraft Ab	Pietarsaari	970	90 %	43 %	881	47 %	32 %	45 %	25 %	124	51 %	44 %	50 %	38 %
UPM Kymmene Oyj	Pietarsaari	96	9 %	4 %	943	50 %	35 %	48 %	27 %	119	48 %	42 %	48 %	36 %
KWH Plast Oy Pietarsaaren tehtaata*	Pietarsaari	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Siikaludon lämpökeskus	Pietarsaari	0,4	0,04 %	0,02 %	0,4	0,02 %	0,01 %	0,02 %	0,01 %	0,02	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %
Itälän lämpökeskus	Pietarsaari	0,01	0 %	0 %	0,01	0 %	0 %	0 %	0 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %
Keskusaseman lämpökeskus	Pietarsaari	0	0 %	0 %	0,01	0 %	0 %	0 %	0 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %
Oy Outokumpu STP*	Pietarsaari	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Oy Snellman Ab*	Pietarsaari	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Liikelaitos Pietarsaaren satama	Pietarsaari	5	0,4 %	0,2 %	45	2 %	2 %	2 %	1 %	1	0,5 %	0,4 %	0,5 %	0,4 %
Thermisol Oy / Pietarsaaren tehdas	Pietarsaari	4	0,4 %	0,2 %	0,9	0,05 %	0,03 %	0,05 %	0,03 %	0,7	0,3 %	0,2 %	0,3 %	0,2 %
Componenta Finland Oy Pietarsaari*	Pietarsaari	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Neste Oil Oyj, Pietarsaaren terminaali	Pietarsaari	0	0 %	0 %	1,01	0,05 %	0,04 %	0,05 %	0,03 %	0,12	0,05 %	0,04 %	0,05 %	0,04 %
Yhteensä	Pietarsaari	1075	100 %	47 %	1887	100 %	70 %	97 %	54 %	245	100 %	86 %	98 %	75 %
Adven Oy, Mirka Oy Jepuan Tehdas	Uusikaarlepyy	89	100 %	4 %	26	100 %	1 %	20 %	1 %	3	1	1 %	39 %	1 %
Teollisuuden päästöt yhteensä		2279			2714				78 %	285				87 %
Liikenne	Kaustinen	0,1			51			77 %	1 %	2,8			76 %	1 %
Liikenne	Kokkola	0,6			299			28 %	9 %	16,8			32 %	5 %
Liikenne	Kruunupy	0,2			92			100 %	3 %	5,0			100 %	2 %
Liikenne	Luoto	0,1			37			100 %	1 %	2,3			100 %	1 %
Liikenne	Pedersöre	0,2			132			100 %	4 %	7,1			100 %	2 %
Liikenne	Pietarsaari	0,1			68			3 %	2 %	4,2			2 %	1 %
Liikenne	Uusikaarlepyy	0,2			105			80 %	3 %	5,2			61 %	2 %
Teollisuus+liikenne	Kaustinen	8			66				2 %	4				1 %
Teollisuus+liikenne	Kokkola	1108			1084				31 %	53				16 %
Teollisuus+liikenne	Kruunupy	0,2			92				3 %	5				2 %
Teollisuus+liikenne	Luoto	0,1			37				1 %	2				1 %
Teollisuus+liikenne	Pedersöre	0,2			132				4 %	7				2 %
Teollisuus+liikenne	Pietarsaari	1075			1955				56 %	249				76 %
Teollisuus+liikenne	Uusikaarlepyy	89			131				4 %	9				3 %
Kaikki päästöt yhteensä		2280			3496					329				

Tutkimusalueen metallipäästölähteet ja päästömäärät vuonna 2011 on esitetty taulukossa 2. Suurimmat päästömäärät olivat sinkillä, jonka päästöistä suurin osa aiheutui Boliden Kokkola Oy:n toiminnoista. Kaikista metallipäästöistä Kokkolan alueen yritykset tuottivat 93 %. Yksittäisistä metalleista Kokkolan alueella syntyi suurin osa alumiinin, arseenin, kadmiumin, kobolttin, kuparin, mangaanin, raudan, sinkin ja vanadiinin päästöistä, ja Pietarsaaren alueella antimonin, elohopean, kromin ja lyijyn päästöistä. Nikkelipäästöt menivät tasan alueiden kesken.

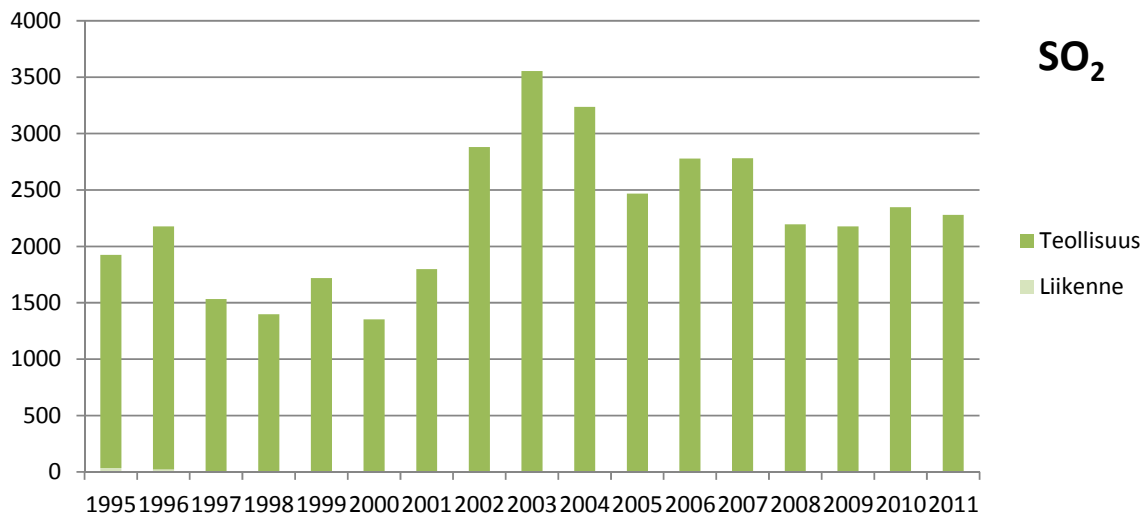
Taulukko 2. Kokkolan ja Pietarsaaren metallipäästölähteet ja päästömäärät vuonna 2011.

Alkuaine	Boliden Kokkola Oy	OMG Kokkola Chemicals Oy	Oy Kokkola Power Ab	Kokkolan Voima Oy	UPM Kym- mene Oyj	Ahlholmens Kraft	Yhteensä
Alumiini (kg/a)	695						695
Antimoni (kg/a)						106	106
Arseeni (kg/a)	31		1	0,3	0,3	23	56
Elohopea (kg/a)	2,9		2,5	0,9	2,3	25	33
Kadmium (kg/a)	63		0,2	0,4	0,1	2,4	66
Koboltti (kg/a)		1850				38	1888
Kromi (kg/a)			2,1	1,9	0,3	48	53
Kupari (kg/a)	96	9	3,9	4,5	2,1	100	215
Lyijy (kg/a)	23		3,6	3,1		50	80
Mangaani (kg/a)	0,35						0,35
Nikkeli (kg/a)		300	12	1,9	67	246	627
Rauta (kg/a)	99						99
Sinkki (kg/a)	6703		31	47	11	13	6805
Vanadiini (kg/a)			37	7,7		28	73

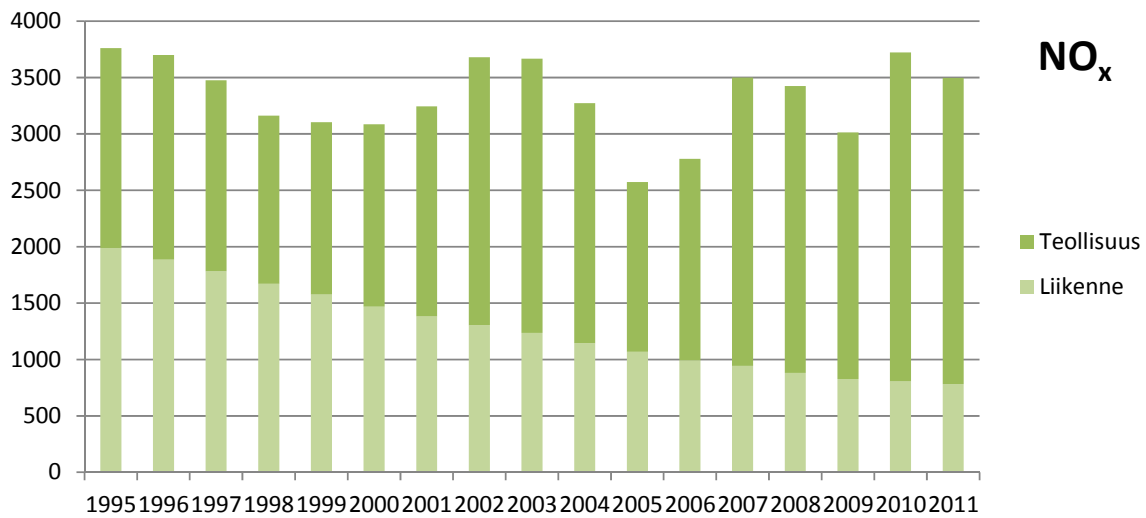
2.2.2 Päästömäärien kehitys

Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästömäärien kehitys vuosina 1995-2011 on esitetty kuvissa 6-8. Liikenteen päästöjen osuus rikkipäästöistä on hyvin pieni. Typen oksidien päästöistä liikenteen päästöjen osuus on tarkastelujakson alussa ollut yli puolet, mutta osuus on vähentynyt jatkuvasti. Liikenteen hiukkaspäästöjen osuus kokonaishiukkaspäästöistä oli tarkastelujakson lopussa n. 15 %.

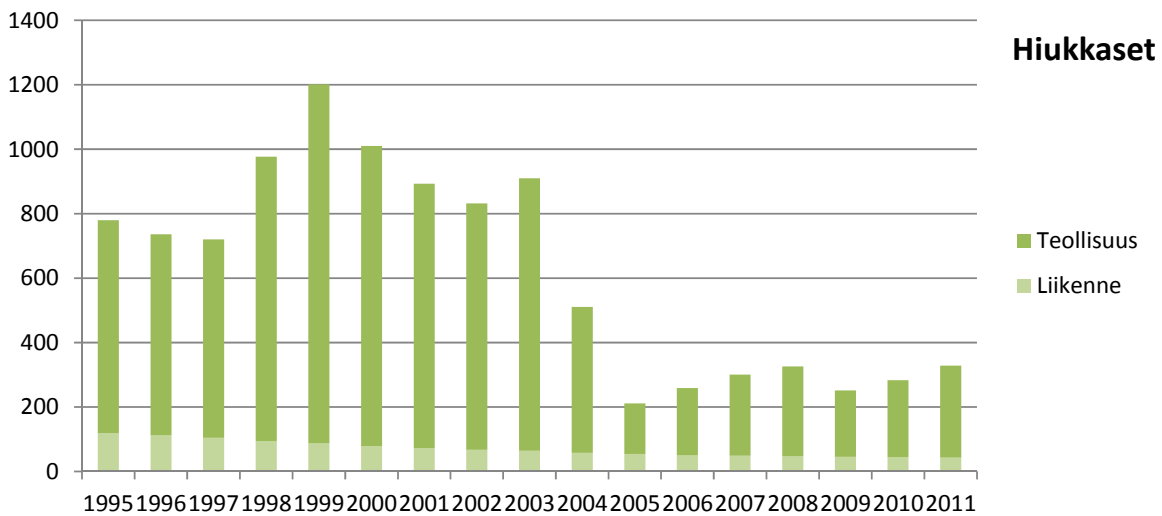
Rikkidioksidipäästöjen kokonaismäärä oli vuonna 2011 suurempi kuin 1990-luvun lopulla. Suurimmat rikkidioksidipäästöt tarkastelujaksolla osuivat vuoteen 2003. 2000-luvun loppupuolella rikkidioksidipäästöt pysyttelivät samalla tasolla. Typen oksidien kokonaispäästöt olivat tarkastelujakson lopulla vuonna 2011 samalla tasolla kuin tarkastelujakson alussa vuonna 1995. Teollisuuden päästöt ovat tänä aikana kasvaneet, mutta kokonaispäästömäärässä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia liikenteen päästöjen laskevasta kehityksestä johtuen. Hiukkaspäästömäärät ovat sen sijaan vähentyneet merkittävästi vuoden 2004 jälkeen. Tarkastelujakson suurimmat hiukkaspäästöt osuivat vuoteen 1999.



Kuva 6. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen rikkidioksidin päästöt (tn/v) vuosina 1995-2011.

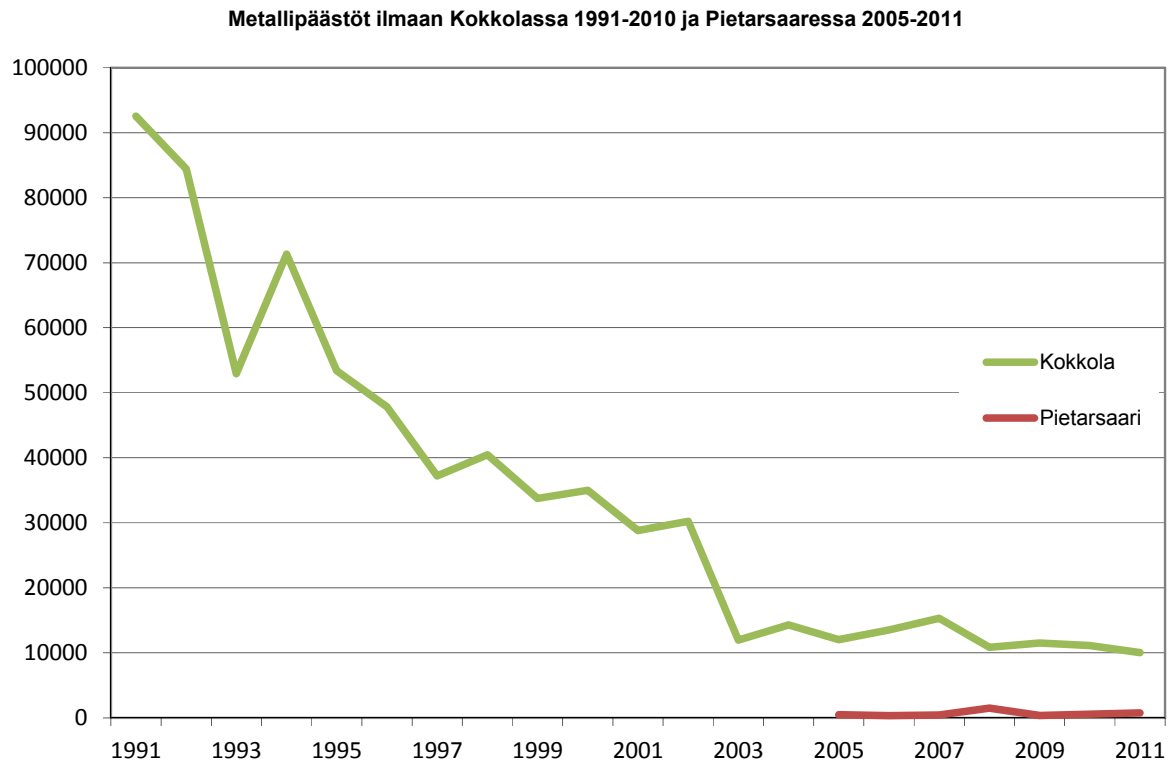


Kuva 7. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen typen oksidien päästöt (tn/v) vuosina 1995-2011.



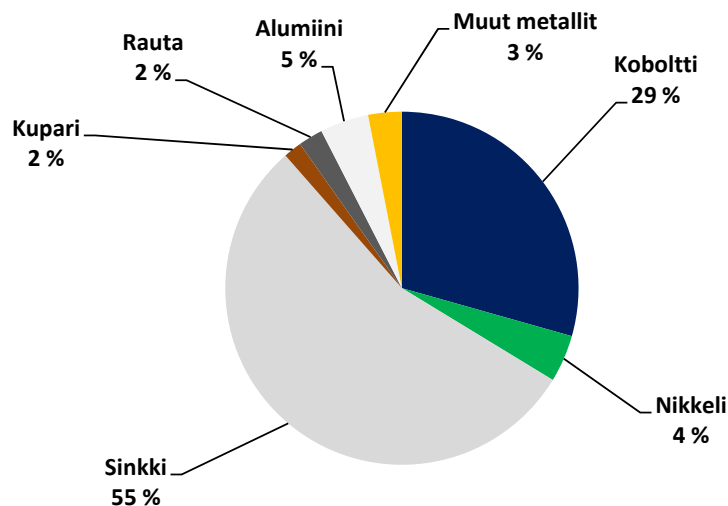
Kuva 8. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen hiukkaspäästöt (tn/v) vuosina 1995-2011.

Kokkolan ja Pietarsaaren metallipäästöjen kehitys vuosina 1990-2011 on esitetty kuvassa 9 (Pietarsaari 2005-2011). Kokkolan metallipäästöt ovat tarkastelujakson aikana vähentyneet merkittävästi, Pietarsaaren metallipäästöissä on 2000-luvulla ollut vaihtelua vuosien välillä, muttei selvää kehitystrendiä. Vuoden 2003 jälkeen metallien kokonaispäästötaso on pysynyt samalla tasolla, n. 10 000 kg vuodessa. Kokkolan ja Pietarsaaren seuduilla syntyneiden päästöjen jakaantuminen vuosina 2007-2010 on esitetty kuvassa 10. Päästöistä suurin osa muodostuu sinkin päästöistä (55 %). Koboltin osuus päästöistä on 29 %.



Kuva 9. Kokkolan ja Pietarsaaren metallipäästöjen kehitys vuosina 1991-2011 (Koljonen 2013).

Metallien ilmapäästöt Kokkolassa ja Pietarsaassa 2007-2011

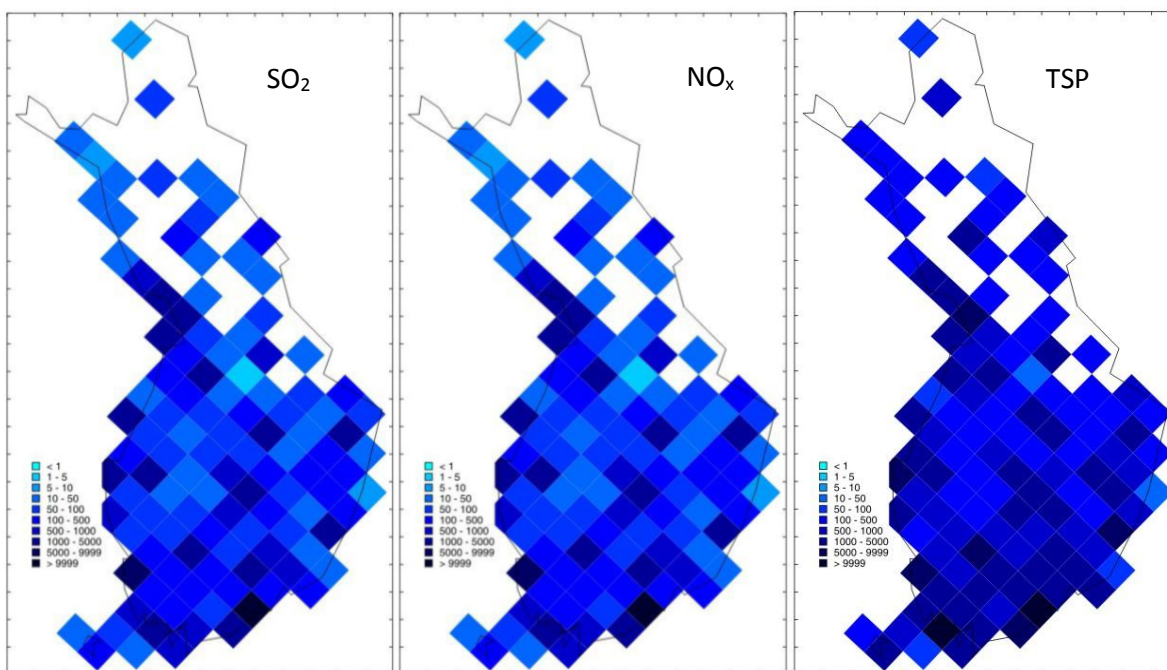


Kuva 10. Metallipäästöjen jakautuminen vuosina 2007-2011 (Koljonen 2013). Luokka 'muut' sisältää kadmiumin, arseenin, elohopean, lyijyn, kromin ja vanadiinin.

2.2.3 Ilmanlaatu Suomessa

Lähes kaikkien merkittävimpien ilman epäpuhtauksien pitoisuudet tausta-asemilla ovat vähentyneet 1980-luvun alusta lähtien tarkasteltuna voimakkaasti. Pitkäaikaisissa mittauksissa näkyy erityisen selkeästi rikkiyhdisteiden pitoisuuksien ja laskeuman pienentyminen viimeisten vuosikymmenien aikana. Ilman epäpuhtauksien vähentyminen on jatkunut vielä 1990-luvulla, vaikkakin hitaammin Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa. (Kulmala ym. 1998, Ilmatieteen laitos 2013.)

Kuvassa 11 on esitetty rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästöjen alueellinen jakautuminen Suomessa vuonna 2010 (Suomen ympäristökeskus 2012). Alueellisen jakautumisen esittäminen on toteutettu yhdisteittäin UNECE:n kaukokulkeutumissopimuksen EMEP-ohjelman karttamallin avulla. Päästömäärät ovat rannikkoseuduilla kaikilla yhdisteillä hieman korkeampia kuin vastaavalla korkeudella sisämaassa, mihin vaikuttaa rannikkoseuduille keskittynyt ihmistoiminta.



Kuva 11. Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten (kt) päästöjen alueellinen jakautuminen Suomessa vuonna 2010 (Suomen ympäristökeskus 2012).

3. Tutkimusaineisto ja -menetelmät

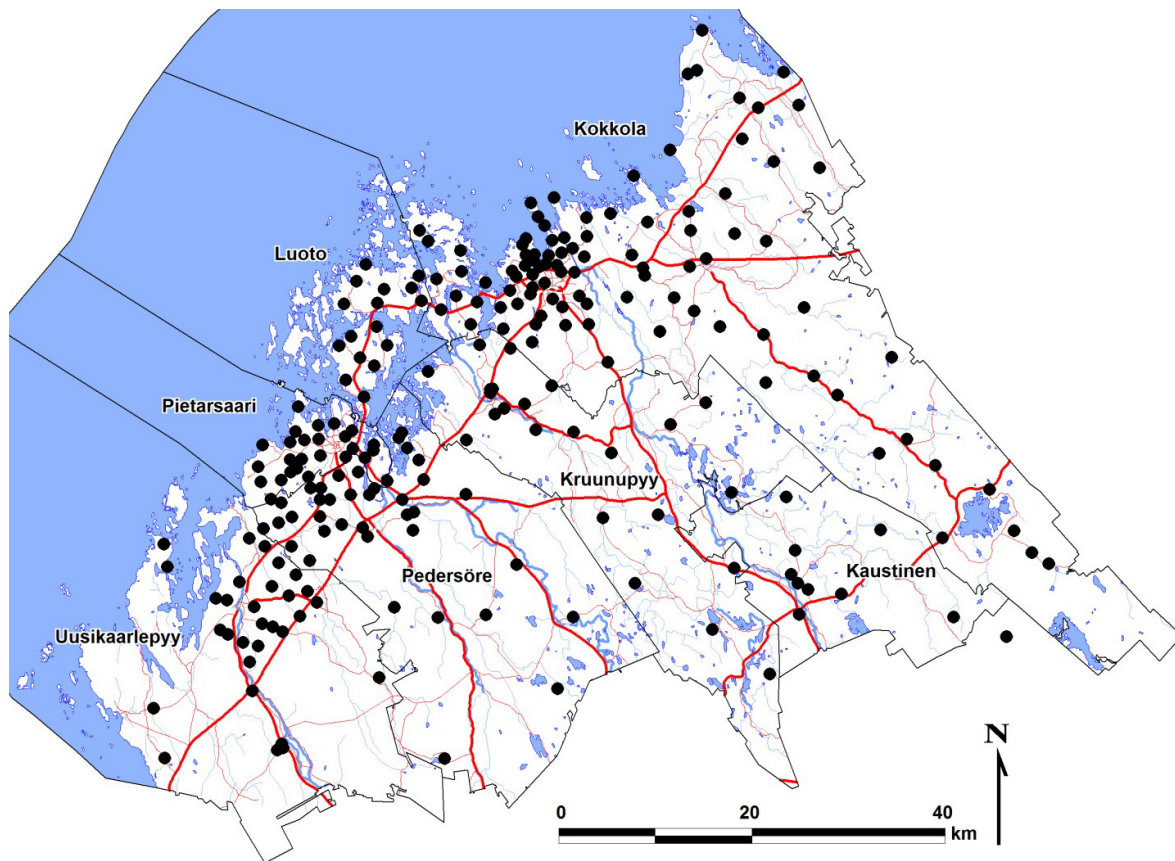
3.1 Havaintoalat

Tutkimus tehtiin 238 havaintoalalla, joilla tutkittiin mäntyjen runkojäkäliä ja neulasten, sammalen ja huumuksen alkuainepitoisuuksia. Tutkimusalojen sijainnit on esitetty kuvassa 12, ja numerointi liitteessä 1. Taulukossa 3 on esitetty tutkimusalojen lukumäärät kunnittain. Aikaisemmista tutkimusvuosista poiketen mäntyjen neulaskatoa ei tutkittu, sillä neulaskadolla ei ole havaittu olevan nykyisellä päästötasolla selvää yhteyttä ilman epäpuhtauksien esiintymiseen. Tutkimusalan jäkälälajisto arvioitiin viideltä puulta. Tutkimusaloista 200 oli vanhoja, uutena perustettiin 38 alaa. Uusista aloista valtaosa perustettiin Kokkolan kaupungin kuntaliitosalueille eli entisten Kälviän, Ullavan ja Lohtajan kuntien alueelle. Myös Kaustisen kunnan alueelle perustettiin entistä kattavampi havaintoalaverkosto, jossa painotettiin päästölähteiden läheisiä alueita. Pedersören ja Uusikaarlepyyn tausta-alueille sekä suurten turkistarha-alueiden läheisyyteen perustettiin uusia tutkimusaloja. Luodon kunnan alueen havaintoalaverkosta karsittiin tässä tutkimuksessa. Vanhoilla tutkimusaloilla kartoitus pyrittiin tekemään samoilla havaintopuilla kuin edeltävässä, vuosina 2006-2007 toteutetussa tutkimuksessa, mutta hakkuiden tai maankäytön muutosten vuoksi vanhoista aloista uudestaan perustettiin 11 alaa (5,5 % vanhoista aloista). Edellisessä tutkimuksessa neulaskadon arviointi oli tehty 10 puulla, ja jäkäläkartoitus 5:llä (1-5). Jos vanhalla alalla edellisellä tutkimuskerralla jäkäläkartoitukseen käytetty tutkimuspuu oli kaatunut, se pyrittiin ensisijaisesti korvaamaan neulaskatoarvioinnissa mukana olleella puulla. Kaikki muutokset havaintoaloissa tai -puissa kirjattiin, ja ne huomioitiin vuosien välisiä tuloksia vertailtaessa.

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

Uusien alojen valinnassa tärkein kriteeri oli alan soveltuvuus jäkäläkartoitukseen. Vanhan tuhoutuneen tutkimusalan tilalle pyrittiin perustamaan uusi ala lähimmälle jäkäläkartoituksen kriteerit täyttävälle paikalle. Kriteerit jäkäläkartoituksessa käytettävälle metsikölle on esitetty standardissa SFS 5670. Näistä tärkeimpiä ovat metsikön ikä, puuston tiheys sekä aluskasvillisuuden esiintyminen. Valintakriteerien suhteen optimaaliset havaintoalat sijaitsevat kuivahkoilla tai kuivilla kankailla, joilla aluskasvillisuus on matalaa ja metsä melko harvaa. Havaintoalojen valinnalla pyritään eliminoimaan luontaiset jäkälälajiston koostumukseen sekä vaurioihin vaikuttavat mikroilmastolliset tekijät, joista tärkein on valoisuuden ja varjoisuuden suhde. Uusia tutkimusmetsiköitä valittaessa pyrittiin lisäksi välttämään reunavaikutusta tai esim. suppia ja paisterinteitä, joissa vallitsee poikkeava mikroilmasto. Myös hiljattain käsiteltyjä, esim. kolmen edellisen vuoden aikana harvennettuja metsiköitä vältettiin. Havaintopuut valittiin siten, että ne olivat läpimitaltaan vähintään 20 cm, ja kolmen metrin korkeudelle oksattomia. Pensaiden tai taimien ympäröimiä puita tai hyvin lähellä toisia puita kasvavia puita ei hyväksytty mukaan kartoitukseen.

Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin taustamuuttujien suhteen on esitetty taulukossa 4. Suurin osa tutkimusaloista oli soveltuvuudeltaan hyviä (55 %). Yleisimmin tutkimusalat sijaitsivat puolukkatyyppin (VT) kuivahkoilla kankailla (51 % tutkimusaloista). Mustikkatyyppin (MT) tuoreilla kankailla sijaitsi 37 % tutkimusaloista, kanervatyyppin (CT) kuivilla kankailla 8 % aloista ja käenkaali-mustikkatyyppin (OMT) lehtomaisilla kankailla 3 % tutkimusaloista. Luokkaan ”muu” oli luokiteltu 3 alaa. Suurin osa metsiköistä luokiteltiin kypsiksi (59 % tutkimusaloista). Tutkimuspuut olivat keskimäärin 90-vuotiaita. Tutkimuspuiden keskimääräinen pituus oli 19 metriä. Läpimitaltaan puut olivat keskimäärin 29 cm ja puuston keskimääräinen pohjapinta-ala 22 m²/ha. Valtaosalla aloista valtalajina oli mänty ja toinen valtalaji oli useimmiten kuusi tai koivu. Muita tutkimusaloilla havaittuja valtalajeja olivat haapa, pihlaja, leppä, tuomi ja raita.



Kuva 12. Tutkimusalojen sijainti tutkimusalueella vuonna 2012.

Taulukko 3. Tutkimusalojen lukumäärä kunnittain ja uutena perustettujen havaintoalojen määrät vuonna 2012.

Kunta	Aloja (jäkälät ja neulaset)	Vanhoja aloja	Vaihtuneita aloja	Uusia aloja	Sammalaloja	Humusaloja
Kaustinen	10	1		9	10	
Kokkola	96	78	5	18	88	14
Kruunupyö	23	20		3	22	1
Luoto	16	16			16	4
Pedersöre	38	35	2	3	36	9
Pietarsaari	25	23	2	2	25	6
Uusikaarlepyy	30	27	2	3	30	6
<i>Yhteensä</i>	<i>238</i>	<i>200</i>	<i>11</i>	<i>38</i>	<i>227</i>	<i>40</i>

Taulukko 4. Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin taustamuuttujien mukaan.

Tunnus	Luokka	Lkm	%	Tunnus	Luokka	Lkm	%
Soveltuvuus	Hyvä	132	55	1. valtalaji	Mänty	235	99
	Kohtalainen	96	40		Kuusi	3	1
	Huono	10	4	2. valtalaji	Kuusi	158	67
Metsätyyppi	CT	19	8	-		45	19
	VT	121	51	Koivu	31	13	
	MT	87	37	Mänty	2	0,8	
	OMT	8	3	Haapa	1	0,4	
	Muu	3	1	Pihlaja	1	0,4	
Kehitysluokka	Kypsä	147	59	3. valtalaji	-	157	66
	Varttunut	87	36	Koivu	59	25	
	Nuori	4	2	Kuusi	14	6	
pituus (m)	alle 15	36	15	Haapa	4	2	
	15-20	119	50	Pihlaja	3	1	
	yli 20	81	34	Mänty	2	1	
ikä (v)	alle 80	81	34	pohjapinta-ala (m ²)	alle 10	5	2
	80-100	109	46	10-15	20	8	
	100-120	29	12	15-20	61	26	
	yli 120	18	8	20-25	85	36	
halkaisija (cm)	alle 25	40	17	25-30	39	16	
	25-30	133	56	yli 30	27	11	
	30-35	55	23				
	35-40	8	3				
	yli 40	2	1				

3.2 Tutkimusryhmä ja maastotöiden ajankohta

Neulasnäytteet kerättiin 5.3.2012-18.4.2012. Neulasnäytteitä keräsivät Jyväskylän yliopiston tutkijat Emmi Lehkonen, Anne Kiljunen, Mika Laita, Irene Huuskonen sekä tutkimusavustajat Janne Ruuth ja Tatu Lappalainen. Jäkäläkartoitukset ja sammalen ja humuksen näytteenotto tehtiin 8.5.2012-19.6.2012 välisenä aikana. Kesäaikaisiin maastotöihin osallistuivat tutkijat Emmi Lehkonen (FM), Irene Huuskonen (YTM) ja Anne Kiljunen (FM) sekä tutkimusavustaja Janne Ruuth (fil.yo).

3.3 Männyn runkojäkälät

3.3.1 Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä

Jäkälät koostuvat symbioosissa elävistä lehtivihreättömästä sieniosakkaasta ja yhteyttävästä leväosakkaasta. Ne menestyvät hyvin niukkaravinteisessa ja kuivassa elinympäristössä, missä korkeammat kasvit eivät selviä. Jäkälät kasvavat löyhärakenteisina sekovarsina ilman suojaavia pintasolukerroksia ja ilmarakojia ottaen ravinteensa ja vetensä suoraan ilmasta, sadevedestä tai runkovalunnasta. Tämä tekee jäkälät herkiksi ilman epäpuhtauksien vaikutuksille. Tärkeimmät jäkäliin vaikuttavat ilman epäpuhtaudet ovat rikki-dioksidi ja typen oksidit. Altistus tapahtuu pääasiassa siten, että epäpuhtaudet kiinnittyvät sieniosakkaan soluseinämien proteiineihin. Talviaikaankaan, jolloin ilmassa on yleensä enemmän epäpuhtauksia, runkojäkälät eivät ole lumikerroksen suojaamia, ja leudommilla säillä niiden solutoiminta voi aktivoitua.

Jäkälät ilmentävät ilman epäpuhtauksien vaikutuksia yksilökohtaisesti silmin havaittavina morfologisina tai kemiallisina muutoksina, peittävyksien muutoksina ja jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksina (Lodenius ym. 2002). Ilman epäpuhtauksien aiheuttamat muutokset jäkälissä ja jäkälälajistossa voivat ilmetä nopeasti etenkin suurissa pitoisuuksissa. Usein vaikutukset näkyvät vielä vuosienkin päästä kuormituksen vähennyttyä, koska jäkälät ovat hyvin hidaskasvuisia ja vaikutukset saattavat välittyä niihin myös kasvualustan muutosten kautta (Jussila ym. 1999). Jäkälälajit reagoivat ilman epäpuhtauksiin eri tavoin: ensimmäisenä herkimpien lajien peittävyudet puiden rungoilla pienenevät, kunnes laji ei enää pysty menestymään kasvupaikallaan. Tällöin kestävämmät lajit saattavat vallata vapautunutta elintilaa. Eräät lajit saattavat jopa hyötyä kuormituksesta.

Morfologisena muutoksena tässä tutkimuksessa arvioitiin sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioastetta sekä yleistä vaurioastetta. Jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksia arvioitiin lajilukumäärän ja IAP-indeksin avulla. Peittävyksiä arvioitiin sormipaisukarpeen ja luppen osalta pistefrekvenssimenetelmällä. Havainnot tehtiin havaintoalalla viideltä tutkimuspuulta, joiden jäkälälajisto arvioitiin 50-200 cm:n korkeudelta.

3.3.2 Tutkitut jäkälälajit

Indikaattorilajeina käytettiin standardin SFS 5670 mukaisesti 12 männyllä yleisesti kasvavaa jäkälälajia. Lajien erityispiirteitä sekä niiden indikaattoriarvot on kuvattu taulukossa 5. Taulukossa 6 on luokiteltu indikaattorilajit herkkyytensä mukaan neljään luokkaan. Tietyn lajin esiintymiseen vaikuttavat lajin saasteherkkyyden lisäksi myös luontaiset ympäristöolosuhteet, jonka vuoksi eri lajien indikaattoriarvot ovat erilaisia, toiset lajit esim. suosivat merenrantoja, toiset valoisia ja kuivia metsiköitä, toiset sulkeutuneempia metsiköitä, toiset nuorempia puita ja toiset vanhempia.

Taulukko 5. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni, - huono. Seurallislajien lukumäärät on laskettu Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista (Huuskonen ym. 2010, Lehtonen ym. 2011, Lehtonen 2013 ja tämä tutkimus).

Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) +++



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

Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++



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

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



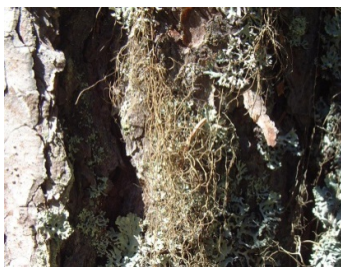
Tuhkakarve ja harmaatyvikarve sijoittuvat kestävyydeltään kolmanneksi. Tämä sijoitus sopii yleensä hyvin näiden lajien esiintymisfrekvenssin alueelliseen jakaantumiseen, sillä kahta edellistä lajia herkempänä näiden lajien pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille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

Seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ++



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

Lupot (*Bryoria* sp.) +++



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

Naavat (*Usnea* sp.) +++



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

Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ++



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

Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +



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

Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) –



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

Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++



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

Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*) +



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

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



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

Taulukko 6. Tutkitut jäkälälajit ja niiden herkkydet rikkidioksidille (Kuusinen ym. 1990).

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

Lajien esiintyminen tutkittiin laajentaen standardinmukaista menetelmää siten, että kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (taulukko 7). Kullekin tutkimuspuulle ja -alalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lajimäärä. Ala- ja puukohtaisia lajimääriä laskettaessa ei huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä seinäsuomujäkälää sekä levää ja vihersukkulajäkälää, jolloin lajeja saattoi olla puuta tai alaa kohti enimmillään 10. Puhtailla tausta-alueilla havaitaan yleensä enemmän jäkälälajeja kuin kuormitetuilla alueilla. (Taulukko 8).

Taulukko 7. Jäkäläien runsauden luokittelu. Leväpeite (*Algae & Scoliciosporum*) ja seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) on luokiteltu peittävytenä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.

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

Taulukko 8. Jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella.

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

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

$$IAP = \sum_1^n (Q \times f) / 10$$

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

f = lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealalla (0-1)

n = jäkälälajien lukumäärä (10)

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

Tässä selvityksessä käytetyt seuralaislajien lukumäärät (taulukko 5) on laskettu Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista, joka käsittää 7885 puuta (Huuskonen ym. 2010, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen & Lehkonen 2012). Vuoden 2007 tutkimuksessa käytetyt seuralaislajien lukumäärät oli laskettu Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan vuoden 2000 bioindikaattoritutkimuksen aineistosta. Vertailukelpoisuuden vuoksi aikaisempien tutkimusten IAP-indeksit laskettiin uudelleen käyttäen tässä tutkimuksessa määritettyjä seuralaislajimääriä. Kunkin lajin seuralaislajien määrissä seinäsuomujäkälä, levä sekä vihersukkulajäkälä on huomioitu.

Taulukko 9. Jäkälälajiston luokitus IAP-indeksin perusteella.

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

3.3.3 Vaurioiden ja peittävyksien arvioiminen

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

Sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste arvioitiin viisiasteisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (taulukko 10, kuva 13). Yleisessä vaurioasteessa eritellään kasvutavaltaan pensasmaisiksi lupot, naavat ja hankakarve, loput lajit ovat lehtimäisiä.

Sormipaisukarpeen ja luppojen (*Bryoria* sp.) esiintymisfrekvenssit laskettiin sapluunaruudukolta 1,2 m:n korkeudelta itä-koillisesta ja länsi-lounaasta. Esiintymisfrekvensseistä laskettiin kullekin puulle näiden lajien suhteellinen peittävyys.

Taulukko 10. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus (SFS 5670).

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



I = terve

II = lievä vaurio

III = selvä vaurio

IV = paha vaurio

V = kuollut tai puuttuu

Kuva 13. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus.

Taulukko 11. Yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

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

3.4 Neulasten, sammalten ja humuksen alkuainepitoisuudet

Tässä tutkimuksessa on selvitetty metallien ja ravinteiden pitoisuuksia ja kertymistä männyn neulasissa, seinäsammalessa sekä maaperän humuksessa. Lisäksi on selvitetty maaperän kemiallisia ominaisuuksia (happamuutta ja sähkönjohtavuutta). Tutkitut muuttujat kuvaavat paitsi kuormituksen alueellista ja-kaunaa, myös tutkimusmetsiköiden ravinnetilaa sekä maaperän ominaisuuksia. Taulukossa 12 on kuvattu kunkin matriisin ja alkuaineen suhteen tutkittujen alojen määrät.

Taulukko 12. Tutkimusalojen lukumäärät tutkittujen alkuaineiden ja matriisien suhteen.

Alkuaine	Lyhenne	Neulasaloja	Sammalaloja	Humusaloja
Antimoni	Sb		9	
Alumiini	Al		226	40
Arseeni	As	78	226	15
Beryllium	Be		9	
Boori	B	238	226	25
Elohopea	Hg	78	226	15
Fosfori	P	238	226	25
Kadmium	Cd	238	226	40
Kalium	K	238	226	40
Kalsium	Ca	238	226	40
Koboltti	Co	78	226	15
Kromi	Cr	238	226	25
Kupari	Cu	238	226	40
Litium	Li		9	
Lyijy	Pb		226	25
Magnesium	Mg	238	226	40
Mangaani	Mn	238	226	25
Natrium	Na		226	15
Nikkeli	Ni	238	226	40
Rauta	Fe	238	226	40
Rikki	S	238	226	25
Sinkki	Zn	238	226	40
Titaani	Ti		9	
Typpi	N	238		
Vanadiini	V	78	226	15
pH-arvo	pH			40
vaihtohappamuus mekv/100 g	VH			40
Sähkönjohtavuus mS/m	Sj.			40
kationinvaihtokapasiteetti mekv/100 g	CEC			40

Metallien louhiminen, sulattaminen ja jalostaminen sekä niiden käyttö erilaisiin tarkoituksiin on saanut aikaan raskasmetallien mobilisoitumista ja leviämistä ilmakehässä erilaisissa fysikaalisissa ja kemiallisissa muodoissa. Metallien liikkuminen ja muuntuminen sekä poistuminen ilmakehästä kuiva- ja märkälasseumana riippuvat metallien esiintymismuodoista ja niiden ominaisuuksista. (Helanen ym. 1999.)

Tutkitut alkuaineet on kuvattu seuraavassa lyhyesti.

Antimoni on arseenin kaltainen puolimetalli, jota luonnostaan esiintyy Suomen maaperässä hyvin vähän. Antimonia käytetään mm. lyijyluodesissa, ja sen pitoisuudet voivat olla kohonneita ampumaratojen ympäristössä. (Reinikainen 2007, 92.) Tässä tutkimuksessa antimonipitoisuuksia selvitettiin Lohtajan ampumalueen ympäristössä.

Alumiini toimii osaltaan maaperän happamoitumisen puskurina. Happamuuden lisääntyessä maahan sitoutunut alumiini vapautuu maaveteen liukoisena Al^{3+} :na, joka on korkeina pitoisuuksina esiintyessään haitallista kasveille. (Tamminen 1998.) Sammalen alumiinipitoisuuksien katsotaan usein kuvaavan maaperän ominaisuuksia (Poikonen 2004), mutta alumiinia hyödyntävät teollisuustoiminnot nostavat pitoisuuksia paikallisesti.

Arseeni on luonnossa yleinen, tavallisimmin sulfidimineraalien kanssa esiintyvä puolimetalli. Arseeni on erittäin myrkyllistä vesieliölle, ja se sitoutuu tavallisesti maaperän oksideihin, orgaaniseen ainekseen ja savimineraaleihin. Karkearakeisissa maalajeissa arseeni voi olla helposti liikkuvaa ja kulkeutua pohjaveeteen. Arseenia käytetään mm. elektroniikkateollisuudessa. Suomessa maaperän paikallista arseenikuormitusta on aiheuttanut lähinnä arseenin käyttö puunsuojaukseen CCA-kyllästeinä. (Reinikainen 2007, 93.)

Beryllium esiintyy maaperässä pääosin hienojakoisesti jakautuneessa silikaattimineraalissa tai orgaanisessa aineksessa. Beryllium sitoutuu helposti orgaaniseen ainekseen, mikä heikentää sen kulkeutumista luonnossa. Saastumattomassa ympäristössä kasvavissa kasveissa berylliumpitoisuuden on havaittu olevan enimmillään 0,5 mg/kg luokkaa (Lyyränen ym. 2004). Tässä tutkimuksessa berylliumpitoisuuksia tutkittiin suunniteltujen kaivosalueiden ympäristössä.

Boori on hivenravinne, jonka puutos aiheuttaa männyillä kasvu- ja kehityshäiriöitä. Puutos on yleisesti yhteydessä korkeisiin pääravinnepitoisuuksiin (Reinikainen ym. 1998). Meren läheisyys voi nostaa booripitoisuutta, sillä sateiden mukana rannikolle kulkeutuu merivettä, joka sisältää booria enemmän kuin makea vesi (Raitio ja Kärkkäinen 2002).

Elohopea voi esiintyä luonnossa sekä alkuainemuodossa että erilaisina epäorgaanisina ja orgaanisina yhdisteinä. Suomen luonnossa elohopeapitoisia mineraaleja esiintyy luontaisesti eniten mustaliuskepitoisessa kallioperässä. Elohopeaa on käytetty laajalti mm. paristoissa, sähkölaitteissa, kloorin elektrolyttisessä tuotannossa, maaleissa sekä torjunta-aineena. Elohopean ilmapäästöjä syntyy mm. energiantuotannossa sekä epäorgaanisessa kemianteollisuudessa (kloorialkalitehtaat). (Reinikainen 2007, 94; Helanen ym. 1999.)

Fosfori on olennainen osa kasvisolujen energian varastointi- ja siirtojärjestelmää, ja lisäksi fosforia esiintyy myös proteiineissa ja hiilihydraateissa. Korkea fosforipitoisuus voi olla yhteydessä hivenaineiden ja kalsiumin puutoksiin. (Reinikainen ym. 1998.) Kuusilla puolestaan fosforipitoisuuden alenemisen on havaittu liittyvän typpipitoisuuden kasvamiseen (Thelin ym. 1998).

Kadmiumia esiintyy luonnossa erityisesti sulfidimalmeissa, ja se on maaperässä suhteellisen helposti kulkeutuvaa, riippuen maaperän happamuudesta ja mm. orgaanisen aineksen määrästä. Kadmium kertyy sekä eläimiin että kasveihin, ja voi aiheuttaa vaikutuksia ravintoketjussa jo suhteellisen pienissäkin ympäristön pitoisuuksissa. Kadmiumia on käytetty mm. raudan pintakäsittelyssä, väripigmenteissä sekä paristoissa ja akuissa. (Reinikainen 2007, 95.)

Kalium on pääravinne, joka on tärkein kasvien vesitaloutta ja aineiden kuljetusta säätelevä ravinne. Kalium ei sitoudu kasvin orgaanisiin rakenteisiin, vaan liikkuu tehokkaasti K^+ -ionimuodossa. (Reinikainen ym. 1998.)

Kalsium on kasvien pääravinne, joka toimii kasvien aineenvaihdunnassa juurten kasvua, itämistä ja sopeutuneiden välilevyjen ja solukalvojen muodostumista edistävänä ravinteena. Suomalaiset havupuut ovat sopeutuneet happamaan maaperään, mihin liittyy myös neulasten matalat kalsiumpitoisuudet, ja kalsiumpuutokset ovat luonnossa harvinaisia. (Reinikainen ym. 1998.) Kalsiumpitoisuutta voi nostaa kalkkipitoinen maaperä ja teollisuustoiminnoista peräisin oleva kalkkipöly.

Koboltti esiintyy kallio- ja maaperän mineraaleista lähinnä sulfideissa yhdessä raudan ja nikkeli kanssa sekä pieninä pitoisuuksina esim. kiille- ja savimineraaleissa. Koboltti on ihmiselle myös välttämätön hivenaine, mutta tietyt yhdisteet ovat vesieliöille erittäin myrkyllisiä, ja jotkut yhdisteet lisäävät hengitettyinä syöpäriskiä. Kobolttia on käytetty mm. erilaisissa teollisuuden metalliseoksissa, maaleissa ja akuissa. Maaperään kobolttia voi päästä myös kaivosteollisuudesta, jätteistä ja jätevesistä. (Reinikainen 2007, 96.)

Kromia esiintyy luonnossa hapetusasteilla +3 ja +6. Kallio- ja maaperässä suurin osa kromista esiintyy varsin pysyvissä ja niukkaliukoisissa oksidimineraaleissa. Kuudenarvoinen kromi on syöpävaarallista ja eliöille kolmenarvoista kromia haitallisempaa, mutta sitä ei luontaisesti ole Suomen maaperässä tavattu. Kolmenarvoinen kromi on ihmiselle välttämätön hivenaine. Kromia on käytetty erityisesti ruostumattoman teräksen valmistuksessa sekä esim. nahka- ja kemianteollisuudessa sekä puunsuojauksessa. (Reinikainen 2007, 97.)

Kupari on eläimille ja kasveille välttämätön hivenaine, mutta suurina pitoisuuksina se on erittäin myrkyllistä vesieliöille. Ihmistoiminnan seurauksena maaperään joutunut kupari on usein liukoisemmassa muodossa kuin maaperän mineraaleihin sitoutunut kupari. Maaperän happamuus ja kuparia sitovien aineiden vähäisyys lisäävät kuparin kulkeutuvuutta. Liian korkea kuparipitoisuus voi männyillä aiheuttaa mangaanin puutosta (Rautjärvi ja Raitio 2003). Suomessa kuparia on käytetty mm. teollisuuden metalliseoksissa, väripigmenteissä ja puutavaran kyllästysaineissa. (Reinikainen 2007, 98.) Myös fossiilisten polttoaineiden käytöstä pääsee ilmaan kuparia (Rautjärvi ja Raitio 2003).

Alkalimetalli **litium** on keveytensä ja reaktiivisuutensa vuoksi paljon käytetty materiaali akuissa ja paristoissa. Litium esiintyy maapallon kallioperässä laajoilla alueilla, mutta myös Suomen litiumvarannot ovat paikoin merkittävät (Naumov ja Naumova 2010). Tässä tutkimuksessa litiumpitoisuuksia selvitettiin suunniteltujen kaivosalueiden ympäristöstä.

Lyijyä esiintyy tavallisesti kertyneenä maaperän orgaaniseen pintakerrokseen. Lyijyn kulkeutuvuus maaperässä on yleensä heikkoa, mutta hapettavat ja happamat olosuhteet sekä kompleksoituminen liukosiin yhdisteisiin lisäävät lyijyn liukoisuutta ja kulkeutuvuutta. Lyijy kertyy ihmisen ravintoketjuun, ja on erittäin myrkyllistä vesieliöille. Lyijyä on käytetty runsaasti mm. elektroniikkateollisuudessa sekä aikaisemmin bensiinin lisäaineena. Maaperän paikallista lyijykuormitusta ovat aiheuttaneet mm. ampumaratojen haulit ja luodit, kuparisulattojen kuonat sekä autojen akut. Kohonneita lyijypitoisuuksia voivat aiheuttaa myös energiantuotannon polttoprosessien ilmalaskeuma. (Reinikainen 2007, 99.)

Magnesium kuuluu kasvien pääravinteisiin, ja valtaosa siitä esiintyy viherhiukkasissa. Magnesium on kaliumin ja kalsiumin antagonistti, ja magnesiumpuutos voi aiheutua poikkeuksellisen runsaasta NH_4 -tyypen, kaliumin, kalsiumin tai raskasmetallien saannista. (Reinikainen ym. 1998.) Humuksesta mitattuna magnesium kuvaa kasvupaikan ravinteisuutta (Tamminen 1998). Magnesiumpuutosta on Suomessa esiintynyt turkistarhojen läheisyydessä, voimakkaasti tyypellä lannoitetuilla turvemailla ja karuilla kankailla (Ferm ym. 1988, Raitio 1990, Reinikainen ym. 1998). Rannikkoseuduilla magnesiumpitoisuuksia nostavat merivedestä peräisin olevat suolat (Binkley ja Högberg 1997).

Mangaani on yksi maankuoren kahdeksasta yleisimmästä alkuaineesta, ja ihmiselle tarpeellinen hivenaine. Suomen luontaisesti hapan maaperä sisältää luontaisesti paljon mangaania (Rautjärvi ja Raitio 2003); kallioperässä mangaania esiintyi erilaisina mineraaleina ja malmeina. Mangaania käytetään muun muassa raudan ja teräksen valmistuksessa, alumiiniseoksissa ja väriaineina. Mangaanin päästölähteitä ovat mm. terästeollisuus ja kivihiilen, öljyn ja turpeen poltto, sekä maaperän pölyäminen. (Värrö 2007.)

Natriumyhdisteitä esiintyy maaperässä esim. maasälvässä. Natrium saattaa kasveissa suurina pitoisuuksina aiheuttaa kaliumin, magnesiumin ja fosforin puutosta estämällä niiden saantia (Reinikainen 1998).

Nikkeliä esiintyy Suomen kallio- ja maaperässä luontaisesti mm. nikkelisulfidimineraaleissa. Nikkelin liikkuvuutta maaperässä säätelevät pH sekä orgaanisen aineksen ja alumiinipitoisten savimineraalien määrä. Nikkeli on välttämätön hivenaine, joka on kuitenkin tiettyinä yhdisteinä erittäin myrkyllinen vesieliöille.

le. Nikkeliä käytetään mm. ruostumattoman teräksen ja metalliseosten valmistuksessa, metallien galvanoinnissa sekä paristoissa. Nikkelin päästölähteitä ovat mm. kaivos- ja metalliteollisuus ja kivihiilen ja öljyn poltto. (Reinikainen 2007, 100; Melanen ym. 1999.)

Rauta on neulasissa esiintyessään ilmeisen hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä neulasten rautapitoisuuden on havaittu korreloivan ilmasta mitattujen rautapitoisuuksien kanssa (Landolt ym. 1989). Rautaa kertyy kasvien pinnalle maapölystä ja metalli- ja kaivannaisteollisuudesta (Rautjärvi ja Raitio 2003).

Rikki on sivuravinne, jota kasvi käyttää valkuaisaineisiin ja sulfolipidien osana kalvorakenteisiin. Rikkipuutoksia ei Suomen metsistä tunneta. (Reinikainen ym. 1998.) Humuksesta mitattuna rikki kuvaa kasvu- paikan viljavuutta (Tamminen 1998). Rikkikuormituksen indikaattorina käytetään epifyyttikälkien lisäksi neulasten ja sammalten rikkipitoisuuksia. Rikki voi kulkeutua ilmakehässä suhteellisen kauas päästölähteestään, ja se esiintyy ilmassa useimmiten kaasumaisena. Vaikka rikkipitoisuuden on havaittu kohoavan lähellä päästölähteitä ja laskevan kauempana niistä sekä sammalissa että neulasissa, sitä ei pidetä erityisen hyvinä rikin kertymäindikaattorina. Korkeat rikkipitoisuudet vahingoittavat kasveja ja muuttavat niiden kertymiskapasiteettia (Äyräs ym. 1997), toisaalta männynillä rikin on havaittu kuvaavan ensisijaisesti ravinnetilannetta, eikä ilman rikkidioksidipitoisuuden ja neulasten pitoisuuksien välillä ole aina havaittu yhteyttä (Innes 1995, Rautjärvi ja Raitio 2003). Lisäksi kasvien aktiiviset fysiologiset prosessit kontrolloivat rikin kertymistä (Moser ym. 1993).

Sinkki on luonnossa yleinen metalli, jota esiintyy luontaisesti runsaasti sulfidipitoisen kallioperän alueella (mustaliuskealueet) ja sulfidimailla, jotka ovat yleisiä Pohjanmaalla. Maaperän happamoituminen ja alumiinin liukoisuuden kasvu lisäävät sinkin kulkeutuvuutta. Sinkki on eläimille ja kasveille tarpeellinen hivenaine, mutta tietyt sinkkiyhdisteet ovat hyvin myrkyllisiä vesieläimille. Korkeat sinkkipitoisuudet voivat johtaa fosforin puutteeseen (Reinikainen 1998). Sinkkiä käytetään runsaasti metalliteollisuudessa, esim. raudan ja teräksen pinnoituksessa ja messinkiseoksissa. (Reinikainen 2007, 101.)

Titaani on tyypillinen maaperästä peräisin oleva alkuaine, joka esiintyy enimmäkseen isoissa hiukkasissa (Saari ym. 2012). Tässä tutkimuksessa titaanipitoisuuksia selvitettiin suunniteltujen kaivosalueiden ympäristössä.

Typpi on kasvisolujen tärkeimpiä rakennusaineita, ja sen osuus kasvien kuiva-aineesta on 1-3 % (Raitio 1983), neulasilla tyypillisesti alle 2 % (Reinikainen ym. 1998). Typpi on helposti liikkuva ravinne, ja sen pitoisuus männyn neulasissa tavallisesti alenee neulasten ikääntyessä (Helmisaari 1990). Suomessa typpi on tärkein puiden kasvia rajoittava tekijä, ja lievää typen puutetta voi esiintyä kohtalaisen rehevilläkin kivennäismailla (Reinikainen ym. 1998). Runsaan laskeuman alueella on havaittu typen kertymistä neulasiin (Raitio 1994, Innes 1995). Typpilaskeuman lisääntyminen voi muuttaa kasvien ainesuhteita ja heikentää puiden ravinteidenottokykyä, ja ravinne-epätasapaino altistaa puuston taudeille ja tuholaisille ja sääolosuhteiden haittavaikutuksille (Thelin ym. 1998).

Vanadiinia esiintyy Suomen kallio- ja maaperässä luontaisesti niukkaliukoisina oksidimineraaleina tai kiuillemineraaleihin sitoutuneena. Vanadiini kuuluu ihmisille tarpeellisiin hivenaineisiin. Vanadiinia käytetään seosaineena mm. teräksessä, raudattomissa metalliseoksissa sekä kemikaaleissa. (Reinikainen 2007, 102.) Vanadiinipäästöjä syntyy mm. öljynpoltosta (Melanen ym. 1999).

3.4.1 Neulasten alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen

Neulasiin kertyy epäpuhtauksia sekä juuristojen kautta että suoraan ilmasta neulasten pintasolukoista, ja osa laskeumasta jää neulasten pinnoille kulkeutumatta eteenpäin (Jussila ym. 1999). Neulasten alkuainepitoisuudet kuvaavat kuormitusta suhteellisesti, sillä osa alkuaineista on aina peräisin maaperän luontaisista ravinnevaroista (Jussila ym. 1999). Alkuainepitoisuuksien perusteella voidaan tehdä päätelmiä ravinteiden keskinäisistä suhteista, puutostiloista tai myrkyllisen korkeista pitoisuuksista. Voimakkaat sateet laskevat neulasten alkuainepitoisuuksia (Huttunen 1982). Myös latvustosta voi huuhtoutua ravinteita alempien neulasten pinnoille; nämä ravinteet ovat peräisin lehtisolukoista ja kuivalaskeumasta (Hel-

misaari 1993). Neulasten vanhetessa helposti liikkuvien ravinteiden (N, S, Mg, K) pitoisuudet pienenevät, ja heikosti liikkuvien (Ca, Mn) pitoisuudet kasvavat. Neulasten iän vaikutusta on tutkimuksissa pyritty vakioimaan tekemällä analyysit toisen vuosikerran neulasista. Kuormitetuilla alueilla rikkipitoisuudet voivat kuitenkin päinvastoin kasvaa neulasten vanhetessa (Nieminen ym. 1993, Helmisaari 1993).

Yksiselitteisiä ohjearvoja neulasten alkuainepitoisuuksille ei juurikaan ole arvojen vaihdella eri lähteissä (vrt. Reinikainen ym. 1998). Neulasten eri (ravinne)pitoisuuksille annettuja viitearvoja on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Neulasten alkuainepitoisuuksien viitearvoja kangasmaan metsille (Reinikainen ym. 1998 Brække 1995, Mälkönen 1991 ja Raitio 1994 mukaan).

Mänty	Ankara puutos	Sopiva (optimi)	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
N %	1,1 - 1,3	1,5 - 2,1	1,23	0,74	2,25
P g/kg	0,8 - 1,2	1,4 - 1,8	1,46 - 1,52	0,98	3
K g/kg	3,0 - 4,1	5,0 - 7,0	4,82 - 4,87	3,1	8
Ca g/kg	1,0 - 2,1	yli 3,0	1,85 - 2,28	1,14	4,24
Mg g/kg	0,3 - 0,7	0,5 - 1,0	0,99 - 1,07	0,52	1,48
S g/kg	0,5 - 0,9	yli 0,9	0,94	0,66	1,42
B mg/kg	alle 4	yli 8,0	12,1	3,6	27,6
Cu mg/kg	1,9 - 3,0	ei optimiarvoa	2,6 - 3,2	0,8	5,9
Zn mg/kg	alle 5,0	ei optimiarvoa	40 - 46	25,5	61
Mn mg/kg	alle 7,0	ei optimiarvoa	409 - 555	157	767
Fe mg/kg	27 - 30	ei optimiarvoa	46,4	24,3	148

Neulasnäytteet kerättiin standardin SFS 5669 mukaisesti talvella 2012 samoilta tutkimusaloilta, joilta jäkälähavainnot myöhemmin kesällä tehtiin. Neulasnäytteet kerätään puiden lepoaikana, jolloin neulasten alkuainepitoisuuksissa on vähemmän vaihtelua kun kasvukaudella (esim. Raitio ja Merilä 1998). Näytepuista katkaistiin 3-4 oksaa eri puolilta latvustoa 8-12 metrin korkeudelta. Näytteet pakattiin muovipusseihin, joita säilytettiin pakastimessa näytteiden esikäsittelyyn asti. Näytteistä erotettiin toisen vuosikasvaimen neulas (vuoden 2010 vuosikerta), jotka kuivattiin paperipusseissa noin 40°C lämpötilassa noin viikon ajan. Kuivatut neulas jauhettiin homogeeniseksi massaksi ja hajotettiin väkevän typpihapon avulla märkäpoltolla mikroaaltopolttolaitteistossa. Jäähtyneet näytteet laimennettiin vedellä ja sentrifugoitiin. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuudet tyyppiä lukuun ottamatta ICP-OES -laitteistolla (Jobin-Yvon Ultima 2) standardin SFS-EN ISO 11885:98 mukaisesti ja ICP-MS -laitteistolla (Agilent 7500ce) standardin SFS-EN ISO 17294-2:05 mukaisesti (taulukko 17). Typpipitoisuudet määritettiin Metsäntutkimuslaitoksella ilmakehävaihtuista näytteistä laitoksen sisäisellä menetelmällä (laite Leco CHN-1000), joka perustuu standardeihin ISO 10694:1995 ja ISO 13878:1998. Rinnakkaismäärittysten lisäksi alkuainemäärittysten laadunvarmistukseen käytetään sekä laboratorion sisäisiä kontrollinäytteitä että sertifioituja referenssimateriaaleja (NIST SRM 1575, männyn neulas). Tulokset on ilmoitettu kuiva-ainetta (105 °C) kohti.

3.4.2 Sammalten alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen

Sammalten kemiallinen analyysi on hyvä menetelmä esim. raskasmetallilaskeuman tutkimiseen, sillä tiheä sammalmatto pidättää lähes kaiken hiukkasten muodossa tulevan laskeuman. Koska sammalilla ei ole juuria, ne ottavat tarvitsemansa alkuaineet sadevedestä ja karikkeesta saatavilla olevista ravinteista suoraan solukoihinsa. Sammalia onkin käytetty Pohjoismaissa laajalti raskasmetallipitoisuuksien kartoittamiseen, ja sammalten raskasmetallipitoisuuksien ja absoluuttisten laskeumamäärien välillä on todettu olevan tilastollisesti erittäin merkitsevä korrelaatio (Rühling ym. 1987).

Sammalten alkuaineiden pitoisuudet analysoitiin standardin SFS 5671 mukaisesti. Näytesammalena käytettiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Jokaiselta näytealalta kerättiin vähintään viisi osanäytettä eri paikoista mahdollisimman puhtailta sammalkasvustoilta. Osanäytteet pyrittiin keräämään metsän aukko- paikoilta. Sammalista leikattiin maastossa kolme nuorinta vuosikasvainta, jotka pakattiin muovipusseihin.

Laboratoriossa sammalnäytteet puhdistettiin ja kuivattiin lämpökaapissa n. 40°C lämpötilassa. Sammalten alkuainepitoisuudet elohopeaa lukuun ottamatta määritettiin ICP OES ja ICP MS -laitteistoilla, ja elohopeapitoisuudet CVAAS-menetelmällä.

3.4.3 Humuksen alkuainepitoisuudet ja kemialliset ominaisuudet ja niiden määrittäminen

Maaperä ja ilmansaasteet

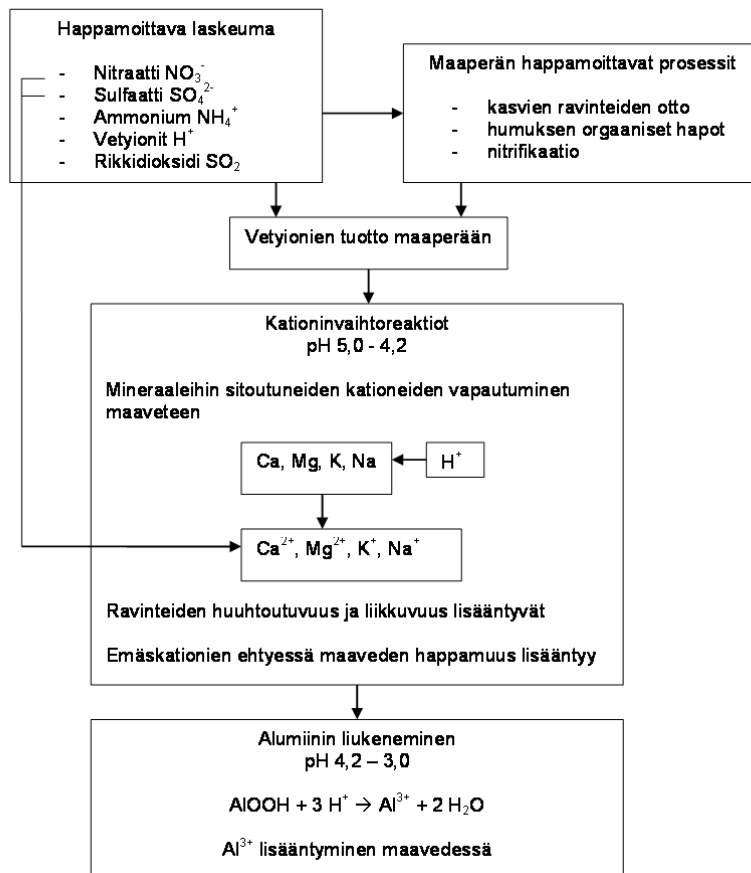
Maaperän alkuainepitoisuuksiin, ravinnetasoihin ja happamuuteen vaikuttavat luontaisten tekijöiden (esim. kivennäismaan geokemiallinen koostumus, maaperän ja humuskerroksen paksuus, maaperän rae-koostumus, kivisyys, pohjaveden liikkuvuus, pohjavesipinnan korkeus, ilmastotekijät) lisäksi ihmisen toiminta, lähinnä ilman epäpuhtauksien aiheuttama laskeuma sekä erilaiset metsänkäsittelytoimet. Metsäkasvillisuuden käytettävissä olevat ravinteet ovat sitoutuneet kivennäismaata peittävään humuskerrokseen. Humuskerroksen ominaisuuksiin vaikuttavat kasvillisuus sekä maaperän hajottajaeliöstön toimintaa säätelevät ympäristötekijät. (Tamminen 1998, Raitio ja Kärkkäinen 2002.) Maaperän ominaisuuksien ja kasvupaikan tuotoskyvyn välillä on havaittu riippuvuuksia, sen sijaan kasvupaikalle ominaisen puuston elinvoimaisuuden ja maaperän ominaisuuksien välillä yhteyttä ei ole havaittu joitain ääreviä poikkeustapauksia lukuun ottamatta. (Tamminen 1998.)

Humuksen raskasmetallipitoisuuksien katsotaan kuvaavan sekä ilman kautta leviävää kuormitusta että maaperästä peräisin olevien raskasmetallien määrää. Ilman kautta leviävä kuormitus voi olla peräisin kaukokulkeumasta tai paikallisista päästölähteistä. Erityisesti humuskerroksesta analysoitujen kuparin ja lyijyn pitoisuuksien valtakunnallisten jakaumien on havaittu vastaavan hyvin sammalista analysoitujen pitoisuuksien jakaumia. (Tamminen 1998.) Laskeuman raskasmetallit kerääntyvät metsämaiden humuskerrokseen, jossa ne muodostavat yleensä vakaita kompleksiyhdisteitä. Metallien siirtyminen alpuolisiin maakerrokseen on riippuvaista orgaanisen aineksen liikkuvuudesta, jota happamoituminen kiihdyttää (Ulrich 1991). Raskasmetallit ovat mukana humuskerroksen ja kivennäismaan kationinvaihtoreaktioissa muuttaen maaperän kemiallista koostumusta. Kuolan niemimaalla voimakas raskasmetallilaskeuma Montsegorskin lähellä on mm. aiheuttanut maan pintakerroksen ravinteisuuden köyhtymistä (Derome ja Väre 1995). Vastaavanlaisia havaintoja on tehty myös Harjavallan seudulla (Jussila 1998) sekä Kokkolassa vuonna 1997 (Niskanen ym. 1998).

Suomen metsämaat ovat luonnostaan melko happamia. Happamoitumista aiheuttavat luontaisesti mm. sade- ja maaveden hiilihappo, kasvien ravinteiden oton yhteydessä maahan siirtyvät vetyionit ja orgaanisen aineksen hajotessa syntyvät hapot. Neutraloivia prosesseja ovat puolestaan mineraalien rapautuminen sekä happamuuden muutoksia vastustavat puskurireaktiot. (Tamminen 1998.) Happamoittavaa laskeumaa aiheuttavat rikin ja typen oksidit, jotka muuttuvat ilmakehässä rikki- ja typpihapoksi. Laskeuma happamoittaa maaperää korvaamalla maahiukkasten pinnalla olevat vaihtuvat emäskationit vetyioneilla ja kiihdyttämällä happamoitumista puskuroivien emäskationien huuhtoutumista maaperästä. (Lindroos ja Derome 1998.) Maaperän emäskationivarastojen ehdyttyä maaveden vetyionien määrä lisääntyy, jolloin tiettyssä vaiheessa myös maan silikaattimineraalien alumiini liukenee maaveteen (kuva 14). Maaperän alumiini toimii osaltaan happamoitumisen puskurina. Happamuuden lisääntyessä sitoutunut alumiini vapautuu maaveteen liukoisena Al^{3+} :na, joka on korkeina pitoisuuksina esiintyessään haitallinen kasveille. Happaman laskeuman vaikutukset metsämaahan riippuvat paljolti maaperän ominaisuuksista, erityisesti emäskationien määrästä ja maaperän rapautumiskyvystä. Maaperän happamuus vaihtelee sekä ajallisesti (kasvukauden aikana ja vuodesta toiseen) että syvyysuunnassa. Humuskerroksen happamuudella on selvä yhteys kasvupaikan viljavuuteen. Happamoitumisella ei toistaiseksi ole Suomessa havaittu olevan suoria vaikutuksia puustoon, mutta happamoituminen vaikuttaa puustoon epäsuorasti mm. hidastamalla orgaanisen aineksen hajoamista. (Tamminen 1998.)

Maaperän pH on yksi tapa kuvata maan happamuutta, mutta se ei kerro maaperän kokonaishappamuutta. Maaperän vaitohappamuus kuvaa maaperän happamuutta kuten pH:kin, mutta siinä missä pH-arvo kertoo vetyionikonsentraatiosta, saadaan vaitohappamuutta mittaamalla tietoa myös mineraaleihin sitoutuneiden vetyionien määrästä. Kationinvaihtokapasiteetti kuvaa maaperän kykyä sitoa vaihtuvia kationeja.

Kationinvaihtokapasiteetti määritetään vaihtuvien ravinteiden (Ca, K, Mg, Na) ja vaitohappamuuden summana.



Kuva 14. Maaperän happamoitumiseen vaikuttavia tekijöitä ja happamoitumisen aiheuttamia muutoksia (Niskanen ym. 1998).

Alkuainepitoisuuksien ja happamuuden määrittäminen

Humusnäytealoja sijaitsi Kokkolan seudulla 15, joista 13 Ykspihlajan ympäristössä ja 2 tausta-alueilla Kokkolassa ja Kruunupyyssä. Pietarsaaren seudulla sijaitsi 25 näytealaa. Kultakin näytealalta otettiin noin 5 osanäytettä humuskerroksesta, jotka yhdistettiin yhdeksi tilavuudeltaan n. 2 litran kokoomanäytteeksi. Laboratoriossa humusnäytteet seulottiin 2 mm seulalla, jonka jälkeen ne kuivattiin 40 °C lämpötilassa ilmakeiviksi. Alkuainepitoisuuksien määrittystä varten näytteet uutettiin ja analysoitiin samoilla menetelmillä kuin neulas- ja sammalnäytteetkin. Osa näytteestä erotettiin vaitohappamuuden määrittystä varten. Vaitohappamuus määritettiin KCl-utitteesta. 20 g tuorepainoa vastaava määrä ilmakeivää humusnäytettä uutettiin 100 ml:an 1 M KCl-liuosta. Näytettä sekoitettiin kaksi tuntia ja seos suodatettiin. Mittausta varten 50 ml suodosta titrattiin 0,05 M NaOH:lla pH-arvoon 8,2. Tulos on ilmoitettu meq/100 g kuiva-ainetta kohti.

Pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa käytettävät kynnyks- ja ohjearvot

Valtioneuvoston asetuksessa 214/2007 on säädetty maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Asetuksessa on annettu pitoisuuksille kynnyksarvot sekä alemmat ja ylempät ohjearvot. Kynnyksarvojen ylityksessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava. Maaperää pidetään pilaantuneena, jos ylempi kynnyksarvo on ylittynyt yhden tai useamman aineen osalta ylittynyt teollisuus-, varasto- tai liikennealueella taikka muulla vastaavanalla alueella. Alempia ohjearvoja sovelletaan muille alueille (4§). Kynnyksarvot ja ohjearvot on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa käytettävät kynnyks- ja ohjearvot. Arviointiperuste-sarakkeessa e-kirjain viittaa ekologiseen riskiin, t-kirjain terveydelliseen riskiin. (VNA 214/2007.)

Metalli	yksikkö	Luontainen pitoisuus	Kynnyksarvo	Alempi ohjearvo	Ylempi ohjearvo	Arviointiperuste
Arseeni	mg/kg	1 (0,1-25)	5	50	100	e
Elohopea	mg/kg	0,005 (<0,005-0,05)	0,5	2	5	e
Kadmium	mg/kg	0,3 (0-01-0,15)	1	10	20	e
Koboltti	mg/kg	8 (1-30)	20	100	250	e
Kromi	mg/kg	31 (6-170)	100	200	300	e
Kupari	mg/kg	22 (5-110)	100	150	200	e
Lyijy	mg/kg	5 (0,1-5)	60	200	750	t/e
Nikkeli	mg/kg	17 (3-100)	50	100	150	e
Sinkki	mg/kg	31 (8-110)	200	250	400	e
Vanadiini	mg/kg	38 (10-115)	100	150	250	e

3.5 Paikkatietomenetelmät

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

Vyöhykekarttoja tarkasteltaessa tulee huomioida, että interpolointitulokset on aina yleistys, jonka tarkkuuteen vaikuttaa ennen kaikkea tunnettujen pisteiden määrä ja tiheys. Näin ollen interpoloinnin tulosta voidaan pitää luotettavana niillä alueilla, joilla tunnettuja pisteitä (tutkimusaloja) on tiheässä, mutta harvan tutkimusalaverkon alueilla interpoloinnin tulokseen tulee huomattavasti enemmän epävarmuustekijöitä. Kun tutkimusalaverkosto on harva, yksittäisen alan tulos vaikuttaa laajempiin alueisiin kuin jos tutkimusalaverkko olisi tiheä. Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla tutkimusalojen määrää tausta-alueilla on lisätty, mikä osaltaan parantaa arvion luotettavuutta.

