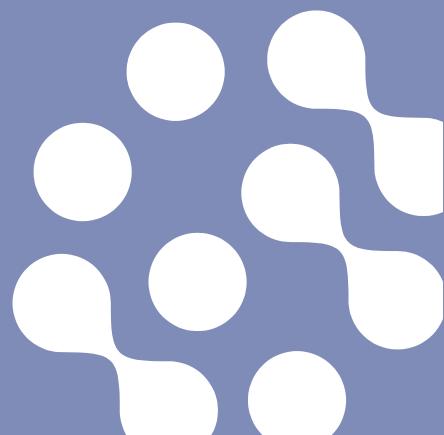


Eurofins Ahma Oy
Projekti 11070
20.12.2019

KOKKOLAN JA PIETARSAAREN SEUDUN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2018



KOKKOLAN JA PIETARSAASEN SEUDUN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2018

Sisällysluettelo

YHTEENVETO	1
1. JOHDANTO	2
2. TUTKIMUSALUE	3
2.1 YLEISKUVAUS.....	3
2.2 TUTKIMUSALUEEN ILMANLAATU	5
2.2.1 Päästöt.....	5
2.2.2 Päästömäärien kehitys.....	9
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	12
3.1 HAVAINTOALAT.....	12
3.2 MÄNNYN RUNKOJÄKÄLÄT	14
3.2.1 Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä.....	14
3.2.2 Tutkitut jäkälälajit	15
3.2.3 Vaurioiden ja peittävyksien arvioiminen.....	19
3.3 NEULASTEN, SAMMALTEN JA HUMUKSEN ALKUAINEPITOISUUDET SEKÄ HUMUKSEN KEMIAALLISET OMINAISUUDET	20
3.3.1 Neulasten alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen	23
3.3.2 Sammalen alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen	23
3.3.3 Humuksen alkuainepitoisuudet ja kemialliset ominaisuudet sekä niiden määrittäminen.....	24
3.4 PAIKKATIETOMENETELMÄT	26
3.5 TILASTOMENETELMÄT.....	26
3.5.1 Luokiteltujen taustamuuttujien vaikutus.....	26
3.5.2 Regressioanalyysi.....	27
3.5.3 Vuosien väliset vertailut	28
3.6 VIRHELÄHTEET JA LUOTETTAVUUS.....	28
3.6.1 Jäkäläkartoitus	28
3.6.2 Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittäminen	29
3.6.3 Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien määrittäminen	30
4. TULOKSET	31
4.1 MÄNTYJEN RUNKOJÄKÄLÄT	31
4.1.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste	31
4.1.2 Yleinen vaurioaste	32
4.1.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys	34
4.1.4 Peittävydet	36
4.1.5 IAP-indeksi.....	37
4.2 MÄNNYN NEULASTEN ALKUAINEPITOISUUDET	38
4.3 SAMMALEN ALKUAINEPITOISUUDET	50
4.4 HUMUKSEN ALKUAINEPITOISUUDET	62
5. TULOSTEN TARKASTELU	78
5.1 JÄKÄLÄMUUTTUIJEN TILASTOLLINEN TARKASTELU.....	78
5.1.1 Luokiteltujen muuttujien vaikutus.....	78
5.1.2 Regressioanalyysit.....	82
5.2 NEULASTEN JA SAMMALTEN ALKUAINEPITOISUUKSIEN TILASTOLLINEN TARKASTELU.....	85

5.2.1	<i>Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi</i>	85
5.2.2	<i>Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi</i>	86
5.3	HUMUKSEN ALKUAINEPITOISUUKSIEN KORRELAATIOT	87
5.4	YHTEENVETO	88
6.	VERTAILU	89
6.1	VUOSIEN VÄLINEN VERTAILU	89
6.1.1	<i>Mäntyjen runkojäkälät</i>	90
6.1.2	<i>Neulasten alkuainepitoisuudet</i>	97
6.1.3	<i>Sammalen alkuainepitoisuudet</i>	101
6.1.4	<i>Humuksen alkuainepitoisuudet</i>	114
6.2	VERTAILU MUUALLA SUOMESSA TEHTYIHIN TUTKIMUKSIIN	117
6.2.1	<i>Mäntyjen runkojäkälät</i>	117
6.2.2	<i>Neulasten alkuainepitoisuudet</i>	117
6.2.3	<i>Sammalen alkuainepitoisuudet</i>	119
6.2.4	<i>Humuksen alkuainepitoisuudet</i>	121
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET	122
	VIITTEET	125

Pohjakartat: © Maanmittauslaitos

Kuvat: © Eurofins Ahma Oy

20.12.2019, päivitetty 10.1.2020

Eurofins Ahma Oy

Niina Lappalainen

Ympäristöasiantuntija, biologi, FT

Eeva-Maria Leppänen

Ympäristöasiantuntija, FM

Yhteystiedot

Eurofins Ahma Oy

Teollisuustie 6

96320 Rovaniemi

Sähköposti: EtunimiSukunimi@eurofins.fi

www.eurofins.fi

YHTEENVETO

Ilmanlaatua on seurattu bioindikaattorien avulla Kokkolan seudulla 1970-luvulta lähtien ja Pietarsaaren seudulla 2000-luvun alusta lähtien. Bioindikaattoriseuranta toteutettiin ensimmäistä kertaa Kokkolan ja Pietarsaaren yhteisenä seurantana vuonna 2012, ja seurantaa jatkettiin samalla tavalla myös vuonna 2018. Ilmanlaadun bioindikaattoreina käytettiin männyn runkojäkäliä ja männyn neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen kemiallisia ominaisuuksia.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset bioindikaattoreihin olivat voimakkaimmin kuormitetuilla alueilla selvästi havaittavissa, kun taas 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. Tämä oli selkeästi havaittavissa energiatuotannon osalta, kun taas teollisuuden osalta vaikutus ei ollut niin selkeä, johtuen sekä suurten että pienempien teollisuuslaitosten yhdistämisestä samaan luokkaan. Energiantuotannon ja teollisuuden lisäksi ilman epäpuhtauksien päästöjä aiheuttavat mm. liikenne ja karjatalous sekä turkistarhaus. Näistä etenkin turkistarhaus vaikuttaa erityisesti jäkälälajistoon, ja alueen turkistarhakeskittymien läheisyydessä jäkälälajisto onkin voimakkaasti köyhtynyttä ja vaurioitunutta.

Lupavelvollisten laitosten päästömäärät olivat suurimmillaan 1990-luvun puolivälistä tarkasteltuna 2000-luvun alussa, minkä seurauksena jäkälälajisto oli keskimäärin huonokuntoisinta ja neulasten rikkipitoisuudet korkeimmillaan vuonna 2006. Vuonna 2012 jäkälälajiston kunto ja neulasten rikkipitoisuus olivat palautuneet lähemmäksi vuoden 2002 tasoa. Vuonna 2018 jäkälälajiston kunnossa oli havaittavissa heikkenemistä ja neulasten rikkipitoisuus oli hieman noussut vuoteen 2012 verrattuna.

Metallipäästölähteiden läheisyydessä, erityisesti Ykspihlajan alueella, raskasmetallien pitoisuudet ovat kohonneita sekä humuksessa, sammalissa että neulasissa. Päästöjen kokonaisuudessa mitattuna ja pitoisuuksien kannalta merkittävin yksittäinen ilman epäpuhtautena kulkeutuva metalli on sinkki. Ilman kautta leviävä metallikuormitus on vähentynyt Kokkolassa 1990-luvulta, kun taas 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.

Kokkolan-Pietarsaaren seudulla vuonna 2018 tutkituissa bioindikaattorilajeissa oli selkeästi nähtävissä ihmistoiminnan vaikutukset. Tarkasteltaessa sekä alkuainepitoisuuksia että jäkälälajiston kuntoa, eniten muuttuneet alueet sijaitsevat Kokkolassa Ykspihlajan alueella, 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.

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 & Olkkonen 1977, Kling ym. 1985, Väisänen 1986, Pesonen ym. 1987, Kekäläinen & 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, Kannuksen, Kaustisen, Lestijärven, Lohtajan, Perhon, Toholammin, Ullavan ja Vetelin kuntien alueelle, joista Kaustinen ja entiset Lohtajan, Kälviän ja Ullavan kunnat olivat mukana vuoden 2012 tutkimuksessa kuntaliitosten seurauksena osana Kokkolan kaupunkia. Pietarsaaren seudulla tutkimuksia on tehty vuosina 2000-2001, 2006-2007 ja 2012 (Raitio & Kärkkäinen 2002, Laita ym. 2008b, Huuskonen ym. 2013), ja tutkimusalueeseen ovat kuuluneet Pietarsaaren lisäksi Uudenkaarlepyyn, Pedersören ja Luodon kunnat. Pietarsaaren alueella on tutkittu mäntyjen runkojäkälää, mäntyjen latvuskuntoa, männyn neulasten ja sammalen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia.

Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen tutkimustulokset on vuoteen 2006-2007 asti raportoitu omissa alueellisissa raporteissaan, mutta vuosien 2012 ja 2018 tulokset on raportoitu yhteisessä raportissa. Ilmanlaadun indikaattoreina käytettiin vuonna 2018 mäntyjen runkojäkälää, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia, sammalen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia. Bioindikaattoreina käytetään eliölajeja, jotka ilmaisevat ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Ympäristön tilassa tapahtuvat muutokset voidaan havaita esimerkiksi eliöeläin 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 kuitenkin 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 vaikutuksia.

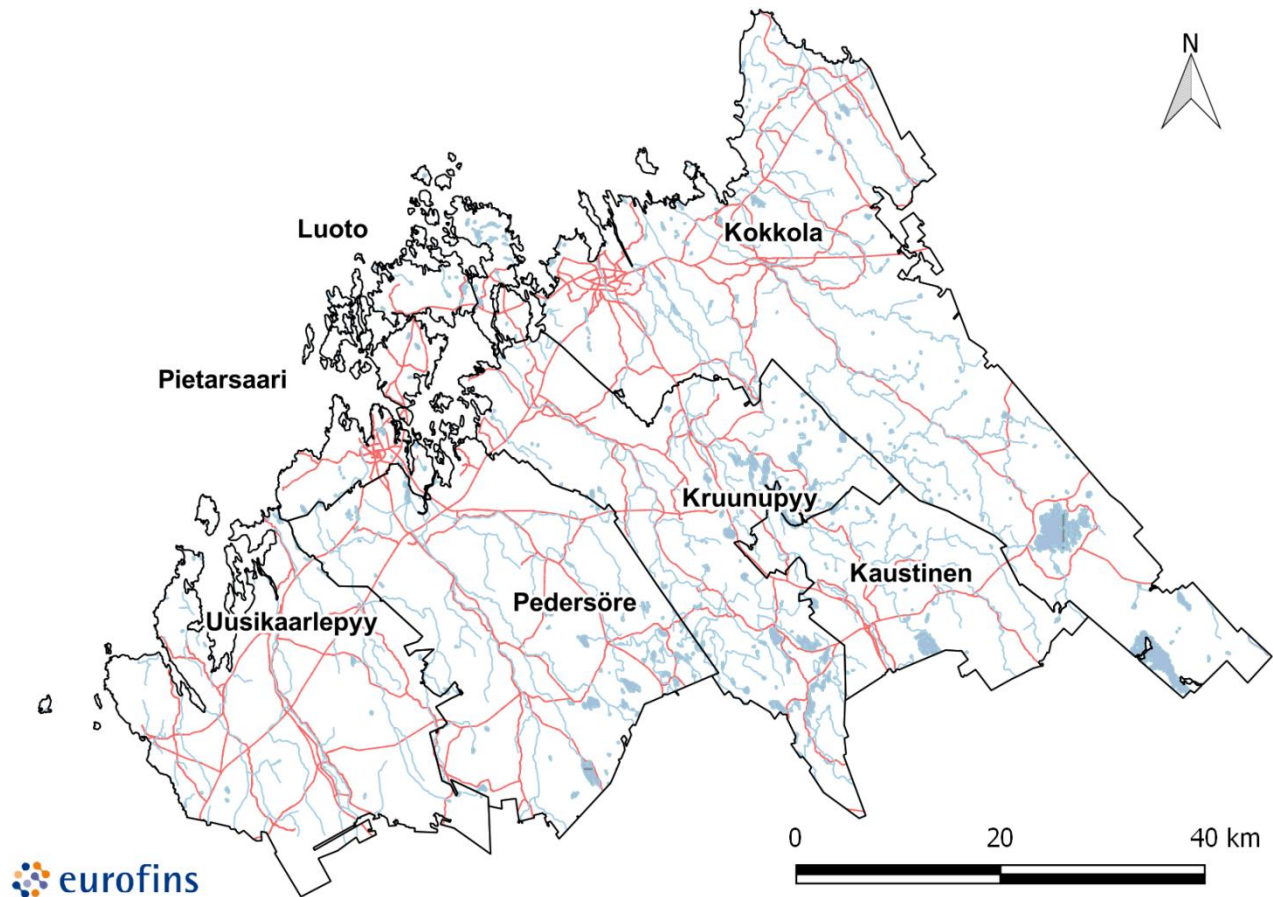
Tutkimusalueeseen kuuluivat Kokkolan, Kaustisen, Kruunupyyn, Luodon, Pedersören, Pietarsaaren ja Uudenkaarlepyyn kunnat. Kuntaliitosten seurauksena Kokkolan kaupunkiin ja siten tutkimusalueeseen kuuluvat entiset Lohtajan, Kälviän ja Ullavan kunnat. Tutkimus toteutettiin mukana olevissa tutkimuskunnissa samoilla tutkimusaloilla kuin aiemmissa tutkimuksissa. Lisäksi Kaustisille perustettiin kaksi uutta tutkimusalaa. Yhteensä tutkimusaloja oli mukana 240. Tuloksia verrattiin vuosien 2006-2007 ja 2012 tutkimuksiin sekä Kokkolan seudun tuloksia vuosien 1992, 1997 ja 2002 tuloksiin ja Pietarsaaren seudun tuloksia vuosien 2000-2001 tuloksiin. Tuloksia verrattiin myös muualla Suomessa tehtyjen bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Tuloksia tulkittiin tarkastelemalla ilman laatua kuvaavien indikaattorimuuttujien vaihtelua suhteessa päästölähteisiin, vertailemalla tuloksia keskenään, vertailemalla lajistosuhteissa ja jäkäläien 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 Eurofins Ahma Oy. Projektin johtajana toimi ympäristöasiantuntija FT Niina Lappalainen ja projektipäällikkönä vuonna 2018 ympäristöasiantuntija FM Janne Ruuth. Maastotyöt tehtiin talvella ja kesällä 2018, ja niihin osallistuivat näytteenottajat Tuomas Talvitie (luontokartoittaja, EAT), Olli-Pekka Tervo (Fil yo, biologia), Juha Halonen, Arto Kangasmäki, Anne Aikio, Kimmo Kangas, Kari Kangas, Jaakko Simppula sekä ympäristöasiantuntija FM Eeva-Maria Leppänen. Maastotöiden organisoinnin ja maastotyöntekijöiden perehdytyksen toteutti vuonna 2018 ympäristöasiantuntija Janne Ruuth. Ympäristöasiantuntija FT Niina Lappalainen ja ympäristöasiantuntija FM Eeva-Maria Leppänen analysoivat aineiston ja laativat työstä raportin. Raportoinnissa avustivat ympäristöasiantuntija/näytteenottaja Oskari Törmänen, LuK Jaakko Jokinen ja FM Stiina Lehmus sekä ympäristöasiantuntija FM Henna Ruuth (mm. karttatyöt).

2. TUTKIMUSALUE

2.1 Yleiskuvaus

Kokkolan alueen seurantaan osallistuivat Kokkolan, Kruunupyyn ja Kaustisen kunnat sekä Luodon pohjoisosa. Pietarsaaren alueeseen kuuluivat Pietarsaaren lisäksi Pedersöre, Uusikaarlepyy sekä Luodon eteläosa. (Kuva 2-1).

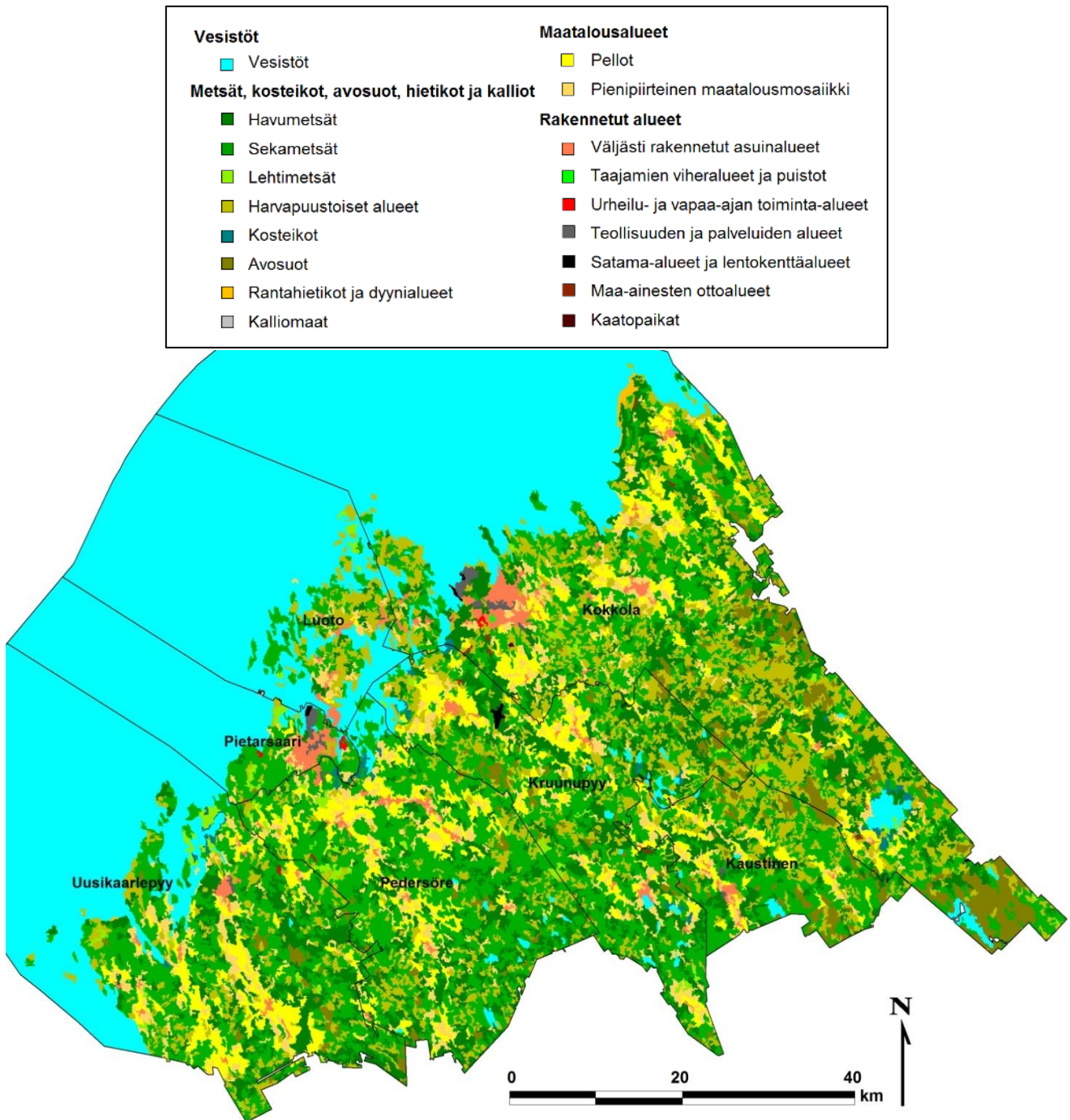


Kuva 2-1. Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen bioindikaattoritutkimukseen vuonna 2018 osallistuneet kunnat sekä alueen vesistöt ja päätiestö.

Tutkimusalueen maankäyttö on esitetty kartalla kuvassa 2-2 CLC2000-maankäyttö/maanpeite-aineiston mukaisesti. Suomen kasvimaantieteellisessä aluejaossa Kokkolan ja Pietarsaaren seudun sijoittuvat Etelä-Pohjanmaan vyöhykkeelle, ja alueen 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 viljelysalueet pääasiassa sijoittuvat. Alueen maaperä on pääasiallisesti moreenia, ja lajittuneemmat maalajit sijoittuvat jokien varsille. Turvemaat ovat etenkin tutkimusalueen pohjoisosissa yleisiä. (Geologian tutkimuskeskus 2007). Rannikko on maankohoamisaluetta, ja 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).

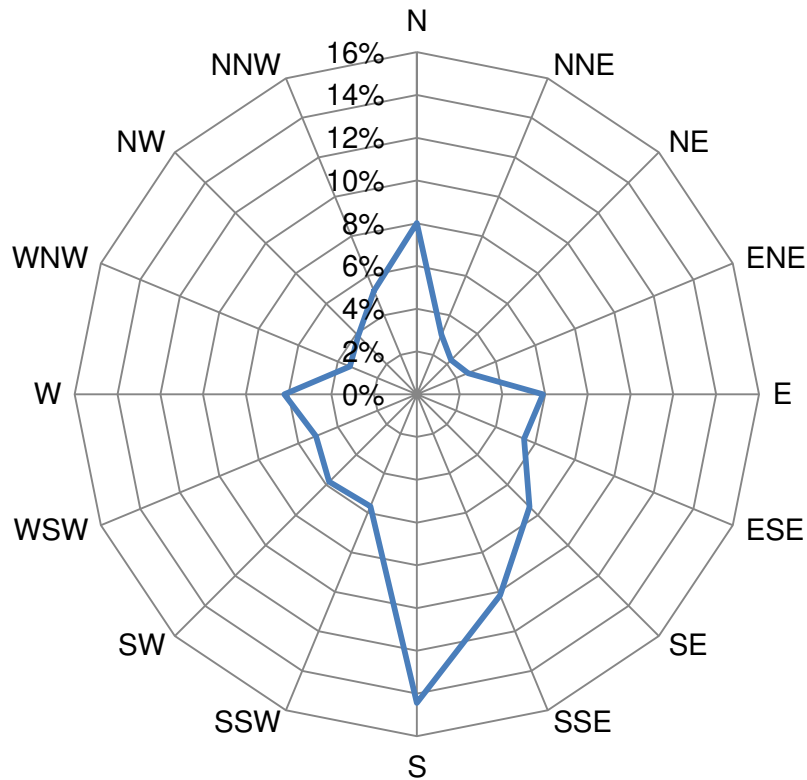
Tutkimusalue kuuluu Keski-Pohjanmaan ja Pohjanmaan maakuntiin. Alueella asuu yhteensä n. 100 000 ihmistä. Väestömäärältään suurin kunta on Kokkola n. 47 000 asukkaallaan, toisena Pietarsaari n. 19 000 asukkaallaan. (Kuntaliitto 2018). Tutkimusaluetta halkoo lounas-koillinen-suunnassa 8-tie, jonka keskimääräinen vuorokausiliikenne vaihtelee välillä 4000–12 000 ajoneuvoa (Liikennevirasto 2018).

Kokkolan 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.



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

Kruunupyyn lentokentän säähavaintoaseman aineiston perusteella (Ilmatieteen laitos 2019) alueella vallitsivat etelänpuoleiset tuulet (Kuva 2-3).



Kuva 2-3. Kruunupyyn lentokentällä vuonna 2018 vallinneet tuulensuunnat.

2.2 Tutkimusalueen ilmanlaatu

Tässä luvussa esitellään tutkimusalueen merkittävimmät ilman epäpuhtauksien päästölähteet sekä päästömäärien kehitys.

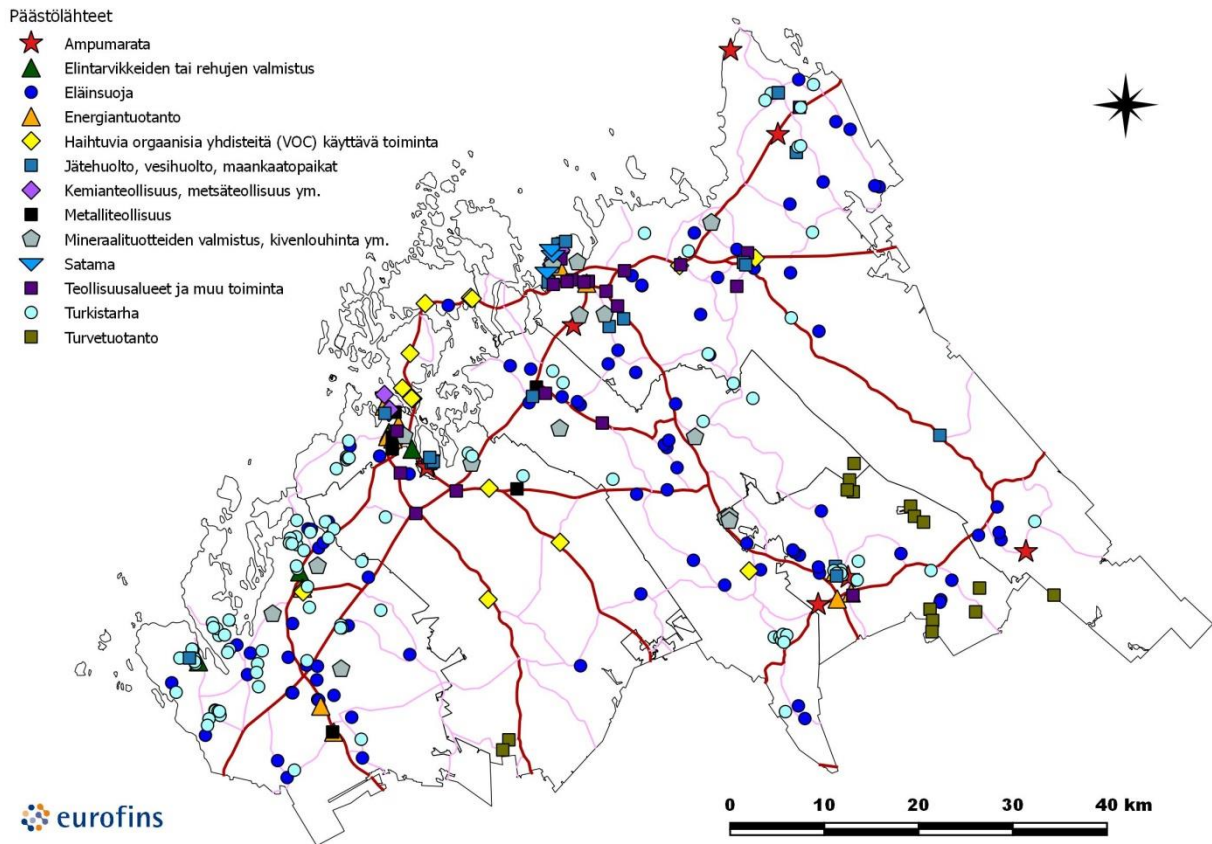
2.2.1 Päästöt

Suomessa ilmanlaatu on keskimäärin hyvä ja ilman epäpuhtauksien paikalliset vaikutukset vähäisiä. Ilmansuojelun ansiosta ilmanlaatu on parantunut merkittävästi Suomessa viimeisten vuosikymmenien aikana. Päästöjä ilmaan tulee edelleen energiantuotannosta, teollisuudesta ja liikenteestä etenkin kaupunkialueilla. Ilman epäpuhtauksien maailmanlaajuisia vaikutuksia ovat ilmastonmuutoksen voimistuminen, yläilmakehän otsonikato ja ympäristön kemikalisoituminen. Alueellisia vaikutuksia ovat esimerkiksi maaperän ja vesistöjen happamoituminen sekä alailmakehän kohonneet otsonipitoisuudet. (Ympäristöhallinto 2016).

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 Etelä-Suomessa hitaammin kuin Pohjois-Suomessa. (Kulmala ym. 1998, Ilmatieteen laitos 2013, Ympäristöhallinto 2016).

Kuvassa 2-4 on esitetty tutkimusalueen päästölähteet. Tarkastelussa on mukana lupavelvolliset päästölähteet, joista aiheutuu rikki-, typpi-, hiukkas-, pöly-, metalli- tai 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 teollisuusalueiden lisäksi muuhun toimintaan on luettu mukaan pienet teollisuusaluekeskittymät ja tekstiilien vesipesulat ja kemialliset pesulat. Tiedot toiminnoista ovat peräisin ko. kuntien ympäristönsuojeluviranomaisilta ja sijainnit muutamia päivityksiä lukuun ottamatta

edellisestä tutkimuksesta (Huuskonen ym. 2013). Suurimmasta osasta kuvassa 2-4 esitetyistä päästölähteistä ei päästötietoja raportoida, sillä esimerkiksi eläinsuojien ja turkistarhojen päästöt ovat hajapäästöjä, joiden määrästä ei ole olemassa tilastotietoa.



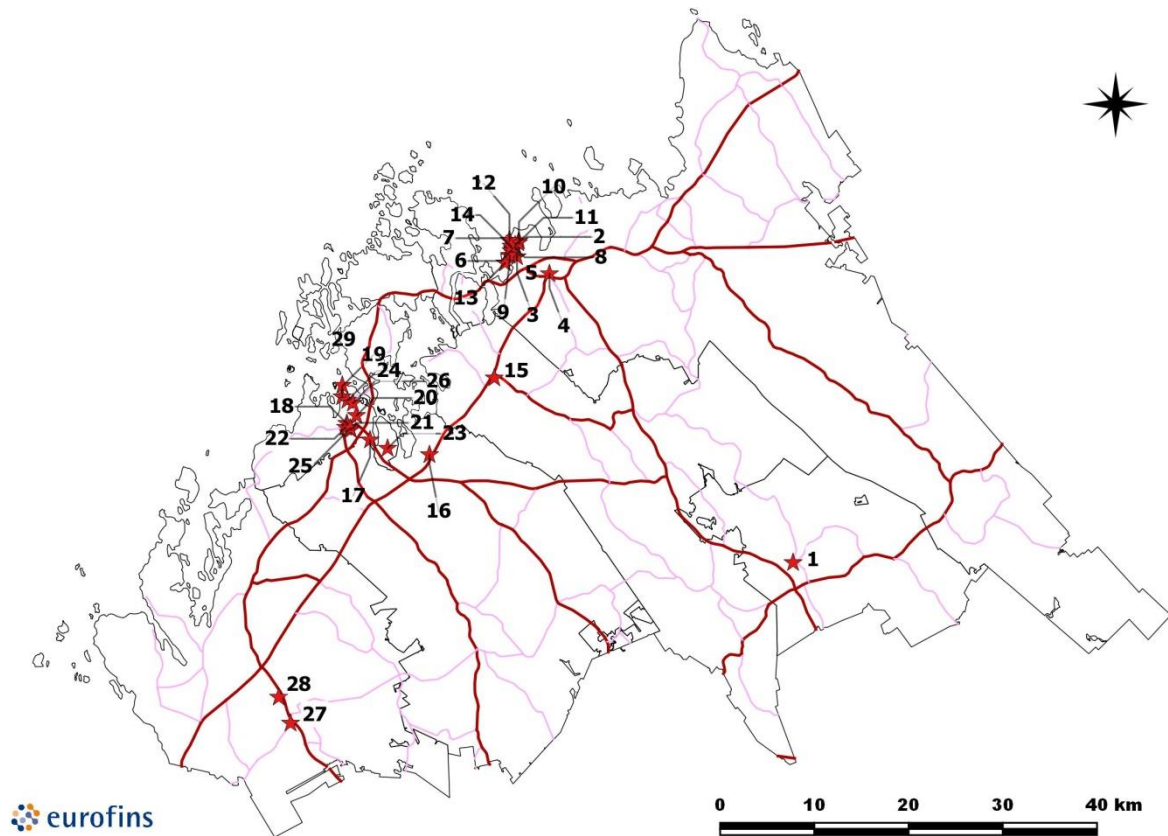
Kuva 2-4. Kokkolan ja Pietarsaaren alueen päästölähteet.

Tutkimusalueen merkittävimmät päästölähteet on esitetty seuraavalla kartalla (Kuva 2-5, Taulukko 2-1). Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten laitokohtaiset päästömäärät sekä liikenteen päästömäärät kunnittain vuonna 2017 on esitetty taulukossa 2-2. Teollisuuden päästötiedot perustuvat VAHTI-tietokantoihin sekä Kokkolan kaupungin ilmanlaadun vuosiraportissa (Lahtinen 2018) ilmoitettuihin tietoihin. Liikenteen päästötiedot on haettu Liikenneviraston LIPASTO-tietokannasta. Vuoden 2015 jälkeen päästötietojen laskentaa uudistettiin, eivätkä vuoden 2017 päästömäärät ole suoraan vertailukelpoisia aiempien vuosien liikennemäärien kanssa.

Tilaaajan toimittamien vuoden 2017 tietojen perusteella tutkimusalueella raportoitiin syntyneen eniten typen oksidien päästöjä, yhteensä 2805 tonnia (Taulukko 2-2). Näistä 78 % syntyi teollisuuden piirissä. Suurin osa typen oksidien päästöistä syntyi Pietarsaareissa, ja suurin päästäjä oli UPM Kymmene Oyj. Liikenteen typen oksidien päästöjä syntyi kunnista eniten Kokkolassa.

Rikkidioksidipäästöjä syntyi yhteensä 1289 tonnia. Suurin osa rikkidioksidipäästöistä syntyi Kokkolassa ja suurimmat päästäjät olivat Kokkolan Energia Oy ja Boliden Kokkola Oy:n rikkihappotehdas.

Hiukkaspäästöjä raportoitiin alueella syntyneen vuonna 2017 yhteensä 527 tonnia, joista 47 % syntyi teollisuudessa. Suurimmat hiukkaspäästölähteet olivat Tetra Chemicals Europe Oy Kokkolassa ja UPM Kymmene Oyj Pietarsaareissa. Tetra Chemicals Oy:n hiukkaspäästöjen määrään vuonna 2017 sisältyy suuria epävarmuuksia, jotka johtuvat käytetystä näytteenottomenetelmästä.



Kuva 2-5. Merkittävimmät päästölähteet tutkimusalueella (ks. Taulukko 2-1).

Taulukko 2-1. Kuvassa 2-5 esitetyt päästölähteet.

Nro	Nimi	Nro	Nimi
1	Findest Protein Oy ja Kaustisen lämpölaite (STEP Oy)	16	NCC Roads
2	Kokkolan Energia Oy (ent.Fortum), voimalaitos	17	Snellman Oy
3	Kokkolan Energia Oy (Kokkolan Voima), voimalaitos	18	Snellman Oy
4	Kokkolan Energia Oy, Kosilan lämpölaite	19	Alholmens Kraft Oy
5	TETRA Chemicals Europe Oy	20	Oy Herrfors Ab, Itälän
6	CABB Oy, Kokkolan tehta	21	Oy Herrfors Ab, Sikören
7	Yara Phosphates Oy	22	Oy Herrfors Ab, Keskusasema
8	Boliden Kokkola Oy	23	Alholmens Kraft Oy
9	Yara Suomi Oy	24	UPM-Kymmene Oyj
10	Boliden Kokkola Oy, Sinkkitehdas	25	Componenta Pietarsaari Oy
11	Freeport Cobalt Oy	26	Outokumpu STP
12	Kokkolan Satama, Syväsatama	27	Oy KWH Mirka Ab
13	Kokkolan satamalaite, Kantasatama	28	Jepuan Biokaasu Oy, Jeppo Biogas Ab
14	Kokkolan Satama, Hopeakiven satama	29	Wibax
15	Nordic Flanges Oy		

Taulukko 2-2. Tutkimusalueen päästöt rikkidioksidin, typen oksidien sekä hiukkasten osalta (tonnia/vuosi, tn/a) kunnittain vuonna 2017.

Laitos	Kunta	SO2			NOx			hiuk- kaset					
		% kunnan teollisuus- päästöistä	% koko alueen teollisuus- päästöistä	% kunnan teollisuus- päästöistä	% koko alueen teollisuus- päästöistä	% kunnan kaikista päästöistä	% alueen kaikista päästöistä	% kunnan teollisuus- päästöistä	% koko alueen teollisuus- päästöistä	% kunnan kaikista päästöistä	% alueen kaikista päästöistä	% kunnan teollisuus- päästöistä	% koko alueen teollisuus- päästöistä
Boliden Kokkola Oy, Rikkihappotehdas	Kokkola	360,6	38 %	28 %	21,59	4 %	1 %	3 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Yara Suomi Oy	Kokkola	83,2	9 %	6 %	111,6	22 %	5 %	15 %	4 %	3,6	6 %	1 %	6 %
Yara Phosphates Oy	Kokkola	117,2	12 %	9 %	85,91	17 %	4 %	12 %	3 %	0,92	2 %	0 %	1 %
Kokkolan Energia Oy, Power	Kokkola	326,2	35 %	25 %	174	35 %	8 %	24 %	6 %	9,53	17 %	4 %	15 %
Kokkolan Energia Oy, Voima	Kokkola	36,61	4 %	3 %	83,06	17 %	4 %	11 %	3 %	0,87	2 %	0 %	1 %
Boliden Kokkola Oy, Sinkkitehdas	Kokkola	4,89	1 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	1,17	2 %	0 %	2 %
CABB Oy	Kokkola		0 %	0 %	22,06	4 %	1 %	3 %	1 %		0 %	0 %	0 %
Kokkolan Satama	Kokkola		0 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	0,33	1 %	0 %	1 %
Tetra Chemicals Europe Oy	Kokkola		0 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	38,54	69 %	15 %	62 %
Muut	Kokkola	16,55	2 %	1 %	1,58	0 %	0 %	0 %	0 %	0,63	1 %	0 %	1 %
Yhteensä	Kokkola	945	100 %	73 %	500	100 %	23 %	68 %	18 %	56	100 %	22 %	90 %
OSTP Finland Oy Ab	Pietarsaari		0 %	0 %	61,78	4 %	3 %	4 %	2 %		0 %	0 %	0 %
Oy Alholmens Kraft Ab	Pietarsaari	310,4	91 %	24 %	516,4	31 %	24 %	30 %	18 %	74,07	38 %	30 %	38 %
UPM Kymmene Oyj	Pietarsaari	32,58	9 %	3 %	1109	66 %	51 %	64 %	40 %	120,6	62 %	48 %	61 %
Wibax Oy, Pietarsaaren terminaali	Pietarsaari		0 %	0 %	0,33	0 %	0 %	0 %	0 %	0,03	0 %	0 %	0 %
Yhteensä	Pietarsaari	343	100 %	27 %	1688	100 %	77 %	97 %	60 %	195	100 %	78 %	99 %
Teollisuuden päästöt yhteensä		1288			2188		77,99 %		250				47 %
Liikenne	Kokkola	0,315			237,7			32 %		6,472			10 %
Liikenne	Pietarsaari	0,074			54,8			3 %		1,563			1 %
Liikenne	Pedersöre	0,125			97,51			100 %		2,452			100 %
Liikenne	Luoto	0,036			25,54			100 %		0,669			0 %
Liikenne	Kaustinen	0,05			38,26			100 %		0,988			13 %
Liikenne	Kruunupyypy	0,091			71,31			100 %		1,811			54 %
Liikenne	Uusikaarlepyy	0,114			92,05			100 %		2,308			48 %
Teollisuus+liikenne	Kokkola	946			738					62			
Teollisuus+liikenne	Pietarsaari	343			1743					196,2			
Teollisuus+liikenne	Pedersöre	0,125			97,51					2,452			
Teollisuus+liikenne	Luoto	0,036			25,54					250,9			
Teollisuus+liikenne	Kaustinen	0,05			38,26					7,46			
Teollisuus+liikenne	Kruunupyypy	0,091			71,31					3,375			
Teollisuus+liikenne	Uusikaarlepyy	0,114			92,05					4,76			
Kaikki päästöt yhteensä		1289			2805					527			

Kokkolan metallipäästölähteet ja päästömäärät vuonna 2017 on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-3). Suurimmat päästömäärät olivat sinkillä, jonka päästöistä suurin osa syntyi Boliden Kokkola Oy:n toiminnoista.

Taulukko 2-3. Kokkolan metallipäästölähteet ja päästömäärät vuonna 2017 (Lahtinen 2018).

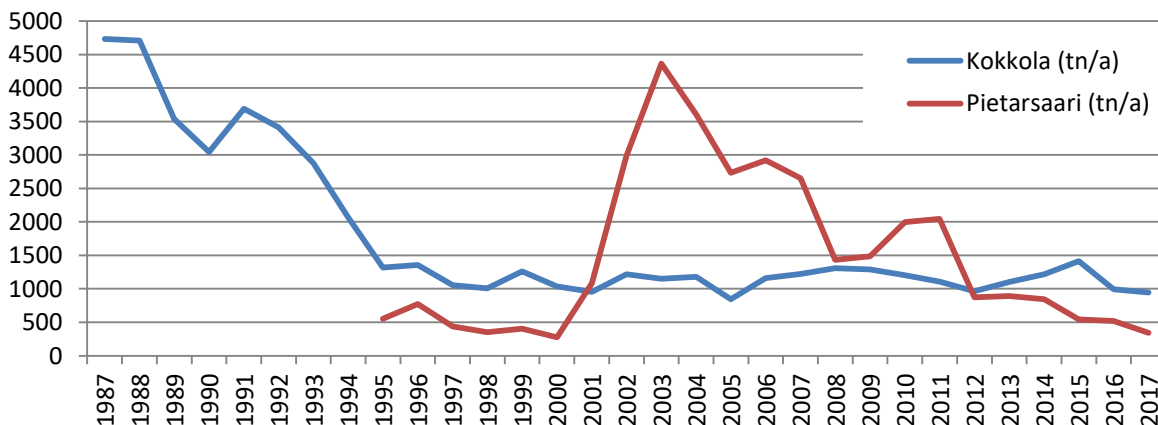
Alkuaine (kg/a)	Boliden Kokkola Oy	Freeport Cobalt	Kokkolan Energia Oy Power	Kokkolan Energia Oy Voima	OSTP Finland Oy Ab	UPM Kymmene Oyj	Yhteensä
Alumiini	692,83						692,83
Antimoni							0
Arseeni	28,42		0,88	0,18		0,1	29,58
Elohopea	0,7		2,35	0,66		0,01	3,72
Kadmium	13,26		0,15	0,38			13,79
Koboltti		3363					3363
Kromi			1,84	1,68	10,26	0,57	14,35
Kupari	16,34	12	3,39	4,05			35,78
Lyijy	3,62		2,51	2,78		0,1	9,01
Mangaani							0
Nikkeli		54	1,84	1,68	12,64	1,79	71,95
Rauta	20,76						20,76
Sinkki	3709,91		26,26	42,45		36,51	3815,13
Vanadiini			3,97	7,02			10,99

2.2.2 Päästömäärien kehitys

Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästömäärien kehitys vuosina 1995-2017 on esitetty seuraavissa kuvissa (Kuva 2-6 – Kuva 2-8).

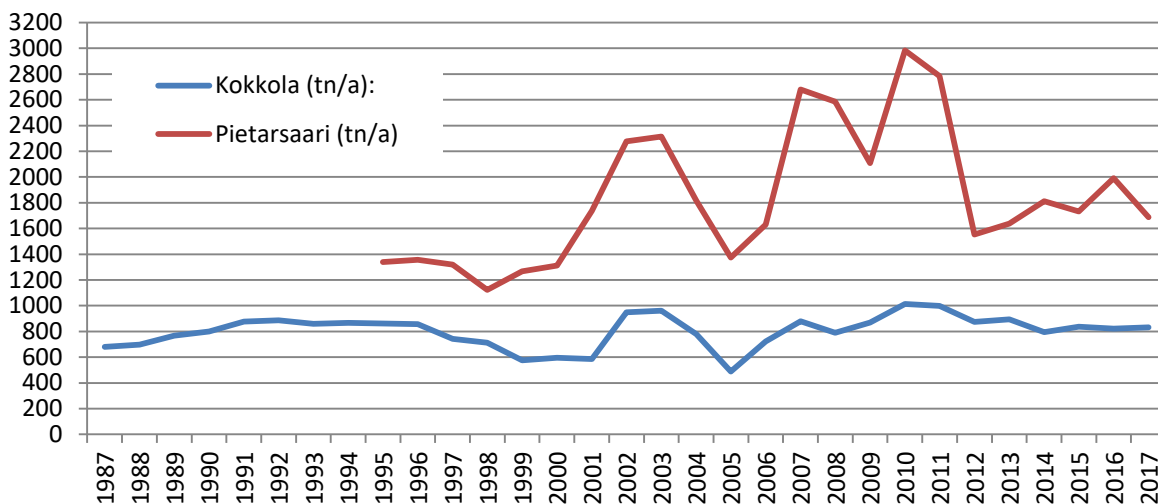
Rikkidioksidipäästöjen kokonaismäärä oli vuonna 2011 suurempi kuin 1990-luvun lopulla. Päästöt ovat kuitenkin vähentyneet vuoteen 2017 mennessä 1990-luvun lopun tasolle. Suurimmat rikkidioksidipäästöt tarkastelujaksolla 2012-2018 osuivat vuoteen 2014, ollen kuitenkin selvästi 2000-luvun alkua matalammalla tasolla. Typen oksidien kokonaispäästöt olivat tarkastelujakson aikana 2012-2017 aiempaa matalammalla tasolla. Hiukkaspäästömäärät ovat vähentyneet merkittävästi vuoden 2004 jälkeen, pysytellen edelleen vuoden 2005 tasolla.

Rikkipäästöt ilmaan Kokkolassa 1987-2017 ja Pietarsaarella 1995-2017



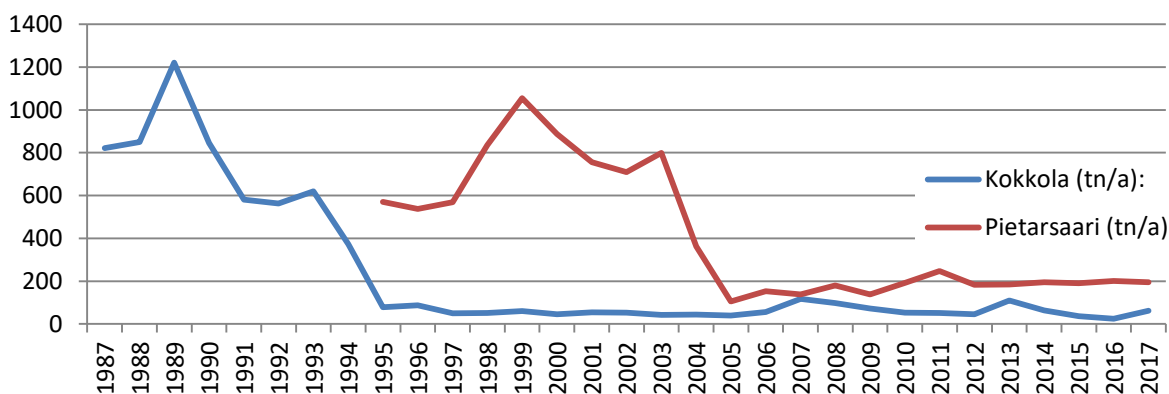
Kuva 2-6. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen rikkidioksidin päästöt (tn/vuosi) vuosina 1987-2017.

Typpioksidipäästöt ilmaan Kokkolassa 1987-2017 ja Pietarsaaressa 1995-2017



Kuva 2-7. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen typen oksidien päästöt (tn/vuosi) vuosina 1987-2017.

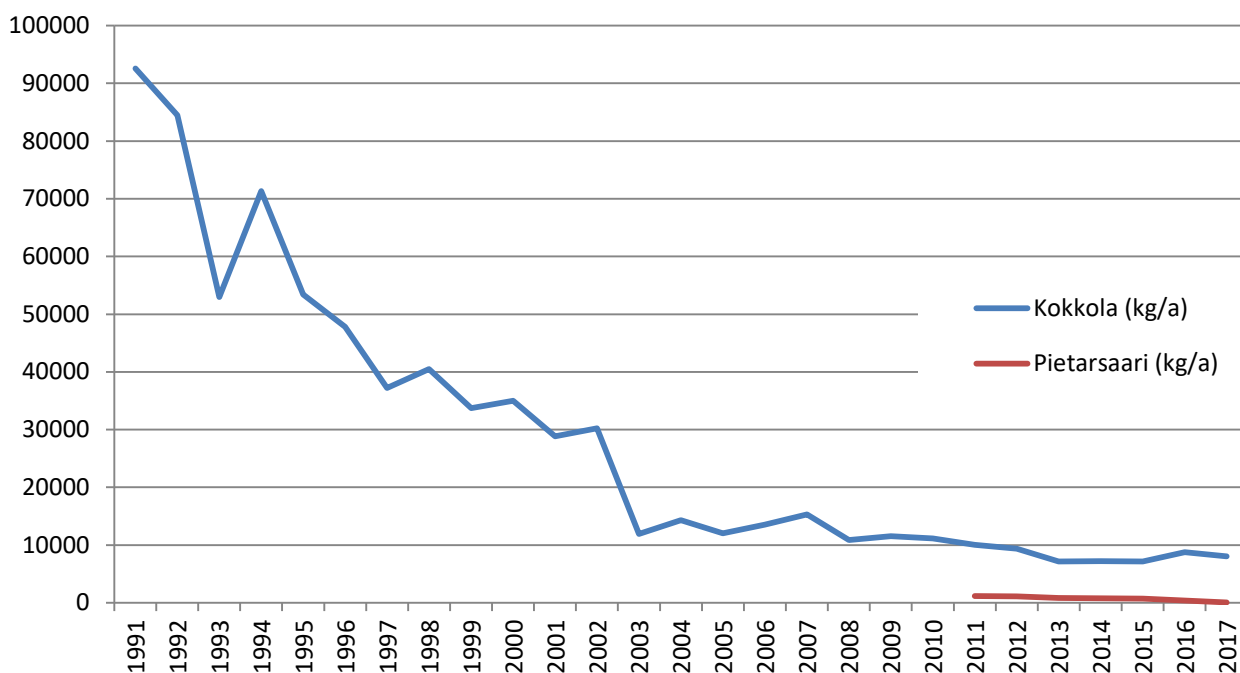
Hiukkaspäästöt ilmaan Kokkolassa 1987-2017 ja Pietarsaaressa 1995-2017



Kuva 2-8. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen hiukkaspäästöt (tn/vuosi) vuosina 1987-2017.

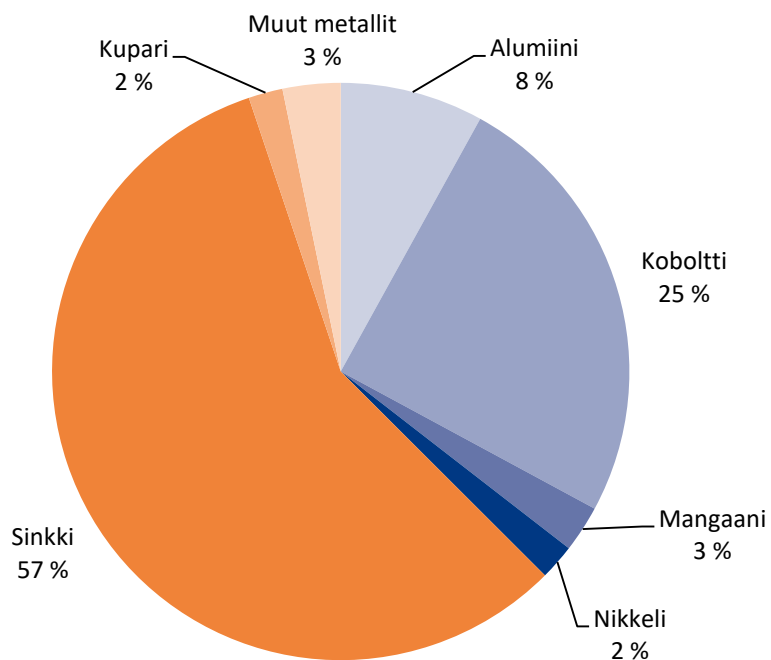
Kokkolan metallipäästöjen kehitys vuosina 1991-2017 on esitetty kuvassa 2-9. Päästöjen jakaantuminen vuosina 2011-2017 on esitetty kuvassa 2-10. Metallipäästöt ovat tarkastelujakson aikana vähentyneet merkittävästi. Vuoden 2003 jälkeen metallien kokonaispäästötaso on pysynyt samalla tasolla, n. 10 000 kg vuodessa. Päästöistä suurin osa muodostuu sinkin päästöistä (57 %). Koboltin osuus päästöistä on 25 %.

Metallipäästöt ilmaan Kokkolassa 1991-2017 ja Pietarsaassa 2011-2017



Kuva 2-9. Kokkolan ja Pietarsaaren metallipäästöjen (kg/vuosi) kehitys vuosina 1991-2017.

Metallipäästöt ilmaan Kokkolassa ja Pietarsaassa 2011-2017

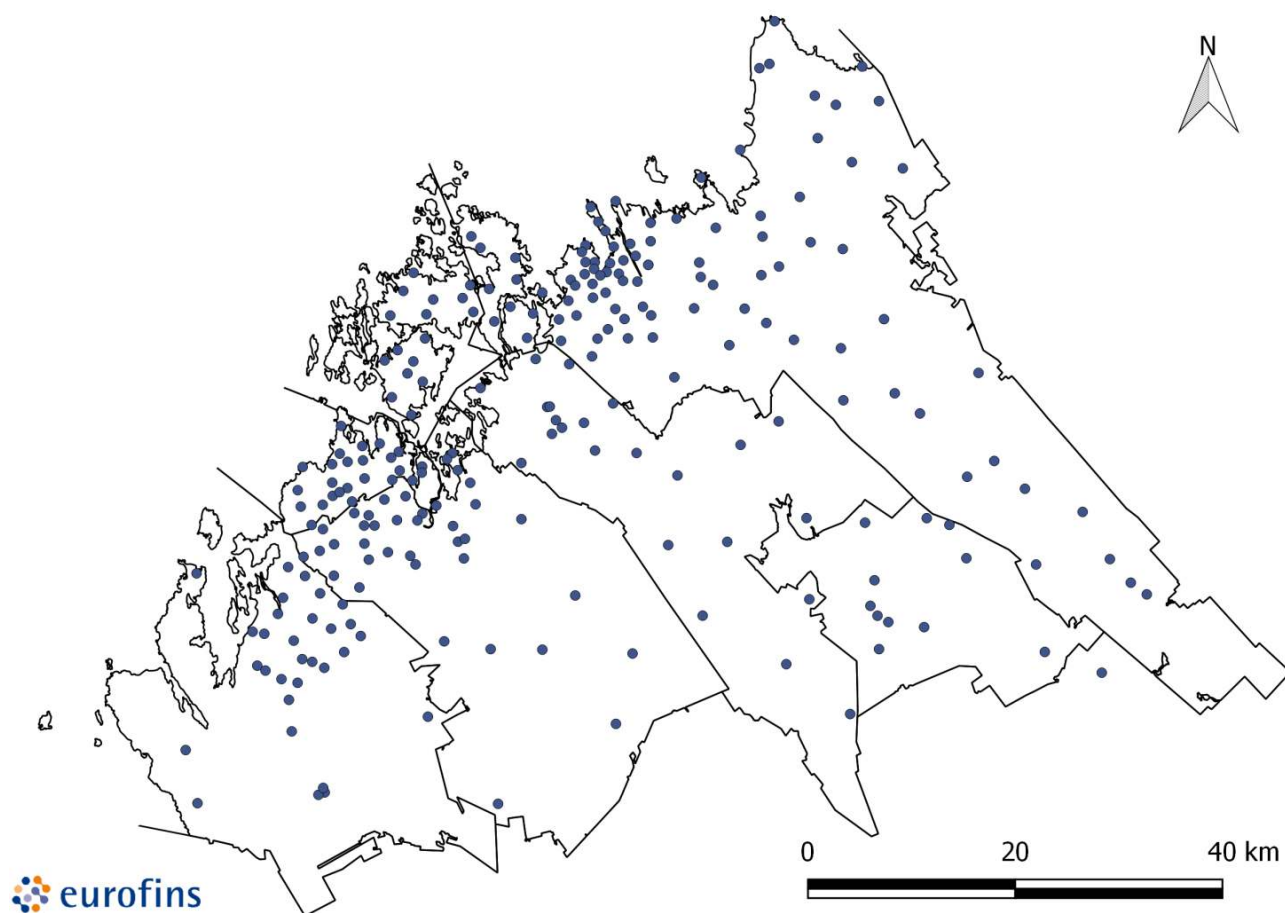


Kuva 2-10. Metallipäästöjen jakautuminen vuosina 2011-2017.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Havaintoalat

Tutkimus tehtiin 240 havaintoalalla, joilla tutkittiin mäntyjen runkojäkäliä ja neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen kemiallisia ominaisuuksia. Tutkimusalojen sijainnit on esitetty alla kartalla (Kuva 3-1). Taulukossa alla on esitetty tutkimusalojen lukumäärät kunnittain (Taulukko 3-1).



Kuva 3-1. Tutkimusalojen sijainti tutkimusalueella vuonna 2018.

Taulukko 3-1. Tutkimusalojen lukumäärä kunnittain ja uutena perustettujen havaintoalojen määrät vuonna 2018.

Kunta	Jäkälä-aloja	Vanhoja aloja	Vaihtuneita aloja	Uusia aloja	Neulas-aloja	Sammal-aloja	Humus-aloja
Kaustinen	11	11	0	2	10	11	2
Kokkola	97	70	27	0	91	88	14
Kruunupyö	23	17	6	0	23	22	1
Luoto	16	13	3	0	16	16	4
Pedersöre	37	25	12	0	37	35	9
Pietarsaari	25	23	2	0	23	24	6
Uusikaarlepyy	31	28	3	0	31	31	6
Yhteensä	240	187	53	2	231	227	42

Tutkimusalan jäkälälajisto arvioitiin viideltä puulta. Tutkimusaloista 238 oli samoja kuin edellisessä vuonna 2012 toteutetussa selvityksessä (Huuskonen ym. 2013). Lisäksi Kaustisille perustettiin 2 uutta tutkimusalaa.

Uusien tutkimusalojen avulla selvitettiin nykytila mahdollisten tulevien litiumkaivosten (Keliber Oy) lähialueilla. Vanhoilla tutkimusaloilla runkojäkäläkartoitus pyrittiin tekemään samoilla havaintopuilla kuin vuonna 2012 toteutetussa tutkimuksessa, mutta hakkuiden tai maankäytön muutosten vuoksi viidesosa vanhoista aloista perustettiin uudestaan (53 alaa). Kaikki muutokset havaintoaloissa tai -puissa kirjattiin, ja ne huomioitiin vuosien välisiä tuloksia vertailtaessa.

Näytealan sijainti määritettiin GPS-laitteella. Jokaisesta havaintoalasta täytettiin taustatietolomake, johon merkittiin alan etsintäohje ja puiden sijainti. Lisäksi havaintoalan metsätyyppi, puuston kehitysluokka, ikä ja pituus sekä valtapuulajien 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 runkojäkäläkartoitukseen käytettävää metsikköä koskevat kriteerit. Puuston 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. Kriteereistä 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 rinnankorkeudella 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, jos niiden pois jättäminen oli mahdollista.

Havaintoalojen jakaantuminen luokkiin taustamuuttujien suhteen on esitetty alla (Taulukko 3-2). Suurin osa aloista oli soveltuvuudeltaan hyviä (59 %). Yleisimmin havaintoalat sijaitsivat mustikkatyyppin (MT) tuoreilla kankailla (48 % aloista) tai puolukkatyyppin (VT) kuivahkoilla kankailla (45 % aloista). Muiden metsätyyppien osuudet olivat 1-3 % luokkaa. Suurin osa metsiköistä luokiteltiin kehitysluokaltaan kypsiksi (56 % tutkimusaloista). Tutkimuspuiden keskimääräinen pituus oli 19 metriä. Läpimitaltaan puut olivat keskimäärin 30 cm ja puuston keskimääräinen pohjapinta-ala 21 m²/ha. Valtaosalla aloista valtalajina oli mänty ja toinen valtalaji oli useimmiten kuusi tai koivu. Muita tutkimusaloilla havaittuja valtalajeja olivat haapa, pihlaja, leppä, tuomi, lehtikuusi ja raita.

Neulasnäytteet kerättiin 8.1.-9.3.2018. Neulasnäytteitä keräsivät näytteenottajat Juha Halonen, Arto Kangasmäki, Anne Aikio, Kimmo Kangas, Kari Kangas ja Jaakko Simppula. Männyn runkojäkäläkartoitus sekä sammalten ja humusten näytteenotto toteutettiin 12.5.-13.6.2018. Kesäaikaisiin maastotöihin osallistuivat näytteenottajat Tuomas Talvitie (luontokartoittaja, EAT) ja Olli-Pekka Tervo (Fil yo, biologia) sekä ympäristöasiantuntija FM Eeva-Maria Leppänen. Lisäksi kahdella Kaustisen havaintoalalla toteutettiin täydentävää sammalten ja humuksen näytteenottoa 25.11.2019 (näytteenottaja Kimmo Kangas). Maastotyöntekijöiden perehdytyksen toteutti vuonna 2018 ympäristöasiantuntija FM Janne Ruuth ja vuonna 2019 ympäristöasiantuntija FT Niina Lappalainen.

Taulukko 3-2. Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin taustamuuttujien mukaan.

Tunnus	Luokka	Lukumäärä	Prosenttiosuus aloista
Soveltuvuus	Hyvä	141	59 %
	Kohtalainen	86	36 %
	Huono	11	5 %
Metsätyyppi	CT, kuiva kangas	8	3 %
	VT, kuivahko kangas	108	45 %
	MT, tuore kangas	115	48 %
	OMT, lehtomainen kangas	6	3 %
	Muu	2	1 %
Kehitysluokka	Kypsä	135	56 %
	Varttunut	105	44 %
	Nuori	0	0 %
Puuston pituus (m)	alle 15	16	7 %
	15-19	91	38 %
	yli 20	129	54 %
Puuston ikä (v)	alle 80	52	22 %
	80-99	91	38 %
	100-119	67	28 %
	120 tai yli	27	11 %
Puiden halkaisija (cm)	alle 25	1	0 %
	25-29	115	48 %
	30-34	97	40 %
	35-39	16	7 %
	40 tai yli	8	3 %
1. valtalaji	Mänty	235	98 %
	Kuusi	5	2 %
2. valtalaji	Kuusi	160	67 %
	-	50	21 %
	Koivu	22	9 %
	Mänty	5	2 %
	Haapa	2	1 %
	Tuomi	1	0 %
3. valtalaji	-	160	67 %
	Koivu	60	25 %
	Kuusi	11	5 %
	Haapa	4	2 %
	Pihlaja	1	0,4 %
	Leppä	1	0,4 %
	Lehtikuusi	1	0,4 %
4. valtalaji	-	237	98,8 %
	Haapa	2	1 %
	Raita	1	0 %
Puuston pohjapinta-ala (m ²)	alle 10	4	2 %
	10-14	24	10 %
	15-19	78	33 %
	20-24	78	33 %
	25-29	42	18 %
	30 tai yli	14	6 %

3.2 Männyn runkojäkälät

3.2.1 Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä

Jäkälät koostuvat symbioosissa elävistä lehtivihreästä sieniosakkaasta ja yhteyttävästä leväosakkaasta. Ne menestyvät hyvin niukkaravinteisessa ja kuivassa elinympäristössä, jossa korkeammat kasvit eivät selviä. Jäkälät kasvavat löyhärakenteisina sekovarsina ilman suojaavia pintasolukerroksia ja ilmarakoa ottaen ravinteensa ja vetensä suoraan ilmasta, sadevedestä tai runkovalunnasta. Tämä tekee jäkälät herkiksi ilman epäpuhtauksien vaikutuksille. Tärkeimmät jäkäliin vaikuttavat ilman epäpuhtaudet ovat rikkidioksidi 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 peittävyys 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 runkojäkälän yleistä vaurioastetta. Jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksia arvioitiin lajilukumäärän ja IAP-indeksin (Index on Atmospheric Purity, ilmanpuhtausindeksi) avulla. Sormipaisukarpeen ja luppojen (*Bryoria* sp.) peittävyksiä arvioitiin pistefrekvenssimenetelmällä. Havainnot tehtiin havaintoalalla viideltä tutkimuspuulta, joiden jäkälälajisto arvioitiin 50-200 cm:n korkeudelta.

3.2.2 Tutkitut jäkälälajit

Indikaattorilajeina käytettiin standardin SFS 5670 mukaisesti 12 männyillä yleisesti kasvavaa jäkälälajia. Indikaattorilajit on luokiteltu herkkyytensä mukaan neljään luokkaan (Taulukko 3-3). Tietyn lajin esiintymiseen vaikuttavat lajin saasteherkkyyden lisäksi myös luontaiset ympäristöolosuhteet, minkä vuoksi eri lajien indikaattoriarvot ovat erilaisia. Toiset lajit suosivat esim. merenrantoja, toiset valoisia ja kuivia metsiköitä, toiset sulkeutuneempia metsiköitä, toiset nuorempia puita ja toiset vanhempia. Lajien erityispiirteitä sekä niiden indikaattoriarvot on kuvattu taulukossa 3-4.

Taulukko 3-3. Tutkitut jäkälälajit ja niiden herkkyydet rikkidioksidille (Kuusinen ym. 1990).

Herkkyyks	Tieteellinen nimi	Suomenkielinen nimi
Kestävä, hyötyvä	<i>Algae + Scoliciosporum</i> <i>Hypocenomyce scalaris</i>	leväpeite seinäsuomujäkälä
Melko kestävä	<i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmeliopsis ambigua</i> <i>Cetraria chlorophylla</i> <i>Vulpicida pinastri</i>	sormipaisukarve keltatyvikarve ruskoröyhelö keltaröyhelö
Melko herkkä	<i>Parmeliopsis hyperopta</i> <i>Parmeliopsis aleurites</i> <i>Platismatia glauca</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Parmelia sulcata</i>	harmaa tyvikarve kalpea tyvikarve harmaaröyhelö hankakarve raidanisokarve
Herkkä	<i>Bryoria</i> sp. <i>Usnea</i> sp.	lupot naavat

Taulukko 3-4. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni, - huono. Seuralaislajien lukumäärät on laskettu Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista (Huuskonen ym. 2010, Lehtonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2013, Lehtonen 2013 ja tämä tutkimus, yhteensä 7885 puuta).

Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) +++



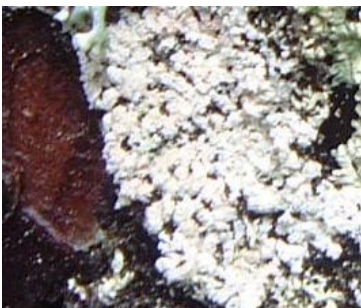
Sormipaisukarve on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji, joka sietää hyvin ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssit eli peittävyys pienentyvät vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Sormipaisukarve on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sekovarren näkyvät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

Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++



Keltatyvikarve sietää myös hyvin ilman epäpuhtauksia ja sen esiintymisfrekvenssit noudattavat ilman epäpuhtauksien kuormitusvyöhykkeitä. 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 kestävydeltään 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 sormipais- 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. Ilmansaasteet aiheuttavat selvästi havaittavia muutoksia hankakarpeen sekovarressa. Rannikon läheisyys suosii hankakarpeen esiintymistä, sillä se viihtyy valoisissa, kuivissa kalliomänniköissä. Indikaattorina se on kohtalainen. Seuralaislajien lukumäärä 5,80.

Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*) +



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

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



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

Lajien esiintyminen tutkittiin laajentaen standardinmukaista menetelmää siten, että kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (Taulukko 3-5). Kullekin tutkimuspuulle ja -alalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lajimäärä. Ala- ja puukohtaisia lajimääriä laskettaessa ei huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä seinäsuomujäkälää tai levää ja vihersukkulajäkälää, jolloin lajeja saattoi olla puuta tai alaa kohti enimmillään 10. Puhtailla tausta-alueilla havaitaan yleensä enemmän jäkälälajeja kuin kuormitetuilla alueilla. (Taulukko 3-6).

Taulukko 3-5. Jäkälien runsauden luokittelu. Leväpeite (*Algae & Scoliciosporum*) ja seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) on luokiteltu peittävytensä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.

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

Taulukko 3-6. 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 herkkyudet ilman epäpuhtauksille. Korkea indeksiarvo kertoo runsaasta jäkälälajistosta ja siten hyvästä ilmanlaadusta, matalan indeksin arvon saavat puolestaan lajistoltaan köyhtyneet havaintoalat (Taulukko 3-7). Indeksilaskettiin kullekin havaintoalalle seuraavasti:

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

Q = kunkin jäkälälajin keskimääräinen seuralaislajien lukumäärä (ks. Taulukko 3-4)

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 *Scoliciosporum* sp.), jotka hyötyvät kuormituksesta.

Taulukko 3-7. 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

3.2.3 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. 2003 ja Niskanen ym. 1996).

Sormipaisukarpeen vaurioaste ja runkojäkälälajien yleinen vaurioaste arvioitiin viisiasteisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (Taulukko 3-8, Kuva 3-2). Yleisessä vaurioasteessa eritellään kasvutavaltaan pensasmaisiksi lupot, naavat ja hankakarve, loput lajit ovat lehtimäisiä.

Sormipaisukarpeen ja luppojen (*Bryoria* sp.) esiintymisfrekvenssit laskettiin sapluunaruudukolta 1,2 m korkeudelta rungon itä-koillis- ja länsi-lounaispuolilta. Esiintymisfrekvensseistä laskettiin kullekin puulle sormipaisukarpeen ja luppojen suhteelliset peittävydet.

Taulukko 3-8. Sormipaisukarpeen sekä jäkälän yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

Vaurio	Sormipaisukarpeen vauriot	Yleinen vaurio
I terve	Jäkälät terveitä tai lähes terveitä	Kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	Lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia	Pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
III selvä vaurio	Jäkälät kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin	Pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV paha vaurio	Jäkälät pieniä, rypyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin	Pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V kuollut tai puuttuu	Kuollut tai puuttuu	Myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä



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

Kuva 3-2. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus.

3.3 Neulasten, sammalten ja humuksen alkuainepitoisuudet sekä humuksen kemialliset ominaisuudet

Tässä tutkimuksessa on selvitetty metallien ja ravinteiden pitoisuuksia ja kertymistä männyn neulasissa, seinäsammaleissa sekä maaperän humuksessa. Lisäksi on selvitetty maaperän kemiallisia ominaisuuksia (vaihtohappamuus ja kationinvaihtokapasiteetti, kun taas pH-arvoa ja sähkönjohtavuutta ei sisällytetty vuoden 2018 tutkimukseen). Tutkitut muuttujat kuvaavat paitsi kuormituksen alueellista jakaumaa, myös tutkimusmetsiköiden ravinnetilaa sekä maaperän ominaisuuksia. Tutkittujen alojen määrät kunkin näyttemateriaalin ja alkuaineen suhteen on kuvattu seuraavassa taulukossa (Taulukko 3-9).

Taulukko 3-9. Tutkimusalojen lukumäärät tutkittujen alkuaineiden ja matriisien suhteen.

Alkuaine	Lyhenne	Neulasaloja	Sammaloja	Humusaloja
Alumiini	Al	0	227	42
Arseeni	As	76	227	15
Boori	B	231	227	27
Elohopea	Hg	76	227	15
Fosfori	P	231	227	27
Kadmium	Cd	231	227	42
Kalium	K	231	227	42
Kalsium	Ca	231	227	42
Koboltti	Co	76	227	15
Kromi	Cr	231	227	27
Kupari	Cu	231	227	42
Lyijy	Pb	0	227	27
Magnesium	Mg	231	227	42
Mangaani	Mn	231	227	27
Natrium	Na	0	227	15
Nikkeli	Ni	23	227	42
Rauta	Fe	231	227	42
Rikki	S	231	227	27
Sinkki	Zn	23	227	42
Typpi	N	231	0	0
Vanadiini	V	76	227	15
Litium	Li	2	2	2
pH-arvo				0
Vaihtohappamuus cmol+/kg (= meq/100 g)				42
Sähkönjohtavuus mS/m				0
Kationinvaihtokapasiteetti cmol+/kg (= meq/100 g)				42

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 märkälasketusmuotona riippuvat metallien esiintymismuodoista ja niiden ominaisuuksista. (Helanen ym. 1999).

Tutkitut alkuaineet on kuvattu seuraavassa lyhyesti.

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).

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

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 elektrolyytissä tuotannossa, maaleissa sekä torjunta-aineena. Elohopean ilmapäästöjä syntyy mm. energiantuotannossa sekä epäorgaanisessa kemianteollisuudessa (kloorialkalitehtaat). (Reinikainen 2007, Helanen ym. 1999).

Fosfori on olennainen osa kasvisolujen energian varastointi- ja siirtojärjestelmää, ja lisäksi fosforia esiintyy myös proteiineissa ja hiilihdyraateissa. 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).

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 soluseinien 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 hengitettynä syöpäriskiä. Kobolttia on käytetty mm. erilaisissa teollisuuden metalliseoksissa, maaleissa ja akuissa. Maaperään kobolttia voi päästä myös kaivosteollisuudesta, jätteistä ja jätevesistä. (Reinikainen 2007).

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).

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). Myös fossiilisten polttoaineiden käytöstä pääsee ilmaan kuparia (Rautjärvi ja Raitio 2003).

Alkalimetalleihin kuuluva **litium** esiintyy kallioperässä lähinnä silikaateissa. Litiumilla ei tiedetä olevan merkitystä ravinteena, mutta suurina pitoisuuksina litium on haitallista. Litiumilla on lääkinällistä merkitystä ja sitä käytetään esimerkiksi akuissa. (Koljonen 1992).

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).

Magnesium kuuluu kasvien pääravinteisiin, ja valtaosa siitä esiintyy viherhiukkasissa. Magnesium on kaliumin ja kalsiumin antagonistti, ja magnesiumpuutos voi aiheutua poikkeuksellisen runsaasta NH_4 -typen, kaliumin, kalsiumin tai raskasmetallien saannista. (Reinikainen ym. 1998). Humuksesta mitattuna magnesium kuvaa kasvupaikan ravinteisuutta (Tamminen 1998). Magnesiumpuutosta on Suomessa esiintynyt turkistarhojen läheisyydessä, voimakkaasti typpellä lannoitetuilla turvemilla 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 kivihillen, 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 kalliio- 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. Nikkeliä käytetään mm. ruostumattoman teräksen ja metalliseosten valmistuksessa, metallien galvanoinnissa sekä paristoissa. Nikkelin päästölähteitä ovat mm. kaivos- ja metalliteollisuus ja kivihillen ja öljyn poltto. (Reinikainen 2007, 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 kasvupaikan viljavuutta (Tamminen 1998). Rikkikuormituksen indikaattorina käytetään epifyyttijäkälien 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, niitä ei pidetä erityisen hyvinä rikin kertymäindikaattorina. Korkeat rikkipitoisuudet vahingoittavat kasveja ja muuttavat niiden kertymiskapasiteettiä (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 vesieliöille. Korkeat sinkkipitoisuudet voivat johtaa fosforin puutteeseen (Reinikainen 1998). Sinkkiä käytetään runsaasti metalliteollisuudessa, esim. raudan ja teräksen pinnoituksessa ja messinkiseoksissa. (Reinikainen 2007).

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 1993). 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 kiillemineraaleihin sitoutuneena. Vanadiini kuuluu ihmisille tarpeellisiin hivenaineisiin. Vanadiinia käytetään seosaineena mm. teräksessä, raudattomissa metalliseoksissa sekä kemikaaleissa. (Reinikainen 2007). Vanadiinipäästöjä syntyy mm. öljynpoltosta (Melanen ym. 1999).

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

Yksiselitteisiä ohjearvoja neulasten alkuainepitoisuuksille ei juurikaan ole arvojen vaihdellessa eri lähteissä (vrt. Reinikainen ym. 1998). Neulasten eri (ravinne)pitoisuuksille annettuja viitearvoja on esitetty alla (Taulukko 3-10).

Taulukko 3-10. Neulasten alkuainepitoisuuksien viitearvoja kangasmaan metsille (Reinikainen ym. 1998, Brække 1994, 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 2018 pääasiassa samoilta tutkimusaloilta, joilta runkojäkäselvitys 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 2016 vuosikerta), jotka kuivattiin paperipusseissa noin 40°C lämpötilassa noin viikon ajan. Kuivatut neulaset jauhettiin homogeeniseksi massaksi ja hajotettiin väkevän typpihapon avulla märkäpoltolla mikroaaltopolttolaitteistossa. Jäähdyneet näytteet laimennettiin vedellä määrättilavuuteen. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuudet analysoitiin ICP-OES -laitteistolla standardin SFS-EN ISO 11885:09 mukaisesti ja ICP-MS -laitteistolla standardin SFS-EN ISO 17294-2:16 mukaisesti (Taulukko 3-14). Rinnakkaismääritysten lisäksi alkuainemääritysten laadunvarmistukseen käytetään sekä laboratorion sisäisiä kontrollinäytteitä että sertifioituja referenssimateriaaleja (NIST SRM 1573a, Tomato Leaves). Tulokset on ilmoitettu kuiva-ainetta (105 °C) kohti.

3.3.2 Sammalen 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).

Sammalen alkuaineiden pitoisuudet analysoitiin standardin SFS 5671 mukaisesti. Jokaiselta näytealalta kerättiin vähintään viisi osanäytettä eri paikoista mahdollisimman puhtailta seinäsammalkasvustoilta. Osanäytteet pyrittiin keräämään metsän aukkopaikoilta. Sammalista leikattiin maastossa kolme nuorinta vihreää vuosikasvainta, jotka pakattiin muovipusseihin. Laboratoriossa sammalnäytteet puhdistettiin ja kuivattiin lämpökaapissa n. 40°C lämpötilassa. Kuivatut sammat jauhettiin homogeeniseksi massaksi ja hajotettiin väkevän typpihapon avulla märkäpoltolla mikroaaltopolttolaitteistossa. Sammalten alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-OES ja ICP-MS –laitteistoilla (Taulukko 3-14).

3.3.3 Humuksen alkuainepitoisuudet ja kemialliset ominaisuudet sekä niiden määrittäminen

Maaperä ja ilmansaasteet

Maaperän alkuainepitoisuuksiin, ravinnetasoihin ja happamuuteen vaikuttavat luontaisten tekijöiden (esim. kivennäismaan geokemiallinen koostumus, maaperän ja humuskerroksen paksuus, maaperän raakoostumus, 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 & 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).

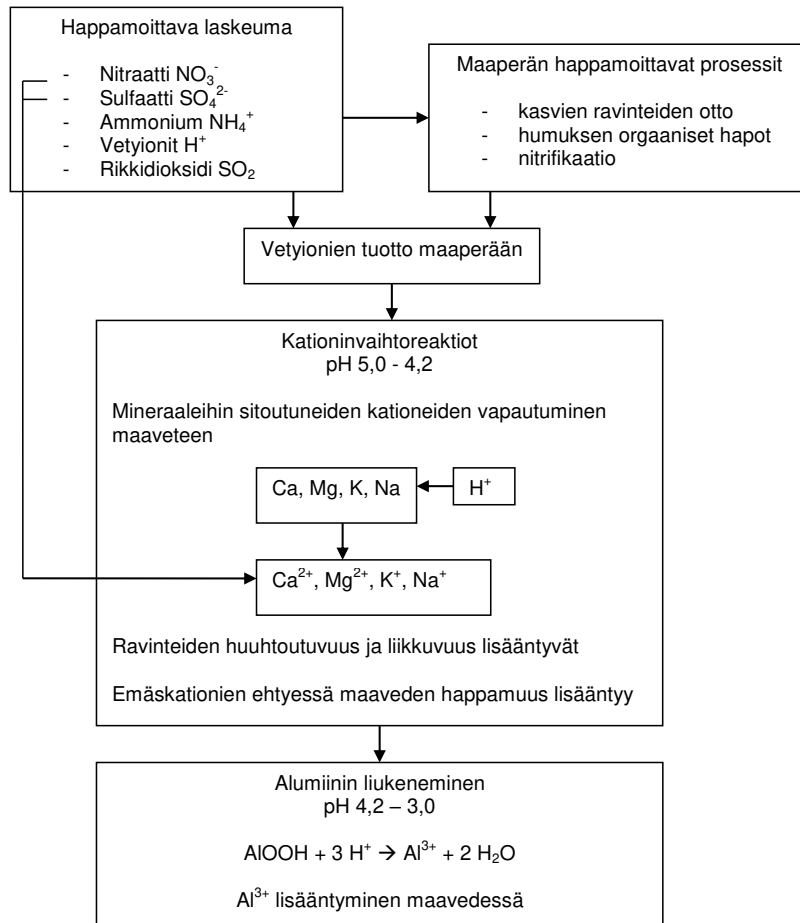
Humuksen raskasmetallipitoisuuksien katsotaan kuvaavan sekä ilman kautta leviävää kuormitusta että maaperästä peräisin olevien raskasmetallien määrää. Ilman kautta leviävä kuormitus voi olla peräisin kaukokulkeumasta tai paikallisista päästölähteistä. Erityisesti humuskerroksesta analysoitujen kuparin 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 alapuolisiin 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 & Väre 1995). Vastaavanlaisia havaintoja on tehty myös Harjavallan seudulla (Jussila 1999) 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 tietyssä vaiheessa myös maan silikaattimineraalien alumiini liukenee maaveteen (Kuva 3-3). 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 vaihtohappamuus kuvaa maaperän happamuutta kuten pH:kin, mutta siinä missä pH-arvo kertoo vetyionikonsentraatiosta, saadaan vaihtohappamuutta mittaamalla tietoa myös mineraaleihin sitoutuneiden vetyionien määrästä.

Kationinvaihtokapasiteetti kertoo kuinka paljon maahiukkanen voi pidättää positiivisesti varautuneita ioneja (kationeja) maa-aineen pinoille kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Tärkeimmät positiivisesti varautuneet ravinneionit ovat ammoniumtyyppi (NH_4^+), kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}) ja magnesium (Mg^{2+}), minkä lisäksi myös monet hivenravinteet ovat positiivisesti varautuneita. Mitä suurempi

kationinvaihtokapasiteetti, sitä enemmän maahan tai humukseen voi varastoitua (joitain) keskeisiä kasvinravinteita sähköisin varauksin. Raskasmetallit voivat heikentää humuksen ravinnepitoisuuksia. Esimerkiksi alumiinin kiinnittymisvoimakkuus, jolla alumiinikationi (Al^{3+}) kiinnittyy maapartikkelin pinnalle, on korkeampi verrattuna ravinnekationeihin, kuten kalium, kalsium ja magnesium. Alumiini syrjäyttääkin helposti esimerkiksi kaliumia jo melko pienillä pitoisuuksilla, kun taas alumiinin syrjäyttämiseen tarvitaan runsaasti kaliumia. (Mattila & Rajala 2018).



Kuva 3-3. 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 Kruunupyssä. Pietarsaaren seudulla sijaitsi 25 näytealaa. Lisäksi Kaustisille perustettiin 2 uutta alaa. Kultakin näytealalta otettiin noin 5 osanäytettä humuskerroksesta, jotka yhdistettiin yhdeksi tilavuudeltaan n. 2 litran kokoomanäytteeksi.

Laboratoriossa humusnäytteet kuivattiin 40 °C lämpötilassa ilmakeiviksi, jonka jälkeen ne jauhettiin ja seulottiin 2 mm seulalla. Alkuainepitoisuuksien määrittystä varten näytteet uutettiin ja analysoitiin samoilla menetelmillä kuin neulas- ja sammalnäytteetkin. Osa näytteestä erotettiin vaihto- ja happamuuden määrittystä varten (ISO 12260, ISO 14254). Ilmakeivattu humusnäyte kyllästettiin käsittelemällä sitä kolme kertaa 0,1 M BaCl-liuoksella. Mittausta varten suodosta titrattiin 0,05M NaOH:lla pH-arvoon 7,8. Kokonaisvaihto- ja happamuus laskettiin NaOH:n kulutuksen perusteella. Tulos on ilmoitettu cmol+/kg (= meq/100g) kuiva-ainetta kohti.

Vuonna 2018 määritettiin humusnäytteistä alumiinin kokonaispitoisuudet. Aikaisemmissa tutkimuksissa on määritetty alumiini vaihtuvassa muodossa (eli humusten asetaattiuutteesta) tai alumiinin kokonaispitoisuuksia. Alumiinin kokonaispitoisuus on huomattavasti suurempi kuin vaihtuvassa muodossa määritetty alumiini. Tästä johtuen eri vuosina toteutetuissa tutkimuksissa on huomattavia eroja alumiinipitoisuuksissa.

Sähkönjohtokyky (mS/m) ja pH-mittaukset eivät sisällyneet vuoden 2018 tutkimukseen.

Pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa käytettävät kynnys- ja ohjearvot

Valtioneuvoston pilaantuneita maita (PIMA) koskevassa asetuksessa (VNA 214/2007) on säädetty maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Asetuksessa on annettu pitoisuuksille kynnysarvot sekä alemmat ja ylempät ohjearvot (Taulukko 3-11). Kynnysarvojen ylityessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava. Maaperää pidetään pilaantuneena, jos *ylempi kynnysarvo* on ylittynyt yhden tai useamman aineen osalta ylittynyt teollisuus-, varasto- tai liikennealueella taikka muulla vastaavalla alueella. Alempia ohjearvoja sovelletaan muille alueille (4§).

Taulukko 3-11. Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa käytettävät kynnys- ja ohjearvot (VNA 214/2017). Arviointiperuste-sarakkeessa e-kirjain viittaa ekologiseen riskiin, t-kirjain terveydelliseen riskiin.

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

3.4 Paikkatietomenetelmät

Paikkatietoaineistojen käsittelyssä, tuottamisessa ja visualisoinnissa hyödynnettiin QGIS 2.18 ja QGIS 2.4 – 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.

3.5 Tilastomenetelmät

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

3.5.1 Luokiteltujen 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 päästötyyppiin tai sijoittumisena alle 1 km, alle 2 km tai alle 5 km etäisyydelle päästölähteestä. Lisäksi tarkasteltiin lähimmän päästölähteen toimialan vaikutusta. Tilastollisissa analyyseissä käytetyt lupavelvolliset päästölähteet on esitetty luvussa Tutkimusalueen ilmanlaatu (luku 2.2). Päästötyypeinä käytettiin tietoa toiminnan ilmapäästöistä, joita olivat rikki-, tyyppiyhdiste-, hiukkas-, metalli-, pöly- ja VOC-päästöt. Lupavelvollisista laitoksista Kaustisen lämpölaitos (STEP Oy), Jepuan Biokaasu Oy:n laitos ja Wibax (ks. Kuva 2-5) jäivät puuttumaan tarkastelusta puutteellisten lähtötietojen johdosta.

Päästölähteet jaettiin luokkiin eläinsuojat (nauta, sika), energian tuotanto, maa-ainesten käsittelyyn liittyvää toimintaa harjoittavien laitosten (mineraalituotteiden valmistus, kivenlouhinta, murskaamot, asfalttiasemat, kalkkikiven jauhatus), teollisuus, turkistarhat, turvetuotanto, VOC-päästöjä aiheuttavat laitokset ja ympäristöpalvelutoiminta (jätevedenkäsittely, kaatopaikat, maankaatopaikat). Ampumaratoja ei sisällytetty tarkastelun. Teollisuuden ryhmään oli tässä tarkastelussa yhdistetty metalliteollisuus, kemianteollisuus, metsäteollisuus, elintarvikkeiden ja rehujen valmistus, satamat ja pienteollisuusalueet, eli ryhmä oli varsin heterogeeninen. Yhdistäminen toteutettiin, jotta havaintojen määrä oli riittävä analyysien tekemiselle.

Luokiteltujen muuttujien vaikutusta tutkittiin ei-parametristen Kruskal-Wallis- ja Mann-Whitneyn U-testin avulla. Luokiteltuja kontrollimuuttujia olivat seuraavat:

- Tutkimusalan soveltuvuus (asteikolla hyvä – kohtalainen – huono)
- Metsätyyppi
- Kehitysluokka (asteikolla nuori – varttunut – kypsä)
- Ilmanlaatua kuvaavia luokiteltuja muuttujia olivat
 - o alan sijoittuminen lupavelvollisen päästölähteen läheisyyteen 1 km:n puskurille
 - o alan sijoittuminen lupavelvollisen päästölähteen läheisyyteen 2 km:n puskurille
 - o alan sijoittuminen lupavelvollisen päästölähteen läheisyyteen 5 km:n puskurille
 - o lähimmän päästölähteen toimiala

Jatkuvien muuttujien vaikutusta tutkittiin regressioanalyysien 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
 - o tutkimusalan etäisyys lähimmästä päästölähteestä
 - o tutkimusalan etäisyys lähimmästä eläinsuojasta, energiantuotantolaitoksesta, maa-ainestoiminnasta, teollisuuslaitoksesta, turkistarhasta, turvetuotantoalueesta, voc-yhdisteitä tuottavasta toiminnasta ja ns. ympäristöpalvelutoiminnasta (jätevedenkäsittelylaitokset, jätekeskukset, maankaatopaikat).

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

3.5.2 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 keskimääräistä rinnankorkeusläpimittaa. Ilmanlaatua kuvaavina selittävinä muuttujina käytettiin etäisyyttä lähimpään eri toimialan päästölähteeseen. Eri toimialat ryhmiteltiin eläinsuojiiin, 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 mielekästä 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.

3.5.3 Vuosien väliset vertailut

Vuosien välisiä eroja tutkittiin parittaisella t -testillä.

3.6 Virhelähteet ja luotettavuus

3.6.1 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 sekoittaa muihin lajeihin. Ilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa lajien ulkonäköön huomattavia muutoksia, minkä vuoksi vain luonnontilaisten jäkäläien 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 sekovarsi, ei kaarnan pinnalla oleva kellertävä tai vaalea jauhomainen kasvusto. Edellä esitettyjen syiden vuoksi näiden lajien havainnointiin ja runsauden arviointiin liittyvät erityisen suuret virhelähteet, kun verrataan eri tutkijoiden tuloksia keskenään.

Subjektiviisiin arvioihin pohjautuva jäkäläien 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. Koska maastoryhmä koostui suurimman osan ajasta yhdestä työparista, vauriotulkintojen yhtenäisyyttä oli mahdollista tutkia ja säätää päivittäin.

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen selvityksessä (Polojärvi ym. 2005) männyn epifyyttijäkäläien ja sormipaisukarpeen vaurioiden havainnoinnin virhelähteistä todettiin, että arviot sormipaisukarpeen vaurioista eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien eivätkä eri havainnoijien arvioiden välillä. Havainnot ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärästä eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien havaintokertojen välillä, mutta eri havainnoijien välillä todettiin muutamia tilastollisesti merkitseviä eroja. Sormipaisukarpeen suhteellisissa peittävyyksissä todettiin tilastollisesti merkitseviä eroja sekä havainnoijien omien että eri havainnoijien tekemien mittausten välillä, kuten myös leväpeitteen arvioinnissa. Jäkälähavainnoista leväpeitteen havainnointi osoittautui tarkkuudeltaan epävarmimmaksi. Arviot leväpeitteen esiintymisestä poikkesivat havaintoaloilla, joilla leväpeitettä esiintyi mäntyjen rungoilla hyvin pieninä vihertävinä laikkuina. Leväpeitteestä poiketen seinäsuomujäkälän havainnoinnissa ei eroja todettu. (Taulukko 3-12).

Taulukko 3-12. Jäkälähavaintojen mittaustarkkuus 95 %:n luottamusvälillä.

	Arviointitarkkuus	Ero tuloksissa
Sormipaisukarpeen vauriot		
Yhden havainnoijan arvioiden välinen vaihtelu	3 - 12 %	0,1 - 0,2 vaurioluokkaa
Usean havainnoijan välinen vaihtelu yhdellä havaintoalalla	10 - 16 %	0,2 - 0,4 vaurioluokkaa
Jäkälälajien lukumäärä		
Yhden havainnoijan arvioiden välinen vaihtelu	11 - 23 %	0,9 - 1,6 lajia
Usean havainnoijan välinen vaihtelu yhdellä havaintoalalla	0 - 5 %	0 - 0,9 lajia
Sormipaisukarpeen peittävyys		
Yhden havainnoijan arvioiden välinen vaihtelu	34 - 42 %	3,3 - 3,0 %-yks.
Usean havainnoijan välinen vaihtelu yhdellä havaintoalalla	11 - 22 %	0,7 - 4,9 %-yks.

3.6.2 Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittäminen

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus tutki vuonna 2004 neulasnäytteiden keräämiseen ja analysointiin liittyviä virheitä (Polojärvi ym. 2005). 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 3-13). Näytteenoton mittausepävarmuuden 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. 2005). Vuoden 1995 tutkimuksessa neulasten rikkipitoisuuksien kartoittamisen mittaustarkkuudeksi arvioitiin $\pm 7\%$ (Niskanen 1995) ja toistettavuuden osalta $\pm 14\%$ (

Taulukko 3-14) (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 mittausepävarmuudet ja määrittämissuhteet on esitetty taulukossa (Taulukko 3-14).

Taulukko 3-13. Rikin ja typen keskimääräiset mittaustarkkuudet eri vuosina tehdyissä mittaustarkkuuksien arvioinneissa 95 %:n luottamusvälillä (Polojärvi ym. 2005). 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 3-14. Neulasten (N) ja sammalten (S) alkuainepitoisuuksien analysoinnissa käytetyt menetelmät, määrittämissuhteet sekä mittausepävarmuudet.

Materiaali	Alkuaine	Menetelmä	Määrittämissuhteet mg/kg ka (kuiva-ainetta)	Mittausepävarmuus
S	Al	ICP-MS	10	<500 mg/kg $\pm 30\%$, >500 mg/kg $\pm 15\%$
NS	As	ICP-MS	0,03	<0,5 mg/kg $\pm 30\%$, >0,5 $\pm 15\%$
NS	B	ICP-OES	5	>30 mg/kg $\pm 22\%$, >30 mg/kg $\pm 14\%$
NS	Ca	ICP-MS	100	<2000 mg/kg $\pm 20\%$, >2000 mg/kg $\pm 12\%$
NS	Cd	ICP-MS	0,02	<0,1 mg/kg $\pm 35\%$, 0,1-0,2 mg/kg $\pm 20\%$, >0,2 mg/kg $\pm 10\%$
NS	Co	ICP-MS	0,03	<0,2 mg/kg $\pm 20\%$, >0,2 mg/kg $\pm 13\%$
NS	Cr	ICP-MS	0,1	<2 mg/kg $\pm 30\%$, >2 mg/kg $\pm 16\%$
NS	Cu	ICP-MS	0,4	<5 mg/kg $\pm 26\%$, >5 mg/kg $\pm 16\%$
S	Fe	ICP-MS	5	<100 mg/kg $\pm 20\%$, >100 mg/kg $\pm 15\%$
NS	Hg	ICP-MS	0,03	<0,15 mg/kg $\pm 22\%$, >0,15 mg/kg $\pm 15\%$
NS	K	ICP-MS	100	<1000 mg/kg $\pm 32\%$, >1000 mg/kg $\pm 12\%$

Materiaali	Alkuaine	Menetelmä	Määrittäysraja mg/kg ka (kuiva-ainetta)	Mittausepävarmuus
NS	Mg	ICP-MS	20	<1000 mg/kg ± 15%, >1000 mg/kg ± 10%
NS	Mn	ICP-MS	1	<70 mg/kg ± 20%, >70 mg/kg ± 13%
N	N	ICP-MS	300	<3000 mg/kg ± 30%, >3000 mg/kg ± 15%
S	Na	ICP-MS	40	<150 mg/kg ± 30%, >150 mg/kg ± 16%
NS	Ni	ICP-MS	N: 0,1 / S: 0,2	<1 mg/kg ± 25%, >1 mg/kg ± 15%
NS	P	ICP-MS	20	<500 mg/kg ± 20%, >500 mg/kg ± 12%
S	Pb	ICP-MS	0,05	<0,02 mg/kg ± 28 %, >0,02 mg/kg mg/kg ± 14 %
NS	S	ICP-MS	50	<1000 mg/kg ± 20%, >1000 mg/kg ± 10%
NS	V	ICP-MS	0,1	<1 mg/kg ± 25%, >1 mg/kg ± 16%
NS	Zn	ICP-MS	3	<20 mg/kg ± 26%, >20 mg/kg ± 13%
NS	Li	ICP-MS	0,2	± 20%

3.6.3 Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien määrittäminen

Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseurannan yhteydessä on arvioitu sammalen ja humuksen metallipitoisuuksien määrittämisen mittaustarkkuutta (Veijola & 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. Alla olevissa taulukoissa (Taulukko 3-15, Taulukko 3-16) 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 määrittäysrajat ovat samoja kuin neulasillakin (Taulukko 3-14).

Taulukko 3-15. Sammalten metallipitoisuuksien 95 %:n luottamusväli, kun kokoomanäyte koostuu 5 tai 10 osanäytteestä (keskiarvo standardoitu 100:ksi) (Veijola & Niskanen 1998).

	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 3-16. Humuksen muuttujien 95 %:n luottamusväli, kun kokoomanäyte koostuu 5 tai 10 osanäytteestä. Keskiarvo on standardoitu 100:ksi. Metallipitoisuuksien yksikkönä käytettiin cmol+/kg (= meq/dm³). (Veijola & Niskanen 1998).

	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 runkojäkälät

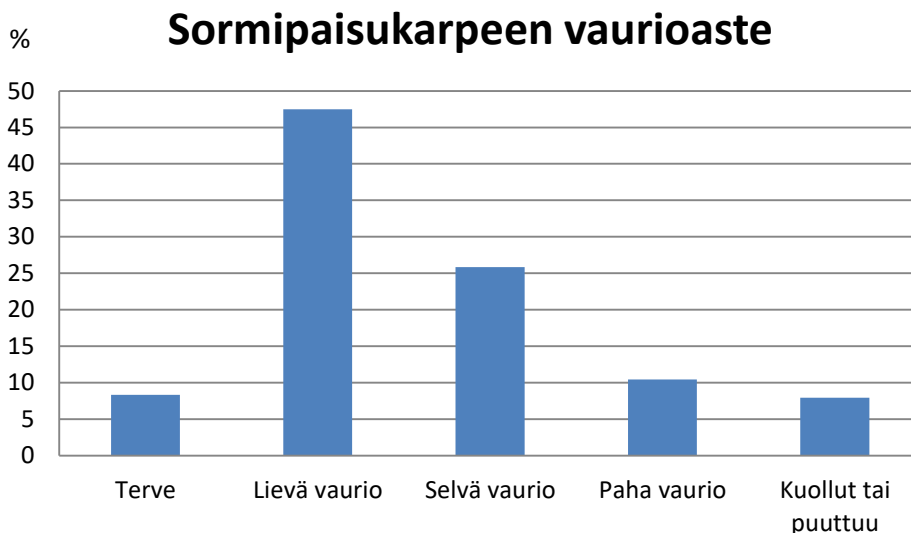
Mäntyjen jäkälälajistoa kuvaavien muuttujien keskiarvot, suurin ja pienin arvo sekä keskihajonta on esitetty taulukossa alla (Taulukko 4-1). Kutakin jäkälälajistoa kuvaavaa muuttujaa on tarkasteltu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Taulukko 4-1. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksin, alakohtaisen ja puukohtaisen lajimäärän, sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, sormipaisukarpeen peittävyys, loppujen peittävyys ja levän yleisyyden keskiarvo, keskihajonta sekä pienin ja suurin arvo.

N = 240	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta
IAP	1,6	0	3,3	0,62
Lajimäärä/näyteala	4,1	0	8	1,60
Lajimäärä/puu	3,1	0	6	1,11
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	1,1	5	1,04
Yleinen vaurioaste	3,7	1	5	0,63
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	8,2	0	50,8	10,1
Loppujen peittävyys (%)	0,04	0	3,5	0,28
Levän yleisyys	1,9	0	5	2,20

4.1.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste

Sormipaisukarpeen vauriot olivat tutkimusalueella keskimäärin selvän vaurion luokassa (keskimääräinen vaurioaste 2,6). Vaurioasteet vaihtelivat tutkimusalueella terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan (Taulukko 4-1). Vaurioiden jakaantumista koko aineistossa tarkasteltiin luokittelemalla vaurioasteet havaintoaloittain (Kuva 4-1). Lähes puolella havaintoaloista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta, ja selvästi vaurioitunutta noin viidesosalla aloista. Sormipaisukarve oli pahasti vaurioitunutta noin 10 %:lla aloista ja puuttui noin 8 %:lta eli 19 havaintoalalta. Sormipaisukarve oli tervettä noin 8 %:lla havaintoaloista.



Kuva 4-1. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla luokittain vuonna 2018 (N =240).

Tervettä sormipaisukarvetta kasvoi tutkimusalueella Kokkolassa rannikon läheisillä alueilla sekä Kokkolan kunnan keskiosissa, Luodossa sekä Kruunupyyn kunnan keskiosissa sekä luoteisosassa (Kuva 4-2).

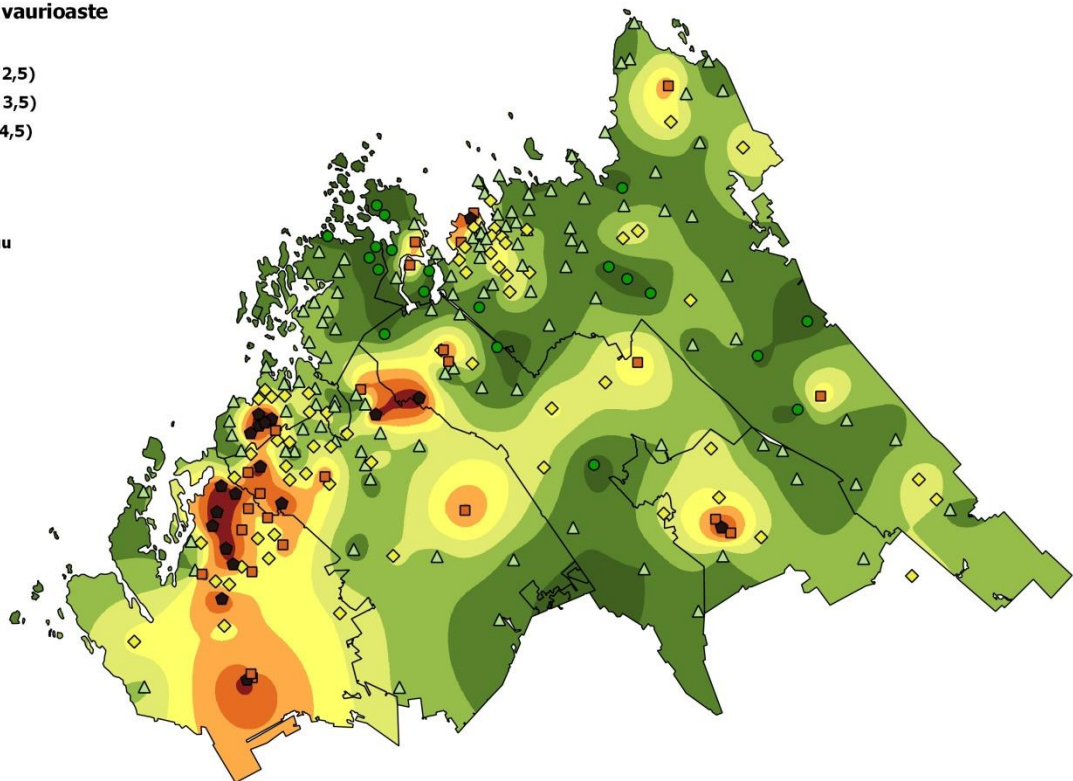
Kokkolan Ykspihlajan alueella oli yksi jäkäläautoiala, muutoin muilla Ykspihlajan alueen tutkimusaloilla esiintyi sormipaisukarvetta. Ykspihlajan teollisuusalueen päästöjen vaikutus ei sormipaisukarpeen vaurioiden osalta ulottunut erityisen laajalle alueelle. Jäkäläautoialoja oli lisäksi Pietarsaarella, Uudessakaarlepyyssä, Kruunupyyssä, Pedersöressä, Kaustisilla ja Ullavan kyläkeskustassa. Luodon kunnassa ei havaittu jäkäläautoialoja. Kaustisen jäkäläautoialat sijaitsivat Findest Protein Oy:n, Fortumin ja alueella sijaitsevan turkistarhakeskittymän läheisyydessä. Pedersören pohjoisosassa sijaitseva jäkäläautoiala sijaitsee turkistarhan välittömässä läheisyydessä. Pietarsaaren jäkäläautoialat ja muut pahiten vaurioituneet sormipaisukarvealat sijaitsivat niin ikään turkistarhakeskittymän läheisyydessä. Uudessakaarlepyyssä oli jäkäläautoialoja turkistarhojen, eläinsuojien ja energiantuotantolaitoksen läheisyydessä. Kruunupyyn kunnan länsirajan tuntumassa sekä Pedersören länsirajan tuntumassa sijaitsevien jäkäläautoialojen läheisyydessä ei sijaitse päästölähteitä.

Selvästi tai pahasti vaurioituneet alat muodostivat vyöhykkeitä Kokkolan keskustan ympäristöön ja Ykspihlajan alueelle, Pedersören länsiosista Uudenkaarlepyyn pohjois- ja eteläosiin, Pedersören pohjoisosista Kruunupyhyyn, sekä Pietarsaaren. Näillä alueilla oli mm. turkistarhoja ja teollisuus- ja energiantuotantotoimintaa.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

- Terve (1,0 - 1,5)
- ▲ Lievä vaurio (1,5 - 2,5)
- ◆ Selvä vaurio (2,5 - 3,5)
- Paha vaurio (3,5 - 4,5)
- Kuollut (4,5 - 5,0)

- Kuollut tai puuttuu
- Paha vaurio
- Selvä vaurio
- Lievä vaurio
- Terve



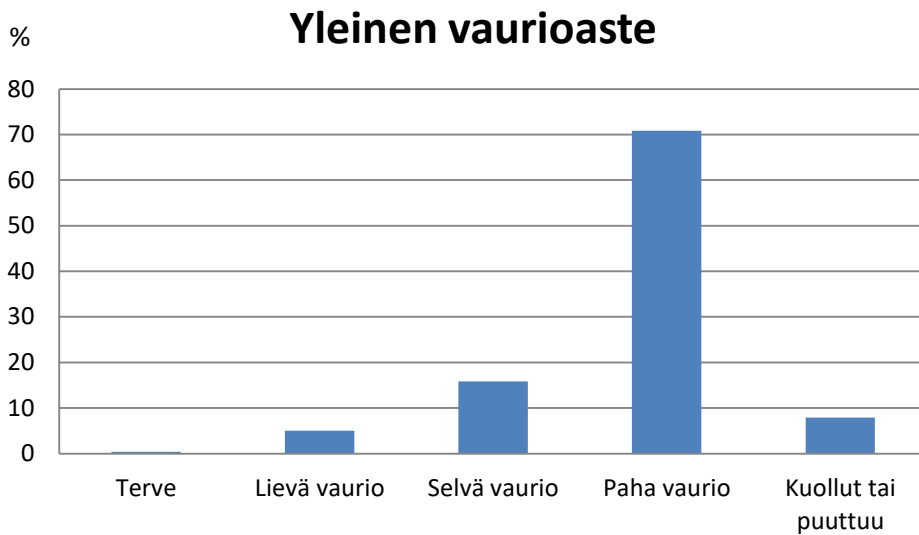
eurofins

0 10 20 30 40 km

Kuva 4-2. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla ja vaurioasteita kuvaavat vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2018.

4.1.2 Yleinen vaurioaste

Yleinen vaurioaste oli keskimäärin 3,7 eli jäkälälajisto oli tutkimusalueella keskimäärin jo pahasti vaurioitunutta (Taulukko 4-1). Sormipaisukarpeen tapaan vaurioasteet vaihtelivat terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan (Kuva 4-3). Suurimmalla osalla (71 %) tutkimusaloista jäkälät olivat pahasti vaurioituneita. Tätä selittää vaurion arviointiasteikko, jossa puu luokitetaan automaattisesti luokkaan 4, jos sillä ei kasva lainkaan pensasmaisia lajeja (ks. Taulukko 3-8). Yleisen vaurioasteen osalta täysin terveitä havaintoaloja oli yksi, ja lajisto oli kokonaan tai melkein kuollut noin 8 %:lla aloista (19 alaa).

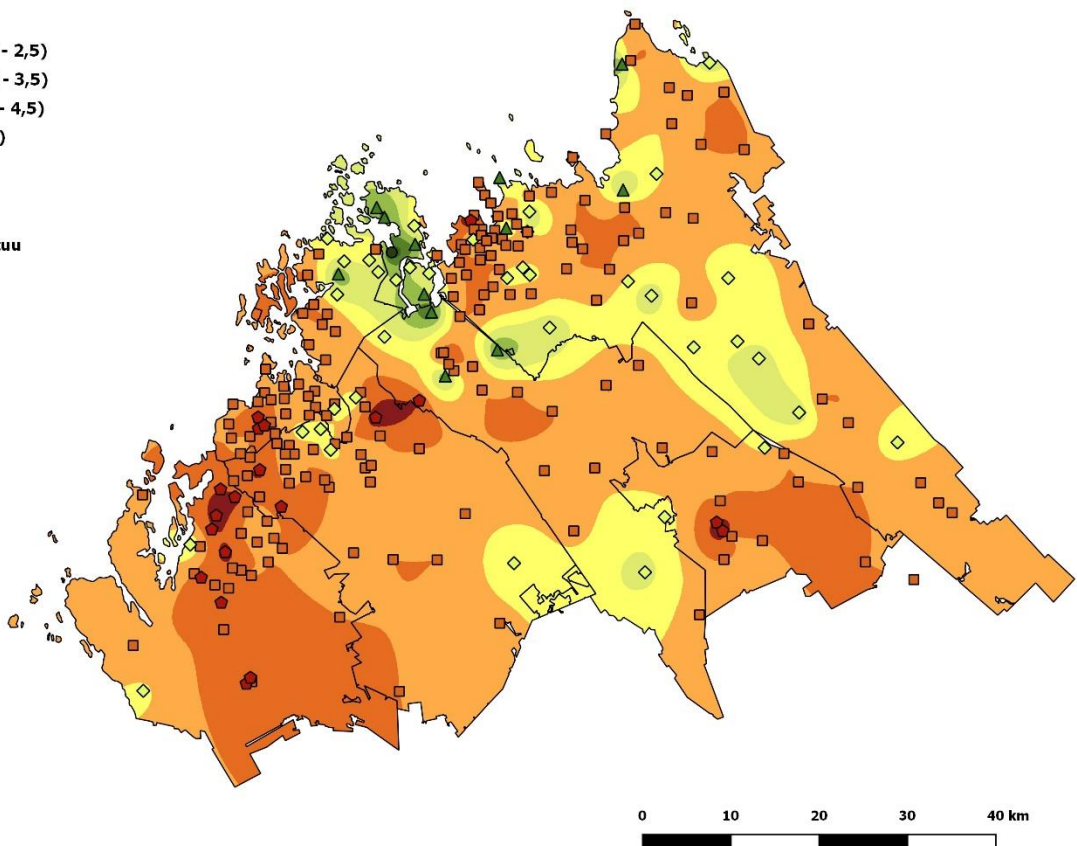


Kuva 4-3. Yleiset vaurioasteet havaintoaloilla vuonna 2018 (N = 240).

Jäkälälajiston suurimmat vauriot painoutuivat pääasiassa samoille alueille kuin sormipaisukarpeen vauriot, mutta jäkälälajiston yleiset vaurioasteet olivat keskimäärin 1,1 vaurioluokkaa sormipaisukarpeen vaurioastetta suurempia (Taulukko 4-1). Pahan vaurioluokan vyöhyke muodostui tutkimusalueelle lounaiskoillinen-suuntaisesti rannikkoa myötäillen. Lisäksi Kaustisille sijoittui pahan vaurioluokan alue. Terveimpiä alueita sijoittui rannikolle Kokkolan ja Luodon kuntien alueille. (Kuva 4-4).

Yleinen vaurioaste

- Terve (1,0 - 1,5)
- ▲ Lievä vaurio (1,5 - 2,5)
- ◇ Selvä vaurio (2,5 - 3,5)
- Paha vaurio (3,5 - 4,5)
- ◆ Kuollut (4,5 - 5,0)



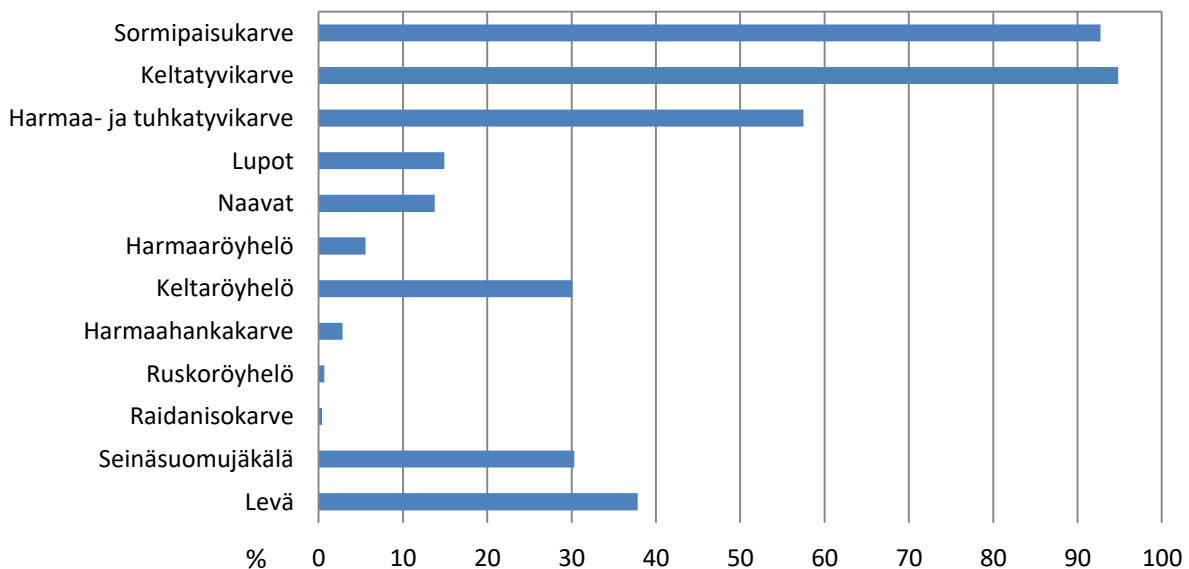
Kuva 4-4. Yleinen vaurioaste havaintoaloilla ja vaurioasteita kuvaavat vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2018.

4.1.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys

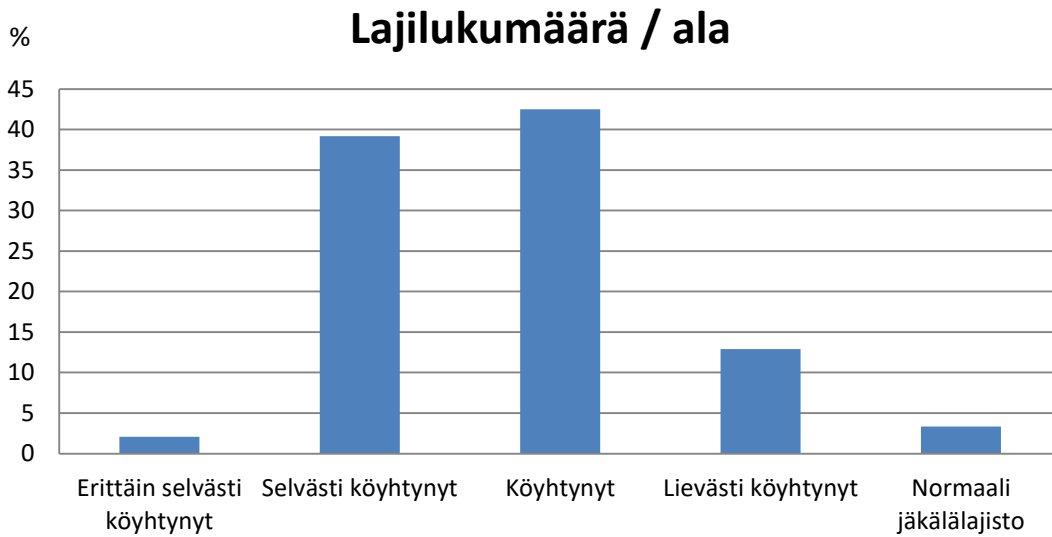
Yleisimmät lajit tutkimusalueella olivat keltatyvikarve ja sormipaisukarve, joita esiintyi yli 90 %:lla tutkimuspuista. Myös harmaa- ja tuhkatyvikarvetta esiintyi yli puolella puista. Ilman epäpuhtauksista hyötyviä levää ja seinäsuomujäkälää esiintyi yli 30 % puista. (Kuva 4-5).

Tutkimusalueella havaittiin keskimäärin 4,1 jäkälälajia, joihin ilman epäpuhtaudet vaikuttavat haitallisesti, lajilukumäärän vaihdellessa välillä 0-8 lajia/tutkimusalue (Taulukko 4-1). Tutkimuspuukohtainen keskimääräinen havaittu lajilukumäärä oli 3,1 lajia (vaihteluväli 0-6 lajia/puu). Tutkimusalaakohtaisen lajimäärän perusteella lajisto oli keskimäärin köyhtynyt, tutkimuspuukohtaisen lajimäärän perusteella selvästi köyhtynyt. Suurin osa tutkimusaloista oli luokassa köyhtynyt lajisto (4-5 lajia) ja selvästi köyhtynyt lajisto (2-3 lajia) (Kuva 4-6). Jäkälälajistollisesti erittäin selvästi köyhtyneitä aloja (0 tai 1 ilman epäpuhtauksista kärsivää lajia) oli tutkimusalueella yhteensä viisi. Ne sijoituivat Kaustisille, Kokkolaan Ykspihlajaan sekä Pedersören ja Uudenkaarlepyyn pohjoisosiin (Kuva 4-7). Normaalia jäkälälajistoa oli vain noin 3 %:lla tutkimusaloista (8 alaa). Normaalin jäkälälajiston alat sijoituivat Kokkolan kunnan keskiosiin ja länsiosaan sekä rannikon läheisyyteen, Kruunupyyn pohjoisosiin ja Uudenkaarlepyyn rannikolle. Lajiston köyhtymistä havaittiin erityisesti rannikon läheisyydessä sekä Uudenkaarlepyyn, Kaustisten, Kruunupyyn ja Kokkolan kuntien keskiosissa.

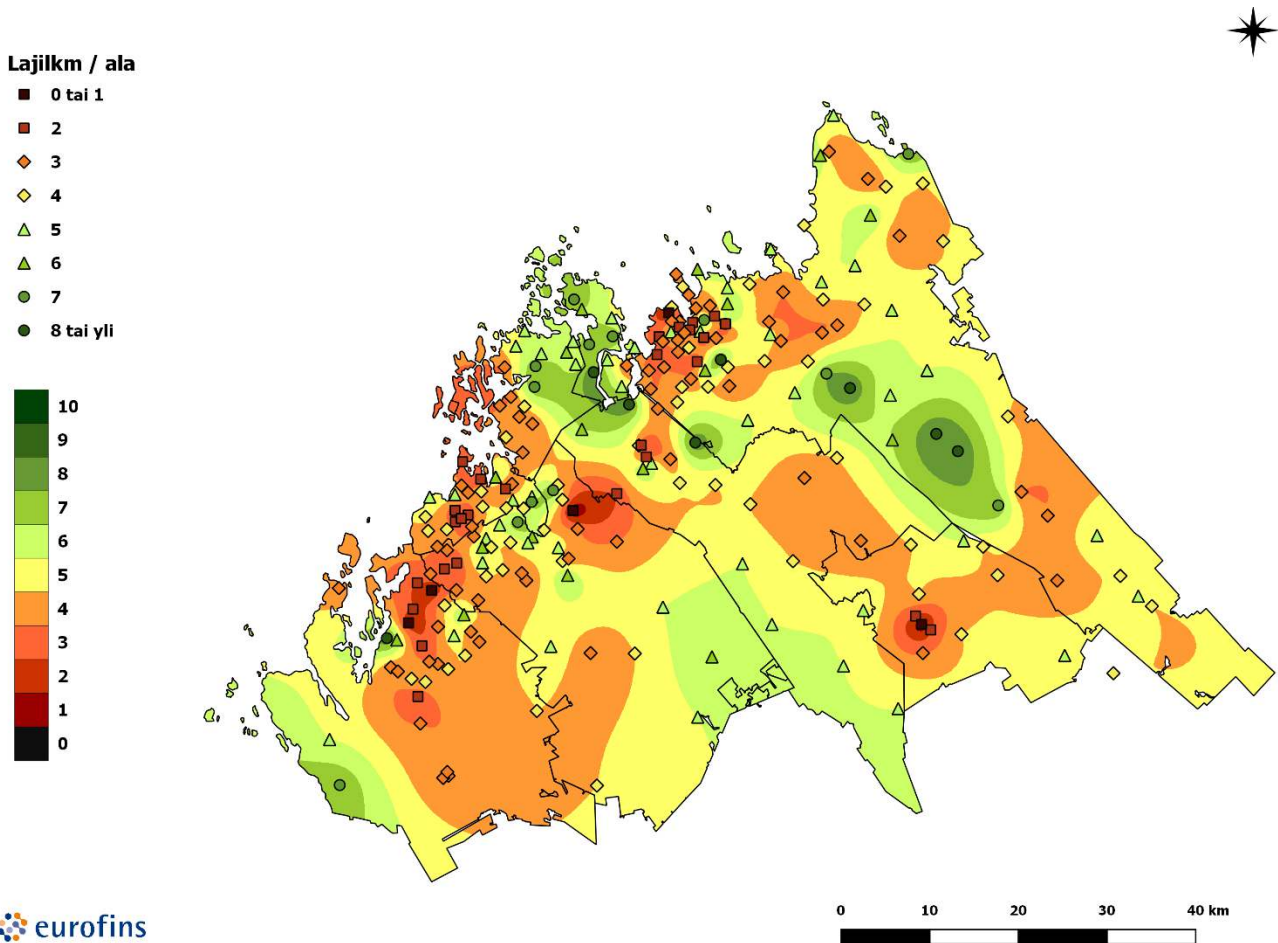
Esiintymisfrekvenssit



Kuva 4-5. Männyn runkojäkälien esiintymistiheys tutkimusalueella vuonna 2018 (N = 240).



Kuva 4-6. Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin lajilukumäärän perusteella (N = 240).



eurofins

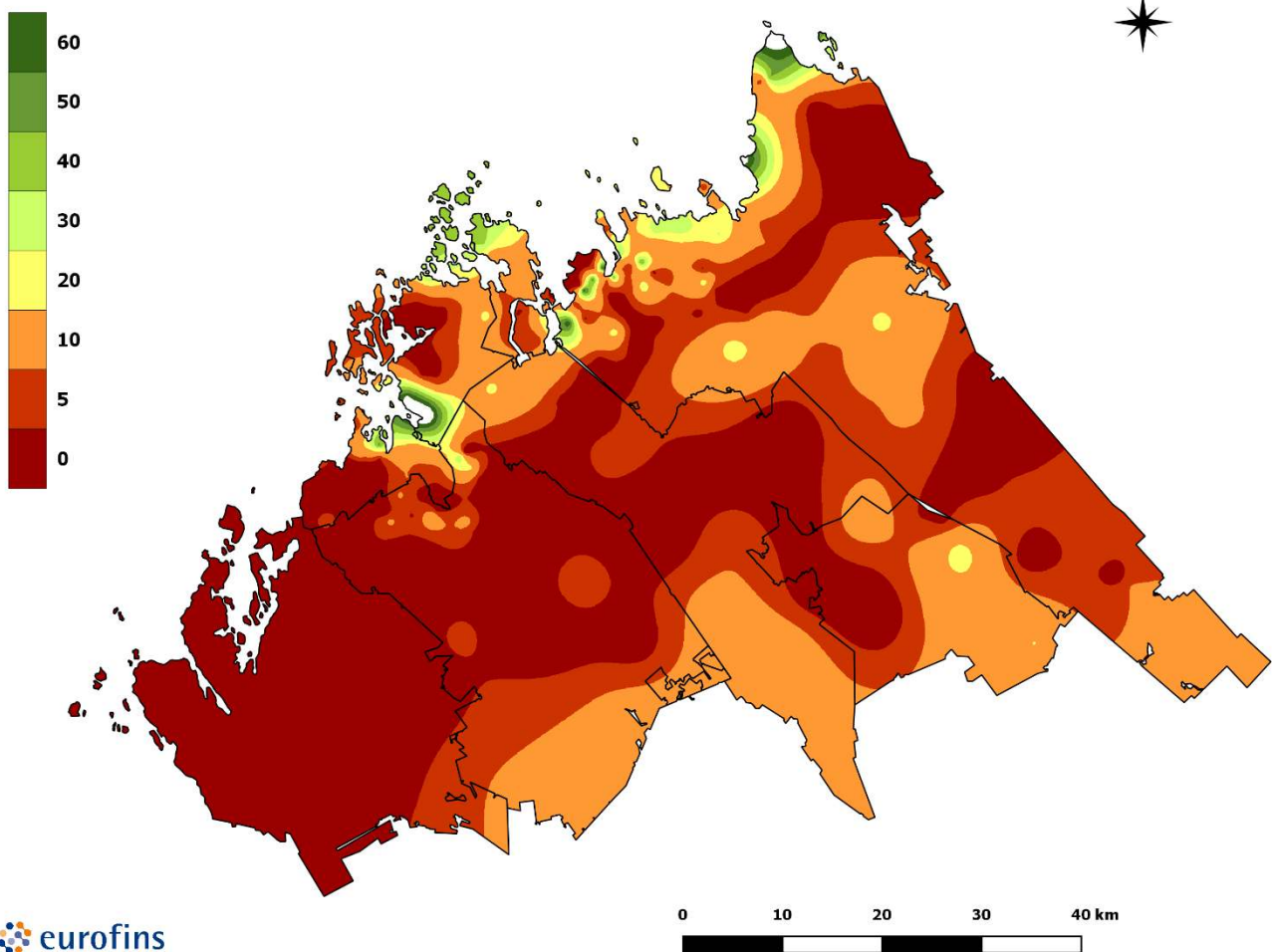
Kuva 4-7. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärät havaintoaloilla sekä vyöhykkeittäinen kuvaus ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärästä tutkimusalueella vuonna 2018.

4.1.4 Peittävydet

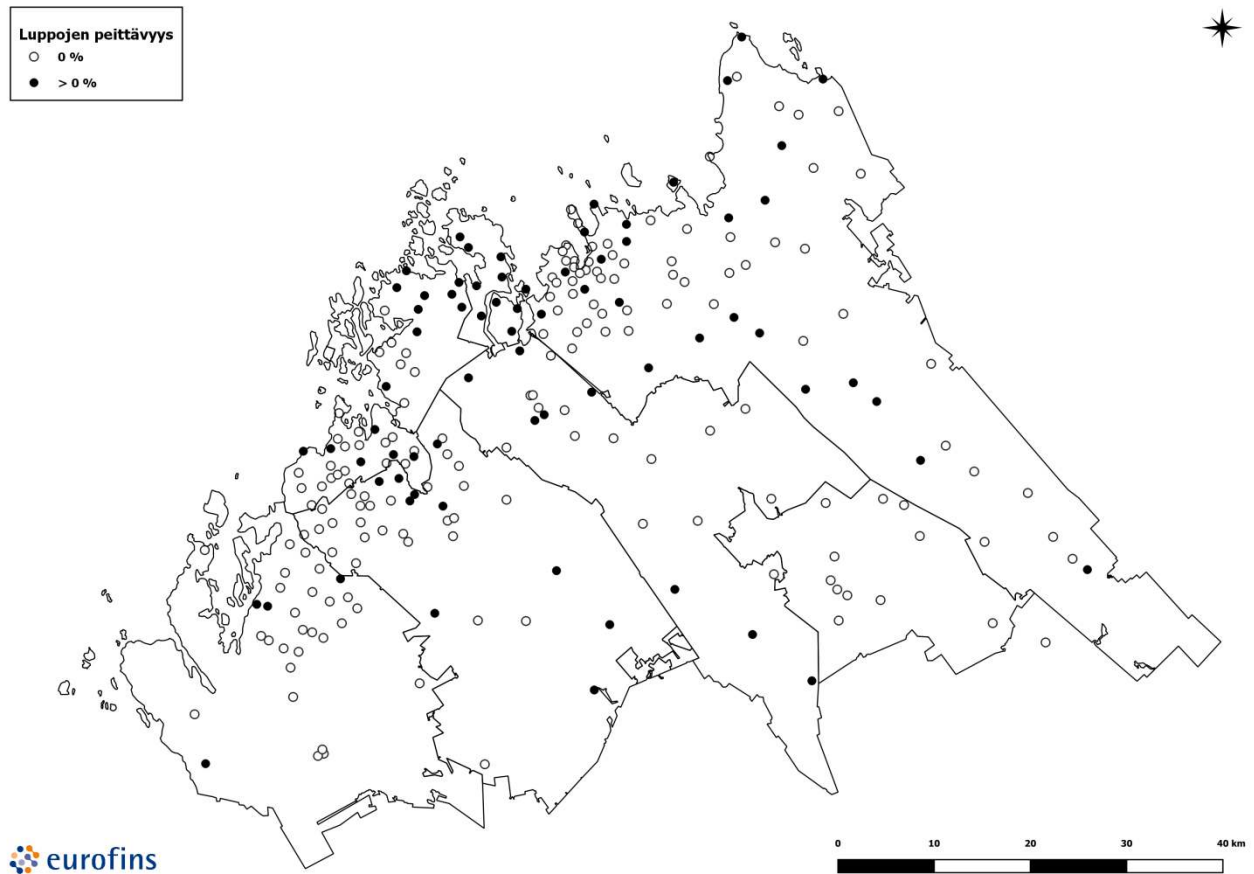
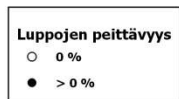
Sormipaisukarpeen pistefrekvenssimenetelmällä lasketut peittävydet mäntyjen rungoilla on esitetty havaintoalakohtaisista keskiarvoista yleistettyinä vyöhykkeinä (Kuva 4-8). Luppoja esiintyi alueella niin vähän, että peittävydet esitettiin pistemäisesti luokkina "luppoja ei esiinny" ja "luppoja esiintyy" (Kuva 4-9). Karttoja tarkasteltaessa on huomioitava, että erityisesti sormipaisukarpeen peittävyys reagoi ilman epäpuhtauksiin epälineaaraisesti. Lajin peittävyys usein ensin kasvaa epäpuhtauksien vaikutuksesta, ja kuormitustason edelleen kasvaessa peittävyys jälleen pienenee. Lisäksi luontaiset tekijät vaikuttavat peittävyksiin merkittävästi, esim. sormipaisukarpeen peittävyys on suurempi nuorissa kuin vanhoissa männiköissä.

Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys oli 8,2 % (Taulukko 4-1). Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurimmillaan Kokkolan, Luodon ja Pietarsaaren rannikkoalueilla ja matalin Uudenkaarlepyyn kunnan alueella (Kuva 4-8).

Lupot esiintyivät runsaina vain yksittäisillä aloilla. Luppojen keskimääräinen peittävyys oli 0,04 % (Taulukko 4-1). Luppoja esiintyi yhteensä 73 tutkimusalueella pääasiassa tutkimusalueen pohjoisosissa, minkä lisäksi yksittäisiä aloja, joilla esiintyi luppoja, sijoittui tutkimusalueen keskiosiin (Kuva 4-9).



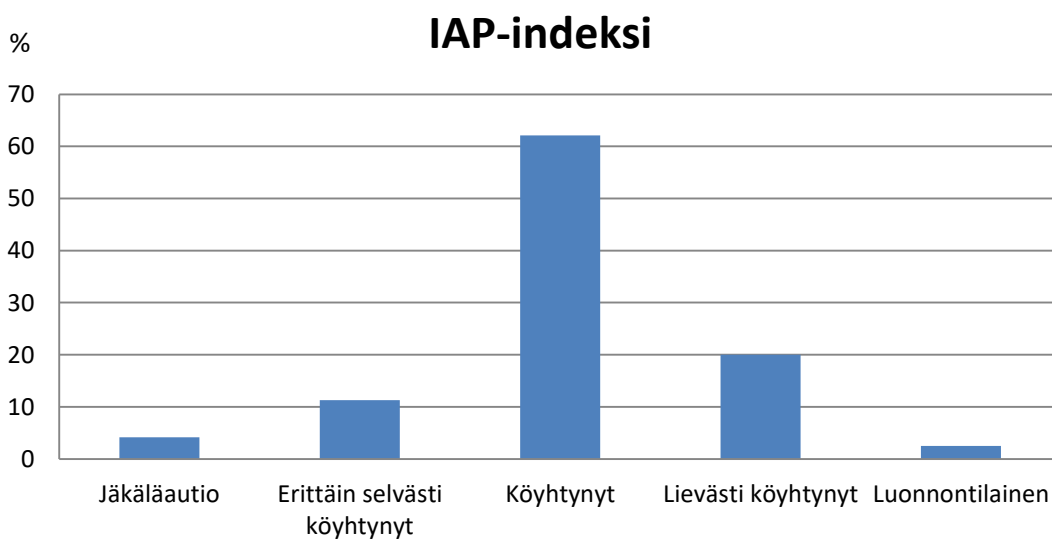
Kuva 4-8. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys (%) vyöhykkeinä tutkimusalueella vuonna 2018 (luokan kohdalla esitetty luokan alaraja).



Kuva 4-9. Luppojen keskimääräinen peittävyys (%) tutkimusalueella vuonna 2018.

