

Vastaanottaja
Porin kaupunki

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
2.1.2024

PORIN SEUDUN JA ETELÄ- SATAKUNNAN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORITUTKIMUS VUOSINA 2022–2023



PORIN SEUDUN JA ETELÄ-SATAKUNNAN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORITUTKIMUS VUOSINA 2022–2023

Projekti Porin seudun ja Etelä-Satakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus
2022–2023
Projektinro 1510067100
Vastaanottaja Porin kaupunki
Asiakirjatyyppe Raportti
Versio 1.0
Päivämäärä 2.1.2024
Laatija Toni Keskitalo
Tarkastaja Anne Kiljunen

Ramboll
Ylistönmäentie 26
40500 JYVÄSKYLÄ

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201

SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto	4
2.	Tutkimusalue	5
2.1	Yleiskuvaus	5
2.2	Tutkimusalueen ilmanlaatu	7
2.2.1	Päästöt	7
2.2.2	Päästömäärien kehitys	11
2.2.3	Ilmanlaatu Suomessa	13
3.	Tutkimusaineisto ja -menetelmät	14
3.1	Havaintoalat	14
3.2	Tutkimusryhmä ja maastotöiden ajankohta	17
3.3	Männyn runkojäkälät	17
3.3.1	Jäkäläkartoituksen menetelmä	17
3.3.2	Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä	18
3.3.3	Tutkitut jäkälälajit	18
3.3.4	IAP-indeksi	21
3.3.5	Vaurioiden ja peittävyksien arvioiminen	23
3.4	Männyn elinvoimaisuuden arviointi	23
3.5	Neulasten ja sammalen alkuainepitoisuudet	24
3.5.1	Neulasten alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen	25
3.5.2	Sammalen alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen	25
3.6	Paikkatietomenetelmät	26
3.7	Tilastomenetelmät	26
3.7.1	Taustamuuttujien vaikutus	26
3.7.2	Faktorianalyysi	27
3.7.3	Korrelaatiot	27
3.7.4	Vuosien väliset vertailut	27
3.8	Virhelähteet ja luotettavuus	27
3.8.1	Havaintoalaverkosto	27
3.8.2	Jäkäläkartoitus	27
3.8.3	Neulaskatoarvion virhelähteet ja luotettavuus	28
3.8.4	Vyöhykekarttojen interpolointi	28
3.8.5	Neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien määrittäminen	28
3.9	Raportointi ja vertailu aikaisempiin tutkimuksiin	29
4.	Tulokset	30
4.1	Mäntyjen runkojäkälät	30
4.1.1	Sormipaisukarpeen vaurioaste	30
4.1.2	Yleinen vaurioaste	33
4.1.3	Jäkälälajien määrät ja yleisyys	36
4.1.4	Peittävyudet	40
4.1.5	IAP-indeksi	43

4.2	Mäntyjen neulaskato ja neulasvuosikertojen määrä	46
4.3	Männyn neulasten alkuainepitoisuudet	48
4.4	Sammalen alkuainepitoisuudet	51
5.	Tulosten tarkastelu	59
5.1	Jäkälämuuttajat	59
5.1.1	Jäkälämuuttajien yhteisvaihtelu	59
5.1.2	Taustamuuttajien vaikutus jäkälämuuttajiin	60
5.2	Neulasmuuttajat	62
5.2.1	Neulasmuuttajien yhteisvaihtelu	62
5.2.2	Taustamuuttajien vaikutus neulasmuuttajiin	63
5.3	Sammalen metallipitoisuudet	64
5.3.1	Sammalen metallipitoisuuksien yhteisvaihtelu	64
5.3.2	Taustamuuttajien vaikutus sammalen alkuainepitoisuuksiin	69
5.4	Muuttajien yhteisvaihtelu	71
5.4.1	Muuttajaryhmien yhteisvaihtelu	71
5.4.2	Kaikkien muuttajien faktorianalyysi	73
5.5	Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset	74
6.	Vertailut	76
6.1	Vuosien välinen vertailu	76
6.1.1	Mäntyjen runkojäkälien vertailu	77
6.1.2	Mäntyjen elinvoimaisuuden vertailu	82
6.1.3	Neulasten alkuainepitoisuuksien vertailu	84
6.1.4	Sammalen alkuainepitoisuuksien vertailu	89
6.2	Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin	95
6.2.1	Mäntyjen runkojäkälat	95
6.2.2	Mäntyjen elinvoimaisuus	95
6.2.3	Neulasten alkuainepitoisuudet	96
6.2.4	Sammalen alkuainepitoisuudet	97
7.	Johtopäätökset	98
8.	Lähteet	100

Pohjakartat ja kuntarajat ovat Maanmittauslaitoksen avointa aineistoa (maastokartta 08/2023; hallintorajat 08/2023). Lisenssi BY-CC 4.0.

LIITTEET

LIITE 1: Alakohtaiset jäkälätulokset

LIITE 2: Alakohtaiset neulastulokset

LIITE 3: Alakohtaiset sammaltulokset

LIITE 4: Alakohtaiset taustamuuttajat

LIITE 5: Tyypidioksidin vuosipitoisuus tutkimusalueella EEA:n mukaan

TIIVISTELMÄ

Ilmanlaadun bioindikaattoreina eli epäpuhtauksien vaikutuksien ilmentäjinä käytetään eliölajeja, jotka ilmaisevat ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Tässä tutkimuksessa on käytetty bioindikaattoreina männyn runkojäkäliä sekä männyn neulasten ja sammalen alkuainepitoisuuksia sekä mäntyjen elinvoimaisuuden tuntomerkkejä.

Satakunnassa on tutkittu ilmanlaadua bioindikaattoreiden avulla 1990-luvun alusta saakka. Ensimmäiset tutkimukset olivat Porin–Harjavallan kuormitetulla alueella vuosina 1990–1991 ja Pyhäjärvisuodun selvitys vuosina 1992–1993. Tässä laaja-alaisessa tutkimuksessa vuosina 2022–2023 mukana olivat Porin seutu ja Etelä-Satakunta.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset bioindikaattoreihin havaittiin selvimmin kuormitetuilla alueilla teollisuuden ja vilkkaan liikenteen päästöjen vaikutuspiirissä. Tutkitut jäkälämuuttajat kuvasivat ilman epäpuhtauksien yhteisvaikutuksia. Tausta- ja haja-asutusalueilla jäkälämuuttajat kuvastivat pienempiä vaurioita sekä pienempiä muutoksia lajistossa. Neulasten ja sammalen alkuainepitoisuudet kuvastivat osin ilman epäpuhtauksien kuormitusta ja osin luonnollisia tekijöitä, etenkin maaperän ja havaintoalan ravintilaa.

Keskimäärin tutkimusalueella jäkälälajisto oli lievästi köyhtynyttä luonnontilaiseen verrattuna ja sormipaisukarve lievästi vaurioitunutta. Pahimpia vauriot olivat teollisuuden ympäristössä, ja luonnontilaista lajistoa esiintyi harvaan asutuilla alueilla. Sammalen metallipitoisuudet olivat suurimmillaan Harjavallan ja Porin teollisuuden ja energiantuotannon läheisyydessä. Vastaavasti neulasten typpi- ja rikki-pitoisuudet olivat suurimmat samoilla alueilla.

Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen päästöt ovat vähentyneet 20 vuoden aikana selvästi pudoten kokonaispäästönä alle neljäsosaan vuoden 2003 tasosta. Koska teollisuuden päästöt ovat vähentyneet jyrkemmin kuin liikenteen, niin liikenteen osuus typen oksidien ja hiukkasten päästöistä on kasvanut. Liikenteen rikkidioksidipäästöt ovat mitättömät verrattuna teollisuuden päästömääriin.

Sormipaisukarpeen vauriot eivät olleet muuttuneet merkittävästi, ja mäntyjen neulaskato oli hieman vähäisempää kuin vuosina 2014–2015. Sammalen metallipitoisuudet olivat selvästi pienempiä kuin aikaisemmissa Porin–Harjavallan tutkimuksissa mutta suurempia kuin monilla muilla alueilla viimeisen 10 vuoden aikana.

Päästöjen vähenemisestä huolimatta jäkälälajisto oli köyhtyneempää tässä tutkimuksessa kuin Porin–Harjavallan tutkimuksessa vuosina 2014–2015. Lajisto oli myös köyhtyneempää kuin useissa aikaisemmin Suomessa tehdyissä bioindikaattoritutkimuksissa. Mahdollisesti syynä on muuttuva ilmasto ja erityisesti lämpenevät talvet, jotka rasittavat runkojäkäliä ja köyhdyttävät lajistoa.

1. JOHDANTO

Ilmanlaadun bioindikaattoreina eli epäpuhtauksien vaikutuksien ilmentäjinä käytetään eliölajeja, jotka ilmaisevat ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Ympäristön tilassa tapahtuvat muutokset voidaan havaita esimerkiksi eliölajin rakenteen, eliöiden alkuainepitoisuuksien, runsauden ja levinneisyyden sekä eliöyhteisöjen rakenteen muutoksina. Vuosina 2022 ja 2023 tehdyssä seurannassa bioindikaattoreina käytettiin männyillä kasvavia runkojäkäliä sekä sammalten ja männynneulasten alkuainepitoisuuksia. Lisäksi arvioitiin havupuiden neulaskatoa. Tutkimusalue sisälsi 152 havaintoalaa. Koealoina pyrittiin käyttämään aiempien tutkimuksissa säilyneitä aloja mahdollisuuksien mukaan. Kullakin havaintoalalla oli 10 tutkimuspuuta.

Tutkimuksen rahoittivat Eurajoen, Harjavallan, Kokemäen, Nakkilan, Porin, Pomarkun ja Ulvilan kunnat, Etelä-Satakunnan ympäristötoimisto sekä seuraavat alueen toiminnanharjoittajat: Adven Oy, Aurubis Finland Oy, Boliden Harjavalta Oy, Componenta Castings Oy, Fortum Power and Heat Oy, Luvata Pori Oy, Norilsk Nickel Harjavalta Oy, Peiron Oy, Pori Energia Oy, Porin Prosessivoima Oy, RKW Finland Oy, Sucros Oy, Suomen Teollisuuden Energiapalvelut STEP Oy, Ulefos Oy/ Niemisen Valimo ja Venator P&A Finland Oy.

Ilmanlaatua tutkittiin edellisen kerran Porin-Harjavallan alueella vuosina 2014–2015 (Nab Labs 2016b). Tuolloin tutkimukseen osallistuivat alueen kunnista Harjavalta, Kokemäki, Nakkila, Pori ja Pomarkku. Tutkimusaloja sijaitsi em. kuntien lisäksi myös Eurassa, Luvialla ja Ulvilassa. Luvia on yhdistynyt Eurajoen kanssa vuonna 2017.

Porin-Harjavallan kuormitetulla alueella laaja alueellinen bioindikaattoriseuranta aloitettiin ensimmäisen kerran vuosina 1990–1991 (Jussila ym. 1991). Osalla havaintoalueista tehtiin seuranta vuosina 1992–1993 (Jussila 1994) sekä kaikilla aloilla vuosina 1996–1997, jolloin seuranta aloitettiin lisäksi ns. tausta-alueella Pohjois-Satakunnassa (Jussila 1997). Vuosina 2001–2002 tehtiin seuranta Porin-Harjavallan kuormitetulla alueella ja suppealla tausta-alueella (Jussila 2003). Vuosina 2007–2008 tehtiin seuranta Porin-Harjavallan kuormitetulla alueella ja suppealla tausta-alueella (Jussila 2008). Vuosina 2014–2015 tehtiin seuranta Porin-Harjavallan kuormitetulla alueella ja suppealla tausta-alueella (Nab Labs 2016b). Näiden lisäksi Pyhäjärvisseudulla (Eura, Säkyä ja entiset kunnat Köyliö ja Yläne) tehtiin bioindikaattoritutkimukset vuosina 1992–1993, 1997–1998, 2002–2003 ja 2007–2008 (Huuskonen ym. 2009).

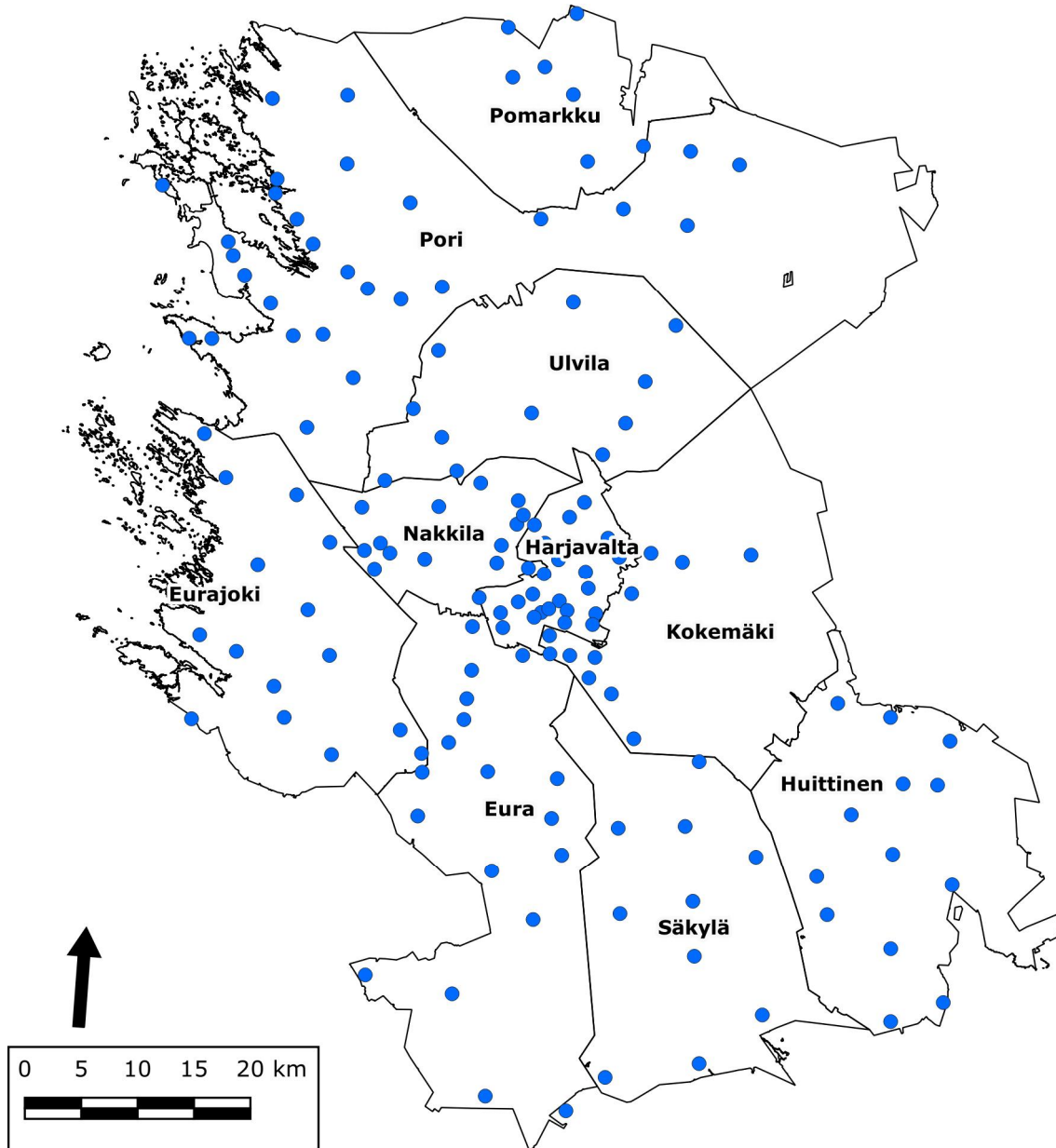
Tutkitut bioindikaattorit kuvasivat ilman epäpuhtauksien vaikutusta selvimmin teollisuuden ja liikenteen päästöjen ympäristössä, mutta useat indikaattorit osoittivat lieviä vaikutuksia tausta-alueilla. Tarkasteluista muuttujista jäkälämuuttujat ja sammalten metallipitoisuudet olivat selvimmin yhteydessä päästölähteisiin. Myös neulasten alkuainepitoisuudet ja neulasvuosikertojen määrä liittyivät päästöjen lähteisiin mutta heikommin.

Tutkimuksen toteutti Ramboll Finland Oy. Maastotyöt tehtiin kesällä 2022 ja talvella 2022–2023. Kesäajan maastotyöt teki ympäristöasiantuntija Tuomas Talvitie. Talviajan maastotyöt tekivät Tuomas Talvitie ja Aaro Koskela. Tutkimuspäällikkö Toni Keskitalo analysoi tutkimusaineiston. Tutkimuspäällikkö Toni Keskitalo ja ympäristöasiantuntija Anne Kiljunen laativat tämän raportin.

2. TUTKIMUSALUE

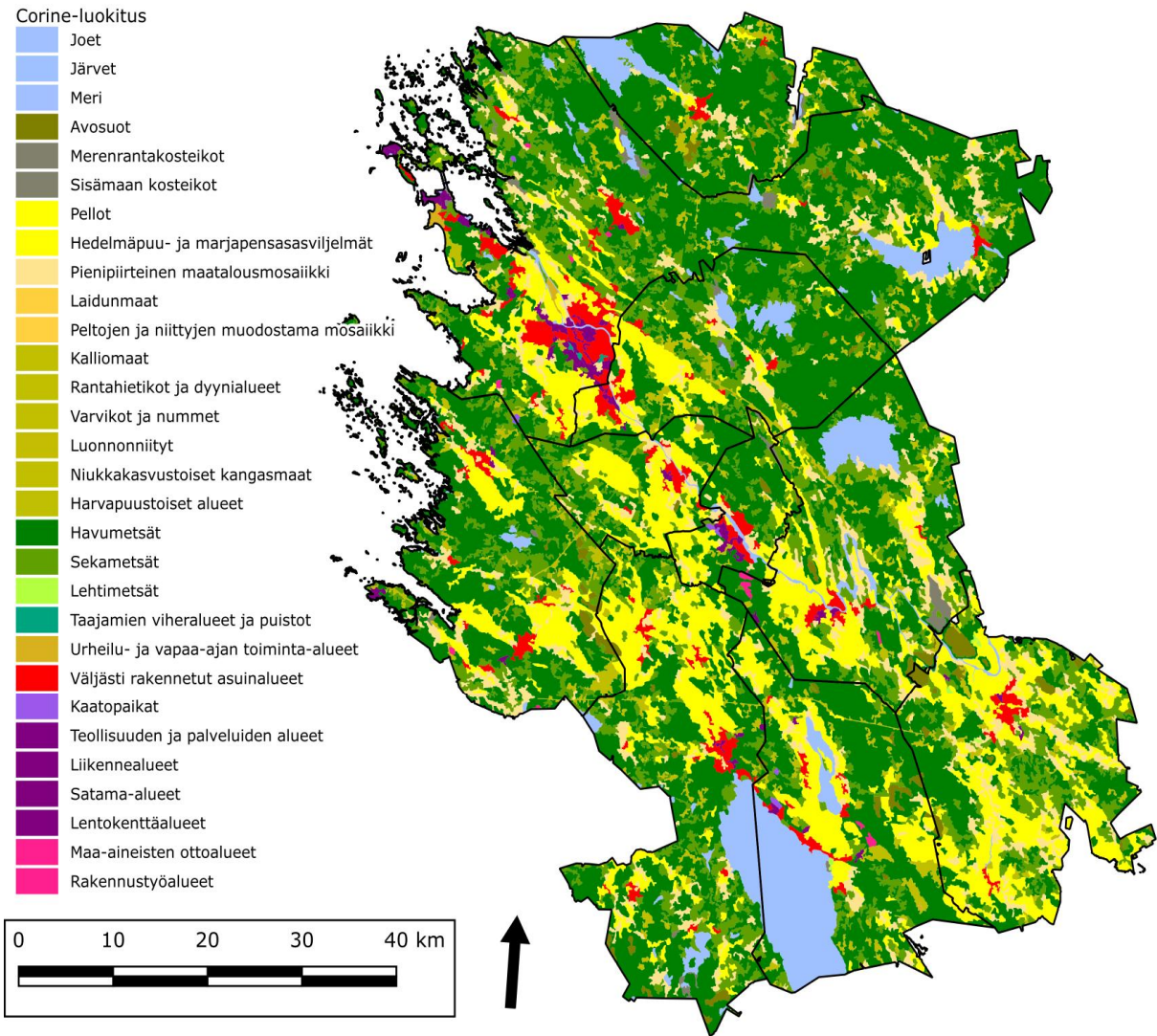
2.1 Yleiskuvaus

Tutkimusalueen muodostivat Porin seudun ja Etelä-Satakunnan kunnat Eura, Eurajoki, Harjavalta, Huittinen, Kokemäki, Nakkila, Pomarkku, Pori, Säkytä ja Ulvila (Kuva 1). Tämä selvitys tehtiin vuoden 2014 tutkimukseen osallistuneiden kuntien lisäksi Eurajoen, Huittisten, Pomarkun ja Säkytän alueella. Vuoden 2014 jälkeen on tapahtunut kuntaliitoksia: Luvia on liitetty Eurajokeen, Lavia Poriin ja Köyliö Säkytään.



Kuva 1. Porin seudun ja Etelä-Satakunnan bioindikaattoritutkimusalueeseen vuosina 2022–2023 kuuluneet kunnat sekä tutkimusalojen sijainnit.

Kuvassa 2 on esitetty maankäyttö tutkimusalueella CLC2012-maankäyttö/maanpeiteaineiston mukaisesti. Suomen metsäkasvillisuuden aluejaossa alue kuuluu lounaismaahan (Paikkatietoikkuna 2016). Alueelle on ominaista tasaisuus, joka mahdollistaa laaja-alaiset maatalousalueet mm. Kokemäenjokilaaksossa, Eurajoella ja Eurassa. Toisaalta aluetta halkovat kaakko-luoteis-suunnassa myös harjut. Lännessä maakunta rajautuu Selkämereen, ja sisämaassa on suurehkoja järviä, jotka tasaavat lämpötilanvaihteita (Geologian tutkimuskeskus 2015). Alueella on sekä intrusiivista että sedimentistä muodostunutta kallioperää. Alueen pääasiallinen maalaji on hiekkamoreeni, ja alueen läpi kulkee kaakko-luode-suunnassa hieta-, hiekka- ja savivyöhyke sijoittuen pääasiassa sedimentistä muodostuneen kallioperän alueille. Maalajit alueella vaihtelevat kuitenkin suuresti (Geologian tutkimuskeskus 2009, 2015).

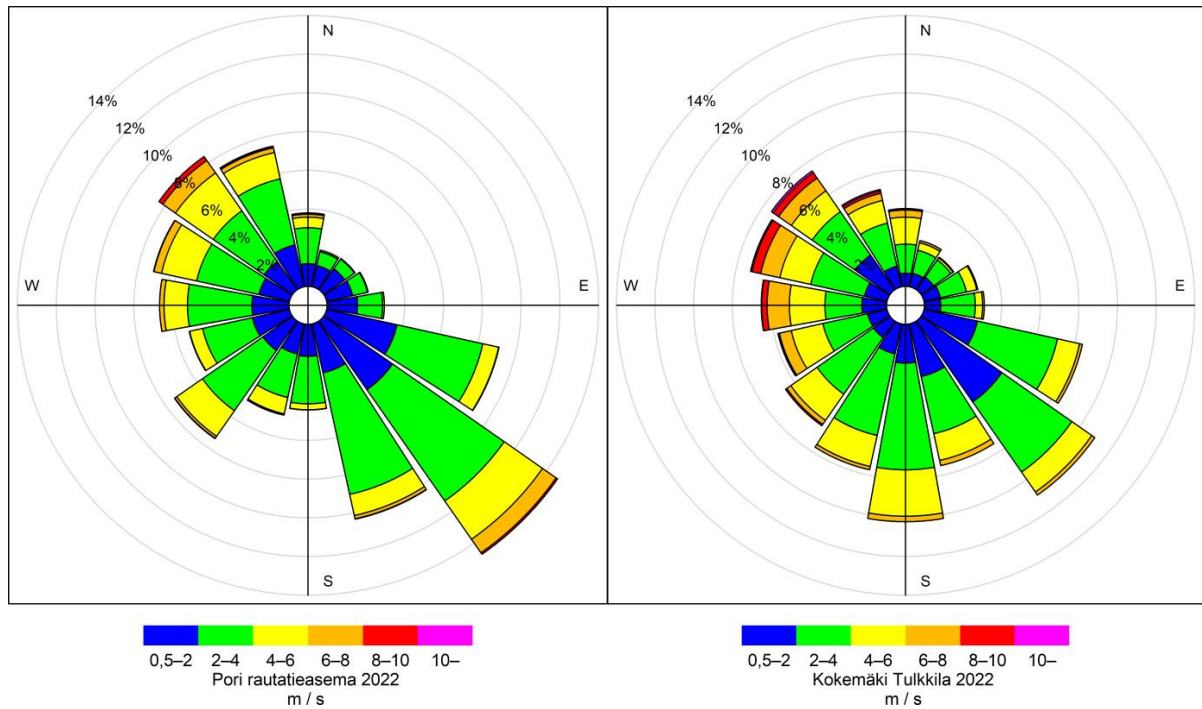


Kuva 2. Maankäyttö tutkimusalueella (CLC2018 maankäyttö/maanpeite (yleistetty 25 ha). Lähde: Syke (osittain LUKE, MAVI, LIVI, DVV, EU, MML Maastotietokanta 01/2017), EEA, EU/Copernicus (CC-BY 4.0).

Tutkimuskuntien alueella asuu yhteensä noin 154 300 asukasta (Väestötietojärjestelmä, tilanne 31.1.2022). Väestömäärältään suurin kunta on Pori noin 83 500 asukkaallaan. Tutkimusalueen halki kulkee pohjois–etelä-suunnassa vilkasliikenteinen Valtatie 8 ja kaakko–luode-suunnassa Valtatie 2. Alueen pohjoisosassa kulkevat Valtatie 11 ja Valtatie 23. Liikenne on vilkkainta Porin kaupungin alueella.

Satakunta on Suomen teollistuneimpia maakuntia. Satakunnassa sijaitsevia kansallisesti merkittäviä teollisuuspuistoja ovat Kupariteollisuuspuisto Porissa ja Harjavallan suurteollisuuspuisto. Merkittävästi teollisuutta sijoittuu myös Kokemäelle.

Tutkimusalueella yleisimmät tuulen suunnat tuntitasolla vuonna 2022 olivat Porin rautatieaseman sääasemalla kaakko (14,8 % ajasta), eteläkaakko (10,5 %), itäkaakko (9,2 %) ja luode (8,4 %). Kokemäen Tulkkilan sääasemalla ne olivat kaakko (11,0 % ajasta), etelä (10,3 %), etelälounas (7,8 %) ja eteläkaakko (7,6 %). (Kuva 3)



Kuva 3. Tuulen suuntien ja nopeuksien jakauma Porin rautatieaseman (vasemmalla) ja Kokemäen Tulkilan (oikealla) sääasemilla vuonna 2022 (Ilmatieteen laitos, avoin data). Tyyniä tai lähes tyyniä (tuulen nopeus pienempi kuin 0,5 m/s) oli Porin rautatieasemalla 1,1 % ja Kokemäellä 1,6 % vuodesta.

2.2 Tutkimusalueen ilmanlaatu

2.2.1 Päästöt

Porin ja tutkimusalueen teollisuuslaitosten päästötiedot saatiin Porin kaupungilta ja Varsinais-Suomen ELY-keskukselta. Suurimmat rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten laitospaikoittaiset päästömäärät kunnittain vuonna 2022 on esitetty taulukossa 1. Rikkidioksidin päästöt olivat käytännössä pelkästään peräisin teollisuudesta. Typen oksideja teollisuus tuotti 60 % typen oksidien kokonaispäästöistä, ja teollisuuden hiukkaspäästöjen osuus oli 65 % kokonaishiukkaspäästöistä.

Suurin rikkidioksidin (teollisuuden kokonaispäästöt 2 300 t/a) yksittäinen päästölähde oli Boliden Harjavalta Oy (osuus kokonaispäästöistä 87 %). Muita huomattavia rikkidioksidin päästölähteitä olivat Boliden Harjavalta Oy:n Porin kuparielektrolyysi ja Fortum Power and Heat Oy:n Meri-Porin voimalaitos.

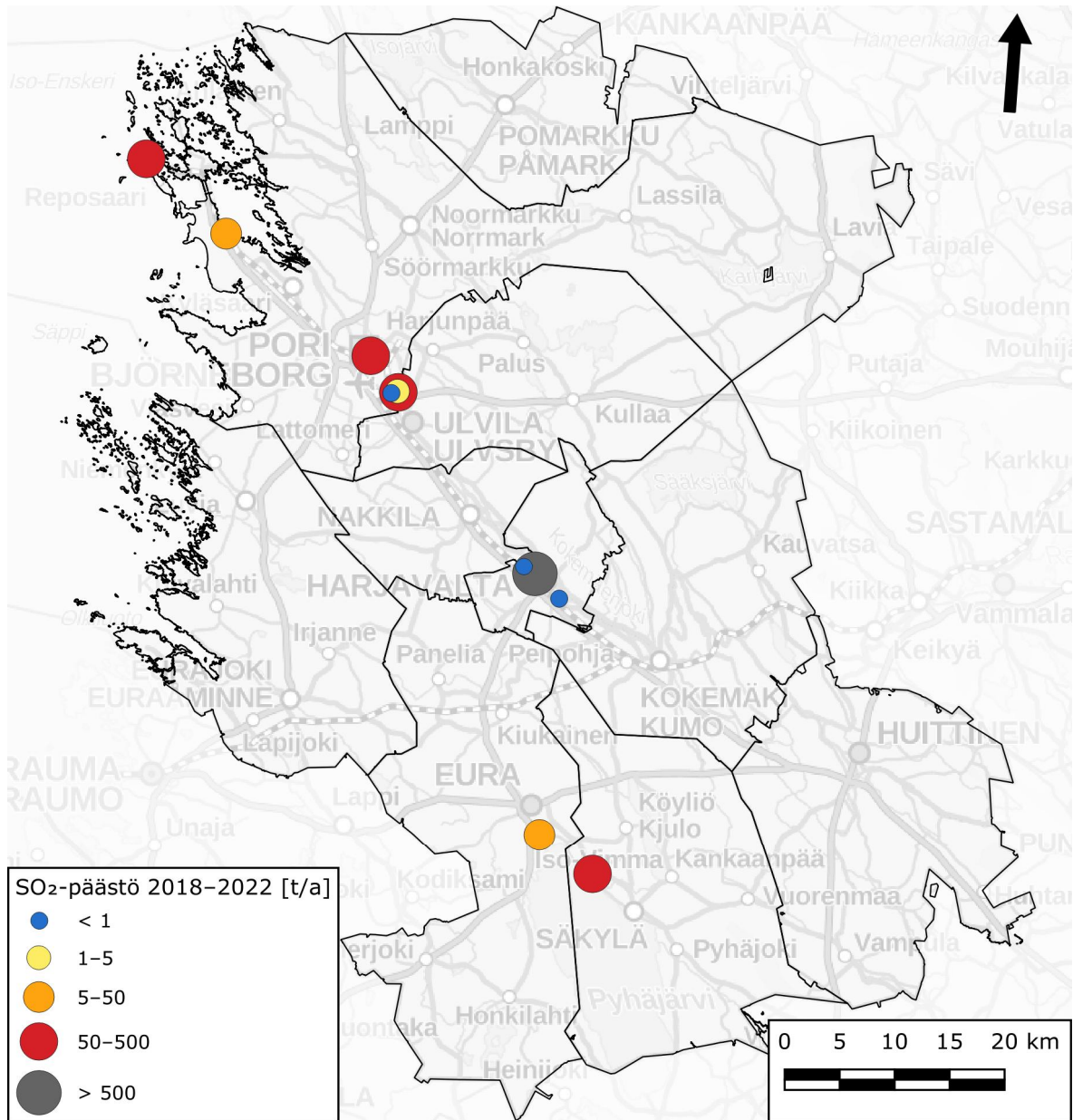
Typen oksidien (teollisuuden kokonaispäästöt 920 t/a) suurin päästölähde oli Porin Prosessivoima Oy:n energiantuotanto Porissa (osuus kokonaispäästöistä 23 %), ja yli 100 t/a vuodessa tuottivat myös Pori Energia Oy:n Aittaluodon voimalaitos, Fortum Power and Heat Oy:n Meri-Porin voimalaitos, Adven Oy:n Kauttuan voimalaitos Eurassa ja Boliden Harjavalta Oy Harjavallassa.

Suurin raportoitu hiukkasten (teollisuuden kokonaispäästöt 25 t/a) päästölähde oli vuonna 2022 Boliden Harjavalta Oy:n Harjavallan tehtaat (osuus kokonaispäästöistä 23 %) ja toiseksi suurin oli Ulefos Oy:n Harjavallan valimo (osuus kokonaispäästöistä 18 %).

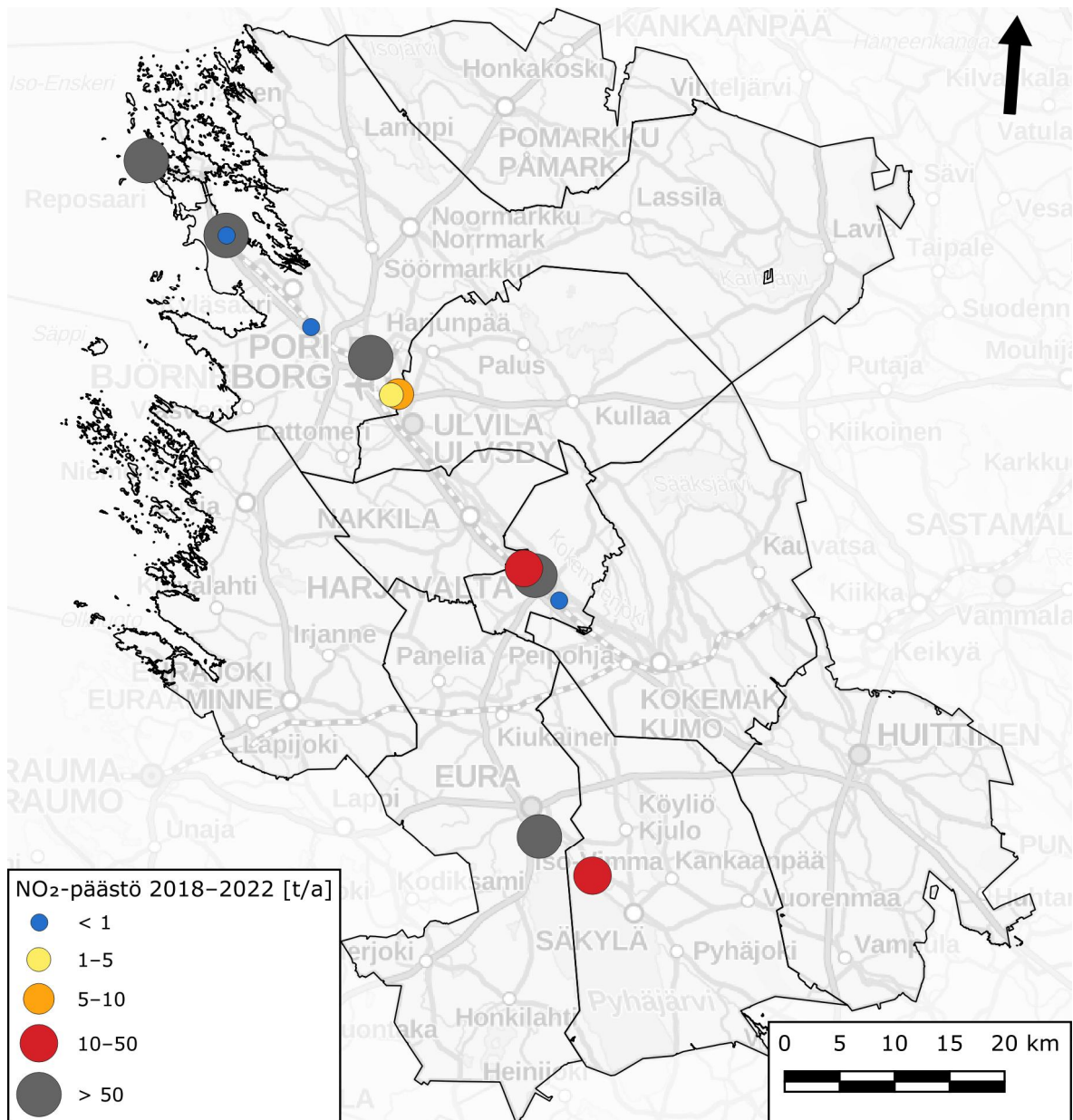
Taulukko 1. Tutkimusalueen teollisuuden lupavelvollisten laitosten päästöt rikkidioksidin, typen oksidien sekä hiukkasten osalta (t/a) kunnittain vuonna 2022 sekä osuudet ilmoitetuista kunnan kokonaispäästöistä.

Laitos	Kunta	Rikkidioksidi		Typen oksidit		Hiukkaset	
		[t/a]	Osuus	[t/a]	Osuus	[t/a]	Osuus
Adven Oy, Kauttuan voimalaitos	Eura	5,1	100,0 %	160	100,0 %	3,0	100,0 %
Boliden Harjavalta Oy, Harjavallan tehtaات	Harjavalta	2 300	100,0 %	110	73,3 %	5,6	53,5 %
NoriIsk Nickel Harjavalta Oy, Metalliteollisuus	Harjavalta					0,08	0,8 %
STEP Oy, Harjavallan energiantuotantolaitokset	Harjavalta	0,050	<0,1 %	40	26,4 %	0,50	4,8 %
Ulefos Oy, Harjavallan valimo	Harjavalta	0,21	<0,1 %	0,54	0,4 %	4,4	41,7 %
Peiron Oy, Kokemäen valimo	Kokemäki					1,0	100,0 %
Aurubis Finland Oy, Kuparivalimo ja -valssaamo, Pori	Pori	0,70	0,3 %	4,5	0,8 %	0,090	1,0 %
Boliden Harjavalta Oy, Porin kuparielektrolyysi	Pori	130	47,7 %	6,3	1,1 %	1,5	16,3 %
Componenta Finland Oy, Porin valimo	Pori					1,9	20,3 %
Fortum Power and Heat Oy, Meri-Porin voimalaitos	Pori	130	46,1 %	160	27,4 %	3,5	38,0 %
Luvata Pori Oy, Metalliteollisuus	Pori	4,0	1,5 %	0,16	<0,1 %	0,10	1,1 %
Pori Energia Oy, Aittaluodon voimalaitos	Pori	5,4	2,0 %	200	34,5 %	0,37	4,0 %
Porin Prosessivoima Oy, Energiantuotanto	Pori	7,1	2,6 %	210	36,2 %	1,7	18,4 %
RKW Finland Oy, Ulasoorin tehdas	Pori			0,17	<0,1 %		
Sucros Oy, Säköylän voimalaitos	Säköylä	63	100,0 %	33	100,0 %	1,3	100,0 %

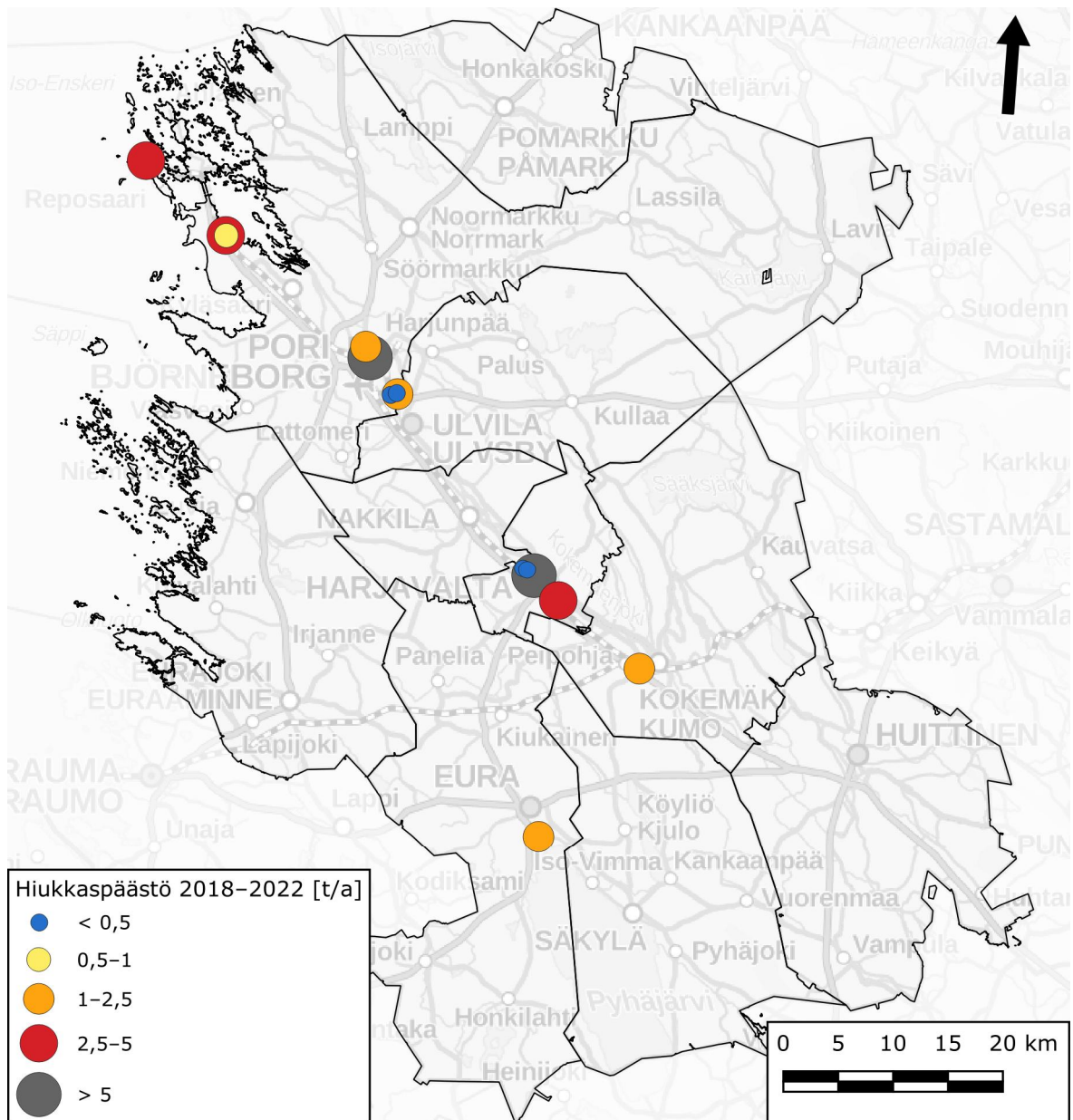
Kartoilla on esitetty tutkimusalueen päästölähteet vuosien 2018–2022 pitoisuuksien keskiarvoina. Tarkastelussa ovat mukana lupavelvolliset päästölähteet, joista aiheutuu rikki-, typi- ja hiukkaspäästöjä (Kuva 4, Kuva 5, Kuva 6). Nämä epäpuhtaudet arvioitiin merkittävimiksi jäkäliden levinneisyyden ja kunnan kannalta. Tarkastelussa ei ollut mukana esimerkiksi metalliteollisuuden metallipäästöjä eikä pieniä yksittäisiä päästölähteitä kuten jätevedenpuhdistamoja tai maataloutta.



Kuva 4. Porin seudun ja Etelä-Satakunnan tutkimusalueen rikkidioksidin lupavelvolliset päästölähteet suuruusluokittain vuosien 2018–2022 keskiarvona.



Kuva 5. Porin seudun ja Etelä-Satakunnan tutkimusalueen typpidioksidin lupavelvolliset päästölähteet suuruusluokittain vuosien 2018–2022 keskiarvona.



Kuva 6. Porin seudun ja Etelä-Satakunnan tutkimusalueen hiukkasten lupavelvolliset päästölähteet suuruusluokittain vuosien 2018–2022 keskiarvona.

2.2.2 Päästömaerien kehitys

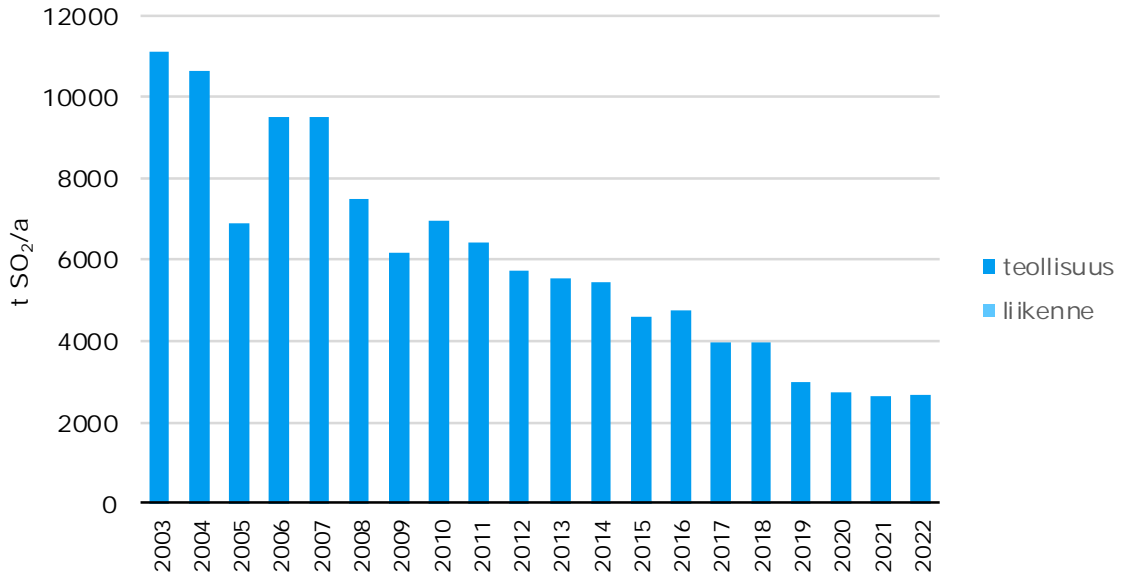
Alla on esitetty tutkimusalueen tieliikenteen ja lupavelvollisten laitosten päästömaerien kehitys vuosina 2003–2022. Tieliikenteen päästötiedot ovat VTT:n LIISA-tietokannan vuoden 2022 ja aikaisempien vuosien kuntakohtaisista tiedoista. Tieliikenteen päästöt ennen vuotta 2015 on laskettu LIISA-järjestelmän indeksien avulla. (VTT 2023)

Rikkidioksidien, typen oksidien ja hiukkasten päästöt ovat olleet kahden vuosikymmenen tarkastelujakson aikana pääosin laskusuunnassa. Vuoden 2020 koronapandemian aiheuttaman sulun takia vähentyneet päästöt näkyvät jossain määrin hiukkasten ja typen oksidien päästömaerissä.

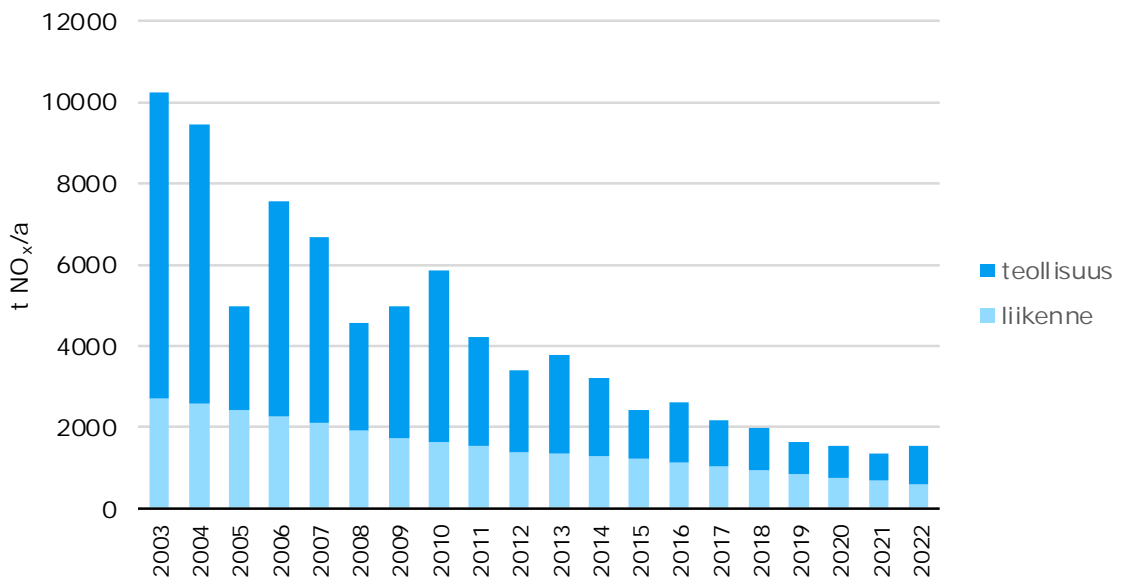
Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästömaerien kehitys vuosina 2003–2022 on esitetty seuraavassa (Kuva 7, Kuva 8, Kuva 9). Aineiston perusteella liikenteen osuus rikkidioksidipäästöistä on ollut merkityksetön tarkastelujaksolla. Typpidioksidin päästöistä liikenteen osuus on ollut jakson alkupuolella alle puolet ja viimeisinä vuosina likimain puolet kokonaispäästöistä. Liikenteen osuus alueen hiukkaspäästöistä on ollut pieni, mutta teollisuuden päästöjen vähentyessä osuus on kasvanut.

Päästömaerät ovat olleet keskimäärin laskusuunnassa vuodesta 2003 alkaen, mutta vuosien välillä on ollut jonkin verran vaihtelua. Tarkasteltujen päästöjen kokonaismäärät ovat kaikki pienentyneet noin

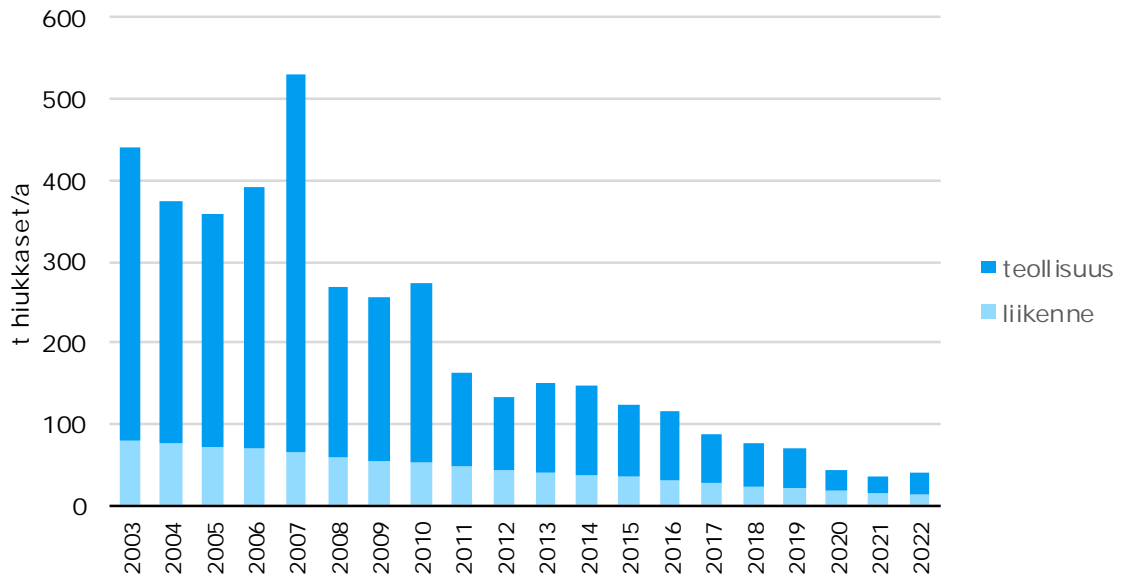
neljäsosaan jakson aikana. Kaikkien tarkasteltujen komponenttien päästöt ovat olleet likimain samalla tasolla vuodesta 2020 alkaen.



Kuva 7. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen rikkidioksidin päästöt (t/a) vuosina 2003–2022. Liikenteen SO₂-päästöt eivät erotu kaaviossa, koska ne olivat hyvin pieni osa teollisuuden päästöistä.



Kuva 8. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen typen oksidien päästöt (t/a) vuosina 2003–2022.



Kuva 9. Tutkimusalueen teollisuuden ja liikenteen hiukkaspäästöt (t/a) vuosina 2003–2022.

2.2.3 Ilmanlaatu Suomessa

Ilmanlaadun mittausten mukaan ilmanlaatu on monin osin parantanut Suomessa. Erityisesti typpidioksidin pitoisuudet ovat laskeneet pitkäjänteisen typenoksidipäästöjen vähennystyön ansiosta. Selvää myönteistä kehitystä on saavutettu vuoden 2015 jälkeen. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat vähentyneet tasaisesti hiukkaspäästöjen pienennyttyä ja 2010-luvulla katupölyn torjuntakeinojen kehityksen myötä. Hengitettävien hiukkasten ajoittain kohonneet pitoisuudet ovat kuitenkin edelleen ilmanlaatuhaaste Suomessa kaikenkokoisissa kaupungeissa. Pienhiukkaspitoisuudet ovat kääntyneet laskuun 2010-luvulla, mutta pienhiukkaspitoisuuksien vuosittaiseen vaihteluun vaikuttavat merkittävästi esiintyvien kaukokulkeumaepisodioiden määrät. Rikkidioksidipitoisuudet ovat vähentyneet merkittävästi 1990-luvun pitoisuustasoista rikkidioksidipäästöjen pienennyttyä monilla päästösektoreilla. Rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat nykyisin pieniä, mutta kohonneita lyhytaikaispitoisuuksia voi ajoittain esiintyä teollisuusalueiden sekä satamien läheisyydessä. Raskasmetallien pitoisuudet ovat Suomessa pääosin alhaisia, mutta raskasmetallien pitoisuudet ovat koholla metalliteollisuuspaikkakunnilla. (Komppula ym. 2021)

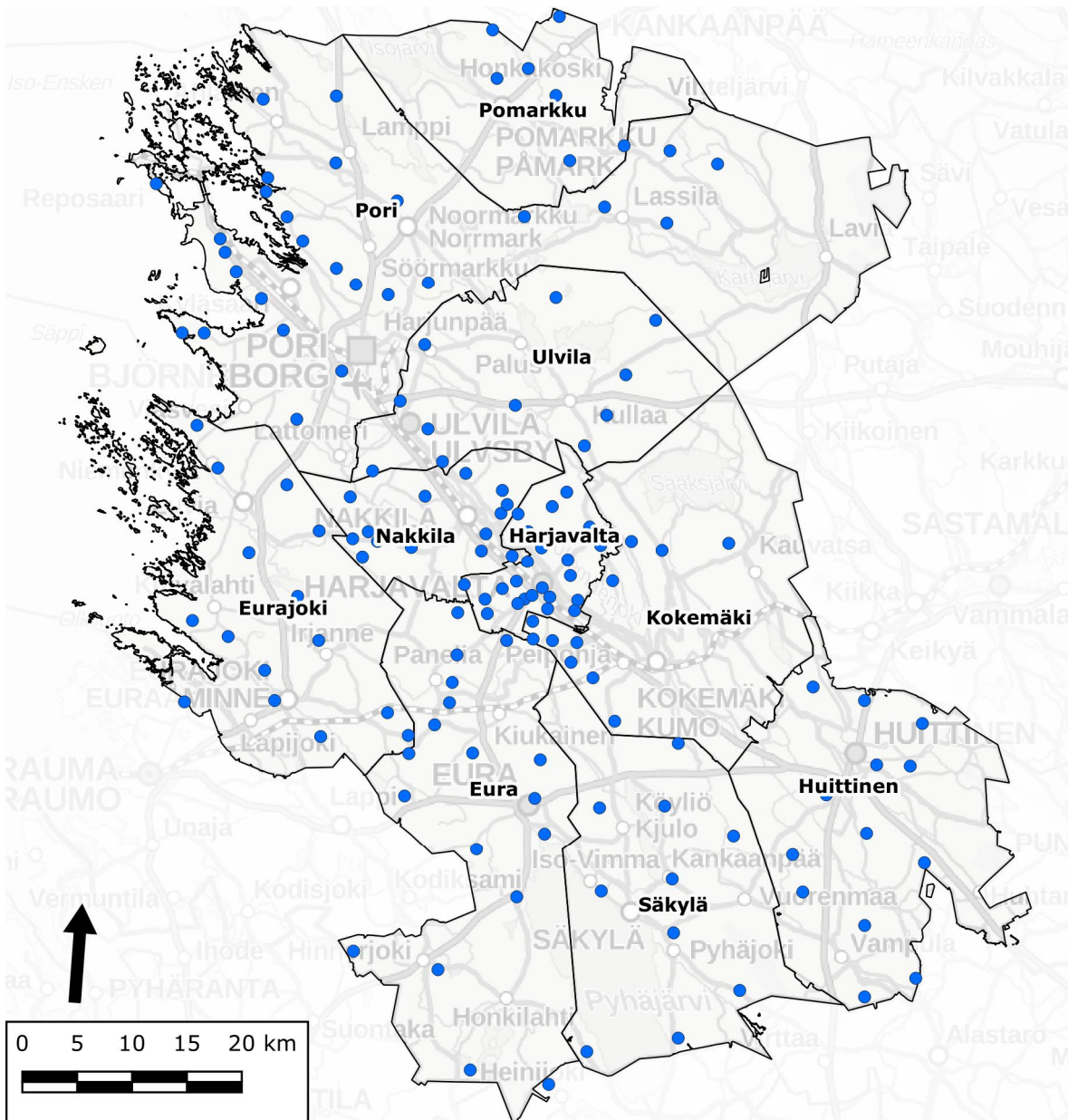
3. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

3.1 Havaintoalat

Porin seudun ja Etelä-Satakunnan bioindikaattoritutkimus tehtiin 152 havaintoalalla. Mukana olivat vuoden 2014 selvityksen mäntyalat sekä 45 alaa, jotka olivat olleet mukana aikaisemmissa bioindikaattoritutkimuksissa. Edellisen tutkimuksen sammalalat eli kuusialat (36 kpl) jätettiin pois tästä tutkimuksesta.

Jokaisella alalla tehtiin mäntyjen runkojäkälien kartoitus, arvioitiin harsuuntumista sekä kerättiin sammal- ja neulasnäytteitä. Sammal- ja neulasnäytteistä analysoitiin alkuainepitoisuudet. Tutkimusalojen sijainti on esitetty seuraavassa (Kuva 10) ja niiden numerointi liitteessä 1. Tutkimusalojen sijainti kuntain sekä uutena perustettujen alojen lukumäärät on esitetty taulukossa (Taulukko 2).

Tutkimusalan jäkälälajisto arvioitiin kymmeneltä puulta. Samana pysyneillä tutkimusaloilla kartoitus pyrittiin tekemään samoilla havaintopuilla kuin edeltävässä vuosien 2014–2015 tutkimuksessa tai aikaisemmissa tutkimuksissa, mutta hakkuiden tai maankäytön muutosten takia uudelleen perustettiin kaikkiaan 47 havaintoalaa (31 % havaintoaloista). Lukumäärältään eniten uusia aloja perustettiin Euraan, Harjavaltaan ja Poriin.



Kuva 10. Bioindikaattoritutkimuksen tutkimusalojen sijainti tutkimusalueella vuonna 2022–2023.

