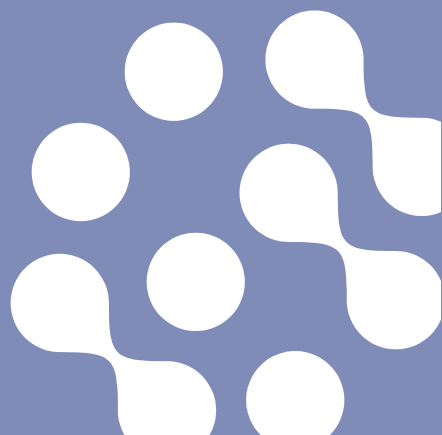


Eurofins Ahma Oy
Projekti 11879
01.12.2022

SEINÄJOEN SEUDUN JA ETELÄ-POHJANMAAN BIOINDIKAATTORITUTKIMUS 2022



Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	1
1. JOHDANTO	2
2. TUTKIMUSALUE.....	3
2.1 YLEISTÄ.....	3
2.2 ILMANLAATU	4
2.2.1 Ilmaan kohdistuvat päästöt.....	4
2.2.2 Paikalliset ilmanlaatumittaukset	5
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	6
3.1 HAVAINTOALAT	6
3.2 JÄKÄLÄKARTOITUS.....	9
3.3 NEULASTEN ALKUAINEPITOISUUDET	15
3.4 SAMMALNÄYTTEIDEN ALKUAINEPITOISUUDET	16
3.5 AINEISTON KÄSITTELY JA TULOSTEN ESITTÄMINEN	16
4. TULOKSET.....	16
4.1 HAVAINTOALOJEN TIEDOT	16
4.2 MÄNNYN RUNKOJÄKÄLÄT	18
4.2.1 Sormipaisukarpeen ja jäkälälajiston yleiset vaurioasteet.....	18
4.2.2 Levän yleisyys ja sormipaisukarpeen peittävyys.....	22
4.2.3 Lajimäärät	24
4.2.4 IAP-indeksi	25
4.3 NEULASTEN ALKUAINEPITOISUUDET	27
4.4 SAMMALTEN ALKUAINEPITOISUUDET	36
5. TULOSTEN TARKASTELU	41
5.1 TAUSTAMUUTTUJIIEN VAIKUTUS JA MUUTTUJIIEN VÄLINEN RIIPPUVUUS.....	41
5.2 VERTAILU ALUEELLA AIEMMIN TOTEUTETTUIHIN TUTKIMUKSIIN	44
5.2.1 Männyn runkojäkälät	46
5.2.2 Neulasten alkuainepitoisuudet	51
5.2.3 Sammalten alkuainepitoisuudet	55
5.3 VERTAILU MUUALLA SUOMESSA TEHTYIHIN TUTKIMUKSIIN	58
5.3.1 Männyn runkojäkälät	58
5.3.2 Neulasten alkuainepitoisuudet	59
5.3.3 Sammalten alkuainepitoisuudet	60
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	61
VIITTEET	63
LIITE 1 – Neulas- ja sammalnäytteiden menetelmätiedot ja mittausepävarmuudet	

01.12.2022

Eurofins Ahma Oy

Tiina Osmala
Ympäristöasiantuntija, FM

Jaakko Jokinen
Ympäristöasiantuntija, FM

Paula Kajankari-Shelvey
Ympäristöasiantuntija, FM

Yhteystiedot:

Heinämäentie 2
40250 Jyväskylä
EtunimiSukunimi@eurofins.fi
www.eurofins.fi

TIIVISTELMÄ

Ilman epäpuhtauksista aiheutuvia kasvillisuusvaikutuksia on seurattu bioindikaattorimenetelmien avulla Seinäjoen seudulla ja koko Etelä-Pohjanmaalla 1980- ja 1990-lukujen vaihteesta lähtien. Vuonna 2022 tutkimus toteutettiin Seinäjoen, Ilmajoen, Kurikan, Kauhavan, Alavuden, Ähtärin, Alajärven, Kuortaneen, Lapuan, Evi-järven, Lappajärven, Soinin, Vimpelin sekä Suupohjan seutukunnan kuntien Isojoen, Karijoen, Kauhajoen ja Teuvan alueilla yhteensä 96 mäntyhavaintoalalla ja 47 sammalhavaintoalalla. Havaintoalaverkosto oli tihein kuormitetuimmilla Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla. Bioindikaattoreina selvityksessä käytettiin männyn runkojä-käliä sekä männyn neulasten ja seinäsammalten alkuainepitoisuuksia.

Etelä-Pohjanmaalla yksi suurimmista yksittäisistä päästölähteistä on liikenne. Suurimpia liikenteestä aiheu-tuvia päästöjä ovat typen oksidit, hiilivedyt, hiilimonoksidi ja hiukkaset. Liikenteen lisäksi ilman epäpuhtauk-sien kuormitusta syntyy myös Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijaitsevien teollisuuslaitosten päästöistä. Vuon-na 2018 ilmoitusvelvollisten teollisuuslaitosten päästötasot olivat rikkidioksidin, typen oksidien ja hiilidioksidin osalta vuosien 2012–2017 päästötasoa korkeammat, mutta vuodesta 2018 eteenpäin päästömäärien kehitys on ollut pääasiassa laskevaa ja ilmanlaatu on pysynyt pääsääntöisesti hyvällä tasolla. Merkittävänä maata-lousmaakuntana myös Etelä-Pohjanmaan maataloustoiminnoilla on paikallisia ilmanlaatuvaikutuksia.

Jäkälälajiston perusteella ilman epäpuhtauksien vaikutukset Etelä-Pohjanmaalla olivat selviä ja tutkitut muut-tujat olivat jossain määrin heikentyneet edelliseen tutkimusajankohtaan verrattuna. Männyn runkojäkälien lajilukumäärän ja ilmanpuhtausindeksin (IAP) perusteella tutkimusalueen jäkälälajisto oli keskimäärin lievästi köyhtynyttä tai köyhtynyttä. Ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien esiintymistiheydet olivat pääasiassa las-keneet ja ilman epäpuhtauksista hyötävän levän määrä oli lisääntynyt. Ilman epäpuhtauksille herkkimmät indikaattorilajit olivat hävinneet useilta havaintoaloilta kokonaan. Tutkimusalueen lajistoltaan runsaimmat alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, Töysässä sekä Suupohjan alueella. Vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoittuivat pääasiassa Alavudelle, Seinäjoelle ja Ähtäriin.

Ilman epäpuhtauksien päästöjen laskusuuntaisuudesta huolimatta jäkälissä tapahtuneet muutokset voivat indikoida ilmanlaadun heikentymistä. Muun muassa erilaiset luontaiset tekijät, kuten sateisuus, kovat helteet tai kuivuus, voivat vaikuttaa tuloksiin puskuroimalla tai voimistamalla ilman epäpuhtauksien vaikutuksia, min-kä takia bioindikaattorien vasteet eivät aina yksiselitteisesti seuraa päästömäärissä tapahtuvia muutoksia. Päästömäärien kehityksestä ainakin osittain riippumatonta jäkälätunnusten heikentymistä on tapahtunut Etelä-Pohjanmaan lisäksi myös muualla Suomessa. Tämän takia bioindikaattorien kehityssuunnan taustalla voi mahdollisesti olla myös laajempialaisia tekijöitä, kuten ilmastomuutoksen suorat ja epäsuorat vaikutuk-set. On myös huomattava, että havaintoaloilla suoritettut metsänhoidolliset toimenpiteet, varjostavan alus-kasvillisuuden voimistuminen sekä maalimerkkien katoamisesta johtuva mahdollinen tutkimuspuiden vaihtu-minen myös heikentävät jäkälätulosten vuosienvälistä vertailukelpoisuutta.

Neulasten alkuainepitoisuudet (erityisesti rikin ja typen pitoisuudet) kuvaavat osin ilman kautta tulevaa kuor-mitusta. Neulasten alkuainepitoisuudet eivät kuitenkaan kerro pelkästä ilmanlaadusta, vaan myös muut teki-jät voivat vaikuttaa pitoisuuksiin. Neulasten rikki- ja typpipitoisuudet olivat hieman kasvaneet edelliseen tut-kimusajankohtaan verrattuna, mutta pitoisuuksia voidaan pitää Etelä-Suomen männynlehtien tyypillisinä. Edelli-seen tutkimukseen verrattuna myös neulasten kromi-, kupari-, nikkeli-, rauta- ja sinkkipitoisuudet olivat kas-vaneet. Muiden tarkasteltujen alkuaineiden osalta pitoisuudet olivat laskeneet.

Sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet olivat nousseet edelliseen tutkimukseen verrattuna nikkeliä, natriumia ja kromia lukuun ottamatta. Myös pitkään tasaisesti laskenut sammalten lyijypitoisuus oli kääntynyt kasvuun. Paikallisten päästölähteiden vaikutukset näkyivät selvästi sammalten raskasmetallipitoisuuksissa ja sammalten korkeimmat alkuainepitoisuudet mitattiin pääasiassa Seinäjoen Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydestä. Sama oli nähtävissä edellisessä, vuonna 2017, toteutetussa tutkimuksessa.

Neulasten ja sammalten lajinsisäisissä alkuainepitoisuuksissa havaitut korrelaatiot viittaavat siihen, että bi-oindikaattoreihin kertyvillä alkuaineilla on yhteinen päästölähde, kuten teollisuus, liikenne, kaukolaskeuma tai näiden yhteisvaikutus. On huomattava, että kohonneita alkuainepitoisuuksia voi osin selittää myös tutkimus-vuosien väliset erot, sillä muun muassa vallitsevat sääolosuhteet voivat vaikuttaa mitattuihin pitoisuuksiin.

1. JOHDANTO

Bioindikaattori on eliö, eliöyhteisö tai sen osa, joka ilmaisee ympäristön ja ekosysteemin tilaa ja niissä tapahtuvia muutoksia (Lodenius ym. 2002, Markert ym. 2004). Muutokset ilmenevät muun muassa bioindikaattorin rakenteessa, toiminnassa, kemiallisessa koostumuksessa tai alkuainepitoisuudessa tapahtuvina muutoksina (SFS 5670). Bioindikaattorit voivat ilmentää esimerkiksi epäpuhtauksien esiintymistä tai levinneisyyttä.

Ilman epäpuhtauksista aiheutuvia kasvillisuusvaikutuksia on seurattu bioindikaattorimenetelmien avulla Seinäjoen seudulla ja koko Etelä-Pohjanmaalla 1990-luvun vaihteesta lähtien. Bioindikaattoritutkimuksissa on selvitetty muun muassa männyn runkojäkälien monimuotoisuutta, runsautta ja vaurioastetta, männyn neulaskatoa, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia sekä metsäsammalnäytteiden ja sammalpallojen alkuainepitoisuuksia. Vuosina 1989/1990, 1995 ja 2000 bioindikaattoriseurannat toteutettiin Seinäjoen, Nurmon ja Ilmajoen alueilla. Vuonna 2006 havaintoalueverkostoa laajennettiin kattamaan yhteensä 19 Seinäjoen ympäristössä sijaitsevan kunnan alueet. Vuosina 2012, 2017 ja 2022 selvitykseen osallistui yhteensä 17 kuntaa (kuva 1-1).

Vuoden 2022 tutkimuksessa selvitettiin ilmansaasteiden vaikutusta männyn runkojäkäliin sekä männyn neulasten ja seinäsammalnäytteiden alkuainepitoisuuksiin. Mäntyjen jäkäläkartoitus ja neulasten alkuainepitoisuuksien määrittäminen toteutettiin 96:lla Etelä-Pohjanmaan alueella sijaitsevalla mäntyhavaintoalalla. Seinäsammalen alkuainepitoisuudet määritettiin 47:ltä Seinäjoen ja Ilmajoen alueella sijaitsevalta havaintoalalta.



Kuva 1-1. Tutkimuskunnat Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2022.

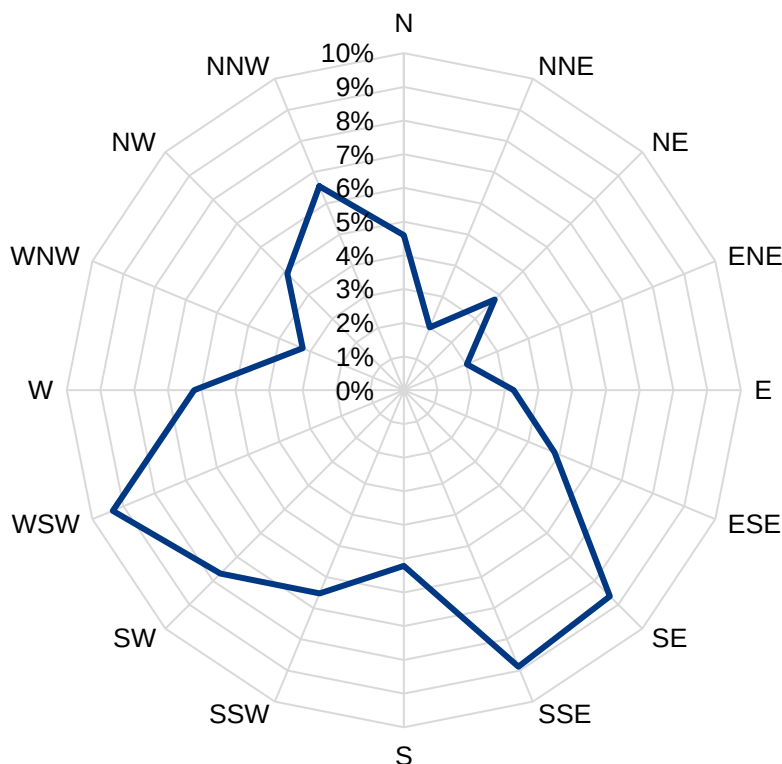
Tutkimuksen tilasi Seinäjoen seudun ilmanlaadun tarkkailutyöryhmä 2018–2022, jossa ovat mukana Seinäjoen kaupunki, Ilmajoen kunta sekä kuntien alueella olevia ympäristö- ja rekisteröintivelvollisia laitoksia: Anora Group Oy, Atria Suomi Oy, Adven Oy, A-Rehu Oy, Hankkija Oy, Kurikan Kaukolämpö Oy, Nordec Oy, Seinäjoen Energia Oy, Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy, Valio Oy, Nevel Oy, Neova Oy ja Seinäjoen Voima Oy. Lisäksi tutkimukseen osallistuivat Etelä-Pohjanmaan muista kunnista Alajärvi, Alavus, Evijärvi, Kauhava, Kuortane, Kurikka, Lappajärvi, Lapua, Soini, Vimpeli, Ähtäri ja Suupohjan kunnat (Isojoki, Karijoki, Kauhajoki, Teuva). Alajärveltä mukana olivat Alajärven Lämpö Oy ja Mäkelän Alu Oy sekä Vimpelistä Vimpelin Lämpö Oy.

Tutkimus toteutettiin Eurofins Ahma Oy:n toimesta tilaajan toimeksiannon mukaisesti. Tutkimuksen maastotöihin osallistuivat Tiina Osmala, Juho Harmoinen, Jaakko Jokinen, Jessica Asbacka, Marko Oittinen, Silja Töyrylä ja Eeva Kosola. Näytteet analysoitiin Eurofins Ahma Oy:n laboratoriossa Oulussa. Laboratorioanalytiikasta vastasi Toni Mäkelä. Tutkimuksen tilastollisesta analyysistä vastasi Paula Kajankari-Shelvey ja kartatöistä Tiina Osmala ja Jaakko Jokinen. Tutkimuksen raportoinnista vastasi Tiina Osmala.

2. TUTKIMUSALUE

2.1 Yleistä

Etelä-Pohjanmaan alue lukeutuu eliömaantieteellisessä aluejaossa keskiboreaaliseen vyöhykkeelle. Alueen topografia on varsin alavaa ja loivapiirteistä. Alueen maisemakuvaa hallitsevat laajat viljavat jokilaaksot, joiden välisillä selännealueilla pinnanmuodot voivat olla vaihteleviakin. Jokivarsilla maaperä on hienojakoista ja lajittunutta, selänneilla ja maaston painanteissa esiintyy moreenimaita ja turvekankaita. Maaston lakialueilla on paikoin kalliopaljastumia. Alueen metsät ovat pääasiassa mäntyvaltaisia ja karuja. Suometsien osuus on suhteellisen suuri (Metsäkeskus 2020). Tutkimusalueella vallitsevat länsilounaan-, eteläkaakon- ja kaakonpuoleiset tuulet (kuva 2-1).



Kuva 2-1. Tuulensuuntien suhteelliset osuudet tutkimusalueella vuositasolla. Tuulitiedot Ilmatieteenlaitoksen avoimen datan verkkopalvelusta (2022).

2.2 Ilmanlaatu

2.2.1 Ilmaan kohdistuvat päästöt

Etelä-Pohjanmaalla yksi suurimmista yksittäisistä päästölähteistä on liikenne. Suurimpia liikenteestä aiheutuvia päästöjä ovat typen oksidit, hiilivedyt, hiilimonoksidi ja hiukkaset (Rintamäki 2022). Tieliikenteen arvioit päästöt Seinäjoen seudulla vuosina 2018–2020 on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 2-1).

Taulukko 2-1. Tieliikenteen päästöt (t/a) Seinäjoella vuosina 2018-2021 (LIISA -laskentaohjelma 2021, Rintamäki 2022).

	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	CO ₂
2020	0,41	231,54	5,89	95 223
2019	0,42	254,5	6,54	97 734
2018	0,44	280,14	7,59	101 100

Ilmoitusvelvollisten laitosten päästöjen kehitys Seinäjoen seudulla on pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna ollut aaltomaista. Osaltaan tilanteeseen on vaikuttanut tuotannon vaihtelut. Päästömäärät ovat suoraan verrannollisia muun muassa tuotettuun energiamäärään. Vuonna 2021 rikkidioksidi (SO₂) päästöt olivat 23 vuoden seurantajakson pienimmät (Rintamäki 2022).