4.1.5 IAP-indeksi

IAP-indeksi oli tutkimusalueella keskimäärin 1,6. Arvon perusteella alueen lajistoa voi kuvailla köyhtyneeksi. Pienin IAP-indeksin arvo oli 0 (jäkäläautio) ja suurin 3,3 (luonnontilainen lajisto) (Taulukko 4-1). Suurimmalla osalla (noin 62 %) tutkimusaloista oli IAP-indeksin arvon perusteella köyhtynyt lajisto (Kuva 4-10). Toiseksi suurimpaan luokkaan, jossa lajisto oli lievästi köyhtynyttä, sijoittui noin 20 % aloista. Luonnontilaista lajisto oli noin 2,5 %:lla aloista.



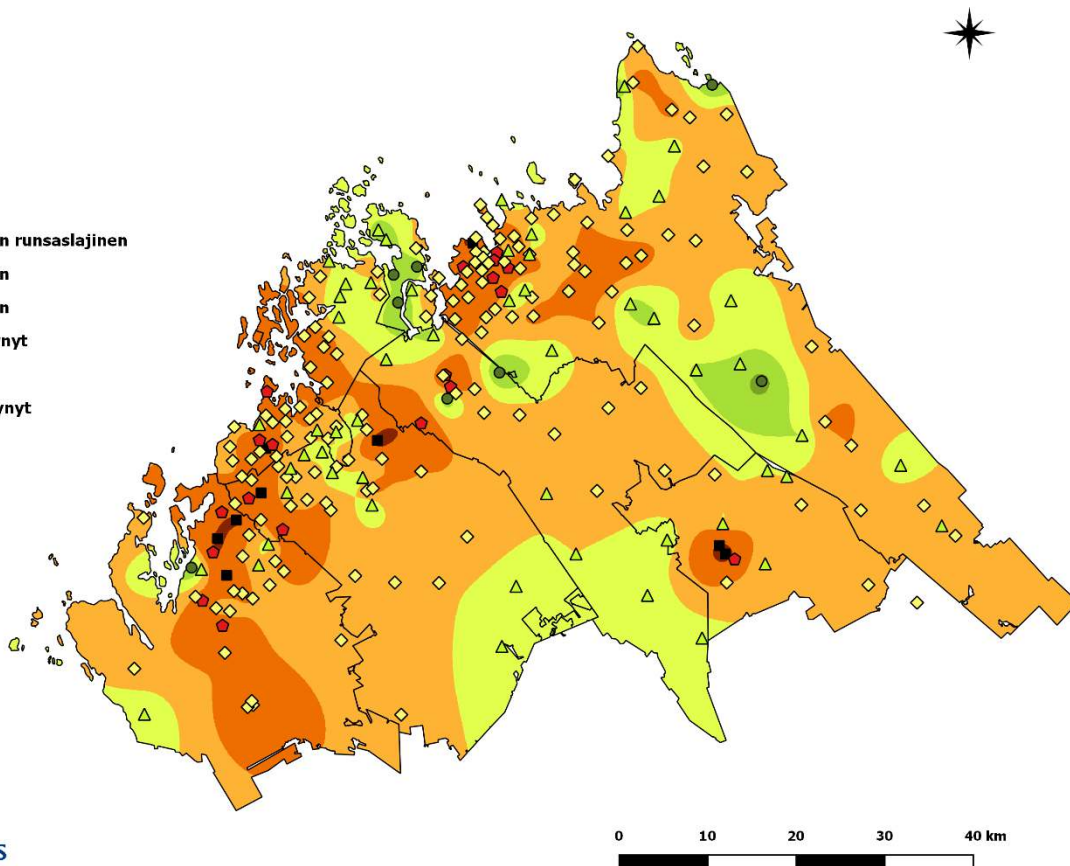
Kuva 4-10. IAP-indeksin jakauma havaintoaloittain vuonna 2018 (N = 240).

Jäkälälajisto oli luonnontilaista (IAP-indeksin arvo > 3) 6 havaintoalalla. Nämä sijoituivat Kokkolan kunnan keskiosaan ja rannikon tuntumaan sekä Kruunupyyn länsiosaan (Kuva 4-11). Alat, joilla oli pahiten köyhtynyt jäkälälajisto, sijaitsivat Kokkolan Ykspihlajassa, Kaustisten turkistarha- ja teollisuusalueella sekä Pedersöressä ja Uudessaarlepöyssä turkistarha-alueen läheisyydessä. Laajin köyhtyneen lajiston vyöhyke sijaitsi Uudenkaarlepyyn, Pietarsaaren ja Pedersören pohjoisosien alueella, ja jatkui siitä Kruunupyyn ja Kokkolan pohjoisosien läpi Lohtajalle.

IAP-indeksi

- Jäkäläautio
- Selvästi köyhtynyt
- ◇ Köyhtynyt
- △ Lieviä muutoksia
- Luonnontilainen

- (4,5) luonnontilainen runsaslajinen
- (3,5) luonnontilainen
- (3,0) luonnontilainen
- (2,5) lievästi köyhtynyt
- (2,0) köyhtynyt
- (1,5) selvästi köyhtynyt
- (0,5) jäkäläautio



eurofins

Kuva 4-11. IAP-indeksi tutkimusaloilla ja IAP-indeksi vyöhykkeittäin tutkimusalueella vuonna 2018 (vyöhykeluokan kohdalla esitetty luokan alaraja).

4.2 Männyn neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten alkuainepitoisuuksista laskettiin tunnuslukuja sekä koko Kokkolan-Pietarsaaren tutkimusalueella että kunnittain (Taulukko 4-2). Kuntien suurimmat keskiarvot ja suurimmat pitoisuudet on lihavoitu taulukkoon. Tutkimusalojen alkuainepitoisuudet on esitetty kartoilla (Kuva 4-12 – Kuva 4-30).

Rikin korkeita pitoisuuksia havaittiin erityisesti Kokkolassa Ykspihlajan–keskustan alueella sekä Kruunupyyn ja Pietarsaaren teollisuusalueiden läheisyydessä. Kohonneiden rikkipitoisuuksien vyöhyke sijoittui rannikon myötäisesti ulottuen Udestakaarlepöystä Kokkolan pohjoisosiin. Myös Kaustisilla teollisuustoimintojen läheisyydessä havaittiin kohonneita pitoisuuksia. Matalimmat pitoisuudet sijoituivat tutkimusalueen keskiosiin Pedersörestä Kruunupyyn kautta entisen Kälviän-Ullavan seudulle. (Kuva 4-27, Kuva 4-28).

Kohonneita **typpipitoisuuksia** havaittiin mm. Kokkolassa, Kaustisilla, Uudenkaarlepyyn keskiosissa sekä Pedersören pohjoisosassa mm. teollisuuspäästölähteiden ympäristössä sekä turkistarhojen ja eläinsuojien läheisyydessä. (Kuva 4-24).

Neulasista tutkittujen alkuaineiden korkeimmat pitoisuudet sijoituivat Kokkolaan ja erityisesti Ykspihlajan tutkimusaloille **arsenin, kadmiumin, koboltin, kromin, raudan, elohopean, nikkelin** ja **sinkin** osalta. Arseenin hieman kohonneita pitoisuuksia havaittiin myös Pietarsaaren, Pedersören, Kruunupyyn ja Luodon

tutkimusaloilla. Yksittäisiä kohonneita kromipitoisuuksia havaittiin myös muualla tutkimusalueella, mutta kohonneet pitoisuudet eivät näyttäneet Kokkolan Kälviän teollisuustoimintaa ja Kastisten energiantuotantoa lukuun ottamatta liittyvän lähellä sijaitsevaan teollisuustoimintaan. Lievästi kohonneita rautapitoisuuksia havaittiin myös muualla alueella teollisuustoimintojen läheisyydessä. Elohopean lievästi kohonneita pitoisuuksia havaittiin myös muualla tutkimusalueella, mutta lukuun ottamatta Kokkolassa jätekeskuksen läheisyydessä sijaitsevaa tutkimusalaa, kohonneet pitoisuudet eivät näyttäneet liittyvän lähellä sijaitsevaan teollisuustoimintaan. **Kuparin** kohonneita pitoisuuksia esiintyi erityisesti Kokkolassa. Korkein yksittäinen **vanadiinipitoisuus** havaittiin Pietarsaassa teollisuuden ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä. Lisäksi vanadiinipitoisuudet olivat kohonneita Kokkolan Ykspihlajan alueilla.

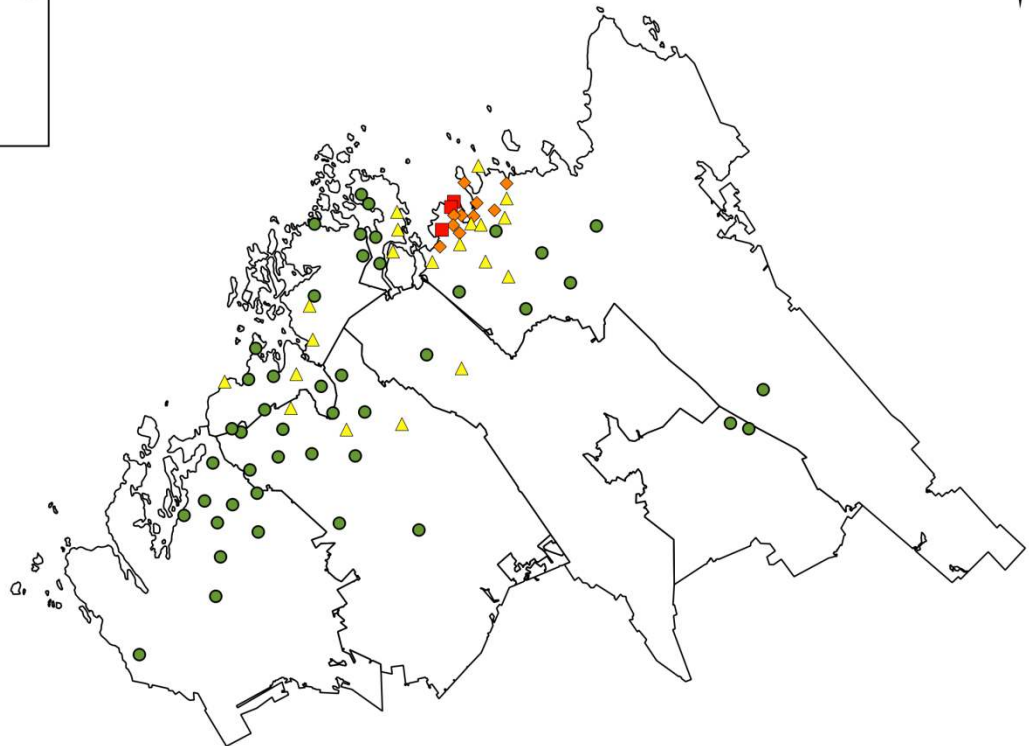
Boorin, kalsiumin, kaliumin, magnesiumin, mangaanin ja fosforin pitoisuudet näyttivät ilmentävän ensisijaisesti kasvupaikkaoloja ennen kuin ilman epäpuhtauksien päästöjä. Näiden alkuaineiden suurimpia keskiarvoja sekä aineiston suurimpia pitoisuuksia esiintyi useissa eri kunnissa. Lisäksi useilla näistä alkuaineista havaittiin muuta tutkimusaluetta korkeampia pitoisuuksia erityisesti rannikkoalueilla.

Litiumin pitoisuuksia määritettiin kahdelta alalta Kaustisilta, tulevien litiumkaivosten (Keliber Oy) läheisyydessä. Neulasten litiumpitoisuus näillä aloilla oli < 0,2 mg/kg (ala K239) ja 0,28 mg/kg (ala K240) (ks. alojen sijainti Kuva 4-51).

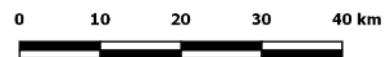
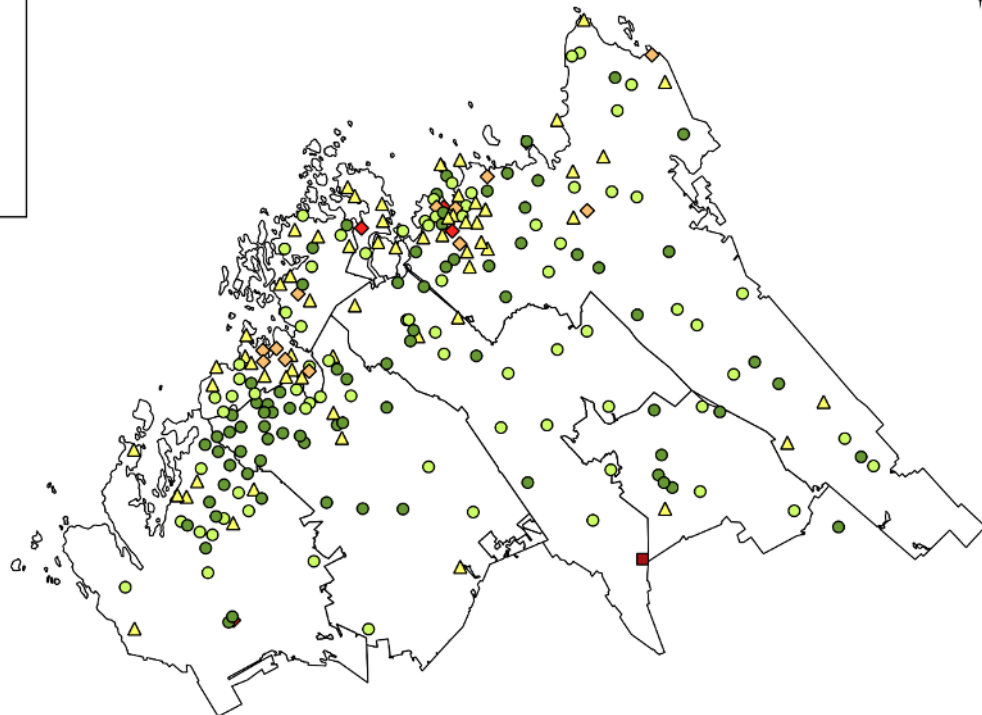
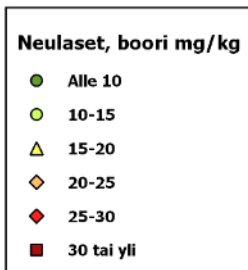
Taulukko 4-2. Neulasten alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot (mg/kg kuiva-ainetta kohti) koko alueella ja kunnittain.

Alkuaine		Koko alue	Kausti- nen	Kokkola	Kruunu- pyy	Luo- to	Peder- söre	Pietar- saari	Uusikaar- lepyy
Typpi %	Keskiarvo	1,49	1,46	1,46	1,44	1,44	1,55	1,51	1,54
	Pienin	1,11	1,29	1,11	1,19	1,33	1,28	1,20	1,30
	Suurin	1,94	1,94	1,88	1,78	1,70	1,93	1,81	1,90
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Arseeni mg/kg	Keskiarvo	0,099	0,031	0,17	0,06	0,05	0,04	0,05	0,02
	Pienin	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	Suurin	1,20	0,046	1,20	0,06	0,06	0,09	0,09	0,05
	N	78	2	36	2	6	13	8	11
Boori mg/kg	Keskiarvo	12,6	9,5	13,9	12,3	14,3	8,5	16,2	11,5
	Pienin	<5	<5	6,2	<5	7,0	<5	8,4	<5
	Suurin	30,0	16,0	28,0	30,0	22,0	19,0	23,0	25,0
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Elohopea mg/kg	Keskiarvo	0,04		0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
	Pienin	<0,03		0,03	0,03	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	Suurin	0,26		0,26	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	N	76		36	2	6	13	8	11
Kadmium mg/kg	Keskiarvo	0,18	0,07	0,30	0,11	0,13	0,10	0,10	0,08
	Pienin	0,03	0,04	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03
	Suurin	2,40	0,11	2,40	0,31	0,19	0,18	0,22	0,15
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Kalium mg/kg	Keskiarvo	5681	5426	5875	5497	5704	5434	5755	5558
	Pienin	4200	4840	4740	4810	5080	4200	4300	4430
	Suurin	7580	5770	7580	6450	6600	6440	7430	6650
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Kalsium mg/kg	Keskiarvo	4014	3232	4264	3541	4260	3964	4099	3754
	Pienin	2040	2510	2710	2140	3240	2040	2320	2580
	Suurin	7200	4180	6580	5200	6330	5830	7200	4980
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Koboltti mg/kg	Keskiarvo	1,33	0,175	2,52	0,37	0,54	0,32	0,29	0,21
	Pienin	0,058	0,16	0,10	0,35	0,35	0,15	0,17	0,06
	Suurin	14,00	0,19	14,00	0,39	0,73	0,68	0,44	0,71
	N	78	2	36	2	6	13	8	11
Fosfori mg/kg	Keskiarvo	1444	1369	1466	1384	1481	1451	1467	1402
	Pienin	1150	1270	1190	1160	1300	1210	1150	1170
	Suurin	1920	1510	1920	1680	1700	1760	1750	1590
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Kromi mg/kg	Keskiarvo	0,16	0,12	0,23	0,14	0,11	0,13	0,13	0,10
	Pienin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Suurin	1,80	0,31	1,80	0,25	0,21	0,26	0,40	0,43
	N	231	10	91	23	16	37	23	31

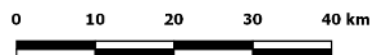
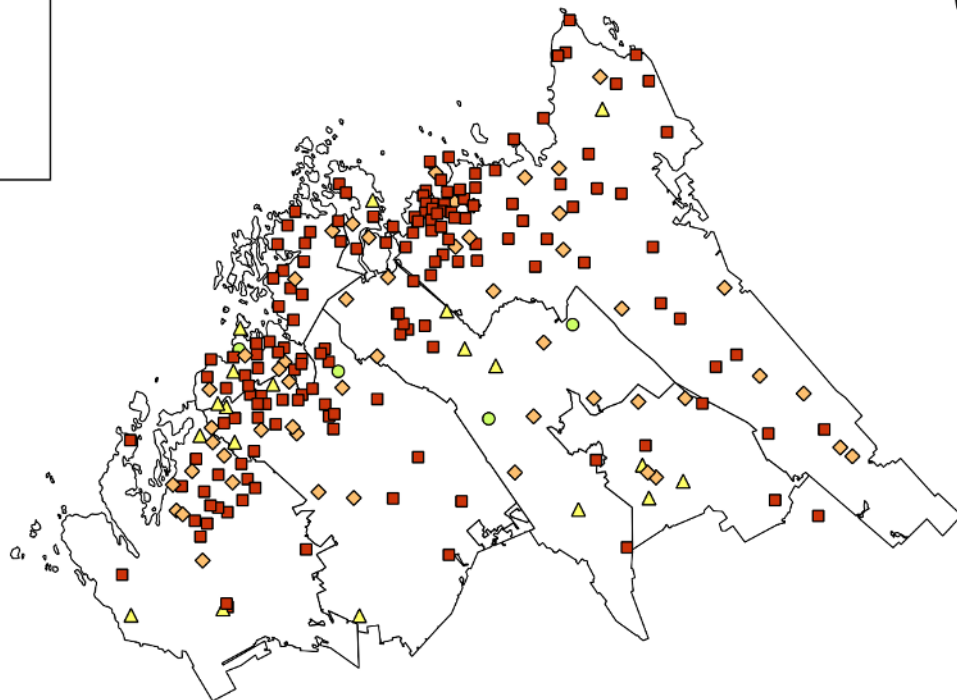
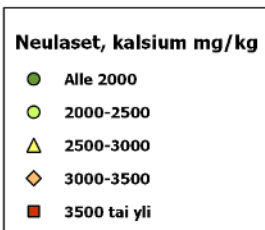
Alkuaine		Koko alue	Kausti-nen	Kokkola	Kruunu-pyy	Luo-to	Peder-söre	Pietar-saari	Uusikaar-lepyy
Kupari mg/kg	Keskiarvo	3,46	3,64	3,99	3,23	2,71	2,84	2,89	3,55
	Pienin	1,30	3,30	1,30	2,50	2,50	2,40	2,20	2,40
	Suurin	10,00	4,20	10,00	4,50	3,00	3,50	3,90	4,50
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Magnesium mg/kg	Keskiarvo	784	776	791	818	901	754	761	731
	Pienin	490	680	490	570	740	500	590	530
	Suurin	1140	900	1070	1140	1090	1010	890	970
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Mangaani mg/kg	Keskiarvo	437	499	475	460	480	425	322	366
	Pienin	100	310	180	170	300	130	180	100
	Suurin	1310	630	1310	760	720	1030	550	650
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Nikkeli mg/kg	Keskiarvo	0,50	0,40	0,71	0,39	0,36	0,35	0,39	0,32
	Pienin	0,12	0,20	0,12	0,19	0,24	0,15	0,19	0,15
	Suurin	3,30	0,58	3,30	0,86	0,54	0,58	0,80	0,89
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Rauta mg/kg	Keskiarvo	77,5	47,3	104,4	70,1	61,7	63,0	62,5	50,6
	Pienin	25,0	35,0	25,0	36,0	48,0	34,0	37,0	38,0
	Suurin	640,0	75,0	640,0	170,0	89,0	120,0	130,0	83,0
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Rikki mg/kg	Keskiarvo	985	983	1024	1004	892	871	1017	1019
	Pienin	730	890	820	810	790	730	840	860
	Suurin	1410	1220	1410	1330	1220	970	1250	1170
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Sinkki mg/kg	Keskiarvo	57,4	46	71	51	59	48	49	44
	Pienin	25	36	27	25	40	27	31	26
	Suurin	300	50	300	71	72	64	85	67
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Vanadiini mg/kg	Keskiarvo	0,083	<0,1	0,095	0,080	0,083	0,062	0,120	<0,01
	Pienin	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Suurin	0,61	<0,1	0,350	0,110	0,190	0,210	0,610	<0,01
	N	78	2	36	2	6	13	8	11
Litium mg/kg	Keskiarvo	0,19	0,19						
	Pienin	<0,2	<0,2						
	Suurin	0,28	0,28						
	N	2	2						



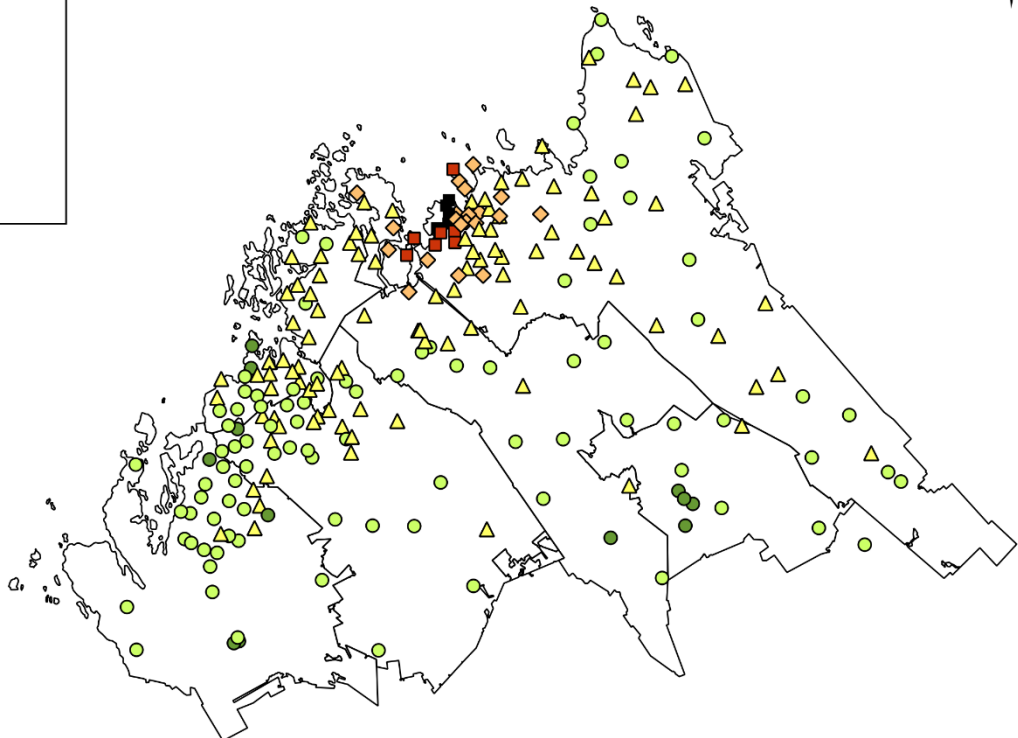
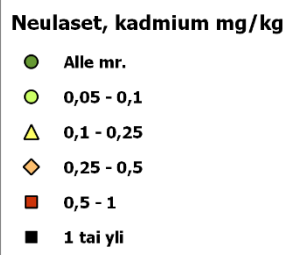
Kuva 4-12. Männyn neulasten toisen vuosikerran arseenipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



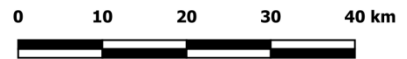
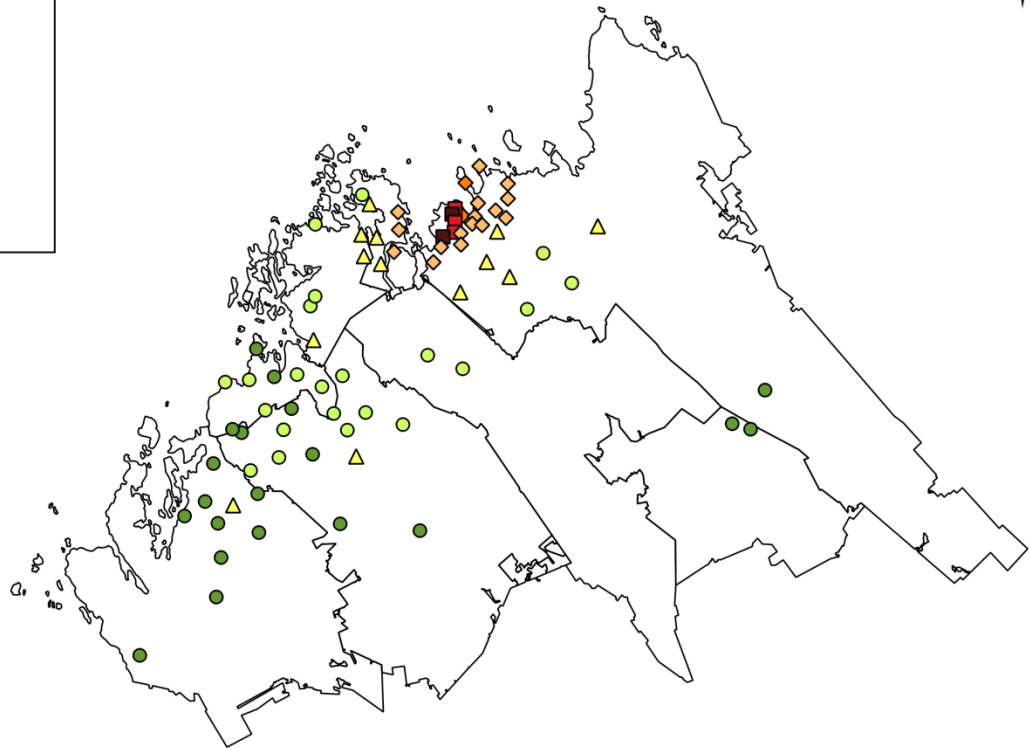
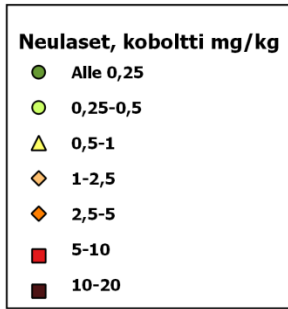
Kuva 4-13. Männyn neulasten toisen vuosikerran booripitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



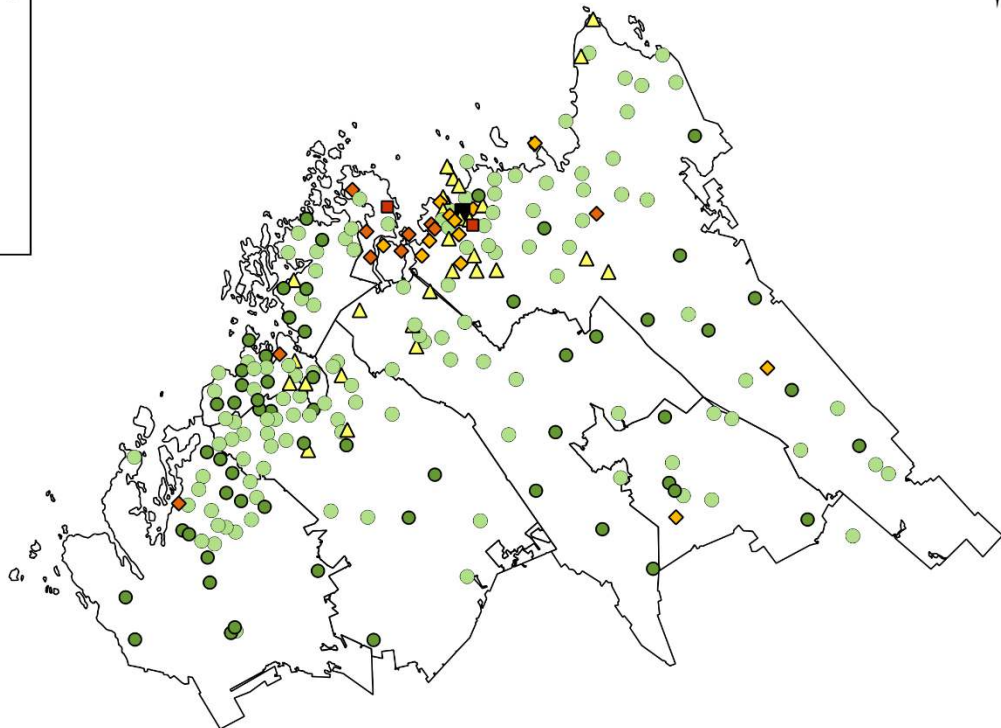
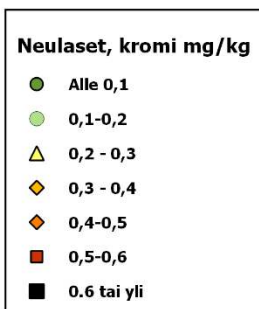
Kuva 4-14. Männyn neulasten toisen vuosikerran kalsiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-15. Männyn neulasten toisen vuosikerran kadmiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



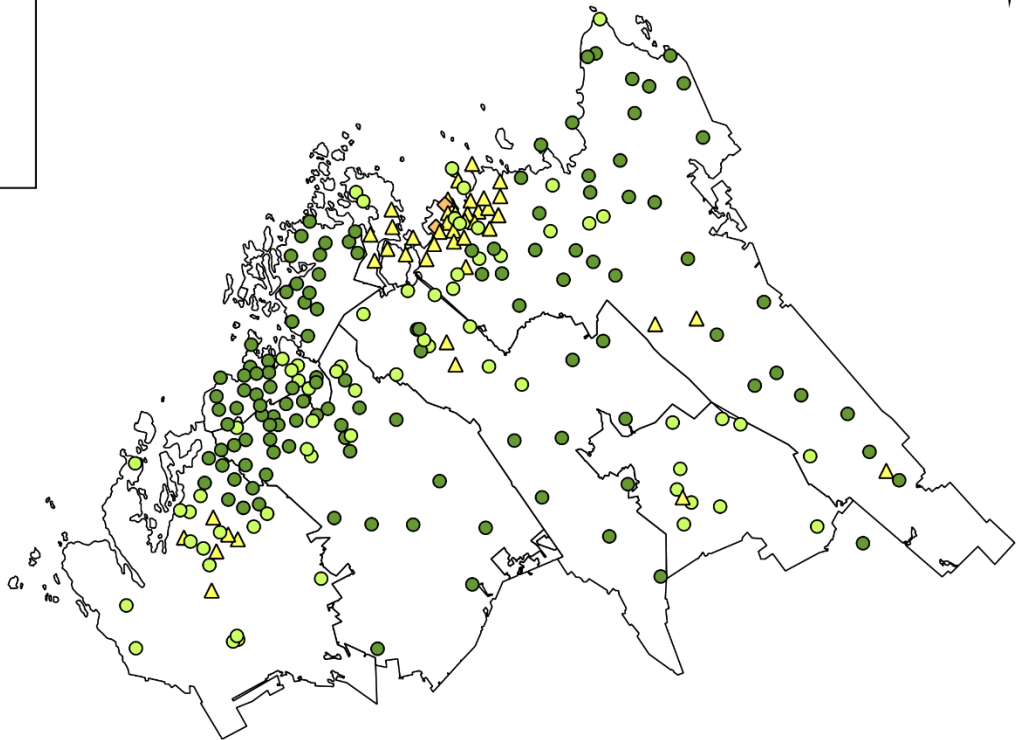
Kuva 4-16. Männyn neulasten toisen vuosikerran kobolttipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-17. Männyn neulasten toisen vuosikerran kromipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

Neulaset, kupari mg/kg

- Alle 3
- 3-4
- ▲ 4-8
- ◆ 8-12
- 12 tai yli



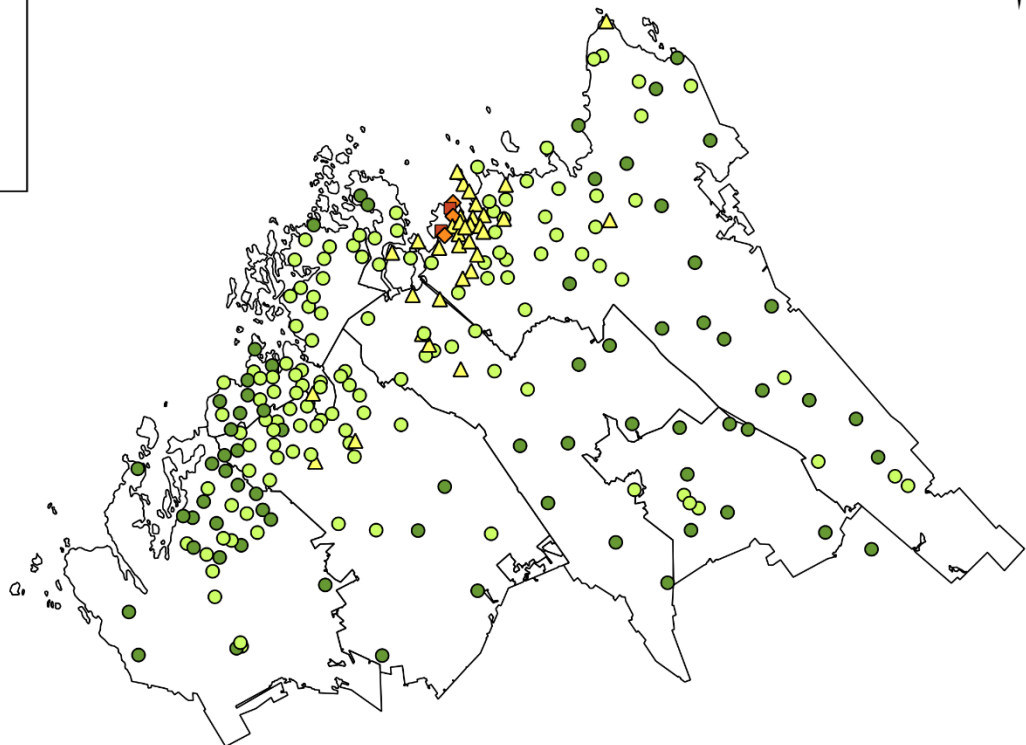
eurofins

0 10 20 30 40 km

Kuva 4-18. Männyn neulasten toisen vuosikerran kuparipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

Neulaset ,rauta mg/kg

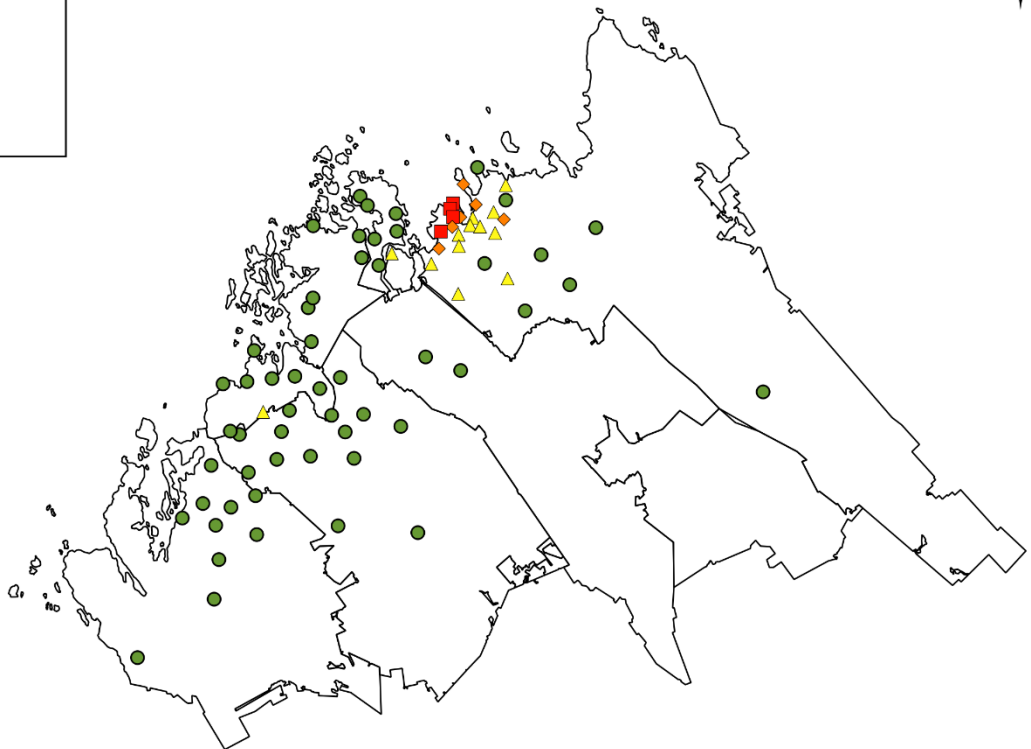
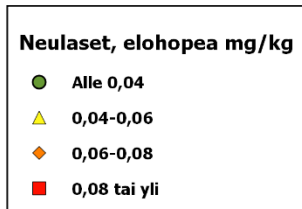
- Alle 50
- 50-100
- ▲ 100-200
- ◆ 200-400
- 400 tai yli



eurofins

0 10 20 30 40 km

Kuva 4-19. Männyn neulasten toisen vuosikerran rautapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

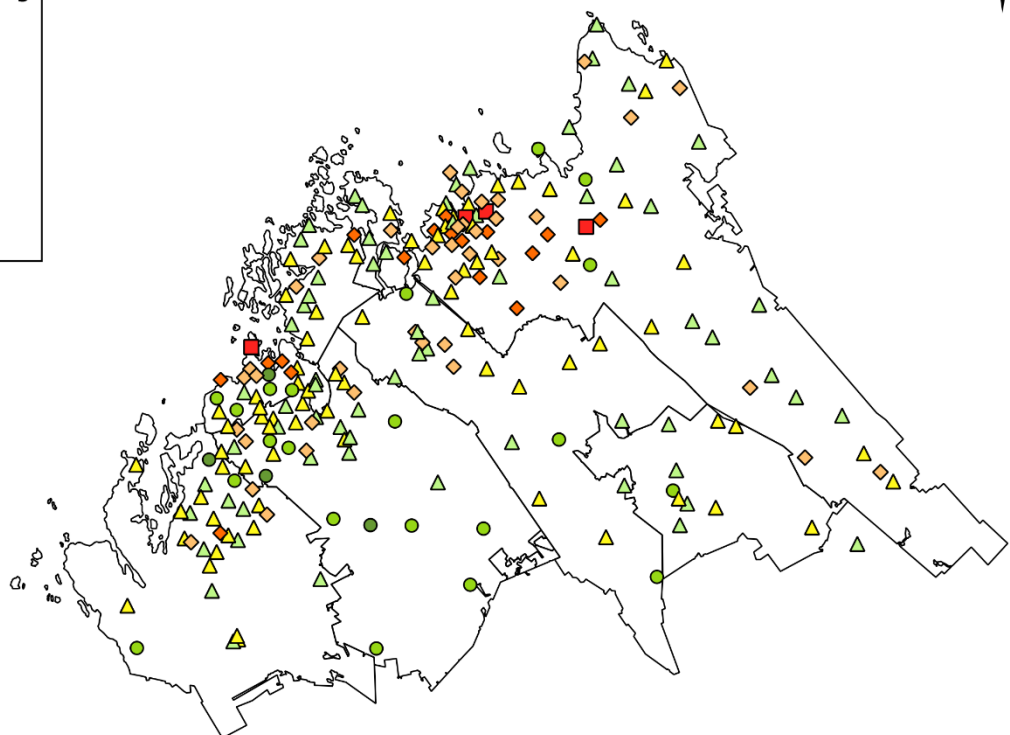


0 10 20 30 40 km



Kuva 4-20. Männyn neulasten toisen vuosikerran elohopeapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

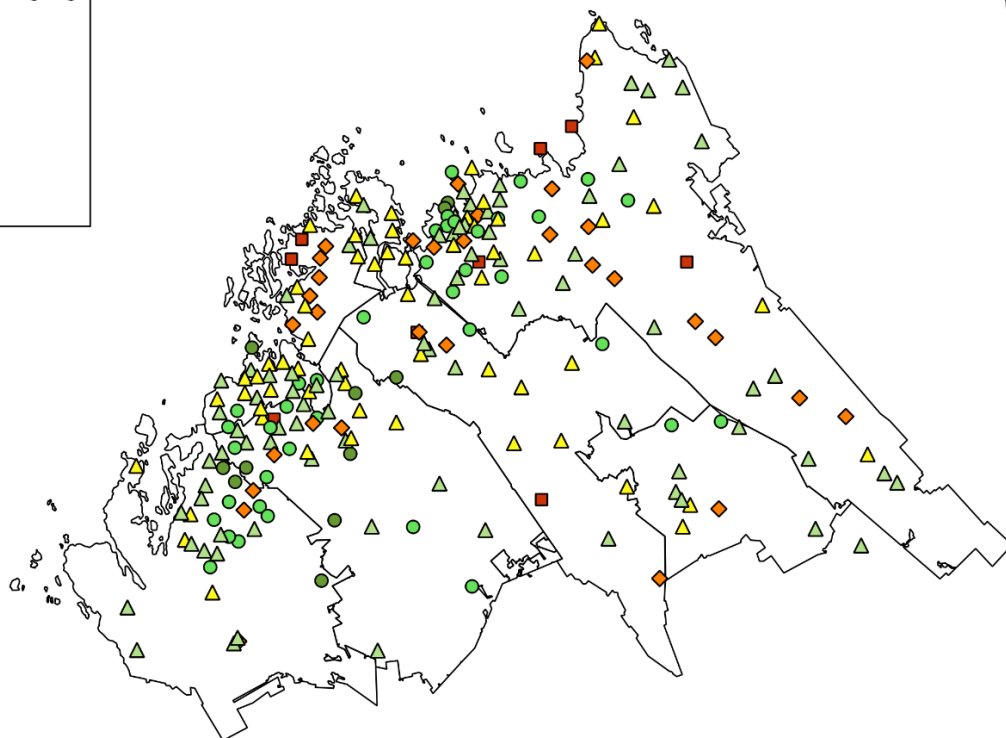
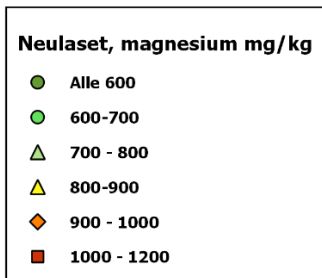
Neulaset, kalium mg/kg



0 10 20 30 40 km



Kuva 4-21. Männyn neulasten toisen vuosikerran kaliumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

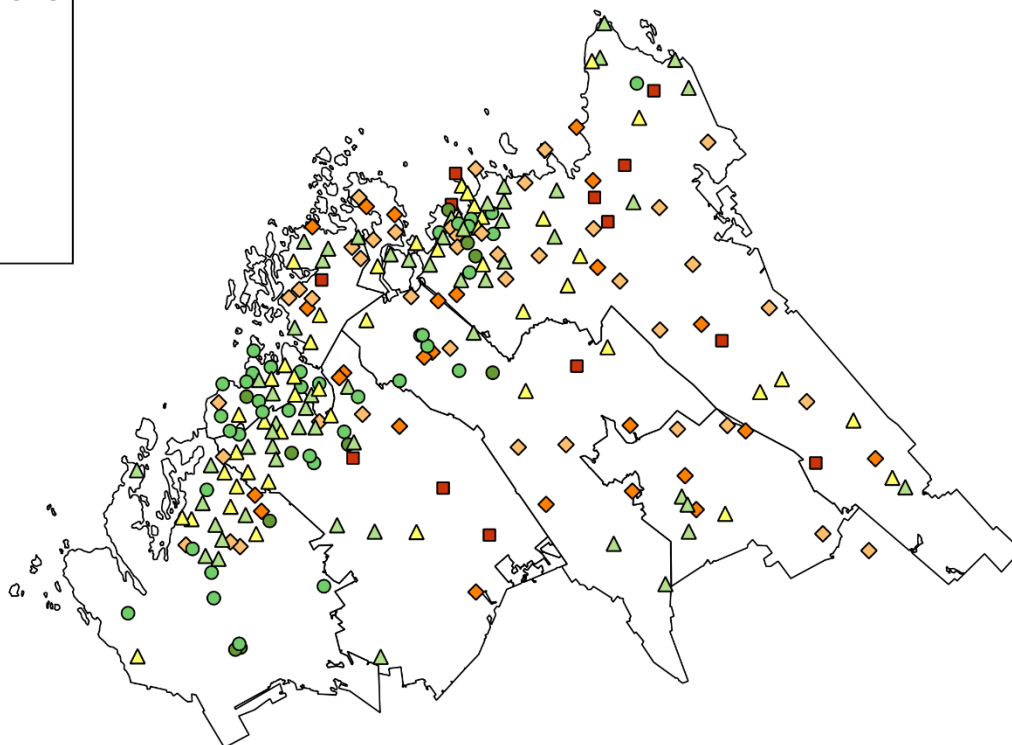
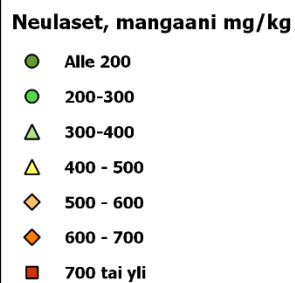


eurofins

0 10 20 30 40 km



Kuva 4-22. Männyn neulasten toisen vuosikerran magnesiumipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

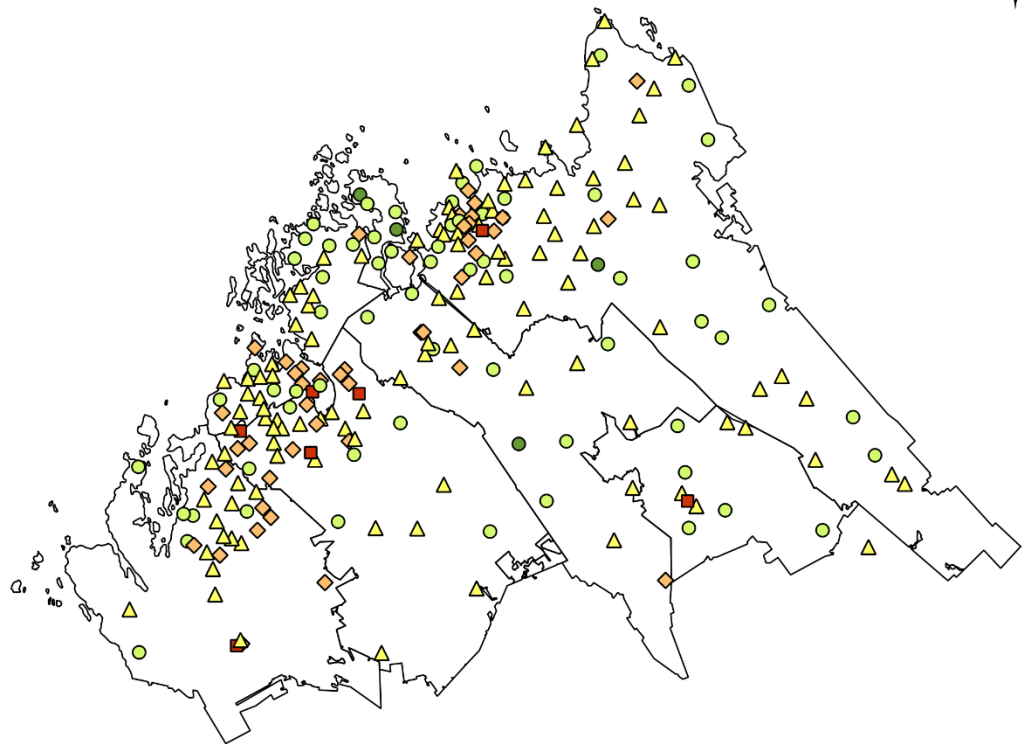
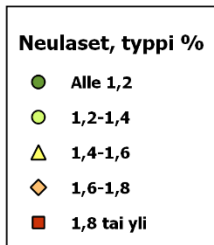


eurofins

0 10 20 30 40 km



Kuva 4-23. Männyn neulasten toisen vuosikerran mangaanipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

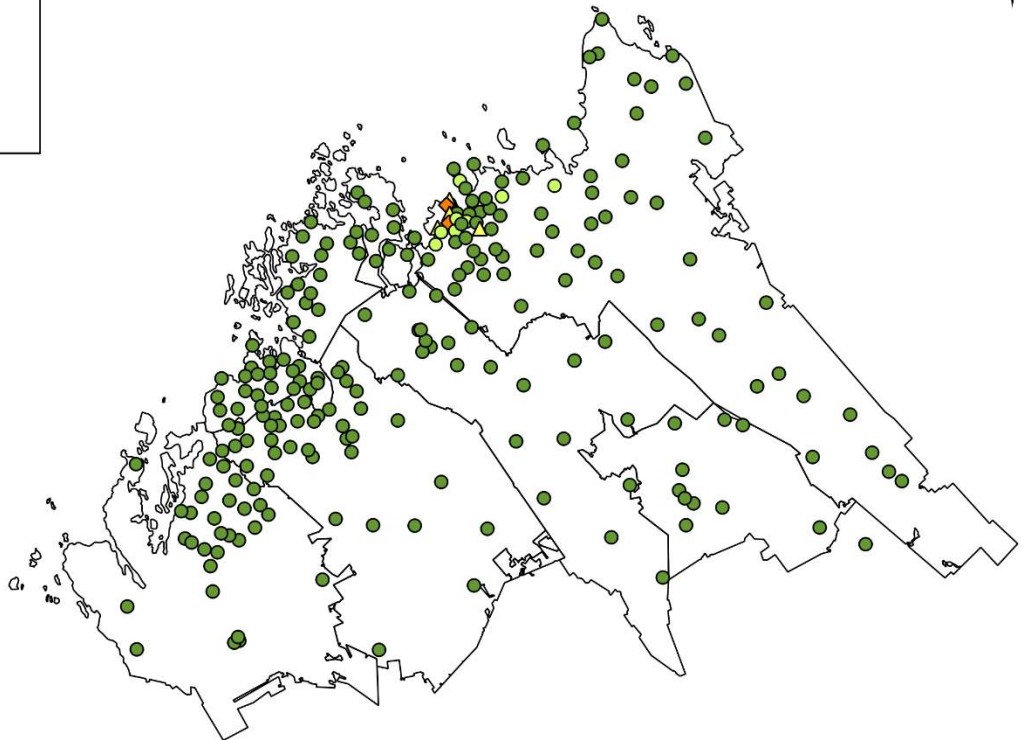


0 10 20 30 40 km



Kuva 4-24. Männyn neulasten 2. vuosikerran kokonaistyyppipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

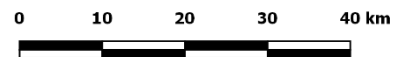
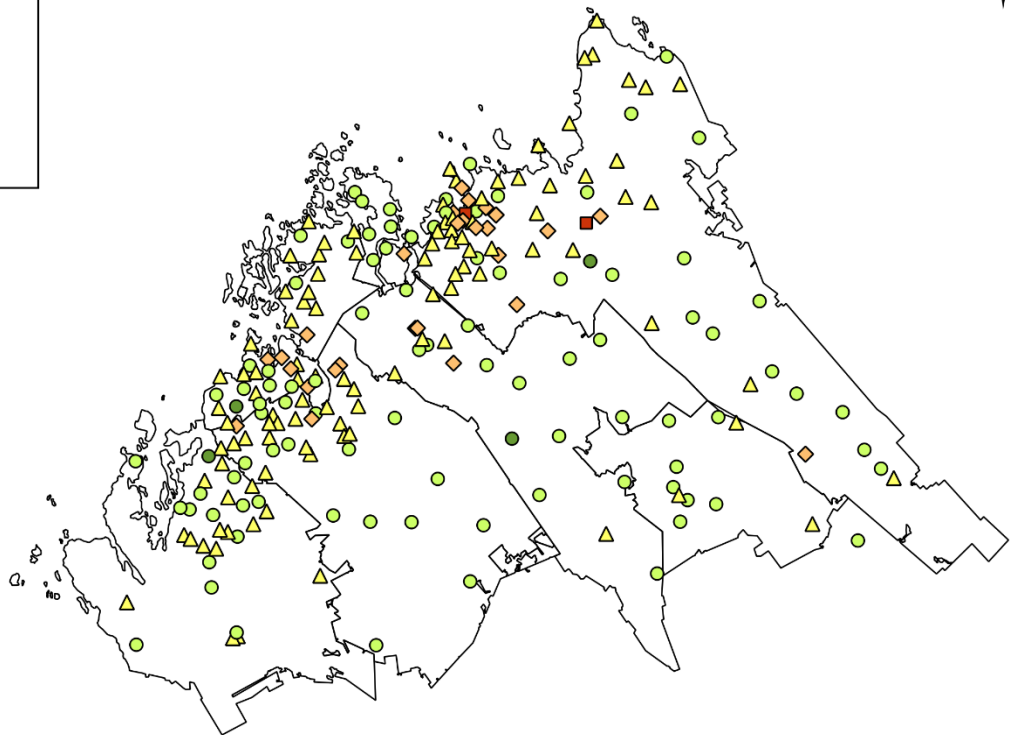
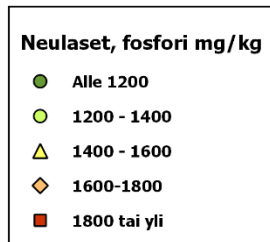
Neulaset, nikkeli mg/kg



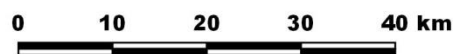
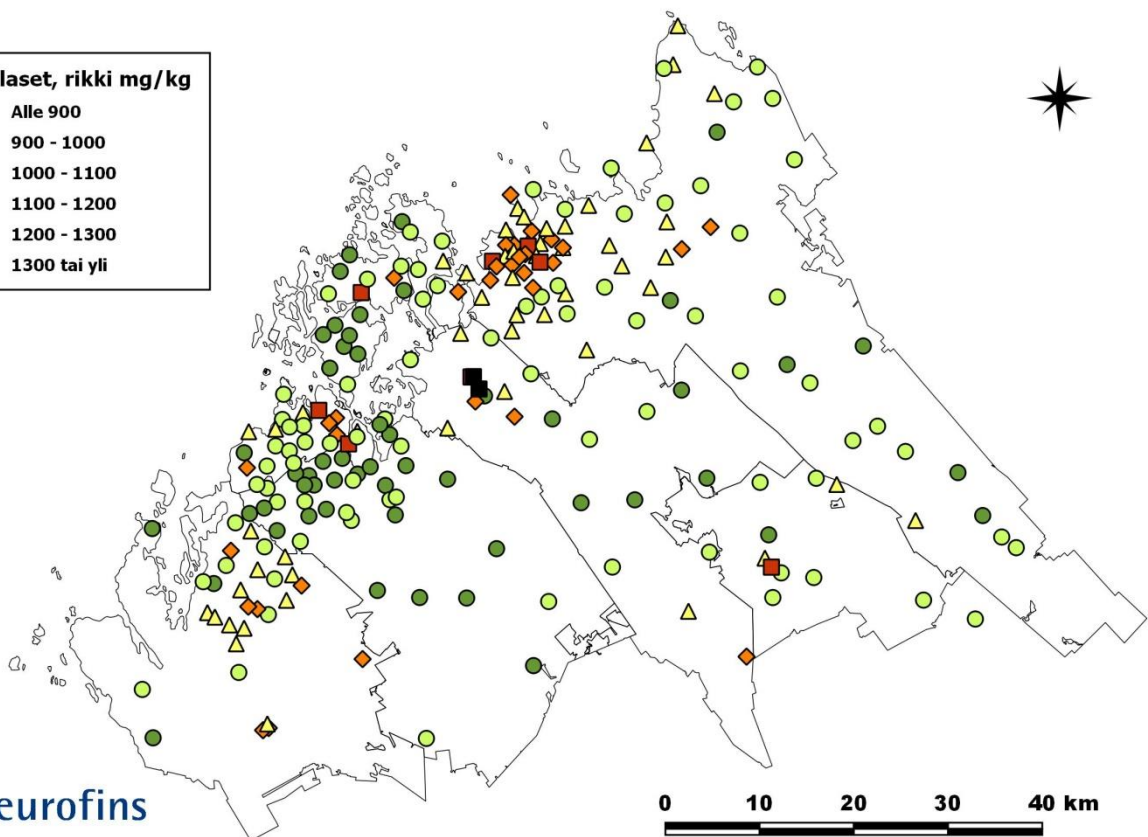
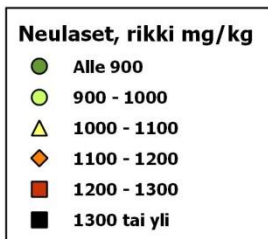
0 10 20 30 40 km



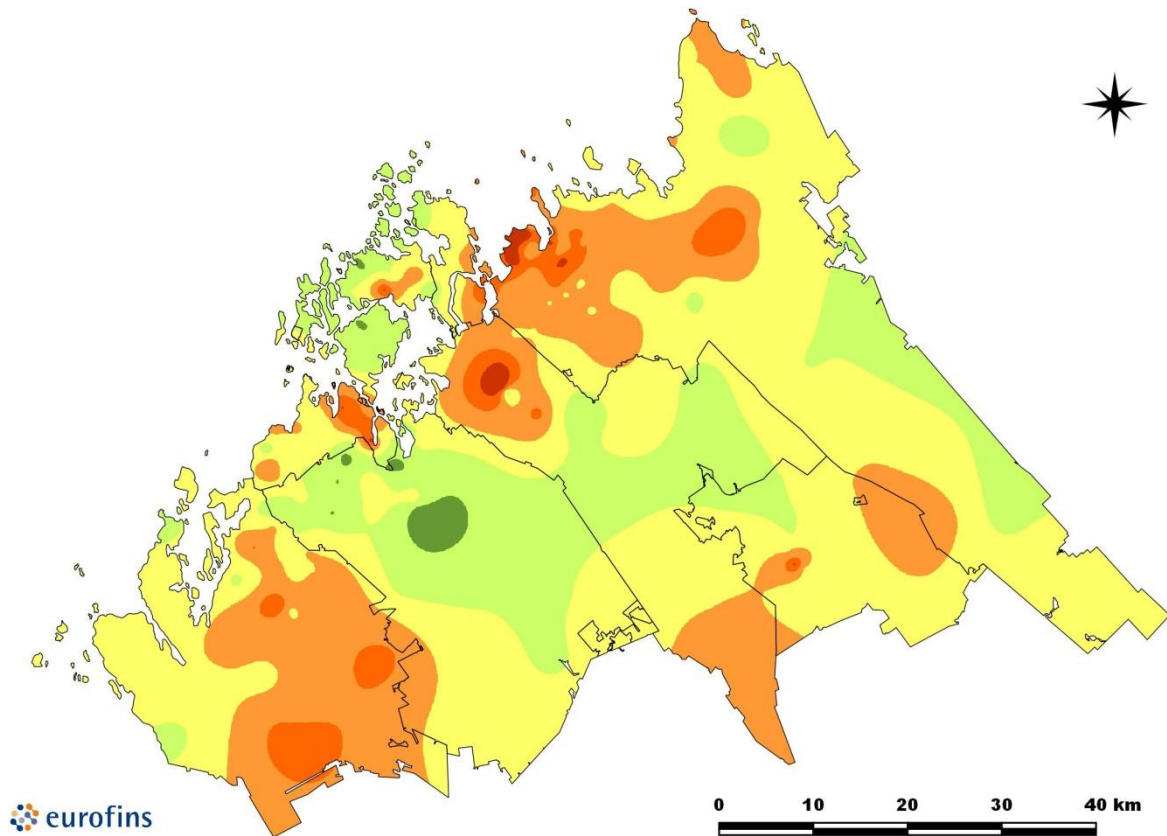
Kuva 4-25. Männyn neulasten toisen vuosikerran nikkelipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



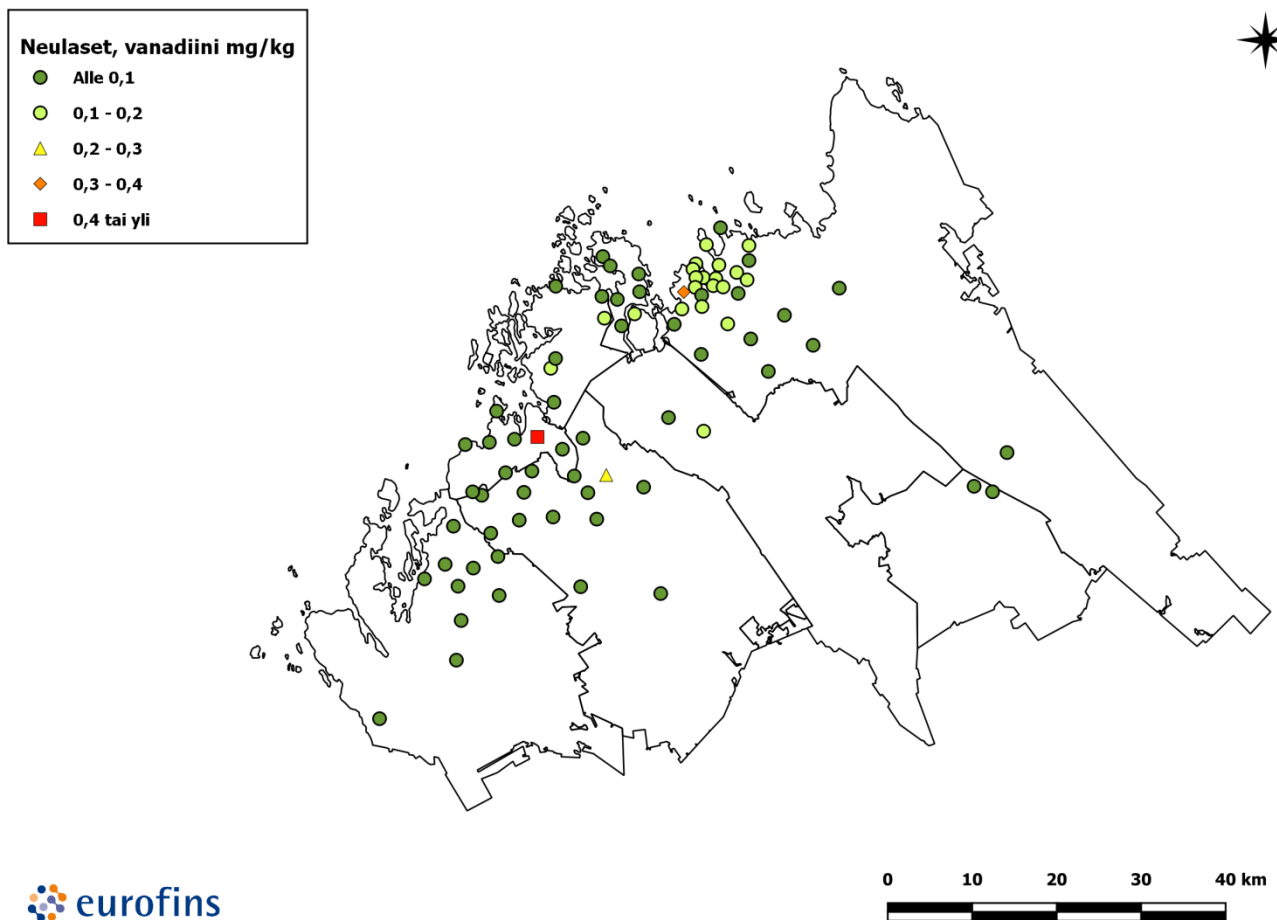
Kuva 4-26. Männyn neulasten 2. vuosikerran kokonaisfosforipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



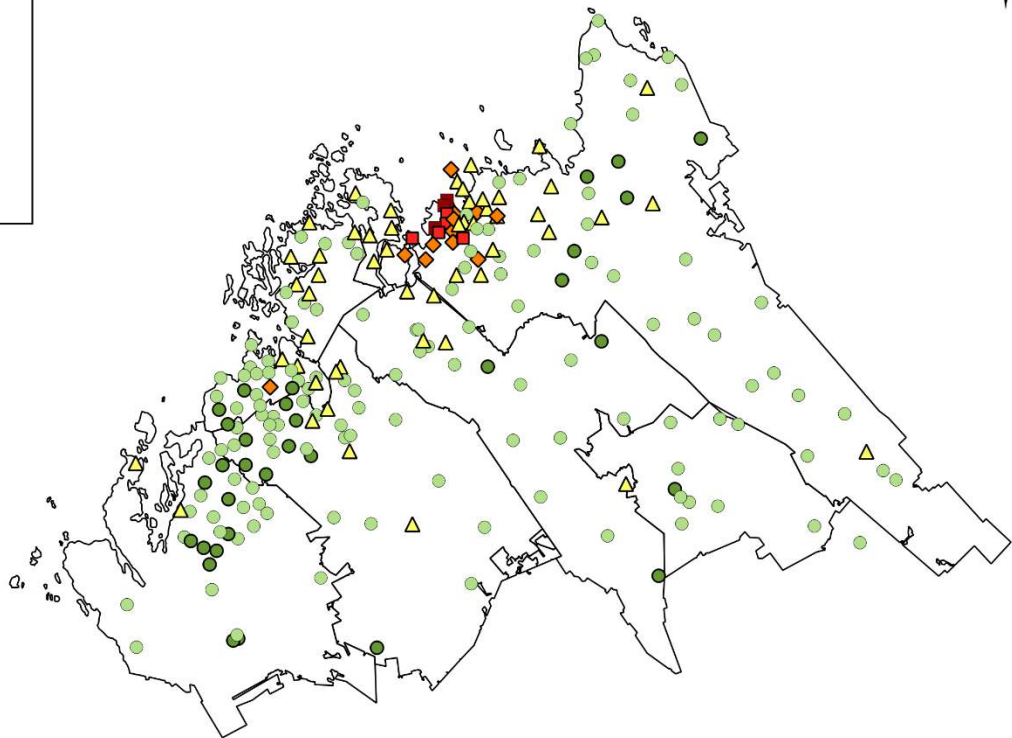
Kuva 4-27. Männyn neulasten toisen vuosikerran rikkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-28. Männyn neulasten toisen vuosikerran rikkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-29. Männyn neulasten toisen vuosikerran vanadiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



eurofins

0 10 20 30 40 km

Kuva 4-30. Männyn neulasten toisen vuosikerran sinkkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

4.3 Sammalen alkuainepitoisuudet

Sammalten alkuainepitoisuuksista laskettiin tunnuslukuja sekä koko Kokkolan-Pietarsaaren tutkimusalueella että kunnittain (Taulukko 4-3). Kuntien suurimmat keskiarvot ja suurimmat pitoisuudet on lihavoitu taulukkoon. Tutkimusalojen alkuainepitoisuudet on esitetty kartoilla (Kuva 4-31 – Kuva 4-50).