Havunäytteitä ei pystytty keräämään kolmelta alalta (alat 70 ja 76 Nakkilassa sekä ala 409 Eurassa), koska näillä aloilla puut olivat hyvin korkeita eivätkä näyteenottajat olisi saaneet kerättyä näytettä turvallisesti. Yhdeltä muulta alalta (ala 85 Porissa) ei saatu neulasten analyysitulosta laboratorioista. Havunäytteitä oli yhteensä 148 kpl. Sammalnäytteitä ei pystytty keräämään kahdelta alalta Harjavallassa (alat 98 ja 294), koska ne sijaitsivat harjuilla eikä alalla ollut soveltuvaa sammalta. Kaikkiaan sammalnäytteitä oli 150 kpl.

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

Uusien alojen valinnassa tärkein kriteeri oli alan soveltuvuus jäkäläkartoitukseen. Vanhan tuhoutuneen tutkimusalan tilalle pyrittiin perustamaan uusi ala lähimmälle jäkäläkartoituksen kriteerit täyttävälle paikalle. Kriteerit jäkäläkartoituksessa käytettävälle metsikölle on esitetty standardissa SFS 5670. Näistä tärkeimpiä ovat metsikön ikä, puuston tiheys sekä aluskasvillisuuden esiintyminen. Valintakriteerien suhteen optimaaliset havaintoalat sijaitsevat kuivahkoilla tai kuivilla kankailla, joilla aluskasvillisuus on matalaa ja metsä melko harvaa. Havaintoalojen valinnalla pyritään eliminoimaan luontaiset jäkälälajiston koostumukseen sekä vaurioihin vaikuttavat mikroilmastolliset tekijät, joista tärkein on valoisuuden ja varjoisuuden suhde.

Uusia tutkimusmetsiköitä valittaessa pyrittiin lisäksi välttämään reunavaikutusta tai esim. suppia ja pais-terinteitä, joissa vallitsee poikkeava mikroilmasto. Myös hiljattain käsitellyt, esim. kolmen edellisen vuoden aikana harvennettuja metsiköitä vältettiin. Havaintopuut valittiin siten, että ne olivat läpimitaltaan vähintään 20 cm, ja kolmen metrin korkeudelle oksattomia. Pensaiden tai taimien ympäröimiä puita tai hyvin lähellä toisia puita kasvavia puita ei hyväksytty mukaan kartoitukseen.

Taulukko 2. Tutkimusalojen lukumäärät kunnittain ja uutena perustettujen sekä säilyneiden havaintoalojen lukumäärät vuosina sekä analysoitujen sammal- ja neulasnäytteiden lukumäärät 2022–2023.

Kunta	Havaintoaloja	Pysyneitä havaintoaloja	Uudelleen perustettuja aloja	Sammalnäytteitä	Neulasnäytteitä
Eura	18	9	9	18	17
Eurajoki	15	12	3	15	15
Harjavalta	25	16	9	23	25
Huittinen	13	13	0	13	13
Kokemäki	11	7	4	11	11
Nakkila	14	9	5	14	12
Pomarkku	7	4	3	7	7
Pori	28	21	7	28	27
Säkylä	10	4	6	10	10
Ulvila	11	10	1	11	11
Yhteensä	152	105	47	150	148

Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin taustamuuttujien suhteen on esitetty seuraavissa taulukoissa. Yleisimmät metsätypit ovat kuivahko kangas (45 % havaintoaloista) ja tuore kangas (34 %). Kuivia kankaita oli kolmanneksi eniten (13 %), ja yhteensä 12 alaa kuului muihin luokkiin. (Taulukko 3)

Kolme neljäsosaa tutkimusaloista arvioitiin soveltuvuudeltaan hyväksi, 23 % kohtalaisiksi ja 2 % huonoiksi (Taulukko 4). Puolet aloista arvioitiin kehitysluokaltaan kypsiksi ja lähes puolet varttuneiksi. Kaksi alaa arvioitiin kehitysluokaltaan nuoriksi (Taulukko 5).

Lähes kaikilla havaintoaloilla (150 alaa) valtapuulaji oli mänty, ja vain kahdella alalla se oli kuusi (Taulukko 6). Toiseksi yleisin puulaji oli yleisimmin kuusi (57 % aloista). Noin neljänneksellä aloista (26 %) kasvoi vain mäntyä. Muita toiseksi yleisimpiä puulajeja olivat koivu, mänty ja haapa (Taulukko 7).

Tutkimuspuiden iän mediaani oli 80 vuotta. Tutkimuspuiden pituuden mediaani oli 23 metriä. Puiden läpimitan mediaani oli 31 cm ja puuston pohjapinta-alan mediaani oli 13 m²/ha.

Taulukko 3. Havaintoalojen jakautuminen metsätyypeittäin tutkimusalueella vuonna 2022.

Metsätyyppi	Kpl	Osuus kaikista aloista
VT (kuivahko kangas, puolukkatyyppi)	68	44,7 %
MT (tuore kangas, mustikkatyyppi)	52	34,2 %
CT (kuiva kangas, kanervatyyppi)	20	13,2 %
OMT (lehtomainen kangas, käenkaali-mustikkatyyppi)	9	5,9 %
muu tyyppi	2	1,3 %
CIT (karukkokangas, jäkälätyyppi)	1	0,7 %

Taulukko 4. Havaintoalojen jakautuminen soveltuvuusluokkiin tutkimusalueella vuonna 2022.

Soveltuvuusluokka	Kpl	Osuus kaikista aloista
hyvä	114	75,0 %
kohtalainen	35	23,0 %
huono	3	2,0 %

Taulukko 5. Havaintoalojen jakautuminen kehitysluokkiin tutkimusalueella vuonna 2022.

Kehitysluokka	Kpl	Osuus kaikista aloista
kypsä	76	50,0 %
varttunut	74	48,7 %
nuori	2	1,3 %

Taulukko 6. Havaintoalojen jakautuminen valtapuulajin mukaan tutkimusalueella vuonna 2022.

Ensimmäinen valtalaji	Kpl	Osuus kaikista aloista
mänty	150	98,7 %
kuusi	2	1,3 %

Taulukko 7. Havaintoalojen jakautuminen toiseksi yleisimmän puulajin mukaan tutkimusalueella vuonna 2022.

Toinen valtalaji	Kpl	Osuus kaikista aloista
kuusi	87	57,2 %
– (alalla vain mäntyä)	39	25,7 %
koivu	23	15,1 %
mänty	2	1,3 %
haapa	1	0,7 %

Taulukko 8. Havaintoalojen jakautuminen valtapuiden pituuden mukaan tutkimusalueella vuonna 2022.

Valtapuiden pituus [m]	Kpl	Osuus kaikista aloista
< 15	11	7,2 %
15–20	30	19,7 %
≥ 20	111	73,0 %

Taulukko 9. Havaintoalojen jakautuminen valtapuiden läpimitan mukaan tutkimusalueella vuonna 2022.

Valtapuiden läpimitta [cm]	Kpl	Osuus kaikista aloista
< 25	4	2,6 %
25–30	52	34,2 %
30–35	72	47,4 %
35–40	20	13,2 %
≥ 40	4	2,6 %

Taulukko 10. Havaintoalojen jakautuminen puuston pohjapinta-alan mukaan tutkimusalueella vuonna 2022.

Puuston pohjapinta-ala [m ² /ha]	Kpl	Osuus kaikista aloista
< 10	35	23,0 %
10 - 15	64	42,1 %
15 - 20	23	15,1 %
20 - 25	16	10,5 %
25 - 30	11	7,2 %
≥ 30	3	2,0 %

3.2 Tutkimusryhmä ja maastotöiden ajankohta

Ramboll Finland Oy:n asiantuntijat tekivät maastotyöt ja laativat raportin. Tuomas Talvitie teki kaikki jäkäläkartoitukset, harsuuntumisarvioinnit ja sammalnäytteiden keruun kesäkaudella 12.7.–18.9.2022. Tuomas Talvitie ja Aaro Koskela keräsivät neulasnäytteet talvikaudella jaksoilla 21.11.–2.12.2022 ja 7.2.–24.3.2023. Toni Keskitalo analysoi tutkimusaineiston. Toni Keskitalo ja Anne Kiljunen laativat tämän raportin. Asiakkaan kanssa käydyn keskustelun myötä päädyttiin esittämään raportti samalla rakenteella kuin aikaisempi tutkimusraportti, sillä tutkimusmenetelmä on vastaava kuin aikaisemmassa tutkimuksessa.

3.3 Männyn runkojäkälät

3.3.1 Jäkäläkartoituksen menetelmä

Jäkäläkartoitus tehtiin standardiin SFS 5670 perustuen. Kyseinen standardi kumottiin vuonna 2014, ja sen korvasi eurooppalainen standardi SFS-EN 16413. Kumotun standardin SFS 5670 käyttämistä perustellaan vertailukelpoisuudella ja menetelmän soveltuvuudella Suomen oloihin.

Uuden standardin käyttämisen haasteita olisivat mm. se seikka, ettei havainnoitavia jäkälälajeja ole määriteltä van kaikki lajit tulisi tunnistaa, sekä vaatimus siitä, että havaintopuiden tulisi olla ympärysmittaan vähintään 130 cm eli läpimitaltaan vähintään 41 cm (ks. kappale 3.1, Taulukko 9). Lisäksi standardin SFS-EN 16413 esittämä soveltuvien puulajien lista sisältää suomalaisista havupuista ainoastaan kuusen (*Picea abies*) ja edes suhteellisen yleisistä lehtipuista rauduskoivun (*Betula pendula*), tervalepän (*Alnus glutinosa*) ja haavan (koko kasvisuku *Populus*). Näin ollen arvioidaan, että haluttaessa käyttää

vuonna 2014 voimaan tullutta standardia lähes kaikki havaintoalat tulisi perustaa uudelleen kuusta kasvaviin metsikköihin ja että vertailukelpoisuus aikaisempien tutkimusten kanssa olisi huteralla pohjalla.

3.3.2 Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä

Jäkälät koostuvat symbioosissa elävistä lehtivihreättömästä sieniosakkaasta ja yhteyttävästä leväosakkaasta. Ne menestyvät hyvin niukkaravinteisessa ja kuivassa elinympäristössä, missä korkeammat kasvit eivät selviä. Jäkälät kasvavat löyhärakenteisina sekovarsina ilman suojaavia pintasolukerroksia ja ilmaraajoja 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. Talviaikaan, 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, peittävyysmuutoksina 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 peittävyyspuiden rungoilla pienenevät, kunnes laji ei enää pysty menestymään kasvupaikallaan. Tällöin kestävämmät lajit saattavat vallata vapautunutta elintilaa. Eräät lajit saattavat jopa hyötyä kuormituksesta.

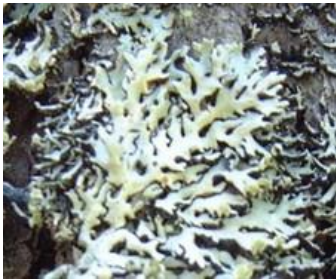
Morfologisena muutoksena tässä tutkimuksessa arvioitiin sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioastetta sekä tutkitun jäkälälajiston yleistä vaurioastetta. Jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksia arvioitiin lajilukumäärän ja IAP-indeksin avulla. Peittävyys arvioitiin sormipaisukarpeen ja luppojen osalta pistefrekvenssimenetelmällä. Havainnot tehtiin havaintoalalla kymmeneltä tutkimuspuulta, joiden jäkälälajisto arvioitiin 50–200 senttimetrin korkeudelta.







3.3.3 Tutkitut jäkälälajit

Indikaattorilajeina käytettiin standardin SFS 5670 mukaisesti kahtatoista männyillä yleisesti kasvavaa jäkälälajia. Lajien erityispiirteitä sekä niiden indikaattoriarvot on kuvattu alla (Taulukko 11). Tämän jälkeen on luokiteltu indikaattorilajit herkkyytensä mukaan neljään luokkaan (Taulukko 12). Tietyn lajin esiintymiseen vaikuttavat lajin saasteherkkyyden lisäksi myös luontaiset ympäristöolosuhteet, jonka vuoksi eri lajien indikaattoriarvot ovat erilaisia. Toiset lajit suosivat merenrantoja, toiset valoisa ja kuivia metsiköitä, toiset sulkeutuneempia metsiköitä, toiset nuorempia puita ja toiset vanhempia.

Tässä tutkimuksessa ei havaittu raidanisokarvetta (*Parmelia sulcata*) yhdelläkään tutkimuspuulla.

Taulukko 11. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni, - huono. Seurallislajien lukumäärät on laskettu Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista (Huuskonen ym. 2010, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2013, Lehkonen 2013).

Laji, indikaattoriarvo ja seurallislajien määrä	Kuva	Kuvaus
sormipaisukarve <i>Hypogymnia physodes</i> +++ seurallislajien lukumäärä: 4,92		Sormipaisukarve on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji, joka sietää eniten ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssit eli peittävyys pienentyvät vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Sormipaisukarve on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta.

<p>keltatyvikarve <i>Parmeliopsis ambigua</i> +++ seuralaislajien lukumäärä: 4,92</p>		<p>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.</p>
<p>harmaatyvikarve ja tuhka- karve <i>Parmeliopsis hyperopta</i> & <i>Imshaugia aleurites</i> +++ seuralaislajien lukumäärä: 5,33</p>		<p>Harmaatyvikarve ja tuhka-karve käsitellään yhdessä. Ne sijoittuvat kestävyydeltään kolmanneksi. Tämä sijoitus sopii yleensä hyvin näiden lajien esiintymisfrekvenssin alueelliseen jakaantumiseen, sillä kahta edellistä lajia herkempänä näiden lajien pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille kuin sormipaisu- ja keltatyvikarpeella. Tuhka- ja harmaatyvikarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja, jotka tosin suosivat kuivia ja valoisia kalliomänniköitä.</p>
<p>seinäsuomujäkälä <i>Hypocenomyce scalaris</i> ++ seuralaislajien lukumäärä: 5,29</p>		<p>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.</p>
<p>lupot <i>Bryoria</i> spp. +++ seuralaislajien lukumäärä: 6,27</p>		<p>Lupot ovat herkkiä ilman epäpuhtauksille. Luppojen esiintymisfrekvenssit noudattavat yleensä ilmansaasteiden kuormitusta. Luppojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Lupot ovat hyviä ilman laadun indikaattoreita.</p>
<p>naavat <i>Usnea</i> spp. +++ seuralaislajien lukumäärä: 6,22</p>		<p>Naavojen esiintymisfrekvenssit vaihtelevat ilmansaastekuormituksen mukaan yleensä samalla tavalla kuin lupoillakin. Niillä on paljon seuralaislajeja kuten lupoillakin, mikä osoittaa näiden jäkälälajien herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Naavojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Rannikon läheisyys suosii naavojen esiintymistä.</p>
<p>harmaaröyhelo <i>Platismatia glauca</i> ++ seuralaislajien lukumäärä: 5,88</p>		<p>Harmaaröyhelo on seuralaislajien määrän perusteella suhteellisen herkkä indikaattorilaji ja myös sen esiintymisfrekvenssit ovat yleensä loogisia: laji puuttuu kuormitetuilta alueilta ja eniten sitä todetaan puhtailla alueilla. Harmaaröyhelo on herkkä ilman epäpuhtauksille, mutta sen luontainen esiintyminen voi kuitenkin vaihdella suuresti, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi.</p>

<p>keltaröyhelö <i>Vulpicida pinastri</i> + seuralaislajien lukumäärä: 5,32</p>		<p>Keltaröyhelön esiintyminen on usein 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 ilmanlaadun indikaattorina jää kuitenkin pieneksi.</p>
<p>hankakarve <i>Pseudevernia furfuracea</i> ++ seuralaislajien lukumäärä: 5,80</p>		<p>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 kalliomännikoissä. Indikaattorina se on kohtalainen.</p>
<p>ruskoröyhelö <i>Tuckermanniopsis chlorophylla</i> - seuralaislajien lukumäärä: 6,94</p>		<p>Ruskoröyhelö on 12 indikaattorilajin joukossa yleensä yksi harvinaisimmista lajeista. Sen esiintyminen vaihtelee usein hyvin satunnaisesti ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuiltakin alueilta. Ilmanlaadun indikaattorina ruskoröyhelö on huono.</p>
<p>raidanisokarve <i>Parmelia sulcata</i> + seuralaislajien lukumäärä: 6,25</p>		<p>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.</p>
<p>leväpeite ja vihersukkulajäkälä Algae & <i>Scoliciosporum</i> +++ seuralaislajien lukumäärä: 4,86</p>		<p>Viherleväpeite lisääntyy lähinnä kasvaneen tyyppilaskeuman vaikutuksesta eli se on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori. Viherleväpeite ja vihersukkulajäkälä ovat hyviä tyyppi-kuormituksen indikaattoreita.</p>

Taulukko 12. Kartoitetut jäkälälajit ja niiden herkkydet rikkidioksidille (Kuusinen ym. 1990). Taulukoon on merkitty näkyviin auktoritunnus tieteellisen nimen jälkeen. Lyhenne "spp." tarkoittaa 'lajit', eli lupot ja naavat käsitellään sukutasolla. Harmaaröyhelön tieteellinen nimi auktoritunnuksineen on ollut aikaisemmin "*Cetraria chlorophylla* (Willd.) Vain."

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

Lajien esiintyminen tutkittiin laajentaen standardinmukaista menetelmää siten, että kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (Taulukko 13). Kullekin tutkimuspuulle ja -alalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lajilukumäärä. Ala- ja puukohtaisia lajilukumääriä laskettaessa ei huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä seinäsuomujäkälää sekä levää ja vihersukkulajäkälää, jolloin lajeja saattoi olla puuta tai alaa kohti enimmillään 10.

Taulukko 13. Tutkittujen jäkälien runsauden luokittelu. Leväpeite (*Algae & Scoliciosporum*) ja seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) on luokiteltu peittävytensä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.

Runsausluokka	Sekovarsien lukumäärä	Peittävyys [%]
1	1–2	< 5
2	3–7	5–49
3	> 7	≥ 50

3.3.4 IAP-indeksi

Kullekin havaintopaikalle laskettiin havaintopaikan jäkäläkasvillisuutta kuvaava IAP-indeksi (*Index of Atmospheric Purity*, ilmanpuhtausindeksi) (esim. LeBlanc 1971). IAP-indeksillä voidaan esittää eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit yhtenä lukuarvona, jossa on otettu huomioon eri lajien herkkydet ilman epäpuhtauksille. Korkea indeksiarvo kertoo runsaasta jäkälälajistosta ja siten hyvästä ilmanlaadusta, matalan indeksin arvon saavat puolestaan lajistoltaan köyhtyneet havaintoalat (taulukko 8). Indeksilaskettiin kullekin havaintoalalle seuraavasti:

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

missä

Q = kunkin jäkälälajin seuralaislajien lukumäärä (Taulukko 11, Taulukko 14);

f = lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealalla (0–1);

n = jäkälälajien lukumäärä (10).

IAP-indeksi laskettiin 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.

Eri bioindikaattoritutkimuksissa seuralaislajien lukumäärät on laskettu eri tavoin. IAP-indeksin lukuarvot riippuvat suuresti siitä, minkä alueen ja minkä ajankohdan jäkälähavaintoja on käytetty seuralaislajien laskennassa.

Vuosien 2014–2015 selvityksessä käytetyt seuralaislajien lukumäärät (Taulukko 11, Taulukko 14) laskettiin Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista, joka käsittää 7885 puuta (Huuskonen ym. 2010, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen & Lehkonen 2013, Lehkonen ym. 2013). Nämä alueet ovat hyvin erilaisia kuormitukseltaan ja ilmasto-oloiltaan. Tavoitteena ilmeisesti oli saada keskiarvoinen kuva seuralaislajeista laajan aineiston perusteella.

Tässä tutkimuksessa päädyttiin laskemaan IAP-indeksi samoilla seuralaislajien lukumäärillä kuin vuosien 2014–2015 tutkimuksessa, jotta tuloksia voitaisiin vertailla kyseisen edellisen bioindikaattoritutkimuksen kanssa. Koska edellisen selvityksen runkokohtainen jäkälädata ei ollut käytettävissä, niin IAP-indeksin uudelleen laskeminen edellisen tutkimuksen aloille ei olisi ollut mahdollista. Alla on esitetty vertailu edellisen tutkimuksen seuralaislajien lukumääristä verrattuna tämän tutkimuksen datasta laskettuihin lukumääriin (Taulukko 14).

Taulukosta havaitaan, että tämän tutkimuksen havainnoissa seuralaislajien lukumäärät olivat selvästi pienempiä kuin edellisessä tutkimuksessa käytetyt. Tämä johtunee ainakin osittain tutkimusalueen kuormituksesta verrattuna siihen aineistoon, mistä lukumäärät laskettiin. Toisena mahdollisena tekijänä voidaan pitää talvien lämpenemistä. Runkojäkälät rasittuvat, kun niiden elintoiminnot käynnistyvät leutoina jaksaina, joiden jälkeen voi tulla taas pakkasia, ja tilanne toistuu useita kertoja talven aikana.

Taulukko 14. Vuosien 2014–2015 tutkimuksessa käytetyt seuralaislajien lukumäärät ja tämän tutkimuksen jäkälähavaintojen perusteella lasketut seuralaislajien lukumäärät. Tässä tutkimuksessa ei tehty yhtään havaintoa raidanisokarpeesta, minkä takia sen seuralaislajeja ei voitu laskea. Ks. myös Kuva 21.

Jäkälälaji	Seuralaislajien lukumäärä: Tutkimus 2014–2015	Seuralaislajien lukumäärä: Tämä tutkimus
sormipaisukarve	4,92	2,61
keltatyvikarve	4,92	3,30
harmaatyvikarve ja tuhkararve	5,33	3,59
seinäsuomujäkälä	5,29	3,97
lupot	6,27	4,06
naavat	6,22	4,85
harmaaröyhelö	5,88	3,77
keltaröyhelö	5,32	3,59
hankakarve	5,80	3,91
ruskoröyhelö	6,94	3,73
raidanisokarve	6,25	–
leväpeite ja vihersukkulajäkälä	4,86	2,96

Jäkälälajiston luonnontilaisuus luokitellaan IAP-indeksin ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärän eli lajilukumäärän avulla. Luokitteluasteikko on luonnontilaisesta aina jäkälän täydelliseen tai lähes täydelliseen puuttumiseen saakka (Taulukko 15).

Taulukko 15. Jäkälälajiston luonnontilaisuuden luokitus IAP-indeksin ja lajilukumäärän (ilman epäpuhtausista kärsivien jäkälälajien lukumäärä) perusteella.

IAP-indeksi	Lajilukumäärä	Kuvaus jäkälälajistosta
≥ 3	≥ 8	Luonnontilainen lajisto, mukana herkkiä jäkälälajeja
2–3	6–7	Lievästi köyhtynyt lajisto, lajistossa lieviä muutoksia, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti
1–2	4–5	Lajisto on köyhtynyt, herkimpiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla
0,5–1	2–3	Lajisto on erittäin selvästi köyhtynyt, herkimmat lajit puuttuvat yleisesti, rungoilla esiintyy yleisesti ilmansaasteista hyötyviä lajeja
< 0,5	0–1	Jäkäläautio tai lähes jäkäläautio

3.3.5 Vaurioiden ja peittävyksien arvioiminen

Sormipaisukarve on 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 valata kasvualaa muilta lajeilta, mikä näkyy lajin peittävyyskasvamisena lievässä kuormitustasossa. Kuitenkin sormipaisukarvekin kestää kuormitusta vain tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen sen vauriot pahenevat ja peittävyys pienenee (vrt. esim. Niskanen ym. 2003a ja Niskanen ym. 1996).

Sormipaisukarpeen vaurioaste ja yleinen vaurioaste arvioitiin viisiasteisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (Taulukko 16, Kuva 11). Yleisessä vaurioasteessa eritellään kasvutavaltaan pensasmaisiksi lopot, naavat ja hankakarve, loput lajit ovat lehtimäisiä. Sormipaisukarpeen ja loppojen (*Bryoria* sp.) esiintymisfrekvenssit laskettiin sapluunaruudukolta 1,2 metrin korkeudelta idästä–koillisesta ja lännestä–lounaasta. Esiintymisfrekvensseistä laskettiin kullekin puulle näiden lajien suhteellinen peittävyys.

Taulukko 16. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) ja yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

Vaurio	Sormipaisukarpeen vaurioaste	Yleinen vaurioaste
I terve	jäkälät terveitä tai lähes terveitä	kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia	pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
III selvä vaurio	jäkälät kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin	pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV paha vaurio	jäkälät pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin	pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V kuollut tai puuttuu	–	myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä



Kuva 11. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus.

3.4 Männyn elinvoimaisuuden arviointi

Havupuiden neulaskato ei ilmennä nimenomaisesti ilman epäpuhtauksien vaikutuksia, vaan ensisijaisesti puun yleistä elinvoimaisuutta. Puun kasvupaikka, ikä, ilmasto-olosuhteet, sienitaudit, hyönteiset ja muut tuhonaiheuttajat vaikuttavat myös neulaskatoon. Epäpuhtauksien kuormitus yhdessä näiden tekijöiden

kanssa voi johtaa suurempaan neulaskatoon kuin mitä tavattaisiin puhtaassa elinympäristössä (Jussila ym. 1999, Lindgren 2007). Joissain laajoja alueita kattavissa selvityksissä on havaittu korrelaatiota havupuiden neulaskadon ja epäpuhtauksien aiheuttaman kuormituksen välillä (Salemaa ym. 1991), mutta toisissa tutkimuksissa yhteyttä ei ole havaittu (Lindgren 2007).

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

Epäpuhtauksien kuormittamillakin alueilla havupuiden neulaskato on hyvin paikallinen ilmiö. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseurannassa 1990-luvulla mäntynäytealojen keskimääräisen neulaskadon on todettu edustavan vain kyseistä näytealaa, sillä tulosten yleistettävyyttä oli alle 0,3 km (Partanen ja Veijola 1996). Vaikka neulaskato ilmentääkin ilmanlaatua jokseenkin huonosti, on se kuitenkin selkeä puiden yleiskunnon mittari. Lisäksi neulaskadon arviointi on menetelmänä helppo ja nopea toteuttaa, ja sitä käytetäänkin kansainvälisessä metsien tilan seurannassa.

Männyjen harsuuntuneisuutta eli neulaskadon määrää arvioitiin Luonnonvarakeskuksen (aik. Metla) arviointiohjeiden mukaisesti (Lindgren ja Salemaa 1999). Havainnot tehtiin koelalla kymmeneltä puulta tarkastelemalla kutakin puuta kiikareilla eri puolilta vähintään puun pituutta vastaavalta etäisyydeltä siten, että tarkasteltavan puun neulasmassaa verrattiin samalle kasvupaikalle kuvitellun terveen puun neulasmassaan. Arviot puun neulaskadon määrästä kirjattiin prosentteina.

3.5 Neulasten ja sammalen alkuainepitoisuudet

Tässä tutkimuksessa selvitettiin metallien ja ravinteiden pitoisuuksia ja kertymistä männyn neulasiin sekä seinäsammaleeseen. Tutkitut muuttujat kuvaavat paitsi kuormituksen alueellista jakaumaa, myös tutkimusmetsiköiden ravinnetilaa sekä maaperän ominaisuuksia. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 17) on kuvattu kunkin matriisin ja alkuaineen suhteen tutkittujen alojen määrät.

Taulukko 17. Neulas- ja sammalnäytteistä määritetyt alkuaineet ja määritysten lukumäärät.

Alkuaine	Kemiallinen merkki	Määritetty neulasista	Määritetty sammalesta
arseeni	As	–	150
elohopea	Hg	–	150
kadmium	Cd	–	150
kalium	K	148	–
kalsium	Ca	148	–
kupari	Cu	148	150
lyijy	Pb	–	150
magnesium	Mg	148	–
nikkeli	Ni	–	150
rauta	Fe	148	150
rikki	S	148	–
seleeni	Se	–	150
sinkki	Zn	148	150
titaani	Ti	–	150
typpi	N	148	–
vanadiini	V	–	150

Metallien louhiminen, sulattaminen ja jalostaminen sekä niiden käyttö erilaisiin tarkoituksiin on saanut aikaan raskasmetallien mobilisoitumista ja leviämistä ilmakehässä erilaisissa fysikaalisissa ja

kemiallisissa muodoissa. Metallien liikkuminen ja muuntuminen sekä poistuminen ilmakehästä kuiva- ja märkälasseumana riippuvat metallien esiintymismuodoista ja niiden ominaisuuksista (Helanen ym. 1999).

3.5.1 Neulasten alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen

Neulasiin kertyy epäpuhtauksia sekä juurten 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). Myös latvustosta voi huuhtoutua ravinteita alempien neulasten pinnoille; nämä ravinteet ovat peräisin lehtisolukoista ja kuivalasseumasta (Helmisaari 1993).

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

Yksiselitteisiä ohjearvoja neulasten alkuainepitoisuuksille ei juurikaan ole arvojen vaihdellessa eri lähteissä (vrt. Reinikainen ym. 1998). Neulasten eri pitoisuuksille annettuja viitearvoja on esitetty taulukossa (Taulukko 18).

Taulukko 18. Neulasten alkuainepitoisuuksien viitearvoja kangasmaan metsille (Reinikainen ym. 1998 Brække 1995, Mälkönen 1991 ja Raitio 1994 mukaan).

Alkuaine	Ankara puutos	Sopiva (optimi)	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
N %	1,1–1,3	1,5–2,1	1,23	0,74	2,25
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	> 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	> 0,9	0,94	0,66	1,42
B mg/kg	< 4,0	> 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	< 5,0	ei optimiarvoa	40–46	25,5	61
Mn mg/kg	< 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 2022–2023 samoilta tutkimusaloilta, joilta jäkälähavainnot edellisenä kesällä tehtiin. Neulasnäytteet kerättiin puiden lepoaikana, jolloin neulasten alkuainepitoisuuksissa on vähemmän vaihtelua kuin kasvukaudella (esim. Raitio ja Merilä 1998). Näytepuista katkaistiin 3–4 oksaa eri puolilta latvustoa maksimissaan 10 metrin korkeudelta. Kaikilta aloilta ei saatu näytettä kaikista kymmenestä puusta johtuen puiden korkeudesta. Näytteet pakattiin muovipusseihin.

Laboratoriossa näytteistä erotettiin toisen vuosikasvaimen neulas (vuoden 2022 vuosikerta), joita kuivattiin noin 40 °C lämpötilassa noin viikon ajan. Alkuaineiden pitoisuudet määritettiin mikroaaltohajotuksen jälkeen ICP-MS -laitteistolla. Tulokset on ilmoitettu kuiva-ainetta kohti.

3.5.2 Sammalten alkuainepitoisuudet ja niiden määrittäminen

Sammalten kemiallinen analyysi on hyvä menetelmä esim. raskasmetallilasseuman 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.

Näytesammaleena käytettiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Jokaiselta näytealalta kerättiin vähintään viisi osanäytettä eri paikoista mahdollisimman puhtailta sammalkasvustoilta standardin SFS 5671

mukaan. Osanäytteet pyrittiin keräämään metsän aukkopaikoilta. Sammalista leikattiin maastossa kolme nuorinta vuosikasvainta, jotka pakattiin muovipusseihin. Laboratoriossa sammalnäytteet puhdistettiin ja kuivattiin lämpökaapissa. Sammalten alkuainepitoisuudet määritettiin ICP MS -laitteistoilla NMKL 186 -menetelmällä.

3.6 Paikkatietomenetelmät

Paikkatietoaineistojen käsittelyssä ja karttojen laatimisessa hyödynnettiin ohjelmistoja QGIS (versio 3.32) Surfer (versio 24.3.218). Vyöhykekartat interpoloitiin kriging-menetelmällä. Kriging laskee interpoloitavaan pisteeseen arvon painottamalla lähimpien tunnettujen havaintopisteiden arvoja, mutta painotus ei perustu pelkästään pisteiden väliseen etäisyyteen ja tarkastelupisteen sijaintiin, vaan myös tunnettujen pisteiden ja niiden arvojen spatiaaliseen järjestäytymiseen. Kriging ottaa huomioon spatiaalisen autokorrelaation vaikutus. Autokorrelaatio tarkoittaa sitä, että toisiaan lähellä olevissa pisteissä vaste muuttujan arvot ovat keskenään lähempänä toisiaan kuin etäällä toisistaan sijaitsevilla pisteillä.

3.7 Tilastomenetelmät

Selvityksen tavoitteena oli saada tilastomenetelmillä tietoa eri muuttujien välisistä yhteyksistä. Tarkastelun kohteena olivat taustamuuttujien vaikutus jäkälä-, neulas- ja sammaltuloksiin sekä muuttujien yhteisvaihtelu. Lisäksi tarkasteltiin kaikkien muuttujien yhteisvaihtelua ja etsittiin samana pysyneiden havaintoalojen vaihtelua vuosien 2014 ja 2022 välillä. Käytettyjä menetelmiä olivat korrelaatiotarkastelut sekä faktorianalyysi.

Tilastollisten testien tekemiseen käytettiin R-ohjelmistoa (versio 4.2.3). R on S-kieleen perustuva vapaasti saatavissa oleva ja käytettävä ohjelmointikieli, jota käytetään tilastollisten analyysien tekoon (R Core Team 2023). Sääaineistoa käsiteltiin R:n lisäosalla `openair` (versio 2.16-0), joka on tehty ilmanlaadun ja säätietojen tarkastelua varten (Carslaw ja Ropkins 2012). Käyttöliittymänä R-kieleen käytettiin Rstudiota (versio 2023.09.0) sekä `Rcmdr`-lisäosaa (versio 2.8-0, Fox ja Bouchet-Valat 2020).

3.7.1 Taustamuuttujien vaikutus

Taustamuuttujina käytettiin sekä tutkimusalan luonnonolosuhteita kuvaavia ns. kontrollimuuttujia että tutkimusalan suhdetta ympäristöön kuvaavia muuttujia, ns. paikkamuuttujia. Luokittelevien taustamuuttujien vaikutusta ilmanlaatua kuvaaviin jäkälämuuttujiin testattiin Kruskalin–Wallisin varianssianalyysillä tai Spearmanin järjestyskorrelaatioanalyysillä.

Taustamuuttujina käytettiin havaintoalan luontaisia muuttujia:

- alan tutkimuspuiden keskimääräinen ikä (arvio vuosina);
- alan tutkimuspuiden keskimääräinen pituus (arvio metreinä);
- puuston pohjapinta-ala (mittaus, yksikkö m²/ha);
- tutkimuspuiden halkaisija (mittaus, cm);
- havaintoalan metsätyyppi (luokitteleva muuttuja).

Lisäksi käytettiin alan sijaintiin ja ympäristöön liittyviä seuraavia taustamuuttujia (ns. paikkamuuttujia):

- alan etäisyys lupavelvolliseen päästölähteeseen;
- alan etäisyys lupavelvolliseen päästölähteeseen, jonka suurimman päästötyypin päästömäärä oli 10 tonnia tai yli;
- alan etäisyys mereen;
- typpidioksidin (NO₂) vuosipitoisuus alalla käyttäen Euroopan ympäristöviraston (EEA) interpoloitua dataa vuodelta 2021 (EEA 2023).

Typpidioksidin vuosipitoisuus vuonna 2021 oli Porissa Paanakedonkadun ilmanlaatuasemalla 10 µg/m³ (Pori 2021). Euroopan ympäristöviraston (EEA) aineistossa suurin pitoisuus samalla alueella oli hieman yli 9 µg/m³, eli vähän pienempi. EEA:n aineiston pitoisuudet on interpoloitu hilaan, jonka koko on 1 km × 1 km, mikä tasaa pienemmän mittakaavan vaihtelua. NO₂-vuosipitoisuuksien arvioidaan vastaavan todellisuutta riittävällä tasolla, mikä mahdollistaa niiden käytön taustamuuttujana. Typpidioksidin määrän arvioidaan kuvaavan teollisuuden lisäksi liikenteen vaikutusta.

Lukuarvona ilmoitettujen taustamuuttujien suhdetta jäkälämuuttujiin tarkasteltiin Spearmanin korrelaatioanalyysin avulla.

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

3.7.2 Faktoriansalyysi

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

3.7.3 Korrelaatiot

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

3.7.4 Vuosien väliset vertailut

Jäkälä-, neulas- ja sammalmuuttujien vuosien väliset (tämän tutkimuksen ja vuosien 2014–2015 selvityksen) vertailut tehtiin parittaisten otosten t-testillä tai parametrittömällä Wilcoxonin merkkitestillä.

3.8 Virhelähteet ja luotettavuus

3.8.1 Havaintoalaverkosto

Tutkimuksen havaintoalojen sijainti ei ollut tasaisesti jakautunut. Taajamissa ja kuormitetuilla alueilla tiheämpi alaverkosto on perusteltu, mutta tutkimusalueella oli aukkoja alojen kattavuudessa. Selvimmät aukot sijaitsivat Kokemäen keskiosissa, Porin itäosissa entisen Lavian kunnan alueella sekä Pomarkun kirkonkylästä lounaaseen Porin puolelle saakka.

3.8.2 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 sekoittua muihin lajeihin. Ilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa lajien ulkonäköön huomattavia muutoksia, minkä vuoksi vain luonnontilaisten jäkälien tunteminen ei ole tutkimuksen kannalta riittävää.

Eri jäkälälajien esiintymisen kirjaaminen voi vaihdella eri arvioitsijoiden kesken. Leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän kasvutavan vuoksi niiden havainnointi on erityisen hankalaa. Leväpeitettä voi esiintyä hyvinkin pieninä vihertävinä laikkuina. Seinäsuomujäkälä kasvaa yksittäisinä alle 1 millimetrin kokoisina suomina. Tämä suomupeite 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.

3.8.3 Neulaskatoarvion virhelähteet ja luotettavuus

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

Tässä tutkimuksessa jäkäläkartoituksen teki kokenut maastotyöntekijä, jolla on kokemusta useista bioindikaattoritutkimuksista. Harsuuntuneisuuden arvioimiseen liittyvien virhelähteiden pienentämiseksi arvioijan arviointitasot testattiin ennen maastokauden alkua yhdessä Ramboll Finland Oy:n yhden biologin kanssa.

3.8.4 Vyöhykekarttojen interpolointi

Vyöhykekarttoja tarkasteltaessa tulee huomioida, että interpolointitulokset on aina yleistys, jonka tarkkuuteen vaikuttaa ennen kaikkea tunnettujen pisteiden määrä ja tiheys. Siten 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.

Porin Lavian alue jätettiin kokonaan pois vyöhykekartoilta, koska siellä ei sijainnut yhtään havaintoalaa. Muut aukot jätettiin mukaan vyöhykekarttoihin, mutta tulosten yleistäminen vyöhykekarttojen muodossa näille alueille lisää interpoloinnin epävarmuutta. Erityisesti Kokemäen keskustassa ei sijainnut havaintoaloja, eikä siten sen alueen tilanteesta voi tehdä päätelmiä tutkimuksen perusteella.

3.8.5 Neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien määrittäminen

Neulasten alkuainepitoisuudet määritettiin akkreditoidussa laboratoriossa. Laboratorio tekee laadunvarmistusta toimintaohjeidensa mukaisesti. Tulosten yhteydessä on esitetty analyysin mittausepävarmuus. Alkuaineanalyysit tehtiin eri laboratoriossa ja osittain eri menetelmillä kuin edellisellä tutkimuskerralla. Seuraavissa taulukoissa on esitetty neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien menetelmät, määrittämissrajat ja mittausepävarmuudet (Taulukko 19, Taulukko 20).

Taulukko 19. Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittämissrajat ja mittausepävarmuudet.

Alkuaine	Menetelmä	Määrittämissraja	Mittausepävarmuus
kalium (K)	ICP-MS/SFS-EN 16171	10 mg/kg	25 %
kalsium (Ca)	ICP-MS/SFS-EN 16171	500 mg/kg	25 %
magnesium (Mg)	ICP-MS/SFS-EN 16171	500 mg/kg	25 %
mangaani (Mn)	ICP-MS/NMKL 186	0,1 mg/kg	25 %
rikki (S)	ICP-MS/SFS-EN 16171		25 %
typpi (N)	ICP-MS/SFS-EN ISO 16948 (Kjeldahl)	0,2 %	< 1,2 %: ± 0,1 %-yksikköä; > 1,2 %: 8 %

Taulukko 20. Sammalten alkuainepitoisuuksien määrittärajat ja mittausepävarmuudet.

Alkuaine	Menetelmä	Määrittärajana [mg/kg]	Mittausepävarmuus
arseeni (As)	ICP-MS/NMKL 186	0,05	25 %
elohopea (Hg)	ICP-MS/NMKL 186	0,02	25 %
kadmium (Cd)	ICP-MS/NMKL 186	0,01	25 %
kromi (Cr)	ICP-MS/NMKL 186	0,2	25 %
kupari (Cu)	ICP-MS/NMKL 186	0,2	25 %
lyijy (Pb)	ICP-MS/NMKL 186	0,05	25 %
nikkeli (Ni)	ICP-MS/NMKL 186	0,2	25 %
rauta (Fe)	ICP-MS/NMKL 186	2	25 %
seleeni (Se)	ICP-MS/NMKL 186	0,1	25 %
sinkki (Zn)	ICP-MS/NMKL 186	0,5	25 %
titaani (Ti)	ICP-MS/NMKL 186	5	25 %
vanadiini (V)	ICP-MS/NMKL 186	0,1	25 %

3.9 Raportointi ja vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Tämän tutkimuksen raportissa on hyödynnetty edellisen, Porin–Harjavallan raporttia vuosilta 2014–2015. Raporttipohjan käytöstä on sovittu tilaajan kanssa.

Kaikki vuosien 2014–2015 bioindikaattoritutkimuksen data ei ollut käytettävissä tätä selvitystä tehtäessä. Saatavilla olivat alakohtaiset jäkälä-, neulas- ja sammaltulokset. Puukohtaiset jäkälähavainnot eivät olleet käytettävissä eivätkä myöskään itse maastolomakkeet. Tämän takia IAP-indeksiä ei voitu laskea takautuvasti uudelleen (ks. kappaleet 3.3.4 ja 4.1.3) eikä tehdä tarkkaa vertailua siitä, miten seuralaislajien määrät ja indeksi olisivat muuttuneet tutkimusvuosien välillä.

Ennen vuotta 2014 tehtyjen bioindikaattoritutkimuksista ei ollut käytettävissä mitään dataa. Siksi vertailut tehtiin raporteissa ilmoitettujen keskiarvojen perusteella, ja päätelmät jäivät yleistasoiksi. Pyhäjärvisseudulla ennen vuotta 2007 tehtyjä raportteja ei ollut saatavilla, eikä niihin näin ollen voitu viitata.

4. TULOKSET

4.1 Mäntyjen runkojäkälät

Mäntyjen jäkälälajistoa kuvaavien muuttujien keskiarvot, suurin ja pienin arvo sekä keskihajonta on esitetty seuraavassa (Taulukko 21). Kutakin jäkälälajistoa kuvaavaa muuttujaa on tarkasteltu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Taulukko 21. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksin, sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, alakohtaisen ja puukohtaisen lajilukumäärän, sormipaisukarpeen peittävyys, luppojen peittävyys ja levän yleisyyden keskiarvo, keskihajonta ja pienin ja suurin arvo. Lajilukumääriä laskettaessa ei otettu huomioon seinäsuomujäkälää eikä levää.

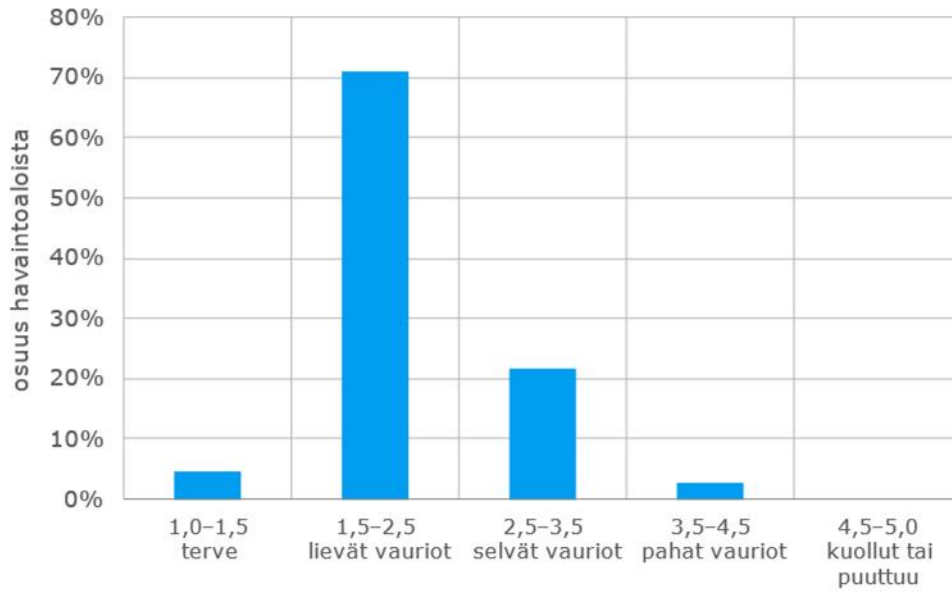
n = 152 (alat); n = 1520 (puut)	Keskiarvo	Mediaani	Pienin	Suurin	Keskihajonta
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,2	2,1	1,2	4,1	0,54
Yleinen vaurioaste	3,4	3,7	1,7	4,4	0,60
Lajilukumäärä/näyteala	5,6	6	1	9	1,82
Lajilukumäärä/puu	3,6	3	0	8	3,60
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	10,2	7,6	0,0	41,0	8,59
Luppojen peittävyys (%)	0,05	0,00	0,00	3,1	0,27
IAP	1,9	1,8	0,5	3,9	0,67
Levän yleisyys	4,0	3	0	10	3,83

4.1.1 Sormipaisukarpeen vaurioaste

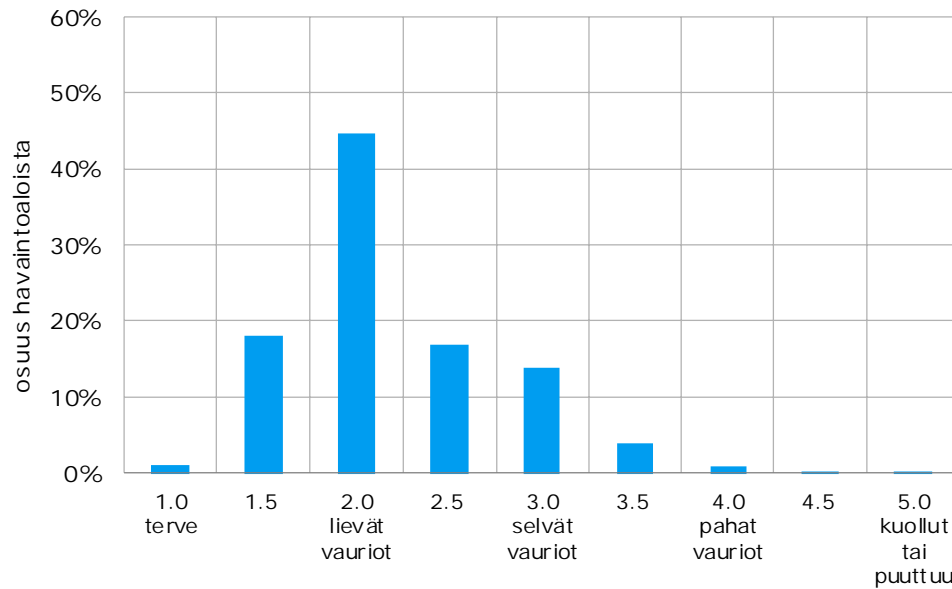
Sormipaisukarpeen vaurioasteita arvioitiin puolen vaurioluokan välein asteikolla 1–5 (ks. Taulukko 16 ja Kuva 11), jossa vaurioluokka 1 = terve, 2 = lievästi vaurioitunut, 3 = selvästi vaurioitunut, 4 = pahasti vaurioitunut ja 5 = kuollut tai puuttuva. Vauriot arvioitiin runkokohtaisesti, minkä perusteella laskettiin tutkimusalan keskimääräinen vaurioaste.

Sormipaisukarpeen vaurioiden jakaantumista koko aineistossa tutkittiin luokittelemalla vaurioasteet sekä tutkimusaloittain että tutkimusrunkokohtaisesti (Kuva 12, Kuva 13). Sormipaisukarve oli tutkimusaloilla keskimäärin lievästi vaurioitunutta (keskimääräinen vaurioaste 2,2, ks. Taulukko 21). Vauriot vaihtelivat terveestä pahaan vaurioon. Kaikkiaan 108 tutkimusalaa eli 71 % sijoittui lievien vaurioiden luokkaan. Toiseksi yleisin sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurioluokka oli selvät vauriot (33 alaa, 22 %). Pahoja vaurioita havaittiin neljällä alalla (2,6 %), ja tervettä sormipaisukarve oli seitsemällä alalla (4,6 %) (Kuva 12).

Tutkimuspuittain tarkasteltaessa yleisin sormipaisukarpeen vaurioaste oli lievät vauriot (vaurioaste 2,0), jota havaittiin 45 prosentilla rungoista. Seuraavaksi yleisimpiä vaurioasteita olivat terveen ja lievien vaurioiden välillä sekä lievien vaurioiden ja selvien vaurioiden välillä olevat luokat 17–18 prosentin osuudella. Täysin tervettä sormipaisukarve oli 16 tutkimuspuulla (1,1 % rungoista). Sormipaisukarve puuttui kokonaan neljältä rungolta (Kuva 13).

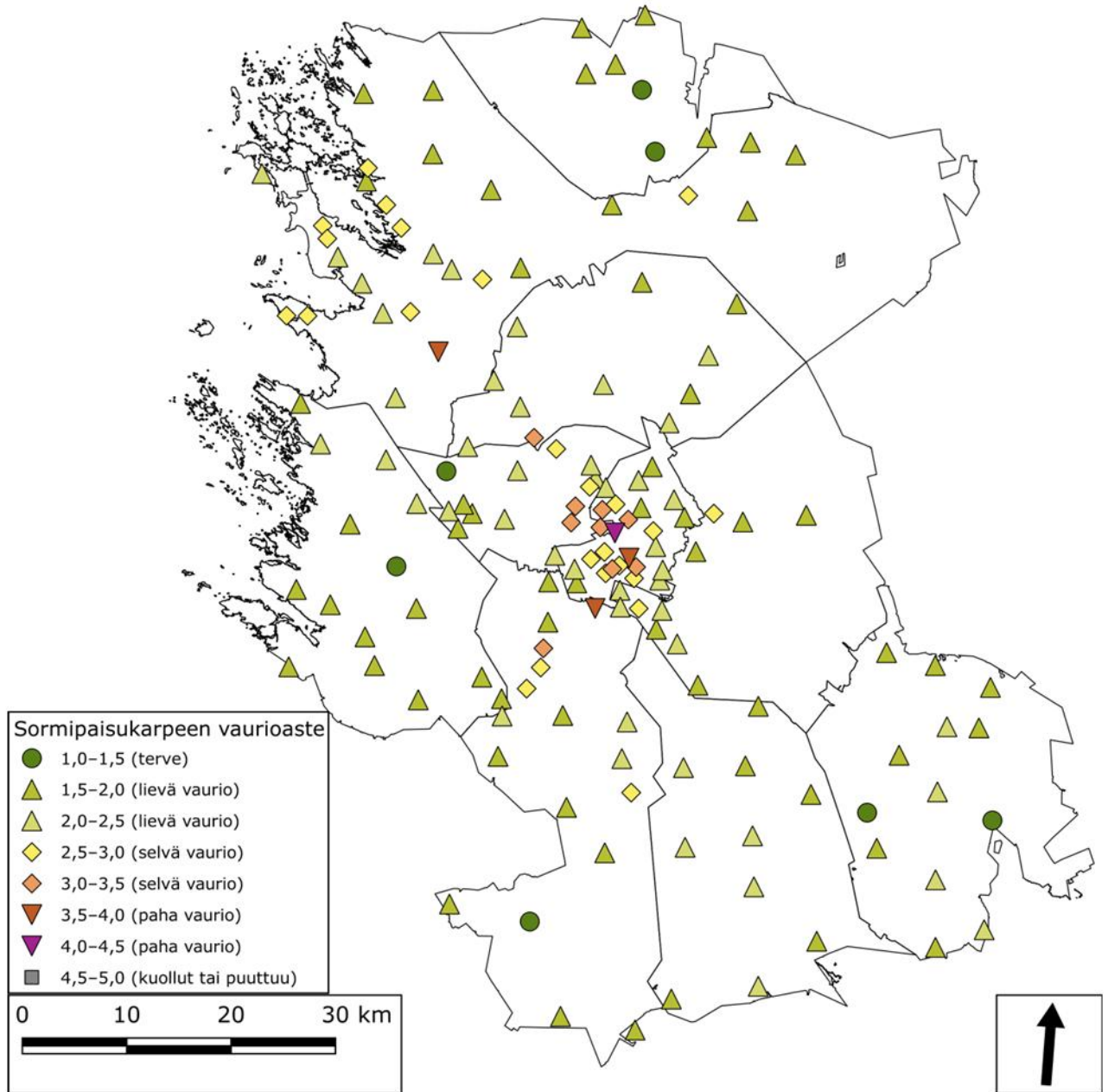


Kuva 12. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla luokittain vuonna 2022. n = 152.

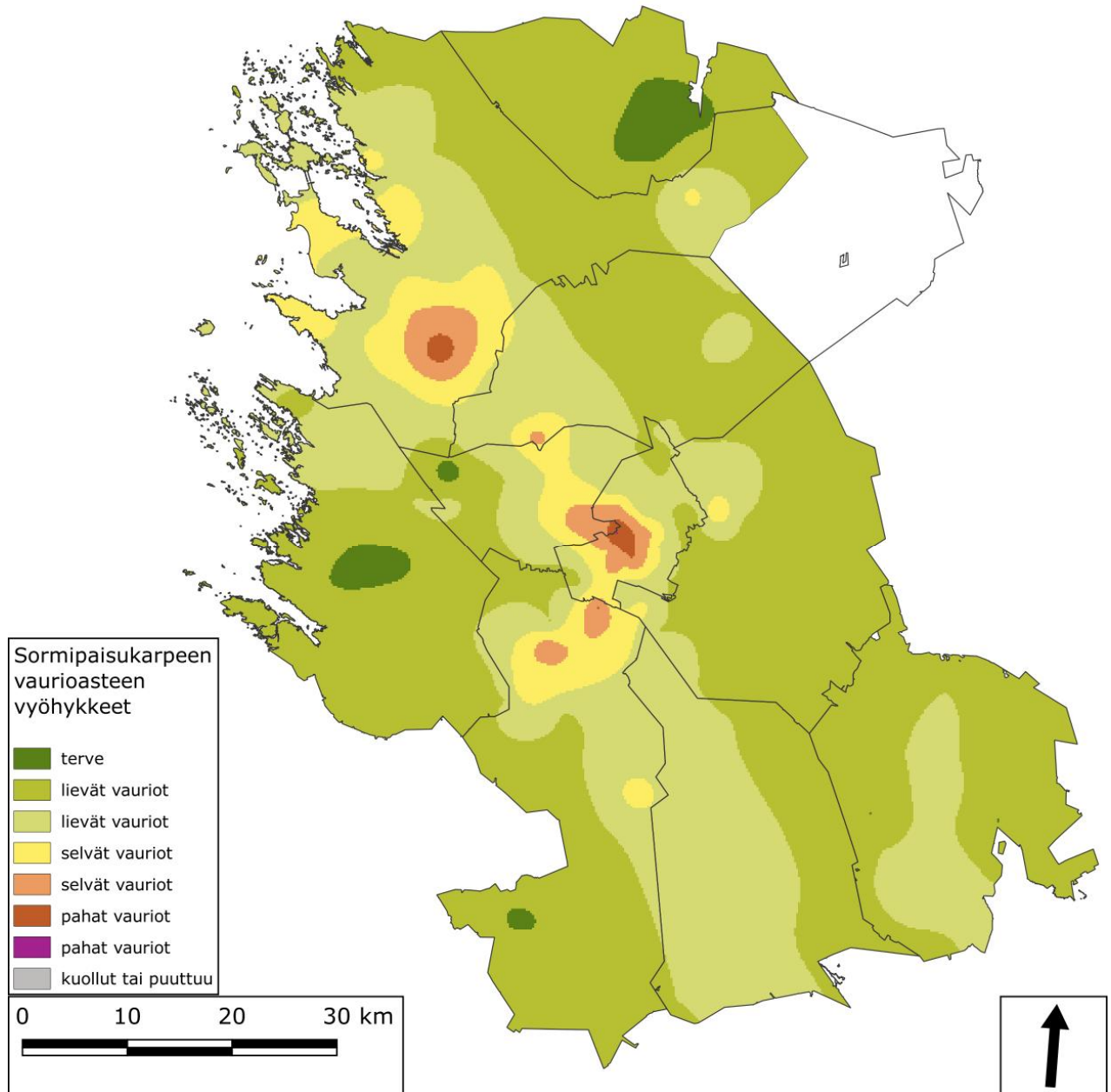


Kuva 13. Sormipaisukarpeen vaurioasteet luokiteltuna rungoittain vuonna 2022. n = 1520.

Tervettä sormipaisukarvetta kasvoi seitsemällä alalla (Eurassa, Eurajoella, Huittisissa, Nakkilassa ja Pomarkussa), ja vyöhykkeiksi interpoloituna saatiin neljä pienehköä aluetta, joissa sormipaisukarve oli tervettä. Alueet sijoittuivat Pomarkkuun, Nakkilan länsipäähän, Eurajoelle ja Euran Hinnerjoelle. Suurimassa osassa tutkimusaluetta sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta. Selviä ja pahoja vaurioita havaittiin taajamissa Porissa ja Eurassa sekä teollisuuslaitosten ympäristössä Porissa ja Harjavallan Suurteollisuuspuiston lähellä ja sen luoteis- ja eteläpuolella (Kuva 14, Kuva 15).



Kuva 14. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla vuonna 2022. n = 152.



Kuva 15. Sormipaisukarpeen vaurioasteen interpoloidut vyöhykkeet vuoden 2022 jäkäläkartoituksen tulosten perusteella.