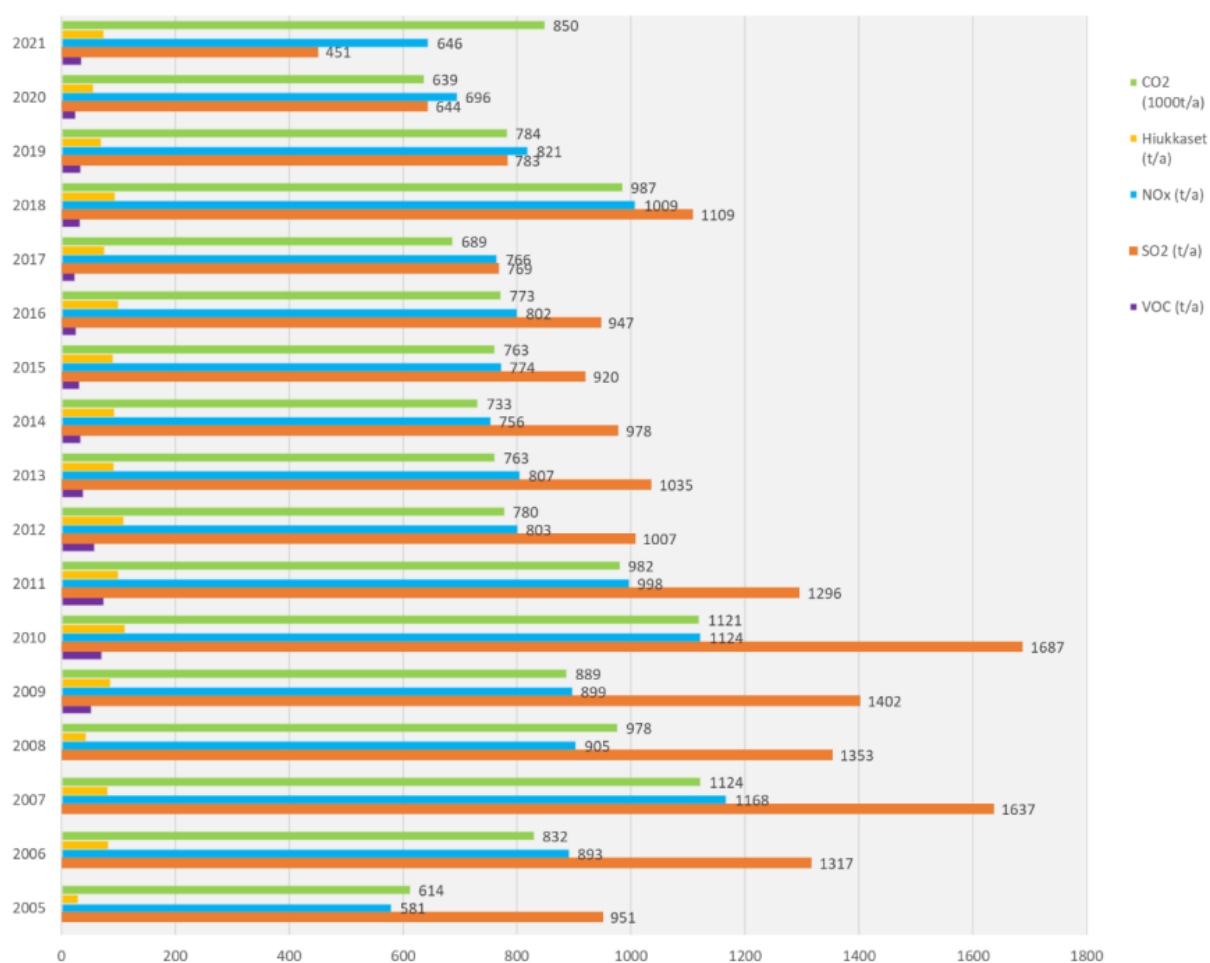
Seinäjoelle vuonna 2010 tehdyn ilmapäästöjen mallinnuksen mukaan energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt eivät ole suoraan kriittisiä tekijöitä Seinäjoen kaupungin ilmanlaadun kannalta. Laitokset vaikuttavat kuitenkin välillisesti Seinäjoen seudun ilmanlaatuun, sillä niille kulkevan raskaan liikenteen päästöillä on vaikutusta alueen ilmanlaatuun (Rintamäki 2022). Taulukossa 2-2 on eriteltynä Seinäjoen seudun ilmoitusvelvollisten laitosten päästöt vuonna 2021.

Kuvassa 2-2 on esitetty ilmoitusvelvollisten laitosten CO₂-, hiukkas-, NO_x-, SO₂- ja VOC-päästöt vuosilta 2005–2020. Edelliset bioindikaattoritutkimukset tehtiin vuosina 2012 ja 2017. Vuonna 2018 päästötasot nousivat rikkidioksidin, typen oksidien ja hiilidioksidin osalta vuosien 2012–2017 päästötasoa suuremmiksi. Vuoden 2018 jälkeen päästötasot kääntyivät laskuun, mutta nousivat CO₂-, hiukkas- ja VOC-päästöjen osalta vuonna 2021.

Taulukko 2-2. Ilmoitusvelvollisten päästöt Seinäjoen seudulla 2021 (Rintamäki 2022).

Tuotantolaitos	Hiukkaset (t/a)	SO ₂ (t/a)	NO _x (t/a)	CO ₂ (t/a) Fossiili	CO ₂ (t/a) Bio	CO ₂ (t/a) Yht.	VOC (t/a)
Adven Oy / Ylistaro	2,11	0,99	6,31	2 197,00	2 354,00	4 551,00	-
Altia Oyj, Koskenkorvan tehdas	3,60	-	-	-	14 428,00	14 428,00	1,00
A-Rehu Oy, Koskenkorvan tehdas	1,24					-	-
Atria Suomi Oy / Nevel Oy Nurmon kattilat	1,10	29,50	55,90	21 025,20	9 646,00	30 671,20	-
Kurikan kaukolämpö Oy / Ilmajoen lämpölaitos	3,23	20,36	32,89	6 484,00	11 163,00	17 647,00	-
Nordec Oy Peräseinäjoki *						-	25,08
Seinäjoen Energia Oy Hanneksenrinne	6,21	1,33	21,67	969,59	13 977,02	14 946,61	-
Seinäjoen Energia Oy Kapernaumi	1,96	35,32	68,49	21 241,63	15 778,78	37 020,41	-
Seinäjoen Energia Oy Peräseinäjoen kattilat	7,67	12,20	8,43	4 861,45	1 945,28	6 806,73	-
Seinäjoen Energia Oy Puhdistamonkatu	0,13	0,10	0,13	1 340,79	-	1 340,79	-
STEP Oy Koskenkorvan voimalaitos	0,80	51,80	70,00	19 932,00	34 027,00	53 959,00	-
STEP Oy Seinäjoki Hankkijan voimalaitos	0,80	4,30	5,90	1 350,00	3 241,00	4 591,00	-
Valio Oy / Adven Oy	2,56	30,73	80,35	17 493,00	32 793,00	50 286,00	-
Valio Oy / Seinäjoen tehdas	1,94					-	-
Neova Oy Haukinevan pellettitehdas	5,50	19,10	25,80	12 495,00		12 495,00	-
Seinäjoen Voima Oy / Seinäjoen voimalaitos	37,00	245,00	270,00	366 156,39	234 598,71	600 755,10	11,10
Yhteensä	75,85	450,73	645,87	475 546,05	373 951,79	849 497,84	37,18

* ilmoitusvelvollisuus VOC-päästöjen osalta



Kuva 2-2. Ilmoitusvelvollisten laitosten päästökehitys Seinäjoen seudulla 2005–2020 (Rintamäki 2022).

2.2.2 Paikalliset ilmanlaatumittaukset

Seinäjoen ilmanlaadun mittausaseman laitteistoon kuuluvat:

- kemiluminesenssiin perustuva typen oksidien mittauslaite
- beta-säteilyyn perustuva hiukkasten (PM₁₀) mittauslaite
- säähavaintoasema

Ilmanlaadun mittauksien tiedot ovat saatavissa valtakunnallisesta Ilmanlaatuportaalista.

Typidioksidipitoisuus indikoi liikennettä ja osittain energiantuotantoa. Liikenteen päästövaikutus on havaittavissa lähellä maan pintaa, kun taas laitosten päästöt leviävät korkeiden piippujen ansiosta korkeammalle ja niiden vaikutus hengitysilman laatuun on vain vähäinen. Mittauspisteellä vuoden 2016 typidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvoksi saatiin 10,4 µg/m³. Vuositasolla toiseksi suurin vuorokausiarvo 52 µg/m³ oli korkeimmillaan joulukuussa. Korkein typidioksidipitoisuuden tuntiarvo oli helmikuussa 97,2 µg/m³. Terveystaittojen ehkäisemiseksi asetettujen raja-arvojen ylityksiä ei ollut vuoden 2021 aikana (Rintamäki 2022).

Hengitysilmaan päätyvät hiukkaset (PM₁₀) ovat pääosin liikenteen nostattamaa katupölyä. Hengitettävien hiukkasten vuoden 2021 keskiarvo oli 12,4 µg/m³, mikä alitti ohjearvon. Kevään pahin katupölyaika ajoittui huhtikuulle, jolloin hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausikeskiarvon raja-arvo ylittyi viisi kertaa (Rintamäki 2022).

Ilmanlaatuindeksi määräytyy edellä mainittujen komponenttien; typidioksidin ja hiukkasten, mittauksista. Seinäjoen ilmanlaadun indeksiarvo oli vuonna 2021 edellisvuosien tapaan pääsääntöisesti (88 %) hyvällä tasolla (Rintamäki 2022).

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Havaintoalat

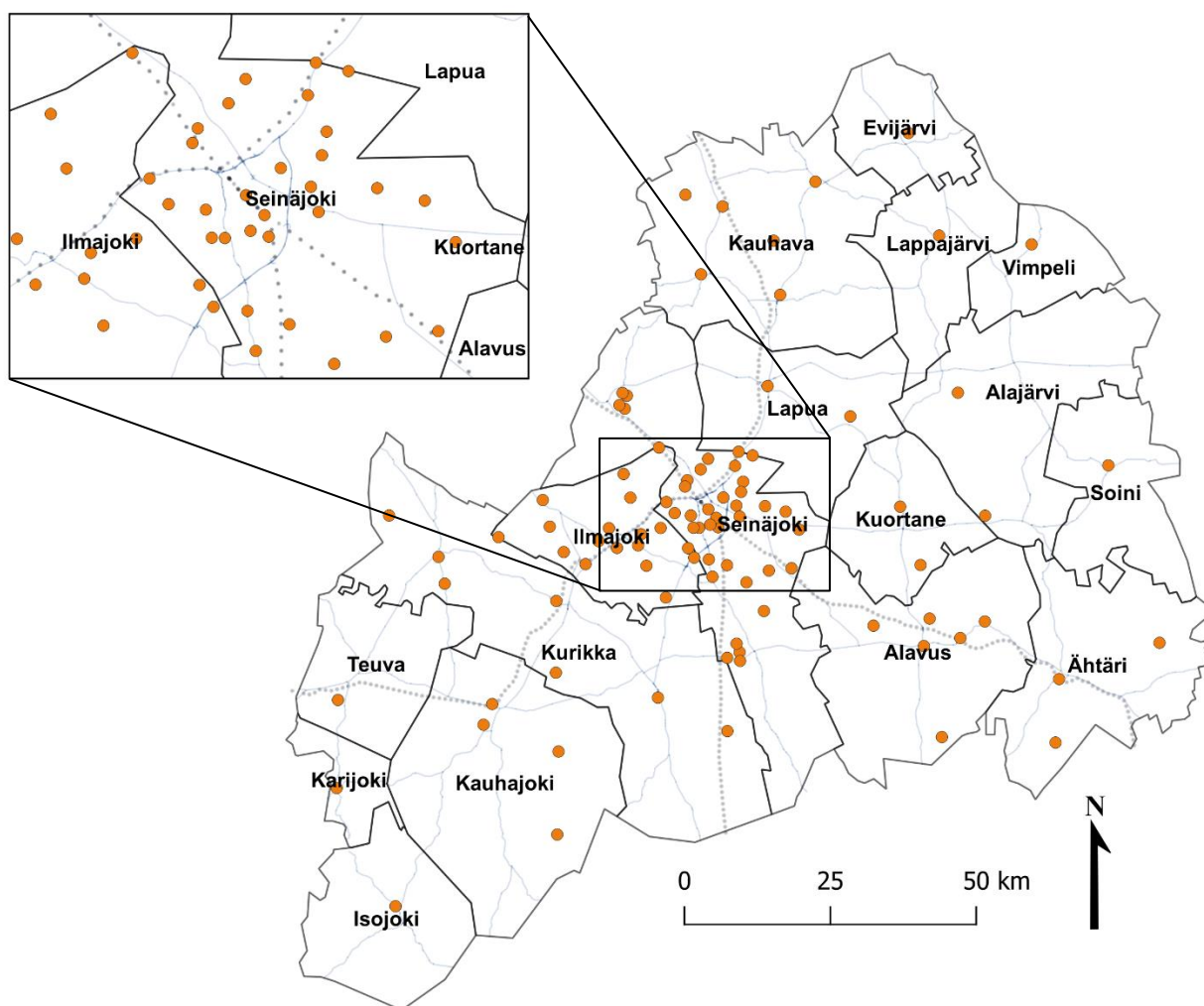
Männynneulasten alkuainepitoisuuksien tutkimus sekä runkojäkäläkartoitukset toteutettiin koko tutkimusalueen kattavana osuutena yhteensä 96 mäntyhavaintoalalla (taulukko 3-1, kuva 3-1). Edellisellä tutkimuskerällä tutkimus toteutettiin 97 mäntyhavaintoalalla, mutta yksi ala (ISO2) jätettiin asiakkaan pyynnöstä pois. Lisäksi Seinäjoen ja Ilmajoen kuntien alueelle sijoittui 47 sammalnäytealaa (taulukko 3-1, kuva 3-2, kuva 3-3). Sammaloista 41 alaa kuului alueella aiemmin perustettuun havaintoalaverkoston ja 6 alaa perustettiin täysin uusina aloina vuonna 2022. Havaintoalaverkosto oli tihein kuormitetuimmilla Seinäjoen ja Ilmajoen kuntien alueilla. Aikaisempien tutkimusten sammalpaloaloja ei käytetty vuoden 2022 tutkimuksessa.

Työn yhteydessä jouduttiin perustamaan uudelleen yhteensä 17 mäntyhavaintoalaa ja 7 sammalalaa metsänhakkuiden ja rakentamisen seurauksena. Uusien mäntyhavaintoalojen valinnassa pyrittiin ottamaan huomioon erityisesti jäkäläkartoituksen asettamat vaatimukset, jotka rajoittivat havaintoalan valintaa erityisesti puuston tiheyden ja aluspuuston peittävyys suhteen (SFS 5670). Lisäksi valinnassa huomioitiin, onko alueella toteutettu harvennushakkuita lähivuosien aikana. Uudet havaintopuut valittiin siten, että ne olivat läpimitaltaan vähintään 20 cm ja oksattomia kolmen metrin korkeuteen. Yksi neulasnäytteenoton yhteydessä perustetuista mäntyaloista oli kaadettu neulasnäytteenoton ja jäkäläkartoituksen välisenä aikana ja uusi ala perustettiin jäkäläkartoituksen yhteydessä noin 20 metrin päähän edellisestä.

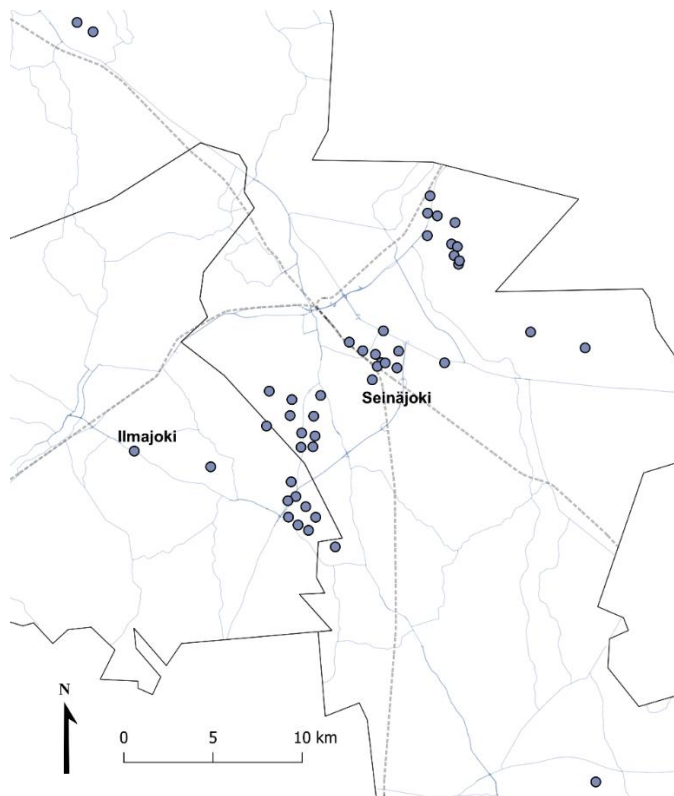
Havaintoalojen sijainti määritettiin GPS-laitteella. Havaintopuiden (10 puuta/mäntyala) sijainnit pyrittiin selvittämään havaintoalan etsintäohjeiden sekä havaintopuiden tyvessä olevien valkoisten maalitäplien avulla. Kaikilla aloilla maalitäplät eivät olleet enää havaittavissa. Mäntyhavaintoaloilta määritettiin metsätyyppi, puulajisuhteet, puuston kehitysluokka, puuston pohjapinta-ala sekä havaintopuiden keskimääräinen korkeus ja ikä. Lisäksi arvioitiin metsikön soveltuvuutta kartoitukseen. Puuston pohjapinta-alan määrittämisessä käytettiin relaskooppia. Puuston ikä arvioitiin silmämääräisesti.

Taulukko 3-1. Havaintoalojen lukumäärät kunnittain.