3.6 Tilastomenetelmät

Tilastomenetelmien avulla pyrittiin saamaan tietoa ilmanlaatu- ja taustamuuttujien vaikutuksesta tutkituihin muuttujiin, ilmanlaatua kuvaavien muuttujien välisestä yhteisvaihtelusta sekä vuosien välisistä eroista (Partanen ja Veijola 1996). Tilastomenetelmin tutkittiin taustamuuttujien (metsikkötunnukset ja ns. ilmanlaatumuuttajat) vaikutusta jäkälätunnuksiin, jäkälätunnusten ja alkuainepitoisuuksien välisiä korrelaatioita sekä neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien yhteisvaihtelua faktorianalyyysiin avulla. Tilastollisten testien tekemiseen käytettiin IBM SPSS Statistics 20.0 –ohjelmaa.

3.6.1 Taustamuuttujien vaikutus

Taustamuuttujina käytettiin sekä tutkimusalan luonnonolosuhteita kuvaavia ns. kontrollimuuttujia että tutkimusalan suhdetta päästölähteisiin kuvaavia muuttujia, ns. ilmanlaatumuuttujia. Kontrollimuuttujat eivät itsessään kuvaa ilmanlaatua, mutta ne saattavat vaikuttaa ilmanlaadusta kertoviin muuttujiin. ”Ilmanlaatumuuttajat” kuvasivat alan sijoittumista suhteessa päästölähteeseen kuvattuna alan etäisyytenä

lähimpään päästölähteeseen, etäisyytenä lähimpään tiettyyn päästölähteeseen, etäisyytenä lähimpään päästötyyppiin tai sijoittumisena 1:n, 2:n tai 5:n km:n puskurille päästölähteen ympäristössä. Lisäksi tarkasteltiin lähimmän päästölähteen toimialan vaikutusta. Tilastollisissa analyyseissä käytetyt lupavelvolliset päästölähteet on esitetty kuvassa 5 luvussa 2.2.1 ja kaikki päästölähteet kuvassa 4 samassa luvussa. Päästötyypeinä käytettiin tietoa toiminnon ilmapäästöistä, joita olivat rikki-, typpi-yhdiste-, hiukkas-, metalli-, pöly- ja voc-päästöt.

Luokiteltujen muuttujien vaikutusta tutkittiin Kruskal-Wallisn varianssianalyysin avulla. Luokiteltuja kontrollimuuttujia olivat seuraavat:

- tutkimusalan soveltuvuus (asteikolla hyvä – kohtalainen – huono)
- metsätyyppi
- kehitysluokka (asteikolla nuori – varttunut – kypsä)

Ilmanlaatua kuvaavia luokiteltuja muuttujia olivat

- alan sijoittuminen lupavelvollisen päästölähteen läheisyyteen 1 km:n puskurille
- alan sijoittuminen lupavelvollisen päästölähteen läheisyyteen 2 km:n puskurille
- alan sijoittuminen lupavelvollisen päästölähteen läheisyyteen 5 km:n puskurille
- lähimmän päästölähteen toimiala

Jatkuvien muuttujien vaikutusta tutkittiin regressioanalyysin avulla. Jatkuvia kontrollimuuttujia olivat

- ikä (havaintopuiden arvioitu keskimääräinen ikä)
- pituus (metsikön valtapuiden arvioitu keskipituus)
- pohjapinta-ala (relaskoopilla kolmesta paikasta mitattujen tulosten keskiarvo, kaikki puulajit)
- havaintopuiden rinnankorkeusläpimitta.

Ilmanlaatua kuvaavia jatkuvia muuttujia olivat

- tutkimusalan etäisyys lähimmästä päästölähteestä
- tutkimusalan etäisyys lähimmästä eläinsuojasta, energiantuotantolaitoksesta, maa-ainestoiminnasta, teollisuuslaitoksesta, turkistarhasta, turvetuotantoalueesta, voc-yhdisteitä tuottavasta toiminnasta ja ns. ympäristöpalvelutoiminnasta (jätevedenkäsittelylaitokset, jätekeskukset, maankaatopaikat).
- tutkimusalueen etäisyys lähimmästä rikki-, typpi-yhdiste-, hiukkas-, metalli-, pöly- ja voc-päästöjä tuottavasta toiminnasta.

Havaintoalojen epätasainen jakautuminen taustamuuttujien muodostamiin luokkiin voi heikentää taustamuuttujien vaikutuksen tilastollisen arvioinnin luotettavuutta, jolloin tulokset voivat erityisesti olla herkempiä parametrinen testien taustaoletusten rikkoutumisen aiheuttamille virheille, jotka vaikuttavat testin merkitsevyytasoon ja voimakkuuteen. Jos esimerkiksi sekä otoskoot että otosten varianssit eroavat ryhmittäin, riski tehdä tyypin 1 virhe, eli hylätä nollahypoteesi sen ollessa tosi, kasvaa (Ranta ym. 1989).

3.6.2 Regressioanalyysi

Tärkeimpien tutkittujen muuttujien riippuvuutta jatkuvista tausta- ja ilmanlaatua kuvaavista muuttujista tarkasteltiin usean selittävän muuttujan lineaarisen regressioanalyysin avulla. Regressioanalyysin avulla pyrittiin vastaamaan siihen, miten selitettävän muuttujan arvojen vaihtelu riippuu selittävien muuttujien arvoista ja näiden muutoksista. Alan luontaista vaihtelua kuvaavina selittävinä muuttujina käytettiin puuston pohjapinta-alaa, ikää, pituutta ja tutkimuspuiden keskimääräinen rinnankorkeusläpimittaa. Ilmanlaatua kuvaavina selittävinä muuttujina käytettiin etäisyyttä lähimpään eri toimialan päästölähteeseen. Eri toimialat ryhmiteltiin eläinsuojiin, energiantuotantolaitoksiin, maa-ainestoimintaan (mineraalituotteiden valmistus, kivenlouhinta, murskaamot, asfalttiasemat, kalkkikiven jauhatus), teollisuuteen (sisältää sekä ns. pien- että suurteollisuuden eli mm. metsä- ja kemianteollisuuden, elintarvikkeiden ja rehujen valmistuksen, satamat ym.), turkistarhat, turvetuotantoalueet, voc-yhdisteitä tuottavan toiminnan (mm. muoviteollisuus, maalaamot ym.) ja ns. ympäristöpalvelutoimintoihin (jätevedenpuhdistamot, kaatopaikat, maankaatopaikat). Ryhmien yhdistely oli välttämätöntä, sillä esim. teollisuusryhmäksi yhdistetyillä toimialoilla oli paljon pieniä ryhmiä, joita ei ollut mielekäästä käsitellä erillisinä muuttujina. Ampumaradat jätettiin tarkastelusta pois, sillä niitä oli lukumääräisesti vähän, eikä niillä jo tehdyissä tarkasteluissa havaittu olevan vaikutusta jäkälämuuttujiin.

Regressiotaulukoissa esiintyvä vakio (regressiokerroin) kertoo selitettävän muuttujan riippuvuutta selittävästä muuttujasta eli se kuvaa selittävän muuttujan muutoksen vaikutuksen suuruutta selitettävän muuttujan arvoihin. Näin ollen regressiokertoimesta voi suoraan päätellä, kuinka paljon esim. etäisyyden kasvaminen kasvattaa tai vähentää tarkasteltavan muuttujan arvoa per yksikkö. Vakion etumerkki kertoo riippuvuuden suunnan. Standardoitu B-kerroin kertoo puolestaan kunkin selittävän muuttujan mittayksiköstä riippumattoman vaikutuksen selitettävään muuttujaan. Näiden kertoimien avulla voidaan vertailla eri muuttujien keskinäistä tärkeyttä tarkasteltavan muuttujan selittäjinä. Testisuure t:n ja p-arvon avulla voidaan tarkastella regressiomalliin kuuluvien termien (sarake B) tilastollista merkitsevyyttä.

3.6.3 Faktorianalyysi

Faktorianalyysi on monimuuttujamenetelmä, jossa suuresta muuttujajoukosta pyritään hahmottamaan harvalukuisempi määrä tulkittavissa olevia piileviä (latentteja) muuttujia, faktoreita. Faktorianalyysi tiivistää muuttujien välistä vaihtelua muuttujien välisiin korrelaatioihin perustuen, ja paljastaa aineistosta piileviä säännönmukaisuuksia. Faktorit on varimax-rotatoitu, jolloin ne ovat keskenään korreloimattomia. Analyysin tuottamia faktoripistemääriä voidaan käyttää esim. karttatarkasteluissa, jolloin voidaan tarkastella esim. päästölähdetyyppien yhteyttä erilaisiin alkuainepitoisuusprofiileihin (faktoreihin).

Faktorianalyysi tehtiin neulasten alkuainepitoisuuksille ja sammalten alkuainepitoisuuksille. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysiin otettiin mukaan ne pitoisuudet, jotka oli analysoitu koko aineistosta. Tarkasteluun otettiin tavanomaiseen tapaan mukaan ne faktorit, joiden ominaisarvot olivat yli yksi.

3.6.4 Korrelaatiot

Maaperää kuvaavien muuttujien välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla. Alle 0,3:n korrelaatiota ei yleisesti katsota merkitykselliseksi. Suurilla aineistoilla varsin pienetkin korrelaatiot voivat olla tilastollisesti merkitseviä. Tilastollisesti merkitsevä tulos ei siten aina merkitse sitä, että muuttujien välinen korrelaatio olisi voimakas.

3.6.5 Vuosien väliset vertailut

Vuosien välisiä eroja tutkittiin parittaisella t-testillä.

3.7 Virhelähteet ja luotettavuus

3.7.1 Jäkäläkartoitus

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

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

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

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen selvityksessä (Polojärvi ym. 2005) männyn epifyyttijäkäläiden ja sormipaisukarpeen vaurioiden havainnoinnin virhelähteistä todettiin, että arviot sormipaisukarpeen vaurioista eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien eivätkä eri havainnoijien arvioiden välillä. Havainnot ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärästä eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien havaintokertojen välillä, mutta eri havainnoijien välillä todettiin muutamia tilastollisesti merkitseviä eroja. Sormipaisukarpeen suhteellisissa peittävyyksissä todettiin tilastollisesti merkitseviä eroja sekä havainnoijien omien että eri havainnoijien tekemien mittausten välillä, kuten myös leväpeitteen arvioinnissa. Jäkälähavainnoista leväpeitteen havainnointi osoitautui tarkkuudeltaan epävarmimmaksi. Arviot leväpeitteen esiintymisestä poikkesivat havaintoaloilla, joilla leväpeitettä esiintyi mäntyjen rungoilla hyvin pieninä vihertävinä laikkuina. Leväpeitteestä poiketen seinäsuomujäkälän havainnoinnissa ei eroja todettu. (Taulukko 15.)

Taulukko 15. Jäkälähavaintojen mittauksen tarkkuus 95 %:n luottamusvälillä.

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

Maastotöiden aikana tehdyissä tutkimusryhmän keskinäisissä tasontarkastuksissa ei havaittu merkittäviä poikkeamia lajiston tunnistamisessa tai vauriotasojen arvioimisessa.

3.7.2 Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittäminen

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus tutki vuonna 2004 neulasnäytteiden keräämiseen ja analysointiin liittyviä virheitä. Menetelmän mittaustarkkuus, joka käsittää sekä näytteenottoon että analyysiin liittyvät virheet oli rikkipitoisuudelle keskimäärin $\pm 5\%$ ja typpipitoisuudelle $\pm 7\%$. Heikoimmillaan mittaustarkkuus oli suuren pistepäästölähteen vaikutusalueella rikille $\pm 14\%$ ja typelle $\pm 12\%$ (taulukko 16). Näytteenoton mittaasepävarmuuden vähentämiseksi näytteet otetaan eri puolilta näytepuuta, jolloin kokoomanäytteeseen tulee neulasia sekä päästökohteiden puolelta että suojapuolelta. Menetelmän toistettavuutta tutkittaessa ei tilastollisesti merkitseviä eroja juuri havaittu (ks. Polojärvi ym. 2005b). Vuoden 1995 tutkimuksessa neulasten rikkipitoisuuksien kartoittamisen mittaustarkkuudeksi arvioitiin $\pm 7\%$ (Niskanen 1995) ja toistettavuuden osalta $\pm 14\%$ (taulukko 17) (Niskanen ym. 1996).

Neulasten rikki- ja typpipitoisuuden kartoituksessa käytetyn menetelmän tarkkuus heikkenee etenkin tilanteessa, jossa pitoisuuksien vaihteluväli on pieni ja sääolosuhteet vaikuttavat pitoisuuksiin. Ottamalla näytteet eri vuosina samoilta puilta saadaan parempi kuva pitoisuuksien muutoksesta näytealalla. Neulasnäytteistä määritettyjen alkuaineiden laboratorioanalyysiin liittyvät mittaasepävarmuudet ja määrittämissijat on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 16. Rikin ja typen keskimääräiset mittaustarkkuudet eri vuosina tehdyissä mittaustarkkuuksien arvioinneissa 95 %:n luottamusvälillä. Vuonna 1995 näytepuuta oli alalla viisi vuonna 2004 käytettyjen kymmenen sijasta.

		Keskim. mittaustarkkuus	Huonoin mittaustarkkuus
Rikki	2004	$\pm 5\%$	$\pm 14\%$
	1995	$\pm 7\%$	
Typpi	2004	$\pm 7\%$	$\pm 12\%$

Taulukko 17. Neulasten alkuainepitoisuuksien analysoinnissa käytetyt menetelmät, määrittämissijat sekä mittaasepävarmuudet.

ALKUAINE	MENETELMÄ	MÄÄRITYSRAJA mg/kg	MITTAUSEPÄVARMUUS
Al	ICP-OES	5	5-15 mg/kg \pm 3 mg/kg > 15 mg/kg \pm 20 %
As	ICP-MS	0,05	0,05-0,15 mg/kg \pm 0,03 mg/kg > 0,15 mg/kg \pm 20 %
B	ICP-OES	1	1-3 mg/kg \pm 0,6 mg/kg > 3 mg/kg \pm 20 %
Ca	ICP-OES	10	10-40 mg/kg \pm 6 mg/kg > 40 mg/kg \pm 15 %
Be	ICP-MS	0,05	20 %
Cd	ICP-MS	0,05	0,05-0,15 mg/kg \pm 0,03 mg/kg > 0,15 mg/kg \pm 20 %
Co	ICP-MS	0,1	0,1-0,3 mg/kg \pm 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg \pm 20 %
Cr	ICP-MS	0,1	0,1-0,3 mg/kg \pm 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg \pm 20 %
Cu	ICP-OES	1	1-4 mg/kg \pm 0,6 mg/kg > 4 mg/kg \pm 15 %
Fe	ICP-OES	3	3-20 mg/kg \pm 2 mg/kg > 20 mg/kg \pm 10 %
Hg	CVAAS	0,01	20 %
K	ICP-OES	30	30-150 mg/kg \pm 15 mg/kg > 150 mg/kg \pm 10 %
Li	ICP-MS	0,50	20 %
Mg	ICP-OES	10	10-50 mg/kg \pm 5 mg/kg > 50 mg/kg \pm 10 %
Mn	ICP-OES	0,2	0,2-0,7 mg/kg \pm 0,1 mg/kg > 0,7 mg/kg \pm 5 %
Na	ICP-OES	30	30-100 mg/kg \pm 15 mg/kg > 100 mg/kg \pm 15 %
Ni	ICP-MS	0,1	0,1-0,3 mg/kg \pm 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg \pm 20 %
P	ICP-OES	10	10-50 mg/kg \pm 5 mg/kg > 50 mg/kg \pm 10 %
Pb	ICP-MS	0,05	0,05-0,15 mg/kg \pm 0,03 mg/kg > 0,15 mg/kg \pm 20 %
S	ICP-OES	15	15-80 mg/kg \pm 8 mg/kg > 80 mg/kg \pm 10 %
Sb	ICP-MS	0,05	20 %
Ti	ICP-MS	1	20 %
V	ICP-MS	0,1	0,1-0,3 mg/kg \pm 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg \pm 20 %
Zn	ICP-OES	1	1-5 mg/kg \pm 1 mg/kg > 5 mg/kg \pm 20 %

3.7.3 Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien määrittäminen

Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseurannan yhteydessä on arvioitu sammalen ja humuksen metallipitoisuuksien määrittämisen mittaustarkkuutta (Veijola ja Niskanen 1998). Selvityksessä analysoitiin erikseen samoilta kahdelta näytealoilta (Nuuksio ja Puolarmetsä) otetut 10 sammal- ja humusnäytettä kokoomanäytteen tarkkuuden arvioimiseksi. Mitattaville muuttujille arvioitiin luottamusvälit kun kokoomanäytteet oletettiin koostuvan 5-15 osanäytteestä. Jotta muuttujan mittaustarkkuus olisi helpompi mieltää, esitettiin tulokset standardoimalla keskiarvo sadaksi. Käytännössä esim. luottamusväli 100 ± 40 voidaan tulkita niin, että eri alueiden tai vuosien välisen eron tulee olla suurempi kuin 40 %, jotta ne tilastollisesti eroaisivat toisistaan.

Sammalnäytteistä tutkittiin kadmiumin, lyijyn, vanadiinin, nikkelin, raudan, sinkin ja elohopean pitoisuudet ja humusnäytteistä kalsiumin, magnesiumin, kaliumin, natriumin ja alumiinin pitoisuudet. Taulukoissa 18 ja 19 on verrattu 5 ja 10 osanäytteestä muodostetun kokoomanäytteen mittaustarkkuutta. Tulosten perusteella analysoitaessa useampia osanäytteitä saavutetaan pienempi vaihteluväli. Sammalten osalta paras mittaustarkkuus oli sinkillä, heikoin nikkelillä. Humusten osalta paras mittaustarkkuus oli magnesiumilla ja heikoin alumiinilla.

Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien analysointiin liittyvät mittausepävarmuudet sekä menetelmien määrittämisrajat ovat samoja kuin neulasillakin ja ne on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 18. Sammalten metallipitoisuuksien 95 %:n luottamusväli, kun kokoomanäyte koostuu 5 tai 10 osanäytteestä (keskiarvo standardoitu 100:ksi).

	5 osanäytettä		10 osanäytettä	
	Nuuksio	Puolarmetsä	Nuuksio	Puolarmetsä
Cd	100 ± 19	100 ± 19	100 ± 11	100 ± 11
Pb	100 ± 13	100 ± 23	100 ± 8	100 ± 13
V	100 ± 29	100 ± 28	100 ± 17	100 ± 16
Ni	100 ± 74	100 ± 48	100 ± 43	100 ± 28
Fe	100 ± 39	100 ± 29	100 ± 23	100 ± 17
Zn	100 ± 17	100 ± 10	100 ± 10	100 ± 6
Hg	100 ± 33	100 ± 40	100 ± 19	100 ± 23

Taulukko 19. Humuksen muuttujien 95 %:n luottamusväli, kun kokoomanäyte koostuu 5 tai 10 osanäytteestä. Keskiarvo on standardoitu 100:ksi. Metallipitoisuuksien yksikkönä käytettiin meq/dm^3 .

	5 osanäytettä		10 osanäytettä	
	Nuuksio	Puolarmetsä	Nuuksio	Puolarmetsä
Ca	100 ± 55	100 ± 46	100 ± 32	100 ± 26
Mg	100 ± 31	100 ± 40	100 ± 18	100 ± 23
K	100 ± 45	100 ± 58	100 ± 26	100 ± 34
Na	100 ± 32	100 ± 49	100 ± 18	100 ± 28
Al	100 ± 56	100 ± 52	100 ± 32	100 ± 30

4. Tulokset

4.1 Mäntyjen runkojäkäliät

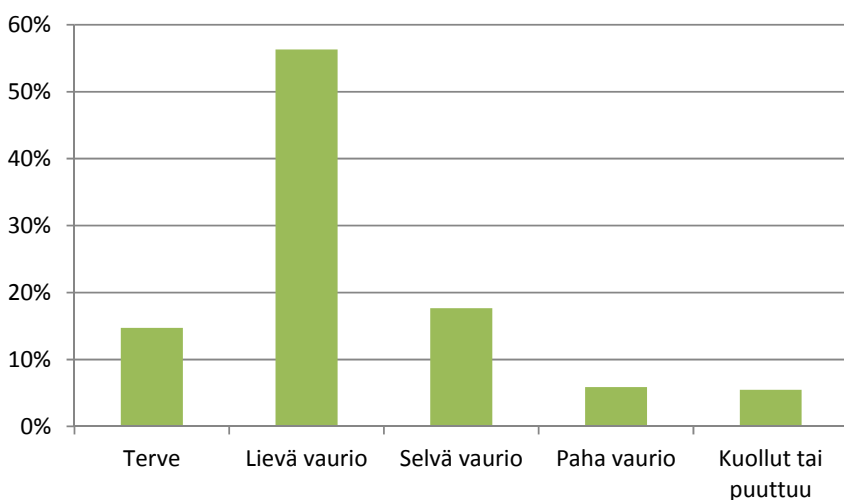
Mäntyjen jäkälälajistoa kuvaavien muuttujien keskiarvot, suurin ja pienin arvo sekä keskihajonta on esitetty taulukossa 20. Kutakin jäkälälajistoa kuvaavaa muuttujaa on tarkasteltu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Taulukko 20. Männyen runkojäkälien ilmanpuhtausindeksin, alakohtaisen ja puukohtaisen lajimäärän, sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, sormipaisukarpeen peittävyys, luppojen peittävyys ja levän yleisyyden keskiarvo, keskihajonta ja pienin ja suurin arvo. Lajimääriä laskettaessa ei ole huomioitu levää ja seinäsuomujäkälää.

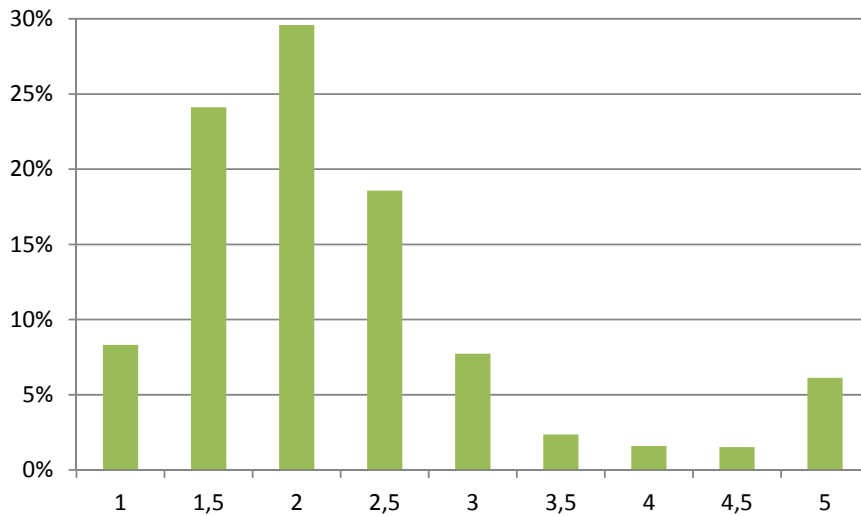
n = 238	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
IAP	2,1	0	4,3	0,79
Lajimäärä/näyteala	5,2	0	9	1,85
Lajimäärä/puu	3,9	0	9	1,57
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,3	1	5	0,88
Yleinen vaurioaste	3,2	1,1	5,0	0,88
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	10,5	0	74,8	11,6
Luppojen peittävyys (%)	0,09	0	3,9	0,42
Levän yleisyys	3,0	0	5	2,15

4.1.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste

Sormipaisukarpeen vauriot olivat tutkimusalueella keskimäärin lieviä (keskimääräinen vaurioaste 2,3). Vaurioasteet vaihtelivat tutkimusalueella terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan (taulukko 15). Vaurioiden jakaantumista koko aineistossa tutkittiin luokittelemalla vaurioasteet sekä havaintoaloittain että havaintopuittain (kuvat 15 ja 16). Suurimmalla osalla (56 %) havaintoaloista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta. Sormipaisukarve oli tervettä 15 %:lla havaintoaloista, selvästi vaurioitunutta 18 %:lla havaintoaloista ja pahasti vaurioitunutta 6 %:lla havaintoaloista. Sormipaisukarve puuttui 5 % havaintoaloista. Tutkimuspuittain tarkasteltuna sormipaisukarve oli tervettä tai melkein tervettä (vaurioaste 1 tai 1,5) 32 %:lla havaintopuista. Suurin vaurioluokka oli lievästi vaurioitunut (30 % tutkimuspuista). Sormipaisukarve puuttui kokonaan 6 %:lla rungoista.



Kuva 15. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla luokittain vuonna 2012. N =238.

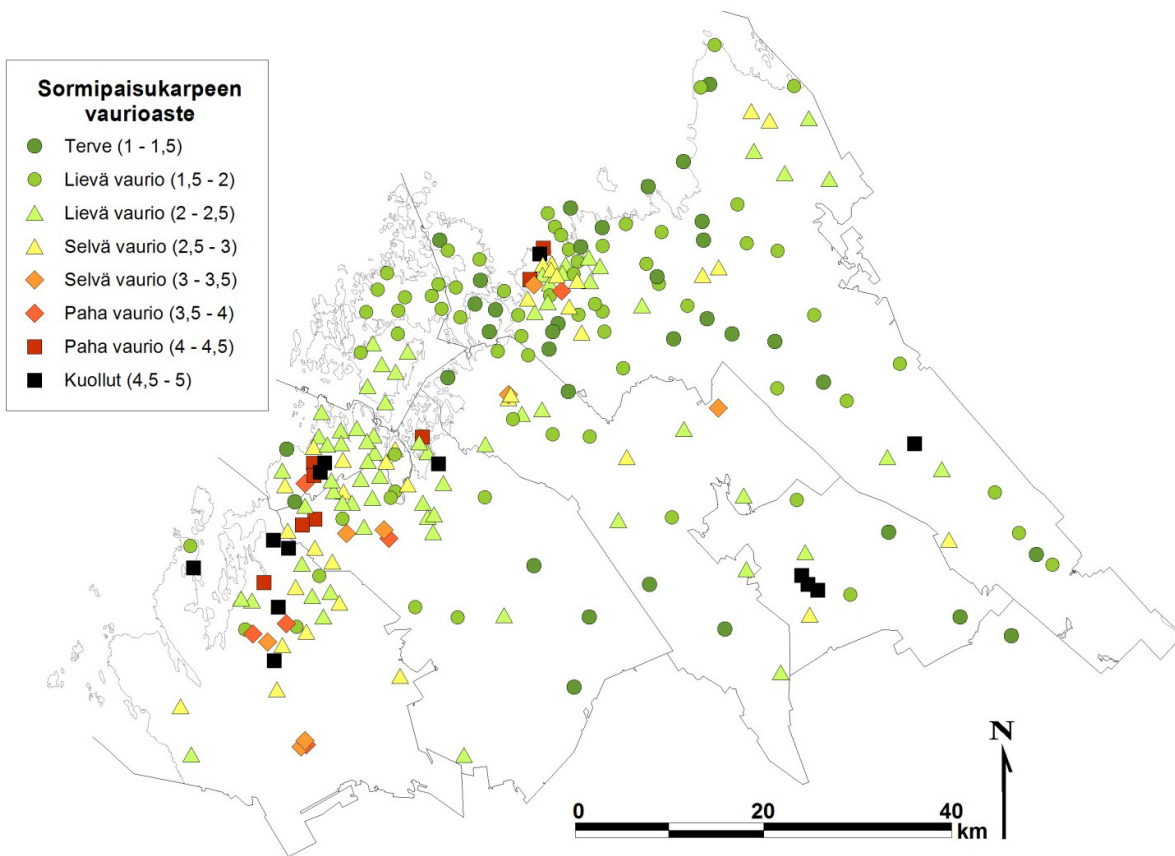


Kuva 16. Sormipaisukarpeen vaurioasteet luokiteltuna rungoittain vuonna 2012. N = 1190.

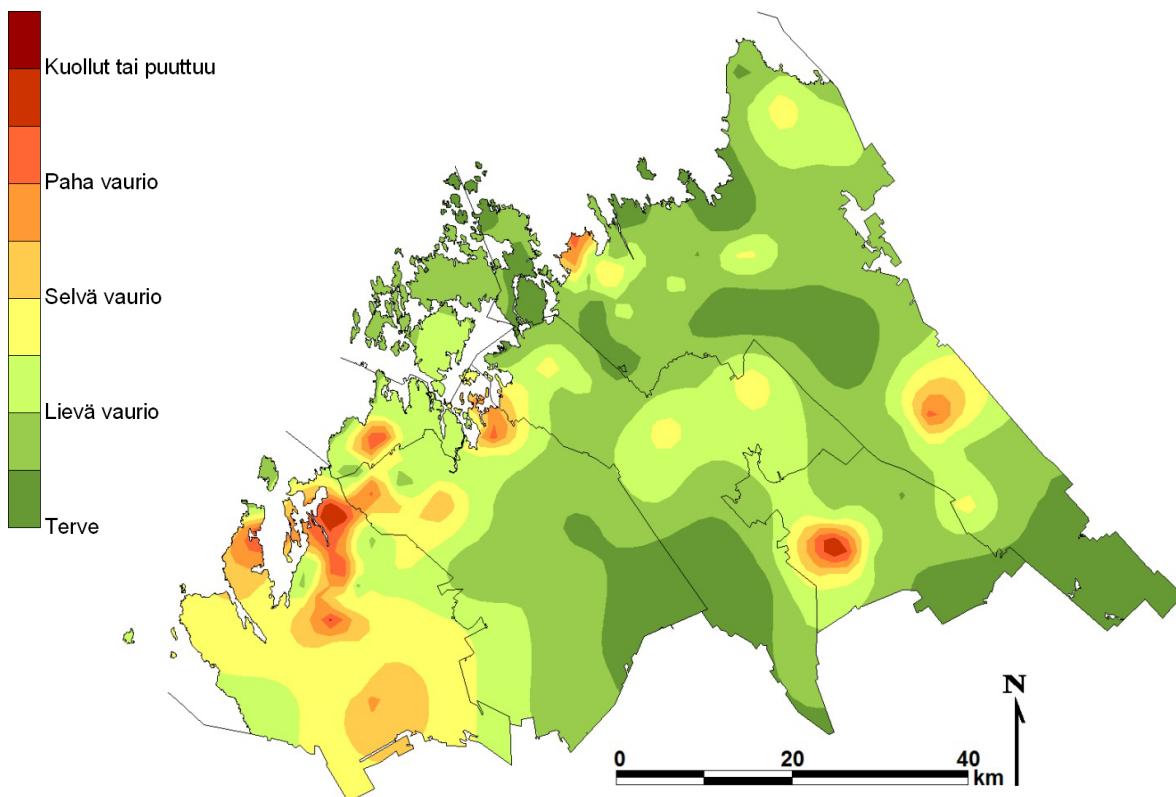
Tervettä sormipaisukarvetta kasvoi tutkimusalueella Kokkolassa rannikon läheisillä alueilla, entisen Kälviän kunnan alueella, Pedersören-Kruunupyyn rajaseuduilla sekä Kaustisen-entisen Ullavan alueella.

Ykspihlajan alueella oli yksi jäkäläautioala, muilla Ykspihlajan alueen tutkimusaloilla esiintyi sormipaisukarvetta. Ykspihlajan teollisuusalueen päästöjen vaikutus ei sormipaisukarpeen vaurioiden osalta ulottunut erityisen laajalle alueelle. Jäkäläautioaloja oli Ykspihlajan lisäksi Pietarsaaressa, Uudessakaarlepyyssä, Pedersöressä, Kaustisilla ja Ullavan kyläkeskustassa. Kaustisen jäkäläautioalat sijaitsivat Findest Protein Oy:n, energiantuotantolaitos Adven Oy:n ja alueella sijaitsevan turkistarhakeskittymän läheisyydessä. Ullavan alan läheisyydessä sijaitsee jätevedenpuhdistamo, jonka typpipäästöt voivat selittää jäkäläaution. Pedersören pohjoisosassa sijaitseva jäkäläautioala sijaitsee turkistarhan välittömässä läheisyydessä. Pietarsaaren jäkäläautioalat ja muut pahiten vaurioituneet sormipaisukarvealat sijaitsivat niinkään turkistarhakeskittymän läheisyydessä. Uudessakaarlepyyssä oli jäkäläautioaloja turkistarhojen ja energiantuotantolaitoksen läheisyydessä.

Selvästi tai pahasti vaurioituneet alat muodostivat vyöhykkeitä Kokkolan keskustan ympäristöön ja Ykspihlajan alueelle, Kälviän keskustan tietämille, Uudenkaarlepyyn eteläosiin, Pedersören pohjoisosista Kruunupyyn asti rannikolla sekä Kruunupyyn kunnassa Alavetelin tietämille. Näillä alueilla oli turkistarhoja ja teollisuus- ja energiantuotantotoimintaa.



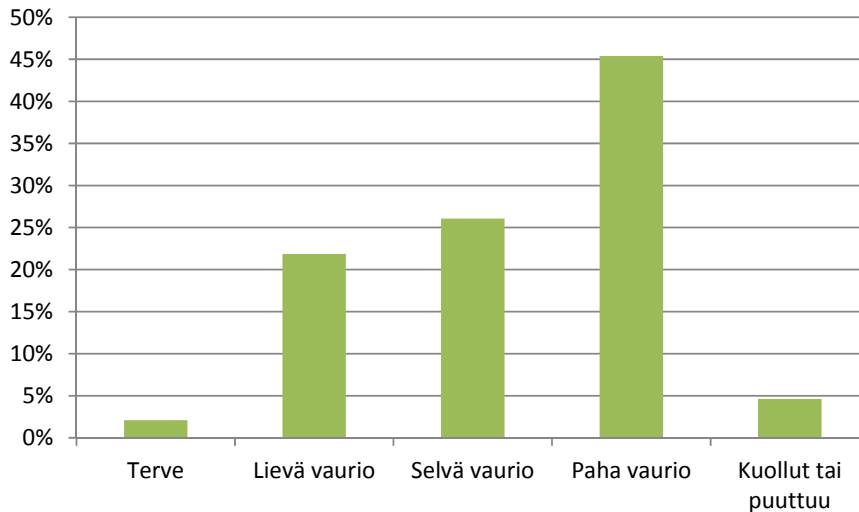
Kuva 17. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla vuonna 2012.



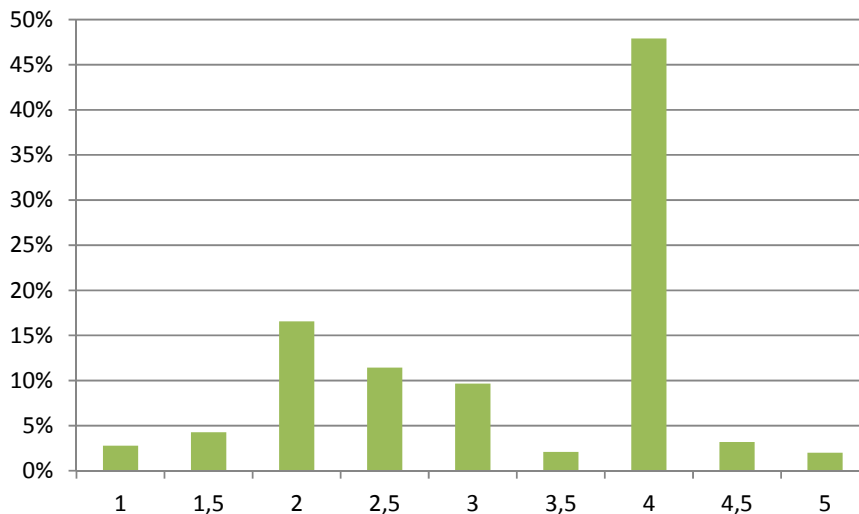
Kuva 18. Sormipaisukarpeen vaurioasteita kuvaavat vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2012.

4.1.2 Yleinen vaurioaste

Yleinen vaurioaste oli keskimäärin 3,2, eli jäkälälajisto oli tutkimusalueella keskimäärin selvästi vaurioitunutta. Vaurioasteet vaihtelivat terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan (taulukko 20). Vaurioiden jakaantamista koko aineistosta tutkittiin luokittelemalla vaurioasteet sekä tutkimusaloittain että -puittain (kuvat 19 ja 20). Suurimmalla osalla (45 %) tutkimusaloista jäkälät olivat pahasti vaurioituneita. Tutkimuspuittain tarkasteltuna suurin ryhmä oli niinkään pahasti vaurioituneita (vaurioluokka 4). Tätä selittää vaurion arviointiasteikko, jossa puu luokitetaan automaattisesti luokkaan 4, jos sillä ei kasva lainkaan pensasmaisia lajeja (ks. taulukko 11 s. 20). Yleisen vaurioasteen osalta täysin terveitä havaintoaloja oli 2 % aloista (5 alaa), ja lajisto oli kokonaan tai melkein kuollut 5 %:lla aloista (11 alaa).

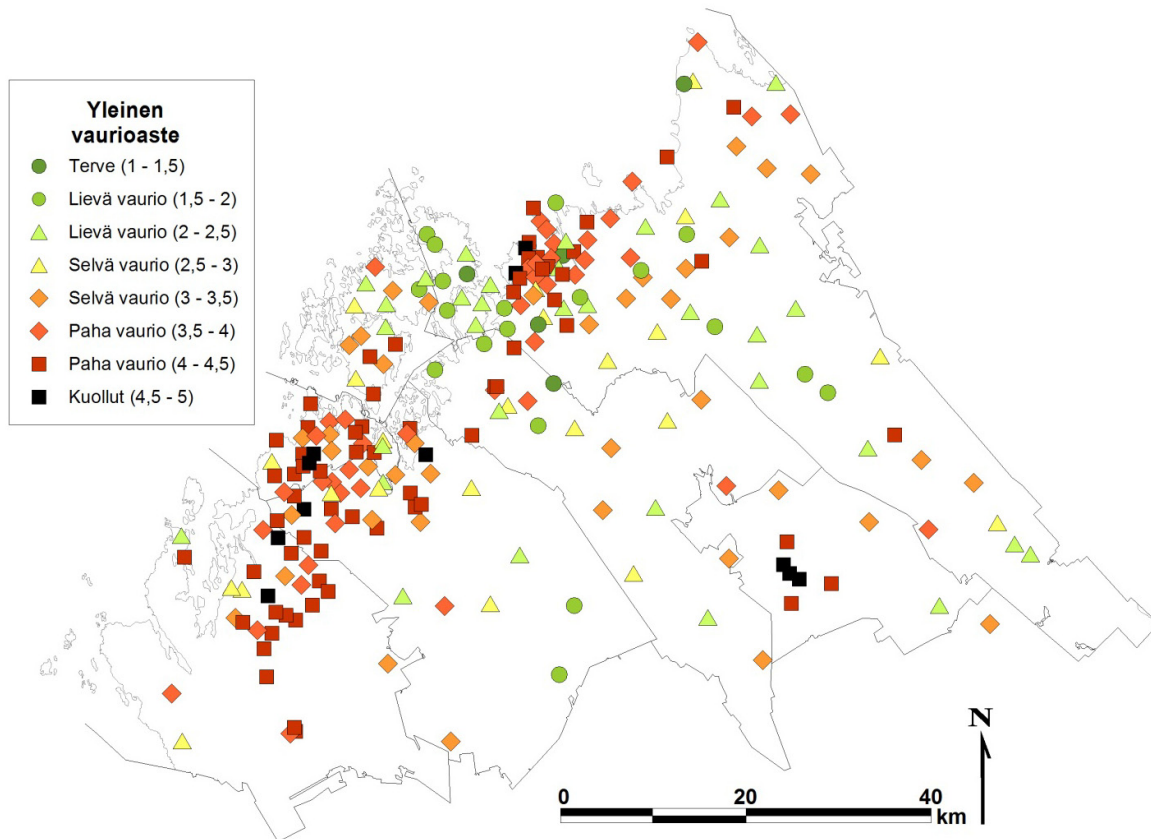


Kuva 19. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna aloittain vuonna 2012. N = 238.

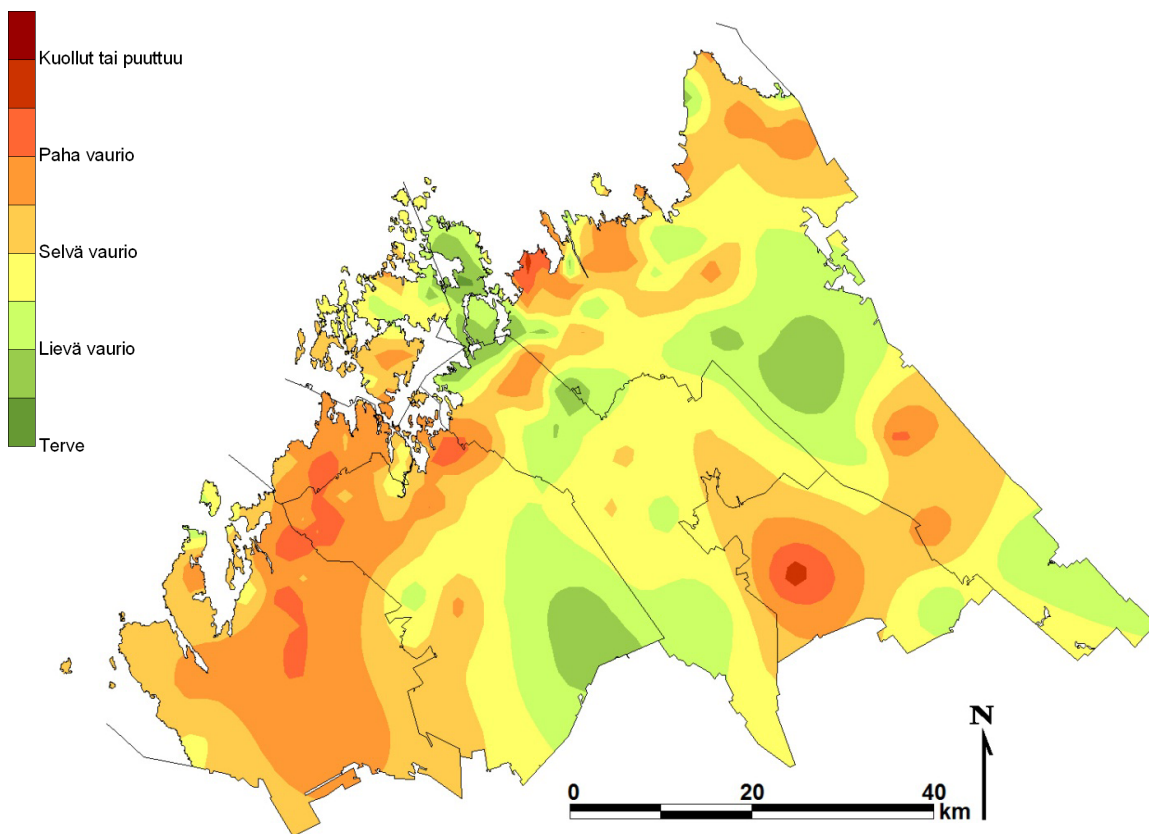


Kuva 20. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna rungoittain vuonna 2012. N = 1190

Jäkälälajiston suurimmat vauriot painoutuivat pääasiassa samoille alueille kuin sormipaisukarpeen vauriot, mutta jäkälälajiston yleiset vaurioasteet olivat keskimäärin 0,5-1,5 vaurioluokkaa sormipaisukarpeen vaurioastetta suurempia. Selvän-pahan vaurioluokan vyöhyke muodostui tutkimusalueelle lounais-koillinen-suunnassa myötäillen rannikkoa. Terveimpiä alueita olivat Kokkolan luoteisosassa Öjan alue, Kälviän ja Ullavan väliin jäävä alue sekä Pedersören eteläosat. (Kuvat 21 ja 22.)



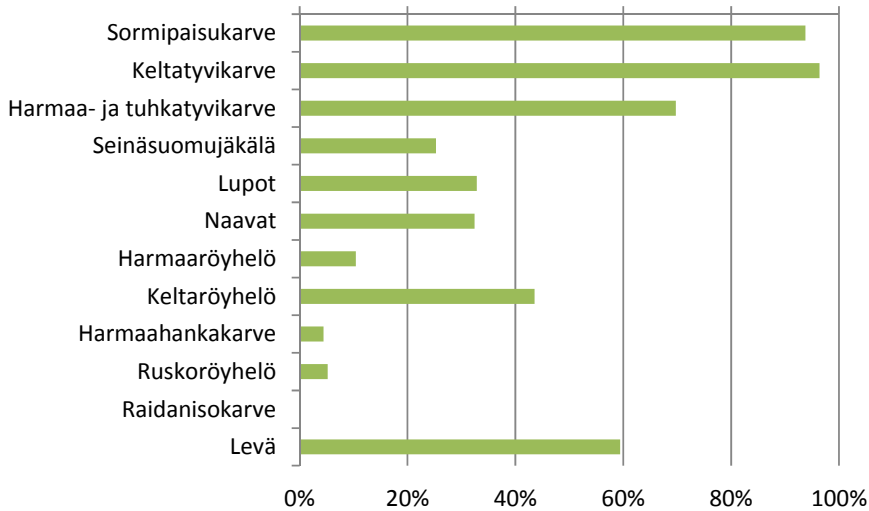
Kuva 21. Yleinen vaurioaste havaintoaloilla vuonna 2012.



Kuva 22. Yleisen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2012.

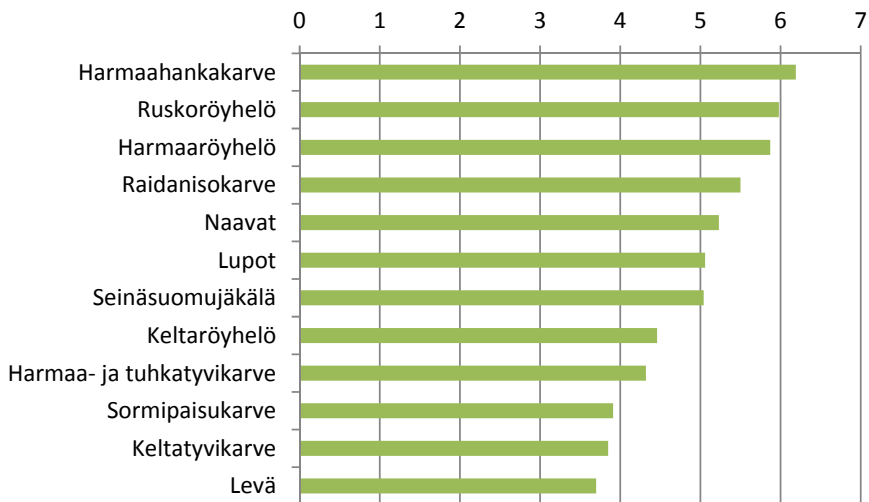
4.1.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys

Yleisimmät lajit tutkimusalueella olivat sormipaisukarve ja keltatyvikarve, joita esiintyi yli 90 %:lla tutkimuspuista. Muita yli puolella tutkimuspuista esiintyneitä lajeja olivat harmaa- ja tuhkatyvikarvetta (70 % puista) ja levä (59 % tutkimuspuista). (Kuva 23.)



Kuva 23. Männyn runkojäkälien esiintymistiheys tutkimusalueella vuonna 2012.

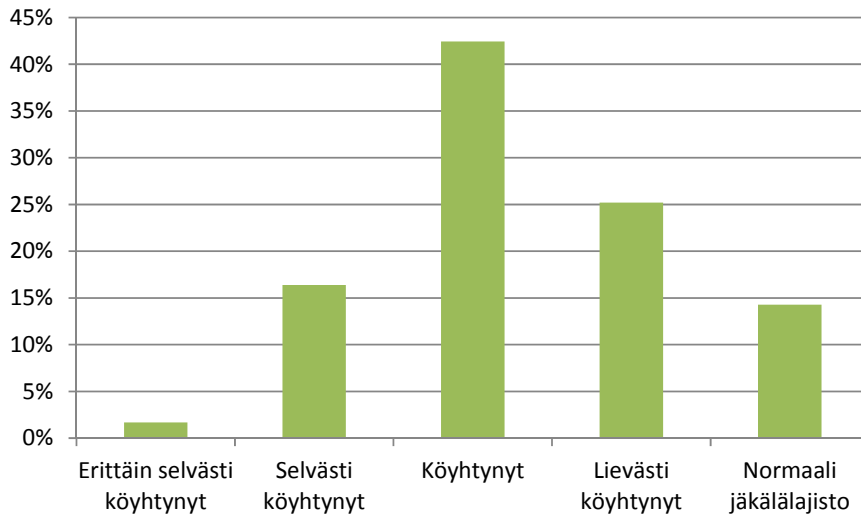
Runkojäkälien seuralaislajien, eli kyseisen lajin kanssa samalla rungolla esiintyvien muiden lajien määrät, on esitetty kuvassa 24. Eniten seuralaislajeja (seuralaislajimäärät suluisissa) oli tutkimusalueella melko harvinaisina esiintyvillä harmaahankakarpeella (6,2), ruskoröyhelöllä (6,0) ja harmaaröyhelöllä (5,9). Vähiten seuralaislajeja oli levällä (3,7), keltatyvikarpeella (3,9) ja sormipaisukarpeella (3,9). Havaitut seuralaislajimäärät noudattavat melko hyvin oletuksia jäkälien herkkyydestä ilman epäpuhtauksille.



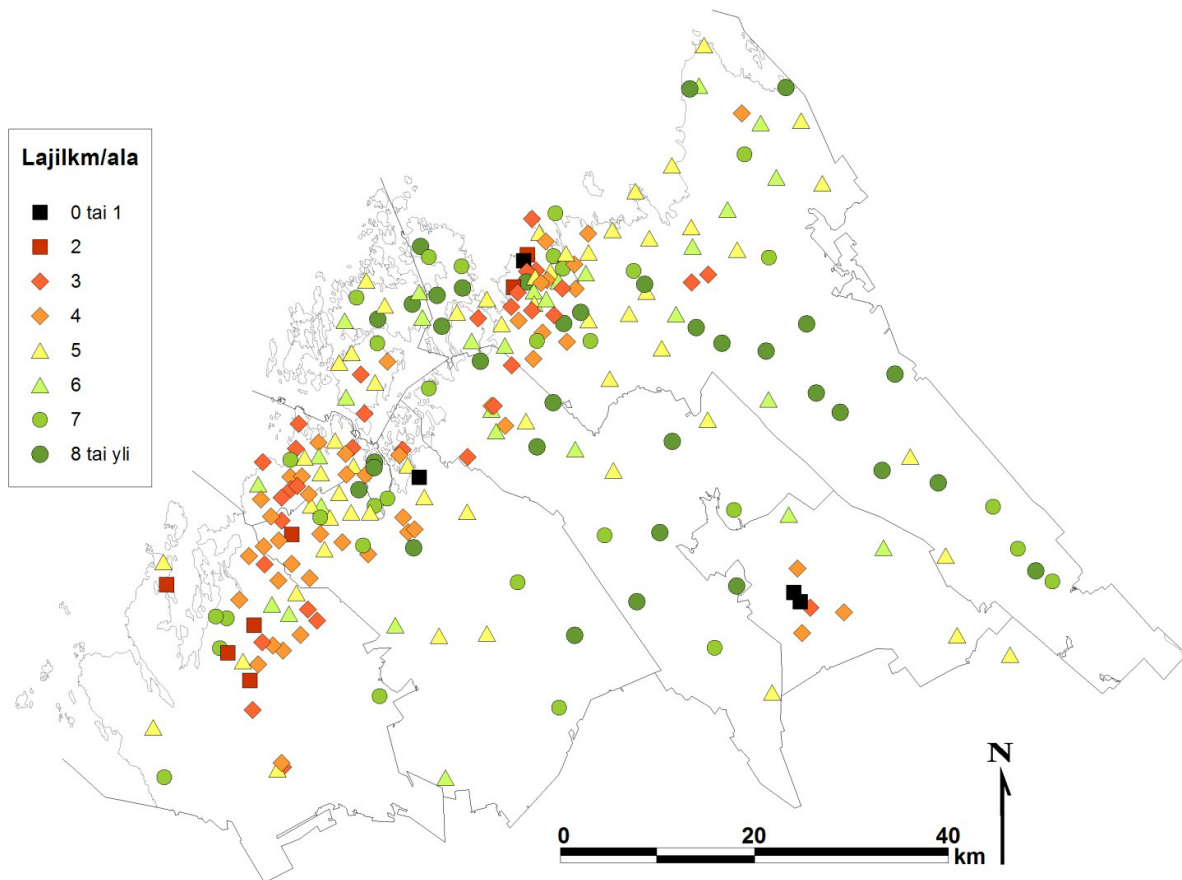
Kuva 24. Männyn runkojäkälien seuralaislajien lukumäärät tutkimusalueella vuonna 2012.

Tutkimusalueella havaittiin keskimäärin 5,2 lajia tutkimusalalla lajilukumäärän vaihdellissa 0:n ja 9:n välillä. Tutkimuspuukohtainen keskimääräinen lajilukumäärä oli 3,9 lajia (vaihteluväli 0-9 lajia). Tutkimus- alakohtaisen lajimäärän perusteella lajisto oli keskimäärin köyhtynyttä, tutkimuspuukohtaisen lajimäärän perusteella selvästi köyhtynyttä. Suurin osa tutkimusaloista oli luokassa köyhtynyt (4-5 lajia). Erittäin selvästi köyhtyneitä aloja (0 tai 1 ilman epäpuhtauksista kärsivää lajia) tutkimusalueella oli 4. (Kuva 25.) Ne sijoittuivat Kaustisille, Kokkolaan Ykspihlajaan ja Pedersören pohjoisosaan. Normaali jäkälälajisto oli

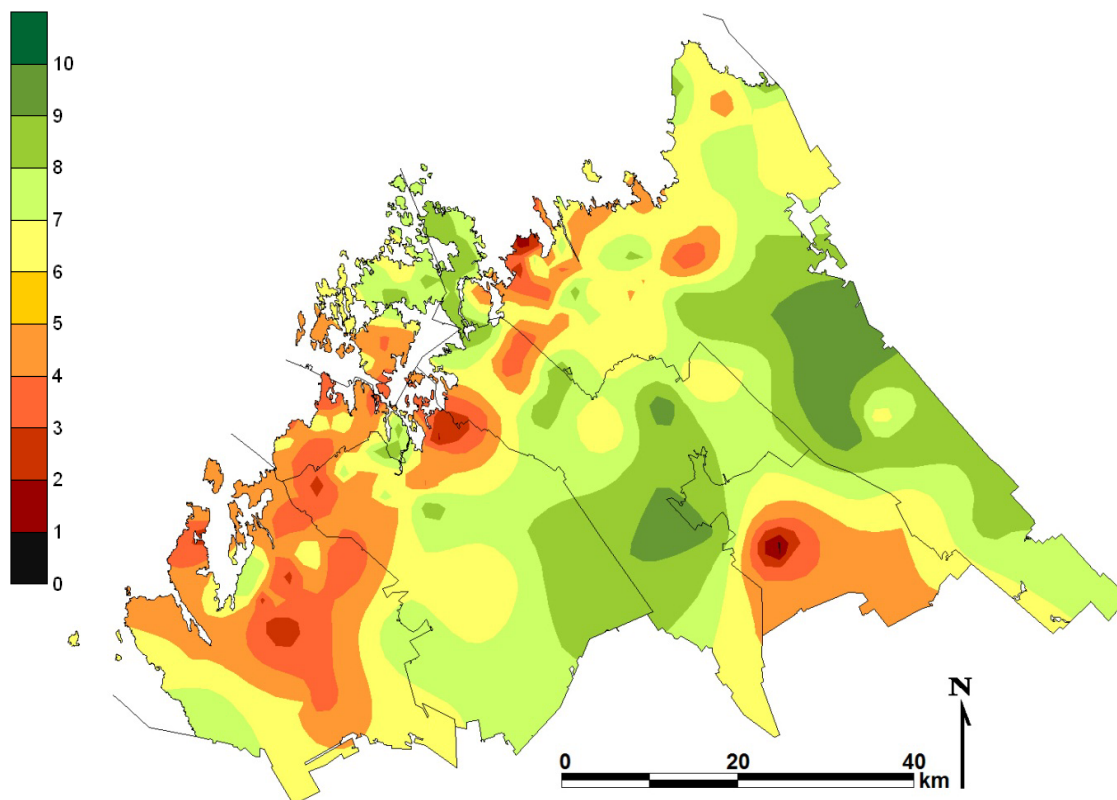
14 %:lla tutkimusaloista. Tällaisia aloja sijaitsi ympäri tutkimusaluetta, mutta erityisesti Kokkolassa, Kruunupyyssä ja Pedersöressä. (Kuva 26.) Lajistoltaan köyhtyneet vyöhykkeet sijoittuivat tutkimusalueella merenrantaa mukailevaksi luode-koillinen-suuntaiseksi vyöhykkeeksi. Myös Kaustisen eteläosaan sijoittui lajistoltaan köyhtyneiden alojen vyöhyke. (Kuva 27.)



Kuva 25. Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin lajilukumäärän perusteella. N = 238.



Kuva 26. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärät havaintoaloilla vuonna 2012.



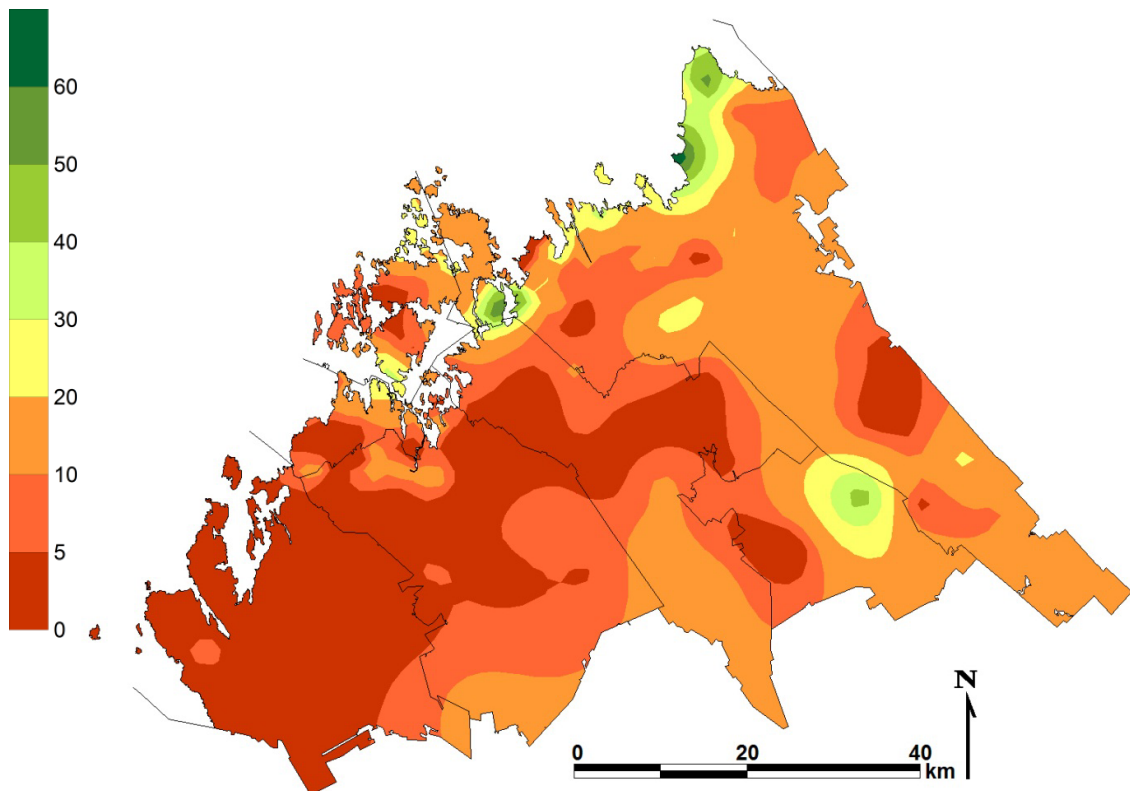
Kuva 27. Vyöhykkeittäinen kuvaus ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärästä tutkimusalueella vuonna 2012.

4.1.4 Peittävydet

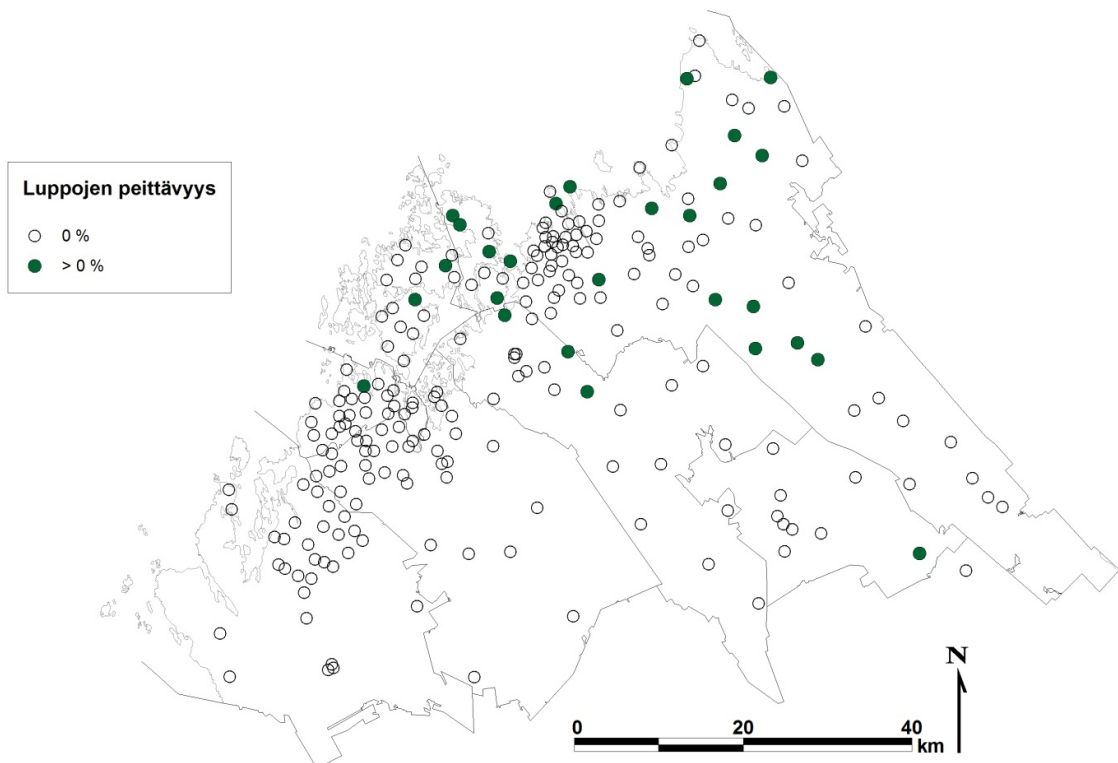
Kuvissa 27 ja 28 on esitetty sormipaisukarpeen sekä luppojen pistefrekvenssimenetelmällä lasketut peittävydet mäntyjen rungoilla havaintoalakohtaisista keskiarvoista yleistettyinä vyöhykkeinä. Karttoja tarkasteltaessa on huomioitava, että erityisesti sormipaisukarpeen peittävyys reagoi ilman epäpuhtauksiin epälinearisesti: lajin peittävyys usein ensin kasvaa epäpuhtauksien vaikutuksesta, ja kuormitustason edelleen kasvaessa peittävyys jälleen pienenee. Lisäksi luontaiset tekijät vaikuttavat peittävyysiin merkittävästi, esim. sormipaisukarpeen peittävyys on suurempi nuorissa kuin vanhoissa männiköissä.

Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys oli 10,5 % (taulukko 15). Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurimmillaan Kokkolan rannikkoalueilla. Sormipaisukarpeen peittävyys oli kaikkiaan pieni Uudenkaarlepyyn kunnan alueella. (Kuva 28.)

Lupot esiintyivät runsaina vain yksittäisillä aloilla. Luppojen keskimääräinen peittävyys oli 0,09 % (taulukko 15). Luppojen peittävyys oli yli 0:n 27 tutkimusallalla pääasiassa tutkimusalueen pohjoisosissa (kuva 29).



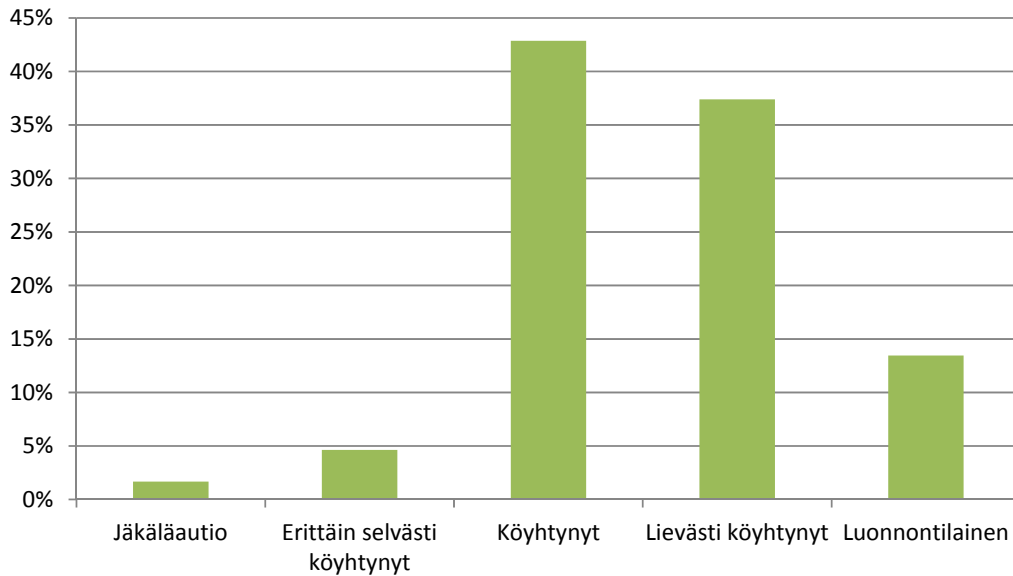
Kuva 28. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys (%) vyöhykkeinä tutkimusalueella vuonna 2012.



Kuva 29. Luppojen peittävyys (%) tutkimusalueella vuonna 2012.

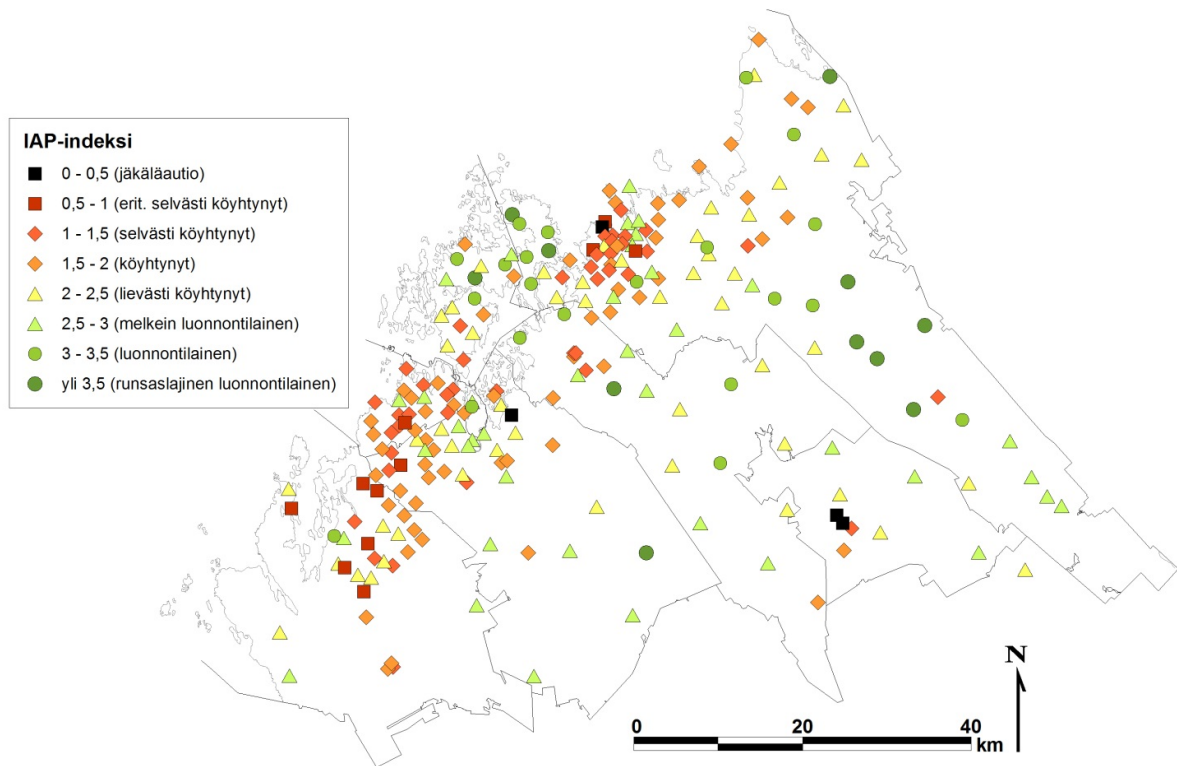
4.1.5 IAP-indeksi

IAP-indeksi oli tutkimusalueella keskimäärin 2,1, minkä perusteella lajistoa voi kuvailla lievästi muuttuneeksi. Pienin IAP-indeksin arvo oli 0 (jäkäläautio) ja suurin 4,3 (luonnontilainen lajisto) (taulukko 15). Suurimmalla osalla (43 %) tutkimusaloista oli IAP-indeksin arvon perusteella köyhtynyt lajisto. Toiseksi suurimpaan luokkaan, jossa lajisto oli lievästi köyhtynyttä, aloista kuului 37 %. Luonnontilaista lajisto oli 13 %:lla aloista. (Kuva 30.)

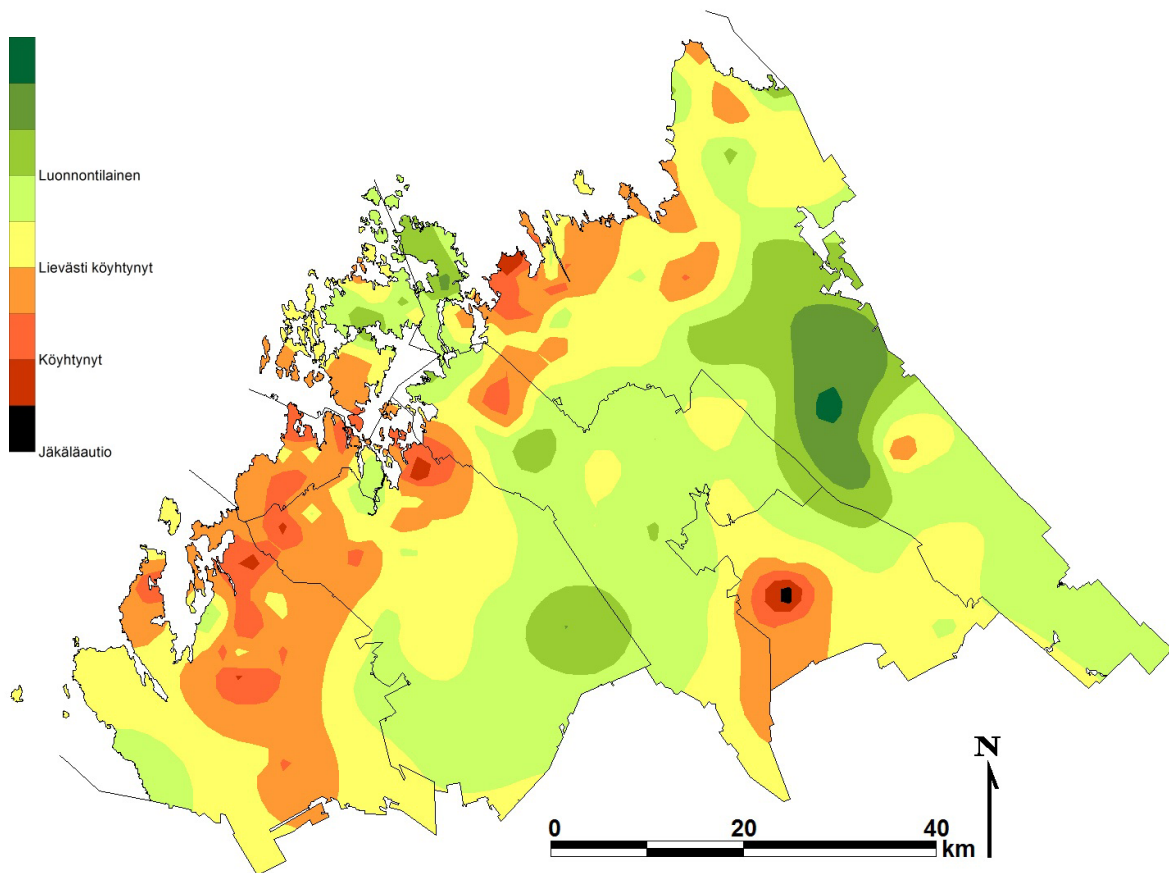


Kuva 30. IAP-indeksin jakauma havaintoaloittain vuonna 2012.

Luonnontilainen jäkälälajisto (IAP-indeksin arvo > 3) oli 32 havaintoalalla, joista suurin osa sijaitsi Kokkolassa, sekä yksittäisiä aloja Luodossa, Kruunupyssä ja Pedersöressä. Alat, joilla oli pahiten köyhtynyt jäkälälajisto, sijaitsivat Kokkolan Ykspihlajassa, Kaustisten turkistarha-teollisuusalueella sekä Pedersöressä turkistarha-alueen läheisyydessä. Laajin köyhtyneen lajiston vyöhyke sijaitsi Uudenkaarlepyyn-Pietarsaaren-Pedersören pohjoisosien alueella, ja jatkui siitä nauhamaisena Kruunupyyn ja Kokkolan pohjoisosien läpi Lohtajalle. (Kuvat 31 ja 32.)



Kuva 31. IAP-indeksi tutkimusaloilla vuonna 2012.



Kuva 32. IAP-indeksi vyöhykkeittäin tutkimusalueella vuonna 2012.

4.2 Männyn neulasten alkuainepitoisuudet

Taulukossa 21 on esitetty neulasten alkuainepitoisuuksien tunnuslukuja Kokkolan-Pietarsaaren alueella koko alueen osalta ja kunnittain. Kuntien suurimmat keskiarvot ja suurimmat pitoisuudet on lihavoitu taulukkoon. Tutkimusalojen alkuainepitoisuudet on esitetty kartoilla kuvissa 33-51.

Rikin korkeita pitoisuuksia (kuvat 48 ja 49) havaittiin erityisesti Kokkolassa Ykspihlajan-keskustan alueella. Kohonneiden rikkipitoisuuksien vyöhyke sijoittui rannikon myötäisesti ulottuen Uudestakaarleppeystä Kokkolan pohjoisosiin. Myös Kaustisilla teollisuustoimintojen läheisyydessä havaittiin kohonneita pitoisuuksia. Matalimmat pitoisuudet sijoittuivat tutkimusalueen keskiosiin Pedersörestä Kruunupyyn kautta entisen Kälviän-Ullavan seudulle. Puiden ravinnetalouden kannalta mäntyjen rikkipitoisuudet olivat alle optimitason 79 havaintoalalla.

Kohonneita **typpipitoisuuksia** (kuva 45) havaittiin teollisuuspäästölähteiden ympäristössä mm. Kokkolassa ja Kaustisilla, mutta myös Uudenkaarlepyyn-Pietarsaaren-Pedersören sekä Kokkolan pohjoisosissa entisen Lohtajan alueella turkistarhojen ja eläinsuojien läheisyydessä. Sekä koko tutkimusalueen että kunta-kohtaiset neulasten keskimääräiset typpipitoisuudet olivat hieman alle neulasten optimaalisten typpipitoisuuksien. Typpipuutokseen viittaavia pitoisuuksia (pitoisuus alle 1,2 % kuiva-aineesta, ks. taulukko 13, s. 25) havaittiin 16 alalla, jotka sijaittivat Kokkolassa ja Kruunupyssä.