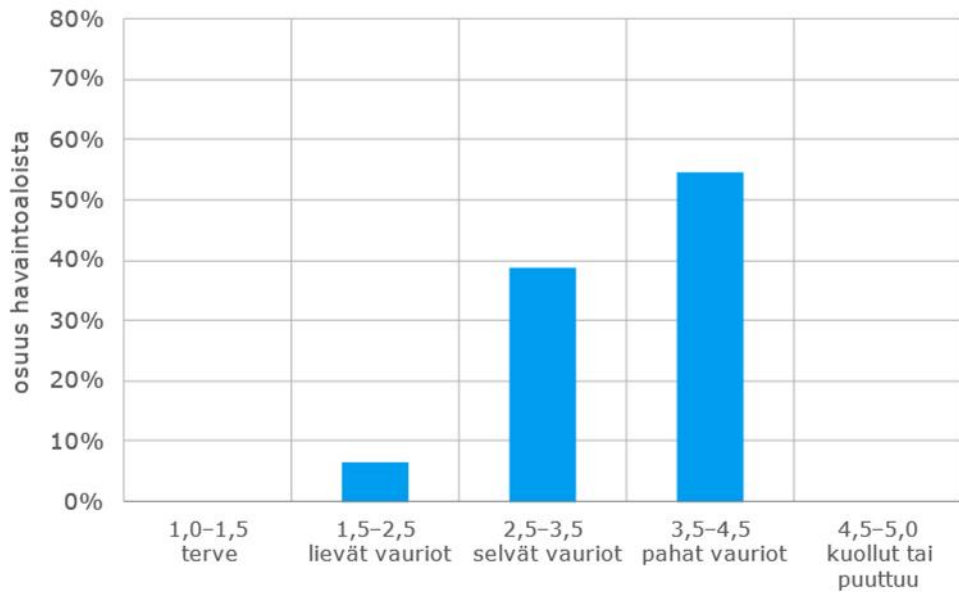
4.1.2 Yleinen vaurioaste

Yleinen vaurioaste arvioitiin puolen vaurioluokan välein asteikolla 1–5 (ks. Taulukko 16), jossa vaurioluokka 1 = terve, 2 = lievästi vaurioitunut, 3 = selvästi vaurioitunut, 4 = pahasti vaurioitunut ja 5 = kuollut tai puuttuva. Vauriot arvioitiin runkokohtaisesti, minkä perusteella laskettiin tutkimusalan keskimääräinen vaurioaste.

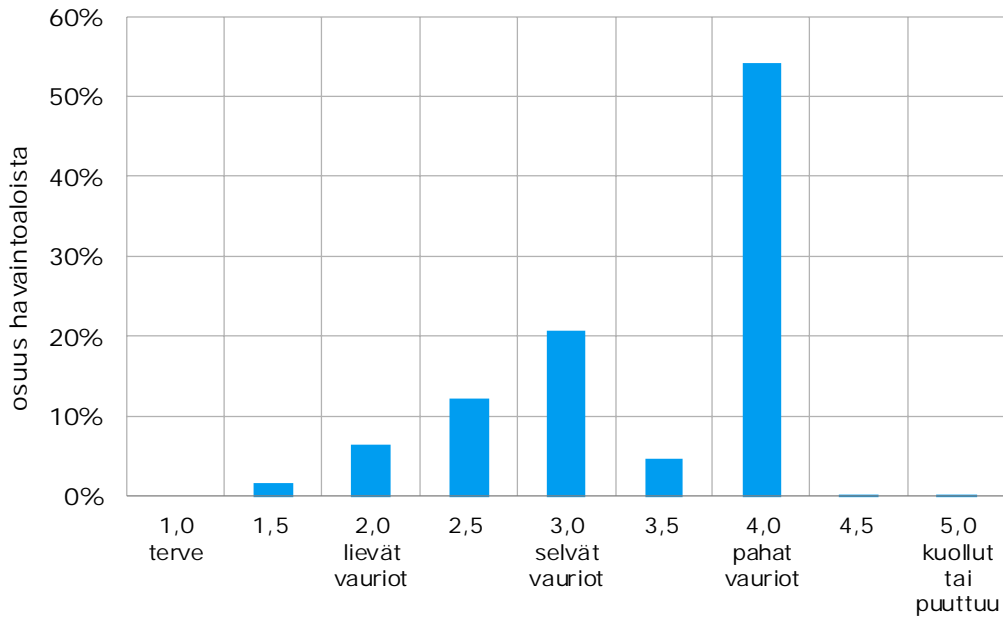
Yleinen vaurioaste oli keskimäärin 3,4 eli jäkälät olivat keskimäärin selvästi ja pahasti vaurioituneen välillä. Alakohtainen yleinen vaurioaste vaihteli välillä 1,7–4,4. Suurimmalla osalla tutkimusaloista (83 kpl, 55 %) yleinen vaurioaste oli tasolla ”pahat vauriot”. Toiseksi eniten oli selviä vaurioita (59 kpl, 39 %). Kymmenen alaa (6,5 %) oli lievien vaurioiden luokassa, eikä terveitä tai kuolleita aloja luokiteltu ollenkaan.

Yleisen vaurioasteen vino jakauma voidaan selittää sen arviointiperusteella: runkojäkälälajisto luokitellaan pahoin vaurioituneeksi, jos puulla ei kasva pensasmaisia jäkäläitä eli loppoja, naavoja tai hankakarvetta. Lupot ja naavat ovat herkkiä lajeja, joten ne katoavat ensimmäisinä rasiituksen kasvaessa. Tällöin hankakarpeen puuttuminen pudottaa rungon luokituksen vaurioasteen arvoon 4,0.

Tutkimuspuittain tarkasteltaessa yleisen vaurioasteen suurin ryhmä oli myös ”pahat vauriot” (54 %, 824 runkoa). Vaurioaste oli 4,5 tai 5,0 viidellä rungolla, ja se oli 1,5 yhteensä 26 tutkimuspuulla.

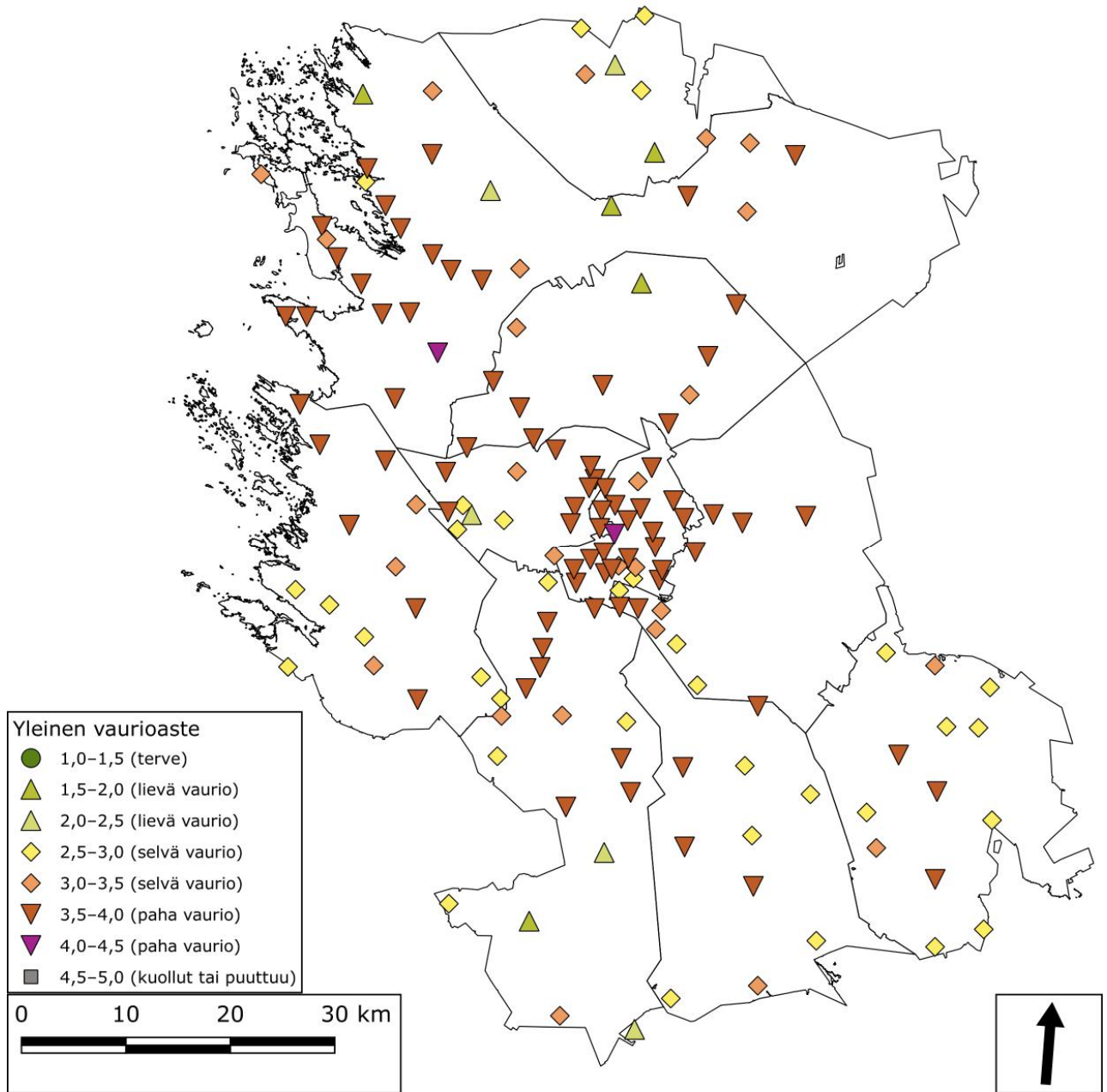


Kuva 16. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna aloittain vuonna 2022. n = 152.

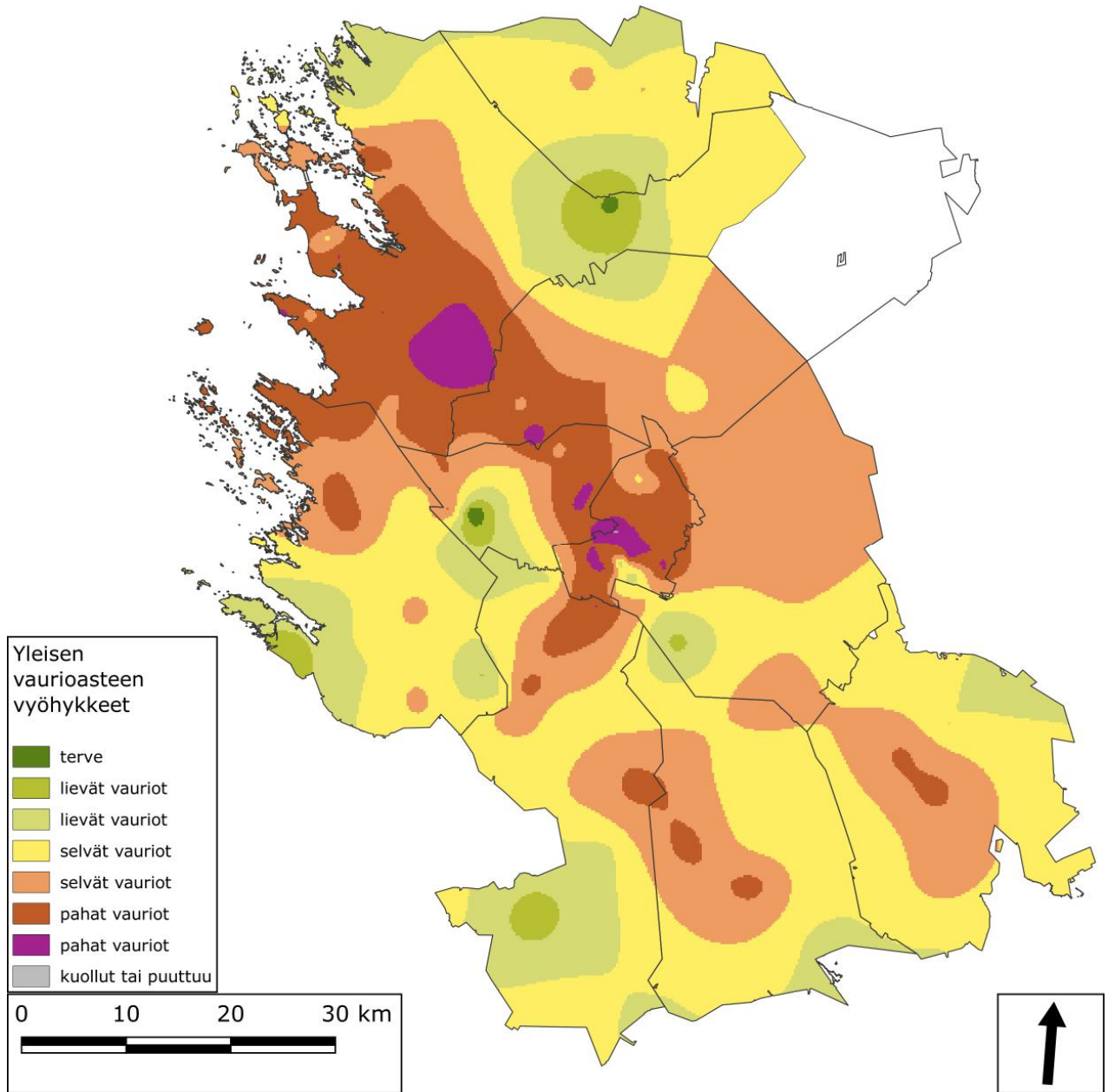


Kuva 17. Yleiset vaurioasteet luokiteltuna rungoittain vuonna 2022. n = 1520.

Suurimmat yleisen jäkälälajiston vauriot esiintyivät pääasiassa samoilla alueilla kuin sormipaisukarpeen suurimmat vauriot, mutta yleiset vaurioasteet olivat yleensä 1,5–2 vaurioluokkaa sormipaisukarpeen vaurioastetta suurempia. Suurimmat vauriot esiintyivät Porin taajama-alueella ja Harjavallan teollisuuden läheisyydessä. Koska pahat vauriot olivat yleisiä, niin niitä havaittiin laajoilla alueilla. Terveimpiä jäkälät olivat Porin alueella Noormarkun ja Lavian välillä sekä Ahlaisissa, Euran Hinnerjoella sekä Nakkilan län-siosassa (Kuva 19).



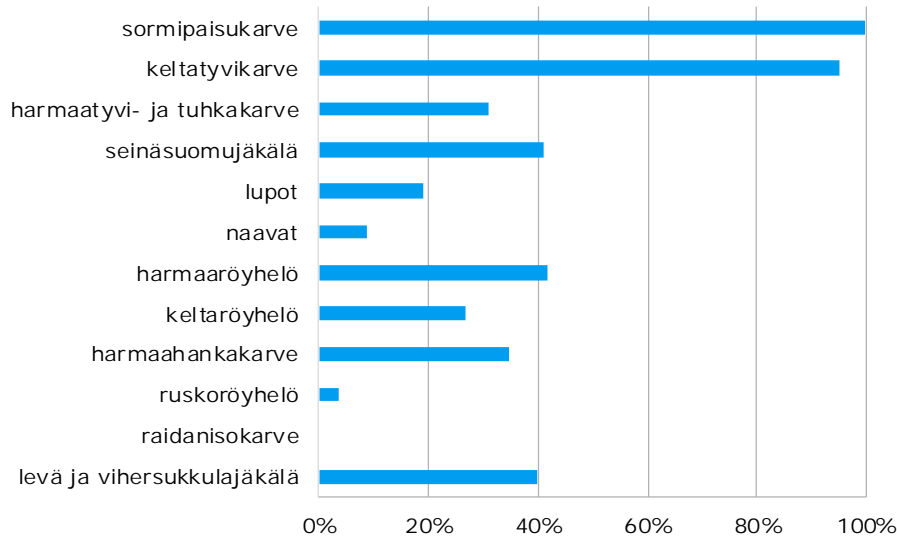
Kuva 18. Yleinen vaurioaste havaintoaloilla vuonna 2022. n = 152.



Kuva 19. Yleisen vaurioasteen interpoloidut vyöhykkeet vuoden 2022 jäkäläkartoituksen tulosten perusteella.

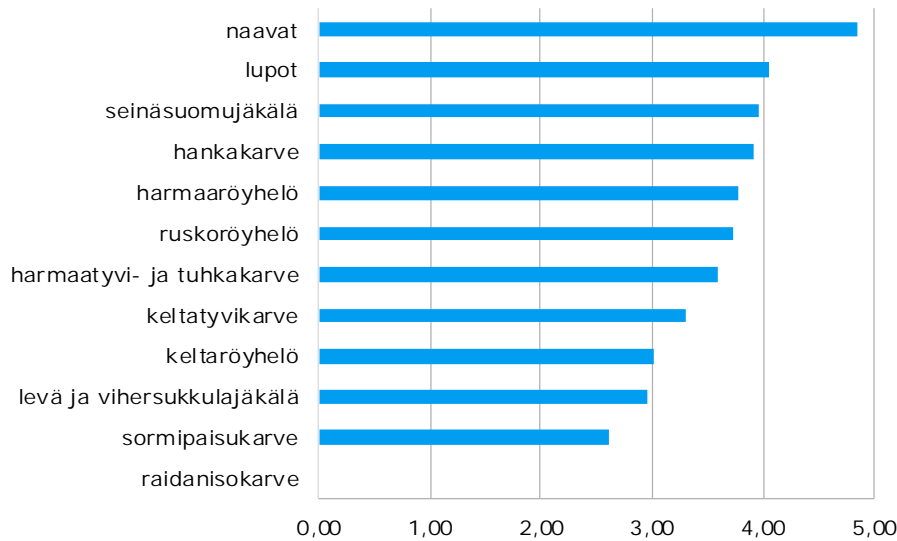
4.1.3 Jäkälälajien määrät ja yleisyys

Yleisin laji tutkimusalueella oli sormipaisukarve, jota esiintyi lähes kaikilla tutkimuspuilla. Seuraavaksi yleisimmät lajit olivat keltatyvikarve (95 % tutkimuspuista), harmaaröyhelö (42 %), seinäsuomujäkälä (41 %) ja levä (40 %). Raidanisokarvetta ei tavattu yhdelläkään tutkimuspuulla (Kuva 20).



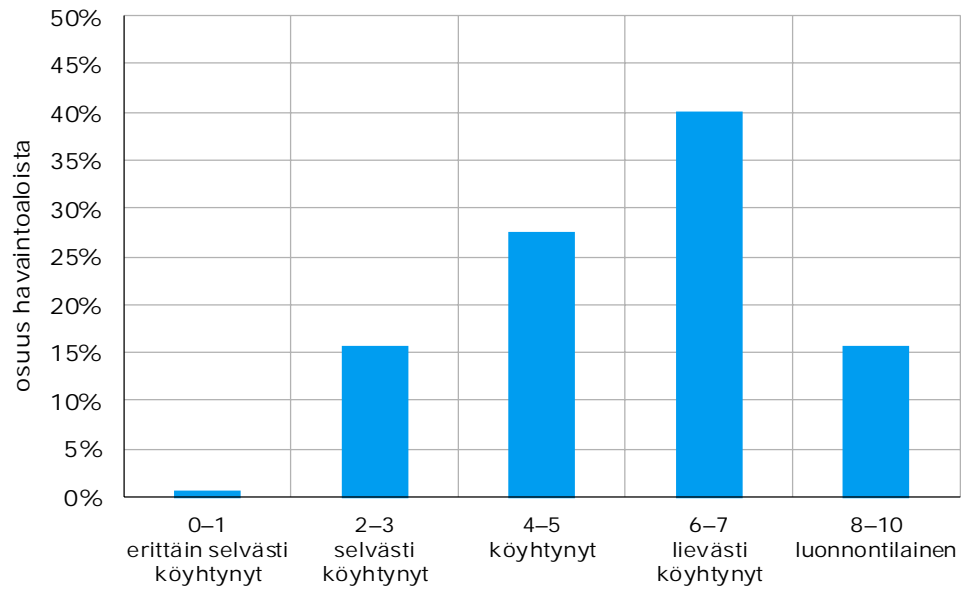
Kuva 20. Männyn runkojäkälien esiintymistiheys tutkimusalueen tutkimuspuilla vuonna 2022. n = 1520.

Runkojäkälien seuralaislajien, eli kyseisen lajin kanssa samalla rungolla esiintyvien muiden lajien määrät laskettiin tutkimuksen puukohtaisista havainnoista. Tämän tutkimuksen tuloksia ei käytetty IAP-indeksin laskentaan, joka laskettiin samoilla lajimäärillä kuin edellisessä tutkimuksessa (ks. kappale 3.3.4). Eniten seuralaislajeja (seuralaislajimäärät sulkeissa) oli harvinaisilla naavoilla (4,9), lupoilta (4,1), seinäsuomujäkälällä (4,0) ja hankakarpeella (3,9). Vähiten seuralaislajeja havaittiin sormipaisukarpeella (2,6), levällä ja vihersukkulajäkälällä (3,0) ja keltaröyhelöllä (3,0). Havaitut seuralaislajimäärät noudattivat suhteellisen hyvin oletuksia jäkälien herkkyydestä ilman epäpuhtauksille (Kuva 21).

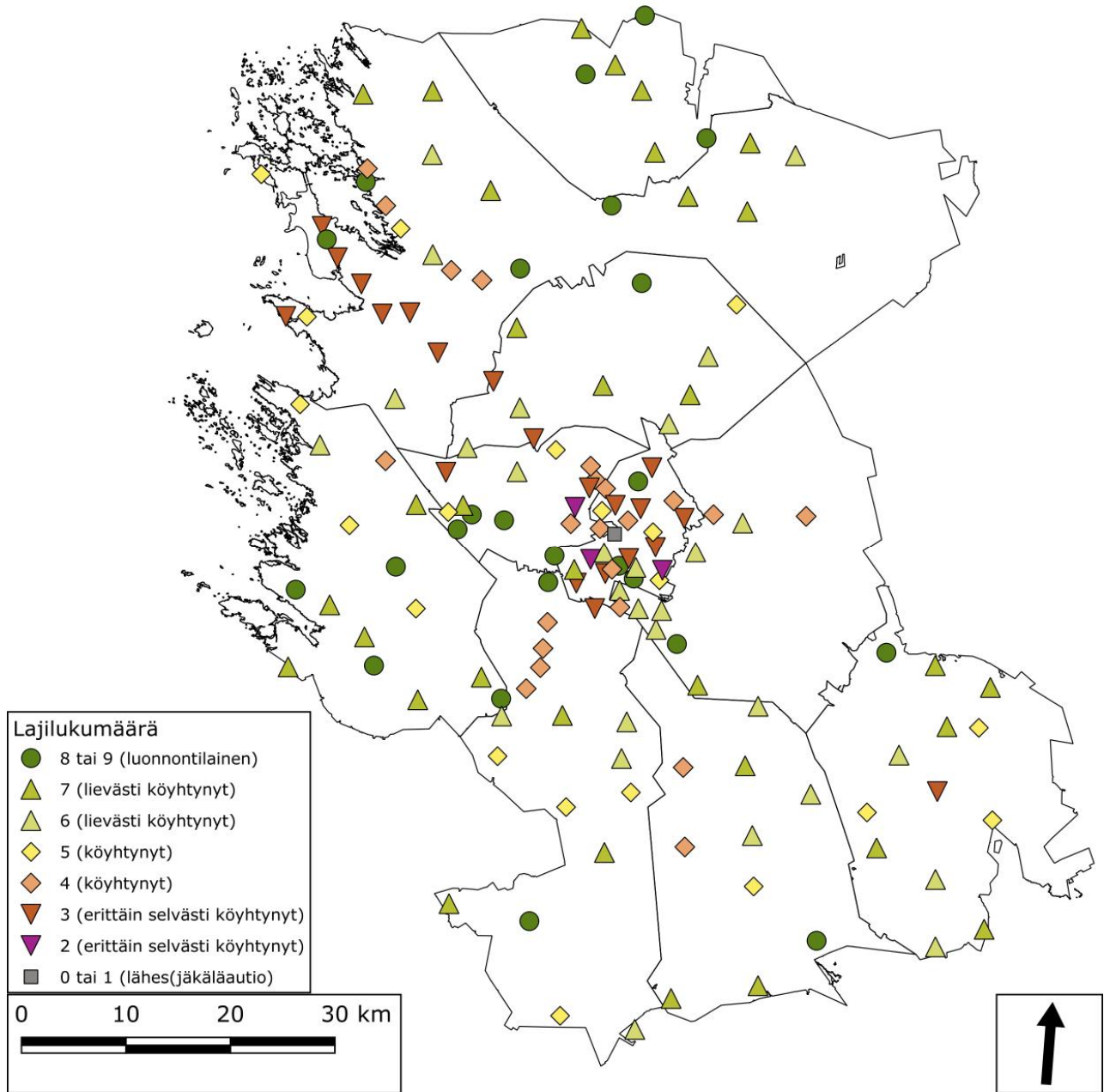


Kuva 21. Männyn runkojäkälien seuralaislajien lukumäärät tutkimusalueella vuonna 2022 (laskettu tämän tutkimuksen havainnoista).

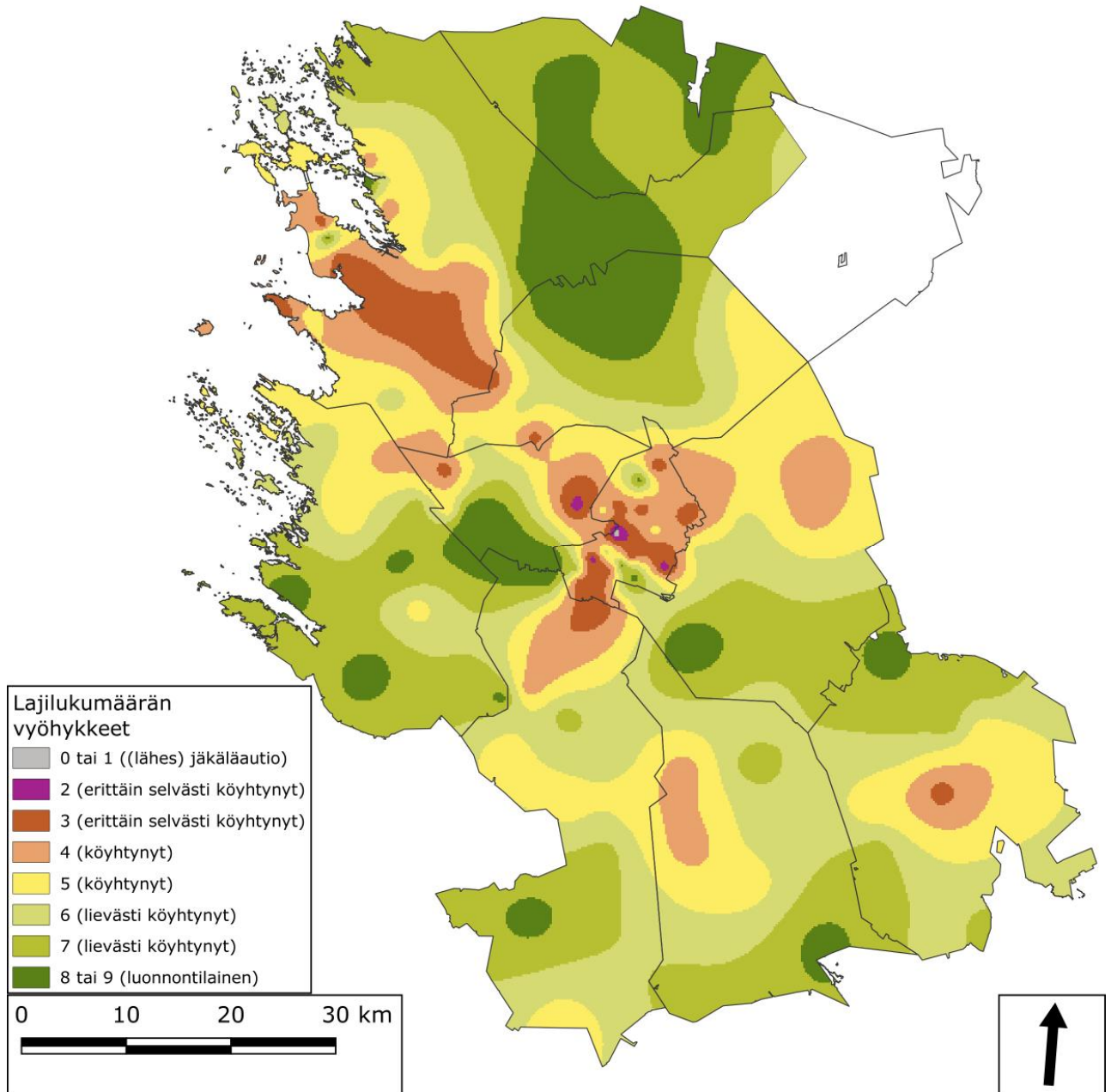
Tutkimusaloilla havaittiin keskimäärin 5,6 jäkälälajia, ja lajilukumäärä vaihteli välillä 1–9. Tutkimuspuukohtainen lajilukumäärä oli keskimäärin 3,6 (vaihtelu 0–8). Tutkimusaloista yli puolella lajisto oli lajilukumäärän mukaan luonnontilaista (16 % aloista, vähintään 8 lajia) tai lievästi köyhtynyttä (40 % aloista, 6–7 lajia). Vähän yli neljäsosalla aloista lajisto oli köyhtynyttä (4–5 lajia), noin kuudesosalla selvästi köyhtynyttä (2–3 lajia) ja yhdellä alalla erittäin selvästi köyhtynyttä (0–1 lajia) (Kuva 22). Köyhtyneen lajiston alueita oli etenkin Kokemäenjokilaaksossa Harjavallasta Poriin, Säkylässä, Euran pohjoisosassa ja Huittisten keskustan eteläpuolella. Lajisto oli terveintä lajilukumäärän perusteella Pomarkusta Kullaalle ulottuvalla alueella, Eurajoella sekä Euran, Nakkilan ja Eurajoen rajaseudulla. Myös muualla oli yksittäisiä luonnontilaisia tai lievästi köyhtyneitä aloja (Kuva 23, Kuva 24).



Kuva 22. Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin lajilukumäärän perusteella vuonna 2022. n = 152.



Kuva 23. Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärät havaintoaloilla vuonna 2022. n = 152.

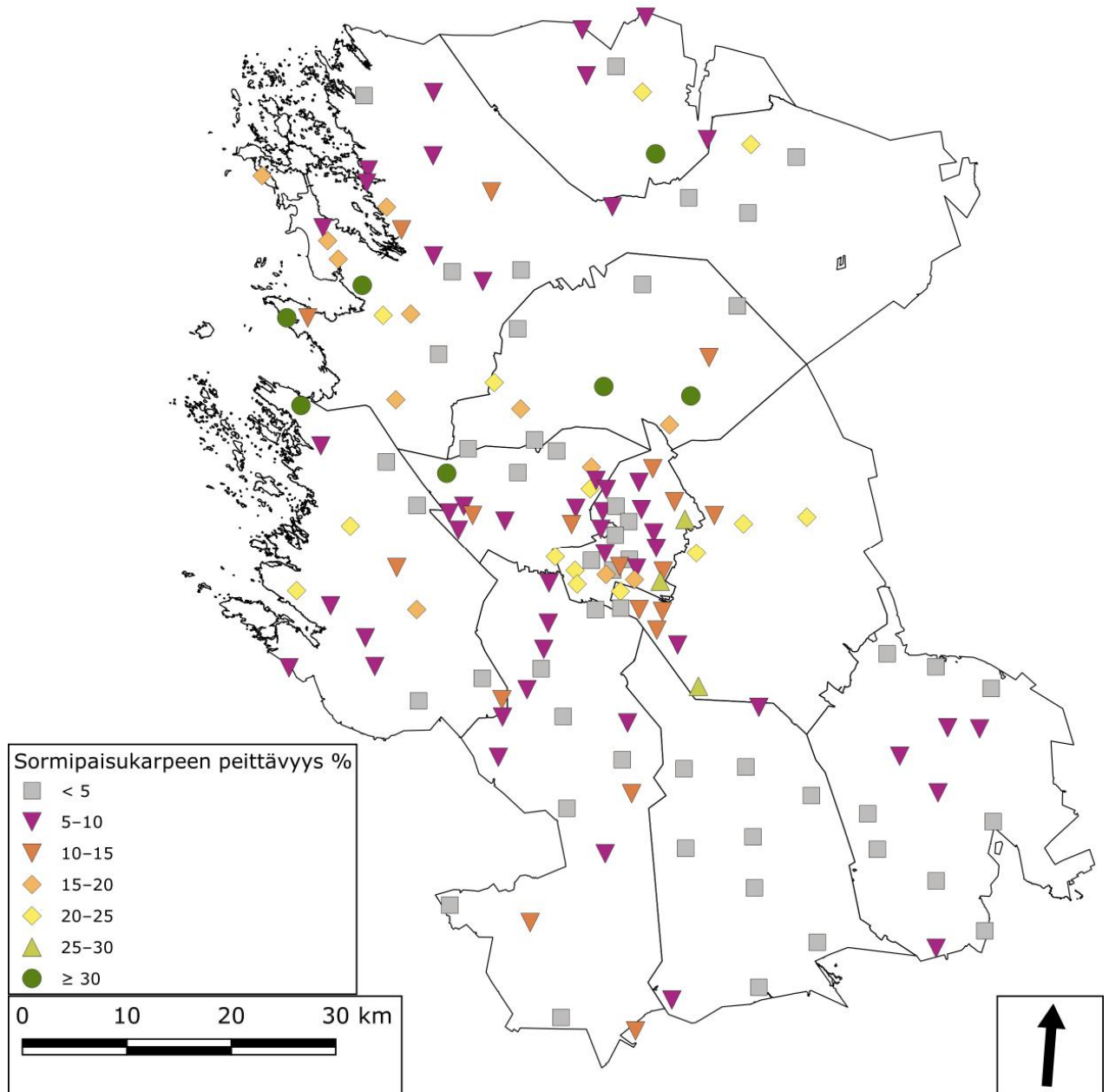


Kuva 24. Lajilukumäärän interpoloidut vyöhykkeet vuoden 2022 jäkäläkartoituksen tulosten perusteella.

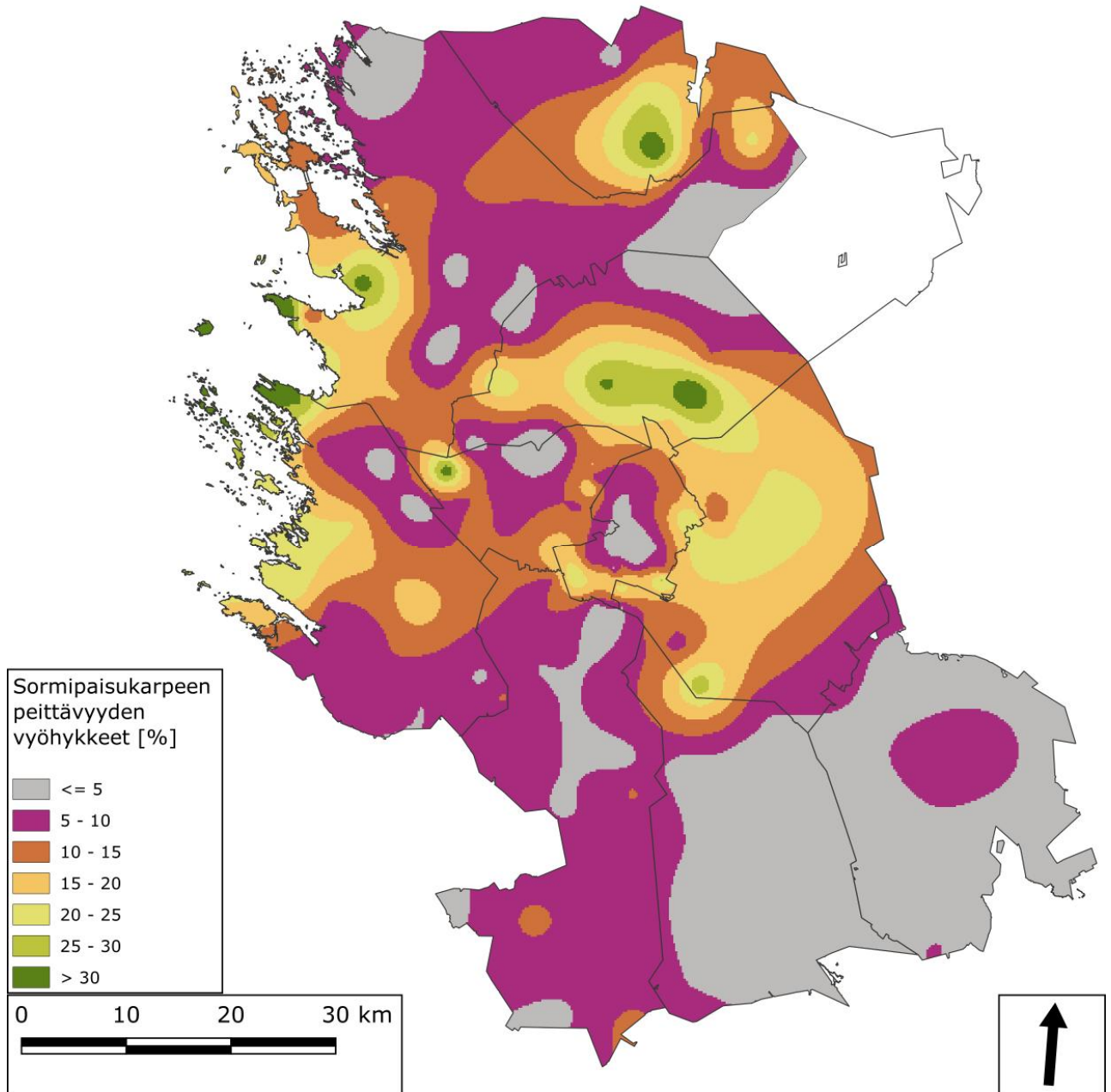
4.1.4 Peittävyudet

Peittävyuden 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 peittävyysiin merkittävästi, esim. sormipaisukarpeen peittävyys on suurempi nuorissa kuin vanhoissa männiköissä.

Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys oli 10 % (ks. Taulukko 21). Peittävyys oli suurimmillaan Ulvilan alueella, lähellä merenrantaa ja Pomarkussa ja Nakkilassa kummallakin yhdellä alalla. Peittävyys oli vähäistä paitsi Harjavallan suurteollisuuden läheisyydessä niin myös silmiinpistävästi laajoilla alueilla Eurassa, Huittisissa ja Säkylässä sekä useilla aloilla koko tutkimusalueella (Kuva 25, Kuva 26).

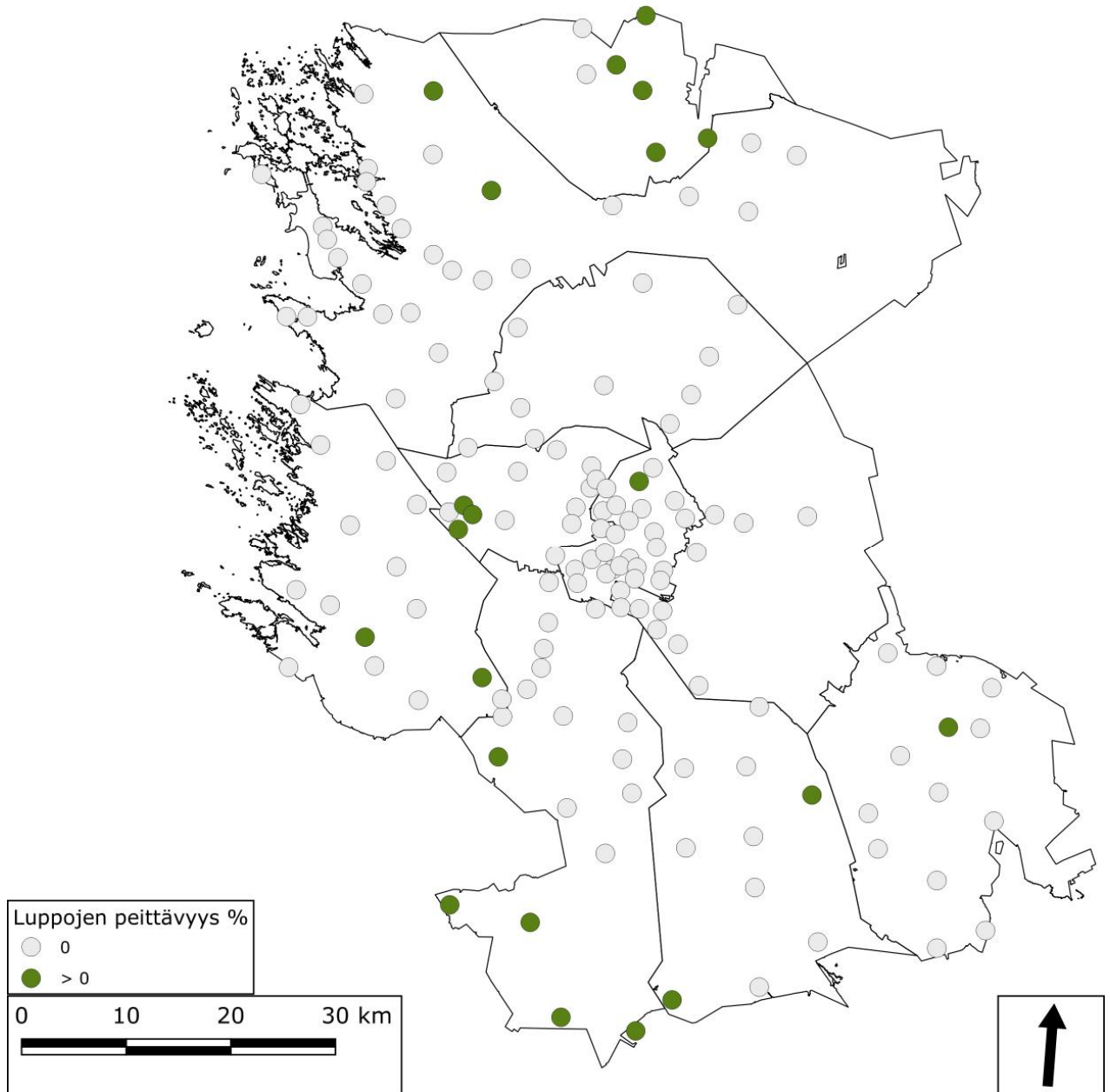


Kuva 25. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys (%) tutkimusalueella vuonna 2022. n = 152.



Kuva 26. Sormipaisukarpeen peittävyiden interpoloidut vyöhykkeet vuoden 2022 jäkäläkartoituksen tulosten perusteella.

Luppoja esiintyi peittävinä vain yksittäisillä aloilla keskimääräisen peittävyiden ollessa 0,05 % (ks. Taulukko 21). Luppojen peittävyys oli suurempi kuin 0 kaikkiaan 21 alalla. Eniten tällaisia aloja oli Pomarkussa (Kuva 27).

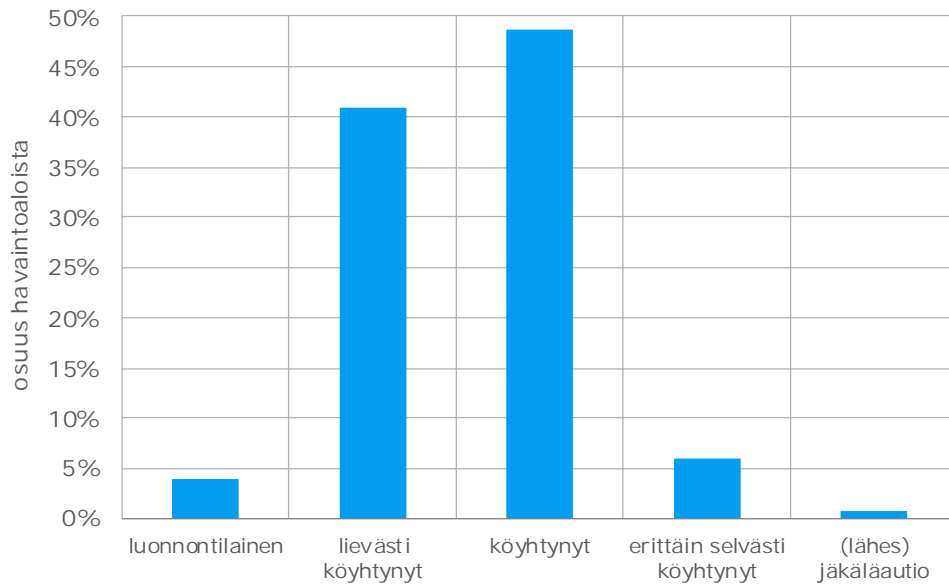


Kuva 27. Luppojen peittävyys (%) tutkimusalueella vuoden 2022 jäkäläkartoituksen tulosten perusteella. n = 152.

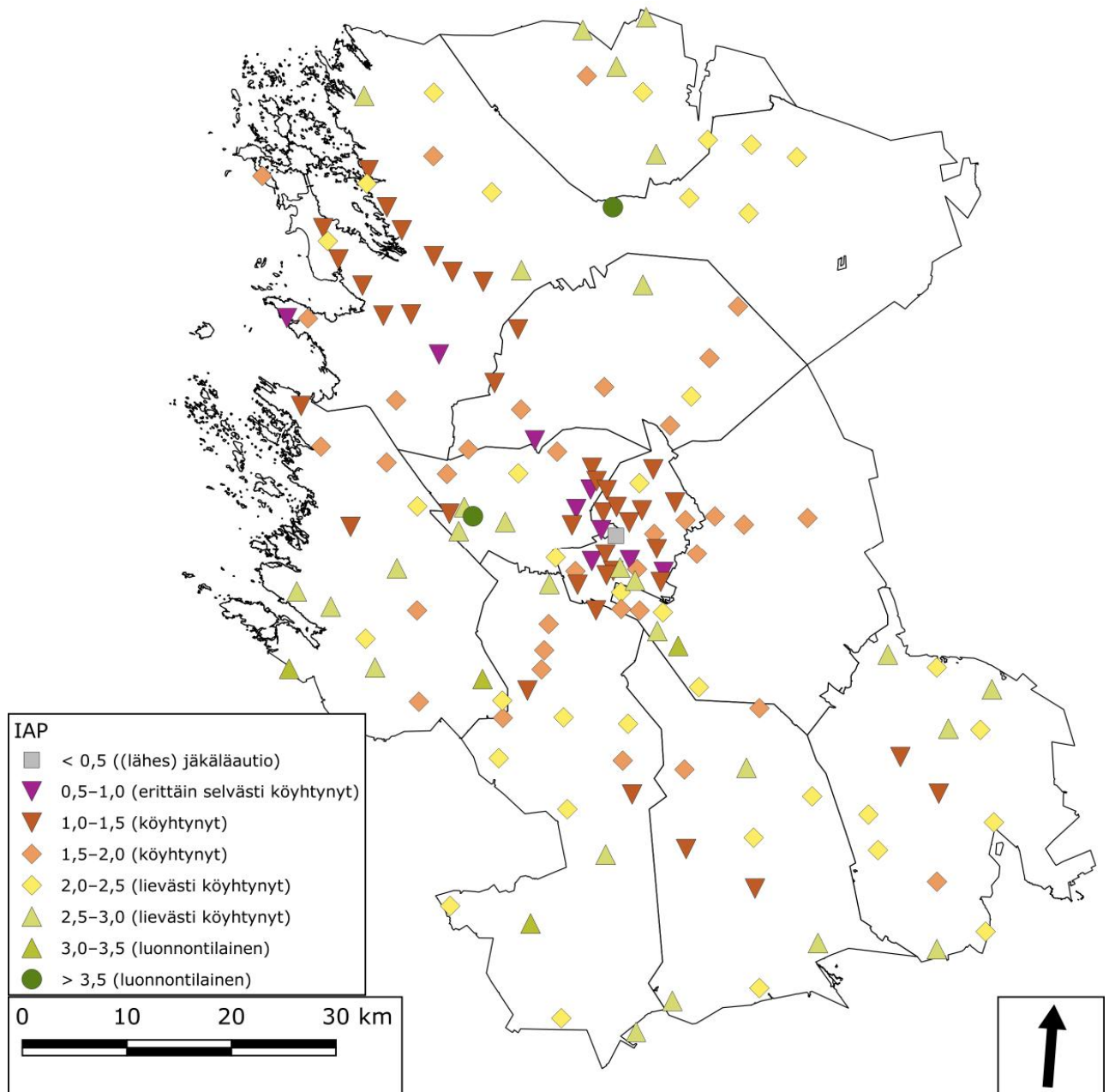
4.1.5 IAP-indeksi

IAP-indeksi oli tutkimusalueella keskimäärin 1,9, minkä perusteella lajistoa voidaan kuvata keskimäärin köyhtyneeksi. Pienin IAP-indeksi arvo oli 0,6 (erittäin selvästi köyhtynyt lajisto) ja suurin oli 3,9 (luonnontilainen) (ks. Taulukko 21).

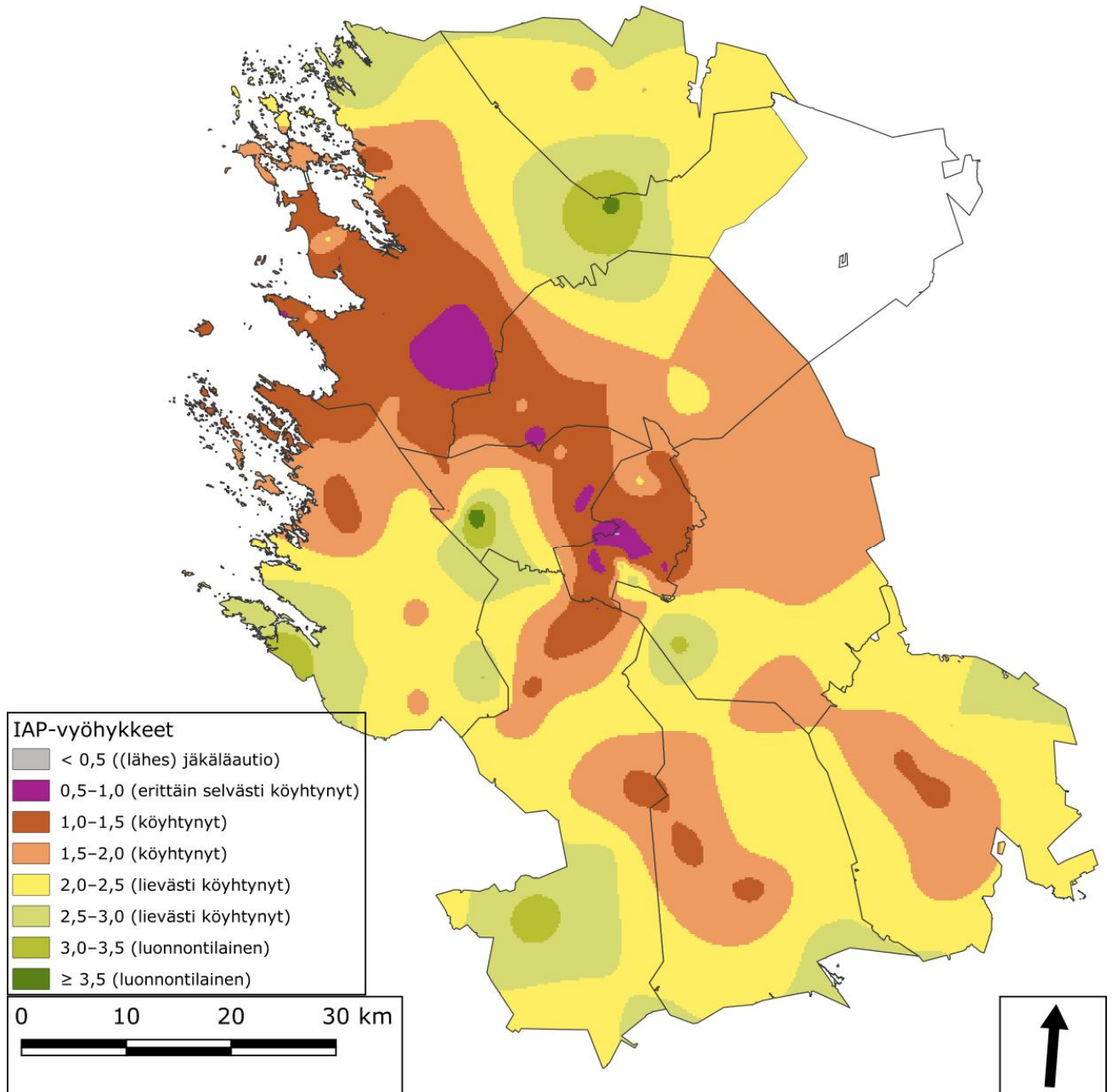
Suurimmat IAP-indeksin alakohtaiset luokat oli "köyhtynyt lajisto" (74 alaa, 49 %) ja "lievästi köyhtynyt lajisto" (62 alaa, 41 %). Indeksien perusteella lajisto oli luonnontilaista (IAP \geq 3,0) kuudella alalla (4 %), jotka sijaitsivat hajallaan tutkimusalueella. Erittäin selvästi köyhtyneitä tai (lähes) jäkäläautoioita aloja oli 10 kpl (16 %), ja ne sijaitsivat suurimmalta osin Harjavallan teollisuuden lähellä ja siitä Kokemäenjokea seuraten Porin keskustaan (Kuva 28, Kuva 28, Kuva 29, Kuva 30).



Kuva 28. IAP-indeksin jakauma havaintoaloittain vuonna 2020. n = 152.



Kuva 29. IAP-indeksi tutkimusaloilla vuonna 2022. n = 152.



Kuva 30. IAP-indeksin interpoloidut vyöhykkeet vuonna 2022.

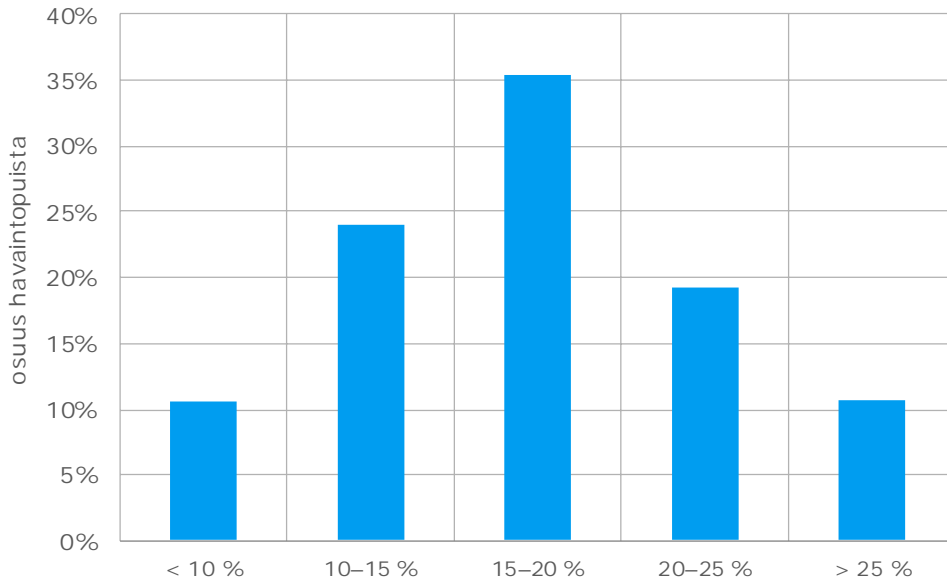
4.2 Mäntyjen neulaskato ja neulasvuosikertojen määrä

Tutkimusalueen puilla havaittiin keskimäärin 2,7 neulasvuosikertaa ja niiden määrä vaihteli välillä 1,5–4 neulasvuosikertaa. Koko tutkimusalueella mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli 15 %. Neulaskadon määrä vaihteli rungoittain välillä 0–60 % (Taulukko 22).

Taulukko 22. Männyn neulaskato ja neulasvuosikertojen määrä tutkimusalueen tutkimuspuilla. n = 1520.

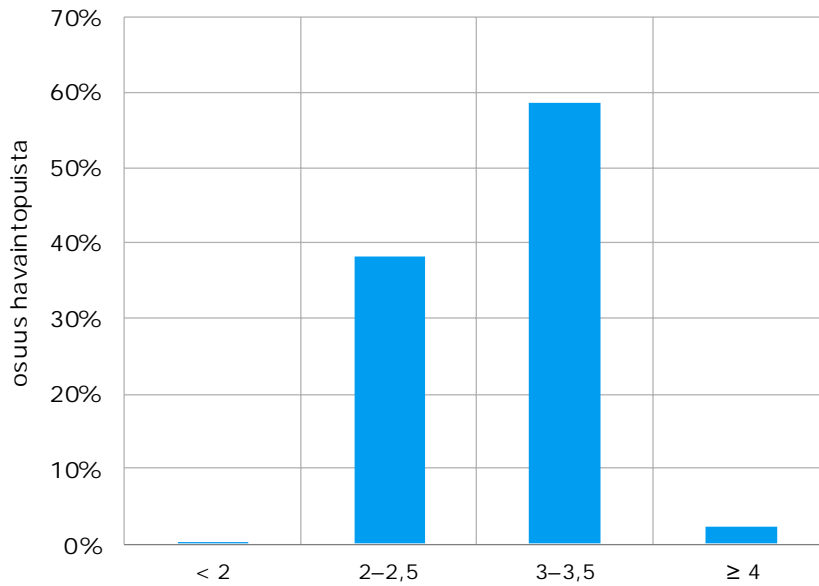
Suure	Keskiarvo	Mediaani	Pienin	Suurin	Keskihajonta
neulasvuosikertojen lkm	2,7	3,0	1,5	4	0,53
neulaskato [%]	15	15	0	60	6,54

Valtaosa tutkimuspuista (79 %) luokiteltiin lievästi harsuuntuneiksi (neulaskato 10–25 %). Latvustoltaan terveiksi (neulaskato alle 10 %) luokiteltiin puolestaan 11 % ja harsuuntuneiksi (neulaskato yli 25 %) luokiteltiin myös 11 %. Yleisin neulaskatoluokka oli 15–20 %, johon kuului 35 % havaintomännystä (Kuva 31).



Kuva 31. Mäntyjen jakautuminen neulaskatoluokkiin tutkimusalueella vuonna 2022. n = 1520.

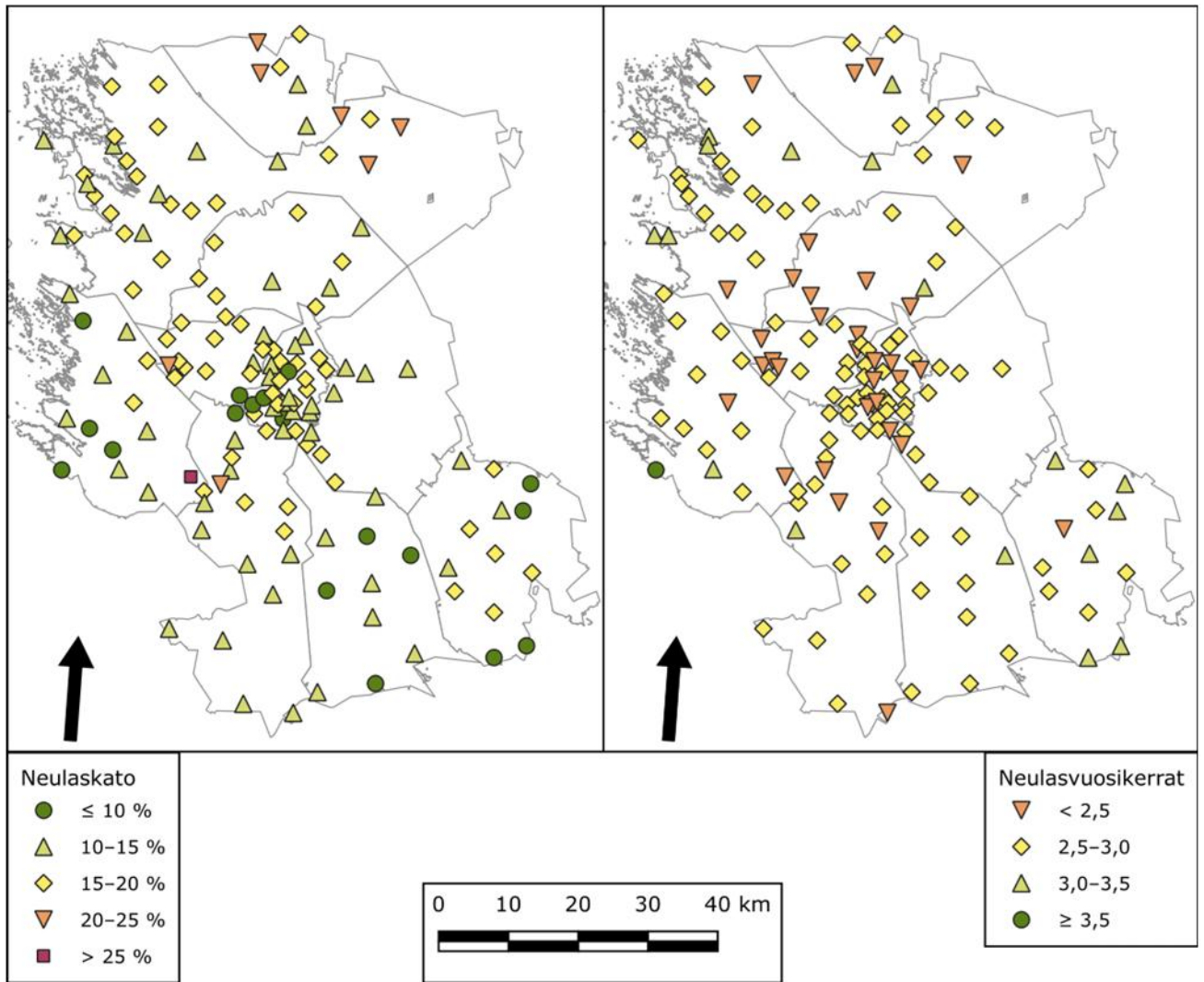
Suurimmalla osalla (59 %) tutkimuspuista havaittiin 3–3,5 neulasvuosikertaa. Toiseksi yleisin luokka oli 2–2,5 neulasvuosikertaa. Vain pienellä osalla puista havaittiin alle 2 tai vähintään 4 neulasvuosikertaa (Kuva 32).