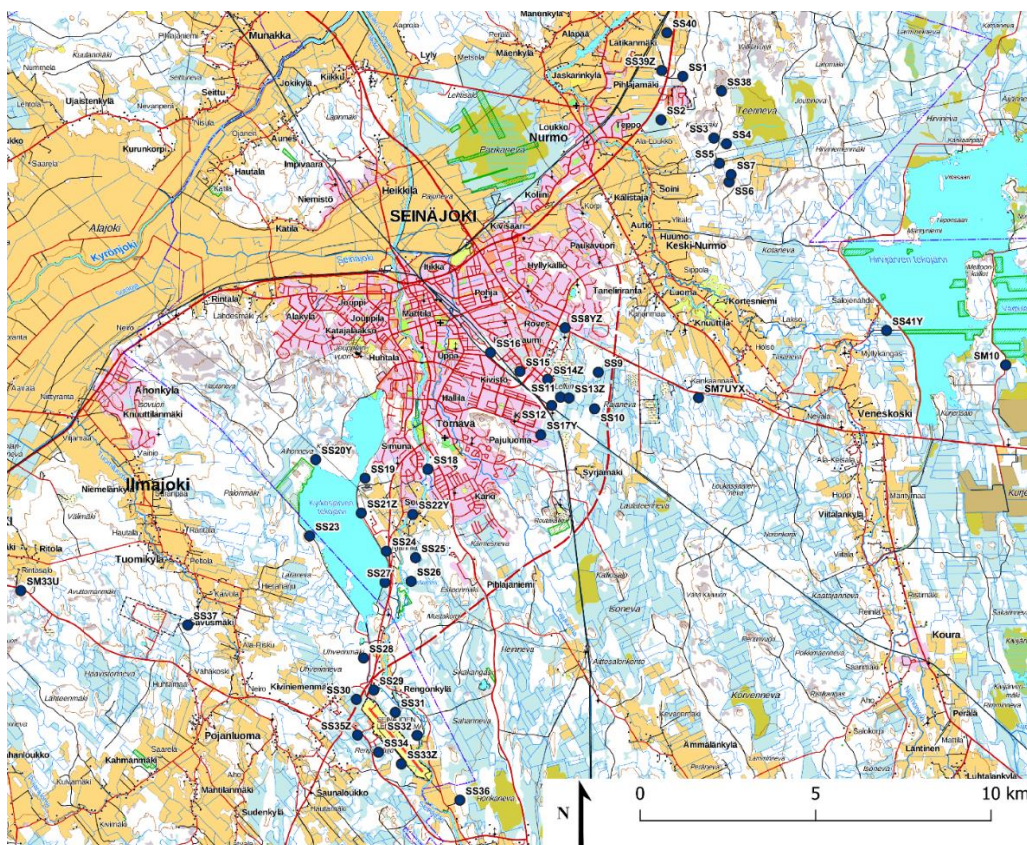
Kunta	Alue	Mäntyala	Sammalala
Seinäjoki		39	37
Ilmajoki		18	10
Alajärvi		2	
Alavus		6	
Evijärvi		1	
Kauhava		6	
Kuortane		2	
Kurikka		7	
Lappajärvi		1	
Lapua		2	
Soini		1	
Suupohjan seutukunta			
	Isojoki	1	
	Kauhajoki	4	
	Karjajoki	1	
	Teuva	1	
Vimpeli		1	
Ähtäri		3	



Kuva 3-1 Mäntyhavaintoalat Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2022 (n = 96).



Kuva 3-2 Sammalalat Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2022 (n = 47).



Kuva 3-3 Sammalalojen tarkempi sijainti Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2022. Taustapitoisuusala ja kaksi pohjoisinta alaa eivät näy karttakuvassa.

3.2 Jäkäläkartoitus

Jäkälät koostuvat symbioosissa elävästä lehtivihreästä sieniosakkaasta ja yhteyttävästä leväosakkaasta. Kaarnalla kasvavat epifyyttijäkälät ovat herkkiä ilman epäpuhtauksille, koska niiltä puuttuu suojaavia pintasolukerroksia ja ne ottavat ravinteensa ja vetensä suoraan ilmasta, sadevedestä ja runkovalunnasta. Samalla niihin kertyy ilman epäpuhtauksia. Epifyyttijäkälät kasvavat suojaamattomina puiden rungoilla ja oksilla ympärivuotisesti, mikä lisää niiden herkkyttä ilman epäpuhtauksille (SFS 5670). Ilmansaasteiden lisäksi monet jäkälät ovat erittäin herkkiä ilmastossa ja ympäristössä tapahtuville muutoksille, kuten rehevöitymiselle ja metsien hoitotoimenpiteille (SFS 16413).

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset näkyvät muutoksina jäkälien morfologiassa, peittävyudessa sekä lajikoostumuksessa (Lodenius 2002). Morfologiset muutokset näkyvät muun muassa jäkälien sekovarren koon pienemisenä sekä liuskaisuuden ja värin muuttumisena. Jäkälälajit reagoivat ilman epäpuhtauksiin eri tavoin. Usein vaikutukset näkyvät ensin herkimmissä lajeissa, joiden peittävyys männyn rungoilla vähenee. Altistuksen jatkuessa ilman epäpuhtauksille herkimvät lajit voivat hävitä rungoilta, ja kestävämmät lajit runsastua. Osa lajeista voi myös hyötyä kuormituksen lisääntymisestä ja runsastua puiden rungoilla. Standardin SFS 5670 mukaisessa jäkäläkartoituksessa käytettävien jäkälälajien kestävyys ilman epäpuhtauksille on esitetty oheisessa taulukossa (taulukko 3-2). On huomattava, että ilmansaasteiden sietokyvyn lisäksi jäkälälajien esiintymiseen vaikuttavat lajin luontaiset kasvupaikkavaatimukset.

Taulukko 3-2. Eräiden jäkälälajien herkkyudet rikkidioksidille Kuusinen ym. 1990 mukaan.

Lajin herkkyys	Lajin nimi	Lajin tieteellinen nimi
Kestävä, hyötyvä	seinäsuomujäkälä leväpeite	<i>Hypocenomyce scalaris</i> <i>Algae + Scoliosporum</i>
Melko kestävä	sormipaisukarve keltatyvikarve ruskoröyhelö keltaröyhelö	<i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmeliopsis ambigua</i> <i>Cetraria chlorophylla</i> <i>Vulpicida pinastri</i>
Melko herkkä	harmaatyvikarve harmaaröyhelö hankakarve raidanisokarve	<i>Parmeliopsis hyperopta</i> <i>Platismatia clauca</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Parmelia sulcata</i>
Herkkä	lupot naavat	<i>Bryoria sp.</i> <i>Usnea sp.</i>

Ilman epäpuhtauksien aiheuttamat muutokset jäkälissä ja jäkälälajistossa voivat ilmetä nopeasti etenkin suurissa saastepitoisuuksissa (Jussila ym. 1999). Jäkäliden hidaskasvuisuuden takia aiheutuneet vaikutukset usein näkyvät vielä vuosienkin päästä kuormituksen vähennyttyä. Tärkein jäkäliin vaikuttava ilman epäpuhtaus on rikkidioksidi, mutta myös typpiyhdisteillä ja alkalisilla päästöillä on vaikutusta. Alkaliset päästöt muuttavat erityisesti havupuulla kasvavien jäkälien normaalisti hapanta kasvualustaa emäksisemmäksi.

Jäkälissä tapahtuvat muutokset ovat usein hyvin nähtävissä sormipaisukarpeessa (*Hypogymnia physodes*), joka on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji (Polojärvi ym. 2005). Laji kestää hyvin ilman epäpuhtauksia ja se häviää yleensä viimeisenä kestäviksi luokitelluista jäkälälajeista. Sormipaisukarve todennäköisesti myös hyötyy ilman epäpuhtauksista tiettyyn kuormitustasoon asti (Anttonen 1990). Sormipaisukarpeen ja muiden kartoitukseen käytettyjen jäkälälajien kuormitusherakkyttä ja indikaattoriarvoa on luonnehdittu lyhyesti taulukossa 3-3.

Taulukko 3-3. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni, - huono. Seurallislajien lukumäärät perustuvat Uudenmaan vuoden 2009, Pohjois-Karjalan vuoden 2010, Kokkolan ja Pietarsaaren vuoden 2012 sekä Etelä-Karjalan vuoden 2012 bioindikaattoritutkimusten yhdistetyistä aineistoista (Huuskonen ym. 2010, Lehtonen ym. 2011, Huuskonen & Lehtonen 2012 ja Lehtonen ym. 2013) Lehtonen ym. 2013 mukaan. Lajikuvaukset Laita ym. 2008 ja lajikuvat © Tiina Osmala.



Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) +++

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



Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++

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



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

Tuhkakarve ja harmaatyvikarve sijoittuvat kestävydeltään kolmanneksi. Tämä sijoitus sopii yleensä hyvin näiden lajien esiintymisfrekvenssin alueelliseen jakaantumiseen, sillä kahta edellistä lajia herkempanä 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. Seurallislajien lukumäärä 5,33.



Seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ++

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



Lupot (*Bryoria* sp.) +++

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



Naavat (*Usnea* sp.) +++

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



Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ++

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



Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +

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

**Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) –**

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

**Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++**

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

**Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*) +**

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

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

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

Kullakin mäntyhavaintoalalla toteutettiin männyn rungoilla esiintyvien 12 jäkälälajin kartoitus standardin SFS 5670 mukaisesti kesäkuun, syyskuun ja lokakuun 2022 aikana. Kartoitus toteutettiin kymmeneltä puulta 50–200 cm korkeudelta lieriönmuotoiselta alalta. Standardista poiketen kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (taulukko 3-4).

Taulukko 3-4. Jäkälän runsauden luokittelu. Leväpeite ja seinäsuomujäkälä luokitellaan peittävytenä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.

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

Lisäksi sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) ja luppojen (*Bryoria* sp.) peittävyttä mitattiin pistefrekvenssimenetelmällä, jossa käytetään apuna sadan pisteen systemaattista otantaa. Lajien peittävydet arvioidaan puiden itä-koillisen ja länsi-lounaan puolelta. Sormipaisukarpeen ja jäkälän yleinen vaurioaste arvioitiin viisiportaisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (taulukko 3-5, Kuva 3-4 ja Taulukko 3-6). Lisäksi kullekin havaintoalalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärä, eli standardissa SFS 5670 huomioitavien lajien lukumäärä ilman seinäsuomujäkälää ja levää (taulukko 3-7).

Taulukko 3-5. Sormipaisukarpeen vaurioluokitus (SFS 5670).

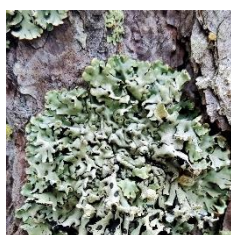
Vaurio	Näkyvät muutokset
I normaali	Jäkälät terveitä tai lähes terveitä
II lievä vaurio	Lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuunnoksia
III selvä vaurio	Jäkälät kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpaakin
IV paha vaurio	Jäkälät pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
V kuollut tai puuttuu	



I = terve



II = lievä vaurio



III = selvä vaurio



IV = paha vaurio



V = kuollut/puuttuu

Kuva 3-4. Sormipaisukarpeen vaurioluokitus. Vaurioastekuvat ©Tiina Osmala.

Taulukko 3-6. Yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

Vaurio	Näkyvät muutokset
I normaali	Kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	Pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
III selvä vaurio	Pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV paha vaurio	Pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V kuolleet tai puuttuvat	Myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä

Taulukko 3-7. Jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella.

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

Kullekin havaintoalalle laskettiin paikan jäkäläkasvillisuutta kuvaava IAP-indeksi (*Index of Air Purity*). IAP-indeksi yhdistää eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit yhteen lukuarvoon ottamalla huomioon myös eri lajien herkkyudet (Polojärvi 2005). IAP-indeksi kuvaa jäkälälajiston tilaa, eli mitä suurempi indeksiluku on, sitä runsaampi on jäkälälajisto ja sitä enemmän esiintyy ilman saasteille herkkiä lajeja.

Indeksi laskettiin kullekin havaintoalalla seuraavasti:

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

Q = Kunkin jäkälälajin keskimääräinen seuralaislajien lukumäärä rungolla

f = Lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealalla (0-1)

n = Jäkälälajien lukumäärä ($n=10$)

Indeksiä laskettaessa käytettiin kymmentä standardin SFS 5670 mukaista jäkälälajia. Laskennassa ei huomioitu viherleviä ja seinänsuomujäkälää, jotka ovat ilman epäpuhtauksista hyötyviä lajeja. Seinänsuomujäkälän, levän sekä vihersukkulajäkälän esiintyminen on huomioitu seuralaislajien lukumäärissä. Puukohtaisista IAP-indeksiarvoista laskettiin havaintoalakohtaiset IAP-indeksit.

IAP-indeksin laskentatavasta ei ole yhdenmukaista käytäntöä, mistä johtuen indeksille ei ole esitetty yleisesti käytettävää luokitusta. Tässä selvityksessä indeksin arvo luokiteltiin oheisen taulukon (taulukko 3-8) mukaisesti.

Taulukko 3-8. Jäkälälajiston luokitus IAP-indeksin perusteella.

IAP-indeksi	Kuvaus jäkäläkasvillisuudesta
> 3	Jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa, mukana yleisesti herkempiä lajeja
2 - 3	Lajistossa lieviä muutoksia, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti
1 - 2	Lajisto on köyhtynyt, herkempiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla
0,5 - 1	Lajisto on erittäin selvästi köyhtynyt, herkimmat lajit puuttuvat yleisesti, rungoilla esiintyy ilmansaasteista hyötyviä lajeja
< 0,5	Jäkäläautio tai lähes jäkäläautio

3.3 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasiin kertyy epäpuhtauksia suoraan ilmasta neulasten pintasolukon läpi. Osa ilmalaskeumasta jää neulasten pinnalle kulkeutumatta eteenpäin (Jussila ym. 1999). Neulasten alkuainepitoisuudet eivät kuitenkaan kerro pelkästä ilmanlaadusta, vaan niihin vaikuttavat myös muut tekijät, kuten juuriston kautta tapahtuva maaperän alkuaineiden kertyminen neulasiin. Lisäksi lukuiset eri tekijät, kuten vuodenaikaisvaihtelut, neulasten ikä sekä neulasten asema latvuksessa aiheuttavat luontaista vaihtelua neulasten kemiallisessa koostumuksessa (Jussila ym. 1999, Helmisaari 1993, Nieminen ym. 1993). Lisäksi voimakkaat sateet voivat laskea neulasten alkuainepitoisuuksia (Huttunen 1982).

Typpi, fosfori, kalsium, kalium, magnesium ja rikki ovat kasvien tarvitsemia pääravinteita, kun taas mangaani, rauta, boori, kupari, sinkki ja kloori ovat kasveille välttämättömiä hivenaineita. Alkuainepitoisuuksien perusteella voidaan tehdä päätelmiä ravinteiden keskinäisistä suhteista, puutostiloista tai myrkyllisen korkeista pitoisuuksista. Eri ravinteiden käyttäytyminen kasvilla vaihtelee. Muun muassa typpeä, fosforia, kaliumia, rikkiä ja magnesiumia kasvit kykenevät siirtämään kasvinsista toisiin. Yleensä näiden ravinteiden pitoisuus laskee neulasten ikääntymisen myötä, kun kasvi siirtää ravinteita nuorempiin osiin. Neulasten ikääntyessä heikosti liikkuvien ravinteiden (mm. Ca ja Mn) pitoisuudet puolestaan kasvavat.

Alkuaineista erityisesti rikki ja typpi kuvaavat ilman epäpuhtauksien aiheuttamaa kuormitusta (Jussila 1999). Havupuiden neulasten normaalina kokonaisrikkipitoisuutena pidetään 900 mg/kg kuiva-ainetta (Jussila ym. 1999). Puiden kasvun kannalta sopivana rikkipitoisuutena pidetään 900–1200 mg/kg (Reinikainen ym. 1998). Neulasten alkuainepitoisuuksille ei ole annettu yksiselitteisiä ohjearvoja, vaan arvot vaihtelevat eri kirjallisuuslähteissä. Neulasten eri (ravinne)pitoisuuksille annettuja viitearvoja on esitetty taulukossa 3-9.

Taulukko 3-9. Neulasten alkuainepitoisuuksien viitearvoja kangasmaan metsille (Reinikainen ym. 1998, Braecke 1995, Mälikönen 1991 ja Raitio 1994 mukaan).

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

Neulasnäytteet kerättiin kaikilta 96 mäntyhavaintoalalta standardin SFS 5669 mukaisesti talvella 2022. Neulasnäytteet kerätään puiden lepoaikana, jolloin neulasten alkuainepitoisuuksissa on vähemmän vaihtelua kuin kasvukaudella (mm. Raitio ja Merilä 1998). Näytepuista katkaistiin 3-4 oksaa eri puolilta latvustoa 8-12 metrin korkeudelta. Näytteet yhdistettiin havaintoaloittain kokoomanäytteiksi muovipusseihin ja säilytettiin viileässä näytteiden esikäsittelyyn asti. Näytteet esikäsiteltiin puukohtaisesti irrottamalla näyteoksista toisiksi viimeiset neulasvuosikerrat (2020 vuosikerta) ja näytteet kuivattiin. Näytteistä määritettiin typen (N), fosforin (P), kaliumin (K), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), rikin (S), boorin (B), mangaanin (Mn), raudan (Fe), kuparin (Cu), sinkin (Zn), kromin (Cr), nikkelin (Ni) ja kadmiumin (Cd) pitoisuudet. Näytteet käsiteltiin ja analysoitiin Eurofinsin akkreditoiduissa testauslaboratorioissa. Näytteiden alkuaineet analysoitiin typpeä lukuun ottamatta Eurofins Ahma Oy:n laboratoriossa Oulussa. Neulasten analysoinnissa käytetyt menetelmät sekä menetelmien mittauserävarmuudet ja määritysrajat ovat esitettynä liitteessä 1.

3.4 Sammalnäytteiden alkuainepitoisuudet

Metsän yleisimpiä sammalia, kuten metsäkerrossammalta (*Hylocomium splendens*) ja tässä työssä analysoidua seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) on käytetty bioindikaattoriselvityksissä jo useiden vuosikymmenten ajan. Sammalten yleinen käyttö kasvimateriaalin alkuainepitoisuuksia kartoittavissa tutkimuksissa perustuu osaltaan siihen, että sammalet ottavat tarvitsemansa veden ja ravinteet pääosin suoraan sadevedestä pintasolukkonsa läpi. Juuriston ja kasvin solukkoa suojaavan pintakerroksen eli kutikulan puuttumisen johdosta ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat sammaleeseen putkilokasveja tehokkaammin.

Suomessa sammalten alkuainepitoisuuksiin vaikuttaa pääosin kaukokulkeuma ja lähempänä sijaitsevat pistemäiset lähteet. Useimpien raskasmetallien pitoisuudet sammalissa ovat laskeneet Suomessa vuosien 1985–2010 välillä (Metsäntutkimuslaitos 2012). Voimakkainta on ollut lyijypitoisuuksien lasku, mikä johtuu lyijyttömään bensiniin siirtymisestä 1990-luvun alussa. Lyijyn ohella erityisesti kadmium- ja vanadiinipitoisuudet ovat laskeneet valtakunnallisella tasolla. Tekniikan kehittyminen ja päästörajojen tiukentaminen ovat vaikuttaneet siihen, että mm. kupari-, kromi-, sinkki- ja rautapitoisuudet ovat vähentyneet erityisesti suurimpien pistemäisten päästölähteiden läheisyydessä.

Sammalnäytteet kerättiin standardin SFS 5671 mukaisesti Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijainneilta sammalaloilta kesä- ja heinäkuun 2022 aikana (kuva 3-2, kuva 3-3). Kullakin havaintoalalla kerättiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) mahdollisimman puhtailta kasvustoilta vähintään viidestä eri kohdasta. Osanäytteet puhdistettiin roskista ja yhdistettiin yhdeksi havaintoalakohtaiseksi kokoomanäytteeksi. Sammalnäytteet prepoitiitiin ennen alkuaineanalyyysiä erottamalla sammalten vihreä osuus, eli viimeisimmän kahden-kolmen vuoden kasvu.