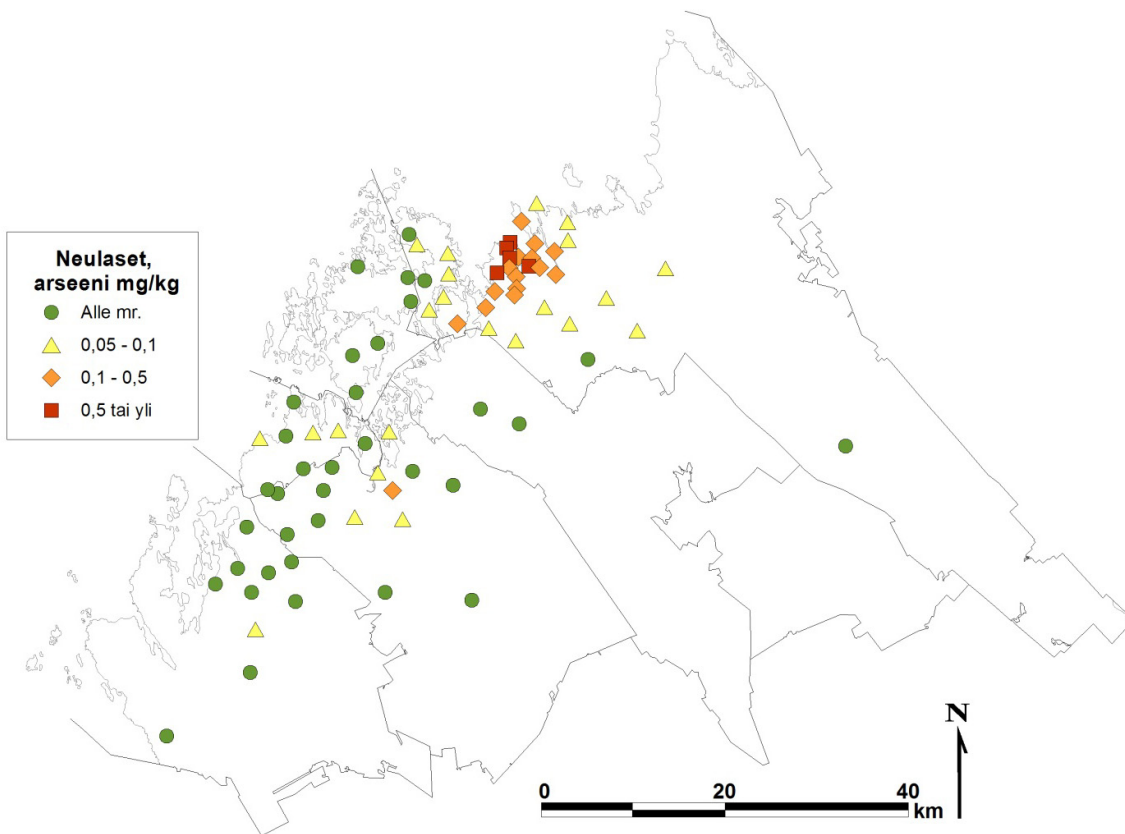
Neulasista tutkittujen alkuaineiden korkeimmat pitoisuudet sijoittuivat Kokkolaan ja erityisesti Ykspihlajan tutkimusaloille **arseenin** (kuva 33), **kadmiumin** (kuva 36), **koboltin** (kuva 37), **kromin** (kuva 38), **raudan** (kuva 40), **elohopean** (kuva 41), **nikkelin** (kuva 46) ja **sinkin** (kuva 51) osalta. *Arseenin* hieman kohonneita pitoisuuksia havaittiin myös Pietarsaaren, Pedersören ja Uudenkaarlepyyn tutkimusaloilla. Kohonneita *kadmiumpitoisuuksia* havaittiin Ykspihlajan lisäksi myös Kaustisilla Adven Oy:n voimalaitoksen ja Findest Protein Oy:n läheisyydessä. Yksittäisiä kohonneita *kromipitoisuuksia* havaittiin myös muualla tutkimusalueella, mutta kohonneet pitoisuudet eivät Lohtajan ampuma-alueen lukuun ottamatta näyttäneet liittyvän lähellä sijaitsevaan teollisuustoimintaan. Lievästi kohonneita *rautapitoisuuksia* havaittiin myös muualla alueella teollisuustoimintojen läheisyydessä. Männyn neulasten keskimääräiset *rautapitoisuudet* olivat puiden ravinnetalouden kannalta riittävällä tasolla. *Elohopean* lievästi kohonneita pitoisuuksia havaittiin myös muualla tutkimusalueella. Ne näyttivät liittyvän paikallisiin teollisuustoimintoihin.

Kuparin (kuva 39) pitoisuudet olivat kohonneita erityisesti Kokkolassa, mutta korkeimmat yksittäiset kuparipitoisuudet havaittiin Pedersören pohjoisosien tutkimusaloilla. **Vanadiinipitoisuudet** (kuva 50) olivat kohonneita Kokkolan keskustan-Ykspihlajan alueella. Korkein yksittäinen pitoisuus havaittiin Pietarsaareissa teollisuuden ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä.

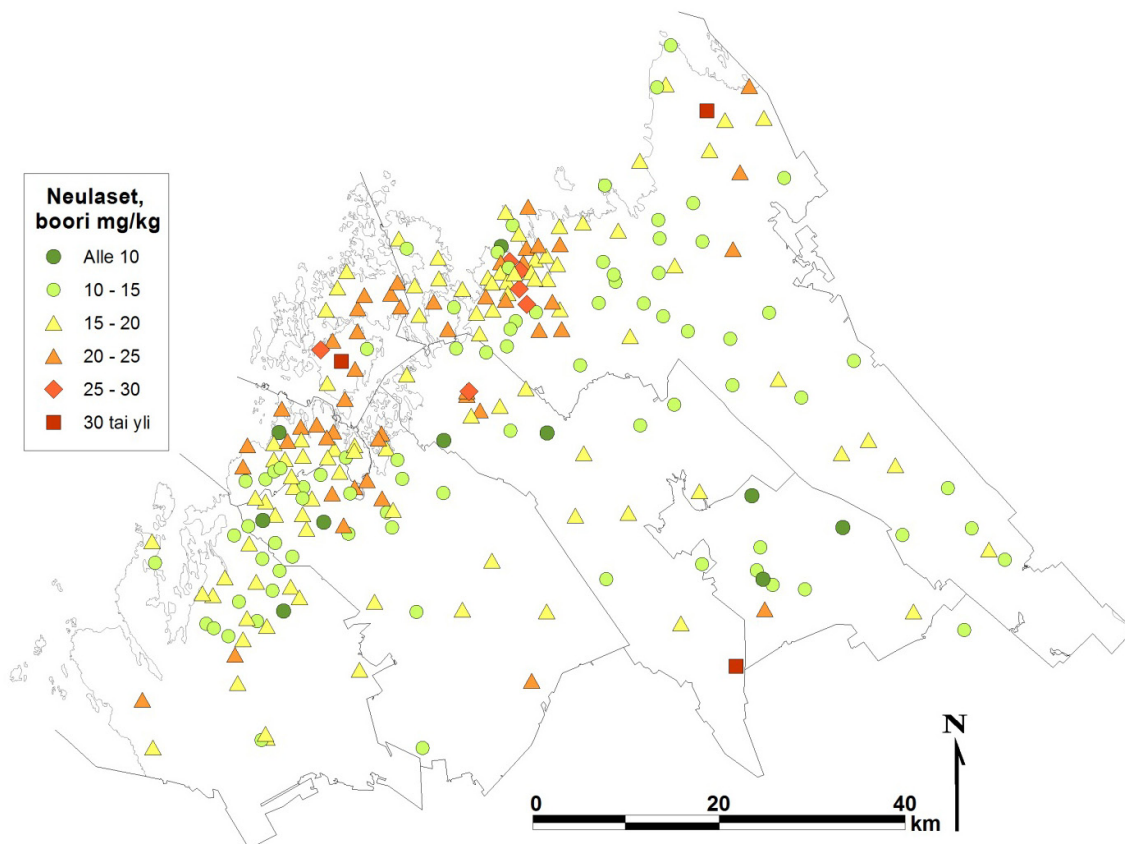
Boorin (kuva 34), **kalsiumin** (kuva 35), **kaliumin** (kuva 42), **magnesiumin** (kuva 43) ja **fosforin** (kuva 47) pitoisuudet näyttivät ilmentävän ensisijaisesti kasvupaikkaoloja enemmän kuin ilman epäpuhtauksien päästöjä. Näiden alkuaineiden suurimmat keskiarvot sekä aineiston suurimmat pitoisuudet (kaliumia lukuun ottamatta) havaittiin Luodon tutkimusaloilla. Lisäksi näiden alkuaineiden muita aluetta korkeampia pitoisuuksia havaittiin runsaasti erityisesti rannikkoalueilla. Neulasten kalium-, boori- ja magnesiumipitoisuudet olivat tutkimusalueella muutamaa alaa lukuun ottamatta riittäviä. Selvää fosforipuutosta havaittiin 17 havaintoalalla ja kalsiumipuutosta 16 havaintoalalla; nämä alat sijoittuivat ympäri tutkimusalueella. **Mangaanipitoisuudet** (kuva 44) olivat kohonneita erityisesti Kokkolan rannikolla ja Kokkolan eteläosissa, entisen Ullavan-Kälviän alueella. Mangaanipitoisuudet olivat puiden ravinnetalouden kannalta alhaisia 7 alalla, jotka sijoittuivat pääasiassa rannikkoalueelle.

Taulukko 21. Neulasten alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot koko alueella ja kunnittain.

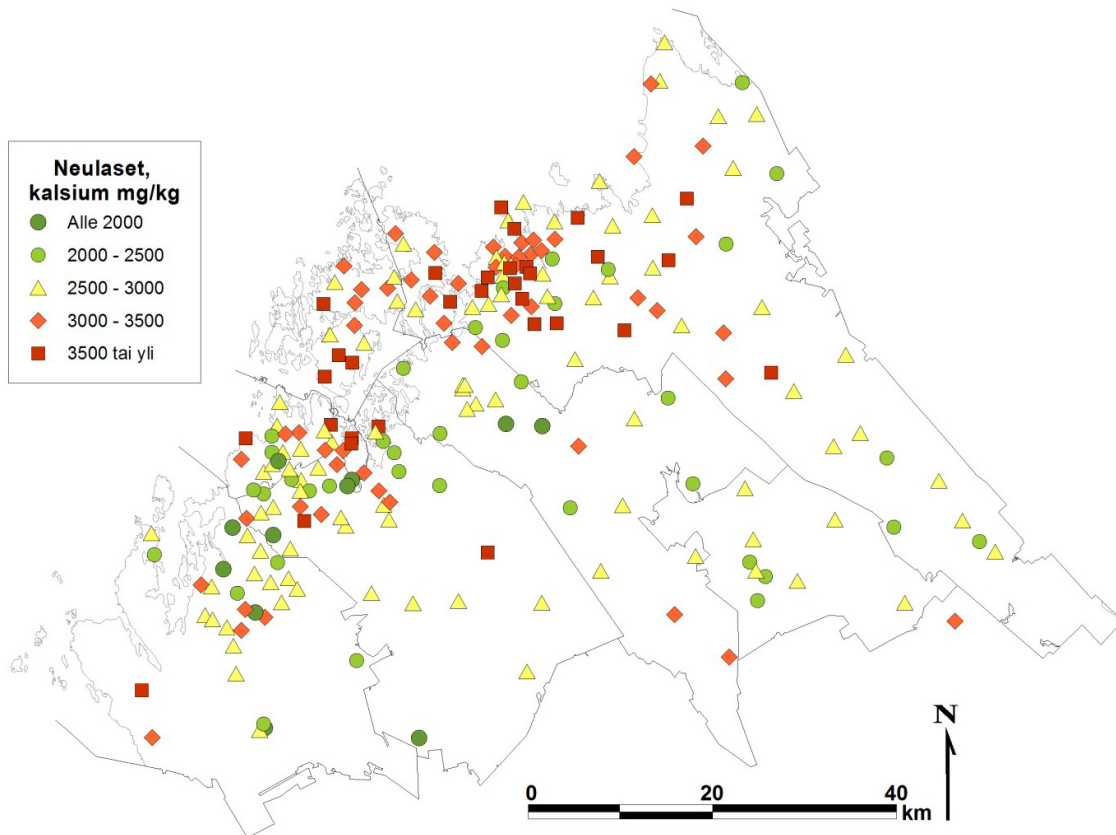
alkuaine	arvo	Koko alue	Kaustinen	Kokkola	Kruunupyö	Luoto	Pedersöre	Pietarsaari	Uusikaarlepyy
As mg/kg	keskiarvo	0,12		0,22	< 0,05	< 0,05	0,04	0,04	0,03
	pienin	< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	suurin	1		1	< 0,05	< 0,05	0,13	0,06	0,05
B mg/kg	keskiarvo	16,3	11,7	16,5	16,6	20,9	15,5	16,9	15,0
	pienin	4	4	6,6	5	14	8,5	7,6	8,2
	suurin	36	22	31	36	31	23	23	23
Ca mg/kg	keskiarvo	2881	2580	3036	2557	3406	2642	3080	2587
	pienin	1500	2000	2000	1500	2600	1700	1900	1800
	suurin	5200	3000	4400	3400	5200	3800	4500	3700
Cd mg/kg	keskiarvo	0,13	0,10	0,21	0,09	0,10	0,07	0,09	0,06
	pienin	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	suurin	2,6	0,54	2,6	0,29	0,17	0,17	0,17	0,11
Co mg/kg	keskiarvo	1,6		2,9	0,43	0,43	0,28	0,25	0,13
	pienin	0,08		0,34	0,32	0,33	0,16	0,14	0,08
	suurin	15		15	0,53	0,59	0,52	0,47	0,21
Cr mg/kg	keskiarvo	0,16	0,11	0,20	0,13	0,14	0,13	0,12	0,12
	pienin	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06
	suurin	0,75	0,14	0,75	0,19	0,24	0,51	0,23	0,6
Cu mg/kg	keskiarvo	3,2	2,4	3,6	2,9	2,8	3,5	2,8	2,9
	pienin	1,1	1,1	2,2	2,2	2,1	2,3	2,3	2,2
	suurin	18	3,1	9,5	4,4	3,4	18	3,2	5,8
Fe mg/kg	keskiarvo	94	57	137	78	57	65	71	57
	pienin	32	36	32	38	42	37	39	43
	suurin	690	95	690	210	80	97	170	85
Hg mg/kg	keskiarvo	0,03		0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	pienin	0,02		0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
	suurin	0,1		0,1	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
K mg/kg	keskiarvo	5499	5350	5534	5478	5813	5345	5556	5433
	pienin	3900	4400	4100	4600	4800	4000	4200	3900
	suurin	7600	5900	7600	7000	6700	6500	7000	7000
Mg mg/kg	keskiarvo	783	745	788	800	910	757	752	753
	pienin	390	520	390	610	710	520	410	610
	suurin	1100	930	1000	1000	1100	1000	1000	1000
Mn mg/kg	keskiarvo	388	410	413	407	405	367	330	349
	pienin	110	230	140	120	200	110	120	140
	suurin	880	560	880	700	660	860	510	600
N %	keskiarvo	1,40	1,42	1,39	1,35	1,34	1,42	1,44	1,44
	pienin	1,1	1,23	1,1	1,11	1,17	1,22	1,25	1,19
	suurin	1,98	1,88	1,98	1,76	1,64	1,72	1,66	1,72
Ni mg/kg	keskiarvo	0,94	0,52	1,52	0,62	0,56	0,54	0,55	0,52
	pienin	0,09	0,27	0,13	0,36	0,42	0,27	0,31	0,09
	suurin	7,7	0,89	7,7	1,1	0,85	1	1	2,2
P mg/kg	keskiarvo	1355	1320	1355	1313	1413	1374	1384	1323
	pienin	990	1200	990	1100	1200	1100	1000	1100
	suurin	1900	1500	1800	1600	1900	1600	1600	1600
S mg/kg	keskiarvo	947	929	971	918	973	925	948	914
	pienin	710	820	710	760	870	760	810	770
	suurin	1400	1200	1400	1200	1200	1100	1100	1100
V mg/kg	keskiarvo	0,13		0,15	0,09	0,10	0,12	0,17	0,09
	pienin	0,067		0,081	0,087	0,08	0,074	0,071	0,067
	suurin	0,64		0,33	0,1	0,13	0,2	0,64	0,16
Zn mg/kg	keskiarvo	49	36	59	43	49	39	43	39
	pienin	24	29	26	25	26	28	25	24
	suurin	240	42	240	72	73	56	59	62



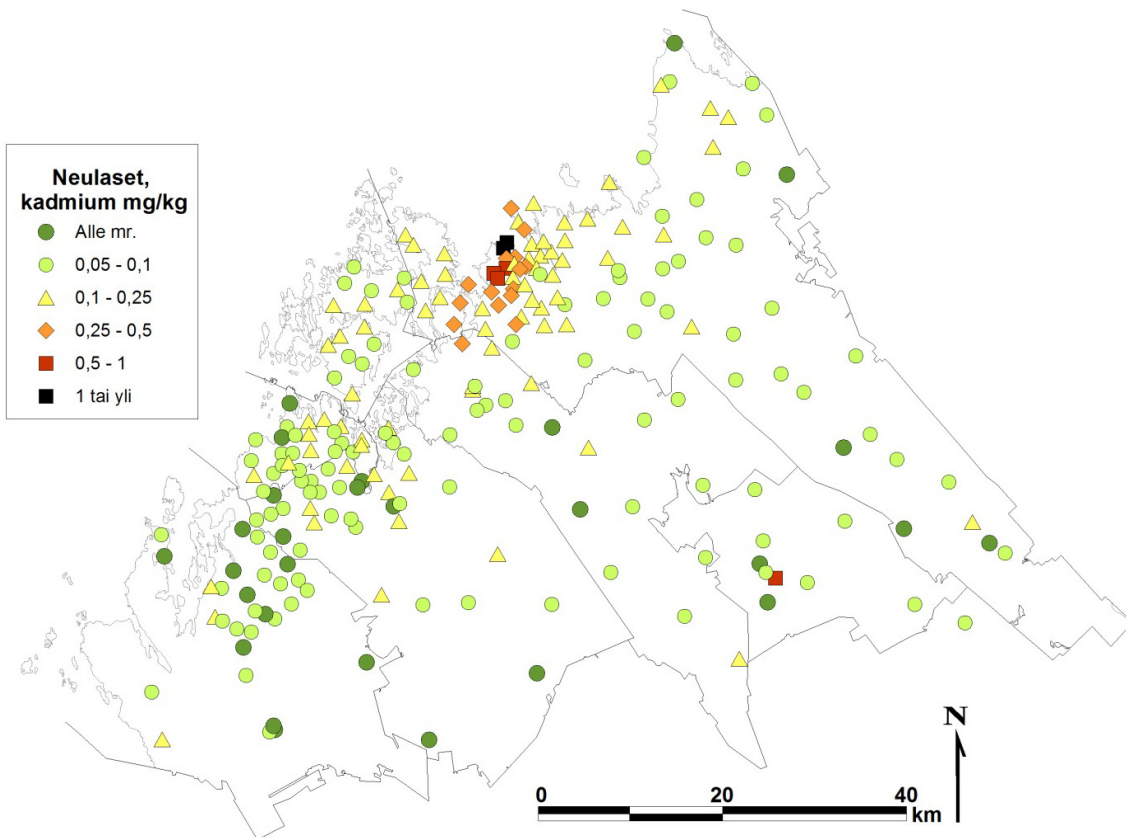
Kuva 33. Männyn neulasten toisen vuosikerran arseenipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (As mg/kg).



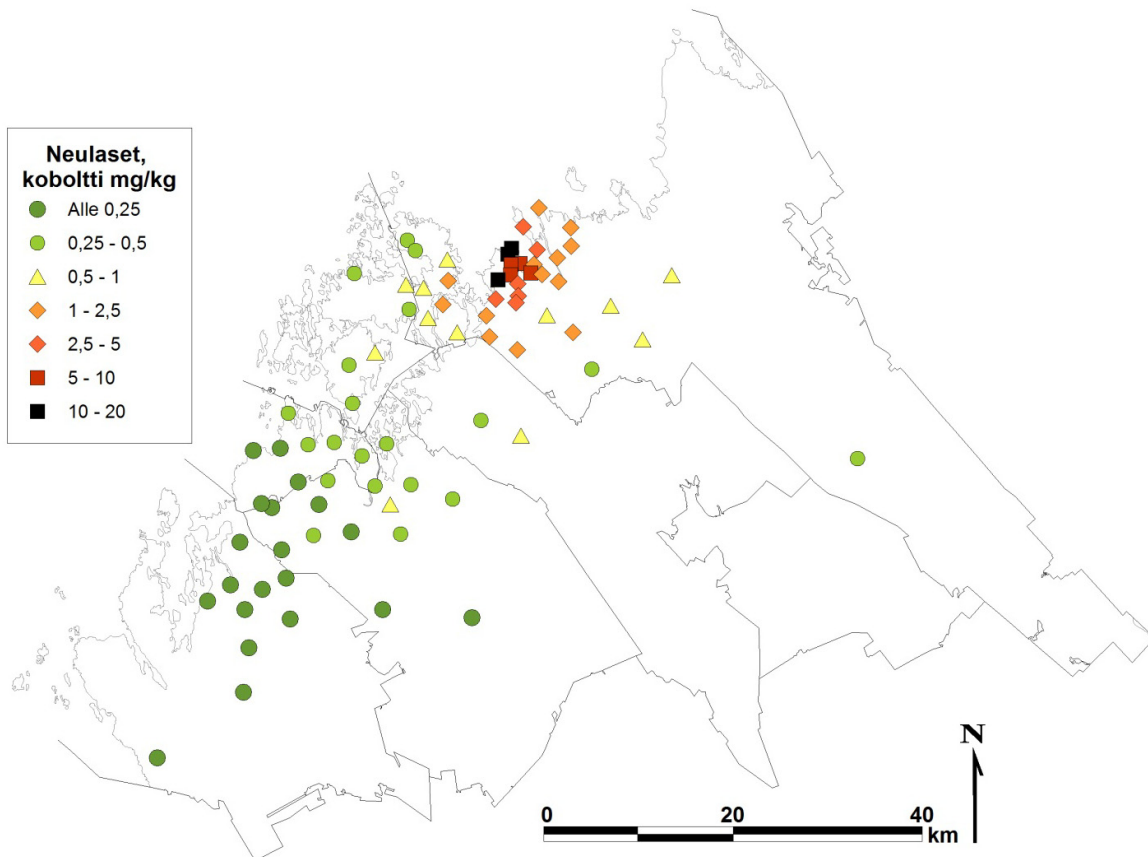
Kuva 34. Männyn neulasten toisen vuosikerran booripitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (B mg/kg).



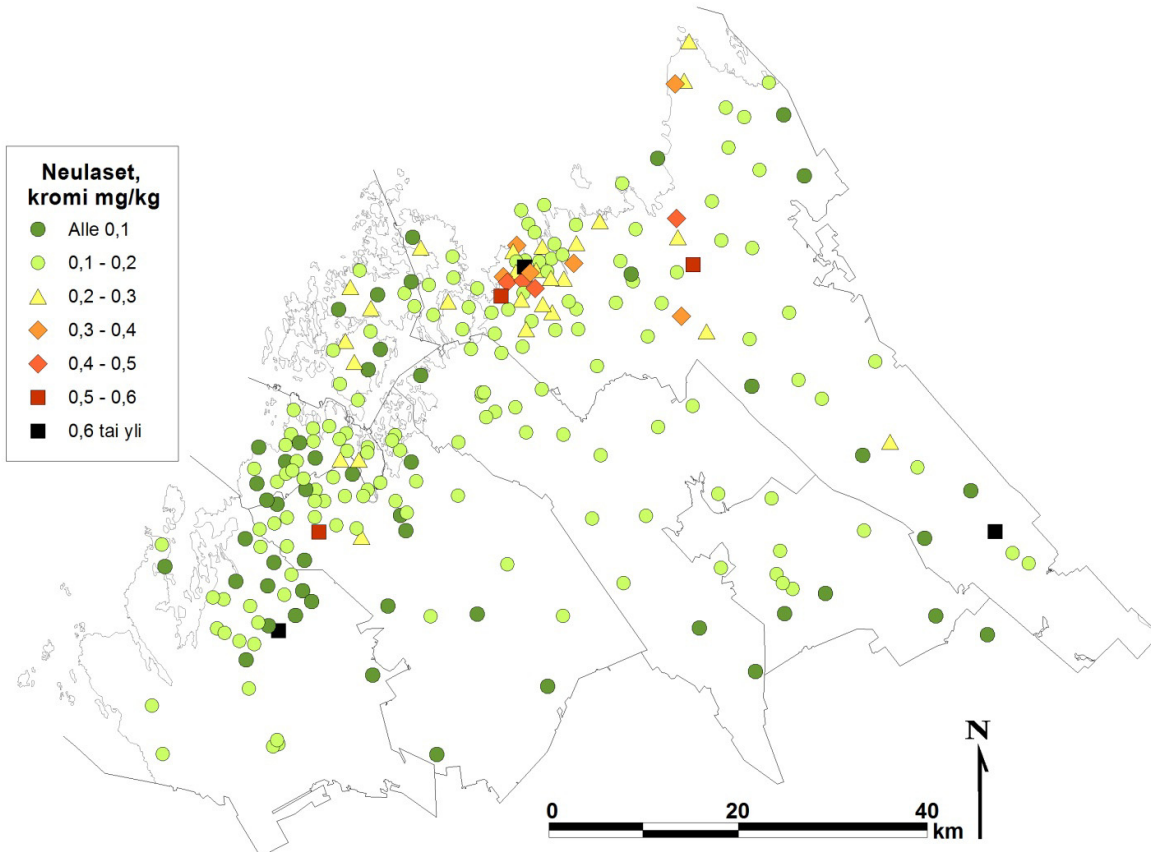
Kuva 35. Männyn neulasten toisen vuosikerran kalsiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Ca mg/kg).



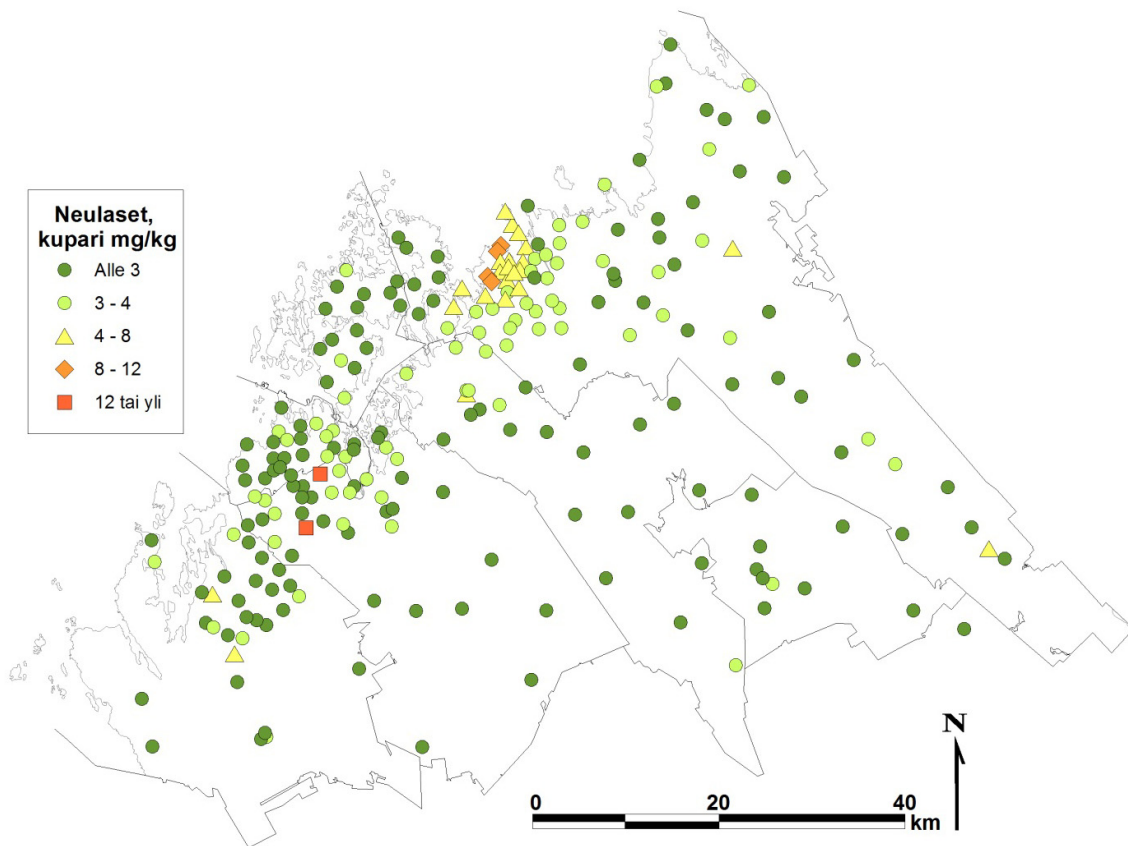
Kuva 36. Männyn neulasten toisen vuosikerran kadmiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Cd mg/kg).



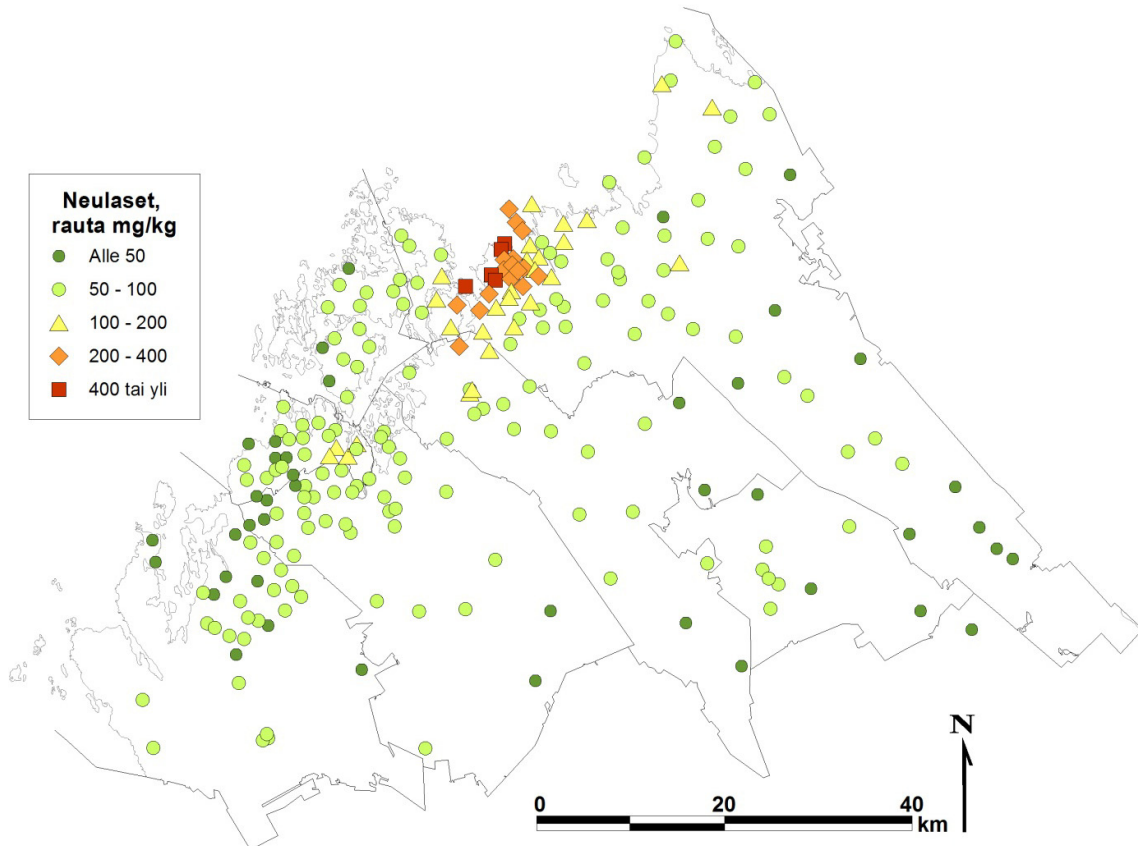
Kuva 37. Männyn neulasten toisen vuosikerran kobolttipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Co mg/kg).



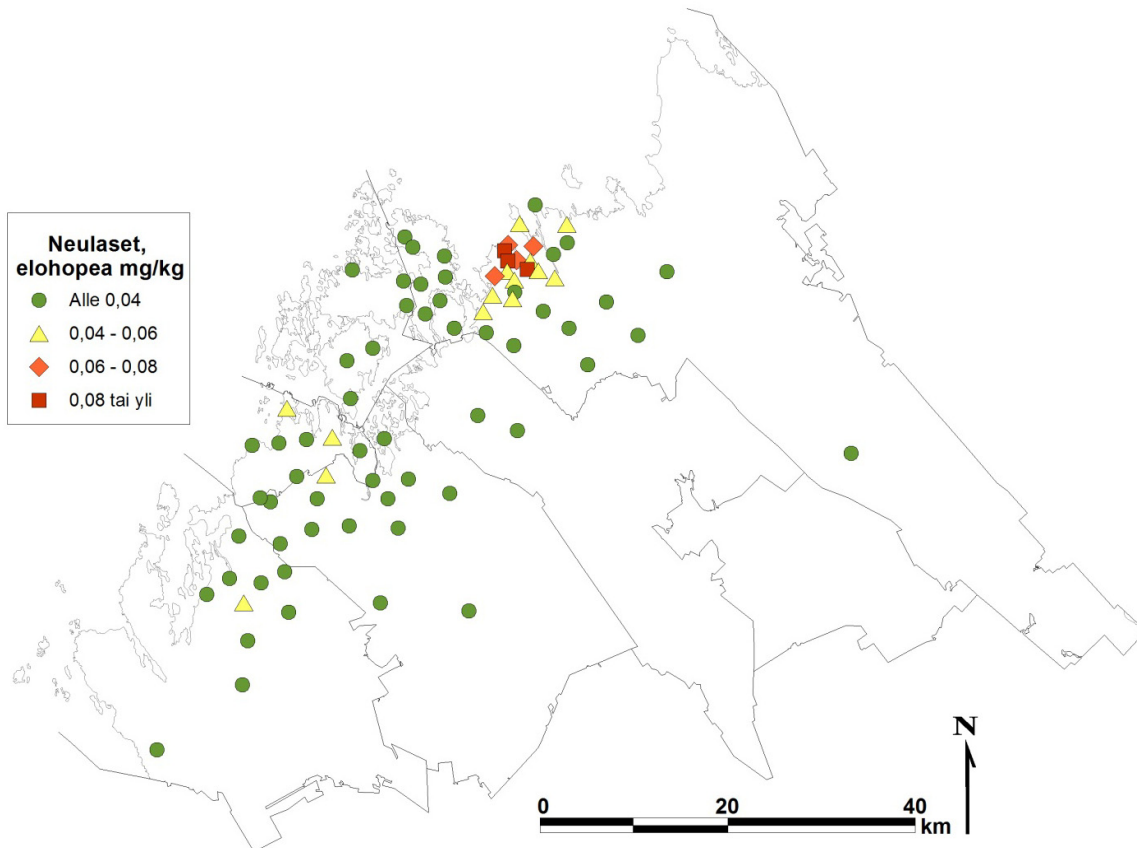
Kuva 38. Männyn neulasten toisen vuosikerran kromipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Cr mg/kg).



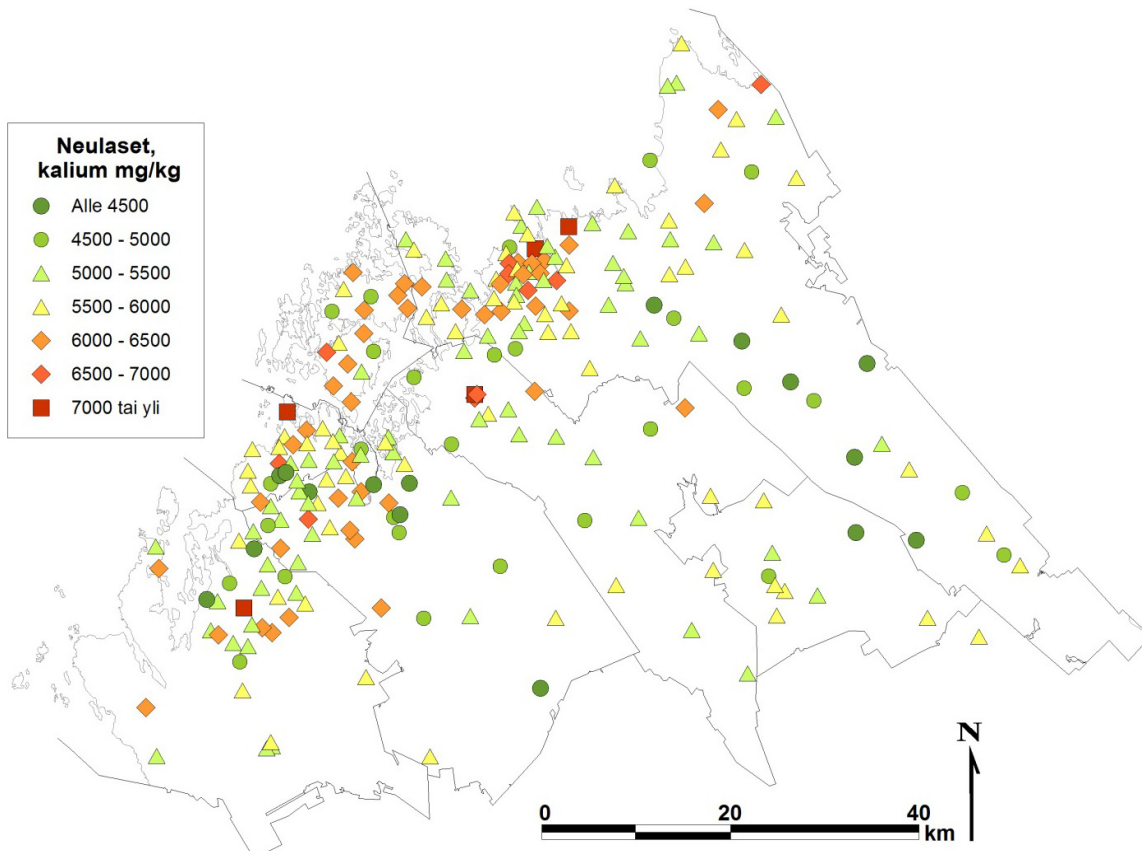
Kuva 39. Männyn neulasten toisen vuosikerran kuparipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Cu mg/kg).



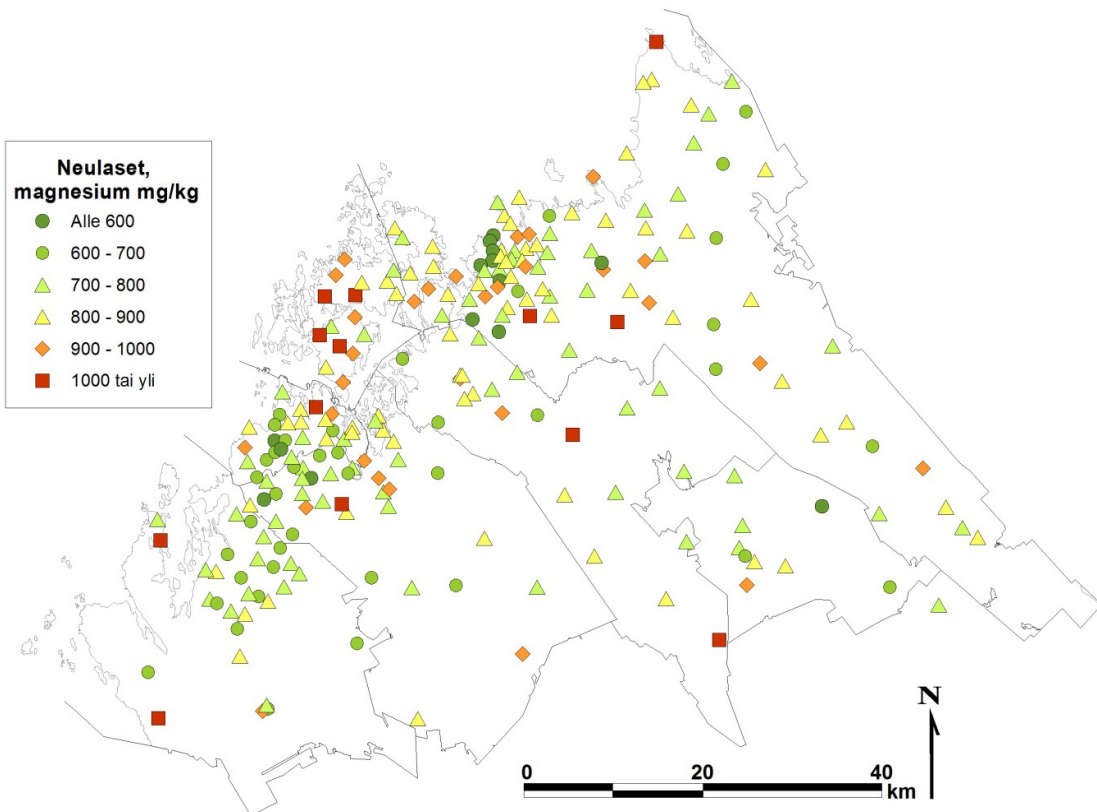
Kuva 40. Männyn neulasten toisen vuosikerran rautapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Fe mg/kg).



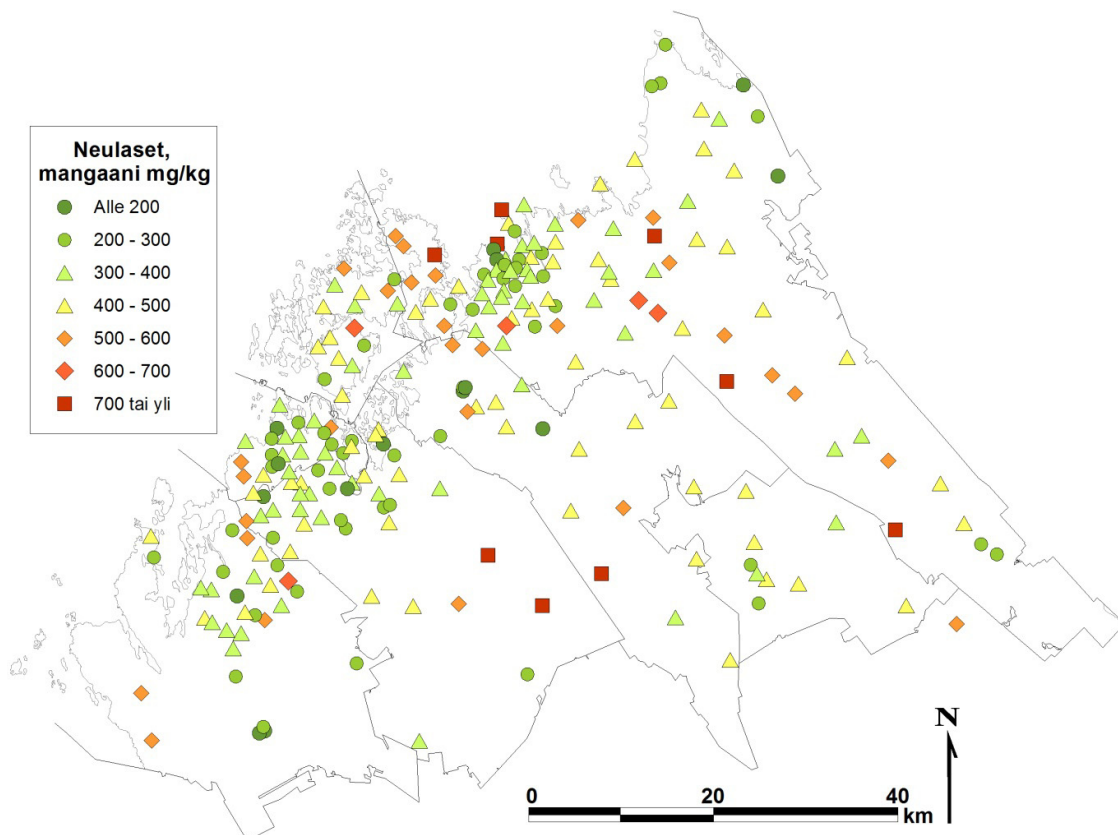
Kuva 41. Männyn neulasten toisen vuosikerran elohopeapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Hg mg/kg).



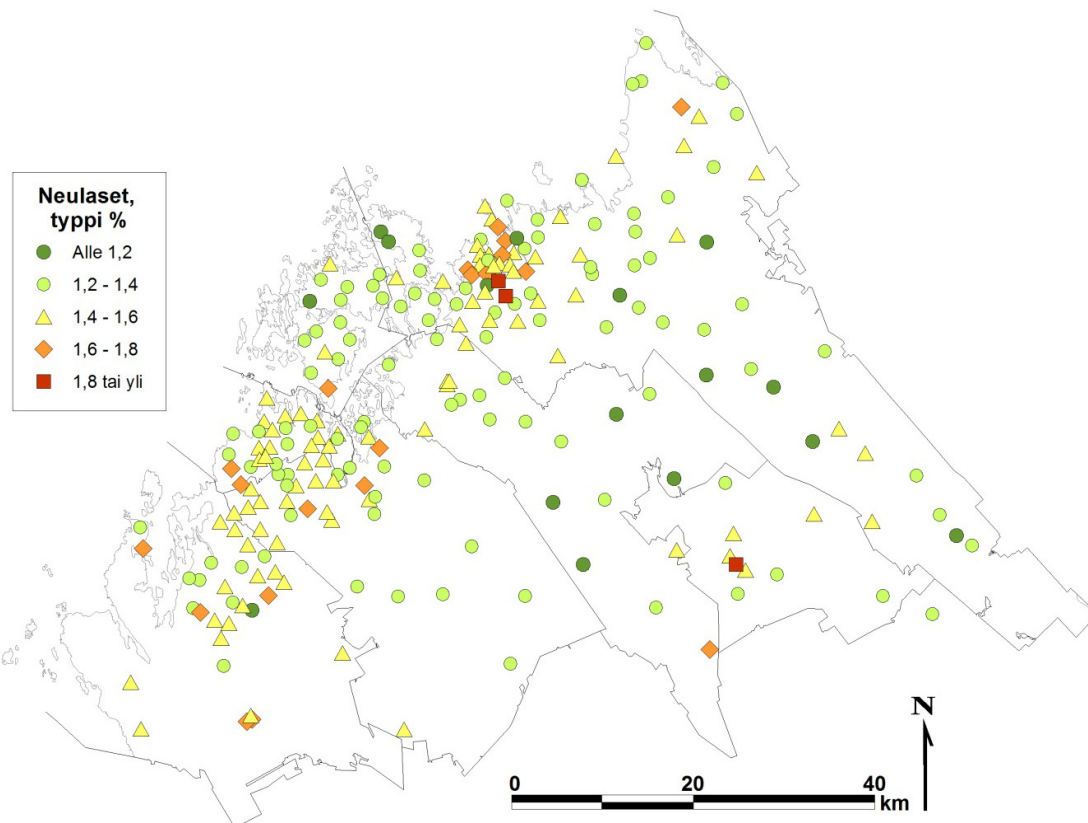
Kuva 42. Männyn neulasten toisen vuosikerran kaliumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (K mg/kg).



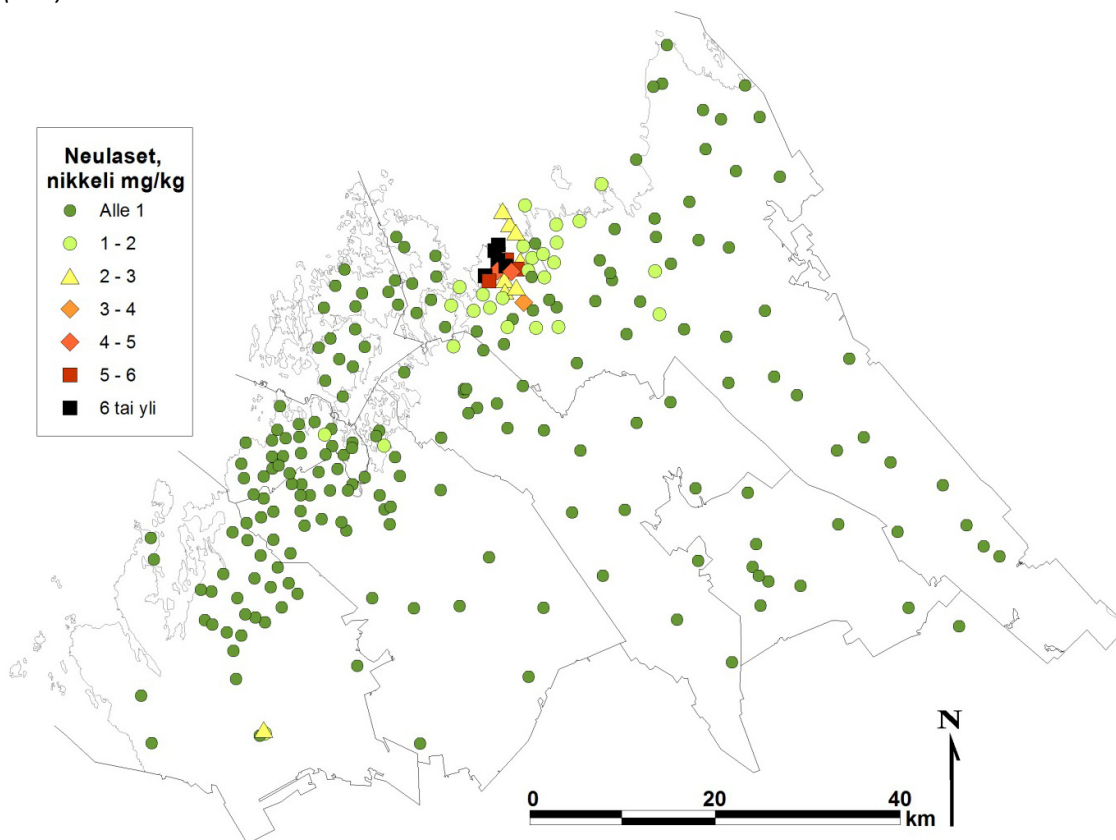
Kuva 43. Männyn neulasten toisen vuosikerran magnesiumipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Mg mg/kg).



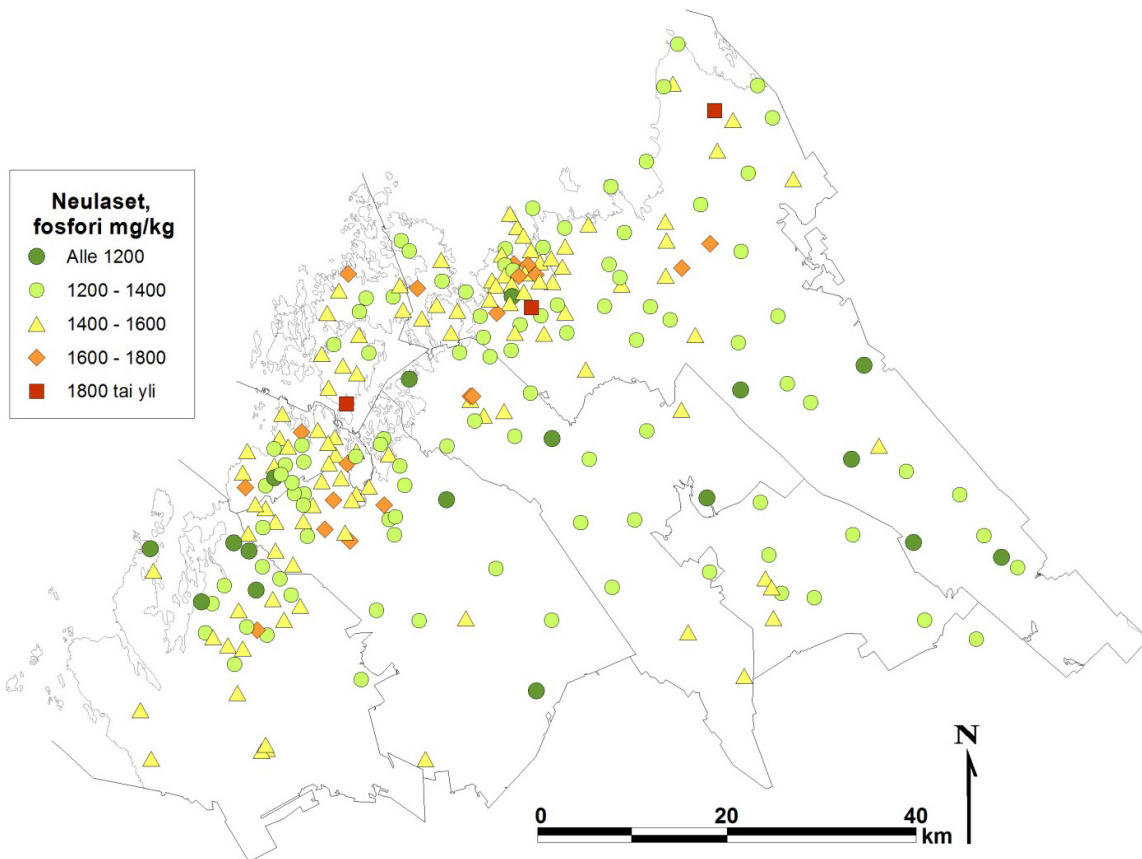
Kuva 44. Männyn neulasten toisen vuosikerran mangaanipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Mn mg/kg).



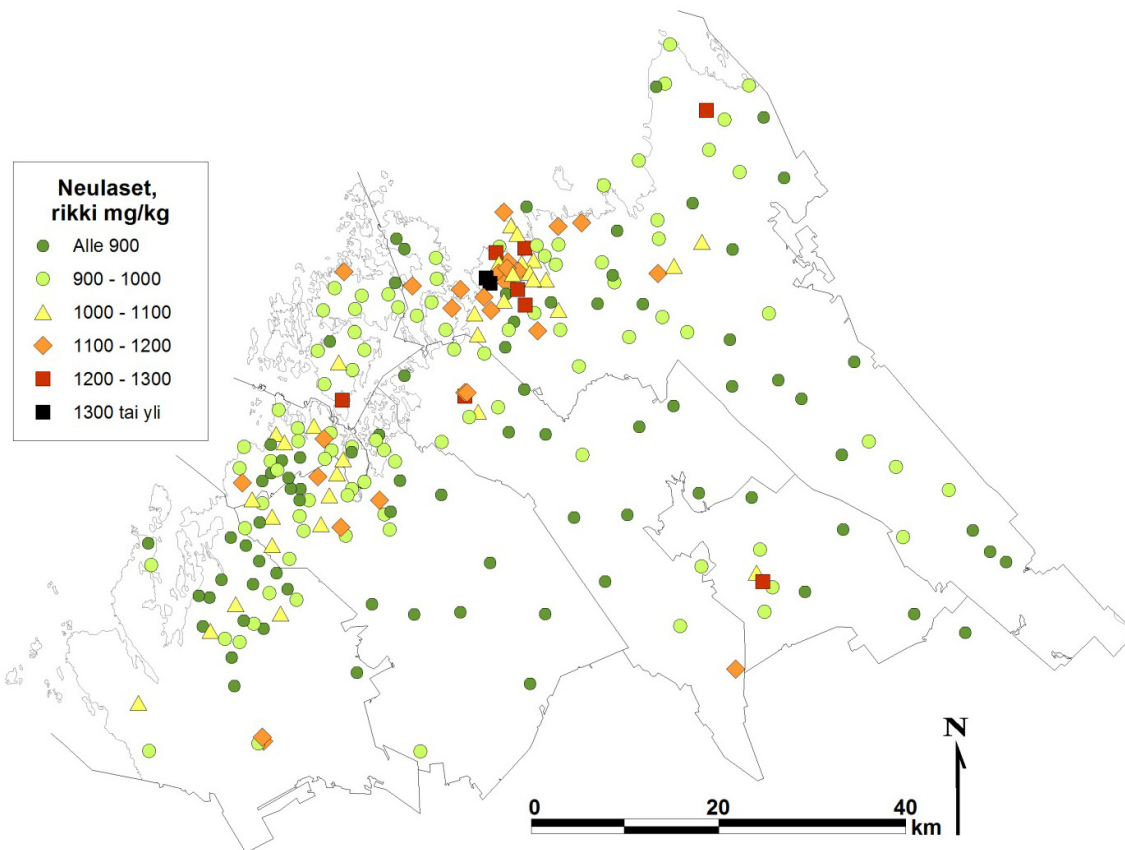
Kuva 45. Männyn neulasten toisen vuosikerran kokonaistyyppipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (N %).



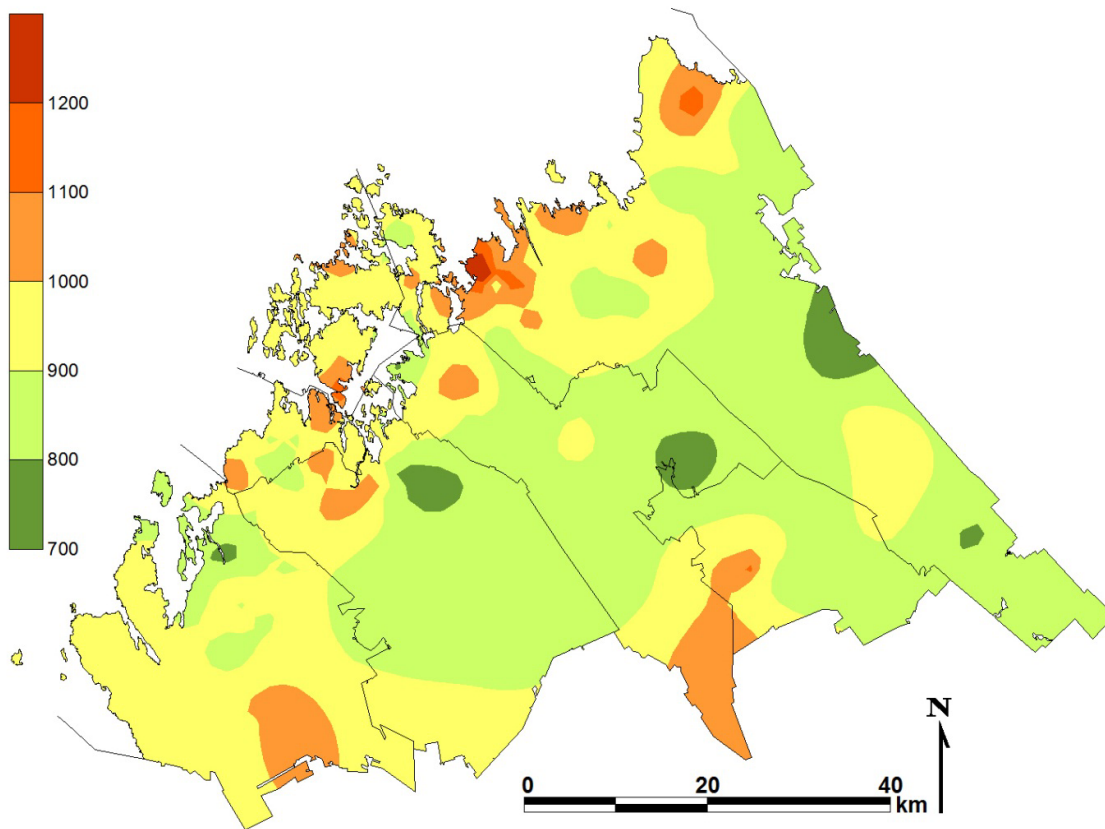
Kuva 46. Männyn neulasten toisen vuosikerran nikkelpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Ni mg/kg).



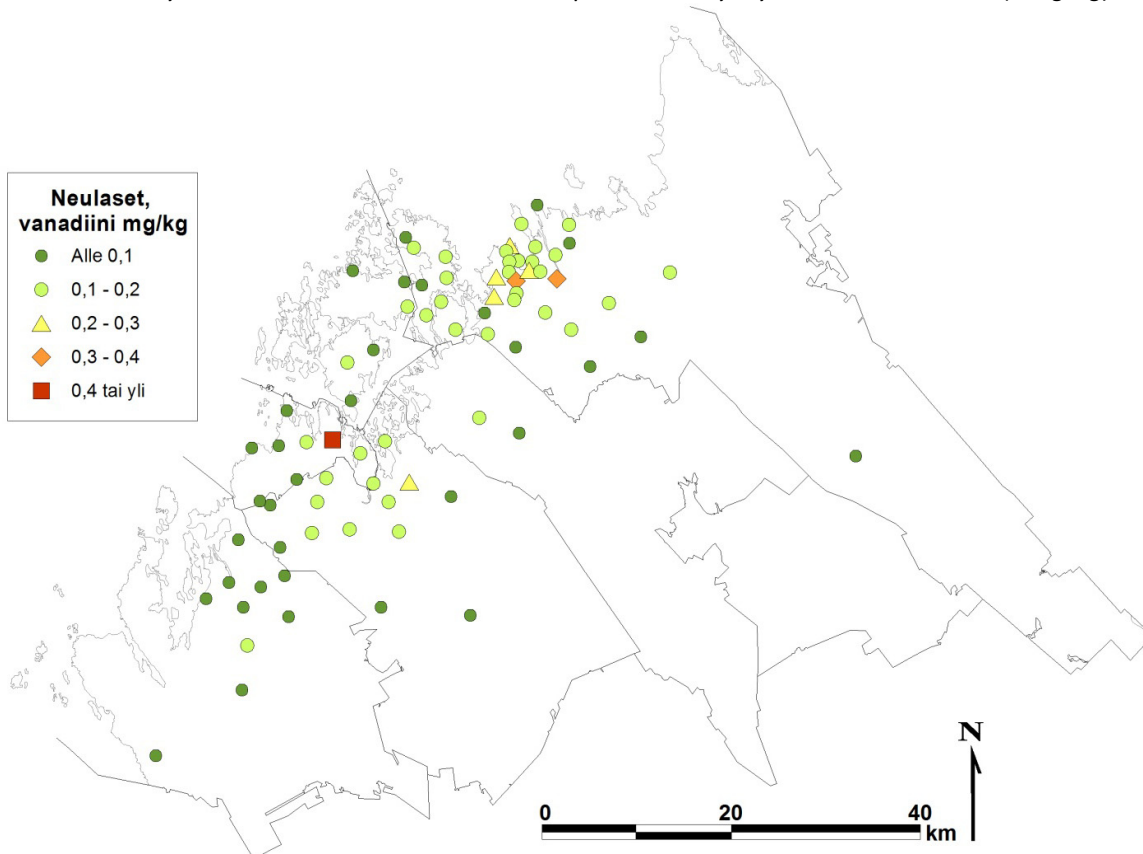
Kuva 47. Männyn neulasten toisen vuosikerran fosforipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (P mg/kg).



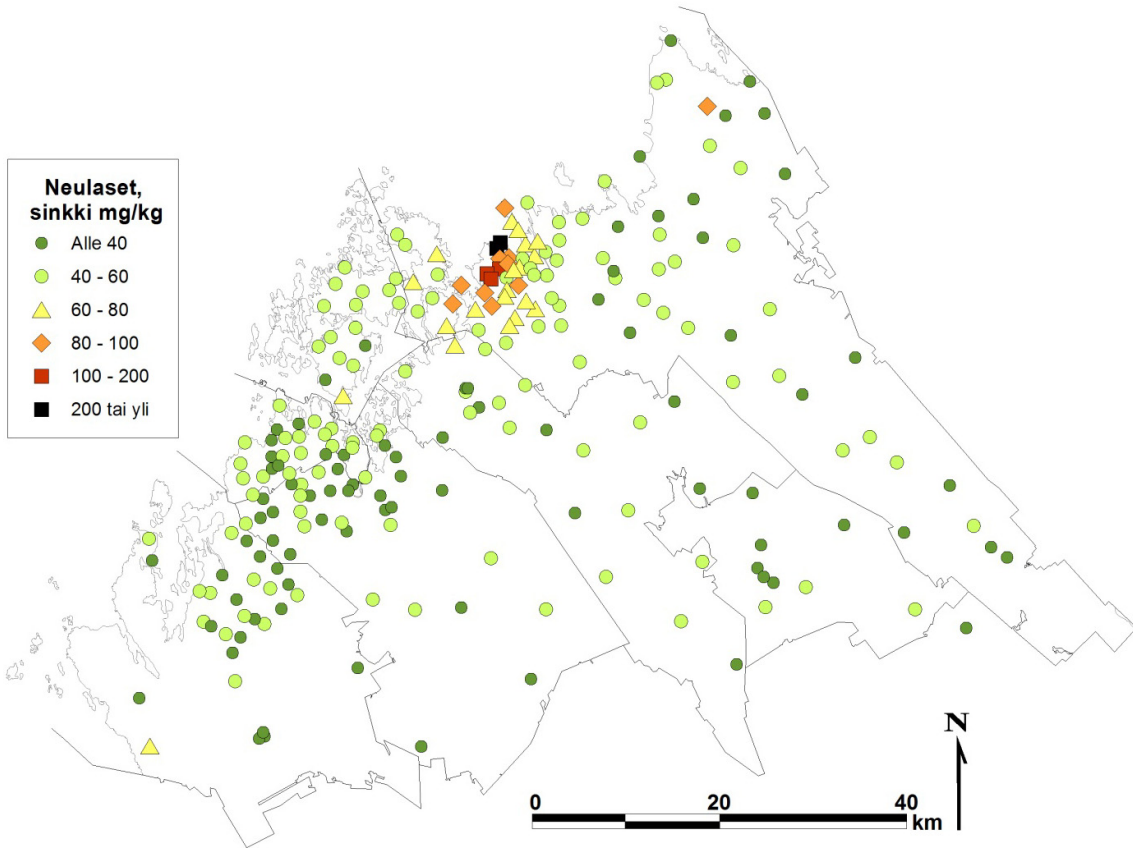
Kuva 48. Männyn neulasten toisen vuosikerran rikkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (S mg/kg).



Kuva 49. Männyn neulasten toisen vuosikerran rikkipitoisuudet vyöhykkeinä vuonna 2012 (S mg/kg).



Kuva 50. Männyn neulasten toisen vuosikerran vanadiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (V mg/kg).



Kuva 51. Männyn neulasten toisen vuosikerran sinkkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Zn mg/kg).

4.3 Sammalen alkuainepitoisuudet

Taulukossa 22 on esitetty sammalten alkuainepitoisuuksien keskiarvot ja pienimmät ja suurimmat arvot sekä koko tutkimusalueen osalta että kunnittain. Taulukossa 23 on esitetty sammalen beryllium-, litium-, titaani- ja antimonipitoisuudet yhdeksällä tutkimusalalla, jotka sijaittivat Lohtajan ampuma-alueen ympäristössä sekä suunniteltujen uusien kaivosalueiden ympäristössä. Kuvissa 52-73 on esitetty alkuaineiden pitoisuudet kartoilla.

Sammalten alkuainepitoisuuksissa **arseenilla** (kuva 53), **kadmiumilla** (kuva 56), **koboltilla** (kuva 57), **kuparilla** (kuva 59), **lyijyllä** (kuva 68) ja **sinkillä** (kuva 71) havaittiin selvä Kokkola-keskeinen gradientti, jossa korkeimmat pitoisuudet havaittiin Ykspihlajan läheisillä ja Kokkolan havaintoaloilla. Pitoisuudet muualla tutkimusalueella olivat tätä aluetta selvästi alhaisempia. Myös sammalen **kromipitoisuuksissa** (kuva 58) oli havaittavissa Kokkola-keskeinen gradientti, tosin korkein yksittäinen kromipitoisuus sijoittui Pedersören; yksittäisiä kohonneita kromipitoisuuksia havaittiin myös Pietarsaassa ja Kälviän keskustan läheisellä alalla.

Alumiinin (kuva 52), **raudan** (kuva 60), **elohopean** (kuva 61) ja **nikkelin** (kuva 66) kohonneita pitoisuuksia havaittiin Kokkolan keskusta-alojen lisäksi myös muilla alueilla teollisuusalueiden läheisyydessä Pietarsaassa ja Kruunupyssä. Kohonneita alumiinipitoisuuksia havaittiin myös Kälviällä ja Kaustisilla. Sammalen **rikkipitoisuudet** (kuva 69) olivat kohonneita Kokkolan ja Pietarsaaren keskusta-alueilla. Lisäksi Kaustisen Findestin alue, Kruunupyyn teollisuusalue ja Jepuan alue erottuivat kohonneiden rikkipitoisuuksien takia. **Vanadiinin** (kuva 70) kohonneet pitoisuudet sijoittuivat samoille alueille kuin kohonneet rikkipitoisuudet.

Boorin (kuva 54) ja **kalsiumin** (kuva 55) korkeimmat pitoisuudet havaittiin Kokkolassa, mutta keskiarvot olivat suurimpia Pietarsaassa. **Kaliumin** (kuva 62) ja **fosforin** (kuva 67) pitoisuudet olivat muuta aluetta korkeampia rannikon tuntumassa. **Magnesiumin** (kuva 63) korkeimmat pitoisuudet sijoittuivat Kokkolan keskusta-alueelle ja Pietarsaaren-Pedersören alueelle. **Mangaanin** (kuva 64) korkeimmat pitoisuudet sijoittuivat entisten Kälviän ja Ullavan kuntien alueelle, Kokkolan eteläosiin. **Natriumin** (kuva 65) korkeimmat pitoisuudet sijoittuivat Kokkolaan; natriumpitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut havaittavissa selvää alueellisuutta.

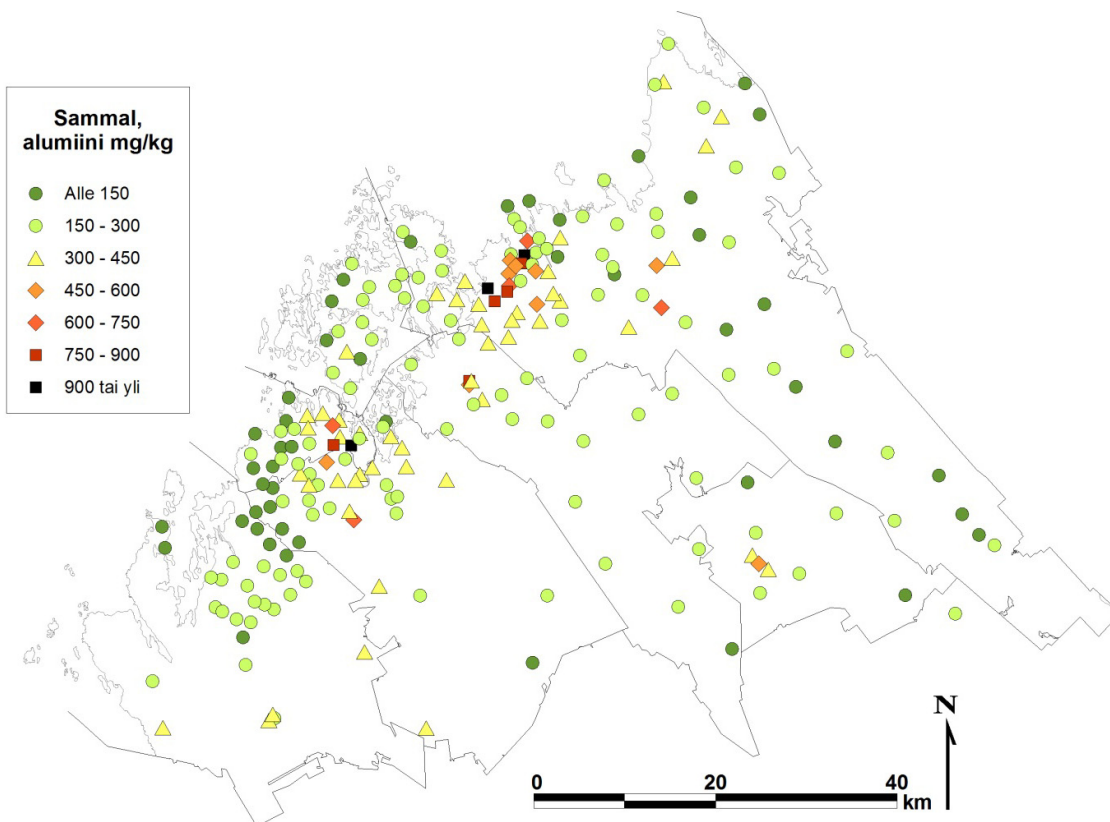
Antimonin pitoisuuksia tutkittiin Lohtajan ampuma-radon ympäristössä sekä tausta-aloilla suunniteltujen kaivosalueiden läheisyydessä entisen Ullavan-Kaustisen seudulla. **Berylliumin**, **litiumin** ja **titaanin** pitoisuuksia tutkittiin suunniteltujen kaivosalueiden läheisyydessä sekä Lohtajan alueella. Kaikkien näiden alkuaineiden pitoisuudet olivat kauttaaltaan matalia. **Titaanin** korkeimmat pitoisuudet sijoittuivat Lohtajalle (kuva 72). Titaanipitoisuuksien vaihtelu liittyy todennäköisesti maaperän ominaisuuksien ja taustalaskeman luonnolliseen vaihteluun. **Antimonin** korkeimpia pitoisuuksia havaittiin Lohtajan ja entisen Ullavan alueella (kuva 73). Antimonin kohonneita pitoisuuksia voidaan havaita ampumaratojen ympäristössä, mutta Lohtajalta mitatut pitoisuudet eivät olleet korkeampia kuin muilta alueilta mitatut. **Berylliumin** ja **litiumin** kaikki pitoisuudet sammalissa olivat alle määritysrajan, minkä vuoksi pitoisuuksia ei ole esitetty kartalla. Sammalen pitoisuudet ilmentävät ensisijaisesti ilmalaskeumaa, jonka kautta näitä metalleja ei päädy sammaliin juurikaan. (Taulukko 23.)

Taulukko 22. Sammalen alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot koko alueella sekä kunnittain. Suurimmat arvot on lihavoitu taulukkoon.