Sammalten alkuainepitoisuuksissa osalla tutkituista alkuaineista havaittiin selvä Kokkola-keskeinen gradientti, jossa korkeimmat pitoisuudet esiintyivät Ykspihlajan läheisillä tutkimusaloilla. Muualla tutkimusalueella pitoisuudet olivat tätä aluetta selvästi alhaisempia. Gradientti havaittiin **arsenilla**, **kadmiumilla**, **koboltilla**, **lyijyllä** ja **sinkillä**. Myös **kuparin** kohonneita pitoisuuksia havaittiin Kokkolan Ykspihlajan alueella ja Kälviällä, mutta korkein pitoisuus esiintyi Kruunupyssä. Sinkillä yksittäisiä kohonneita pitoisuuksia esiintyi lisäksi Kaustisilla ja Kruunupyyn länsiosassa.

Alumiinin, **raudan**, **elohopean** ja **nikkelin** kohonneita pitoisuuksia havaittiin Kokkolan keskustan alojen lisäksi myös muilla alueilla teollisuusalueiden läheisyydessä Kokkolan Kälviällä ja Lohtajan ympäristössä, Pietarsaarella, Pedersöressä ja Kruunupyssä. Alumiinin kohonneita pitoisuuksia esiintyi lisäksi Kokkolassa Läntän läheisyydessä sekä Kaustisilla. Sammalen **rikkipitoisuudet** olivat korkeimmat Kokkolan keskustan läheisyydessä, Kaustisilla Fortumin-Findestin alueella, Pietarsaarella sekä Kruunupyyn teollisuusalueella. **Vanadiinin** kohonneet pitoisuudet sijoituivat Kokkolan ja Pietarsaaren keskusta-alueiden läheisyyteen, minkä lisäksi korkeampia pitoisuuksia esiintyi mm. Lohtajalla, Kruunupyyn ja Luodon teollisuusalueilla, Pedersöressä ja Uudenkaarlepyyn Jepualla. Korkeimmat **kromipitoisuudet** esiintyivät Kaustisilla, Kokkolan Kälviällä sekä Kokkolan Ykspihlajan läheisyydessä. Yksittäisiä kohonneita kromipitoisuuksia havaittiin myös Pietarsaarella, Pedersören pohjoisosassa, Kruunupyssä sekä Kokkolan pohjoisosassa.

Boorin korkeimmat pitoisuudet esiintyivät Pedersöressä ja Kokkolassa. Booripitoisuuksia ei ollut mahdollista tarkastella koko alueen osalta, sillä osassa näytteistä määrittämissä raja oli 1 mg/kg, mutta osassa näytteistä määrittämissä raja oli erehdyksestä johtuen 5 mg/kg (Kuva 4-33). **Kaliumin**, **kalsiumin** ja **fosforin** pitoisuudet olivat pitkälti muuta aluetta korkeampia rannikon tuntumassa. **Magnesiumin** korkeimmat pitoisuudet sijoituivat Kruunupyhyyn, Kaustisille, Pedersören pohjoisosaan ja Kokkolaan Lohtajan läheisyyteen. Lisäksi kohonneita magnesiumipitoisuuksia esiintyi useilla Kokkolan keskusta-alueella ja Pietarsaaren-Pedersören

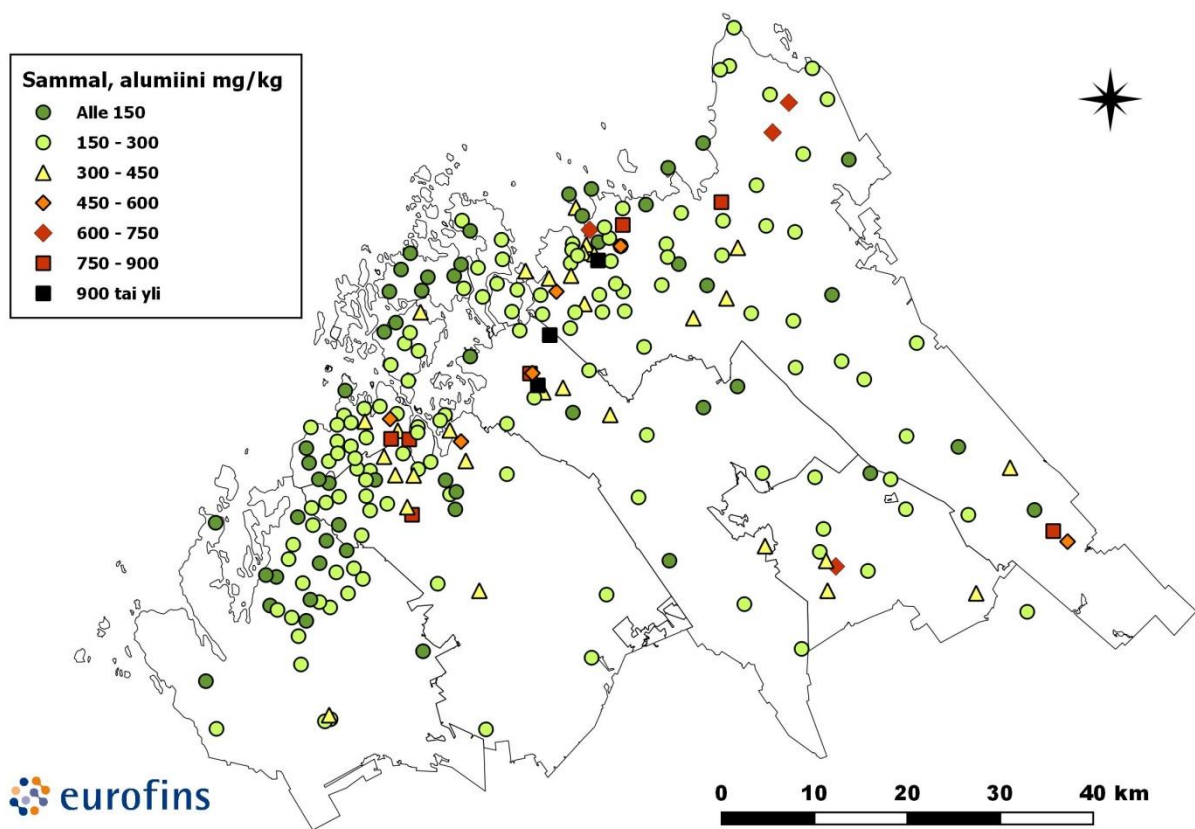
alueelle sijoittuvilla tutkimusaloilla. **Mangaanin** korkeimpia pitoisuuksia havaittiin eri puolella aluetta, eikä selvää alueellisuutta ollut havaittavissa. **Natriumin** korkeimmat pitoisuudet esiintyivät Pietarsaari-Pedersöre -alueella.

Litiumin pitoisuuksia määritettiin kahdelta alalta Kaustisilta. Nämä alat sijoituivat tulevien litiumkaivosten (Keliber Oy) läheisyyteen. Sammalten litiumpitoisuus näillä aloilla oli alle määrittäjärajan 0,2 mg/kg (alat K239 ja K240) (ks. alojen sijainti Kuva 4-51). Litiumpitoisuudet määritettiin humusten tavanomaisesta näytteenottoajankohdasta poikkeavaan ajankohtaan (25.11.2019) otetuista näytteistä.

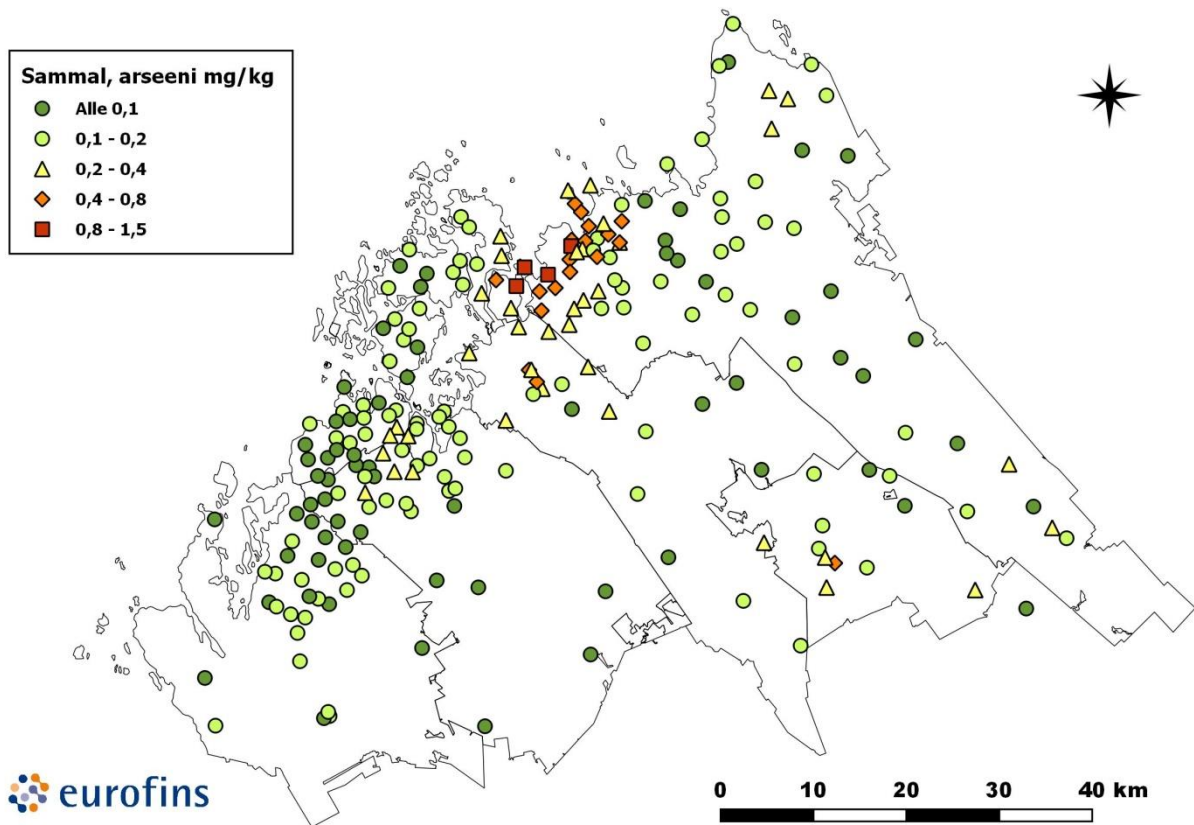
Taulukko 4-3. Sammalen alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot koko alueella sekä kunnittain (N = 227, poikkeuksena boori jossa N = 120 ja litium jossa N = 2, ks. teksti). Suurimmat keskiarvot ja suurimmat kunnittaiset arvot on lihavoitu.

Alkuaine		Koko alue N = 227	Kausti- nen 11	Kokkola 88	Kruunu- pyy 22	Luoto 16	Peder- söre 35	Pietar- saari 24	Uusikaarle- pyy 31
Al mg/kg	keskiarvo	250	271	271	325	171	255	259	157
	pienin	73	120	73	130	88	120	99	84
	suurin	1160	600	1160	1000	420	840	810	320
As mg/kg	keskiarvo	0,20	0,20	0,29	0,25	0,11	0,12	0,13	0,10
	pienin	0,04	0,10	0,04	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
	suurin	1,5	0,42	1,5	0,55	0,15	0,27	0,37	0,17
B mg/kg	keskiarvo	2,13	1,5	1,90	6		2,38	2,74	1,55
	pienin	0,51	1,5	0,9	6		0,98	0,98	0,51
	suurin	8,8	1,5	8,2	6		8,8	6,0	3,5
	N	120	1	56	1	0	29	18	15
Ca mg/kg	keskiarvo	2963	3322	3033	3273	2934	2953	3130	2479
	pienin	1590	2570	1800	2560	2320	2190	2310	1590
	suurin	5350	4750	5350	4260	3450	4670	4140	3780
Cd mg/kg	keskiarvo	0,23	0,13	0,37	0,27	0,16	0,14	0,14	0,10
	pienin	0,06	0,071	0,06	0,1	0,085	0,067	0,072	0,064
	suurin	1,6	0,22	1,6	0,53	0,25	0,26	0,24	0,18
Co mg/kg	keskiarvo	2,86	0,84	5,47	3,58	1,82	1,11	1,09	0,46
	pienin	0,19	0,44	0,19	0,49	0,93	0,41	0,5	0,31
	suurin	26	1,8	26	7,6	3,8	3,9	2,7	0,78
Cr mg/kg	keskiarvo	0,76	1,46	0,88	1,11	0,56	0,63	0,75	0,40
	pienin	<0,4	0,33	<0,4	<0,4	0,31	<0,4	<0,4	<0,4
	suurin	6,4	6,4	4,3	2,9	1	2,8	2,9	0,86
Cu mg/kg	keskiarvo	5,71	4,42	6,47	7,06	5,62	5,34	5,53	4,15
	pienin	2,7	3,6	2,8	3,6	4,6	3,2	4	2,7
	suurin	16	5,7	14	16	6,7	7,8	11	8
Fe mg/kg	keskiarvo	336	337	396	563	224	306	325	196
	pienin	77	160	77	130	110	99	89	92
	suurin	1840	860	1840	1690	700	1080	1220	440
Hg mg/kg	keskiarvo	0,061	0,043	0,084	0,083	0,043	0,044	0,046	0,035
	pienin	<0,03	<0,03	<0,03	0,041	0,034	<0,03	0,032	<0,03
	suurin	0,28	0,073	0,28	0,16	0,057	0,092	0,078	0,08
K mg/kg	keskiarvo	6814	6219	6904	7317	7121	7187	7027	6254
	pienin	3560	3920	4060	4400	4830	5080	4290	4260
	suurin	11200	7750	11200	10700	9680	10200	9930	10800
Mg mg/kg	keskiarvo	1188	1308	1150	1363	1241	1299	1279	1041
	pienin	630	790	640	840	910	840	860	670
	suurin	2620	2170	2150	2260	1580	2620	1700	1560
Mn mg/kg	keskiarvo	375	423	387	451	328	356	351	342
	pienin	140	280	140	240	200	170	180	140
	suurin	770	700	770	730	470	690	540	610
Na mg/kg	keskiarvo	67	58	56	82	36	106	98	56
	pienin	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40
	suurin	190	75	130	190	72	190	180	140
Ni mg/kg	keskiarvo	1,12	1,14	1,45	1,43	0,84	0,88	1,01	0,66
	pienin	0,31	0,82	0,4	0,72	0,49	0,42	0,42	0,31
	suurin	5	1,6	5	3,2	1,7	2,1	3	1,8
P mg/kg	keskiarvo	1335	1178	1362	1474	1388	1394	1418	1174
	pienin	690	900	800	1000	1130	810	860	690
	suurin	2560	1820	2560	2480	1900	2200	2280	1890
Pb mg/kg	keskiarvo	2,33	1,35	3,63	2,57	1,43	1,49	1,56	1,19
	pienin	0,57	0,71	0,57	0,81	0,83	0,68	0,87	0,58

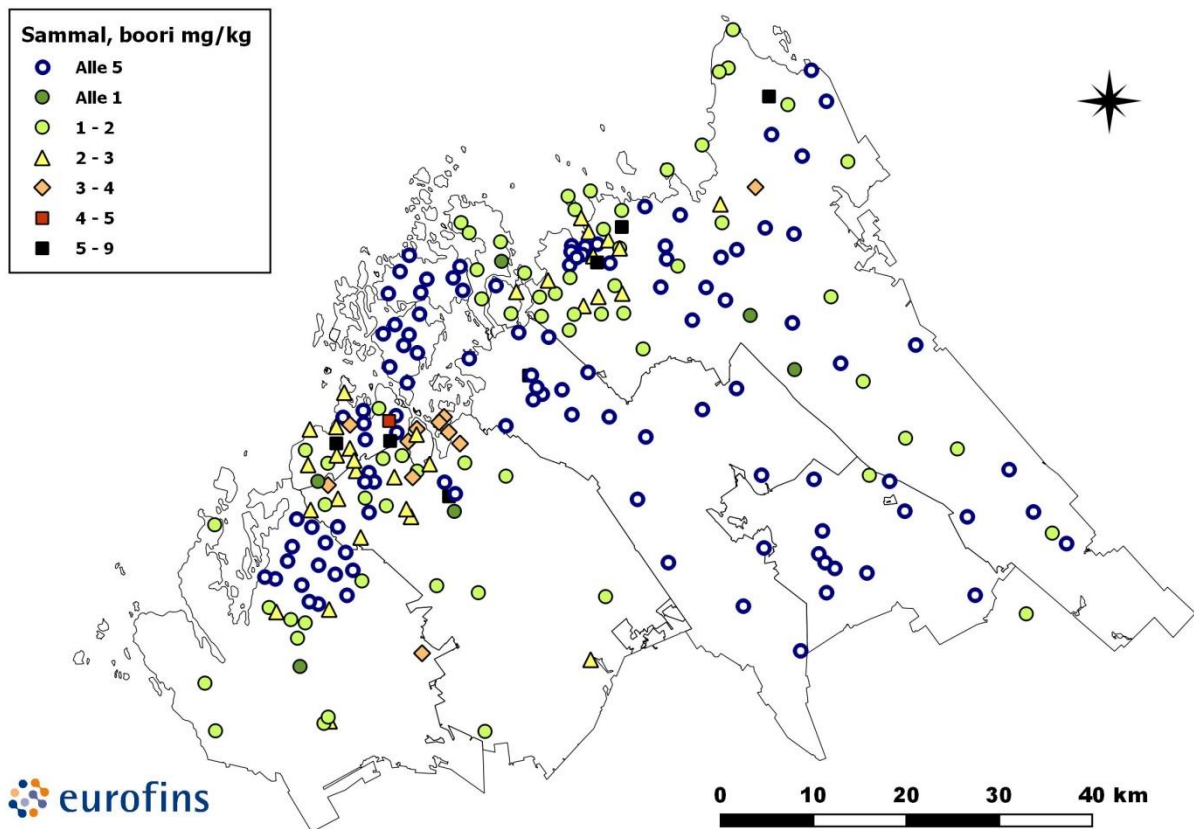
Alkuaine		Koko alue 227	Kausti- nen 11	Kokkola 88	Kruunu- pyy 22	Luoto 16	Peder- söre 35	Pietar- saari 24	Uusikaarle- pyy 31
	N =								
	suurin	16	2,4	16	5,3	2	2,9	3,9	2
S mg/kg	keskiarvo	869	928	885	959	772	901	991	764
	pienin	420	660	420	660	580	550	730	490
	suurin	1650	1630	1650	1440	1020	1280	1510	1190
V mg/kg	keskiarvo	0,83	0,89	0,88	1,16	0,71	0,74	0,99	0,60
	pienin	0,24	0,38	0,26	0,36	0,35	0,25	0,27	0,24
	suurin	5,2	2	4,5	3	2,3	2,6	5,2	2,9
Zn mg/kg	keskiarvo	80	57	121	97	57	52	54	39
	pienin	24	37	24	46	41	35	38	27
	suurin	540	110	540	180	92	76	77	63
Li mg/kg	keskiarvo		<0,2						
	pienin		<0,2						
	suurin		<0,2						
	N		2	0	0	0	0	0	0



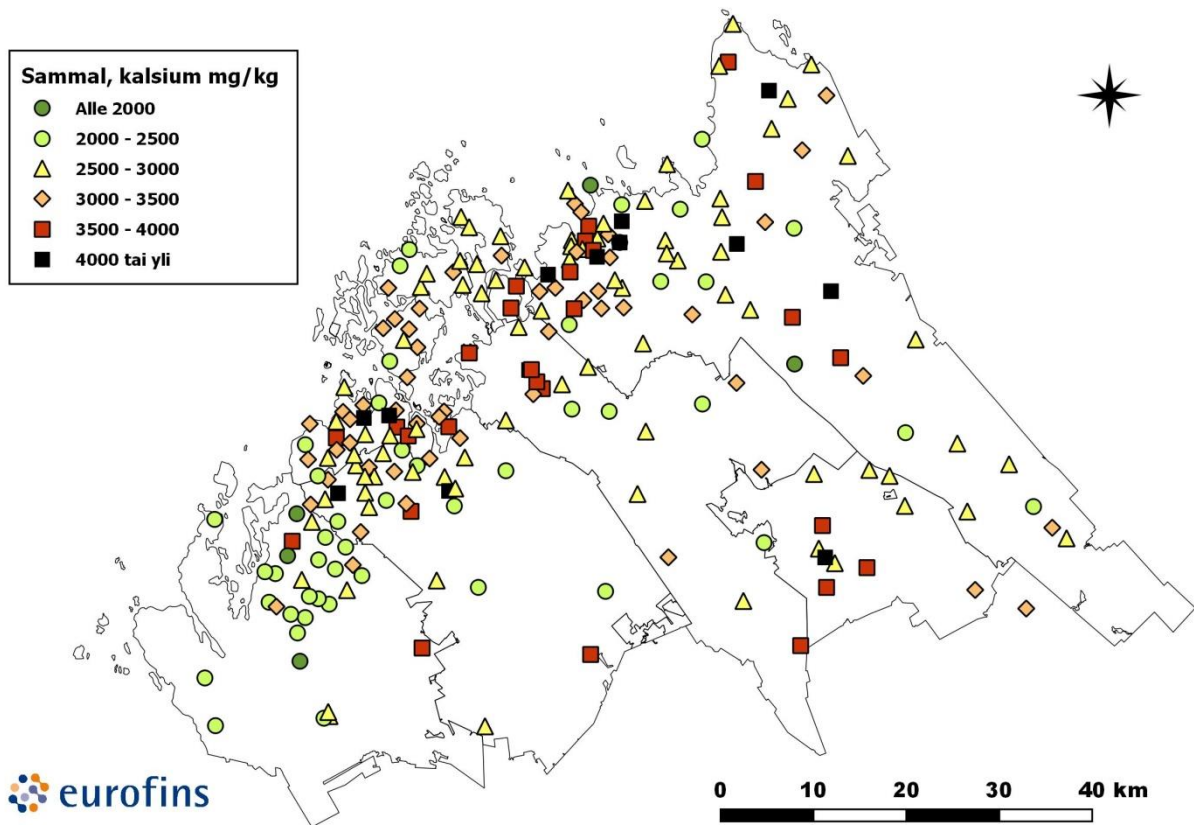
Kuva 4-31. Sammalen alumiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



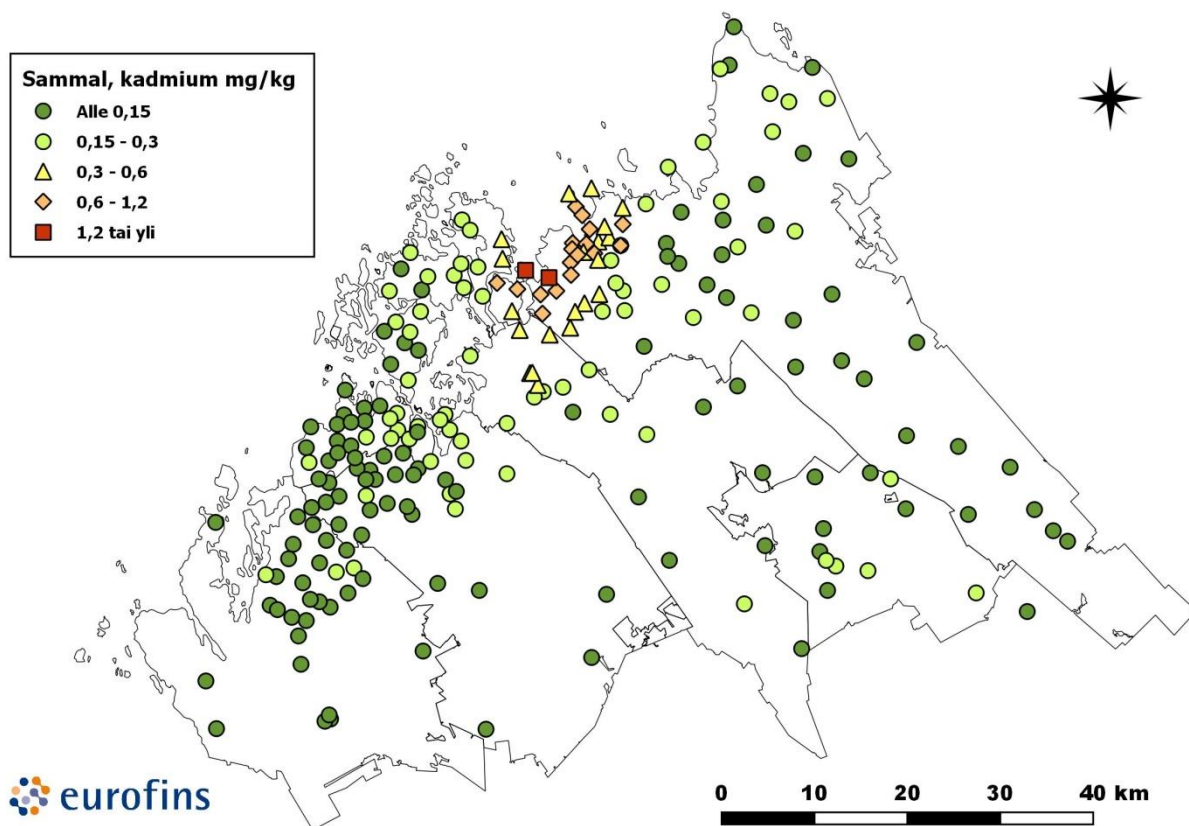
Kuva 4-32. Sammalen arseenipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



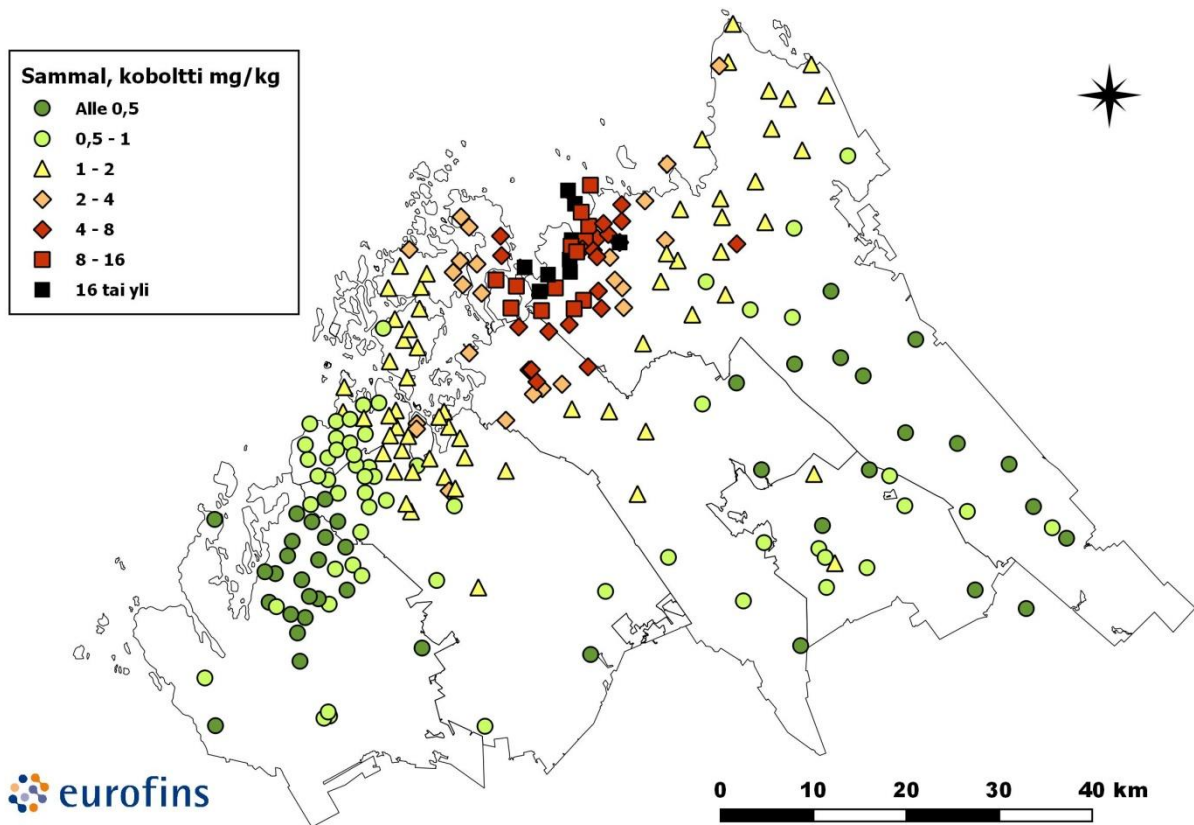
Kuva 4-33. Sammalen booripitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



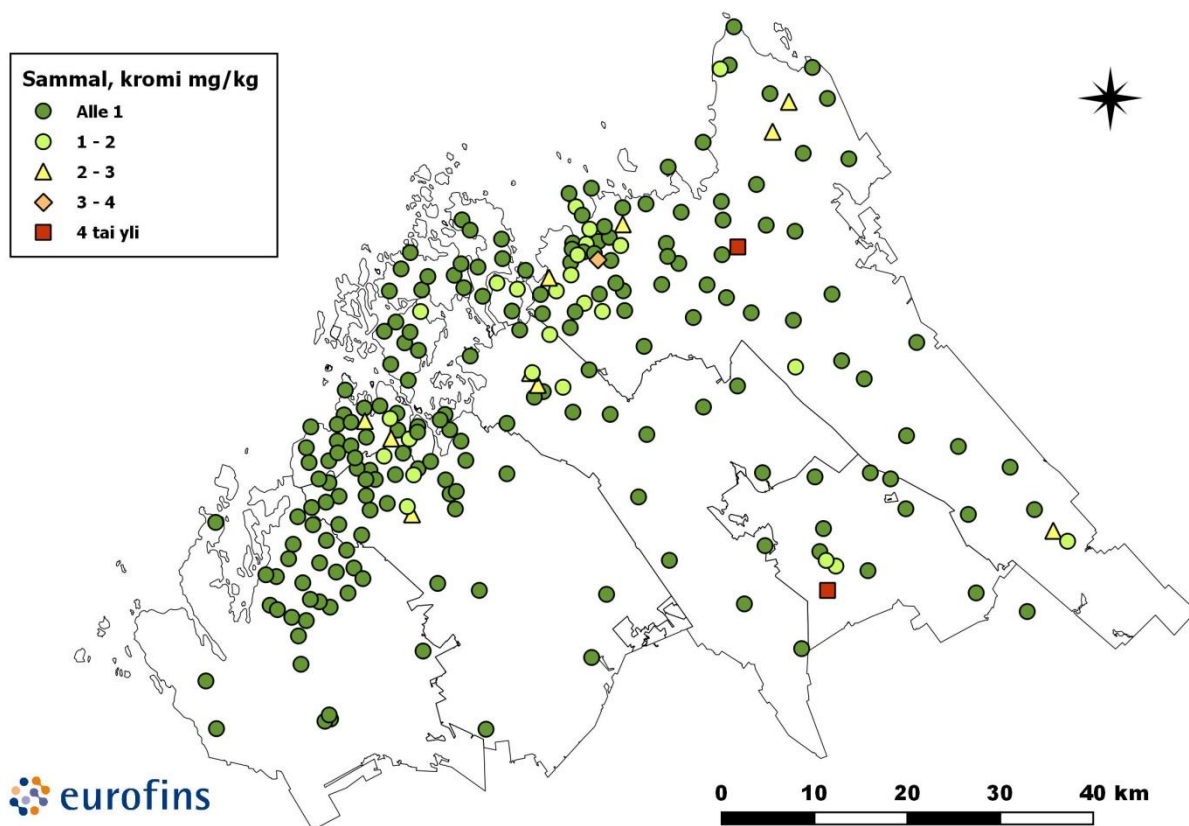
Kuva 4-34. Sammalen kalsiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



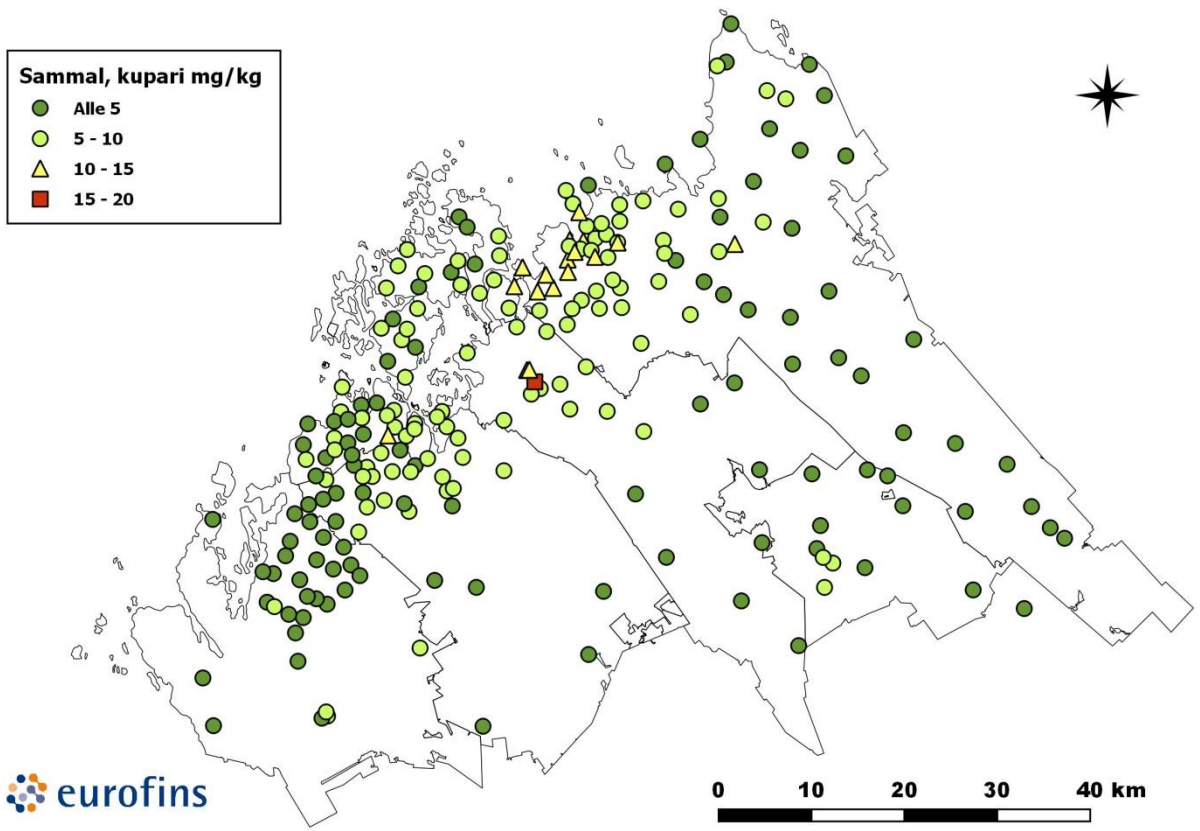
Kuva 4-35. Sammalen kadmiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



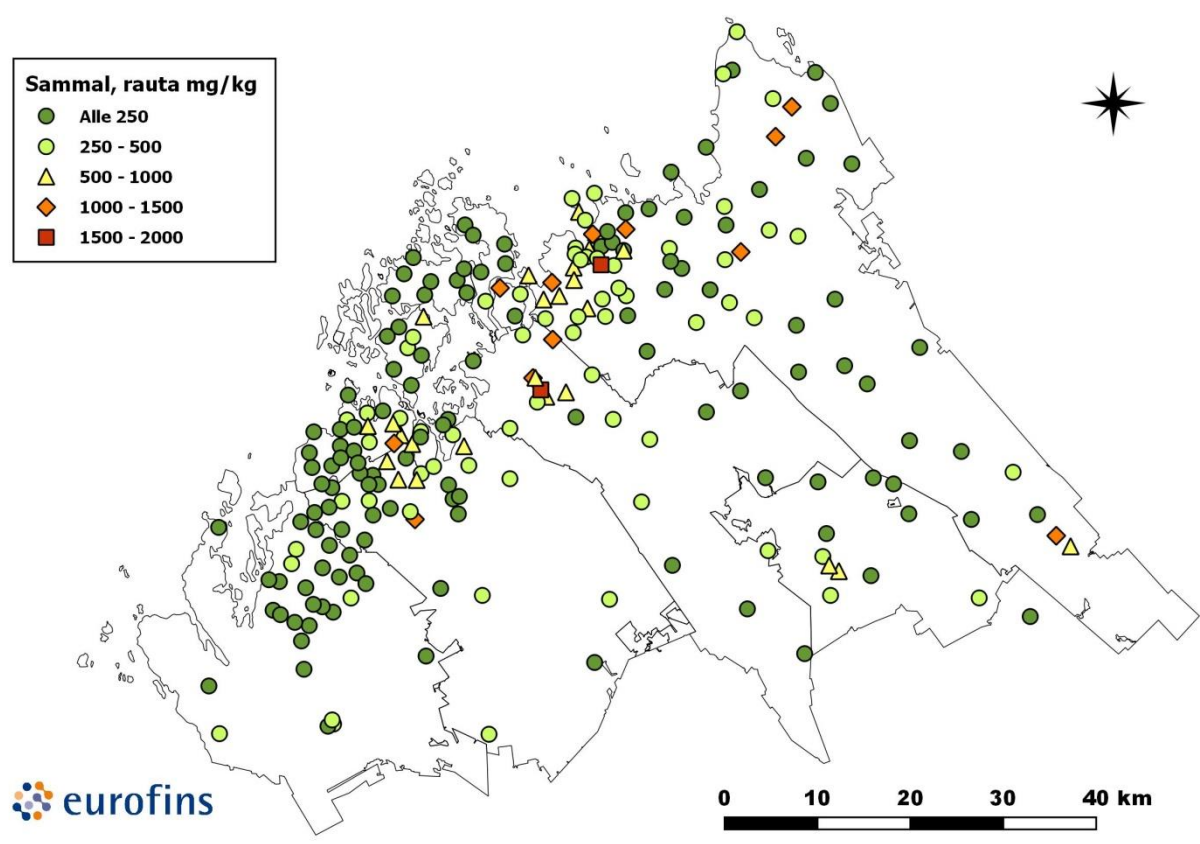
Kuva 4-36. Sammalen kobolttipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



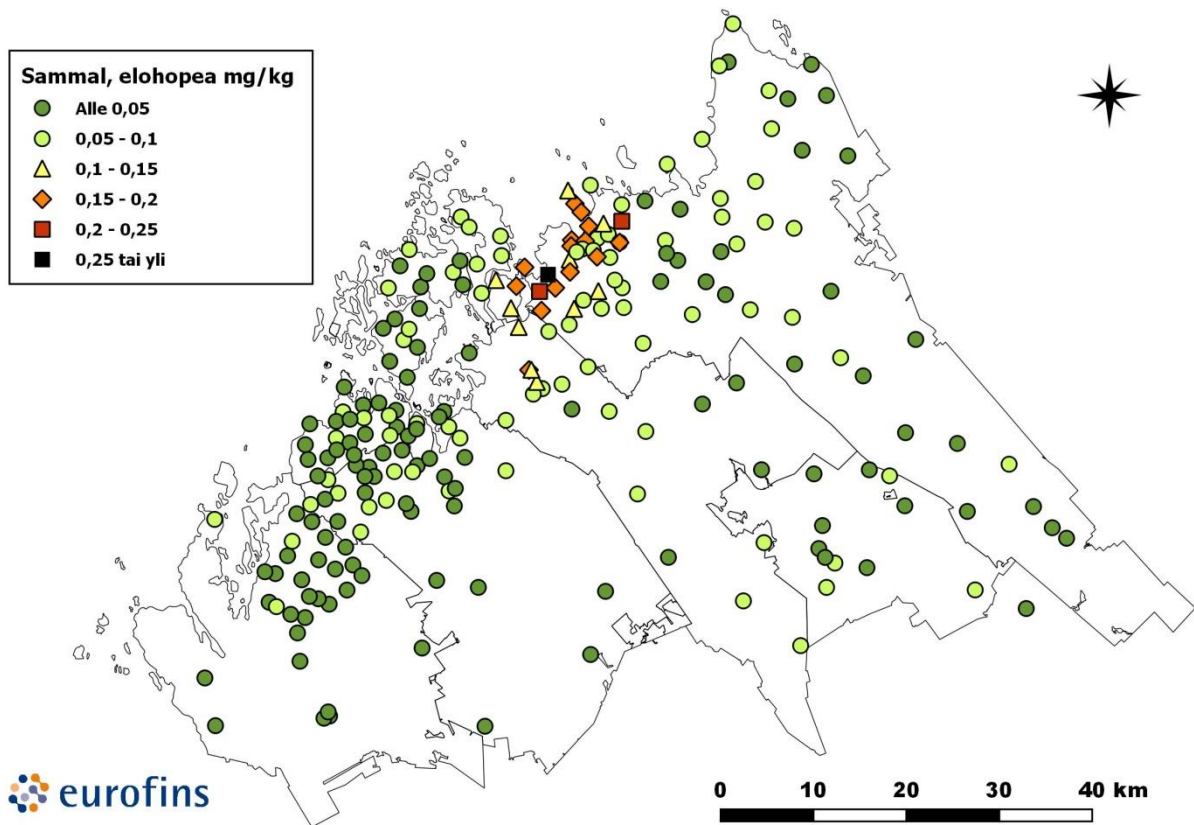
Kuva 4-37. Sammalen kromipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



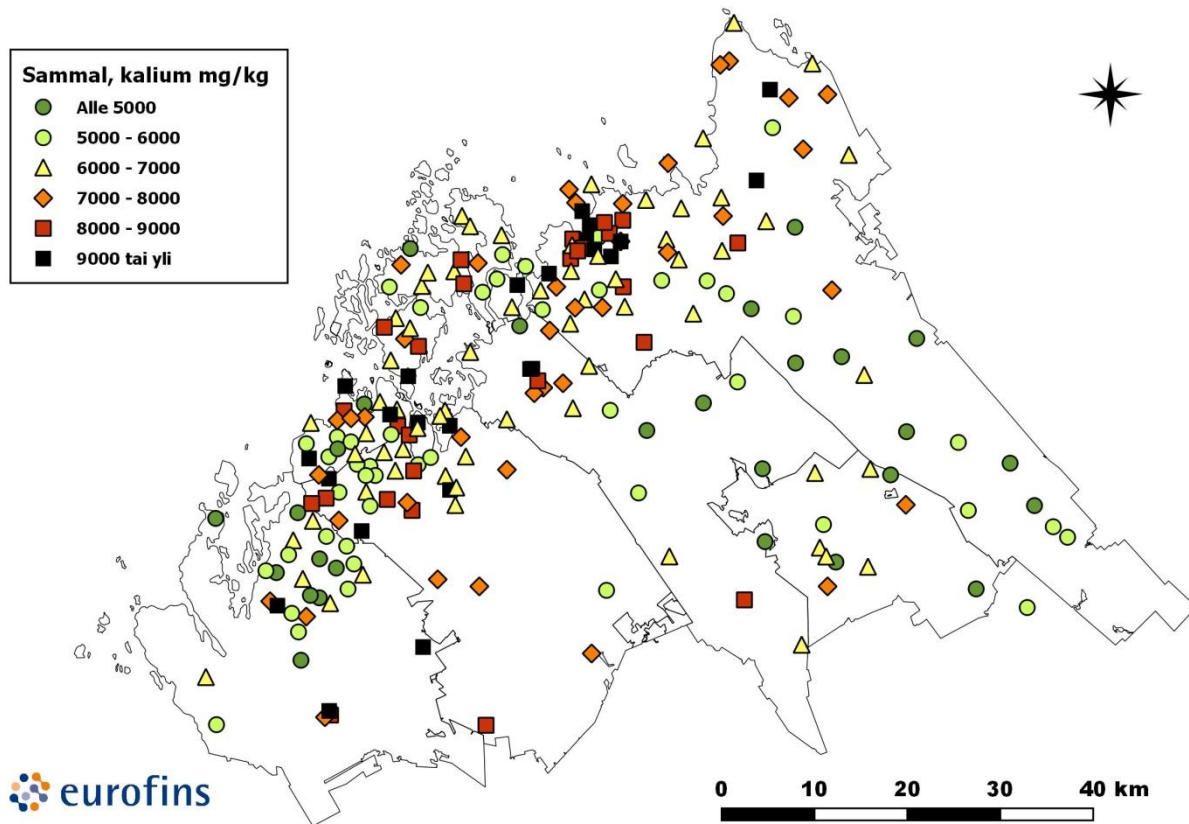
Kuva 4-38. Sammalen kuparipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



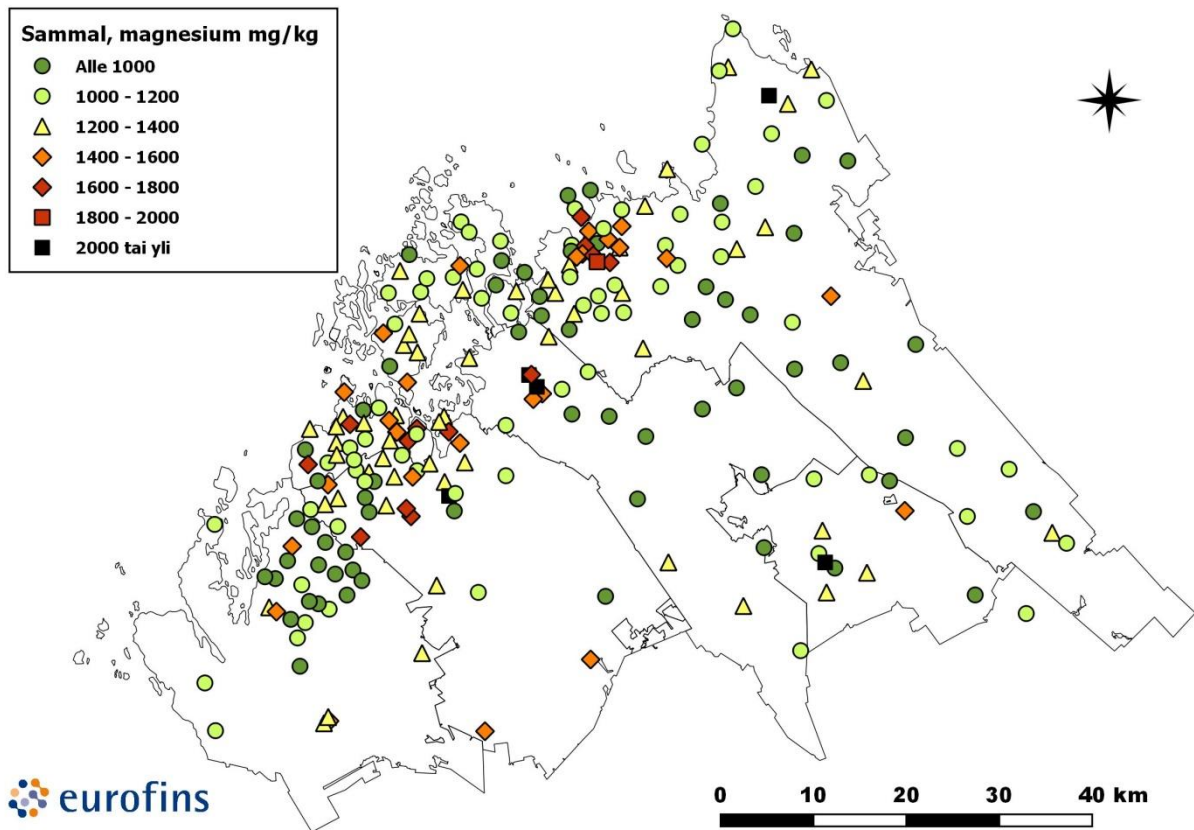
Kuva 4-39. Sammalen rautapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



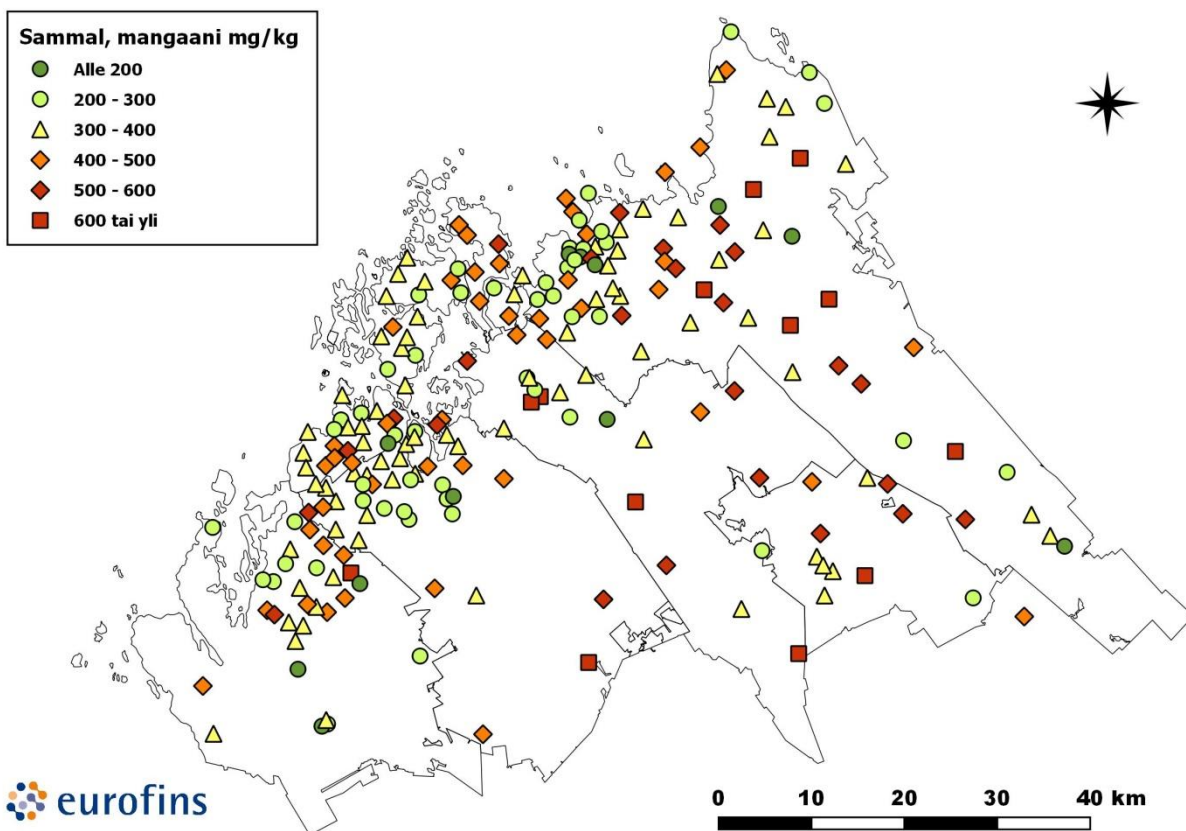
Kuva 4-40. Sammalen elohopeapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



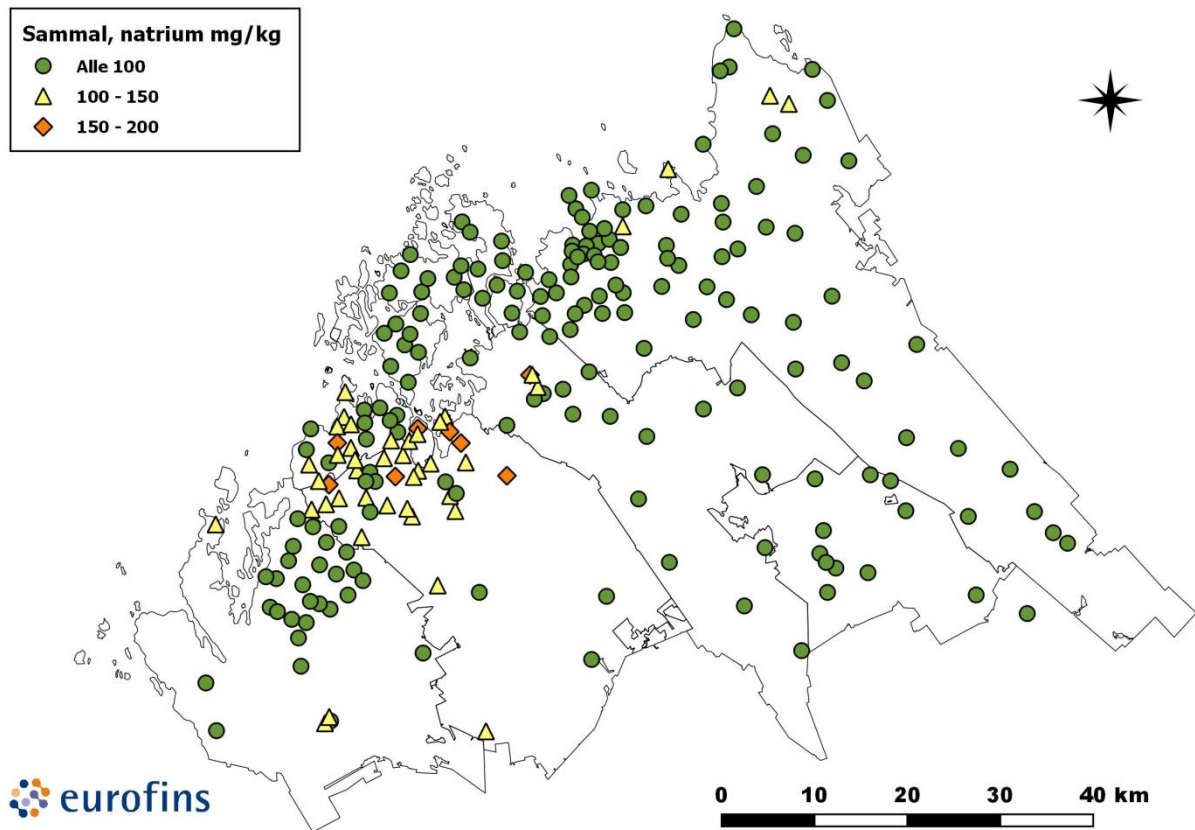
Kuva 4-41. Sammalen kaliumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



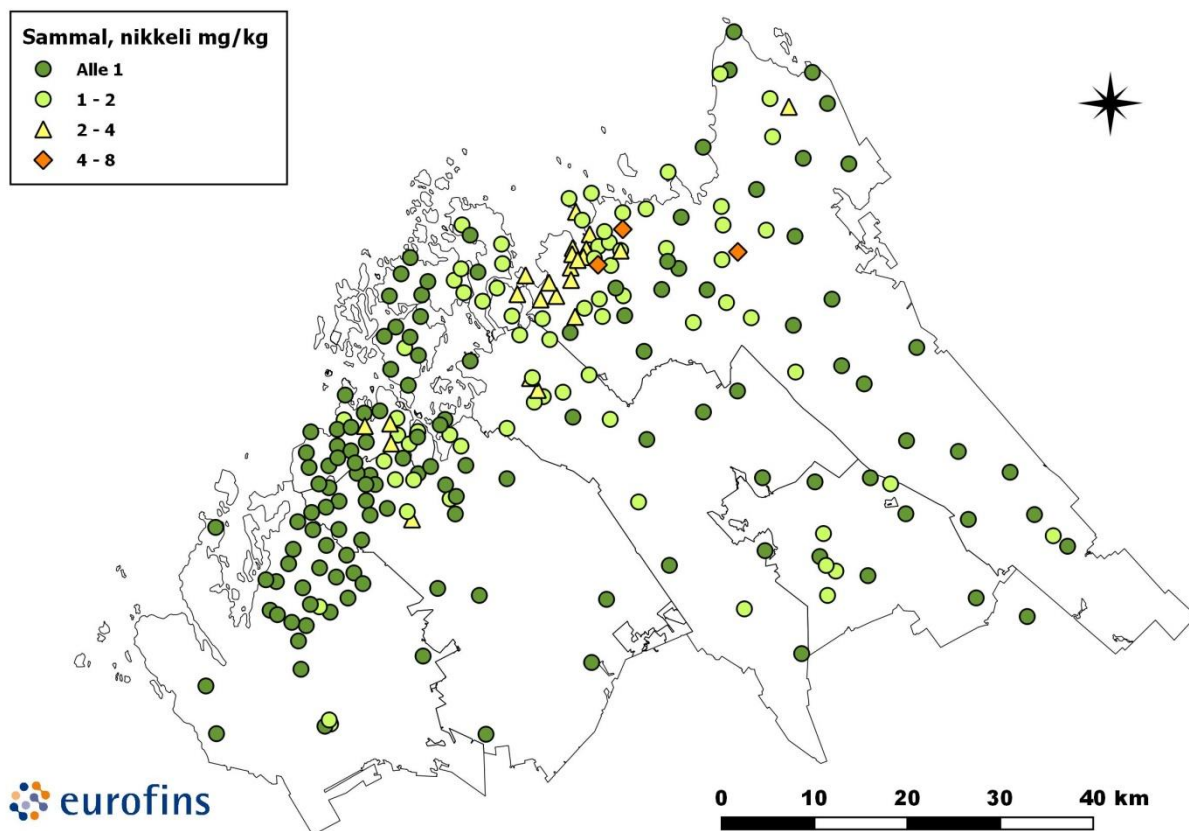
Kuva 4-42. Sammalen magnesiumipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



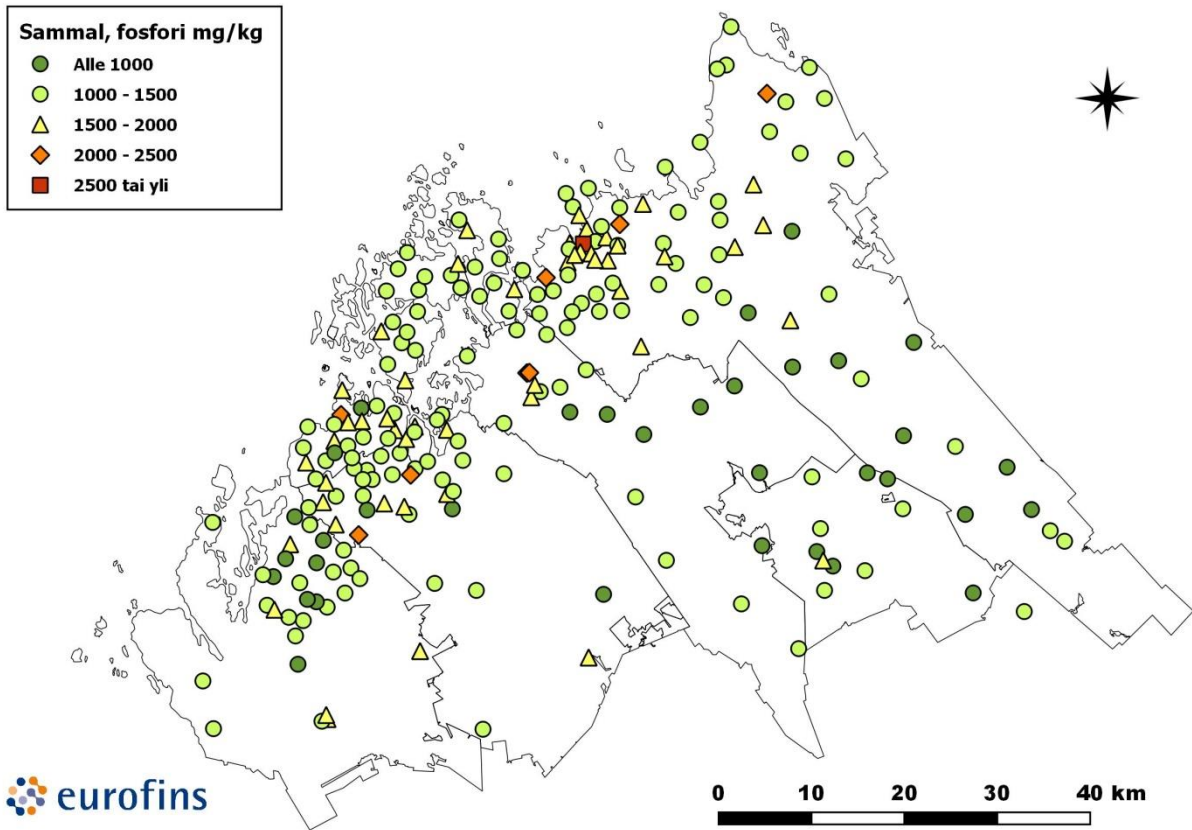
Kuva 4-43. Sammalen mangaanipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



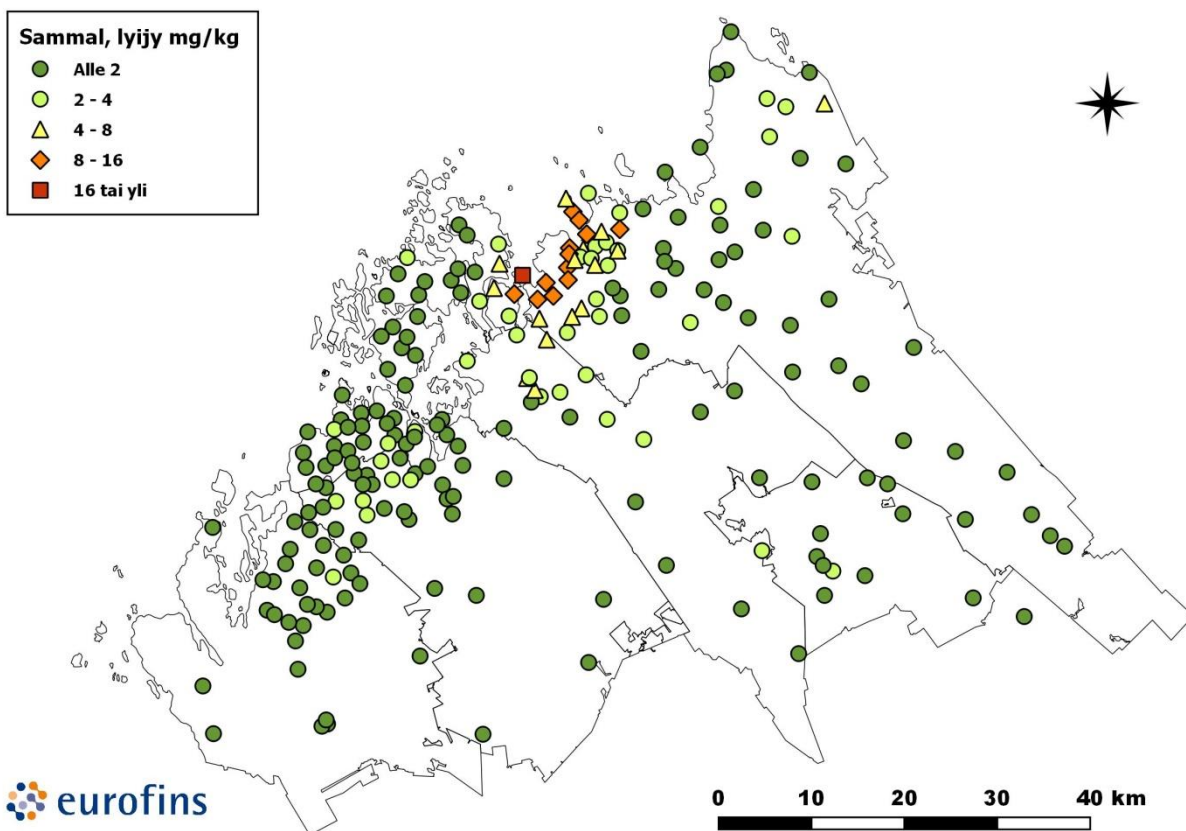
Kuva 4-44. Sammalen natriumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



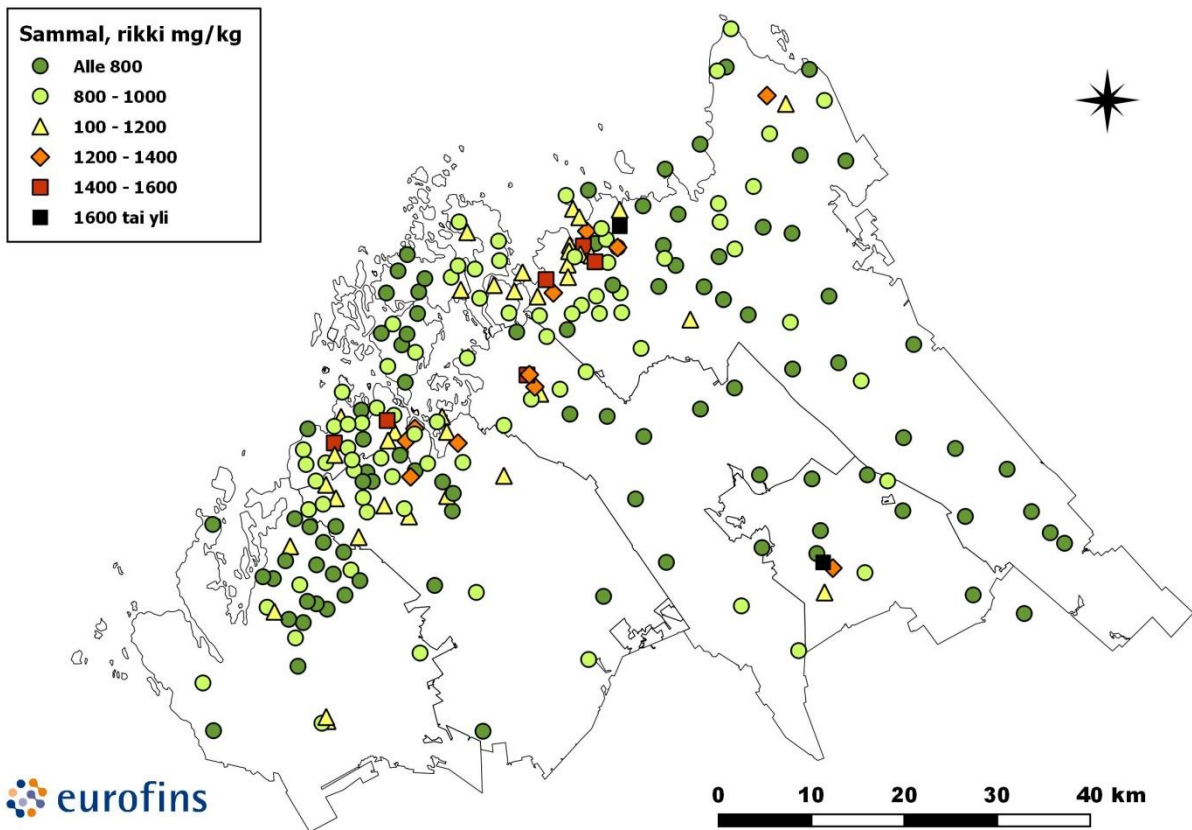
Kuva 4-45. Sammalen nikkelpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