Sammalnäytteet kuivattiin vakiopainoon (40 °C). Kuivatut näytteet homogenisoitiin ja hajotettiin mikroaaltolahotuksella. Sammalten alkuainepitoisuudet määritettiin standardien SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A ja SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A mukaisesti. Näytteistä määritettiin alumiinin (Al), arseenin (As), boorin (B), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), kobolttin (Co), kromin (Cr), kuparin (Cu), raudan (Fe), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), nikkelin (Ni), fosforin (P), lyijyn (Pb), rikin (S), sinkin (Zn), vanadiinin (V) ja elohopean (Hg) pitoisuudet (liite 1).

3.5 Aineiston käsittely ja tulosten esittäminen

Tulosten käsittely toteutettiin Excelissä ja tulokset koottiin kuvaajiin ja taulukoihin. Teema- ja vyöhykekartat laadittiin QGIS-paikkatieto-ohjelmalla. Tulosten tilastollinen analysointi toteutettiin R-ohjelmistolla versiolla 4.2.0 (R Core Team 2022).

Taustamuuttujien vaikutusta tutkittiin Kruskal-Wallisin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Dunnin testillä (Dinno 2017). Muuttujien välisiä suhteita toisiinsa tutkittiin Spearmanin korrelaatiolla.

4. TULOKSET

4.1 Havaintoalojen tiedot

Havaintoalat sijaitsivat pääasiassa kuivahkoilla kankailla (VT) (taulukko 4-1). Noin viidesosa (22 %) havaintoaloista sijoittui tuoreille kankailla (MT) ja vain 4 % kuiville kankailla. Yhteensä 14 % havaintoaloista luokiteltiin metsätyypiltään luokkaan "Muu". Luokkaan "Muu" kuuluvat metsät olivat muun muassa taajamien puistometsiä tai nurmialueita. Kolmea alaa lukuun ottamatta havaintoaloilla kasvoi pääpuulajina mäntyä. Männyn sekapuuna tai alikasvoksena kasvoi usein kuusta tai koivua. Tutkimuspuiden kokonaismäärä oli 960 mäntyä.

Kehitysluokaltaan puusto oli pääasiassa varttunutta ja puuston keskimääräinen ikä oli 100,5 vuotta. Valtaosa aloista sijoittui ikäluokkaan 100–119 vuotta (taulukko 4-1). Havaintoalojen valtapuiden keskimääräinen pituus oli 21,6 m ja läpimitta 29,8 cm (taulukko 4-2). Valtalajin keskimääräinen pohjapinta-ala oli 14,6 m². Koko puuston keskimääräinen pohjapinta-ala oli 15,6 m².

Taulukko 4-1. Mäntyhavaintoaloja (n = 96) kuvaavia tunnuksia.

Tunnus	Luokka	Kpl	Osuus (%)
Metsätyyppi	CT	4	4
	VT	58	60
	MT	21	22
	Muu	13	14
Kehitysluokka	Varttunut	70	73
	Kypsä	26	27
Havaintopuiden ikä	alle 60	0	0
	60-79	1	1
	80-99	39	41
	100-119	47	49
	120 tai yli	9	9
Valtapuiden pituus (m)	alle 10	0	0
	10-14	0	0
	15-19	30	31
	20 tai yli	66	69
Havaintopuiden keskimääräinen halkaisija (cm)	alle 25	8	8
	25-29	56	58
	30-34	21	22
	35 tai yli	11	11
Valtalajin pohjapinta-ala (m ²)	alle 10	21	22
	10-14	27	28
	15-19	32	33
	20-24	9	9
	25-29	4	4
	30 tai yli	2	2
Puusto 1. valtalaji	Mänty	93	97
	Kuusi	3	3
Puusto 2. valtalaji	Kuusi	55	57
	Koivu	31	32
	Mänty	3	3
	Haapa	2	2
	Pihlaja	1	1

Taulukko 4-2. Mäntyjen pituus ja läpimitta on laskettu havaintoalakohtaisista tuloksista (n = 96).

	Ka	Min	Max	S.D.
Puiden pituus (m)	21,6	15,0	34,0	3,8
Puunrunkojen läpimitta (cm)	29,8	17,2	69,1	6,7

4.2 Männyn runkojäkälät

Kaikilta mäntyhavaintoaloilta laskettu ilmanpuhtausindeksi oli 1,6 (taulukko 4-3). Tutkimusalueella käytetyn ilmanpuhtausindeksiluokituksen mukaisesti (taulukko 3-8) tutkimusalueen lajisto oli keskimäärin köyhtynyttä ja herkempiä lajeja esiintyi yksittäisillä rungoilla. Keskimääräinen ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien havaintoaluekohtainen lukumäärä oli 6 lajia, mikä vastaa lievästi köyhtynyttä lajistoa. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys tutkimusalueella oli 7,1 %. Levää esiintyi keskimäärin kahdella rungolla havaintoalaa kohden. Tutkimusalueen sormipaisukarpeet sekä jäkälälajisto yleisesti olivat keskimäärin selvästi vaurioituneita.

Taulukko 4-3. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksi sekä muita tunnuslukuja (n = 96).

	Ka	Min	Max	S.D.
Ilmanpuhtausindeksi IAP	1,6	0,4	4,5	0,9
Lajimäärä / havaintoala (*)	6,0	3,0	9,0	1,7
Yleinen vaurioaste	3,5	1,8	4,5	0,5
Sormipaisukarpeen vaurioaste	3,0	2,2	4,9	0,5
Sormipaisukarpeen peittävyys %	7,1	0,0	36,2	6,3
Levän yleisyys	2,0	0,0	10,0	3,2

4.2.1 Sormipaisukarpeen ja jäkälälajiston yleiset vaurioasteet

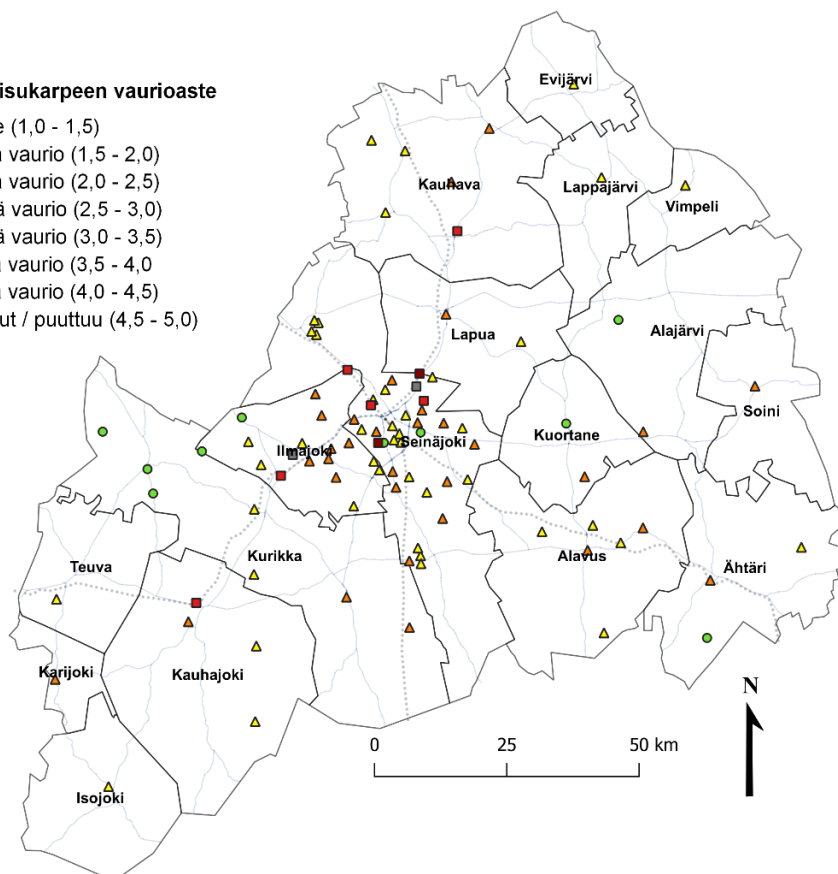
Sormipaisukarpeen vaurioluokituksessa valtaosa havaintoaloista (79 %) sijoittui luokkaan III, eli kasvuston kunto arvioitiin selvästi vaurioituneeksi (taulukko 4-4, kuva 4-1, kuva 4-2). Noin 10 %:lla aloista oli havaittavissa lieviä vaurioita ja noin 8 %:lla pahoja vaurioita. Sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui kokonaan 2 %:lla aloista. Nämä alat sijaitsivat Seinäjoella Atrian tehtaan läheisyydessä ja Ilmajoen Rannamäellä. Kahden tutkimuspuun sormipaisukarvekasvusto luokiteltiin terveeksi, mutta kokonaan terveeksi luokiteltuja aloja ei havaittu lainkaan. Lievimmin vaurioitunutta sormipaisukarvetta esiintyi Kurikan Paunupään lähistöllä ja Ähtärissä Sipilänkylän lähetyvillä.

Taulukko 4-4. Havaintoalueiden puiden lukumäärä ja osuus sormipaisukarpeen vaurioluokituksessa (n = 960).

Sormipaisukarpeen vaurioaste	Havaintoalat (n = 96)		Havaintopuut (n = 960)	
	lkm.	%	lkm.	%
I normaali	0	0,0	2	0,2
II lievä vaurio	10	10,4	277	28,9
III selvä vaurio	76	79,2	589	61,4
IV paha vaurio	8	8,3	68	7,1
V kuollut tai puuttuu	2	2,1	24	2,5

Sormipaisukarpeen vaurioaste

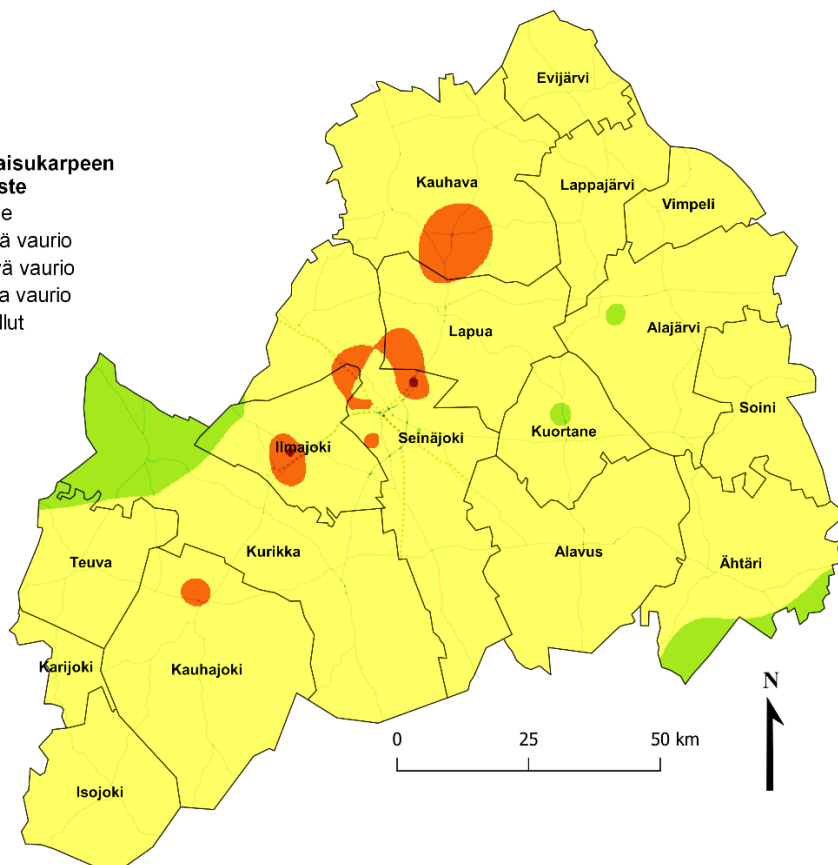
- Terve (1,0 - 1,5)
- Lievä vaurio (1,5 - 2,0)
- Lievä vaurio (2,0 - 2,5)
- ▲ Selvä vaurio (2,5 - 3,0)
- ▲ Selvä vaurio (3,0 - 3,5)
- Paha vaurio (3,5 - 4,0)
- Paha vaurio (4,0 - 4,5)
- Kuollut / puuttuu (4,5 - 5,0)



Kuva 4-1. Sormipaisukarpeen vaurioaste tutkimusalueella vuonna 2022.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

- Terve
- Lievä vaurio
- Selvä vaurio
- Paha vaurio
- Kuollut



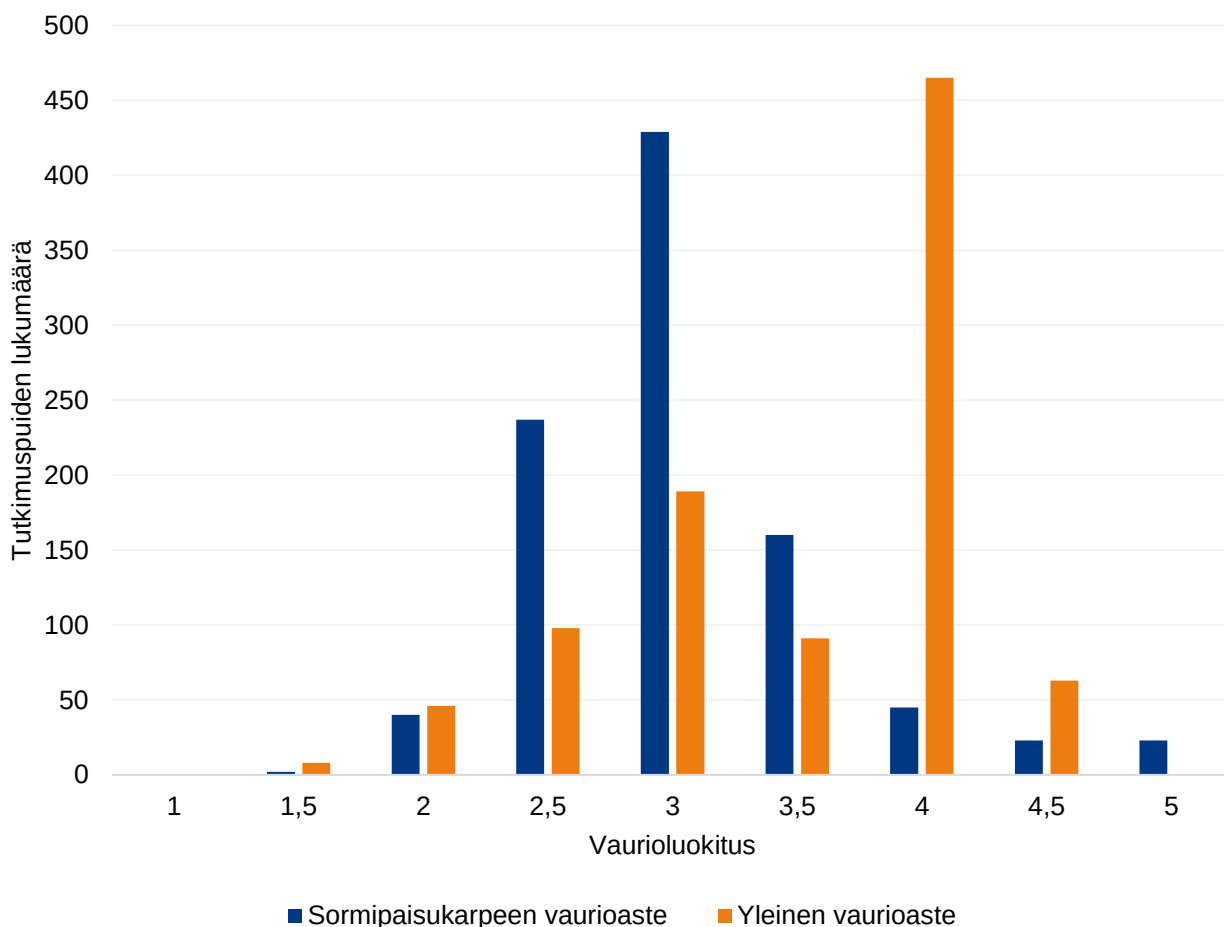
Kuva 4-2. Sormipaisukarpeen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2022.

Runkojäkälälien yleinen vaurioaste oli keskimäärin hieman korkeampi kuin sormipaisukarpeen vaurioaste. Valtaosa (57 %) havaintoaloista sijoittui luokkaan IV, jossa jäkälälien vauriot luokitellaan pahoiksi (taulukko 4-5, kuva 4-4, kuva 4-5). Selviä vaurioita havaittiin 37,5 %:lla havaintoaloista. Jäkälälajisto luokiteltiin lievästi vaurioituneeksi noin 5 % havaintoaloista. Yhteensä 8 tutkimuspuuta luokiteltiin jäkälälajistoltaan normaaliksi, mutta kokonaan terveeksi luokiteltuja aloja ei havaittu lainkaan. Lievän vaurion vyöhykkeet muodostuivat Alavudelle Töysän alueelle sekä Ähtäriin Sipilänkylän lähettöyville.

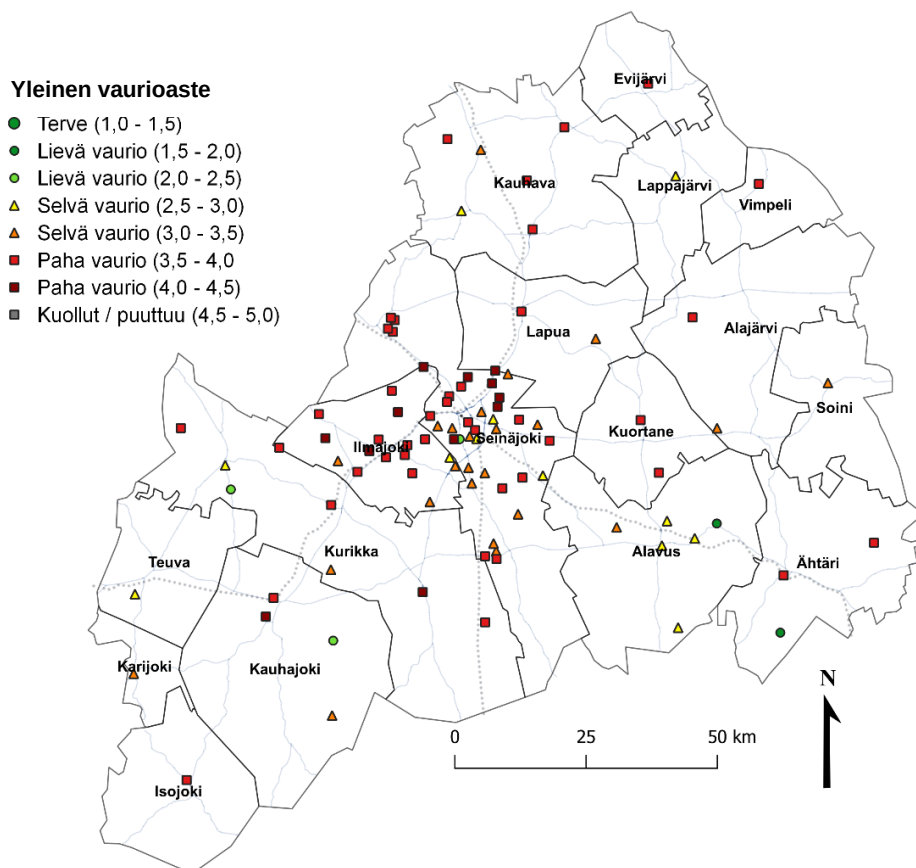
Puun jäkälälajisto luokitellaan pahasti vaurioituneeksi (IV), jos puulla ei kasva pensasmaisia lajeja, vaikka lehtimäiset lajit olisivat parempikuntoisia. Vaurioasteluokituksen arviointiperusteiden takia yleinen vaurioaste ei ollut normaalistijakautunutta (kuva 4-3).