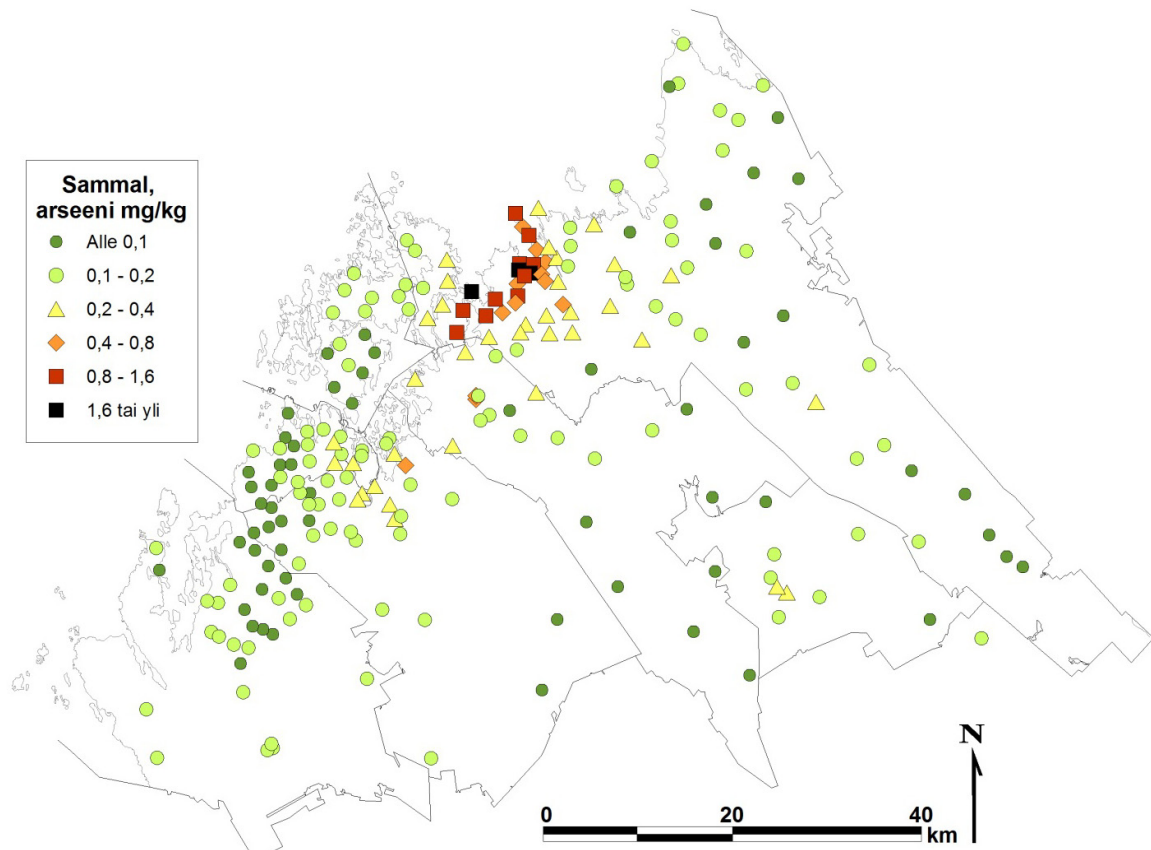
alkuaine	arvo	Koko alue	Kaustinen	Kokkola	Kruunupyö	Luoto	Pedersöre	Pietarsaari	Uusikaarlepyy
Al mg/kg	Keskiarvo	268	242	306	257	180	264	295	208
	Pienin	90	110	93	109	94	100	90	109
	Suurin	1525	474	1525	881	301	620	1011	364
As mg/kg	Keskiarvo	0,23	0,14	0,39	0,17	0,11	0,14	0,12	0,11
	Pienin	0,05	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06
	Suurin	2,5	0,28	2,5	0,65	0,19	0,4	0,25	0,18
B mg/kg	Keskiarvo	1,24	0,80	1,28	1,11	1,58	1,28	1,73	0,75
	Pienin	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Suurin	5,7	2	5,7	4	5,2	3	4	1
Ca mg/kg	Keskiarvo	2577	2270	2561	2427	2813	2711	2917	2273
	Pienin	1300	2000	1600	1700	1500	1300	2000	1600
	Suurin	4500	2700	4500	3900	3700	4000	4000	3100
Cd mg/kg	Keskiarvo	0,24	0,12	0,38	0,20	0,16	0,13	0,14	0,11
	Pienin	0,07	0,09	0,08	0,11	0,13	0,08	0,08	0,07
	Suurin	1,6	0,15	1,6	0,41	0,23	0,23	0,25	0,16
Co mg/kg	Keskiarvo	2,88	0,43	5,65	1,95	1,94	0,97	1,09	0,46
	Pienin	0,22	0,22	0,28	0,25	1,1	0,36	0,54	0,31
	Suurin	27	0,64	27	5,4	3,7	1,9	2,4	0,69
Cr mg/kg	Keskiarvo	1,09	1,06	1,23	0,94	0,82	1,22	1,11	0,79
	Pienin	0,48	0,73	0,62	0,57	0,69	0,55	0,56	0,48
	Suurin	11	1,8	4	2,2	1	11	2,9	1,3
Cu mg/kg	Keskiarvo	6,0	4,1	8,2	5,4	4,8	4,7	4,9	3,8
	Pienin	2,7	3,3	2,7	3,1	3,6	3,3	3,1	3,3
	Suurin	57	5	57	12	6,6	7,7	9,5	5,2
Fe mg/kg	Keskiarvo	435	333	547	387	251	408	481	269
	Pienin	110	120	140	120	120	130	140	110
	Suurin	2400	710	2400	1400	460	870	1800	530
Hg mg/kg	Keskiarvo	0,05	0,04	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04
	Pienin	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
	Suurin	0,28	0,04	0,28	0,24	0,05	0,07	0,07	0,06
K mg/kg	Keskiarvo	6236	5250	6223	6368	6469	6561	6083	6113
	Pienin	2800	4300	3900	4300	4000	2800	4500	3000
	Suurin	10000	6000	10000	8600	8400	10000	8500	8200
Mg mg/kg	Keskiarvo	1084	1020	1067	1030	1073	1163	1187	1023
	Pienin	520	860	720	680	570	520	710	790
	Suurin	2100	1300	2100	1900	1300	2000	1800	1400
Mn mg/kg	Keskiarvo	302	303	304	303	292	325	271	299
	Pienin	98	200	110	180	98	190	140	150
	Suurin	680	420	680	430	450	480	390	440
Na mg/kg	Keskiarvo	82	82	83	72	83	80	82	88
	Pienin	43	51	43	52	46	51	47	47
	Suurin	250	120	250	130	140	110	140	150
Ni mg/kg	Keskiarvo	2,1	1,1	3,4	1,5	1,2	1,2	1,5	1,3
	Pienin	0,54	0,66	0,54	0,56	0,96	0,58	0,57	0,55
	Suurin	17	2	17	3,9	2,2	5,7	6,1	7,9
P mg/kg	Keskiarvo	1336	1114	1330	1311	1349	1480	1443	1179
	Pienin	670	900	820	960	680	670	940	730
	Suurin	2600	1500	2600	2400	1800	2600	2100	1700
Pb mg/kg	Keskiarvo	2,6	1,3	4,3	2,1	1,5	1,7	1,5	1,3
	Pienin	0,77	1,1	0,9	0,9	1	0,8	0,9	0,9
	Suurin	22	1,7	22	6,1	2,3	4	2,8	2,3
S mg/kg	Keskiarvo	979	915	983	931	868	1016	1076	964
	Pienin	480	670	670	730	480	480	830	580
	Suurin	1800	1500	1800	1600	1100	1700	1500	1600
V mg/kg	Keskiarvo	1,1	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	1,5	1,7
	Pienin	0,39	0,5	0,42	0,39	0,51	0,39	0,45	0,39
	Suurin	15	2,8	3,7	2,6	1,7	1,8	9,7	15
Zn mg/kg	Keskiarvo	74	38	117	58	45	48	50	36
	Pienin	21	25	24	28	21	28	29	23
	Suurin	560	81	560	150	62	81	82	55

Taulukko 23. Sammalen beryllium-, litium-, titaani- ja antimonipitoisuudet Kokkolan tutkimusaloilla. Tähdellä merkityt tulokset ovat alle määrittysrajan.

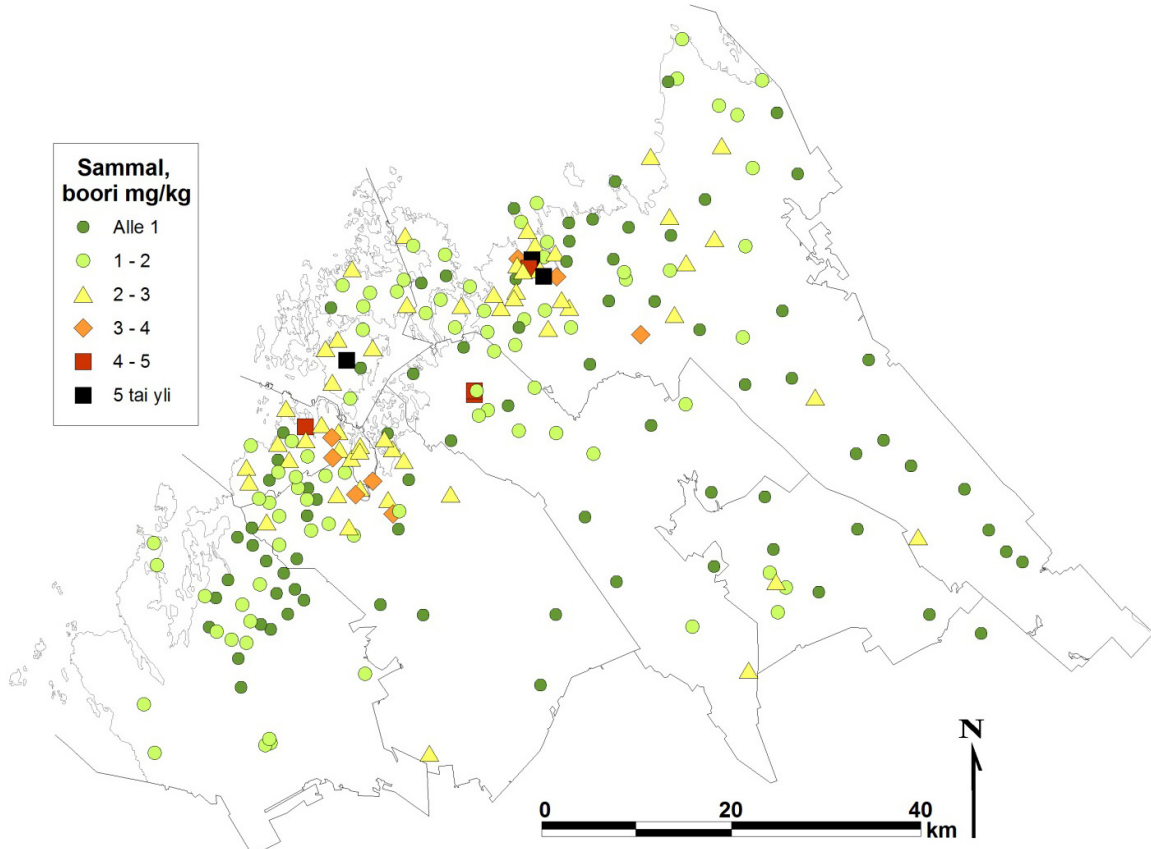
Ala	Be mg/kg	Li mg/kg	Ti mg/kg	Sb mg/kg
6	< 0,05*	< 0,5*	12	< 0,05*
60	< 0,05*	< 0,5*	14	0,08
87	< 0,05*	< 0,5*	17	0,08
88	< 0,05*	< 0,5*	30	< 0,05*
89	< 0,05*	< 0,5*	8	< 0,05*
95	< 0,05*	< 0,5*	23	0,08
96	< 0,05*	< 0,5*	15	0,07
97	< 0,05*	< 0,5*	17	0,06
98	< 0,05*	< 0,5*	13	0,05
keskiarvo	< 0,05*	< 0,5*	17	0,07



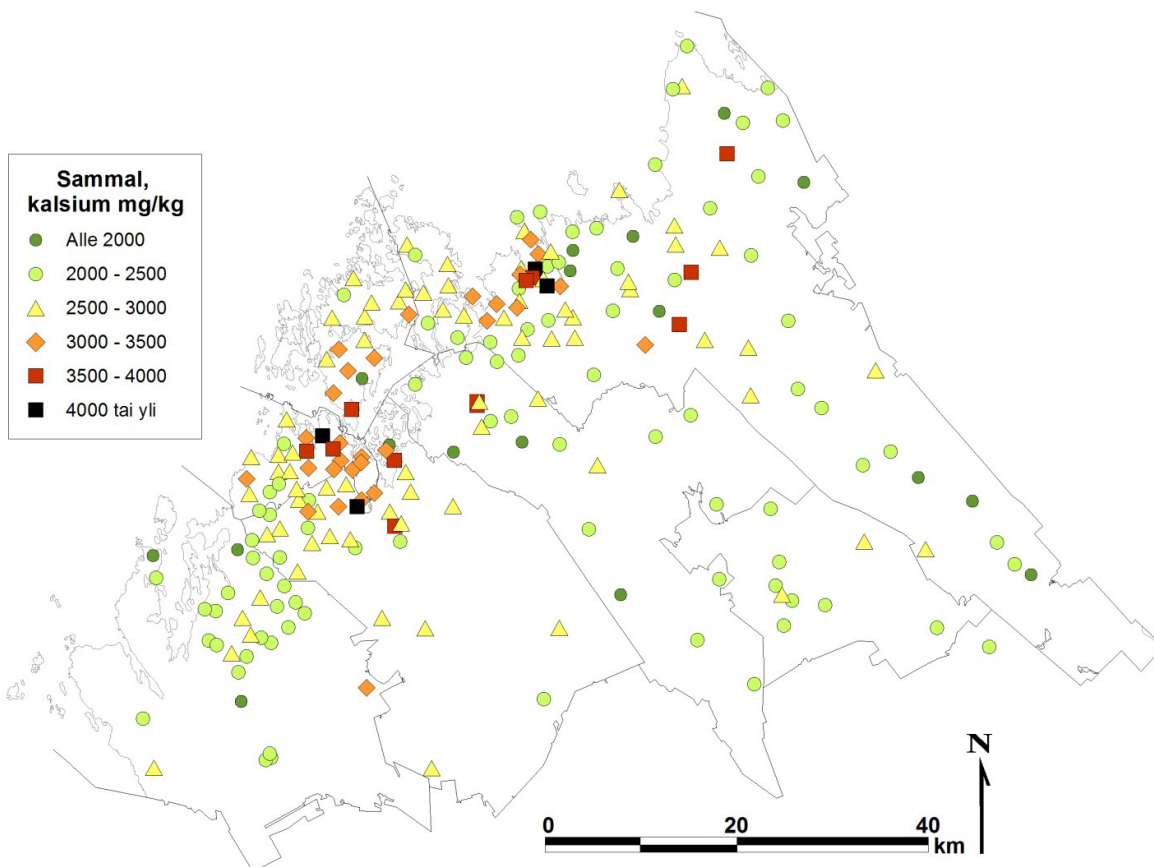
Kuva 52. Sammalen alumiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Al mg/kg).



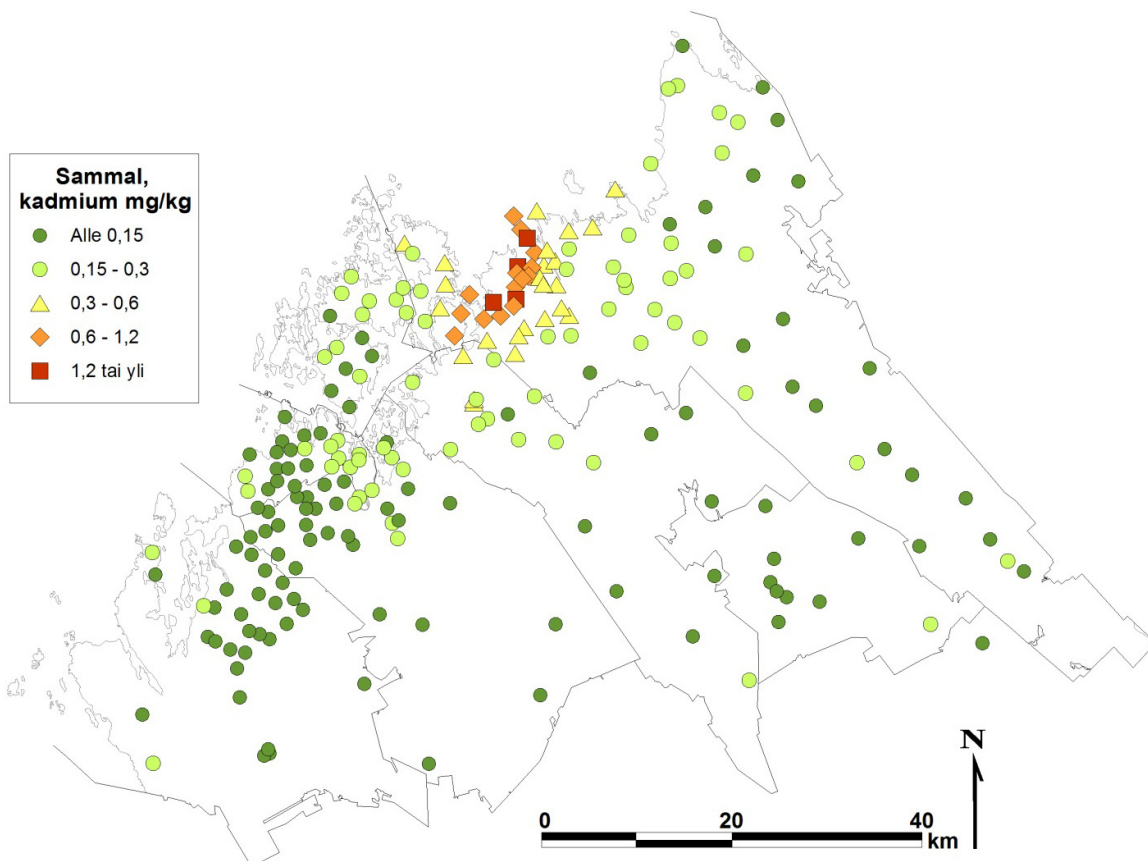
Kuva 53. Sammalen arseenipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (As mg/kg).



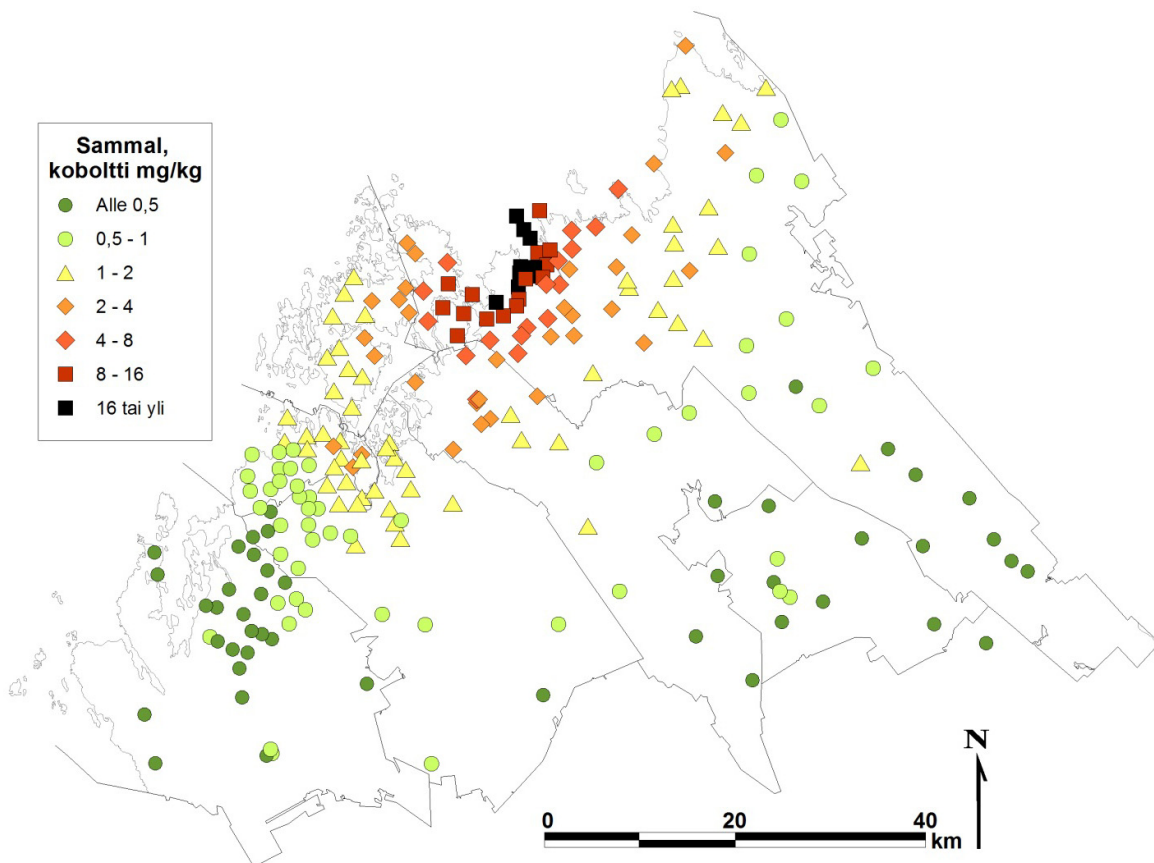
Kuva 54. Sammalen booripitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (B mg/kg).



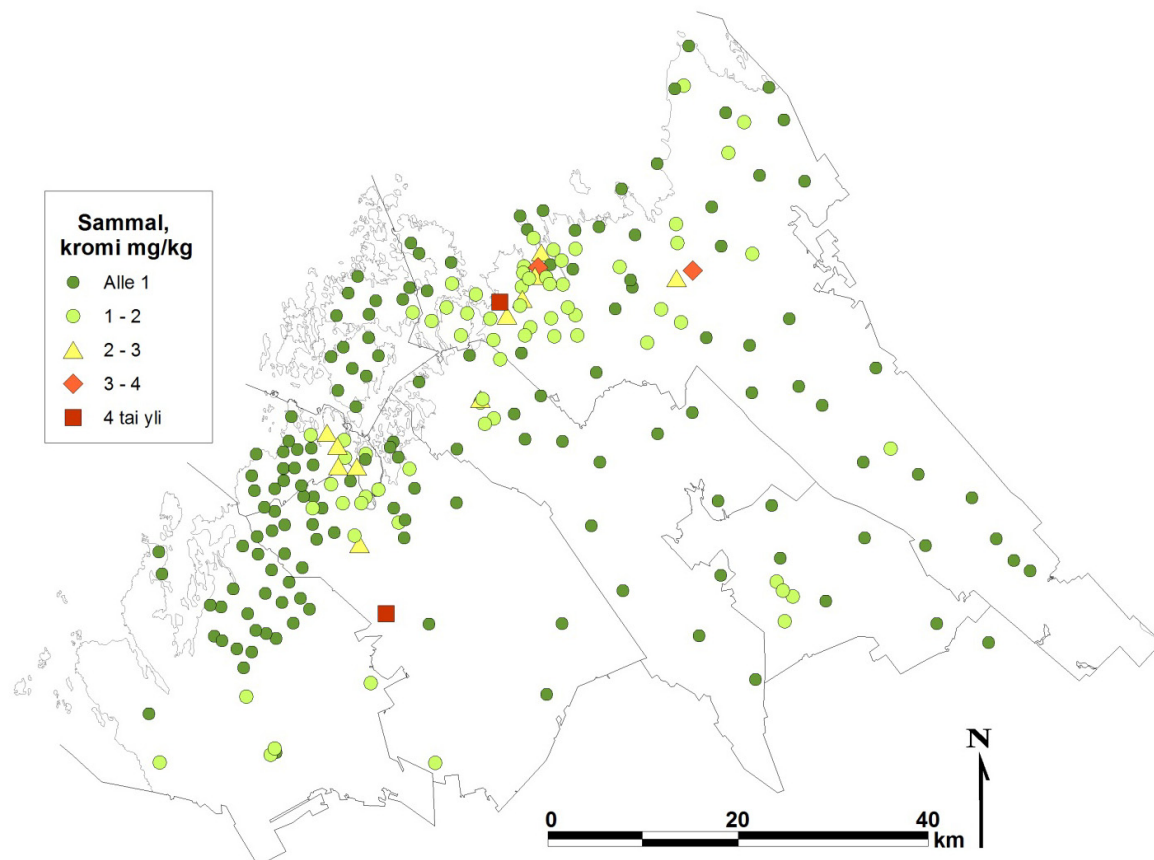
Kuva 55. Sammalen kalsiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Ca mg/kg).



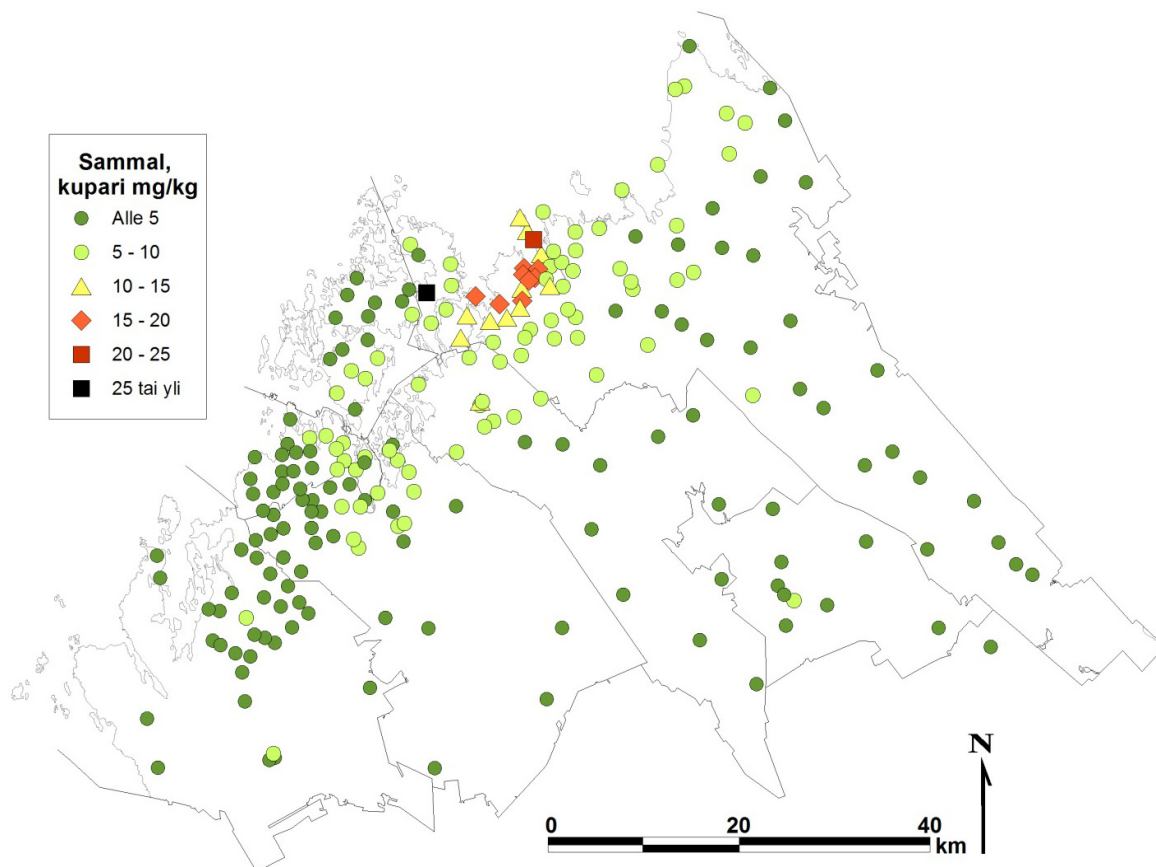
Kuva 56. Sammalen kadmiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Cd mg/kg).



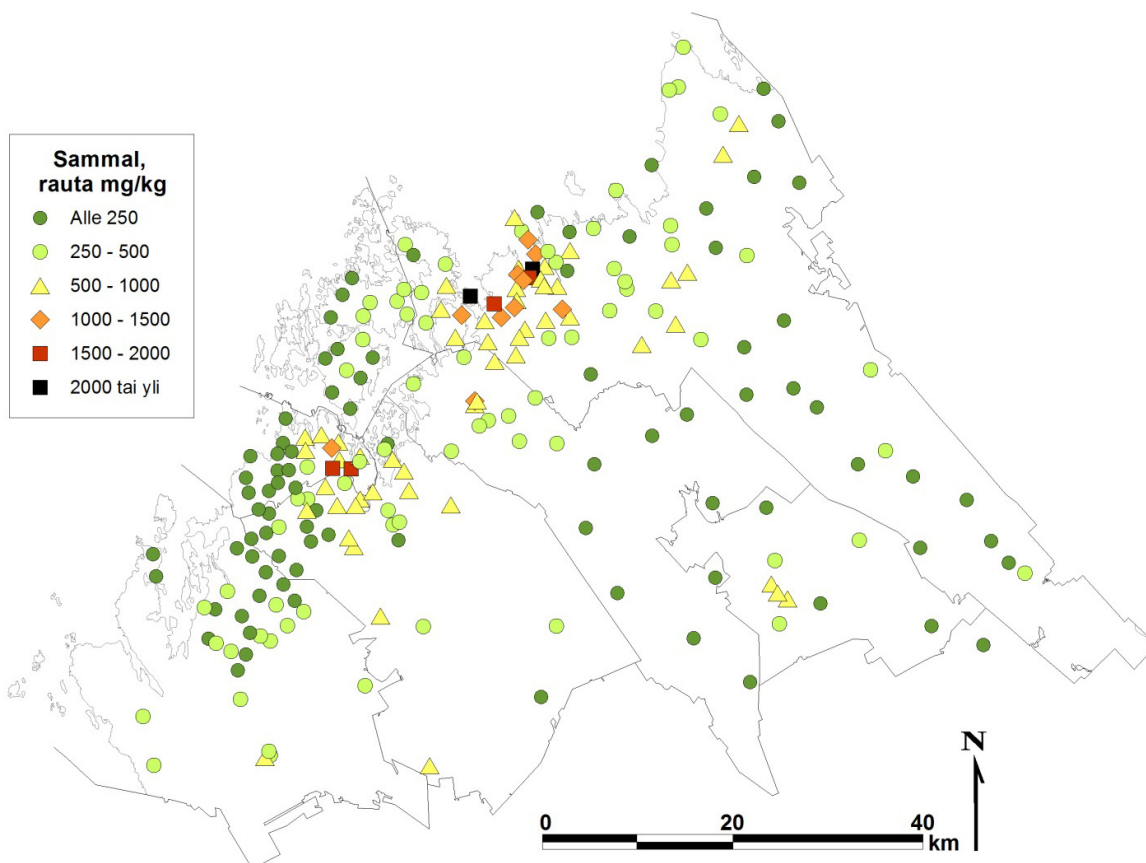
Kuva 57. Sammalen kobolttipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Co mg/kg).



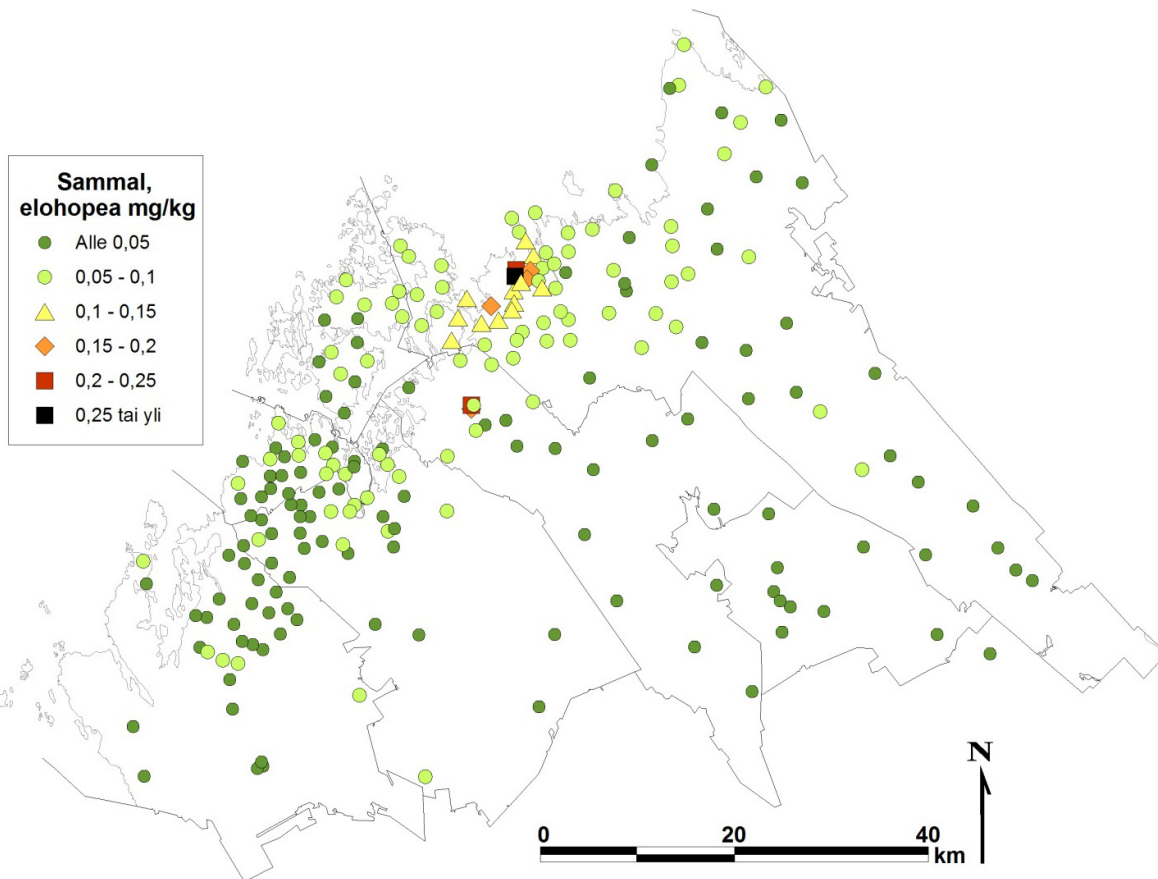
Kuva 58. Sammalen kromipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Cr mg/kg).



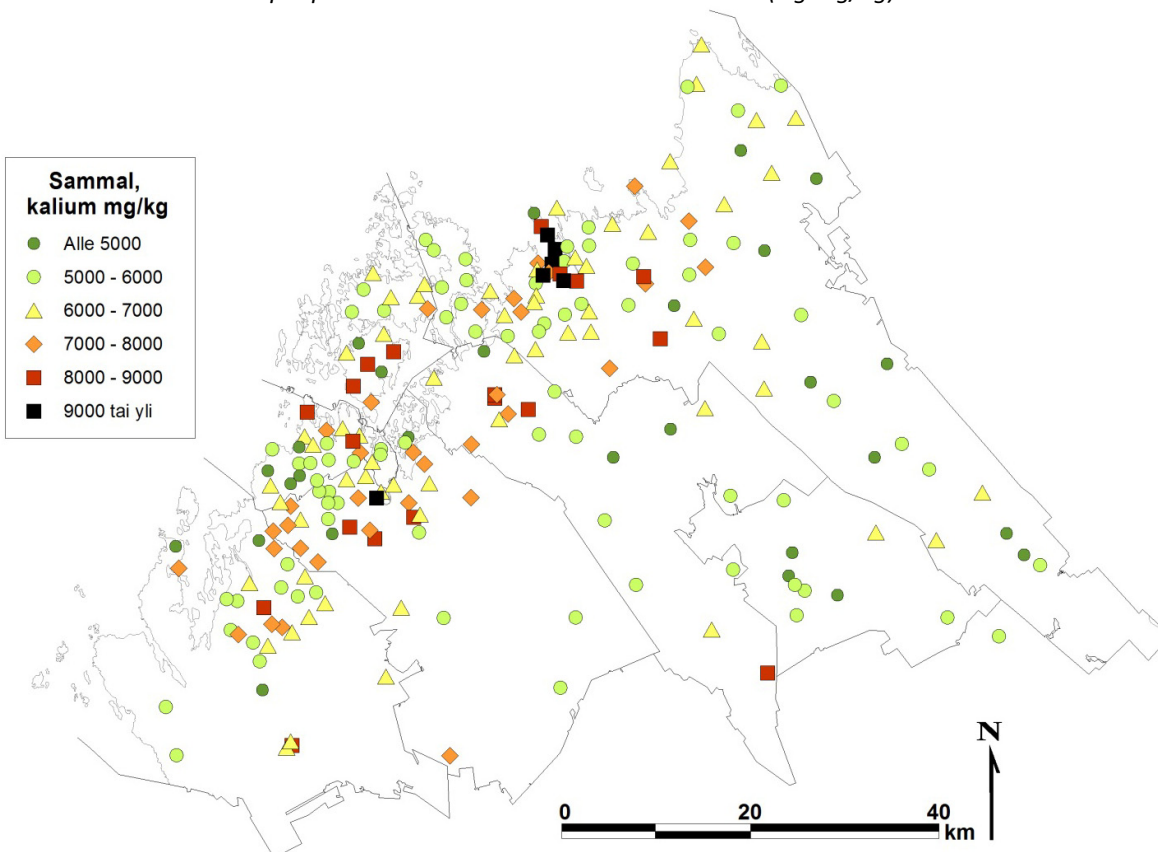
Kuva 59. Sammalen kuparipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Cu mg/kg).



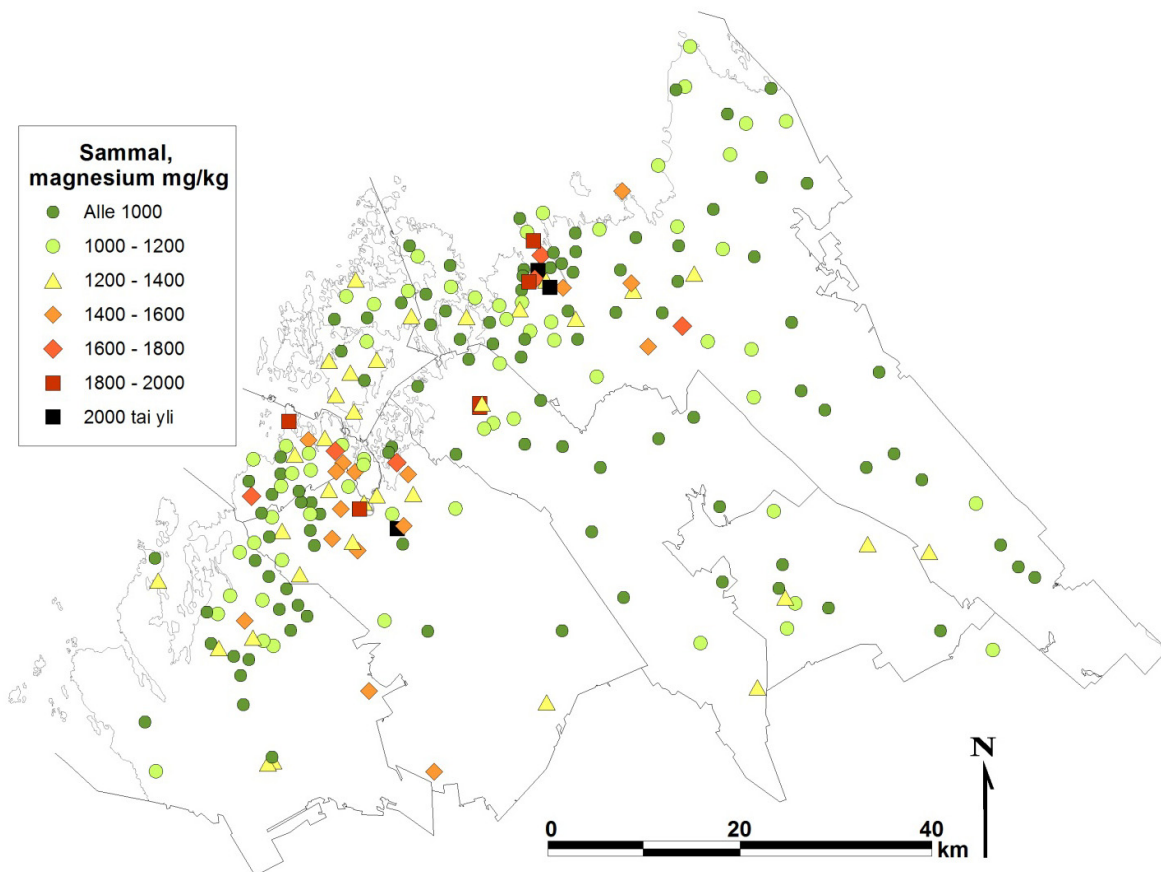
Kuva 60. Sammalen rautapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Fe mg/kg).



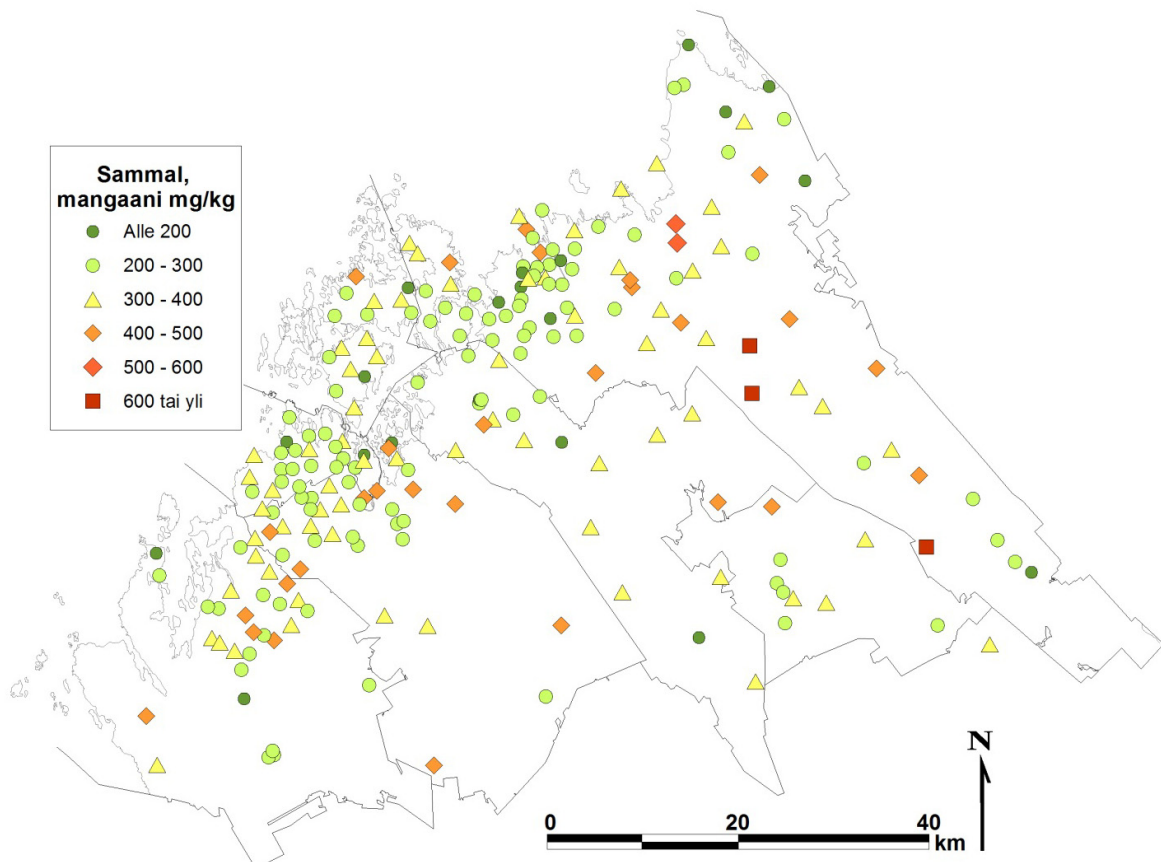
Kuva 61. Sammalen elohopeapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Hg mg/kg).



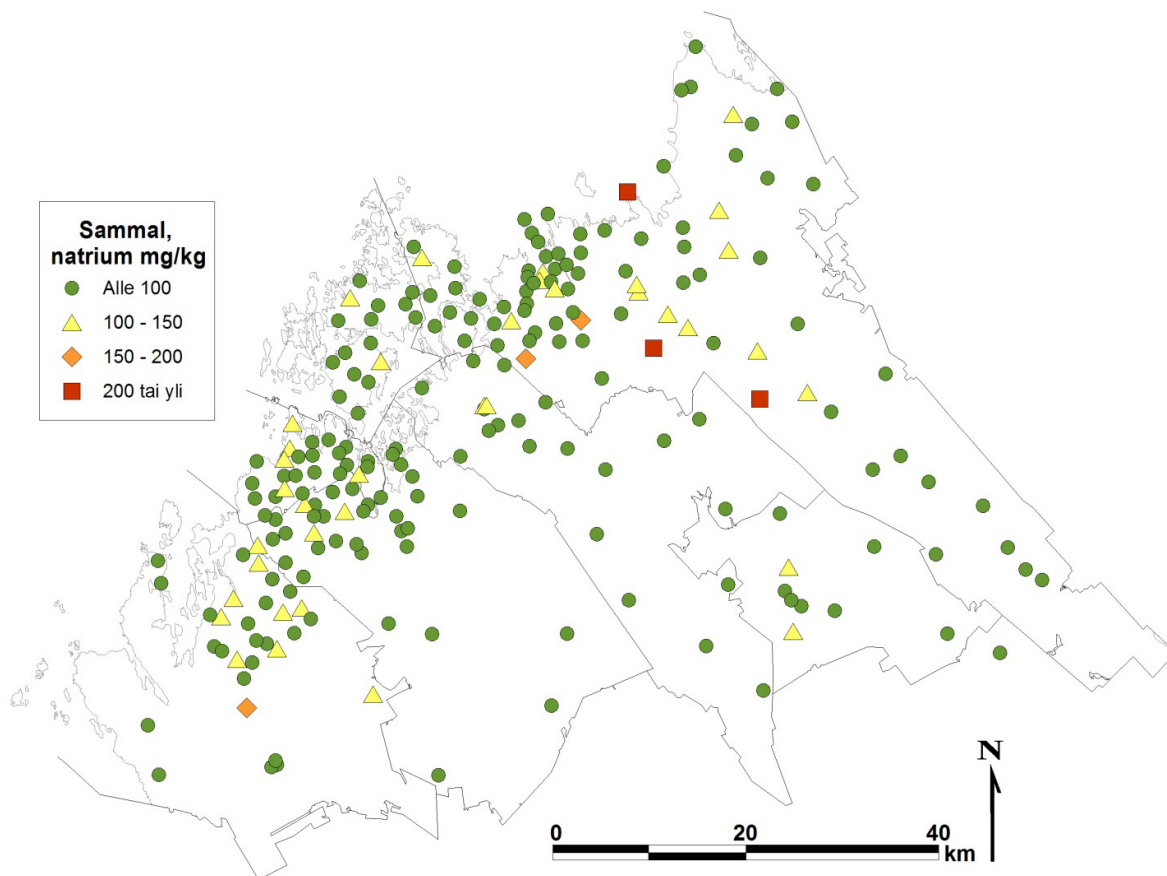
Kuva 62. Sammalen kaliumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (K mg/kg).



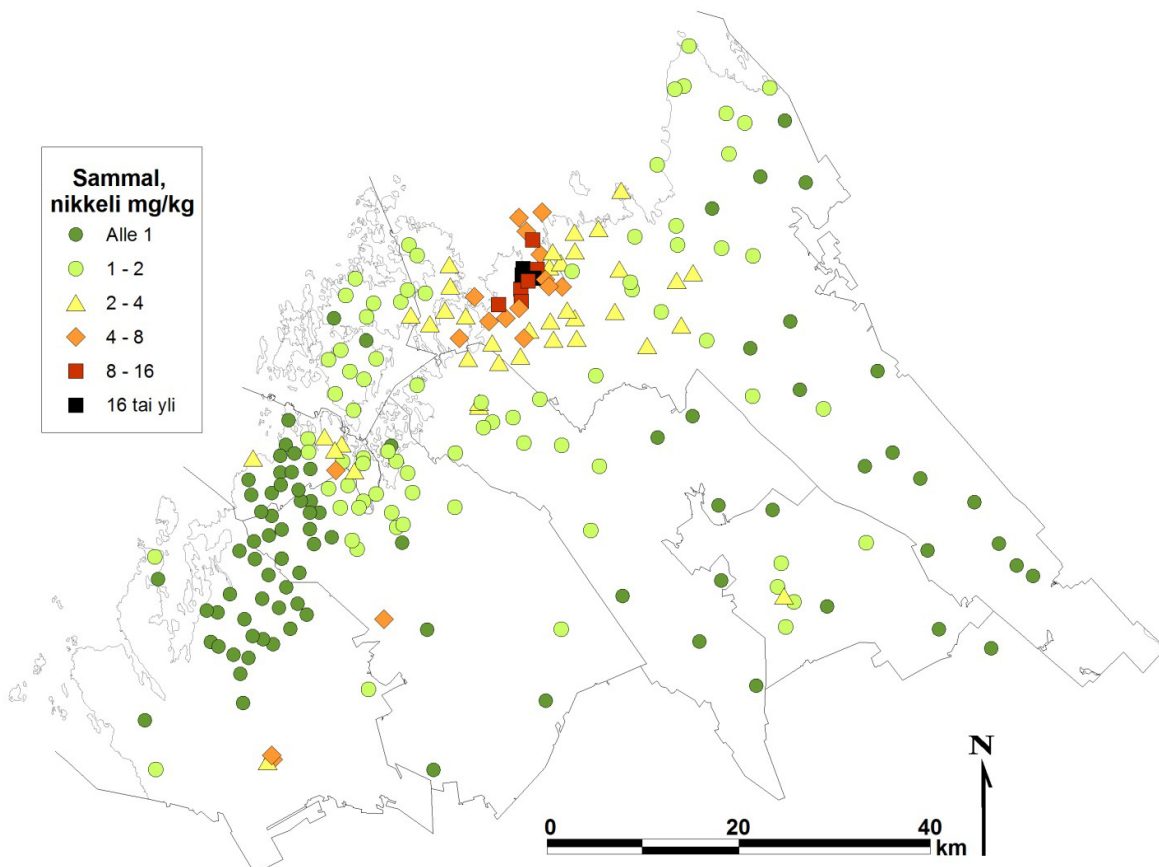
Kuva 63. Sammalen magnesiumipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Mg mg/kg).



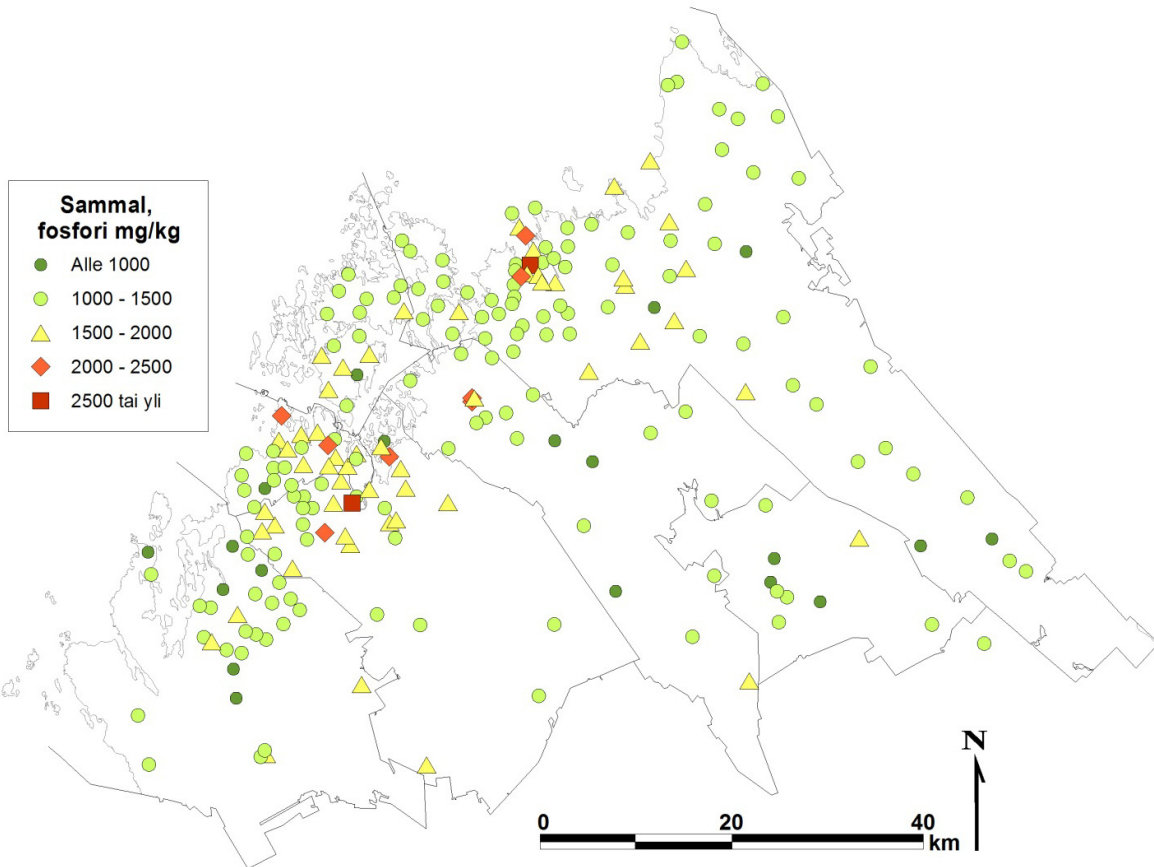
Kuva 64. Sammalen mangaanipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Mn mg/kg).



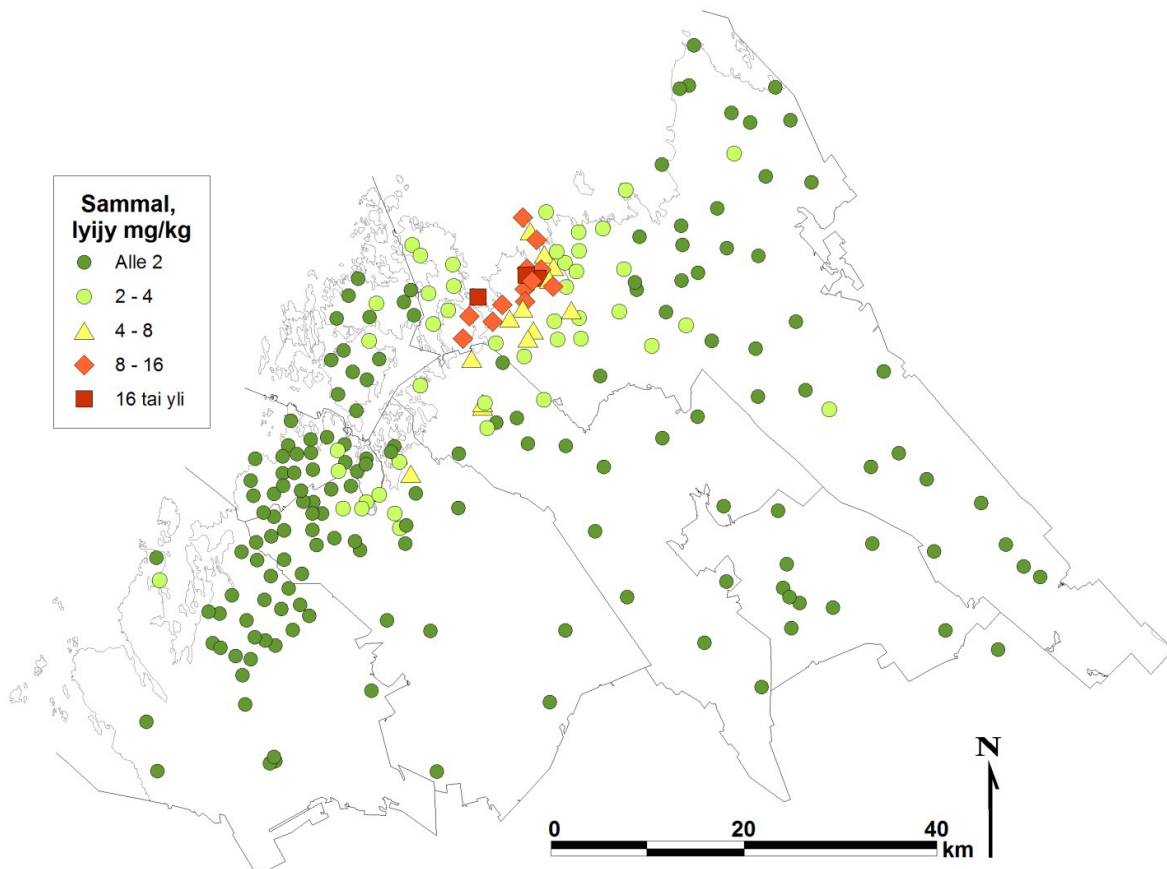
Kuva 65. Sammalen natriumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Na mg/kg).



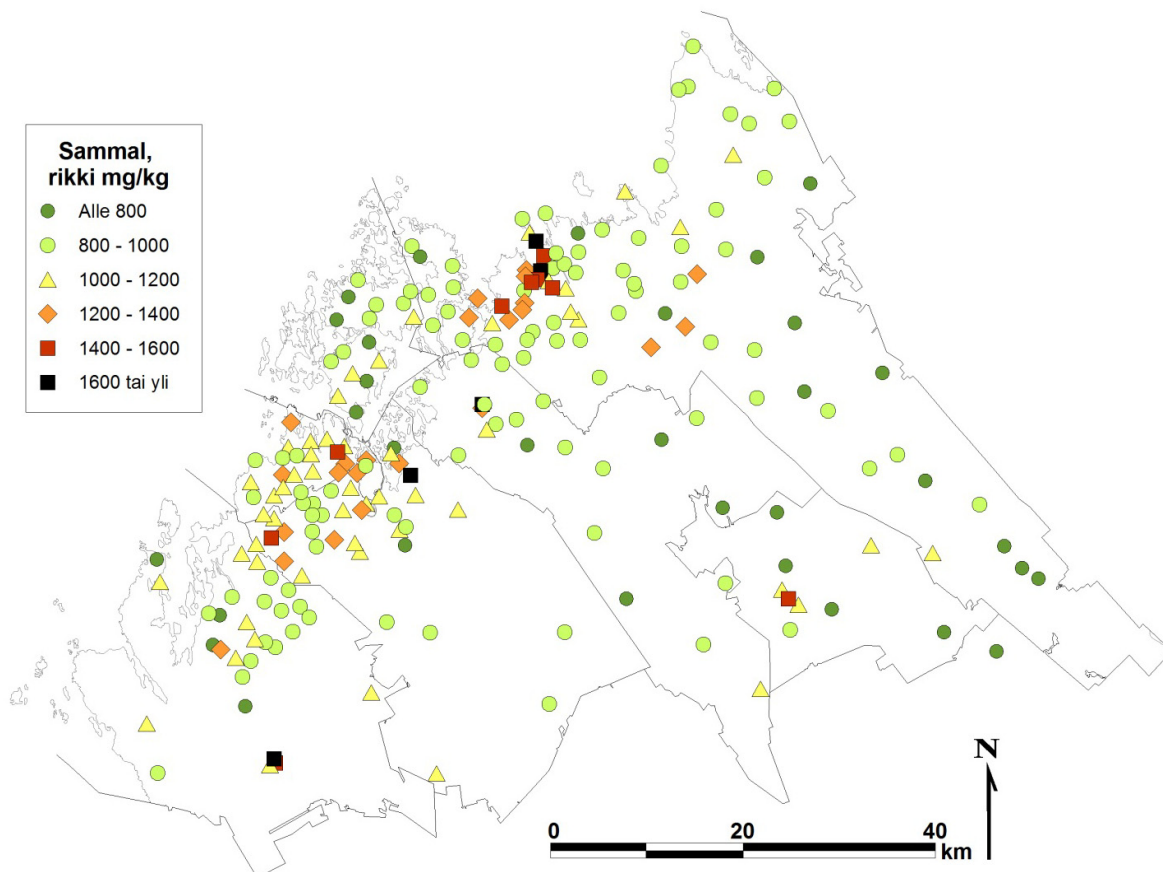
Kuva 66. Sammalen nikkelpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Ni mg/kg).



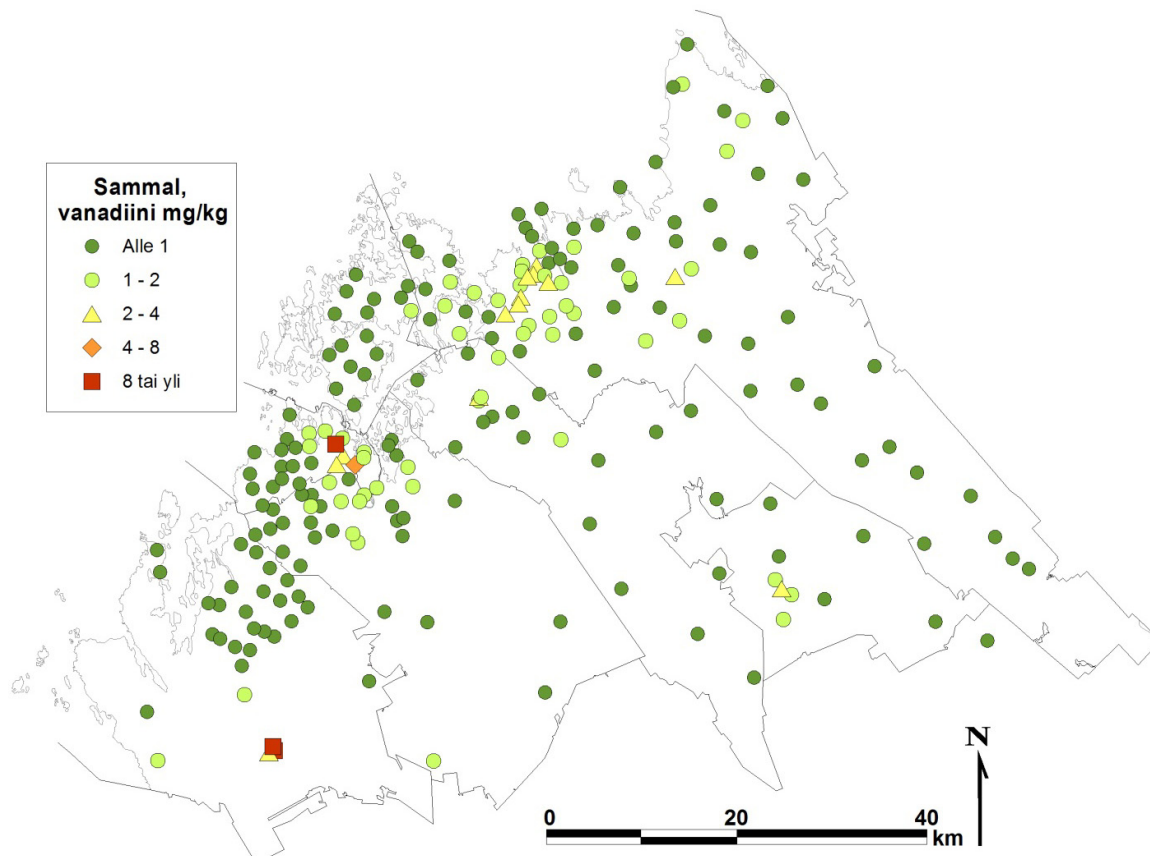
Kuva 67. Sammalen fosforipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (P mg/kg).



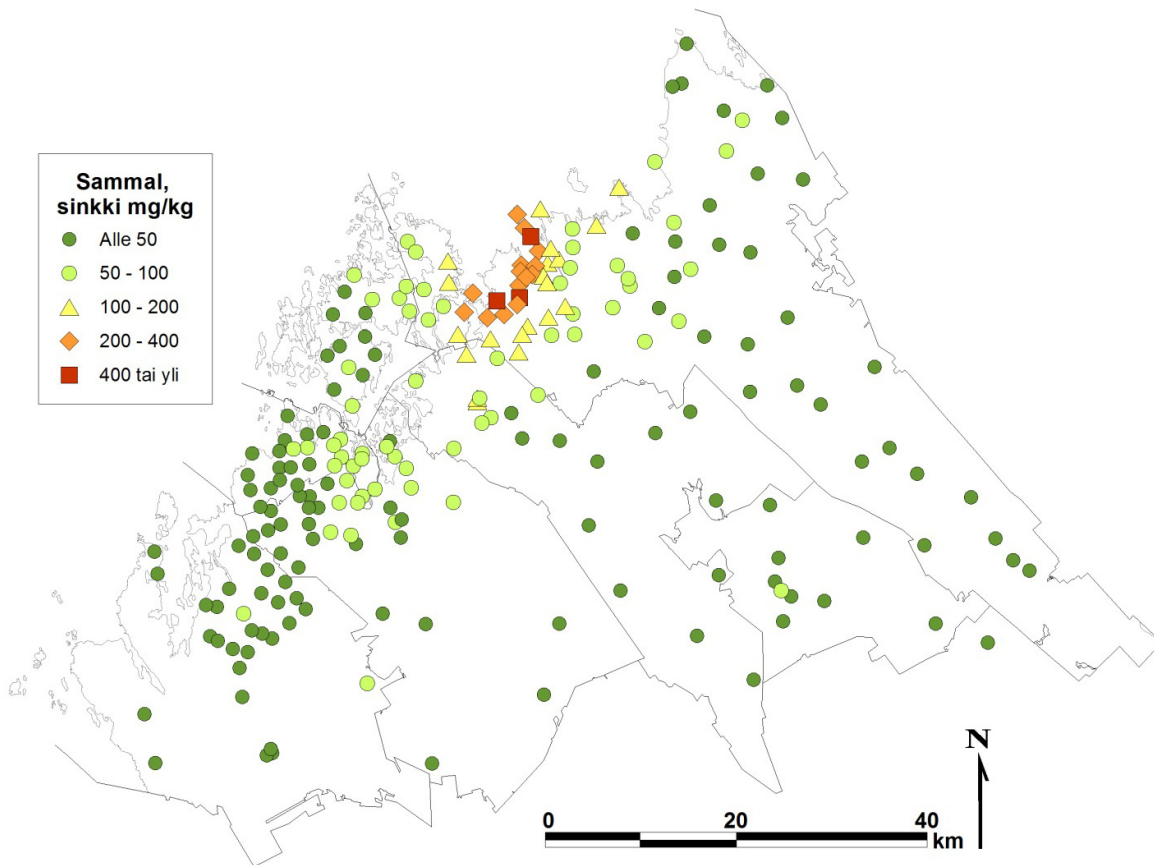
Kuva 68. Sammalen lyijypitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Pb mg/kg).



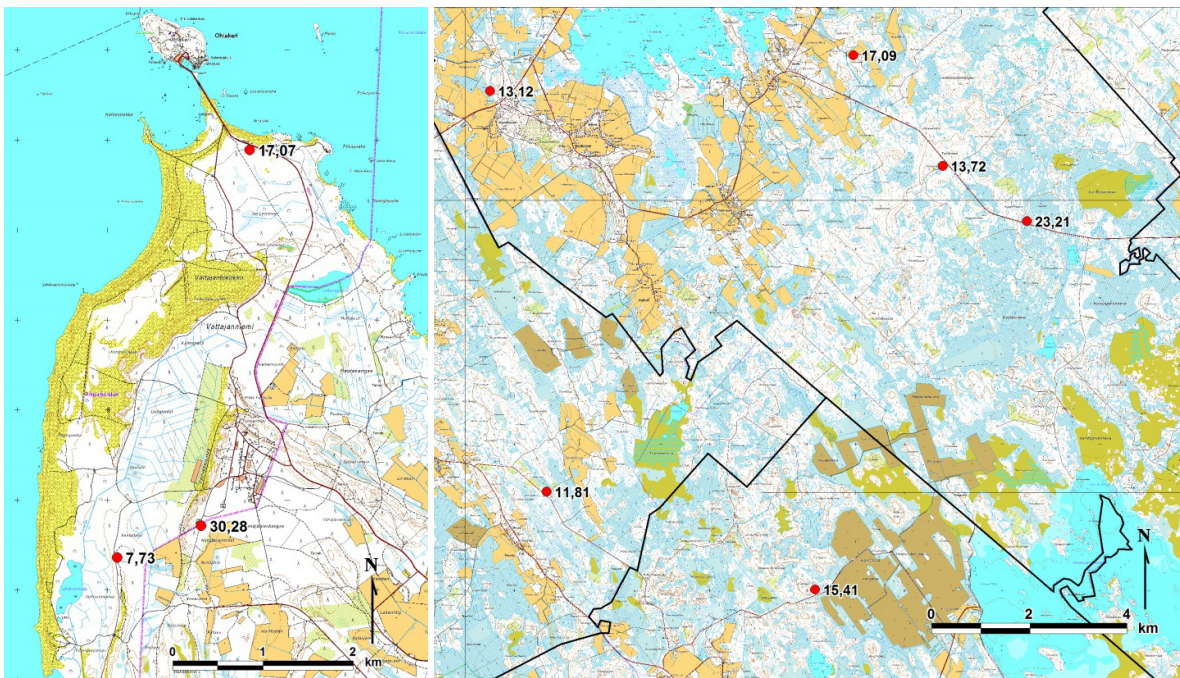
Kuva 69. Sammalen rikkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (S mg/kg).



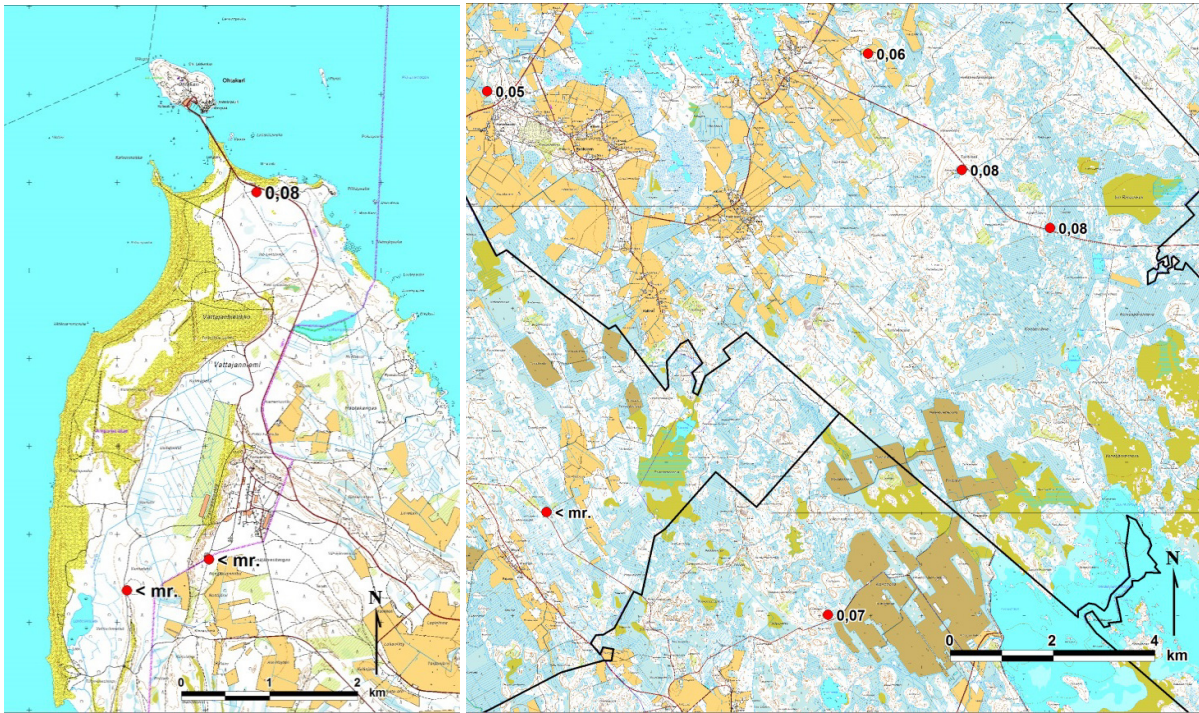
Kuva 70. Sammalen vanadiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (V mg/kg).



Kuva 71. Sammalen sinkkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Zn mg/kg).



Kuva 72. Sammalen titaanipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Ti mg/kg). Vas. Lohtajan alueen alat, oik. Kaustisen-Ullavan alueen alat. Karttapohjat © MML.



Kuva 73. Sammalen antimonipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2012 (Sb mg/kg). Vas. Lohtajan alueen alat, oik. Kaustisen-Ullavan alueen alat. Karttapohjat © MML.

4.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

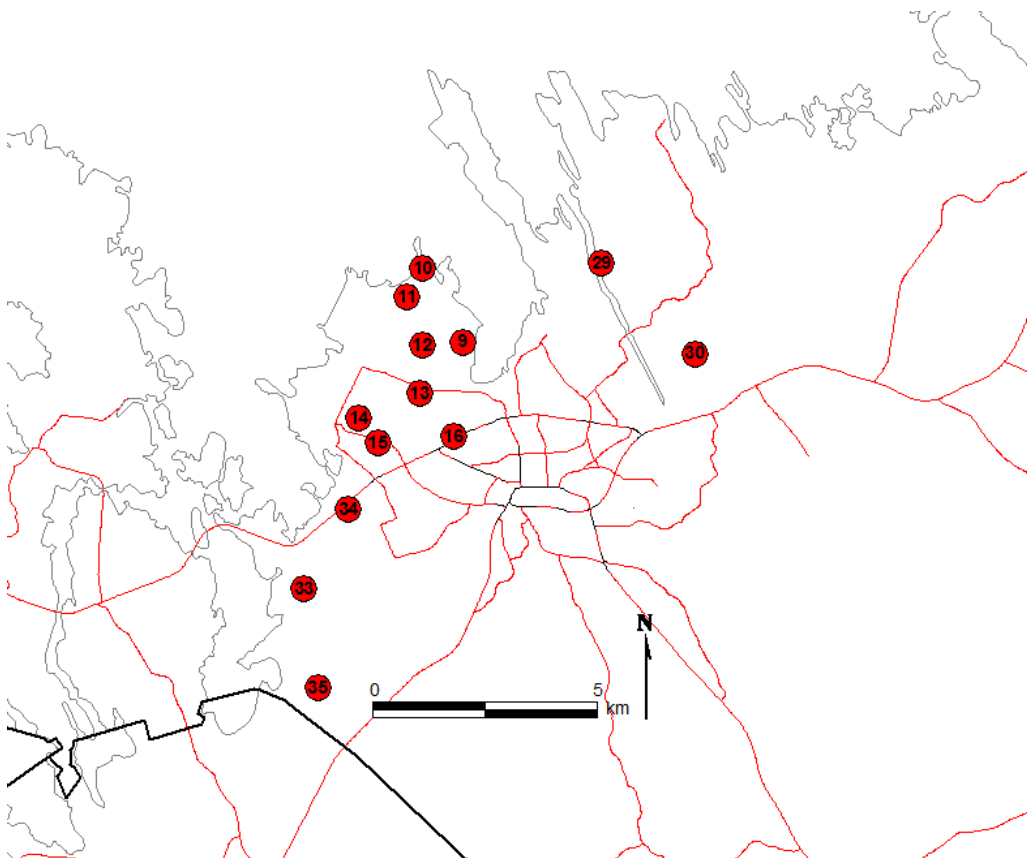
Taulukossa 24 on esitetty humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia Kokkolan tutkimusaloilla, ja taulukossa 25 on esitetty humuksen alkuainepitoisuuksien ja kemiallisten ominaisuuksien kunnittaiset keskiarvot ja pienimmät ja suurimmat arvot Pietarsaaren, Luodon, Pedersören ja Uudenkaarlpeyn aloilla. Kokkolan humusnäytealojen numerointi on esitetty kuvassa 74. Humuksen alkuainepitoisuudet ja kemiallisten ominaisuuksien arvot on esitetty kartoilla kuvissa 75-95.

Taulukossa 24 on merkitty ne alat, joilla PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisten maaperän metallipitoisuuksien kynnyсарvo tai alempi tai ylempi ohjearvo on ylittynyt (ks. taulukko 14). Ohjearvot olivat käytävissä arseenille, elohopealle, kadmiumille, koboltille, kuparille, nikkelle, sinkille ja vanadiinille. Kynnyсарvot tai ohjearvot ylittyivät Ykspihlajan-Kokkolan keskustan aloilla (suluissa arvon ylittäneiden alojen lukumäärä) arseenilla (11), elohopealla (12), kadmiumilla (11), koboltilla (10), kuparilla (7), nikkellillä (6) ja sinkillä (11). Alemmat ohjearvot ylittyivät elohopealla (6), kadmiumilla (1), koboltilla (5), kuparilla (6), nikkellillä (4) ja sinkillä (10). Ylemmät ohjearvot ylittyivät elohopealla (1), koboltilla (1), kuparilla (2), nikkellillä (3) ja sinkillä (8). Varsinaisten tutkimusalojen keskiarvot ylittivät ylempään ohjearvon sinkillä, alemman ohjearvon kuparilla ja elohopealla ja kynnyсарvon arseenilla, kadmiumilla ja koboltilla. Eniten ylempään ohjearvon ylityksiä oli alalla 11, joka sijaitsee Ykspihlajan pohjoisosassa.

Alumiinin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin ja natriumin keskiarvopitoisuuksissa ei ollut merkittäviä eroja Ykspihlajan läheisten alojen ja tausta-alojen välillä. Raudan ja vanadiinin pitoisuudet olivat Ykspihlajan aloilla korkeampia kuin tausta-aloilla. Sähkönjohtavuus oli Ykspihlajan läheisillä aloilla suurempi kuin tausta-aloilla. pH:ssa eroa ei ollut, ja vaihtohappamuus ja kationinvaihtokapasiteetti olivat hieman korkeampia Ykspihlajan aloilla kuin tausta-aloilla.

Taulukko 24. Humuksen alkuainepitoisuudet (mg/kg) ja kemialliset ominaisuudet Kokkolan tutkimusaloilla. Kynnysarvon ylittävät arvot on maalattu vihreällä, alemman ohjearvon ylittävät arvot keltaisella ja ylemmän ohjearvon ylittävät arvot punaisella.

Ala	Al	As	Hg	Cd	K	Ca	Co	Cu	Mg	Na	Ni	Fe	Zn	V	VH meq/100 g	Sj. mS/m	pH	KVK meq/100g
9	23	7,5	1,4	3,6	550	2 200	70	110	400	31	55	6 100	800	14	7,9	13,6	4	25,6
10	43	14	4,2	7,3	320	1 300	56	160	170	94	40	9 100	1 700	11	3,1	12	4,5	14,3
11	55	43	8,6	18	250	880	260	660	110	15	210	28 000	2 700	64	11,8	11,1	3,9	17,7
12	52	22	2,7	7,3	570	1 200	200	290	240	25	160	16 000	1 300	30	11,7	13,8	3,9	21,1
13	52	16	2,6	4,8	480	1 500	100	170	230	25	84	11 000	840	20	7,6	13,9	4	19,7
14	60	41	4,6	9,4	380	1 100	230	450	150	20	180	16 000	1 000	48	11,7	13,4	3,9	20,6
15	58	29	3,3	7,3	520	1 500	160	270	220	35	130	15 000	1 000	29	10,6	14,4	3,9	22,8
16	45	7,3	1,2	2,3	350	1 800	38	78	370	27	35	4 700	310	17	11,1	12,2	3,9	27,5
29	25	4,9	0,6	1,6	730	1 800	18	29	520	92	19	750	48	8,6	12,6	13,8	3,6	31,7
30	32	3,8	0,44	1,2	540	1 100	13	22	550	34	15	3 300	130	7,2	12,2	9,4	4	28,8
33	23	7,8	0,98	2,3	560	1 900	28	50	310	23	23	5 100	350	9	5,6	13,6	3,9	24,0
34	61	11	1,7	3,1	520	1 600	62	99	300	33	45	8 500	640	14	9,5	13,2	3,9	24,9
35	19	5,3	0,75	1,5	480	1 400	15	28	200	24	13	3 200	210	6,5	6,9	12,1	3,8	20,9
keski- arvo	42	16	2,5	5,4	481	1483	96	186	290	37	78	9750	848	21	9,4	13	3,9	23,0
60 (T1)	160	3,1	0,28	0,43	380	1 300	1,4	9,5	260	25	4,3	4 300	55	10	9,1	8	4	17,0
103 (T2)	7	2,6	0,31	0,35	350	1 900	1	7,2	340	32	2,9	2 600	17	3,9	8,5	11	3,9	21,5



Kuva 74. Kokkolan humusalojen numerointi.