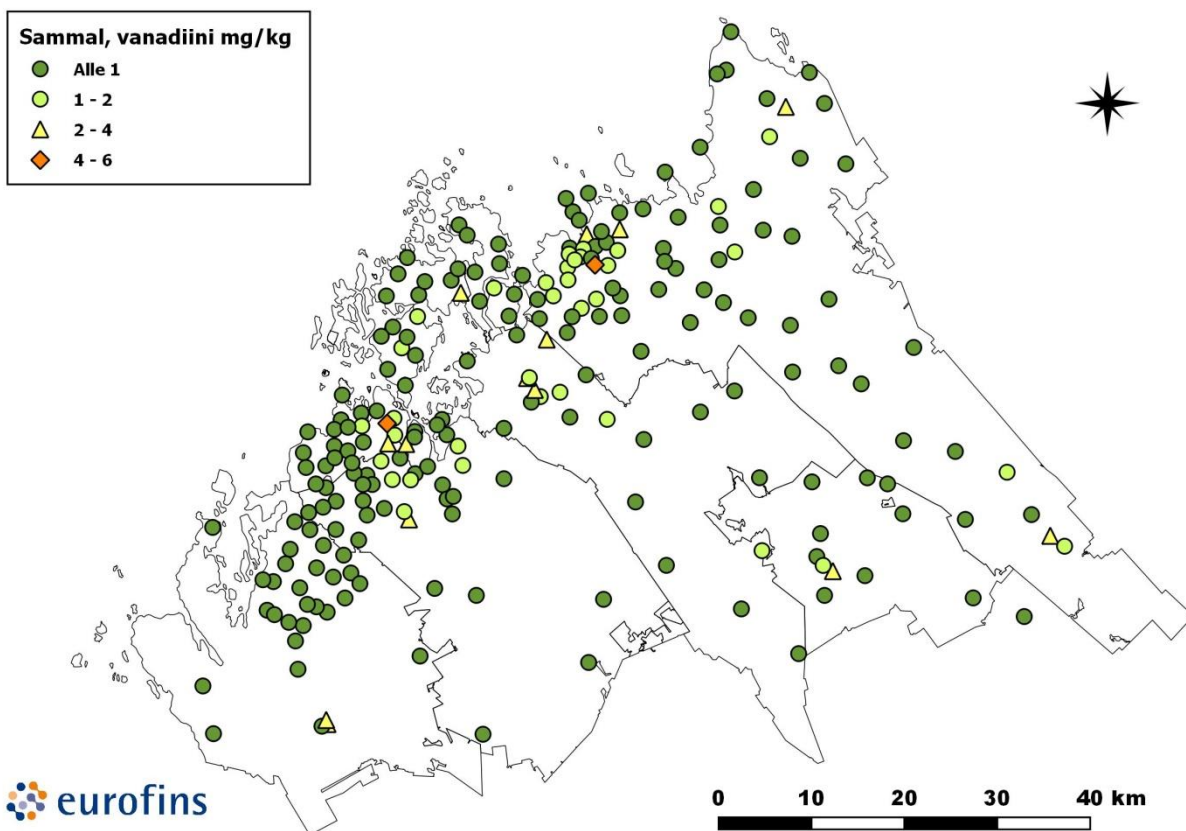
Kuva 4-46. Sammalen fosforipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



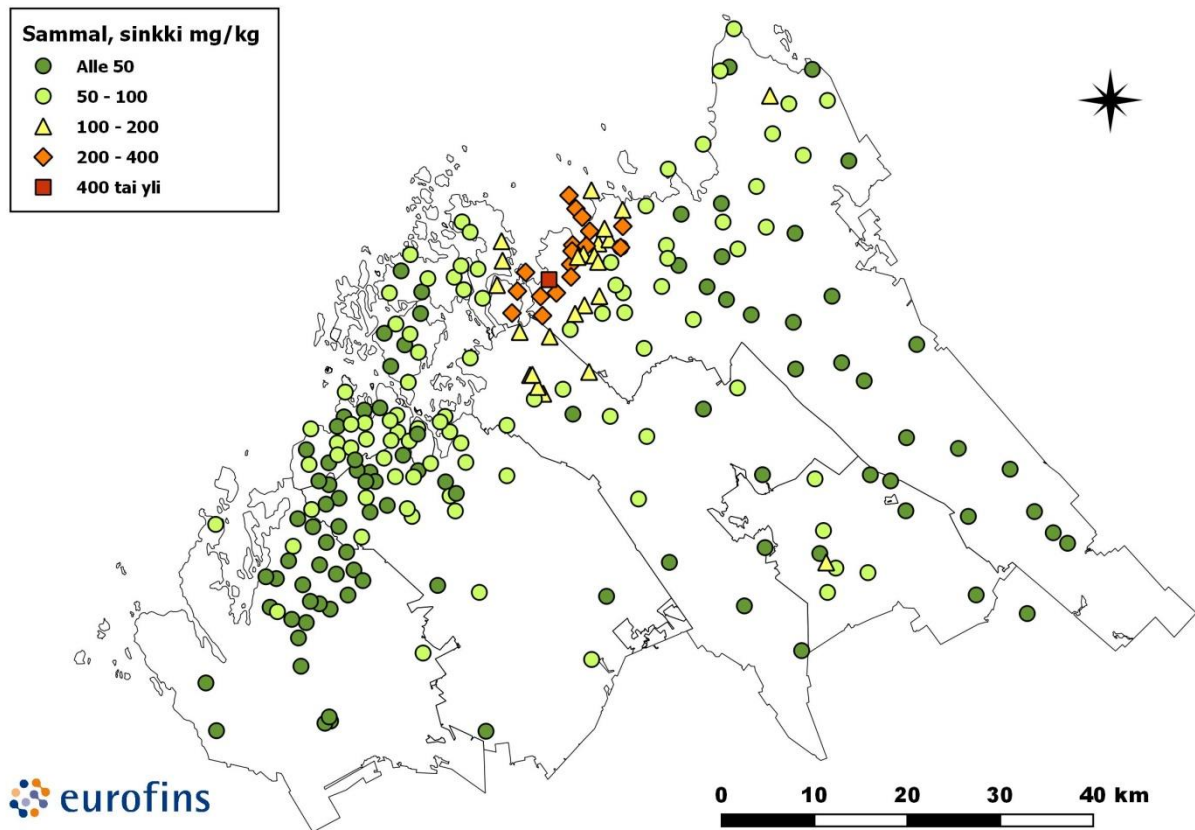
Kuva 4-47. Sammalen lyijypitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-48. Sammalen rikkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



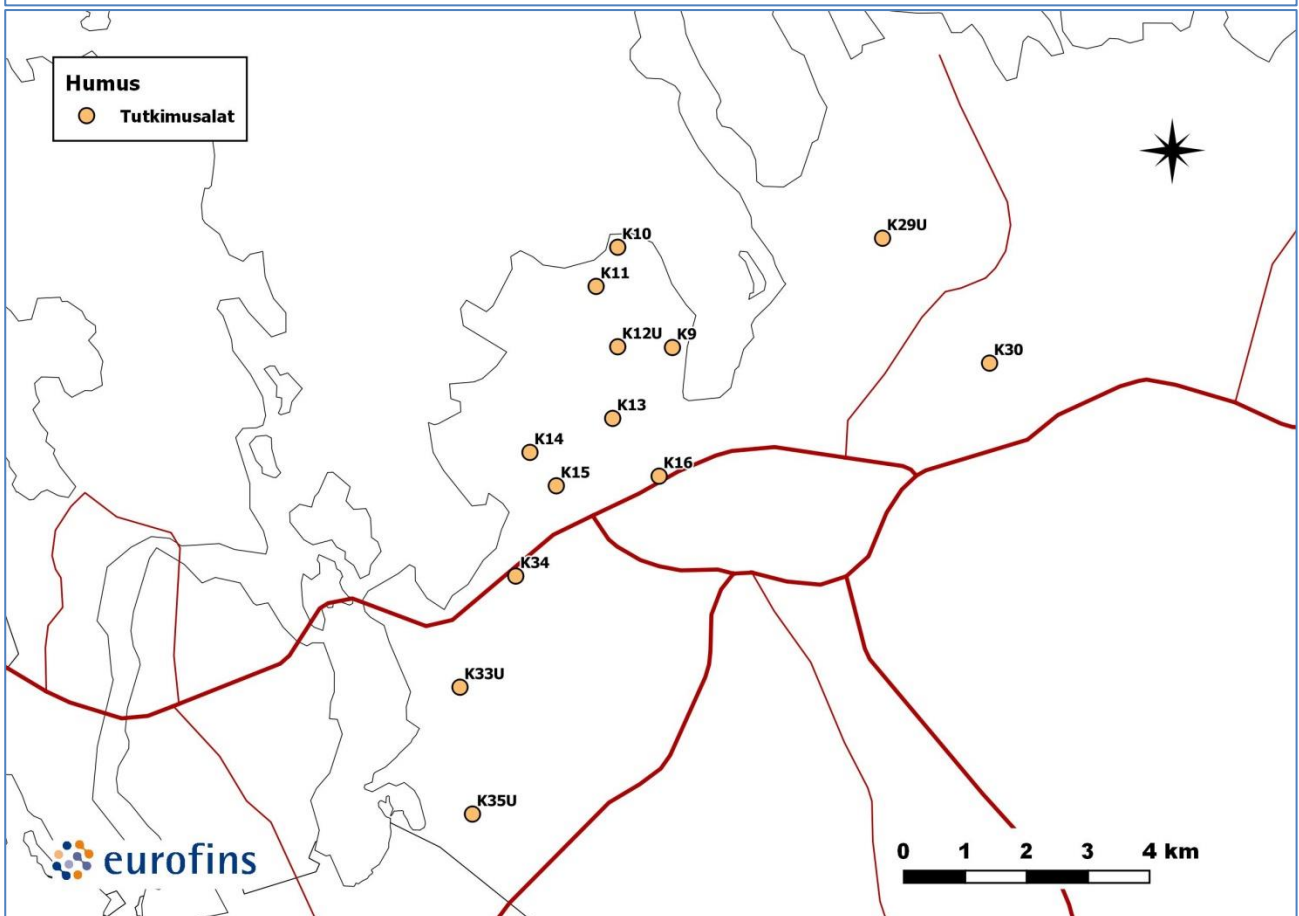
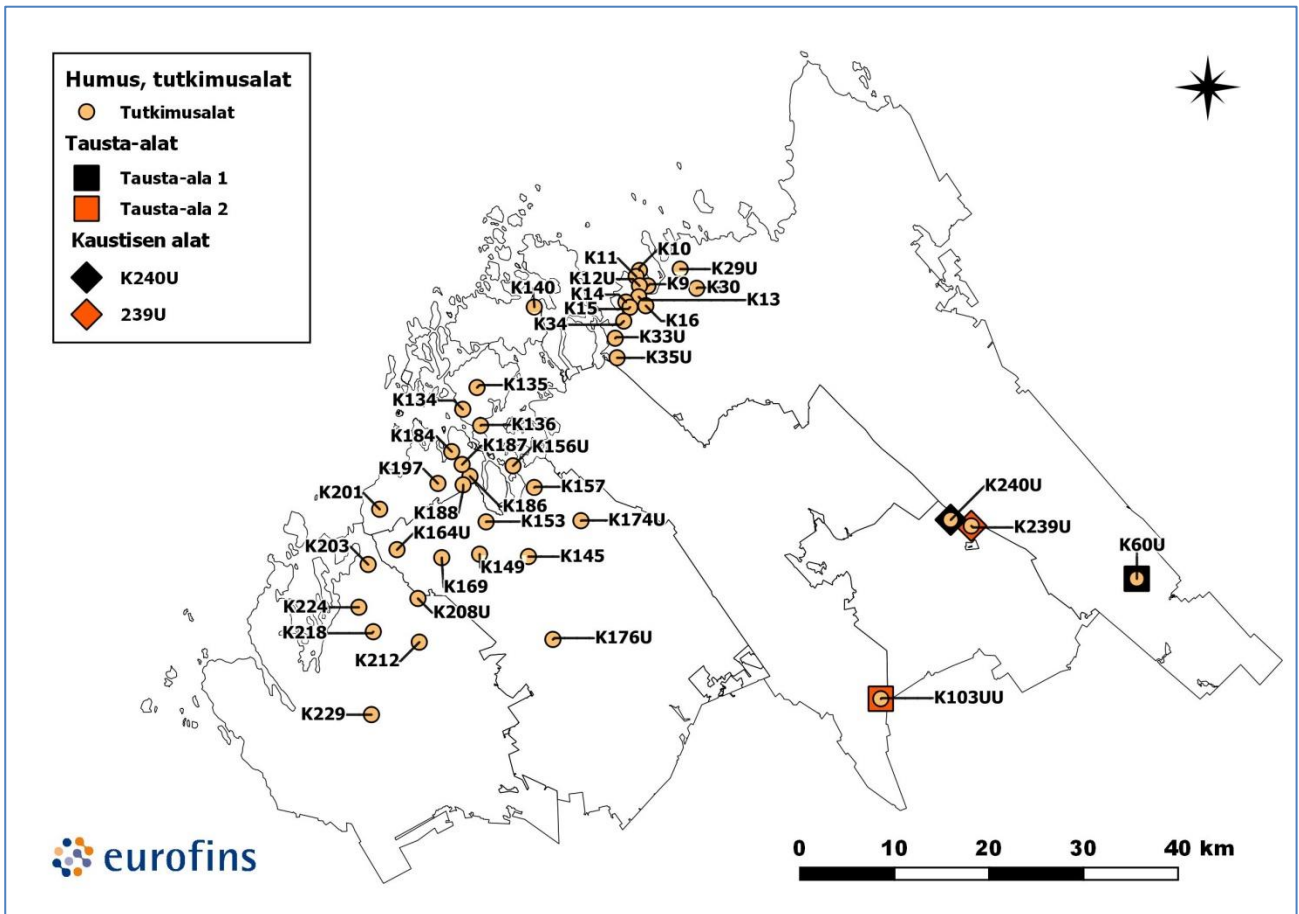
Kuva 4-49. Sammalen vanadiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-50. Sammalen sinkkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.

4.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Humusten alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia on esitetty näytealoittain sekä kuntakohtaisina keskiarvoina (Taulukko 4-4, Taulukko 4-5, Kuva 4-52 – Kuva 4-73). Tausta-alojen pitoisuudet on esitetty Kokkolan ja Kaustisen tulosten yhteydessä (Taulukko 4-4). Tausta-alojen sijoittuminen verrattuna tutkimusaloihin on esitetty kartalla (Kuva 4-51).



Kuva 4-51. Humuksen tutkimusalat 2018 koko alueella (yllä) ja Kokkolassa (alla).

Kokkolan ja Kaustisen seuranta-alojen tuloksista on merkitty ne alat, joilla PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisten maaperän metallipitoisuuksien kynnysarvo, alempi ohjearvo tai ylempi ohjearvo on ylittynyt (Taulukko 4-4, vrt. Taulukko 3-11). Ohjearvot olivat käytettävissä arseenille, elohopealle, kadmiumille, koboltille, kuparille, nikkelille, sinkille ja vanadiinille.

Kokkolan tutkimusaloilla **ylemmät ohjearvot** ylittyivät (suluissa arvon ylittäneiden alojen lukumäärä) elohopealla (1), kuparilla (4), nikkelillä (2) ja sinkillä (10). Lisäksi **alemmat ohjearvot** ylittyivät elohopealla (2), kadmiumilla (2), koboltilla (4), nikkelillä (2) ja sinkillä (1). Edellä mainittujen lisäksi **kynnysarvot** ylittyivät Ykspihlajan ja Kokkolan keskustan aloilla arseenilla (11), elohopealla (9), kadmiumilla (9), koboltilla (7), kuparilla (1) ja nikkelillä (3). Kokkolan tutkimusalojen (pl. tausta-alat) keskiarvot ylittivät ylempien ohjearvojen kuparilla ja sinkillä, alemman ohjearvon nikkelillä ja kynnysarvon arseenilla, elohopealla, kadmiumilla ja koboltilla. Eniten ylempien ohjearvojen 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. (Taulukko 4-4).

Kaustisilla toisen tutkimusalan humuksen nikkelipitoisuus ylitti **kynnysarvon**. Kaustisen näytealojen alkuainepitoisuudet olivat pitkälti samansuuntaiset kuin pitoisuudet Kokkolan tausta-aloilla. (Taulukko 4-4). Kaustisen humusnäytteiden alkuainepitoisuudet on määritetty tavanomaisesta näytteenottoajankohdasta poikkeavaan ajankohtaan (25.11.2019) otetuista näytteistä.

Alumiinipitoisuus oli muuta aluetta korkeampi kahdella alalla Pietarsaassa, minkä vuoksi myös humuksen keskimääräinen alumiinipitoisuus oli suurin Pietarsaassa. Kokkolan-Ykspihlajan aloilla sekä Kaustisen aloilla alumiinipitoisuus oli keskimäärin hieman korkeampi kuin muiden kuntien aloilla (Taulukko 4-5).

Boorin suurimmat yksittäiset pitoisuudet havaittiin Luodossa ja Pedersöressä. Keskimääräinen booripitoisuus oli korkein Luodossa. Luodossa havaittiin myös korkein kalsiumin yksittäinen sekä keskimääräinen pitoisuus. Boorin, kalsiumin, **kaliumin, magnesiumin, mangaanin, rikin ja fosforin** pitoisuudet näyttivät ilmentävän maaperän ravinnetilaa, eikä niinkään ulkoista kuormitusta. (Taulukko 4-5).

Kadmiumin, kuparin ja sinkin pitoisuudet olivat Kokkolassa moninkertaisia muuhun alueeseen verrattuna. Myös **nikkelin** pitoisuudet olivat moninkertaiset Kokkolan lisäksi myös Kaustisilla verrattuna muuhun alueeseen. **Raudan** kohonneita pitoisuuksia havaittiin Pietarsaassa. Kahden Pietarsaassa sijaitsevan tutkimusalan rautapitoisuudet olivat selvästi muita aloja korkeammalla tasolla. (Taulukko 4-5).

Korkeimmat **kromipitoisuudet** havaittiin Pietarsaassa ja Uudessakaarlepyyssä yhteensä neljällä tutkimusalalla. Yhdellä Uudenkaarlepyyn ja yhdellä Pedersören tutkimusaloista todettiin selvästi muita aloja korkeimmat **lyijypitoisuudet**. (Taulukko 4-5).

Litium määritettiin kahdelta Kaustisen tutkimusalalta. Nämä alat sijoituivat tulevien litiumkaivosten (Keliber Oy) läheisyyteen. Litiumpitoisuudet näillä aloilla olivat 1,4 mg/kg (K239) ja 0,85 mg/kg (K240). (ks. alojen sijainnit Kuva 4-51).

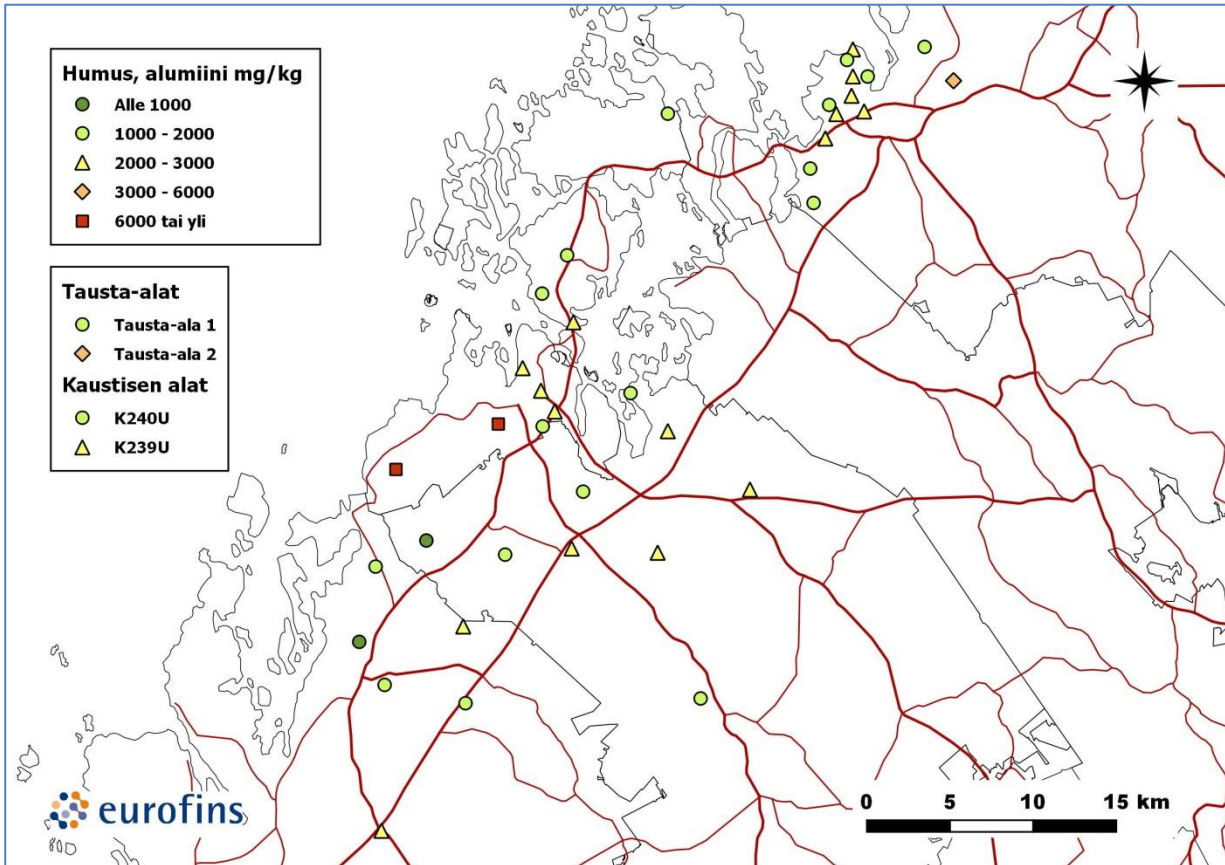
Vaihtohappamuus oli matalin Luodossa. **Kationinvaihtokapasiteetti** oli korkein Pietarsaassa. (Taulukko 4-5).

Taulukko 4-4. Humuksen alkuainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta kohti) ja kemialliset ominaisuudet (cmol+/kg = meq/100g) sekä keskiarvot Kokkolan tutkimusaloilla (alat K9-K35) ja tausta-aloilla (T1 ja T2) sekä Kaustisen tutkimusaloilla (alat K239-K240). Kynnysarvon ylittävät arvot on korostettu vihreällä, alemman ohjearvon ylittävät arvot keltaisella ja ylemmän ohjearvon ylittävät arvot punaisella.

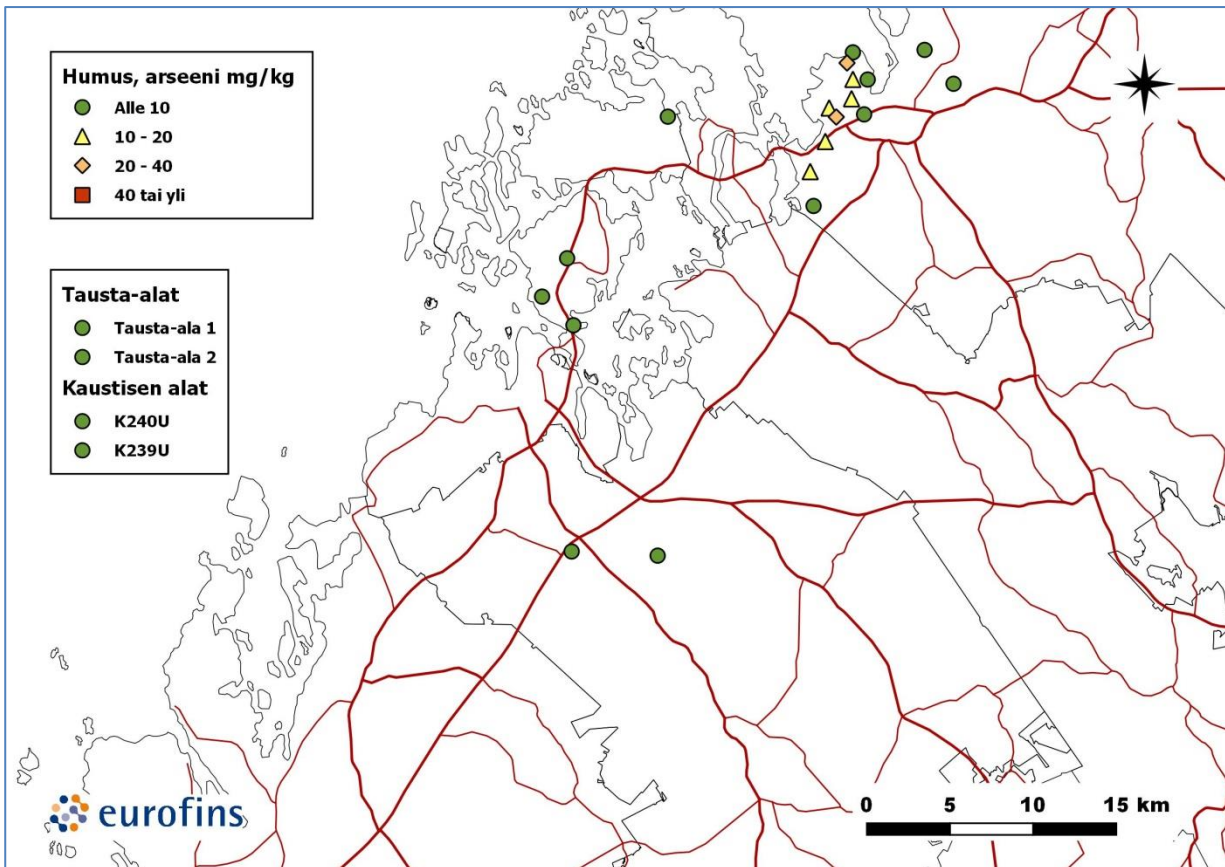
Ala	Al	As	Hg	Cd	K	Ca	Co	Cu	Mg	Na	Ni	Fe	Zn	V	Vaihtohappamuus cmol+/kg	Kationinvaihtokapasiteetti cmol+/kg
Kokkola																
K9	1580	5,9	1,3	3,2	650	3 160	57	73	590	77	51	3 420	660	11	10,5	27,6
K10	2150	9,1	3,2	3,8	750	1 410	40	100	940	76	51	5 340	710	11	5,5	10,5
K11	1800	38,0	7,1	19	680	2 320	240	710	480	66	230	21 000	2820	58	17,7	27,8
K12	2090	15,0	1,1	14	510	3 960	150	220	610	65	180	5 400	1770	39	17,6	31,7
K13	2270	14,0	1,7	3,9	580	1 690	100	150	360	79	86	7 790	690	20	14,6	23,0
K14	1660	19,0	2,0	7,3	550	2 090	150	310	330	59	120	11 900	1240	34	17,5	29,1
K15	2270	21,0	2,5	7	740	2 930	160	270	410	65	110	15 200	1220	25	18,6	27,0
K16	2350	8,9	1,6	2,8	600	2 480	44	83	600	70	39	6 890	440	16	17,1	23,5
K29	1620	3,8	0,54	0,88	500	2 930	16	24	390	92	32	2 280	190	8,7	11,5	26,2
K30	5800	4,9	0,32	0,78	900	480	9,8	26	500	63	19	8 720	67	11	29,2	32,3
K33	1760	11,0	1,4	3,1	720	3 060	46	83	420	60	39	4 930	550	12	11,1	27,4
K34	2270	13,0	1,6	3,3	630	2 700	45	93	450	66	38	5 550	710	11	13,7	29,9
K35	1320	5,9	0,63	1,5	510	3 230	21	35	430	55	22	1 910	290	7,6	15,2	32,8
k.a.	2226	13,0	1,9	5,4	640	2495	83	167	501	69	78	7718	874	20	15,4	26,8
K60 / T1	1830	1,7	0,22	0,27	810	3 840	2,2	6,3	770	50	7	2 470	50	5,6	10,0	31,3
K103 / T2	4960	2,2	0,21	0,25	910	1 920	7,2	7,7	1480	72	17	13 400	49	30	9,0	16,3
Kaustinen																
K239	2350	1,8	0,3	0,38	1240	3290	11	12	620	90	92	3470	97	9,8	-	-
K240	1990	1,7	0,24	0,48	1020	3910	7	11	850	56	46	2830	130	5,5	-	-
k.a.	2170	1,75	0,27	0,43	1130	3600	9	11,5	735	73	69	3150	113,5	7,65	-	-

Taulukko 4-5. Humuksen alkuainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta kohti) ja kemialliset ominaisuudet (cmol+/kg = meq/100g) sekä kuntakohtaiset keskiarvot Pietarsaaren, Luodon, Pedersören ja Uudenkaarlepyyn tutkimusaloilla. Myös Kokkolan ja Kaustinen keskiarvot (vrt. Taulukko 4-4) on esitetty taulukossa soveltuvien osin.

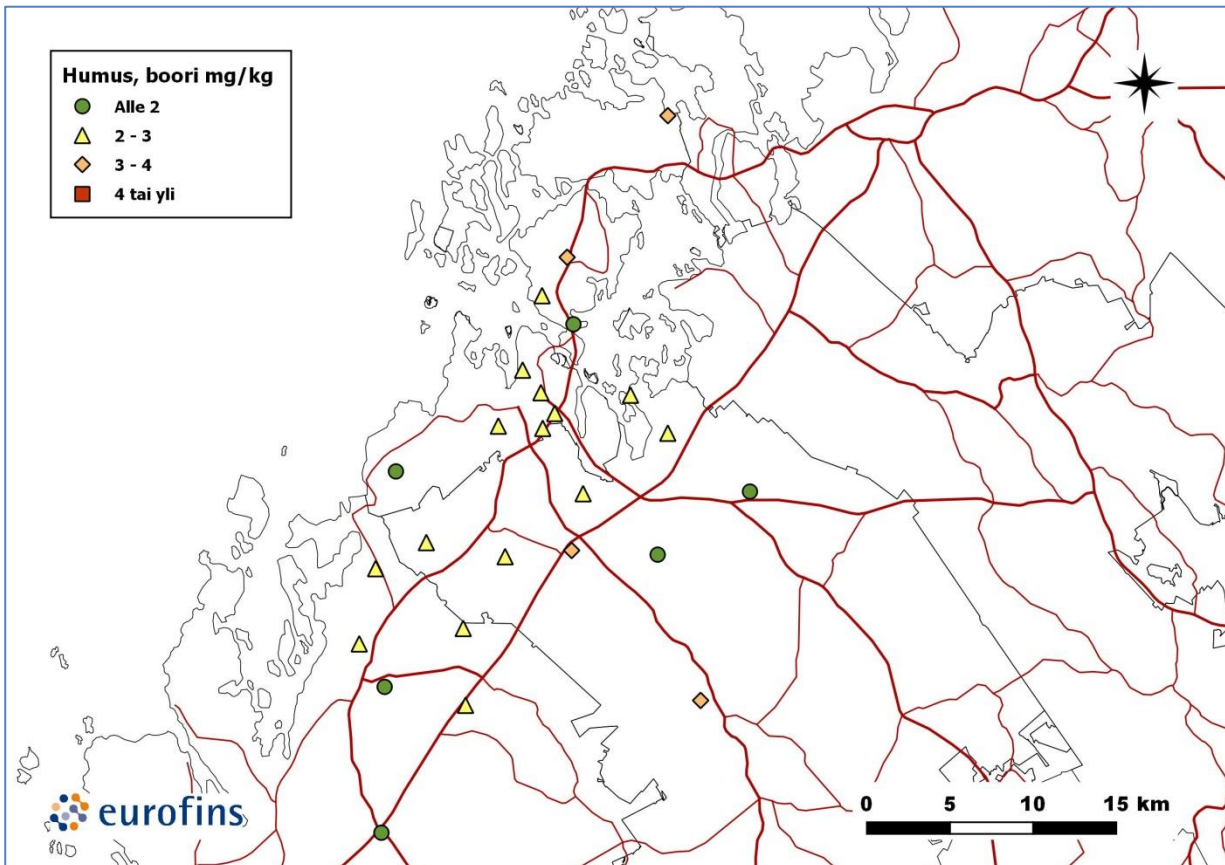
Kunta	Ala	Al	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	P	Pb	S	Zn	Vaihtohappamuus cmol+/kg	Kationinvaihtokapasiteetti cmol+/kg
Luoto	K134	1130	2,2	5440	0,56	2,8	9,1	1360	480	560	70,0	7,0	570	46	1770	58	14,3	24,8
Luoto	K135	1330	3,5	3830	0,33	9,2	10,0	1410	620	490	140,0	14,0	620	45	1660	57	9,5	30,5
Luoto	K136	2420	1,7	2510	0,15	28,0	5,8	4350	710	1090	330,0	23,0	410	16	420	55	1,6	9,1
Luoto	K140	1230	3,2	4060	0,45	4,5	13,0	1440	620	650	29,0	11,0	660	32	1960	74	11,0	26,3
Pedersöre	K145	2640	1,6	1480	0,98	5,1	11,0	2350	510	330	28,0	6,2	620	770	1210	64	17,3	28,5
Pedersöre	K149	2030	3,3	4620	0,38	6,1	12,0	2710	690	910	100,0	8,3	570	42	1810	63	12,2	31,1
Pedersöre	K153	1320	2,1	2380	0,32	8,1	7,8	1530	670	510	95,0	9,5	610	16	1110	45	9,9	23,9
Pedersöre	K156	1490	2,8	3780	0,80	2,0	12,0	1020	710	530	140,0	6,4	670	37	1520	94	13,4	25,0
Pedersöre	K157	2390	2,0	2650	0,35	4,7	9,2	2320	400	650	64,0	7,2	610	27	1660	60	17,8	36,0
Pedersöre	K164	940	2,4	2920	0,28	5,9	6,3	1030	480	300	120,0	6,6	640	23	1730	52	11,2	28,4
Pedersöre	K169	1380	2,4	2540	0,58	5,7	8,0	1610	860	470	56,0	6,8	560	30	1500	60	16,2	31,8
Pedersöre	K174	2640	1,4	1350	0,69	13,0	8,0	2280	920	680	30,0	14,0	550	49	1090	58	18,5	27,9
Pedersöre	K176	1880	3,1	4070	0,24	43,0	7,9	2270	2120	600	170,0	12,0	650	41	1350	62	10,2	30,6
Pietarsaari	K184	2080	2,6	3800	0,40	60,0	16,0	3800	610	490	37,0	20,0	710	52	1390	65	11,7	27,7
Pietarsaari	K186	2520	2,9	4400	0,5	49,0	13,0	3900	2690	530	100,0	18,0	800	69	1760	74	14,2	34,1
Pietarsaari	K187	2630	2,7	3850	0,46	21,0	20,0	4700	980	460	67,0	20,0	890	140	1800	110	15,2	35,4
Pietarsaari	K188	1880	2,2	3320	0,34	11,0	12,0	4600	980	480	19,0	9,6	880	53	1820	52	14,9	33,0
Pietarsaari	K197	6390	2,5	1150	0,39	16,0	27,0	17200	1140	410	24,0	14,0	1370	41	2680	230	33,6	31,8
Pietarsaari	K201	6390	1,5	1370	0,65	9,3	20,0	32300	560	310	12,0	6,5	1050	35	2390	70	40	27,7
Uusikaarlepyy	K203	1390	2,0	3190	0,36	5,2	7,2	1190	630	480	11,0	4,4	660	35	2030	45	16,7	31,1
Uusikaarlepyy	K208	2020	2,3	2240	0,32	45,0	5,9	2960	970	440	82,0	11,0	780	35	1250	45	11,8	23,4
Uusikaarlepyy	K212	1540	2,6	3640	0,3	36,0	8,4	1910	720	540	160,0	8,7	680	46	1720	66	12,3	33,5
Uusikaarlepyy	K218	1700	1,9	2400	0,25	48,0	7,7	2110	590	390	32,0	10,0	560	33	1760	58	13,5	26,9
Uusikaarlepyy	K224	810	2,5	3790	0,3	3,1	7,3	990	680	560	81,0	3,7	670	24	2120	36	12,9	22,8
Uusikaarlepyy	K229	2010	1,9	2430	0,51	11,0	8,8	1980	1260	650	19,0	6,8	630	980	1600	47	22,0	28,1
k.a.		2167	2,4	3088	0,44	18,1	10,9	4133	864	540	80,6	10,6	697	109	1644	68	15,3	28,4
k.a. Kokkola		2226		2495	5,4		167	7718	640	501		78				874	15,4	26,8
k.a. Kaustinen		2170		3600	0,43		11,5	3150	1130	735		69				133,5	-	-
k.a. Luoto		1528	2,7	3960	0,37	11,1	9,5	2140	608	698	142,3	13,8	565	35	1453	61	9,1	22,7
k.a. Pedersöre		1857	2,3	2866	0,51	10,4	9,1	1902	818	553	89,2	8,6	609	115	1442	62	14,1	29,2
k.a. Pietarsaari		3648	2,4	2982	0,46	27,7	18,0	11083	1160	447	43,2	14,7	950	65	1973	100	21,6	31,6
k.a. Uusikaarlepyy		1578	2,2	2948	0,34	24,7	7,6	1857	808	510	64,2	7,4	663	192	1747	50	14,9	27,6



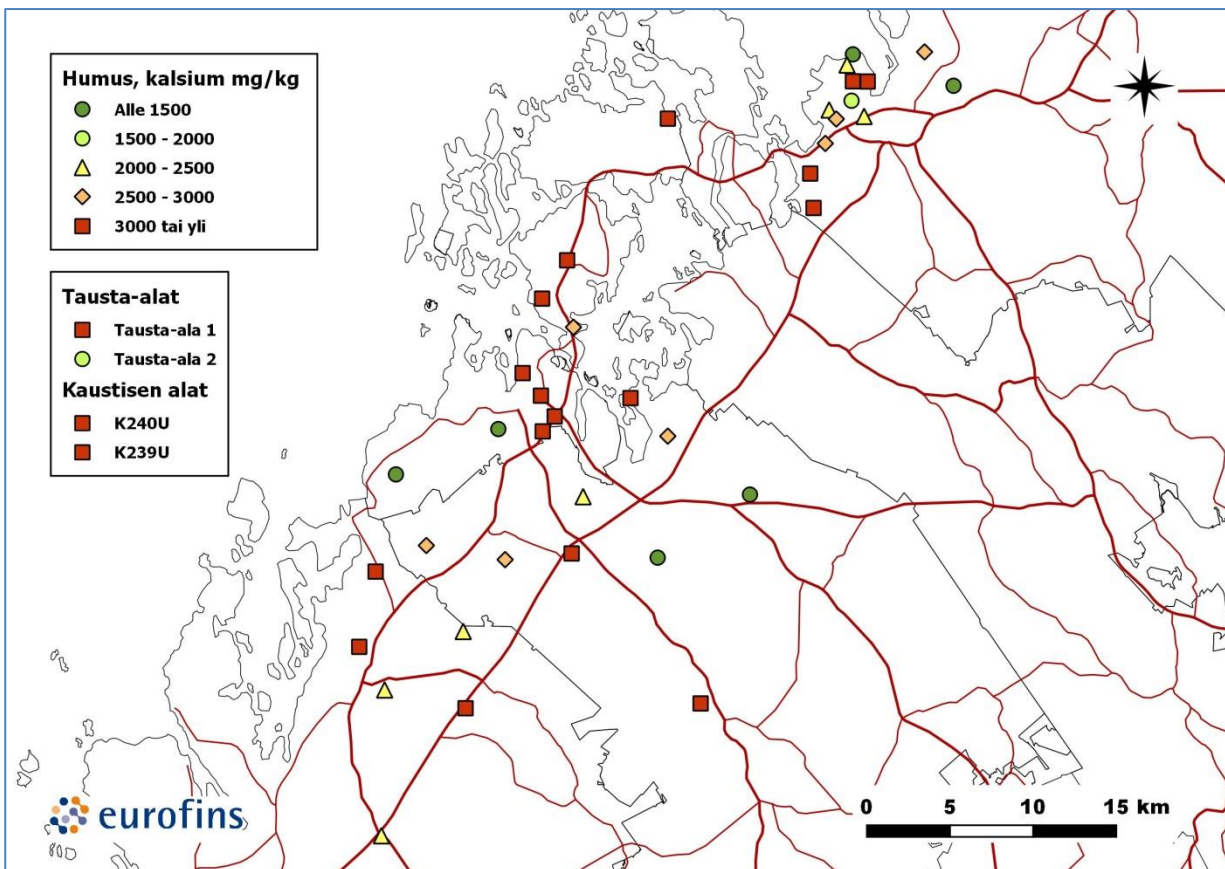
Kuva 4-52. Humuksen alumiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018 .



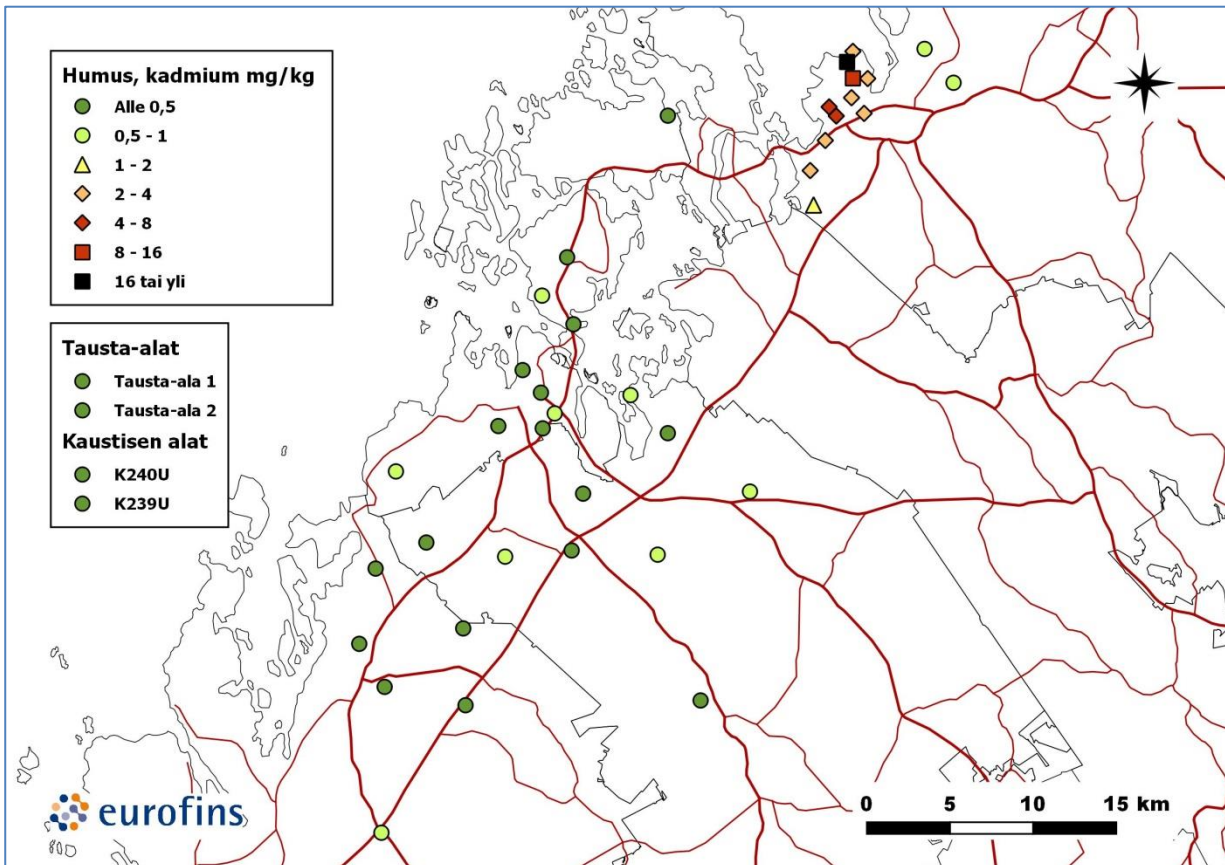
Kuva 4-53. Humuksen arseenipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



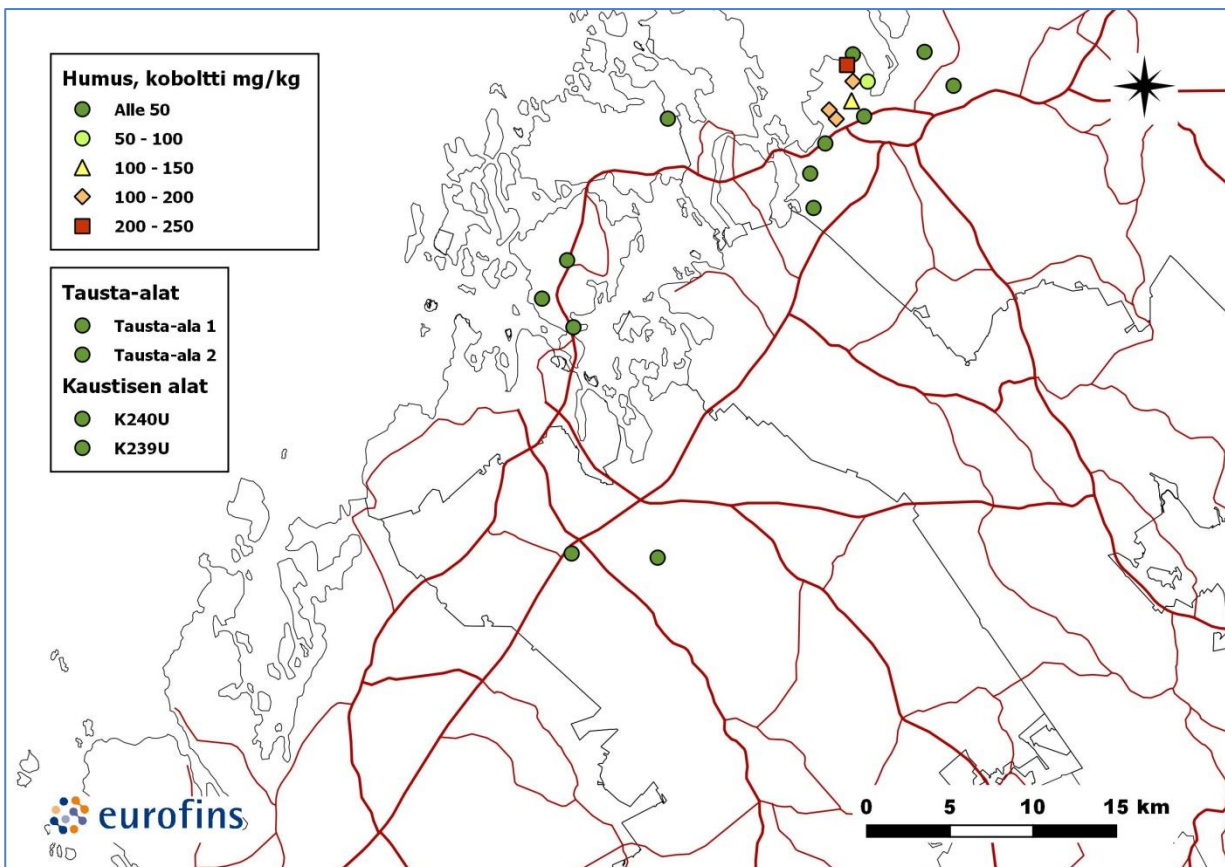
Kuva 4-54. Humuksen booripitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



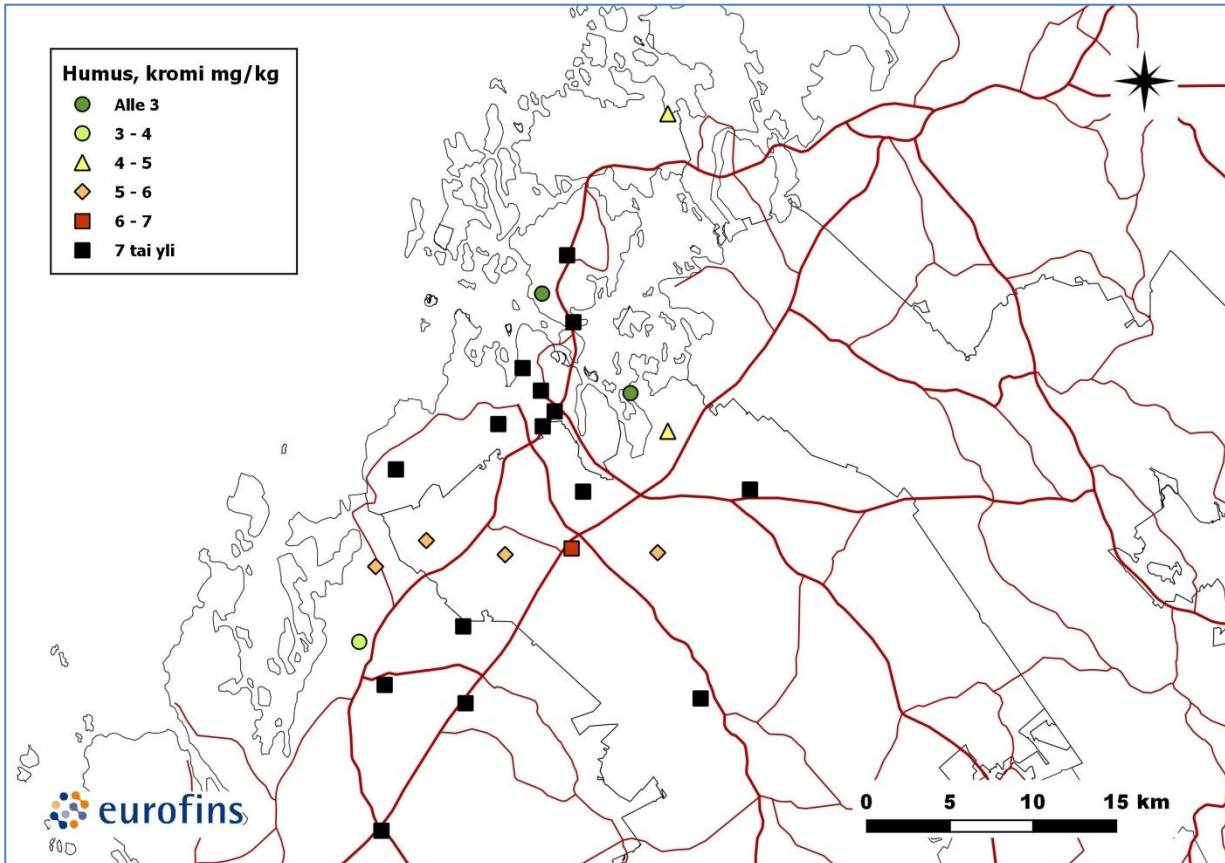
Kuva 4-55. Humuksen kalsiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



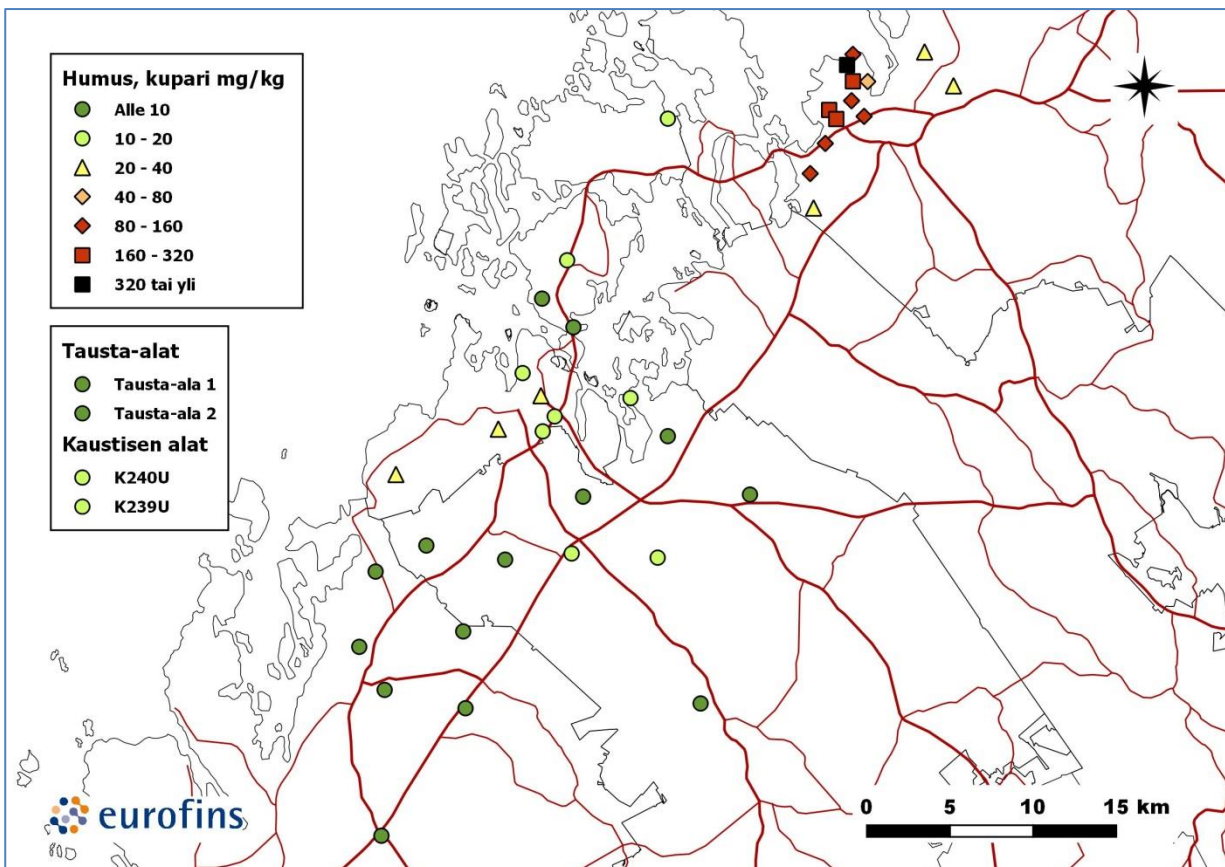
Kuva 4-56. Humuksen kadmiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



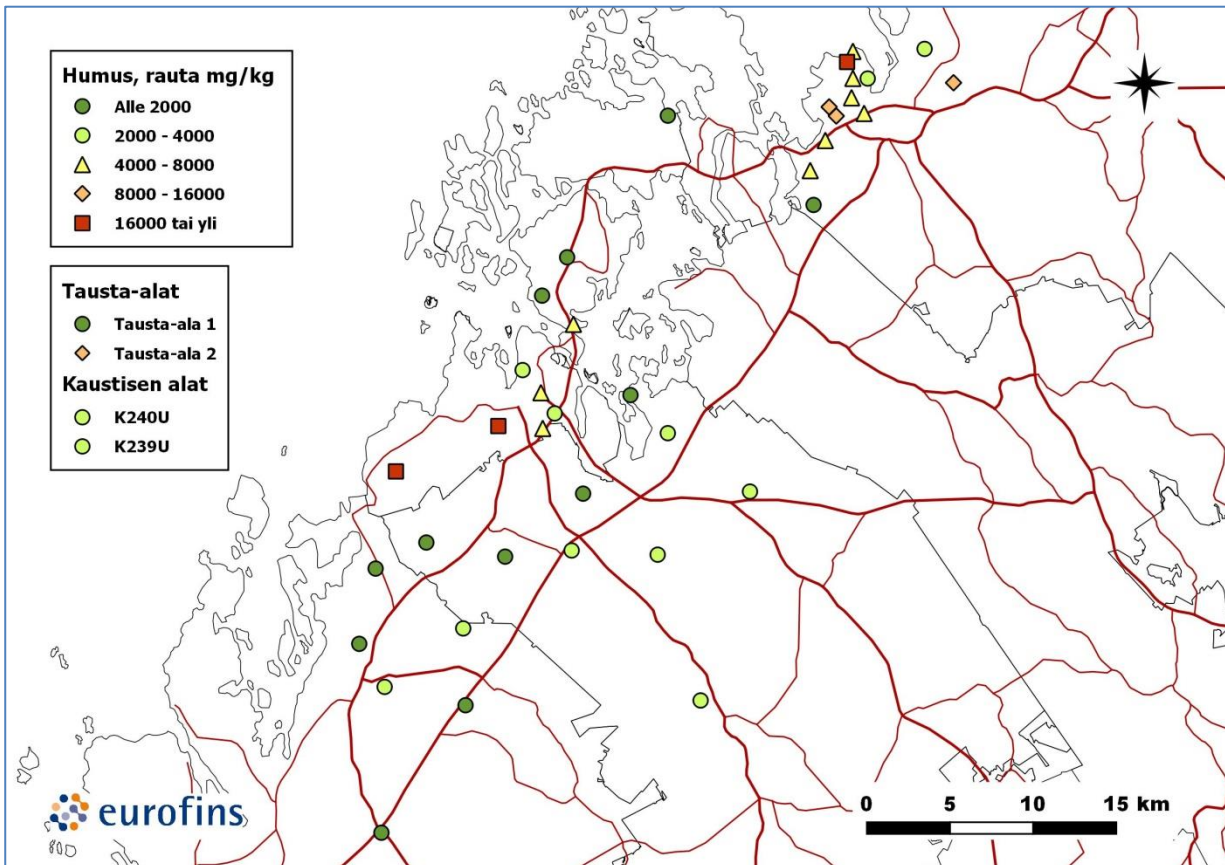
Kuva 4-57. Humuksen kobolttipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



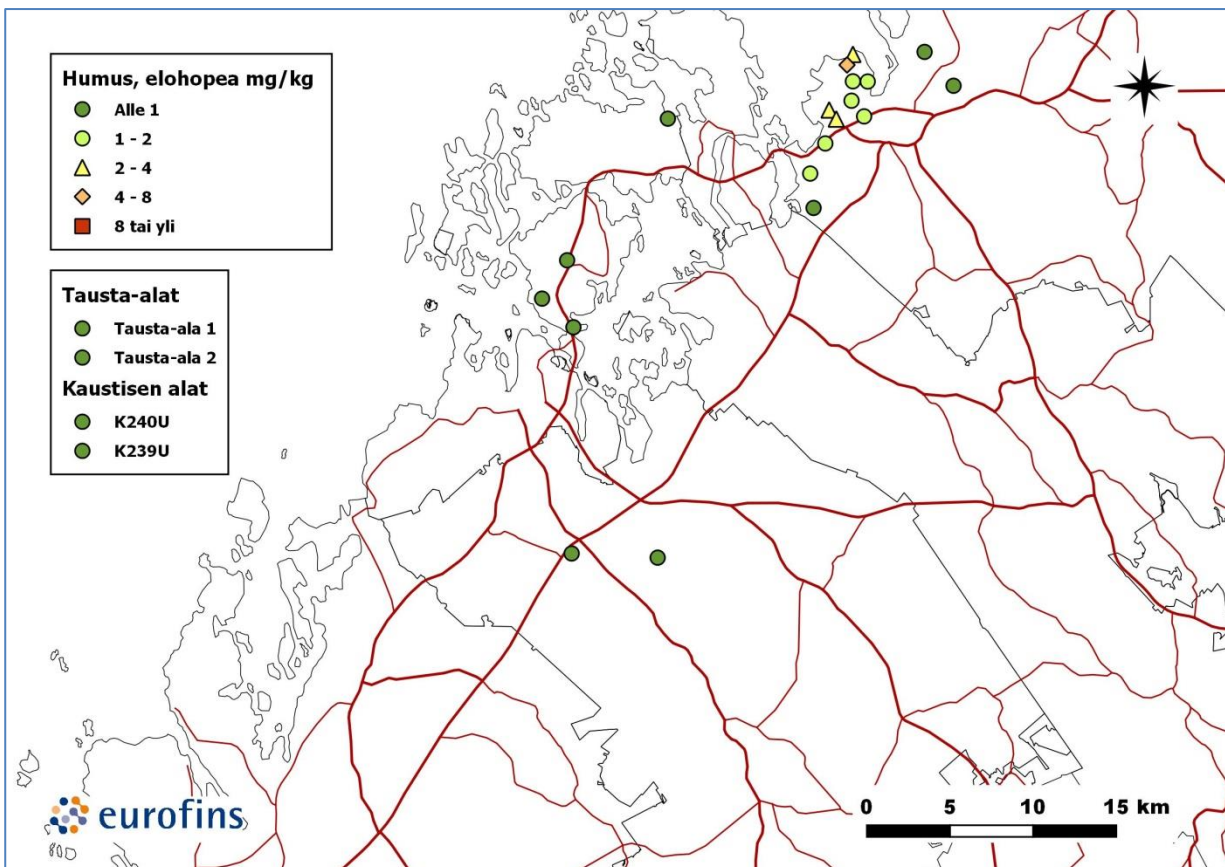
Kuva 4-58. Humuksen kromipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



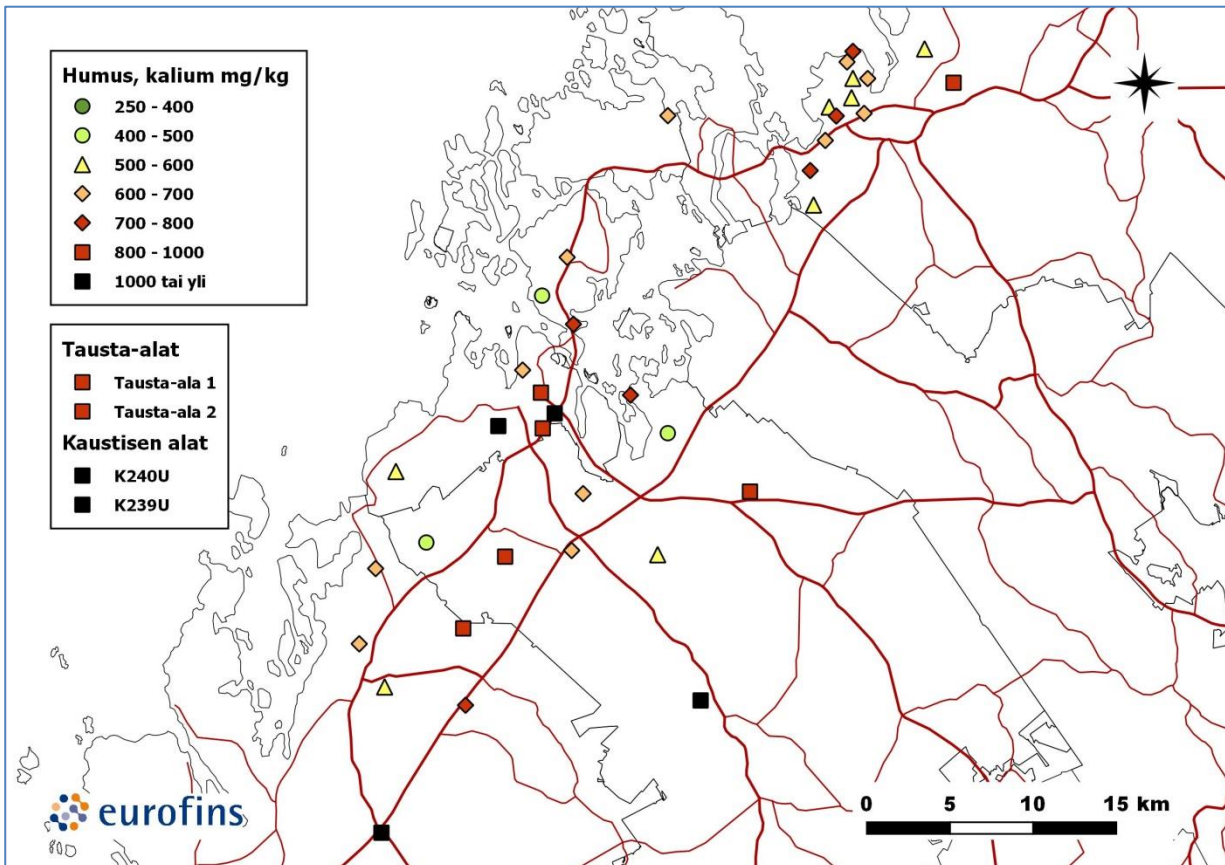
Kuva 4-59.2 Humuksen kuparipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



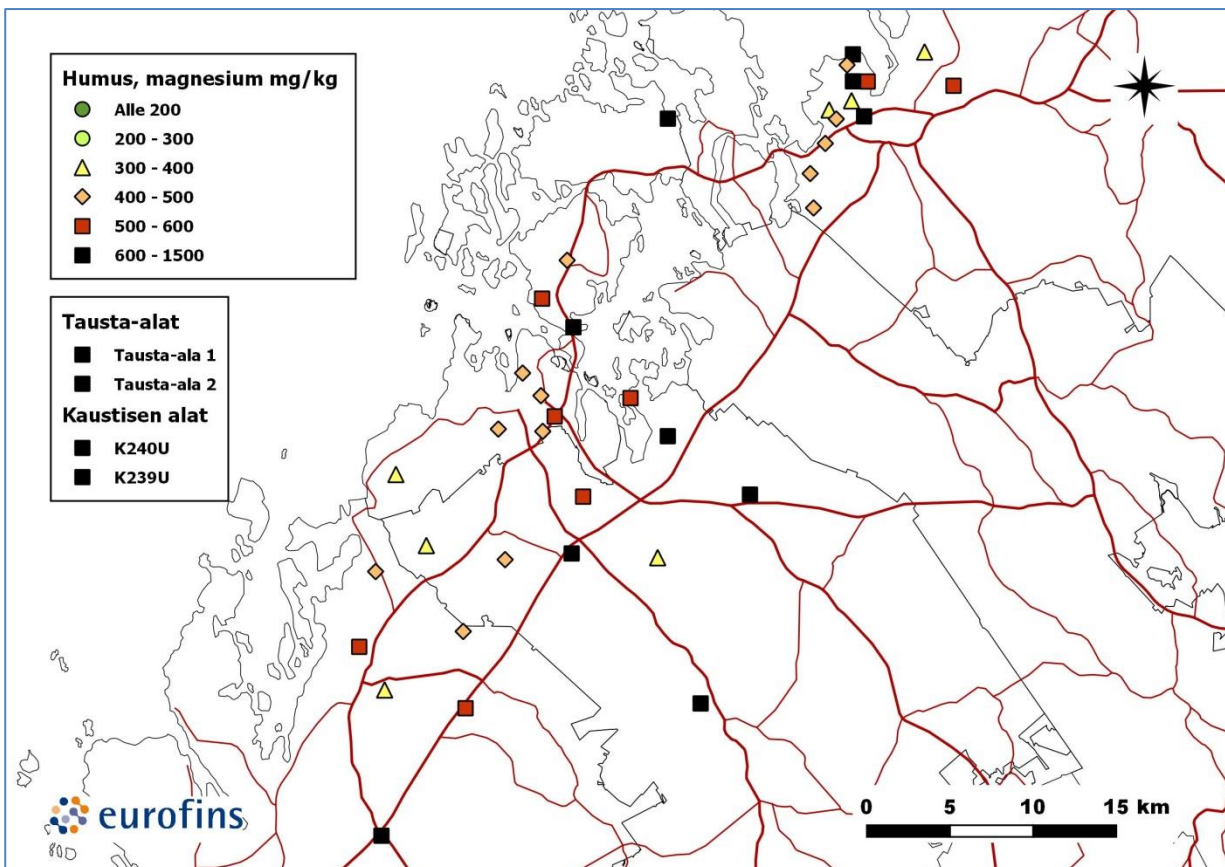
Kuva 4-60. Humuksen rautapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