Taulukko 4-5. Havaintoalueiden puiden lukumäärä ja osuus yleisessä vaurioluokituksessa (n = 960).

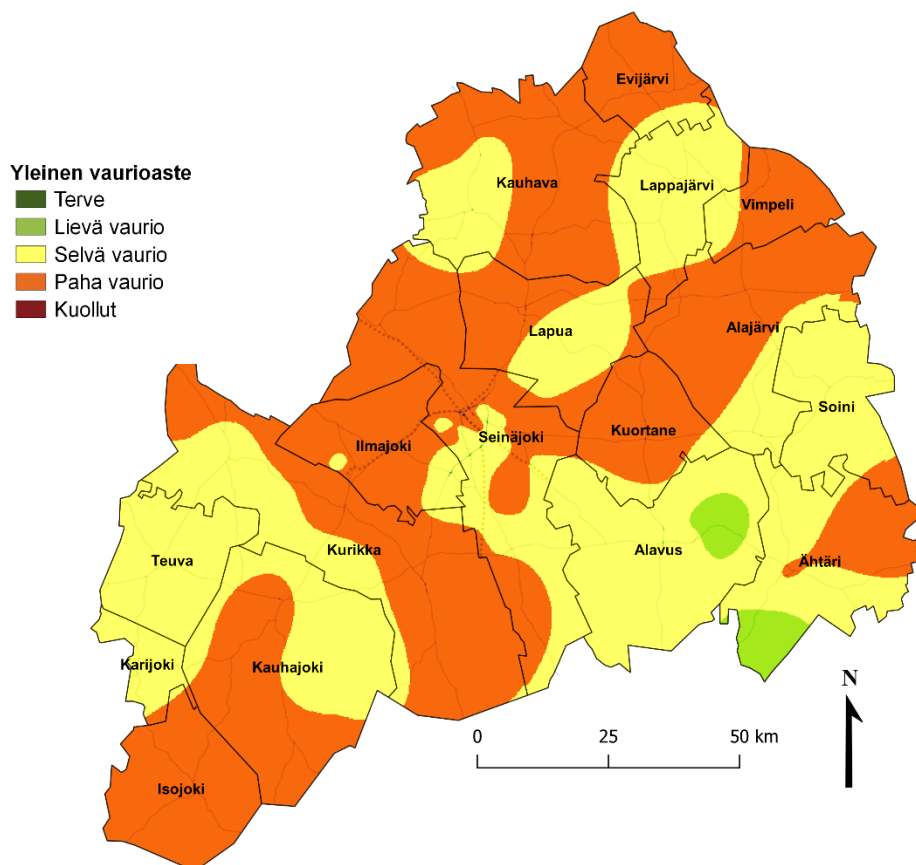
Yleinen vaurioaste	Havaintoalat (n = 96)		Havaintopuut (n = 960)	
	lkm.	%	lkm.	%
I normaali	0	0,0	8	0,8
II lievä vaurio	5	5,2	144	15
III selvä vaurio	36	37,5	280	29,2
IV paha vaurio	55	57,3	528	55
V kuollut tai puuttuu	0	0,0	0	0



Kuva 4-3. Sormipaisukarpeen vaurioaste sekä yleinen vaurioaste yksittäisillä tutkimusrungoilla puolen vaurioasteluokan tarkkuudella vuonna 2022 (n = 960).



Kuva 4-4. Yleinen vaurioaste tutkimusalueella vuonna 2022.

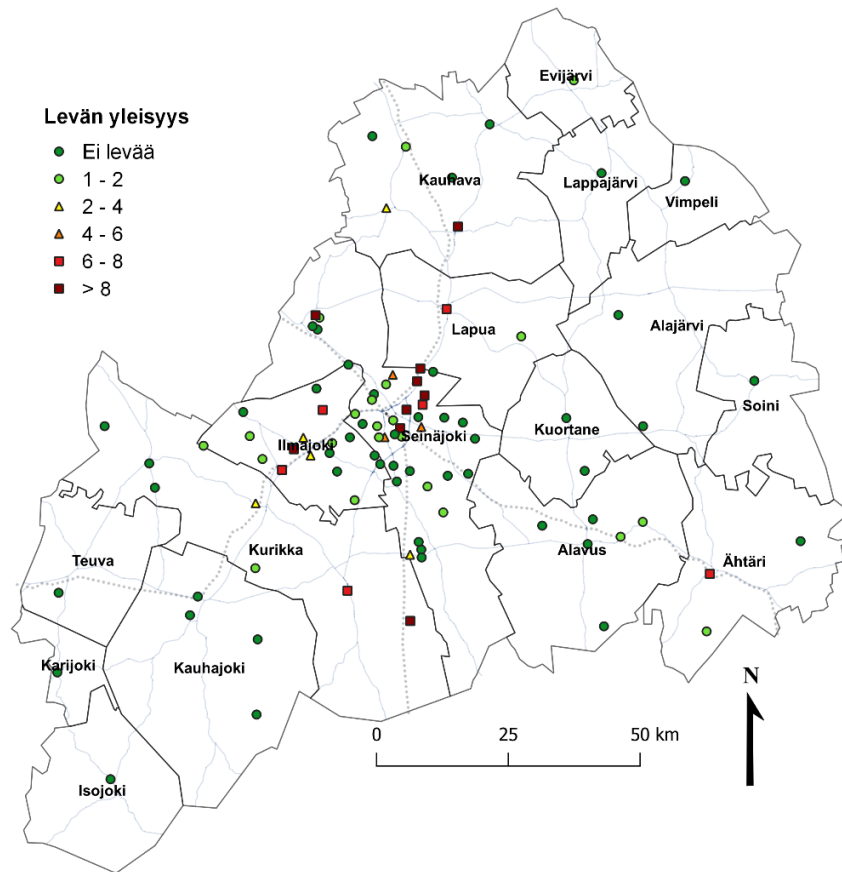


Kuva 4-5. Yleisen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2022.

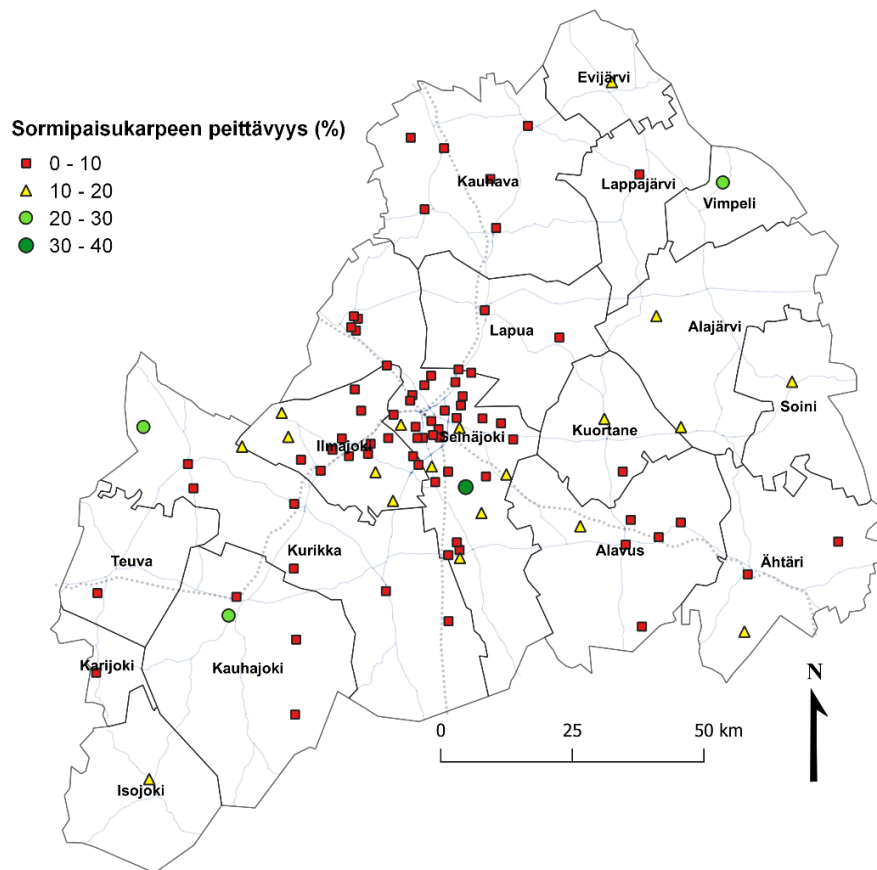
4.2.2 Levän yleisyys ja sormipaisukarpeen peittävyys

Viherleväkasvuston ja vihersukkulajäkälän yleisyyttä tarkasteltiin asteikolla 0–10 (0 = levää ei esiinny havaintoalalla, 10 = levää esiintyy havaintoalan jokaisella rungolla). Leväkasvustoa ei esiintynyt lainkaan yli puolella havaintoaloista (51 alaa) (kuva 4-6). Yhteensä 27 alalla viherlevää esiintyi 1–3 rungolla per ala. Noin viidenneksellä havaintoaloista (18 alaa) viherlevää esiintyi vähintään puolella tutkimuspuista. Näistä aloista levää esiintyi kaikilla rungoilla yhteensä viidellä Seinäjoelle sijoittuvalla alalla.

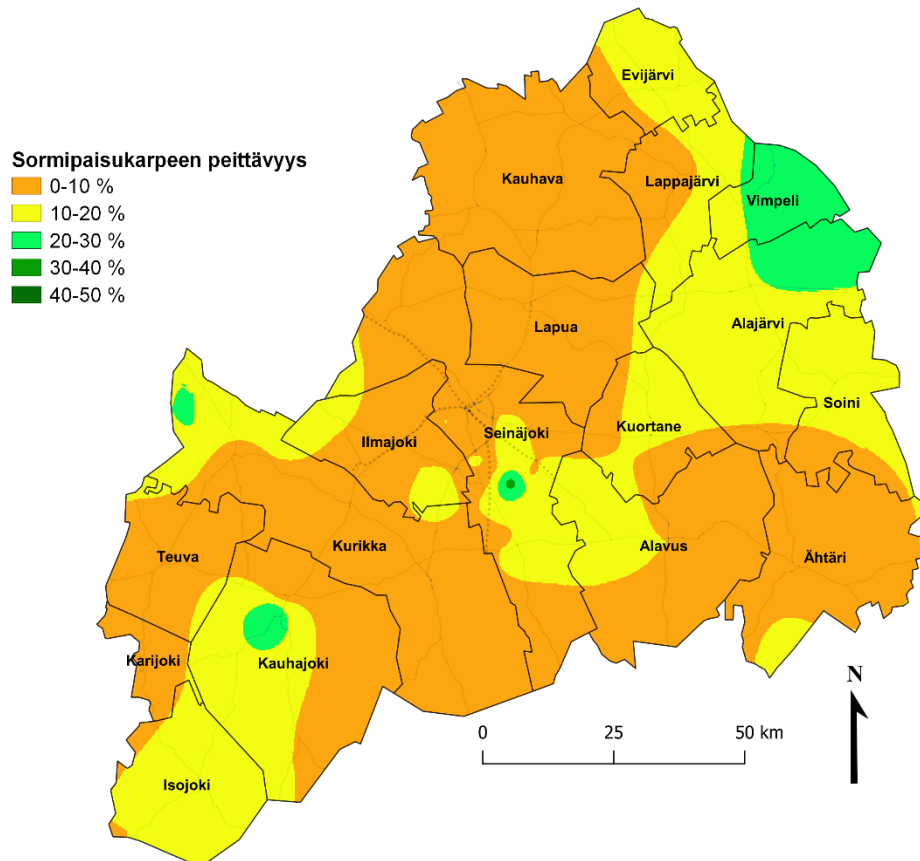
Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla oli 7,1 % (taulukko 4-3). Suurimmalla osalla havaintoaloista peittävyys oli alle 10 % (73 havaintoalaa) (kuva 4-7, kuva 4-8). Nämä havaintoalat sijoittuivat melko tasaisesti lähes koko tutkimusalueelle alueen itäosaa lukuun ottamatta. Noin viidenneksellä havaintoaloista peittävyys oli 10–20 % (19 alaa) ja muutamalla alalla peittävyys oli yli 20 % (4 alaa). Suuremman peittävyyden alueet sijoittuivat Seinäjoelle, Kurikkaan, Kauhajoelle ja Vimpeliin. Korkein yksittäiseltä rungolta mitattu peittävyysprosentti oli 54 %. Sormipaisukarpeen pistefrekvenssilukemat olivat keskimäärin 26 % suurempia puun itä-koillispuolella kuin länsi-lounaspuolella.



Kuva 4-6. Viherlevän ja vihersukkulajäkälän esiintyminen tutkimuspuiden rungoilla vuonna 2022. Kullakin havaintoalalla oli kymmenen tutkimuspuuta.



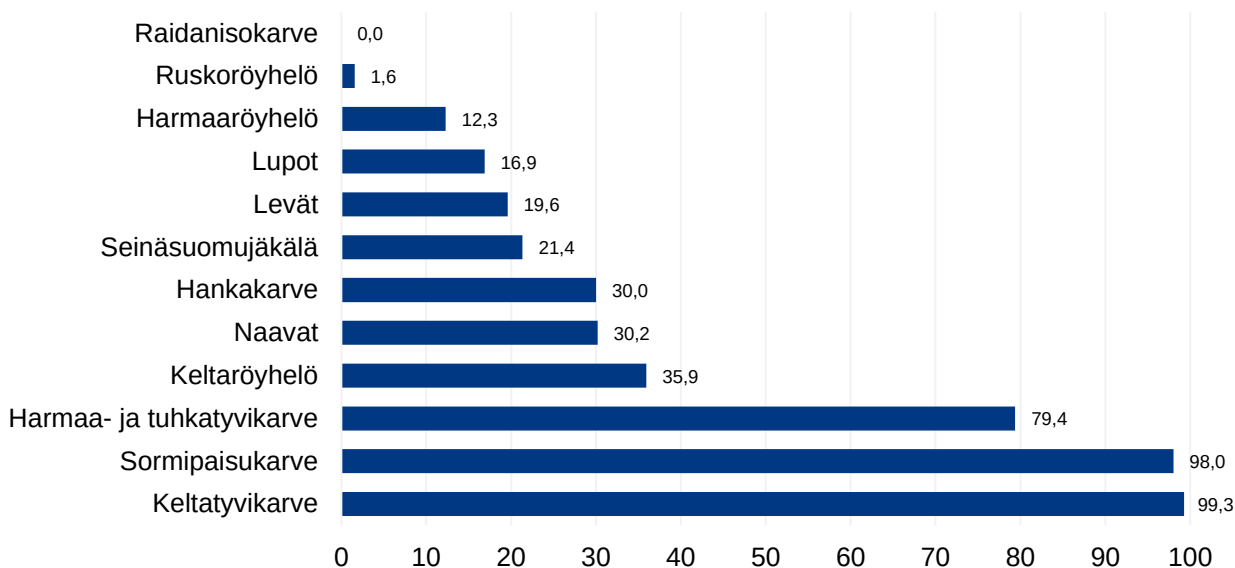
Kuva 4-7. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla vuonna 2022.



Kuva 4-8. Sormipaisukarpeen keskimääräisen peittävyuden vyöhykkeet männyn rungoilla vuonna 2022.

4.2.3 Lajimäärät

Standardin SFS 5670 mukaisista lajeista Etelä-Pohjanmaan alueella esiintyi runsaimmin keltatyvikarvetta (n. 99 %:lla rungoista), sormipaisukarvetta (n. 98 %:lla rungoista) sekä harmaa- ja tuhkatyvikarvetta (n. 80 %:lla rungoista) (Kuva 4-9). Muiden lajien esiintyminen oli huomattavasti vähäisempää. Keltaröyhelöä, naavoja ja hankakarvetta esiintyi noin kolmasosalla tutkituista rungoista ja seinäsuomujäkälää ja leviä noin viidennekseksi. Luppoja esiintyi noin 17 %:lla ja harmaaröyhelöä 12 %:lla tutkituista rungoista. Ruskoröyhelö oli harvinaisin tutkimusalueella havaituista lajeista ja sitä esiintyi vain 1,6 %:lla rungoista. Raidanisokarvetta ei havaittu tutkituilla mäntyaloilla lainkaan.