Taulukko 25. Humuksen alkuainepitoisuudet ja pienimmät ja suurimmat arvot Pietarsaaren, Luodon, Pedersören ja Uudenkaarlepyyn tutkimusaloilla.

Alkuaine	Arvo	Luoto	Pedersöre	Pietarsaari	Uusikaarlepyy
Al	keskiarvo	14,0	19,4	79,5	17,8
	pienin	9	11	21	10
	suurin	19	35	310	27
B	keskiarvo	3,7	2,5	2,5	2,2
	pienin	2,7	1,4	1,8	1,8
	suurin	4,7	3,6	2,8	2,5
Ca	keskiarvo	2375	1922	2030	1617
	pienin	1800	1100	780	1400
	suurin	2900	2800	3700	2000
Cd	keskiarvo	0,41	0,45	0,50	0,34
	pienin	0,25	0,23	0,26	0,26
	suurin	0,59	0,66	0,77	0,41
Cr	keskiarvo	5,0	3,7	6,3	3,1
	pienin	3,7	2,8	4,4	2,6
	suurin	6,8	4,5	8,5	3,7
Cu	keskiarvo	11	12	14	8
	pienin	7,2	6,4	10	6,7
	suurin	14	17	20	9,4
Fe	keskiarvo	2850	1944	5450	1295
	pienin	1700	1600	2000	970
	suurin	4700	2400	18000	1700
K	keskiarvo	523	681	512	537
	pienin	250	450	410	450
	suurin	670	1000	600	600
Mg	keskiarvo	358	348	318	318
	pienin	210	230	240	210
	suurin	450	480	390	430
Mn	keskiarvo	210	149	71	123
	pienin	91	43	34	47
	suurin	340	310	120	230
Ni	keskiarvo	8,4	5,9	9,4	4,5
	pienin	5,5	3,4	5,7	4
	suurin	11	9,2	16	5,4
P	keskiarvo	555	570	597	740
	pienin	420	420	380	540
	suurin	790	670	850	840
Pb	keskiarvo	25,5	28,7	47,3	31,5
	pienin	15	19	31	20
	suurin	30	42	70	36
S	keskiarvo	1243	1322	1353	1333
	pienin	670	1000	840	1000
	suurin	1900	2000	1800	1700
Zn	keskiarvo	64	60	53	50
	pienin	37	23	24	37
	suurin	86	100	80	59
pH	keskiarvo	4,3	3,9	4,0	4,0
	pienin	3,9	3,7	3,8	3,7
	suurin	4,9	4,2	4,3	4,3
vaihto- happamuus	keskiarvo	5,0	7,9	10,1	8,1
	pienin	1,0	5,0	3,8	5,9
	suurin	7,1	10,2	24,4	10,6
Sähkön- johtavuus	keskiarvo	13,8	14,4	12,7	12,2
	pienin	12,6	10,8	10,2	10,6
	suurin	15,4	21,4	13,9	14,4
Kationinvaihto- kapasiteetti	keskiarvo	27,2	31,8	39,0	43,1
	pienin	23,0	26,3	34,8	39,6
	suurin	29,1	38,2	44,8	48,5

Alumiinipitoisuus oli selvästi muuta aluetta korkeampi yhdellä alalla Pietarsaassa, minkä vuoksi humuksen alumiinipitoisuus oli keskimäärin suurin Pietarsaassa. Kokkolan-Ykspihlajan aloilla alumiinipitoisuus oli hieman korkeampi kuin ympäristön aloilla.

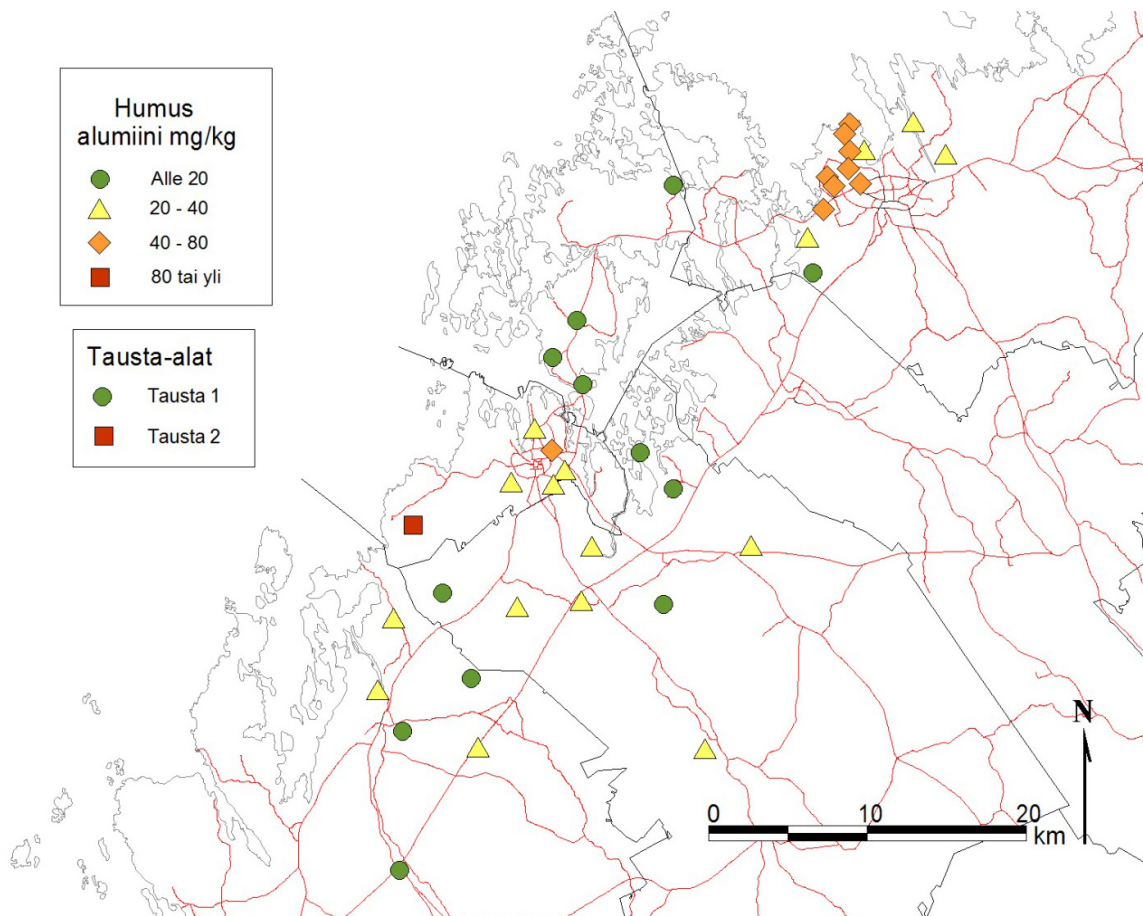
Boorin ja **kalsiumin** suurimmat yksittäiset pitoisuudet ja suurimmat keskiarvot havaittiin Luodossa. Boorin, kalsiumin, **kaliumin**, **magnesiumin**, **mangaanin**, **rikin** ja **fosforin** pitoisuudet näyttivät ilmentävän maaperän ravinnetilaa, eikä niinkään ulkoista kuormitusta.

Kadmiumin, **kuparin**, **raudan**, **nikkelin** ja **sinkin** pitoisuudet olivat Kokkolassa moninkertaisia muuhun alueeseen verrattuna. Raudan ja nikkelin kohonneita pitoisuuksia havaittiin myös Pietarsaassa, ja nikkelin kohonnut pitoisuus yhdellä alalla Luodossa. Sinkkipitoisuudet olivat Kokkolaa lukuun ottamatta muuta aluetta korkeampia Luodossa, missä saattaa näkyä Kokkolan vaikutus.

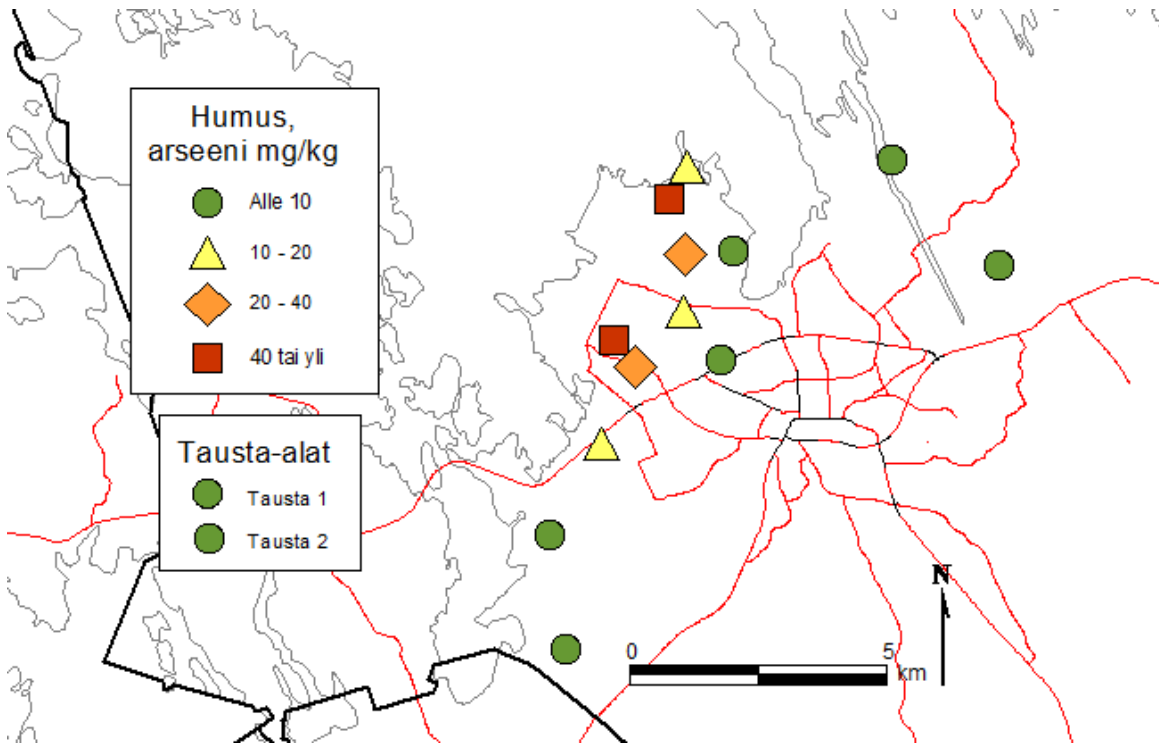
Korkeimmat **kromi-** ja **lyijypitoisuudet** havaittiin Pietarsaaren tutkimusaloilla. Kromin ja lyijyn pitoisuuksia ei analysoitu Kokkolan tutkimusaloilta.

Pietarsaaren aloilta ei havaittu PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisten maaperän metallipitoisuuksien alemman tai ylemmän ohjearvon ylityksiä.

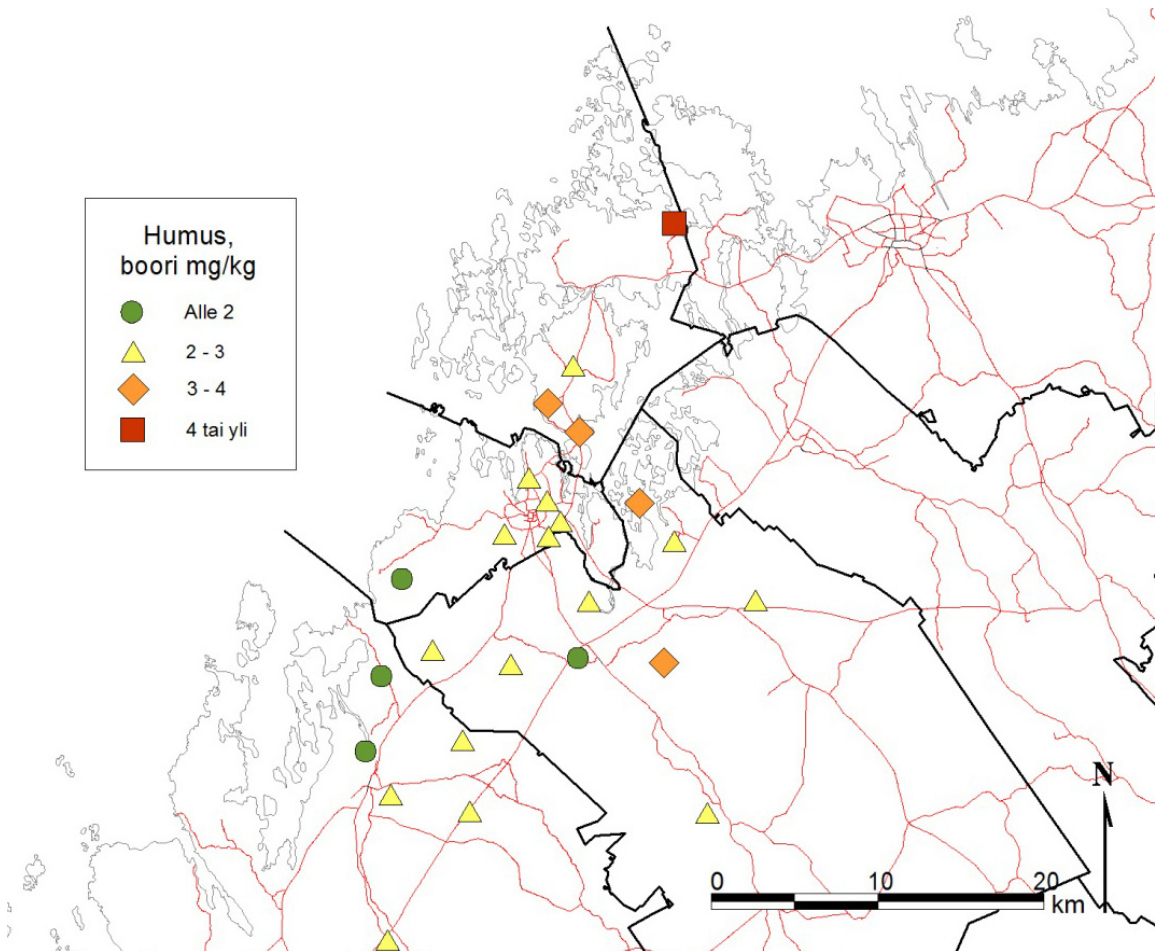
pH oli matalin Pedersöressä ja Kokkolassa, **vaihtohappamuus** Pietarsaassa. **Sähkönjohtavuus** oli korkein Pietarsaassa. **Kationinvaihtokapasiteetti** oli korkein Uusikaarlepyyssä ja alhaisin Kokkolassa.



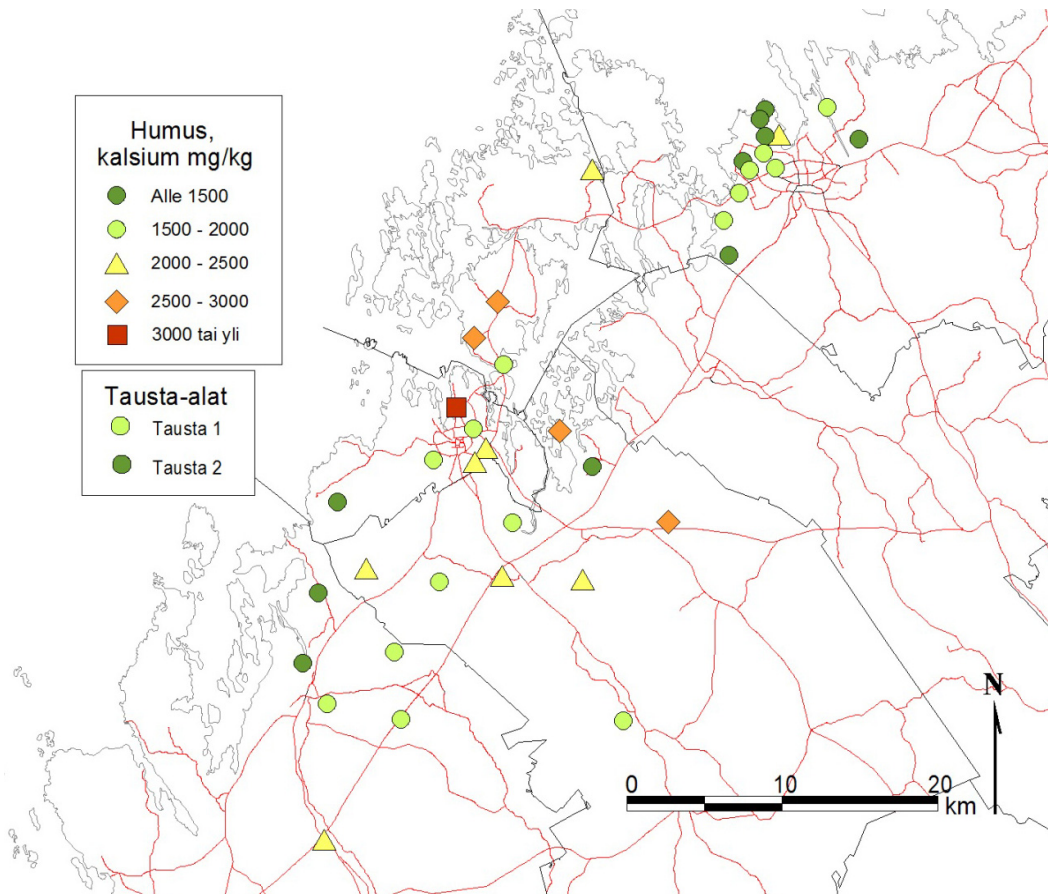
Kuva 75. Humuksen alumiinipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



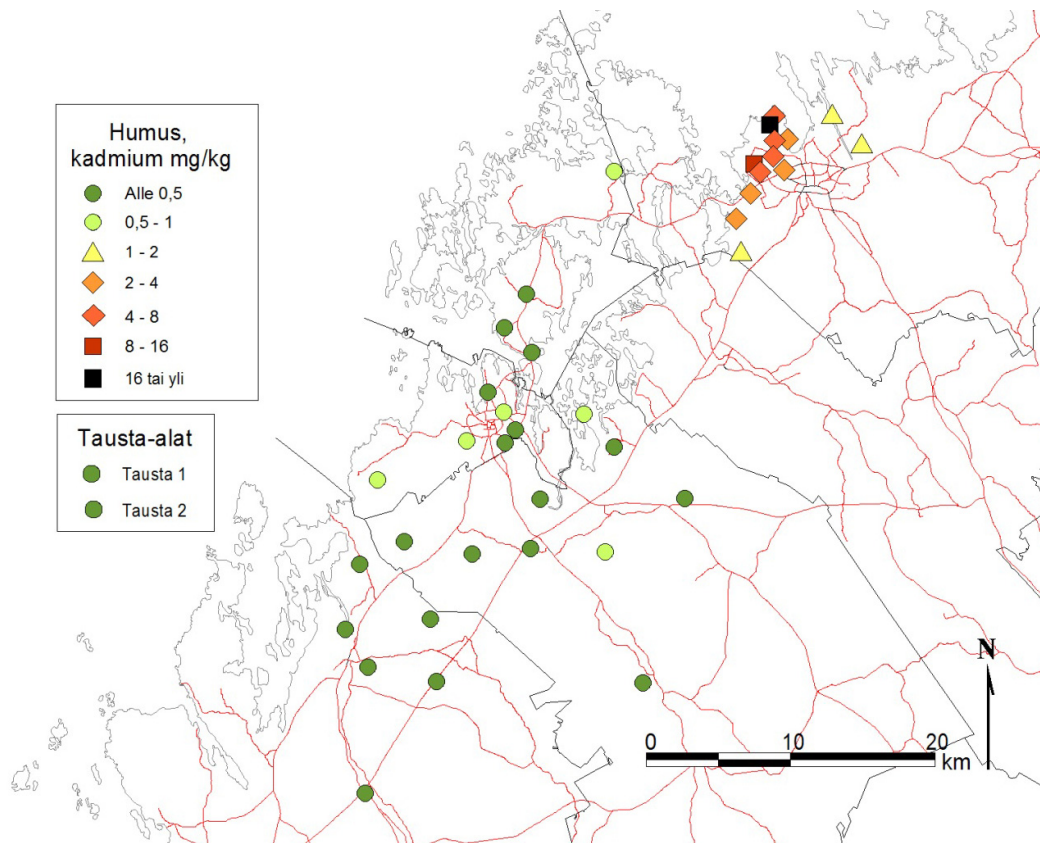
Kuva 76. Humuksen arseenipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



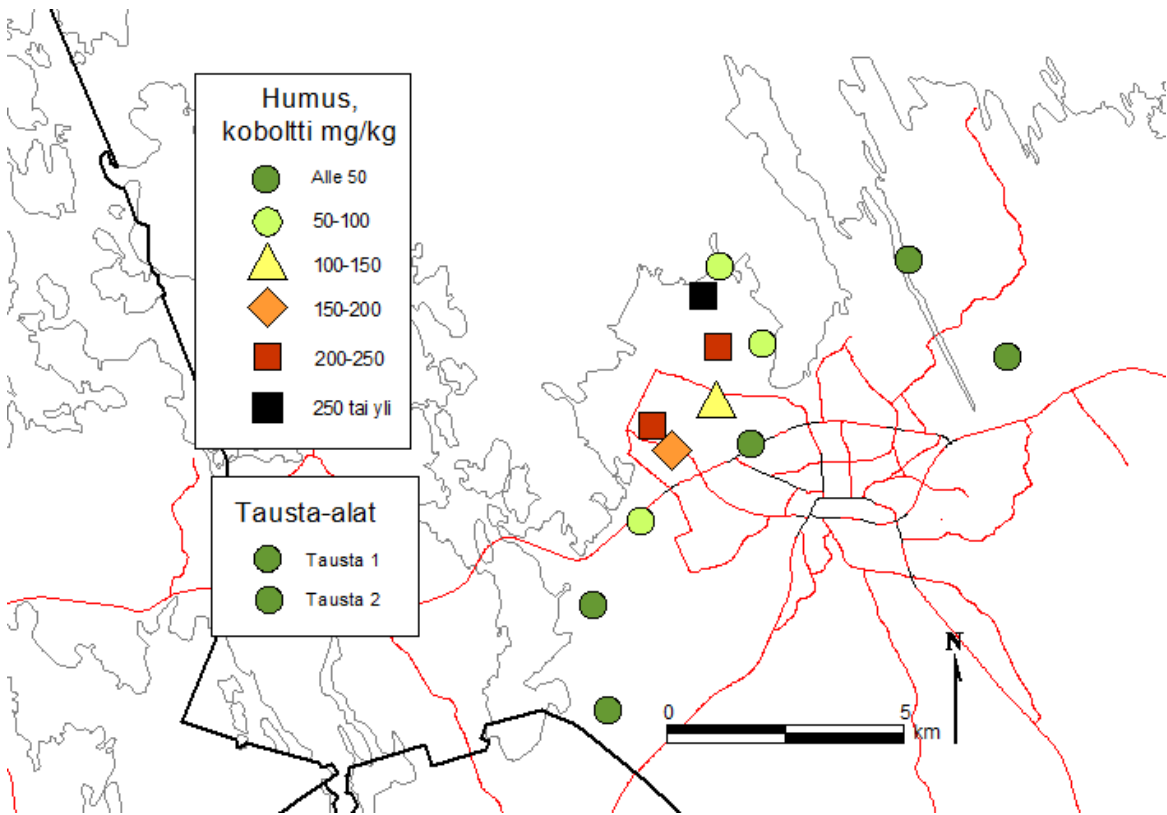
Kuva 77. Humuksen booripitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



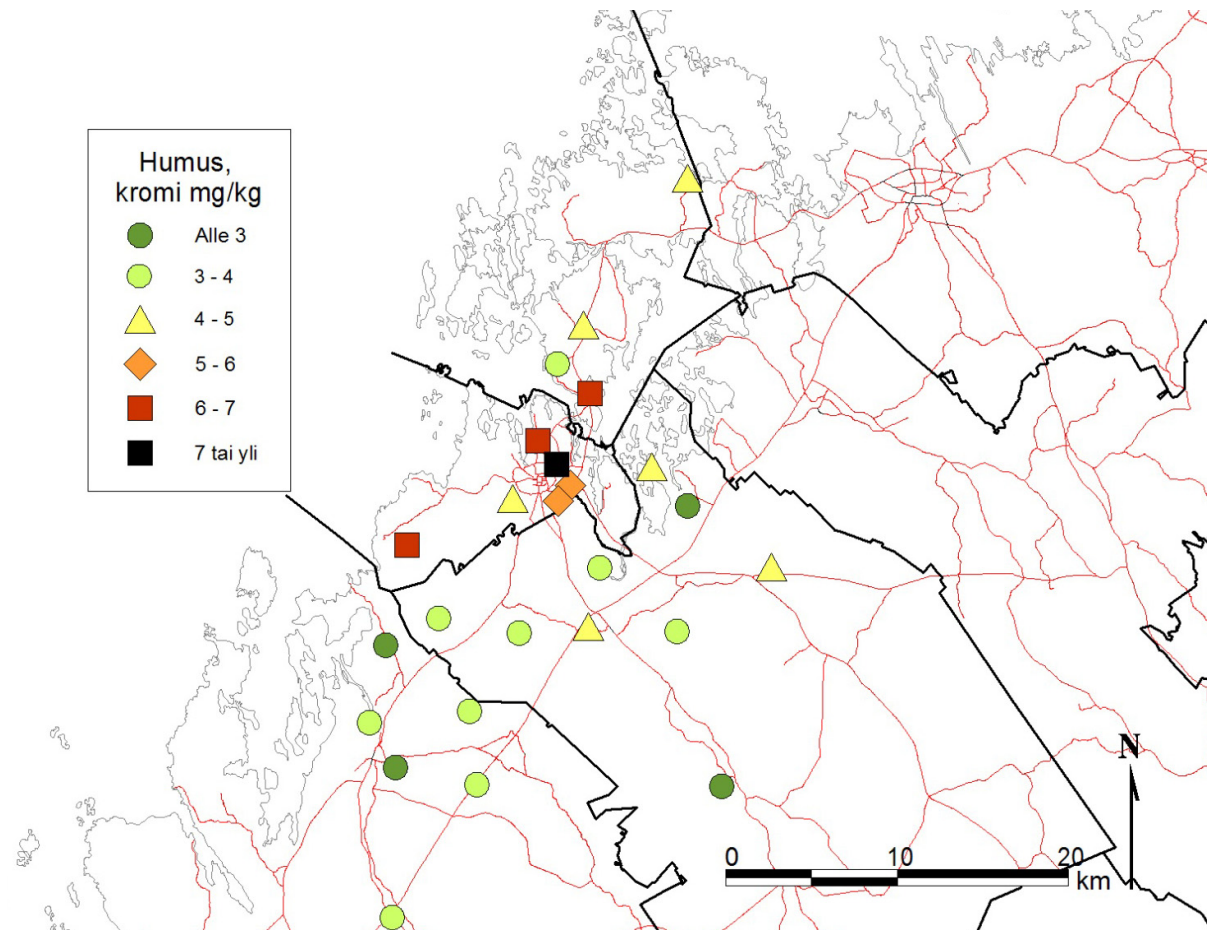
Kuva 78. Humuksen kalsiumpitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



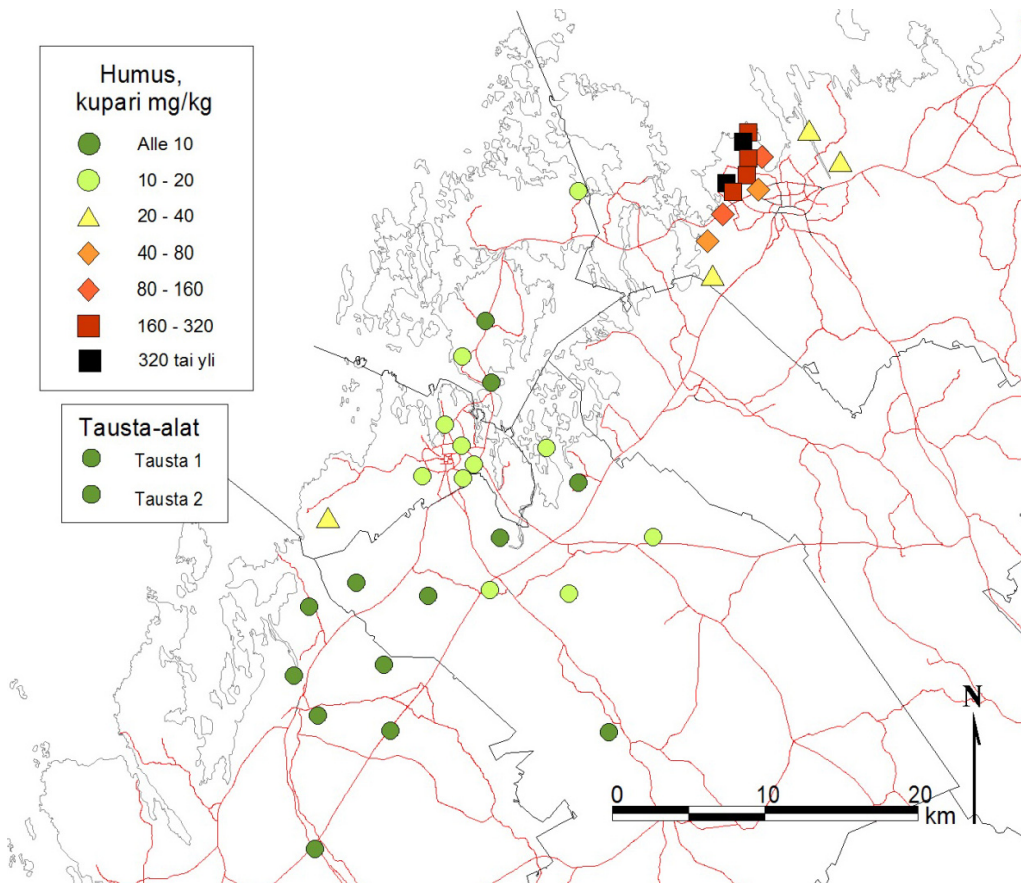
Kuva 79. Humuksen kadmiumpitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



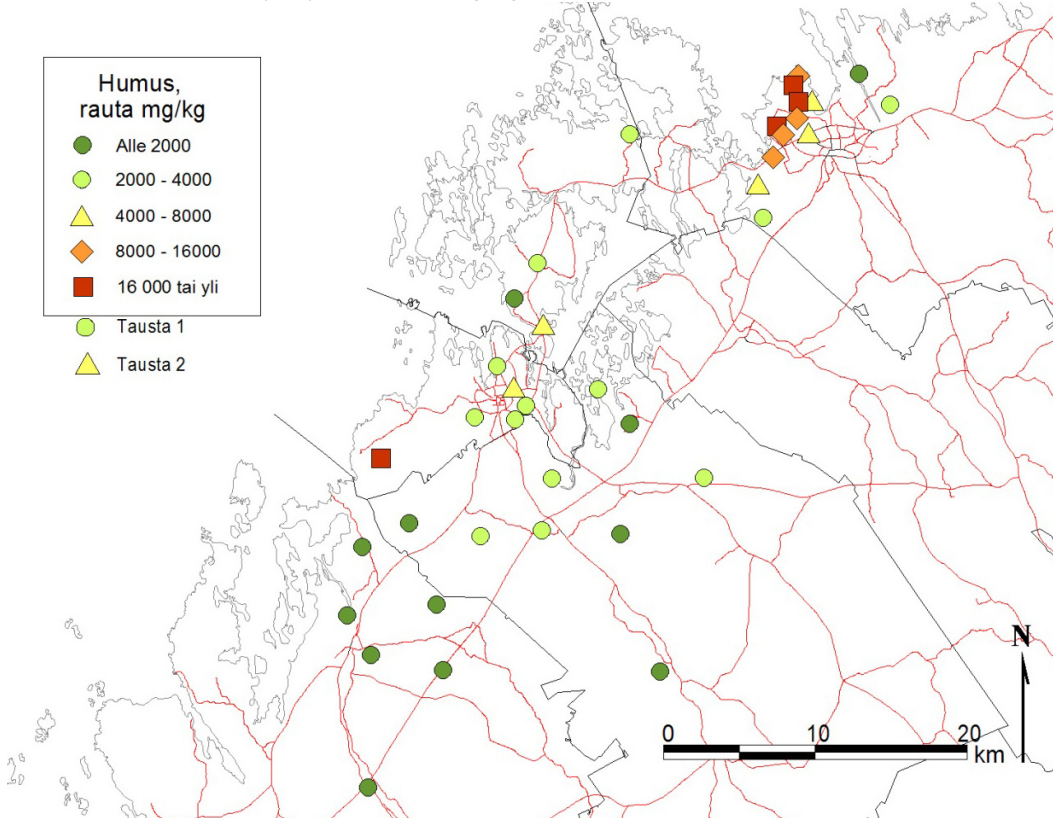
Kuva 80. Humuksen kobolttipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



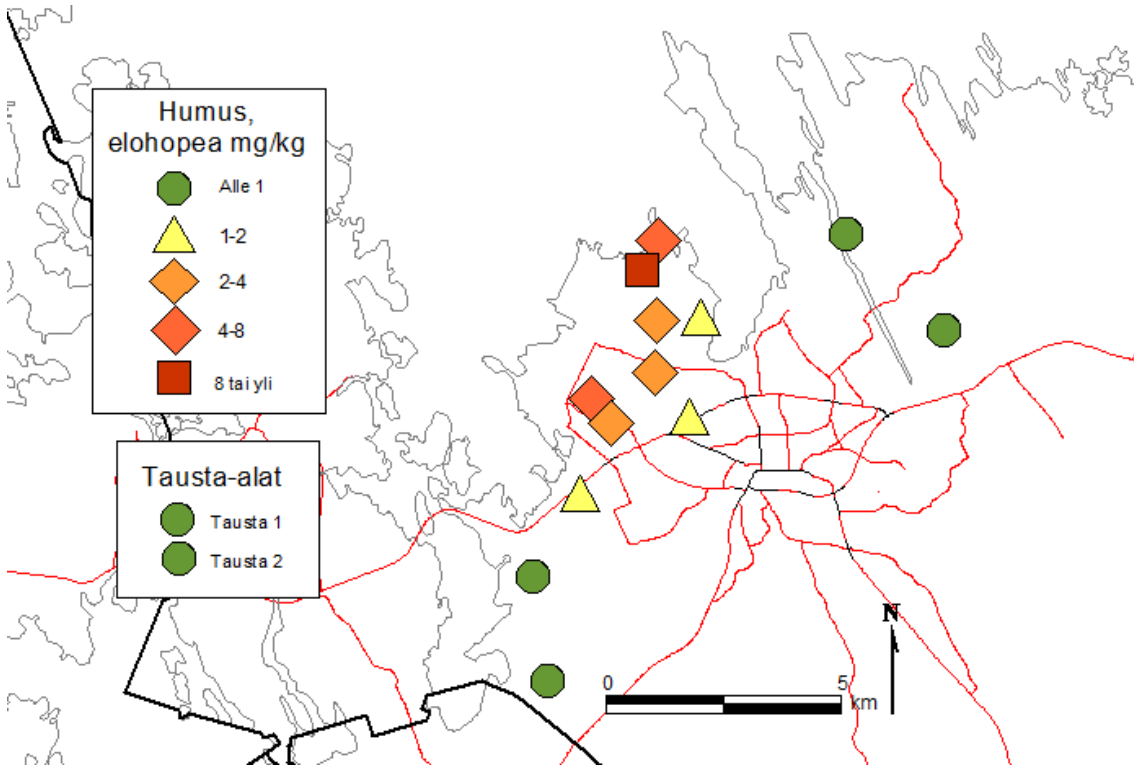
Kuva 81. Humuksen kromipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



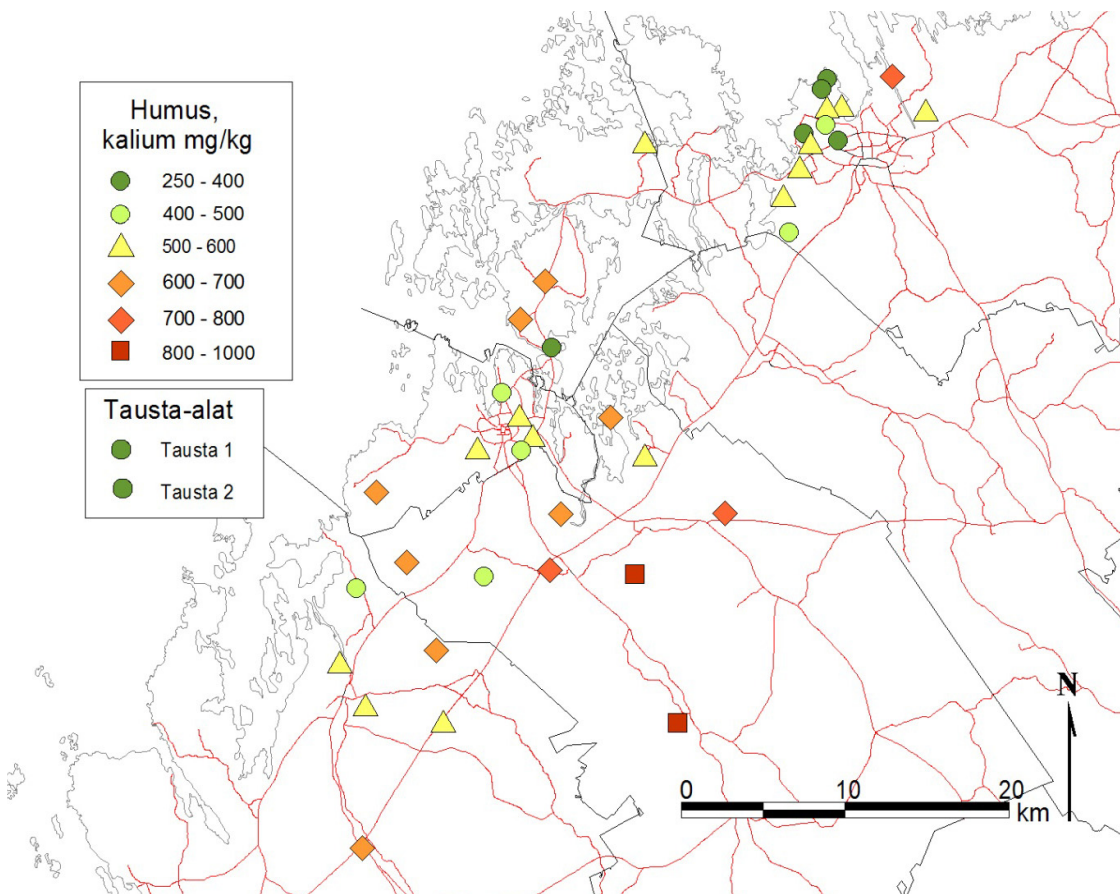
Kuva 82. Humuksen kuparipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



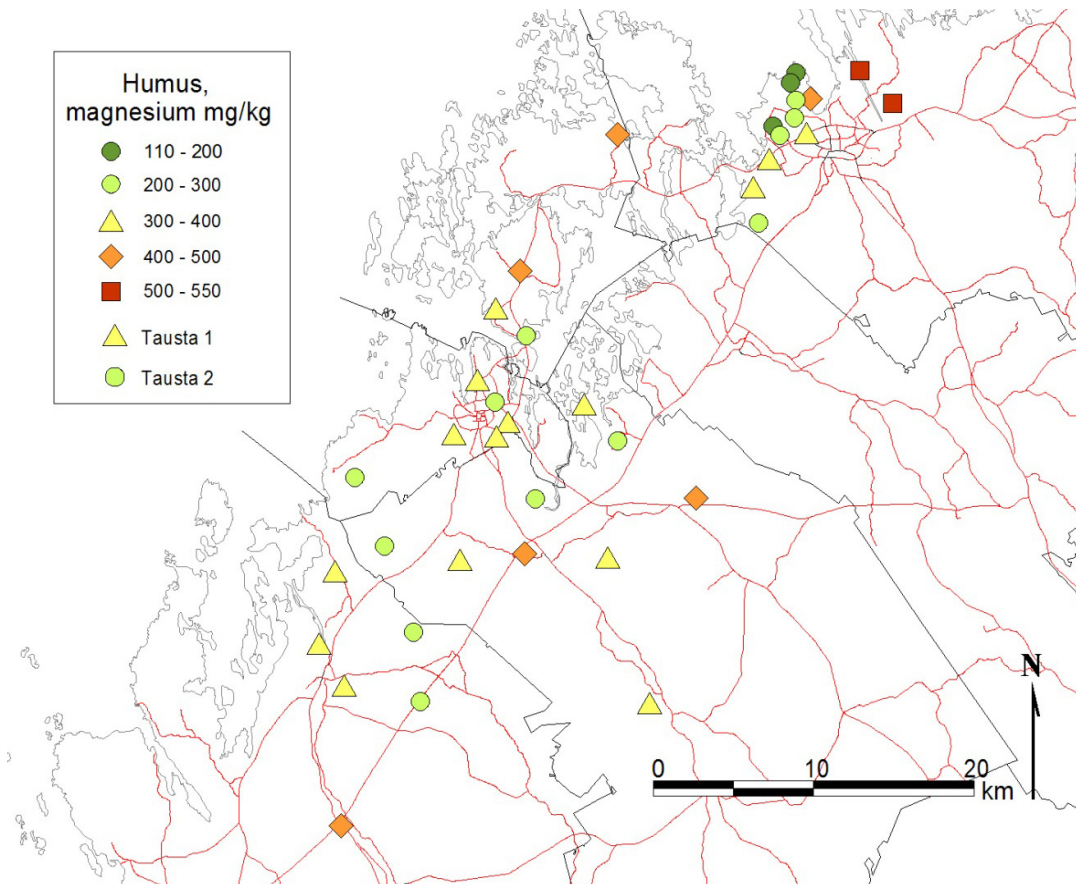
Kuva 83. Humuksen rautapitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



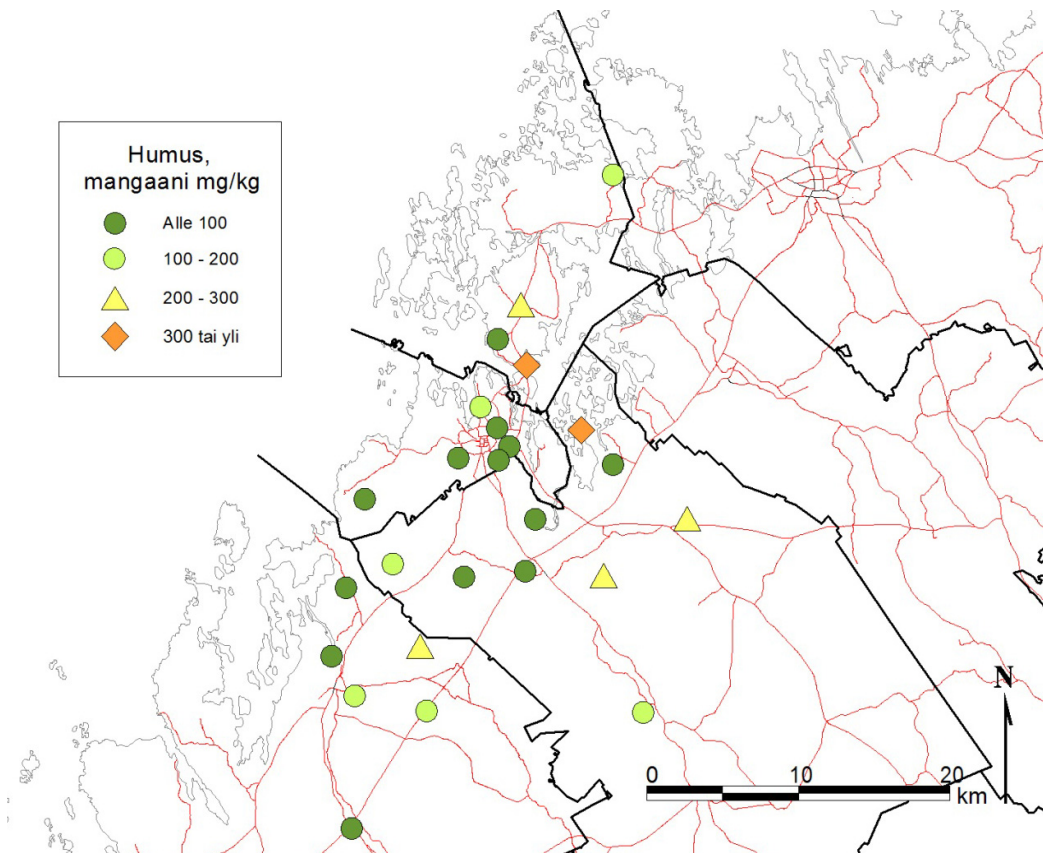
Kuva 84. Humuksen elohopeapitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



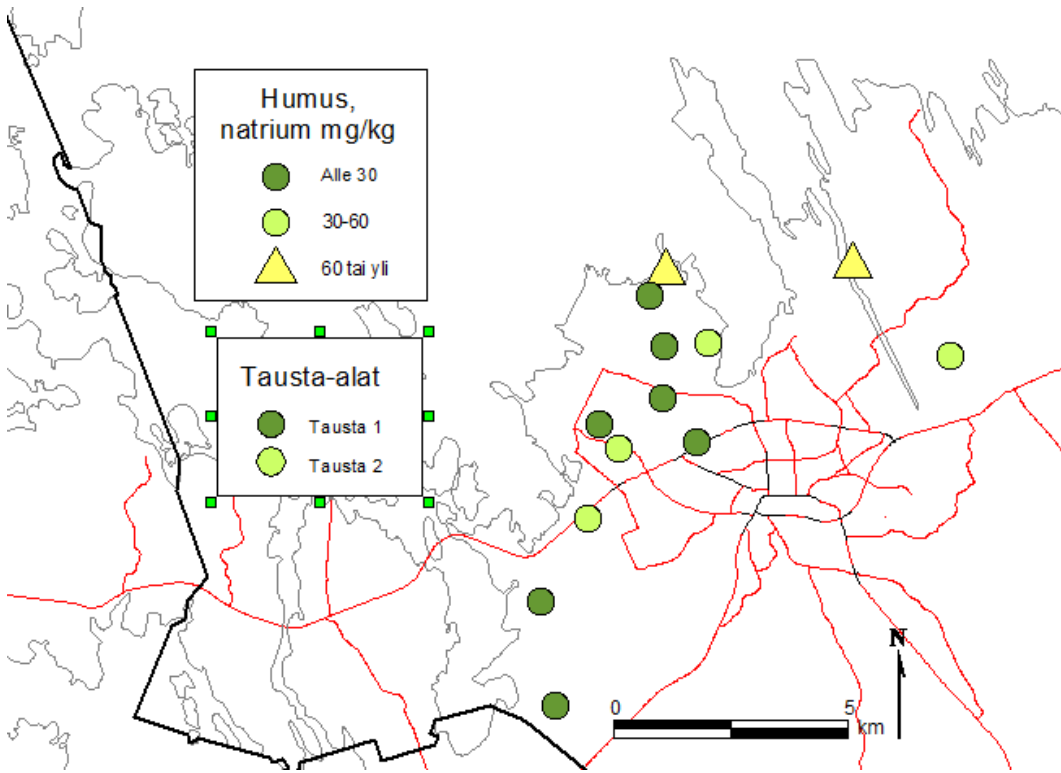
Kuva 85. Humuksen kaliumpitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



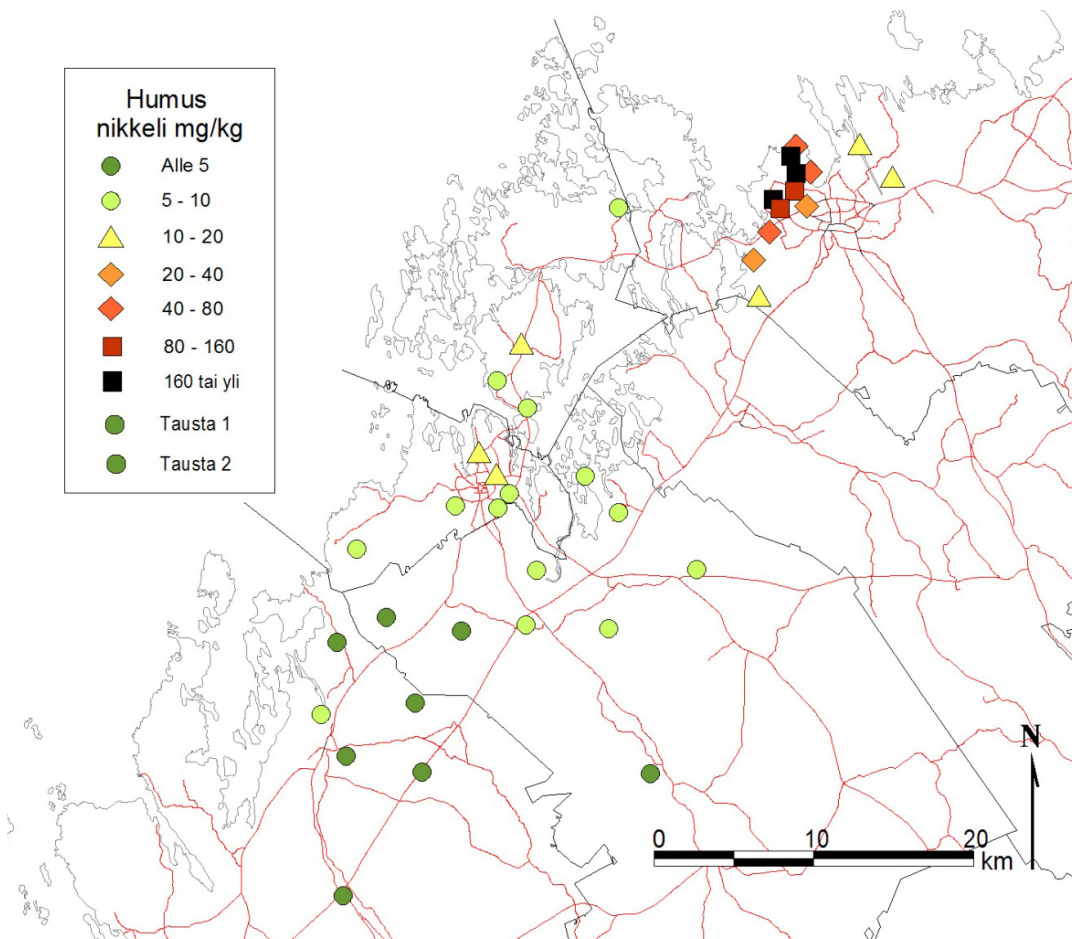
Kuva 86. Humuksen magnesiumipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



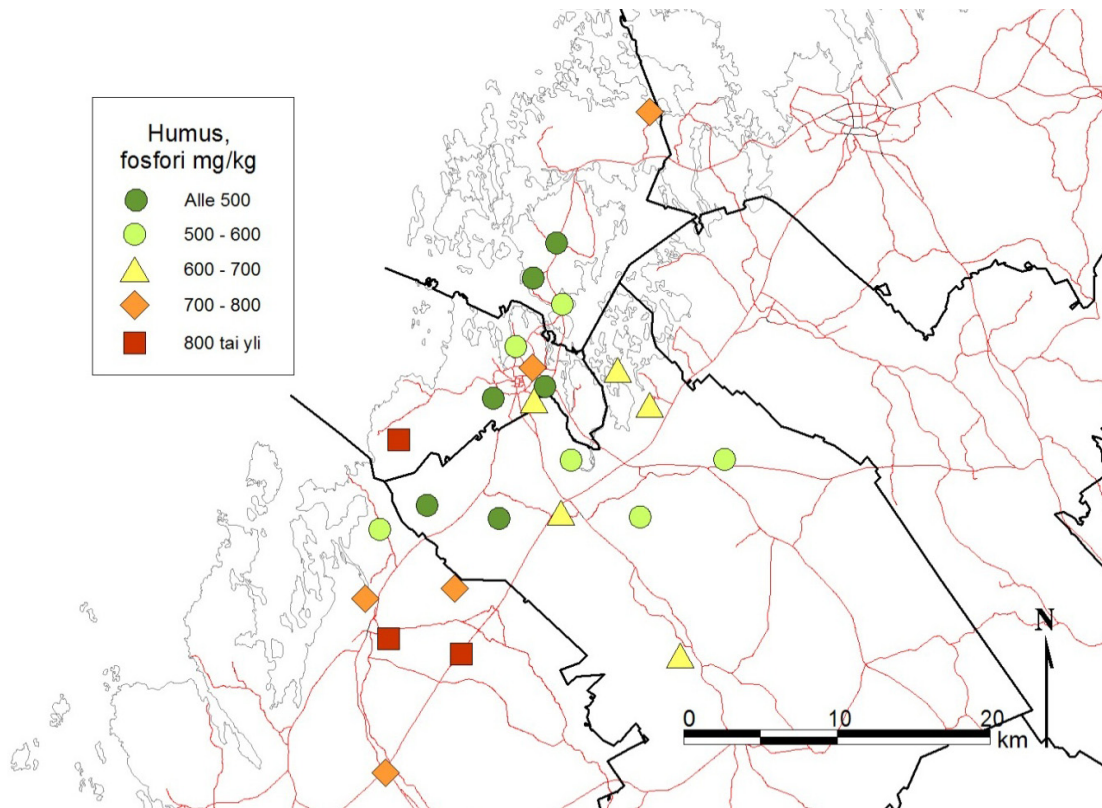
Kuva 87. Humuksen mangaanipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



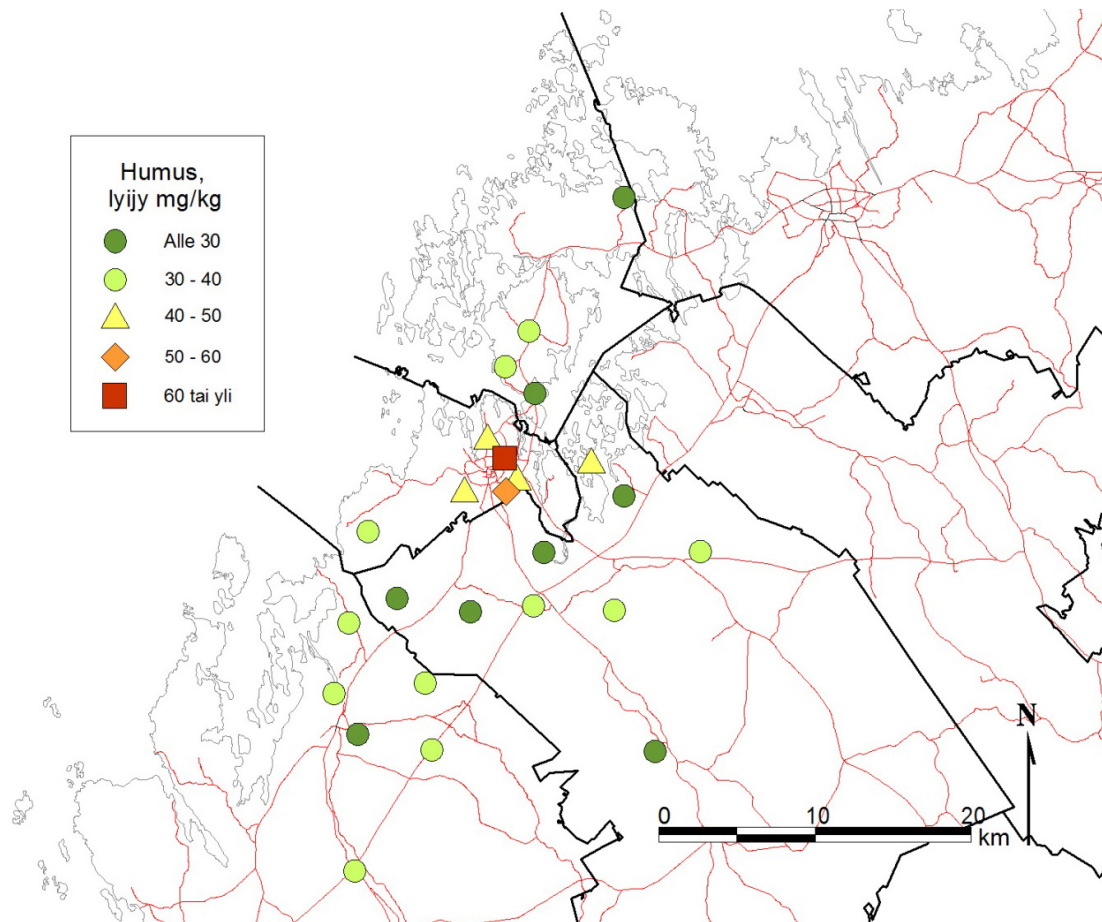
Kuva 88. Humuksen natriumpitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



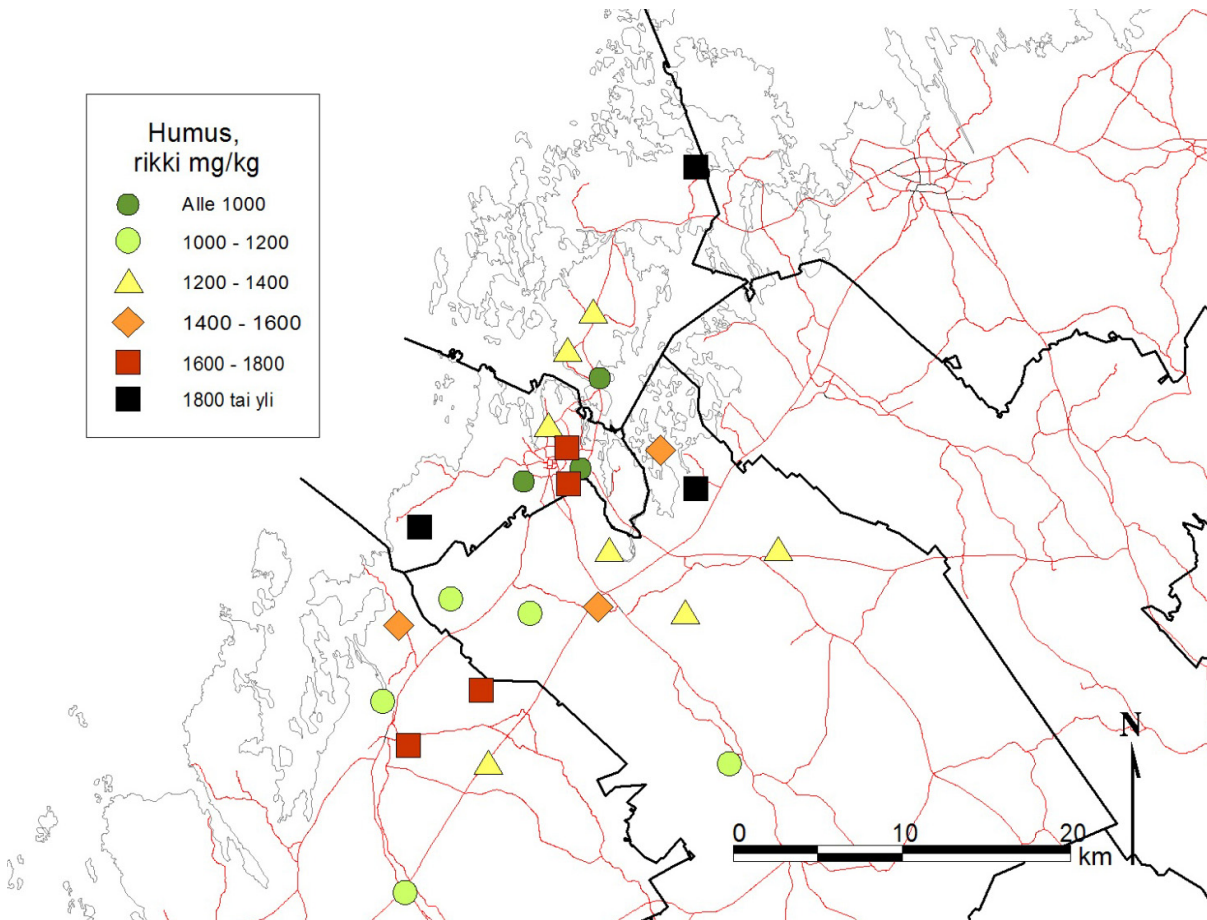
Kuva 89. Humuksen nikkelpitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



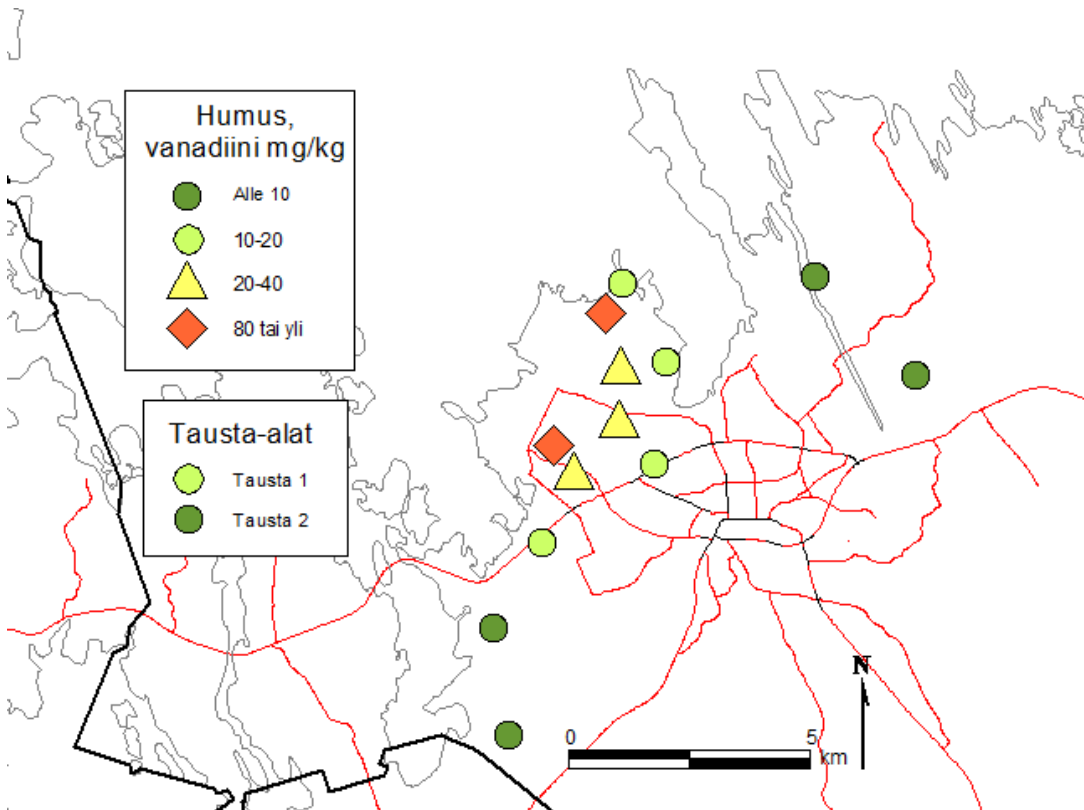
Kuva 90. Humuksen fosforipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



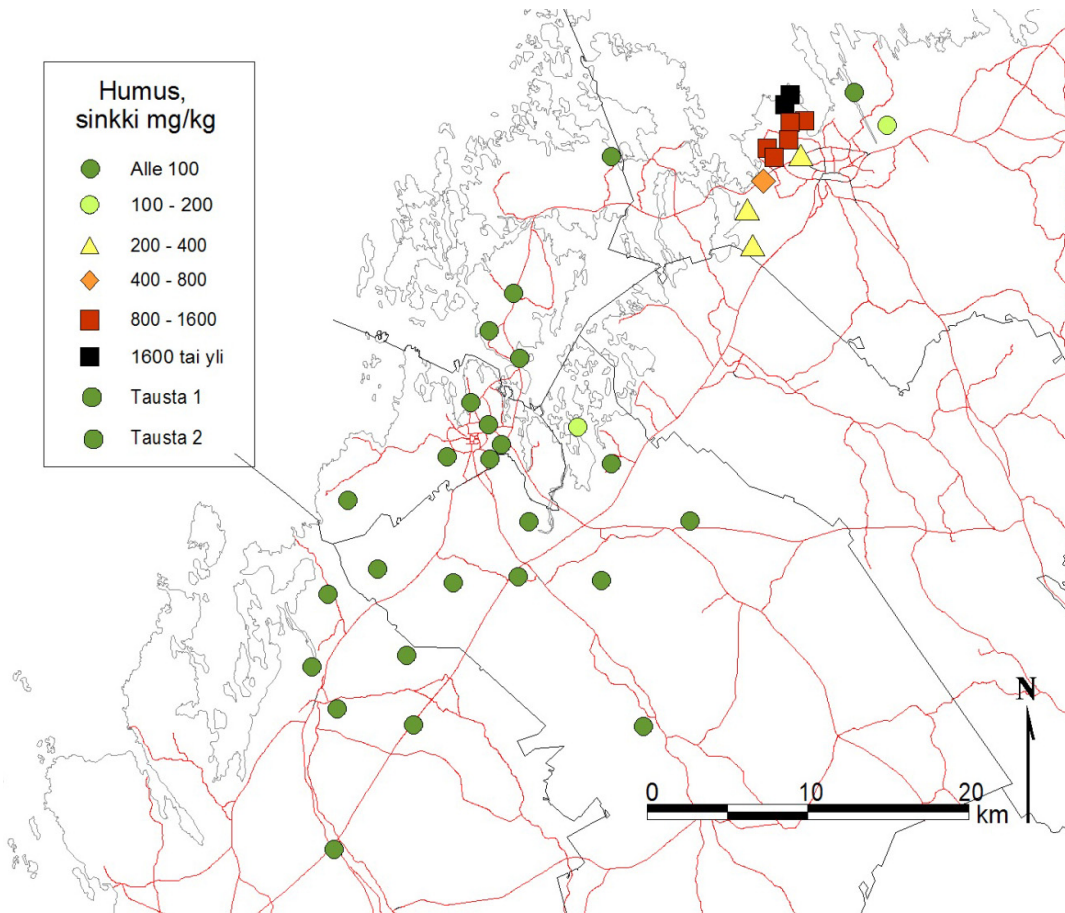
Kuva 91. Humuksen lyijypitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



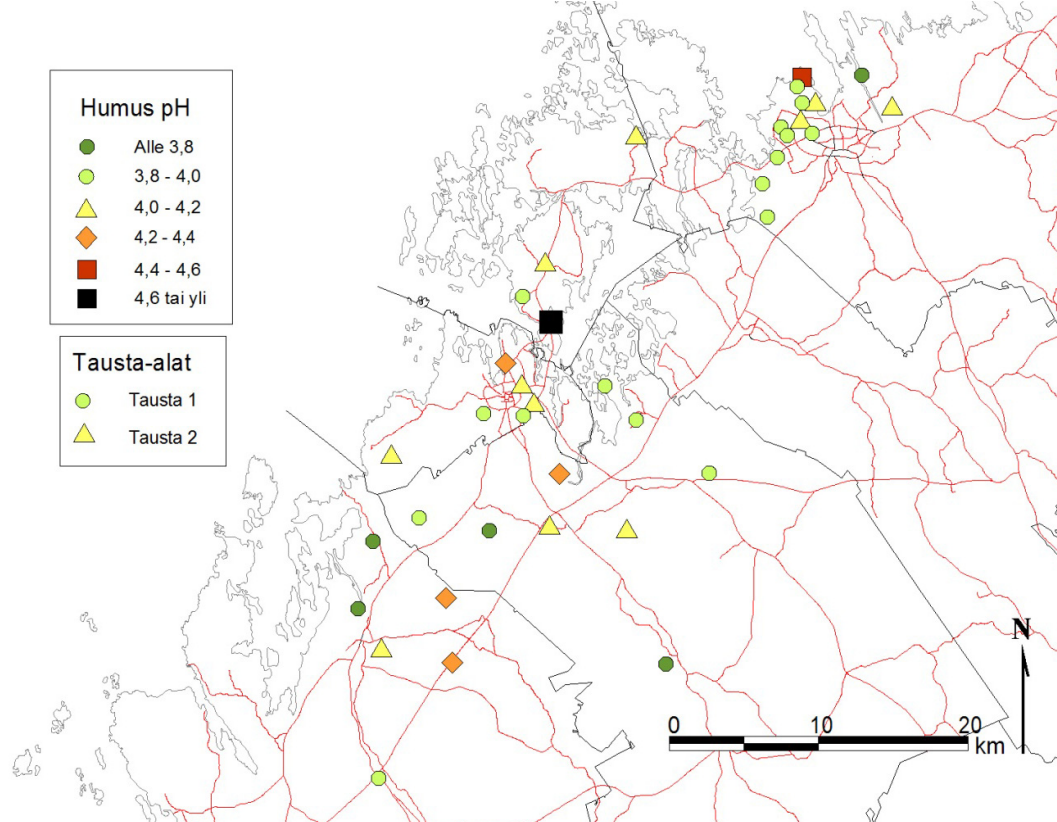
Kuva 92. Humuksen rikkipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



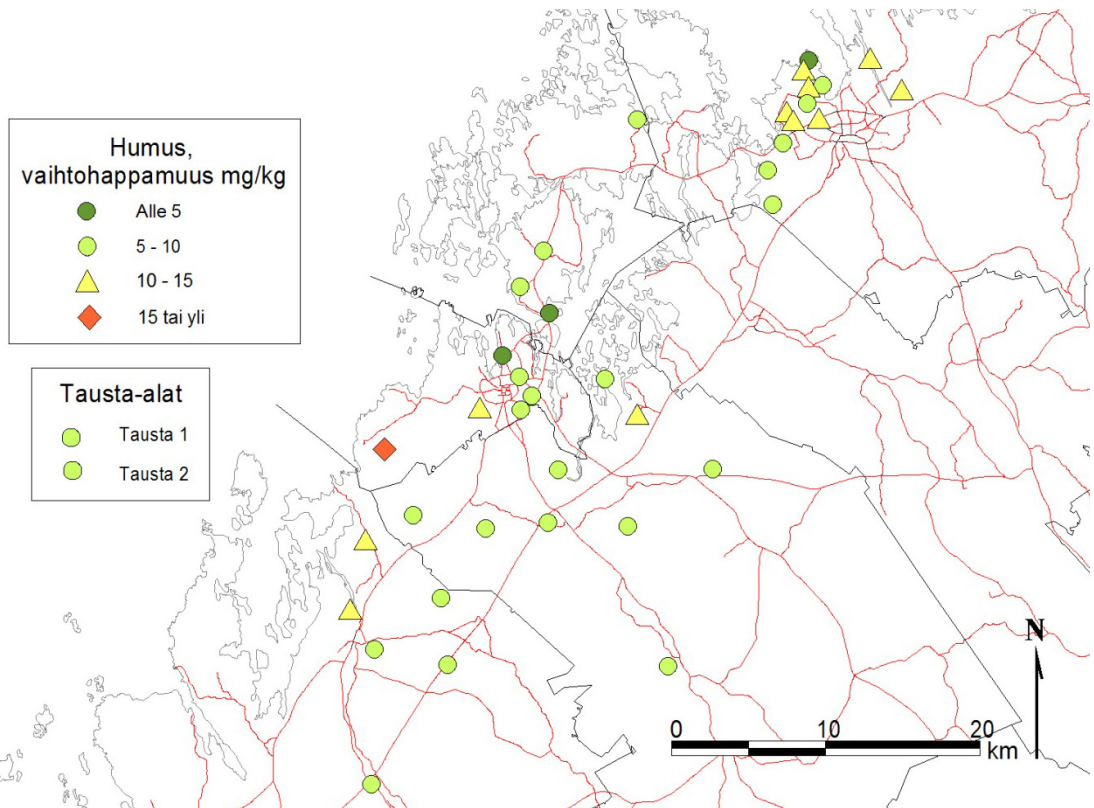
Kuva 93. Humuksen vanadiinipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



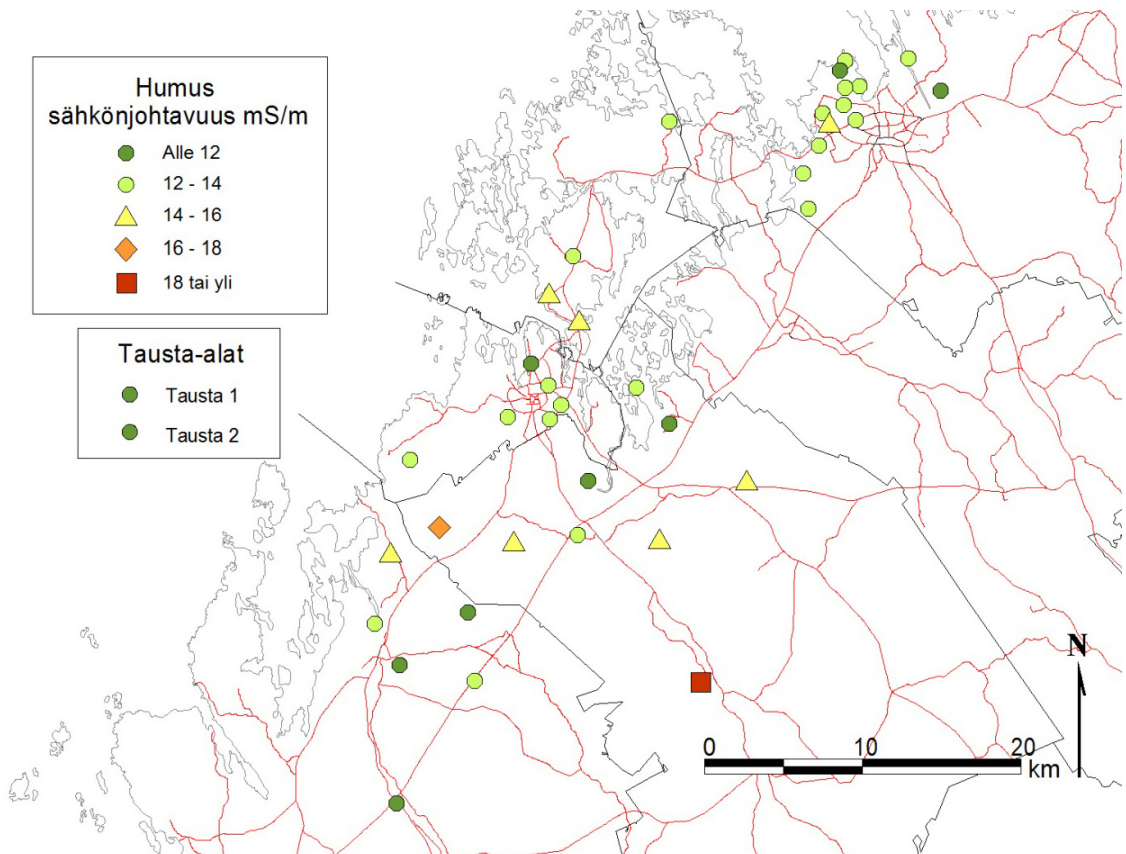
Kuva 94. Humuksen sinkkipitoisuudet (mg/kg) tutkimusaloilla vuonna 2012.