Kuva 32. Mäntyjen jakautuminen neulasvuosikertaluokkiin tutkimusalueella vuonna 2022. n = 1520.

Alakohtaisesti tarkasteltuna männyt olivat harsuuntuneita (neulaskato vähintään 25 %) yhdellä havaintotalalla, joka sijaitsi Eurajoen itäosassa. Mitään selvää syytä harsuuntumiseen ei havaittu. Latvustot olivat terveitä (neulaskato alle 10 %) 13 alalla. Ne sijaitsivat Eurassa, Eurajoella, Harjavallassa, Huittisissa ja Säkylässä (Kuva 33).

Alakohtainen neulasvuosikertojen määrä jakaantui yleisesti ottaen siten, että vähintään 3 neulasvuosikertaa esiintyi etäämpänä Harjavallasta ja Nakkilasta. Suurin osa tällaisista aloista esiintyi Huittisissa, mutta toisaalta myös Porissa taajamien ulkopuolella (Kuva 33).



Kuva 33. Mäntyjen neulaskato ja neulasvuosikerrat alakohteisesti tutkimusalueella vuonna 2022. n = 152.

4.3 Männyen neulasten alkuainepitoisuudet

Seuraavassa on ensiksi esitetty neulasten alkuainepitoisuuksien tunnuslukuja Porin-Harjavallan alueella koko alueen osalta. Tutkimusalojen alkuainepitoisuudet on esitetty kartoilla alempana.

Taulukko 23. Neulasten alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta koko tutkimusalueella vuosina 2022–2023.

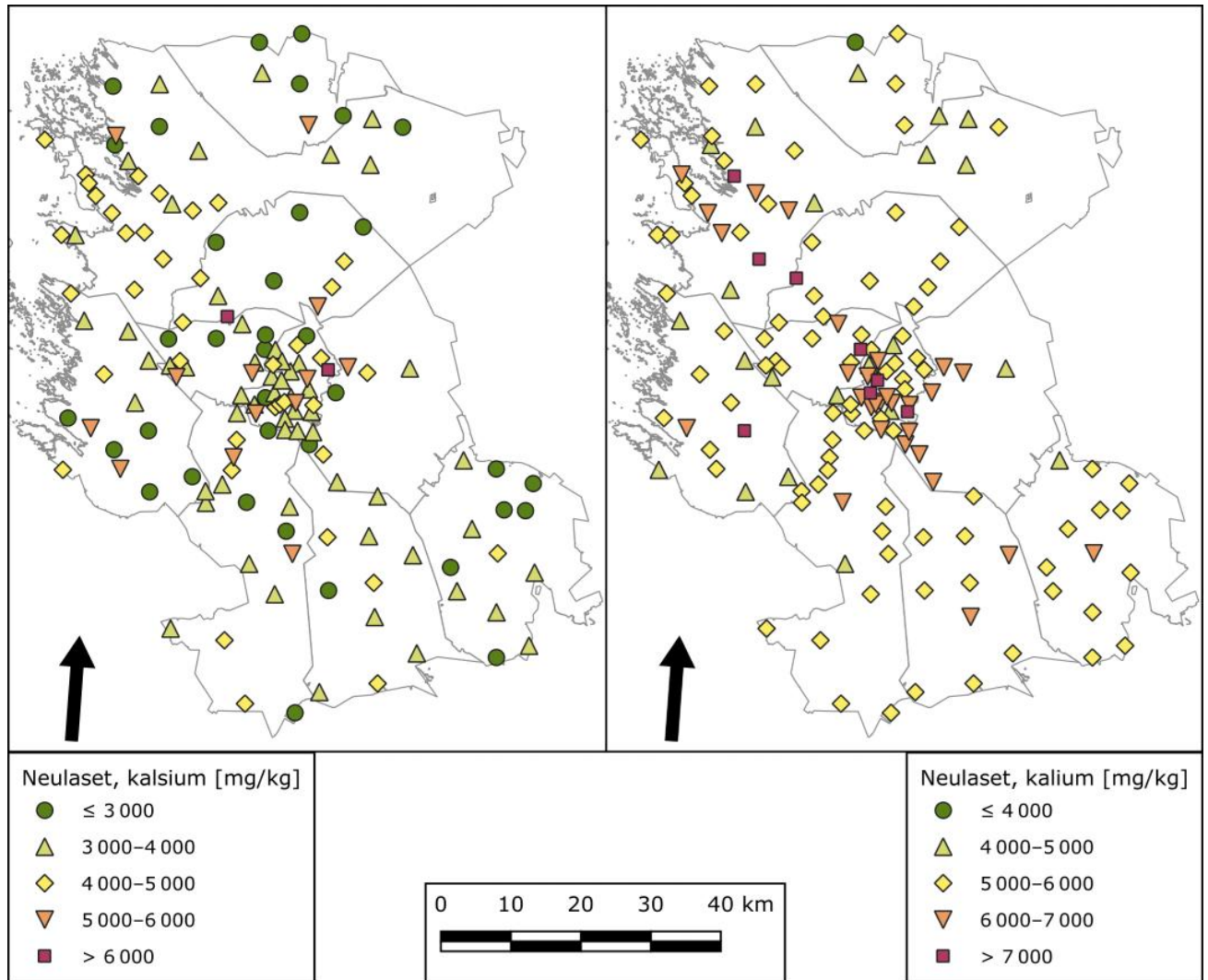
n = 147	Kalium (K) [mg/kg]	Kalsium (Ca) [mg/kg]	Magnesium (Mg) [mg/kg]	Mangaani (Mn) [mg/kg]	Rikki (S) [g/Kg]	Typpi (N) [%]
keskiarvo	5 700	3 800	850	500	0,9	1,4
pienin	960	520	140	130	0,12	0,99
suurin	8 000	6 500	1 200	1 800	1,4	1,8
keskihajonta	778	988	147	256	0,14	0,14

Kaliumin (Kuva 34), typen (Kuva 36) ja rikin (Kuva 36) suurimmat pitoisuudet havaittiin Harjavallan teollisuuden vaikutuspiirissä, mutta näiden alkuaineiden suuria pitoisuuksia esiintyi etenkin myös Porin taajama-alueella ja Euran Kiukaisissa. Rikin määrän perusteella sen puutosta havaittiin 27 alalla eri puolella tutkimusaluetta. Kaliumin pitoisuus osoitti sen puutosta yhdellä alalla Pomarkun pohjoisrajalla. Männylle optimaalisin kaliumpitoisuus ylittyi kahdeksalla alalla, jotka sijaitsivat teollisuuslaitosten lähellä tai taajamien vaikutuspiirissä. Typestä oli puutosta 43 havaintoalalla, jotka sijaitsivat laajalti tutkimusalueella.

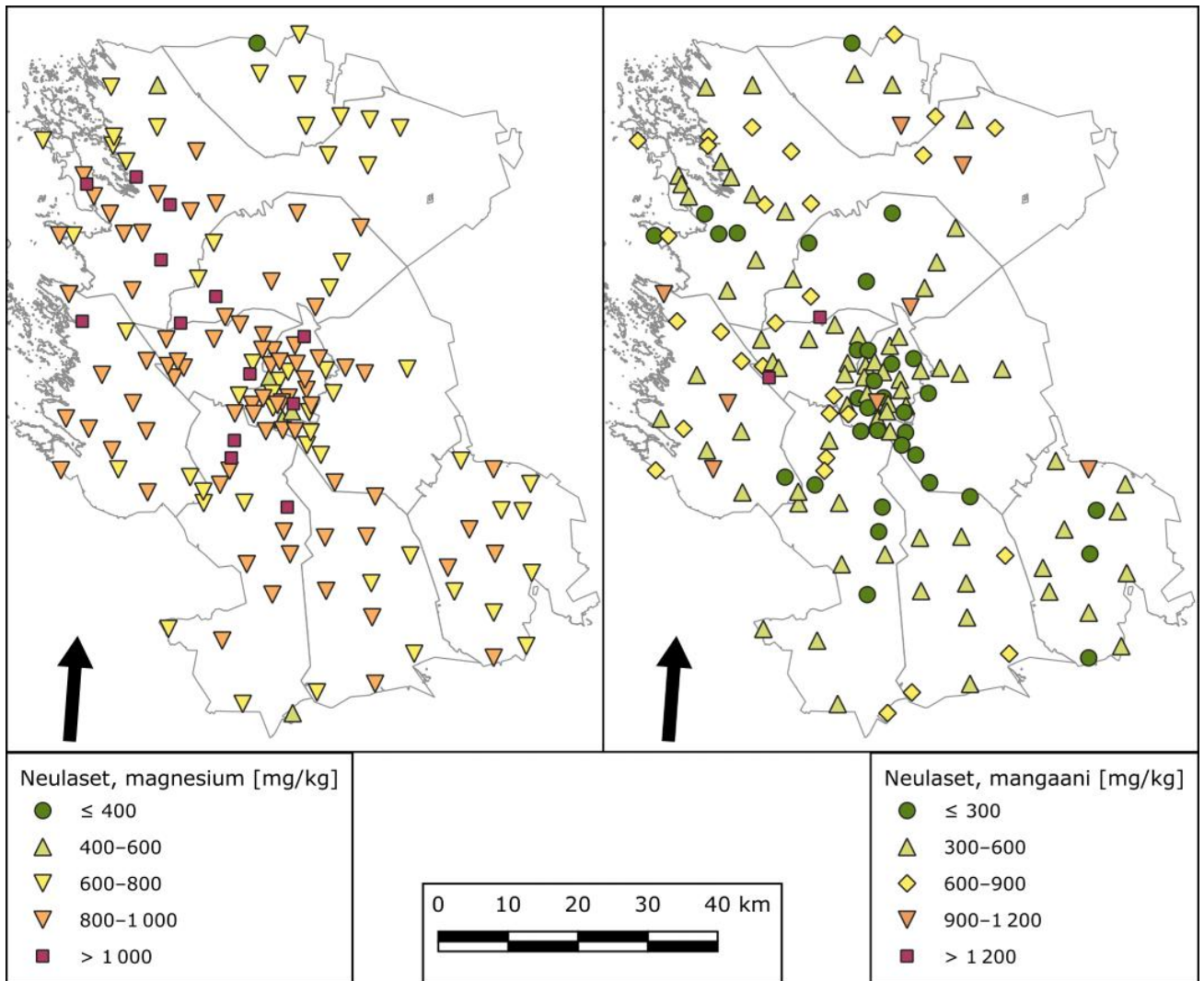
Kalsiumin (Kuva 34) suurimpia pitoisuuksia havaittiin Harjavallassa mutta myös useilla muilla alueilla hajanaisesti. Kalsiumin puutosta esiintyi yhteensä neljällä alalla Pomarkussa, Porissa (2 alaa) ja Ulvilassa.

Magnesiumin (Kuva 35) pitoisuudet neulasissa olivat suuria valtaosassa tutkimusaluetta ilman selvää painoaluetta. Magnesiumin pitoisuus puolestaan oli puutostasolla 17 alalla monella suunnalla. Mangaania (Kuva 35) neulasissa oli vähiten kuormitetuilla alueilla, ja pitoisuus oli pienempi kuin 400 mg/kg kaikkiaan 59 alalla.

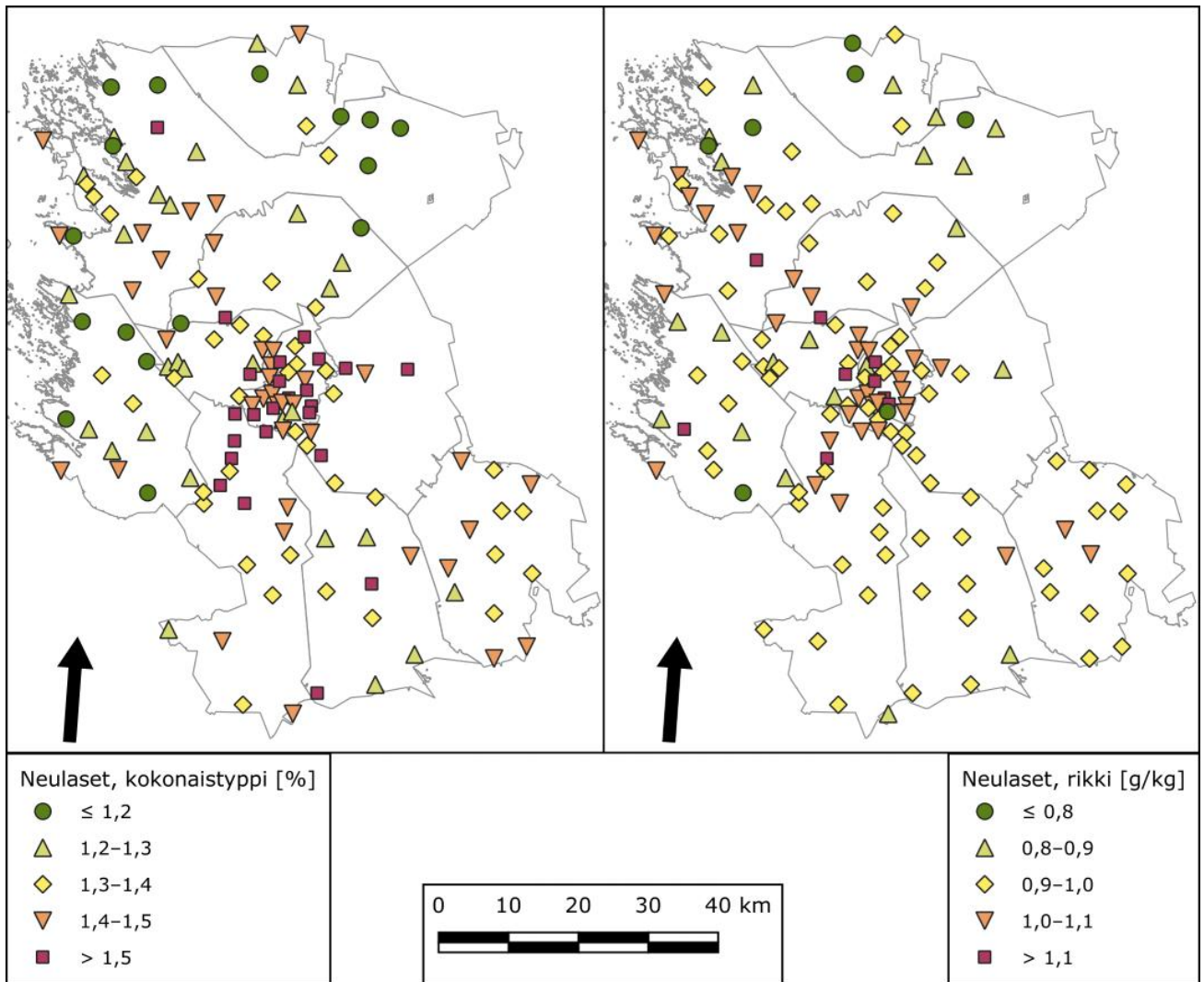
Typhen ja rikin pitoisuudet neulasissa vastasivat likimain oletuksia päästökuormituksen vaikutuksista. Mangaanin pitoisuus vaihteli karkeasti katsottuna käänteisesti verrattuna typpeen ja rikkiin. Yksittäisten alojen suurille pitoisuuksille, jotka eivät ole selvästi päästölähteiden vaikutuspiirissä, on vaikea löytää selviä syitä.



Kuva 34. Kalsiumin (vasemmalla) ja kaliumin (oikealla) pitoisuudet männyn neulasten toisessa vuosikerrassa tutkimusaloilla vuosina 2022–2023 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).



Kuva 35. Magnesiumin (vasemmalla) ja mangaanin (oikealla) pitoisuudet männyn neulasten toisessa vuosikerrassa tutkimusaloilla vuosina 2022–2023 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).



Kuva 36. Typen (yksikkö % kuiva-aineessa, vasemmalla) ja rikin (yksikkö g/kg kuiva-aineessa, oikealla) pitoisuudet männyn neulasten toisessa vuosikerrassa tutkimusaloilla vuosina 2022–2023.

4.4 Sammalen alkuainepitoisuudet

Kadmiumin pitoisuudet olivat tutkimusalueella enimmäkseen pieniä. Kohonneita pitoisuuksia esiintyi Harjavallan teollisuuden lähellä (Kuva 37). Kromin suurimpia pitoisuuksia havaittiin Harjavallan suurteollisuuspuiston ympäristössä sekä Porin taajama-alueella Isomäessä ja Meri-Porissa. Kromin pitoisuudet olivat pieniä etenkin tutkimusalueen pohjoisosassa mutta hajanaisesti myös muualla (Kuva 37).

Kuparin pitoisuudet oivat laajalti matalia. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Harjavallassa, ja myös Meri-Porissa erottui taustaa hieman suurempia pitoisuuksia kahdella alalla (Kuva 38). Myös elohopean suurimmat pitoisuudet esiintyivät Harjavallan teollisuuden ympäristössä, ja Meri-Porin ja Varvirannan suunnalla erottui kaksi alaa ympäristöstä (Kuva 38).

Nikkelin pitoisuudet olivat suurimmillaan Harjavallan teollisuuden ympäristössä, ja Meri-Porissa erottui yksi ala. Lyijyä oli runsaasti Harjavallassa ja lähialueilla sekä yhdellä alalla Porin Reposaaressa ja Euran Kauttualla. Lisäksi hieman kohonneita pitoisuuksia esiintyi tutkimusalueen etelä- ja keskiosissa (Kuva 39).

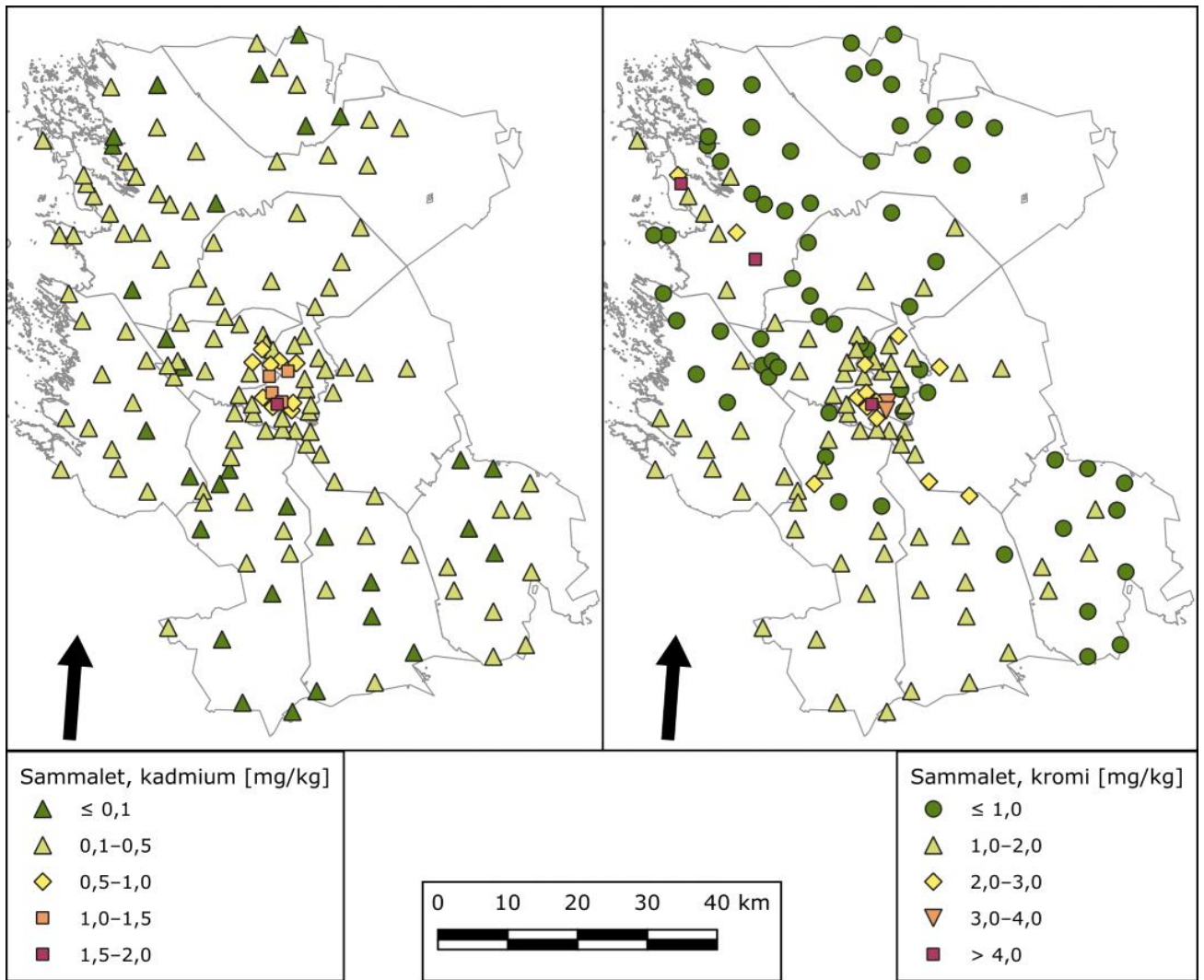
Vanadiinin suuret pitoisuudet sammalissa eivät olleet selvästi keskittyneitä. Suurimmat pitoisuudet havaittiin kolmella alalla, jotka sijaitsivat Meri-Porissa, Porin taajama-alueella sekä Nakkilassa (Kuva 40). Sinkkiä oli eniten Harjavallassa, ja Porissa sitä oli kohtalaisesti neljällä alalla. Pitoisuudet olivat jakaantuneet melko tasaisesti tutkimusalueelle (Kuva 40).

Sammalissa esiintyi arseenia eniten Harjavallassa, ja yleisestä taustatasosta erottuvia pitoisuuksia havaittiin Meri-Porissa sekä Ulvilassa (Kuva 41). Raudan pitoisuudet olivat suuria Harjavallassa sekä yksittäisillä aloilla Nakkilassa, Porin kaupunkialueella sekä Meri-Porissa (Kuva 41).

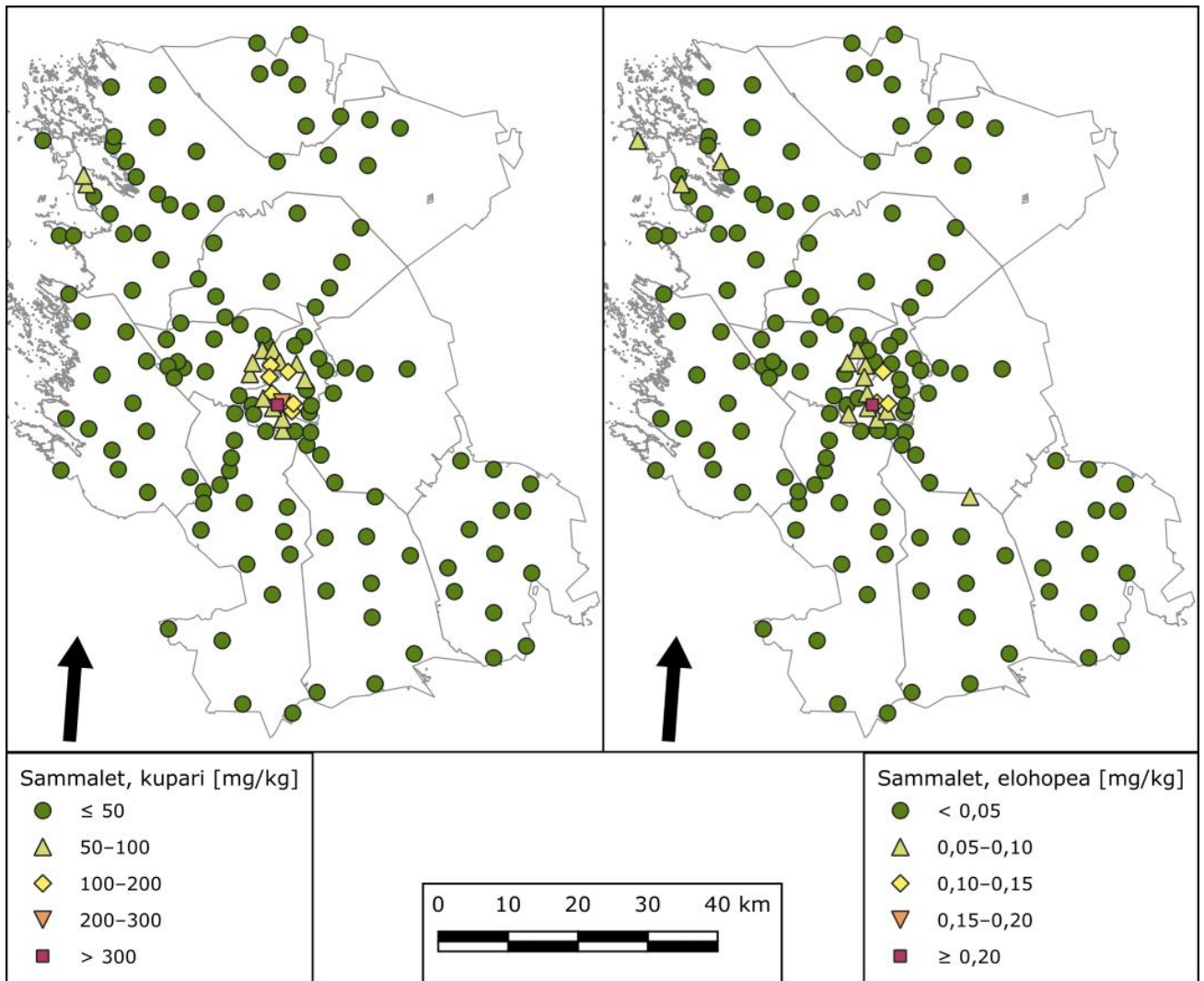
Titaania havaittiin eniten Porin kaupunkialueella, ja myös Meri-Porissa oli korkean pitoisuuden ala. Muuten teollisuuden sijainnit eivät erottuneet selvästi (Kuva 42). Seleenä oli eniten kahdella alalla Ulvilassa Porin rajalla sekä Harjavallassa, ja näiden alojen ympäristössä havaittiin myös kohonneita pitoisuuksia (Kuva 42).

Taulukko 24. Sammalen alkuainepitoisuuksien (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa) tunnusluvut (mediaani, keskiarvo, pienin, suurin ja keskihajonta) tutkimusalueella vuonna 2022. Arseenin, elohopean, kromin, seleenin ja titaanin pienimmät pitoisuudet olivat pienempiä kuin analyysin määrittämisraja. Mediaani ja keskiarvo laskettiin käyttäen näille tuloksille määrittämisrajan puolikasta. n = 150.

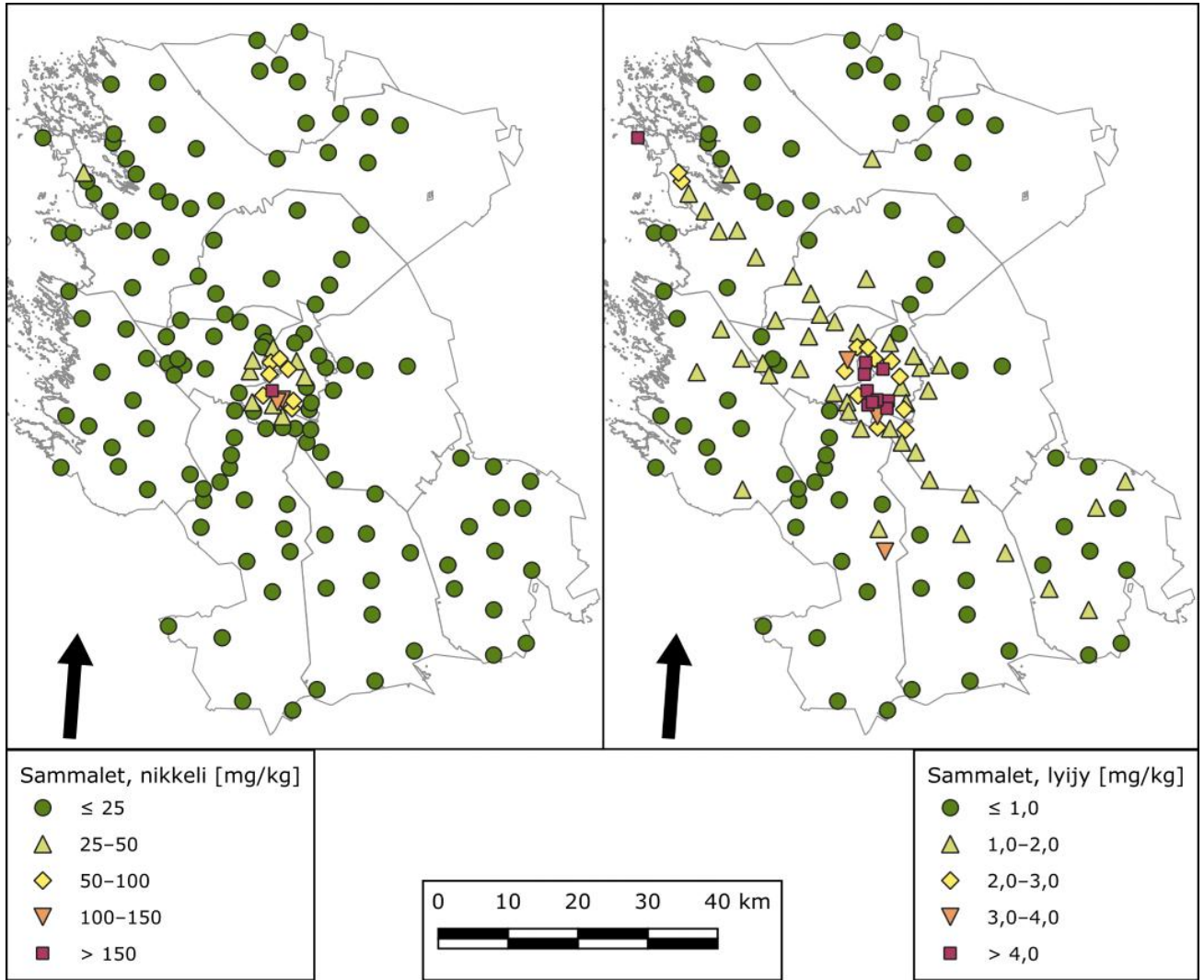
Alkuaine	Mediaani	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta
arseeni (As)	0,13	0,33	<0,05	6,0	0,63
elohopea (Hg)	0,029	0,033	<0,02	0,20	0,02
kadmium (Cd)	0,15	0,24	0,06	1,8	0,25
kromi (Cr)	1,2	1,3	<0,1	8,9	1,02
kupari (Cu)	11	30	4,4	660	63,0
lyijy (Pb)	1,0	1,7	0,36	27	2,5
nikkeli (Ni)	3,6	13	0,86	160	24,1
rauta (Fe)	240	340	75	2800	350
seleeni (Se)	0,15	0,20	<0,1	2,6	0,27
sinkki (Zn)	30	35	20	160	16,62
titaani (Ti)	11	14	<5	82	12,55
vanadiini (V)	0,50	0,60	0,2	2,6	0,38



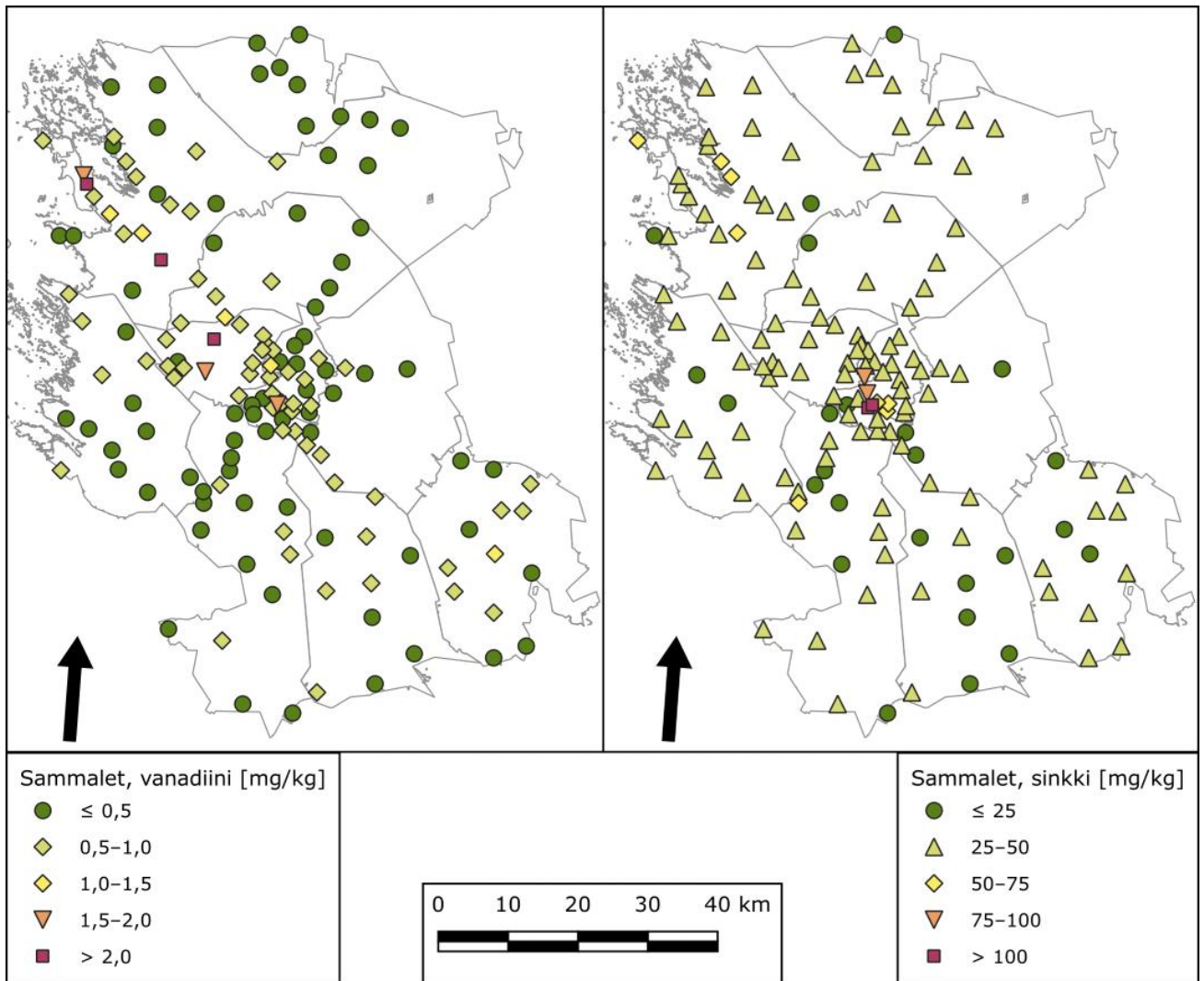
Kuva 37. Sammalen kadmiumpitoisuudet (vasemmalla) ja kromipitoisuudet (oikealla) tutkimusaloilla vuonna 2022 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).



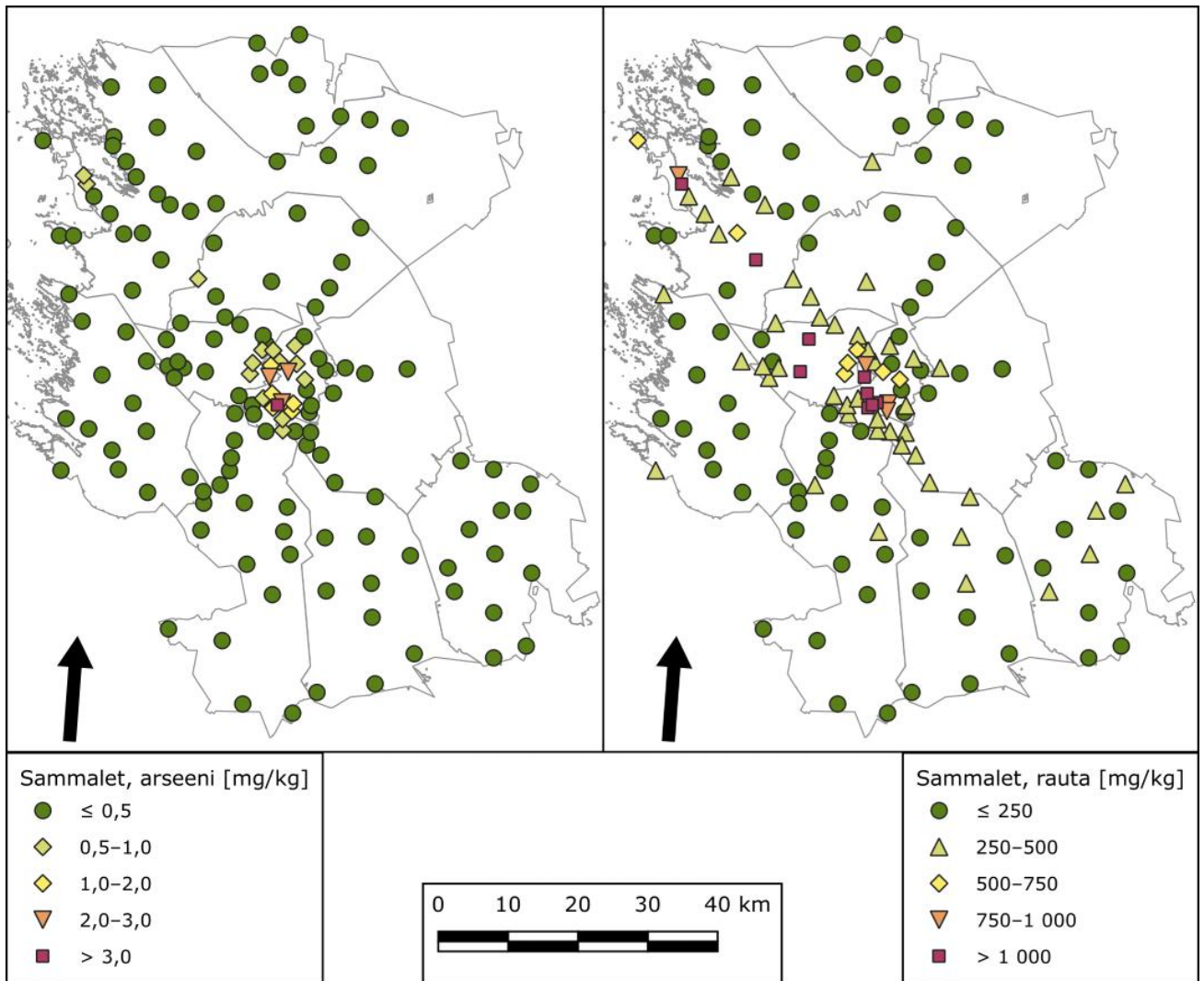
Kuva 38. Sammalen kuparipitoisuudet (vasemmalla) ja elohopeapitoisuudet (oikealla) tutkimusaloilla vuonna 2022 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).



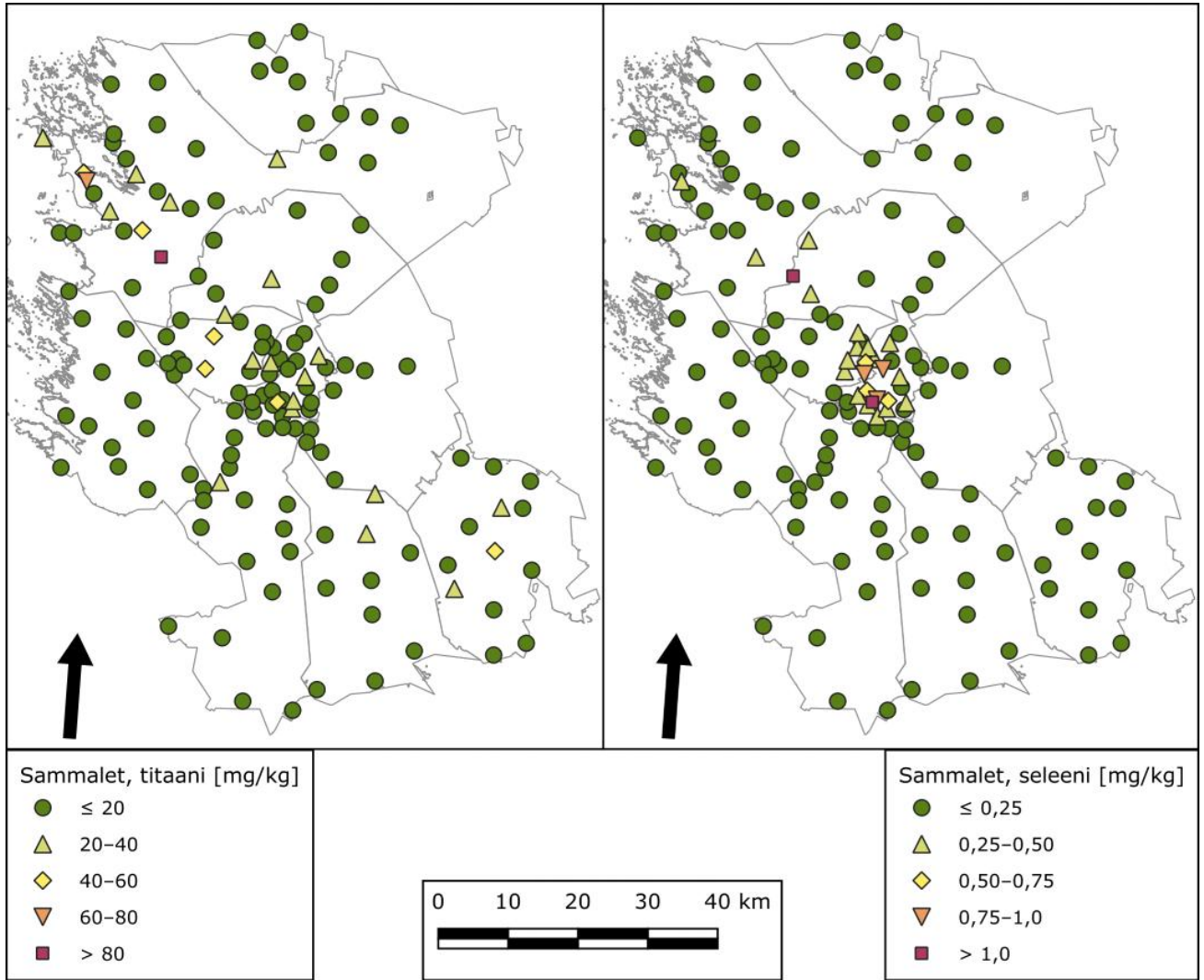
Kuva 39. Sammalen nikkeli- ja lyijypitoisuudet (vasemmalla) ja lyijypitoisuudet (oikealla) tutkimusaloilla vuonna 2022 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).



Kuva 40. Sammalen vanadiinipitoisuudet (vasemmalla) ja sinkkipitoisuudet (oikealla) tutkimusaloilla vuonna 2022 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).



Kuva 41. Sammalen arseenipitoisuudet (vasemmalla) ja rautapitoisuudet (oikealla) tutkimusaloilla vuonna 2022 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).



Kuva 42. Sammalen titaanipitoisuudet (vasemmalla) ja seleenipitoisuudet (oikealla) tutkimusaloilla vuonna 2022 (yksikkö mg/kg kuiva-aineessa).

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tässä luvussa tarkastellaan saatuja tuloksia ja niiden välisiä yhteyksiä, tuloksiin vaikuttaneita tekijöitä ja muuttujien yhteisvaihtelua tilastollisten menetelmien avulla. Tuloksiin vaikuttavia tekijöitä tutkittiin tausta-muuttujien avulla. Taustamuuttujina käytetään sekä luonnollisia, tutkimusmetsikköä kuvaavia muuttujia että sijaintia ja ilmanlaatua kuvaavia muuttujia (paikkamuuttujia). Tutkimusmetsikköä kuvaavat taustamuuttujat ja paikkamuuttujat on esitelty luvussa 3.7.1.

Luvussa 5.1 tarkastellaan jäkälämuuttujia, luvussa 5.2 neulasmuuttujia (mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavat muuttujat sekä neulasten alkuainepitoisuudet) ja luvussa 5.3 sammalen alkuainepitoisuuksia. Lopuksi luvussa 5.4 tarkastellaan muuttujien yhteisvaihtelua.

5.1 Jäkälämuuttujat

Tässä luvussa kuvataan jäkälämuuttujien yhteisvaihtelua sekä taustatekijöiden vaikutuksia jäkäliin. Jäkälämuuttujina käytettiin seuraavia jäkäläkartoitukseen perustuvia suureita:

- sormipaisukarpeen vaurioaste (alan keskiarvo, 1–5)
- jäkälälajiston yleinen vaurioaste (alan keskiarvo, 1–5)
- tutkimusalan ilman epäpuhtauksille herkkien jäkälälajien lukumäärä (0–10) ja IAP-indeksi
- sormipaisukarpeen peittävyys (% rungosta)
- luppojen peittävyys (% rungosta)
- levän yleisyys (esiintyminen tutkimusalalla, 0–10)

5.1.1 Jäkälämuuttujien yhteisvaihtelu

Jäkälämuuttujien keskinäisten korrelaatioiden testinä on käytetty ei-parametristä Spearmanin järjestyskorrelaatiota. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot on merkitty tähdillä; melkein merkitsevä ($p < 0,05$) yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella tähdellä (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***) .

Lähes kaikki jäkälämuuttujat korreloivat keskenään tilastollisesti erittäin merkitsevästi tai merkitsevästi. Mitä suuremmat sormipaisukarpeen vaurio olivat, sitä suurempia olivat yleinen vaurioaste ja levän yleisyys. Negatiivinen korrelaatio havaittiin lajilukumäärän, IAP-indeksin ja luppojen peittävyyden kanssa eli nämä suureet olivat pienempiä, kun sormipaisukarpeen vaurioaste oli suurempi.

Voimakkaimmat korrelaatiot havaittiin lajistoa kuvaavien muuttujien yleisen vaurioasteen, lajilukumäärän ja IAP-indeksin kesken. Yleisen vaurioasteen arviointi perustuu osin lajiston esiintymiseen ja IAP-indeksi lasketaan lajiston esiintymisen perusteella, jolloin korkeat korrelaatiokertoimet näiden muuttujien välillä ovat odotettuja.

Sormipaisukarpeen vaurioasteen korrelaatiokertoimet lajistomuuttujien kanssa olivat hieman matalampia kuin lajistomuuttujien keskinäiset korrelaatiokertoimet. Myös luppojen peittävyys ja levän yleisyys korreloivat selvästi muiden ilmanlaatua kuvaavien jäkälämuuttujien kanssa. Korrelaatioiden perusteella myös nämä tunnuksot ovat hyviä ilmanlaatua arvioitaessa, mutta niiden käyttökelpoisuutta heikentävät luppojen osalta levän arvioimisen epävarmuustekijät ja se, että luppo katoaa kuormitetuilta alueilta ensimmäisten joukossa toisin kuin esim. sormipaisukarve.

Sormipaisukarpeen peittävyys ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi muiden jäkäläsuureiden kanssa. Peittävyys oli pienempi melkein merkitsevästi, kun sormipaisukarpeen vaurioaste oli suurempi. Sormipaisukarpeen peittävyyden on todettu liittyvän ensisijaisesti luontaisiin tekijöihin ja toissijaisesti ilmanlaatuun liittyviin tekijöihin (esim. Nab Labs 2016).

Taulukko 25. Jäkälämuuttujien keskinäiset korrelaatiot (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

	IAP	levän yleisyys	lajilukumäärä	luppojen peittävyys	sormipaisukarpeen peittävyys	sormipaisukarpeen vaurioaste
IAP	1					
levän yleisyys	-0,509 ***	1				
lajilukumäärä	0,859 ***	-0,425 ***	1			
luppojen peittävyys	0,396 ***	<i>-0,211 **</i>	0,330 ***	1		
sormipaisukarpeen peittävyys	-0,088	-0,015	-0,062	-0,012	1	
sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,627 ***	0,543 ***	-0,508 ***	-0,389 ***	-0,160 *	1
yleinen vaurioaste	-0,903 ***	0,507 ***	-0,820 ***	-0,452 ***	0,126	0,603 ***

5.1.2 Taustamuuttujien vaikutus jäkälämuuttujiin

Kruskalin–Wallisin testin perusteella metsätyypillä oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sormipaisukarpeen ja yleiseen vaurioasteeseen, lajilukumäärään, IAP-indeksiin sekä levän esiintymiseen. Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyyteen metsätyypillä ei ollut vaikutusta. Jäkälälajisto oli runsainta kuivilla ja kuivahkoilla kankailla, hieman köyhempää tuoreilla kankailla ja köyhtyneintä lehtomaisilla kankailla.

Havaintopuiden ikä ja havaintopuiden halkaisija vaihtelivat tilastollisesti erittäin merkittävästi positiivisella korrelaatiolla IAP-indeksiin ja lajilukumäärään, toisin sanoen vanhemmilla ja myös paksummilla männyillä esiintyi enemmän jäkälälajeja. Ikä korreloi negatiivisesti erittäin merkittävästi sormipaisukarpeen peittävyyden ja yleisen vaurioasteen kanssa, eli sormipaisukarve peitti pienemmän osan rungosta mutta oli terveempää vanhemmilla männyillä. Halkaisija korreloi positiivisesti sormipaisukarpeen ja yleisen vaurioasteen kanssa erittäin merkitsevästi. Halkaisija korreloi merkitsevästi levän yleisyyden kanssa, eli levä oli yleisempää paksujen mäntyjen rungolla. (Taulukko 26)

Havaintopuiden pituudella oli merkitystä vain sormipaisukarpeen ja yleisen vaurioasteen kannalta. Korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevää positiivista, eli pitempien tutkimuspuiden rungoilla jäkälät olivat vaurioituneempia kuin lyhyiden. (Taulukko 26)

Pohjapinta-ala vaihteli tilastollisesti erittäin merkitsevästi IAP-indeksiin, levän yleisyyden, lajilukumäärän ja luppojen peittävyyden kanssa, mutta korrelaatiokertoimet olivat sangen pieniä. Mitä sulkeutuneempi metsikkö oli tutkimusalalla, sitä vähemmän alalla havaittiin jäkälälajeja, mikä koski myös leväpeitettä. (Taulukko 26)

Taulukko 26. Jäkälämuuttujien ja luontaisten taustamuuttujien korrelaatiot (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

Jäkäläsuure	Havaintopuiden ikä	Havaintopuiden halkaisija	Havaintopuiden pituus	Pohjapinta-ala
IAP-indeksi	0,302 ***	-0,356 ***	-0,351	-0,036 ***
levän yleisyys	-0,136	0,244 **	0,208	-0,027 ***
lajilukumäärä	0,328 ***	-0,272 ***	-0,300	-0,104 ***
luppojen peittävyys	0,138	-0,077	0,070	-0,062 ***
sormipaisukarpeen peittävyys	-0,426 ***	-0,081	-0,009	0,067 *
sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,102	0,339 ***	0,227 **	0,141
yleinen vaurioaste	-0,313 ***	0,324 ***	0,302 **	0,034

Taustamuuttujalla etäisyys lähimpään päästölähteeseen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä korrelaatio kaikkien jäkälämuuttujien kanssa lukuun ottamatta sormipaisukarpeen peittävyttä. Tämän etäisyyden korrelaatiokerroin oli suurin sormipaisukarpeen vaurioasteen (negatiivinen), IAP-indeksin (positiivinen) ja yleisen vaurioasteen (negatiivinen) kanssa. Kun tarkastelussa oli etäisyys lähimpään päästölähteeseen (vuosipäästöt yli 10 t), niin tulokset olivat hyvin samankaltaisia korrelaatioiltaan ja merkitsevyyksiltään. Tulokset kuvaavat sitä, että päästölähteiden lähellä useimmat jäkälämuuttujat kuvastavat jäkälän ja lajiston heikentynyttä kuntoa.

Alan etäisyys mereen ei ollut erityisen vahvasti korreloiva jäkälämuuttujien kanssa. Suurin korrelaatiokerroin oli sormipaisukarpeen peittävydellä (negatiivinen, merkitsevä), eli lähempänä merta puunrungoista suurempi osa oli jäkälän peitossa. Melkein merkitsevä negatiivinen korrelaatio havaittiin levän yleisyyden kanssa.

Ilman typpidioksidipitoisuus korreloi sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa erittäin merkitsevästi positiivisesti ja merkitsevästi mutta negatiivisesti sormipaisukarpeen peittävyden kanssa. Suurin korrelaatio oli sormipaisukarpeen vaurioasteen positiivinen korrelaatio, eli suuremman NO₂-pitoisuuden alueella vaurioita oli enemmän. Tämä selittyy teollisuuden ja liikenteen päästöillä, jotka lisäävät typpidioksidia ilmassa. (Taulukko 27)

Taulukko 27. Jäkälämuuttujien yhteisvaihtelu paikkamuuttujien eli teollisuuden päästölähteiden, merietäisyyden ja ilman typpidioksidin (NO₂) vuosipitoisuuden kanssa (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot (p < 0,001, ***) on lihavoitu ja merkitsevät (p < 0,01, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot (p < 0,05) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

Jäkälämuuttuja	Etäisyys lähimpään teollisuuden päästölähteeseen	Etäisyys lähimpään teollisuuden päästölähteeseen, vuosipäästöt yli 10 t	Etäisyys mereen	Ilman NO ₂ -vuosipitoisuus
IAP-indeksi	0,556 ***	0,581 ***	0,154	-0,186 *
levän yleisyys	-0,328 ***	-0,347 ***	-0,165 *	0,097
lajilukumäärä	0,476 ***	0,488 ***	0,023	-0,208 *
luppojen peittävyys	0,351 ***	0,331 ***	-0,005	-0,170 *
sormipaisukarpeen peittävyys	-0,182 *	-0,144	-0,266 **	-0,221 **
sormipaisukarpeen vaurioaste	-0,646 ***	-0,652 ***	-0,119	0,331 ***
yleinen vaurioaste	-0,507 ***	-0,512 ***	-0,111	0,133

5.2 Neulasmuuttujat

Tässä luvussa kuvataan ns. neulasmuuttujien eli mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavien muuttujien ja neulasten alkuainepitoisuuksien yhteisvaihtelua sekä taustatekijöiden vaikutuksia mäntyjen elinvoimaisuuteen ja neulasten alkuainepitoisuuksiin. Tutkitut muuttujat olivat seuraavat:

- neulaskato (%);
- neulasvuosikertojen määrä;
- neulasten alkuainepitoisuudet: kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangaani (Mn), rikki (S) ja typpi (N).

5.2.1 Neulasmuuttujien yhteisvaihtelu

Neulaskadon ja neulasvuosikertojen lukumäärän välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota, vaikka usein näiden puiden elinvoimaisuutta kuvaavien tunnusten välillä on havaittu yhteisvaihtelua (esim. Nab Labs 2016). Neulaskadolla oli havaittavissa tilastollisesti merkitsevää yhteisvaihtelua vain neulasten typpipitoisuuden kanssa negatiivisena korrelaatiolla. Myös neulasvuosikertojen lukumäärä korreloi tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan neulasten tynen kanssa. Toisin sanoen, siellä, missä neulaskato oli suurinta tai neulasvuosikertoja oli eniten, neulasissa oli keskimäärin hieman vähemmän tynettä.

Neulasten ravinnepitoisuuksien välillä oli enemmän yhteisvaihtelua. Tilastollisesti erittäin merkitsevästi mangaanin pitoisuuden kanssa korreloivat kalium negatiivisesti sekä kalsium ja magnesium positiivisesti.

Neulasten typpipitoisuus korreloi tilastollisesti merkitsevästi kaikkien muiden alkuaineiden kanssa positiivisesti paitsi negatiivisesti mangaanin kanssa. Rikkipitoisuudella oli kaliumin kanssa tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ja kalsiumin kanssa melkein merkitsevä. (Taulukko 28)

Taulukko 28. Neulasmuuttujien keskinäiset korrelaatiot (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

	Neulaskato	Neulas- vuosiker- rat	K	Ca	Mg	Mn	S
neulaskato	1						
neulasvuosikerrat	-0,529	1					
kalium (K)	-0,027	-0,030	1				
kalsium (Ca)	-0,095	-0,025	0,149 *	1			
magnesium (Mg)	-0,070	-0,009	0,168 **	0,445 **	1		
mangaani (Mn)	-0,068	0,039	-0,310***	0,309 ***	0,072 ***	1	
rikki (S)	0,007	-0,125	0,559 **	0,495 *	0,395	-0,096	1
typpi (N)	-0,104 **	-0,064 **	0,233 **	0,201 **	0,137 **	-0,159 **	0,561 **

5.2.2 Taustamuuttujien vaikutus neulasmuuttujiin

Metsätyypillä oli Kruskalin–Wallisin testin perusteella tilastollisesti merkitsevä yhteys neulaskatoon ja neulasvuosikertojen lukumäärään sekä melkein merkitsevä yhteys kalsiumin, magnesiumin ja rikin pitoisuuksiin neulasissa. Näiden alkuaineiden pitoisuus oli suurempi rehevämällä kasvupaikoilla (tuoreet ja lehtomaiset kankaat) kuin vähäravinteisemmilla (kuivahkot ja kuivat kankaat). Kuivemmillä kasvupaikoilla (kuivahkot ja kuivat kankaat) neulaskato oli hieman suurempaa kuin rehevämällä. Neulasvuosikertojen lukumäärä ei ollut yksiselitteisesti kasvupaikan ravinteisuudesta riippuva, mutta tuoreen kankaan aloilla neulasvuosikertoja oli hieman vähemmän kuin muilla kasvupaikoilla.