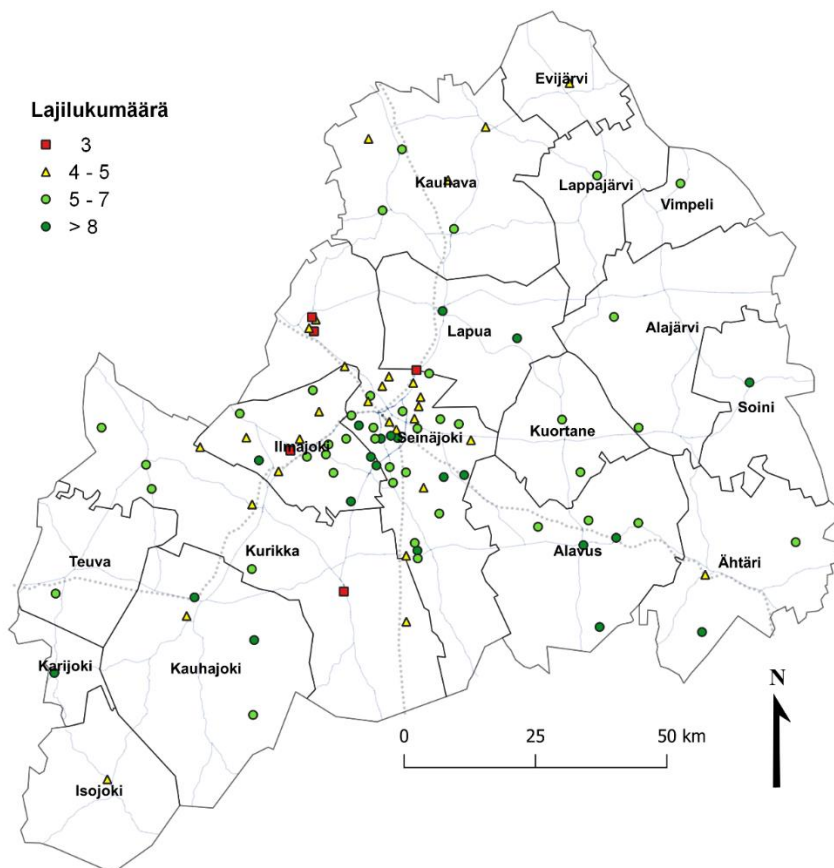


Kuva 4-9. Männyn runkojäkäläien prosentuaalinen esiintymistiheys tutkimusrungoilla 2022 (n = 960).

Tutkimuspuiden rungoilla esiintyvien lajien havaintoalakohtaisten kokonaismäärien sekä yksittäisten runkojen lajilukumäärien laskennassa huomioitiin ainoastaan ilman epäpuhtauksista kärsivät 10 jäkälälajia (Taulukko 4-6). Havaintoalakohtainen kokonaislajimäärä oli usein korkeampi kuin havaintoalan tutkimuspuukohdaiset lajimäärät. Tutkimusalueella ei havaittu erittäin selvästi lajistoltaan köyhtyneitä havaintoaloja. Havaintoaloista 22 % oli luokiteltavissa jäkälälajistoltaan normaaliksi. Havaintoaloista 43 % oli lievästi köyhtyneitä, 29 % köyhtyneitä ja 5 % selvästi köyhtyneitä. Selvästi köyhtyneet alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella ja Kurikassa (Kuva 4-10). Lajistoltaan runsaimmat alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, Toysässä ja Suupohjan alueella.

Taulukko 4-6. Tutkimusalueen jäkälälajiston luokitus havaintoalakohtaisten kokonaislajilukumäärien sekä yksittäisten runkojen lajilukumäärien perusteella. Lajilukumäärissä ei ole huomioitu seinäsuomujäkälän eikä levän esiintymistä.

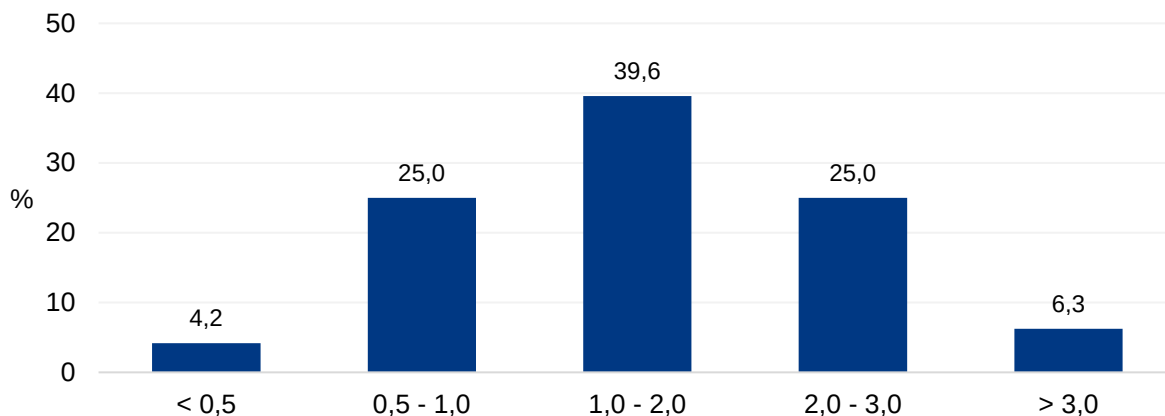
Lajilukumäärä	Lajiston kuvaus	Havaintoalat (n = 96)		Havaintopuut (n = 960)	
		lkm.	%	lkm.	%
0–1	Erittäin selvästi köyhtynyt	0	0	7	0,7
2–3	Selvästi köyhtynyt	5	5	418	4
4–5	Köyhtynyt	29	30	381	25
6–7	Lievästi köyhtynyt	41	43	141	31
≥ 8	Normaali jäkälälajisto	21	22	13	40



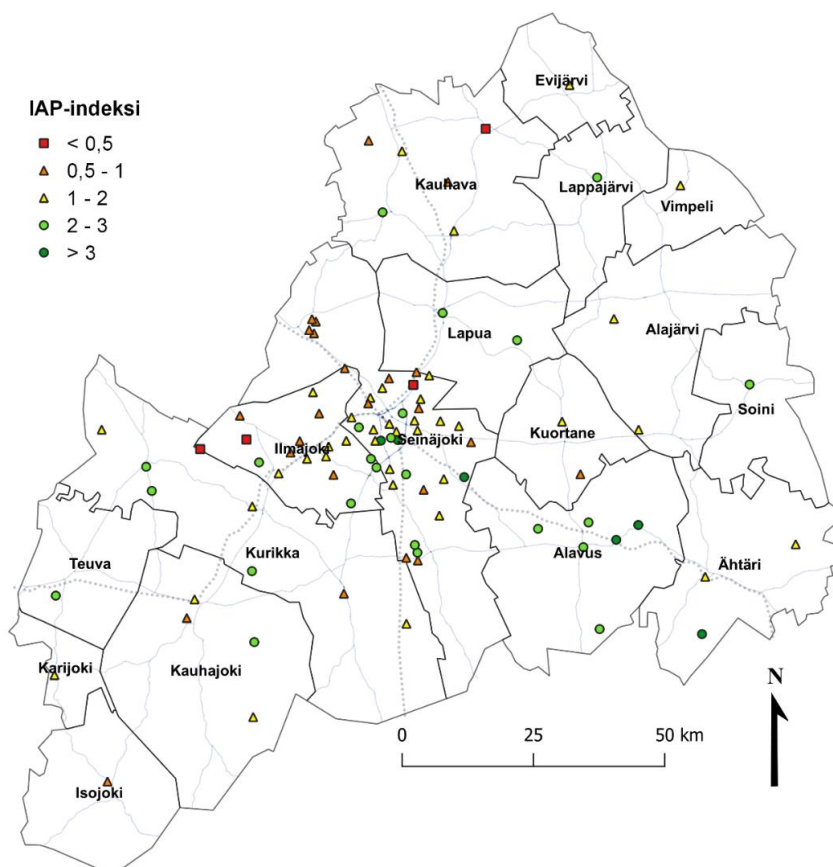
Kuva 4-10. Tutkittujen ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien (10 lajia) lukumäärät havaintoaloilla vuonna 2022.

4.2.4 IAP-indeksi

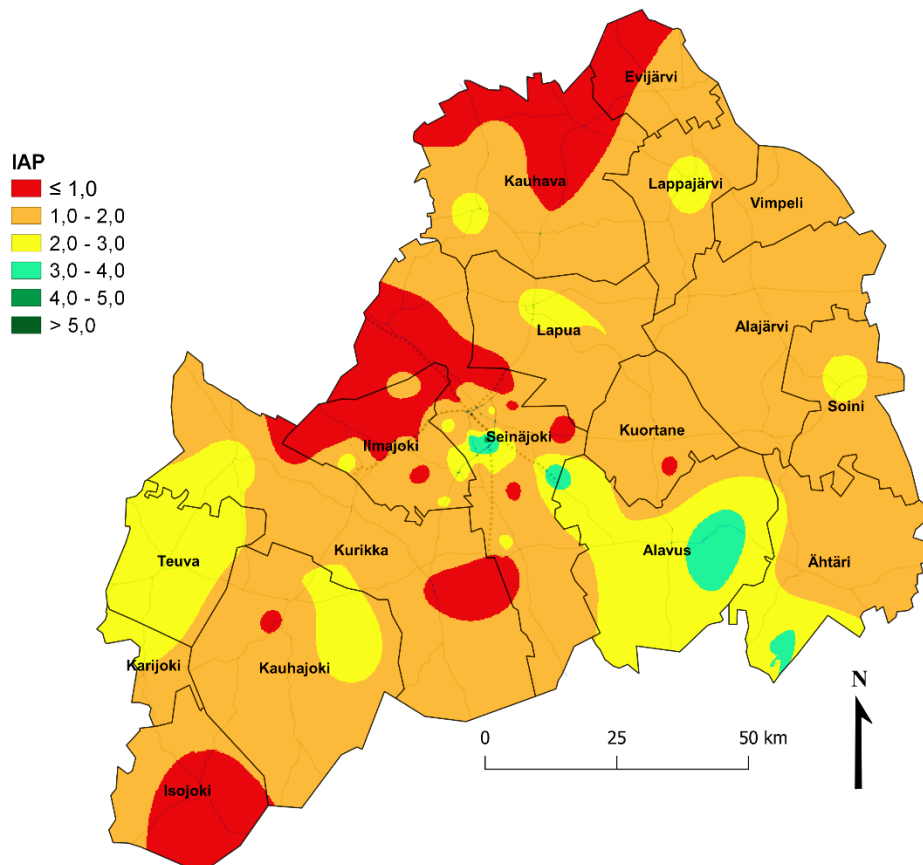
IAP-indeksi (*Index of Air Purity*, ks. luku 3.2) oli tutkimusalueella keskimäärin 1,6 (taulukko 4-3). IAP-indeksin perusteella alueen jäkälälajisto on köyhtynyt ja herkimpiä lajeja esiintyy vain yksittäisillä rungoilla (taulukko 3-8). Pienin indeksiarvo 0,4 (jäkäläautio) laskettiin Seinäjoella Atrian ruokatehtaan lähellä sijaitsevalta alalta. Jäkäläautioita sijaitsi lisäksi Ilmajoella ja Kauhavalla (kuva 4-12, kuva 4-13). Suurin osa (39,6 %) havaintoaloista sijoittui luokkaan 1–2, jossa lajisto on köyhtynyt, mutta herkimpiä lajeja voi esiintyä puiden rungoilla (kuva 4-11). Neljäsosa tutkimusaloista oli lajistoltaan lievästi muuttuneita aloja (luokka 2–3). Havaintoaloista 6,3 % vastasi jäkälälajistoltaan tausta-alueita. Tausta-alueita vastaavat alat sijaitsivat pääasiassa Alavudella, Seinäjoella ja Ähtärissä.



Kuva 4-11. IAP-indeksin frekvenssit tutkimusalueella vuonna 2022 (n = 96).



Kuva 4-12. IAP-indeksi tutkimusalueella vuonna 2022. IAP > 3 = jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa.



Kuva 4-13. IAP-indeksivyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2022.

4.3 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, ääriarvot sekä keskihajonta on esitetty oheisessa taulukossa (taulukko 4-7). Jos näytteen alkuainepitoisuus alitti analyysin määrittämissä rajat, tunnuslukujen laskemisessa näytteen pitoisuutena käytettiin määrittämissä arvoja. Kromin määrittämissä raja 0,4 mg/kg alittui kahdella alalla.

Taulukko 4-7. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, ääriarvot sekä keskihajonta tutkimusalueella (n = 96). Tulokset ovat tyyppiä lukuun ottamatta yksikössä mg/kg kuiva-ainetta. Typen (N) tulos on ilmoitettu yksikössä g/kg.

	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K
Keskiarvo	14,5	3524	0,076	0,9	2,9	80	5361
Min	5,2	2000	0,022	0,4	1,7	40	3200
Max	53	6200	0,450	3,3	5,1	330	6900
Keskihajonta	6,3	882	0,050	0,5	0,4	37	681
	Mg	Mn	N	Ni	P	S	Zn
Keskiarvo	940	404	13,6	0,79	1396	956	46
Min	590	130	10,8	0,36	850	530	27
Max	1300	890	18,0	2,70	1900	1300	79
Keskihajonta	141	158	1,30	0,33	164	108	10

Neulasten keskimääräinen **booripitoisuus** tutkimusalueella oli 14,5 mg/kg. Neulasten booripitoisuus oli optimaalisen tason (> 8 mg/kg) alapuolella yhteensä seitsemällä alalla, mutta voimakasta puutosta ei esiintynyt (ks. luku 3.3) (kuva 4-14).

Neulasten keskimääräinen **kalsiumpitoisuus** oli 3524 mg/kg. Noin neljänneksellä havaintoaloista (29 havaintoalaa) kalsiumpitoisuus oli optimaalisen tason (> 3000 mg/kg) alapuolella. Voimakasta kalsiumpuutosta havaittiin yhteensä neljällä alalla (kuva 4-14).

Neulasten keskimääräinen **kadmiumipitoisuus** oli 0,076 mg/kg. Neljänneksellä aloista (24 havaintoalaa) pitoisuus oli alle 0,05 mg/kg. Yli puolella havaintoaloista (56 havaintoalaa) pitoisuus oli 0,05–0,1 mg/kg. Yhteensä 16 alalla pitoisuus oli yli 0,1 mg/kg, joista suurin pitoisuus 0,45 mg/kg havaittiin Kauhajoella Aron teollisuusalueella (kuva 4-15).

Neulasten keskimääräinen **kromipitoisuus** oli 0,9 mg/kg. Analyysin määrittämissä raja 0,4 mg/kg alittui kahdella havaintoalalla. Noin kymmenesosalla havaintoaloista (10 havaintoalaa) pitoisuus oli 0,4–0,5 mg/kg. Yli puolella havaintoaloista (59 havaintoalaa) pitoisuus oli 0,51–1,0 mg/kg. Yhteensä 22 havaintoalalla pitoisuus oli yli 1,0 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet havaittiin Ilmajoella kaukolämpölaitoksen läheisyydessä (3,3 mg/kg) ja Seinäjoen lentoaseman koillispuolella Seinäjoentien varrella (2,9 mg/kg) (kuva 4-15).

Neulasten keskimääräinen **kuparipitoisuus** oli 2,9 mg/kg. Neulasten kuparipitoisuudelle ei ole esitetty optimaalisen tason, mutta ≤ 3 mg/kg pitoisuus on määritetty voimakkaaksi puutostilaksi. Neulasten kuparipitoisuus oli voimakkaan puutoksen tasolla yhteensä 66 havaintoalalla. Yhteensä 26 havaintoalalla neulasten kuparipitoisuus oli 3–4 mg/kg. Korkein pitoisuus (5,1 mg/kg) havaittiin Seinäjoen keskusta-alueella (kuva 4-16).

Neulasten keskimääräinen **rautapitoisuus** oli 80 mg/kg. Neulasten rautapitoisuudelle ei ole määritetty optimiarvoa, mutta voimakkaana puutoksena pidetään ≤ 30 mg/kg pitoisuutta. Voimakasta puutosta ei esiintynyt tutkimusalueella. Yhteensä 10 alalla rautapitoisuus oli enintään 50 mg/kg. Yli kahdella kolmanneksella aloista (67 havaintoalaa) rautapitoisuus oli luokassa 50–100 mg/kg. Yhteensä 14 alalla pitoisuus oli yli 100 mg/kg. Korkein pitoisuus (330 mg/kg) mitattiin Seinäjoen lentoaseman koillispuolella Seinäjoentien varrella (kuva 4-16).

Neulasten keskimääräinen **kaliumpitoisuus** oli 5361 mg/kg. Neulasten optimaalisena kaliumpitoisuutena pidetään 5000–7000 mg/kg pitoisuutta ja voimakkaana puutostilana ≤ 4100 mg/kg pitoisuutta. Kaliumpitoisuus oli optimaalisella tasolla suurimmalla osalla aloista (70 havaintoalaa). Optimaalinen pitoisuus alittui yhteensä 26 alalla, joista kahdella havaittiin voimakasta puutostilaa (kuva 4-17).

Neulasten keskimääräinen **magnesiumpitoisuus** oli 940 mg/kg. Kangasmaiden metsien neulasten sopivaksi magnesiumpitoisuudeksi on esitetty 500–1000 mg/kg. Suurimmalla osalla havaintoaloista (78 havaintoalaa) neulasten magnesiumpitoisuus sijoittui optimaaliselle tasolle. Yhteensä 18 havaintoalalla pitoisuus oli yli 1000 mg/kg, mikä ylittää optimaalisen pitoisuuden raja-arvon. Neljällä alalla pitoisuus oli ≤ 700 mg/kg, mikä tietyissä tapauksissa voi aiheuttaa jo puutosoireita. Suurimmat pitoisuudet (1300 mg/kg) havaittiin Ähtärissä ja Kauhavalla (kuva 4-17).

Neulasten keskimääräinen **mangaanipitoisuus** oli 404 mg/kg. Kangasmaiden metsien neulasten mangaanipitoisuuksille ei ole määritetty optimiarvoa, mutta voimakkaana puutostilan rajaksi on määritetty $< 7,0$ mg/kg. Noin neljänneksellä havaintoaloista (22 havaintoalaa) mangaanipitoisuus oli alle 300 mg/kg. Yli puolet havaintoaloista (56 alaa) sijoittui luokkaan, jossa pitoisuus oli 300–500 mg/kg. Noin viidenneksellä aloista (18 havaintoalaa) pitoisuus oli yli 500 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Seinäjoen keskusta-alueella (890 mg/kg), Ilmajoella ampumaradan läheisyydessä (860 mg/kg) ja Seinäjoen lentoaseman läheisyydessä (860 mg/kg) (kuva 4-18).