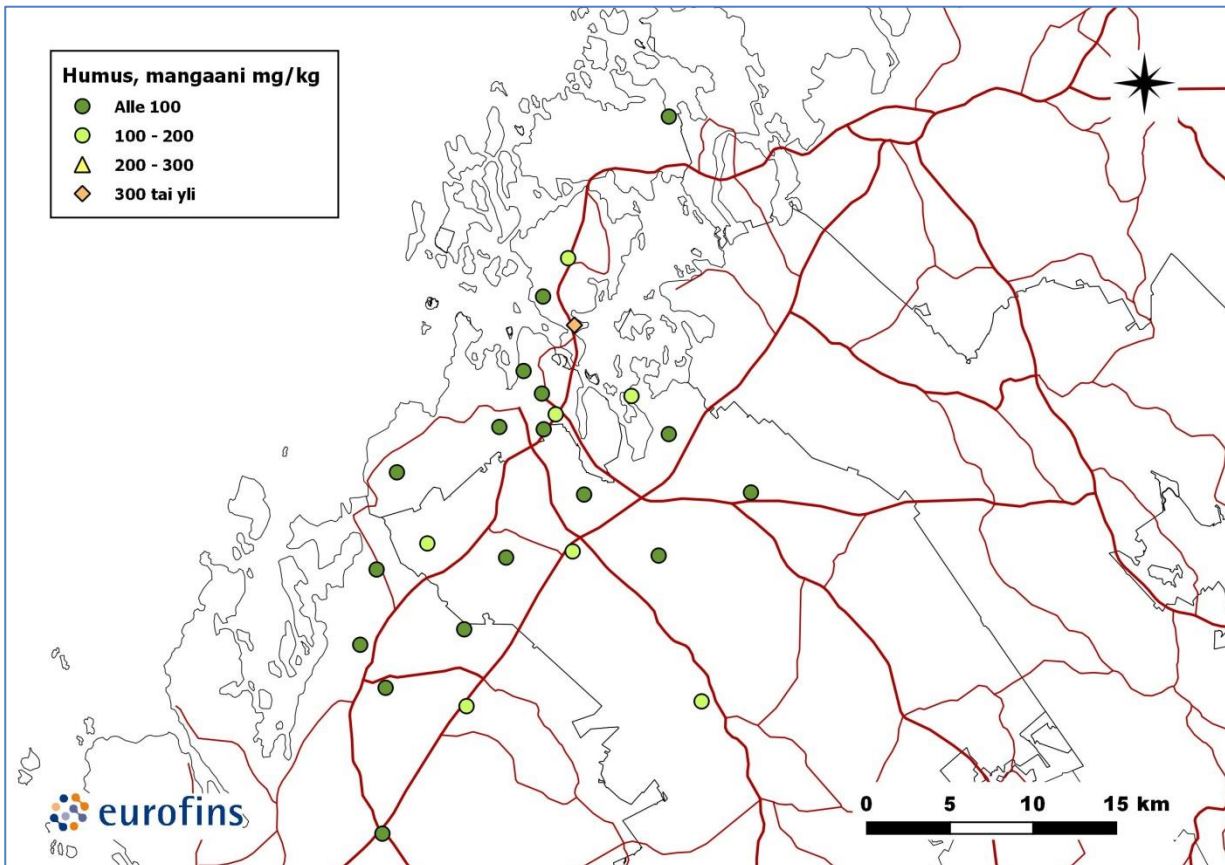
Kuva 4-61. Humuksen elohopeapitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



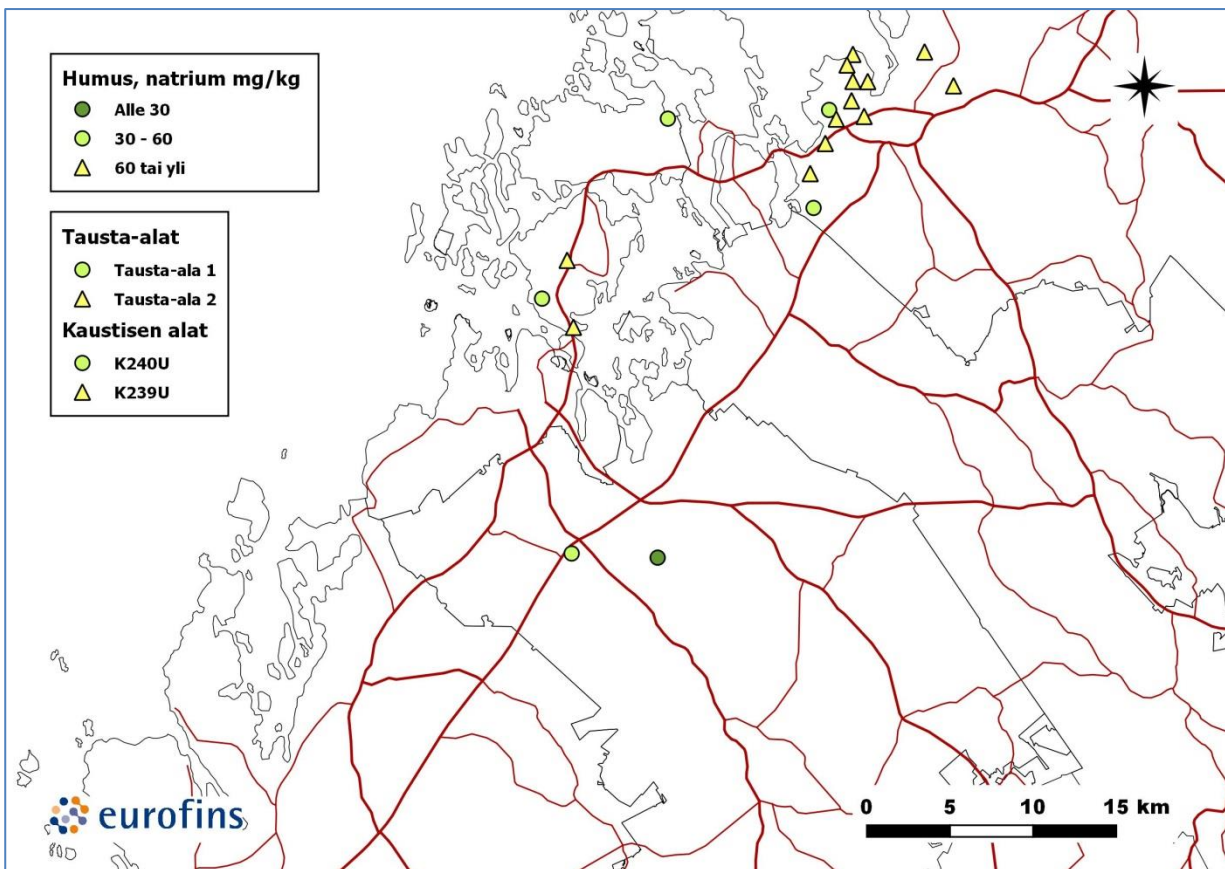
Kuva 4-62. Humuksen kaliumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



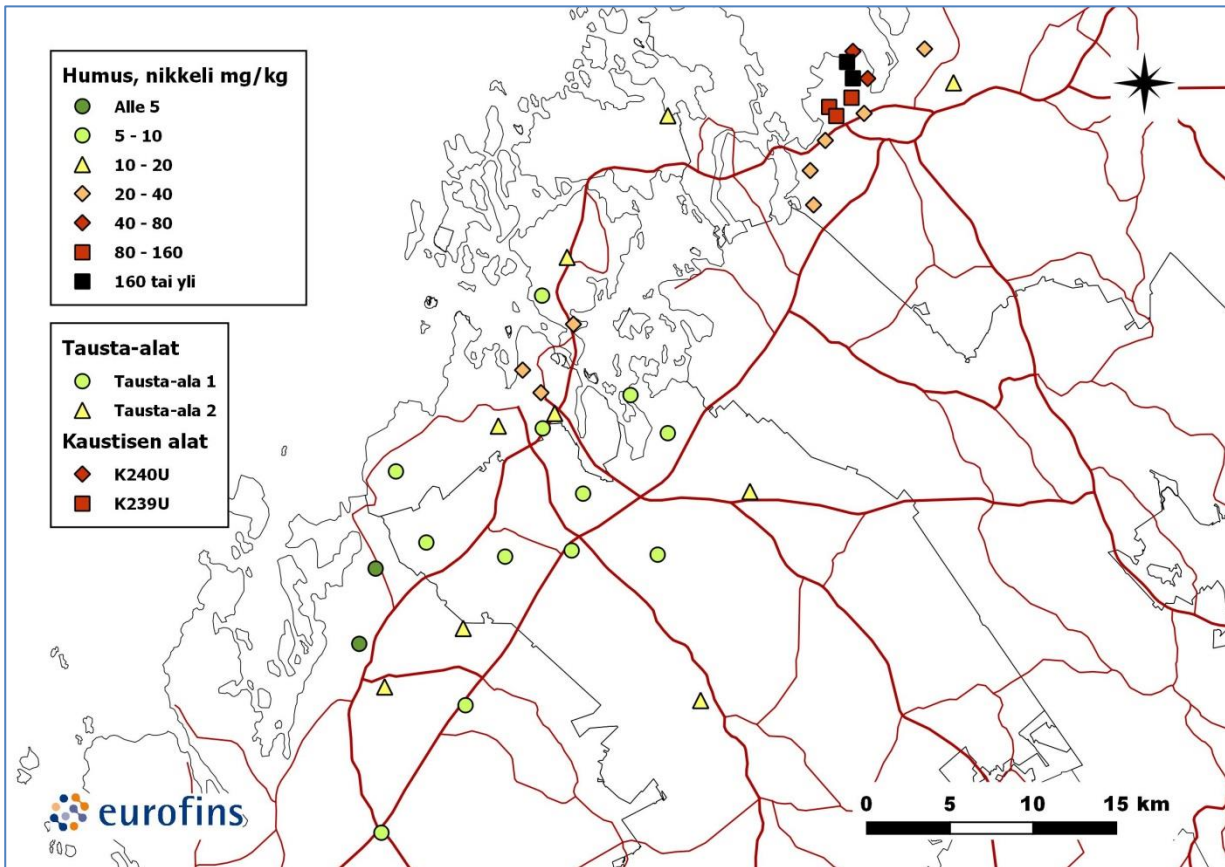
Kuva 4-63. Humuksen magnesiumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



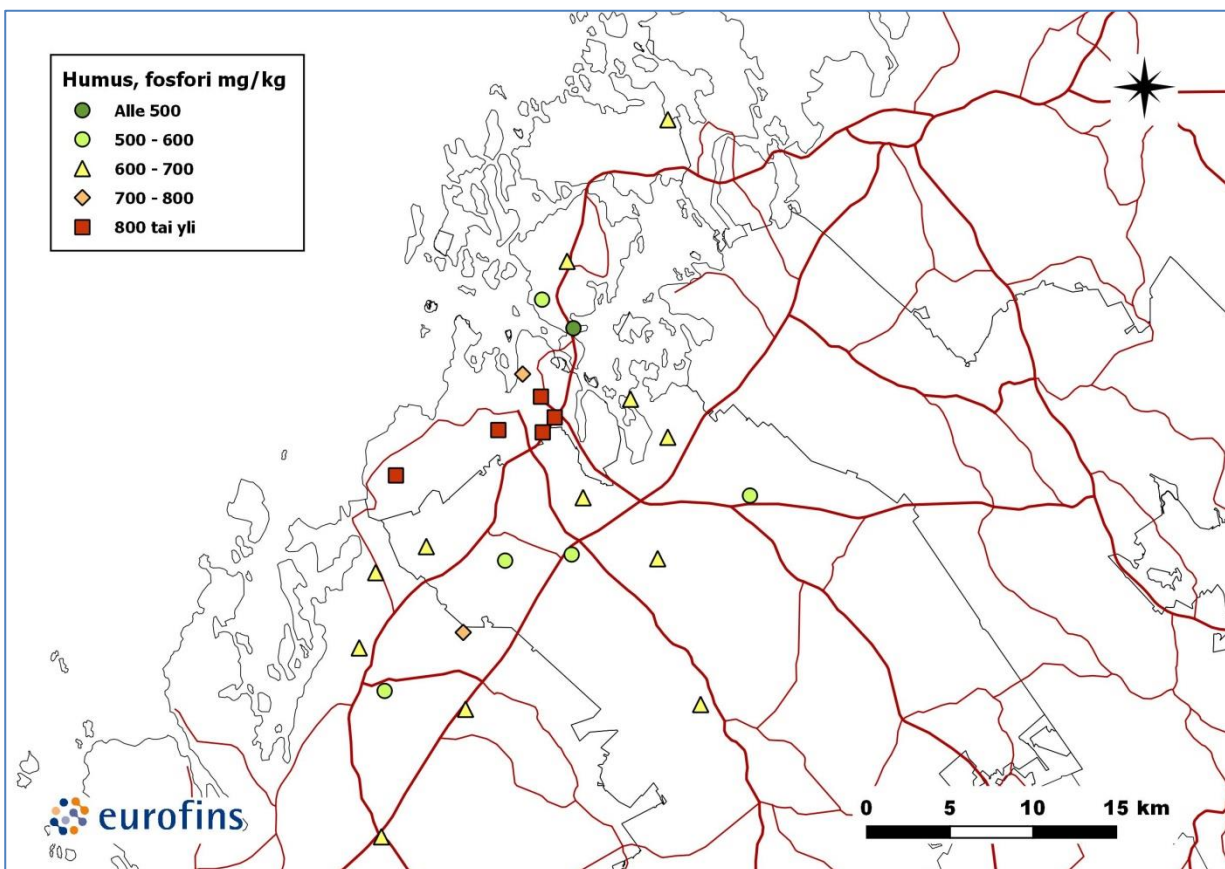
Kuva 4-64. Humuksen mangaanipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



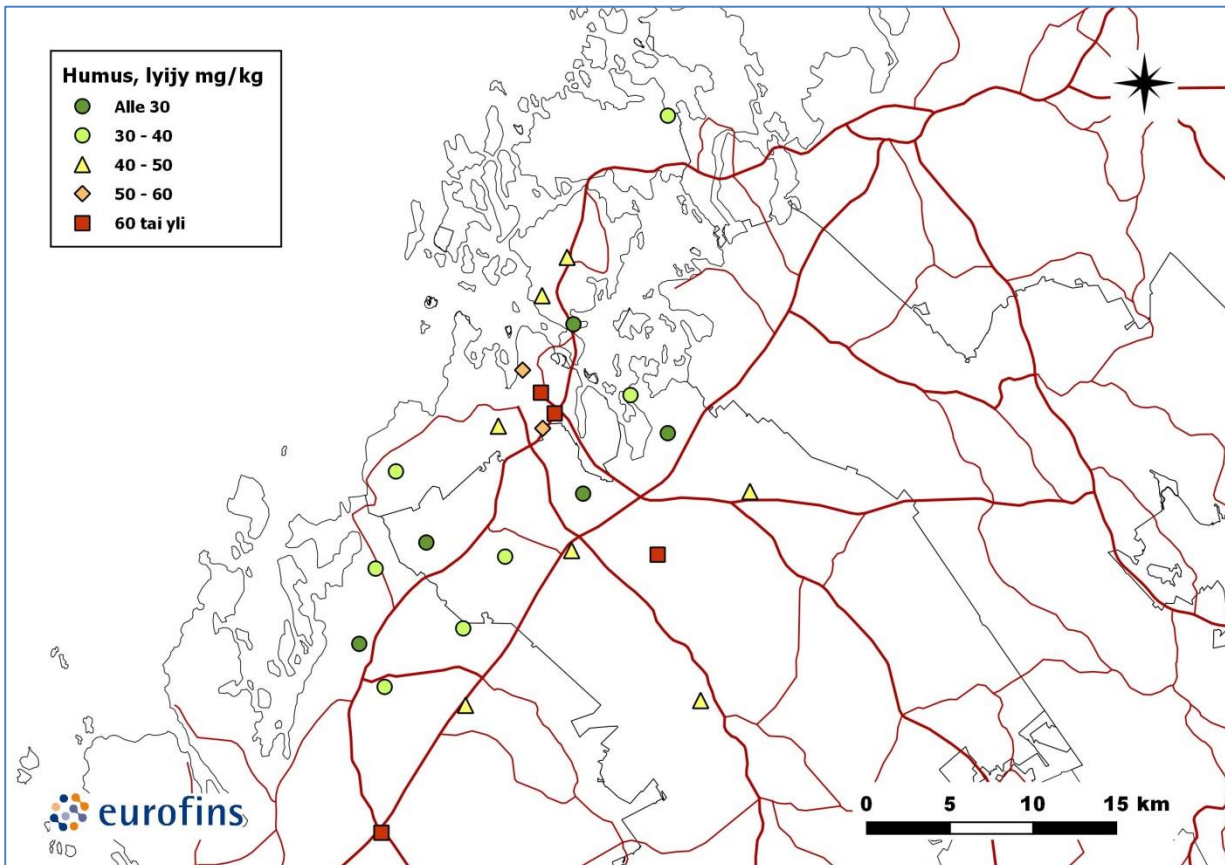
Kuva 4-65. Humuksen natriumpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



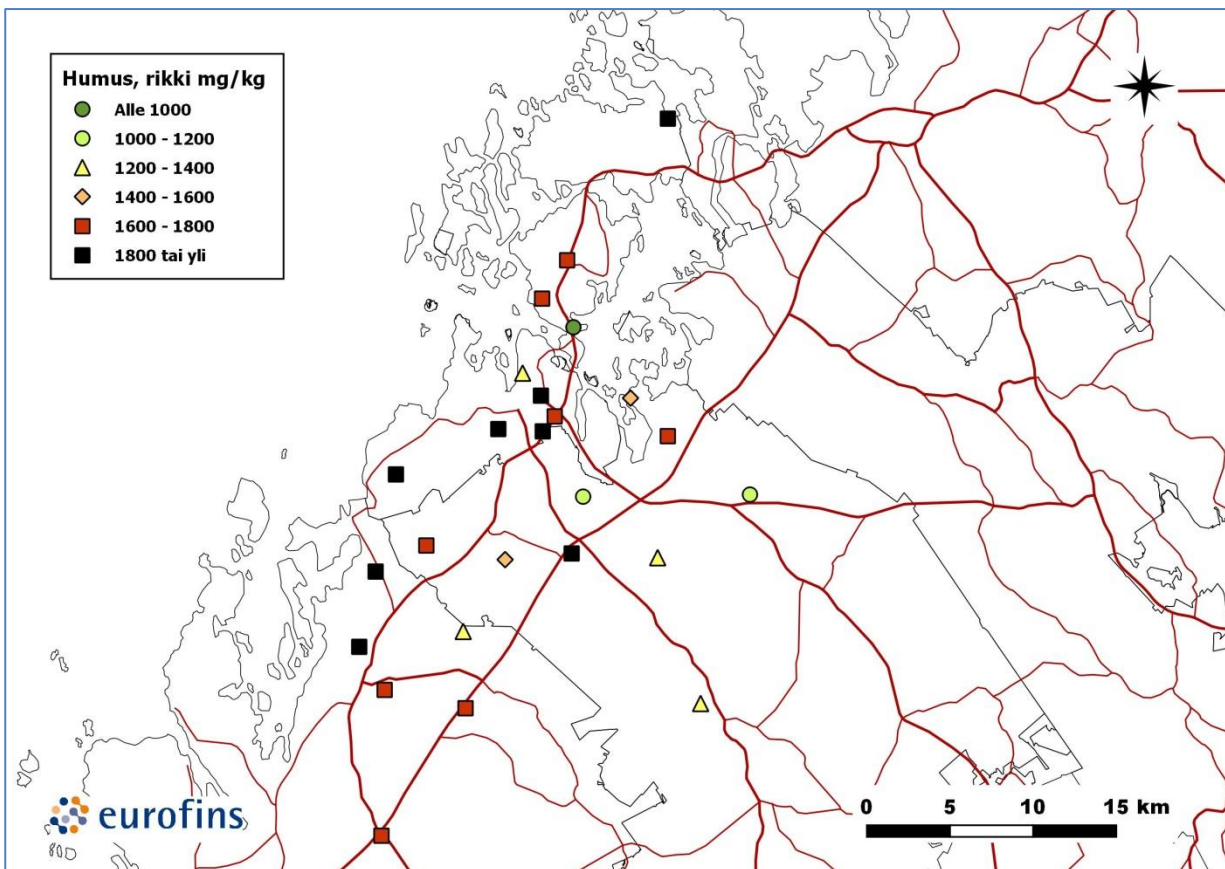
Kuva 4-66. Humuksen nikkelpitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



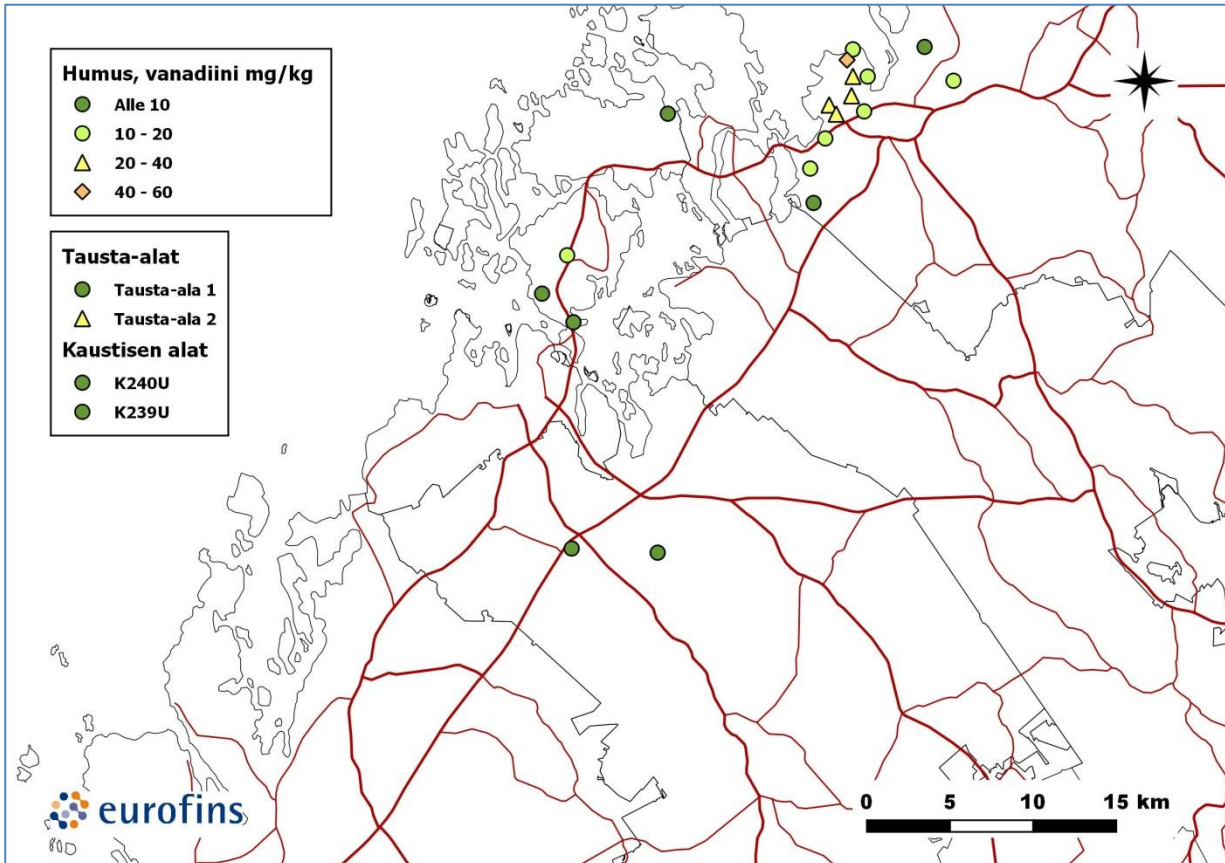
Kuva 4-67. Humuksen fosforipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



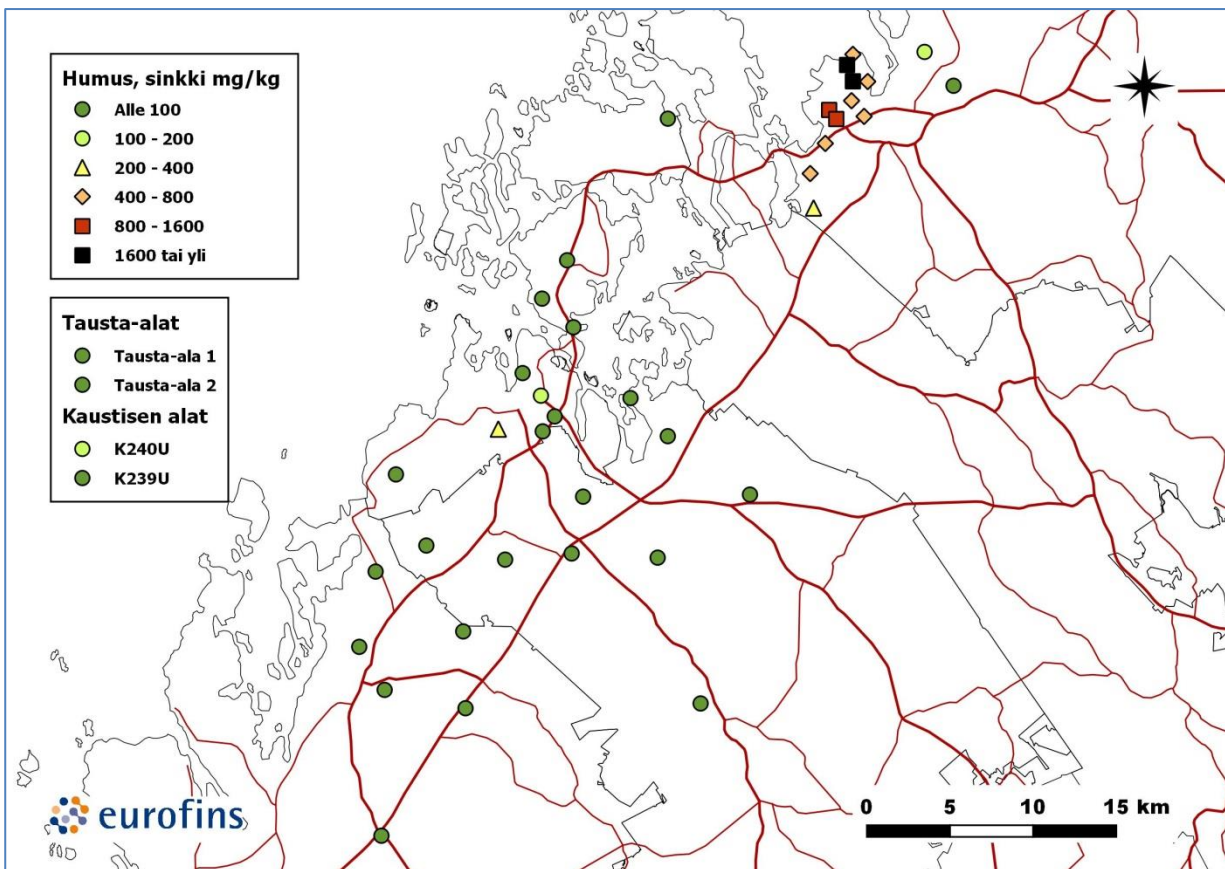
Kuva 4-68. Humuksen lyijypitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



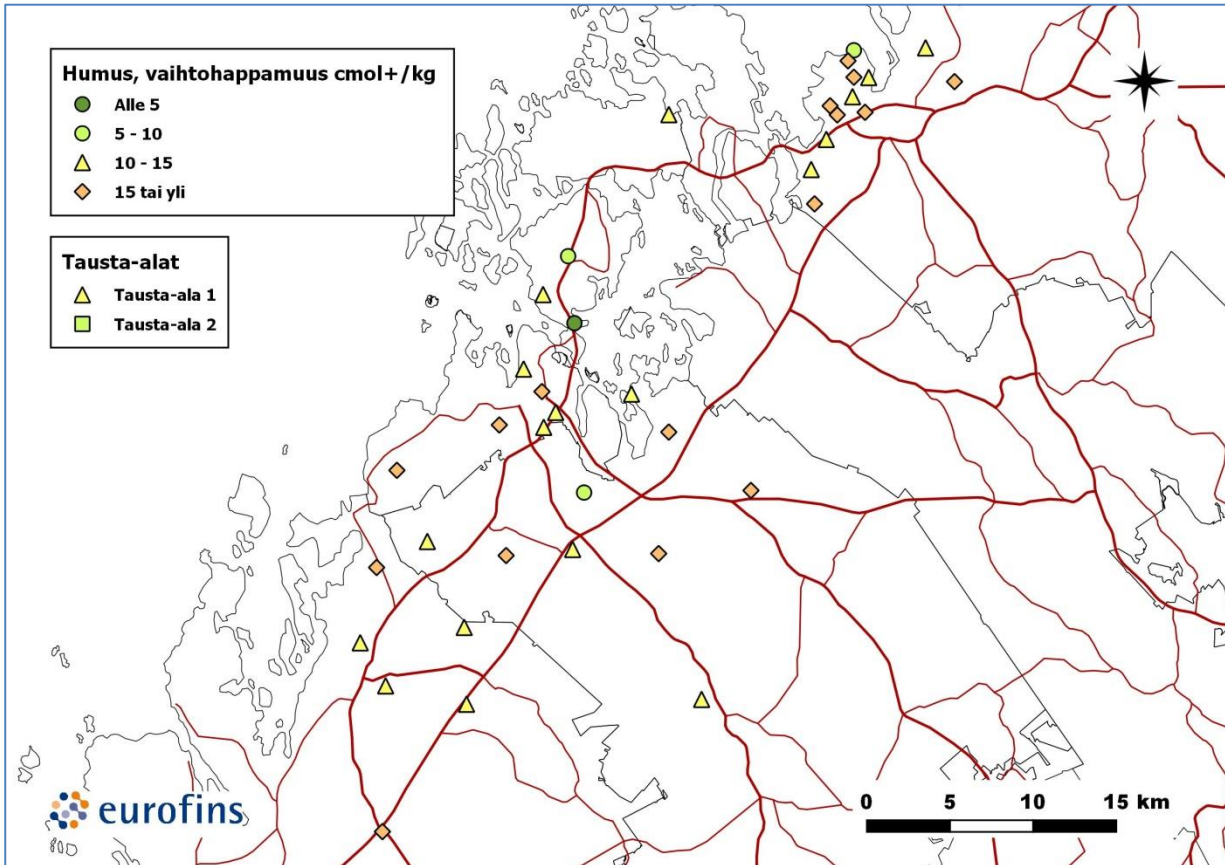
Kuva 4-69. Humuksen rikkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



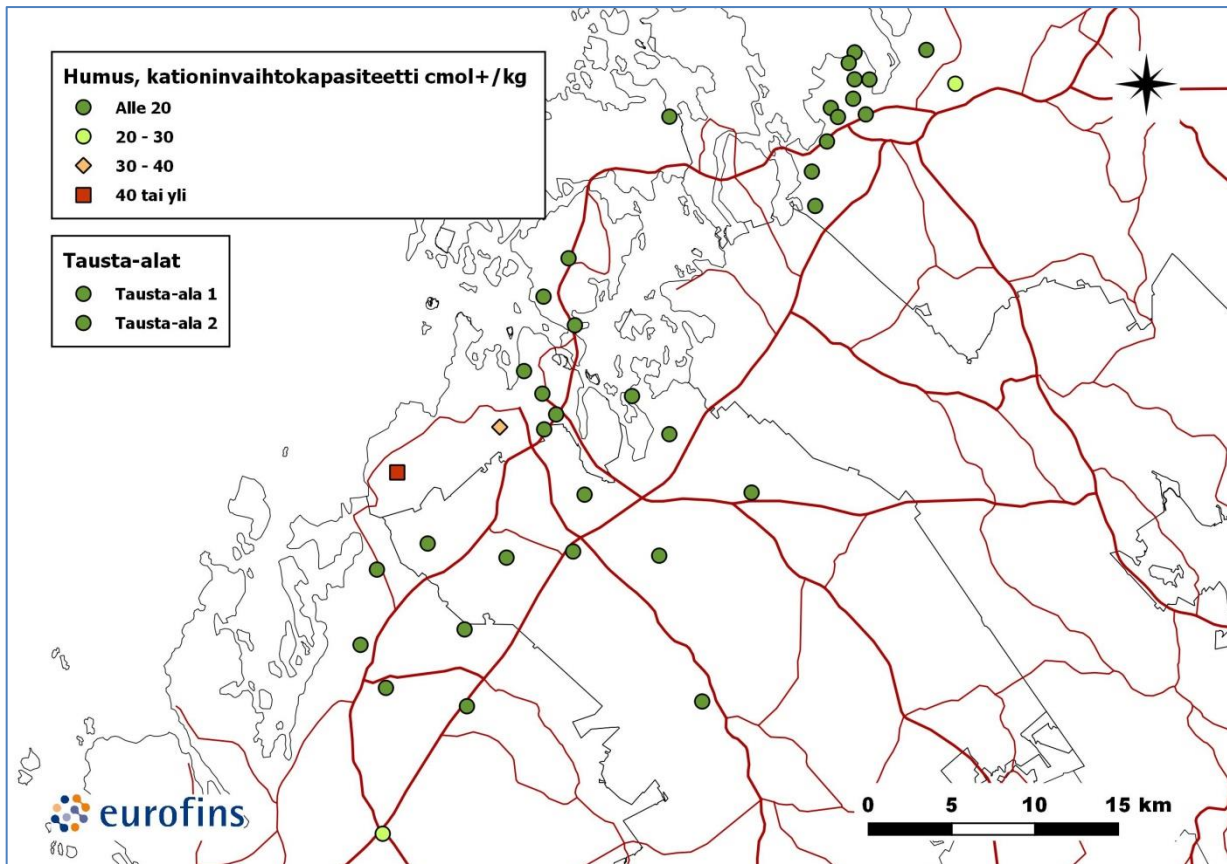
Kuva 4-70. Humuksen vanadiinipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-71. Humuksen sinkkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-72. Humuksen vaihtohappamus tutkimusaloilla vuonna 2018.



Kuva 4-73. Humuksen kationinvaihtokapasiteetti tutkimusaloilla vuonna 2018.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tässä luvussa tarkastellaan saatuja tuloksia, tuloksiin vaikuttaneita tekijöitä ja tulosten välillä havaittavaa yhteisvaihtelua tilastollisten menetelmien avulla.

5.1 Jäkälämuuttujien tilastollinen tarkastelu

Tutkimusalan luonnonolosuhteita kuvaavilla muuttujilla ja ilmanlaatua ja päästölähteitä kuvaavilla muuttujilla on todettu olevan tilastollisesti merkitsevä yhteys jäkäläindikaattoreihin useissa Suomessa toteutetuissa ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa (esim. Lehkonen ym. 2013, Lehkonen ym. 2012, Huuskonen ym. 2010, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b). 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 ja ei-parametrisellä Mann-Whitneyn U-testillä. Tilastollisten analyysien tulokset kertovat, eroavatko eri luokkien varianssit toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Tarkastellut luokitellut muuttujat olivat metsikön soveltuvuus, metsätyyppi ja kehitysluokka, sijoittuminen alle 1 km, alle 2 km ja alle 5 km etäisyyksille lupavelvollisesta päästölähteestä sekä lähimmän päästölähteen toimialat (Taulukko 5-1). Tarkasteluissa mukana olleet päästölähteet on esitetty luvussa 2 (Kuva 2-4, Kuva 2-5).

Taulukko 5-1. Taustamuuttujien suhteen tarkasteltujen jäkälämuuttujien Kruskal-Wallisn varianssianalyysin (muut) ja Mann-Whitneyn U-testin (kehitysluokka) 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	< 1km	< 2km	< 5km	Lähimmän päästölähteen toimiala
IAP	0,000***	0,490	0,096	0,000***	0,000***	0,002**	0,000***
Lajilukumäärä/ala	0,000***	0,998	0,132	0,000***	0,001**	0,008**	0,005**
Lajilukumäärä/puu	0,000***	0,410	0,131	0,000***	0,000***	0,002**	0,000***
Sormipaisukarpeen vaurioaste	0,031*	0,282	0,106	0,000***	0,000***	0,000***	0,003**
Yleinen vaurioaste	0,001**	0,432	0,076	0,000***	0,000***	0,009**	0,012*
Levän yleisyys	0,000***	0,423	0,093	0,000***	0,000***	0,005**	0,000**
Sormipaisukarpeen peittävyys	0,226	0,421	0,738	0,000***	0,000***	0,018*	0,001**
Luppojen peittävyys	0,111	0,035*	0,621	0,004**	0,01**	0,001**	0,062

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 metsätyypillä oli vaikutusta IAP-indeksiin, lajilukumäärien, sormipaisukarpeen vaurioasteen, runkojäkälälajien yleisen vaurioasteen ja levän yleisyyden jakaumiin. Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävydet olivat ainoat tarkastellut jäkälämuuttujat, joihin metsätyyppi ei vaikuttanut. Lajilukumäärä oli suurempi ja täten myös IAP-indeksiin arvo keskimäärin korkeampi karummissa metsätyypeissä (CT, VT) verrattuna rehevämpiin metsätyyppeihin (MT, OMT). Sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste olivat pienempiä karummilla metsätyypeillä verrattuna rehevämpiin metsätyyppeihin. Sormipaisukarpeen peittävyys sitä vastoin oli hieman suurempi rehevämmillä kasvupaikoilla, samoin levä oli yleisempää rehevämmillä kasvupaikoilla kuin karuilla. Luppojen peittävyys oli korkeampi karumman metsätyypin kasvualoilla.

Muuttujien jakaumaan metsätyypin suhteen vaikuttaa myös se, että rehevämpien metsätyyppien alat sijoittuvat useammin päästölähteiden läheisyyteen kuin karujen metsätyyppien alat. Tämä johtuu siitä, että tutkimusalaverkoston ollessa tiheämpi päästölähteiden lähellä ei näillä alueilla ole yhtä paljon mahdollisuuksia alan valintaan jäkälälajiston optimaalisten kasvuolosuhteiden kannalta, ja päästölähteiden lähellä joudutaan vähäisen valinnanvaran vuoksi tekemään kompromisseja alan soveltuvuuden 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. Metsän kehitysluokalla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus luppojen peittävyyteen. Lupot olivat yleisempiä kypsissä metsissä kuin varttuneissa metsissä.

Metsikön **soveltuvuus** jäkäläkartoitukseen on tutkijan subjektiivinen kokonaisarvio siitä, kuinka hyvät kasvuolosuhteet tutkimusalueella vallitsevat männyn runkojäkälien kannalta. Jäkäläkasvuolosuhteita huonontavat liika varjoisuus, paahteisuus tai epäsuotuisat mikroilmastolliset tekijät, ja niitä arvioidaan puuston iän, puulajisuhteiden, metsätypin, puuston pohjapinta-alan ja pituuden perusteella. Havaintoalan soveltuvuus on havainnoijan subjektiivinen arvio siitä, kuinka paljon nämä tekijät vaikuttavat jäkälien kasvuolosuhteisiin. Soveltuvuudeltaan hyväksi luokitellussa metsikössä taustamuuttujien vaikutus oletetaan vähäiseksi, soveltuvuudeltaan kohtalaisessa metsikössä taustamuuttujilla on havaittavaa vaikutusta jäkäliin, ja soveltuvuudeltaan huonossa metsikössä taustamuuttujien vaikutus on suuri. Metsikön soveltuvuudella ei tässä tutkimuksessa ollut vaikutusta jäkälämuuttujiin. Muuttujien jakautumiseen soveltuvuuden suhteen vaikuttaa sama asia kuin metsätypinkin suhteen, eli päästölähteiden läheisyydessä alat ovat useammin soveltuvuudeltaan kohtalaisia tai huonoja kuin kauempana niistä.

Alan sijoittumisella alle 1 km, alle 2 km tai alle 5 km etäisyydelle lupavelvollisesta päästölähteestä oli vaikutusta kaikissa etäisyysluokissa IAP-indeksiin, lajilukumääriin, vaurioihin, levän yleisyyteen sekä sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyysiin (Taulukko 5-1). Tutkimusalan sijoittuminen päästölähteen puskurille kaikilla etäisyyksillä (sekä alle 1 km, alle 2 km että alle 5 km etäisyydellä päästölähteestä) huononsi IAP-indeksiä, laski lajilukumäärää, lisäsi jäkälien vaurioastetta, lisäsi levän esiintymisen yleisyyttä sekä pienensi sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyysä (Taulukko 5-2). Pääosa tutkimusaloista sijoittui alle 5 km etäisyydelle jostakin tarkastellusta päästölähteestä, ja lähes 30 % aloista sijoittui alle 1 km etäisyydelle lähimmästä päästölähteestä (Taulukko 5-2).

Lähimmän päästölähteen toimialalla oli tilastollisesti merkitsevä yhteys IAP-indeksiin, lajilukumääriin, vaurioihin, levän määrään ja sormipaisukarpeen peittävyyteen. Vain luppojen peittävyyteen ei lähimmän päästölähteen toimialalla ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä (Taulukko 5-3).

Näin tarkasteltuna selvin vaikutus jäkälämuuttujiin oli energiantuotannolla, ympäristöpalvelutoiminnalla (jätevedenkäsittely, kaatopaikat, maankaatopaikat), maa-ainestoiminnalla (mineraalituotteiden valmistus, kivenlouhinta, murskaamot, asfalttiasemat, kalkkikiven jauhatus), teollisuudella (metalliteollisuus, kemianteollisuus, metsäteollisuus, elintarvikkeiden ja rehujen valmistus, satamat ja pienteollisuusalueet) ja turkistarhoilla. Kun tutkimusalan lähimmän päästölähteen toimiala oli joku näistä, tutkimusaloilla havaittu lajisto oli köyhempää (IAP-indeksi ja lajilukumäärät) ja jäkälät olivat vaurioituneempia, kuin alueella keskimäärin. Myös turvetuotannon läheisyydessä havaittiin yleisen vaurioasteen perusteella keskimääräistä vaurioituneempaa jäkälälajistoa. Sormipaisukarpeen peittävyudet olivat keskimääräistä matalammat, kun tutkimusalan lähimmän päästölähteen toimiala oli eläinsuojat (nauta, sika), turkistarhat tai teollisuus.

Myös levän esiintyminen oli tavallisempaa energiatuotantolaitosten, teollisuuden ja turkistarhojen läheisyydessä.

Teollisuuslaitosten ryhmän (metalliteollisuus, kemianteollisuus, metsäteollisuus, elintarvikkeiden ja rehujen valmistus, satamat ja pienteollisuusalueet) heterogeenisuus on todennäköisesti jonkin verran vaikuttanut tuloksiin, ja osalla ryhmään kuuluvista laitoksista on suurempi heikentävä vaikutus jäkälämuuttujiin kuin toisilla.

Taulukko 5-2. Jäkälätunnusten keskiarvot sekä pienimmät ja suurimmat arvot laskettuna sen mukaan, sijaitsivatko tutkimusalat tarkasteluetaisyyttä lähempänä vai kauempana päästölähteestä. Tarkasteluetaisyyksinä käytettiin 1 km, 2 km ja 5 km etäisyyksiä. Ei = tutkimusala sijaitsee tarkasteluetaisyyttä kauempana päästölähteestä, kyllä = tutkimusala sijaitsee tarkasteluetaisyyttä lähempänä päästölähdettä.

	N =	< 1 km		< 2 km		< 5 km	
		ei 170	kyllä 69	ei 90	kyllä 146	ei 13	kyllä 223
IAP-indeksi	Keskiarvo	1,797	1,190	1,897	1,456	2,167	1,591
	Pienin	0,394	0	0,394	0	1,517	0
	Suurin	3,314	2,519	3,196	3,314	3,176	3,314
Lajilukumäärä/ala	Keskiarvo	4,459	3,058	4,678	3,678	5,308	3,982
	Pienin	2	0	2	0	3	0
	Suurin	8	7	8	8	8	8
Lajilukumäärä/puu	Keskiarvo	3,445	2,348	3,616	2,834	4,077	3,073
	Pienin	0,8	0	0,8	0	3	0
	Suurin	6	4,6	5,8	6	5,8	6
Sormipaisukarpeen vaurioaste	Keskiarvo	2,280	3,247	2,072	2,854	1,654	2,612
	Pienin	1,1	1,5	1,1	1,1	1,1	1,1
	Suurin	5	5	5	5	2,2	5
Yleinen vaurioaste	Keskiarvo	3,598	4,093	3,482	3,897	3,269	3,768
	Pienin	1	2,1	1	2	1,8	1
	Suurin	4,7	5	4,7	5	4	5
Levän yleisyys	Keskiarvo	1,359	3,232	0,889	2,510	0,385	1,987
	Pienin	0	0	0	0	0	0
	Suurin	5	5	5	5	5	5
Sormipaisukarpeen peittävyys	Keskiarvo	9,086	6,039	10,462	6,844	15,615	7,781
	Pienin	0	0	0	0	1,1	0
	Suurin	49,1	50,8	49,1	50,8	49,1	50,8
Luppojen peittävyys	Keskiarvo	0,061	0,000	0,107	0,005	0,162	0,036
	Pienin	0	0	0	0	0	0
	Suurin	3,5	0	3,5	0,2	1,3	3,5

Taulukko 5-3. Jäkälätunnukset koko alueella sekä luokiteltuna lähimmän päästölähteen toimialan mukaan.

		Koko alue 240	Eläin- suojat 47	Energian- tuotanto 8	Maa-ainestoiminta 19	Teollisuus 36	Turkis- tarhat 54	Turve- tuotanto 7	VOC 34	Ympäristö- palvelutoiminta 21
IAP-indeksi	Keskiarvo	1,60	1,81	1,33	1,54	1,53	1,49	1,86	1,70	1,34
	Pienin	0	0,39	0,60	0,69	0,69	0,00	1,73	0,39	0,00
	Suurin	3,3	3,20	2,23	3,12	2,96	3,19	2,05	3,31	2,48
Lajilukumäärä/ala	Keskiarvo	4,10	4,45	3,25	3,74	3,97	3,76	4,29	4,29	3,43
	Pienin	0	2	2	2	2	0	4	2	0
	Suurin	8	8	6	8	8	8	5	8	7
Lajilukumäärä/puu	Keskiarvo	3,10	3,47	2,63	2,98	2,97	2,87	3,63	3,27	2,62
	Pienin	0	0,8	1,2	1,4	1,4	0	3,4	0,8	0
	Suurin	6	5,8	4,2	5,6	5,4	5,8	4	6	4,6
Sormipaisukarpeen vaurioaste	Keskiarvo	2,60	2,56	2,75	2,20	2,68	3,07	2,20	2,15	2,63
	Pienin	1,1	1,2	1,8	1,2	1,2	1,4	1,5	1,1	1,2
	Suurin	5	5	4,3	4	4,8	5	2,9	4,9	5
Yleinen vaurioaste	Keskiarvo	3,70	3,64	4,01	3,73	3,75	3,92	3,91	3,56	3,92
	Pienin	1	1,5	3,6	2,4	2,1	2,1	3,4	1	2,6
	Suurin	5	4,7	4,4	4	4,5	5	4	4,7	5
Levän yleisyys	Keskiarvo	1,90	1,83	2,63	1,42	2,72	2,65	0,00	1,00	1,90
	Pienin	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Suurin	5	5	5	5	5	5	0	5	5
Sormipaisukarpeen peittävyys	Keskiarvo	8,20	5,36	8,28	12,53	7,46	5,72	12,01	10,51	8,74
	Pienin	0	0	0,2	0,1	0	0	3,2	0	0
	Suurin	50,8	23,5	39,6	39,8	33,2	32,2	22,6	50,8	33,3
Luppojen peittävyys	Keskiarvo	0,04	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,12	0
	Pienin	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Suurin	3,5	0,4	0	0,2	0,2	1,9	0	3,5	0

5.1.2 Regressioanalyysit

Regressioanalyysin avulla tutkittiin taustamuuttujien vaikutusta seitsemään muuttujaan, joiden oletetaan kuvaavan ilmanlaatua: IAP-indeksiin, ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lajilukumäärään tutkimusalalla, sormipaisukarpeen vaurioasteeseen, runkojäkälälajien yleiseen vaurioasteeseen, levän yleisyyteen, sormipaisukarpeen peittävyys ja luppojen peittävyys (Taulukko 5-4 – Taulukko 5-10). Yhteenveto regressioanalyysien tuloksista on esitetty taulukossa (Taulukko 5-11).

Taulukko 5-4. Ilmanpuhtausindeksille IAP 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 (***) tähdellä.**

IAP-indeksi (r ² = 31 %)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys
Vakio	2,809	0,408		6,891	0,000 ***
Puuston ikä	0,007	0,002	0,246	3,885	0,000 ***
Puuston pituus (m)	-0,035	0,013	-0,181	-2,612	0,010 *
Puuston halkaisija (cm)	-0,034	0,012	-0,196	-2,793	0,006 **
Puuston pohjapinta-ala	-0,006	0,007	-0,053	-0,863	0,389
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-3,14E-05	0,000	-0,124	-1,856	0,065
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	2,84E-05	0,000	0,335	4,169	0,000 ***
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	-1,11E-05	0,000	-0,121	-0,972	0,332
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	8,75E-06	0,000	0,069	0,558	0,577
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	4,31E-05	0,000	0,283	3,518	0,001 **
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-8,12E-06	0,000	-0,143	-1,848	0,066
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	5,67E-07	0,000	0,006	0,054	0,957
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-1,54E-05	0,000	-0,132	-1,696	0,091

Taulukko 5-5. Tutkimusalakohtaiselle 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 (***) tähdellä.**

Lajilukumäärä/ala (r ² = 26 %)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys
Vakio	6,201	1,063		5,835	0,0 ***
Puuston ikä	0,018	0,005	0,255	3,899	0,0 ***
Puuston pituus (m)	-0,091	0,035	-0,186	-2,594	0,010 **
Puuston halkaisija (cm)	-0,063	0,032	-0,145	-2,006	0,046 *
Puuston pohjapinta-ala	-0,015	0,017	-0,056	-0,888	0,375
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-9,13E-05	0,000	-0,142	-2,067	0,040 *
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	5,90E-05	0,000	0,275	3,321	0,001 **
Etäisyys lähimpään maa-ainestoimintaan	-6,08E-06	0,000	-0,026	-0,204	0,839
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	1,23E-05	0,000	0,038	0,301	0,764
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	9,98E-05	0,000	0,259	3,122	0,002 **
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-9,60E-06	0,000	-0,067	-0,837	0,403
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	-1,05E-05	0,000	-0,044	-0,383	0,702
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-3,08E-05	0,000	-0,104	-1,302	0,194

Taulukko 5-6. 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 (***) tähdellä.**

Sormipaisukarpeen vaurioaste (r ² = 33 %)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys
Vakio	2,849	0,670		4,251	0,000 ***
Puuston ikä	-0,004	0,003	-0,091	-1,453	0,148
Puuston pituus (m)	-0,046	0,022	-0,141	-2,061	0,040 *
Puuston halkaisija (cm)	0,051	0,020	0,176	2,546	0,012 *
Puuston pohjapinta-ala	0,007	0,011	0,04	0,662	0,509
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-3,17E-06	0,000	-0,007	-0,114	0,910
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	-3,20E-05	0,000	-0,226	-2,855	0,005 **
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	9,90E-06	0,000	0,065	0,526	0,599
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-5,59E-05	0,000	-0,263	-2,171	0,031 *
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-9,03E-05	0,000	-0,355	-4,481	0,000 ***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-4,82E-06	0,000	-0,051	-0,667	0,505
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	4,81E-06	0,000	0,03	0,278	0,781
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	6,66E-05	0,000	0,342	4,469	0,000 ***

Taulukko 5-7. 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 (***) tähdellä.**

Yleinen vaurioaste (r ² = 29 %)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys
Vakio	3,201	0,414		7,741	0,000 ***
Puuston ikä	-0,006	0,002	-0,216	-3,375	0,001 **
Puuston pituus (m)	0,020	0,014	0,101	1,445	0,150
Puuston halkaisija (cm)	0,028	0,012	0,163	2,306	0,022 *
Puuston pohjapinta-ala	0,011	0,007	0,097	1,578	0,116
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	3,12E-05	0,000	0,122	1,818	0,070
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	-1,57E-05	0,000	-0,184	-2,267	0,024 *
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	1,17E-05	0,000	0,127	1,010	0,313
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-2,16E-05	0,000	-0,169	-1,358	0,176
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-4,96E-05	0,000	-0,324	-3,991	0,000 ***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-5,74E-06	0,000	-0,100	-1,288	0,199
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	-4,85E-06	0,000	-0,051	-0,454	0,650
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	2,57E-05	0,000	0,220	2,798	0,006 **

Taulukko 5-8. 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 (***) tähdellä.**

Levän esiintyminen (r ² = 37 %)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys
Vakio	-0,257	1,372		-0,187	0,852
Puuston ikä	-0,023	0,006	-0,240	-3,954	0,000 ***
Puuston pituus (m)	-0,015	0,045	-0,023	-0,340	0,734
Puuston halkaisija (cm)	0,140	0,041	0,230	3,429	0,001 **
Puuston pohjapinta-ala	0,044	0,022	0,114	1,947	0,053
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-2,56E-05	0,000	-0,029	-0,449	0,654
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	-5,81E-05	0,000	-0,194	-2,530	0,012 *
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	1,19E-05	0,000	0,037	0,310	0,757
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-8,59E-05	0,000	-0,191	-1,630	0,105
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	0,00	0,000	-0,351	-4,570	0,000 ***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	3,25E-05	0,000	0,162	2,194	0,029 *
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	-1,96E-06	0,000	-0,006	-0,055	0,956
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	0,00	0,000	0,264	3,566	0,000 ***

Taulukko 5-9. 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 (***) tähdellä.**

Sormipaisukarpeen peittävyys (r ² = 26 %)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys
Vakio	0,45	6,814		0,066	0,947
Puuston ikä	-0,119	0,029	-0,270	-4,110	0,000 ***
Puuston pituus (m)	0,198	0,225	0,063	0,881	0,379
Puuston halkaisija (cm)	0,077	0,203	0,028	0,381	0,704
Puuston pohjapinta-ala	-0,084	0,111	-0,048	-0,752	0,453
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	0,001	0,000	0,276	3,993	0,000 ***
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	-9,41E-05	0,000	-0,069	-0,826	0,410
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	-1,61E-05	0,000	-0,011	-0,084	0,933
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	0,00	0,000	0,056	0,436	0,663
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	0,00	0,000	0,085	1,023	0,307
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	0,00	0,000	0,325	4,069	0,000 ***
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	0,00	0,000	0,115	0,999	0,319
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	0,00	0,000	-0,110	-1,364	0,174

Taulukko 5-10. 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 (***) tähdellä.**

Luppojen peittävyys (r ² = 9 %)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys
Vakio	0,018	0,207		0,088	0,930
Puuston ikä	0,002	0,001	0,140	1,931	0,055
Puuston pituus (m)	0,00	0,007	0,003	0,044	0,965
Puuston halkaisija (cm)	-0,012	0,006	-0,155	-1,928	0,055
Puuston pohjapinta-ala	-0,001	0,003	-0,014	-0,198	0,843
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	5,29E-07	0,000	0,005	0,062	0,951
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	1,24E-06	0,000	0,033	0,358	0,721
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	-1,05E-06	0,000	-0,026	-0,181	0,856
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-3,20E-06	0,000	-0,057	-0,403	0,687
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	1,16E-05	0,000	0,172	1,871	0,063
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	4,56E-06	0,000	0,180	2,043	0,042 *
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	6,64E-06	0,000	0,158	1,244	0,215
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-5,19E-07	0,000	-0,010	-0,113	0,910

Jäkälämuuttujien regressiomallin selitysasteet vaihtelivat välillä 9–37 % (Taulukko 5-11). Huonoin selitysaste oli luppojen peittävyydellä. Parhaiten regressiomalli selitti lajiyhteisöä kuvaavaa IAP-indeksiä, sormipaisukarpeen vaurioastetta ja levän esiintymistä. Alan luontaista vaihtelua kuvaavista tekijöistä selvin yhteys tutkittuihin jäkälämuuttujiin oli puuston iällä, joka selitti viiden jäkälämuuttujan vaihtelua. Jäkälälajisto monipuolistui ja jäkälän yleinen vaurioituneisuus väheni, levän esiintyminen väheni ja sormipaisukarpeen peittävyys pieneni vanhemmissa metsiköissä. Puuston pituuden lisääntyessä oli kuitenkin havaittavissa jäkälälajiston vähenemistä, minkä lisäksi sormipaisukarpeen vaurioituneisuus väheni. Tutkimuspuiden runkojen paksuuden (halkaisija) kasvaessa jäkälälajistossa esiintyi vähenemistä, jäkälälajiston vaurioituneisuus kasvoi, ja myös levän esiintyminen alalla oli todennäköisempää. Puuston pohjapinta-ala kuvaa alan varjoisuutta, mikä huonontaa osaltaan jäkälän elinolosuhteita. Pohjapinta-alalla ei havaittu yhteyttä jäkälämuuttujiin.

Etäisyysmuuttujista energiantuotantolaitoksilla ja turkistarhoilla oli selvin jäkälätunnuksia huonontava vaikutus. Mitä lähempänä energiantuotantolaitosta tai turkistarhaa tutkimusala sijaitti, sitä yksipuolisempaa jäkälälajisto oli (IAP-indeksi ja lajilukumäärä) ja sitä vaurioituneempia jäkälät olivat (sormipaisukarpeen ja runkojäkälälajien yleinen vaurioaste). Levää esiintyi myös sitä enemmän, mitä lähempänä energiantuotantolaitosta tutkimusala sijaitti. Päinvastoin luppojen ja levän esiintymisen todennäköisyys kasvoi, mitä kauempana turkistarhasta tutkimusala sijaitti.

Teollisuuslaitosten läheisyys näytti hieman lisäävän sormipaisukarpeen vaurioastetta. Yhteys jäi heikoksi todennäköisesti luokan heterogeenisyyden vuoksi. Teollisuuslaitosten luokkaan sisältyi niin pieniä kuin suuriakin laitoksia, joiden vaikutukset jäkälälajistoon eivät ole yhtäläisiä.

Sormipaisukarpeen peittävyys kasvoi, kun etäisyys lähimpään eläinsuojaan tai turvetuotantoalueeseen kasvoi. Kuitenkin, mitä lähempänä eläinsuojia tutkimusala sijaitsi, sitä monipuolisempi jäkälälajisto oli. Myös sekä levän että luppojen esiintymisen todennäköisyys kasvoi etäisyyden turvetuotantoalueeseen kasvaessa. Näillä toiminnoilla ei kuitenkaan katsota olevan merkittävä vaikutusta jäkälälajistoon, ja niiden lähellä harvoin on muuta toimintaa, joka huonontaisi jäkälälajiston koostumusta ja kuntoa. Ns. ympäristöpalvelutoimintojen (jätevedenpuhdistamot, kaatopaikat, maankaatopaikat) läheisyydessä jäkälälajit olivat vähemmän vaurioituneita ja levän esiintyminen vähäisempää, kuin etäämmällä näistä toiminnoista. Maa-ainesten ja mineraalien ottoon, käsittelyyn ja jatkojalostukseen liittyvien toimintojen sekä VOC-päästöjä aiheuttavien toimintojen yhteys jäkälälajiston kuntoon ja koostumukseen jäi heikoksi.

Kuva 5-11. Yhteenveto regressioanalyyseistä. Taulukossa on kuvattu plus-merkillä selittävän muuttujan arvon kasvamisen selitettävää muuttujaa kasvattava vaikutus, miinus-merkillä selittävän muuttujan arvon kasvamisen selitettävää muuttujaa vähentävä 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 symbolilla.

	IAP	Lajiluku- määrä	Sormipaisu- karpeen vaurioaste	Yleinen vaurioaste	Levän esiinty- minen	Sormipaisu- karpeen peittävyys	Luppojen peittävyys
Selitysaste (%)	31	26	33	29	37	26	9
Puuston ikä	+++	+++		--	---	---	
Puuston pituus (m)	-	--	-				
Puuston halkaisija (cm)	--	-	+	+	++		
Puuston pohjapinta-ala							
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan		-				+++	
Etäisyys lähimpään energiatuotantolaitokseen	+++	++	--	-	-		
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 neljäksi faktoriksi, jotka selittivät 82 % muuttujien sisältämästä vaihtelusta. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin perusteella muodostettu rotatoitu komponenttimatriisi on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 5-12). Taulukossa on

lihavoituna lataus sille faktorille, jolla kukin alkuaine sai suurimman latauksensa. Yleensä merkityksellisinä latauksina pidetään yli 0,5:n arvoja.

Ensimmäisellä faktorilla suurimmat latauksensa saivat kadmium, kupari, nikkeli, rauta ja sinkki. Näistä voimakkaimmat, yli 0,9:n lataukset olivat sinkillä (0,93), kadmiumilla (0,92) ja raudalla (0,91). Pienin lataus oli kuparilla (0,78). Faktori kuvasi teollisuuden metallipäästöjä.

Toisella faktorilla suurimman latauksen saivat typpi, kalium, fosfori ja rikki. Lataukset vaihtelivat välillä 0,68–0,88. Faktori kuvasi sekä kasvupaikan ravinteisuustilaa että myös rikki- ja typpipäästöjä.

Kolmannella faktorilla suurimmat lataukset saivat boori, kromi ja magnesium. Voimakkain lataus oli boorilla (0,72) ja heikoin kromilla (0,45). Faktori kuvasi sekä metsikön ravinteisuustilaa ja luontaisia tekijöitä että ihmistoiminnan vaikutuksia.

Neljännellä faktorilla suurimmat lataukset saivat kalsium (0,67) ja mangaani (0,7). Faktori kuvasi metsikön ravinteisuustilaa ja luontaisia tekijöitä.

Taulukko 5-12. Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin rotatoitu komponenttimatriisi. Faktori, jolla kukin alkuaine on saanut suurimman latauksensa, on lihavoitu.

Alkuaine	1	2	3	4
N	-0,106	0,829	-0,241	-0,072
B	0,109	0,146	0,724	0,101
Cd	0,920	-0,009	-0,070	0,190
K	0,167	0,681	0,262	-0,051
Ca	0,283	0,443	0,057	0,671
P	0,028	0,881	0,167	0,082
Cr	0,447	0,192	0,451	-0,201
Cu	0,775	0,150	0,082	-0,193
Mg	-0,219	-0,070	0,686	0,062
Mn	-0,024	-0,419	0,113	0,700
Ni	0,880	0,148	-0,037	0,111
Fe	0,908	0,140	-0,020	-0,013
S	0,409	0,687	0,058	-0,098
Zn	0,926	-0,024	0,041	0,183
Osuus vaihtelusta	34 %	24 %	14 %	11 %

5.2.2 Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi

Sammalen alkuainepitoisuuksien sisältämää vaihtelua tiivistettiin faktorianalyysin avulla. Mukana oli 20 seinäsammalesta mitattua alkuainetta. Sammalnäytteistä analysoidut alkuaineet yhdistyivät faktorianalyysissä kolmeksi faktoriksi, jotka selittivät 80 % muuttujien sisältämästä vaihtelusta. Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin perusteella muodostettu rotatoitu komponenttimatriisi on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 5-13). Taulukossa on lihavoituna lataus sille faktorille, jolla kukin alkuaine sai suurimman latauksensa. Yleensä merkityksellisinä latauksina pidetään yli 0,5:n arvoja.

Ensimmäisen faktorin selittämä osuus muuttujien vaihtelusta oli 50 %. Tällä faktorilla suurimmat lataukset saivat arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kupari, lyijy ja sinkki. Kuparin lataus oli heikoin (0,75). Muiden alkuaineiden lataus oli yli 0,9. Myös nikkelillä oli faktorissa suuri lataus (0,62), mutta nikkeli sai vielä suuremman latauksen kolmannessa faktorissa (0,64). Faktori kuvasi teollisuuden metallipäästöjä.

Toisen faktorin selittämä osuus muuttujien vaihtelusta oli 20 %. 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 (0,49 ja 0,05), mutta lataus oli kuitenkin tarkastelluista faktoreista suurin tällä faktorilla. Faktori kuvasi metsikön ravinteisuustilaa ja luontaisia tekijöitä.

Kolmas faktori selitti muuttujien vaihtelusta 11 %. Tällä faktorilla suurimmat lataukset saivat alumiini, rauta, kromi, vanadiini ja nikkeli. Suurimman latauksen sai alumiini (0,90). Nikkelin lataus oli heikoin (0,64). Faktori kuvasi teollisuuden päästöjä.

Taulukko 5-13. Sammalen alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin rotatoitu komponenttimatriisi. Faktori, jolla kukin alkuaine on saanut suurimman latauksensa, on lihavoitu.

Alkuaine	1	2	3
Zn	0,972	0,106	0,087
Cd	0,970	0,097	0,115
Co	0,964	0,031	0,070
Pb	0,947	0,055	0,194
Hg	0,902	0,195	0,237
As	0,893	0,030	0,253
Cu	0,750	0,398	0,425
Mg	-0,052	0,904	0,173
Pb	0,223	0,903	0,040
K	0,175	0,819	-0,118
B	-0,035	0,747	0,375
S	0,362	0,706	0,407
Ca	0,309	0,692	0,234
Na	-0,366	0,490	0,224
Al	0,152	0,215	0,904
Fe	0,369	0,252	0,850
Cr	0,347	0,188	0,844
V	0,115	0,309	0,838
Ni	0,624	0,313	0,639
Mn	-0,007	0,049	-0,466
Osuus vaihtelusta	50 %	20 %	11 %

5.3 Humuksen alkuainepitoisuuksien korrelaatiot

Humuksesta mitattujen alkuainepitoisuuksien keskinäiset korrelaatiot on esitetty alla (Taulukko 5-14). Tilastollisen tarkastelun ulkopuolelle jätettiin Kaustisen kaksi näytealaa, sillä Kaustisen humusnäytteiden näytteenottoajankohta poikkesi muista humusnäytteistä.

Metallipitoisuuksien välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä, erittäin voimakkaita riippuvuuksia. Raskasmetallikuormituksen on havaittu vähentävän humuskerroksen ravinnepitoisuuksia (ks. luku 3.3.3). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan juurikaan havaittu tilastollisesti merkittäviä korrelaatioita ravinteiden ja raskasmetallien välillä. Negatiivinen riippuvuus havaittiin kalsiumin ja raudan sekä magnesiumin ja rikin välillä.