Muiden luontaisten taustamuuttujien korrelaatiot neulasmuuttujien kanssa on esitetty alla. Mikään korrelaatio ei ollut erittäin merkitsevä. Tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ($p < 0,01$) esiintyi havaintopuiden läpimitan ja neulaskadon kesken, toisin sanoen paksummissa puissa neulasia oli vähemmän. Pohjapinta-alalla ja kaliumpitoisuudella oli positiivinen merkitsevä korrelaatio kuten myös havaintopuiden pituuden ja neulaskadon välillä. Havaintopuiden ikä korreloi negatiivisesti merkitsevästi neulasten kalsium- ja magnesiumpitoisuuksien kanssa. (Taulukko 29)

Taulukko 29. Neulasmuuttujien korrelaatiot luontaisten taustamuuttujien kanssa (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

	Läpimitta	Pohjapinta-ala	Ikä	Pituus
neulaskato	0,309 **	-0,096	-0,028	0,294 **
neulasvuosikerrat	-0,187 *	-0,042	0,154	-0,202 *
kalium (K)	0,104	0,223 **	-0,145	0,137
kalsium (Ca)	0,164 *	-0,004	-0,219 **	0,107
magnesium (Mg)	0,084	0,078	-0,216 **	0,107
mangaani (Mn)	-0,023	-0,058	-0,006	-0,040
rikki (S)	0,068	0,025	-0,198 *	0,101
kokonaistyyppi (N)	-0,020	0,120	-0,123	0,049

Neulaskadolla tai neulasvuosikertojen lukumäärällä ei ollut tilastollisesti erittäin merkitseviä yhteyksiä paikkamuuttujien kanssa. Pieniä korrelaatioita havaittiin: neulasvuosikertojen lukumäärä kasvoi merkitsevästi, kun tarkasteltiin yhteyttä etäisyyteen lähimpään päästölähteeseen (vuosipäästöt yli 10 t) ja melkein merkitsevästi etäisyyden lähimpään päästölähteeseen kanssa.

Neulasten alkuainepitoisuuksien kanssa etäisyyksillä päästölähteisiin oli erittäin merkitsevä korrelaatio kaliumin, rikin ja typen pitoisuuksien kanssa ja vähintään melkein merkitsevät korrelaatiot kalsiumin, magnesiumin ja mangaanin pitoisuuden kanssa. Alkuaineiden pitoisuus oli suurempi lähempänä päästölähdettä, mutta mangaania oli enemmän etäällä lähteistä.

Neulaskato korreloi negatiivisesti melkein merkitsevästi etäisyyden mereen kanssa. Tällä etäisyydellä oli myös merkitsevä korrelaatio neulasten typpipitoisuuden kanssa. (Taulukko 30)

Ilman typpidioksidipitoisuus korreloi positiivisesti erittäin merkitsevästi ja suhteellisen voimakkaasti neulasten typpipitoisuuden kanssa sekä merkitsevästi negatiivisesti mangaanipitoisuuden ja positiivisesti kalium- ja rikkipitoisuuksien kanssa, mutta korrelaatiot olivat heikohkoja. (Taulukko 30)

Taulukko 30. Neulasmuuttujien yhteisvaihtelu paikkamuuttujien eli teollisuuden päästölähteiden, merietäisyyden ja ilman typpidioksidin (NO₂) vuosipitoisuuden kanssa (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot (p < 0,001, ***) on lihavoitu ja merkitsevät (p < 0,01, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot (p < 0,05) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

	Etäisyys lähimpään teollisuuden päästölähteeseen	Etäisyys lähimpään teollisuuden päästölähteeseen, vuosipäästöt yli 10 t	Etäisyys mereen	Ilman NO ₂ -vuosipitoisuus
neulaskato	-0,006	-0,008	-0,204 *	-0,087
neulasvuosikerrat	0,195 *	0,217 **	0,070	-0,108
kalium (K)	-0,384 ***	-0,349 ***	0,019	0,253 **
kalsium (Ca)	-0,288 **	-0,303 **	-0,155	-0,074
magnesium (Mg)	-0,175 *	-0,205 *	-0,194 *	-0,029
mangaani (Mn)	0,282 **	0,225 **	-0,173 *	-0,260 **
rikki (S)	-0,450 ***	-0,453 ***	-0,044	0,273 **
typpi (N)	-0,343 ***	-0,333 ***	0,252 **	0,497 ***

5.3 Sammalen metallipitoisuudet

Tässä luvussa kuvataan sammalen metallipitoisuuksien yhteisvaihtelua korrelaatioiden ja faktorianalyysin perusteella sekä taustatekijöiden vaikutuksia pitoisuuksiin. Yhteisvaihtelun analyysissä ovat mukana havaintoaloilta kerätyt sammalnäytteet (n = 150) sekä luontaiset taustamuuttujat ja paikkamuuttujat. Sammalen metallipitoisuuksia tutkittiin arseenin (As), elohopean (Hg), kadmiumin (Cd), kromin (Cr), kuparin (Cu), lyijyn (Pb), nikkelin (Ni), raudan (Fe), seleenin (Se), sinkin (Zn), titaanin (Ti) ja vanadiinin (V) osalta.

5.3.1 Sammalen metallipitoisuuksien yhteisvaihtelu

Kaikki sammalen metallipitoisuudet korreloivat keskenään vähintään tilastollisesti merkitsevästi, paitsi kromin ja sinkin korrelaatio oli melkein merkitsevä. Voimakkaimmat korrelaatiot havaittiin titaanin ja vanadiinin, kuparin ja nikkelin, arseenin ja kuparin sekä arseenin ja lyijyn välillä.

Taulukko 31. Sammalen metallipitoisuuksien keskinäiset korrelaatiot (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät ($p < 0,001$) korrelaatiot on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$) kursivoitu. Yli 0,6:n olevat korrelaatiokertoimet on värjätty vaaleammalla punaisella ja yli 0,8:n olevat kertoimet tummemmalla punaisella.

	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Fe	Se	Zn	Ti
As	1										
Hg	0,527	1									
Cd	0,769	0,486	1								
Cr	0,421	0,518	0,352	1							
Cu	0,887	0,530	0,781	0,465	1						
Pb	0,879	0,521	0,737	0,541	0,835	1					
Ni	0,863	0,564	0,780	0,571	0,944	0,852	1				
Fe	0,783	0,480	0,571	0,562	0,695	0,850	0,701	1			
Se	0,740	0,472	0,689	0,317	0,793	0,715	0,718	0,648	1		
Zn	0,426	0,346	0,451	0,198	0,433	0,434	0,369	0,379	0,505	1	
Ti	0,550	0,310	0,300	0,410	0,418	0,608	0,386	0,860	0,423	0,293	1
V	0,548	0,332	0,339	0,398	0,415	0,654	0,405	0,873	0,464	0,291	0,947

Toinen tapa tarkastella muuttujien välisiä suhteita on faktorianalyysi, joka tiivistää muuttujien vaihtelua harvalukuisemmille faktorikomponenteille. Faktorianalyysin ratkaisu perustuu muuttujien yhteisvaihteluun, jolloin samankaltaisesti vaihtelevat muuttujat latautuvat samoille faktoreille. Tulosten tulkinta perustuu muuttujien eri faktoreilla saamien latauksien tarkasteluun. Kunkin muuttujan saamia faktoripistemääriä voidaan tarkastella kartalla samaan tapaan kuin alkuperäisiä alkuainepitoisuuksia. Koska faktorianalyysi perustuu muuttujien välisen yhteisvaihtelun tunnistamiseen, faktoripistemäärät kuvaavat useiden eri muuttujien pitoisuuksien vaihtelua alkuperäisten yksittäisten metallien pitoisuuksien sijaan.

Sammalen alkuaineiden faktoriratkaisu tiivisti 12 metallin pitoisuuden muuttujat kolmelle faktorille, jotka kattoivat 85 % muuttujien vaihtelusta (Taulukko 32, Kuva 43, Kuva 44, Kuva 45). Kaksi ensimmäistä faktoria selittivät yhteensä 82,4 % vaihtelusta, joten kolmannen faktorin merkitys oli melko pieni.

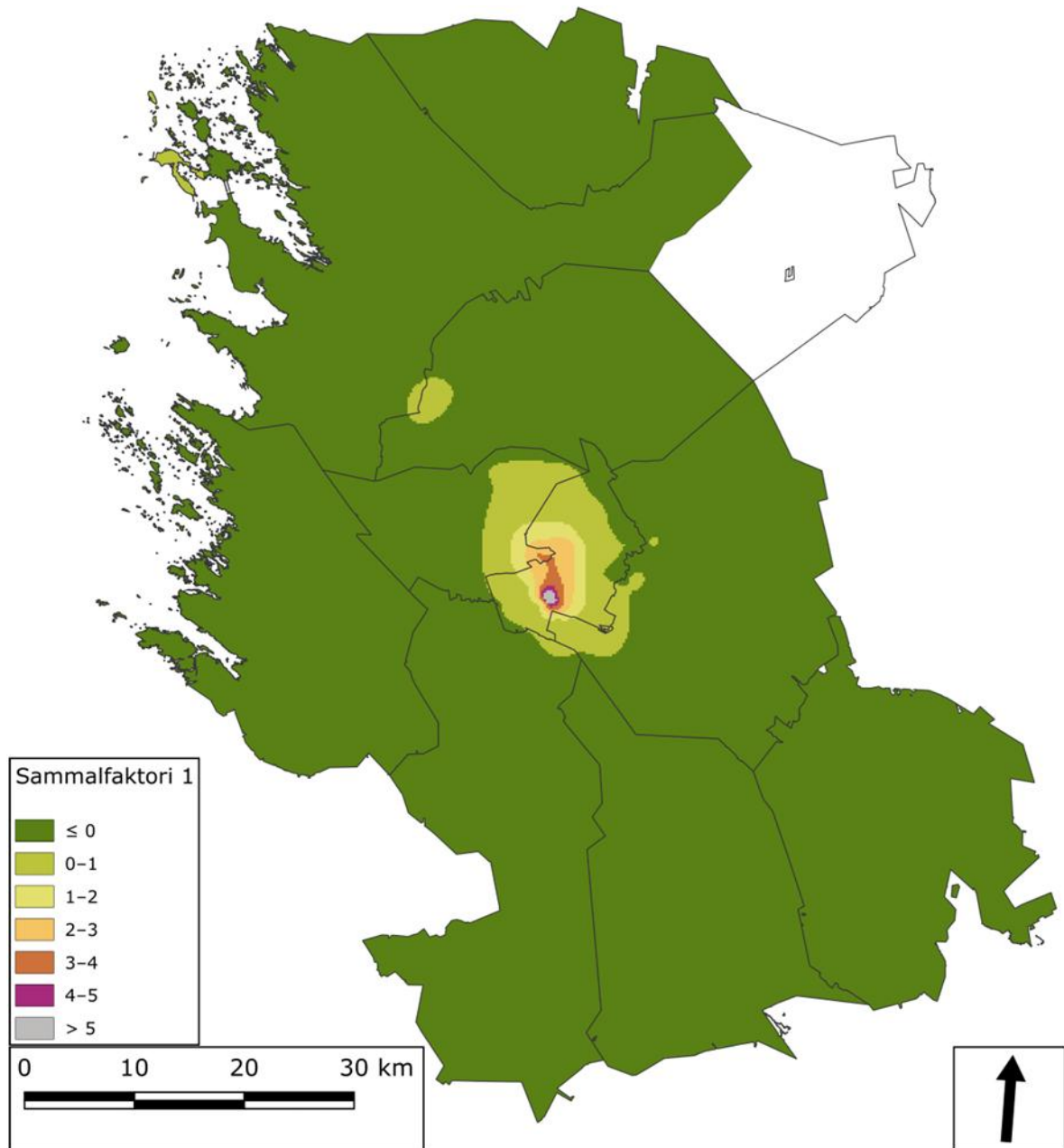
Faktori nro 1 kattoi useimmat alkuaineet lukuun ottamatta titaania ja vanadiinia. Kromin ja raudan lataus oli faktorissa nro 1 vai hiukan suurempi kuin faktorissa nro 2. Faktorin suurimmat arvot esiintyivät Harjavallan Suurteollisuuspuiston lähistöllä.

Faktori nro 2 kuvasi erityisesti titaanin ja vanadiinin pitoisuuksien vaihtelua, mutta mukana olivat myös merkittävät osuudet kromin ja raudan vaihtelusta. Suurimmat arvot esiintyivät Porin keskustan lähellä, Meri-Porissa sekä Nakkilassa. Myös Huittisissa faktorin arvo oli koholla yhden havaintoalan vaikutuksesta. Porissa ja Meri-Porissa paikallinen teollisuus ja energiantuotanto on todennäköisesti selittävä tekijä. Nakkilassa oli mahdollisesti kyse Harjavallan teollisuuden päästöjen aiheuttamasta laskeumasta. Huittisissa esiintyvälle faktorin arvolle ei ole selvää selitystä.

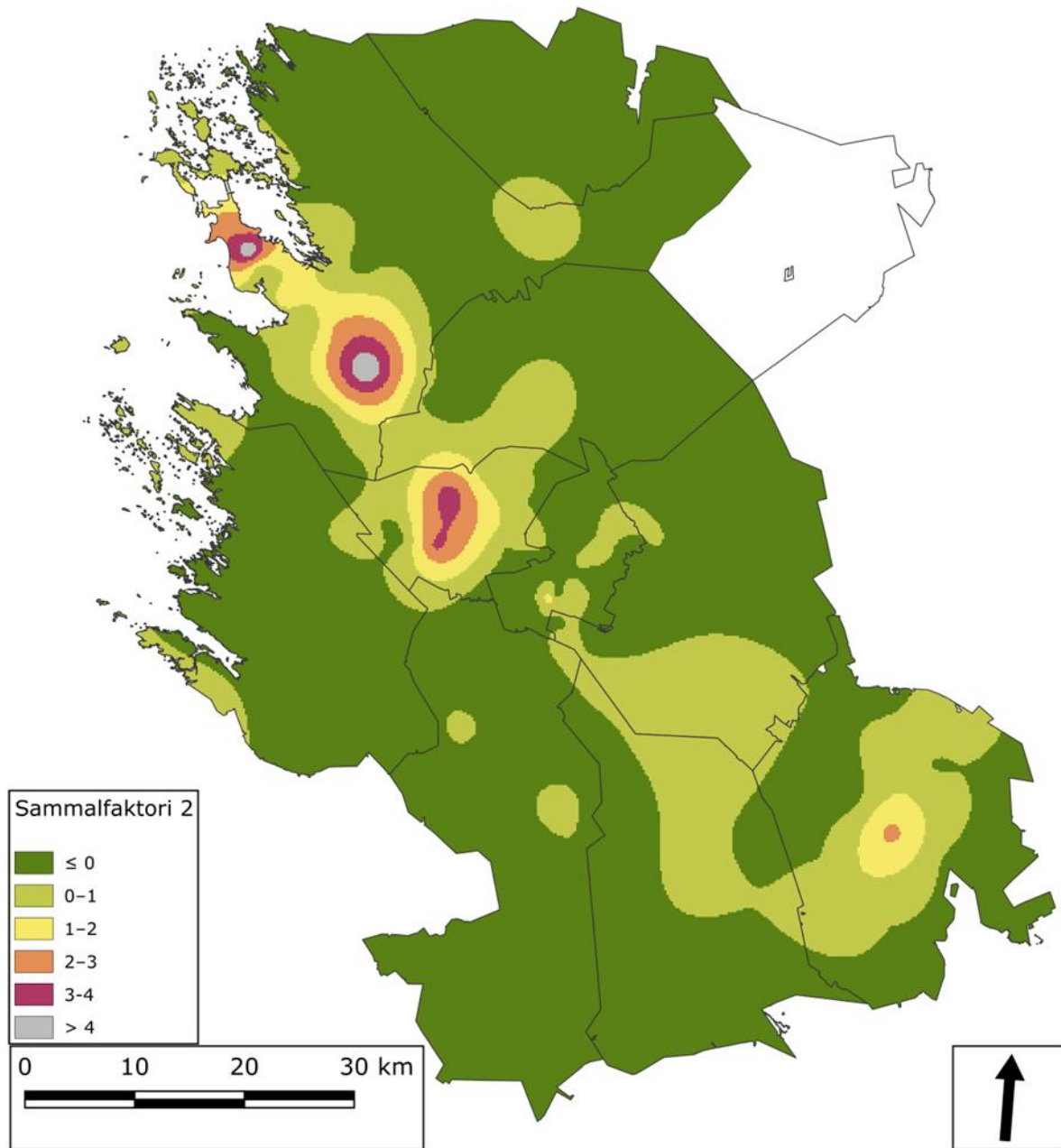
Faktori nro 3:een eniten vaikuttivat kadmiumin ja nikkelin pitoisuudet, mutta sen osuus kokonaisvaihtelun selittämiseen oli pieni. Suurimmat faktorin arvot esiintyivät Harjavallassa teollisuuslähteiden läheisyydessä, ja suurehkoja arvoja havaittiin myös Nakkilassa, mahdollisesti laskeuman vaikutuksesta.

Taulukko 32. Sammalen metallipitoisuuksien faktorianalyysin komponenttimatriisi. Kunkin muuttujan yli 0,5:n olevat lataukset on lihavoitu, ja komponentti, jolla muuttuja on saanut suurimman latauksensa, on värjätty punaiseksi. Tyhjä solu tarkoittaa, ettei alkuaine ollut ko. faktorin olennainen komponentti.

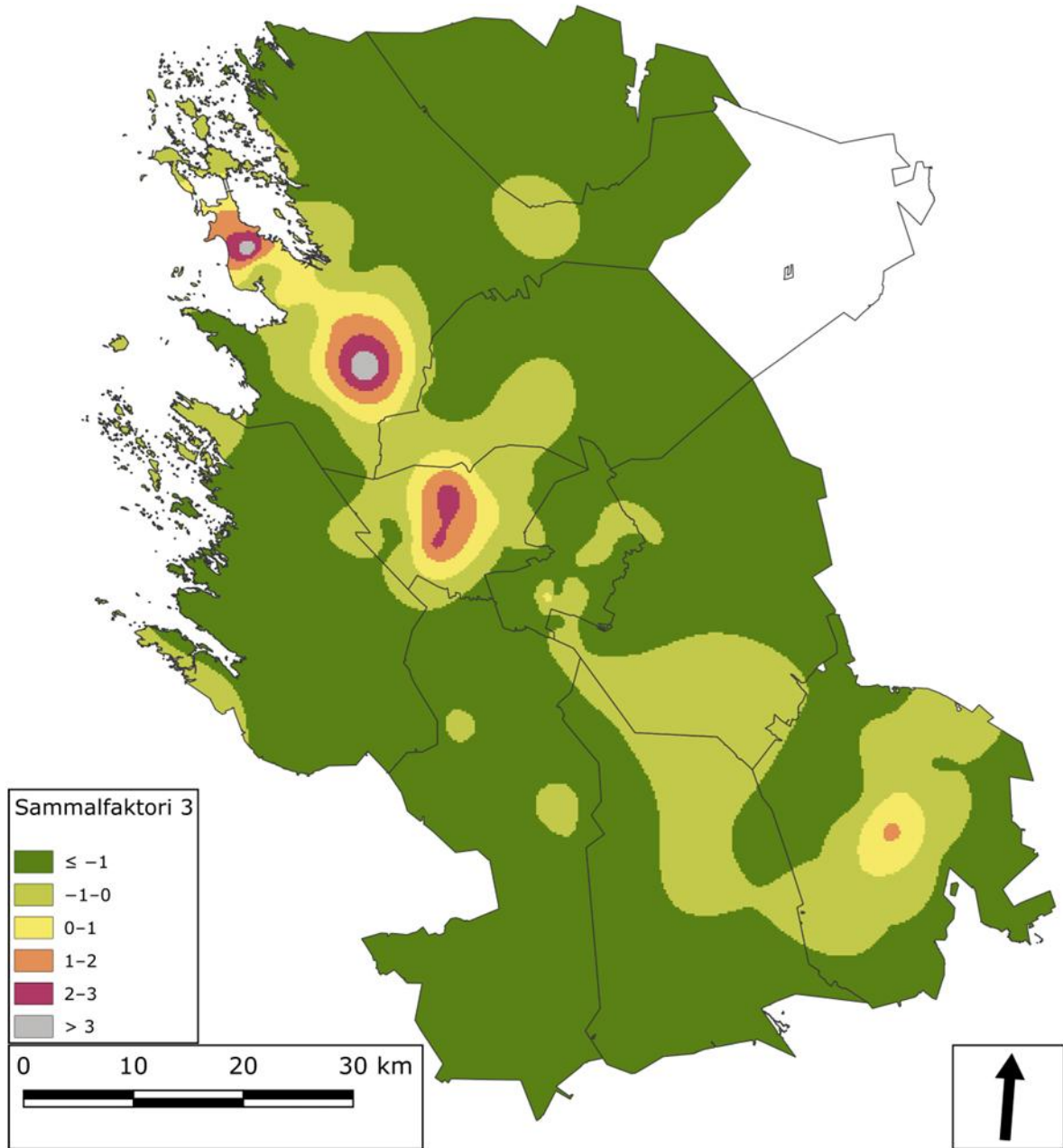
Alkuaine	Faktori 1	Faktori 2	Faktori 3
arseeni (As)	0,974	0,202	
elohopea (Hg)	0,835	0,205	
kadmium (Cd)	0,938		0,300
kromi (Cr)	0,592	0,573	-0,110
kupari (Cu)	0,966	0,193	-0,118
lyijy (Pb)	0,945	0,235	-0,169
nikkeli (Ni)	0,860	0,109	0,387
rauta (Fe)	0,692	0,649	
seleeni (Se)	0,634	0,155	
sinkki (Zn)	0,786	0,207	
titaani (Ti)		0,984	
vanadiini (V)	0,150	0,968	



Kuva 43. Sammalten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktorin 1 faktoripistemäärät interpoloituina.



Kuva 44. Sammalten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktorin 2 faktoripistemäärät interpoloituina.



Kuva 45. Sammalten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysin faktorin 3 faktoripistemäärät interpoloituna.

5.3.2 Taustamuuttujien vaikutus sammalen alkuainepitoisuuksiin

Metsätyypillä oli Kruskalin–Wallisin testin perusteella vähintään tilastollisesti merkitsevä yhteys sammalen metallipitoisuuksiin kuparin, nikkelin ja seleenin osalta.

Pohjapinta-ala korreloi positiivisesti ja tilastollisesti merkitsevästi sammalen kromipitoisuuksien kanssa, ja melkein merkitsevä positiivinen korrelaatio havaittiin arseenin, kuparin, lyijyn, nikkelin ja raudan pitoisuuksien kanssa. Havaintopuiden ikä korreloi negatiivisesti merkitsevästi elohopean, kuparin ja nikkelin pitoisuuden kanssa ja melkein merkitsevästi arseenin pitoisuuden kanssa negatiivisesti. Puiden halkaisijan tai pituuden ja sammalen metallipitoisuuksien välillä ei havaittu yhteisvaihtelua (Taulukko 33).

Taulukko 33. Sammalten metallipitoisuuksien korrelaatiot luontaisten taustamuuttujien kanssa (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

Alkuaine	Halkaisija	Pohjapinta-ala	Ikä	Pituus
arseeni (As)	0,005	0,181 *	-0,207 *	-0,011
elohopea (Hg)	0,053	0,094	-0,243 **	0,020
kadmium (Cd)	-0,035	0,076	-0,032	-0,101
kromi (Cr)	-0,041	0,274 **	-0,157	-0,084
kupari (Cu)	0,129	0,177 *	-0,213 **	0,092
lyijy (Pb)	-0,041	0,195 *	-0,148	-0,024
nikkeli (Ni)	0,004	0,189 *	-0,213 **	0,002
rauta (Fe)	0,015	0,209 *	-0,101	-0,038
seleeni (Se)	0,033	0,065	-0,119	-0,004
sinkki (Zn)	0,076	-0,081	0,089	0,012
titaani (Ti)	0,110	0,098	-0,007	-0,041
vanadiini (V)	0,090	0,097	0,002	-0,026

Etäisyys lähimpään päästölähteeseen korreloi tilastollisesti vähintään merkitsevästi kaikkien sammalten alkuainepitoisuuksien kanssa negatiivisesti: alkuainepitoisuudet olivat pienempiä, kun oltiin kauempana lupavelvollisista päästölähteistä. Kun mukana olivat päästölähteet, joiden vuosipäästöt olivat vähintään 10 t, niin tulos ei muuttunut olennaisesti. Seleenin ja sinkin pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi suurempia lähempänä merta. Sammalten arseenin, kadmiumin, kromin, kuparin, lyijyn, nikkelin ja raudan pitoisuudet olivat vähintään merkitsevästi suurempia siellä, missä ilman NO₂-vuosipitoisuus oli suurempi. Tämä todennäköisesti tapahtuu päästölähteiden läheisyydessä (Taulukko 34).

Taulukko 34. Sammalten metallipitoisuuksien yhteisvaihtelu paikkamuuttujien eli teollisuuden päästölähteiden, merietäisyyden ja ilman typpidioksidin (NO₂) vuosipitoisuuden kanssa (Spearman). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

Alkuaine	Etäisyys teollisuuden päästölähteeseen	Etäisyys teollisuuden päästölähteeseen, vuosipäästöt yli 10 tonnia	Etäisyys mereen	Ilman NO ₂ -vuosipitoisuus
arseeni (As)	-0,690 ***	-0,652 ***	0,021	0,342 ***
elohopea (Hg)	-0,521 ***	-0,508 ***	-0,092	0,115
kadmium (Cd)	-0,523 ***	-0,521 ***	0,049	0,300 **
kromi (Cr)	-0,461 ***	-0,440 ***	0,052	0,228 **
kupari (Cu)	-0,802 ***	-0,785 ***	-0,125	0,276 **
lyijy (Pb)	-0,689 ***	-0,653 ***	-0,031	0,300 **
nikkeli (Ni)	-0,733 ***	-0,714 ***	-0,067	0,308 **
rauta (Fe)	-0,575 ***	-0,542 ***	-0,070	0,292 **
seleeni (Se)	-0,669 ***	-0,665 ***	-0,230 **	0,149
sinkki (Zn)	-0,304 **	-0,347 ***	-0,221 **	-0,027
titaani (Ti)	-0,391 ***	-0,346 ***	-0,043	0,184 *
vanadiini (V)	-0,376 ***	-0,335 ***	-0,074	0,151

5.4 Muuttujien yhteisvaihtelu

Tässä luvussa tarkastellaan muuttujien yhteisvaihtelua korrelaatioiden ja faktorianalyysien avulla. Korrelaatiotarkastelut on esitetty muuttujaryhmittäin: jäkälä- ja neulasmuuttajat, jäkälämuuttajat ja sammalten metallipitoisuudet sekä neulasmuuttajat ja sammalten metallipitoisuudet.

5.4.1 Muuttujaryhmien yhteisvaihtelu

Kaikilla neulasmuuttujilla oli vähintään tilastollisesti merkitsevä korrelaatio vähintään yhden jäkälämuuttujan kanssa. Neulaskato korreloi positiivisesti ja neulasvuosikertojen määrä negatiivisesti levän yleisyyden kanssa, eli kun levää oli enemmän, niin neulasvuosikertoja oli vähemmän ja harsuuntuminen oli suurempaa. Havainto sopii siihen, että leväpeitettä oletetaan esiintyvän kuormitetuilla alueilla, joilla esiintyy enemmän neulaskatoa. Yhteyttä ei ollut, tai se oli heikko, kuitenkaan jäkälämuuttajien vaurioasteiden, peittävyysien tai lajilukumäärän kanssa (Taulukko 35).

Kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, rikin ja typen pitoisuudella oli vähintään merkitsevä negatiivinen korrelaatio IAP-indeksin ja lajilukumäärän kanssa sekä positiivinen korrelaatio vaurioasteiden kanssa. Näiden alkuaineiden yhteys jäkäläsuureisiin voidaan selittää myös päästölähteiden aiheuttamalla kuormituksella. Mangaanilla korrelaatiot olivat päinvastaisia, tai ne eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (Taulukko 35).

Taulukko 35. Jäkälä- ja neulasmuuttujien välinen yhteisvaihtelu (Spearmanin korrelaatiokertoimet). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

Neulassuure	IAP	Levän yleisyys	Lajilukumäärä	Luppojen peittävyys	Sormipaisukarpeen peittävyys	Sormipaisukarpeen vaurioaste	Yleinen vaurioaste
neulaskato	-0,114	0,315 **	-0,037	0,013	-0,091	0,109	0,174 *
neulasvuosikerrat	0,110	-0,242 **	0,046	-0,028	0,024	-0,168 *	-0,144
kalium (K)	-0,410 ***	0,201 *	-0,417 ***	-0,253 **	0,086	0,373 ***	0,346 ***
kalsium (Ca)	-0,230 **	0,198 *	-0,234 **	-0,079	0,171 *	0,306 **	0,302 **
magnesium (Mg)	-0,267 **	0,103	-0,257 **	-0,165 *	0,040	0,247 **	0,287 **
mangaani (Mn)	0,244 **	-0,085	0,283 **	0,161	-0,046	-0,159	-0,184 *
rikki (S)	-0,467 ***	0,350 ***	-0,494 ***	-0,263 **	0,012	0,451 ***	0,427 ***
typpi (N)	-0,258 **	0,206 *	-0,335 ***	-0,139	0,011	0,284 **	0,247 **

Korrelaatiot jäkälämuuttujien ja sammalten alkuaineiden kesken olivat kaikki selvästi samansuuntaisia. Siellä, missä sammalissa oli suuremmat alkuaineiden pitoisuudet, jäkäläsuureet kuvasivat heikompaan ilmanlaatuun. Tämä kertoo siitä, että etäällä päästölähteistä jäkälämuuttajien kunto ja jäkälälajiston koostumus on terveempi (Taulukko 36).

Jäkäläsuureiden korrelaatioilla alkuainepitoisuuksien kanssa ja niiden merkitsevyyksillä oli eroa keskenään. Sormipaisukarpeen vaurioasteen korrelaatio oli erittäin merkitsevä kaikkien sammalten alkuainepitoisuuksien kanssa, ja yleisen vaurioasteen, lajilukumäärän ja IAP-indeksin korrelaatiot olivat vähintään tilastollisesti merkitseviä. Heikoimmat korrelaatiot ja pienimmät merkitsevyydet olivat sormipaisukarpeen peittävyysillä. Alkuaineista kromin ja sinkin määrät korreloivat heikoimmin jäkäläsuureiden kanssa (Taulukko 36).

Taulukko 36. Jäkälämuuttujien ja sammalten metallipitoisuuksien välinen yhteisvaihtelu (Spearmanin korrelaatiokertoimet). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

Metallin pitoisuus sammalossa	IAP	Levän yleisyys	Lajilukumäärä	Luppojen peittävyys	Sormipaisukarpeen peittävyys	Sormipaisukarpeen vaurioaste	Yleinen vaurioaste
arseeni (As)	-0,397 ***	0,386 ***	-0,357 ***	-0,324 ***	0,242 **	0,515 ***	0,427 ***
elohopea (Hg)	-0,303 **	0,274 **	-0,288 **	-0,086	0,149	0,423 ***	0,267 **
kadmium (Cd)	-0,351 ***	0,282 **	-0,289 **	-0,298 **	0,070	0,441 ***	0,368 ***
kromi (Cr)	-0,227 **	0,012	-0,258 **	-0,185 *	0,130	0,348 ***	0,255 **
kupari (Cu)	-0,518 ***	0,439 ***	-0,430 ***	-0,352 ***	0,290 **	0,594 ***	0,546 ***
lyijy (Pb)	-0,377 ***	0,261 **	-0,337 ***	-0,291 **	0,190 *	0,521 ***	0,390 ***
nikkeli (Ni)	-0,424 ***	0,342 ***	-0,382 ***	-0,328 ***	0,280 **	0,531 ***	0,476 ***
rauta (Fe)	-0,361 ***	0,263 **	-0,329 ***	-0,284 **	0,125	0,560 ***	0,355 ***
seleeni (Se)	-0,434 ***	0,370 ***	-0,301 **	-0,234 **	0,200 *	0,489 ***	0,419 ***
sinkki (Zn)	-0,250 **	0,172 *	-0,222 **	-0,266 **	0,016	0,456 ***	0,252 **
titaani (Ti)	-0,229 **	0,117	-0,205 *	-0,217 **	0,022	0,429 ***	0,220 **

Neulaskadolla ja neulasvuosikertojen lukumäärällä ei ollut erittäin merkitseviä korrelaatioita sammalten metallipitoisuuksien kanssa, ja ainoa merkitsevä korrelaatio oli neulaskadolla kromipitoisuuden kanssa (negatiivinen). Neulasvuosikerroilla oli heikompia melkein merkitseviä korrelaatioita useiden metallien kanssa, ja sammalten metallipitoisuuksien kasvaessa neulasvuosikerrat vähenivät lievästi. Mahdollisesti tämä liittyy päästölähteiden vaikutukseen. (Taulukko 37)

Neulasten kaliumin ja rikin pitoisuudet korreloivat positiivisesti erittäin merkitsevästi useiden neulasten metallien kanssa. Muutkin edes melkein merkitsevät neulasten alkuaineiden korrelaatiot sammalten metallien kanssa olivat positiivisia paitsi mangaanin tapauksessa, jonka määrä pieneni jonkin verran siellä, missä sammalissa oli enemmän metalleja. (Taulukko 37)

Taulukko 37. Neulasmuuttujien ja sammalten metallipitoisuuksien välinen yhteisvaihtelu (Spearmanin korrelaatiokertoimet). Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,001$, ***) on lihavoitu ja merkitsevät ($p < 0,01$, **) kursivoitu. Melkein merkitsevät korrelaatiot ($p < 0,05$) on merkitty yhdellä tähdellä (*).

Metallin pitoisuus sammalossa	Neulas-kato	Neulasvuosikerat	K	Ca	Mg	Mn	S	N
arseeni (As)	0,033	-0,164 *	0,324 ***	0,171 *	0,135	-0,220 **	0,350 ***	0,247 **
elohopea (Hg)	-0,108	-0,091	0,160	0,179 *	0,129	-0,105	0,163	0,124
kadmium (Cd)	-0,122	-0,070	0,249 **	0,082	0,134	-0,156	0,327 ***	0,196 *
kromi (Cr)	-0,284 **	-0,013	0,279 **	0,192 *	0,285 **	-0,243 **	0,225 **	0,201 *
kupari (Cu)	0,078	-0,212 *	0,337 ***	0,248 **	0,200 *	-0,219 **	0,398 ***	0,242 **
lyijy (Pb)	-0,065	-0,135	0,348 ***	0,221 **	0,193 *	-0,181 *	0,375 ***	0,240 **
nikkeli (Ni)	-0,011	-0,191 *	0,354 ***	0,232 **	0,239 **	-0,190 *	0,391 ***	0,272 **
rauta (Fe)	-0,018	-0,138	0,357 ***	0,236 **	0,290 **	-0,165 *	0,399 ***	0,264 **
seleeni (Se)	0,069	-0,190 *	0,297 **	0,223 **	0,158	-0,082	0,363 ***	0,125
sinkki (Zn)	0,061	-0,083	0,255 **	0,209 *	0,228 **	-0,138	0,269 **	0,147
titaani (Ti)	0,038	-0,096	0,275 **	0,184 *	0,258 **	-0,118	0,277 **	0,136

5.4.2 Kaikkien muuttujien faktorianalyysi

Muuttujien yhteisvaihtelua ja keskinäisiä yhteyksiä tutkittiin vielä faktorianalyysin avulla, johon otettiin mukaan kaikki havaintoaloilta tutkitut vastemuuttujat. Faktorianalyysillä tiivistettiin 27 muuttujan vaihtelun yhteensä 7 faktoriin, jotka selittivät kokonaisvaihtelusta 70 % (Taulukko 38).

Faktori nro 1 kuvasi voimakkaimmin sammalen alkuainepitoisuuksia lukuun ottamatta titaania ja vanadiinia. Näiden muuttujien lataukset faktorille olivat vähintään 0,6. Päästölähteiden vaikutus näkyy todennäköisesti tämän faktorin tuloksissa.

Faktori nro 2 kuvasi jäkälämuuttujien yhteisvaihtelua. Kaikkien jäkälämuuttujien latauksen itseisarvo oli suurin tällä faktorilla, mutta sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyuden lataukset olivat melko pieniä. Vaihtelun suunta olivat odotusten mukaista, esimerkiksi vaurioiden kasvaessa lajilukumäärä oli pienempi.

Faktori nro 3 sisälsi sammalen titaani- ja vanadiinipitoisuuden suurimmat lataukset. Myös raudan ja kromin pitoisuuden lataus oli suuri.

Faktori nro 4 kuvasi neulasten kaliumin, magnesiumin, rikin ja typen pitoisuuksien samansuuntaista vaihtelua.

Faktori nro 5 sisälsi vahvasti neulaskadon ja neulasvuosikertojen lukumäärän. Faktorista nähtiin myös, että levä oli yleisempää neulaskadosta kärsivillä aloilla.

Faktorille nro 6 latautuivat voimakkaimmin neulasten kalsiumin ja mangaanin pitoisuudet. Näitä alkuaineita ei selvästi havaittu päästölähteiden läheisyydessä, eikä ryhmittelylle ole tiedossa selvää syytä.

Faktori nro 7 ei sisältänyt minkään muuttujan suurinta latausta, ja latauksien itseisarvot olivat suhteellisen pieniä. Suurimmat lataukset olivat sammalen nikkeli- ja kadmiumpitoisuudella, sormipaisukarpeen vaurioasteella ja levän yleisyydellä.

Taulukossa on esitetty myös osuus varianssista (alimmalla rivillä). Sen perusteella faktori nro 1 selitti yli neljäsosan kokonaisvaihtelusta. Vaikka ainoastaan sammalen alkuainepitoisuuksien lataukset ovat suurimmat tällä faktorilla, niin myös kohtalaisia latauksia oli etenkin sormipaisukarpeen vauriolla ja levän yleisyydellä. Tämä tarkoittaa sitä, että faktori selittää huomattavasti myös muiden muuttujien vaihtelua.

Seitsemän muuttujan faktoriratkaisu piti jäkälämuuttujat erillään ja jaotteli neuläsmuuttujat kolmeen ja sammalen alkuainepitoisuudet kahteen ryhmään suurimpia latauksia tarkasteltaessa. Tämä kertoo siitä, että tietyn ryhmän muuttujien vaihtelu on voimakkaammin sidoksissa keskenään kuin toisen ryhmän muuttujien kanssa.

Taulukko 38. Kaikkien alakohtaisten muuttujien faktorianalyysin varimax-rotatoitu komponenttimatriisi. Kunkin muuttujan itseisarvoltaan yli 0,5:n olevat lataukset on lihavoitu, ja faktori, jolla muuttuja on saanut eniten nollasta eroavan latauksensa, on värjätty punaiseksi. Tyhjä solu tarkoittaa, ettei muuttujalla ollut olennaista latausta ko. faktorilla.

Muuttuja	1	2	3	4	5	6	7
sormipaisukarpeen vaurio	0,396	0,515	0,277	0,223	0,113		0,218
yleiset vauriot	0,114	0,881		0,123	0,113		
lajilukumäärä	-0,101	-0,795		-0,271			0,121
IAP	-0,135	-0,937		-0,212			
sormipaisukapeen peitt.		0,140					-0,134
luppojen peitt.		-0,218					
levän yleisyys	0,272	0,463		0,164	0,288		0,205
neulaskato				-0,129	0,970		
neulasvuosikerrat	-0,160				-0,522		
neulaset/kalium	0,136	0,210	0,101	0,697		-0,181	
neulaset/kalsium	0,118	0,222		0,374		0,681	
neulaset/magnesium		0,243	0,227	0,467		0,322	
neulaset/mangaani						0,615	
neulaset/rikki		0,214	0,112	0,920		0,232	
neulaset/typpi	0,111	0,151		0,448			
sammal/arseeni	0,980						
sammal/elohopea	0,851	0,124	0,141				0,119
sammal/kadmium	0,930	0,137		0,121			0,266
sammal/kromi	0,648		0,516	0,144			-0,102
sammal/kupari	0,973						
sammal/lyijy	0,963		0,137				-0,155
sammal/nikkeli	0,854	0,125		0,149			0,387
sammal/rauta	0,772	0,114	0,536				
sammal/seleen	0,614	0,161		0,135	0,103		
sammal/sinkki	0,803	0,109	0,122				
sammal/titaani	0,168	0,144	0,949	0,126			
sammal/vanadiini	0,251	0,123	0,929	0,127			
osuus varianssista	28,3 %	12,0 %	9,6 %	8,3 %	5,1 %	4,1 %	1,6 %

5.5 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa luontaisten taustamuuttujien yhteys jäkälämuuttujiin oli jonkin verran heikompi kuin alan paikkamuuttujien. Mutta samaan aikaan luontaisten taustamuuttujien yhteisvaihtelu neulasmuuttujien ja sammalen metallipitoisuuksien kanssa oli selvästi heikompa kuin paikkamuuttujien kanssa.

Jäkälämuuttujista etenkin sormipaisukarpeen vaurioaste ja lajilukumäärä kuvasivat hyvin alueen kuormitusta. IAP-indeksin suurten korrelaatioiden merkityksellisyyttä pienentää se, tämä suure laskettiin

lajilukumäärän perusteella käyttäen aikaisemmin määritettyjä seuralaislajimääriä. Sammalen alkuainepitoisuudet kuvasivat puolestaan metallien kertymistä.

Tilastollisen tarkastelun perusteella teollisuuden suurimpien päästölähteiden vaikutus tutkittuihin muutujiin on hyvin merkityksellinen. Oletusten mukaisesti jäkälien vauriot ovat suurempia ja lajisto köyhtyneempää teollisuuden vaikutuspiirissä. Samoin sammalten ja neulasten alkuainepitoisuudet olivat suurempia päästölähteiden ympäristössä. Poikkeus oli neulasten mangaanipitoisuus, joka oli pienempi päästölähteiden lähellä. Mäntyjen neulaskadolla ei ollut yhteyttä päästölähteen etäisyyden kanssa, ja neulasvuosikertojen lukumäärällä oli vain heikko yhteys.

Typpidioksidin vuosipitoisuudella oli selvä positiivinen korrelaatio sormipaisukarpeen vaurioasteen, neulasten typpipitoisuuden ja sammalen arseenin määrän kanssa. Havainto on järkevä, koska typpidioksidia on runsaimmin siellä, missä päästölähteitä (teollisuus, liikenne) on eniten. Kyseisillä alueilla jäkälät ovat vaurioituneempia, männynneulasiin voi sitoutua typpeä ilmasta, ja niillä voi olla arseenia tuottavia päästölähteitä.

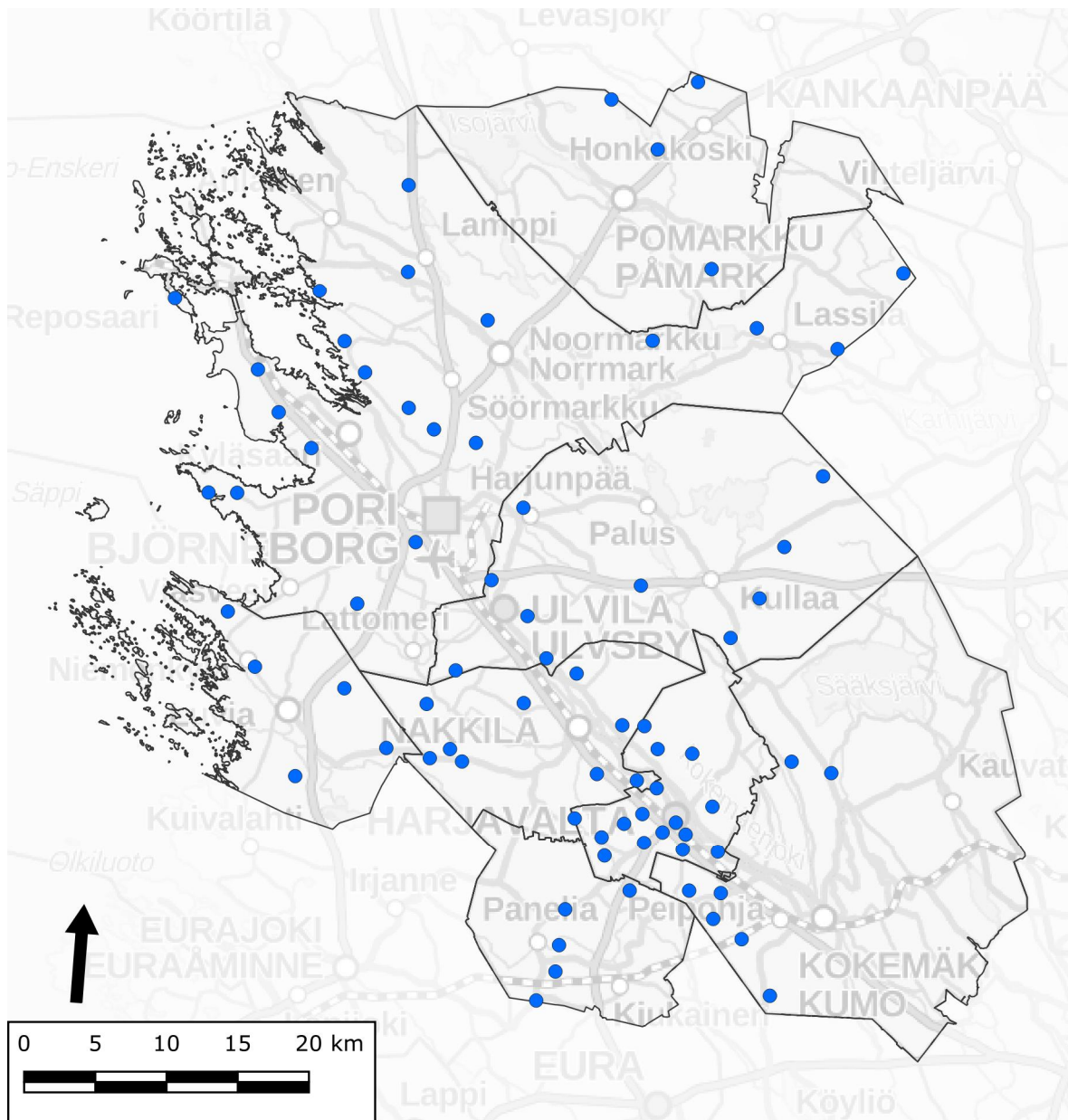
6. VERTAILUT

6.1 Vuosien välinen vertailu

Tässä luvussa vertaillaan ensisijaisesti vuosien 2022–2023 alakohtaisia tuloksia vuoden 2014 tutkimuksen tuloksiin. Muiden vuosien välillä ei voitu tehdä täsmällistä vertailua, koska aikaisempien tutkimusvuosien data ei ollut käytettävissä. Runkokohtaisten vertailujen tekeminen ei ollut mahdollista, koska vuoden 2014 runkokohtaista dataa ei ollut käytettävissä.

Vertailtava alue sisälsi samana pysyneet tutkimusalat, joita oli kaikkiaan 77 kpl. Kuntien ja entisten kuntien alueina alue sisälsi Harjavallan, entisen Kiukaisten alueen (Eurassa), Kokemäen, entisen Luvian alueen (Eurajoella), Nakkilan, Pomarkun, Porin ilman entistä Laviaa ja Ulvilan. Alan sijainnin säilyminen samana ei takaa runkojen pysyneen samana, mikä heikentää vertailujen merkittävyyttä. Keskiarvot laskettiin ja tilastolliset testit tehtiin samoina pysyneille aloilla. Vyöhykekartat interpoloitiin kaikkien alojen tietojen perusteella koko kyseiselle alueelle, ns. vertailualueelle (Kuva 46).

Käytettävissä olevien tietojen perusteella tehdään myös lyhyitä vertailuja Pori-Harjavallan alueen aikaisempien tutkimusten kanssa.



Kuva 46. Vuosien 2022 ja 2014 välisessä vertailussa mukana olevien, samana pysyneiden tutkimusalojen sijainnit ja vyöhykekarttojen rajaus, ns. vertailualue (n = 77).

6.1.1 Mäntyjen runkojäkälien vertailu

6.1.1.1 Vuosien 2014 ja 2022 välinen vertailu

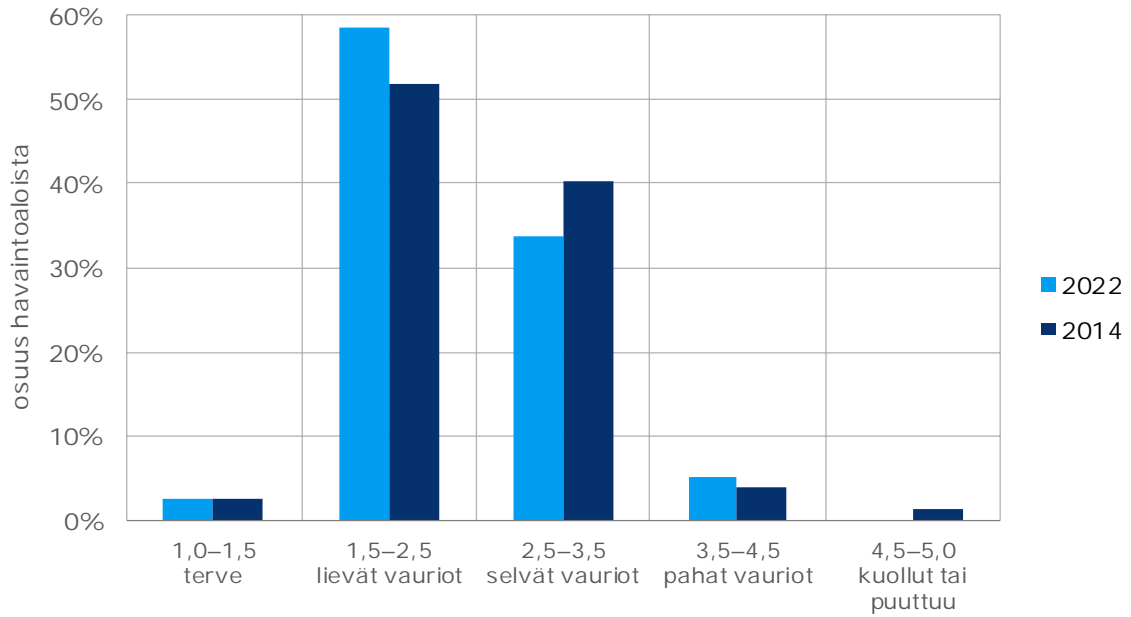
Tilastollisesti merkitsevä ero vuosien 2014 ja 2022 välillä havaittiin IAP-indeksissä, lajilukumäärässä ja sormipaisukarpeen peittävyudessa. IAP-indeksi oli 0,2 yksikköä pienempi erittäin merkitsevästi kuin vuonna 2014 ja lajilukumäärä oli 0,6 pienempi merkitsevästi. Sormipaisukarpeen peittävyys oli melkein merkitsevästi 1,6 %-yksikköä pienempi. Vuonna 2022 levä oli harvinaisempaa ja yleinen vaurioaste hie-
man suurempi kuin vuonna 2014, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 39).

Taulukko 39. Mäntyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja samoina pysyneillä tutkimusaloilla tämän tutkimuksen ja vuoden 2014 tutkimuksen välillä. Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty parittaisten otosten t-testillä tai Wilcoxonin merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***). $n = 77$.

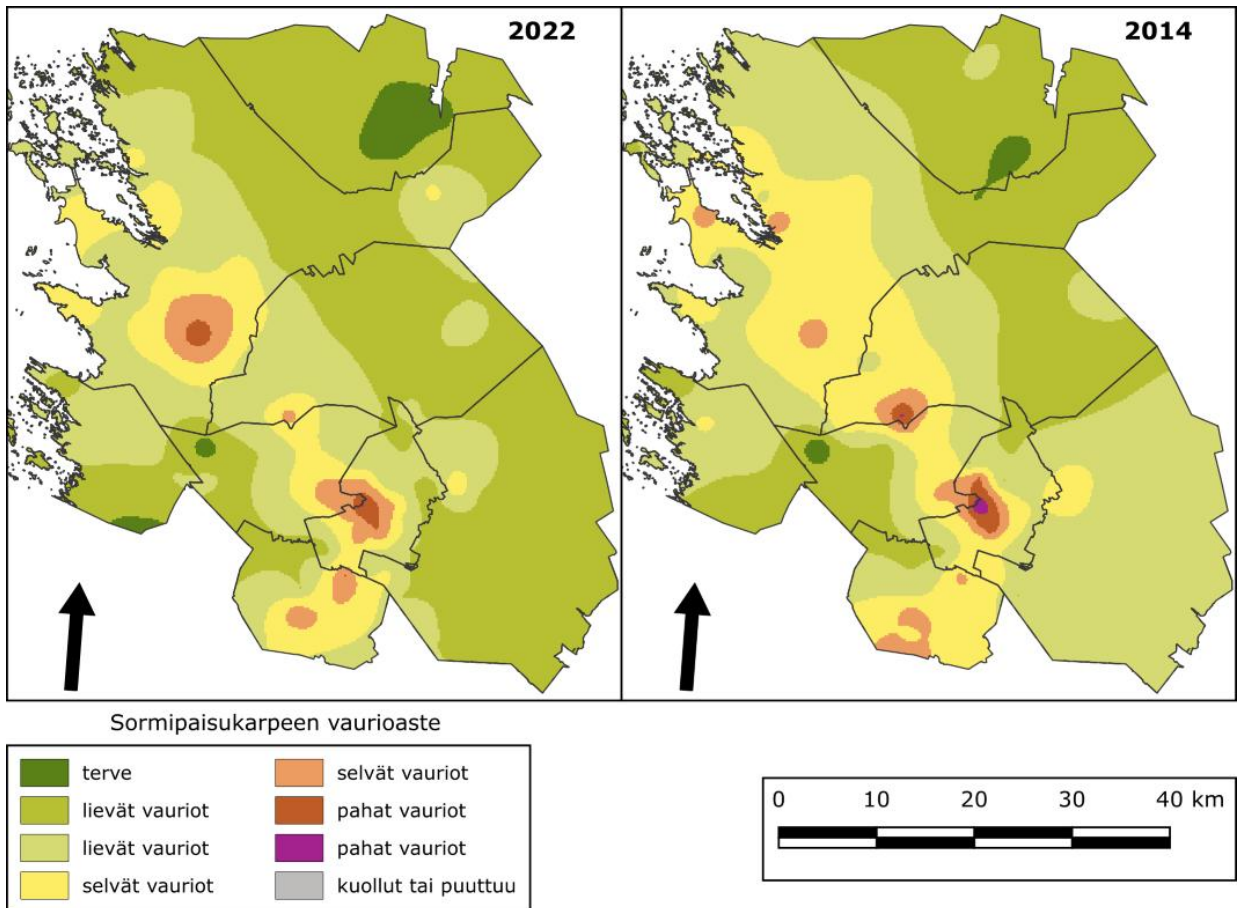
Jäkäläsuure	Vuosi	Keski- arvo	Pienin	Suurin	Keski- hajonta	Testisuure	p-arvo
IAP	2022	1,7	0,49	3,90	0,69	$t = -4,192$	$< 0,001^{***}$
	2014	1,9	0,40	4,80	0,85		
lajilukumäärä	2022	5,2	1	9	1,83	$t = -3,607$	$< 0,01^{**}$
	2014	5,8	1	9	2,21		
sormipaisukarpeen vaurioaste	2022	2,4	1,2	4,1	0,58	$V = 891$	0,085
	2014	2,4	1,1	4,5	0,63		
yleinen vaurioaste	2022	3,6	1,8	4,4	0,55	$V = 1079$	0,144
	2014	3,5	1,4	5,0	0,66		
sormipaisukarpeen peittävyys [%]	2022	12,1	0,1	41,0	10,01	$t = -3,242$	$< 0,05^{*}$
	2014	13,7	0,1	46,1	10,15		
luppojen peittävyys [%]	2022	0,03	0,00	1,20	0,15	$V = 12$	0,679
	2014	0,05	0,00	1,00	0,16		
levän yleisyys	2022	5,7	0	10	3,95	$V = 694,5$	0,151
	2014	6,3	0	10	3,43		

Alla on esitetty sormipaisukarpeen vaurioasteen muutokset samoina pysyneillä aloilla vuosina 2022 ja 2014 (Kuva 47, Kuva 48). Tämän jälkeen on esitetty ne muuttujat, joilla muutos oli tilastollisesti merkitsevä muutos (Kuva 49, Kuva 50, Kuva 51, Kuva 52, Kuva 53).

Sormipaisukarpeen vaurioasteen muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä, ja vuosien 2022 ja 2014 kar-
tatkin näyttävät likimain samanlaisilta. Muutamilla samana pysyneillä aloilla suurimmat vauriot olivat pienentyneet, mutta lievien ja selvien vaurioiden määrät olivat kasvaneet (Kuva 47, Kuva 48).

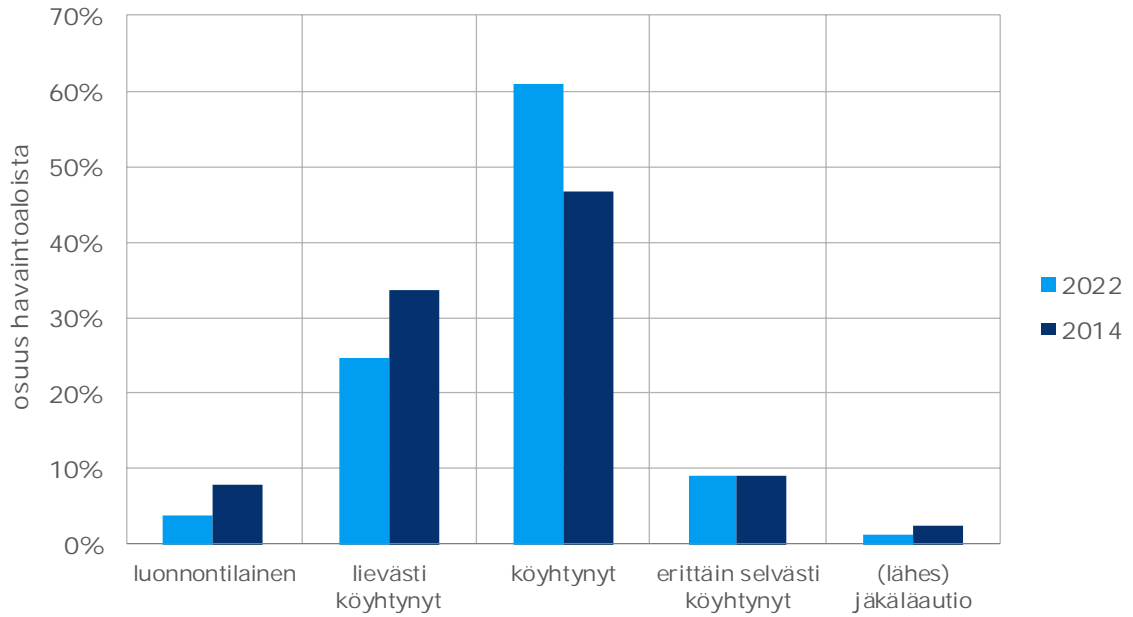


Kuva 47. Sormipaisukarpeen vaurioaste samana pysyneillä aloilla vuosina 2022 ja 2014. n = 77.