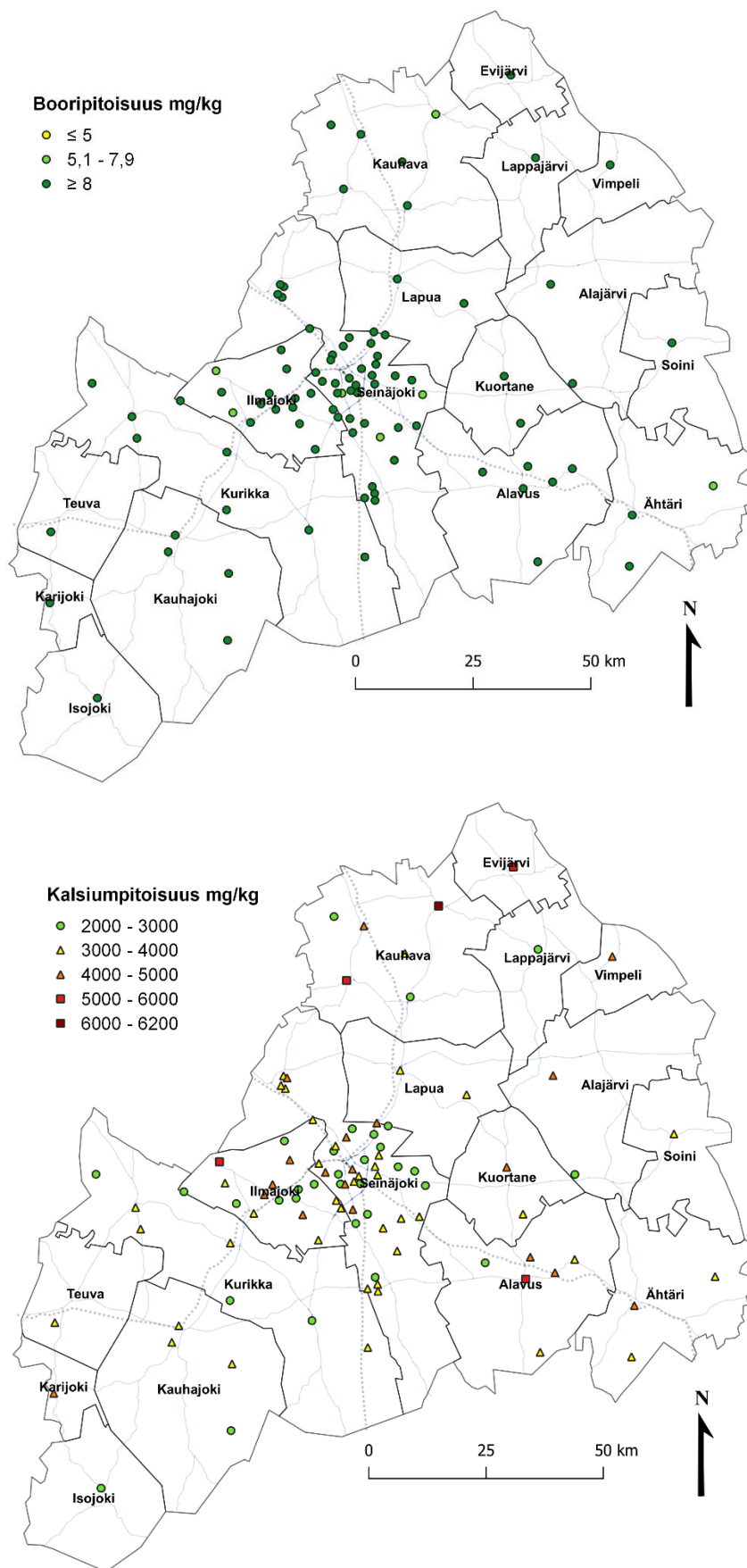
Neulasissa oli keskimäärin 13,6 g/kg **tyypeä**. Neulasten optimaalisena tyypipitoisuutena pidetään 15–21 g/kg pitoisuutta ja voimakkaana puutostilana ≤ 13 g/kg pitoisuutta. Yhteensä vain 15 havaintoalaa sijoittui tyypipitoisuuden osalta optimaaliselle tasolle (15–21 g/kg). Suurin osa aloista (81 havaintoalaa) jäi optimaalisen tason alapuolelle (< 15 g/kg). Optimaalisen tason alapuolelle jääneistä aloista 32 havaintoalalla havaittiin voimakasta typen puutostilaa (≤ 13 g/kg) (kuva 4-18).

Neulasten keskimääräinen **nikkelipitoisuus** oli 0,79 mg/kg. Valtaosa havaintoaloista (61 havaintoalaa) sijoittui luokkaan 0,4–0,8 mg/kg. Yhdellä alalla pitoisuus oli alle 0,4 mg/kg ja 34 alalla yli 0,8 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Korttesjärven taajama-alueella (2,7 mg/kg) sekä Ilmajoella kaukolämpölaitoksen läheisyydessä (1,7 mg/kg) (kuva 4-19).

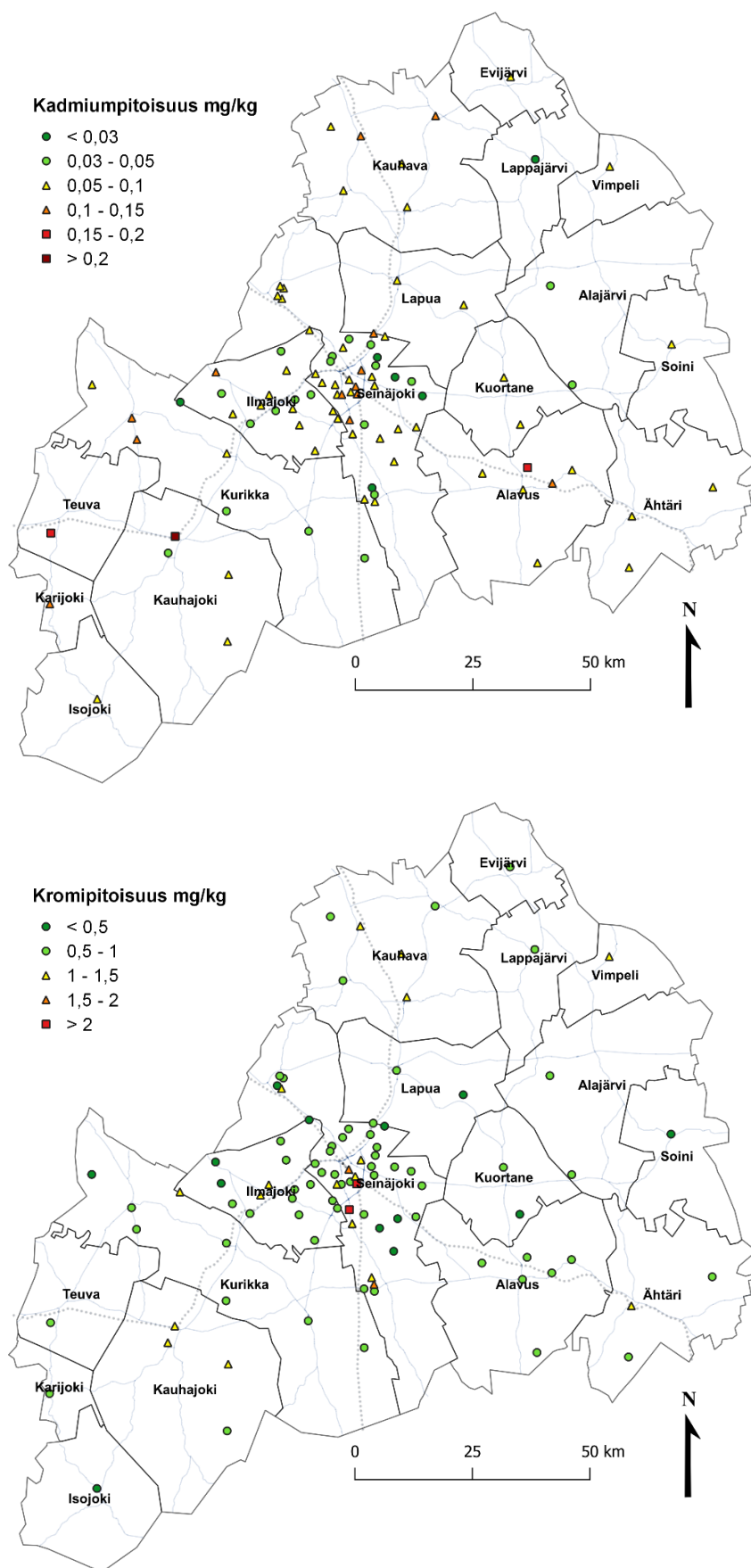
Neulasten keskimääräinen **fosforipitoisuus** oli 1396 mg/kg. Neulasten optimaalisena fosforipitoisuutena pidetään 1400–1800 mg/kg pitoisuutta ja voimakkaana puutostilana ≤ 1200 mg/kg pitoisuutta. Valtaosalla havaintoaloista (60 havaintoalaa) neulasten fosforipitoisuus oli optimaalisella tasolla (1400–1800 mg/kg). Optimaalisen tason alapuolelle (< 1400 mg/kg) jäi 35 havaintoalaa, joista voimakasta puutostilaa (≤ 1200 mg/kg) havaittiin 13 alalla. Yhdellä alalla pitoisuus oli yli 1800 mg/kg (kuva 4-19).

Neulasten keskimääräinen **rikkipitoisuus** oli 956 mg/kg. Neulasten optimaalisena rikkipitoisuutena pidetään > 900 mg/kg pitoisuutta ja voimakkaana puutostilana ≤ 900 mg/kg pitoisuutta. Kuormitetuilla alueilla Etelä-Suomessa rikkipitoisuus voi olla 1500 mg/kg (ks. luku 3.3). Puiden kasvun kannalta sopivana rikkipitoisuutena pidetään 900–1200 mg/kg pitoisuutta (Reinikainen ym. 1998). Yli 900 mg/kg rikkipitoisuuksia havaittiin yhteensä 67 havaintoalalla, joista kahdella alalla, Seinäjoen keskusta-alueella sekä Peräseinäjoella Näätämajantien varressa, pitoisuus oli yli 1200 mg/kg. Rikinpuutosta havaittiin yhteensä 29 havaintoalalla (kuva 4-20).

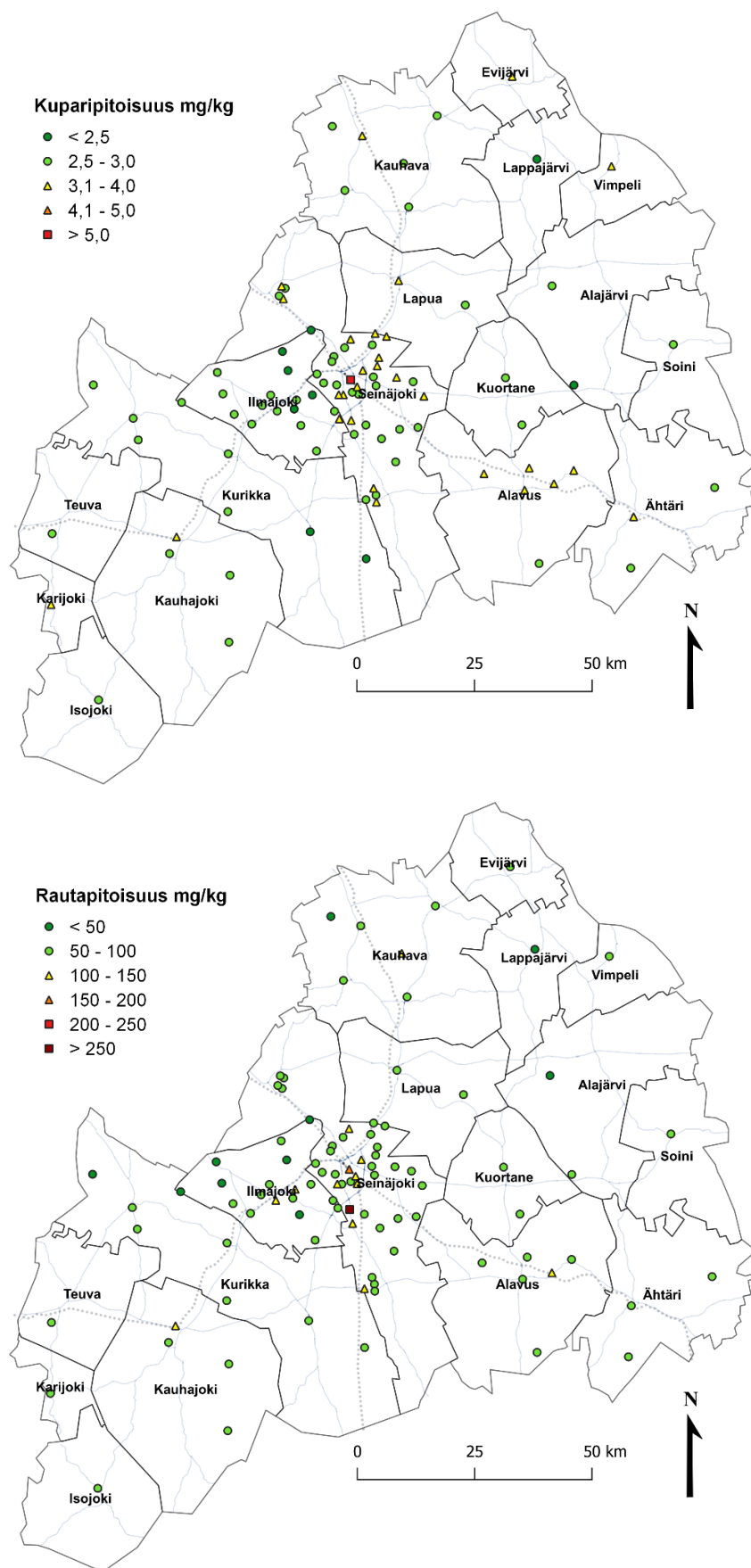
Neulasten keskimääräinen **sinkkipitoisuus** oli 46 mg/kg. Neulasten sinkkipitoisuudelle ei ole määritetty optimiarvoa, mutta voimakkaana puutoksena pidetään < 5 mg/kg pitoisuutta. Valtaosalla havaintoaloista (59 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 40–60 mg/kg. Noin kolmasosalla aloista (29 havaintoalaa) pitoisuus oli alle 40 mg/kg. Yhteensä kahdeksalla alalla pitoisuus oli yli 60 mg/kg. Suurin sinkkipitoisuus havaittiin Alavuden Rantatöysässä (79 mg/kg) (kuva 4-20).



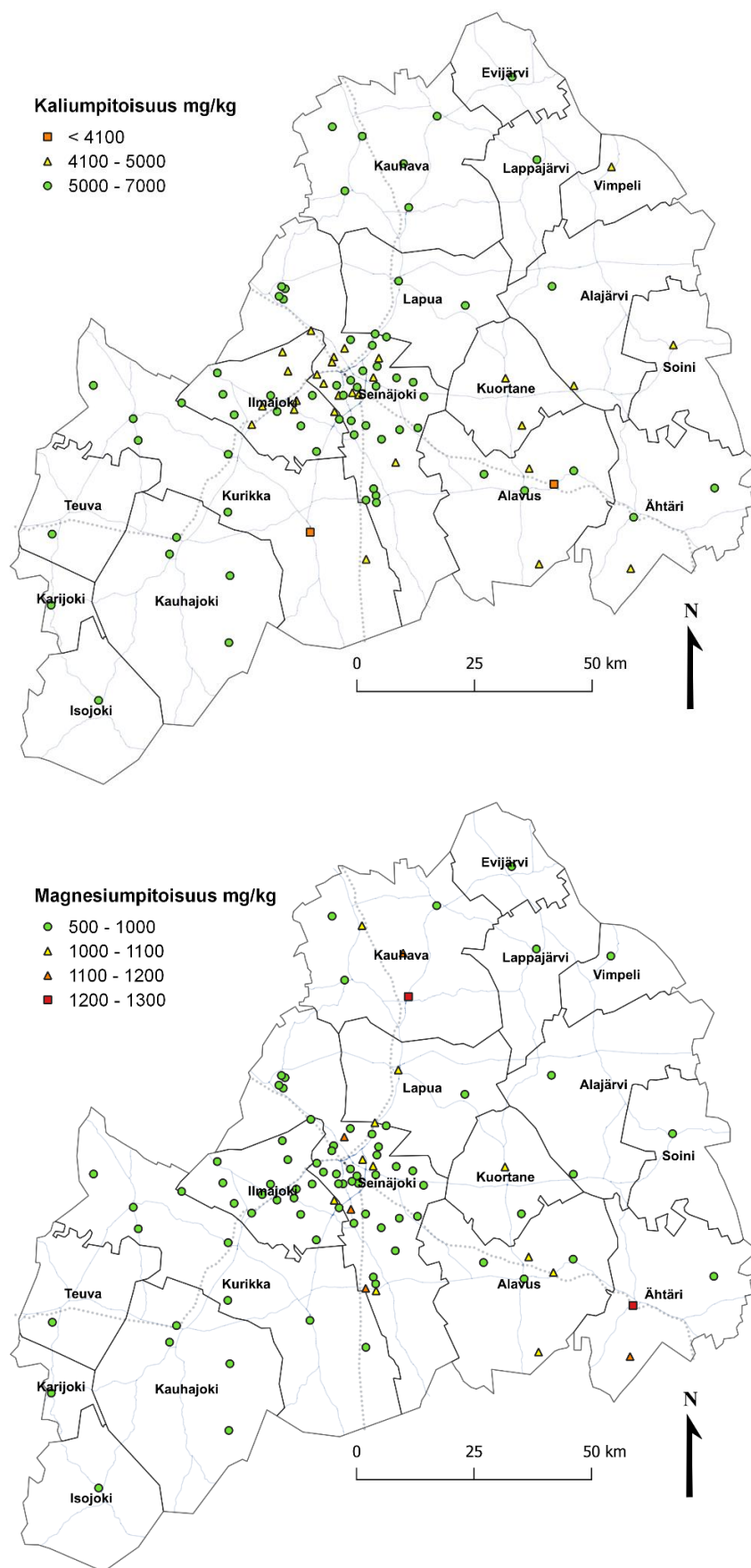
Kuva 4-14. Neulasten boori- ja kalsiumpitoisuudet tutkimusalueella vuonna 2022.