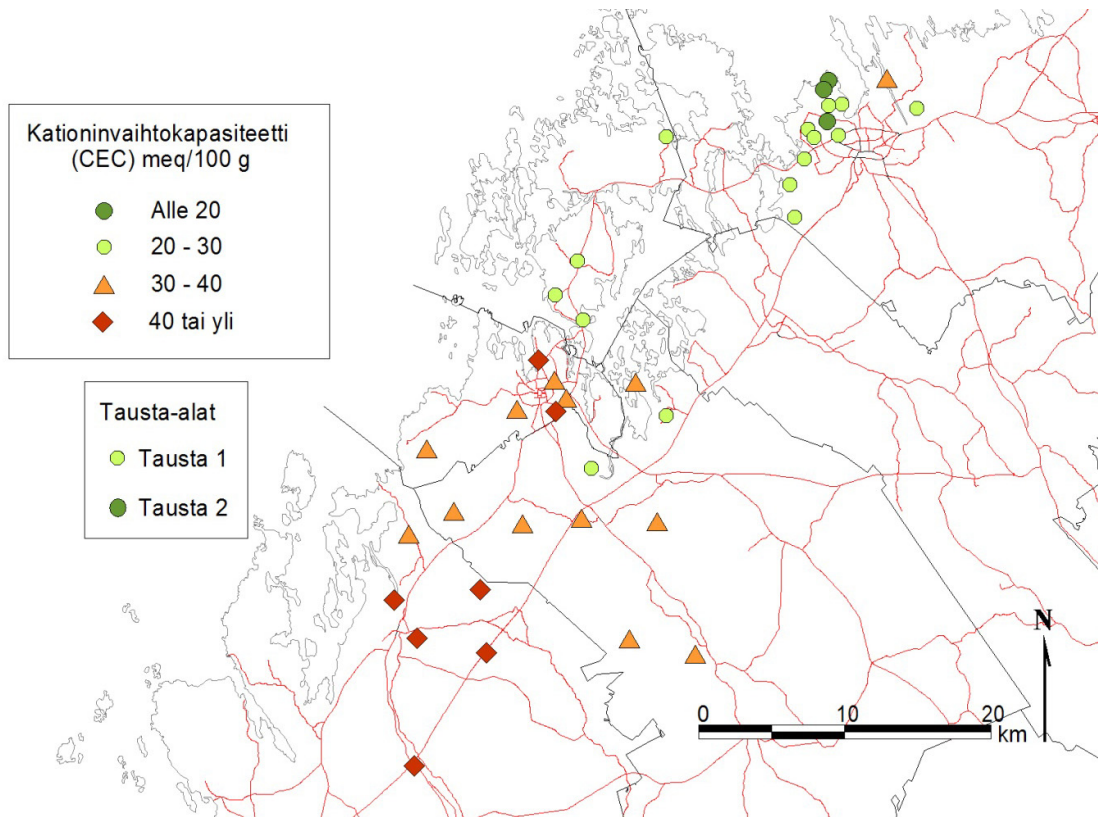
Kuva 95. Humuksen pH tutkimusaloilla vuonna 2012.



Kuva 96. Humuksen vaihtohappamuus (mekv/100 g) tutkimusaloilla vuonna 2012.



Kuva 97. Humuksen sähkönjohtavuus (mS/m) tutkimusaloilla vuonna 2012.



Kuva 98. Humuksen kationinvaihtokapasiteetti (meq/100 g) tutkimusaloilla vuonna 2012.

5. Tulosten tarkastelu

Tässä luvussa tarkastellaan saatuja tuloksia, tuloksiin vaikuttaneita tekijöitä ja tulosten välillä havaittavaa yhteisvaihtelua tilastollisten menetelmien avulla. Luvussa 5.1 tarkastellaan taustamuuttujien vaikutusta, luvussa 5.2 neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien yhteisvaihtelua ja luvussa 5.3 humusmuuttujien välisiä korrelaatioita.

5.1 Jäkälämuuttujien tilastollinen tarkastelu

Tutkimusalan luonnonolosuhteita kuvaavilla muuttujilla ja ilmanlaatua ja päästölähteitä kuvaavilla muuttujilla on todettu olevan tilastollisesti merkitsevä yhteys jäkäläindikaattoreihin muualla Suomessa toteutetuissa ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa (esim. Lehtonen ym. 2013, Lehtonen ym. 2012, Huuskonen ym. 2010, Laita ym. 2008a ja b). Seuraavassa tarkastellaan erikseen luokiteltujen muuttujien vaikutusta jäkälämuuttujiin sekä jatkuvien muuttujien vaikutusta regressioanalyysien avulla.

5.1.1 Luokiteltujen muuttujien vaikutus

Luokiteltujen muuttujien vaikutusta jäkälämuuttujiin tarkasteltiin ei-parametrisellä Kruskal-Wallisn varianssianalyysillä, joka kertoo, eroavatko eri luokkien varianssit toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Tarkastellut luokitellut muuttujat olivat metsikön soveltuvuus, metsätyyppi, kehitysluokka, sijoittuminen lupavelvollisen päästölähteen puskurille 1, 2 ja 5 km:n etäisyyksillä sekä lähimmän päästölähteen ja lähimmän lupavelvollisen päästölähteen toimialat. Lupavelvolliset päästölähteet on esitetty kuvassa 5 luvussa 2.2.1, kaikki alueen tarkasteluissa mukana olleet päästölähteet on esitetty kuvassa 4. Testitulokset on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Taustamuuttujien suhteen tarkasteltujen jäkälämuuttujien Kruskal-Wallisn varianssianalyysin merkitsevyytasot (p). Melkein merkitsevä (p < 0,05) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä (p < 0,01) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä (p < 0,001) kolmella (***)

	Metsä- tyyppi	Kehitys- luokka	Soveltuvuus	puskuri 1km	puskuri 2km	puskuri 5km	Lähimmän päästölähteen toimiala	Lähimmän lupavelvollisen päästölähteen toimiala
IAP	0,000***	0,176	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,409
Lajilukumäärä/ala	0,000***	0,067	0,000***	0,000***	0,001**	0,000***	0,000***	0,404
Lajilukumäärä/puu	0,000***	0,257	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,446
Sormipaisukarpeen vaurioaste	0,000***	0,375	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,003**	0,000***
Yleinen vaurioaste	0,000***	0,001**	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,001**
Levän yleisyys	0,000***	0,021*	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,283	0,014*
Sormipaisukarpeen peittävyys	0,29*	0,337	0,571	0,094	0,12	0,239	0,000***	0,000***
Luppojen peittävyys	0,107	0,502	0,28*	0,118	0,067	0,042*	0,081	0,020*

Metsätyyppi kuvaa kasvupaikkaa suhteessa sen ravinteisuuteen ja vesitalouteen. Jäkälät menestyvät rehevämmillä metsätyypeillä yleensä huonommin kuin karummilla, sillä jäkälät suosivat valoisia kasvupaikkoja, ja rehevillä kasvupaikoilla puusto on yleensä tiheämpää ja aluskasvillisuus yleisempää kuin karummilla. Tässä tutkimuksessa metsätyypeillä oli vaikutusta IAP-indeksiin, lajilukumäärien, sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, levän yleisyyden ja sormipaisukarpeen peittävyyden jakaumiin. Luppojen peittävyys oli ainut tarkasteltu jäkälämuuttuja, johon metsätyyppi ei vaikuttanut. Lajilukumäärä oli suurempi ja täten myös IAP-indeksiin arvo keskimäärin korkeampi karummissa metsätyypeissä (CT, VT) verrattuna rehevämpiin metsätyypeihin (MT, OMT). Sormipaisukarpeen vaurio ja yleinen vaurio olivat pienempiä karummilla metsätyypeillä verrattuna rehevämpiin metsätyypeihin. Sormipaisukarpeen peit-

tävyys ja sitä vastoin oli hieman suurempi rehevämmissä kasvupaikoilla, samoin levä oli yleisempää rehevämmissä kasvupaikoilla kuin karuilla.

Muuttujien jakaumaan metsätyyppien suhteen vaikuttaa myös se, että rehevämpien metsätyyppien alat sijoittuvat useammin päästölähteiden läheisyyteen kuin karujen metsätyyppien alat (alan sijoittuminen 2 km:n puskurille, $X^2 = 38,472$, $df = 4$, $p < 0,001$). Tämä johtuu siitä, että tutkimusalaverkoston ollessa tiheämpi päästölähteiden lähellä ei näillä alueilla ole yhtä paljon mahdollisuuksia alan valintaan jäkälälajiston optimaalisten kasvuolosuhteiden kannalta - päästölähteiden lähellä joudutaan vähäisen valinnanvaran vuoksi tekemään kompromisseja alan ”hyvyyden” suhteen.

Metsän **kehitysluokka** arvioitiin asteikolla nuori-varttunut-kypsä. Jäkäläkartoitusalat pyritään yleensä perustamaan kypsiin tai varttuneisiin metsiköihin, sillä puiden ikä näyttää vaikuttavan lajistosuhteisiin; nuorilla männyillä sormipaisukarve on yleensä peittävämpi kuin vanhoilla, ja herkkien indikaattorilajien esiintyminen nuorissa metsissä on vähäisempää kuin vanhoissa. Kehitysluokalla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus yleiseen vaurioasteeseen ja levän yleisyyteen. Levä oli yleisempää varttuneissa metsissä kuin kypsissä metsissä, ja yleinen vaurioaste oli varttuneissa metsissä suurempi kuin kypsissä.

Metsikön **soveltuvuus** jäkäläkartoitukseen on tutkijan subjektiivinen kokonaisarvio siitä, kuinka hyvät kasvuolosuhteet tutkimusalalla vallitsevat männyn runkojäkälien kannalta. Jäkälän kasvuolosuhteita huonontavat liika varjoisuus, paahteisuus tai epäsuotuisat mikroilmastolliset tekijät, ja niitä arvioidaan puuston iän, puulajisuhteiden, metsätyyppien, puuston pohjapinta-alan ja pituuden perusteella. Havaintoalan soveltuvuus on havainnoijan subjektiivinen arvio siitä, kuinka paljon nämä tekijät vaikuttavat jäkälien kasvuolosuhteisiin. Soveltuvuudeltaan hyväksi luokitellussa metsikössä vaikutus oletetaan vähäiseksi, soveltuvuudeltaan kohtalaisessa metsikössä taustamuuttujilla on havaittavaa vaikutusta jäkäliin, ja soveltuvuudeltaan huonossa metsikössä taustamuuttujien vaikutus on suuri. Soveltuvuudella oli tässä tutkimuksessa vaikutusta IAP-indeksiin, lajilukumääriin, vaurioasteisiin, levän yleisyyteen ja luppojen peittävyysasteeseen. IAP-indeksi ja lajilukumäärä oli suurempi soveltuvuudeltaan hyvissä kuin kohtalaisissa tai huonoissa metsiköissä, vaurioasteet olivat soveltuvuudeltaan hyvissä metsiköissä pienempiä kuin muissa, levää esiintyi soveltuvuudeltaan hyvissä metsiköissä vähemmän kuin muissa, ja luppojen peittävyys oli soveltuvuudeltaan hyvissä metsiköissä suurempi kuin muissa. Muuttujien jakautumiseen soveltuvuuden suhteen vaikuttaa sama asia kuin metsätyyppien suhteen, eli päästölähteiden läheisyydessä alat ovat useammin soveltuvuudeltaan kohtalaisia tai huonoja kuin kauempana niistä (alan sijoittuminen lupavelvollisen laitoksen 2 km puskuriin, $X^2 = 9,872$, $df = 2$, $p < 0,05$).

Alan sijoittumisella lupavelvollisen päästölähteen 1, 2 tai 5 km:n puskurille oli vaikutusta kaikissa luokissa IAP-indeksiin, lajilukumääriin, vaurioihin ja levän yleisyyteen. 5 km:n puskurilla vaikutusta oli myös luppojen peittävyysasteeseen. Tutkimusalat luokiteltuna sen mukaan, kuuluvatko ne lupavelvollisen päästölähteen puskuriin, on esitetty taulukossa 27. Alan sijoittuminen puskurille huononsi kaikilla etäisyyksillä IAP-indeksiä, laski lajilukumäärää, kasvatti vaurioastetta ja kasvatti levän esiintymisen yleisyyttä.

Lähimmän päästölähteen toimialalla oli tilastollisesti merkitsevä yhteys IAP-indeksiin, lajilukumääriin, vaurioihin ja sormipaisukarpeen peittävyysasteeseen. Jäkälätunnukset on esitetty taulukoituna lähimmän päästölähteen toimialan mukaan taulukossa 28. Pienen havaintomäärän takia elintarvikkeiden ja rehujen valmistus, kemianteollisuus ja metsäteollisuus sekä satamat yhdistettiin luokkaan ”teollisuusalueet ja muu toiminta”. Näin tarkasteltuna selvin vaikutus jäkälämuuttujiin oli energiantuotannolla, ympäristöpalvelutoiminnalla (jätevedenkäsittely, kaatopaikat, maankaatopaikat), metalliteollisuudella ja turkistarhoilla. Kun tutkimusalan lähin päästölähde oli jokin edellä mainituista, oli tutkimusalan lajisto köyhtyneempää, vauriot suurempia ja sormipaisukarpeen peittävyys pienempi kuin alueella keskimäärin. Sen sijaan ampu-maratojen, eläinsuojien (nauta, sika), VOC-päästöjä aiheuttavien laitosten, maa-ainesten käsittelyyn liittyvää toimintaa harjoittavien laitosten (mineraalituotteiden valmistus, kivenlouhinta, murskaamot, asfaltiasemat, kalkkikiven jauhatus) ja turvetuotantoalueiden läheisyydessä jäkälätunnukset olivat samalla tasolla kuin alueella keskimäärin, tai parempia. Myöskään teollisuuslaitosten ryhmän läheisten alojen jäkälätunnukset eivät poikenneet keskiarvosta. Ryhmään oli tässä tarkastelussa yhdistetty kemianteollisuus, metsäteollisuus, elintarvikkeiden ja rehujen valmistus, satamat ja pienteollisuusalueet, eli ryhmä oli varsin heterogeeninen. Yhdistäminen oli kuitenkin välttämätöntä, jotta havaintojen määrä oli riittävä analyysien

tekemiselle. Todennäköisesti ryhmän heterogeenisyyden takia jäkälätunnukset eivät poikenneet alueen keskiarvosta. Kuitenkin kun tarkasteltiin pelkästään alojen etäisyyttä lähimpään lupavelvolliseen laitokseen ja ryhmiteltiin havainnot toimialoittain, havaittiin, että niillä aloilla, joita lähin lupavelvollinen laitos kuului kemianteollisuuden tai metsäteollisuuden toimialaan, olivat jäkälätunnukset huonompia kuin muissa ryhmissä, eli kemianteollisuuden ja metsäteollisuuden laitosten läheisyys vaikutti jäkälätunnuksiin niitä huonontavasti.

Taulukko 27. Jäkälätunnukset tutkimusaloittain luokiteltuna sen mukaan, sijaitseeko ala lupavelvollisen laitoksen läheisyydessä 1, 2 tai 5:n km:n etäisyydellä siitä. Ei = ala sijaitsee tarkasteluetaisyyttä kauempana, kyllä = ala sijaitsee tarkasteluetaisyyden sisäpuolella.

		1 km puskuri		2 km puskuri		5 km puskuri	
		ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä
N		222	16	204	34	151	87
IAP-indeksi	Pienin	0	0	0,5	0	0,5	0
	Suurin	4,28	2,23	4,28	3,21	4,28	3,96
	Keskiarvo	2,12	1,38	2,17	1,50	2,25	1,76
Lajilukumäärä/ala	Pienin	0	0	2	0	2	0
	Suurin	9	6	9	9	9	9
	Keskiarvo	5,33	3,63	5,39	4,15	5,58	4,57
Lajilukumäärä/puu	Pienin	0	0	1	0	1	0
	Suurin	8	4	8	6	8	7
	Keskiarvo	3,98	2,68	4,06	2,88	4,21	3,34
Sormipaisukarpeen vaurioaste	Pienin	1	2,2	1	1,5	1	1,1
	Suurin	5	5	5	5	5	5
	Keskiarvo	2,19	3,22	2,13	3,00	2,11	2,51
Yleinen vaurioaste	Pienin	1,1	3,2	1,1	2,4	1,3	1,1
	Suurin	5	5	4,7	5	4,7	5
	Keskiarvo	3,17	4,04	3,13	3,83	3,07	3,51
Levän yleisyys	Pienin	0	1	0	0	0	0
	Suurin	5	5	5	5	5	5
	Keskiarvo	2,85	4,69	2,75	4,29	2,45	3,87
Sormipaisukarpeen peittävyys	Pienin	0	0	0	0	0	0
	Suurin	75	22	75	28	75	57
	Keskiarvo	10,8	6,5	11,0	7,7	9,9	11,5
Luppojen peittävyys	Pienin	0	0	0	0	0	0
	Suurin	4	0	4	0	3	4
	Keskiarvo	0,1	0	0,1	0,01	0,11	0,06

Taulukko 28. Jäkälätunnukset luokiteltuna lähimmän päästölähteen toimialan mukaan.

		Ampu- rata	Eläin- suoja	Energian tuotanto	VOC	Ympäristö- palvelu- toiminta	Metalli- teollisuus	Maa-aines- toiminta	Teollisuus- alueet ja muu toiminta	Turkis- tarha	Turve- tuotanto
N		11	48	10	27	21	6	19	37	52	7
IAP-indeksi	Pienin	1,02	0,59	0,6	0,52	0	1,09	1,3	0,89	0	2,19
	Suurin	3,33	3,75	2,73	3,61	3,79	1,96	3,1	3,96	3,56	4,28
	Keskiarvo	2,23	2,30	1,69	2,41	1,76	1,58	2,02	2,08	1,81	2,86
Lajilukumäärä/ala	Pienin	3	2	2	2	0	3	3	3	0	5
	Suurin	8	9	7	8	9	6	8	9	9	9
	Keskiarvo	5,55	5,65	4,1	5,74	4,67	4,5	5,68	5,35	4,58	6,29
Lajilukumäärä/puu	Pienin	2	1	1	1	0	2	3	2	0	4
	Suurin	6	7	5	6	7	4	6	7	6	8
	Keskiarvo	4,15	4,3	3,24	4,44	3,33	3,07	3,81	3,89	3,45	5,29
Sormipaisukarpeen vaurioaste	Pienin	1,2	1,1	1,5	1,3	1,2	1,9	1,1	1,1	1	1
	Suurin	5	5	4,4	5	5	3,3	2,6	3,6	5	2,1
	Keskiarvo	2,03	2,19	2,7	1,92	2,46	2,62	2,0	2,17	2,58	1,5
Yleinen vaurioaste	Pienin	1,4	1,3	2	1,5	1,5	2,7	1,1	1,2	1,8	1,9
	Suurin	4,5	4,5	5	4,5	5	4	4	4	5	3,2
	Keskiarvo	3,1	3,0	3,7	2,8	3,5	3,7	3,3	3,1	3,6	2,6
Levän yleisyys	Pienin	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0
	Suurin	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Keskiarvo	1,55	2,67	4,1	2,78	2,86	4,5	2,89	3,27	3,25	2
Sormipaisukarpeen peittävyys	Pienin	0	0	0	0	0	1	0	0	0	11
	Suurin	75	58	22	33	52	6	40	57	38	48
	Keskiarvo	23	8	7	11	10	4	15	13	7	19
Luppojen peittävyys	Pienin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Suurin	2	3	0	3	0	0	0	4	1	0
	Keskiarvo	0,24	0,13	0	0,2	0,03	0	0	0,12	0,02	0,03

5.1.2 Regressioanalyysit

Regressioanalyysin avulla tutkittiin taustamuuttujien vaikutusta seitsemään muuttujaan, joiden oletetaan kuvaavan ilmanlaatua: IAP-indeksiin, ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lajilukumäärään, sormipaisukarpeen vaurioasteeseen, yleiseen vaurioasteeseen, levän yleisyyteen, sormipaisukarpeen peittävyys ja luppojen peittävyys. Tulokset on esitetty taulukoissa 29-35. Taulukossa 36 on esitetty yhteenvedo regressioanalyysien tuloksista.

Taulukko 29. Ilmanpuhtausindeksille tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) .

IAP-indeksi ($r^2 = 39\%$)	B	Keskivirhe	Beta	testisuure	Merkitsevyys
Vakio	2,445	0,473		5,165	0,000***
Ikä	0,008	0,002	0,217	3,649	0,000***
Pituus	-0,028	0,015	-0,121	-1,853	0,065
Halkaisija	-0,016	0,013	-0,074	-1,265	0,207
Pohjapinta-ala	-0,011	0,008	-0,08	-1,268	0,206
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-0,048	0,02	-0,147	-2,359	0,019*
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	0,04	0,008	0,373	4,882	0,000***
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	-0,015	0,014	-0,131	-1,126	0,261
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	0,027	0,019	0,169	1,482	0,14
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	0,066	0,015	0,339	4,494	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-0,011	0,005	-0,151	-2,109	0,036*
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen	0,003	0,012	0,022	0,215	0,83
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-0,012	0,011	-0,076	-1,032	0,303

Taulukko 30. Alakohtaiselle lajilukumäärälle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) . Lähellä merkitsevää olevat merkitsevyydet ($p < 0,1$) on kursivoitu.

Lajilukumäärä/ala ($r^2 = 36\%$)	B	Keskivirhe	Beta	testisuure	Merkitsevyys
Vakio	5,212	1,14		4,572	0,000***
Ikä	0,021	0,005	0,257	4,2	0,000***
Pituus	-0,055	0,037	-0,101	-1,506	0,133
Halkaisija	-0,028	0,031	-0,055	-0,916	0,361
Pohjapinta-ala	-0,016	0,02	-0,053	-0,811	0,418
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-0,107	0,049	-0,141	-2,198	0,029*
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	0,088	0,02	0,353	4,495	0,000***
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	-0,056	0,033	-0,205	-1,712	0,088
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	0,089	0,045	0,234	1,992	0,048*
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	0,141	0,035	0,308	3,975	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-0,025	0,013	-0,141	-1,908	0,058
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen	0,017	0,03	0,059	0,565	0,573
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-0,045	0,028	-0,125	-1,637	0,103

Taulukko 31. Sormipaisukarpeen vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

Sormipaisukarpeen vaurioaste ($r^2 = 23\%$)	B	Keskivirhe	Beta	testisuure	Merkitsevyys
Vakio	2,674	0,641		4,174	0,000***
Ikä	0	0,003	-0,003	-0,041	0,968
Pituus	-0,01	0,021	-0,037	-0,501	0,617
Halkaisija	-0,003	0,017	-0,012	-0,179	0,858
Pohjapinta-ala	0,027	0,011	0,173	2,413	0,017*
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-0,009	0,027	-0,023	-0,323	0,747
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-0,041	0,011	-0,32	-3,713	0,000***
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	0,015	0,018	0,106	0,808	0,42
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-0,031	0,025	-0,16	-1,239	0,217
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-0,048	0,02	-0,205	-2,413	0,017*
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-0,004	0,007	-0,046	-0,573	0,568
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen	0,008	0,017	0,056	0,493	0,623
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	0,01	0,015	0,056	0,667	0,506

Taulukko 32. Yleiselle vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

Yleinen vaurioaste ($r^2 = 34\%$)	B	Keskivirhe	Beta	testisuure	Merkitsevyys
Vakio	3,085	0,54		5,709	0,000***
Ikä	-0,01	0,002	-0,247	-4,1	0,000***
Pituus	0,027	0,017	0,101	1,526	0,128
Halkaisija	0,017	0,015	0,07	1,179	0,240
Pohjapinta-ala	0,02	0,01	0,135	2,093	0,037*
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	0,024	0,023	0,066	1,042	0,299
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-0,043	0,009	-0,363	-4,679	0,000***
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	0,025	0,016	0,189	1,599	0,111
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-0,027	0,021	-0,15	-1,295	0,197
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-0,07	0,017	-0,32	-4,181	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	0,005	0,006	0,062	0,844	0,400
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen	-0,001	0,014	-0,011	-0,103	0,918
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	0,013	0,013	0,073	0,967	0,335

Taulukko 33. Levän esiintymiselle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)

Levän esiintyminen ($r^2 = 29\%$)	B	Keskivirhe	Beta	testisuure	Merkitsevyys
Vakio	2,709	1,398		1,937	0,054
Ikä	-0,014	0,006	-0,144	-2,24	0,026*
Pituus	0,048	0,045	0,076	1,071	0,285
Halkaisija	-0,011	0,038	-0,019	-0,299	0,765
Pohjapinta-ala	0,094	0,025	0,259	3,772	0,000***
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-0,027	0,06	-0,03	-0,442	0,659
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-0,087	0,024	-0,3	-3,631	0,000***
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	0,039	0,04	0,122	0,972	0,332
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-0,095	0,055	-0,215	-1,74	0,083
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-0,03	0,043	-0,056	-0,684	0,494
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-0,003	0,016	-0,013	-0,172	0,863
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen	-0,004	0,036	-0,011	-0,101	0,919
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	0,037	0,034	0,088	1,097	0,274

Taulukko 34. Sormipaisukarpeen peittävyydelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)).

Sormipaisukarpeen peittävyys ($r^2 = 24\%$)	B	Keskivirhe	Beta	testisuure	Merkitsevyys
Vakio	1,254	7,821		0,16	0,873
Ikä	-0,138	0,034	-0,265	-3,993	0,000***
Pituus	-0,144	0,252	-0,042	-0,571	0,568
Halkaisija	0,354	0,213	0,109	1,664	0,098
Pohjapinta-ala	0,149	0,139	0,076	1,075	0,284
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	1,154	0,335	0,24	3,441	0,001**
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	0,24	0,134	0,153	1,792	0,074
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	-0,166	0,225	-0,096	-0,738	0,462
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	0,176	0,306	0,073	0,575	0,566
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	0,154	0,243	0,053	0,633	0,528
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	0,197	0,088	0,179	2,23	0,027*
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen	0,147	0,204	0,082	0,722	0,471
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-0,464	0,189	-0,203	-2,455	0,015*

Taulukko 35. Luppojen peittävyydelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***)).

Luppojen peittävyys ($r^2 = 23\%$)	B	Keskivirhe	Beta	testisuure	Merkitsevyys
Vakio	0,641	0,309		2,078	0,039*
Ikä	-8,90E-06	0,001	0	-0,007	0,995
Pituus	-0,019	0,01	-0,156	-1,958	0,051
Halkaisija	-0,009	0,008	-0,077	-1,073	0,284
Pohjapinta-ala	-0,001	0,005	-0,02	-0,262	0,793
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-0,024	0,013	-0,135	-1,78	0,077
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	0,01	0,005	0,175	1,875	0,062
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	-0,005	0,009	-0,076	-0,537	0,592
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-0,007	0,012	-0,08	-0,573	0,567
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	0,025	0,01	0,237	2,572	0,011
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	0,001	0,003	0,032	0,368	0,713
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen	0,004	0,008	0,058	0,467	0,641
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	9,06E-06	0,007	0	0,001	0,999

Jäkälämuuttujien regressiomallin selitysasteet vaihtelivat välillä 23 % - 39 % (taulukko 36). Huonoin selitysaste oli sormipaisukarpeen vaurioasteella ja sormipaisukarpeen peittävyydellä sekä luppojen peittävyydellä. Parhaiten regressiomalli selitti lajiyhteisöä kuvaavia muuttujia, IAP-indeksiä, lajilukumäärää ja yleistä vaurioastetta. Alan luontaista vaihtelua kuvaavista tekijöistä selvin yhteys tutkittuihin jäkälämuuttujiin oli puuston iällä, joka selitti kuuden jäkälämuuttujan vaihtelua. Lajisto monipuolistui ja yleinen vaurioaste pieneni, levän esiintyminen vähentyi ja sormipaisukarpeen peittävyys pieneni vanhemmissa metsiköissä. Pituus yhdistyi ainoastaan luppojen peittävyteen, mutta yhteys jäi heikoksi kuten muillakin luppojen peittävyttä selittävillä muuttujilla. Loppoja esiintyi tutkimusalueella verraten vähän, jolloin pienestä aineistokoosta johtuen aineistosta voi tehdä vain hataria päätelmiä. Puuston pohjapinta-alan kasvaminen kasvatti sormipaisukarpeen vaurioastetta ja yleistä vaurioastetta, ja lisäsi myös levän esiintymistä alalla. Pohjapinta-ala kuvaa alan varjoisuutta, mikä huonontaa osaltaan jäkälän elinolosuhteita.

Etäisyysmuuttujista selvin jäkälätunnuksia huonontava vaikutus oli energiantuotantolaitoksilla ja turkistarhoilla. Alan etäisyyden kasvaminen näihin monipuolisti jäkälälajistoa ja pienensi sormipaisukarpeen ja yleisiä vaurioita. Teollisuuslaitosten läheisyys näytti hieman pienentävän lajilukumäärää ja lisäävän levän esiintymistä. Yhteys jäi heikoksi todennäköisesti luokan heterogeisyyden vuoksi; luokkaan sisältyi niin pieniä kuin suuriakin laitoksia, joiden vaikutukset jäkälälajistoon eivät ole yhtäläisiä. Eläinsuojilla ja turvetuotantoalueilla näytti olevan päinvastainen vaikutus: mitä lähempänä näitä ala sijaitsi, sitä monipuolisempi lajisto ja sitä pienemmät vauriot alalla oli. Tässä lienee kuitenkin kysymys siitä, että näillä toiminoilla ei ole merkittävää vaikutusta jäkälälajistoon, ja niiden lähellä harvoin on muuta toimintaa, joka huonontaisi jäkälälajiston koostumusta ja kuntoa. Maa-ainesten ja mineraalien ottoon, käsittelyyn ja jat-

kojalostukseen liittyvien toimintojen sekä voc-päästöjä aiheuttavien toimintojen yhteys jäkälälajiston kuntoon ja koostumukseen jäi heikoksi.

Taulukko 36. Yhteenveto regressioanalyysistä. Taulukossa on kuvattu +-merkillä selittävän muuttujan arvon kasvamisen selitettävää muuttujaa kasvattava vaikutus, --merkillä selittävän muuttujan arvon kasvamisen selitettävän muuttujan arvoa pienentävä vaikutus. Etumerkkien määrällä kuvataan tuloksen tilastollista merkitsevyyttä siten, että melkein merkitsevä ($p < 0,05$) yhteys kuvataan yhdellä symbolilla, merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella. Lähellä merkitsevää olevat merkitsevyytasot ($p < 0,1$) ovat suluisia.

	IAP	Lajilukumäärä	Sormipaisukarpeen vaurioaste	Yleinen vaurioaste	Levän esiintyminen	Sormipaisukarpeen peittävyys	Luppojen peittävyys
Selitysaste	39 %	36 %	23 %	34 %	29 %	24 %	23 %
Ikä	+++	+++		---	-	---	
Pituus							(-)
Halkaisija						(+)	
Pohjapinta-ala			+	+	+++		
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-	-				++	(-)
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	+++	+++	---	---	---	(+)	
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan		(-)					
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen		+			(-)		
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	+++	+++	-	---			(+)
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-	(-)				+	
Etäisyys lähimpään voc-laitokseen							
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan						-	

5.2 Neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien tilastollinen tarkastelu

5.2.1 Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi

Neulasten alkuainepitoisuuksien sisältämää vaihtelua tiivistettiin faktorianalyysin avulla. Mukana oli 14 alkuainetta. Neulasten alkuainepitoisuudet yhdistyivät faktorianalyysissä kolmeksi faktoriksi, jotka selittivät 66 % muuttujien sisältämästä vaihtelusta. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin perusteella muodostettu rotatoitu komponenttimatriisi on esitetty taulukossa 37. Taulukossa on lihavoituna lataus sille faktorille, jolla kukin alkuaine sai suurimman latauksensa. Yleensä merkityksellisinä latauksina pidetään yli 0,5:n arvoja. Kuvissa 99-101 on esitetty vyöhykekartat, jotka on laadittu kullekin tutkimusalueelle laskettujen faktoripistemäärien perusteella.

Ensimmäisellä faktorilla suurimmat latauksensa saivat kadmium, kromi, kupari, nikkeli, rauta ja sinkki. Näistä voimakkaimmat, yli 0,9:n lataukset olivat sinkillä (0,93) ja raudalla (0,91). Pienin lataus (0,51) oli kromilla. Faktori kuvasi Kokkolan Ykspihlajan teollisuuden metallipäästöjä. Pienempiä vyöhykkeitä, jolla faktori sai hieman muuta aluetta korkeampia arvoja, oli Lohtajalla, Kälviällä, Pietarsaaren-Pedersören rajalla ja Pedersöressä Pännäisten taajaman lounaispuolella.

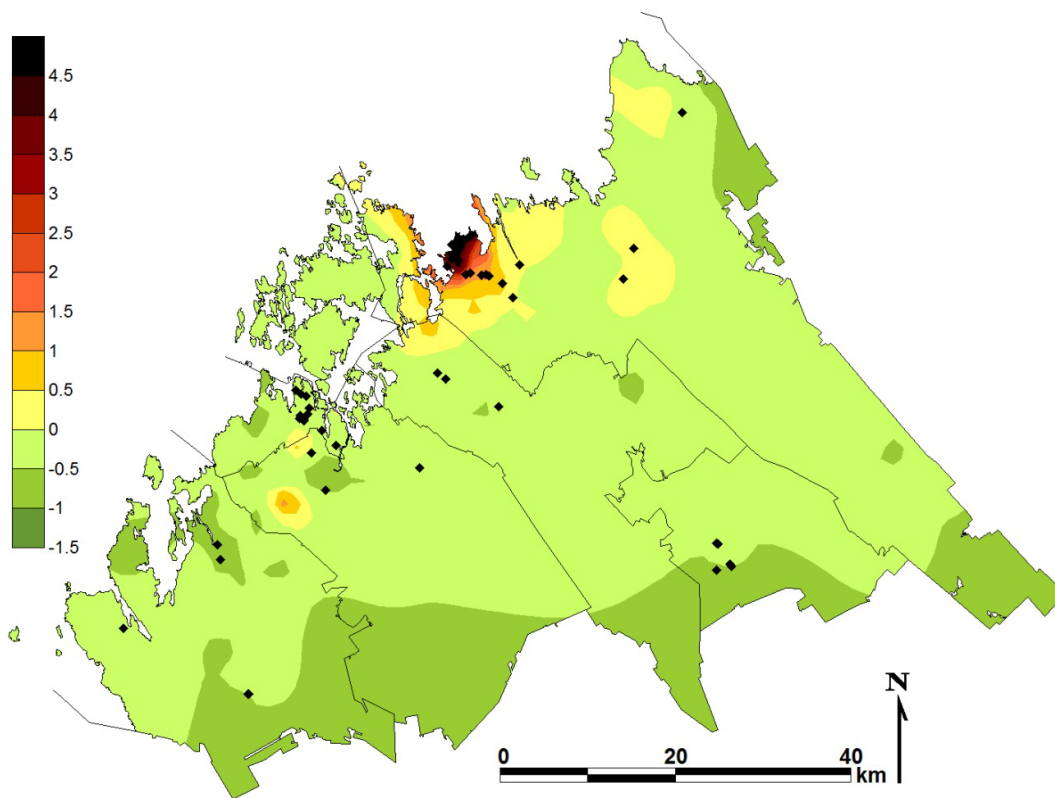
Toisella faktorilla suurimman latauksen saivat typpi, kalium, fosfori ja rikki. Lataukset vaihtelivat välillä 0,71-0,83. Typin, fosforin ja rikin jakaumien vaihtelussa metsätypin mukaan oli tilastollisesti merkittävä ero siten, että pitoisuudet olivat rehevillä metsätyypeillä suurempia kuin karuilla metsätyypeillä. Faktori kuvasikin osaltaan sekä kasvupaikan ravinteisuustilaa, että rikki- ja typpipäästöjä. Faktori sai muuta aluetta korkeampia arvoja joidenkin rikki- ja typpipäästöjen läheisyydessä, mutta vaihtelu ei ollut säännönmukaista.

Kolmannella faktorilla suurimmat lataukset saivat boori, kalsium, magnesium ja mangaani. Voimakkain lataus oli magnesiumilla (0,77) ja heikoin mangaanilla (0,48). Faktori sai korkeita pistemääriä Pietarsaaren keskusta-alueella, Luodossa, Kokkolassa, Kälviällä, Lohtajalla, Kruunupyyn eteläosissa ja Uudenkaarlepyyn itäosissa. Osassa näistä alueista oli teollisuustoimintoja ja jätteenkäsittelytoimintoja tai jätevedenpuhdis-

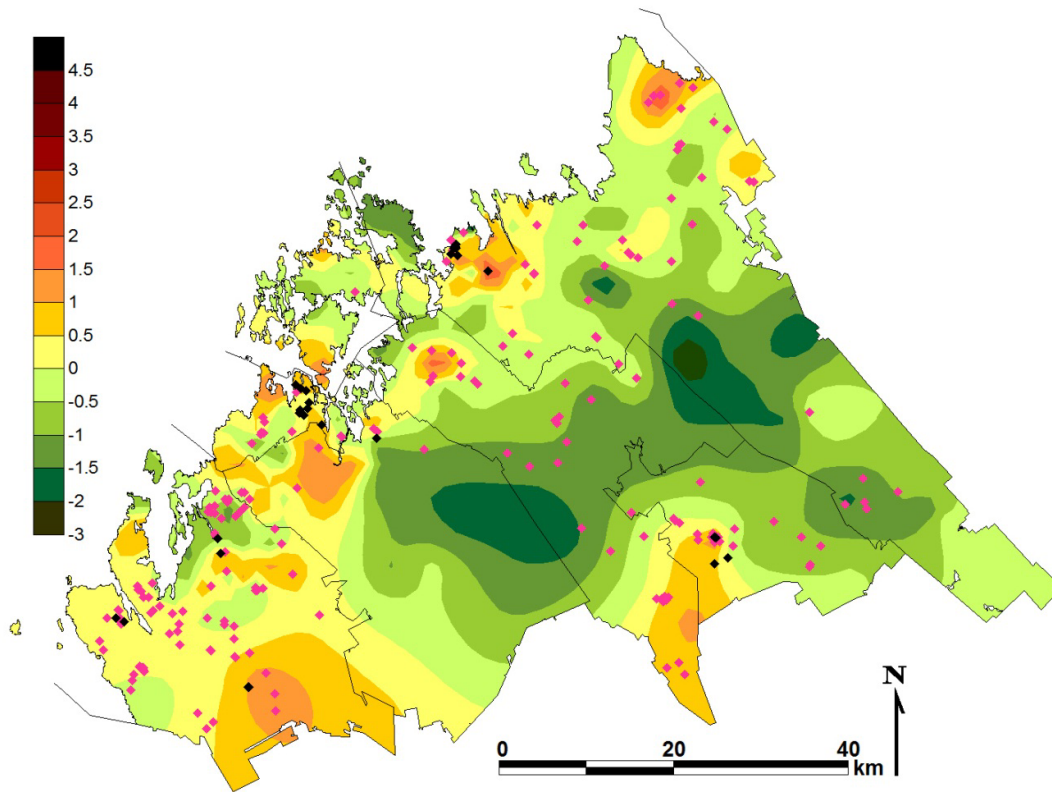
tamoja. Faktori kuvanneekin osaltaan metsikön ravinteisuustilaa ja luontaisia tekijöitä, osaltaan ihmistoiminnan vaikutuksia.

Taulukko 37. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin rotatoitu komponenttimatriisi. Faktori, jolla kukin alkuaine on saanut suurimman latauksensa, on lihavoitu.

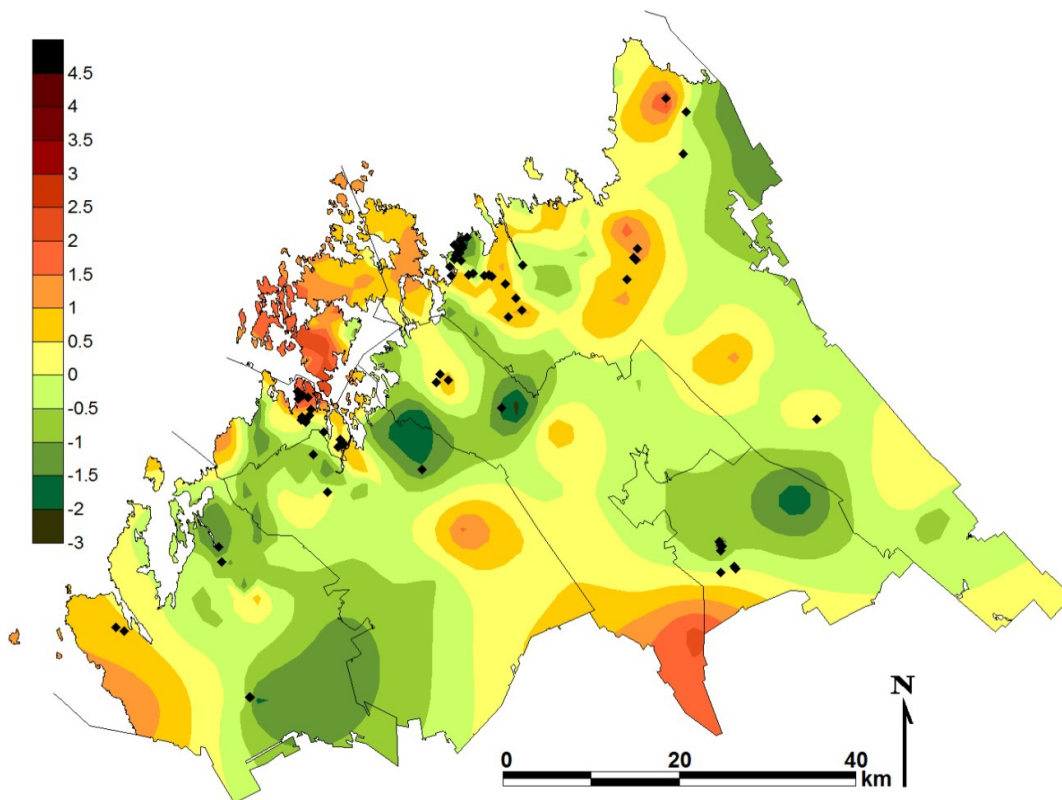
	1	2	3
N	0,111	0,825	-0,093
B	0,016	0,307	0,602
Cd	0,879	-0,036	-0,048
K	0,07	0,712	0,16
Ca	0,381	0,025	0,739
P	0,08	0,811	0,32
Cr	0,51	0,065	0,205
Cu	0,689	0,165	-0,043
Mg	-0,235	0,068	0,761
Mn	0,096	-0,56	0,481
Ni	0,87	0,194	-0,087
Fe	0,915	0,151	-0,01
S	0,466	0,754	0,24
Zn	0,931	-0,012	0,143
Osuus vaihtelusta	32 %	21 %	14 %



Kuva 99. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktori 1:n faktoripistemäärät interpoloituina. Kuvaan on merkitty teollisuus ja energiantuotantolaitokset.



Kuva 100. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktori 2:n faktoripistemäärät interpoloituina. Kuvaan on merkitty rikki- (musta) ja typpipäästölähteet (punainen).



Kuva 101. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktori 3:n faktoripistemäärät interpoloituina. Kuvaan on merkitty teollisuus ja energiantuotantolaitokset sekä ns. ympäristöpalvelutoiminta eli jätteenkäsittelylaitokset, kaatopaikat ja maankaatopaikat.

5.2.2 Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi

Sammalen alkuainepitoisuuksien sisältämää vaihtelua tiivistettiin faktorianalyysin avulla. Mukana oli 20 seinäsammalesta mitattua alkuainetta. Lähes kaikkien sammalesta mitattujen alkuainepitoisuuksien välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. Sammalnäytteistä analysoidut alkuaineet yhdistyivätkin faktorianalyysissä kolmeksi faktoriksi, jotka selittivät 72 % muuttujien sisältämästä vaihtelusta. Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin perusteella muodostettu rotatoitu komponenttimatriisi on esitetty taulukossa 38. Taulukossa on lihavoituna lataus sille faktorille, jolla kukin alkuaine sai suurimman latauksensa. Yleensä merkityksellisinä latauksina pidetään yli 0,5:n arvoja. Kuvissa 102-104 on esitetty vyöhykekartat, jotka on laadittu kullekin tutkimusalueelle laskettujen faktoripistemäärien perusteella.

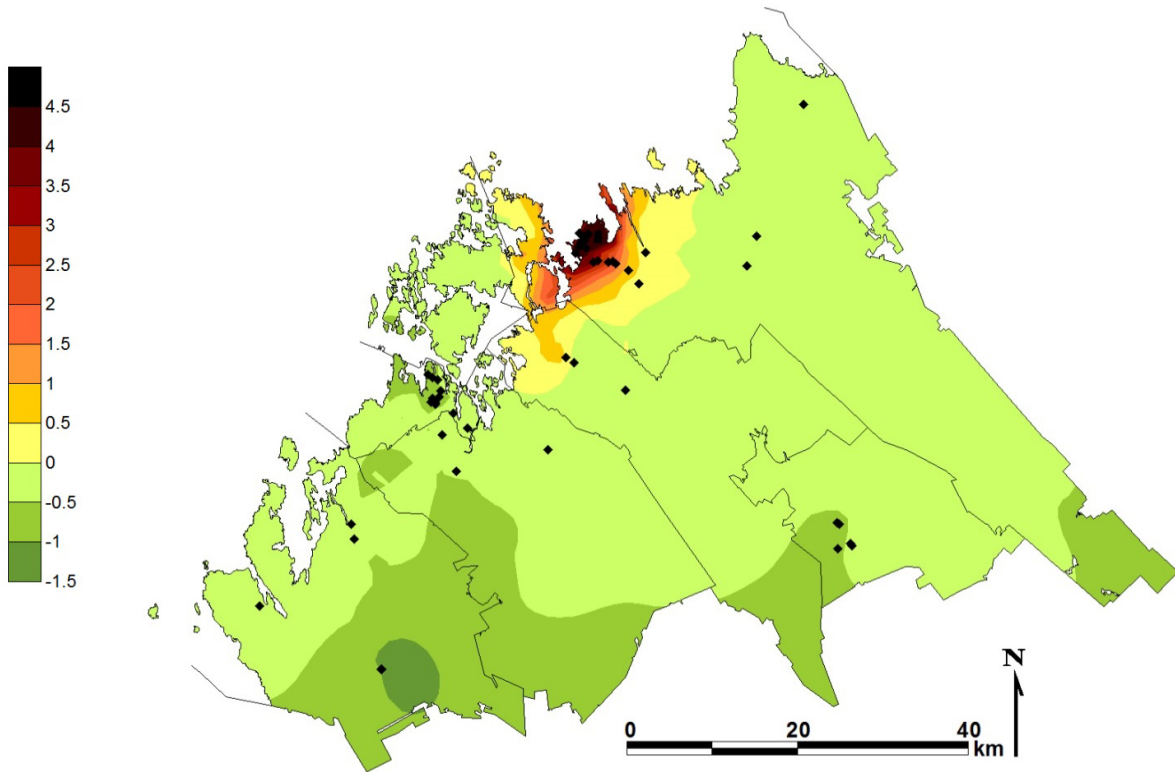
Ensimmäisen faktorin selittämä osuus muuttujien vaihtelusta oli 35 %. Tällä faktorilla suurimmat lataukset saivat arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kupari, lyijy, nikkeli, rauta ja sinkki. Raudan lataus oli heikoin (0,64); yli 0,9:n latauksen saivat arseeni (0,90), kadmium (0,96), koboltti (0,95), lyijy (0,95) ja sinkki (0,93). Faktori kuvasi Kokkolan Ykspihlajan teollisuuden metallipäästöjä.

Toisen faktorin selittämä osuus muuttujien vaihtelusta oli 23 %. Tällä faktorilla suurimmat lataukset saivat boori, kalium, kalsium, fosfori, magnesium, mangaani, natrium ja rikki. Voimakkaimmat lataukset saivat fosfori ja magnesium (0,90). Natriumin ja mangaanin lataukset jäivät heikoksi (0,28 ja 0,41), mutta ne olivat kuitenkin tarkastelluista faktoreista suurimpia tällä faktorilla. Boorin, kaliumin, kalsiumin, fosforin, magnesiumin ja rikin pitoisuudet vaihtelivat tilastollisesti merkitsevästi metsätyypin mukaan siten, että rehevämmillä metsätyypeillä havaittiin korkeampia pitoisuuksia kuin karummilla. Joidenkin teollisuustoimintojen läheisyydessä (esim. Pietarsaassa isojen teollisuuslaitosten ympäristössä ja Kruunupyysässä) faktorin pistemäärät olivat korkeampia kuin muilla alueilla, joten mahdollisesti faktori kuvaa jossain määrin myös esim. rikkipäästöjen vaikutuksia, mutta vaikutus ei ole yksiselitteinen.

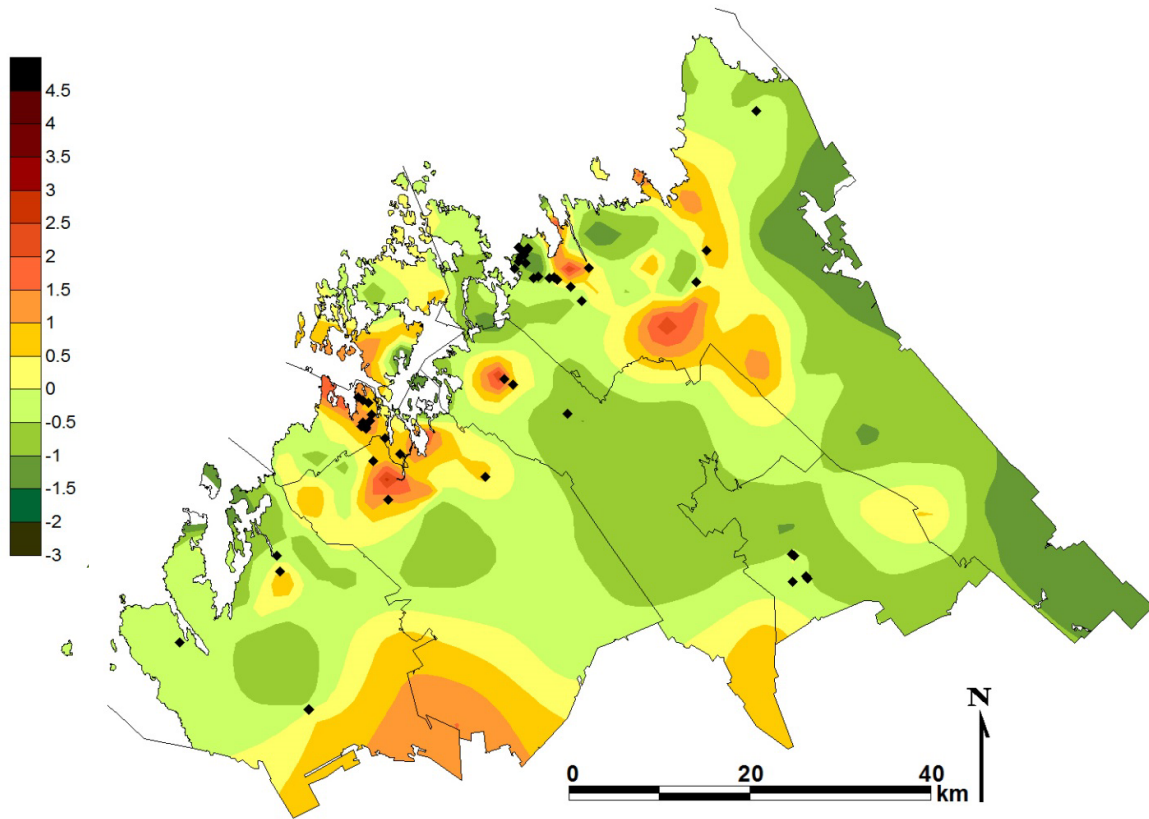
Kolmas faktori selitti muuttujien vaihtelusta 12 %. Tällä faktorilla suurimman latauksen sai vanadiini (0,73). Alumiinin lataus tällä faktorilla oli 0,659 ja kromin oli 0,62. Myös raudan lataus oli merkityksellinen (0,54), joskin raudan lataus oli suurempi 1-faktorilla. Faktori sai suurimman latauksen Uudessakaarlepyyssä sijaitsevan Mirkan tehtaan - Fortumin energiantuotantolaitoksen ympäristössä. Muita alueita, joilla faktori sai kohonneita arvoja, olivat Kälviän keskusta-alue, Kokkolan eteläpuolinen alue, jolla on runsaasti pienempää teollisuutta, sekä Lohtajan alue. Faktorin voi katsoa kuvaavan (pien)teollisuuden päästöjä.

Taulukko 38. Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin rotatoitu komponenttimatriisi. Faktori, jolla kukin alkuaine on saanut suurimman latauksensa, on lihavoitu.

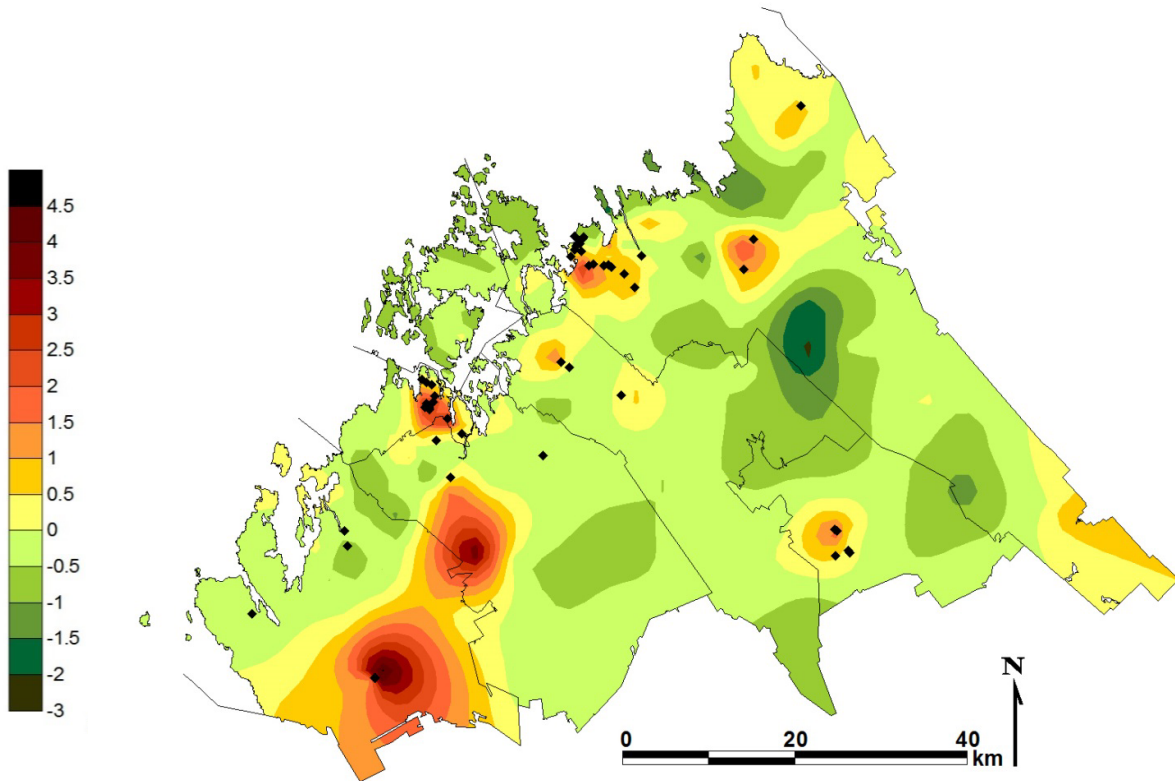
	1	2	3
Al	0,438	0,338	0,659
As	0,898	0,103	0,148
B	0,266	0,71	0,269
Hg	0,836	0,259	0,22
Cd	0,956	0,063	0,144
K	0,188	0,847	-0,002
Ca	0,261	0,791	0,167
Co	0,95	0,052	0,077
P	0,139	0,897	0,097
Cr	0,212	0,148	0,627
Cu	0,705	0,161	0,092
Pb	0,944	0,086	0,119
Mg	0,111	0,89	0,171
Mn	-0,182	0,303	-0,474
Na	-0,09	0,408	-0,064
Ni	0,84	0,134	0,331
Fe	0,638	0,347	0,539
S	0,359	0,689	0,402
Zn	0,928	0,136	0,16
V	-0,008	0,167	0,728
Osuus vaihtelusta	35 %	23 %	12 %



Kuva 102. Sammalten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktori 1:n faktoripistemäärät interpoloituina. Kuvaan on merkitty teollisuus ja energiantuotanto.



Kuva 103. Sammalten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktori 2:n faktoripistemäärät interpoloituina. Kuvaan on merkitty teollisuus ja energiantuotanto.



Kuva 104. Sammalten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktori 3:n faktoripistemäärät interpoloituina. Kuvaan on merkitty teollisuus ja energiantuotanto.

5.3 Humuksen alkuainepitoisuuksien korrelaatiot

Taulukossa 39 on esitetty humuksesta mitattujen alkuainepitoisuuksien ja kemiallisten ominaisuuksien keskinäiset korrelaatiot. Metallipitoisuuksien välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä, erittäin voimakkaita riippuvuuksia. Raskasmetallikuormituksen on havaittu vähentävän humuskerroksen ravinnepitoisuuksia (ks. luku 3.4.3), ja myös tässä tutkimuksessa havaittiin raskasmetallipitoisuuksien ja ravinteiden välillä tilastollisesti merkittäviä negatiivisia riippuvuuksia. Magnesiumin ja arseenin, elohopean, koboltin, kuparin, nikkelin ja raudan välillä oli negatiivinen riippuvuus samoin kuin kalsiumpitoisuuden ja arseenin, elohopean, nikkelin ja raudan pitoisuuksien välillä sekä kaliumin ja elohopean, nikkelin ja raudan välillä ja sinkin ja boorin sekä mangaanin välillä.

Taulukko 39. Humuksesta mitattujen muuttujien keskinäiset riippuvuudet. Tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet on lihavoitu. vh=vaihtohappamuus, sj=sähkönjohtavuus.

	sj.	pH	Al	As	B	Hg	Cd	K	Ca	Co	P
pH	-0,221	1									
Al	-0,079	0,007									
As	0,297	0,021	0,134	1							
B	0,137	0,32	-0,283	.c	1						
Hg	0,152	0,24	0,085	,903***	.c	1					
Cd	-0,053	-0,033	0,121	,921***	0,172	,989***	1				
K	0,244	-0,311	-0,102	-0,362	-0,077	-,521*	-,420**	1			
Ca	0,037	0,137	-,408**	-,592*	,516**	-,596*	-,408**	0,3	1		
Co	0,356	-0,022	0,111	,964***	.c	,858***	,904***	-0,258	-,550*	1	
P	-0,236	0,079	0,324	.c	-0,137	.c	0,257	0,037	-0,394	.c	1
Cr	-0,081	,421*	,419*	.c	0,162	.c	,404*	-0,288	0,175	.c	0,004
Cu	-0,036	-0,065	0,129	,970***	0,174	,952***	,981***	-,403*	-,396*	,960***	0,221
Pb	-0,19	-0,182	0,056	.c	-0,05	.c	,468*	0,003	0,249	.c	0,069
Mg	-0,069	-0,278	-0,289	-,677**	0,113	-,693**	-,537***	,550***	,446**	-,619*	-0,106
Mn	0,092	,527**	-0,283	.c	,557**	.c	-0,087	0,106	,410*	.c	-0,034
Na	0,12	0,267	-0,191	-0,268	.c	-0,103	-0,152	0,268	0,153	-0,322	.c
Ni	0,006	-0,097	0,123	,961***	0,278	,853***	,936***	-,335*	-,373*	,999***	-0,044
Fe	-0,027	0,027	,513**	,935***	-0,137	,936***	,880***	-,387*	-,483**	,948***	0,288
S	-0,775	-0,98	0,64	.c	-0,975	.c	0,856	0,956	0,056	.c	-0,676
Zn	0,053	-0,021	0,011	,865**	,508**	,916***	,960***	-0,126	-0,058	,964***	0,193
V	0,172	-0,073	0,187	,959***	.c	,901***	,931***	-0,406	-,588*	,951***	.c
vh.	-0,008	-,507**	,701***	0,318	-,533**	0,115	0,188	0,102	-,567***	0,38	0,295

Taulukko 39. Jatkuu

	Cr	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
Cu	,557**	1									
Pb	,554**	,482*	1								
Mg	-0,102	-,541**	0,174	1							
Mn	0,027	0,021	-0,181	0,023	1						
Na	.c	-0,278	.c	0,289	.c	1					
Ni	,714***	,971***	,706***	-,502**	0,062	-0,332	1				
Fe	,553**	,884***	0,045	-,595**	-0,157	-0,333	,868***	1			
S	-0,98	0,978	0,863	0,948	-0,946	.c	0,987	-0,957	1		
Zn	0,252	,964***	0,179	-0,1	,561**	-0,319	,952***	,489**	-0,834	1	
V	.c	,984***	.c	-,604*	.c	-0,366	,955***	,944***	.c	,787**	1
vh.	0,053	0,226	0,017	0,002	-,609**	-0,227	0,244	,453**	,998*	-0,048	0,436

5.4 Yhteenveto

Tulosten tilastollinen tarkastelu osoittaa etenkin jäkälämuuttujien kuvanneen varsin hyvin ilmanlaadun paikallista vaihtelua. Hajapölypäästöjen ja voc-päästöjen jäkäliin näytti tutkimusalueen pitoisuustasoilla jääneen vähäiseksi. Selvimmin jäkäliin vaikuttaa suurten energiantuotantolaitosten rikki-, typpi- ja hiukaspäästöt. Myös suurilla teollisuustuotantolaitoksilla on vaikutusta jäkäliin, mutta pienempien teollisuuslaitosten vaikutus ei ole suoraviivainen. Karjasuojien typpipäästöillä ei näyttänyt olleen selvää vaikutusta jäkälämuuttujiin. Turkistarhauksen typpipäästöt puolestaan vaikuttivat selvästi jäkälämuuttujiin.

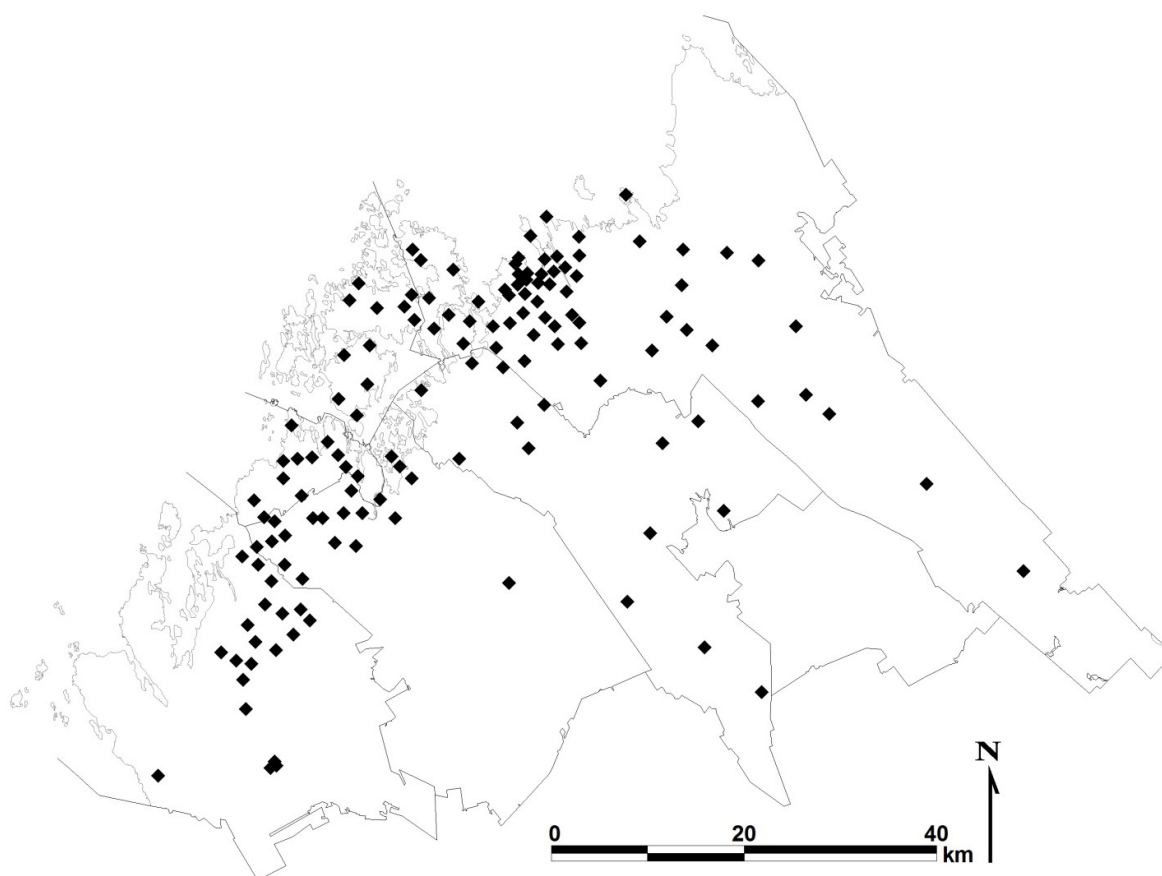
Sammalen ja neulasten alkuainepitoisuuksissa Kokkolan Ykspihlajan alueen teollisuustoimintojen vaikutukset näkyivät selvimmin raskasmetallien pitoisuuksissa, jotka korreloivat voimakkaasti keskenään ja muodostivat molemmilla matriiseilla yhteisen faktorin faktorianalyyssissä. Sekä neulasilla että sammalilla rikkipitoisuudet latautuivat selvimmin faktorille, joka on tulkittavissa ravinteisuusfaktoriksi. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että myös paikalliset päästöt jossain määrin nostivat neulasten ja sammalten rikkipitoisuuksia sekä neulasten typpipitoisuuksia, mutta vaikutus ei ollut suoraviivaisesti tulkittavissa. On mahdollista, että niillä alueilla, joilla raskasmetallipitoisuudet ovat sammalessa tai humuksessa kohonneet ilman lähellä sijaitsevia päästölähteitä, luontaiset tekijät, mm. alunamaiden esiintyminen, vaikuttavat pitoisuuksiin.

Humuksesta mitatut raskasmetallipitoisuudet korreloivat voimakkaasti keskenään. On mahdollista, että raskasmetallikuormitus on vaikuttanut humuserroksen ravinnepitoisuuksiin niitä vähentäen.

6. Vertailu

6.1 Vuosien välinen vertailu

Tässä luvussa vertaillaan vuoden 2012 tuloksia aikaisempien vuosien bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Tutkimus on tehty vastaavilla menetelmillä aiemmin sekä Kokkolan että Pietarsaaren seudulla vuosina 2006-2007. Tätä ennen vertailukelpoisia tuloksia Pietarsaaren seudulta on vuodelta 2002 ja Kokkolan seudulta vuosilta 2002, 1997 ja 1992. Alueen yhtenäisen vertailun vuoksi keskiarvoja vertaillaan vuosilta 2000/2002 - 2007 - 2012. Karttatarkasteluissa on Kokkolan osalta mukana myös vuodet 1997 ja 1992. Vuonna 2012 alueelle perustettiin runsaasti uusia tutkimusaloja, joilta ei ole olemassa vertailutuloksia. Vertailutulosten onkin siis katsottava kattavan alueen vain siltä osin, kuin samana pysyneitä tutkimusaloja on vertailussa mukana. Keskiarvotarkasteluissa aineistosta on karsittu vaihtuneet tutkimusalat, karttaesitykset puolestaan on laadittu perustuen kaikkien kyseisenä tutkimusvuonna tutkittujen alojen havaintoihin. Kuvassa 105 on esitetty vuosina 2000/2002-2007-2012 samana pysyneet tutkimusalat.



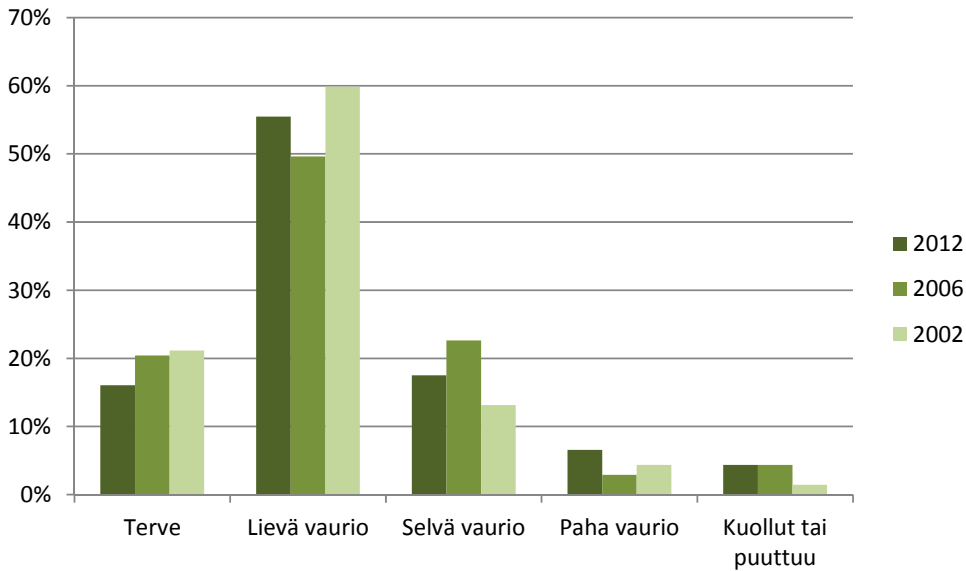
Kuva 105. Vuosien 2000/2002-2006-2012 välisessä vertailussa mukana olevat tutkimusalat.

6.1.1 Mäntyjen runkojäkälät

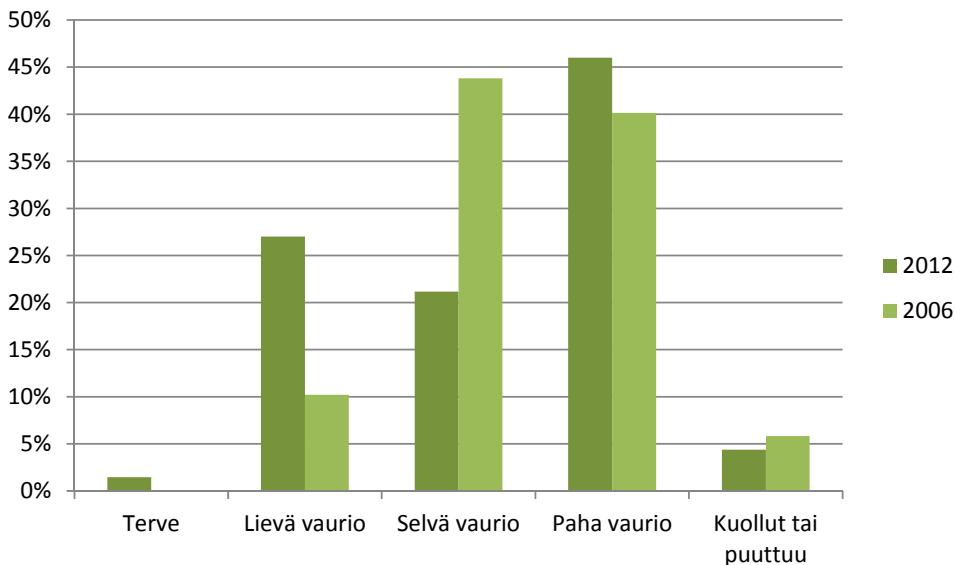
Kuvissa 106-108 on esitetty tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin vuosina 2012, 2006 ja 2002/2000 sormipaisukarpeen vaurioasteen ja yleisen vaurioasteen (ei vuotta 2002/2000) ja IAP-indeksin arvon mukaan. Kuvassa 109 on esitetty tutkittujen jäkälälajien esiintymisfrekvenssit tutkimusalueella vuosina 2012 ja 2006. Männyn runkojäkälää kuvaavien muuttujien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot vuosina 2012, 2006 ja 2002/2000 koko alueella ja eri kunnissa on esitetty taulukossa 40. Kuvissa 110-115 on esitetty sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, IAP-indeksin ja lajilukumäärän vyöhykkeet vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006 ja 2012.

Vuonna 2012 sormipaisukarpeen vaurioissa terveen sormipaisukarpeen luokka oli pienentynyt edellisiin vuosiin verrattuna, ja lievän vaurion luokka kasvanut verrattuna vuoteen 2006, mutta oli kuitenkin pienempi kuin vuonna 2002. Selvän vaurion luokka oli hieman pienentynyt vuodesta 2006, mutta oli suurempi kuin vuonna 2002. Pahoja vaurioita havaittiin enemmän kuin aiempina tutkimusvuosina. Aloja, joilla sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui, oli yhtä paljon kuin vuonna 2006, ja enemmän kuin vuonna 2002. (Kuva 106.)

Yleisen vaurioasteen osalta vuonna 2012 1 %:lla vertailualoista havaittiin yleisen vaurioasteen osalta tervettä jäkälälajistoa, kun vuonna 2006 lajisto ei ollut täysin tervettä millään vertailualalla. Lievien vaurioiden luokka oli kasvanut ja selvien vaurioiden luokka pienentynyt huomattavasti edellisestä tutkimusvuodesta. Pahojen vaurioiden luokka oli sen sijaan kasvanut jonkun verran. Luokassa ”kuollut tai puuttuu” oli hieman vähemmän havaintoja kuin vuonna 2006. (Kuva 107.)



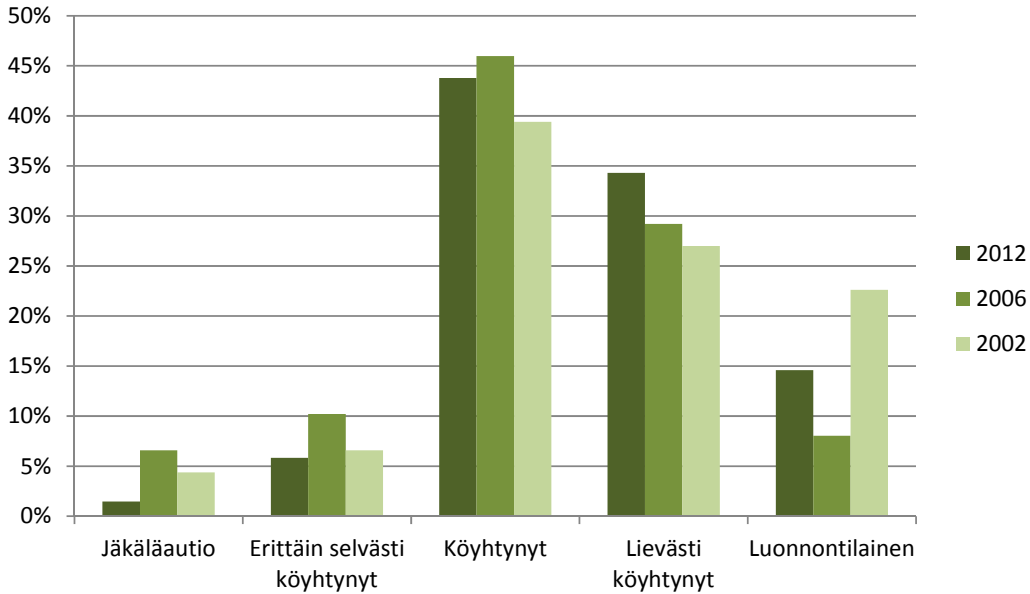
Kuva 106. Samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna sormipaisukarpeen vaurioasteen mukaan vuosina 2012, 2006 ja 2002. N = 137.



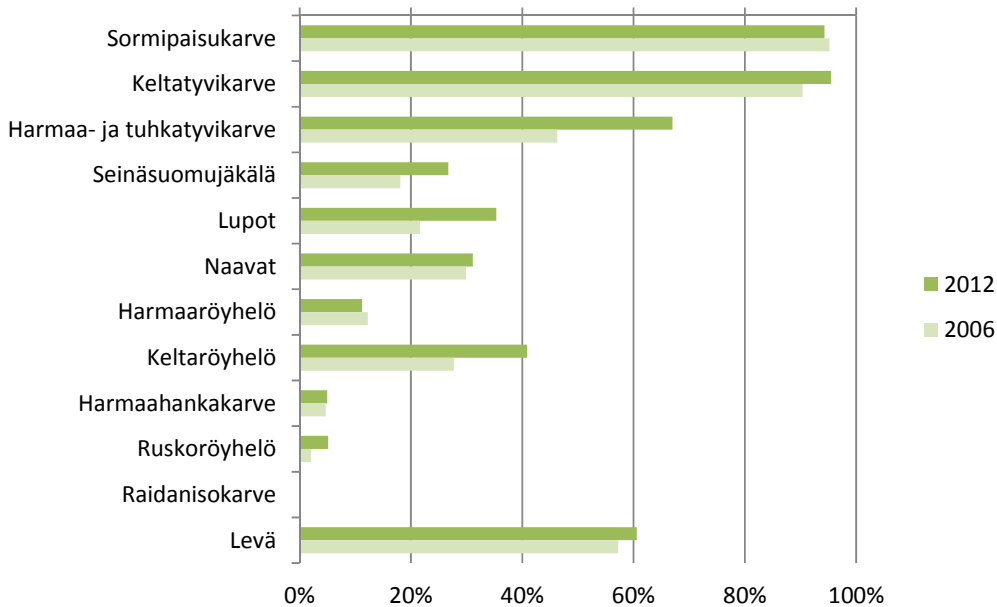
Kuva 107. Samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna yleisen vaurioasteen mukaan vuosina 2012 ja 2006. N = 137.