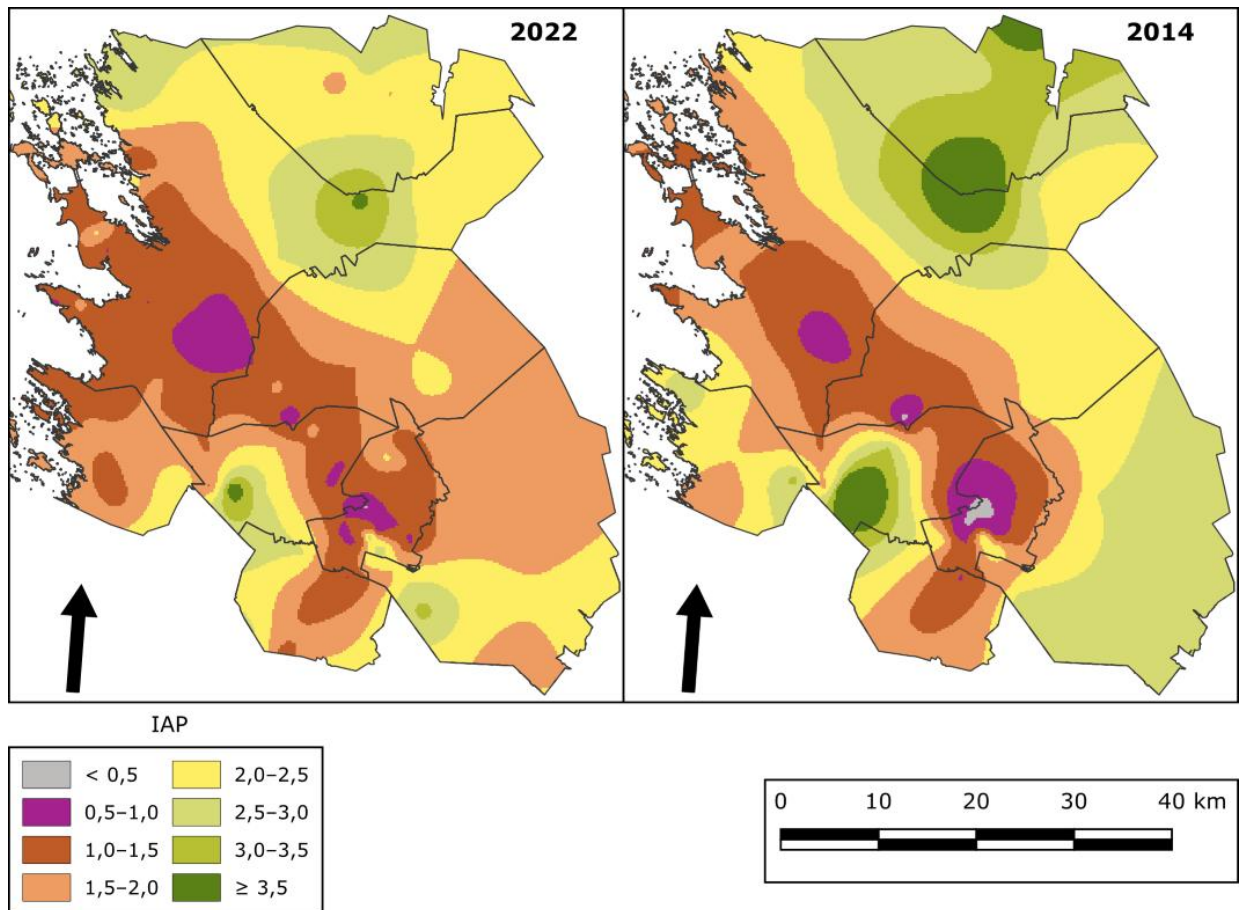


Kuva 48. Sormipaisukarpeen vaurioasteen interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.

IAP-indeksin perusteella vertailualueen ilmanlaatu oli keskimäärin jonkin verran heikentynyt edelliseen tutkimuskertaan verrattuna. Luonnontilaiset, lievästi köyhtyneet ja (lähes) jäkäläautiot alat olivat vähentyneet mutta köyhtyneiden alojen määrä oli kasvanut selvästi (Kuva 49). Yleistettyjen vyöhykkeiden perusteella kaikkein pahimpien vaurioiden alueet olivat jonkin verran pienentyneet, mutta vähintään köyhtyneen lajiston alueet olivat laajentuneet (Kuva 50).

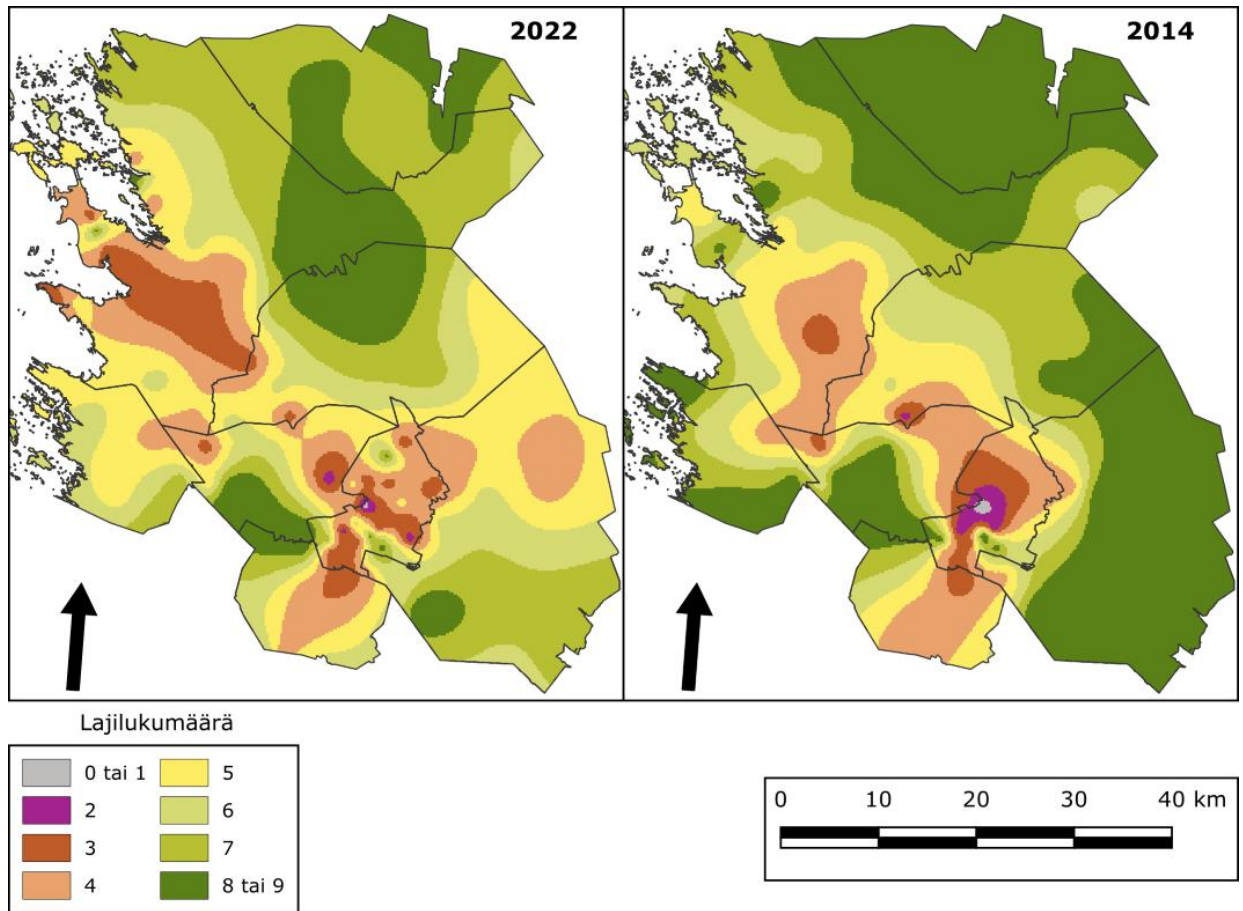


Kuva 49. IAP-indeksi samana pysyneillä aloilla vuosina 2022 ja 2014. n = 77.



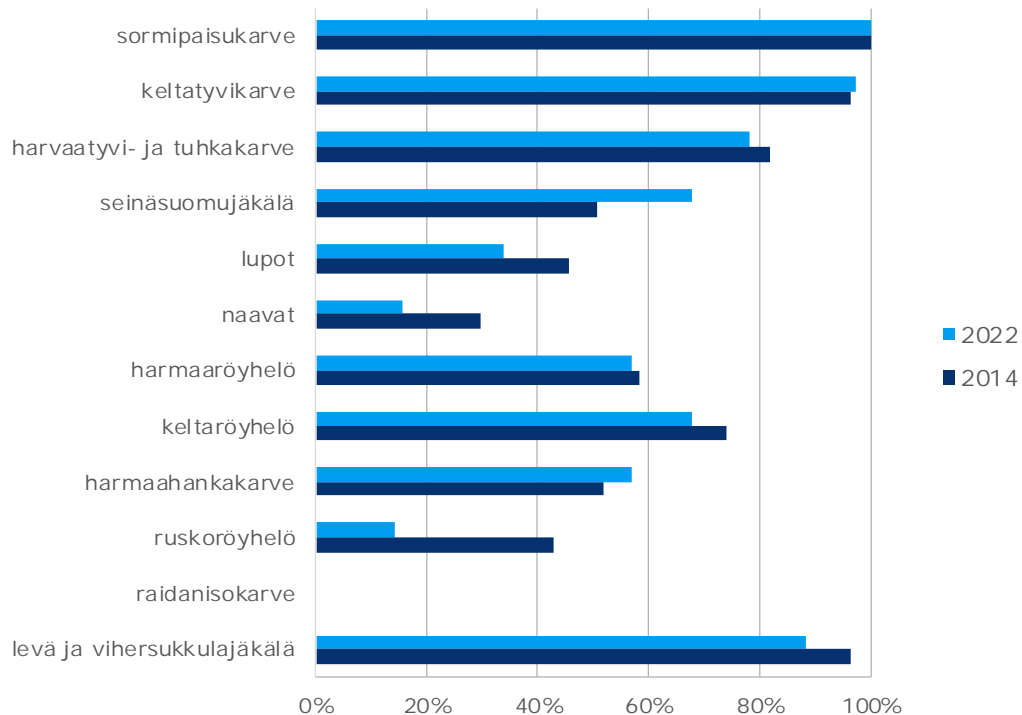
Kuva 50. IAP-indeksin interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.

Ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärä oli merkittävästi pienentynyt vuoteen 2014 verrattuna. Lajilukumäärä oli pienentynyt suurimmassa osassa vertailualueetta, eikä missään ollut selviä palautuneen lajiston alueita (Kuva 51).



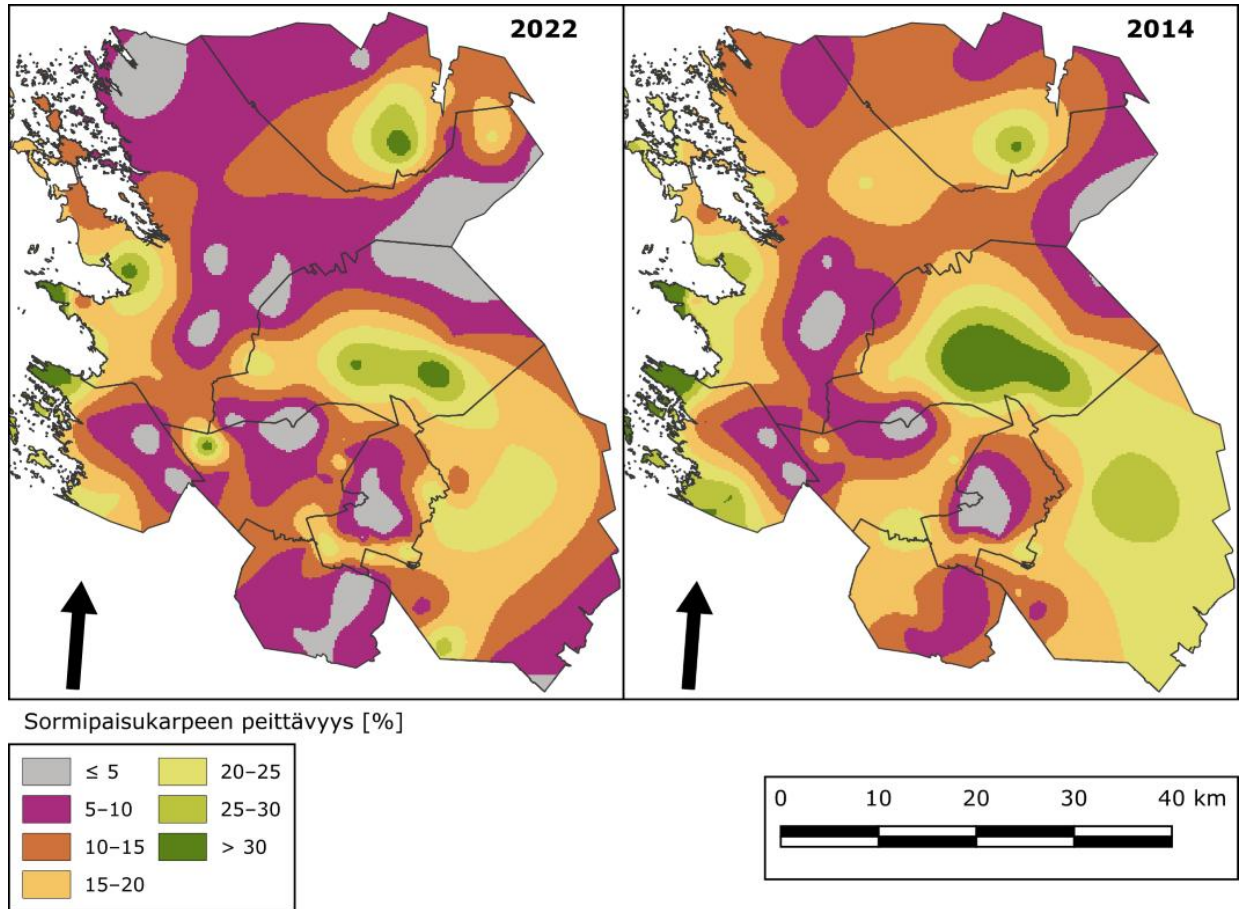
Kuva 51. Lajilukumäärän interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.

Alakohtaisesti tarkasteltuna seinäsuomujäkälää ja harmaahankakarvetta oli useammalla samana pysyneellä alalla kuin vuonna 2014. Lupot, naavat, keltaröyhelö, ruskoröyhelö ja levä esiintyivät selvästi harvemmillä aloilla kuin aikaisemmin. Harmaatyvi- ja tuhkarve sekä harmaaröyhelö olivat vähentyneet hieman (Kuva 52).



Kuva 52. Jäkälälajien esiintyminen samoina pysyneillä tutkimusaloilla vuosina 2022 ja 2014. n = 77.

Sormipaisukarpeen peittävyys keskiarvo oli pienentynyt vuodesta 2014. Etenkin suurimmat peittävydet olivat pienentyneet, ja vertailualueella oli laajoja pienehkön peittävyden vyöhykkeitä. Vähäisintä peittävyden pieneneminen oli Harjavallassa, Kokemäellä, Eurajoen Luvialla ja Ulvilassa (Kuva 53).



Kuva 53. Sormipaisukarpeen peittävyysinterpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.

6.1.1.2 Vertailu tutkimuksiin vuosina 1990, 1992, 1996, 2001, 2007 ja 2014

Alla (Taulukko 40) on esitetty mäntyjen jäkäläsuureiden keskiarvoja aikaisemmin tehdyistä Porin–Harjavallan bioindikaattoritutkimuksista. Keskiarvoissa olivat mukana kaikki kunkin tutkimusvuosien alat, eivät vain samana pysyneet alat.

Alakohtaisen lajilukumäärän perusteella jäkälälajisto oli heikoimmalla tasollaan vuonna 2022. Alakohtaisessa lajilukumäärässä on mahdollisesti ollut mukana seinäsuomujäkälä (ravinnekuormituksesta hyötyvä laji) ennen vuotta 2014, mikä heikentää vertailukelpoisuutta. Lajilukumäärän perusteella kuitenkin voidaan arvioida, että lajisto on vaihdellut lievästi köyhtyneestä köyhtyneeseen tarkasteluvuosina, eikä tämä tutkimus muuta toteamusta. Kaikissa tutkimuksissa yleisesti vähiten lajeja on havaittu Harjavallan päästökuormituksen vaikutusalueella.

Tutkimuspuukohtainen lajilukumäärä on pienentynyt vuoden 1996 jälkeen, mutta se on pysynyt lähes samana vuodesta 2001. Myös näissä havainnoissa on mahdollisesti ollut seinäsuomujäkälä mukana.

Sormipaisukarpeen peittävyys oli vuosina 1990, 1992, 1996 ja 2001 noin 20 % silloisilla tutkimusalueilla. Vuodesta 2007 alkaen keskimääräinen peittävyys on ollut selvästi pienempi. Alle viiden prosentin peittävyksiä on havaittu voimakkaasti kuormitetulla alueella Harjavallassa, mutta myös muualla teollisuuden ympäristössä sekä taajamissa. Sormipaisukarpeen peittävyden väheneminen voi johtua osittain alaverkoston keskittymisestä kuormitetuille alueille, mutta myös ilmasto-olot voivat olla yksi tekijä.

Taulukko 40. Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja aiemmista Porin-Harjavallan alueen tutkimuksista. n = tutkimusalojen määrä; – = tietoa ei ole raportoitu. Aikaisempien vuosien tiedot lähteestä Nab Labs 2016b.

vuosi	n	Lajilukumäärä / ala	Lajilukumäärä / puu	Sormipaisukarpeen peittävyys [%]
1990	171	6,9	–	20
1992	150	6,3	4,3	20
1996	186	6,9	5,1	18
2001	168	6,0	3,7	18
2007	173	5,8	3,6	12
2014	107	6,2	3,6	14
2022	152	5,6	3,6	10

6.1.2 Mäntyjen elinvoimaisuuden vertailu

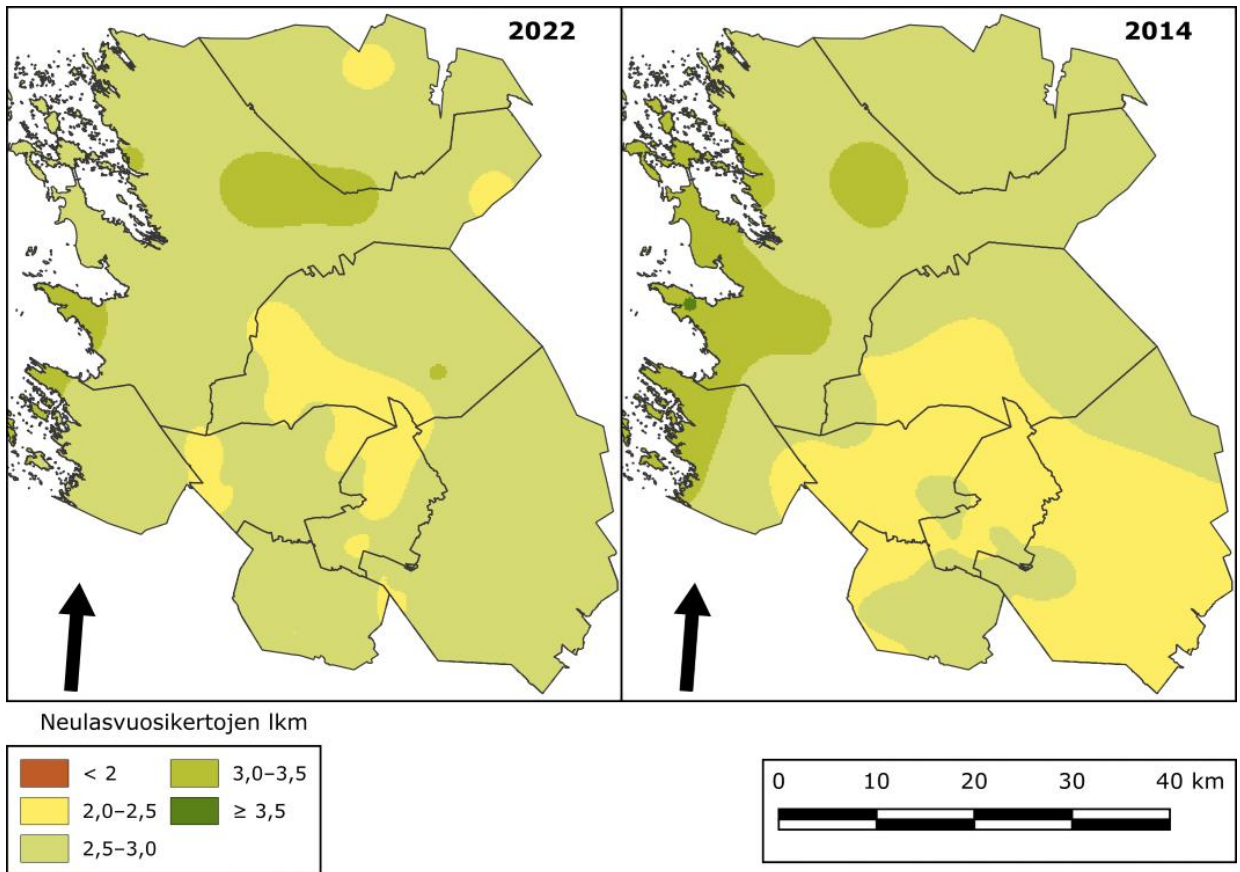
6.1.2.1 Vuosien 2022 ja 2014 välinen vertailu

Neulasvuosikertojen lukumäärä ei ollut muuttunut vertailualueella merkitsevästi vuosien 2014 ja 2022 välillä, ja keskiarvo oli vain 0,1 vuosikertaa suurempi vuonna 2022. Vyöhykekartalla luokan "2,0–2,5 neulasvuosikertaa" alue oli supistunut ja luokan "2,5–3,0 neulasvuosikertaa" alue kasvanut (Kuva 54).

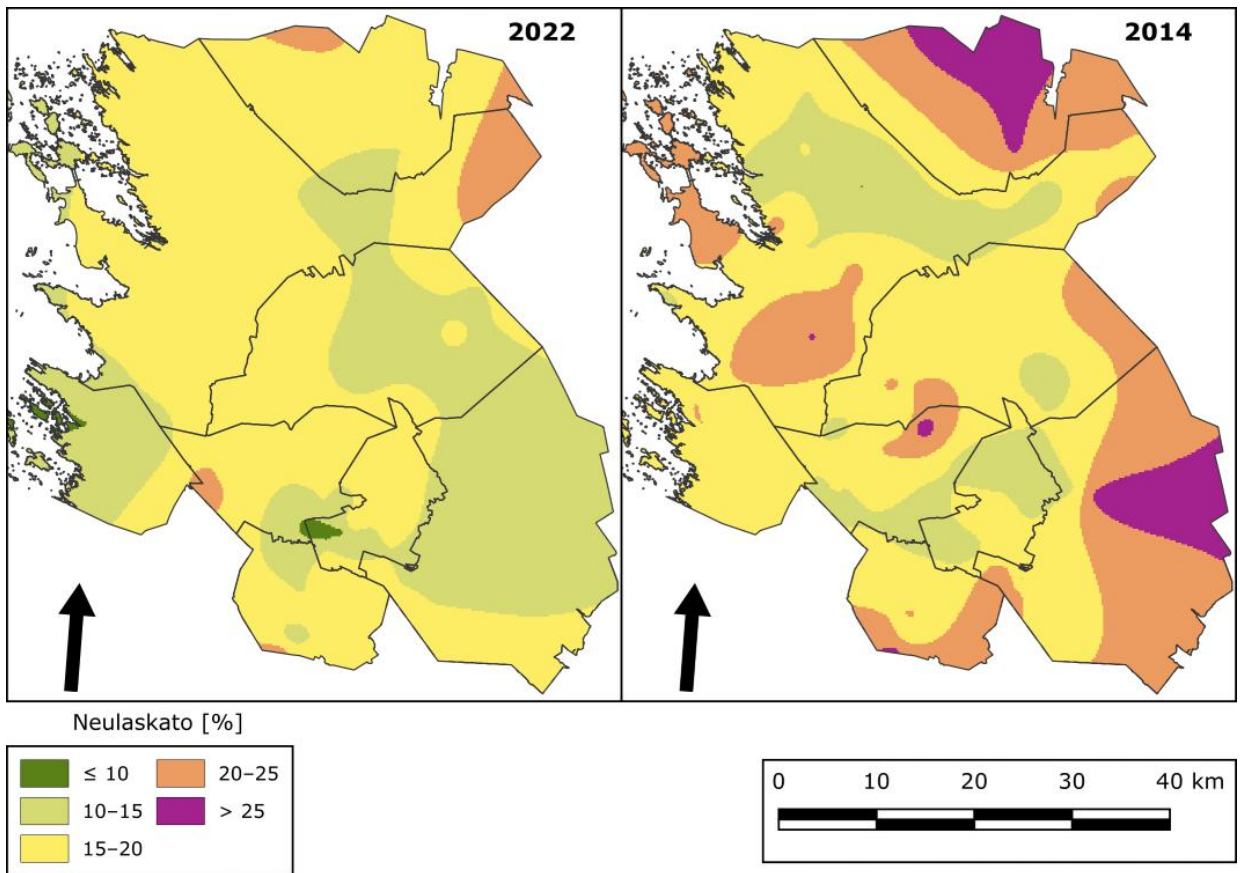
Neulaskato oli pienentynyt samana pysyneillä aloilla melkein merkitsevästi ($p < 0,05$) vuodesta 2014. Suurimmat harsuuntuneisuusasteet olivat pienentyneet, eikä harsuuntuneita aloja (neulaskato $> 25\%$) havaittu ollenkaan. Joillain aloilla neulaskato oli lisääntynyt. Harjavallan ja Nakkilan rajalla oli pieni alue, jossa yleistetty neulaskato oli alle 10% (Kuva 55).

Taulukko 41. Mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavia tunnuslukuja Porin-Harjavallan alueen samoina pysyneillä aloilla vuosina 2022 ja 2014. Vuosien väliset vertailut on tehty parittaisten otosten t-testillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***) . n = 77.

	Vuosi	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keski-hajonta	Testisuure	p-arvo
Neulasvuosikerrat	2022	2,6	2,1	2,5	0,25	t = 1,737	0,086
	2014	2,5	2,0	2,3	0,34		
Neulaskato [%]	2022	16,1	8,5	14,5	3,39	t = -3,115	< 0,05 *
	2014	17,9	9,9	14,9	4,40		



Kuva 54. Neulasvuosikertojen lukumäärän interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



Kuva 55. Neulaskadon interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.

6.1.2.2 Vertailu alueen tutkimuksiin vuosina 1990, 1992, 1996, 2001, 2007 ja 2014

Seuraavassa (Taulukko 42) on esitetty mäntyjen elinvoimaisuuteen liittyvien muuttujien keskiarvoja usealta tutkimusvuodelta. Tarkastelussa olivat mukana kaikki alat kyseisiltä tutkimusvuosilta eivätkä vain samana pysyneet alat. Harsuuntumisen perusteella mäntyjen elinvoimaisuus on parantunut selvästi verrattuna 1990-lukuun.

Keskimääräinen neulaskato on pienentynyt tutkimusten välillä vuodesta 1990 alkaen. Harsuuntuneiden alojen (neulaskato vähintään 25 %) osuus on pienentynyt vuodesta 2001, eikä tässä tutkimuksessa havaittu ollenkaan harsuuntuneita aloja. Harsuuntuneiden runkojen osuus on myös pienentynyt vuodesta 2007 ollen nyt 11 %.

Neulasvuosikertojen lukumäärä oli pysynyt samalla tasolla vuosina 1990–2007. Vuonna 2014 niiden määrä laski selvästi, mikä johtui mahdollisesti maastotöiden myöhäisestä ajankohdasta. Tässä tutkimuksessa vuonna 2022 neulasvuosikertojen lukumäärän keskiarvo oli vähän suurempi kuin 2014, mutta ero ei ollut merkitsevä samoina pysyneillä aloilla.

Taulukko 42. Mäntyjen elinvoimaisuuteen liittyviä tunnuslukuja alakohtaisesti aiemmilta tutkimusvuosilta. n = tutkimusalojen lukumäärä, - = tunnusta ei ole raportoitu.

Vuosi	n	Neulas-kato [%]	Harsuuntuneiden alojen osuus [%]	Harsuuntuneiden puiden osuus [%]	Neulasvuosikerrat
1990	171	34	–	–	3,3
1992	150	27	–	–	–
1996	186	17	–	–	3,1
2001	168	24	41	–	3,5
2007	173	22	32	34	3,3
2014	107	18	9	17	2,5
2022	152	15	0	11	2,7

6.1.3 Neulasten alkuainepitoisuuksien vertailu

6.1.3.1 Vuosien 2022 ja 2014 vertailu

Neulasten alkuainepitoisuuksista olivat muuttuneet samoina pysyneillä aloilla vuosien 2014 ja 2022 välillä tilastollisesti erittäin merkitsevästi kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, mangaanin ja rikin pitoisuudet; vain typen pitoisuus ei ollut muuttunut merkitsevästi (Taulukko 43).

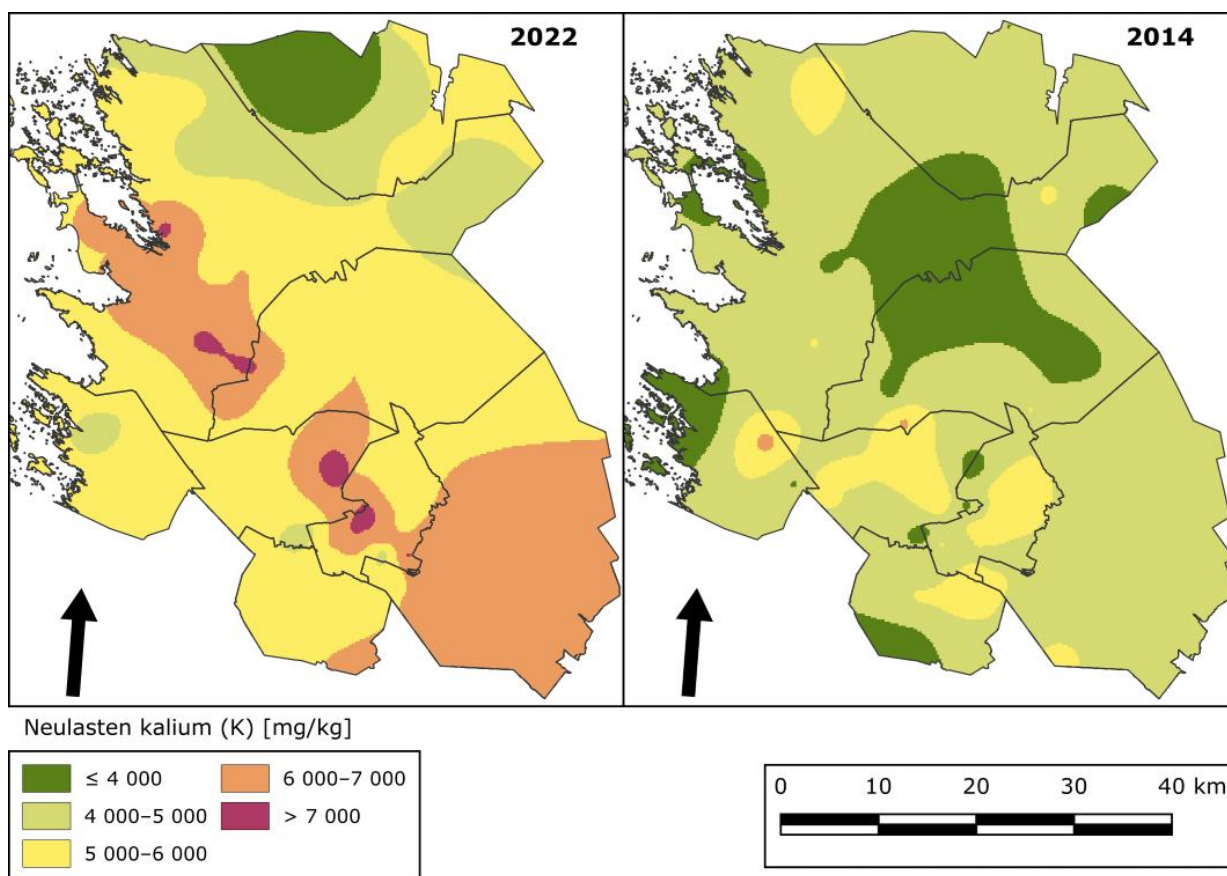
Kaliumin pitoisuudet olivat kasvaneet koko vertailualueella Pomarkkua lukuun ottamatta (Kuva 56). Kalsiumin pitoisuudet olivat pienentyneet laajalti, mutta yksittäisillä aloilla pitoisuudet olivat kasvaneet. Suurimmat kalsiumin vähenemät esiintyivät Kokemäenjoen varrella ja Porin Ahlaisissa (Kuva 57).

Magnesiumia oli vertailualueella neulasissa keskimäärin enemmän kuin vuonna 2014. Pitoisuudet olivat kasvaneet etenkin Porin keskustan lähellä, Harjavallassa ja Ulvilassa. Pomarkussa pitoisuudet olivat pienentyneet jonkin verran (Kuva 58). Mangaanin pitoisuus oli keskimäärin vähentynyt samoina pysyneillä aloilla. Selvintä väheneminen oli Harjavallassa ja Nakkilassa. Joillain aloilla pitoisuus oli kuitenkin kasvanut (Kuva 59).

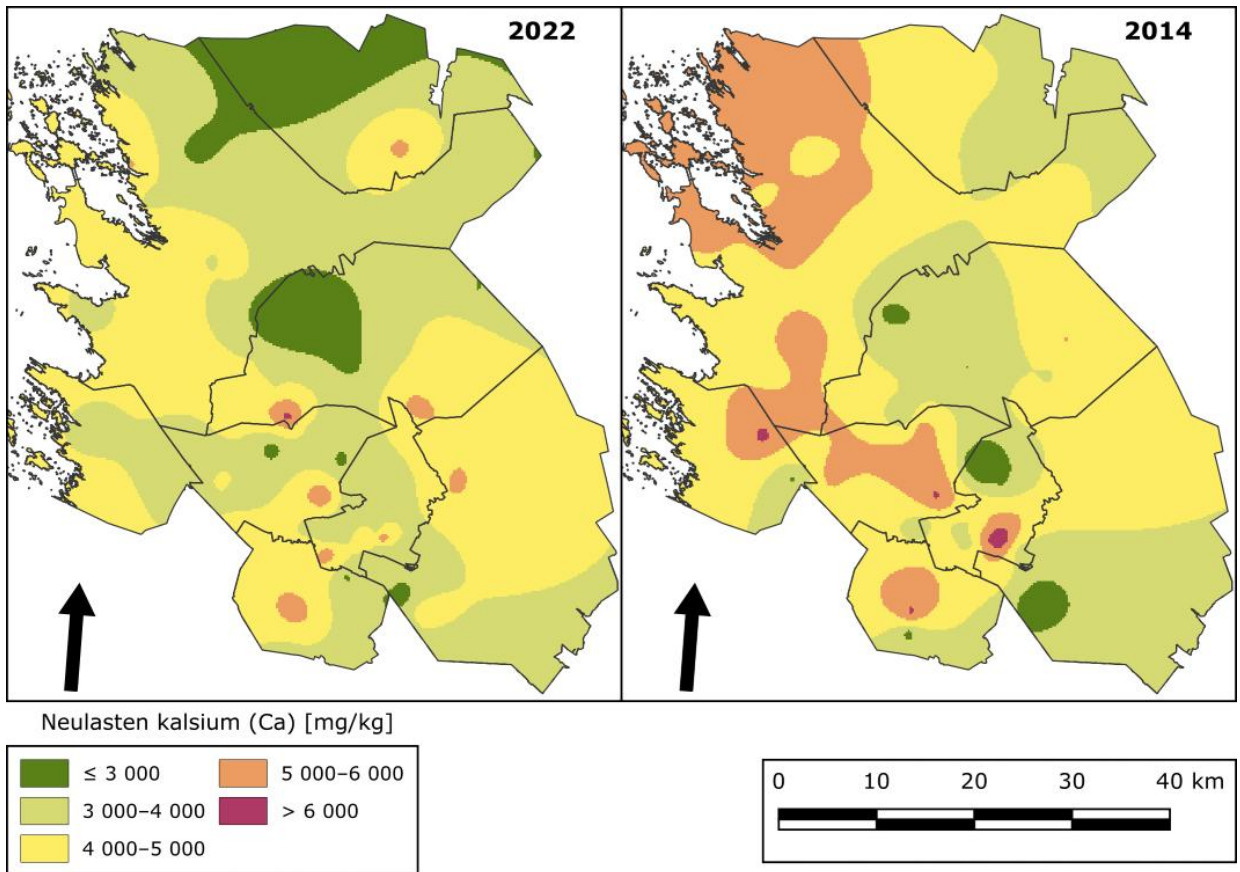
Rikin keskimääräinen pitoisuus neulasissa oli vähentynyt vuosien 2014 ja 2022 välillä, mutta ero keskiarvoissa ei ollut kovin suuri. Vähenemistä oli tapahtunut erityisesti Harjavallassa, Nakkilassa, Eurajoen Luvialla, Porin eri alueilla ja Pomarkussa. (Kuva 60).

Taulukko 43. Neulasten alkuainepitoisuudet samoina pysyneillä tutkimusaloilla tämän tutkimuksen ja vuoden 2014 tutkimuksen välillä. Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty parittaisten otosten t-testillä tai Wilcoxonin merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulokset on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***)

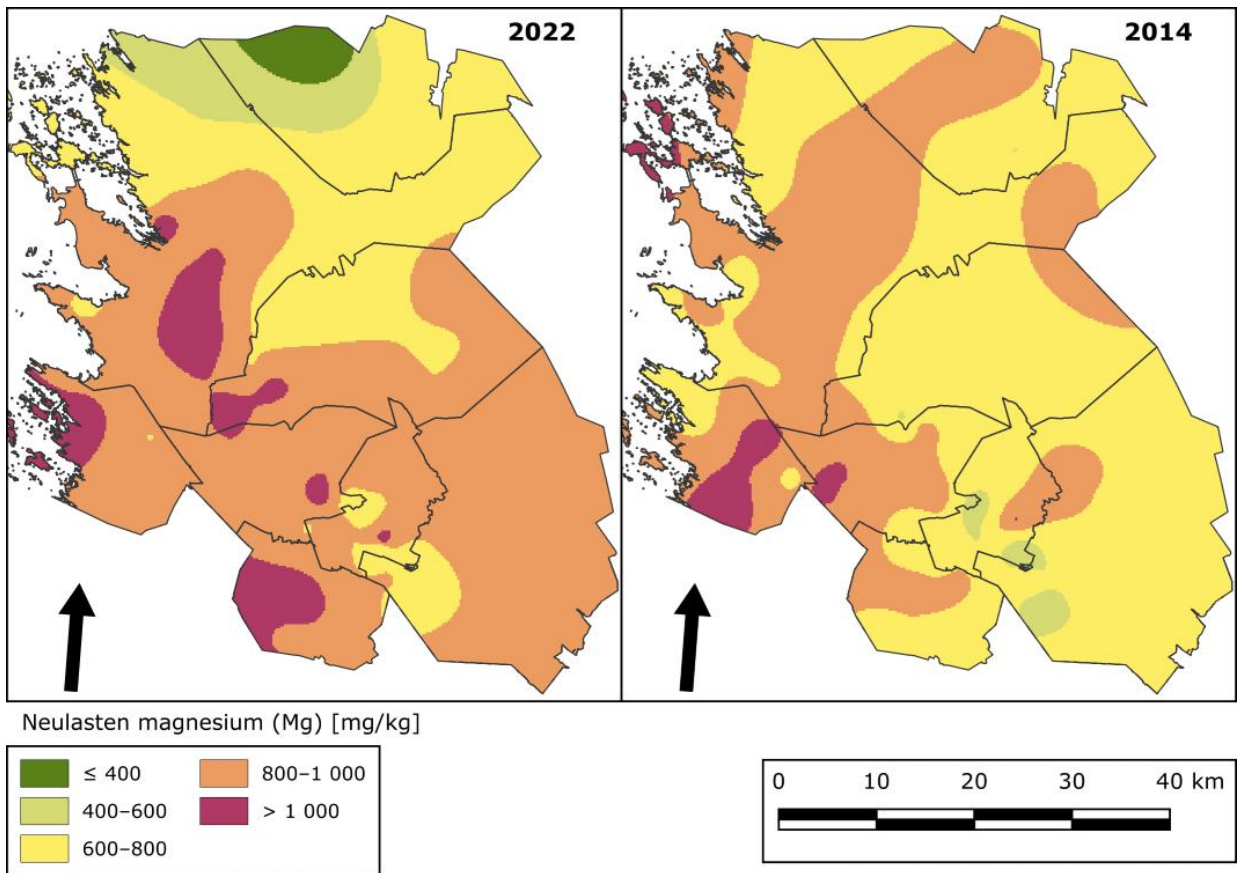
n = 75	Vuosi	Keski-arvo	Mediaani	Pienin	Suurin	Keskihajonta	Testisuure	p-arvo
kalium (K)	2022	5 800	5 800	960	8 000	920	t = 9,463	< 0,001 ***
[mg/kg]	2014	4 500	4 500	3 100	6 500	750		
kalsium (Ca)	2022	3 900	3 900	520	6 400	980	t = -4,389	< 0,001 ***
[mg/kg]	2014	4 500	4 500	2 200	7 600	1 000		
magnesium (Mg)	2022	860	850	140	1 200	170	t = 4,055	< 0,01 **
[mg/kg]	2014	780	750	400	1 200	160		
mangaani (Mn)	2022	530	490	130	1 800	280	t = -4,452	< 0,001 ***
[mg/kg]	2014	710	720	210	1 300	270		
rikki (S)	2022	1 000	1 000	120	1 400	160	V = 648	< 0,001 ***
[mg/kg]	2014	1 100	1 100	820	1 600	160		
typpi (N)	2022	1,4	1,4	1,1	1,8	0,15	V = 1282	0,572
[%]	2014	1,4	1,4	1,2	1,7	0,12		



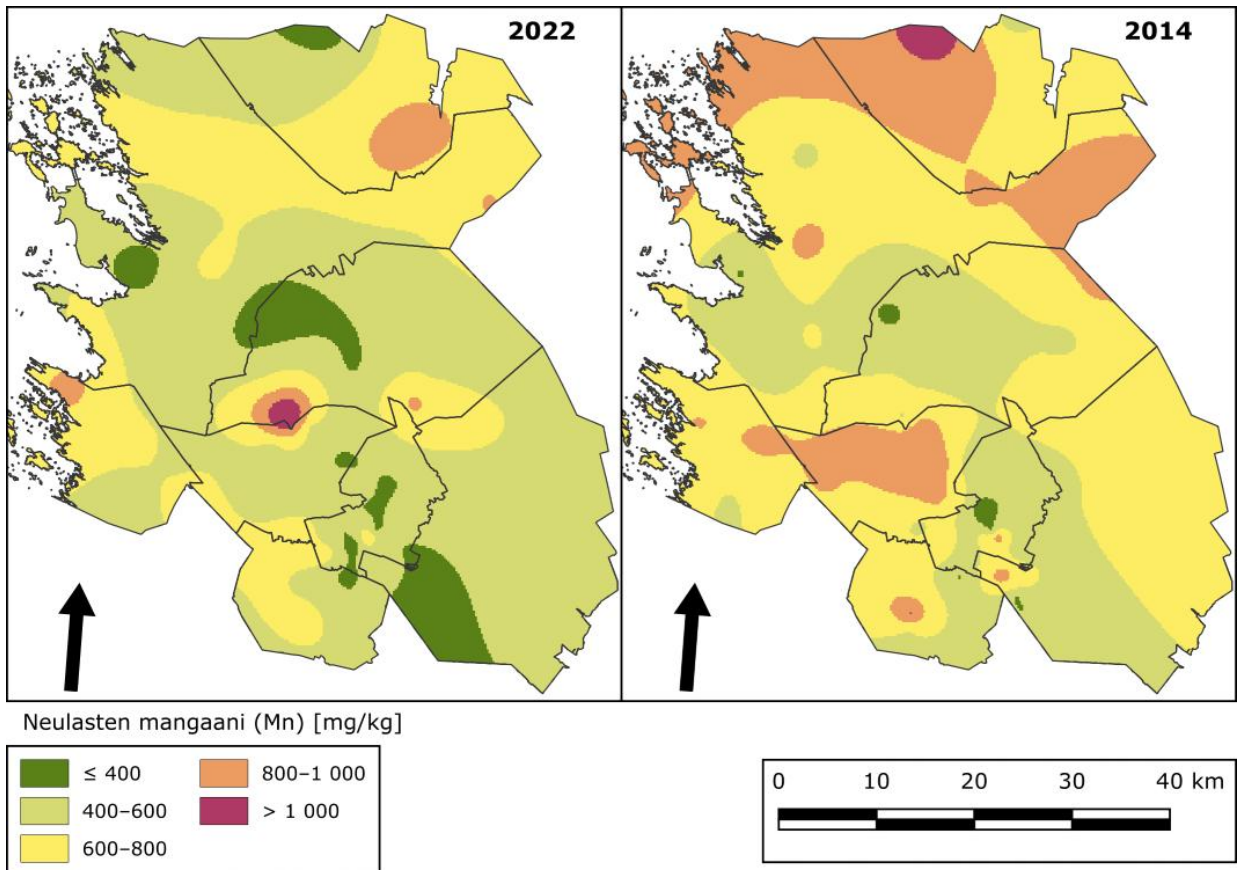
Kuva 56. Männyin neulasten kaliumpitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



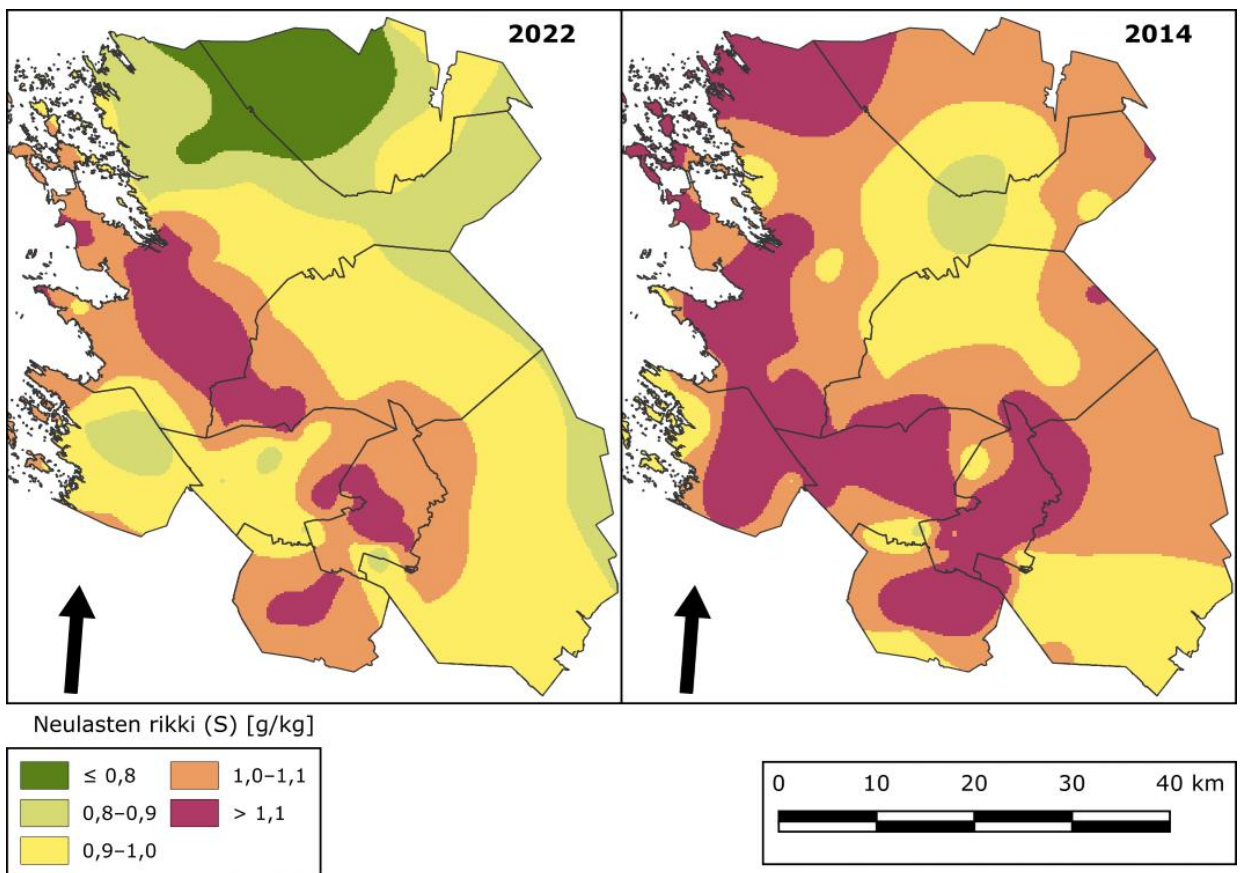
Kuva 57. Männyin neulasten kalsiumpitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



Kuva 58. Männyin neulasten magnesiumpitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



Kuva 59. Männyn neulasten mangaanipitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



Kuva 60. Männyn neulasten rikkipitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.

6.1.3.2 Vertailu alueen tutkimuksiin vuosina 1990, 1992, 1996, 2001, 2007 ja 2014

Neulasten alkuainepitoisuuksista rikin määrä oli pienimmillään vuonna tässä tutkimuksessa, ja tulos 900 mg/kg on rikkipitoisuuden optimin alarajalla. Selviä trendejä ei ollut havaittavissa muiden alkuaineiden osalta. Kalsiumin ja kaliumin määrät olivat selvästi pienempiä kuin vuonna 2014 mutta suurempia kuin muina tutkimusvuosina. Magnesiumin ja mangaanin määrät osuivat likimain havaintovuosien keskiarvoiseen tulokseen. Typen määrä on pysynyt suhteellisen vakiona vuodesta 2001 alkaen. (Taulukko 44)

Taulukko 44. Männyn neulasten keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia aikaisempina tutkimusvuosina. Keskiarvot on laskettu kunkin havaintovuoden kaikkien tulosten keskiarvona. n = tutkimusalojen lukumäärä; – = pitoisuutta ei raportoitu.

Vuosi	n	N [%]	S [mg/kg]	Ca [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [mg/kg]
1990	166	–	1 200	–	–	–	–
1992	128	–	1 200	3,4	4,9	0,93	740
1996	175	1,2	980	3,5	5,1	0,85	630
2001	166	1,4	970	3,3	5,6	0,87	580
2007	173	1,5	980	3,4	5,5	0,76	520
2014	107	1,4	1 100	4,4	4,5	0,76	270
2022	152	1,4	900	3,8	5,7	0,85	500

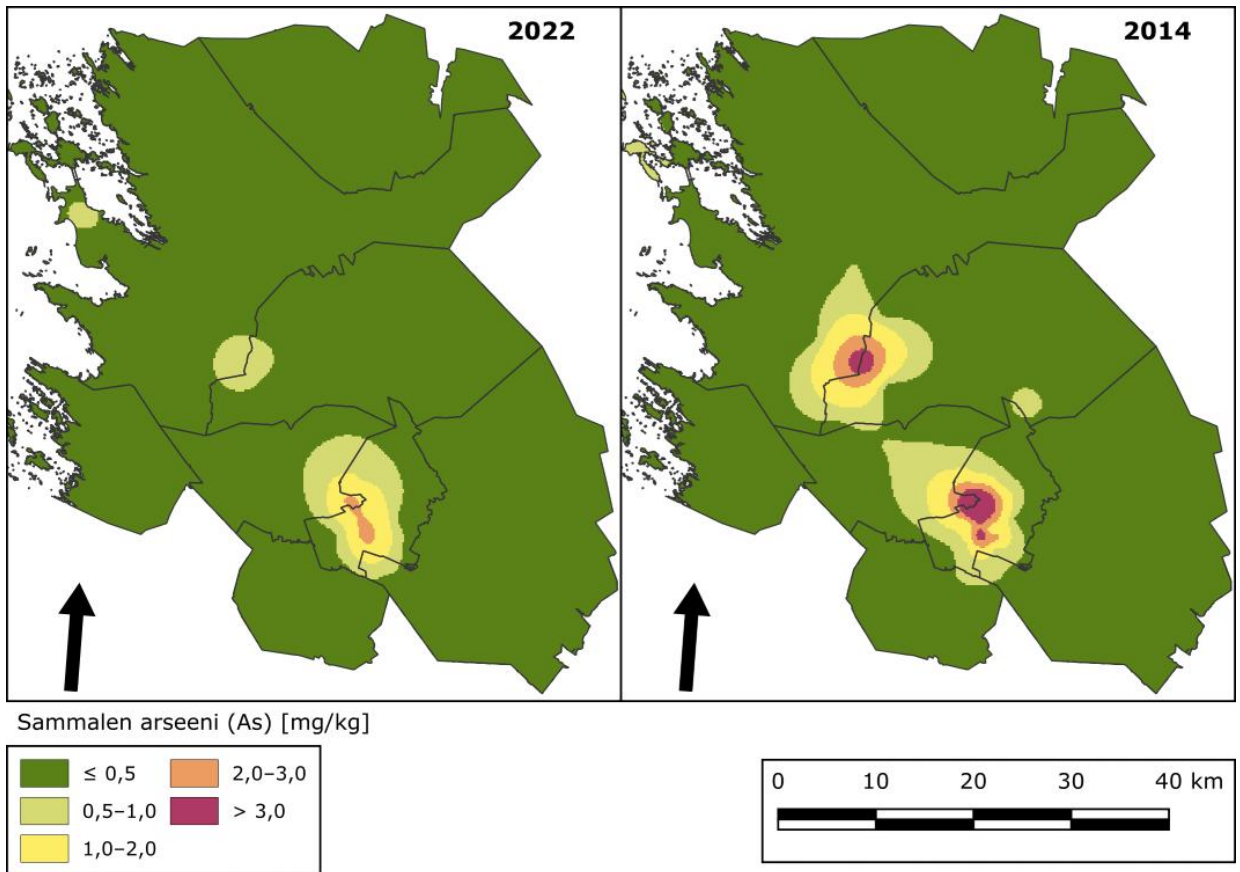
6.1.4 Sammalen alkuainepitoisuuksien vertailu

6.1.4.1 Vuosien 2022 ja 2014 vertailu

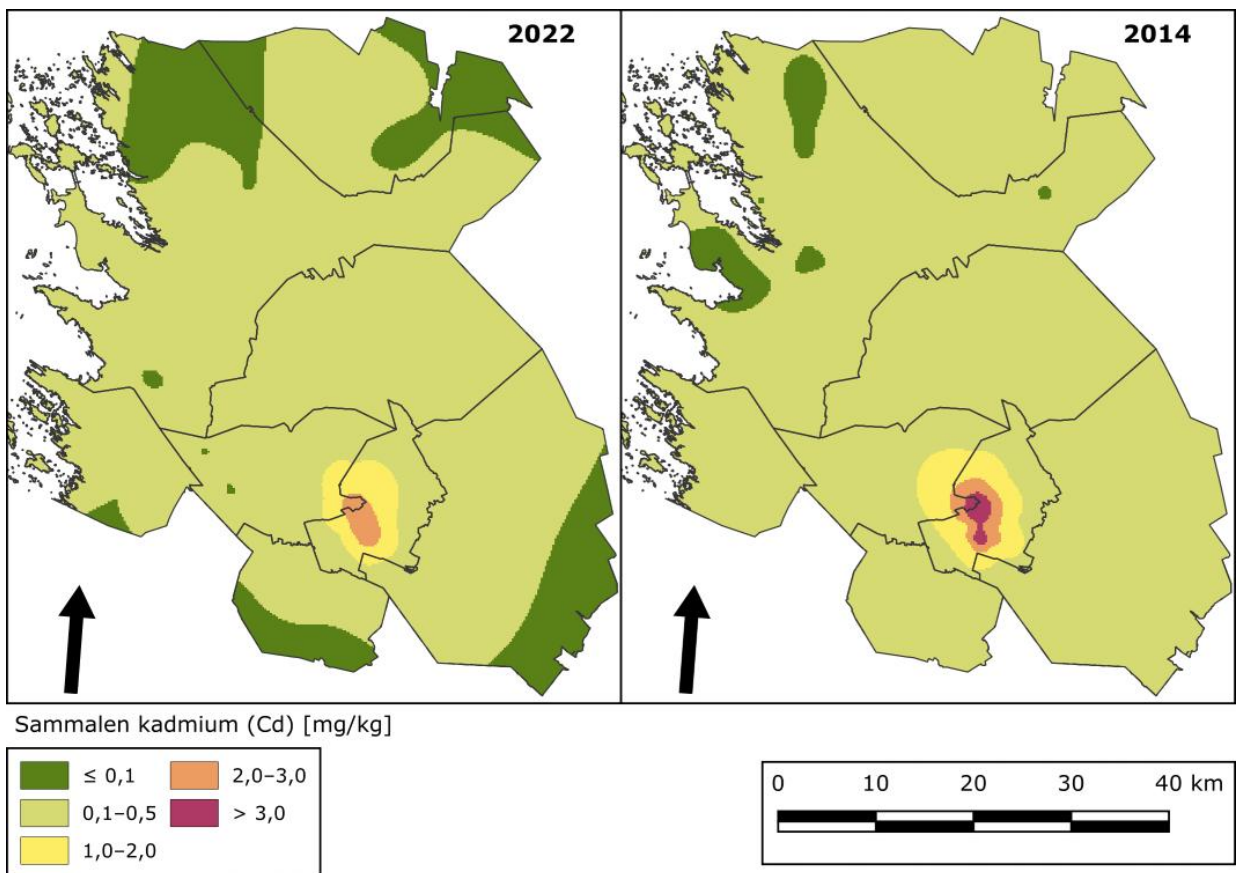
Samoina pysyneillä aloilla kaikkien alkuaineiden keskimääräiset pitoisuudet sammalissa olivat muuttuneet tilastollisesti erittäin merkitsevästi paitsi elohopean, sinkin ja titaanin osalta, joiden muutoksella ei ollut merkitsevyyttä. Kromin ja nikkelin pitoisuudet olivat kasvaneet, ja muiden alkuaineiden pitoisuudet olivat pienentyneet. (Taulukko 45)

Taulukko 45. Sammalen alkuainepitoisuudet samoina pysyneillä tutkimusaloilla tämän tutkimuksen ja vuoden 2014 tutkimuksen välillä. Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty Wilcoxonin merkkitestillä. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***)