Taulukko 5-14. Humuksesta mitattujen muuttujien keskinäiset riippuvuudet. Tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet on merkitty tähdillä ja värein. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). Vihreällä värillä on merkitty positiiviset riippuvuudet ja punaisella värillä negatiiviset.

	Al	As	B	Hg	Cd	K	Ca	Co	P	Cr	Cu	Pb
Al	1											
As	-0,284	1										
B	-0,297	.c	1									
Hg	-0,289	0,894***	.c	1								
Cd	-0,083	0,894***	-0,264	0,787***	1							
K	0,157	-0,207	0,286	-0,068	-0,171	1						
Ca	-0,598	-0,029	0,696***	-0,148	-0,075	0,15	1					
Co	-0,313	0,945***	.c	0,774**	0,928***	-0,29	0,087	1				
P	0,768***	.c	0,058	.c	0,075	0,223	-0,286	.c	1			
Cr	0,055	.c	0,11	.c	-0,358	0,477*	0,072	.c	0,06	1		
Cu	-0,067	0,973***	0,147	0,906***	0,940***	-0,14	-0,142	0,938***	0,847***	0,016	1	
Pb	0,039	.c	-0,294	.c	0,455*	0,071	-0,259	.c	-0,078	-0,14	-0,02	1
Mg	0,132	-0,387	0,098	-0,182	-0,112	0,104	0,049	-0,365	-0,485*	-0,02	-0,152	-0,07
Mn	-0,239	.c	0,224	.c	-0,412*	0,121	0,247	.c	-0,403*	0,196	-0,364	-0,26
Na	0,013	-0,105	.c	0,041	-0,093	-0,22	-0,245	-0,075	.c	.c	-0,098	.c
Ni	-0,067	0,897***	0,161	0,753**	0,982***	-0,15	-0,095	0,964***	0,089	0,596**	0,936***	-0,19
Fe	0,703***	0,758**	-0,28	0,684**	0,416**	-0,03	-0,464**	0,711**	0,708***	-0,018	0,499**	-0,09
S	.403*	.c	0,231	.c	0,026	-0,01	0,07	.c	0,700***	-0,237	0,602**	-0,13
Zn	-0,078	0,939***	0,168	0,845***	0,988***	-0,17	-0,105	0,953***	0,763***	0,011	0,960***	-0,08
V	0,007	0,811***	.c	0,680**	0,880***	-0,08	-0,031	0,858***	.c	.c	0,869***	.c

Taulukko 5-14. jatkuu.

	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
Mg	1							
Mn	0,571**	1						
Na	0,068	.c	1					
Ni	-0,103	0,396	-0,02	1				
Fe	-0,075	-0,233	-0,07	0,426**	1			
S	-0,47*	-0,571**	.c	-0,369	0,482*	1		
Zn	-0,126	-0,136	-0,07	0,980***	0,445**	0,479*	1	
V	0,04	.c	-0,06	0,895***	0,819***	.c	0,860***	1

5.4 Yhteenveto

Tulosten tilastollinen tarkastelu osoittaa jäkälämuuttujien kuvanneen varsin hyvin ilmanlaadun paikallista vaihtelua. Selvimmin jäkälisiin vaikuttaa suurten energiantuotantolaitosten rikki-, typpi- ja hiukkaspäästöt. Teollisuuslaitosten vaikutus jäkälämuuttujiin ei ollut erityisen selkeä, sillä vain sormipaisukarpeen vaurioituneisuuden havaittiin lisääntyvän teollisuuslaitosten läheisyydessä. Tulokseen arvioidaan vaikuttaneen sekä suurten että pienempien teollisuuslaitosten yhdistäminen samaan luokkaan. Suurilla teollisuuslaitoksilla on todettu olevan vaikutuksia jäkälisiin, mutta pienempien teollisuuslaitosten vaikutus ei ole niin selkeä (esim. Huuskonen ym. 2013). Karjasuojien typpipäästöillä ei näyttänyt olleen selvää vaikutusta jäkälämuuttujiin, kun taas turkistarhauksen typpipäästöt puolestaan selvästi vaikuttivat jäkälämuuttujiin. Hajapölypäästöjen ja VOC-päästöjen vaikutus jäkälisiin näytti tutkimusalueen pitoisuustasoilla jääneen vähäiseksi.

Sammalten ja neulasten alkuainepitoisuuksissa teollisuuslaitosten vaikutukset näkyivät selvimmin raskasmetallien pitoisuuksissa, jotka korreloivat voimakkaasti keskenään ja muodostivat molemmilla matriiseilla yhteisen faktorin faktorianalysissä. Sekä neulasilla että sammalilla rikkipitoisuudet latautuivat selvimmin faktorille, joka on tulkittavissa ravinteisuusfaktoriksi. Voidaan olettaa että myös paikalliset päästöt jossain määrin nostivat neulasten ja sammalten rikkipitoisuuksia sekä neulasten typpipitoisuuksia, mutta vaikutus ei ollut suoraviivaisesti tulkittavissa.

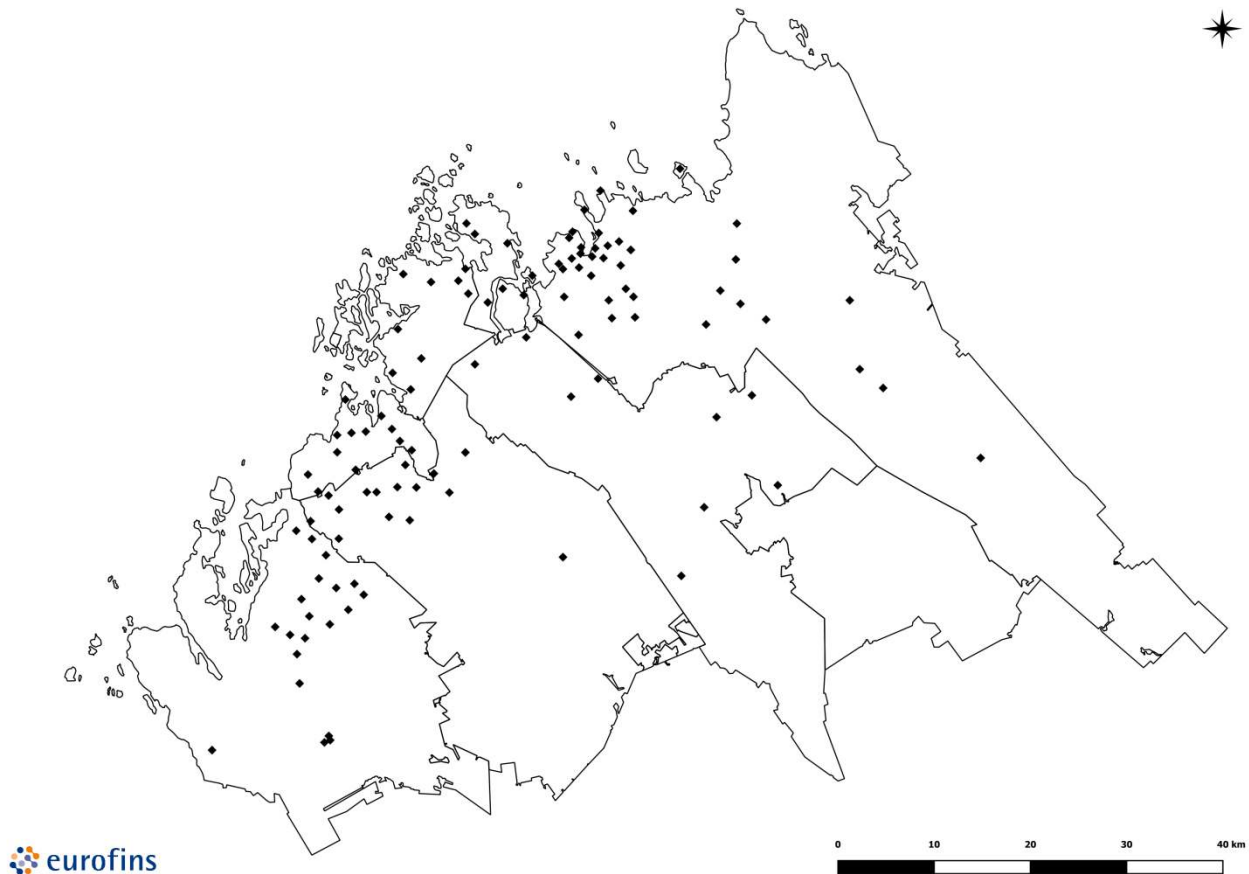
Humuksesta mitatut raskasmetallipitoisuudet korreloivat voimakkaasti keskenään. On mahdollista, että raskasmetallikuormitus on vaikuttanut humuskerroksen ravinnepitoisuuksiin niitä vähentäen. Tutkimuksessa ei kuitenkaan juurikaan havaittu tilastollisesti merkittäviä negatiivisia korrelaatioita ravinteiden ja raskasmetallien välillä.

6. VERTAILU

6.1 Vuosien välinen vertailu

Tässä luvussa vertaillaan vuoden 2018 tuloksia aikaisempien vuosien bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Tutkimus on tehty vastaavilla menetelmillä aiemmin sekä Kokkolan että Pietarsaaren seudulla vuosina 2012 ja 2006-2007. Tätä ennen vertailukelpoisia tuloksia Pietarsaaren seudulta on vuodelta 2002 ja Kokkolan seudulta vuosilta 2002, 1997 ja 1992. Karttatarkasteluissa on Kokkolan osalta mukana myös vuodet 1997 ja 1992. Alueen yhtenäisen vertailun vuoksi tunnuslukuja, kuten keskiarvoja, vertaillaan vuosilta 2018, 2012 ja 2006(-2007).

Vuonna 2018 alueelle perustettiin jonkin verran uusia tutkimusaloja korvaamaan esimerkiksi hakkuiden johdosta menetettyjä aloja. Myös vuonna 2012 alueelle perustettiin runsaasti uusia tutkimusaloja. Uusilta aloilta 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, joita vuonna 2018 oli yhteensä 111 kappaletta (Kuva 6-1). Tästä poikkeuksena on humuksen alkuainepitoisuuksien seuranta, jossa tutkimusalojen pienen kokonaismäärän vuoksi tarkasteluun sisällytettiin kaikki, myös vaihtuneet, tutkimusalat (luku 6.1.4). Ainoastaan Kaustisen vuonna 2018 perustettujen tutkimusalojen humusnäytteiden tuloksia ei sisällytetty vuosien väliseen tarkasteluun. Vyöhykekarttaesitykset puolestaan on laadittu perustuen kaikkien kyseisenä tutkimusvuonna tutkittujen alojen havaintoihin.

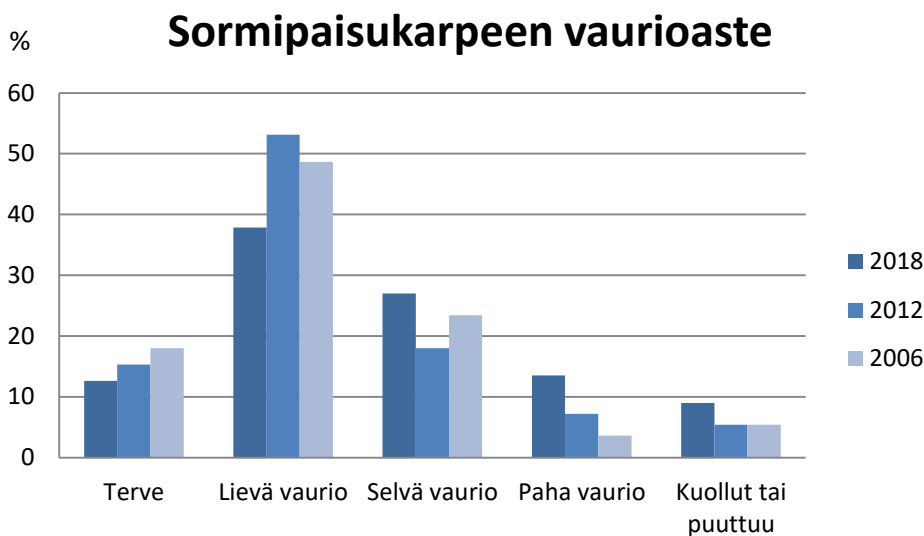


Kuva 6-1. Vuosien 2006, 2012 ja 2018 välisessä vertailussa mukana olevat tutkimusalat (runkojäkäläkartoitus, neulaset, sammal).

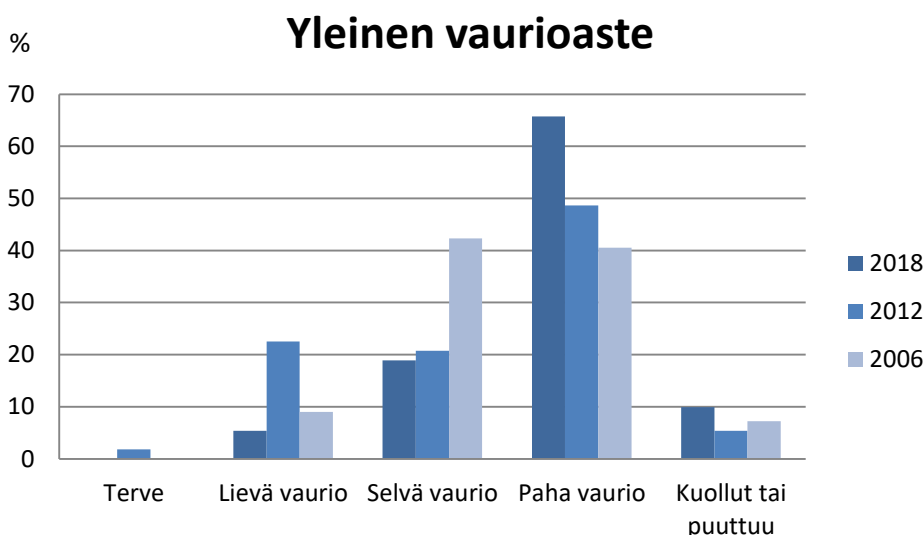
6.1.1 Mäntyjen runkojäkälät

Seuraavissa kuvissa on esitetty tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin vuosina 2018, 2012 ja 2006 sormipaisukarpeen vaurioasteen ja yleisen vaurioasteen sekä IAP-indeksin arvon mukaan (Kuva 6-2, Kuva 6-3, Kuva 6-4). Lisäksi on esitetty tutkittujen jäkälälajien esiintymisfrekvenssit tutkimusalueella vuosina 2012 ja 2006 (Kuva 6-5). Männyn runkojäkälää kuvaavien muuttujien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot vuosina 2018, 2012 ja 2006 koko alueella ja eri kunnissa on esitetty taulukossa (Taulukko 6-1). Vyöhykekuvaajissa on esitetty sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, lajilukumäärän ja IAP-indeksin vyöhykkeet vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018 (Kuva 6-6, Kuva 6-7, Kuva 6-8, Kuva 6-9).

Vuonna 2018 sormipaisukarpeen vaurioasteiden luokituksessa terveen sormipaisukarpeen luokkaan kuuluvien alojen määrä oli pienentynyt edellisiin vuosiin verrattuna. Myös lievän vaurion luokkaan kuuluvien alojen määrä oli pienentynyt edellisiin vuosiin verrattuna. Selvän vaurion luokkaan kuuluvien alojen määrä oli hieman kasvanut edellisistä vuosista. Pahoja vaurioita havaittiin enemmän kuin aiempina tutkimusvuosina. Aloja, joilla sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui, oli enemmän kuin edellisinä vuosina. (Kuva 6-2).



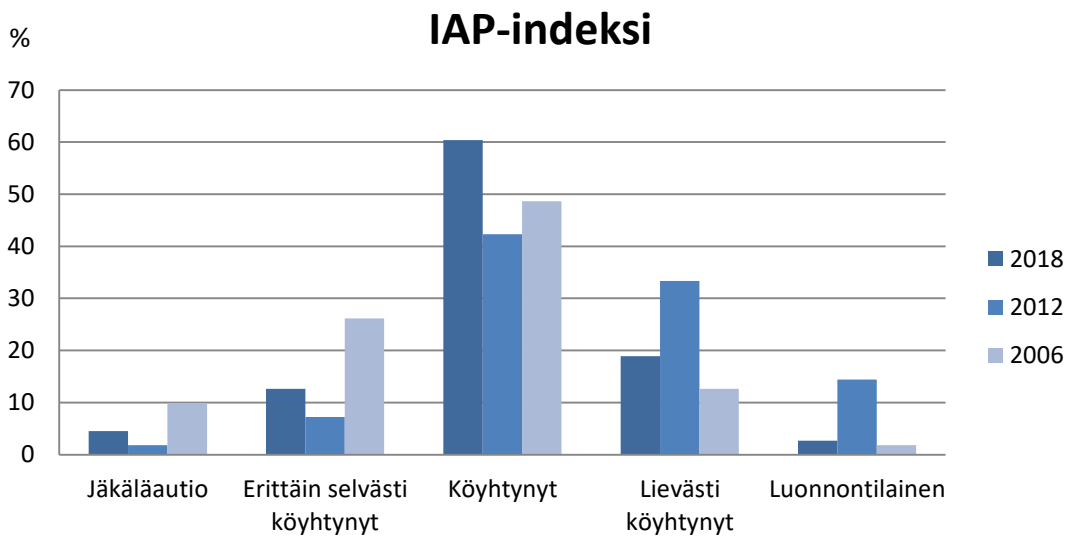
Kuva 6-2. Samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna sormipaisukarpeen vaurioasteen mukaan vuosina 2018, 2012 ja 2006 (N = 111).



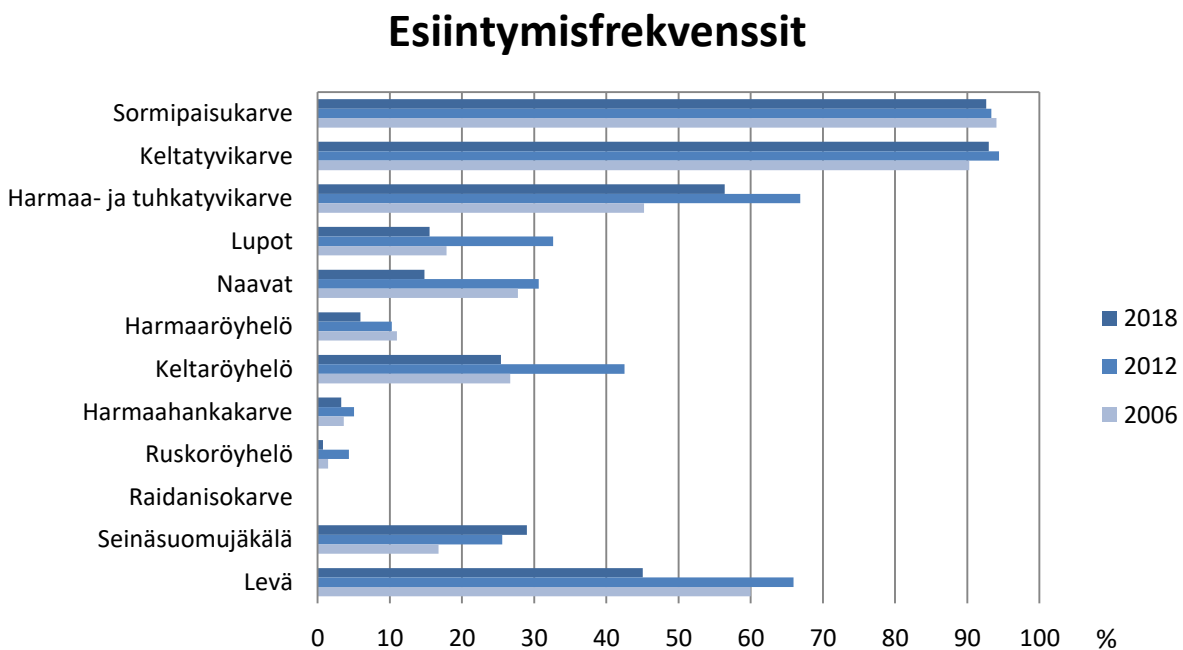
Kuva 6-3. Samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna yleisen vaurioasteen mukaan vuosina 2018, 2012 ja 2006 (N = 111).

Runkojäkälälajien yleisen vaurioasteen osalta lajisto ei ollut täysin tervettä millään alalla vuonna 2018. Näin oli myös vuonna 2002, kun taas vuonna 2012 alle 2 %:lla vertailualoista havaittiin yleisen vaurioasteen osalta tervettä jäkälälajistoa. Lievien vaurioiden luokkaan kuuluvien alojen määrä oli pienentynyt selkeästi vuodesta 2012 ja jonkin verran myös vuodesta 2002. Selvien vaurioiden luokkaan kuuluvien alojen määrä oli pienentynyt vuodesta 2012 ja huomattavasti vuodesta 2002. Pajojen vaurioiden luokkaan kuuluvien alojen määrä oli sen sijaan kasvanut selkeästi vuodesta 2012, ja vielä enemmän vuodesta 2002. Luokassa ”kuollut tai puuttuu” oli enemmän havaintoja kuin vuosina 2012 ja 2006. (Kuva 6-3).

IAP-indeksin perusteella luokiteltujen alojen jakaumissa jäkäläautio-luokkaan kuuluvien alojen määrä oli kasvanut verrattuna vuoden 2012 tutkimukseen, mutta oli edelleen pienempi kuin vuoden 2006 tutkimuksessa. Myös erittäin selvästi köyhtyneen jäkälälajiston luokkaan kuuluvien alojen määrä oli kasvanut verrattuna vuoden 2012 tutkimukseen, mutta oli edelleen pienempi kuin vuoden 2006 tutkimuksessa. Köyhtyneen lajiston luokkaan kuuluvien alojen määrä oli suurempi kuin edellisinä tutkimusvuosina. Lievästi köyhtyneen lajiston luokkaan kuuluvien alojen määrä oli pienempi kuin vuonna 2012, mutta edelleen suurempi kuin vuonna 2006. Luonnontilaisen lajiston luokkaan kuuluvien alojen määrä oli selkeästi pienempi kuin vuonna 2012, mutta edelleen hieman suurempi kuin vuonna 2006. (Kuva 6-4).



Kuva 6-4. Samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna IAP-indeksin arvon mukaan vuosina 2018, 2012 ja 2006 (N = 111).



Kuva 6-5. Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit samoina pysyneillä tutkimusaloilla vuosina 2012 ja 2006 (N = 137).

Seinäsuomujäkälää lukuun ottamatta, kaikkia jäkälälajeja havaittiin vähemmän kuin vuonna 2012. Vuoteen 2006 verrattuna keltatyvikarvetta, harmaa- ja tuhkatyvikarvetta esiintyi enemmän, kun taas muita lajeja havaittiin vähemmän. Ainoastaan seinäsuomujäkälää havaittiin aloilla enemmän kuin vuosina 2012 ja 2006. Raidanisokarvetta vertailualoilla ei tavattu lainkaan. (Kuva 6-5).

Kunnittain tarkasteltuna (Taulukko 6-1) lähes kaikissa kunnissa kaikki jäkälälajistoa kuvaavat muuttujat olivat heikentyneet edelliseen tutkimusvuoteen verrattuna. Vain Luodossa sormipaisukarpeen vaurioaste oli jonkin verran parantunut ja sormipaisukarpeen peittävyys kasvanut. Vuoteen 2006 verrattuna muuttujissa oli vaihtelua, sillä osa muuttujista oli heikentynyt ja osa parantunut. Lajistotunnuksista (IAP-indeksi ja lajilukumäärä) IAP-indeksi oli jonkin verran parantunut Luodon, Pedersören, Pietarsaaren ja Uudenkaarlepyyn kunnissa. Lajistotunnuksista lajilukumäärä oli puolestaan laskenut kaikissa kunnissa vuoteen 2006 verrattuna. Luotoa lukuun ottamatta, sormipaisukarpeen vauriot olivat kunnissa keskimäärin lisääntyneet edelliseen tutkimusvuoteen verrattuna. Luodon kunnassa sormipaisukarpeen vauriot olivat vähentyneet vuodesta 2012, mutta vaurioituneisuus oli edelleen jonkin verran suurempi kuin vuonna 2006. Jäkälälajiston yleiset vauriot olivat lisääntyneet suhteessa molempiin aikaisempiin tutkimusvuosiin kaikissa kunnissa. Sormipaisukarpeen peittävyys oli vuoteen 2012 verrattuna kasvanut vain Luodon kunnassa, muissa kunnissa peittävyys oli laskenut. Sormipaisukarpeen peittävyys oli kuitenkin edelleen suurempi Kokkolassa ja Luodossa vuoden 2006 tutkimukseen verrattuna. Kruunupyysssä sormipaisukarpeen peittävyys oli keskimäärin samalla tasolla kuin vuonna 2006. Luppoja esiintyi tutkimusalueilla pääsääntöisesti vähän. Luppojen peittävyys oli pienentynyt tai pysynyt samalla tasolla vuoteen 2012 verrattuna. Useissa kunnissa luppoja havaittiin niin vähän, että niiden keskimääräinen peittävyys oli nolla. (Taulukko 6-1).

Jäkälämuuttujien alueellinen jakautuminen on kuvattu vyöhykekartoilla, jotka on laadittu perustuen kaikkien kyseisenä tutkimusvuonna tutkittujen alojen havaintoihin (Kuva 6-6 – Kuva 6-9).

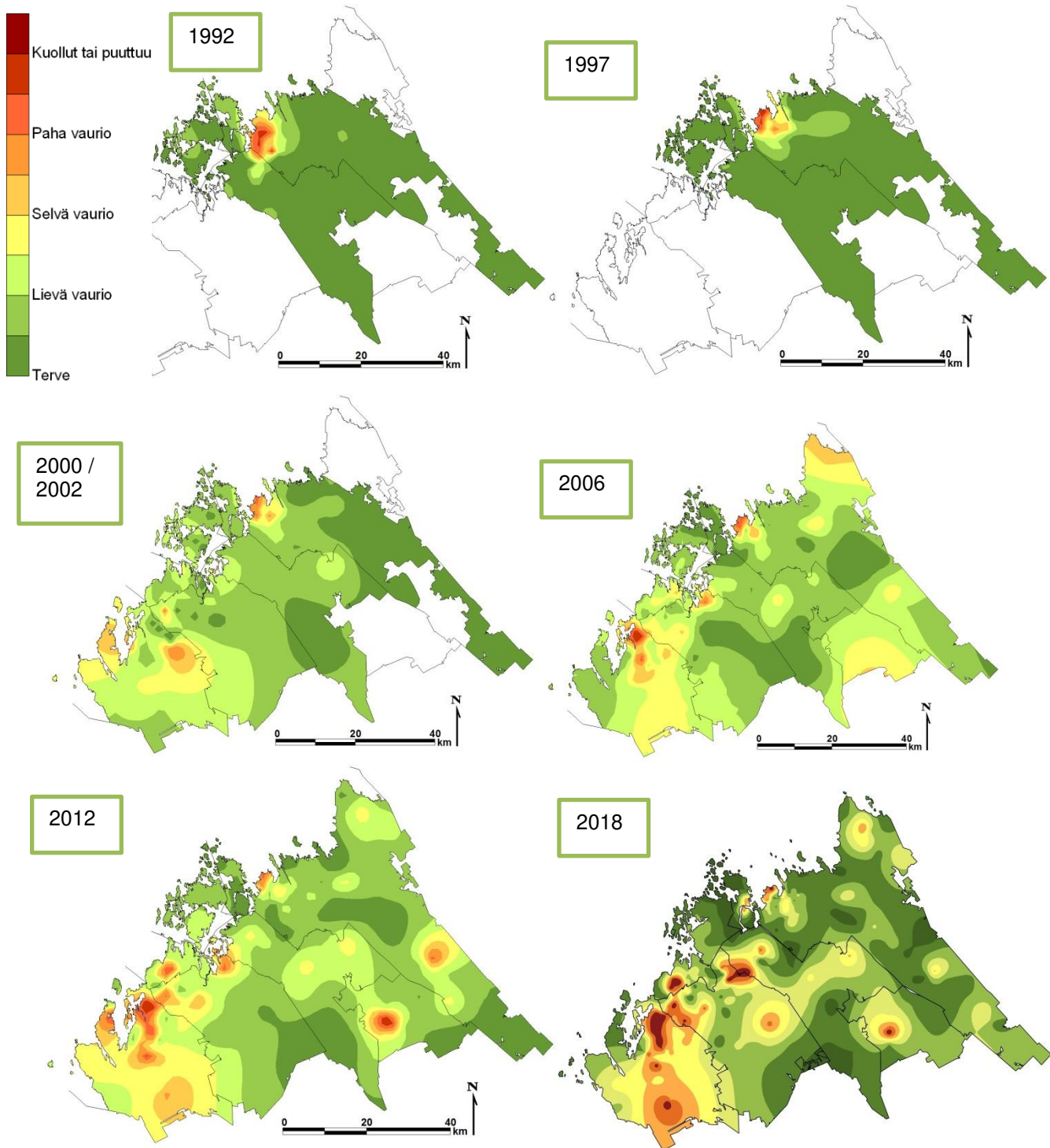
Sormipaisukarpeen vauriovyöhykkeissä merkille pantavaa on, että vauriovyöhyke Uudenkaarlepyyn-Pietarsaaren-Pedersören-Kruunupyyn alueella näyttää vahvistuneen. Terveimmän sormipaisukarpeen vyöhykkeet ovat vahvistuneet Kruunupyyn-Pedersören eteläosissa ja Kokkolassa sekä Luodossa. Vyöhykkeiden muuttumiseen etenkin tausta-alueilla, kuten Kaustisten alueella, vaikuttanee ensisijaisesti seurannan kuluessa lisätutkimusalojen perustaminen näille alueille. (Kuva 6-6).

Yleisen vaurioasteen vauriovyöhykkeet ovat laajentuneet vuodesta 2012. Vuoden 2012 tutkimuksen perusteella arvioitiin, että tutkimusalueelle olisi ollut muodostumassa aiempaa selvempi luoteiskoillisuuntainen vauriovyöhyke lähelle rannikkoa, johon asutus, teollisuustoiminta ja muu ilmanlaatuun vaikuttava toiminta ovat painottuneet, sekä toinen vauriovyöhyke tutkimusalueen eteläosissa Kaustisen seudulla. Vuoden 2018 vauriovyöhykekartassa tällaisia vyöhykkeitä ei ollut havaittavissa. Tutkimusalueelle näytti sijoittuvan myös vaurioituneempia alueita kuin vuosina 2012 ja 2006. Nämä sijoittuivat rannikkoseudun läheisyyteen ja Kaustisille. (Kuva 6-7).

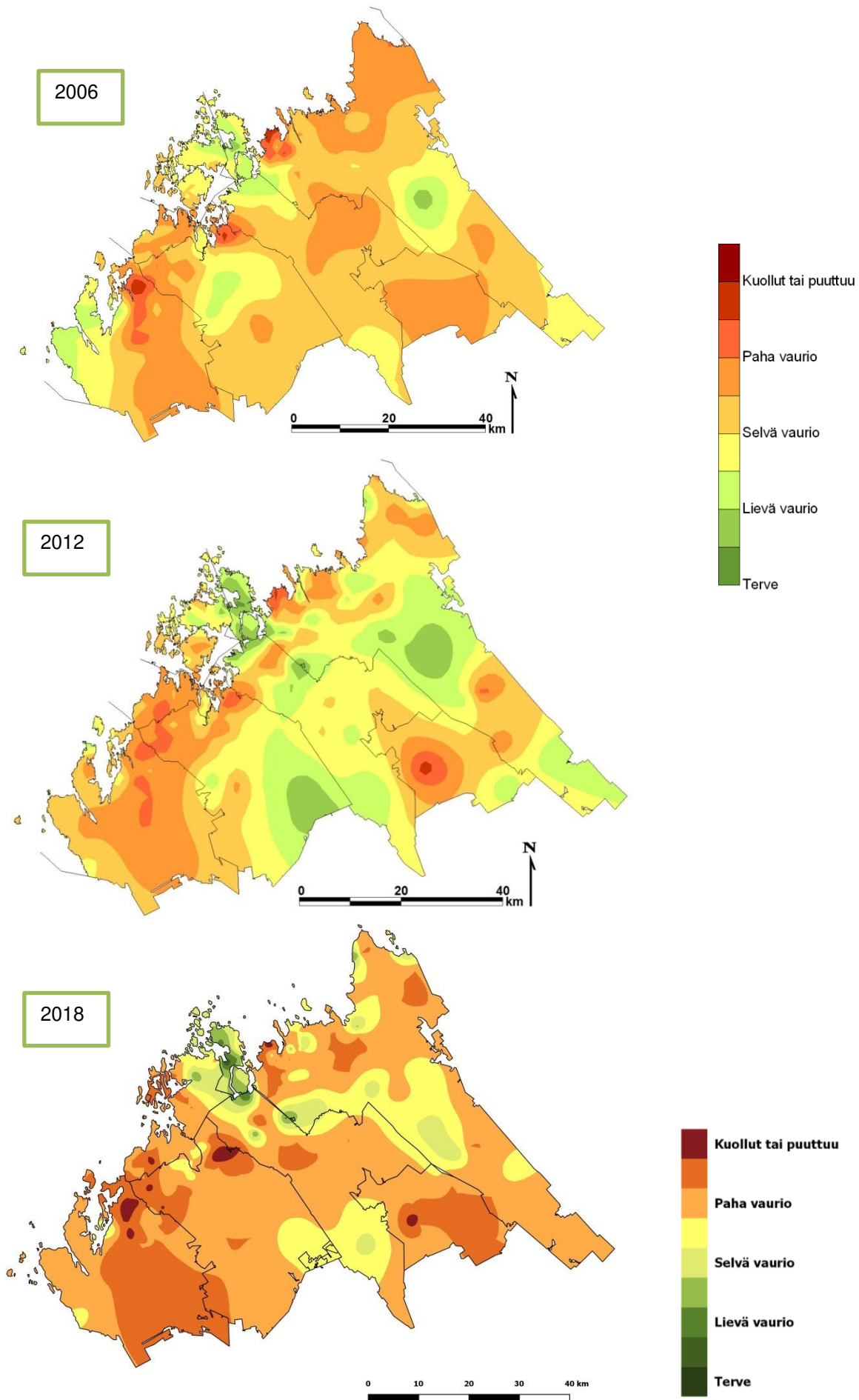
Vuoden 2012 lajilukumäärien perusteella rannikon tuntumaan ja Kaustisille arvioitiin muodostuvan aikaisempaa selkeämmät köyhtyneen lajiston vyöhykkeet (Huuskonen ym. 2013). Vyöhykkeet eivät olleet enää selkeitä, sillä lajistoltaan köyhtyneet alueet laajenivat Uudessakaarlepyyssä, Kaustisilla, Kruunupyysssä ja Kokkolassa (Kuva 6-8). Myös IAP-indeksi ilmensi samantyyppistä kehitystä (Kuva 6-9). Molempien muuttujien perusteella luonnontilaisemman lajiston alueet ovat selkeästi pienentyneet.

Taulukko 6-1. Männyn runkojäkälien tunnuslukuja kunnittain vuosina 2018, 2012 ja 2006.

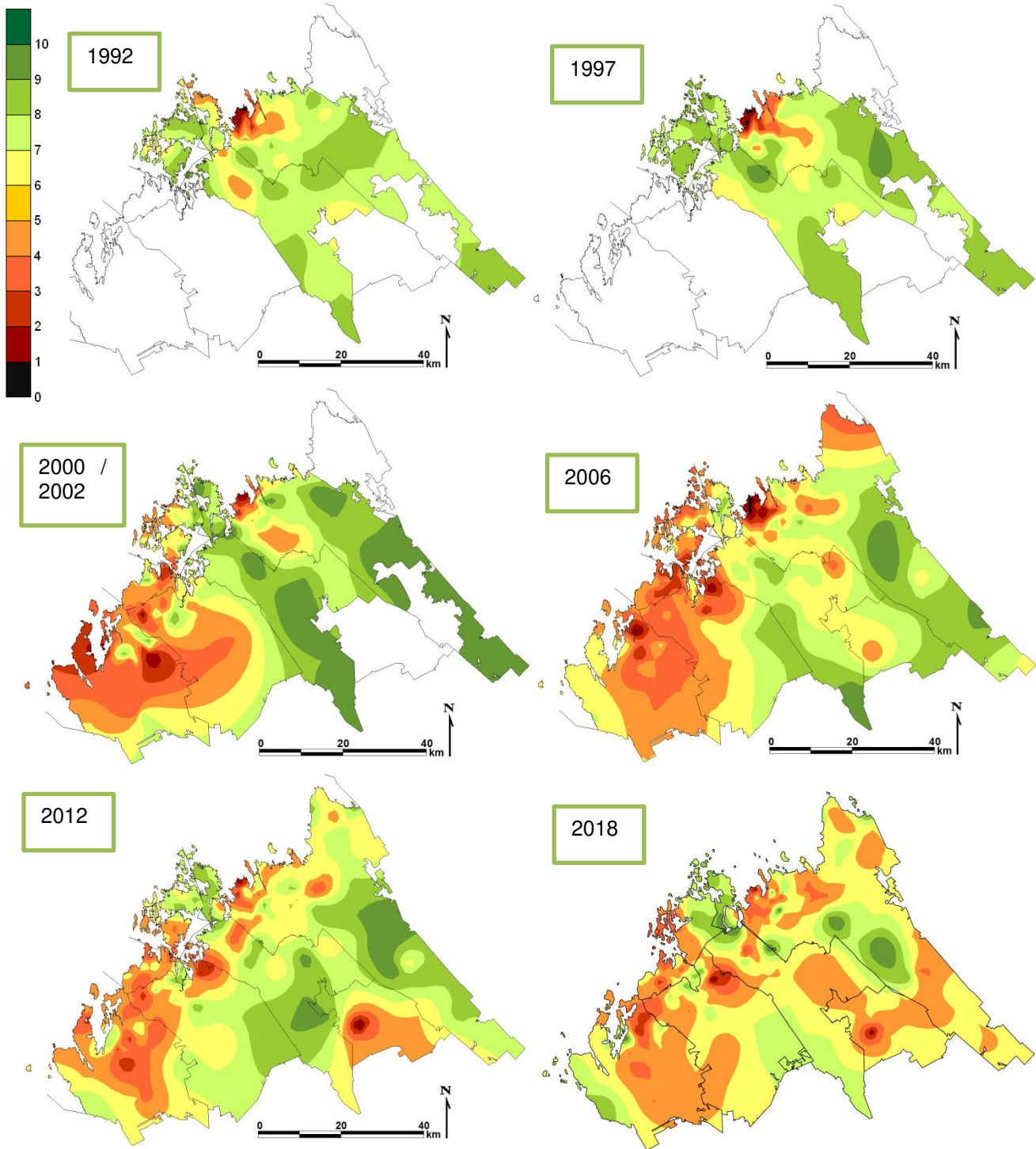
Kunta	Vuosi	Koko alue			Kokkola			Kruunupy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
	N	111	111	111	46	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Sormipaisu- karpeen vaurioaste	Keskiarvo	2,6	2,3	2,3	2,2	2,0	2,2	2,0	1,8	1,6	1,7	1,9	1,6	3,0	2,6	2,5	2,7	2,4	2,4	3,9	3,2	3,1
	Pienin	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,5	1,3	1,5	1,4	1,3	1,6	1,1	1,6	2,4	2,0	1,9
	Suurin	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,6	3,0	2,3	2,2	2,2	2,0	5,0	4,9	5,0	5,0	4,1	3,4	5,0	5,0	5,0
Yleinen vaurioaste	Keskiarvo	3,7	3,3	3,4	3,5	3,0	3,4	3,3	2,5	3,1	3,5	2,8	2,7	3,9	3,6	3,5	4,0	3,8	3,4	4,2	3,9	3,9
	Pienin	1,5	1,2	1,6	1,8	1,2	1,6	1,5	1,3	2,0	2,8	1,6	2,4	2,9	2,3	2,8	3,8	3,4	2,6	3,4	2,9	2,6
	Suurin	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0	3,7	5,0	4,9	5,0	4,5	4,0	4,0	4,7	4,7	5,0
IAP	Keskiarvo	1,6	2,0	1,4	1,7	2,1	1,5	2,0	2,8	2,0	1,6	2,3	1,3	1,5	1,9	1,1	1,4	1,8	1,1	1,3	1,6	1,2
	Pienin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,8	1,2	1,2	1,3	0,5	0,0	0,1	0,0	0,7	1,1	0,5	0,3	0,5	0,1
	Suurin	3,3	4,3	3,6	3,3	4,3	3,6	3,2	3,2	2,8	2,3	3,3	1,8	2,7	2,7	2,1	2,1	2,8	1,7	2,5	2,8	1,9
Lajiluku- määrä /ala	Keskiarvo	4,1	5,2	5,5	4,5	5,5	5,9	4,9	7,2	6,8	4,3	5,7	4,9	3,9	5,0	4,8	3,6	4,6	4,8	3,3	3,9	5,0
	Pienin	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	3,0	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0
	Suurin	8,0	9,0	11,0	8,0	9,0	11,0	8,0	9,0	9,0	6,0	8,0	7,0	7,0	9,0	8,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Sormipaisu- karpeen peittävyys	Keskiarvo	8,7	10,2	8,2	12,4	14,8	10,7	7,7	8,6	7,7	18,3	15,9	10,4	4,6	6,5	5,6	6,5	9,6	10,3	0,7	1,3	2,5
	Pienin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2	2,2	2,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
	Suurin	50,8	51,7	37,3	39,8	51,7	37,3	19,8	21,3	19,8	50,8	32,8	23,3	15,9	16,4	19,3	19,8	19,7	21,8	2,3	3,5	9,3
Luppojen peittävyys	Keskiarvo	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pienin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Suurin	1,3	3,9	1,0	1,3	3,9	1,0	0,4	1,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0



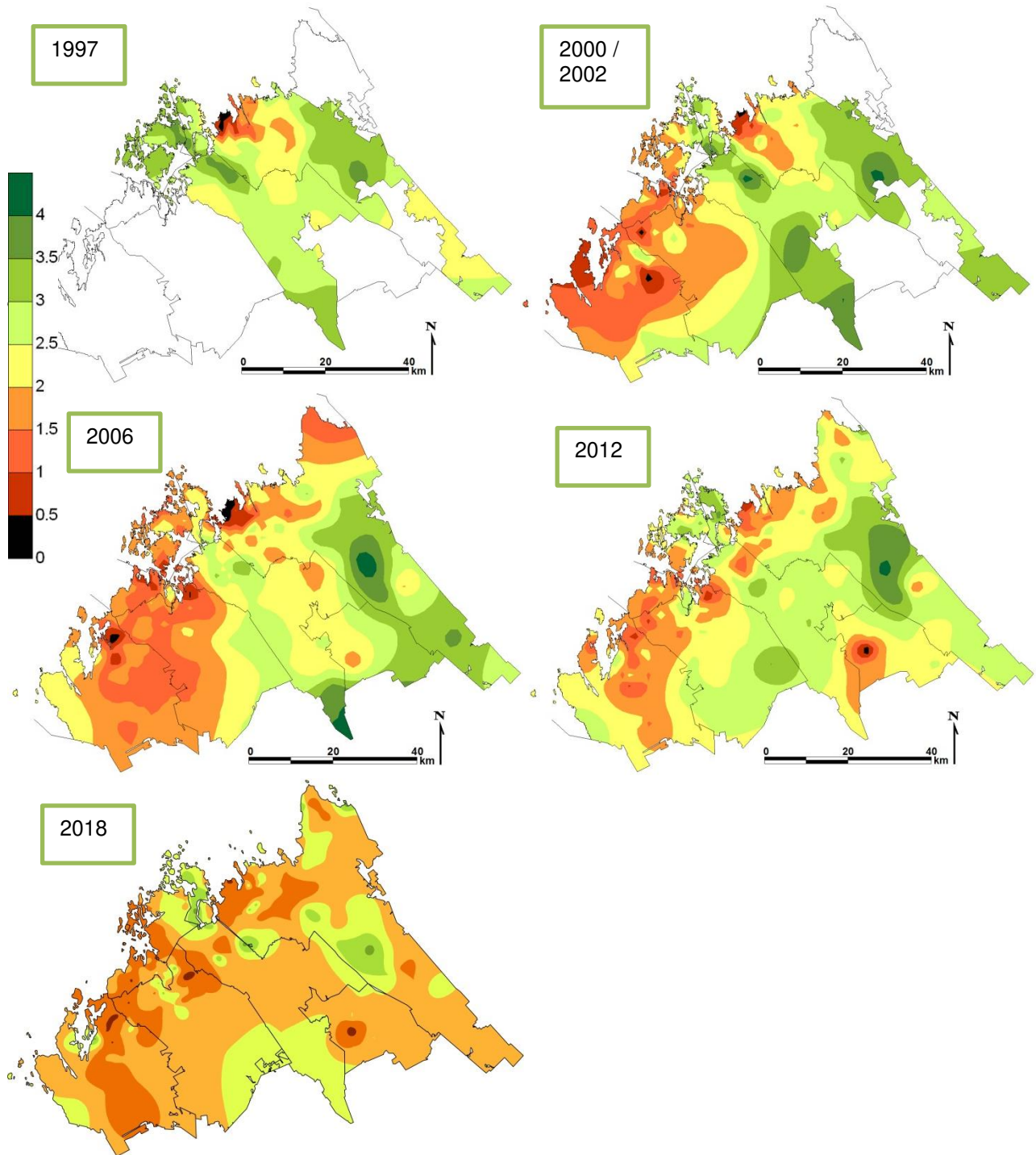
Kuva 6-6. Sormipaisukarpeen vaurioasteet tutkimusalueella vuosina 1992 (Kokkolan seutu), 1997 (Kokkolan seutu), 2000 (Pietarsaari) ja 2002 (Kokkola), 2006, 2012 ja 2018.



Kuva 6-7. Yleinen vaurioaste tutkimusalueella vuosina 2006, 2012 ja 2018.



Kuva 6-8. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälän lukumäärät tutkimusalueella vuosina 1992 (Kokkolan seutu), 1997 (Kokkolan seutu), 2000 (Pietarsaari) ja 2002 (Kokkola), 2006, 2012 ja 2018.



Kuva 6-9. IAP-indeksin vyöhykkeet tutkimusalueella vuosina 1997 (Kokkolan seutu), 2000 (Pietarsaari) ja 2002 (Kokkola), 2006, 2012 ja 2018.

6.1.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

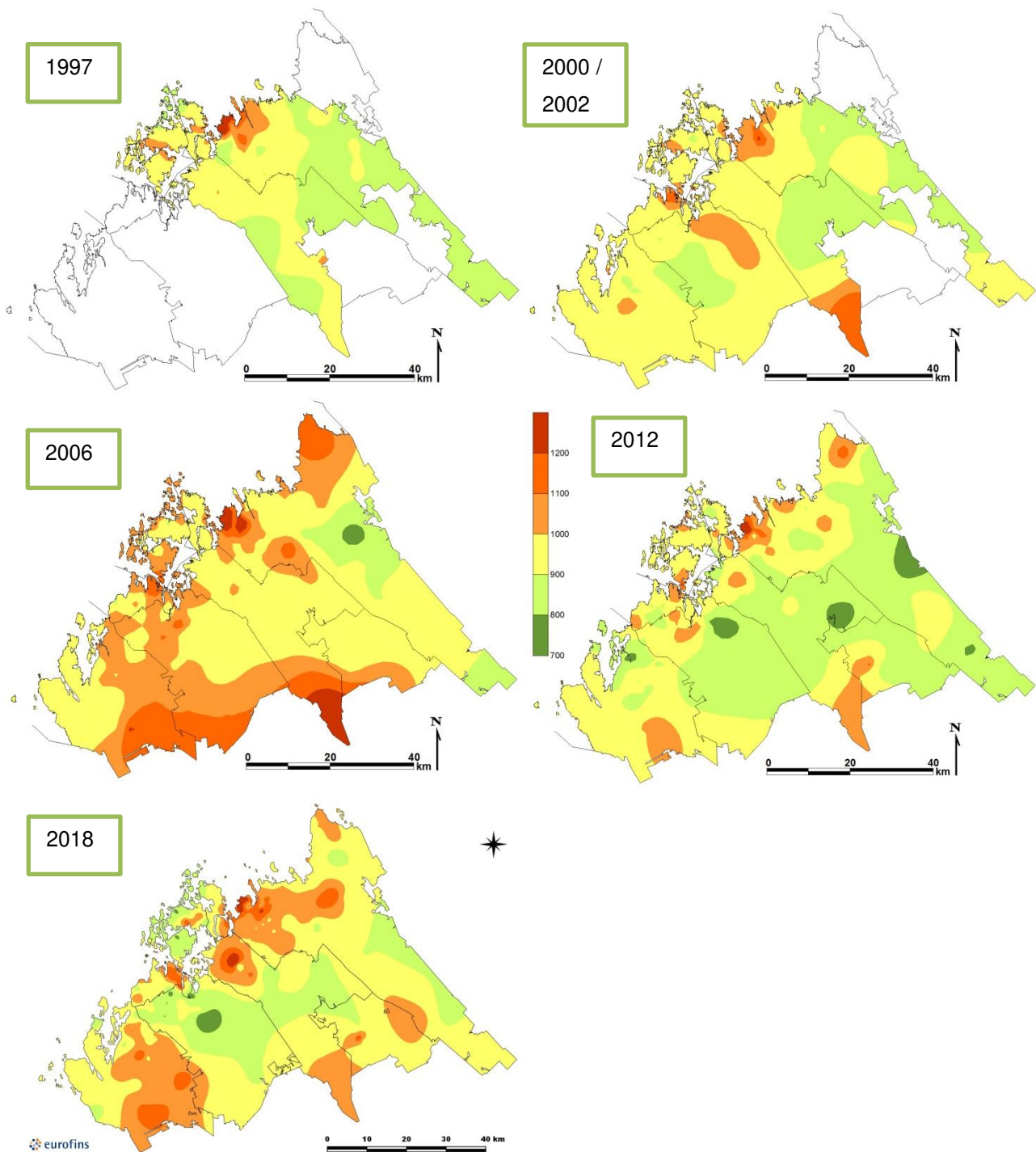
Neulasten alkuainepitoisuuksien keskiarvot sekä pienimmät ja suurimmat arvot koko alueella ja kunnittain vuosilta 2018, 2012 ja 2006 on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 6-2). Vertailussa ovat mukana ne alat, jotka ovat pysyneet samoina ja joilta analyysit on kyseisinä tutkimusvuosina tehty.

Koko aluetta tarkasteltaessa kalsiumin, kadmiumin, kuparin, kaliumin, sinkin sekä typen keskimääräiset pitoisuudet olivat kasvaneet vuosiin 2012 ja 2006 verrattuna. Mangaanin, fosforin ja rikin keskimääräiset pitoisuudet puolestaan olivat korkeammat kuin vuonna 2012, mutta edelleen matalammat vuoden 2006 keskimääräisiin pitoisuuksiin verrattuna. Arseenin, boorin, kobolttin, raudan ja vanadiinin keskimääräiset

pitoisuudet olivat laskeneet vuosiin 2012 ja 2006 verrattuna. Nikkelin keskimääräinen pitoisuus puolestaan oli laskenut vuodesta 2012 vuoden 2006 tasolle. Kromin, elohopean ja mangaanin keskimääräiset pitoisuudet olivat pysyneet vuoden 2012 tasolla, ja kromin sekä mangaanin pitoisuudet olivat hieman matalammat kuin vuonna 2006. Kohonneista pitoisuuksista kadmiumia sekä myös kuparia pääsee ilmaan erityisesti Kokkolan Ykspihlajan teollisuudesta. Ravinnealkuaineiden pitoisuuksista osan havaittiin laskeneen ja osan nousseen. Kokkolassa kadmiumin, kromin ja kuparin keskimääräiset pitoisuudet olivat jonkin verran korkeampia verrattuna vuosiin 2012 ja 2006, kun taas muiden metallien keskimääräiset pitoisuudet olivat laskeneet. Kruunupyssä kuparin pitoisuus, Luodossa kadmiumin, koboltin ja sinkin pitoisuudet, Pedersöressä sinkin pitoisuus, Pietarsaassa koboltin, kromin ja kuparin pitoisuudet sekä Uudessakaarlepyssä koboltin ja kuparin pitoisuudet olivat jossain määrin korkeammat vuosiin 2012 ja 2006 verrattuna.

Kohonneet rikkipitoisuudet olivat eri tutkimusvuosina keskittyneet Kokkolan keskustan ympärille ja rannikon tuntumaan pienemmille alueille (Kuva 6-10). Tämä lisäksi kohonneet rikkipitoisuudet ovat olleet tavallisia tutkimusalueen eteläosissa. Rikin pitoisuudet olivat Luotoa ja Pedersöreä lukuun ottamatta korkeampia vuonna 2018 kuin vuonna 2012. Pitoisuudet olivat kuitenkin Pietarsaarta lukuun ottamatta edelleen matalampia tai samalla tasolla kuin vuonna 2006.

mg/kg	Kunta Vuosi	Koko alue			Kokkola			Kruunupyö			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
N %	Keskiarvo	1,50	1,42	1,47	1,45	1,41	1,45	1,37	1,23	1,42	1,44	1,34	1,38	1,62	1,52	1,55	1,59	1,46	1,47	1,56	1,47	1,54
	Pienin	1,11	1,11	1,14	1,11	1,1	1,1	1,22	1,1	1,3	1,33	1,2	1,2	1,42	1,3	1,4	1,43	1,3	1,3	1,31	1,19	1,31
	Suurin	1,93	1,98	1,98	1,78	2,0	2,0	1,56	1,4	1,5	1,7	1,6	1,8	1,93	1,7	1,7	1,81	1,7	1,6	1,90	1,72	1,87
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Ni	Keskiarvo	0,56	1,17	0,58	0,84	2,04	0,79	0,39	0,58	0,44	0,38	0,52	0,37	0,34	0,56	0,45	0,43	0,57	0,39	0,33	0,57	0,45
	Pienin	0,15	0,09	0,18	0,23	0,45	0,27	0,25	0,38	0,25	0,26	0,42	0,27	0,21	0,41	0,27	0,19	0,34	0,22	97,00	116,00	137,00
	Suurin	3,30	7,70	2,90	3,30	7,70	2,90	0,78	1,10	0,75	0,47	0,65	0,49	0,56	0,80	0,81	0,80	1,00	0,89	0,89	2,20	1,86
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
P	Keskiarvo	1454	1382	1541	1465	1385	1526	1316	1244	1465	1464	1411	1513	1521	1457	1566	1531	1433	1586	1395	1343	1576
	Pienin	1170	1100	1128	1190	1200	1128	1200	1100	1371	1300	1200	1327	1360	1300	1415	1310	1200	1354	92	111	131
	Suurin	1920	1900	1848	1920	1600	1801	1530	1400	1677	1700	1900	1784	1760	1600	1751	1750	1600	1848	1590	1500	1801
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
S	Keskiarvo	997	969	1030	1040	1009	1049	934	836	956	890	969	1002	876	974	1029	1058	973	1044	1024	932	1024
	Pienin	770	760	741	860	800	741	860	760	912	790	870	894	770	850	956	950	870	933	99	118	139
	Suurin	1410	1400	1742	1410	1400	1742	1060	930	1049	1110	1200	1237	970	1100	1135	1250	1100	1243	1170	1100	1249
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
V	Keskiarvo	0,09	0,15	0,15	0,10	0,17	0,17				0,10	0,10	0,09	0,05	0,11	0,12	0,14	0,18	0,19	0,05	0,10	0,09
	Pienin	0,05	0,07	0,07	0,05	0,08	0,09				0,05	0,08	0,09	0,05	0,08	0,08	0,05	0,07	0,08	101,00	120,00	141,00
	Suurin	0,61	0,64	0,64	0,35	0,33	0,52				0,19	0,13	0,09	0,05	0,13	0,16	0,61	0,64	0,64	0,05	0,16	0,17
	N	100	48	47	26	26	27	0	0	0	3	3	1	5	5	5	6	6	6	8	8	8
Zn	Keskiarvo	62,0	53,8	57,1	82,9	70,7	72,5	53,9	45,7	52,8	56,4	48,7	50,0	48,5	40,1	40,6	45,8	41,5	47,4	41,3	38,8	44,9
	Pienin	26,0	24,0	28,0	39,0	34,0	34,2	33,0	33,0	41,2	40,0	38,0	36,3	35,0	28,0	28,0	31,0	29,0	36,6	100,0	119,0	140,0
	Suurin	300,0	240,0	270,7	300,0	240,0	270,7	71,0	72,0	68,3	72,0	73,0	62,7	64,0	54,0	47,6	60,0	50,0	60,9	56,0	62,0	59,2
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21



Kuva 6-10. Rikin pitoisuuksien vyöhykkeet tutkimusalueella vuosina 1997, 2000-2002, 2006, 2012 ja 2018 (S mg/kg).

6.1.3 Sammalen alkuainepitoisuudet

Sammalen alkuainepitoisuuksien tunnusluvut tutkimusvuosina 2018, 2012 ja 2006 koko alueella ja kunnittain on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 6-3). Muutokset tutkimusvuosina 2018 ja 2012 havaittujen pitoisuuksien välillä testattiin parittaisella t-testillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty alkuaineen perässä yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***).

Vuoteen 2012 verrattuna koko tutkimusalueella tilastollisesti merkitsevästi oli kasvanut boorin (***), kalsiumin (***), kaliumin (***), magnesiumin (**) ja mangaanin (***) pitoisuudet. Tilastollisesti merkitsevästi olivat vähentyneet alumiinin (***), arseenin (**), kromin (***), kuparin (*), raudan (***), natriumin (***), nikkelin (***),

lyijyn (*), rikin (***) ja vanadiinin (**) pitoisuudet. Pitoisuudet olivat säilyneet vuoden 2012 tasolla kadmiumilla, koboltilla, elohopealla ja sinkillä.

Verrattaessa tuloksia vuoden 2006 tuloksiin, tilastollisesti merkittävästi olivat kasvaneet kalsiumin (***), mangaanin (*) ja sinkin (***) pitoisuudet. Tilastollisesti merkittävästi olivat vähentyneet boorin (*), kadmiumin (**), kromin (***), kuparin (***), raudan (**), elohopean (*), kaliumin (***), nikkelin (***), lyijyn (***) ja vanadiinin (***) pitoisuudet.

Alumiinipitoisuudet olivat keskimäärin laskeneet tutkimusalueella vuodesta 2012. Alumiinipitoisuudet olivat kuitenkin rannikkoseudulla kohonneet erityisesti vuoden 2006 seurannasta. Vuonna 2018 korkeimpien pitoisuuksien vyöhyke rannikon tuntumassa oli vielä selkeämpi kuin vuonna 2012 havaittu vyöhyke. Vuoteen 2012 verrattuna kohonneita pitoisuuksia esiintyi Kokkolan Lohtajalla ja Lennonperällä, Kruunupyyn pohjoisosassa Ferral Alucast Oy:n tuotantolaitoksen läheisyydessä sekä Pedersöressä, minkä lisäksi korkeimpien pitoisuuksien vyöhyke havaittiin myös Kokkolan eteläosissa Lätän kaakkoispuolella. Uudenkaarlepyyn eteläosissa sekä Kokkolan Kälviällä pitoisuudet olivat laskeneet vuodesta 2012. Kohonneita pitoisuuksia havaittiin myös Kaustisen keskustassa. Osin kohonneita pitoisuuksia selittää vuonna 2012 perustetut lisäalat, joilla on painotettu kuormitettujen alueiden läheisyyttä (Kruunupyy ja Kaustinen) sekä perustettu tausta-alueille lisäaloja (Uusikaarlepyy). (Kuva 6-11).

Arseenin korkeimmat pitoisuudet on havaittu kaikkina tutkimusvuosina Kokkolan Ykspihlajan aloilla. Korkeimmat pitoisuudet havaittiin tarkastelujaksolta vuonna 1992, jonka jälkeen pitoisuudet ovat laskeneet. Vuoteen 2012 verrattuna arseenipitoisuuksien vyöhykkeet ovat hieman pienentyneet. Arseenipitoisuudet Kokkolan Ykspihlajan alueella ovat laskeneet vuodesta 2012. (Kuva 6-12).

Kadmiumin korkeimmat pitoisuudet on havaittu Ykspihlajalla vuonna 1992, jonka jälkeen pitoisuudet ovat johdonmukaisesti laskeneet ja korkeimpien pitoisuuksien vyöhykkeet pienentyneet. Kadmiumpitoisuuksien vyöhykkeet eivät ole merkittävästi muuttuneet vuoteen 2012 verrattuna. Kadmiumpitoisuudet Kokkolan Ykspihlajan alueella olivat jonkin verran laskeneet vuodesta 2012. (Kuva 6-13).

Koboltin korkeimmat pitoisuudet havaittiin kaikkina seuranta vuosina Ykspihlajan alueella, ja pitoisuudet pienenevät etäisyyden Ykspihlajaan kasvaessa. Merkittäviä muutoksia pitoisuusvyöhykkeissä vuosien välillä ei havaittu. Vuonna 2018 lievästi kohonneiden pitoisuuksien vyöhyke oli kuitenkin jossain määrin laajempi kuin aikaisempina vuosina. (Kuva 6-14).

Kuparin pitoisuudet Kokkolan Ykspihlajan alueella olivat laskeneet huomattavasti aikaisemmista tutkimusvuosista, eikä tutkimuksessa havaittu selkeästi kohonneiden pitoisuuksien vyöhykeitä. Vuonna 2012 korkeimmat kuparipitoisuudet havaittiin Luodon ja Kokkolan rajalla, kun taas vuosina 2000/2002 ja 2006 korkeimmat pitoisuudet esiintyivät Ykspihlajan alueella. Pietarsaaren keskustan sammalten kuparipitoisuudet eivät enää vuosina 2018 ja 2012 olleet yhtä korkeita kuin aiempina vuosina. (Kuva 6-15).

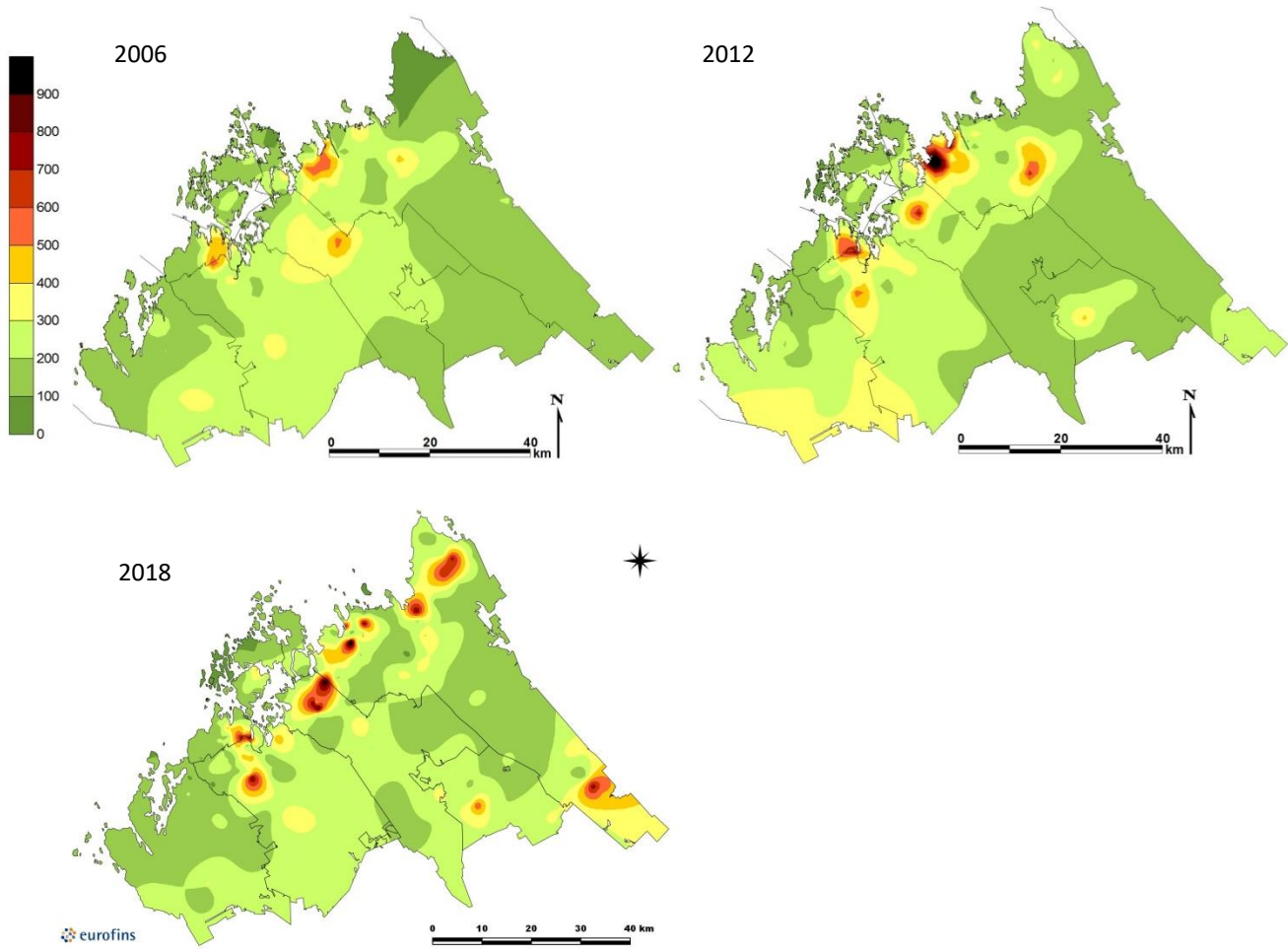
Korkeimmat **rautapitoisuudet** sijoittuivat Ykspihlajan alueelle tai sen läheisyyteen kaikkina tutkimusvuosina, vaikka kohonneita rautapitoisuuksia havaittiin myös muualla tutkimusalueella. 2000-luvun muihin tutkimusvuosiin verrattuna Ykspihlajan rautapitoisuudet olivat laskeneet. (Kuva 6-16).

Elohopeapitoisuudet olivat korkeimmillaan vuonna 1997. Korkeimmat vuonna 2018 havaitut pitoisuudet sijoittuivat Kokkolan Ykspihlajan alueelle, mutta pitoisuudet ovat laskeneet selvästi koko tutkimusalueella 2000-luvulla. Vuonna 2018 lievästi kohonneiden pitoisuuksien vyöhyke oli jonkin verran laajempi kuin vuonna 2012, mutta selkeästi pienempi kuin 2000-luvun alussa. (Kuva 6-17).