IAP-indeksin perusteella luokiteltujen alojen jakaumissa jäkäläautio-luokka oli pienentynyt selvästi verrattuna edellisiin tutkimuksiin, samoin erittäin selvästi köyhtyneen jäkälälajiston luokka, joka oli samankokoinen kuin vuoden 2002 tutkimuksessa. Köyhtyneen lajiston luokka oli hieman pienempi kuin 2006, mutta suurempi kuin 2002. Lievästi köyhtyneen lajiston luokka oli kasvanut molempiin tutkimusvuosiin verrattuna. Luonnontilaisen lajiston luokka oli suurempi kuin 2006, mutta pienempi kuin 2002. (Kuva 108.)

Vuoteen 2006 verrattuna keltatyvikarpeen, harmaa- ja tuhkatyvikarpeen, seinäsuomujäkälän, luppojen ja keltaröyhelön esiintymisfrekvenssit olivat nousseet selvästi. Myös naavoja, ruskoröyhelöä ja levää tavattiin hieman enemmän kuin vuonna 2006. Sormipaisukarpeen ja harmaaröyhelön esiintymisfrekvenssit olivat hieman pienemmät kuin vuonna 2006. Raidanisokarvetta vertailualoilla ei tavattu lainkaan. (Kuva 109.)



Kuva 108. Samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna IAP-indeksin arvon mukaan vuosina 2012, 2006 ja 2002. N = 137.



Kuva 109. Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit samoina pysyneillä tutkimusaloilla vuosina 2012 ja 2006. N = 137.

Kunnittain tarkasteltuna kaikki jäkälälajistoa kuvaavat muuttujat olivat parantuneet Kokkolassa edelliseen tutkimusvuoteen verrattuna, mutta eivät kuitenkaan olleet vielä nousseet vuoden 2002 tasolle. Lajistotunnukset (IAP-indeksi ja lajilukumäärä) olivat parantuneet kaikissa kunnissa vuoteen 2006 verrattuna. Lisäksi lajistotunnukset olivat parantuneet vuoden 2002 tasoa paremmalle tasolle IAP-indeksin osalta Pedersöressä ja Pietarsaaressa sekä lajilukumäärän osalta Pedersöressä. Kokkolaa lukuun ottamatta muissa tutkimuskunnissa sormipaisukarpeen vauriot eivät olleet kohentuneet edelliseen tutkimusvuoteen verrattuna. Sormipaisukarpeen vauriot olivat keskimäärin lisääntyneet suhteessa molempiin aikaisempiin tutkimusvuosiin Pedersöressä ja Uudessakaarlepyyssä. Jäkälälajiston yleiset vauriot olivat lisääntyneet suhteessa molempiin aikaisempiin tutkimusvuosiin Luodossa ja Pietarsaaressa. Sormipaisukarpeen peittävyys oli kasvanut Kokkolassa, Luodossa ja Pedersöressä. Kruunupyysssä, Pietarsaaressa ja Uudessakaarlepyyssä sormipaisukarpeen peittävyys oli keskimäärin samalla tasolla kuin vuonna 2006, tosin Uudessakaarlepyyssä ennestään hyvin pieni peittävyys oli vähentynyt entisestään. Luppojen peittävyys oli puolestaan kasvanut Kokkolassa, Kruunupyysssä ja Luodossa. Pedersöressä, Pietarsaaressa ja Uudessakaarlepyyssä luppoja havaittiin niin vähän, että niiden peittävyys oli nolla. (Taulukko 40.)

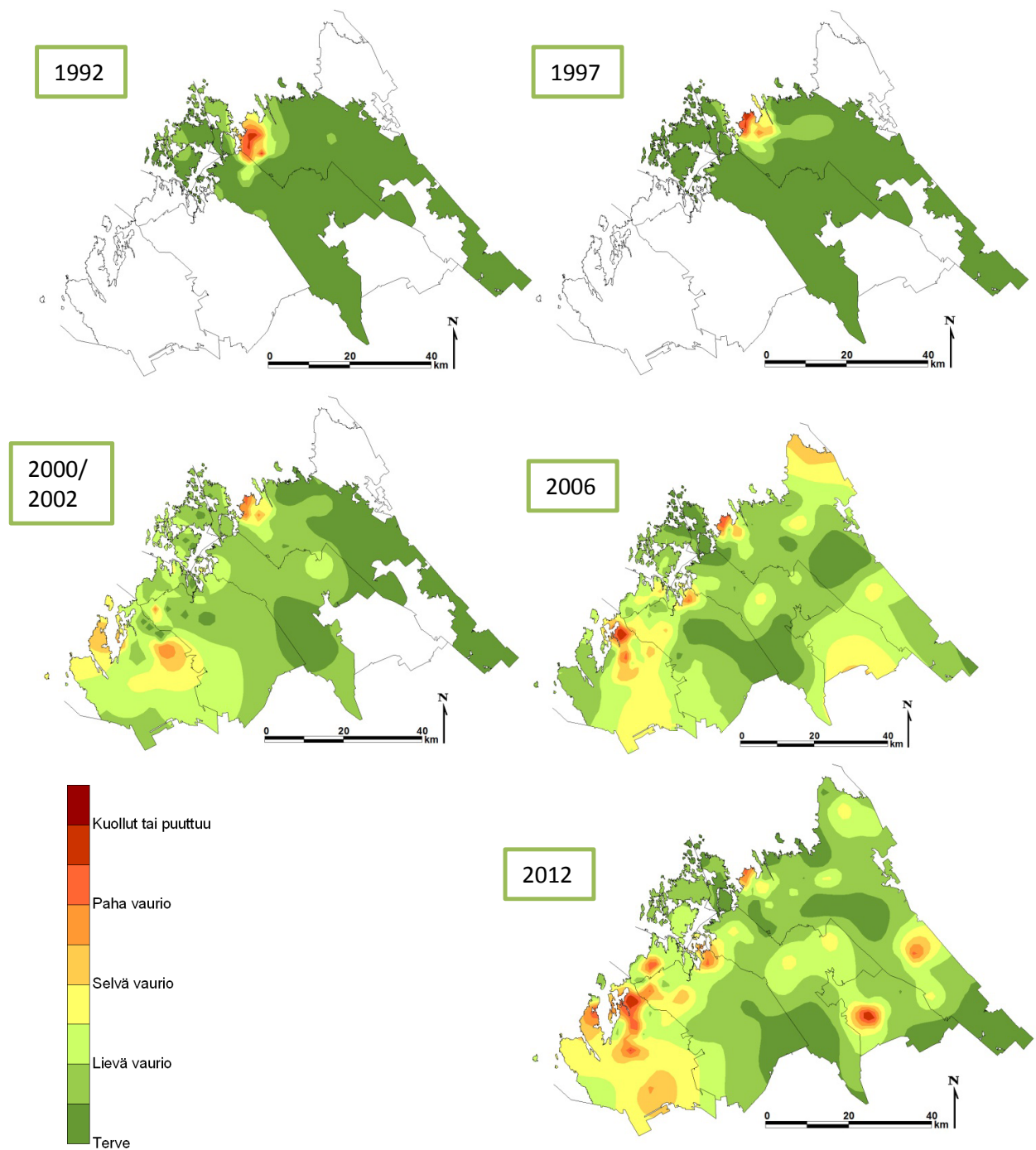
Jäkälämuuttujien alueellinen jakautuminen on kuvattu vyöhykekartoilla kuvissa 110-113. Sormipaisukarpeen vauriovyöhykkeissä merkille pantavaa on se, että vauriovyöhyke Uudenkaarlepyyn-Pietarsaaren-Pedersören alueella näyttää vahvistuneen. Kokkolan keskusta-alueella ja Ykspihlajan teollisuusalueella sormipaisukarpeen vauriot ovat tutkimusajanjaksolla puolestaan pienentyneet. Terveimmän sormipaisukarpeen vyöhykkeet ovat pysytelleet Kruunupyyn-Pedersören eteläosissa ja Kokkolan tausta-alueilla. Vyöhykkeiden muuttumiseen etenkin tausta-alueilla, kuten Kaustisten alueella vaikuttanee ensisijaisesti lisätutkimusalojen perustaminen näille alueille. (Kuva 110.)

Yleisen vaurioasteen vyöhykkeiden perusteella vaikuttaa siltä, että tutkimusalueelle on muodostumassa aiempaa selvempi luoteis-koillisuuntainen vauriovyöhyke lähelle rannikkoa, johon asutus, teollisuustoiminta ja muu ilmanlaatuun vaikuttava toiminta ovat painottuneet. Toinen vauriovyöhyke on tutkimusalueen eteläosissa Kaustisen seudulla, mutta näiden alueiden väliin jää terveemmän jäkälälajiston alueita. (Kuva 111.)

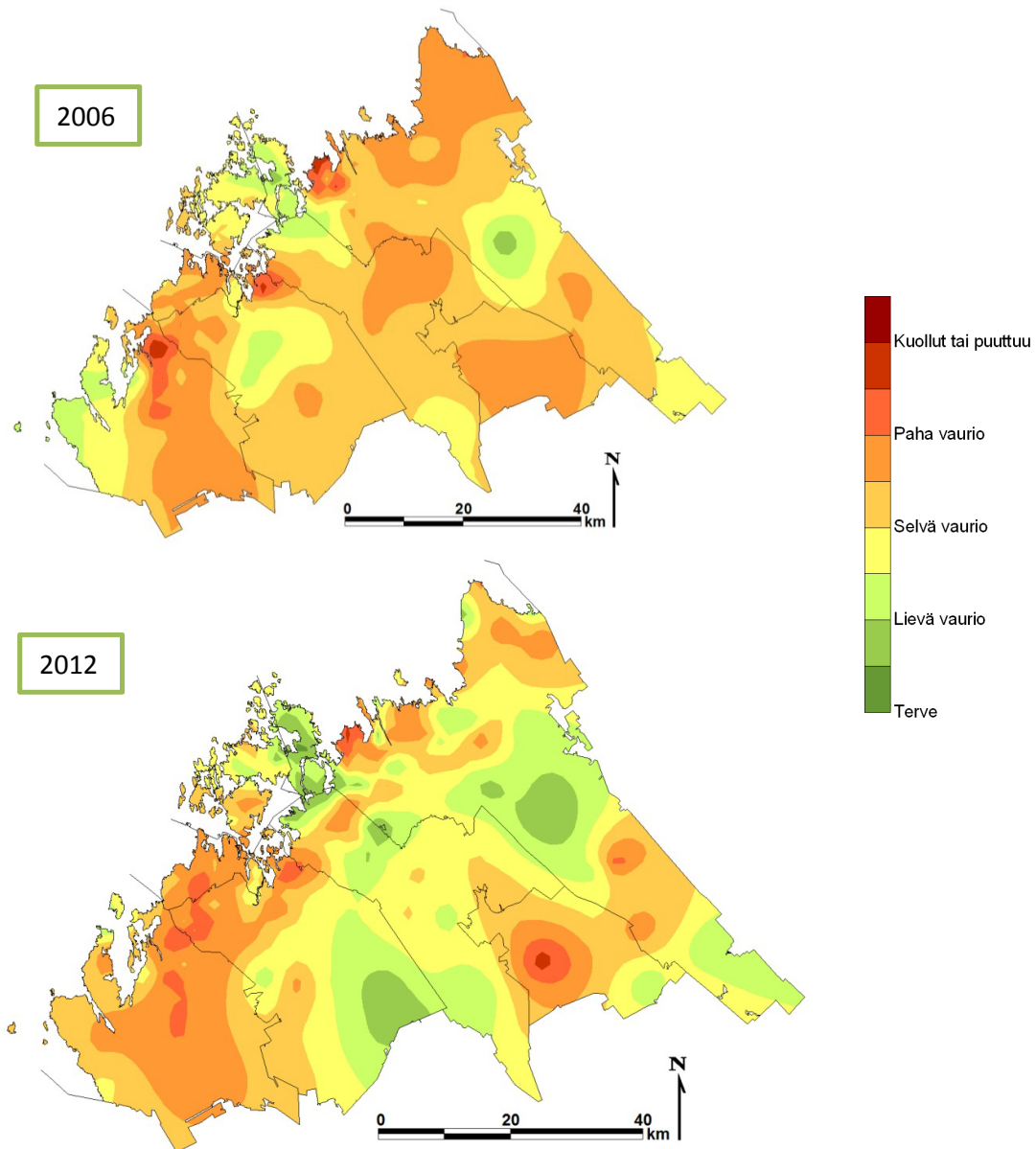
IAP-indeksi ja lajilukumäärä ilmentävät samantyyppistä kehitystä kuin yleinen vaurioaste; köyhtyneen lajiston vyöhyke on selventynyt ja voimistunut rannikon tuntumassa sekä Kaustisilla, mutta näiden alueiden väliin jäävällä alueella lajisto on luonnontilaisempaa. Myös Uudenkaarlepyyn selvästi köyhtyneet alueet ovat pienentyneet. (Kuva 112 ja 113.)

Taulukko 40. Männyn runkojäkälien tunnuslukuja kunnittain vuosina 2012, 2006 ja 2002 (2000).

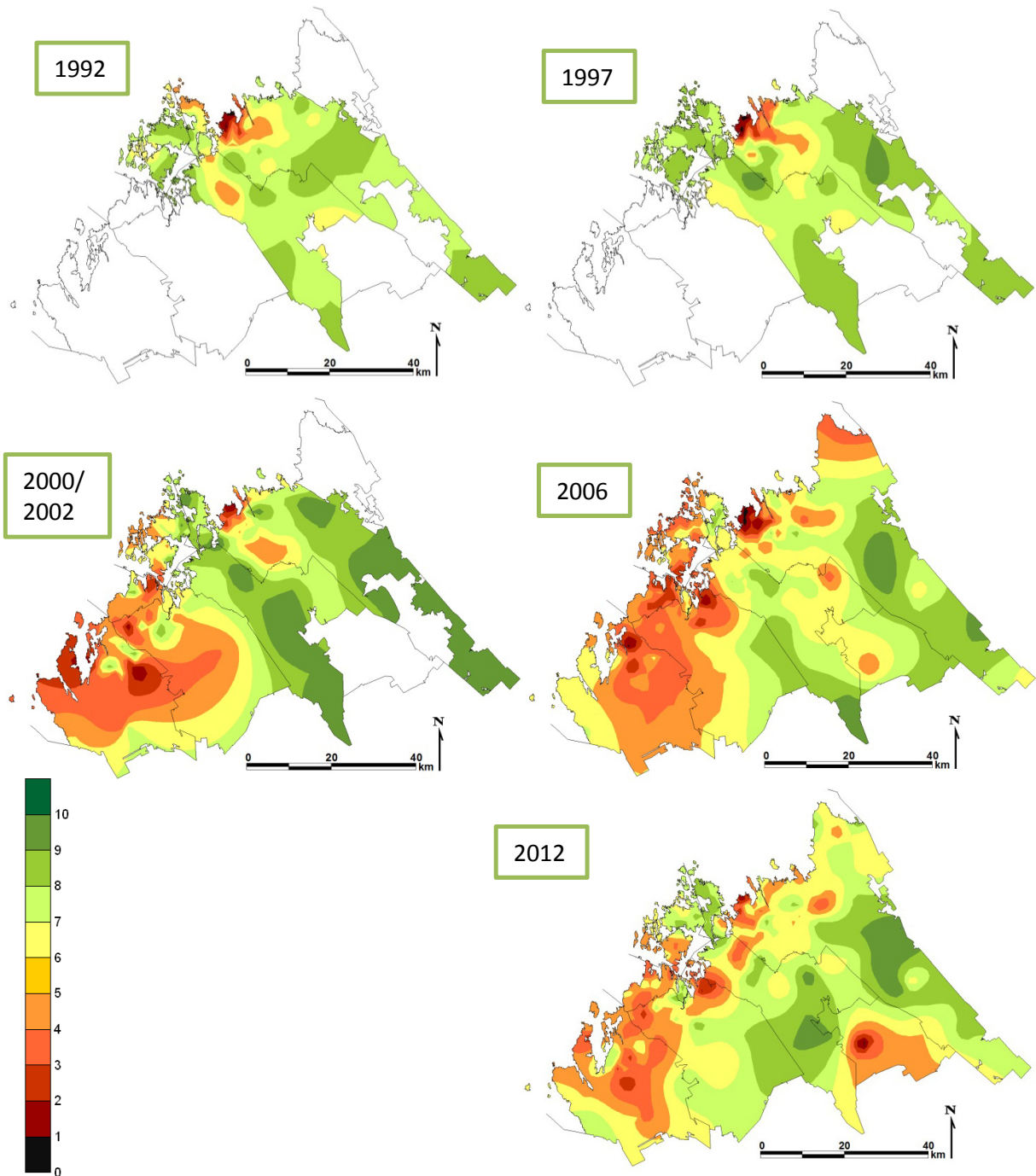
Kunta	Vuosi	Koko alue			Kokkola			Kruunupyö			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2006	2002/2000	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2000	2012	2006	2000	2012	2006	2000
	N	137	137	137	61	61	61	14	14	14	11	11	11	19	19	19	12	12	12	20	20	20
Sormipaisukarpeen vaurioaste	Keskiarvo	2,2	2,2	2,0	1,9	2,1	2,1	1,8	1,6	1,8	1,8	1,6	1,7	2,6	2,5	2,1	2,4	2,4	2,1	3,2	3,1	2,2
	Pienin	1	1	1	1,1	1	1	1	1,1	1,2	1,5	1,3	1,1	1,4	1,3	1	1,1	1,6	1,8	2	1,9	1
	Suurin	5	5	5	5	5	5	3	2,3	2,5	2,2	2	2	4,9	5	4	4,1	3,4	3	5	5	4
Yleinen vaurioaste	Keskiarvo	3,2	3,4	2,8	2,8	3,3		2,6	3,0		2,9	2,7	2,6	3,6	3,6	2,8	3,8	3,4	3,0	3,9	3,9	2,7
	Pienin	1,2	1,6	1	1,2	1,6		1,3	2		1,6	2,3	2	2,3	2,8	1	3,4	2,6	3	2,9	2,6	1
	Suurin	5	5	4	5	5		4	4		4	3,7	3	4,9	5	4	4	4	3	4,7	5	4
IAP	Keskiarvo	2,1	1,7	2,1	2,2	1,9	2,3	2,6	2,4	3,2	2,3	1,7	2,6	1,9	1,4	1,5	1,8	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7
	Pienin	0	0	0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5	1,9	1,3	0,6	1,2	0,1	0,0	0,1	1,1	0,6	0,6	0,5	0,1	0,1
	Suurin	4,3	4,4	4,4	4,3	4,4	4,2	3,5	3,9	4,4	3,3	2,8	3,9	2,7	2,6	2,9	2,8	2,1	2,9	2,8	2,4	3,4
Lajilukumäärä	Keskiarvo	5,2	4,5	5,5	5,5	4,8	5,7	6,5	6,0	7,4	5,7	4,5	6,2	4,8	3,6	4,4	4,6	3,6	4,8	3,9	3,7	4,4
	Pienin	0	0	0	0	0	0	3	3	6	3	2	3	1	0	1	3	2	2	2	1	1
	Suurin	9	9	9	9	9	9	9	8	9	8	7	9	9	7	9	7	6	8	7	6	9
Sormipaisukarpeen peittävyys	Keskiarvo	11,3	9,0		16,2	11,8		8,7	9,0		15,8	10,8		6,5	5,3		9,6	10,3		1,3	2,6	
	Pienin	0	0		0	0		0,9	0,2		2,4	2,3		0	0		0	0,3		0	0	
	Suurin	58	41		58,4	41,1		21,3	19,8		32,8	23,3		26,6	19,3		19,7	21,8		3,5	9,3	
Luppojen peittävyys	Keskiarvo	0,10	0,04		0,175	0,074		0,114	0,021		0,118	0,018		0	0		0	0		0	0	
	Pienin	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	Suurin	3,9	1		3,9	1		1	0,1		1,1	0,2		0	0		0	0		0	0	



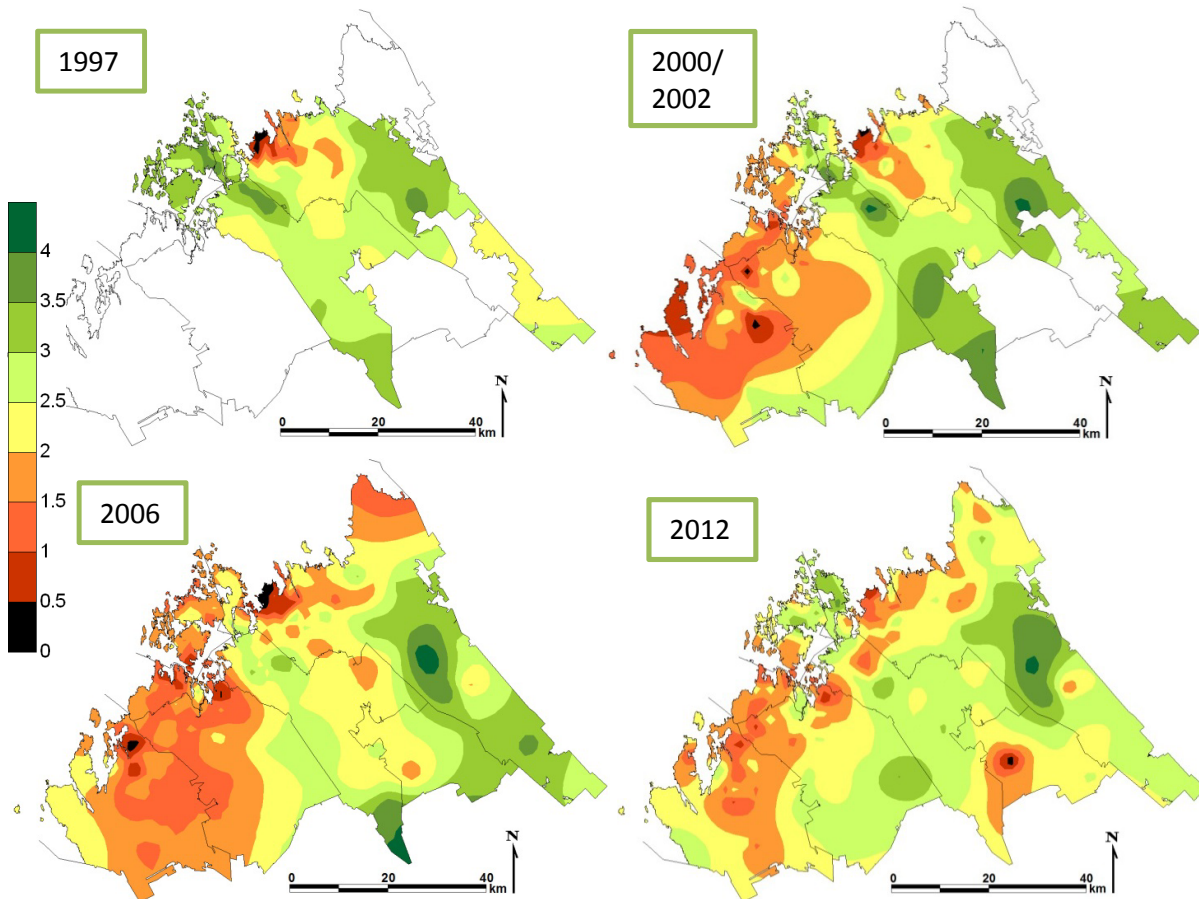
Kuva 110. Sormipaisukarpeen vaurioasteet tutkimusalueella vuosina 1992 (Kokkolan seutu), 1997 (Kokkolan seutu), 2000 (Pietarsaari) ja 2002 (Kokkola), 2006 ja 2012.



Kuva 111. Yleinen vaurioaste tutkimusalueella vuosina 2006 ja 2012.



Kuva 112. Ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälien lukumäärät tutkimusalueella vuosina 1992 (Kokkolan seutu), 1997 (Kokkolan seutu), 2000 (Pietarsaari) ja 2002 (Kokkola), 2006 ja 2012.



Kuva 113. IAP-indeksin vyöhykkeet tutkimusalueella vuosina 1997 (Kokkolan seutu), 2000 (Pietarsaari) ja 2002 (Kokkola), 2006 ja 2012.

6.1.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

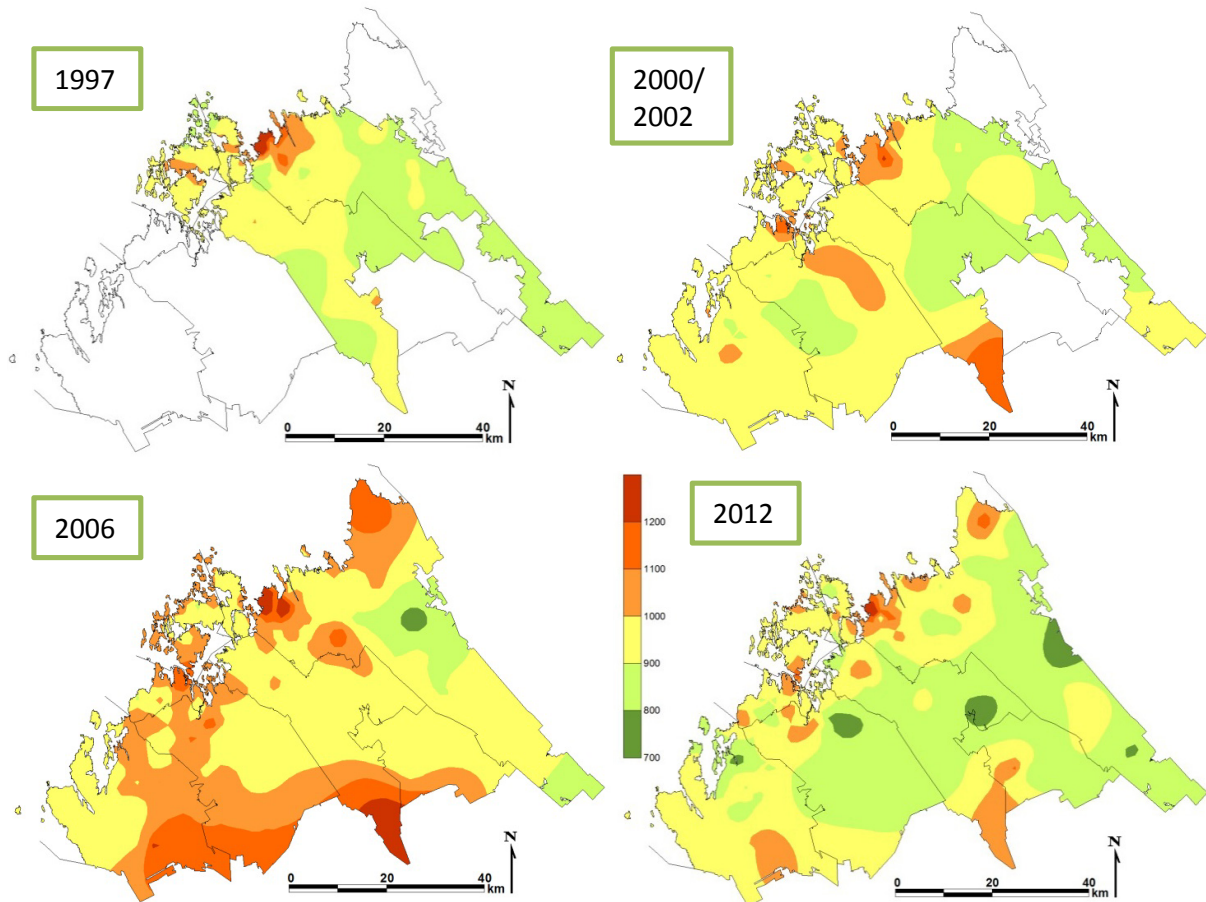
Taulukossa 41 on esitetty neulasten alkuainepitoisuuksien keskiarvot ja pienimmät ja suurimmat arvot koko alueen osalta ja kunnittain vuosilta 2012, 2006 ja 2002/2000. Vertailussa ovat mukana ne alat, jotka ovat pysyneet samoina ja joilta analyysit on kyseisinä tutkimusvuosina tehty.

Koko aluetta tarkasteltaessa kadmium-, koboltti-, kromi-, kupari-, rauta-, kalium- ja nikkelpitoisuuksien keskiarvot olivat kasvaneet vuoteen 2006 verrattuna. Arseenin, boorin, elohopean ja vanadiinin pitoisuudet olivat keskimäärin pysytelleet samalla tasolla. Kalsiumin, magnesiumin, mangaanin, typen, fosforin, rikin ja sinkin pitoisuudet olivat laskeneet keskimäärin vuoteen 2006 verrattuna. Kohonneet pitoisuudet olivat kaliumia lukuun ottamatta metalleja, joita pääsee ilmaan pääasiassa Kokkolan Ykspihlajan teollisuudesta. Ravinnealkuaineiden pitoisuudet olivat sen sijaan laskeneet. Kokkolassa elohopeaa, vanadiinia ja sinkkiä lukuun ottamatta metallien pitoisuudet olivat nousseet vuodesta 2006 vuoteen 2012. Kruunupyryssä boorin, kuparin, raudan, nikkelin ja koboltin pitoisuudet olivat keskiarvoisesti kohonneet, Luodossa olivat kohonneet kromin, kuparin, kaliumin, magnesiumin, nikkelin ja koboltin pitoisuudet, Pedersöressä arseenin, kromin, kuparin, raudan, magnesiumin, nikkelin, koboltin ja elohopean pitoisuudet. Pietarsaareissa arseenin, boorin, kromin, kuparin, raudan, kaliumin, nikkelin, koboltin ja elohopean pitoisuudet olivat kohonneet ja Uudessakaarlepyyissä arseenin, kuparin, raudan, kaliumin, nikkelin, koboltin ja vanadiinin pitoisuudet.

Kohonneet rikkipitoisuudet olivat eri tutkimusvuosina keskittyneet Kokkolan keskustan ympärille ja pienemmille alueille rannikon tuntumassa, sekä tutkimusalueen eteläosiin. Rikin pitoisuudet olivat kauttaaltaan matalampia vuonna 2012 verrattuna vuoteen 2006. (Kuva 114.)

Taulukko 41. Neulasten alkuainepitoisuudet kunnittain vuosina 2012, 2006 ja 2002/2000.

Kunta Vuosi N	Koko alue			Kokkola			Kruunupyv			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy			
	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	
As mg/kg	keskiarvo pienin suurin	0,06 0 1	0,06 0 2,97	0,09 0 1,74	0,13 0 1	0,12 0 2,97	0,19 0 1,74	0,00 0 0,03	0,00 0 0,03	0,02 0 0,25	0,01 0 0,03	0,01 0 0,07	0,02 0 0,13	0,02 0 0,13	0,02 0 0,13	0,02 0 0,06	0,02 0 0,05	0,02 0 0,05	0,01 0 0,05	0,01 0 0,03	0,01 0 0,03	
B mg/kg	keskiarvo pienin suurin	16,7 5 36	16,0 7,97 36,71		17,0 6,6 29	16,1 8,68 36,71		15,5 5 36	13,6 10,13 15,81		20,0 17,71 25,4	20,5 16 23	15,6 7,97 22,25	15,8 8,5 23		18,1 10,61 21,77	17,5 13 23		14,5 8,95 19,32	14,7 8,2 20		
Ca mg/kg	keskiarvo pienin suurin	2892 1600 5200	3275 2375 5598		3031 2000 4400	3288 2459 5217		2571 1600 3400	3352 2375 3998		3382 2800 5200	3502 2479 5598	2626 1700 3600	3142 2548 3824		3008 2000 4500	3554 2754 4603		2605 1800 3200	3017 2431,5 4042		
Cd mg/kg	keskiarvo pienin suurin	0,16 0,03 2,6	0,15 0,03 1,55	0,14 0 1,97	0,26 0,03 2,6	0,22 0,03 1,55	0,20 0 1,97	0,10 0,06 0,29	0,12 0,06 0,33	0,01 0 0,13	0,10 0,06 0,17	0,10 0,03 0,18	0,04 0 0,1	0,07 0,03 0,15	0,08 0,05 0,17	0,12 0,05 0,34	0,08 0,05 0,12	0,08 0,05 0,12	0,06 0,03 0,11	0,07 0,03 0,11	0,14 0,05 0,41	
Cr mg/kg	keskiarvo pienin suurin	0,16 0,06 0,75	0,14 0,03 2,54		0,20 0,07 0,75	0,10 0,03 0,46		0,12 0,07 0,19	0,12 0,03 0,16		0,13 0,07 0,22	0,07 0,03 0,12	0,07 0,03 0,16	0,12 0,03 0,75	0,10 0,03 0,75		0,12 0,03 0,22	0,08 0,03 0,18	0,13 0,06 0,6	0,36 0,03 2,54		
Cu mg/kg	keskiarvo pienin suurin	3,3 2,2 9,5	2,8 0,04 13,82		3,9 2,2 9,5	3,4 1,78 13,82		2,8 2,2 3,7	2,5 1,79 3,17		2,8 2,5 3,4	2,4 2,03 3,02	3,0 2,5 3,4	2,5 2,17 3,02		2,9 2,3 3,2	2,4 1,97 2,87		2,9 2,2 5,8	2,0 0,04 2,8		
Fe mg/kg	keskiarvo pienin suurin	107 32 690	87 34,85 927	154 37,4 3100	160 32 690	129 35,67 927	335 62 3100	76 38 210	64 46,52 143	79 79 79	56 43 80	59 42,91 132,5	48 41,1 64,4	64 46 94	49 34,85 67,97	46 37,4 58	71 39 170	53 37,22 81,49	54 42,4 92,1	60 43 85	50 39,09 66,79	45 38,7 58,9
K mg/kg	keskiarvo pienin suurin	5604 3900 7600	5529 4190 9767		5657 4300 7600	5591 4190 9767		5300 4600 6400	5383 4766 5992		5864 4800 6300	5346 4884 5765		5447 4400 6400	5764 4627 6980		5942 5400 7000	5469 4537 6292		5460 3900 7000	5357 4205 6583	
Mg mg/kg	keskiarvo pienin suurin	783 390 1000	797 425,8 1119		789 390 1000	796 425,8 999,4		774 610 1000	857 672,8 1075		886 760 980	862 719,4 964,6		758 520 1000	750 625,4 898,3		750 580 1000	782 610,2 1119		759 620 1000	773 673,5 890,4	
Mn mg/kg	keskiarvo pienin suurin	394 110 880	492 153 1981		416 160 880	517 153 1981		452 280 700	629 370,8 1079		414 200 660	493 272,8 705,5		351 110 860	415 249,7 880,35		323 210 500	433 329,3 672,4		358 140 600	428 181 831,9	
N %	keskiarvo pienin suurin	1,42 1,11 1,98	1,48 1,14 1,98		1,40 1,12 1,98	1,45 1,14 1,98		1,33 1,11 1,76	1,49 1,27 1,86		1,36 1,2 1,64	1,40 1,21 1,82		1,49 1,23 1,72	1,54 1,38 1,67		1,46 1,32 1,66	1,47 1,28 1,64	1,47 1,19 1,72	1,55 1,31 1,87		
Ni mg/kg	keskiarvo pienin suurin	1,16 0,09 7,7	0,58 0,18 2,9		1,89 0,28 7,7	0,76 0,2 2,9		0,60 0,36 1,1	0,48 0,25 1,07		0,54 0,42 0,73	0,38 0,25 0,61		0,59 0,41 1	0,48 0,27 0,81		0,57 0,34 1	0,39 0,22 0,89	0,57 0,09 2,2	0,46 0,18 1,86		
P mg/kg	keskiarvo pienin suurin	1377 1000 1900	1542 1128 1848		1374 1000 1800	1520 1128 1801		1279 1100 1400	1506 1371 1677		1427 1200 1900	1547 1327 1784		1437 1300 1600	1564 1415 1751		1433 1200 1600	1586 1354 1848		1335 1100 1500	1582 1360 1801	
S mg/kg	keskiarvo pienin suurin	965 760 1400	1031 740,5 1742	971 790 1300	995 760 1400	1041 740,5 1742	996 790 1300	877 760 1100	1008 911,6 1243	926 820 1200	977 870 1200	1006 893,7 1237	947 810 1090	963 850 1100	1023 903,1 1135	964 849 1070	973 870 1100	1044 933,3 1243	978 874 1150	929 810 1100	1030 922 1249	945 844 1100
Zn mg/kg	keskiarvo pienin suurin	53 24 240	56 27,15 270,7	56 27,5 320	67 31 240	69 27,15 270,7		43 25 72	52 33,7 68,25		49 38 73	50 36,31 62,68		39 28 56	41 28,02 55,15	40 31,4 56,8	42 29 50	47 36,63 60,91	45 35,2 56,4	39 24 62	45 31,57 59,2	42 27,5 52,1
	N	56	56		33	33		1	1		2	2		7	7		6	6	7	7		
Co mg/kg	keskiarvo pienin suurin	1,97 0,08 15,00	0,94 0,06 7,39		3,17 0,34 15,00	1,48 0,19 7,39		0,53 0,53 0,53	0,30 0,30 0,30		0,46 0,33 0,59	0,36 0,34 0,39		0,28 0,16 0,52	0,20 0,09 0,30		0,26 0,14 0,47	0,13 0,07 0,20	0,13 0,08 0,21	0,09 0,06 0,15		
V mg/kg	keskiarvo pienin suurin	0,14 0,07 0,64	0,15 0,07 0,64		0,15 0,08 0,33	0,16 0,08 0,52		0,09 0,09 0,09	0,10 0,10 0,10		0,11 0,08 0,13	0,10 0,09 0,11		0,11 0,08 0,13	0,12 0,08 0,16		0,18 0,07 0,64	0,19 0,08 0,64	0,10 0,07 0,16	0,09 0,07 0,17		
Hg mg/kg	keskiarvo pienin suurin	0,04 0,02 0,10	0,04 0,00 0,15		0,04 0,02 0,10	0,04 0,02 0,15	0,08 0,03 0,26	0,03 0,03 0,03	0,03 0,03 0,03		0,03 0,03 0,03	0,03 0,03 0,03		0,03 0,02 0,03	0,02 0,00 0,03		0,03 0,03 0,04	0,02 0,02 0,03	0,03 0,02 0,04	0,03 0,02 0,03		



Kuva 114. Männingin neulasten rikki- ja kadmiumpitoisuuksien (mg/kg) vyöhykkeet tutkimusalueella vuosina 1997, 2000-2002, 2006 ja 2012.

6.1.3 Sammalen alkuainepitoisuudet

Sammalen alkuainepitoisuudet eri tutkimusvuosina koko alueella ja kunnittain on esitetty taulukossa 41. Vuoteen 2006 verrattuna koko alueella tilastollisesti merkitsevästi (parittainen t-testi) oli kasvanut (suluissa merkitsevyys merkittynä tähdillä) alumiinin (***) , kalsiumin (***) , kromin (***) , natriumin (***) , nikkelin (*) , raudan (***) ja sinkin (**) pitoisuudet. Tilastollisesti merkitsevästi olivat vähentyneet boorin (***) , elohopean (***) , kadmiumin (*) , kaliumin (***) , fosforin (***) , kuparin (*) , lyijyn (**) , magnesiumin (**) , mangaanin (***) , rikin (***) ja vanadiinin (***) pitoisuudet. Verrattaessa vuoden 2012 tuloksia vuoteen 2002, Kokkolassa olivat tilastollisesti merkitsevästi vähentyneet kadmium- (**) ja elohopeapitoisuudet (***) , ja alumiini- (***) ja sinkkipitoisuudet kasvaneet (***) .

Sammalen **alumiini**pitoisuuksista oli vertailukelpoisia tuloksia vuosilta 2006 ja 2012. Kokkolan Ykspihlajan ympäristön sekä Pietarsaaren keskustan alojen alumiinipitoisuudet olivat kasvaneet. Edellistä vuotta korkeampia pitoisuuksia havaittiin myös Kruunupyssä Ferral Alucast Oy:n tuotantolaitoksen läheisyydessä, Kaustisen keskustassa, Kälviällä ja Uudenkaarlepyyn eteläosissa. Osin kohonneita pitoisuuksia selittää perustetut lisäalat, joilla on painotettu kuormitettujen alueiden läheisyyttä (Kruunupyy ja Kaustinen) sekä perustettu tausta-alueille lisäaloja (Uusikaarlepyy). (Kuva 115.)

Arseenin korkeimmat pitoisuudet on havaittu kaikkina tutkimusvuosina Kokkolan Ykspihlajan aloilla. Korkeimmat pitoisuudet havaittiin tarkastelujaksolta vuonna 1992, jonka jälkeen pitoisuudet ovat laskeneet. Vuoteen 2006 verrattuna arseenipitoisuuksien vyöhykkeissä ei havaittu merkittäviä muutoksia. (Kuva 116.)

Kadmiumin korkeimmat pitoisuudet on havaittu Ykspihlajalla vuonna 1992, jonka jälkeen pitoisuudet ovat johdonmukaisesti laskeneet, ja korkeampien pitoisuuksien vyöhykkeet pienentyneet. Myös lievästi kohonneiden kadmiumpitoisuuksien vyöhyke oli pienentynyt vuoteen 2006 verrattuna. (Kuva 117.)

Koboltin osalta pitoisuustietoja oli vuosilta 2006 ja 2012. Korkeimmat pitoisuudet havaittiin molempina vuosina Ykspihlajan alueella, ja pitoisuudet pienenevät etäisyyden Ykspihlajaan kasvaessa. Merkittäviä muutoksia pitoisuusvyöhykkeissä vuosien välillä ei havaittu. (Kuva 118.)

Kuparin pitoisuustietoja oli saatavilla vuosilta 2000/2002, 2006 ja 2012. Vuotta 2012 lukuun ottamatta korkeimmat pitoisuudet havaittiin Ykspihlajan alueella. Vuonna 2012 Luodon-Kokkolan rajalle muodostui pienialainen selvästi kohonneen pitoisuuden vyöhyke. Vuoteen 2012 mennessä kuparin lievästi kohonneiden pitoisuuksien vyöhyke oli pienentynyt. Pietarsaaren keskustan sammalten kuparipitoisuudet eivät enää vuonna 2012 olleet yhtä korkeita kuin aiempina vuosina. (Kuva 119.)

Korkeimmat **rauta**pitoisuudet sijoituivat Ykspihlajan alueelle kaikkina tutkimusvuosina, vaikka kohonneita rautapitoisuuksia havaittiin myös muualla tutkimusalueella. 2000-luvun muihin tutkimusvuosiin verrattuna Ykspihlajan rautapitoisuudet olivat kasvaneet hieman. (Kuva 120.)

Elohopeapitoisuudet olivat korkeimmillaan vuonna 1997. Korkeimmat pitoisuudet sijoituivat Ykspihlajalle, mutta pitoisuudet ovat laskeneet selvästi koko alueella 2000-luvulla, eikä vuonna 2012 havaittu merkittäviä muutoksia 2000-luvun muihin tutkimusvuosiin verrattuna. Myös lievästi kohonneiden pitoisuuksien vyöhykkeet ovat pienentyneet. (Kuva 121.)

Nikkelin pitoisuustaso on pienentynyt verrattuna tutkimusvuosiin 2000/2002. Vuonna 2006 kohonneita nikkelipitoisuuksia havaittiin erityisesti Uudenkaarlepyyn Jepuan aloilla, jotka kuitenkin laskivat vuoden 2012 tutkimuksessa. Ykspihlajan nikkelipitoisuudet olivat kohonneet selvästi vuoteen 2006 verrattuna. (Kuva 122.)

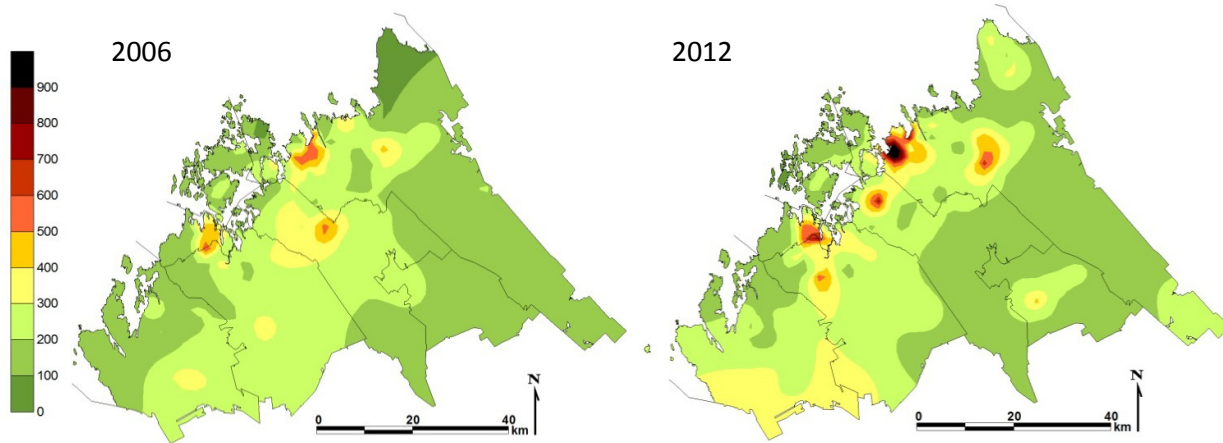
Korkeimmat **sinkki**pitoisuudet ovat kaikkina tutkimusvuosina sijoittuneet Ykspihlajalle. Ykspihlajan pitoisuudet ovat laskeneet selvästi 1990-luvun tasosta. Vuonna 2012 pitoisuudet olivat Ykspihlajalla hieman korkeampia kuin muina 2000-luvun tutkimusvuosina. (Kuva 123.)

Taulukko 42. Sammalten alkuainepitoisuudet (mg/kg) kunnittain vuosina 2012, 2006 ja 2002/2000.

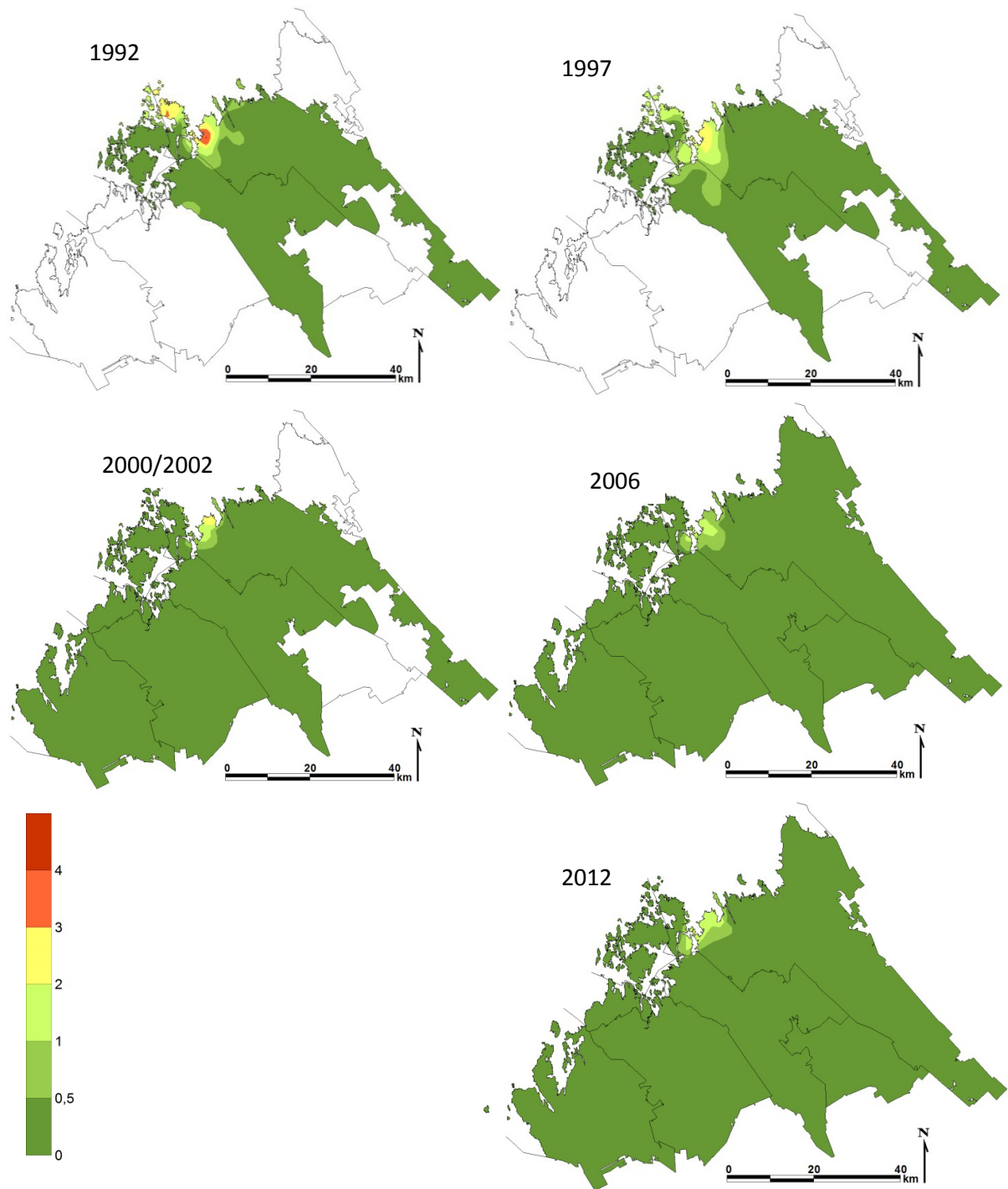
Kunta	Koko alue	Kokkola			Kruunupy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepy					
		2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002			
N		51	51	51	13	13	13	11	11	11	18	18	18	12	12	12	20	20	20			
Al mg/kg	Keskiarvo	271	226		332	257		187	213		177	175		247	201		310	249		214	188	
	Pienin	90	85		93	86		109	110		94	134		107	103		90	85		121	113	
	Suurin	1080	889		1080	889		392	342		275	209		447	495		1011	534		364	377	
As mg/kg	Keskiarvo	0,27	0,22	0,38	0,47	0,35	0,42	0,14	0,19	0,25	0,11	0,12		0,16	0,16		0,12	0,12		0,11	0,09	
	Pienin	0,05	0,05	0,25	0,07	0,07	0,25	0,05	0,06	0,25	0,07	0,08		0,05	0,05		0,05	0,05		0,07	0,05	
	Suurin	2,5	1,72	4,4	2,5	1,72	4,4	0,29	0,46	0,25	0,19	0,18		0,4	0,44		0,24	0,21		0,14	0,17	
B mg/kg	Keskiarvo	1,3	2,1	2,8	1,38	2,16		0,81	1,67		1,32	2,56		1,53	2,19	2,84	1,71	2,75	2,83	0,75	1,80	2,61
	Pienin	0,5	0,8	1,2	0,5	0,8		0,5	0,9		0,5	1,2		0,5	1,2	1,6	0,5	1	1,7	0,5	1	1,2
	Suurin	5,1	6,6	5,6	5,1	6,6		2	2,4		2	4,5		3	3,8	4,8	3	5,6	3,9	1	2,5	4,4
Ca mg/kg	Keskiarvo	2587	2443	2499	2576	2566		2200	2352		2755	2506		2878	2363	2469	3025	2628	2757	2250	2112	2359
	Pienin	1500	1642	1850	1800	1864		1700	2035		1500	2215		2300	1878	2060	2400	1858	2130	1900	1642	1850
	Suurin	4200	4047	3620	4200	4047		2500	2629		3700	2970		4000	3286	3620	4000	3737	3440	2800	2483	3030
Cd mg/kg	Keskiarvo	0,26	0,28	0,30	0,43	0,44	0,50	0,18	0,24	0,28	0,16	0,20	0,21	0,13	0,16	0,15	0,14	0,15	0,15	0,11	0,13	0,11
	Pienin	0,07	0,07	0,07	0,08	0,13	0,25	0,11	0,11	0,25	0,13	0,14	0,11	0,08	0,07	0,09	0,09	0,11	0,08	0,07	0,09	0,07
	Suurin	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2	1,4	0,39	0,47	0,69	0,23	0,27	0,25	0,23	0,26	0,22	0,25	0,23	0,22	0,15	0,19	0,19
Co mg/kg	Keskiarvo	3,4	3,6		6,63	6,96		1,80	2,42		2,05	2,00		0,99	1,36		1,12	1,06		0,48	0,48	
	Pienin	0,25	0,26		0,34	0,28		0,25	0,3		1,1	1		0,38	0,39		0,54	0,4		0,35	0,26	
	Suurin	27	30		27	30		5,4	8,6		3,7	3,6		1,9	3,1		2,4	2,5		0,69	0,88	
Cr mg/kg	Keskiarvo	1,0	0,8	1,0	1,28	0,90		0,76	0,73		0,83	0,51		0,89	0,77	1,09	1,20	0,95	1,06	0,80	0,64	0,86
	Pienin	0,54	0,25	0,32	0,62	0,3		0,57	0,45		0,69	0,3		0,55	0,36	0,33	0,56	0,42	0,44	0,54	0,25	0,32
	Suurin	3,6	3	3,23	3,6	3		1,1	1,1		1	0,76		1,5	1,5	2,85	2,9	1,8	2,12	1,3	2,1	3,23
Cu mg/kg	Keskiarvo	6,6	7,7	7,7	9,3	10,6	9,8	4,8	6,9	6,0	4,9	5,2	4,7	4,9	5,8	10,6	5,2	6,2	4,7	3,9	4,8	4,0
	Pienin	2,7	3,7	3	2,7	4	3	3,1	3,8	3,3	4,1	4,3	3,6	3,6	3,7	3,2	3,1	3,9	3,7	3,3	3,7	3,1
	Suurin	57	25	78,5	57	25	28	7,2	16	12	6,6	6,8	6,7	7,7	9	78,5	9,5	11	7,2	5,2	6,1	5,3
Fe mg/kg	Keskiarvo	456	344	500	623	435	588	278	312	400	255	232	418	387	275	462	516	347	618	281	251	349
	Pienin	120	107	207	170	130	230	120	158	280	120	167	255	130	127	278	140	107	228	150	130	207
	Suurin	2400	1455	1620	2400	1455	1400	660	539	660	460	305	660	740	782	822	1800	893	1620	530	584	784
Hg mg/kg	Keskiarvo	0,06	0,07	0,15	0,08	0,08	0,16	0,04	0,06	0,11	0,04	0,08		0,05	0,07		0,05	0,06		0,04	0,05	
	Pienin	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,06	0,02	0,04		0,03	0,04		0,03	0,04		0,03	0,03	
	Suurin	0,28	0,23	0,42	0,28	0,23	0,42	0,06	0,11	0,28	0,05	0,16		0,07	0,1		0,07	0,11		0,05	0,08	
K mg/kg	Keskiarvo	6377	12975	5984	6192	20847		6223	6688		6309	10429		7089	8092	5758	6525	7197	6424	6255	6248	6032
	Pienin	3900	4212	3840	3900	4553		4800	4212		4000	4843		5200	5303	3930	4900	5136	4200	4600	4391	3840
	Suurin	10000	42490	9900	10000	42490		8200	10000		8400	27650		10000	14240	8290	8500	10210	9900	8200	10680	9680
Mg mg/kg	Keskiarvo	1083	1150	900	1059	1213		948	1030		1053	1105		1218	1163	891	1281	1260	1001	1011	1015	845
	Pienin	570	802	630	720	838		680	848		570	913		910	921	680	850	846	660	820	802	630
	Suurin	2100	2094	1310	2100	2094		1300	1289		1300	1302		1800	1711	1130	1800	1686	1310	1400	1253	1110
Mn mg/kg	Keskiarvo	302	361	289	299	390		308	412		291	340		329	315	260	266	337	282	307	322	307
	Pienin	98	143	132	120	204		190	267		98	232		240	195	132	200	194	185	180	143	162
	Suurin	680	620	596	680	620		410	570		450	483		420	491	470	360	574	478	440	433	472
Na mg/kg	Keskiarvo	85	64		89	67		68	53		79	68		84	62		82	72		90	55	
	Pienin	46	32		47	34		52	42		46	44		66	41		47	50		59	32	
	Suurin	250	188		250	188		85	80		140	110		110	86		140	120		150	88	

Taulukko 41. Jatkuu

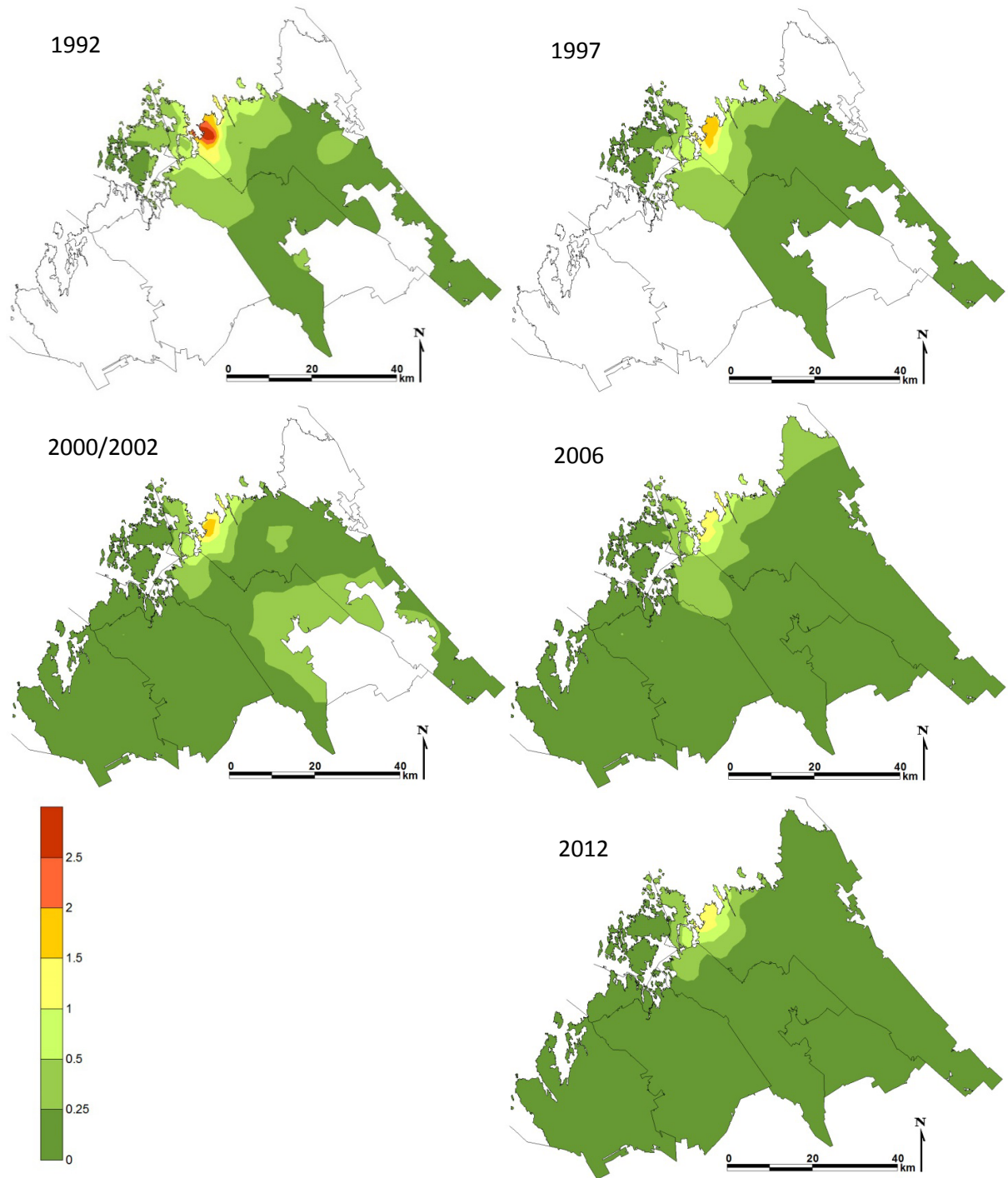
Kunta	N	Koko alue			Kokkola			Kruunupyö			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
Ni mg/kg	Keskiarvo	2,3	1,8	3,8	3,9	1,9	3,5	1,2	1,3	1,8	1,2	1,4	3,4	1,1	1,6	5,2	1,3	2,1	5,4	1,6	2,4	3,9
	Pienin	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,9	1,2	1	0,9	1,7	0,6	0,7	1,7	0,6	0,9	2,6	0,6	0,8	1,7
	Suurin	17	14,1	12,6	17	4,4	7,7	2,3	1,9	3,2	2,2	2,2	5,8	1,6	3,2	11,8	2,3	6,3	12,1	7,9	14,1	12,6
P mg/kg	Keskiarvo	1352	1533	1447	1332	1581		1199	1278		1307	1537		1628	1667	1417	1517	1711	1638	1182	1349	1363
	Pienin	680	980	810	820	1083		990	1022		680	1199		1000	1278	1000	1100	1115	1010	910	980	810
	Suurin	2600	2782	2320	2600	2718		1600	1563		1600	1817		2600	2782	2080	2100	2499	2320	1600	1741	2040
Pb mg/kg	Keskiarvo	3,0	3,7	3,3	5,0	5,6		1,8	3,2		1,6	2,2		1,8	2,7	3,7	1,4	2,1	3,8	1,3	1,9	2,5
	Pienin	0,77	0,4	1,51	0,95	0,4		0,92	1,3		1,1	1,6		0,77	1,3	2,48	0,98	1,3	2,68	0,87	1,4	1,51
	Suurin	22	30,9	6,9	22,0	30,9		4,2	6,9		2,3	2,8		4,0	5,9	6,1	2,8	3,4	6,4	1,7	2,6	3,7
S mg/kg	Keskiarvo	996	1077	1032	992	1081		851	920		835	981		1118	1136	1042	1114	1184	1130	1011	1107	961
	Pienin	480	752	800	720	780		730	752		480	853		810	929	870	910	892	887	790	853	800
	Suurin	1800	1794	1380	1800	1794		1000	1117		1000	1201		1700	1451	1250	1500	1725	1380	1600	1623	1260
V mg/kg	Keskiarvo	1,25	2,02		1,1	1,5		0,6	1,2		0,8	1,6		0,8	1,4		2,0	2,6		2,2	4,4	
	Pienin	0,4	0,7		0,4	0,7		0,4	0,7		0,7	1,2		0,4	0,7		0,5	0,7		0,4	0,9	
	Suurin	15	36		3,7	3,4		1,1	1,6		1,7	2,5		1,2	2,5		9,7	11		15	36	
Zn mg/kg	Keskiarvo	80	70	71	128	104	104	52	62	54	46	51	51	53	43	49	51	50	51	37	37	39
	Pienin	21	31	31	26	32	31	28	35	35	21	38	38,7	33	32	34,3	39	34	38,6	31	31	31,4
	Suurin	340	321	300	340	321	300	110	111	120	62	93	64	81	55	66,6	76	75	71,1	50	45	54,1



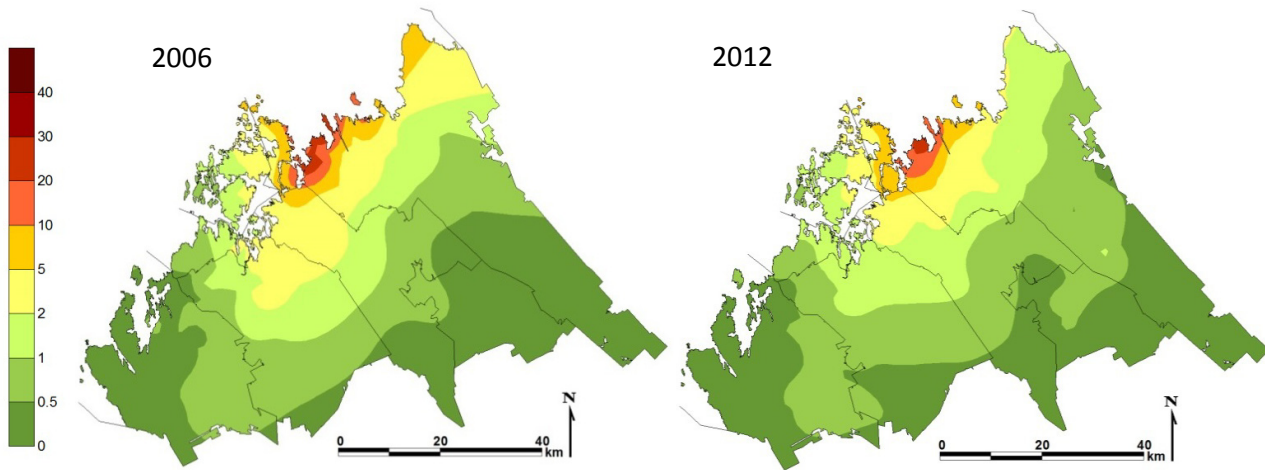
Kuva 115. Sammalen alumiinipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2006 ja 2012.



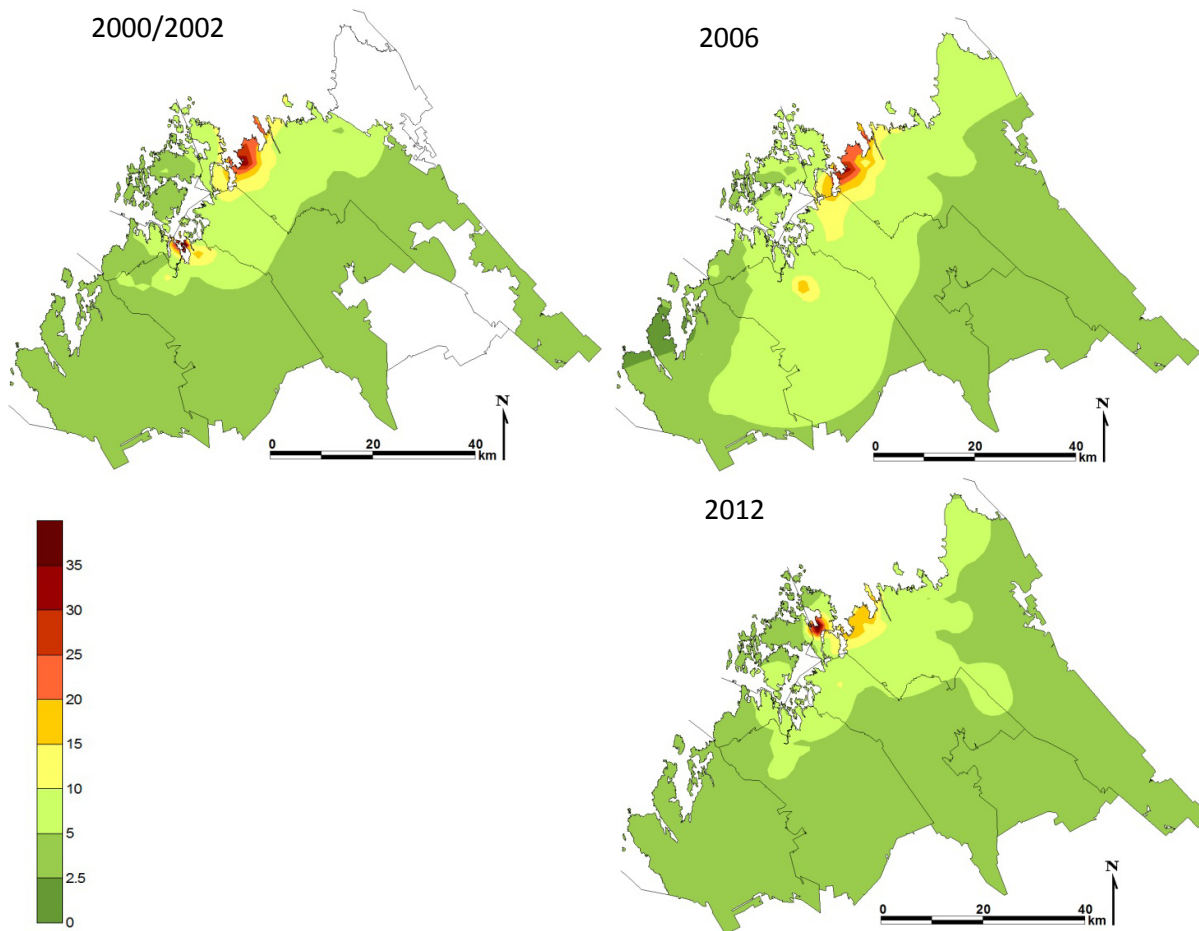
Kuva 116. Sammalen arseenipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006 ja 2012. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



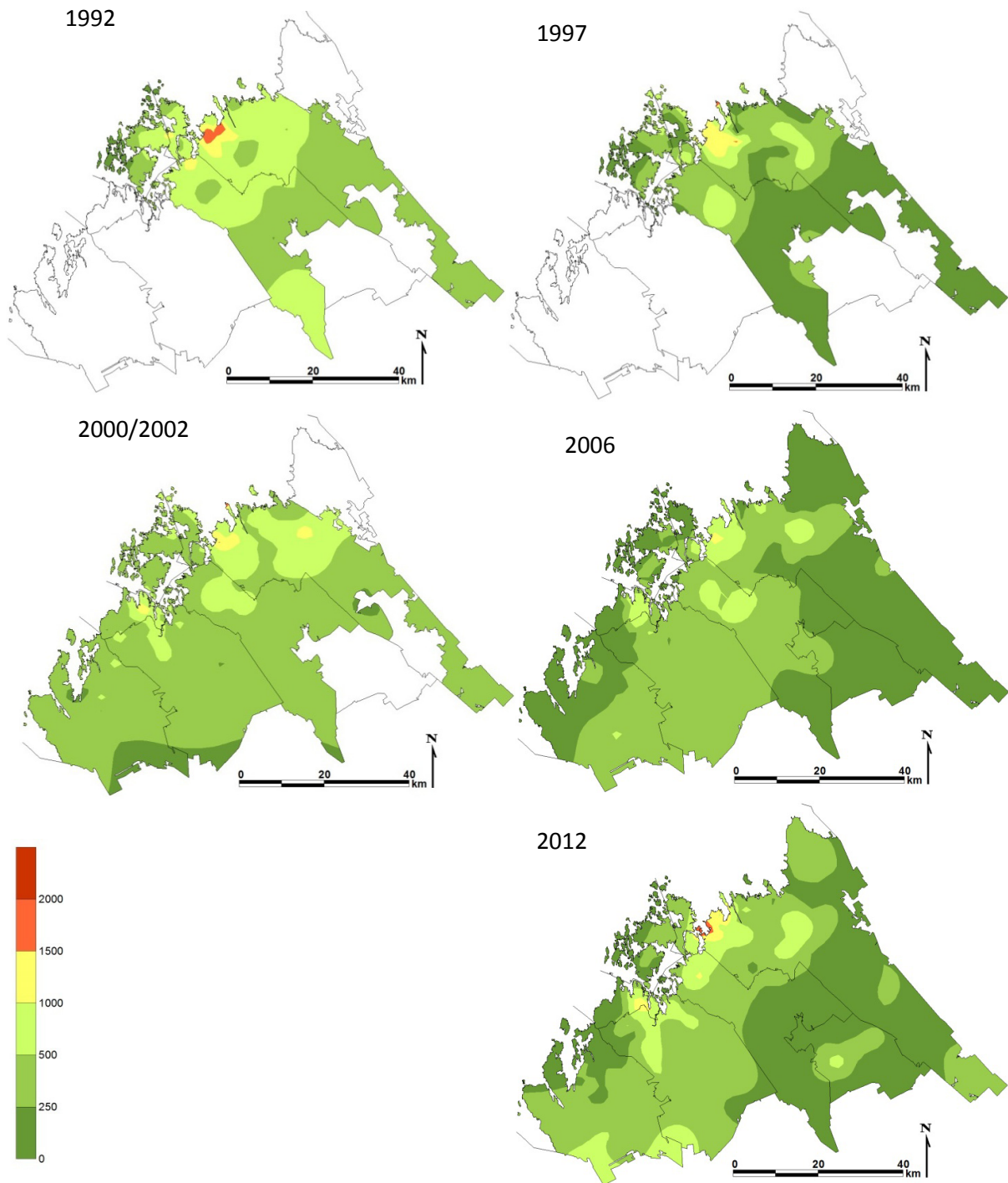
Kuva 117. Sammalen kadmiumpitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006 ja 2012. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



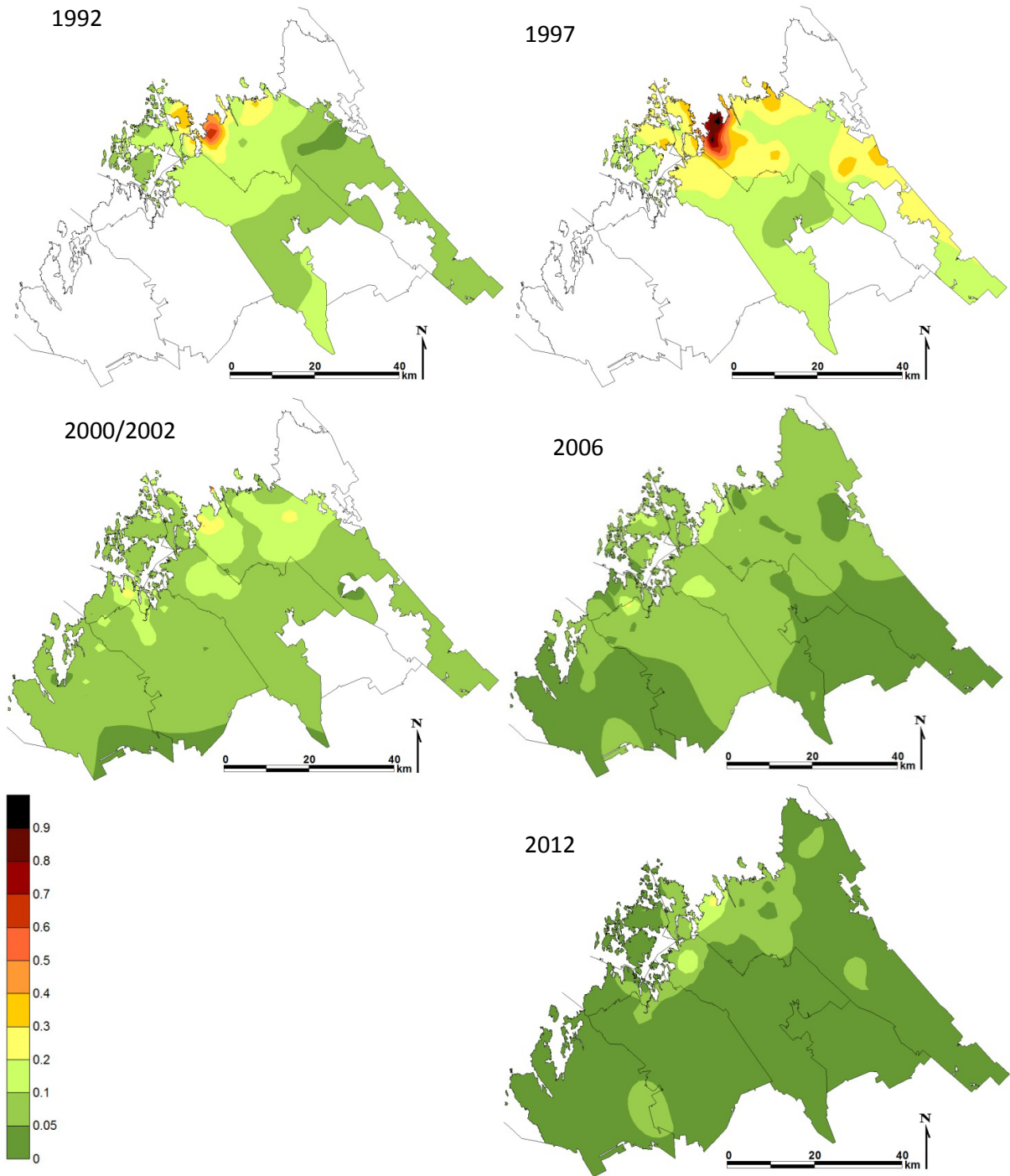
Kuva 118. Sammalen kobolttipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2006 ja 2012. Asteikko ei ole yhtenäinen.