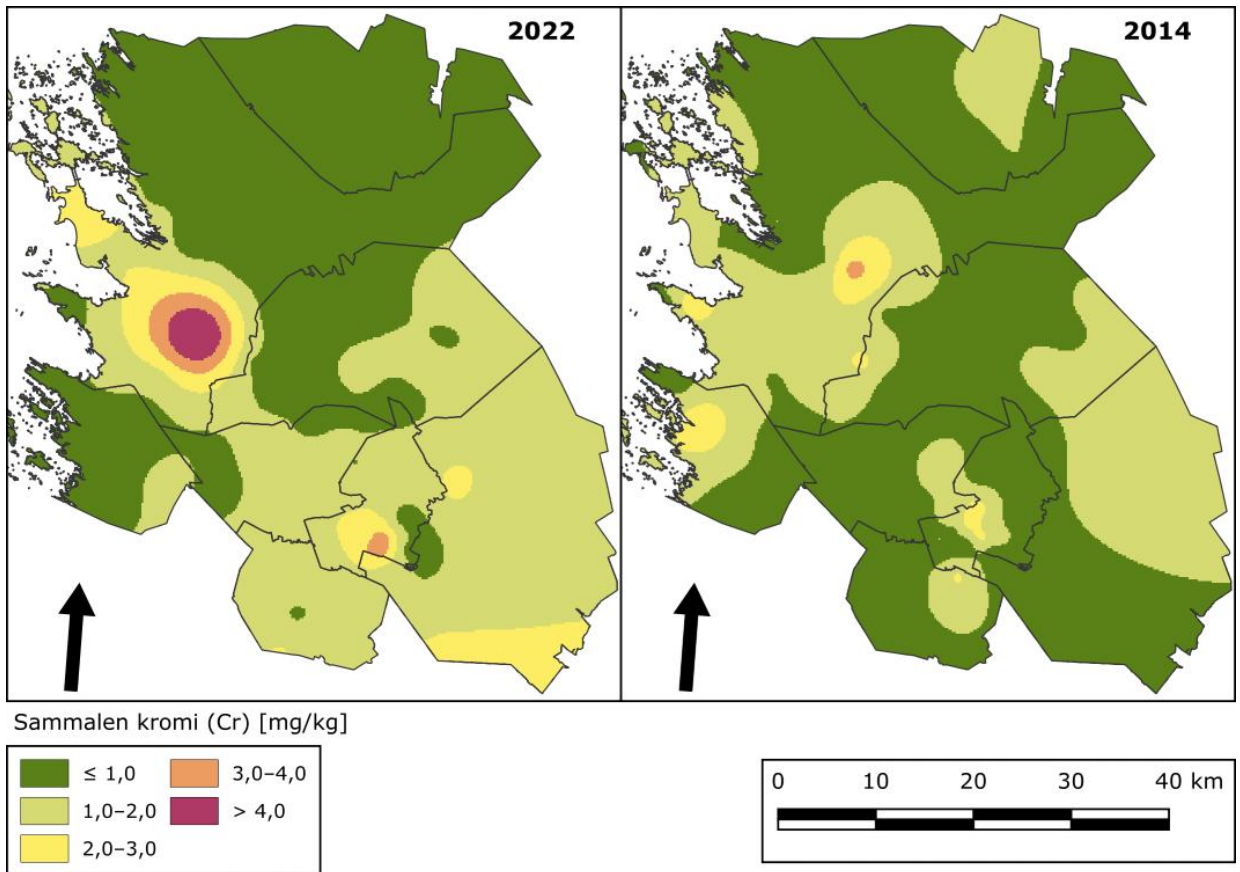
n = 75	Vuosi	Keskiarvo	Mediaani	Pienin	Suurin	Keski-hajonta	Testisuure	p-arvo
arseeni (As)	2022	0,37	0,18	<0,05	2,5	0,49	V = 610	< 0,001 ***
	2014	0,62	0,30	0,060	6,8	1,1		
elohopea (Hg)	2022	0,034	0,031	<0,02	0,14	0,023	V = 969	0,109
	2014	0,040	0,030	0,020	0,14	0,020		
kadmium (Cd)	2022	0,27	0,17	0,060	1,4	0,26	V = 512	< 0,001 ***
	2014	0,37	0,20	0,070	2,3	0,40		
kromi (Cr)	2022	1,3	1,1	0,21	6,3	0,96	V = 2010	< 0,001 ***
	2014	0,97	0,80	0,20	3,5	0,66		
kupari (Cu)	2022	32	16	4,6	220	41	V = 1972	< 0,001 ***
	2014	33	13	4,0	380	59		
lyijy (Pb)	2022	1,7	1,1	0,50	9,8	1,7	V = 653	< 0,001 ***
	2014	2,6	1,7	0,50	23	3,6		
nikkeli (Ni)	2022	16	5,9	0,86	160	28	V = 2393	< 0,001 ***
	2014	9,8	4,0	1,0	120	18		
rauta (Fe)	2022	370	280	85	1 600	330	V = 1916	< 0,001 ***
	2014	340	240	96	1 600	300		
seleeni (Se)	2022	0,24	0,18	<0,1	2,6	0,32	V = 529	< 0,001 ***
	2014	0,43	0,21	0,10	11	1,2		
sinkki (Zn)	2022	37	33	20	120	16	V = 1138	0,422
	2014	41	34	19	160	25		
titaani (Ti)	2022	14	11	<5	82	12	V = 1094	0,080
	2014	18	14	5,8	90	15		
vanadiini (V)	2022	0,61	0,56	0,20	2,4	0,38	V = 620	< 0,001 ***
	2014	0,91	0,70	0,30	3,6	0,63		



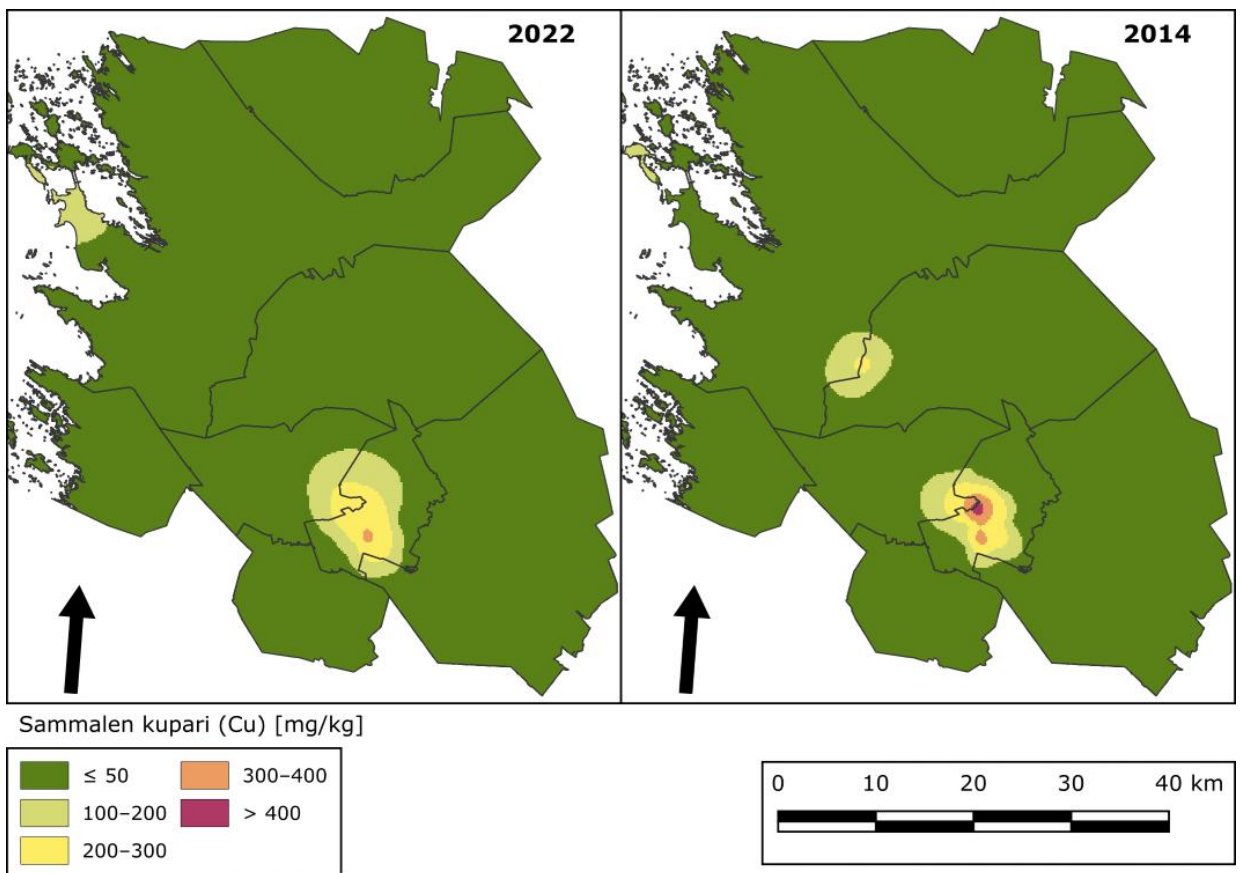
Kuva 61. Sammalen arseenipitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



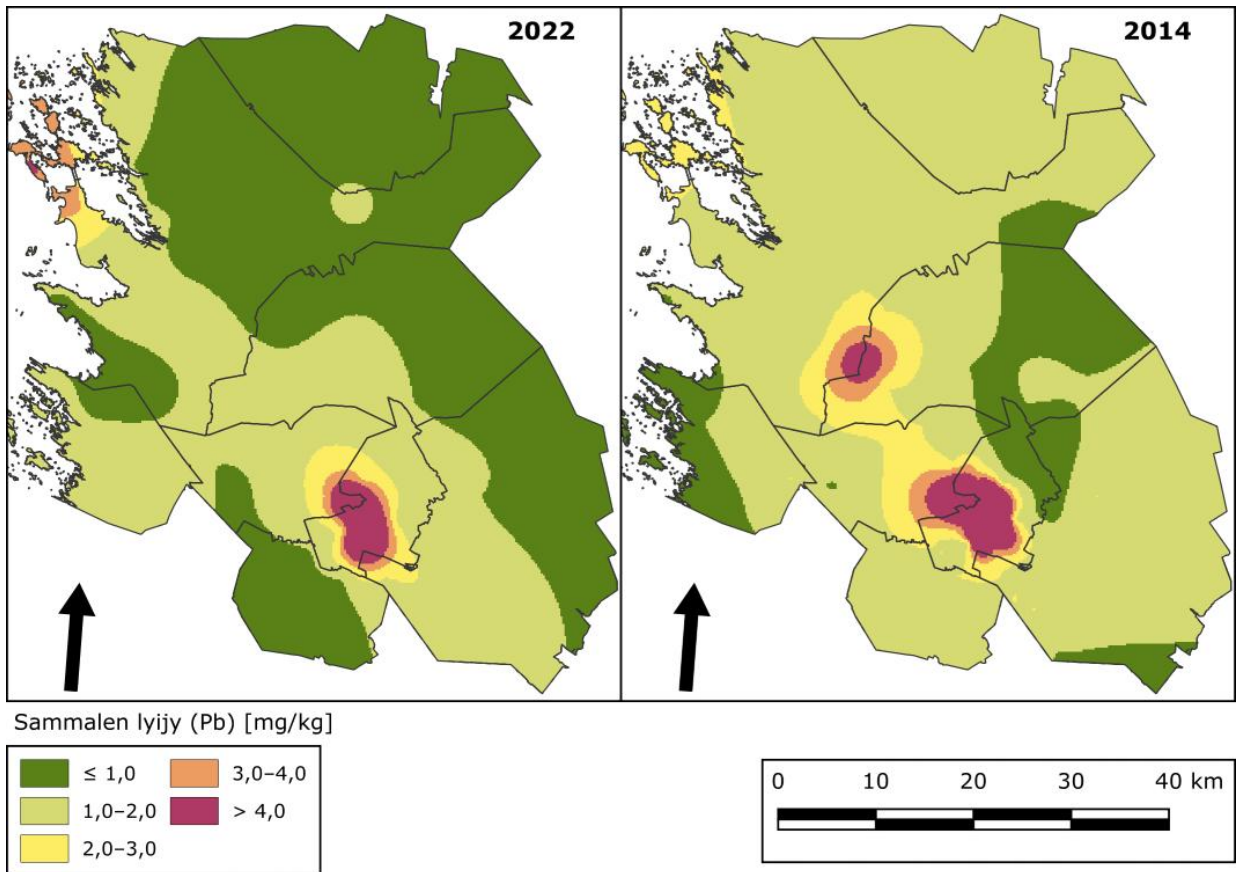
Kuva 62. Sammalen kadmiumpitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



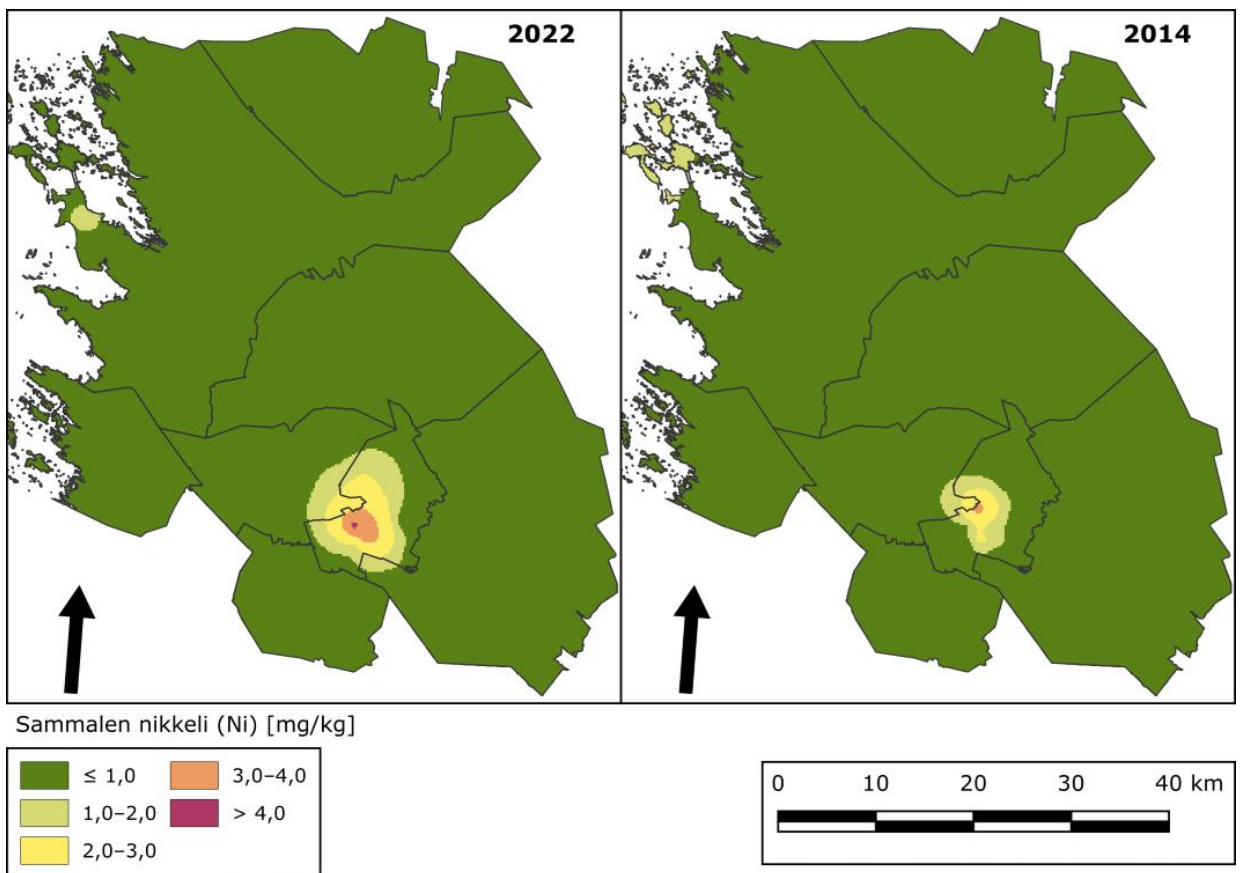
Kuva 63. Sammalen kromipitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



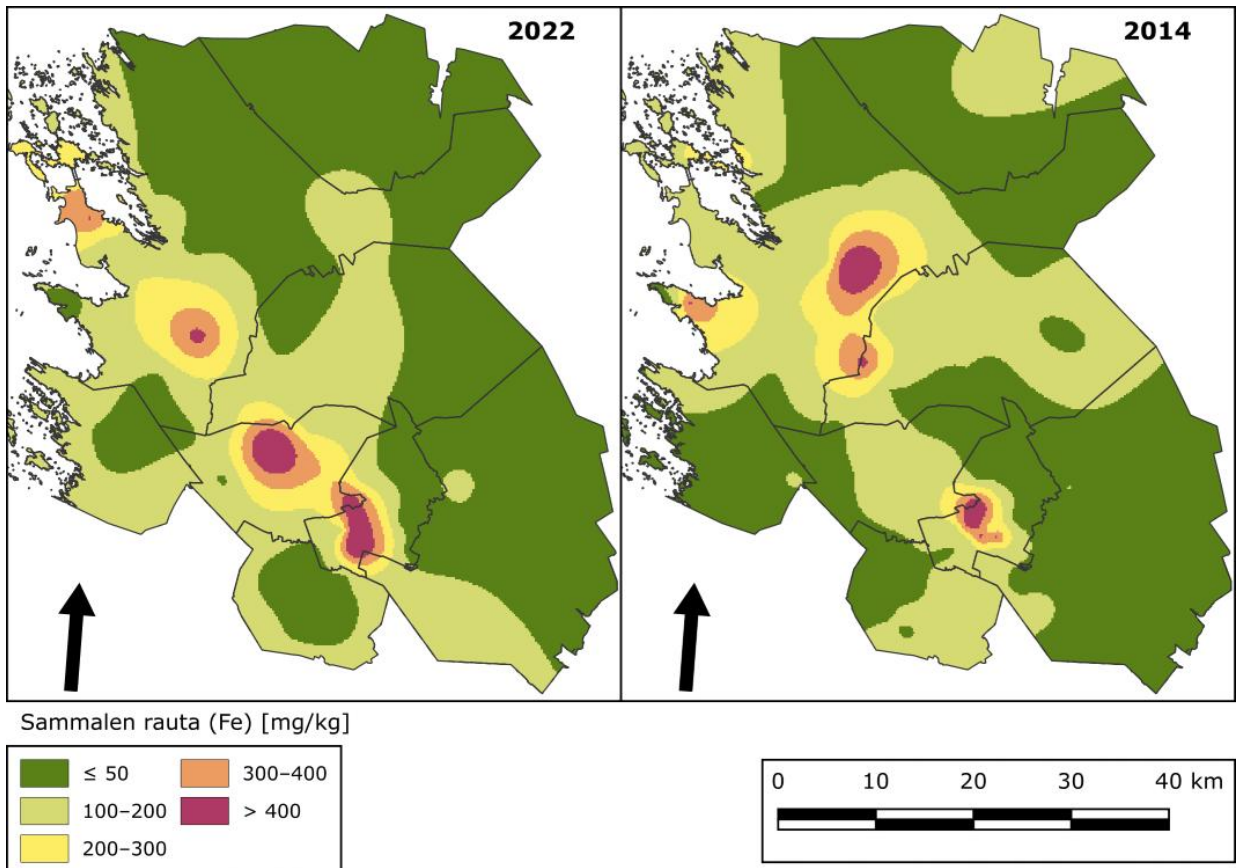
Kuva 64. Sammalen kuparipitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



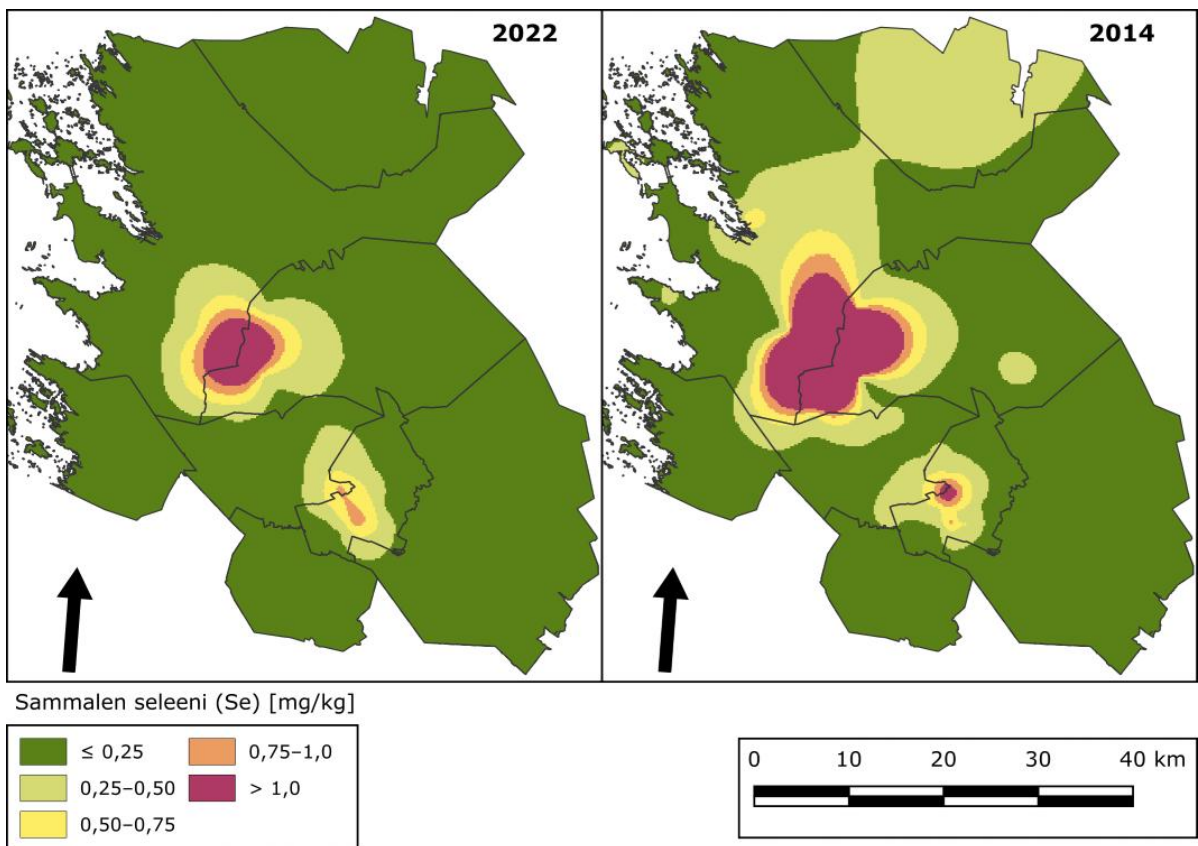
Kuva 65. Sammalen lyijypitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



Kuva 66. Sammalen nikkelpitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



Kuva 67. Sammalen rautapitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.



Kuva 68. Sammalen seleenipitoisuuksien (mg/kg) interpoloidut vyöhykkeet vertailualueella vuosina 2022 ja 2014.

6.1.4.2 Vertailu alueen tutkimuksiin vuosina 1990, 1992, 1996, 2001, 2007 ja 2014

Vertailussa ovat mukana kaikki alat kaikilta tutkimusvuosilta, ja alojen kattavuus ja kuormitetun alueen ulkopuolella sijaitsevien alojen lukumäärä vaikuttavat keskiarvoihin. Joka tapauksessa pitoisuuksien muutostrendien arvioidaan olevan havaittavissa.

Vertailtavista sammalen alkuainepitoisuuksista kaikki olivat olleet selvästi suurempia vuosien 1996–2014-tutkimuksissa kuin tässä tutkimuksessa lukuun ottamatta kromia, jonka pitoisuus oli kasvanut vuodesta 2014. Etenkin teollisuuskeskittymien ja vilkkaan liikenteen alueiden ulkopuolella pitoisuudet ovat laskeneet tarkastelujaksolla. Selvä pudotus pitoisuuksissa oli tapahtunut vuosien 2007 ja 2014 välillä. (Taulukko 46)

Taulukko 46. Sammalen alkuainepitoisuuksien keskiarvopitoisuuksia (mg/kg) eri tutkimusvuosina. n = tutkimusalojen määrä, – = pitoisuutta ei ollut raportoitu. Tarkastelussa ovat mukana ne alkuaineet, jotka oli todettu vertailukelpoisiksi vuoden 2007 raportissa. Cd = kadmium, Cr = kromi, Cu = kupari, Ni = nikkeli, Pb = lyijy, Se = seleeni, Ti = titaani, V = vanadiini, Zn = sinkki. Aikaisemmat pitoisuudet lähteestä Nab Labs 2016b.

vuosi	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Ti	V	Zn
1996	95	0,45	9,2	220	40	17	–	43	2,6	74
2001	95	0,4	5,4	63	38	5,1	0,33*	30	1,2	58
2007	96	0,54	1,5	95	30	5,9	0,32	29	2,5	55
2014	143	0,35	0,9	30	9,0	2,3	0,36	17	0,9	40
2022	152	0,33	1,3	11	3,6	1,0	0,15	11	0,50	30

* n = 31.

6.2 Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

6.2.1 Mäntyjen runkojäkälät

Tässä selvityksessä puukohtainen lajilukumäärä oli pienempi kuin useimmissa muissa vertailuissa tutkimuksissa lukuun ottamatta Seinäjoen seutua ja Etelä-Pohjanmaata 2022 sekä Kokkolaa ja Pietarsaarta 2018. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli selvästi pienempi tässä tutkimuksessa kuin Seinäjoen seudulla ja Etelä-Pohjanmaalla 2022, Uudellamaalla 2020, Kokkolassa ja Pietarsaarella 2018, Kanta- ja Päijät-Hämeessä 2014 sekä Uudellamaalla 2014.

Sormipaisukarpeen vaurioasteen ja puukohtaisen lajilukumäärän erot voi johtua ilmanlaadun lisäksi osittain alojen sijoittumisesta eri tutkimuksissa eri tavoin. Jos suuri osa tutkimuksen aloista sijaitsee teollisuuden vaikutuspiirissä tai taajamissa, todennäköisesti aloilla on keskimäärin enemmän vaurioita ja lajimuutoksia.

Taulukko 47. Sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurio ja puukohtainen lajilukumäärä tässä tutkimuksessa sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Eurofins Ahma 2022, Eurofins Ahma 2019, Nab Labs 2016, Nab Labs 2016b, Keskitalo ym. 2015, Huuskonen ym. 2013, Lehkonen ym. 2013, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2010, Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a-b.

Alue	Tutkimusvuosi	n	Sormipaisukarpeen vaurio	Lajilukumäärä / puu
Porin seutu ja Etelä-Satakunta	2022	152	2,2	3,6
Seinäjoen seutu ja Etelä-Pohjanmaa	2022	96	3,0	–
Pohjois-Karjala	2020	315	1,9	5,5
Uusimaa	2020	501	2,5	3,9
Kokkola & Pietarsaari	2018	240	2,6	3,1
Kanta- ja Päijät-Häme	2014	304	2,5	4,5
Uusimaa	2014	734	2,5	4,4
Kokkola & Pietarsaari	2012	238	2,3	3,9
Etelä-Karjala	2012	263	2,1	4,9
Pohjois-Karjala	2010	300	1,9	6,0
Uusimaa	2009	776	2,1	4,7
Pyhäjärviseu-tu	2007	98	2,1	5,3
Vakka-Suomi	2006	103	2,1	5,1
Länsi-Suomi	2006	398	2,1	4,1

6.2.2 Mäntyjen elinvoimaisuus

Havaintopuiden neulaskato oli samalla tasolla kuin muiden alueiden pienimmät arvot, mutta eteläisessä ja kaakkoisessa Suomessa keskimääräinen neulaskato oli ollut tutkimuksissa selvästi suurempaa. Har-suuntuneita mäntyjä oli tässä tutkimuksessa enemmän kuin Pyhäjärviseu-dulla 2007, Länsi-Suomessa 2006 ja Keski-Suomessa 2005, mutta osuus oli samalla tasolla kuin Päijät-Hämeessä 2014 ja Turun seudulla 2005. Tutkimusalueella neulasvuosikertoja oli vähemmän kuin muiden alueiden aikaisemmissa tutkimuksissa. Mahdollisesti neulasvuosikertojen vähyys liittyy paikallisiin ilmasto-oloihin sekä ilmaston ja sääolojen muuttumiseen viimeisen kymmenen vuoden aikana. (Taulukko 48)

Taulukko 48. Mäntyjen elinvoimaisuutta kuvaavia tunnuslukuja tässä tutkimuksessa sekä eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Nab Labs 2016, Lehkonen ym. 2013, Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2007, Haahla ym. 2006 ja Niskanen ym. 2003.

Alue	Tutkimus- vuosi	n	Neulaskato [%]	Harsuuntuneiden puiden osuus [%]	Neulasvuosikerrat
tämä tutkimus	2022	1520	15	11	2,6
Päijät-Häme	2014	1520	19	12	3,0
Etelä-Karjala	2012	1315	19	25	3,2
Pyhäjärviseu	2007	980	16	5	3,1
Vakka-Suomi	2006	515	16	18	3,1
Turun seutu	2005	725	15	10	3,3
Länsi-Suomi	2006	3968	14	6	3,4
Keski-Suomi	2005	4920	14	8	3,3
Kotka	2002	1244	18	25	3,1

6.2.3 Neulasten alkuainepitoisuudet

Tämän tutkimuksen neulasnäytteissä oli keskimäärin tarkastelun suurin kaliumin pitoisuus, ja sama pitoisuus havaittiin myös Kokkolan–Pietarsaaren tutkimuksessa 2018. Kalsiumin, magnesiumin ja typen pitoisuudet olivat likimain vertailututkimusten keskitasolla. Mangaania ja rikkiä oli neulasissa niukasti verrattuna useimpiin muihin tutkimuksiin. (Taulukko 49)

Taulukko 49. Neulasten alkuainepitoisuuksia tässä tutkimuksessa ja aikaisemmissa bioindikaattoriselvityksissä. Muut tulokset lähteistä Eurofins Ahma 2022, Eurofins Ahma 2019, Nab Labs 2016b, Nab Labs 2016, Huuskonen ym. 2012, Mälkönen 1991 ja Raitio 1994 mukaan; Huuskonen ym. 2009, Laita ym. 2008c-f, Merilä 2007, Haahla ym. 2006, Polojärvi ym. 2005.

Vuosi	Vuosi	Kalsium	Kalium	Magnesium	Mangaani	Typpi	Rikki
tämä tutkimus	2022	3 800	5 700	850	500	1,4	900
Seinäjoen seutu ja Etelä-Pohjanmaa	2022	3 500	5 400	940	400	1,4	960
Kokkola–Pietarsaari	2018	4 000	5 700	780	440	1,5	990
Pori–Harjavalta	2014	4 400	4 500	760	700	1,4	1 100
Kanta- ja Päijät-Häme	2014	4 200	4 600	830	–	1,3	1 100
Kokkola–Pietarsaari	2012	2 900	5 500	780	390	1,4	950
Pyhäjärviseu	2007	3 300	5 600	770	510	1,5	990
Seinäjoki	2006	3 200	4 700	880	400	1,5	970
Suupohja	2006	3 400	4 400	890	900	1,5	1 000
Vaasa	2006	3 500	5 300	880	520	1,5	1 000
Vakka-Suomi	2006	3 500	5 100	890	560	1,6	1 100
Turku	2006	4 400	5 600	1000	570	1,6	1 100
Keski-Suomi	2005	4 800	5 700	1000	–	1,6	1 100

6.2.4 Sammalen alkuainepitoisuudet

Tässä kappaleessa on tarkasteltu sammalen alkuainepitoisuuksien keskiarvoja. Tämän tutkimuksen lisäksi tarkastelussa olivat bioindikaattoritutkimukset Pohjois-Karjalasta (2020), Porin-Harjavallan seudulla (2014) sekä Kokkolassa ja Pietarsaareissa (2018 ja 2014), Pohjois-Karjalassa (2010) ja Seinäjoen seudulla (2012) (Taulukko 50).

Tässä tutkimuksessa sammalissa oli eniten kuparia vertailuaineistoon nähden. Muiden alkuaineiden pitoisuudet olivat pienempiä kuin Seinäjoen seudulla ja Etelä-Pohjanmaalla vuonna 2022. Elohopean, lyijyn, vanadiinin, sinkin, raudan ja arseenin pitoisuudet olivat pienempiä tässä tutkimuksessa kuin muissa tarkastelluissa selvityksissä lukuun ottamatta mainittua Seinäjoen seudun selvitystä. Havainnot viittaavat siihen, että Pohjois-Karjalassa metallikuormitusta on niukasti, Seinäjoen seudulla alojen sijoittuminen kuormitetulle alueelle selittää pitoisuuksia ja että aikaisemmin metallipäästöt olivat yleisesti suurempia.

Taulukko 50. Sammalen keskimääräisiä alkuainepitoisuuksia tutkimusaloilla tässä tutkimuksessa ja muilla alueilla. Muut tulokset lähteistä Ruuth ym. 2021, Eurofins Ahma 2022, Eurofins Ahma 2019, Nab Labs 2016b, Ruuth 2014 ym., Huuskonen ym. 2012, Lehtonen 2011, Huuskonen 2008, Lehtinen ja Lepola 2012.

Alue ja vuosi	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn	Fe	As
tämä tutkimus	0,15	1,2	11	0,029	3,6	1,0	0,50	30	240	0,13
Seinäjoen seutu 2022	0,11	9,6	7,2	0,041	5,4	1,5	2,2	47	1 200	0,88
Pohjois-Karjala 2020	0,11	0,56	5,3	–	1,2	0,57	0,56	34	190	0,070
Kokkola–Pietarsaari 2018	0,23	0,76	5,7	0,061	1,1	2,3	0,89	80	340	0,20
Kanta- ja Päijät-Häme 2014	0,17	1,1	6,0	0,04	1,4	3,1	1,4	42	–	–
Kokkola–Pietarsaari 2014	0,24	1,1	6	0,05	2,1	2,6	1,1	74	440	0,23
Pohjois-Karjala 2010	0,16	1,7	5,2	–	2,5	1,9	1,6	38	430	0,16
Seinäjoen seutu 2012	0,11	3,6	5,8	0,03	2,6	1,1	1,2	32	440	0,38

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmanlaatua on seurattu Satakunnassa Porin ja Harjavallan alueella vuodesta 1990 lähtien. Vuonna 2022, jolloin tutkimusalueeseen kuului myös Etelä-Satakunnan kuntia, seurantaä jatkettiin, ja ilmanlaadun bioindikaattoreina käytettiin männyn runkojäkäliä, männyn elinvoimaisuutta sekä neulasten ja seinäsamalen alkuainepitoisuuksia.

Tutkimusalueella on runsaasti metalliteollisuutta ja energiantuotantoa, jotka aiheuttavat rikkidioksidin, typen oksidien, hiukkasten ja raskasmetallien päästöjä. Lisäksi ilman epäpuhtauksien päästöjä aiheuttavat liikenne, maatalous ja asuntojen lämmitys. Paikallisen teollisuuden ja liikenteen aiheuttamat ilman epäpuhtauksien päästöt sekä myös kaukokulkeuma ovat vähentyneet merkittävästi 1980-luvun jälkeen, kun säädösten kiristymisen myötä on otettu käyttöön savukaasujen käsittely ja autotekniikka on kehittynyt.

Tutkimusalueella suurin osa rikkidioksidipäästöjä muodostui Harjavallan suurteollisuudesta, ja huomattavia päästöjä syntyi myös Porin metalliteollisuudesta ja energiantuotannosta. Typen oksidien päästöistä suurin osa syntyi Porin energiantuotannossa, ja hiukkasissa Harjavalta ja Pori olivat likimain samalla tasolla. Päästö määrät ovat olleet pääasiassa laskusuunnassa viimeisen 20 vuoden aikana.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset useimpiin indikaattoreihin olivat selvästi havaittavissa voimakkaimmin kuormitetuilla alueilla. Useimmat jäkälämuuttajat ja sammalen alkuainepitoisuudet kuvasivat selvästi päästökuormituksen vaikutusta, ja ne olivat siten hyviä yleisindikaattoreita. Merkittävimmiksi jäkälämuuttajiksi arvioitiin sormipaisukarpeen vaurioaste ja ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä. Kaikki sammalesta määritetyt alkuaineet olivat runsaampia ilmanlaatua heikentävien päästölähteiden ympäristössä verrattuna tausta-alueisiin. Tarkastelluista neulasmuuttujista ilmanlaatua seurasivat parhaiten rikin, typen ja kaliumin pitoisuudet. Neulaskadolla ei havaittu olevan selvää yhteyttä päästölähteisiin.

Porin seudun ja Etelä-Satakunnan alueen jäkälälajisto oli keskimäärin köyhtyneen ja lievästi köyhtyneen välillä lajilukumäärän perusteella. Sormipaisukarve oli keskimäärin lievästi vaurioitunut, ja lajiston yleiset vauriot olivat keskimäärin selviä. Selvimpä sormipaisukarpeen vauriot olivat Harjavallan Suurteollisuuspuiston lähellä sekä Porin keskustassa, mutta yleisen lajiston vauriot olivat pahoja useiden taajamien läheisyydessä sekä yleisesti Kokemäenjokilaaksossa. Sormipaisukarpeen vauriot olivat kuitenkin lieviä jo vähänkin etäämpänä kuormituksesta. Vauriot korreloivat ilman typpidioksidipitoisuuden (EEA) kanssa, missä näkyvät myös liikenteen päästöt.

Sormipaisukarve oli tervettä seitsemällä alalla, jotka sijaitsivat suhteellisen etäällä päästölähteistä. Luonnontilaisimmat yleistetyt vyöhykkeet sijaitsivat Eurajoella ja Pomarkussa, ja pienemmät alueet Eurassa ja Nakkilan länsipäässä. Yleisimmin sormipaisukarpeen vauriot olivat lieviä, ja lievien vaurioiden vyöhyke peitti suurimman osan tutkimusalueella.

Jäkälälajisto oli köyhtynyt teollisuuden lähellä ja useiden taajamien ympäristössä lajilukumäärän ja IAP-indeksin perusteella. Erittäin selvästi köyhtyneen lajiston havaintoaloja sijaitsi etenkin Harjavallassa ja Nakkilassa ympäristössä ja Kokemäenjoen varrella. Lähimpänä luonnontilaista lajisto oli lajilukumäärän perusteella Pomarkussa, ja terveen lajiston havaintoaloja oli tutkimusalueen joka kunnassa, myös suhteellisen lähellä teollisuuden päästölähteitä.

Sormipaisukarpeen vaurioaste oli Porin seudulla ja Etelä-Satakunnassa vuonna 2022 oli keskimäärin suurempi kuin vähän kuormitetuilla alueilla mutta pienempi kuin alueilla, joilla on voimakasta teollisuuden, liikenteen ja muun ihmistoiminnan vaikutusta (Seinäjoen seutu 2022, Uusimaa 2020, Kokkola–Pietarsaari 2018). Puukohtainen lajilukumäärä oli tässä tutkimuksessa pieni verrattuna useimpiin aikaisempiin eri puolella maata tehtyihin selvityksiin.

Neulasten ravinnepitoisuudet eivät olleet yhtä selvästi sidoksissa teollisuuden päästölähteisiin kuin jäkälämuuttajat tai sammalen metallipitoisuudet. Rikin, kaliumin ja typen pitoisuudet kuitenkin korreloivat erittäin merkittävästi: pitoisuudet olivat suurempia päästölähteiden läheisyydessä. Myös muiden ravinteiden pitoisuudet olivat suurempia lähempänä teollisuuden päästölähteitä, paitsi mangaanin, tosin korrelaatio oli suhteellisen pieni. Ilman typpidioksidipitoisuus oli merkittävä neulasten typpipitoisuutta ennustava tekijä, mikä kertoo ravinnekuormituksesta.

Melkein kaikkien metallien pitoisuudet sammalessa olivat selvästi kytköksissä teollisuuden päästölähteisiin. Useimmat suurimmat pitoisuudet havaittiin Harjavallan teollisuuden vaikutuspiirissä, mutta tiitaanin ja vanadiinin suurimmat yksittäiset määrät havaittiin Porin alueella. Pitoisuudet olivat yleisesti hieman koholla Meri-Porissa ja Ulvilassa Porin Metallinkylän lähellä sekä satunnaisesti muuallakin.

Teollisuuden ja liikenteen päästökehitys 1990-luvulta alkaen on selvästi havaittavissa sammalten alkuaikanepitoisuuksissa. Metallien pitoisuudet olivat tässä tutkimuksessa sammalissa selvästi pienempiä kuin vuosina 1996–2007, ja myös vuodesta 2014 pitoisuudet olivat pienentyneet paitsi kromin ja raudan osalta.

Sammalten metallipitoisuudet olivat pienentyneet selvästi 1990-luvulta. Suurimpien pitoisuuksien esiintymisaluet olivat supistuneet, ja tausta-alueiden pitoisuudet laskeneet. Neulaskato oli selvästi vähäisempää kuin 2000-luvun alussa ja yleensäkin vähäisempää kuin muina tutkimusvuosina, eikä tällä tutkimuskerralla ollut yhtään keskimäärin harsuuntunutta havaintoalaa. Männynneulasten ravinnepitoisuuksilla ei ole ollut selvää trendiä tutkimusvuosina paitsi rikillä, jonka määrä oli vuonna 2022 pienimmillään.

Jäkälämuuttujista lajilukumäärä ja sormipaisukarpeen peittävyys olivat pienentyneet vuodesta 2014 ja vaikuttivat indikoivan heikentyneitä ilmanlaatua päästöjen vähenemisestä huolimatta. Luonnontilaisen lajiston alueet olivat pienentyneet selvästi. Sormipaisukarpeen vaurioaste ei ollut muuttunut keskimäärin merkittävästi vuodesta 2014, mutta suurimmat vauriot olivat pienentyneet ja lievät vauriot hieman kasvaneet.

Jäkälä- ja sammalmuuttujien perusteella päästökuormituksen voidaan päätellä vähentyneen tausta-alueilla Kokemäenjokilaakson ulkopuolella. Tämä on myös yleinen havainto esim. kaukokulkeuman ja liikenteen päästöjen vähetessä.

Tämän tutkimuksen tilastotarkasteluissa ei aineiston saatavuuden vuoksi otettu huomioon päästömääriltään usein pieniä ja päästökorkeudeltaan matalia päästölähteitä (esim. jätevedenpuhdistamot, jätteenkäsittelylaitokset yms.). Kyseiset päästölähteet voivat aiheuttaa paikallisia, indikaattorimuuttujissa näkyviä vaikutuksia (esim. Nab Labs 2016, Huuskonen ym. 2012).

Suurin osa havaintoaloista sijoittui tutkimusalueelle siten, että niiden bioindikaattorit kuvasivat parhaiten suurimpien päästokeskittymien vaikutusta. Tämän takia tutkimuksen tulokset antavat luotettavinta tietoa kuormitetuimmilta alueilta, ja muiden alueiden tuloksia voidaan pitää enemmän suuntaa-antavina.

Talvilämpötilojen nousu niin, että lämpötila vaihtelee nollan asteen molemmin puolin, vaikeuttaa myös epifyyttijäkälän talvehtimista, ja nollan lähellä tapahtuva jäätyminen voi tappaa jäkälää (Bjerke 2011). Mahdollisesti etenkin sormipaisukarpeen peittävyys pienenee. Muutokset talviolosuhteissa saattavat olla osalle lajeista merkittävämpiä kuin muutokset kesäolosuhteissa. Jäkälät ovat kuitenkin ääreviin olosuhteisiin sopeutuneita (Werth 2011), joten ne kestävät hyvin ääriämpötiloja ja kuivuutta (Beckett ym. 2008).

Bioindikaattoriseuranta suositellaan toteutettavaksi tutkimuksellisista syistä vähintään nykyisen laajuudella alueella viiden–kuuden vuoden välein jatkossakin. Muutamien uusien taustamuuttujien (esim. ilmasto-oloihin tai ympäristöön liittyen) sisällyttäminen analyysiin voisi antaa näkökulmaa vaihtelujen syihin. Alojen määrää ei ole syytä karsia tämän tutkimuksen määristä. Uusien havaintoalojen perustamista suositellaan etenkin Kokemäelle, jotta huonosti katettujen alueiden tilanne tulisi selvitettyksi.

8. LÄHTEET

Beckett, R. P., Kranner, I., and Minibayeva, F. V. (2008). "Physiological ecology of carbon dioxide exchange," in *Lichen Biology*, ed. T. H. Nash (Cambridge: Cambridge University Press), 152–181.

Bjerke, J. W. (2011) Winter climate change: Ice encapsulation at mild subfreezing temperatures kills freeze-tolerant lichens. *Environmental and Experimental Botany* 72: 404–408.

Brække 1994: Brække, F., Diagnostiske grensevier for næringselementer i gran- og furunåler. *Aktuelt fra skogforsk* 15/94.

Carslaw ja Ropkins 2012: Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair --- an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*. Volume 27-28, 52–61.

EEA 2023: European air quality data (interpolated data)- Series. <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/82700fbd-2953-467b-be0a-78a520c3a7ef>. Euroopan ympäristövirasto, 2023.

Eurofins Ahma 2019: Lappalainen, N. & Leppänen, E.-M., Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2018. Eurofins Ahma Oy, 2019.

Eurofins Ahma 2022: Osmala, T., Jokinen, J. & Kajankari-Shelvey, P., Seinäjoen seudun ja Etelä-Pohjanmaan bioindikaattoritutkimus 2022. Eurofins Ahma Oy, 2022.

Fox ja Bouchet-Valat 2020: Fox, J., and Bouchet-Valat, M. (2020). Rcmdr: R Commander. R package version 2.7-1. Fox, J. (2017). *Using the R Commander: A Point-and-Click Interface for R*. Boca Raton FL: Chapman and Hall/CRC Press. Fox, J. (2005). *The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R*. *Journal of Statistical Software*, 14(9): 1–42.

Helmisaari 1993: Helmisaari, H.-S., Metsikön ja puun ravinnekierto. Teoksessa Hyvärinen, A., Juola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. & Nieminen, T. (toim.), *Metsäluonto ja ilmansaasteet*. Metsätutkimuskeskuksen tiedonantoja 446, Helsinki, 1993.

Huuskonen ym. 2009: Huuskonen, I., Lehtonen, E., Ellonen, T., Pyhäjärvisseudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007–2008. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2009.

Huuskonen ym. 2010: Huuskonen, I., Lehtonen, E., Keskitalo, T. & Laita, M., Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. Helsinki.

Huuskonen ja Lehtonen 2013: Huuskonen, I. & Lehtonen, E. & Laita, M., Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 177. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.

Jussila ym. 1999: Jussila, I., Joensuu, E. & Laihonen, P., Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. *Ympäristöopas* 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki, 1999.

Jussila 2003: Jussila, I., Porin–Harjavallan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 2001–2002. *Sykesarja B* 15. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus, 2003.

Jussila 2008: Jussila, I., Porin–Harjavallan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 2007–2008. Turun yliopiston, Satakunnan ympäristöntutkimuslaitos, 2008.

Komppula ym. 2021. Komppula, B., Karppinen, T., Virta, H., Sundström, A., Jalongo, I., Korpi., K., Anttila, P., Salmi, J., Tamminen, J. ja Lovén, K. Ilmanlaatu Suomessa ilmanlaatumittausten ja satelliittihavaintojen perusteella. *Ilmatieteen laitos, raportteja* 2021: 6.

Lehtonen ym. 2011: Lehtonen, E., Huuskonen, I., Nevalainen, S., Poikolainen, J. & Laita, M. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.

Lehkonen ym. 2013: Lehkonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T. & Laita, M., Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 176. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.

LeBlanc, F., Possibilities and Methods for Mapping Air Pollution on the Basis of Lichen Sensitivity. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. Wien, 92, 103–126, 1971.

Lindgren ja Salemaa 1999: Lindgren, M. & Salemaa, M., Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi. Vuotuisen seurannan (ICP level 1) & ympäristön yhdennetyn seurannan koealat 1999. Metsäntutkimuslaitos, 1999.

Mälkönen 1991: Mälkönen, E., Maa- ja neulasanalyysin käyttökelpoisuus metsänhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. Joensuun tutkimusasema, 52–61, 1991.

Nab Labs 2016: Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I., Leppänen, E. & Kiljunen, A. Kanta- ja Päijät-Hämeen ilmanlaadunbioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Nab Labs Oy, 2016.

Nab Labs 2016b: Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I. & Kiljunen, A, Porin–Harjavallan alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2014–2015. Tutkimusraportti 31/2016. Nab Labs Oy, 2016.

Pori 2022: Harjavallan ja Porin ilmanlaatu 2021. Ilmanlaatutyöryhmä Harjavalta–Pori. Päiväty 18.3.2022.

Raitio 1994: Raitio, H., Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysin valossa. Metsäntutkimuskeskuksen tiedonantoja 527, 25–34, 1994.

Ranta ym. 1989: Ranta, E., Rita, H., & Kouki, J., Biometria. Helsinki, Yliopistopaino, 1989.

Reinikainen ym. 1998: Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H., Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuskeskuksen tiedonantoja 688, 1998.

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Ruuth ym. 2021: Ruuth, J., Keskitalo, T., Talvitie, T. & Kohonen, K. T., Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2020. Raportteja 15/2021. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2021.

Ruuth ym. 2021b: Ruuth, J. & Keskitalo, T., Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2020. Raportteja 13/2021. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2021.

SFS 5670: Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. Vahvistettu 21.12.1990. Kumottu 31.03.2014. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 16413: SFS-EN 16413:en. Ambient air. Biomonitoring with lichens. Assessing epiphytic lichen diversity. Vahvistettu 31.3.2014. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Tilastokeskus 2023: Taulukko 11s5: Väkiluku kuukausittain ja alueittain, 1990M01-2022M12, data haettu 13.9.2023.

Werth, S. (2011) Biogeography and phylogeography of lichen fungi and their photobionts. S. 191–208, teoksessa: Fontaneto, F. (toim.): Biogeography of microscopic organisms. Is everything small everywhere? Cambridge University Press, Cambridge.

LIITE 1

Alakohtaiset jäkälätulokset

Jäkälätulostaulukon sarakkeiden selitykset.

Sarake	Selite
Hypphy	sormipaisukarpeen yleisyys alalla keskimäärin
Paramb	keltatyvikarpeen yleisyys alalla keskimäärin
Par.lms	harmaatyvikarpeen ja tuhkarpeen yleisyys alalla keskimäärin
Hypsca	seinäsuomujäkälän yleisyys alalla keskimäärin
Bryoria	luppojen yleisyys alalla keskimäärin
Usnea	naavojen yleisyys alalla keskimäärin
Plagla	harmaaröyhelön yleisyys alalla keskimäärin
Vulpin	keltaröyhelön yleisyys alalla keskimäärin
Psefur	hankakarpeen yleisyys alalla keskimäärin
Tucchl	ruskoröyhelön yleisyys alalla keskimäärin
Parsul	raidanisokarpeen yleisyys alalla keskimäärin
Alg.Sco	leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän yleisyys alalla keskimäärin
vaurio.hypphy	sormipaisukarpeen vaurioaste alalla keskimäärin
vaurio.yleinen	yleinen vaurioaste alalla keskimäärin
lajiikm	ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärä alalla
iap	alalle laskettu IAP-indeksi
peittavyys.Hypphy	sormipaisukarpeen peittavyys alalla keskimäärin
peittavyys.Bryoria	luppojen peittavyys alalla keskimäärin

Ala	Hypphy	Paramb	Par.lms	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Tucchl	Parsul	Alg.Sco	vaurio. hypphy	vaurio. yleinen	lajilkm	iap	peittavuys. Hypphy	peittavuys. Bryoria
1	10	10	1	3	0	0	0	0	0	0	0	10	2,80	4,00	3	1,04	9,9	0,0
2U	10	10	3	8	2	5	1	0	9	1	0	9	2,95	3,05	8	2,23	15,2	0,0
5	10	7	0	0	0	0	0	3	0	0	0	10	2,75	4,00	3	1,00	41,0	0,0
6	10	10	8	10	0	0	3	0	1	0	0	7	2,75	3,95	5	1,64	10,9	0,0
10	10	10	0	9	0	0	0	1	0	0	0	6	2,10	4,00	3	1,04	17,8	0,0
14	10	9	0	1	0	0	0	3	0	0	0	6	2,25	4,00	3	1,09	33,6	0,0
17U	10	10	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	2,45	4,00	3	1,04	21,9	0,0
21U	10	10	0	1	0	0	0	8	0	0	0	5	3,00	4,00	3	1,41	15,8	0,0
25	10	10	1	9	2	0	1	1	3	0	0	10	2,45	3,40	7	1,45	2,5	0,0
33U	10	10	6	8	1	4	8	1	10	1	0	6	1,60	1,65	9	2,79	3,6	0,0
36	10	10	3	9	0	0	7	0	1	0	0	0	2,00	3,90	5	1,61	3,6	0,0
39	10	10	3	4	0	0	3	8	1	0	0	4	2,10	3,90	6	1,80	10,3	0,0
44U	10	10	6	7	2	2	10	2	5	0	0	1	1,90	3,25	8	2,54	4,8	0,0
45	10	10	2	2	1	0	1	0	2	0	0	9	2,20	3,80	6	1,33	8,9	0,0
46	10	10	4	10	0	0	1	0	0	0	0	0	2,15	4,00	4	1,26	1,9	0,0
51	10	10	2	3	0	0	0	0	2	0	0	10	2,89	3,89	4	1,21	8,3	0,0
60	10	10	2	2	10	0	5	3	4	0	0	6	1,95	2,25	7	2,40	11,3	0,4
66U	10	10	0	0	0	0	1	5	0	0	0	3	2,15	3,80	4	1,31	15,3	0,0
69	10	9	1	5	0	0	0	0	0	0	0	8	2,55	4,00	3	0,99	20,7	0,0
70U	10	10	0	0	3	0	3	0	0	0	0	4	2,15	3,70	4	1,35	6,3	0,0
71	10	10	2	0	0	0	0	4	0	0	0	10	2,15	4,00	4	1,30	8,7	0,0
73U	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3,05	4,00	2	0,98	8,3	0,0
74U	10	8	2	7	0	0	1	6	0	0	0	10	3,25	4,00	5	1,37	8,8	0,0
75	10	8	0	1	0	0	0	5	0	0	0	10	3,00	4,00	3	1,15	3,5	0,0
76U	10	10	0	5	4	3	8	3	9	1	0	1	2,25	2,75	8	2,64	7,3	0,0
77	10	10	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3,25	4,00	4	1,25	13,8	0,0
78	10	7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	10	3,30	3,90	4	0,95	7,9	0,0
81	10	10	2	0	1	0	6	5	4	1	0	0	2,10	3,45	8	2,07	20,1	0,0

Ala	Hypphy	Paramb	Par.1ms	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Tucchl	Parsul	Alg.Sco	vaurio. hypphy	vaurio. yleinen	lajilkm	iap	peittavyys. Hypphy	peittavyys. Bryoria
82	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	2,85	4,00	2	0,89	5,0	0,0
83	10	1	0	0	0	0	5	1	5	2	0	10	3,00	3,60	6	1,32	5,4	0,0
85	10	10	10	6	3	6	10	6	10	0	0	0	1,60	1,80	8	3,57	9,7	0,0
88U	10	10	3	7	4	0	5	1	1	6	0	0	2,20	3,50	8	2,22	5,2	0,1
89U	10	10	1	0	0	0	0	8	0	0	0	2	2,10	4,00	4	1,46	14,0	0,0
92	10	10	0	1	0	0	0	2	0	0	0	10	2,00	4,00	3	1,09	8,0	0,0
93U	10	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	4	1,60	4,00	3	1,52	25,4	0,0
94	10	10	5	1	0	0	0	9	0	0	0	7	2,90	4,00	4	1,73	10,4	0,0
95U	10	5	0	5	0	0	1	0	0	6	0	10	3,20	4,00	4	1,21	4,4	0,0
96U	10	10	1	0	0	0	0	8	0	1	0	7	2,94	4,00	5	1,53	7,7	0,0
97U	10	10	1	0	0	0	2	8	1	0	0	2	1,70	3,90	6	1,64	23,0	0,0
98	10	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	10	3,55	3,85	3	0,89	1,9	0,0
99	10	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	8	2,50	4,00	3	1,09	5,1	0,0
102	10	10	1	0	0	0	2	10	2	0	0	0	1,90	3,75	6	1,80	22,2	0,0
104U	10	10	0	1	0	0	1	10	0	0	0	0	1,65	4,00	4	1,57	21,6	0,0
129	10	10	0	3	8	0	1	0	1	0	0	2	2,10	3,20	5	1,60	19,7	0,0
133	10	9	2	7	0	0	0	1	0	0	0	10	2,70	4,00	4	1,09	8,2	0,0
135	10	10	7	6	2	0	1	6	0	0	0	5	2,00	3,80	6	1,86	8,2	0,0
137U	10	10	9	4	2	1	4	2	7	1	0	0	1,85	2,85	9	2,47	7,4	0,0
141	10	10	4	4	0	0	0	2	0	0	0	10	2,85	4,00	4	1,30	15,4	0,0
143	10	10	4	2	0	0	0	2	2	0	0	10	2,75	3,90	5	1,42	12,4	0,0
147	10	10	0	3	0	1	1	3	0	0	0	0	1,85	3,85	5	1,26	30,1	0,0
154	10	10	1	0	0	0	1	8	1	0	0	10	2,25	3,90	6	1,58	15,4	0,0
161	7	4	1	10	0	0	0	0	0	0	0	8	3,85	4,35	3	0,59	0,3	0,0
165	10	8	0	2	0	0	0	3	0	0	0	10	2,20	4,00	3	1,05	24,9	0,0
174	10	10	3	4	1	1	1	4	0	0	0	1	2,05	3,75	7	1,54	31,5	0,0
178	10	10	2	1	0	0	2	5	3	0	0	2	2,10	3,70	6	1,65	17,1	0,0
181	10	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	10	3,25	4,00	3	0,70	0,7	0,0
183	10	10	9	10	0	0	2	0	1	0	0	1	2,65	3,90	5	1,64	0,8	0,0

Ala	Hypphy	Paramb	Par.lms	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Tucchl	Parsul	Alg.Sco	vaurio. hypphy	vaurio. yleinen	lajilkm	iap	peittavyys. Hypphy	peittavyys. Bryoria
189	10	10	2	1	2	0	4	10	4	0	0	3	1,55	3,30	7	2,22	37,7	0,0
192	10	10	5	2	0	0	3	9	1	0	0	7	2,05	3,90	6	1,96	18,6	0,0
195U	10	10	0	1	0	0	0	6	0	0	0	5	1,95	4,00	3	1,30	12,2	0,0
201	10	10	7	0	0	1	0	2	1	0	0	3	2,45	3,90	6	1,58	8,1	0,0
205	10	10	7	6	4	0	0	0	0	0	0	3	2,25	3,75	4	1,61	1,8	0,0
208	10	10	1	0	0	0	0	5	1	0	0	4	1,60	3,95	5	1,36	20,8	0,0
211	10	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	3	1,20	4,00	3	1,52	35,2	0,0
213	10	10	4	9	0	2	9	0	4	0	0	0	2,05	3,45	6	2,08	5,0	0,0
214	10	10	9	6	2	1	10	0	4	0	0	2	2,05	3,40	7	2,47	1,6	0,0
215	10	9	6	6	0	0	1	0	3	0	0	10	2,30	3,85	5	1,49	5,1	0,0
216	10	10	3	3	10	1	10	0	2	0	0	10	1,95	2,80	7	2,54	6,6	0,2
217	10	10	10	2	4	9	10	5	10	2	0	1	1,60	2,10	9	3,90	14,3	0,1
220U	10	10	3	6	6	2	8	5	9	0	0	2	1,60	2,65	8	2,90	9,7	0,2
223	10	10	5	2	1	0	3	1	2	0	0	3	2,05	3,70	7	1,66	22,1	0,0
224U	10	10	1	0	0	0	0	3	0	0	0	9	3,25	4,00	4	1,20	4,4	0,0
227	10	7	0	0	0	0	0	10	0	0	0	9	1,95	4,00	3	1,37	24,3	0,0
228	10	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3,00	4,00	3	1,09	16,0	0,0
230U	10	10	5	5	1	2	9	2	9	0	0	1	2,00	2,75	8	2,60	8,9	0,0
231	10	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	3,55	4,00	3	1,04	2,5	0,0
233	10	10	1	0	0	0	0	10	0	0	0	6	2,00	3,80	4	1,57	9,6	0,0
236	10	10	5	0	0	0	0	5	0	0	0	10	3,40	4,00	4	1,52	7,8	0,0
239	10	8	1	1	1	0	8	5	8	10	0	10	3,00	3,10	8	2,90	10,6	0,0
240	10	7	4	7	0	0	1	0	7	3	0	9	3,10	3,45	6	1,72	5,5	0,0
241U	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2,30	4,00	2	0,98	10,4	0,0
243U	10	10	0	2	2	0	5	9	9	0	0	0	2,05	2,60	6	2,40	22,6	0,0
244	10	10	2	0	2	0	8	1	8	8	0	1	2,55	2,80	8	2,76	16,6	0,0
245	10	10	2	1	0	0	3	4	0	0	0	1	2,05	4,00	5	1,48	25,7	0,0
246U	10	10	0	5	0	0	8	0	2	0	0	1	2,45	3,80	4	1,57	5,0	0,0
247	10	10	10	5	0	1	3	0	1	0	0	6	2,70	3,80	6	1,81	10,3	0,0