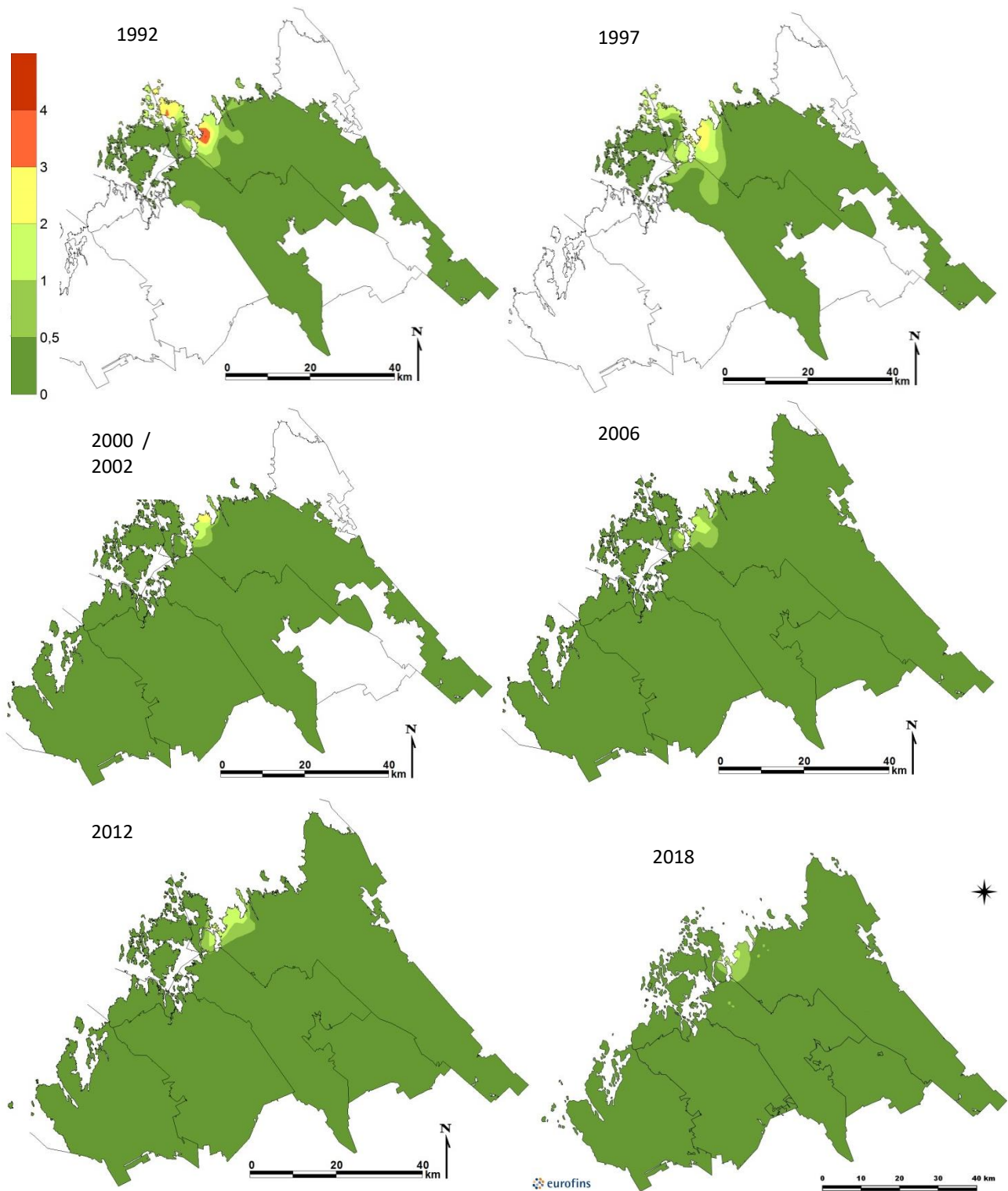
Nikkelin pitoisuustaso oli pienentynyt selkeästi verrattuna aikaisempiin tutkimusvuosiin. Vuonna 2006 kohonneita nikkelpitoisuuksia havaittiin erityisesti Uudenkaarlepyyn Jepuan aloilla, mutta pitoisuudet laskivat vuosien 2012 ja 2018 tutkimuksissa. Vuonna 2012 korkeimmat pitoisuudet havaittiin Kokkolan Ykspihlajan alueella. Ykspihlajan alueen nikkelpitoisuudet olivat selkeästi laskeneet vuoden 2012 pitoisuuksista vuoden 2006 pitoisuuksien tasolle. (Kuva 6-18).

Korkeimmat **sinkkipitoisuudet** ovat kaikkina tutkimusvuosina sijoittuneet Ykspihlajan alueelle. Ykspihlajan pitoisuudet ovat laskeneet selvästi 1990-luvun tasosta. Ykspihlajan alueen sinkkipitoisuudet ovat olleet nousussa vuoden 2006 jälkeen. (Kuva 6-19).

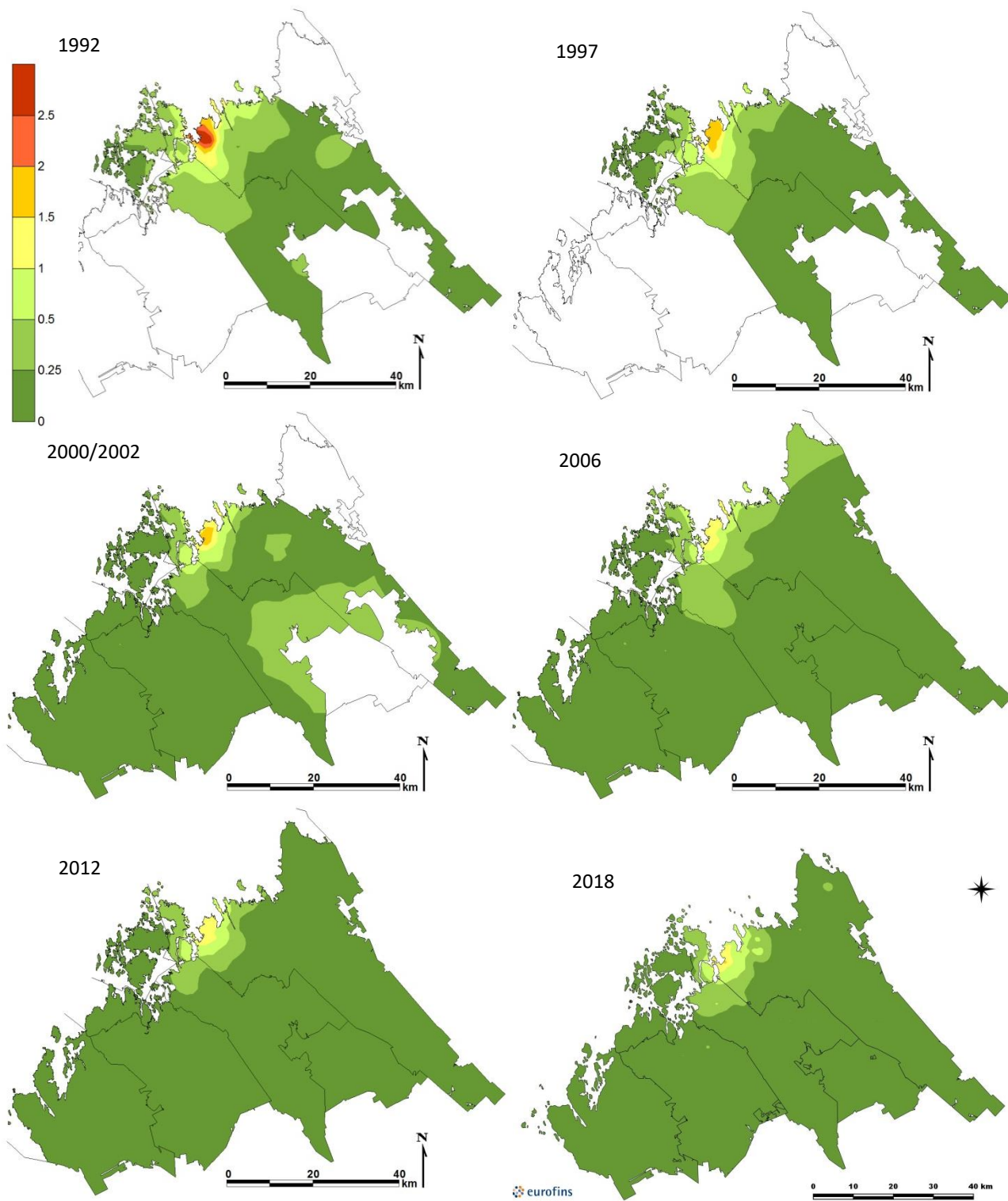
Kunta Vuosi N	Koko alue			Kokkola			Kruunupyö			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
	2018 103	2012 103	2006 102	2018 40	2012 40	2006 39	2018 8	2012 8	2006 8	2018 9	2012 9	2006 9	2018 13	2012 13	2006 13	2018 12	2012 12	2006 12	2018 21	2012 21	2006 21
P Keskiarvo	1348	1358	1542	1389	1368	1611	1079	1149	1199	1421	1298	1537	1424	1623	1710	1526	1517	1711	1195	1192	1346
Pienin	690	680	979,5	830	910	1083	810	990	1022	1200	680	1199	1130	1000	1278	1170	1100	1115	690	910	979,5
Suurin	2560	2600	2782	2560	2600	2718	1310	1400	1388	1900	1600	1817	2030	2600	2782	1900	2100	2499	1890	1600	1741
Pb Keskiarvo	2,50	3,03	3,73	4,16	5,36	5,98	1,86	1,92	3,55	1,32	1,54	2,18	1,67	1,86	2,70	1,52	1,44	2,06	1,15	1,29	1,85
Pienin	0,57	0,77	0,427	0,57	0,95	0,427	0,79	0,98	1,5	0,99	1,1	1,617	1,1	0,77	1,282	0,87	0,98	1,345	0,58	0,87	1,37
Suurin	16	22	30,93	16	22	30,93	3,9	4,2	6,87	1,7	2,2	2,665	2,9	4	4,566	3,5	2,8	3,368	2	1,7	2,607
S Keskiarvo	879	1012	1092	923	1025	1106	690	844	893	827	833	981	933	1095	1153	1042	1114	1184	764	1020	1099
Pienin	450	480	752,1	640	720	780,1	450	730	752,1	580	480	852,7	550	810	973,8	830	910	891,8	490	790	852,9
Suurin	1510	1800	1794	1450	1800	1794	920	960	1050	1020	1000	1201	1280	1700	1451	1510	1500	1725	1190	1600	1623
V Keskiarvo	0,78	1,36	2,20	0,81	1,21	1,57	0,56	0,60	1,15	0,69	0,82	1,58	0,77	0,83	1,50	1,15	1,95	2,60	0,66	2,16	4,24
Pienin	0,25	0,39	0,6877	0,26	0,44	0,695	0,32	0,45	0,943	0,36	0,65	1,2	0,41	0,39	0,7174	0,27	0,45	0,6877	0,25	0,41	0,878
Suurin	5,2	15	36,03	2	3,7	3,411	1,2	0,66	1,597	2,3	1,7	2,505	1,4	1,2	2,51	5,2	9,7	11	2,9	15	36,03
Zn Keskiarvo	83,7	81,5	70,4	133,7	136,9	109,6	77,1	54,6	59,3	62,4	46,8	53,0	49,9	52,1	44,8	54,3	51,2	49,8	37,9	36,9	36,7
Pienin	28	21	31,23	29	26	32,75	40	29	37,09	42	21	37,92	41	33	31,55	38	39	33,97	28	31	31,23
Suurin	380	340	320,8	380	340	320,8	130	110	110,5	92	62	92,74	71	78	54,61	69	76	75,46	50	50	45,46



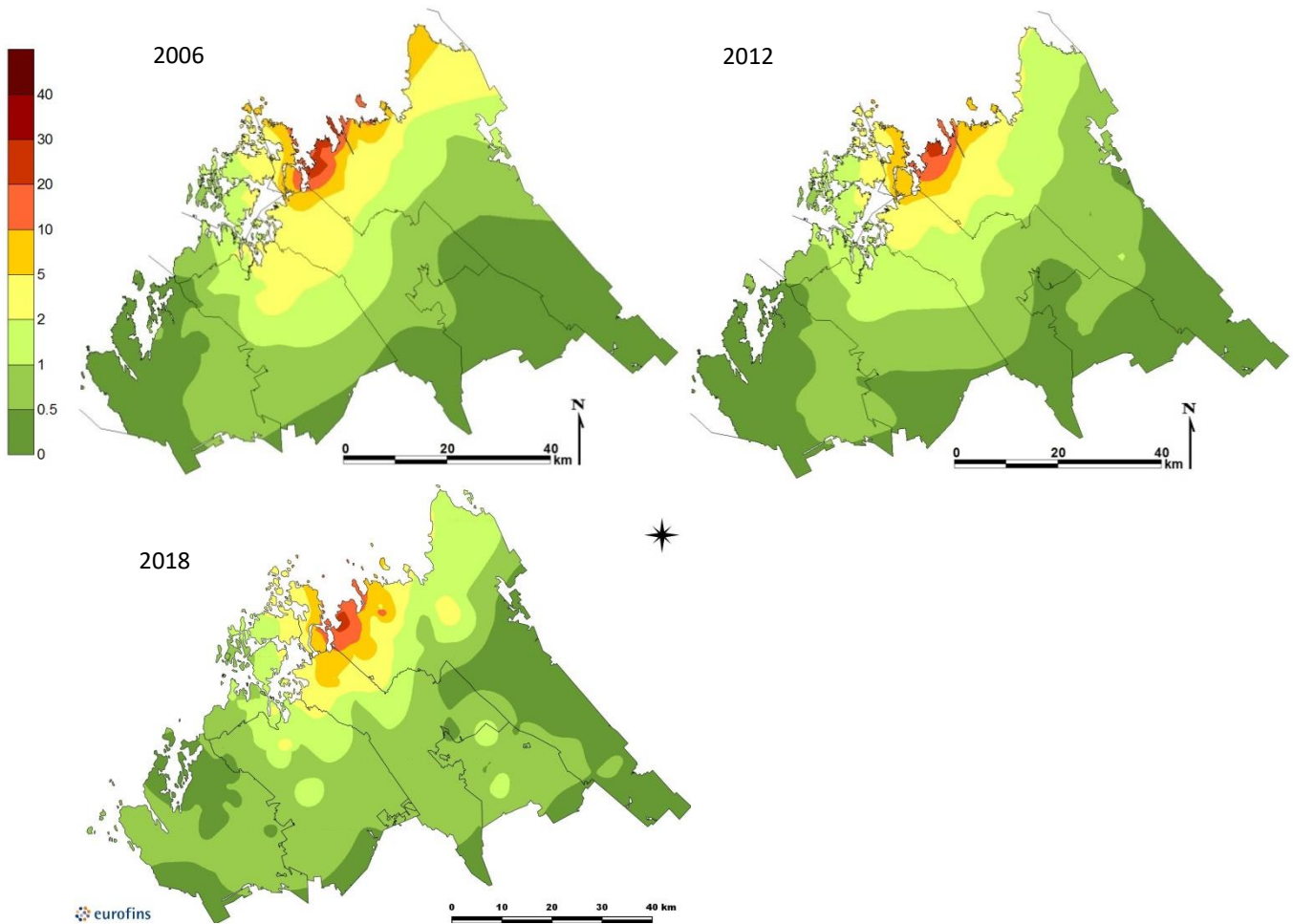
Kuva 6-11. Sammalen alumiinipitoisuudet (Al mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2006, 2012 ja 2018.



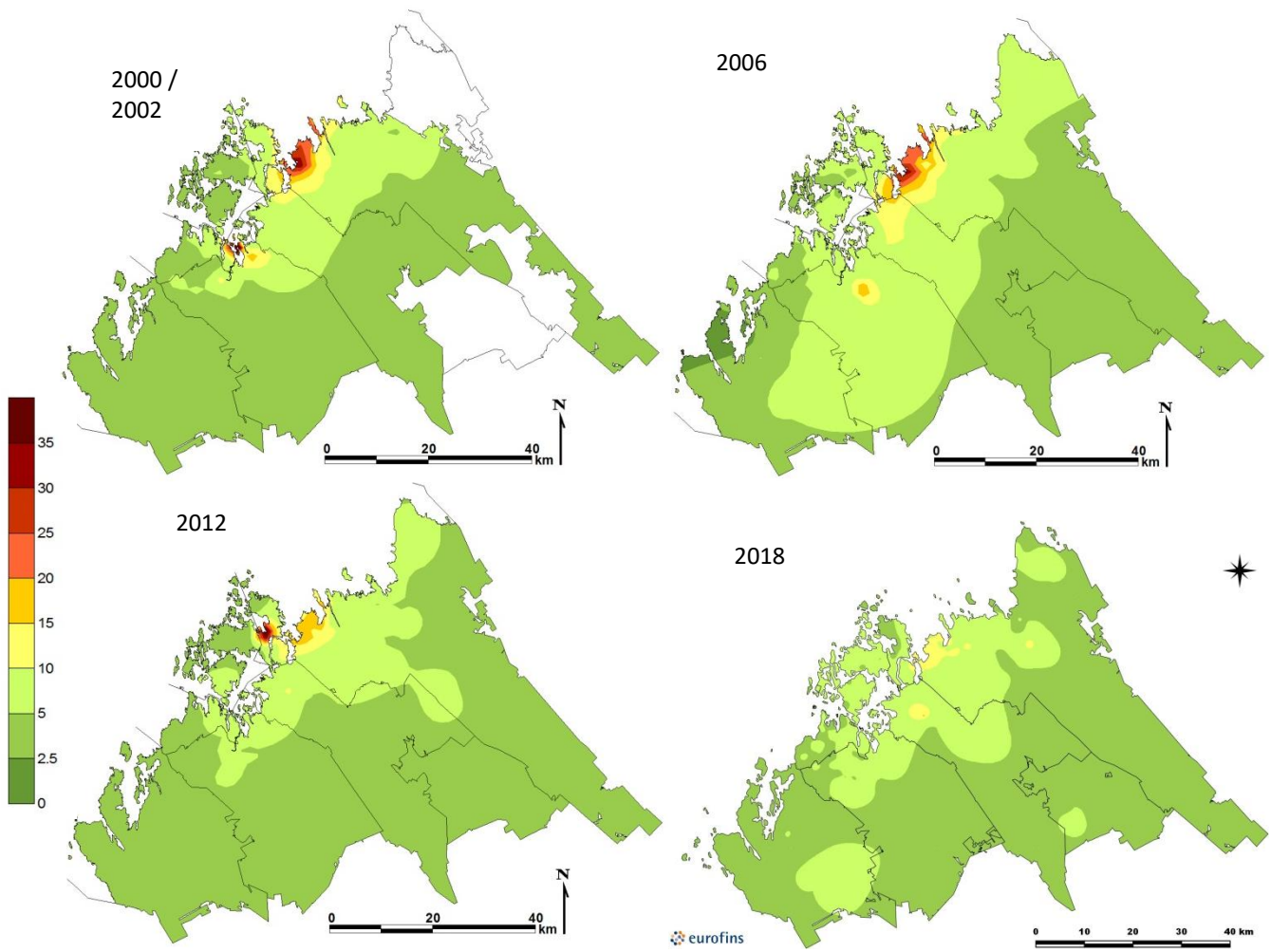
Kuva 6-12. Sammalen arseenipitoisuudet (As mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



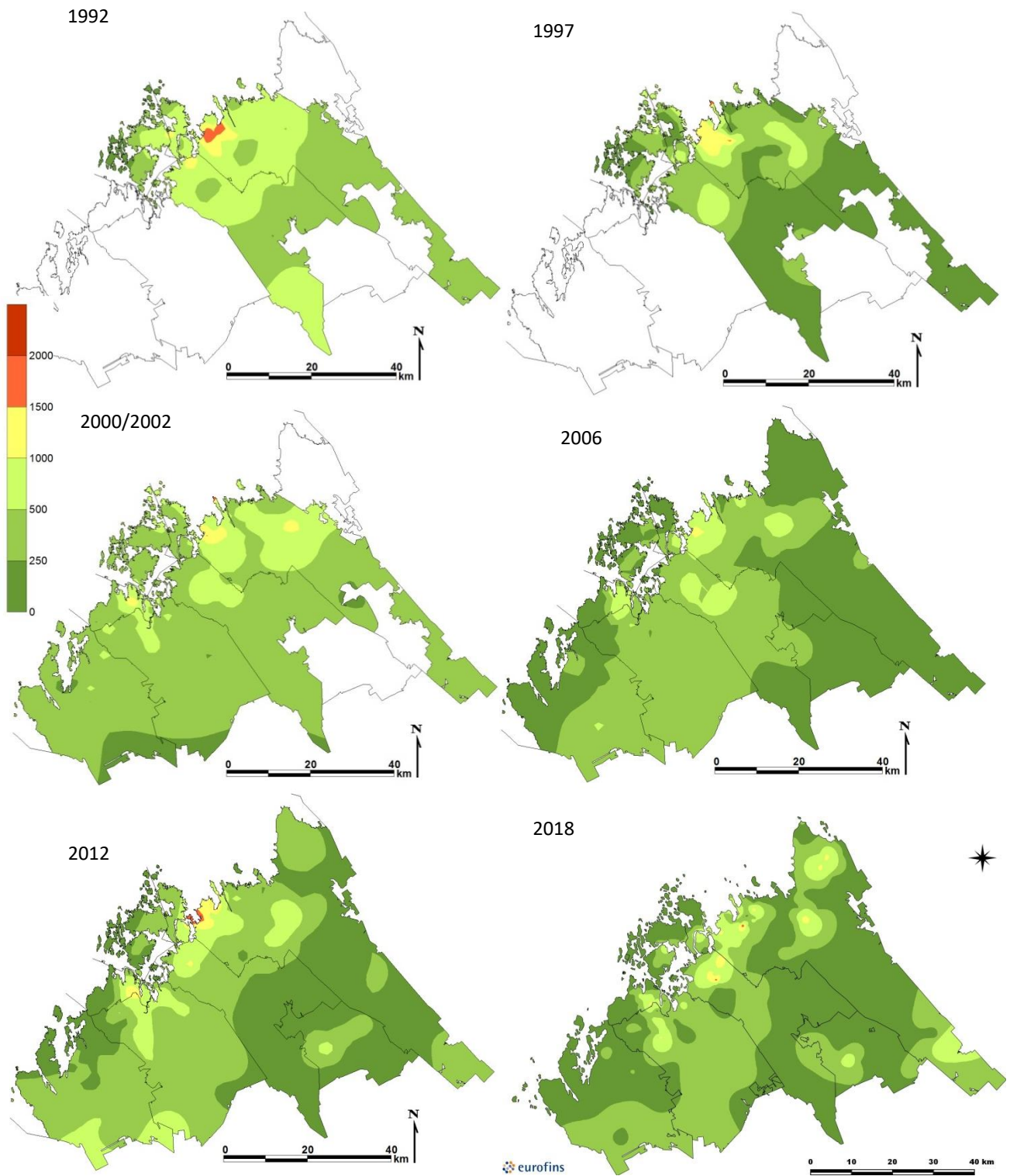
Kuva 6-13. Sammalen kadmiumpitoisuudet (Cd mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



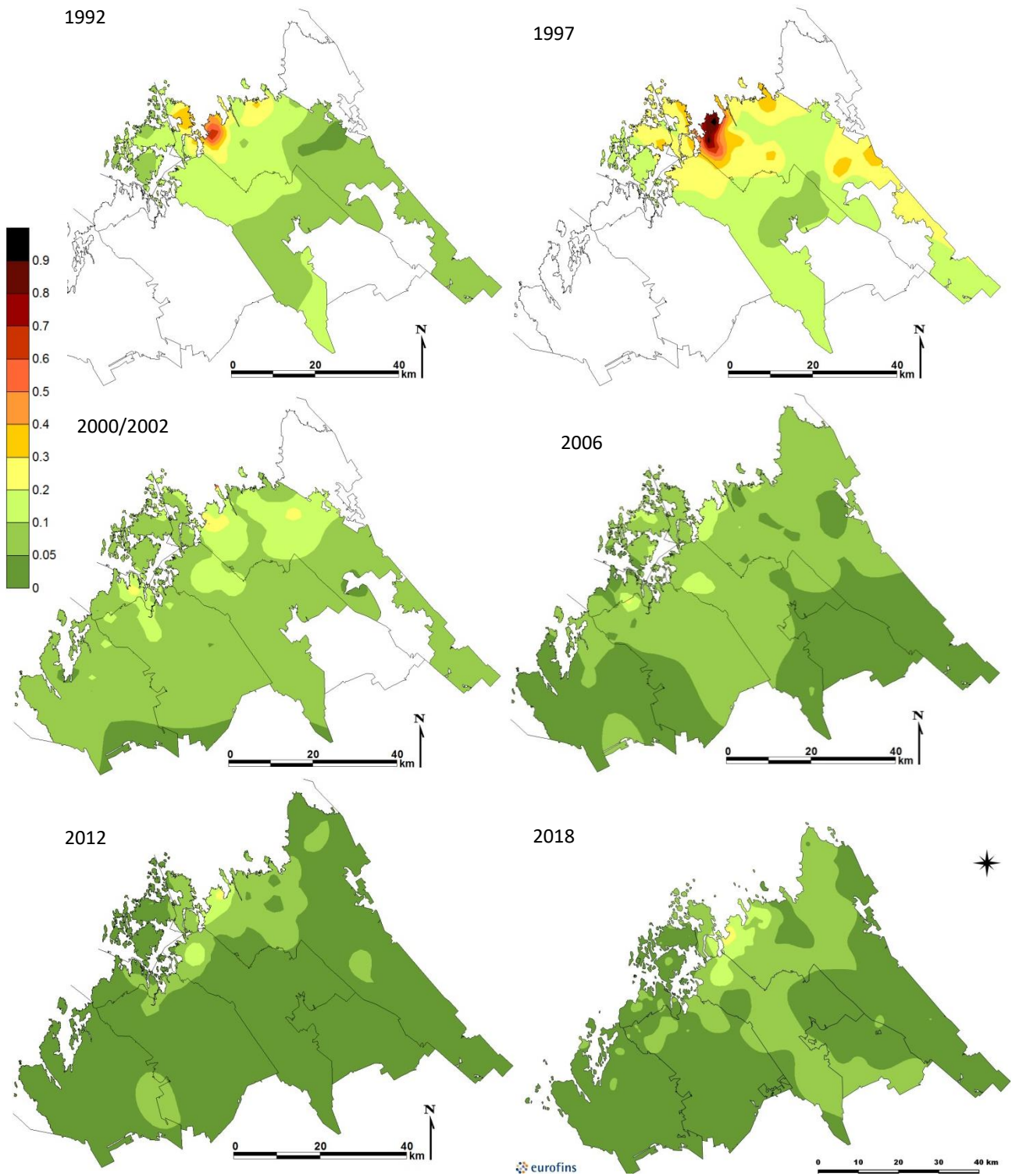
Kuva 6-14. Sammalen kobolttipitoisuudet (Co mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2006, 2012 ja 2018. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



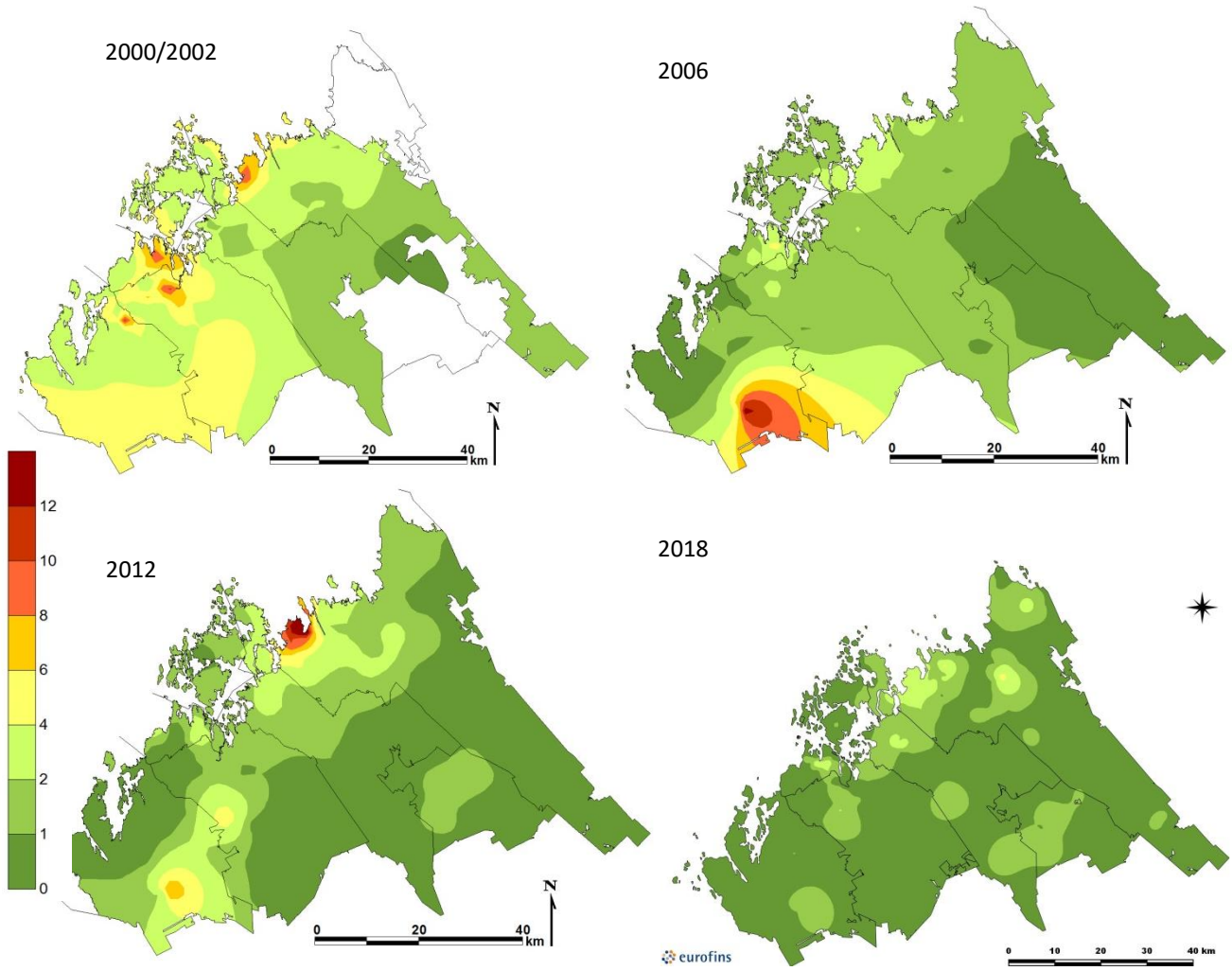
Kuva 6-15. Sammalen kuparipitoisuudet (Cu mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



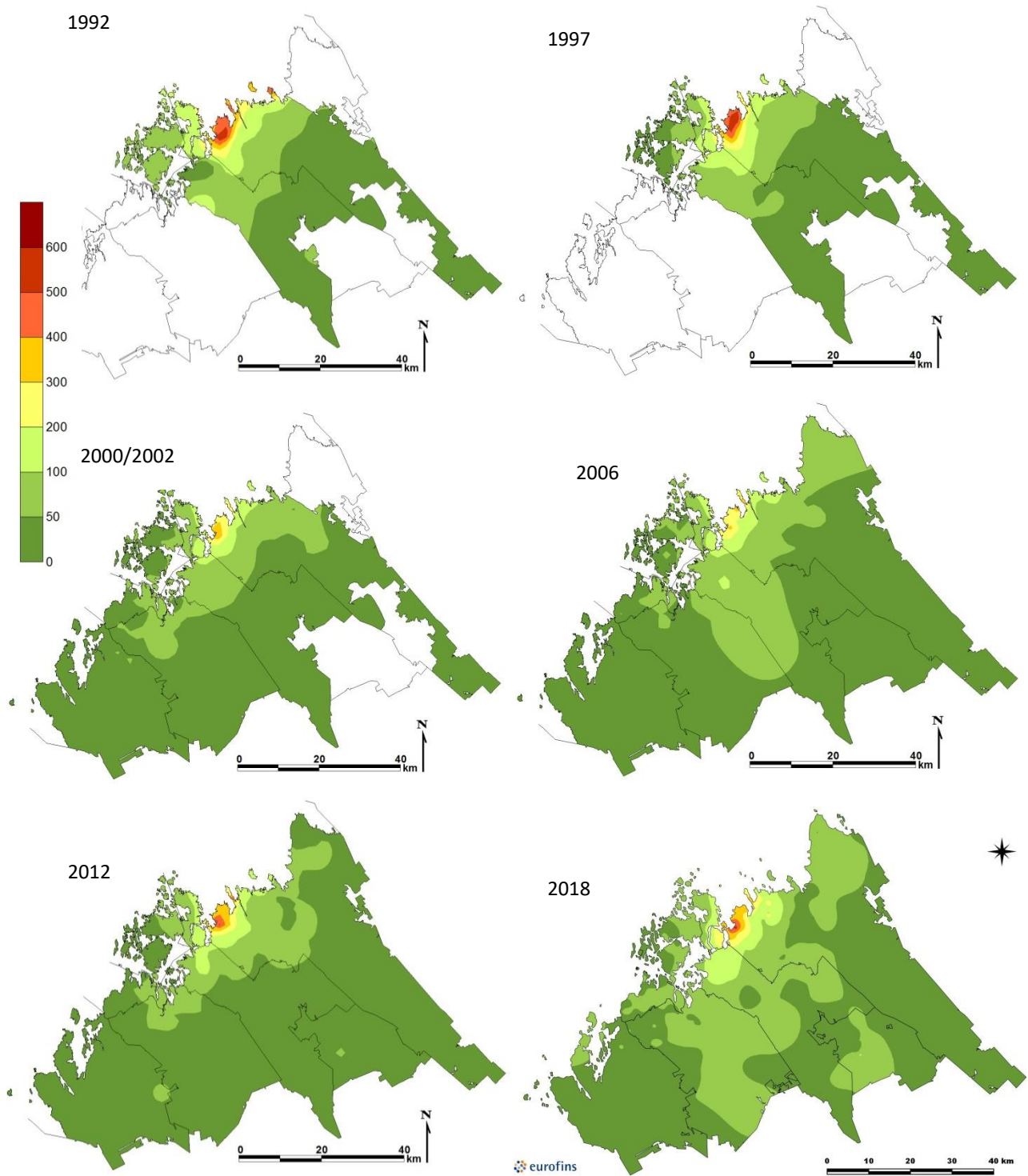
Kuva 6-16. Sammalen rautapitoisuudet (Fe mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



Kuva 6-17. Sammalen elohopeapitoisuudet (Hg mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.



Kuva 6-18. Sammalen nikkelpitoisuudet (Ni mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018.



Kuva 6-19. Sammalen sinkkipitoisuudet (Zn mg/kg) tutkimusalueella vuosina 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 ja 2018. Asteikko ei ole alkupäästä yhtenäinen.

6.1.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Humuksen alkuainepitoisuuksien tunnusluvut tutkimusvuosina 2018, 2012 ja 2006 koko alueella ja kunnittain on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 6-4). Kokkolan osalta on esitetty erikseen näytealat ja tausta-ajat. Muutokset tutkimusvuosina 2018 ja 2012 havaittujen pitoisuuksien välillä testattiin parittaisella t-testillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty alkuaineen perässä yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***). Humuksen alkuainepitoisuuksien vuosien väliseen tarkasteluun on sisällytetty kaikki tutkimusalat, myös vaihtuneet, johtuen samoina pysyneiden tutkimusalojen humusnäytteiden pienestä määrästä. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin kuitenkin Kaustisen kaksi näytealaa, sillä Kaustisen näytealat perustettiin vuonna 2018, minkä lisäksi Kaustisen humusnäytteiden näytteenottoajankohta poikkesi muista humusnäytteistä.

Vuoteen 2012 verrattuna tilastollisesti merkitsevästi oli laskenut elohopean (*) ja mangaanin (*) pitoisuudet sekä noussut kaliumin (**), kalsiumin (***), kromin (**), magnesiumin (***), natriumin (***) ja rikin (**) pitoisuudet. Elohopeapitoisuudet olivat laskeneet sekä Kokkolan tutkimusaloilla että tausta-aloilla. Mangaanipitoisuudet olivat laskeneet Luodossa, Pedersöressä, Pietarsaassa ja Uudessakaarlepyyssä. Alumiinipitoisuutta vuosien välillä ei ole vertailtu analyysimenetelmän erojen takia.

Keskimääräiset kromipitoisuudet olivat nousseet erityisen selkeästi Pietarsaassa ja Uusikaarlepyyssä, mutta myös Luodossa ja Pedersöressä. Keskimääräinen rikkipitoisuus puolestaan oli noussut Pietarsaassa, Uudessakaarlepyyssä ja jonkin verran myös Luodossa, kun taas Pedersöressä rikkipitoisuudessa ei ollut merkittävää muutosta. Rikkipitoisuudet olivat kuitenkin edelleen matalampia kuin vuonna 2006. Kalium-, kalsium-, magnesium- ja natriumpitoisuudet nousivat kaikissa kunnissa vuodesta 2012.

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

Kokkola-Pietarsaaren vuoden 2018 bioindikaattoritutkimuksen tuloksia verrattiin eri puolilla Suomea tehtyjen tutkimusten tuloksiin jäkälämuuttujien osalta (Taulukko 6-5). Sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurioaste oli Kokkolan-Pietarsaaren alueella hieman korkeampi verrattuna vertailukohteina oleviin vuosina 2013-2017 toteutettuihin bioindikaattoritutkimuksiin. Myös lajilukumäärä oli muita alueita alhaisempi. Sama suuntaus havaittiin myös verrattaessa vuoden 2012 selvityksen tuloksia aikaisempiin tutkimuksiin. Kokkolan-Pietarsaaren alueella on runsaasti sekä pistemäisiä teollisuuspäästölähteitä että turkistarhauksen ja karjatalouden hajapäästölähteitä, jotka ovat vaikuttaneet jäkälien kuntoon ja lajiston koostumukseen myös kauempana teollisuusalueista ja asutuskeskittymistä.

Taulukko 6-5. Sormipaisukarpeen vaurioaste sekä puu- että havaintoalakohtainen lajilukumäärä Kokkola-Pietarsaaren bioindikaattoritutkimuksessa 2018 ja eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa (Ahma ympäristö Oy 2017, Seppänen ym. 2017, Keskitalo ym. 2015, Nab Labs Oy 2016a, Ruuth ym. 2016, Nab Labs Oy 2016b, Huuskonen ym. 2013, Lehkonen ym. 2012, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2010, Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2007, Haahla ym. 2006a, Haahla ym. 2006b). Kokkola-Pietarsaaren tulokset vuosilta 2018 ja 2012 on korostettu.

Alue	N	Tutkimusvuosi	Sormipaisukarpeen vaurio	Lajilukumäärä / puu	Lajilukumäärä / havaintoala
Kokkola-Pietarsaari	240	2018	2,6	3,1	4,1
Seinäjäki ja Etelä-Pohjanmaa	97	2017	2,5		6,6
Kainuu	52	2015	1,7	4,9	
Uusimaa	734	2014	2,5	4,4	6,7
Pori-Harjavalta	107	2014	2,4	3,6	5,7
Kanta- ja Päijät-Häme	304	2014	2,5	4,5	6
Vaasan seutu	53	2013	2,3	4,3	6
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

Kokkola-Pietarsaaren vuoden 2018 bioindikaattoritutkimuksen neulasten alkuaineanalyysin tuloksia verrattiin eri puolilla Suomea tehtyjen tutkimusten tuloksiin (Taulukko 6-6). Tarkasteluun sisällytettiin lisäksi neulasten alkuainepitoisuuksien vertailuarvoja, jotka kuvaavat metsikön keskimääräistä ravinnetilaa (Taulukko 3-10).

Magnesiumin ja mangaanin keskimääräiset pitoisuudet olivat vertailurajoissa ja fosforin keskimääräinen pitoisuus oli hieman matalampi kuin vertailuarvo. Muiden alkuaineiden pitoisuudet olivat keskimäärin vertailuarvojen kanssa samalla tai korkeammalla tasolla. Kadmium, kupari, rauta ja sinkki olivat keskimäärin hieman korkeammalla tasolla kuin muualla Suomessa vuosina 2013-2017 toteutetuissa tutkimuksissa, kun taas muut pitoisuudet olivat pitkälti samalla tasolla kuin vertailututkimusten tulokset.

Taulukko 6-6. Neulasten alkuainepitoisuuksia (mg/kg) Kokkola-Pietarsaaren bioindikaattoritutkimuksessa 2018 sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa (Ahma ympäristö Oy 2017, Seppänen ym. 2017, Nab Labs Oy 2016a, Ruuth ym. 2016, Nab Labs Oy 2016b, Huuskonen ym. 2013, Reinikainen ym. 1998, Brække 1994, Mälkönen 1991 ja Raitio 1994 mukaan; Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008c-f, Merilä 2007, Laita ym. 2007, Haahla ym. 2006, Polojärvi ym. 2005). Kokkola-Pietarsaaren tulokset vuosilta 2018 ja 2012 on korostettu.

	Vuosi	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	N %	Ni	P	S	Zn
Kokkola-Pietarsaari	2018	12,3	3874	0,13	0,13	3,27	65,7	5607	790	432	1,49	0,42	1432	973	52
Seinäjäki ja Etelä-Pohjanmaa	2017	15,28	3886	0,08	0,67	2,57	59,3	5973	1005	411	1,34	0,6	1450	943	45,8
Kainuu	2015	8,29	2590	0,09	0,4	2,56	34,7	4280	720	602	1,2	0,97	1180	770	35,2
Pori-Harjavalta	2015		4363					4504	760	700	1,4			1,098	
Kanta- ja Päijät-Häme	2014	20	4210					4560	830		0,094			1060	
Vaasan seutu	2013	17,6	3521			2,8		5379	899	508	1,47		1490	1067	
Kokkola-Pietarsaari	2012	16,3	2881	0,13	0,16	3,2	94	5499	783	388	1,4	0,94	1355	947	49
Pyhäjärven seutu	2007	15	3265			3,0	61	5586	767	508	1,49		1457	992	44
Suupohja	2006	16,2	3447	0,12	0,14	2,2	63	4396	892	604	1,51	0,52	1463	1011	49
Vaasa	2006	19,3	3475	0,12	0,16	2,4	74	5254	880	519	1,53	0,6	1527	1037	51
Seinäjäki	2006	15,4	3218	0,08	0,13	2,2	68	4697	879	413	1,52	0,41	1461	971	45
Vakka-Suomi	2006	19	3524		0,095	2,6	58	5077	887	564	1,57	0,47	1531	1088	52
Turku	2005		4400					5600	1000	650	1,56			1100	
Keski-Suomi	2005	18,1	4800					5700	1000		1,55		1600	1110	
Uusimaa (taajama-alueet)	2005	20,5	2800	0,2	0,2	3,3	54	5900	1200	419	1,36	1,7	1500	1079	48
ICP Forests	2002-2005	10,3	3080			2,2	40	4580	890	667	1,17		1310	860	48
Vertailuarvo (Taulukko 3-10)		12,1	1850-2280			2,6-3,2	46,4	4820-4870	990-1070	409-555	1,23		1460-1520	940	40-46

6.2.3 Sammalen alkuainepitoisuudet

Kokkola-Pietarsaaren vuoden 2018 bioindikaattoritutkimuksen sammalten alkuaineanalyysin tuloksia verrattiin eri puolilla Suomea tehtyjen tutkimusten tuloksiin (Taulukko 6-7). Tarkasteluun sisällytettiin lisäksi sammalten alkuainepitoisuuksia Metlan vuoden 2010 koko Suomen laajuisesta tutkimuksesta.

Tutkittujen metallien keskimääräiset pitoisuudet olivat Kokkolan-Pietarsaaren seudulla korkeampia kuin Metlan aineiston pitoisuudet keskimäärin, lukuun ottamatta kromia, nikkeliä ja vanadiinia.

Elohopeaa ja sinkkiä oli keskimäärin enemmän kuin kaikilla muilla tutkimusalueilla. Kadmiumin pitoisuudet puolestaan olivat korkeampia kuin kaikilla muilla vertailtavilla tutkimusalueilla Pori-Harjavaltaa lukuun ottamatta. Lyijyä esiintyi keskimäärin enemmän kuin kaikilla muilla vertailtavilla tutkimusalueilla Kanta- ja Päijät-Hämettä lukuun ottamatta. Rautapitoisuudet olivat korkeampia kuin Kainuussa, Pori-Harjavallassa sekä Pyhäjärvisseudulla. Arseenin ja kuparin keskimääräiset pitoisuudet olivat korkeampia verrattuna Kainuuseen ja Pohjois-Karjalaan. Muiden alkuaineiden pitoisuudet olivat samalla tasolla tai matalampia kuin muilla tutkimusalueilla.

Taulukko 6-7. Sammalen alkuainepitoisuuksia (mg/kg) Kokkola-Pietarsaaren bioindikaattoritutkimuksessa 2018 sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa (Ahma ympäristö Oy 2017, Seppänen ym. 2017, Nab Labs Oy 2016a, Ruuth ym. 2016, Huuskonen ym. 2013, Metsäntutkimuslaitos 2012, Lehtinen ja Lepola 2012, Lehtonen 2011, Huuskonen ym. 2009). Kokkola-Pietarsaaren tulokset vuosilta 2018 ja 2012 on korostettu.

	Vuosi		Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Ni	P	Pb	S	V	Zn
Kokkola-Pietarsaari	2018		250	0,2	0,23	0,76	5,71	336	0,061	1188	1,12	1335	2,33	869	0,83	80
Seinäjäjoki ja Etelä-Pohjanmaa	2017		407	0,7	0,071	15,98	5,85	728	0,031	1374	8,56	1281	0,92	754	1,67	32,4
Kainuu	2017			0,09	0,12	0,92	4,12	232	0,039		3		1,77		1,11	30
Pori-Harjavalta	2014			0,495	0,335	0,9	28	286	0,045		8,55		2,175		0,85	40,5
Kanta- ja Päijät-Häme	2014				0,17	1,12	5,8		0,04		1,4		3,08		1,4	41
Kokkola-Pietarsaari	2012		268	0,23	0,24	1,09	6	435	0,05	1084	2,1	1336	2,6	979	1,1	74
Seinäjoen seutu	2012		285	0,38	0,11	3,56	5,76	439	0,03	1389	2,56	1552	1,1	945	1,22	32
Metla	2010	keskiarvo		0,11	0,12	0,97	5,03	243	0,042		2,51		2,05		1,09	31
		pienin		< 0,10	0,03	0,34	0,74	53	0,016		0,42		0,4		0,32	11,5
		suurin		1,21	0,44	14	55	2230	0,119		88		6,6		14,2	102
Pohjois-Karjala	2010			0,16	0,16	1,7	5,2	431		1171	2,5	1345	1,9	922	1,6	38
Pyhäjärvisseutu	2007				0,2	0,74	8,6	282	0,05		2,4		2		1,6	43

6.2.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Kokkola-Pietarsaaren vuoden 2018 bioindikaattoritutkimuksen humuksen alkuaineanalyysin tuloksia verrattiin eri puolilla Suomea tehtyjen vastaavien tutkimusten tuloksiin (Taulukko 6-8).

Arseeni-, kadmium-, koboltti-, kupari-, nikkeli-, lyijy- ja sinkkipitoisuudet olivat Kokkolan-Pietarsaaren seudulla keskimääräisesti selvästi korkeampia kuin vertailualueiden keskimääräiset pitoisuudet. Myös kromipitoisuudet olivat keskimäärin jonkin verran korkeampia kuin muilla alueilla. Elohopeaa esiintyi enemmän kuin koko Suomen aineistossa.

Rauta- ja vanadiinipitoisuudet olivat samaa tasoa tai hieman korkeampia kuin muissa aineistoissa. Ravinnepitoisuudet olivat rikkiä lukuun ottamatta pienempiä tai samaa tasoa kuin vertailuaineistoissa.

Taulukko 6-8. Humuksen alkuainepitoisuuksia ja pH Kokkola-Pietarsaaren bioindikaattoritutkimuksessa 2018 (pl. Kaustisen alat) sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa (Ruuth ym. 2016, Huuskonen ym. 2013, Tarvainen ym. 2006, Salminen ym. 2003). Kokkola-Pietarsaaren tulokset vuosilta 2018 ja 2012 on korostettu.

	Kokkola-Pietarsaari 2018	Kanta- ja Päijät-Häme 2016	Kokkola-Pietarsaari 2012	Pääkaupunkiseudun kehyskunnat 2004-2005	Koko Suomi 2001-2002
Al mg/kg	2245		3825	4056	1960
As mg/kg	11,56		14,6	2,12	1,3
B mg/kg	2,37		2,6	4,51	5
Ca mg/kg	2885		1779	4264	2610
Cd mg/kg	2,05	0,38	2,03	0,4	0,32
Co mg/kg	72,55		83	2,11	1,1
Cr mg/kg	18,1	11,1	4,4	8,5	3,9
Cu mg/kg	61,6	17	68	10	7,9
Fe mg/kg	5488		5076	5336	2250
Hg mg/kg	1,69		2,24	0,2	0,18
K mg/kg	791		537	1118	927
Mg mg/kg	557		319	1112	531
Mn mg/kg	80,6		134	425	187
Na mg/kg	67,7		36	100	50
Ni mg/kg	32,6	9,4	29,7	7,45	4,6
P mg/kg	697		615	878	742
Pb mg/kg	109	51,02	33	55	31
S mg/kg	1644		1320	1518	1230
V mg/kg	20,0	19,5	19,5	15,9	6,9
Zn mg/kg	329	68	313	68,4	40,5
pH		4,2	4,0	3,5	

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmanlaatua on seurattu bioindikaattorien avulla Kokkolan seudulla 1970-luvulta lähtien ja Pietarsaaren seudulla 2000-luvun alusta lähtien. Bioindikaattoriseuranta toteutettiin ensimmäistä kertaa Kokkolan ja Pietarsaaren yhteisenä seurantana vuonna 2012, ja seurantaa jatkettiin samalla tavalla myös vuonna 2018. Ilmanlaadun bioindikaattoreina käytettiin männyn runkojäkäliä ja männyn neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen kemiallisia ominaisuuksia.

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 1980-lukuun verrattuna 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. Karjatalouden ja turkistarhauksen 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 Pietarsaassa, metallipäästöistä puolestaan suurin osa syntyy Kokkolassa. Rikkidioksidipäästöt kasvoivat Kokkola-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. Typen oksidien määrä on erityisesti Pietarsaassa ollut vuodesta 2012 matalampi kuin 2000-luvun korkeimpina typen oksidien päästövuosina. Hiukkaspäästöt ovat vähentyneet alueella selvästi vuoden 2003 jälkeen. Metallipäästöt ovat vähentyneet 1990-luvulta 2000-luvulle tultaessa siten, että vuoden 2003 jälkeen metallien päästö määrissä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Suurimman osan metallien päästöistä muodostavat sinkkipäästöt.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset indikaattoreihin olivat selvästi havaittavissa voimakkaimmin kuormitetuilla alueilla. 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 oli havaittavissa tutkittujen muuttujien alueellisessa vaihtelussa. Myös päästö määrien vuosittainen vaihtelu oli nähtävissä tutkittujen muuttujien tutkimusvuosien välisissä muutoksissa. Kuitenkin erilaiset luontaiset tekijät, esim. sateisuus, voivat vaikuttaa tuloksiin puskuroimalla tai voimistamalla ilman epäpuhtauksien vaikutuksia, jolloin bioindikaattorilajien vasteet eivät yksiselitteisesti seuraa esim. päästö määrissä tapahtuvia muutoksia.

Jäkälälajisto oli tutkimusalueella luokiteltavissa keskimäärin köyhtyneeksi ja selvästi köyhtyneeksi, sormipaisukarve lievästi vaurioituneeksi ja runkojäkälälajisto yleisesti pahasti vaurioituneeksi. Selvimät vaikutusalueet, joilla jäkälälajisto oli köyhtynyt ja vaurioitunut, sijaitsivat Kokkolassa Ykspihlajan alueella, Kaustisilla, Kruunupyyn ja Pedersören rajalla sekä vyöhykkeellä, joka ulottui Pietarsaaresta Pedersören pohjoisosien kautta Uuteenkaarlepyyhyn. Jäkälälajiston suhteen luonnontilaisimmat alueet sijaitsivat Kokkolassa rannikon tuntumassa Öjan alueella ja Luodossa, Kruunupyyn-Pedersören eteläisillä rajaseuduilla ja Kokkolan keskiosissa. Tutkimusalueen verrattain intensiivisen ihmistoiminnan vuoksi jäkälätunnukset olivat keskimäärin huonompia kuin vertailualueilla muualla Suomessa.

Kokkolassa kuormittaa Ykspihlajan alueen teollisuus. Kokonaan jäkäläautioaloja Ykspihlajassa oli vain yksi. Lisäksi Kaustisille ja Pedersöreen sijoittui jäkäläautioala. Pietarsaassa 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 etelänsuuntaiset tuulet kuljettavat rannikon päästöjä pohjoiseen melle. Sen sijaan matalat päästölähteet, kuten turkistarhat, voivat aiheuttaa voimakkaita paikallisia vaurioita, mikä on selvästi nähtävissä erityisesti Uudenkaarlepyyn alueella. Tilastollisissa tarkasteluissa selvin yhteys jäkälävaurioiden ja eri päästölähteiden välillä oli energiantuotantolaitoksilla ja turkistarhoilla. Teollisuuslaitosten vaikutus jäkälämuuttujiin ei ollut erityisen selkeä, mutta sormipaisukarpeen vaurioituneisuuden havaittiin lisääntyvän teollisuuslaitosten läheisyydessä. Tulokseen arvioidaan

vaikuttaneen sekä suurten että pienempien teollisuuslaitosten yhdistäminen samaan luokkaan. Suurilla teollisuustuotantolaitoksilla on todettu olevan vaikutuksia jäkäläin, mutta pienempien teollisuuslaitosten vaikutus ei ole niin selkeä (esim. Huuskonen ym. 2013). Hajapölypäästöillä ja VOC-yhdisteiden päästöillä ei ollut vaikutusta jäkäläin kuntoon.

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, kun taas vuonna 2018 jäkälätunnukset olivat jälleen heikentyneet. Jäkälämuuttujien vauriovyöhykkeet ovat säilyneet suurin piirtein samansuuntaisina eri tutkimusvuosina. Sormipaisukarpeen vaurioituneisuus oli kuitenkin lisääntynyt Uudenkaarlepyyn-Pedersören alueella. Lisäksi Uudestakaarlepyystä Kokkolaan ulottuvalle rannikkoseudulle näyttää vahvistuvan muuta aluetta köyhtyneemmän lajiston vyöhyke, kuten myös Kaustisen ympäristössä.

Neulasten rikki- ja typpipitoisuudet kuvasivat sekä ilman kautta leviävää kuormitusta, että metsiköiden ravinnetilaa. Faktorianalyysissä ne latautuivat samalle faktorille useiden muiden ravinnealkuaineiden kanssa. Myös sammalilla rikkipitoisuus yhdistyi samalle faktorille muiden ravinnealkuaineiden kanssa. Kasvupaikka vaikuttikin 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 2017 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, sammalten että neulasten metallipitoisuuksissa, jotka olivat usean metallin osalta korkeimmillaan Ykspihlajan seudulla. Ykspihlajassa maaperän humuskerroksen raskasmetallipitoisuudet olivat kohonneita, kuten aiemmissakin tutkimuksissa. Suurin osa tutkituista raskasmetalleista latautui neulasten ja sammalten faktorianalyysissä samalle faktorille, joka kuvaa erityisesti 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 kadmiumin, kuparin, raudan ja sinkin pitoisuudet olivat jonkin verran suurempia kuin vertailuaineistoissa ja -alueilla muualla Suomessa vuosina 2013-2017. Sammalissa lyijy-, elohopea- ja sinkkipitoisuudet olivat pääasiassa jonkin verran suurempia kuin vertailuaineistoissa ja -alueilla. Humuksesta mitatuista metalleista arseenin, kadmiumin, koboltin, kuparin, nikkelin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet olivat keskimäärin suurempia kuin muualta Suomesta kerätyissä aineistoissa. Vertailtuihin keskiarvoihin on vaikuttanut 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, kun taas 2000-luvulla kuormituksessa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Metallikuormitusta indikoivissa kertymäindikaattoreissa eli neulasten, sammalten ja humuksen alkuainepitoisuuksissa oli vuosien välistä vaihtelua, mutta muutokset eivät olleet yksiselitteisiä. Humuksen elohopea- ja mangaanipitoisuudet olivat laskeneet tilastollisesti merkittävästi vuodesta 2012, ja muun muassa kromin ja rikin pitoisuudet olivat nousseet. Sammalissa raskasmetallien pitoisuudet olivat joko laskeneet tai pysyneet vuoden 2012 tasolla. Neulasten alkuainepitoisuudet ovat joillakin raskasmetalleilla kasvaneet, joillakin vähentyneet.

Kokkolassa sammalten raskasmetallipitoisuudet olivat keskimäärin laskeneet tai pysyneet vuoden 2012 tasolla, kun taas neulasten kadmiumin, kromin ja kuparin keskimääräiset pitoisuudet olivat jonkin verran korkeampia verrattuna vuoteen 2012. Erot muutoksissa 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. Talviaikaan mm. lumipeitteellä on vaikutusta altistumiseen. Kokkolan läheisillä humusnäytealoilla raskasmetallien keskimääräisissä pitoisuuksissa on havaittavissa laskua vuodesta 2006, kun taas ravinteissa on havaittavissa kasvua. Sammalista mitatut metallipitoisuudet Kokkolassa ovat pääsääntöisesti laskeneet 1990-luvun tasoon verrattuna.

Kokkolan-Pietarsaaren seudulla vuonna 2018 tutkituissa bioindikaattorilajeissa oli selkeästi nähtävissä ihmistoiminnan vaikutukset. Jäkälälajiston kuntoa ja diversiteettiä huononsivat alueen energiantuotanto ja alkutuotanto (lähinnä turkistarhaus). Lisäksi teollisuustoiminnalla on vaikutuksia jäkälälajistoon. Vaikutuksen intensiivisyys riippuu merkittävästi päästökorkeudesta. Päästöt, jotka leviävät korkeiden piippujen päästä, laimentuvat ilmassa voimakkaasti ja leviävät laajemmalle alueelle. Korkeiden piippujen päästä leviävät päästöt eivät aiheuta yhtä voimakasta pistekuormitusta tietylle alueelle kuin matalan päästökorkeuden toiminnot, kuten turkistarhaus. Jäkälätunnukset olivat keskimäärin jonkin verran heikompia kuin edellisellä tutkimuskierroksella vuonna 2012. Sammalten metallipitoisuudet olivat laskeneet Kokkolan Ykspihlajan läheisillä aloilla 1990-luvun tasoon 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, 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.

VIITTEET

- Ahma ympäristö Oy 2017. Seinäjoen seudun ja Etelä-Pohjanmaan bioindikaattoritutkimus 2017. Tutkimusraportti.
- Anttonen, T. 1990. Laskeuman ravinteiden vaikutus sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) kasvuun. Kuopion yliopisto, ekologisen ympäristöhygienian laitos. Opinnäytetutkielma.
- Binkley D & 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. 11 s.
- Derome, J. & Väre, H. 1995. Laskeuman vaikutus metsämaahan. Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasiitteena. Itä-Lapin metsävuoriopjektin loppuraportti/Ed. Tikkanen, E.
- Ferm A, Hytönen J, Kolari K & 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. & Ellonen, T. 2006. Keski-Suomen maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2005-2006. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 162. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. ISBN 951-39-2546-3.
- Helmisaari H-S 1993. Metsikön ja puun ravinnekierto. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. & Ellonen, E. 2009. Pyhäjärvisuodun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007-2008. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E., Keskitalo, T. & Laita, M. 2010. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. Helsinki, 184 s.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. & Laita, M. 2013. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja/Jyväskylän yliopisto, (177).
- Ilmatieteen laitos 2019. Säähavaintojen lataus. Kruunupyö Kokkola-Pietarsaari lentoasema. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>>.
- Innes JL 1995. Influence of air pollution on the foliar nutrition of conifers in Great Britain. *Environmental Pollution* 88: 183-192.
- Jussila I, Joensuu E & Laiho 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.
- Keskitalo, T., Laita, M., Järvisalo, K., Ruuth, J., & Toivanen, H. 2015. Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattori seuranta vuonna 2014. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 109/2015.
- Keski-Pohjanmaan liitto 2008. Keski-Pohjanmaan aluerakenne 2030. Luettu 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, T. (toim.) 1992. Suomen geokemiallinen atlas, osa 2: Moreeni. Geologian tutkimuskeskus. PunaMusta, Helsinki.
- Kulmala, A., Leinonen, L., Ruoho-Airola, T., Salmi, T. & Waldén, J. 1998. Air quality trends in Finland. Ilmanlaatumittauksia, Air quality measurements. Ilmatieteen laitos, Helsinki. ISBN 951-697-488-0.
- Kuntaliitto 2018. Väestötietoja kunnittain. [Viitattu 5.11.2018]. Saatavissa: <<https://www.kuntaliitto.fi/asiantuntijapalvelut/vaestotietoja-kunnittain>>.
- Kuusinen, K., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E.-L. 1990. Epiphytic lichens on conifers in the 1960s to 1980s in Finland. Teoksessa Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.). *Acidification in Finland*. Springer-Verlag, Berlin. ISBN 3-540-52213-1. S. 397-420.
- 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.
- Lahtinen, T. 2018. Ilmanlaadun tarkkailun vuosiraportti 2017. Kokkolan kaupunki.
- Laita, M., Huuskonen I., Keskitalo, T. ja Lehkonen, 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., & Ellonen, T. 2008c. Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 165. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008d. Suupohjan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 166. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008e. Vaasan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 168. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008f. Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 164. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Landolt W, Guecheca M & Bucher JB 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. & DeSloover, J. 1970. Relation between industrialisation and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.* 48: 1485-1496. ISSN 0008-4026.
- Lehkonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T. & Laita, M. 2013. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja/Jyväskylän yliopisto, (176).
- Lehkonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. & 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.
- Liikennevirasto 2018. Tieliikenteen liikennemäärät –karttapalvelu. [Viitattu 20.11.2018]. Saatavissa: <<https://julkinen.liikennevirasto.fi/webgis-sovellukset/webgis/template.html?config=liikenne>>

- Lindroos A-J & Derome J 1998. Laskeuma ja sen vaikutus metsämaahan. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P. & Willamo, R. 2002. Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. ISSN 1456-8284.
- Mattila T.J. & Rajala J. 2018. Kationinvaihtokapasiteetinmääritys ja käyttö viljavuusanalyysin tulkinnaissa. Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti, Raportteja 179.
- Melanen M, Ekqvist M, Mukherjee AB, Aunela-Tapola L, Verta M & 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.
- Metsäntutkimuslaitos 2012. Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa - kartoitus sammalten pitoisuuksien perusteella 1985-2010. Sammalten raskasmetallipitoisuuksista Suomessa 1985-2010. <http://www.metla.fi> > metinfo > metsien terveys > raskasmetallilaskeuma. Luettu 2/2013.
- Moser B, Punz W & Maier R 1993. Inmissionskartierung 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. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. Joensuun tutkimusasema. 52-61.
- Nab Labs Oy 2016a. Porin-Harjavallan alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2014-2015. Tutkimusraportti 31/2016.
- Nab Labs Oy 2016b. Vaasan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2013. Tutkimusraportti 36/2016.
- Nieminen T, Raitio H & Salemaa M 1993. Neulasten kemiallinen koostumus elinvoimatunnuksena. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.
- Niskanen, I. 1995. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11. ISSN 0357-5454.
- Niskanen, I., Veijola, H. & Ellonen, T. 1996. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1996. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 17.
- Niskanen I, Ellonen T & 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. ISSN 0357-5454.
- 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-Uudellamaalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa 1994-1995. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry, Porvoo. Tutkimusraportti.
- Pohjanmaan liitto. 2006. Pietarsaaren seudun aluerakennesuunnitelma 2030. Perusselvitys. Vaasa.
- Polojärvi K, Niskanen I, Haahla A & Ellonen T 2005. Mittaustarkkuus mäntyjen runkojäkälistön ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioiden havainnoinnissa. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 89/2005.
- 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 & Kärkkäinen K 2002. Ilmanlaadun bioindikaattorisearanta Pietarsaaren-Uudenkaarlepyyn alueella vuonna 2000. Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema.
- Raitio H & 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.
- Raitio, H. 1983. Macro-and microscopic symptoms in growth disturbed forest trees. Communicationes-Institutii Forestalis Fenniae. Ranta, E., Rita, H. ja Kouki, J. 1989. Biometria. Helsinki, Yliopistopaino, 569 s. ISBN 951-570-032-9.
- Rautjärvi H & Raitio H 2003. Neulasten alkuainepitoisuudet sekä niiden suhde näytepuiden neulaskatoon ja epifyyttijäkälisiin Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueella vuosina 2000 ja 2001. Uudenmaan ympäristökeskus, monisteita nro 120. Helsinki.
- Reinikainen A, Veijalainen H & 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.
- Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I., Leppänen, E. ja Kiljunen, A. 2016. Kanta- ja Päijät-Hämeen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 6/2016.
- Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K., Mäkinen, A., & Steinnes, E. 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985-monitored by moss analyses. Nord, 21, 44.
- Salminen, R., Bogatyrev, I., Chekuskin, V., Glavatskikh, S.P., Gerauskiene, 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. Jäkäläkartoitus. 1990. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. *Kumottu 31.3.2014.*
- SFS 5671. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsitteily ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, 1990. *Kumottu 31.3.2014.*
- Seppänen, A., Laatikainen, T., Piispanen, J., Poikolainen, J., Karhu, J., Seppänen, R., & Kubin, E. 2017. Kainuun bioindikaattoriselvitys. Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Elinvoimaa alueelle 3/2017
- 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 Teräsvuori, E. 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 163.
- Thelin, G., Rosengren-Brinck, U., Nihlgård, B. & Barkman, A. 1998. Trends in needle and soil chemistry of Norway spruce and Scots pine stands in South Sweden 1985 –1994. Environmental pollution 99(2):149-158. ISSN 0269-7491.
- Volumes 91-100> Volume 99, Issues 2, Pages 141-292 (1998)> Pages 149-158, PdfUlrich 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.
- Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007.
- Veijola H & Niskanen I 1996. Sammalleesta ja humuksesta tutkittavien muuttujien mittaustarkkuuden arviointi. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Muistio 1/1998.

- Värri E 2007. Raskasmetallikuormitus Kotkan Energia Oy:n tulevan hyötyvoimalan ympäristössä vuonna 2006 sammalpallomenetelmällä arvioituna. Kotkan ympäristökeskus. 43 s.
- 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.
- Ympäristöhallinto 2016. Ilman epäpuhtaudet Suomessa. [Viitattu 16.11.2018]. Saatavissa: <
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu/Ilman_epapuhtaudet_Suomessa>
- Äyräs M, Niskavaara H, Bogatyrev I, Chekuskin V, Pavlov V, de Caritat P, Halleraker JH, Finne TE, Kashulina G & 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 area in Northern Finland, Norway and Russia. *Journal of Geochemical Exploration* 58: 269-281.