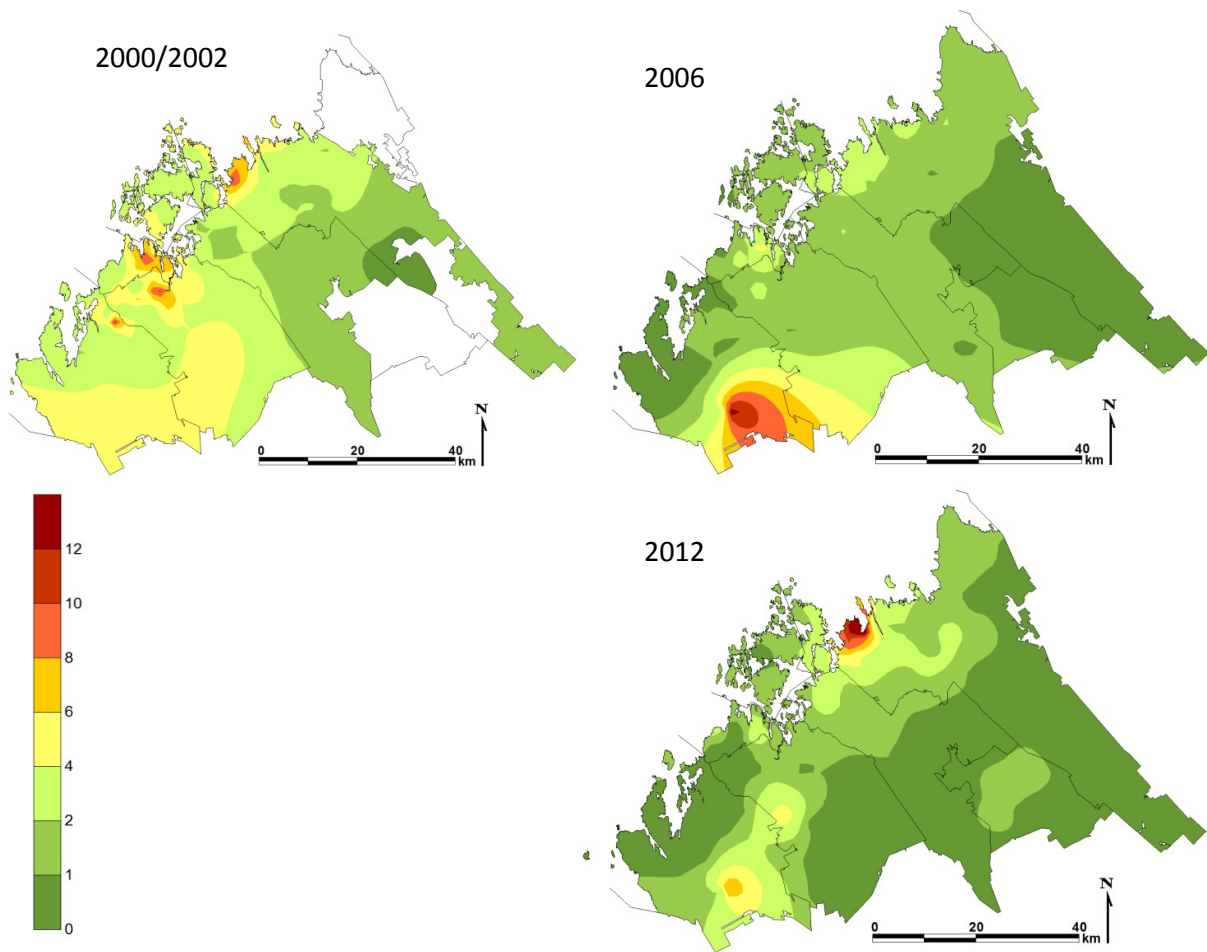
Kuva 119. Sammalen kuparipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2000/2002, 2006 ja 2012. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



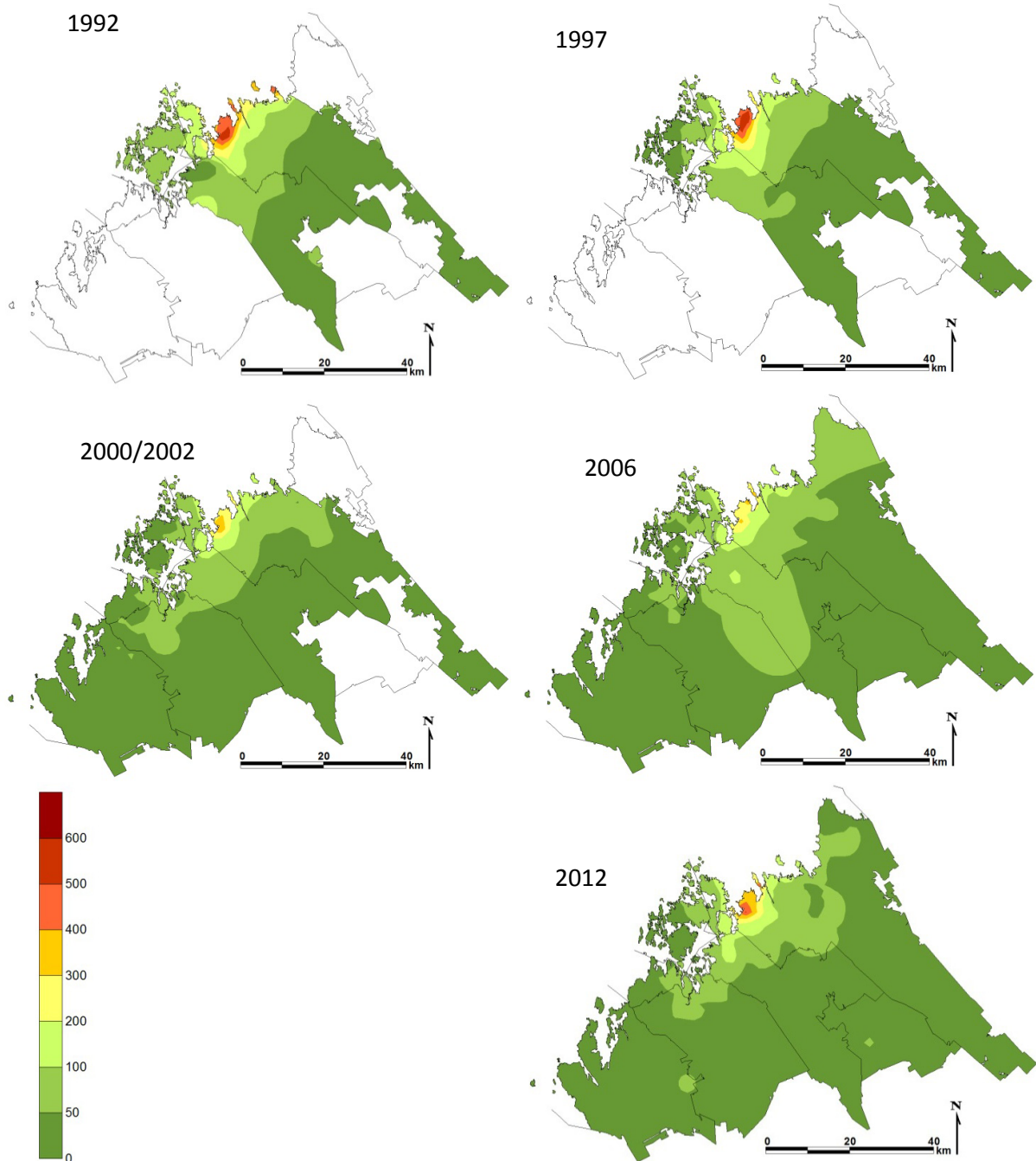
Kuva 120. Sammalen rautapitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006 ja 2012. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



Kuva 121. Sammalen elohopeapitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006 ja 2012. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



Kuva 122. Sammalen nikkeli­pitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2000/2002, 2006 ja 2012.

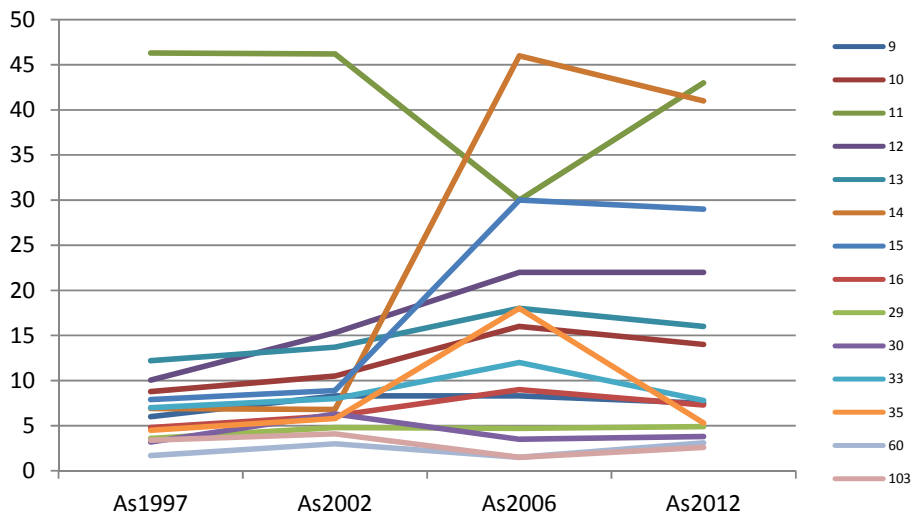


Kuva 123. Sammalen sinkkipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006 ja 2012. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.

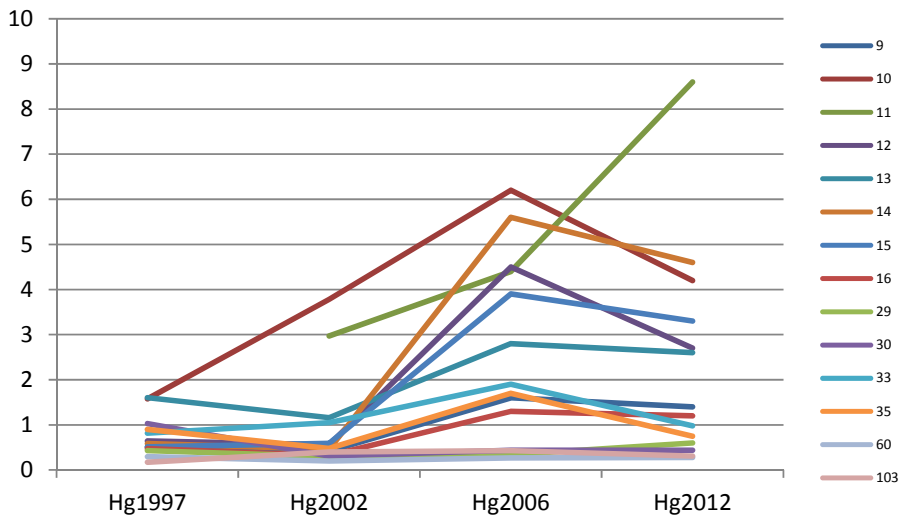
6.1.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Humuksen alkuainepitoisuudet vuosina 2012, 2006 ja 2002/2000 jaoteltuna kunnittain ja Kokkolan näytealoihin ja tausta-aloihin on esitetty taulukossa 43. Vuoteen 2006 verrattuna tilastollisesti merkitsevästi Kokkolan seudulla oli noussut kaliumpitoisuus (*), ja vaihtohappamuus laskenut (**). Tausta-aloilla kalsiumpitoisuus oli laskenut (*). Pietarsaarella ja Uudessakaarlepyyssä kalsiumin (*), magnesiumin (*), fosforin (*) ja rikin (Pietarsaari *, Uusikaarlepyy **) pitoisuudet olivat laskeneet, Pietarsaarella lisäksi lyijy- (*) ja sinkkipitoisuudet (*) olivat laskeneet ja pH kasvanut (**). Uudessakaarlepyyssä edellä mainittujen lisäksi oli laskenut boorin pitoisuus (*). Alumiinipitoisuutta vuosien välillä ei ole vertailtu analyysimenetelmän erojen takia.

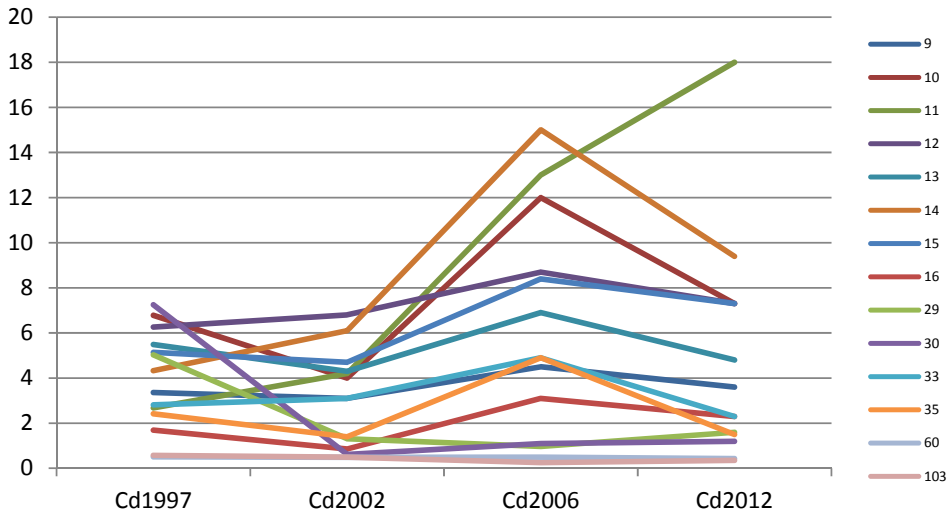
Kokkolan näytealojen vuosien väliset muutokset (1997-2012) eri metallien osalta on esitetty kuvissa 124-133. Suurimmalla osalla aloista arseenipitoisuudet ovat suurempia kuin vuonna 1997, mutta pitoisuudet ovat pääsääntöisesti laskeneet edelliseen tutkimusvuoteen 2006 verrattuna. Elohopea- ja kadmiumpitoisuuksien hajonta on kasvanut vuoteen 1997 verrattuna, mutta pitoisuudet ovat niinkään pienentyneet vuoteen 2006 verrattuna alaa 11 lukuun ottamatta. Koboltilla osalla niistä aloista, joilla on havaittu suurimpia pitoisuuksia, pitoisuudet ovat kasvaneet, mutta pienemmillä pitoisuuksilla laskeneet. Kuparipitoisuudet ovat laskeneet edelliseen tutkimusvuoteen verrattuna lukuun ottamatta alaa 11, mutta ovat hieman korkeampia kuin vuonna 1997. Magnesiumpitoisuuksien muutoksessa ei ole havaittavissa selvää trendiä. Nikkelipitoisuuksien hajonta on kasvanut, mutta pitoisuudet ovat vähentyneet vuoteen 2006 verrattuna lukuun ottamatta alaa 11. Myös rautapitoisuudet ovat vähentyneet vuoteen 2006 verrattuna. Alan 11 rautapitoisuus on huomattavasti muita aloja korkeampi. Sinkkipitoisuudet ovat pysytelleet samalla tasolla, pieniä vuosien välisiä vaihteluita alojen pitoisuuksissa on. Korkeimmat vanadiinipitoisuudet ovat kasvaneet, muilla aloilla pitoisuudet ovat pienentymään päin.



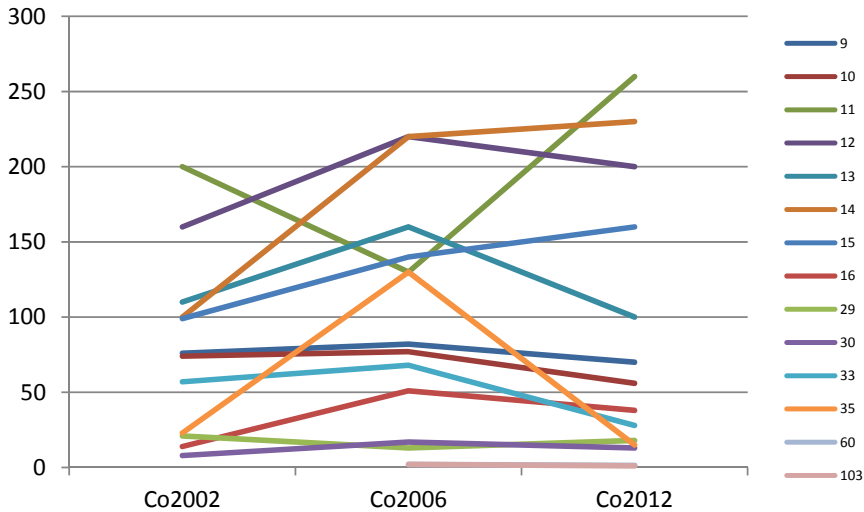
Kuva 124. Humuksen arseenipitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 1997, 2002, 2006 ja 2012.



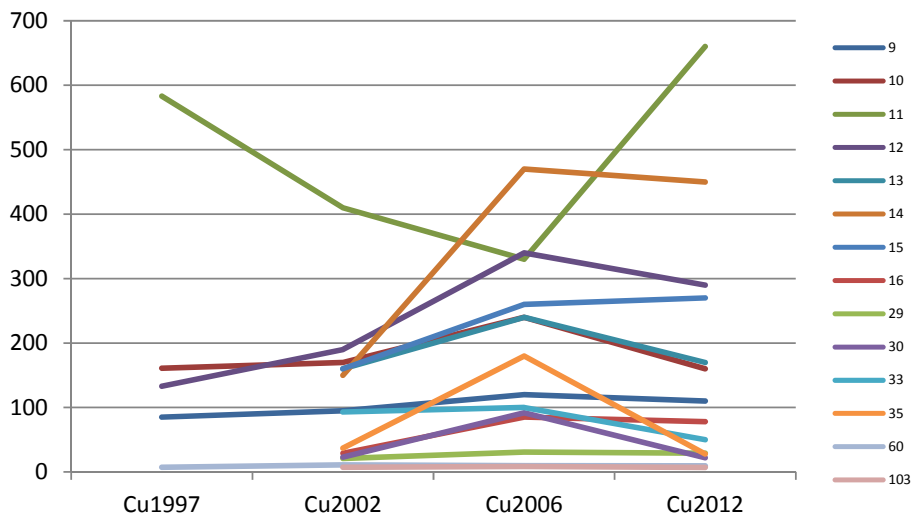
Kuva 125. Humuksen elohopeapitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 1997, 2002, 2006 ja 2012.



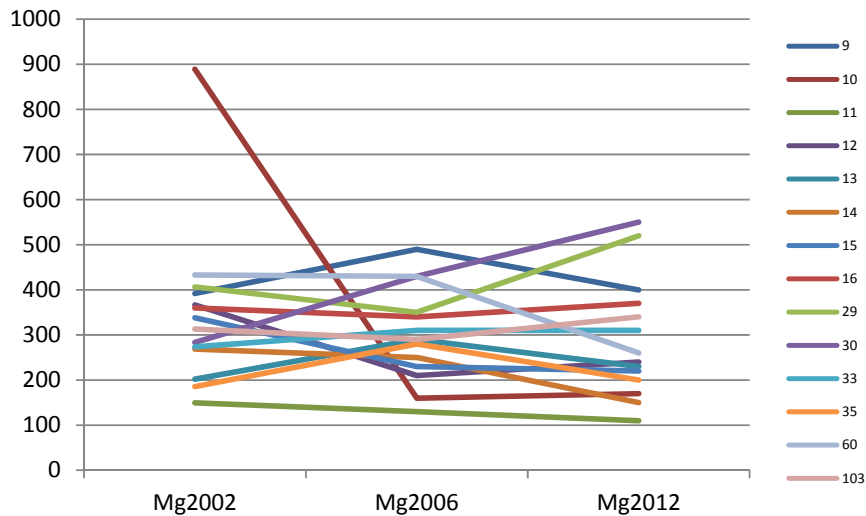
Kuva 126. Humuksen kadmiumpitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 1997, 2002, 2006 ja 2012.



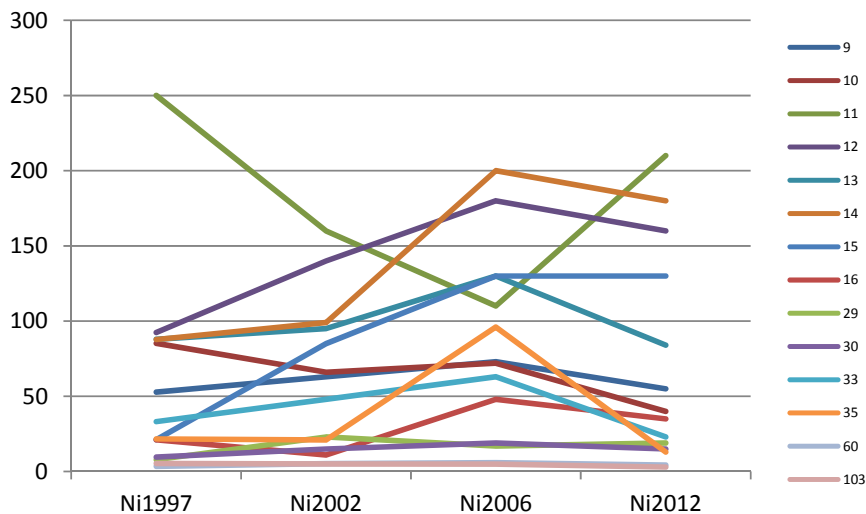
Kuva 127. Humuksen kobolttipitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 2002, 2006 ja 2012.



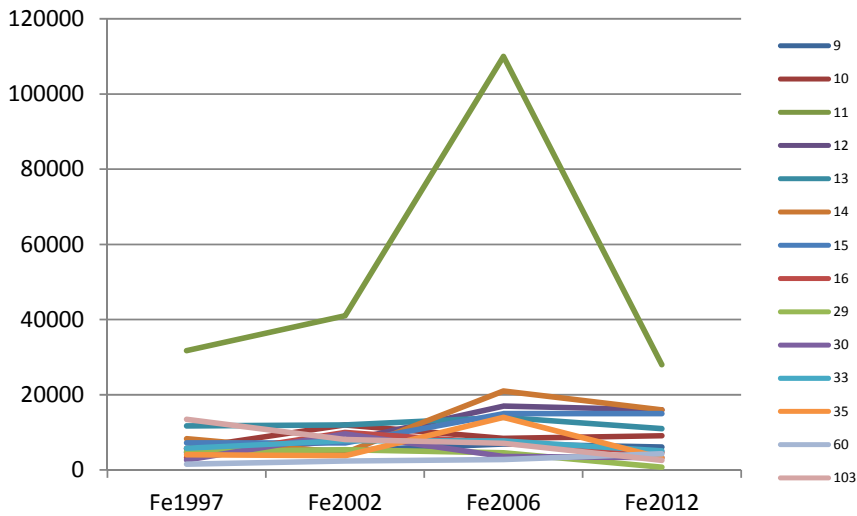
Kuva 128. Humuksen kuparipitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 1997, 2002, 2006 ja 2012.



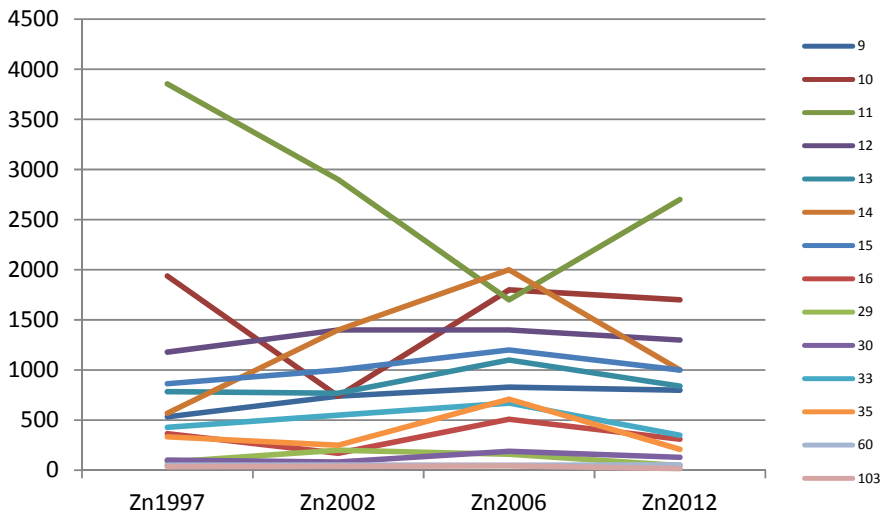
Kuva 129. Humuksen magnesiumipitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 2002, 2006 ja 2012.



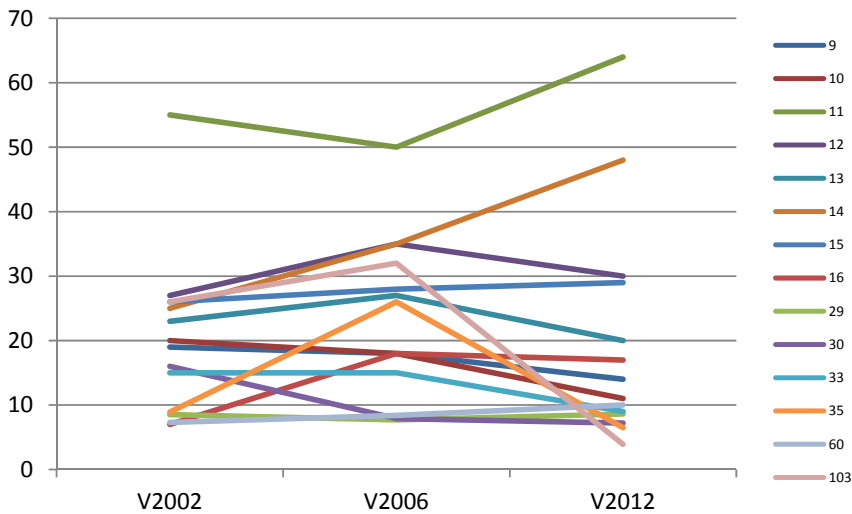
Kuva 130. Humuksen nikkelpitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 1997, 2002, 2006 ja 2012.



Kuva 131. Humuksen rautapitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 1997, 2002, 2006 ja 2012.



Kuva 132. Humuksen sinkkipitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 1997, 2002, 2006 ja 2012.



Kuva 133. Humuksen vanadiinipitoisuudet (mg/kg) Kokkolan näytealoilla sekä tausta-aloilla (60 ja 103) vuosina 2002, 2006 ja 2012.

Taulukko 43. Humuksen alkuainepitoisuudet (mg/kg) kunnittain vuosina 2012, 2006 ja 2002/2000.

N		Kokkolan näytealat			Kokkolan tausta-ajat			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
		12	12	12	2	2	2	3	0	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4
As mg/kg	Keskiarvo	17	18	12	2,85	1,5	3,55												
	Pienin	3,8	3,5	4,8	2,6	1,5	3												
	Suurin	43	46	46	3,1	1,5	4,1												
B mg/kg	Keskiarvo							4	5,9	2,4	4,0	3,6	2,4	7,7	8,3	2,2	3,8	1,7	
	Pienin							3,6	2,8	1,4	3	2,4	1,8	5	3,9	1,9	3	0,9	
	Suurin							4,7	9,2	3,6	6	4,9	2,7	14	14,6	2,5	5	3	
Ca mg/kg	Keskiarvo	1473	1328	1526	1600	2650	2539	2333	3673	1880	4120	3356	2070	4075	4528	1600	2700	2141	
	Pienin	880	500	717	1300	2400	2037	1800	2340	1100	3100	1960	780	1700	3910	1400	2300	683	
	Suurin	2200	2600	2554	1900	2900	3040	2900	4660	2800	5000	4270	3700	6200	6160	2000	3300	4310	
Cd mg/kg	Keskiarvo	5,6	7,0	3,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,1	0,2	
	Pienin	1,2	0,97	0,62	0,35	0,25	0,49	0,25	0,27	0,23	0,25	0,24	0,26	0,25	0,3	0,26	0	0,09	
	Suurin	18	15	6,8	0,43	0,5	0,5	0,59	0,48	0,6	0,7	0,58	0,77	1	0,49	0,41	0,25	0,46	
Co mg/kg	Keskiarvo	99	109	78,5	1,2	2													
	Pienin	13	13	8	1	2													
	Suurin	260	220	200	1,4	2													
Cr mg/kg	Keskiarvo							5,1	9,1	3,7	3,4	5,7	7,0	9,0	7,2	2,9	3,8	2,8	
	Pienin							3,7	6,3	2,8	2	4,6	5,9	7,8	5,8	2,6	2	0,8	
	Suurin							6,8	14,2	4,5	5	8,3	8,5	11	9,4	3,1	6,3	3,9	
Cu mg/kg	Keskiarvo	193	207	128	8,4	9,3	9,2	11,1	12,1	11,2	13,4	13,8	15,0	17,0	13,2	8,0	8,2	5,0	
	Pienin	22	31	21	7,2	8,5	7,3	7,2	9,6	6,4	7,9	8,8	10	15	8,5	6,7	7	2,1	
	Suurin	660	470	410	9,5	10	11	14	13,6	16	17	17,7	20	19	17,9	9,4	8,8	9,5	
Fe mg/kg	Keskiarvo	9854	19108	10525	3450	4950	5250	3000	6133	2020	2260	5420	7050	12300	3705	1218	2900	1363	
	Pienin	750	3600	3800	2600	2800	2400	1700	4360	1600	1400	2000	2500	3700	2410	970	1300	492	
	Suurin	28000	110000	41000	4300	7100	8100	4700	7780	2400	3600	7960	18000	36000	5500	1500	7300	2080	
Hg mg/kg	Keskiarvo	2,61	2,89	1,03	0,30	0,35	0,30												
	Pienin	0,44	0,34	0,3	0,28	0,27	0,2												
	Suurin	8,6	6,2	3,78	0,31	0,43	0,4												
K mg/kg	Keskiarvo	478	610	436	365	645	547	473	804	626	934	705	513	1233	874	515	985	355	
	Pienin	250	340	233	350	630	536	250	739	500	760	570	410	830	659	450	600	179	
	Suurin	730	890	688	380	660	559	610	899	710	1200	863	600	1900	1000	600	1600	610	
Mg mg/kg	Keskiarvo	289	289	343	300	360	373	337	605	334	546	556	295	568	523	325	508	269	
	Pienin	110	130	150	260	290	313	210	409	230	450	460	240	340	498	210	350	121	
	Suurin	550	490	889	340	430	433	450	927	480	680	672	330	710	547	430	690	443	
Mn mg/kg	Keskiarvo							197	138	130	111	69	77	82	149	109	88	36	
	Pienin							91	55	43	55	30	34	17	66	47	55	21	
	Suurin							340	296	310	190	132	120	150	314	180	130	53	
Na mg/kg	Keskiarvo	37	47	118	29	31	37												
	Pienin	15	25	31	25	26	36												
	Suurin	94	118	900	32	36	37												
Ni mg/kg	Keskiarvo	80,3	94,8	68,8	3,6	5,5	5,2	7,5	7,3	6,1	8,7	7,8	10,0	12,6	9,8	4,2	4,8	3,2	
	Pienin	13	17	11	2,9	5	5,1	5,5	7,1	3,4	5,3	5,4	5,7	5,4	4,5	4	4	1,5	
	Suurin	210	200	160	4,3	5,9	5,3	8,7	7,6	9,2	14	9,5	16	19	15,3	4,4	5,1	5,7	

Taulukko 43. jatkuu

N	Kokkolan näytealat			Kokkolan tausta-ajat			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
	12	12	12	2	2	2	3	0	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4
P mg/kg	Keskiarvo						577		1130	594	976	1186	630	998	964	740	968	527
	Pienin						420		691	490	870	858	380	940	778	540	830	232
	Suurin						790		1390	670	1100	1510	850	1100	1210	840	1200	755
Pb mg/kg	Keskiarvo						24		27,5	28	39	40	47	67	96	31	32	21
	Pienin						15		22	19	27	19,2	31	37	34,4	20	23	9,3
	Suurin						30		33,3	42	45	77,1	70	97	231	36	38	32,3
S mg/kg	Keskiarvo						1257		1672	1460	2060	2808	1385	2100	1795	1350	2225	1215
	Pienin						670		995	1100	1700	1690	840	2100	1490	1000	1800	418
	Suurin						1900		2150	2000	2500	4320	1800	2100	2100	1700	2500	1920
V mg/kg	Keskiarvo	22,0	23,8	20,9	7,0	20,2	16,7											
	Pienin	7	8	7	4	8	7											
	Suurin	64	50	55	10	32	26											
Zn mg/kg	Keskiarvo	866	1023	850	36	48	46	69	71	59	80	51	49	81	73	47	59	33
	Pienin	48	160	84	17	44	40	37	38	23	52	23	24	31	54	37	46	11
	Suurin	2700	2000	2900	55	51	52	86	113	100	110	86	73	120	94	55	65	57
vaihtohappamuus	Keskiarvo	9,4	15,1	11,2	8,8	9,8	7,8	4,6		7,9			10,5			8,0		
	Pienin	3,1	8,7	5,1	8,5	8,5	7,3	1		5			3,8			6,2		
	Suurin	12,6	19	16,3	9,1	11	8,4	7,1		10,2			24,4			10,5		
pH	Keskiarvo	3,9		3,8	4,0		3,9	4,3		4,0	3,8		4,1	3,8		4,0	3,8	
	Pienin	3,6		3,5	3,9		3,8	3,9		3,9	3,8		4	3,7		3,7	3,6	
	Suurin	4,5		5,2	4		3,9	4,9		4,2	3,9		4,3	4		4,3	4	
kationinvaihtokapasiteetti	Keskiarvo	23	26	24	19	28	25	27		30			39			44		
	Pienin	14	17	18	17	27	24	23		26			35			40		
	Suurin	32	30	29	22	28	27	29		35			45			48		

6.2 Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

Tässä luvussa vertaillaan muualla Suomessa tehtyjen tutkimusten tuloksia Kokkolan ja Pietarsaaren alueiden bioindikaattoritutkimuksen tuloksiin.

6.2.1 Mäntyjen runkojäkälät

Taulukossa 44 on verrattu Kokkolan ja Pietarsaaren alueiden bioindikaattoritutkimuksen tuloksia eri puolilla Suomea tehtyjen tutkimusten tuloksiin jäkälämuuttujien osalta. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli Kokkolan-Pietarsaaren alueella korkeampi kuin vertailualueilla, ja lajilukumäärä muita alueita alhaisempi Turun seutua lukuun ottamatta. Kokkolan-Pietarsaaren alueella on runsaasti sekä pistemäisiä teollisuus-päästölähteitä että turkistarhauksen ja karjatalouden hajapäästölähteitä, jotka ovat vaikuttaneet jäkälien kuntoon ja lajiston koostumukseen myös kauempana teollisuusalueista ja asutuskeskittymistä.

Taulukko 44. Sormipaisukarpeen vaurio ja puukohtainen lajilukumäärä Kokkolan ja Pietarsaaren alueiden bioindikaattoritutkimuksessa 2012 sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Lehtonen ym. 2012, Lehtonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2010, Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a-f, Haahla ym. 2006a, Haahla ym. 2006b.

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

6.2.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Taulukossa 45 on vertailtu neulasten alkuainepitoisuuksia Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla muihin Suomessa tutkittuihin alueisiin. Mukana on lisäksi neulasten alkuainepitoisuuksien vertailuarvoja, jotka kuvaavat metsikön keskimääräistä ravinnetilaa.

Mangaanin, magnesiumin ja fosforin pitoisuudet asettuivat keskimääräisten vertailuarvojen alapuolelle muiden ravinnepitoisuuksien ollessa vertailuarvojen kanssa keskimäärin samalla tai korkeammalla tasolla. Pitoisuudet olivat myös fosforia lukuun ottamatta alhaisemmalla tasolla kuin muualla Suomessa.

Neulasten vertailluista metallipitoisuuksista keskimääräiset kadmium-, kromi- ja nikkelpitoisuudet jäivät alhaisemmaksi kuin Uudellamaalla. Keskimääräiset sinkkipitoisuudet olivat samaa tasoa kuin muilla rannikkoalueilla. Keskimääräiset rautapitoisuudet olivat korkeampia kuin vertailualueilla.

Taulukko 45. Neulasten alkuainepitoisuuksia Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla ja muilla alueilla. Muut tulokset lähteistä Reinikainen ym. 1998 Brække 1995, Mälkonen 1991 ja Raitio 1994 mukaan; Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008c-f, Merilä 2007, Haahla ym. 2006, Polojärvi ym. 2005.

	Kokkola- Pietarsaari 2012	vertailu- arvo	Pyhäjärvi- seutu 2007	Seinäjoki 2006	Suupohja 2006	Vaasa 2006	Vakka- Suomi 2006	ICP Forests 2002-05	Turku 2005	Keski- Suomi 2005	Uusimaa (taajama- alueet) 2005
B mg/kg	16,3	12,1	15	15,4	16,2	19,3	19	10,3		18,1	20,5
Ca mg/kg	2881	1850 - 2280	3265	3218	3447	3475	3524	3080	4400	4800	2800
Cd mg/kg	0,13			0,08	0,12	0,12					0,2
Cr mg/kg	0,16			0,13	0,14	0,16	0,095				0,2
Cu mg/kg	3,2	2,6 - 3,2	3,0	2,2	2,2	2,4	2,6	2,2			3,3
Fe mg/kg	94	46,4	61	68	63	74	58	40			54
K mg/kg	5499	4820 - 4870	5586	4697	4396	5254	5077	4580	5600	5700	5900
Mg mg/kg	783	990 - 1070	767	879	892	880	887	890	1000	1000	1200
Mn mg/kg	388	409 - 555	508	413	604	519	564	667	650		419
N %	1,4	1,23	1,49	1,52	1,51	1,53	1,57	1,17	1,56	1,55	1,36
Ni mg/kg	0,94			0,41	0,52	0,6	0,47				1,7
P mg/kg	1355	1460 - 1520	1457	1461	1463	1527	1531	1310		1600	1500
S mg/kg	947	940	992	971	1011	1037	1088	860	1100	1110	1079
Zn mg/kg	49	40 - 46	44	45	49	51	52	48			48

6.2.3 Sammalen alkuainepitoisuudet

Taulukossa 46 on esitetty sammalen alkuainepitoisuuksien keskiarvoja Kokkolan-Pietarsaaren seudulla ja Metlan valtakunnallisessa aineistossa sekä Pohjois-Karjalassa (2010), Pyhäjärvisseudulla (2007) ja Seinäjoen seudulla (2012). Taulukossa 47 on esitetty sammalen beryllium-, litium-, antimoni- ja titaanipitoisuuksien keskiarvoja Kokkolan-Pietarsaaren seudulla sekä Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä (2009), Turun seudulla (2005) ja Porin-Harjavallan alueella (1996).

Tutkittujen metallien keskimääräiset pitoisuudet olivat Kokkolan-Pietarsaaren seudulla korkeampia kuin Metlan aineistossa nikkeliä ja vanadiiniä lukuun ottamatta. Arseenin, kadmiumin, lyijyn ja sinkin keskimääräiset pitoisuudet olivat alueella suurempia kuin Pohjois-Karjalassa ja Pyhäjärvisseudulla ja Metlan aineistossa. Kuparipitoisuudet olivat Pyhäjärvisseudulla keskimäärin korkeampia kuin Kokkolan-Pietarsaaren seudulla, ja rautapitoisuudet samaa tasoa kuin Pohjois-Karjalassa. Nikkeli- ja vanadiinipitoisuudet olivat keskimäärin pienempiä kuin muilla vertailualueilla. Sinkkipitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin vertailualueilla ja -aineistoissa. Elohopeapitoisuudet olivat samaa tasoa kuin Pyhäjärvisseudulla. Magnesiumpitoisuudet olivat hieman pienempiä kuin Pohjois-Karjalassa; fosfori- ja rikkipitoisuudet taas samaa tasoa. Seinäjoen seutuun verrattuna alumiinin, kuparin ja raudan pitoisuudet olivat keskimäärin samaa tasoa Kokkolan-Pietarsaaren seudulla. Arseenin, kromin, magnesiumin, nikkelin, fosforin ja vanadiinin keskimääräiset pitoisuudet olivat pienempiä Kokkolan-Pietarsaaren seudulla kuin Seinäjoen seudulla. Kadmiumin, elohopean, lyijyn, rikin ja sinkin pitoisuudet olivat Kokkolan-Pietarsaaren seudulla suurempia kuin Seinäjoen seudulla.

Sammalen beryllium- ja litiumpitoisuudet olivat alle määrittäjärajan kaikilla näytealoilla, ja pieniä myös vertailuaineistoissa, tosin Etelä-Ruotsin aineistossa litiumpitoisuudet olivat suurempia kuin Kokkolan-Pietarsaaren seudulla. Titaanipitoisuudet olivat Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla alhaisempia kuin kotimaisissa vertailuaineistoissa Turun ja Porin-Harjavallan seudulla, mutta korkeampia kuin Etelä-Ruotsin aineistossa. Antimonipitoisuudet olivat pienempiä kuin vertailuaineistossa Etelä-Ruotsissa. Tulosten vertailua Talvivaaran ympäristön tuloksiin vaikeuttaa Talvivaaran tutkimuksen alkuaineanalyysien korkeat määrittäjärajat.

Taulukko 46. Sammalen alkuainepitoisuuksia Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla ja muilla alueilla. Muut tulokset lähteistä Metsäntutkimuslaitos 2012, Lehtinen 2011, Huuskonen 2008, Lehtinen ja Lepola 2012.

alkuaine	Kokkola-Pietarsaari 2012	Metla 2010			Pohjois-Karjala 2010	Pyhäjärviseu tu 2007	Seinäjoen seutu 2012
		keskiarvo	pienin	suurin			
Al mg/kg	268						285
As mg/kg	0,23	0,11	< 0,10	1,21	0,16		0,38
Cd mg/kg	0,24	0,12	0,03	0,44	0,16	0,2	0,11
Cr mg/kg	1,09	0,97	0,34	14	1,7	0,74	3,56
Cu mg/kg	6,0	5,03	0,74	55	5,2	8,6	5,76
Fe mg/kg	435	243	53	2230	431	282	439
Hg mg/kg	0,05	0,042	0,016	0,119		0,05	0,03
Mg mg/kg	1084				1171		1389
Ni mg/kg	2,1	2,51	0,42	88	2,5	2,4	2,56
P mg/kg	1336				1345		1552
Pb mg/kg	2,6	2,05	0,4	6,6	1,9	2	1,1
S mg/kg	979				922		945
V mg/kg	1,1	1,09	0,32	14,2	1,6	1,6	1,22
Zn mg/kg	74	31	11,5	102	38	43	32

Taulukko 47. Sammalen beryllium-, antimoni- ja titaanipitoisuuksia Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla ja muilla alueilla. Tähdellä merkityt pitoisuudet olivat alle määrittäjärajan. Muut tulokset lähteistä Majuri 2010, Laita ym. 2007, Jussila 1997, Rühling ja Tyler 2004.

Alue	Be mg/kg	Sb mg/kg	Ti mg/kg	Li mg/kg
Kokkola ja Pietarsaari 2012	< 0,05*	0,07	16,6	< 0,05*
Talvivaara 2009	< 1*	< 4*	< 50*	
Turun seutu 2006			31,9	
Pori-Harjavalta 1996			35,6	
Etelä-Ruotsi 2000	0,011	0,11	8,5	0,11

6.2.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Taulukossa 48 on vertailtu Kokkolan-Pietarsaaren seudun humuspitoisuuksien keskiarvoja GTK:n tuloksiin pääkaupunkiseudulta ja koko Suomesta.

Arseeni-, kadmium-, koboltti-, kupari-, elohopea-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet olivat Kokkolan-Pietarsaaren seudulla keskimääräisesti selvästi korkeampia kuin pääkaupunkiseudun kehyskunnissa tai koko Suomen aineistossa keskimäärin. Kromi-, rauta-, lyijy- ja vanadiinipitoisuudet olivat samaa tasoa tai hieman korkeampia kuin muissa aineistoissa. Ravinnepitoisuudet olivat rikkiä lukuun ottamatta pienempiä kuin pääkaupunkiseudun kehyskunnissa tai koko Suomen aineistossa.

Taulukko 48. Humuksen alkuainepitoisuuksia ja pH Kokkolan-Pietarsaaren seudulla sekä pääkaupunkiseudun kehyskunnissa 2004-2005 (Tarvainen ym. 2006) ja koko Suomessa (Salminen ym. 2003).

	Kokkola- Pietarsaari 2012	Pääkaupunkiseutu 2004-2005	Koko Suomi
Al mg/kg	3825	4056	1960
As mg/kg	14,6	2,12	1,3
B mg/kg	2,6	4,51	5
Ca mg/kg	1779	4264	2610
Cd mg/kg	2,03	0,4	0,32
Co mg/kg	83	2,11	1,1
Cr mg/kg	4,4	8,5	3,9
Cu mg/kg	68	10	7,9
Fe mg/kg	5076	5336	2250
Hg mg/kg	2,24	0,2	0,18
K mg/kg	537	1118	927
Mg mg/kg	319	1112	531
Mn mg/kg	134	425	187
Na mg/kg	36	100	50
Ni mg/kg	29,7	7,45	4,6
P mg/kg	615	878	742
Pb mg/kg	33	55	31
S mg/kg	1320	1518	1230
V mg/kg	19,5	15,9	6,9
Zn mg/kg	313	68,4	40,5
pH	4,0	3,5	

7. Johtopäätökset

Ilmanlaatua on Kokkolan seudulla seurattu bioindikaattorien avulla 1970-luvulta lähtien, ja Pietarsaaren seudulla 2000-luvun alusta lähtien. Ilmanlaadun bioindikaattoreina käytettiin männyn runkojäkäliä ja männyn neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia. Vuonna 2012 bioindikaattoriseuranta toteutettiin ensimmäistä kertaa alueiden yhteisenä seurantana. Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla on merkittävät suurteollisuuden ja energiantuotannon keskittymät, jotka aiheuttavat rikkidioksidin, typen oksidien, hiukkasten sekä raskasmetallien päästöjä. Lisäksi ilman epäpuhtauksien päästöjä aiheuttavat mm. liikenne ja karjatalous sekä turkistarhaus. Paikallisen teollisuuden aiheuttamat ilman epäpuhtauksien päästöt ja kaukokulkeuma ovat etenkin 1970- ja 1980-luvuille tarkasteltuna vähentyneet merkittävästi piipunpääteknologioiden käyttöönoton seurauksena. Myös liikenteen päästöt ovat autokannan uusiutuessa vähentyneet. Karjataloudesta ja erityisesti turkistarhauksesta, joka on alueella merkittävä elinkeino, aiheutuu tyyppiyhdistepäästöjä matalina hajapäästöinä. Hajapäästöt eivät todennäköisesti kulkeudu kovin kauas, mutta niillä voi olla paikallisesti voimakkaitakin vaikutuksia. Näiden päästöjen kehitys kytkeytyy ensisijaisesti tilojen lukumäärän ja eläinmäärien kehittymiseen.

Tutkimusalueen rikkidioksidipäästöt muodostuvat pääosin Kokkolan ja Pietarsaaren suurteollisuudesta ja energiantuotannosta. Typen oksidien ja hiukkasten päästöistä suurin osa syntyy Pietarsaareissa, metallipäästöistä puolestaan suurin osa syntyy Kokkolassa. Rikkidioksidipäästöt kasvoivat Kokkolan-Pietarsaaren seudulla 1990-luvun puolesta välistä vuoteen 2003, jonka jälkeen ne laskivat, mutta olivat vuonna 2011 hieman korkeammalla tasolla kuin 1990-luvun loppupuoliskolla. Typen oksidien vuosittainen päästö määrä on vaihdellut, mutta pysytellyt kokonaisuutena samalla tasolla 1990-luvun puolesta välistä vuoteen 2011. Teollisuuden osuus typen oksidien päästöistä on kasvanut. Hiukkaspäästöt ovat vähentyneet alueella selvästi vuoden 2001 jälkeen. Metallipäästöt ovat vähentyneet 1990-luvulta 2000-luvulle tultaessa kuitenkin siten, että vuoden 2003 jälkeen metallien päästö määrissä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Suurimman osan metallien päästöistä muodostavat sinkkipäästöt.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset indikaattoreihin olivat voimakkaimmin kuormitetuilla selvästi havaittavissa, hajakuormitetuilla alueilla vaikutukset olivat lieviä. Tutkituista muuttujista jäkälämuuttujat kuvasivat ilman epäpuhtauksien yhteisvaikutusta. Neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuudet kuvasivat osittain ilman epäpuhtauksien kuormitusta, osin luonnollisia tekijöitä, lähinnä maaperän ominaisuuksia ja metsiköiden ravinnetilaa. Ilman epäpuhtauksien kuormitusta aiheuttava toiminta liittyi muuttujien alueelliseen vaihteluun, ja päästö määrien vuosittainen vaihtelu oli nähtävissä muuttujien vuosien välisissä muutoksissa. Kuitenkin erilaiset luontaiset tekijät, esim. sateisuus, voivat vaikuttaa tuloksiin puskuroimalla tai voimistamalla niitä, jolloin bioindikaattorilajien vasteet eivät yksiselitteisesti seuraa esim. päästö määrissä tapahtuvia muutoksia.

Jäkälälajisto oli tutkimusalueella keskimäärin luokiteltavissa köyhtyneeksi-lievästi köyhtyneeksi, sormipaisukarve lievästi vaurioituneeksi ja lajisto yleisesti selvästi vaurioituneeksi. Selvimät vaikutusalueet, joilla jäkälälajisto oli köyhtynyt ja vaurioitunut, sijaitsivat Kokkolassa Ykspihlajan alueella, Kaustisilla ja vyöhykkeellä, joka ulottui Pietarsaaresta Pedersören pohjoisosien kautta Uuteenkaarlepyyhyn. Jäkälälajiston suhteen luonnontilaisimmat alueet sijaitsivat Kokkolassa rannikon tuntumassa Öjan alueella, entisen Kälviän kunnan alueella, Kruunupyyn-Pedersören rajaseuduilla ja Kaustisen-entisen Ullavan alueella. Tutkimusalueen verrattain intensiivisen ihmistoiminnan vuoksi jäkälätunnukset olivat keskimäärin huonompia kuin vertailualueilla muualla Suomessa Turun seutua lukuun ottamatta, jossa tutkimusalueen koko ja ihmistoiminnan intensiivisyys on samaa luokkaa kuin Kokkolan-Pietarsaaren alueella.

Kokkolassa kuormittaa Ykspihlajan alueen teollisuus, jonka vaikutukset jäkälälajistoon eivät kuitenkaan juuri ulotu Kokkolan keskusta-alueita pidemmälle. Kokonaan jäkäläautioaloja Ykspihlajassa oli vain yksi. Pietarsaareissa sijaitsevat alueen suurimmat yksittäiset rikkidioksidin ja typen oksidien päästölähteet. Näille laitoksille, kuten ylipäänsä suurille energiantuotantoyksiköille ja teollisuuslaitoksille, on ominaista suuri päästökorkeus, jolloin epäpuhtaudet laimenevat ilmassa ja leviävät laajemmalle alueelle, jolloin niiden vaikutuksetkin jäävät suhteellisesti lievemiksi. Lisäksi alueella vallitsevat eteläsuuntaiset tuulet kuljettavat rannikon päästöjä pohjoiseen merelle. Sen sijaan matalat päästölähteet, kuten turkistarhat, voivat aiheut-

taa voimakkaita paikallisia vaurioita, mikä on selvästi nähtävissä erityisesti Uudenkaarlepyyn alueella. Tilastollisissa tarkasteluissa selvin yhteys jäkälävaurioiden ja eri päästölähteiden välillä oli energiantuotantolaitoksilla ja turkistarhoilla. Myös suurten teollisuuslaitosten ja jätevedenpuhdistamoiden läheisyydessä lajisto oli köyhtyneempää ja vaurioituneempaa kuin muualla. VOC-yhdisteiden päästöillä ja turvetuotantoalueilla ei ollut vaikutusta jäkälän kuntoon. Alueen kuormitustasolla erilaisten pienempien teollisuuslaitosten ja -alueiden ja muiden eläinsuojien vaikutus jäkälälajistoon ei ollut käytettävissä olevalla aineistolla tilastollisesti todennettavissa.

Vuoden 2003 päästöpiikki rikkidioksidissa sekä jossain määrin myös typen oksideissa on nähtävissä jäkälälajistossa, jotka saivat vertailuvuosien huonompia arvojaan vuonna 2006. Jäkälät reagoivat kuormitustasoissa tapahtuviin muutoksiin viiveellä, minkä vuoksi 2000-luvun alussa kohonneet päästömäärät näkyvät lajistossa vuoden 2006 seurannassa. Vuonna 2012 jäkälätunnukset olivat pääosin parempia kuin vuonna 2006, mutta huonompia kuin vuonna 2002. Alueellisesti vauriovyöhykkeet kattavat suurin piirtein samoja alueita eri vuosina, kuitenkin siten, että sormipaisukarpeen vauriot ovat Uudenkaarlepyyn-Pedersören alueella kasvaneet, ja Uudestakaarlepystä Kokkolaan ulottuvalle rannikkoseudulle näyttää vahvistuvan muuta aluetta köyhtyneemmän lajiston vyöhyke. Sen sijaan Kruunupyyn ja Kokkolan eteläosissa jäkälälajisto on melko luonnontilaista.

Neulasten *rikki- ja typpipitoisuudet* kuvasivat sekä ilman kautta leviävää kuormitusta, että metsiköiden ravinnetilaa. Faktorianalysissä ne latautuivat samalle faktorille muiden ravinnealkuaineiden kanssa. Myös sammalilla rikkipitoisuus yhdistyi samalle faktorille muiden kasviraivanteiden kanssa. Kasvupaikka vaikutinkin selvästi sekä neulasista että sammalista mitattujen ravinnealkuaineiden, ml. rikin ja typen pitoisuuksiin siten, että pitoisuudet olivat suurempia ravinteisemmillä kasvupaikoilla. Pääasiassa kohonneita rikki- ja typpipitoisuuksia havaittiin kuitenkin samoilla alueilla, joilla päästölähteet sijaitsevat ja missä havaittiin jäkälävaurioita. Kaikilla alueilla, joilla rikki- tai typpipitoisuudet olivat muuta aluetta korkeampia, ei ollut kuitenkaan niitä nostavia päästölähteitä, jolloin pitoisuudet kuvaavat kuormitusvaikutusta suhteessa kasvupaikan ominaisuuksiin. Alueen lupavelvollisten laitosten rikkikuormitus on kasvanut 1990-luvun lopusta 2000-luvun alkuun, ja vähentynyt edelleen vuoteen 2011 siten, että tarkastelujakson suurin kuormituspiikki osui vuoteen 2003. Kuormitusvaihtelut näkyvät neulasten ja sammalten rikkipitoisuuksissa viiveellä siten, että pitoisuudet olivat neulasissa ja sammalissa suurimmillaan vuonna 2006.

Kokkolassa Ykspihlajan alueen *metallikuormitus* näkyi sekä humuksen, sammalen että neulasten metallipitoisuuksissa, jotka olivat usean metallin osalta korkeimmillaan Ykspihlajan seudulla. Ykspihlajassa maaperän humuskerroksen raskasmetallipitoisuudet olivat voimakkaasti kohonneita, kuten aiemmissakin tutkimuksissa. Voimakkaimmin kuormitetulta alueelta pohjakerroksen sammatet puuttuivat kokonaan, ja voimakas metallikuormitus näytti vähentäneen ravinteiden määrää maaperässä. Suurin osa tutkituista raskasmetalleista latautui neulasten ja sammalten faktorianalysissä samalle faktorille, joka kuvaa Kokkolan Ykspihlajan alueen päästöjä. Arseenin, kadmiumin, koboltin, elohopean, nikkelin ja sinkin korkeimmat pitoisuudet olivat sekä neulasissa, sammalissa ja humuksessa keskittyneet yksinomaan tai lähes yksinomaan Ykspihlajan ympäristöön. Samankaltainen keskittyminen osassa näytematriiseista oli myös kromilla, kuparilla, raudalla, vanadiinilla ja lyijyllä, mutta näillä metalleilla korkeita pitoisuuksia havaittiin myös muualla tutkimusalueella teollisuustoimintojen ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä. Koko alueen keskiarvoja muualla Suomessa tehtyjen tutkimusten keskiarvoon vertailtaessa neulasissa raudan pitoisuudet olivat selvästi suurempia kuin vertailuaineistoissa ja -alueilla muualla Suomessa, sammalissa lyijy- ja sinkkipitoisuudet olivat puolestaan suurempia. Humuksesta mitatuista metalleista arseenin, kadmiumin, koboltin, kuparin, elohopean, nikkelin, vanadiinin ja sinkin pitoisuudet olivat keskimäärin suurempia kuin muualta Suomesta kerätyissä aineistoissa. Keskiarvoihin vaikuttaa tutkimusalojen määrä; neulasten ja sammalten keskiarvoa alentaa runsas näytealojen määrä, kun taas humusnäytealat ovat keskittyneet Kokkolan-Pietarsaaren seudulla kuormitetuille alueille.

Ilman kautta leviävä metallikuormitus on vähentynyt Kokkolassa 1990-luvulta, mutta 2000-luvulla kuormituksessa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Metallikuormitusta indikoivissa kertymäindikaattoreissa eli neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksissa oli vuosien välistä vaihtelua, mutta muutokset eivät olleet yksiselitteisiä. Humuksen alkuainepitoisuuksissa ei ole tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia, ja sammalten ja neulasten alkuainepitoisuudet ovat joillain raskasmetalleilla kas-

vaneet, joillain vähentyneet. Kokkolassa sammalen sinkkipitoisuudet olivat kasvaneet, mutta neulasten vähentyneet, kun taas sammalen kadmiumpitoisuudet olivat vähentyneet, mutta neulasten kasvaneet. Epäjohdonmukaiset muutokset voivat johtua paikallisista leviämisolosuhteista, ja myös sää voi vaikuttaa kertymiseen. Pitoisuudet kertyvät sammaliin pääasiassa laskeuman kautta, mutta neulasiin metallit voivat kertyä myös juurien kautta. Voimakkaat sateet huuhtovat latvustoa, jolloin pitoisuudet latvustossa laskevat, mutta voivat laskeuman kautta kertyä sammaliin. Kokkolan läheisillä humusnäytealoilla metallipitoisuuksien hajonta on usealla metallilla kasvanut 1990-luvun tuloksiin verrattuna, mutta pitoisuudet ovat kuitenkin aloilla pääsääntöisesti pienentyneet vuoteen 2006 verrattuna lukuun ottamatta yhtä alaa, joka sijaitsee Ykspihlajan pohjoisosassa rannikon tuntumassa. Sammalista mitatut metallipitoisuudet Kokkolassa ovat pääsääntöisesti laskeneet 1990-luvun tasoon verrattuna.

Kaikkiaan ihmistoiminnan vaikutukset näkyivät Kokkolan-Pietarsaaren seudulla tutkituissa bioindikaattorilajeissa selvästi. Jäkälälajiston kuntoa ja diversiteettiä huononsivat alueen teollisuustoiminta, energiantuotanto ja alkutuotanto, lähinnä turkistarhaus; lisäksi paikallisia vaikutuksia havaittiin mm. jätevedenpuhdistamojen ympäristössä. Vaikutuksen intensiivisyys riippuu merkittävästi päästökorkeudesta: päästöt, jotka leviävät korkeiden piippujen päästä, laimentuvat ilmassa voimakkaasti, eivätkä aiheuta yhtä voimakasta pistekuormitusta tietylle alueelle kuin matalan päästökorkeuden toiminnot, kuten turkistarhaus ja jätevedenpuhdistamot. Jäkälätunnukset olivat keskimäärin hieman parempia kuin edellisellä tutkimuskierroksella vuonna 2006, ja männyn neulasten rikkipitoisuus oli pienempi. Sammalten metallipitoisuudet olivat laskeneet 1990-luvun tasoon verrattuna, mutta Ykspihlajan läheisillä aloilla humuksesta mitatut metallipitoisuudet olivat osalla aloista nousseet 1990-lukuun verrattuna. 2000-luvulla muutokset olivat pääsääntöisesti melko pieniä, eikä selvää trendinomaista kasvua tai vähenemistä ole metallipitoisuuksissa tunnistettavissa. Kun tarkastellaan sekä pitoisuuksia että lajiston kuntoa, eniten muuttuneet alueet sijaitsevat Kokkolassa Ykspihlajan alueella ja Uudenkaarlepyyn-Pedersören turkistarha-alueilla sekä Kaustisilla teollisuustoimintojen ja turkistarhakeskittymän ympäristössä. Samalla kuitenkin tutkimusalueen harvaan asutuille seuduille jää vyöhykkeitä, joilla jäkälälajisto on luonnontilaista ja alkuaineiden pitoisuudet luonnontilaisten tausta-alueiden tasoa.

Lähteet

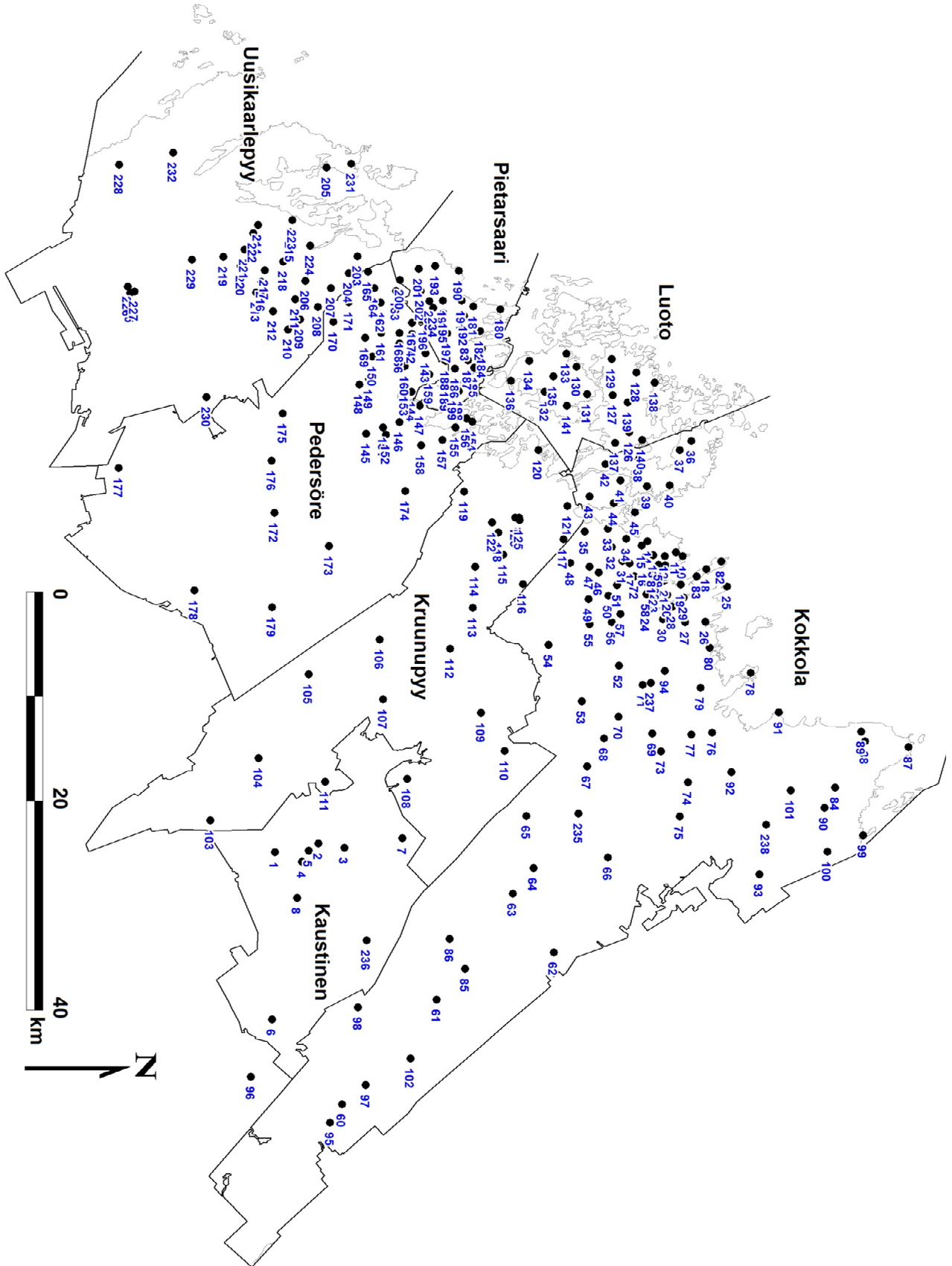
- Anttonen, T. 1990. Laskeuman ravinteiden vaikutus sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) kasvuun. Kuopion yliopisto, ekologisen ympäristöhygienian laitos. Opinnäytetutkielma.
- Binkley, D. ja Högberg, P. 1997. Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? *Forest Ecology and Management* 92: 119-152.
- Björklund, A., Edén, P., Mattson, L ja Sjöström, J. 1996. Kallio- ja maaperä. Teoksessa Raitio, H. (toim.) Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella. Merenkurkun neuvosto, Jyväskylä.
- Brække, F. 1994. Diagnostiske grensevier for naeringselementer i gran-og furunåler. *Aktuelt fra skogforsk* 15/94.
- Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 2012. Liikennemääräkartta 1.1.2012. Pohjanmaa, Eteläpohjanmaa ja Keski-Pohjanmaa. Saatavilla: <http://www.liikennevirasto.fi> >Aineistopalvelut > Tilastot > Tietilastot > Liikennemääräkartat.
- Ferm, A., Hytönen, J., Kolari, K. ja Veijalainen, H. 1988. Metsäpuiden kasvuhäiritö turkistarhojen läheisyydessä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 320.
- Geologian tutkimuskeskus. 1999. Suomen kallioperä 1:5 000 000.
- Geologian tutkimuskeskus. 2007. Geokartta-palvelu. <http://geokartta.gtk.fi>
- Haahla, A. Polojärvi, K., Niskanen, I., Laita, M. ja Ellonen, T. 2006a. Keski-Suomen maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2005-2006. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 162. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Helmisaari, H-S. 1993. Metsikön ja puun ravinnekierto. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkela, H. ja Nieminen, T. (toim.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. ja Ellonen, E. 2009. Pyhäjärvisuudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007-2008. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E., Keskitalo, T. ja Laita, M. 2010. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. Helsinki.
- Innes, J.L. 1995. Influence of air pollution on the foliar nutrition of conifers in Great Britain. *Environmental Pollution* 88: 183-192.
- Jussila, I. (1997). Porin-Harjavallan ja Pohjois-Satakunnan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 1996-1997. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus, Pori. Sykesarja B 12.
- Jussila, I., Joensuu, E. ja Laihonon, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki.
- Kalliola, R. 1973. Suomen kasvimaantiede. WSOY, Porvoo.
- Kekäläinen, H. ja Vanhatalo, M. 1993. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1992. Kokkolan ympäristötoimiston julkaisuja 7/1993.
- Keski-Pohjanmaan liitto. 2008. Keski-Pohjanmaan aluerakenne 2030. 29.10.2008.
- Kling, P., Laaksovirta, K. ja Lodenius, M. 1985. Jäkälän ja männyn kaarnan raskasmetallipitoisuudet ilman saastumisen indikaattoreina Kokkolassa. *Ympäristö ja terveys* 5: 314-222.
- Koljonen, R. 2013. Kirjallinen tiedonanto. Kokkolan kaupunki.
- Kulmala, A., Leinonen, L., Ruoho-Airola, T., Salmi, T. ja Waldén, J. 1998. Air quality trends in Finland. Ilmanlaatumittauksia, Air quality measurements. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Kuusinen, K., Mikkola, K. ja Jukola-Sulonen, E.-L. 1990. Epiphytic lichens on conifers in the 1960s to 1980s in Finland. Teoksessa Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. s. 397-420.
- Laaksovirta, K. ja Olkkonen, H. 1977. Epiphytic lichen vegetation and element contents of *Hypogymnia physodes* and pine needles examined as indicator of air pollution at Kokkola, W. Finland. *Annales Botanici Fennici* 14: 112-130.
- Laita, M., Huuskonen I., Keskitalo, T. ja Lehtonen, E. 2008a. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 169.

- Laita, M., Huuskonen I., Keskitalo, T. ja Lehkonen, E. 2008b. Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 167.
- Laita, M., Huuskonen, I., Haahla, A., Polojärvi, K. ja Ellonen, T. 2007. Turun seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 163. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., ja Ellonen, T. 2008c. Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 165. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., ja Ellonen, T. 2008d. Suupohjan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 166. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., ja Ellonen, T. 2008e. Vaasan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 168. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., ja Ellonen, T. 2008f. Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 164. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Landolt, W., Guecheca, M. ja Bucher, J.B. 1989. The spatial distribution of different elements in and on the foliage of Norway spruce growing in Switzerland. *Environmental Pollution* 56: 1485-1496.
- LeBlanc, F. ja DeSloover, J. 1970. Relation between industrialisation and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.* 48: 1485-1496.
- Lehkonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. ja Laita, M. 2011. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.
- Lehtinen, K. ja Lepola, A. 2012. Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Ramboll 82139661, 18.12.2012.
- Lindroos, A.-J. ja Derome, J. 1998. Laskeuma ja sen vaikutus metsämaahan. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkela, H. ja Nieminen, T. (toim.) *Metsäluonto ja ilmansaasteet*. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P. ja Willamo, R. 2002. Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos.
- Lyyränen, J., Ohlström, M., Moilanen, A. ja Jokiniemi, J. 2004. Selvitys raskasmetallipäästöistä Suomen energiantuotannossa. VTT, tutkimusraportti.
- Majuri, P. 2010. Talvivaaran alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2009. Pöyry Environment Oy.
- Melanen, M., Ekqvist, M., Mukherjee, A.B., Aunela-Tapola, L., Verta, M. ja Salmikangas, T. 1999. Raskasmetallien päästöt ilmaan Suomessa 1990-luvulla. Suomen ympäristö 329. Suomen ympäristökeskus.
- Merilä, P. 2007. Needle chemistry on the intensive monitoring plots 1995-2003. Teoksessa Merilä, P., Kilponen, T. ja Derome, J. *Forest condition monitoring in Finland - National report 2002-2005*. Working papers of the Finnish forest research institute 45.
- Metsätutkimuslaitos 2012. Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa - kartoitus sammalten pitoisuuksiin perusteella 1985-2010. Sammalten raskasmetallipitoisuuksista Suomessa 1985-2010. <http://www.metla.fi> > metinfo > metsien terveys > raskasmetallilaskeuma. Luettu 2/2013.
- Moser, B., Punz, W. ja Maier, R. 1993. Immissionskartierung im Gebiet des Südöstlichen Niederösterreichs anhand des Fichtenborkentests. *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Österreich* 130: 135-155.
- Mälkönen, E. 1991. Maa- ja neulasanalyysin käyttökelpoisuus metsänhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. Joensuun tutkimusasema. 52-61.
- Naumov, A.V. ja Naumova, M.A. 2010. Modern State of the Lithium Market. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* 51: 324-330.
- Nieminen, T., Raitio, H. ja Salemaa, M. 1993. Neulasten kemiallinen koostumus elinvoimatunnukseksi. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkela, H. ja Nieminen, T. (toim.) *Metsäluonto ja ilmansaasteet*. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.

- Niskanen, I. 1995. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11.
- Niskanen, I., Veijola, H. & Ellonen, T. 1996. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1996. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 17.
- Niskanen, I., Ellonen, T., ja Witick, A. 1998. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1997. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 150.
- Niskanen, I., Polojärvi, K., Witick, A., Haahla, A. ja Laitakari, V. 2003. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2002. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 156.
- Partanen, P. ja Veijola, H. 1996. Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. YTV, Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996:18.
- Pesonen, R., Pohjola, V., Jokinen, J., Kauppinen, H., Kartastenpää, R. ja Säynätkari, T. 1987. Kokkolan ilmanalaatu vuosina 1984-1986. Ilmatieteen laitos, ilmanlaatuosasto.
- Pihlström, M. ja Myllyvirta, T. (1995). Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja vaikutustutkimus Itä-Uudella maalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa 1994-1995. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry, Porvoo. Tutkimusraportti.
- Poikonen, J. 2004. Mosses, epiphytic lichens and tree bark as biomonitors for air pollutants - specifically for heavy metals in regional surveys. University of Oulu, The Finnish Forest Research Institute. Oulu University Press.
- Pohjanmaan liitto. 2006. Pietarsaaren seudun aluerakennesuunnitelma 2030. Perusselvitys. Vaasa.
- Polojärvi, K., Niskanen, I., Haahla, A. ja Ellonen, T. 2005. Mittaustarkkuus mäntyjen runkojäkälistön ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioiden havainnoinnissa. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 89/2005.
- Pyykkönen, P. ja Huovari, J. 2012. Turkisalan tuottamat verotulot. PTT:n raportteja 238. Pellervon taloustutkimus PTT, Helsinki.
- Raitio, H. 1990. Decline of young Scots pines in a dry heath forest. Acta universitatis Ouluensis. A 216.
- Raitio, H. 1994. Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysin valossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527. 25-34.
- Raitio, H., ja Kärkkäinen, K. 2002. Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Pietarsaaren-Uudenkaarlepyyn alueella vuonna 2000. Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema.
- Raitio, H. ja Merilä, P. 1998. Seasonal variation in the size and composition of Scots pine and Norway spruce needles in different weather conditions. European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems / Level II, Finland. Pilot study, technical report. The Finnish forest research institute, Parkano.
- Ranta, E., Rita, H. ja Kouki, J. 1989. Biometria. Helsinki, Yliopistopaino.
- Rautjärvi, H. ja Raitio, H. 2003. Neulasten alkuainepitoisuudet sekä niiden suhde näytepuiden neulaskatoon ja epifyyttijäkeliin Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueella vuosina 2000 ja 2001. Uudenmaan ympäristökeskus, monisteita nro 120. Helsinki.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. ja Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset - metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688.
- Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Rühling, Å. ja Tyler, G. 2004. Changes in the atmospheric deposition of minor and rare elements between 1975 and 2000 in South Sweden, as measured by moss analysis. Environmental Pollution 131: 417-423.
- Saari, H., Pesonen, R. ja Alaviippola Birgitta. 2012. Heinolan ilmanlaadun tarkkailu. Mittaustulokset vuodelta 2011. Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun asiantuntijapalvelut 2012. Helsinki.
- Salminen, R., Bogatyrev, I., Chekuskin, V., Glavatskikh, S.P., Grerauskiene, V., Niskavaara, H., Selenok, Tenhola, M. ja Tomilina, O. 2003. Barents ecogeochemistry - a large scale geochemical base study of heavy metals and other elements in surficial deposits, NW-Russia and Finland. Teoksessa Autio, S. (toim.) Geological survey of Finland, Current Research 2001-2002. Geological Survey of Finland, Special Paper 36, 45-52.
- SFS 5670. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkeläkartoitus. 1990. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- Suomen ympäristökeskus. 2012. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. 27.4.2012. www.ymparisto.fi/paastotilmaan

- Tamminen, P. 1998. Maaperätekijät. Teoksessa Mähkönen, E. (toim.) Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691. S. 64-82.
- Tarvainen, T. (toim.), Eklund, M., Haavisto-Hyvärinen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Karttunen, V., Kuusisto, E., Ojalainen, J. ja Teräsvoori, E. 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 163.
- Tilastokeskus 2013. Keskiväkiluku iän ja sukupuolen mukaan aluettain 1981 - 2011 1.1.2012 aluejaolla.
- Ulrich, B. 1991. Deposition of acid and metal compounds. Teoksessa Merian, E. (toim.) Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance. VHC.
- Veijola, H. ja Niskanen, I. 1996. Sammaleesta ja humuksesta tutkittavien muuttujien mittaustarkkuuden arviointi. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Muistio 1/1998.
- Väisänen, S. 1986. Effects of air pollution by metal, chemical and fertilizer plants on forest vegetation at Kokkola, W. Finland. *Annales Botanici Fennici* 23: 205-315.
- Värri, E. 2007. Raskasmetallikuormitus Kotkan Energia Oy:n tulevan hyötyvoimalan ympäristössä vuonna 2006 sammalpallomenetelmällä arvioituna. Kotkan ympäristökeskus. Lokakuu 2007.
- Weather Underground 2013. Kruunupyyn lentoaseman säähavaintotiedot vuodelta 2011.
- Äyräs, M., Niskavaara, H., Bogatyrev, I., Chekuskin, V., Pavlov, V., de Caritat, P., Halleraker, J.H., Finne, T.E., Kashulina, G. ja Reimann, C. 1997. Regional patterns of heavy metals (Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V and Zn) and sulphur in terrestrial moss samples as indication of airborne pollution in a 188,000 km² aarea in Northern Finland, Norway and Russia. *Journal of Geochemical Exploration* 58: 269-281.

Liite 1. Tutkimusalojen numerointi.



ISSN 0781-8793
ISBN 978-951-39-5137-5 (painettu)
ISBN 978-951-39-5138-2 (verkkajulkaisu)