Ala	Hypphy	Paramb	Par.lms	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Tucchl	Parsul	Alg.Sco	vaurio. hypphy	vaurio. yleinen	lajilkm	iap	peittavyys. Hypphy	peittavyys. Bryoria
248	10	10	9	1	0	0	4	4	10	0	0	1	2,05	3,15	6	2,49	10,1	0,0
250	10	10	10	0	0	0	6	8	8	0	0	1	2,00	3,15	6	2,76	14,1	0,0
253	10	10	10	3	1	3	9	5	10	1	0	1	2,10	3,00	9	3,21	7,3	0,0
254	10	10	4	0	0	2	6	4	9	0	0	1	2,00	3,00	7	2,41	29,1	0,0
267	10	10	3	8	6	0	8	2	0	1	0	3	2,00	3,30	7	2,17	5,7	0,1
269U	10	10	6	10	10	4	7	0	7	0	0	1	2,00	2,00	7	3,00	2,9	0,0
285	10	10	10	0	0	0	0	0	2	0	0	10	2,90	3,85	4	1,63	4,6	0,0
286	10	10	1	1	0	0	0	5	0	0	0	7	2,95	4,00	4	1,30	6,4	0,0
294	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	4,05	4,05	1	0,49	0,1	0,0
296	10	10	9	5	1	0	1	0	2	0	0	2	2,20	3,80	6	1,70	2,4	0,0
301	9	10	6	9	3	0	6	4	1	0	0	10	2,65	3,65	7	2,07	1,0	0,0
302	10	10	2	0	10	0	5	10	0	2	0	0	1,35	2,00	7	2,68	35,3	0,2
303	10	10	6	4	5	0	8	2	1	0	0	5	2,00	3,45	7	2,25	1,1	0,0
304U	10	10	6	7	6	2	3	2	4	0	0	3	1,55	3,20	8	2,32	6,6	0,1
306U	10	10	1	0	7	0	2	7	1	0	0	0	1,40	2,80	7	2,02	23,4	0,4
309U	10	10	2	2	5	0	3	10	2	0	0	1	1,65	3,45	7	2,23	22,3	0,0
310	10	10	10	7	2	0	9	0	1	0	0	9	1,90	3,80	6	2,23	3,7	0,0
324	10	10	7	6	10	0	8	1	4	0	0	6	1,95	2,45	7	2,74	3,6	0,2
325U	10	10	2	8	2	1	7	0	2	1	0	3	1,95	3,35	8	1,88	6,4	0,0
326	10	10	7	7	10	1	6	7	1	1	0	1	2,00	2,60	9	2,90	5,9	1,2
327	10	10	9	10	10	0	8	3	4	0	0	1	1,60	2,55	7	2,95	9,0	0,0
401U	10	10	3	0	0	0	4	2	6	0	0	2	2,10	3,20	6	1,83	6,2	0,0
403U	10	10	2	6	4	0	9	4	6	0	0	1	1,95	3,20	7	2,43	4,9	0,0
409	10	10	0	2	10	0	10	0	2	0	0	3	1,90	2,85	5	2,32	7,8	0,2
416	10	10	9	9	0	0	5	0	6	0	0	0	1,70	3,60	5	2,11	4,4	0,0
421	10	10	1	10	0	1	4	0	5	0	0	0	2,30	3,55	6	1,62	3,2	0,0
425U	10	10	0	10	0	1	9	2	10	0	0	0	2,10	2,70	6	2,26	7,3	0,0
431U	10	10	0	0	2	0	10	0	0	0	0	0	2,10	3,80	4	1,70	2,4	0,0
435U	10	10	0	9	1	0	0	4	3	0	0	2	2,70	3,70	5	1,43	10,7	0,0

Ala	Hypphy	Paramb	Par.lms	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Tucchl	Parsul	Alg.Sco	vaurio. hypphy	vaurio. yleinen	lajilkm	iap	peittavyys. Hypphy	peittavyys. Bryoria
438U	10	10	0	10	0	0	5	0	2	0	0	0	2,35	3,80	4	1,39	4,9	0,0
442U	10	10	4	8	9	1	8	0	7	0	0	1	1,8	2,45	7	2,70	6,3	0,0
446	10	10	8	4	0	0	2	1	2	0	0	2	2,00	3,85	6	1,70	6,0	0,0
447U	10	10	5	9	0	2	8	2	10	0	0	1	2,00	3,00	7	2,53	1,2	0,0
451U	10	10	0	6	2	4	8	0	10	0	0	1	2,25	2,85	6	2,41	4,8	0,0
456	10	10	2	8	0	0	1	0	4	0	0	0	2,20	3,65	5	1,38	0,4	0,0
457	10	10	2	3	10	0	10	0	3	0	0	1	1,60	2,75	6	2,48	4,8	0,1
463	10	10	1	8	6	3	10	1	8	0	0	0	1,85	3,00	8	2,71	2,7	0,0
469U	10	10	5	2	2	1	10	0	7	0	0	0	2,30	3,15	7	2,43	3,9	0,0
474U	10	10	7	10	3	2	8	0	7	0	0	0	2,00	3,00	7	2,55	5,6	0,1
484U	10	10	4	3	6	7	10	0	10	2	0	2	1,50	1,90	8	3,32	11,3	0,1
491	10	10	0	6	6	0	9	0	4	0	0	0	1,70	3,25	5	2,12	3,6	0,2
499U	10	10	0	1	10	1	10	0	7	0	0	0	1,55	2,10	6	2,67	12,9	3,1
500U	10	10	7	8	2	2	6	0	7	0	0	0	1,55	2,90	7	2,37	3,1	0,1
601	10	10	2	3	3	2	10	1	8	0	0	1	1,85	3,05	8	2,51	9,8	0,0
602U	9	9	8	10	5	9	9	0	10	0	0	0	1,95	2,60	7	3,29	5,4	0,0
605U	10	10	3	7	1	1	9	0	2	0	0	0	1,90	3,65	7	1,91	5,0	0,0
606	10	10	2	0	1	2	10	1	10	0	0	0	2,00	2,65	8	2,50	10,9	0,0
607	10	10	1	6	10	4	10	0	10	0	0	2	1,85	2,70	7	3,08	4,0	0,2
609	10	10	7	7	2	2	5	0	8	0	0	0	1,70	3,00	7	2,36	5,7	0,3
610	10	10	4	9	4	5	9	0	9	0	0	0	1,55	2,70	7	2,81	9,1	0,0
611U	10	10	7	5	2	6	6	2	6	0	0	0	1,55	2,75	8	2,66	23,6	0,0
612	10	10	0	2	0	0	5	7	4	0	0	3	2,00	3,65	5	1,88	18,7	0,0
613	10	10	5	8	2	2	8	6	4	0	0	0	1,35	3,10	8	2,52	14,0	0,0
701	10	10	0	3	1	0	3	2	2	0	0	5	2,00	3,70	6	1,45	5,3	0,0
702	10	10	2	10	0	0	9	0	10	0	0	0	1,50	2,80	5	2,20	3,3	0,0
703	10	10	8	10	0	1	6	1	9	0	0	1	2,00	3,35	7	2,40	2,2	0,0
704	10	10	0	9	9	1	8	0	7	1	0	0	2,10	2,75	7	2,56	5,9	0,1
705	10	10	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8	2,25	4,00	3	1,41	6,0	0,0

Ala	Hypphy	Paramb	Par.lms	Hypsca	Bryoria	Usnea	Plagla	Vulpin	Psefur	Tucchl	Parsul	Alg.Sco	vaurio. hypphy	vaurio. yleinen	lajilkm	iap	peittavuys. Hypphy	peittavuys. Bryoria
706	10	10	4	6	1	0	6	0	3	0	0	1	2,30	3,70	6	1,79	1,1	0,0
707	10	10	5	6	0	3	9	0	10	0	0	1	1,90	2,70	6	2,55	5,3	0,0
708	10	10	2	5	1	5	7	0	9	0	0	4	2,20	2,80	7	2,40	0,5	0,0
709	10	10	1	7	0	0	8	0	9	0	0	0	1,50	2,95	5	2,03	3,6	0,0
710	10	10	0	5	0	0	7	10	8	0	0	5	1,75	2,95	5	2,39	7,5	0,0
711	10	10	7	10	2	3	9	0	10	0	0	8	1,90	2,65	7	2,78	1,4	0,0
712	10	10	1	10	2	3	10	0	6	0	0	8	2,00	3,25	7	2,29	3,0	0,0
713	10	10	6	4	2	2	8	2	7	0	0	5	1,60	2,80	8	2,54	3,6	0,0

LIITE 2

Alakohtaiset neulastulokset

Neulastulostaulukon sarakkeiden selitykset.

Sarake	Selitys
ika	havaintopuiden ikä alalla keskimäärin
pituus	havaintopuiden pituus alalla keskimäärin
harsu	neulaskadon määrä alalla keskimäärin
vuosikerrat	neulasvuosikertojen määrä alalla keskimäärin
ympmitta	havaintopuiden ympärysmitta alalla keskimäärin
havu.B	boorin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.K	kaliumin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.Ca	kalsiumin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.Cu	kuparin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.Mg	magnesiumin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.Mn	mangaanin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.Fe	raudan pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.S	rikin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.Zn	sinkin pitoisuus neulasissa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla keskimäärin
havu.N	typen pitoisuus neulasissa (% kuiva-aineessa) alalla keskimäärin

Ala	ika	pituus	harsu	vuosiker- rat	ympmitta	havu.B	havu.K	havu.Ca	havu.Cu	havu.Mg	havu.Mn	havu.Fe	havu.S	havu.Zn	havu.N
1	70	22	16,5	2,6	108	21	6300	4200	8,5	990	460	120	1100	50	1,28
2U	75	19	14,0	2,8	102	12	5700	4500	7,6	1100	390	100	1000	51	1,31
5	85	26	12,0	3,4	108	19	5300	4600	5,8	1000	290	81	1100	41	1,48
6	100	24	17,5	3,3	118	19	5600	3600	4,4	740	790	55	970	54	1,13
10	70	25	15,5	2,6	104	12	6000	4700	4,3	930	380	41	1100	65	1,39
14	70	22	19,5	2,6	108	10	6600	4200	6,1	820	180	89	1100	45	1,37
17U	65	23	16,0	2,6	104	< 10	6300	4100	4,9	860	180	72	1000	57	1,24
21U	65	21	14,0	2,7	91	13	5700	4400	6,3	890	160	120	1100	56	1,45
25	85	22	19,5	2,3	113	< 10	5400	1900	4,9	660	130	67	1000	42	1,44
33U	130	13	19,5	2,8	87	< 10	5800	2000	3,6	850	180	40	970	39	1,27
36	105	27	14,5	2,9	122	11	5100	3000	3,5	930	570	44	850	40	1,16
39	85	21	15,5	2,7	108	< 10	6000	4800	4,5	780	370	46	1000	53	1,26
44U	90	19	16,5	2,8	88	13	5000	4400	3,9	900	770	59	980	62	1,48
45	85	27	15,0	2,7	112	21	6200	4500	3,4	880	320	47	1100	44	1,21
46	90	23	17,5	2,7	111	15	5400	3900	3,9	1100	850	120	1000	65	1,25
51	75	23	17,5	2,8	106	21	6100	4300	4,1	880	470	67	1000	59	1,41
60	75	24	15,0	3,1	90	11	5200	3700	3,7	890	670	59	920	51	1,26
66U	65	23	14,0	2,2	97	< 10	5500	3000	7,2	860	540	73	1100	29	1,37
69	110	27	15,5	2,2	120	< 10	8000	2800	8	980	260	64	1100	26	1,48
70U	75	24	15,5	2,6	94										
71	65	20	15,5	2,5	84	< 10	5700	3300	9,7	850	280	71	1100	36	1,5
73U	80	27	15,0	2,9	101	< 10	5700	3200	26	760	330	160	950	58	1,28
74U	100	26	13,0	2,7	117	11	4900	4400	14	910	350	94	860	30	1,43
75	70	26	17,5	2,4	102	12	6400	4000	33	960	390	150	1200	39	1,67
76U	80	21	15,5	2,8	87										
77	70	24	15,5	2,8	96	14	6400	6000	18	1100	520	140	1200	57	1,52
78	100	26	13,5	2,9	110	16	6500	3200	29	600	580	190	1000	46	1,49
81	85	23	8,5	2,5	106	< 10	4700	3700	5,8	770	640	65	880	46	1,36
82	60	22	9,5	2,7	87	11	6600	3000	17	990	300	120	1100	29	1,41

Ala	ika	pituus	harsu	vuosiker- rat	ympmitta	havu.B	havu.K	havu.Ca	havu.Cu	havu.Mg	havu.Mn	havu.Fe	havu.S	havu.Zn	havu.N
83	70	15	18,5	2,7	80	13	7200	3700	31	780	380	250	1100	49	1,45
85	80	23	14,0	3,0	86										
88U	130	20	13,5	2,7	91	< 10	4600	4700	15	970	470	89	960	43	1,33
89U	60	19	15,5	2,5	102	11	5200	5000	8,3	980	230	90	1100	39	1,56
92	65	28	19,0	2,3	98	< 10	5500	3100	18	840	250	85	1000	36	1,38
93U	55	20	17,0	2,4	91	< 10	5200	6500	6,1	780	450	120	1000	51	1,33
94	70	22	11,5	2,8	105	12	6300	5200	4,9	930	460	67	1100	71	1,72
95U	140	12	10,0	2,6	85	23	5400	3800	30	780	310	95	980	29	1,32
96U	65	23	17,5	2,3	102	19	5500	5100	12	880	560	110	1100	33	1,41
97U	70	18	14,5	2,9	82	14	6700	2600	6,9	630	270	65	930	44	1,33
98	80	23	15,0	2,5	93	< 10	6700	3500	100	870	230	410	1300	36	1,67
99	75	23	16,5	2,5	114	< 10	5600	3800	10	830	430	89	1100	30	1,52
102	70	22	11,0	2,8	93	< 10	6200	4500	4,2	970	540	79	930	50	1,43
104U	60	21	12,5	2,8	97	< 10	4800	3400	3,3	790	460	71	840	62	1,62
129	70	22	12,5	2,8	110	19	5400	4300	9,8	780	690	110	1100	48	1,46
133	100	20	16,5	3,0	128	11	5800	5100	3,9	760	700	57	880	50	1,26
135	90	30	16,5	2,8	130	< 10	4500	2700	2,8	630	830	40	760	34	1,61
137U	65	12	15,0	3,1	80	18	5000	3000	3	630	670	55	790	51	1,11
141	80	25	20,0	2,6	112	< 10	6000	3800	3,2	700	490	46	900	52	1,29
143	70	23	19,0	2,6	120	17	7200	4300	5,6	1100	430	85	1100	57	1,34
147	65	19	10,5	2,9	96	16	6000	4400	3,5	980	1000	50	1100	54	1,27
154	80	25	17,0	2,5	101	11	5000	4400	6,5	890	390	65	1000	44	1,48
161	80	23	17,0	2,5	131	20	7200	4200	6,4	1200	370	180	1300	70	1,48
165	80	24	17,5	2,5	120	23	7200	4100	11	780	350	68	1100	67	1,31
174	75	23	12,5	2,4	100	< 10	6000	2800	4,3	840	260	59	940	38	1,31
178	75	23	19,5	2,4	85	13	5500	4000	7,3	1100	820	98	1100	53	1,48
181	70	23	15,5	2,3	107	< 10	5700	6400	10	830	1800	97	1300	33	1,75
183	105	24	19,5	2,6	117	11	6200	3800	5,3	890	590	59	950	38	1,35
189	85	23	12,0	3,0	100	< 10	5600	4200	4,4	800	570	42	920	48	1,21

Ala	ika	pituus	harsu	vuosiker- rat	ympmitta	havu.B	havu.K	havu.Ca	havu.Cu	havu.Mg	havu.Mn	havu.Fe	havu.S	havu.Zn	havu.N
192	70	24	17,5	2,1	100	< 10	5800	5300	5,7	890	980	57	1100	74	1,36
195U	55	17	10,5	2,9	79	12	5300	2900	6,2	1100	340	57	1000	37	1,56
201	65	18	10,0	2,8	86	15	4600	3700	3,3	1100	800	45	890	62	1,09
205	75	23	11,5	2,6	97	16	5400	3900	2,9	790	640	49	810	38	1,06
208	80	27	14,0	2,7	99	< 10	5800	4400	3,6	910	490	74	990	48	1,38
211	65	24	18,5	2,3	94	< 10	5800	3000	4,6	820	370	73	1000	36	1,42
213	105	19	16,0	2,6	107	< 10	5700	2600	4,7	810	490	160	850	39	1,35
214	80	21	18,0	2,5	95	14	5000	3200	3,4	1000	610	63	920	42	1,17
215	80	26	23,5	2,3	103	14	5700	3800	3,5	990	780	53	990	40	1,26
216	80	24	19,0	2,5	108	16	5100	4300	3,1	990	480	42	890	56	1,24
217	90	24	19,0	2,4	104	13	5400	3900	4,5	960	520	75	950	49	1,3
220U	85	22	19,5	2,6	102	< 10	4600	5200	4,2	880	1400	71	980	52	1,34
223	85	23	10,0	2,6	100	< 10	6000	3600	6,7	850	530	80	1000	39	1,48
224U	60	20	17,5	2,2	88	20	6400	4900	160	890	380	670	1100	51	1,42
227	55	19	16,0	2,5	83	< 10	5400	5700	5,9	890	730	73	1100	38	1,59
228	80	23	11,0	2,2	102	< 10	6300	4200	10	790	150	220	970	32	1,52
230U	120	18	9,0	2,7	92	15	5900	3600	6,4	850	790	48	1000	44	1,51
231	65	22	20,0	2,8	98	< 10	5900	2900	5,1	860	200	91	1100	26	1,57
233	70	24	14,5	2,8	104	11	5600	4800	4,5	1100	530	56	1100	47	1,51
236	65	19	20,0	2,7	102	23	5600	5600	4,3	1200	780	65	1200	48	1,52
239	65	18	11,5	2,4	90	29	6200	5000	35	870	960	240	1100	31	1,42
240	105	26	15,5	2,5	134	< 10	6100	5800	5,1	1200	580	85	1200	53	1,49
241U	55	16	13,5	2,9	82	18	6200	4200	12	980	400	91	1100	76	1,61
243U	70	14	9,1	2,8	89	14	5100	3300	8,2	540	460	83	950	27	1,21
244	85	20	14,5	2,6	84	15	4600	3200	9,5	600	370	79	790	24	1,27
245	85	23	14,5	2,9	93	< 10	7100	3200	14	740	270	99	1100	44	1,58
246U	105	28	14,5	2,9	105	< 10	6600	3500	12	810	260	96	1100	48	1,41
247	80	20	17,5	2,4	102	< 10	5100	3700	6,9	840	600	97	920	42	1,32
248	85	22	12,0	2,9	98	14	6100	3100	10	780	240	93	1000	37	1,43

Ala	ika	pituus	harsu	vuosiker- rat	ympmitta	havu.B	havu.K	havu.Ca	havu.Cu	havu.Mg	havu.Mn	havu.Fe	havu.S	havu.Zn	havu.N
250	80	16	19,5	2,3	93	11	6100	2400	5,1	720	160	77	970	37	1,37
253	85	23	16,0	2,6	93	< 10	6200	4500	4,6	680	270	71	1000	38	1,55
254	65	18	18,5	2,5	95	14	6800	3500	3,6	900	280	34	950	43	1,4
267	95	26	19,5	2,5	119	< 10	5300	3400	2,9	580	450	48	880	36	1,18
269U	150	15	17,0	2,5	91	12	5600	1800	4,1	620	340	63	960	40	1,15
285	80	23	10,5	2,4	90	13	6000	4400	4,4	830	900	59	1000	65	1,37
286	85	28	22,0	2,6	101	< 10	5700	3600	4	1000	270	63	1100	57	1,51
294	90	20	18,0	2,2	107	25	7500	3900	79	630	290	290	1400	29	1,7
296	100	24	18,0	2,5	103	18	5900	4600	5	1100	700	71	1100	47	1,09
301	80	21	17,0	2,6	100	11	4700	3200	3,2	760	650	37	850	34	1,35
302	65	25	15,0	2,8	100	< 10	5300	5300	3,6	720	1100	51	970	72	1,39
303	85	24	24,0	2,3	106	< 10	4300	3100	3,1	750	930	44	850	42	1,19
304U	90	24	23,5	2,5	100	< 10	5000	2800	2,6	670	670	52	820	45	1,11
306U	75	24	11,5	3,0	104	< 10	5900	2300	3,1	690	340	46	810	36	1,23
309U	60	20	16,0	2,9	95	< 10	5000	3100	2,8	650	470	46	800	40	1,14
310	90	24	22,0	2,5	103	10	5100	3000	2,8	740	720	46	840	45	1,13
324	85	24	18,0	2,3	108										
325U	85	24	21,5	2,4	116	16	4600	3100	2,5	750	530	43	750	30	0,99
326	90	25	18,0	2,6	104	< 10	5100	2200	3,3	790	670	110	910	38	1,41
327	95	21	21,0	2,6	98	< 10	960	520	0,6	140	200	5,9	120	10	1,26
401U	80	20	15,0	2,6	89	< 10	5800	3300	4,5	740	350	78	970	68	1,33
403U	85	26	18,0	2,4	108	12	6300	2700	4,6	630	340	83	1100	41	1,53
409	85	29	15,0	3,0	109										
416	85	23	12,5	2,9	107	14	4700	3700	3,7	870	440	49	950	60	1,4
421	90	26	16,5	2,3	119	18	5800	2800	3,5	920	210	52	970	43	1,46
425U	80	25	15,5	2,5	109	< 10	5300	3500	4,3	1100	180	56	910	49	1,5
431U	70	24	12,0	2,8	108	< 10	5900	4600	3,5	1000	340	52	920	41	1,23
435U	70	26	13,5	2,6	108	15	5600	5700	4	970	520	64	990	50	1,39
438U	80	25	8,5	2,9	121	19	5600	2900	3,5	820	500	49	970	43	1,39

Ala	ika	pituus	harsu	vuosiker- rat	ympmitta	havu.B	havu.K	havu.Ca	havu.Cu	havu.Mg	havu.Mn	havu.Fe	havu.S	havu.Zn	havu.N
442U	110	19	12,5	2,7	97	18	5300	3700	3,4	870	300	68	1000	56	1,36
446	90	22	14,0	2,7	106	11	5700	3200	4,2	810	170	84	950	46	1,36
447U	80	22	10,0	2,8	101	< 10	5600	4000	3,8	890	580	66	1000	43	1,27
451U	75	23	11,0	2,7	106	15	5800	4900	3,7	800	400	80	1000	45	1,55
456	85	26	11,0	2,6	112	14	6200	4000	2,8	880	520	65	1000	51	1,4
457	80	25	9,0	3,1	88	18	6400	3300	4,1	770	660	78	1100	50	1,46
463	80	21	10,5	2,6	98	12	5600	3200	3	760	660	49	890	48	1,28
469U	55	20	9,0	2,8	80	10	5900	4300	3,2	1000	590	62	1000	47	1,29
474U	90	16	12,0	2,5	85	14	5600	3800	3,2	700	900	55	1000	59	1,53
484U	75	12	11,0	2,5	77	13	5600	4800	3	910	550	74	960	69	1,45
491	85	24	12,0	2,7	96	15	5400	4800	3,3	770	440	56	1000	79	1,37
499U	50	16	14,5	2,3	71	< 10	5100	2600	2,4	580	690	53	870	49	1,44
500U	150	12	13,0	2,8	88	12	5300	3400	3	700	510	58	930	79	1,27
601	100	20	11,0	3,0	78	< 10	5100	5100	3,5	770	1200	59	1000	56	1,44
602U	150	15	9,0	3,9	96	< 10	4800	4700	3,9	1000	820	99	1100	60	1,49
605U	80	17	14,5	2,7	86	< 10	4600	2400	3,1	890	330	70	780	42	1,13
606	60	13	19,5	2,5	76	15	5500	3400	3,4	770	570	51	980	48	1,39
607	75	26	25,5	2,3	95	11	5000	2200	2,7	710	290	53	840	52	1,28
609	150	10	8,5	2,9	79	11	5700	2800	3,2	930	460	68	910	61	1,27
610	100	15	9,0	2,8	92	< 10	6700	6000	30	940	740	200	1300	43	1,21
611U	70	19	11,0	2,7	87	< 10	5800	2400	2,6	880	430	49	820	44	1,12
612	65	21	13,5	2,9	86	< 10	7600	2600	3,6	970	450	30	890	39	1,26
613	65	18	16,5	2,3	84	< 10	5500	3700	3,5	940	960	50	970	43	1,33
701	75	26	19,0	2,4	110	< 10	5800	3400	2,9	810	430	51	1100	35	1,42
702	120	15	14,0	2,7	80	11	5500	2900	3,1	870	370	58	1000	56	1,44
703	90	19	16,5	2,8	94	16	5700	3300	3,7	730	370	70	960	52	1,3
704	130	18	15,0	2,6	89	16	5500	2400	3,3	770	230	55	970	43	1,39
705	70	25	15,5	3,0	95	< 10	6400	4300	4,5	940	260	150	1100	33	1,37
706	95	25	18,0	2,7	88	12	5900	3300	3,2	800	410	75	1000	51	1,39

Ala	ika	pituus	harsu	vuosiker- rat	ympmitta	havu.B	havu.K	havu.Ca	havu.Cu	havu.Mg	havu.Mn	havu.Fe	havu.S	havu.Zn	havu.N
707	110	15	9,5	3,2	90	13	5600	2900	3,4	870	280	61	980	58	1,44
708	95	13	6,5	3,0	86	16	5500	3400	3,6	740	480	52	1000	49	1,44
709	90	22	17,5	2,7	95	14	6000	3600	3,2	780	350	53	940	50	1,38
710	80	14	7,5	3,1	84	< 10	5700	2600	3,3	770	410	66	960	47	1,37
711	140	17	10,0	3,2	91	13	5100	2900	3	770	560	60	940	62	1,47
712	85	21	20,0	2,6	101	17	5500	2700	3,1	850	940	57	970	44	1,36
713	90	14	11,5	3,2	86	13	4200	3100	2,9	780	360	50	910	40	1,41

LIITE 3

Alakohtaiset sammaltulokset

Sammaltulostaulukon sarakkeiden selitykset.

Sarake	Selitys
sammal.As	arsenin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Hg	elohopean pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Cd	kadmiumin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Cr	kromin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Cu	kuparin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Pb	lyijyn pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Ni	nikkelin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Fe	raudan pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Se	seleenin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Zn	sinkin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.Ti	titaanin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla
sammal.V	vanadiinin pitoisuus sammalessa (mg/kg kuiva-aineessa) alalla

Ala	sammal.As	sammal.Hg	sammal.Cd	sammal.Cr	sammal.Cu	sammal.Pb	sammal.Ni	sammal.Fe	sammal.Se	sammal.Zn	sammal.Ti	sammal.V
1	0,57	0,045	0,19	3	67	2,9	30	1000	0,22	40	55	1,7
2U	0,52	0,058	0,16	4,2	54	2,7	20	1200	0,3	39	77	2,6
5	0,084	0,037	0,24	0,73	11	0,73	2,9	140	0,12	23	6,1	0,34
6	0,13	0,027	0,12	0,66	14	1	3,2	200	0,13	47	7,8	0,42
10	0,25	0,034	0,14	1,7	26	1,4	7,7	310	0,17	33	17	0,59
14	0,24	0,047	0,13	2	19	1,5	5,6	460	0,18	26	33	1,1
17U	0,24	0,039	0,12	1,6	16	1,3	4,9	280	0,15	28	13	0,76
21U	0,37	0,038	0,13	2,9	21	1,8	6,5	640	0,23	55	43	1,3
25	0,072	< 0,02	0,13	0,45	11	0,5	2	110	0,27	21	< 5	0,3
33U	0,14	< 0,02	0,21	0,66	12	0,88	3,5	170	0,19	37	8,6	0,48
36	0,069	0,024	0,19	1,7	10	0,51	2,9	130	< 0,1	35	6,8	0,34
39	0,12	0,027	0,15	0,82	11	0,56	3,1	140	< 0,1	31	6	0,22
44U	< 0,05	< 0,02	0,08	0,46	6,7	0,41	1,3	120	0,14	22	6,5	0,29
45	0,069	0,03	0,13	0,21	10	0,52	2,2	140	0,21	39	9,1	0,37
46	< 0,05	0,026	0,14	0,95	10	0,8	1,6	280	0,21	35	23	0,77
51	0,087	0,028	0,14	0,61	12	0,62	2,4	240	0,22	31	16	0,64
60	0,2	0,039	0,11	0,57	8,4	0,93	2,5	210	0,14	38	10	0,57
66U	0,49	0,045	0,27	1,1	39	1,9	17	430	0,29	30	15	0,77
69	0,72	0,056	0,52	1,7	57	2,4	25	650	0,28	46	16	0,81
70U	0,46	0,043	0,37	0,95	37	1,6	18	390	0,25	37	12	0,6
71	0,77	0,046	0,49	0,92	59	2,5	31	390	0,35	41	11	0,61
73U	1	0,05	0,51	1,6	89	3,8	38	680	0,38	40	22	0,97
74U	1,6	0,09	0,75	2,2	140	5,1	62	840	0,63	50	26	1,2
75	0,9	0,038	0,74	1,7	77	2,8	62	340	0,32	46	< 5	0,29
76U	0,28	< 0,02	0,13	1,7	15	1,8	6,9	1200	0,13	32	54	1,8
77	0,77	0,028	0,45	1,2	64	2,8	33	570	0,3	44	13	0,68
78	2,3	0,094	1,2	1,4	170	8	73	1200	0,78	90	15	0,64
81	0,28	0,042	0,26	1,9	28	1,6	19	310	0,19	27	10	0,51
82	0,62	0,044	0,52	2,1	71	2,4	76	400	0,3	44	7,3	0,34

Ala	sammal.As	sammal.Hg	sammal.Cd	sammal.Cr	sammal.Cu	sammal.Pb	sammal.Ni	sammal.Fe	sammal.Se	sammal.Zn	sammal.Ti	sammal.V
83	1,8	0,083	1,1	2,7	160	5,7	160	1200	0,69	76	17	0,63
85	0,18	< 0,02	0,13	0,73	7,9	1,1	2,1	310	0,17	37	24	0,73
88U	0,52	0,029	0,46	1,7	50	2	23	260	0,28	36	9	0,42
89U	0,4	0,022	0,25	1,1	31	1,5	14	410	0,19	29	21	0,86
92	0,67	0,046	0,56	1,6	63	2,2	37	250	0,24	39	5,9	0,34
93U	0,34	0,03	0,25	0,93	25	1,1	10	250	0,15	36	11	0,49
94	0,35	0,035	0,32	2,4	24	1,5	12	290	0,2	29	15	0,65
95U	2,1	0,11	1,1	1,5	190	6,7	81	660	0,82	49	13	0,65
96U	0,69	0,049	0,5	1,3	64	2,8	34	510	0,31	29	26	0,86
97U	0,37	0,046	0,2	1	26	1,4	12	240	0,23	27	9,3	0,49
98												
99	0,28	< 0,02	0,31	0,53	27	1,1	12	150	0,15	30	6,5	0,26
102	0,18	0,036	0,17	1,6	14	0,97	7,1	200	0,2	27	11	0,48
104U	0,1	0,037	0,12	1,6	11	0,74	4,3	170	< 0,1	23	8	0,36
129	0,38	0,052	0,24	1,7	47	4,1	13	540	0,22	66	26	0,94
133	0,1	< 0,02	0,09	0,81	10	1	2,9	250	0,21	37	16	0,61
135	0,13	0,029	0,12	0,58	8,7	0,65	1,6	160	0,13	38	8,2	0,43
137U	0,12	0,027	0,08	0,66	9,6	0,6	2,6	120	0,12	36	7,7	0,29
141	0,12	0,059	0,13	0,9	15	0,94	4,3	240	0,16	56	19	0,64
143	0,16	0,048	0,15	1,3	21	1,1	6,6	390	0,23	67	24	1
147	0,14	0,032	0,12	0,88	7,9	1	2,7	460	0,16	26	18	0,74
154	0,092	< 0,02	0,1	1,3	16	0,69	2,8	170	0,15	29	6,1	0,34
161	0,28	0,036	0,2	6,3	17	1,6	6,2	1100	0,36	41	82	2,4
165	0,92	< 0,02	0,16	0,95	36	1,3	4,4	280	2,6	37	13	0,55
174	0,28	0,03	0,24	1,2	24	1,5	9,7	460	0,25	44	22	1
178	0,18	< 0,02	0,14	0,56	18	1,1	5	330	0,33	31	13	0,68
181	0,3	0,034	0,21	0,94	24	1,9	8,1	480	0,19	43	22	1,3
183	0,36	0,023	0,28	0,74	29	1,8	11	370	0,24	35	13	0,74
189	0,11	0,023	0,15	1,5	12	0,82	4	120	< 0,1	37	< 5	0,25

Ala	sammal.As	sammal.Hg	sammal.Cd	sammal.Cr	sammal.Cu	sammal.Pb	sammal.Ni	sammal.Fe	sammal.Se	sammal.Zn	sammal.Ti	sammal.V
192	0,2	0,02	0,27	0,64	19	0,98	7,7	130	< 0,1	34	7	0,31
195U	0,23	0,022	0,22	2,3	21	0,97	8,7	190	0,15	30	7,4	0,35
201	0,11	0,037	0,16	0,92	9,2	1	2,8	240	0,16	26	11	0,53
205	0,12	0,036	0,2	0,58	9,5	1,1	2,7	180	< 0,1	28	6,9	0,38
208	0,1	< 0,02	0,11	0,73	8,6	1,4	2,4	250	0,17	23	10	0,6
211	0,16	< 0,02	0,1	0,74	14	1	3,4	250	0,1	29	16	0,6
213	0,26	0,02	0,28	1,6	24	1,3	11	1600	0,13	28	56	2,1
214	0,17	0,039	0,16	1,5	11	1,4	3,9	310	0,2	28	17	0,61
215	0,11	0,024	0,21	0,59	13	1,1	3,7	410	0,19	35	17	0,82
216	0,12	0,038	0,12	0,72	11	0,88	4	170	0,11	28	7,1	0,45
217	0,11	< 0,02	0,1	0,78	9,2	0,81	3,4	260	< 0,1	29	11	0,55
220U	0,16	0,041	0,15	0,73	19	1,1	5,9	330	0,21	33	11	0,64
223	0,21	0,038	0,3	1,6	33	1,1	30	300	0,18	24	7,8	0,35
224U	6	0,2	1,8	8,9	660	27	130	2800	1,5	160	41	1,8
227	0,35	0,052	0,19	1,2	34	1,6	20	290	0,18	28	7,6	0,42
228	1,3	0,063	0,66	2,7	67	6,8	35	1600	0,28	120	17	0,61
230U	0,16	0,025	0,21	0,69	20	0,86	14	130	0,14	23	< 5	0,28
231	0,18	0,027	0,2	1,2	20	1,1	8,5	190	0,12	27	7,4	0,36
233	0,14	0,032	0,17	1,4	15	0,83	7,2	170	< 0,1	26	6,4	0,32
236	0,14	0,044	0,14	0,81	13	0,96	5,9	210	0,13	26	8,5	0,35
239	2,5	0,12	1,4	2,5	220	9,8	120	1100	0,87	72	15	0,67
240	1,5	0,14	0,88	3,7	140	4,9	87	790	0,62	60	29	0,89
241U	0,43	0,043	0,4	1,2	42	2	23	350	0,27	36	12	0,62
243U	0,69	0,052	0,47	2,3	63	3,3	31	490	0,28	40	11	0,49
244	1,5	0,063	0,66	3,9	130	4,9	63	840	0,48	53	23	0,85
245	0,35	0,022	0,36	0,82	36	2,3	21	200	0,25	31	5,8	0,28
246U	0,63	0,049	0,37	1,4	60	2,4	23	470	0,25	29	20	0,69
247	0,44	< 0,02	0,24	1,2	37	2	14	360	0,23	29	17	0,56
248	0,36	< 0,02	0,28	1,1	34	2,2	16	290	0,18	25	8,6	0,49

Ala	sammal.As	sammal.Hg	sammal.Cd	sammal.Cr	sammal.Cu	sammal.Pb	sammal.Ni	sammal.Fe	sammal.Se	sammal.Zn	sammal.Ti	sammal.V
250	0,36	0,035	0,22	1,3	24	1,5	11	350	0,18	26	16	0,6
253	0,35	0,037	0,17	1,1	23	1,8	10	390	0,15	25	17	0,74
254	0,2	0,042	0,14	2,4	16	1,4	6,7	300	0,14	27	15	0,67
267	0,068	< 0,02	0,08	0,51	8,5	0,57	1,4	110	0,15	29	5,8	0,26
269U	0,11	0,034	0,16	0,4	11	1	3,7	190	0,12	40	8,9	0,49
285	0,1	0,024	0,07	1,4	10	0,8	4,2	180	0,12	21	8,2	0,33
286	0,06	0,031	0,06	2,1	8,4	0,71	3,3	360	< 0,1	23	21	0,68
294												
296	0,22	< 0,02	0,24	1,1	23	1,4	8,1	330	0,25	36	15	0,72
301	0,1	0,03	0,16	0,53	6,8	0,53	1,4	130	< 0,1	37	5,5	0,29
302	< 0,05	< 0,02	0,09	0,45	7,8	0,53	1,3	85	0,15	43	< 5	0,2
303	0,13	0,03	0,13	0,66	7,7	0,72	2,2	150	0,14	34	6,9	0,38
304U	0,089	0,025	0,1	0,76	6,9	0,97	1,7	120	< 0,1	33	6,3	0,4
306U	0,052	0,023	0,12	0,58	6,5	0,55	1,1	95	< 0,1	27	< 5	0,25
309U	< 0,05	< 0,02	0,11	< 0,2	6,9	0,36	0,89	75	< 0,1	28	< 5	0,21
310	0,059	0,022	0,11	0,33	8	0,58	3,9	100	0,17	32	< 5	0,31
324	0,1	0,039	0,17	0,58	7,2	0,66	1,5	150	< 0,1	40	8,4	0,4
325U	0,081	< 0,02	0,09	0,39	7	0,56	1,3	150	< 0,1	46	9,6	0,37
326	0,074	0,028	0,09	0,3	4,8	0,5	0,86	170	< 0,1	20	9,8	0,47
327	0,11	0,026	0,13	0,21	4,6	0,51	0,98	110	0,11	32	6,3	0,31
401U	0,065	0,033	0,15	1,5	8,8	0,79	3,1	180	0,12	58	8,6	0,35
403U	0,077	0,021	0,15	1	9,8	0,92	3,1	160	< 0,1	25	6,2	0,43
409	0,054	0,037	0,09	1,7	8,4	0,71	2,8	140	0,11	29	5,1	0,28
416	0,055	0,028	0,11	1,4	6,6	0,75	2,6	140	< 0,1	25	7,1	0,39
421	0,11	0,032	0,12	1,3	9,8	1,5	3,2	290	0,12	31	17	0,74
425U	0,081	0,024	0,07	0,69	10	0,78	3,3	170	< 0,1	26	6,3	0,36
431U	0,076	0,034	0,07	1,3	8,9	0,65	2,5	120	< 0,1	23	5	0,25
435U	0,11	0,029	0,11	1,4	12	3,6	3,1	230	< 0,1	33	14	0,6
438U	0,068	0,027	0,15	1,1	7,4	0,85	2,4	150	< 0,1	28	7,3	0,51

Ala	sammal.As	sammal.Hg	sammal.Cd	sammal.Cr	sammal.Cu	sammal.Pb	sammal.Ni	sammal.Fe	sammal.Se	sammal.Zn	sammal.Ti	sammal.V
442U	0,069	0,032	0,1	1,1	7,9	0,55	2,1	130	< 0,1	30	5,3	0,27
446	0,35	0,051	0,21	2,4	21	1,5	8,8	430	0,18	30	27	0,87
447U	0,17	0,034	0,19	1,7	15	1,1	5,6	330	0,18	29	22	0,74
451U	0,1	0,02	0,09	1,2	6,8	0,79	2,4	280	< 0,1	22	19	0,7
456	0,069	0,026	0,06	1,2	5,2	0,52	1,6	190	< 0,1	22	12	0,5
457	0,14	0,024	0,14	0,44	8,7	1,2	2,8	190	0,14	25	7	0,49
463	< 0,05	0,026	0,08	1,4	5,4	0,58	1,5	120	< 0,1	25	5,2	0,33
469U	0,07	0,039	0,14	1,1	5,6	0,75	1,8	160	0,11	25	7,4	0,46
474U	0,059	0,03	0,09	1,4	4,4	0,75	1,6	210	< 0,1	42	13	0,53
484U	0,061	0,027	0,08	1,3	5,9	0,8	1,7	250	< 0,1	30	13	0,55
491	< 0,05	0,024	0,07	1,2	5,2	0,47	1,3	87	< 0,1	26	< 5	0,27
499U	< 0,05	0,028	0,07	1,2	5,3	0,52	1,3	110	0,13	25	5,2	0,33
500U	< 0,05	0,03	0,2	1,2	4,8	0,68	1,4	140	0,16	45	6,9	0,41
601	0,062	0,023	0,12	1,2	8,7	1	4	160	0,14	37	5,7	0,35
602U	0,074	0,024	0,13	1,6	6,8	1	2,6	460	< 0,1	28	19	0,78
605U	0,067	0,024	0,18	1,1	8,4	1,1	2,7	160	0,1	31	7,3	0,4
606	0,08	0,033	0,12	1,4	8,1	0,89	3,5	160	< 0,1	28	6,7	0,39
607	< 0,05	0,025	0,06	1,2	7,8	0,51	2,6	100	< 0,1	29	< 5	0,21
609	0,052	0,02	0,23	1,3	8,1	0,84	3,4	180	0,11	33	6,1	0,37
610	< 0,05	< 0,02	0,14	1,2	7,1	0,79	2,6	110	0,17	35	< 5	0,33
611U	0,082	0,024	0,12	1,5	6,3	0,8	2,5	170	< 0,1	28	5,9	0,4
612	0,093	0,027	0,09	1,4	9,1	0,78	4,8	160	0,11	26	5,8	0,35
613	0,089	< 0,02	0,14	0,62	8,1	0,68	2,5	150	0,17	22	5,2	0,36
701	0,054	< 0,02	0,09	0,59	7,3	0,48	1,6	130	< 0,1	24	6,3	0,31
702	0,15	0,036	0,18	1,1	7,9	0,93	2,5	210	0,14	29	12	0,58
703	0,15	< 0,02	0,14	1,3	9,2	1,1	2,6	330	0,12	30	25	0,86
704	0,17	< 0,02	0,13	1,1	8,4	1,1	3,2	400	0,1	34	24	1
705	0,11	< 0,02	0,1	1,5	7,3	0,9	2,1	500	< 0,1	24	50	1,2
706	0,094	< 0,02	0,13	0,84	8,1	1,1	2,2	210	< 0,1	27	14	0,59

Ala	sammal.As	sammal.Hg	sammal.Cd	sammal.Cr	sammal.Cu	sammal.Pb	sammal.Ni	sammal.Fe	sammal.Se	sammal.Zn	sammal.Ti	sammal.V
707	0,086	< 0,02	0,13	0,97	7,3	0,79	1,5	190	< 0,1	30	10	0,5
708	0,074	< 0,02	0,15	0,56	5,9	0,64	1,3	150	< 0,1	26	8	0,42
709	0,086	< 0,02	0,11	0,82	6,7	0,78	1,5	170	< 0,1	28	10	0,45
710	0,11	< 0,02	0,14	0,66	7,2	0,69	1,7	200	< 0,1	28	13	0,52
711	0,12	0,036	0,16	0,99	8,1	1,2	2,4	320	0,14	34	19	0,79
712	0,09	< 0,02	0,1	0,7	8	0,63	2	200	< 0,1	29	12	0,45
713	0,12	< 0,02	0,1	0,73	8,1	0,94	2,2	190	< 0,1	25	15	0,48

LIITE 4

Alakohtaiset taustamuuttujat

Taustamuuttujataulukon sarakkeiden selitykset.

Sarake	Selitys
kunta	alan sijaintikunta
x	alan x-koordinaatti (itäkoordinaatti) ETRS-TM35FIN-järjestelmässä
y	alan y-koordinaatti (pohjoiskoordinaatti) ETRS-TM35FIN-järjestelmässä
soveltuvuus	alan arvioitu soveltuvuus bioindikaattoritutkimukseen
metsätyyppi	alan arvioitu metsätyyppi
kehitysluokka	alan arvioitu kehitysluokka
laji.1	alan valtapuulaji
laji.2	alan toiseksi yleisin puulaji
laji.3	alan kolmanneksi yleisen puulaji
laji.4	alan neljänneksi yleisin puulaji
pa.ka	puuston pohjapinta-ala alalla

Ala	kunta	x	y	soveltuvuus	metsatyyppi	kehitysluokka	laji.1	laji.2	laji.3	laji.4	pa.ka
1	Pori	210655	6838835	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			18,6
2U	Pori	211093	6837603	hyvä	vt	kypsä	mänty				20,5
5	Pori	207184	6830216	kohtalainen	omt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		6,7
6	Pori	209197	6830195	hyvä	vt	kypsä	mänty				15,7
10	Pori	212111	6835838	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi			12,2
14	Pori	214413	6833330	kohtalainen	mt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		7,7
17U	Pori	216413	6830454	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi			13,3
21U	Pori	219058	6830576	hyvä	vt	varrtunut	mänty	koivu	kuusi		8,0
25	Ulvila	229301	6829150	kohtalainen	mt	varrtunut	mänty	kuusi			12,2
33U	Ulvila	241264	6833419	hyvä	ct	kypsä	mänty	koivu			10,8
36	Ulvila	250355	6831348	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		12,6
39	Ulvila	247636	6826400	kohtalainen	mt	varrtunut	mänty	kuusi	koivu		9,3
44U	Pori	229624	6834804	hyvä	ct	varrtunut	mänty	kuusi	raita	koivu	4,3
45	Pori	221248	6836144	kohtalainen	omt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		8,9
46	Pori	223022	6834638	hyvä	mt	varrtunut	mänty	kuusi			11,8
51	Pori	225970	6833693	kohtalainen	mt	varrtunut	mänty	kuusi	koivu		12,3
60	Pori	226794	6842276	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			17,0
66U	Nakkila	236377	6815896	hyvä	vt	varrtunut	mänty	kuusi	koivu		6,6
69	Nakkila	236252	6813814	kohtalainen	mt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		13,6
70U	Nakkila	236821	6814614	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		13,7
71	Harjavalta	237805	6813752	hyvä	mt	varrtunut	mänty	kuusi			20,2
73U	Nakkila	234877	6811946	hyvä	vt	varrtunut	mänty	kuusi			10,7
74U	Harjavalta	237462	6811613	hyvä	vt	kypsä	mänty				21,0
75	Harjavalta	238737	6812140	hyvä	mt	varrtunut	mänty	kuusi			20,5
76U	Nakkila	228081	6810714	hyvä	vt	varrtunut	mänty				22,0
77	Nakkila	234468	6810386	kohtalainen	mt	varrtunut	mänty	kuusi			10,8
78	Nakkila	237271	6809929	hyvä	vt	kypsä	mänty				27,0
81	Harjavalta	232909	6807261	hyvä	vt	varrtunut	mänty				22,3
82	Harjavalta	236373	6806887	hyvä	mt	varrtunut	mänty	kuusi	koivu		13,1
83	Harjavalta	237662	6807572	hyvä	muu	kypsä	mänty	koivu			17,2

Ala	kunta	x	y	soveltuvuus	metsätyyppi	kehitysluokka	laji.1	laji.2	laji.3	laji.4	pa.ka
85	Pori	238384	6840846	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		11,8
88U	Harjavalta	240926	6814433	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi	koivu	haapa	5,9
89U	Harjavalta	244336	6812577	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		6,9
92	Harjavalta	241166	6811817	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi			18,0
93U	Harjavalta	245336	6810893	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi			11,5
94	Kokemäki	248149	6811250	kohtalainen	mt	kypsä	mänty				13,0
95U	Harjavalta	239948	6810674	hyvä	vt	kypsä	mänty	koivu	kuusi		5,7
96U	Harjavalta	242347	6809575	hyvä	mt	varttunut	mänty	kuusi			12,2
97U	Kokemäki	246429	6807610	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		8,0
98	Harjavalta	240016	6806973	hyvä	vt	varttunut	mänty	koivu			18,8
99	Harjavalta	242582	6808089	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		8,8
102	Kokemäki	250935	6810450	hyvä	vt	kypsä	mänty				17,7
104U	Kokemäki	257017	6811091	kohtalainen	vt	varttunut	mänty				23,0
129	Pori	204824	6843837	kohtalainen	mt	kypsä	mänty	kuusi			11,3
133	Pori	214988	6844374	huono	omt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		7,4
135	Pori	221199	6845729	kohtalainen	omt	kypsä	mänty	kuusi			15,3
137U	Pori	214841	6843111	hyvä	vt	varttunut	mänty				16,7
141	Pori	216746	6840823	huono	omt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		10,7
143	Pori	218182	6838630	kohtalainen	omt	varttunut	kuusi	mänty	koivu	haapa	11,5
147	Eurajoki	208539	6821810	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		8,8
154	Pori	217632	6822360	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi			14,3
161	Pori	221734	6826740	kohtalainen	mt	kypsä	mänty	kuusi			15,0
165	Ulvila	227063	6824010	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi			10,8
174	Ulvila	237557	6823626	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		7,9
178	Ulvila	229592	6821483	hyvä	mt	varttunut	mänty	kuusi			14,2
181	Ulvila	230918	6818516	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi			13,2
183	Nakkila	233044	6817447	kohtalainen	mt	kypsä	mänty				23,0
189	Ulvila	245894	6822726	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi			14,2
192	Ulvila	243859	6819950	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		12,8
195U	Harjavalta	242248	6815741	kohtalainen	muu	nuori	mänty				21,3

Ala	kunta	x	y	soveltuvuus	metsätyyppi	kehitysluokka	laji.1	laji.2	laji.3	laji.4	pa.ka
201	Eurajoki	210445	6817927	hyvä	vt	varttunut	mänty				19,5
205	Eurajoki	216726	6816410	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		11,5
208	Eurajoki	213273	6810241	hyvä	vt	varttunut	mänty	koivu			12,8
211	Nakkila	222507	6815312	hyvä	mt	varttunut	mänty				29,0
213	Nakkila	229328	6815372	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			17,8
214	Eurajoki	219672	6812217	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi			10,7
215	Nakkila	222730	6811501	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		12,5
216	Nakkila	224148	6812142	hyvä	mt	varttunut	kuusi	mänty	koivu		10,0
217	Nakkila	224990	6811264	hyvä	vt	varttunut	mänty				29,7
220U	Nakkila	223623	6809840	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi			11,2
223	Harjavalta	234800	6805928	hyvä	mt	kypsä	mänty				20,7
224U	Harjavalta	238416	6805943	kohtalainen	vt	varttunut	mänty				19,7
227	Harjavalta	235005	6804612	kohtalainen	omt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		10,1
228	Harjavalta	237780	6805528	kohtalainen	mt	kypsä	mänty	kuusi			14,0
230U	Eura	232310	6804703	hyvä	vt	kypsä	mänty	koivu	kuusi		9,7
231	Eura	236768	6802157	huono	omt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		11,1
233	Eura	232239	6800847	hyvä	mt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		10,4
236	Eura	231808	6798341	kohtalainen	omt	varttunut	mänty	kuusi			10,4
239	Harjavalta	239080	6806271	hyvä	vt	varttunut	mänty				17,0
240	Harjavalta	240703	6806124	hyvä	vt	kypsä	mänty	koivu	kuusi		9,4
241U	Harjavalta	243249	6805839	kohtalainen	mt	nuori	mänty	kuusi	koivu		7,8
243U	Kokemäki	239147	6803905	hyvä	ct	varttunut	mänty				22,0
244	Harjavalta	240500	6805042	hyvä	vt	varttunut	mänty				25,7
245	Harjavalta	242964	6804883	hyvä	vt	varttunut	mänty				22,7
246U	Kokemäki	239182	6802294	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi			19,0
247	Kokemäki	240946	6802152	hyvä	vt	varttunut	mänty				33,0
248	Kokemäki	243172	6801978	hyvä	vt	varttunut	mänty				26,0
250	Kokemäki	242638	6800174	hyvä	vt	varttunut	mänty				25,7
253	Kokemäki	244636	6798758	hyvä	vt	varttunut	mänty				26,3
254	Kokemäki	246622	6794806	hyvä	vt	varttunut	mänty				27,0

Ala	kunta	x	y	soveltuvuus	metsatyyppi	kehitysluokka	laji.1	laji.2	laji.3	laji.4	pa.ka
267	Pori	221244	6851806	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			13,3
269U	Pori	214574	6851510	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		9,9
285	Eura	231555	6796500	hyvä	vt	kypsä	mänty				23,0
286	Eura	230202	6794475	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi			14,4
294	Harjavalta	238666	6809386	hyvä	vt	kypsä	mänty				28,7
296	Ulvila	224547	6817669	hyvä	mt	kypsä	mänty	koivu	kuusi		10,9
301	Pori	245700	6841722	hyvä	mt	varttunut	mänty	koivu	kuusi		7,8
302	Pomarkku	242526	6845933	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		10,0
303	Pori	251376	6840263	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		10,9
304U	Pomarkku	247476	6847287	hyvä	ct	varttunut	mänty	kuusi	koivu		7,3
306U	Pomarkku	241260	6851856	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi			17,2
309U	Pori	251656	6846828	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		12,8
310	Pori	255999	6845629	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		10,4
324	Pomarkku	238738	6854304	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	kuusi			13,5
325U	Pomarkku	235888	6853402	kohtalainen	vt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		6,3
326	Pomarkku	241571	6859023	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			12,0
327	Pomarkku	235493	6857805	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		9,6
401U	Eura	227853	6791853	hyvä	vt	varttunut	mänty	koivu			13,8
403U	Eura	233667	6791906	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		6,8
409	Eura	227458	6787991	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi			17,8
416	Eura	234023	6783103	hyvä	vt	kypsä	mänty	koivu			11,7
421	Eura	239331	6787770	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi	koivu		12,8
425U	Eura	239834	6791287	kohtalainen	vt	kypsä	mänty	kuusi			15,8
431U	Säkylä	245237	6786907	kohtalainen	mt	kypsä	mänty	kuusi			15,2
435U	Eura	240227	6784508	hyvä	mt	kypsä	mänty				26,3
438U	Säkylä	245396	6779274	hyvä	mt	kypsä	mänty				24,0
442U	Eura	237692	6778746	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi	haapa		7,3
446	Säkylä	252415	6792784	hyvä	ct	kypsä	mänty	kuusi	koivu		6,1
447U	Säkylä	251175	6787068	hyvä	vt	kypsä	mänty				26,2
451U	Säkylä	251861	6780371	hyvä	ct	kypsä	mänty				13,0

Ala	kunta	x	y	soveltuvuus	metsätyyppi	kehitysluokka	laji.1	laji.2	laji.3	laji.4	pa.ka
456	Säkylä	251988	6775485	hyvä	mt	kypsä	mänty	koivu	kuusi		12,2
457	Säkylä	257458	6784337	hyvä	vt	varttunut	mänty				19,3
463	Säkylä	258017	6770269	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			11,7
469U	Säkylä	252409	6765955	hyvä	ct	varttunut	mänty				36,7
474U	Säkylä	244077	6764727	hyvä	vt	kypsä	mänty	koivu			10,0
484U	Eura	230505	6772150	hyvä	ct	varttunut	mänty				16,7
491	Eura	233448	6763066	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			16,2
499U	Eura	240599	6761762	kohtalainen	mt	varttunut	mänty	koivu			10,7
500U	Eura	222805	6773828	hyvä	ct	kypsä	mänty	koivu			10,3
601	Eurajoki	215615	6796691	hyvä	vt	varttunut	mänty	kuusi			7,4
602U	Eurajoki	207395	6796567	hyvä	ct	kypsä	mänty				14,2
605U	Eurajoki	219812	6793406	hyvä	ct	kypsä	mänty	koivu	kuusi		9,4
606	Eurajoki	227799	6793513	hyvä	ct	varttunut	mänty	koivu			6,2
607	Eurajoki	225906	6795580	hyvä	mt	kypsä	mänty	kuusi			12,8
609	Eurajoki	214708	6799444	hyvä	clt	kypsä	mänty	kuusi			8,3
610	Eurajoki	211375	6802520	hyvä	ct	kypsä	mänty	kuusi			10,6
611U	Eurajoki	208123	6803979	hyvä	vt	kypsä	mänty				22,2
612	Eurajoki	219635	6802160	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			13,0
613	Eurajoki	217716	6806188	hyvä	vt	varttunut	mänty	koivu	kuusi		14,5
701	Huittinen	265910	6788095	hyvä	mt	varttunut	mänty	kuusi	koivu		13,1
702	Huittinen	262844	6782587	hyvä	ct	kypsä	mänty				20,0
703	Huittinen	263766	6779183	hyvä	ct	kypsä	mänty	haapa	koivu	kuusi	6,8
704	Huittinen	270504	6790825	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			9,2
705	Huittinen	269584	6784584	hyvä	vt	varttunut	mänty				30,7
706	Huittinen	269408	6776155	hyvä	ct	kypsä	mänty	koivu	kuusi		12,6
707	Huittinen	269400	6769683	hyvä	ct	varttunut	mänty	koivu			13,0
708	Huittinen	274066	6771370	hyvä	ct	kypsä	mänty	kuusi			12,0
709	Huittinen	274857	6781840	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi			15,8
710	Huittinen	273563	6790713	hyvä	ct	kypsä	mänty	kuusi			8,2
711	Huittinen	274669	6794595	hyvä	vt	kypsä	mänty	kuusi	haapa		9,1

Ala	kunta	x	y	soveltuvuus	metsätyyppi	kehitysluokka	laji.1	laji.2	laji.3	laji.4	pa.ka
712	Huittinen	269389	6796688	hyvä	vt	varttunut	mänty	koivu	kuusi		10,3
713	Huittinen	264707	6797928	hyvä	ct	varttunut	mänty	koivu	kuusi		7,6

LIITE 5

Typpidioksidin vuosipitoisuus tutkimusalueella Euroopan ympäristöviraston (EEA) mukaan