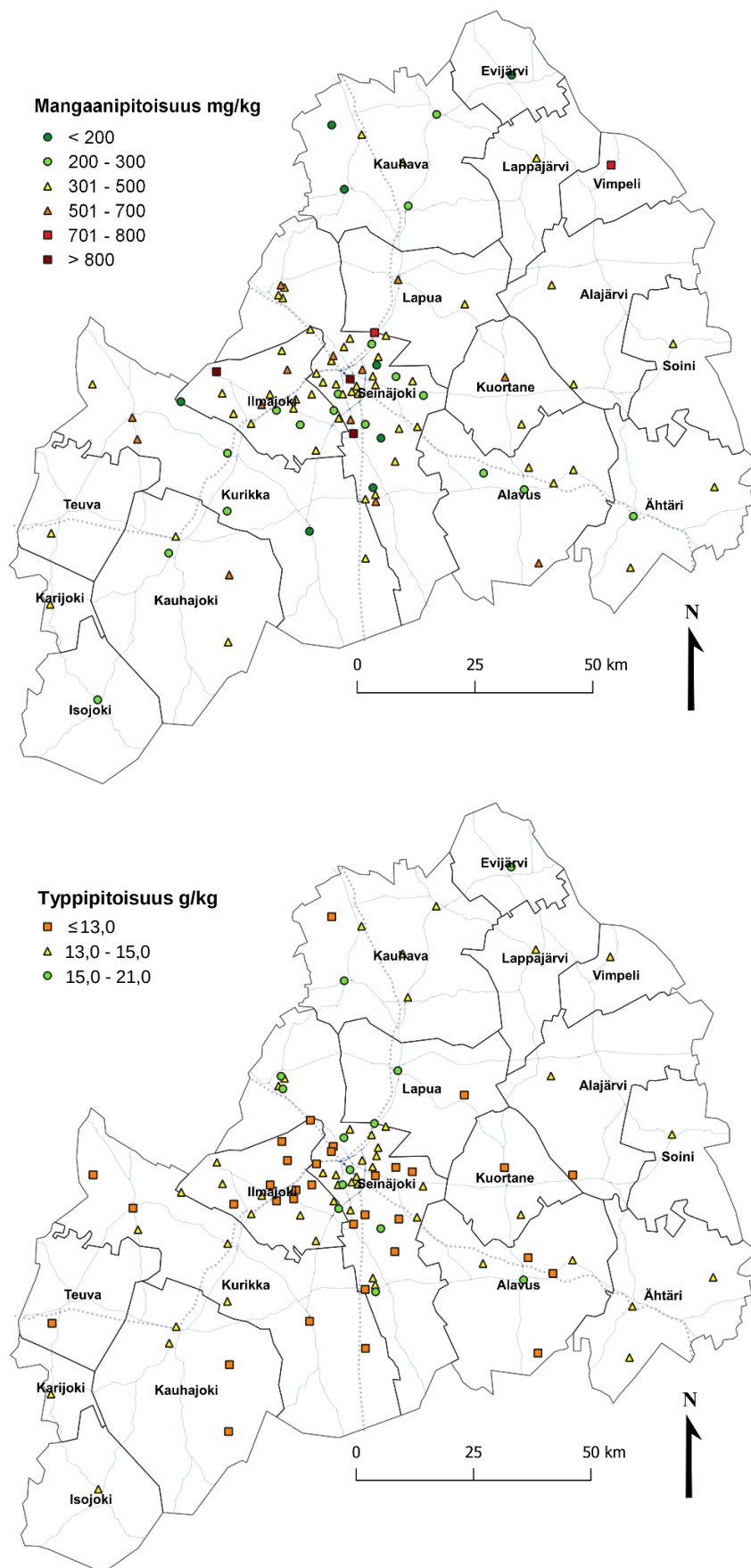
Kuva 4-15. Neulasten kadmium- ja kromipitoisuudet tutkimusalueella vuonna 2022.



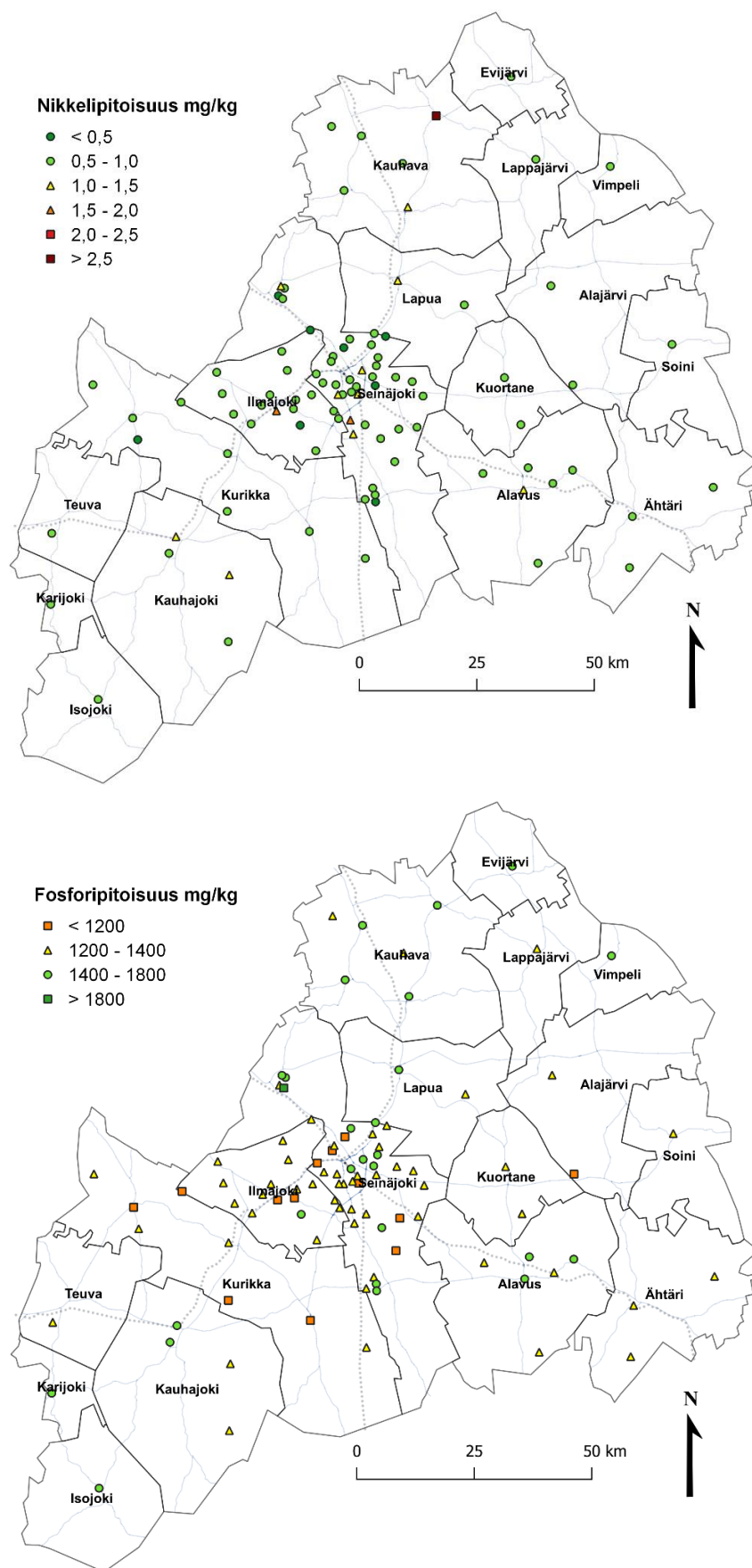
Kuva 4-16. Neulasten kupari- ja rautapitoisuudet tutkimusalueella vuonna 2022.



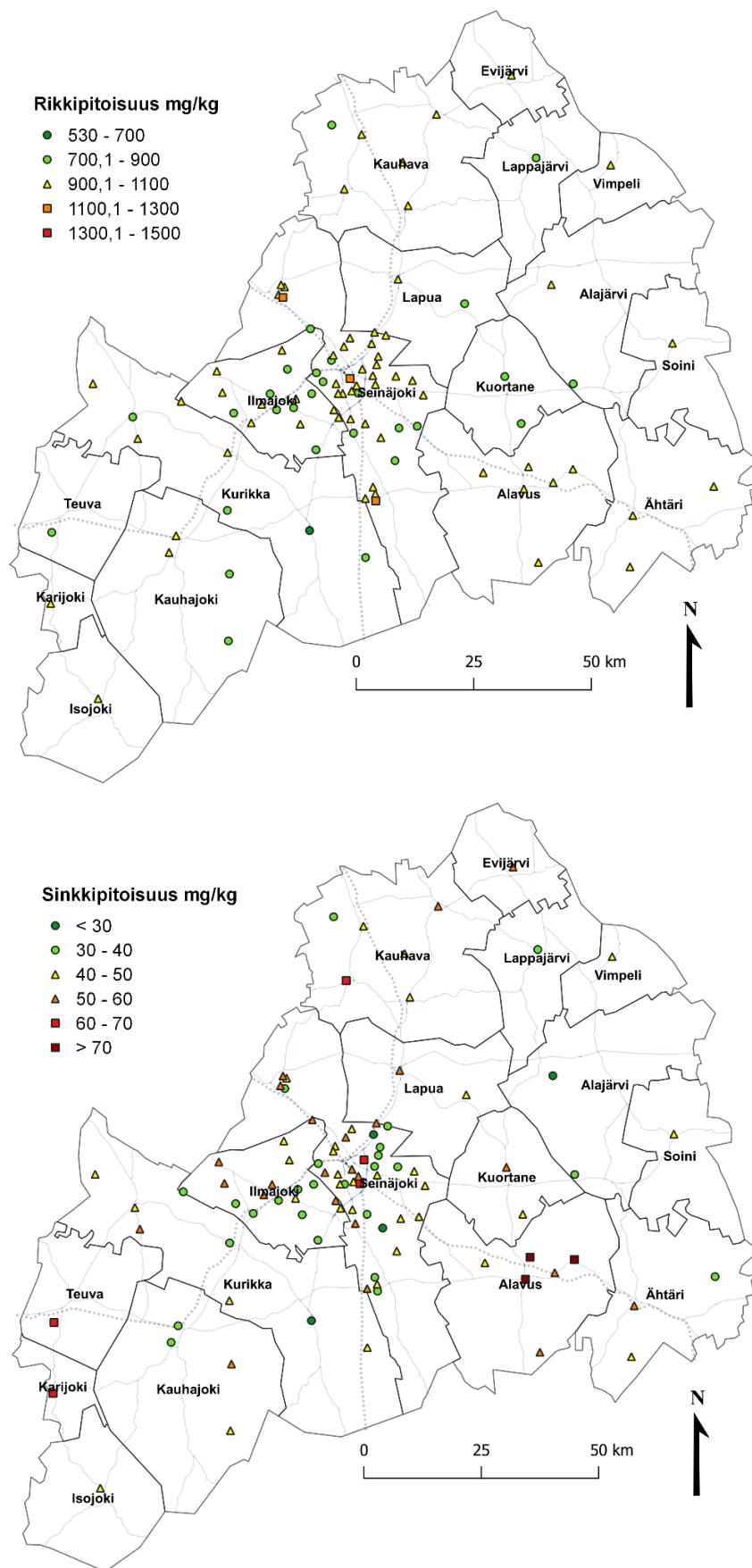
Kuva 4-17. Neulasten kalium- ja magnesiumpitoisuudet tutkimusalueella vuonna 2022.



Kuva 4-18. Neulasten mangaani- ja typpipitoisuudet tutkimusalueella vuonna 2022.



Kuva 4-19. Neulasten nikkeli- ja fosforipitoisuudet tutkimusalueella vuonna 2022.



Kuva 4-20. Neulasten rikki- ja sinkkipitoisuudet tutkimusalueella vuonna 2022.

4.4 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, ääriarvot ja keskihajonta sekä taustapisteiden alkuainepitoisuudet on esitetty oheisessa taulukossa (taulukko 4-8). Jos näytteen alkuainepitoisuus alitti analyysin määrittämissä, tunnuslukujen laskemisessa näytteen pitoisuutena käytettiin määrittämissä arvoja. Elohopean määrittämissä (0,03 mg/kg) alittui kymmenellä alalla.

Taulukko 4-8. Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, ääriarvot sekä keskihajonta tutkimusalueella (n = 46) sekä taustapisteiden (n = 1) tulokset. Tulokset ovat yksikössä mg/kg kuiva-ainetta.

	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg
Ka	618	0,88	2,1	3002	0,106	1,31	9,6	7,2	1176	0,041
Min	170	0,16	0,87	1600	0,05	0,17	2	3,4	260	0,03
Max	2200	4,60	7,8	5000	0,32	28	39	24	5700	0,072
S.D.	498	1,07	1,4	716	0,05	4,06	7,8	3,8	1171	0,012
Tausta	170	0,09	0,7	1600	0,08	0,17	2,2	3,3	220	0,030
	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	V	Zn
Ka	6314	1560	324	73	5,4	1590	1,45	872	2,18	47
Min	3900	880	110	46	1,5	730	0,66	610	0,53	24
Max	9000	2700	1200	140	18	2500	12	1500	9,8	140
S.D.	1276	410	195	21	3,8	408	1,90	207	2,10	23
Tausta	4400	770	460	49	1,7	1200	0,71	580	0,51	26

Sammalnäytteiden keskimääräinen **alumiinipitoisuus** tutkimusalueella oli 618 mg/kg. Pitoisuudet olivat suurimmillaan Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä 2000–2200 mg/kg. Korkeita alumiinipitoisuuksia mitattiin myös Kasperin asuinalueen läheisyydestä (1800 mg/kg) ja Atrian ruokatehtaan lähistöltä (1100 mg/kg). Matalimmat alumiinipitoisuudet (170 mg/kg) mitattiin Peräseinäjoen Haapaluomassa sijaitsevalta taustapisteeltä sekä Kyrkösjärven tekojärven länsipuolelta (kuva 4-21, kuva 4-27).

Sammalnäytteiden keskimääräinen **arsenipitoisuus** oli 0,88 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin niin ikään Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (3,9–4,6 mg/kg). Korkeita arsenipitoisuuksia mitattiin myös Kasperin asuinalueen läheisyydestä (2,3–3,2 mg/kg). Matalin arsenipitoisuus (0,087 mg/kg) mitattiin Peräseinäjoen Haapaluomassa sijaitsevalta taustapisteeltä. Muita matalia pitoisuuksia (0,16–0,17 mg/kg) mitattiin havaintoalueen pohjoisimmilta pisteiltä Ylistaron läheisyydestä sekä Kyrkösjärven tekojärven länsipuolelta (kuva 4-21).

Sammalnäytteiden keskimääräinen **elohopeapitoisuus** oli 0,041 mg/kg. Elohopeapitoisuuden määrittämissä (0,03 mg/kg) alittui kymmenellä havaintoalalla. Suurin pitoisuus 0,072 mg/kg mitattiin Keski-Nurmossa Soinin itäpuolella. Muita korkeita pitoisuuksia (0,062–0,067 mg/kg) mitattiin Atrian ruokatehtaan sekä Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (kuva 4-22).

Sammalnäytteiden keskimääräinen **kadmiumipitoisuus** oli 0,106 mg/kg. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin Atrian ruokatehtaan itäpuolella (0,320 mg/kg) sekä Ilmajoen jäteaseman läheisyydessä (0,235 mg/kg). Matalin pitoisuus (0,05 mg/kg) mitattiin Kyrkösjärven tekojärven länsipuolelta (kuva 4-21).

Sammalnäytteiden keskimääräinen **kromipitoisuus** oli 9,6 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet sijoittuivat Kapernaumin teollisuusalueen ympäristöön (25–39 mg/kg). Kapernaumin teollisuusalueen länsipuolella pitoisuus oli puolestaan huomattavasti alhaisempi (7,7 mg/kg). Korkeita pitoisuuksia (19,0–20,5 mg/kg) mitattiin myös

Atrian ruokatehtaan ympäristössä ja alueen itäpuolella. Matalin pitoisuus (2,0 mg/kg) mitattiin havaintoalueen pohjoisimmalta pisteeltä Ylistaron läheisyydestä (kuva 4-23).

Sammalnäytteiden keskimääräinen **kuparipitoisuus** oli 7,2 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Ilmajoen jäteaseman itäpuolelta (24 mg/kg) sekä Kapernaumin teollisuusalueen itäpuolelta (18 mg/kg). Pienimmät pitoisuudet mitattiin Peräseinäjoen Haapaluomassa sijaitsevalta taustapisteeltä (3,3 mg/kg) sekä havaintoalueen pohjoisimmalta pisteeltä Ylistaron läheisyydestä (3,4 mg/kg) (kuva 4-23).

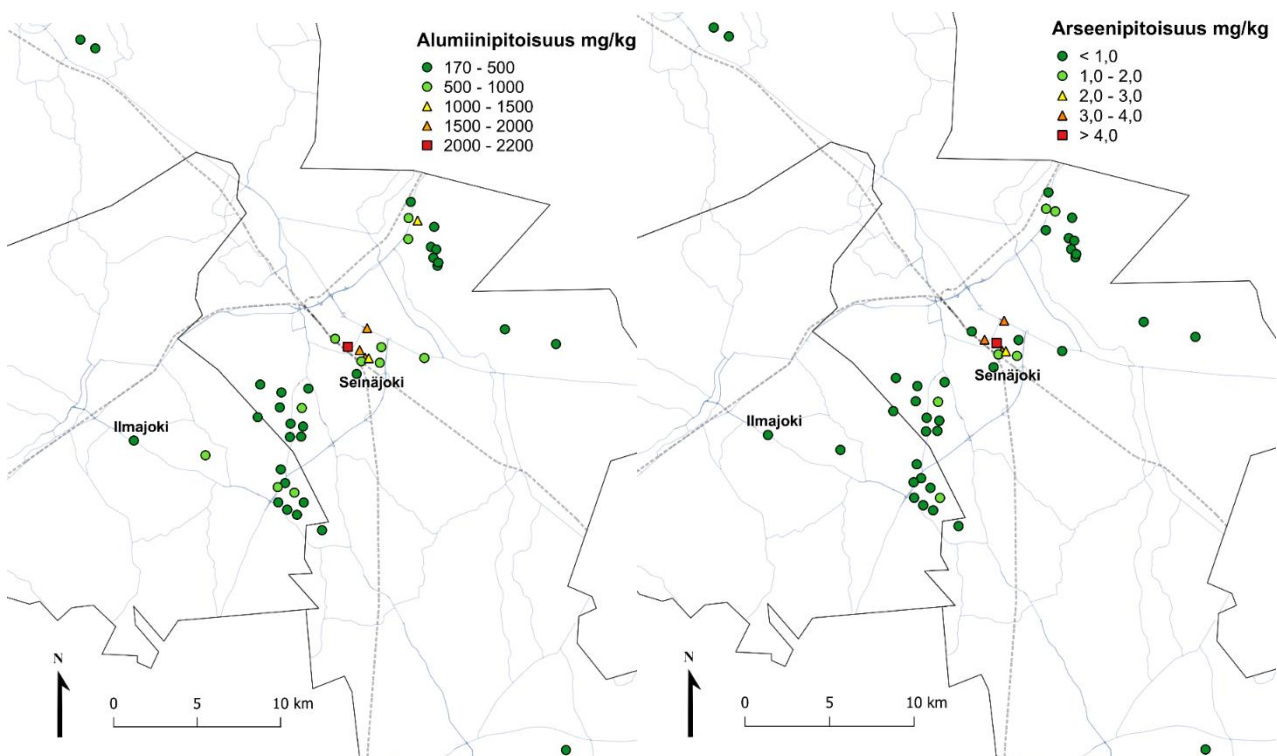
Sammalnäytteiden keskimääräinen **lyijypitoisuus** oli 1,45 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen itäpuolelta (12 mg/kg) sekä Ilmajoen jäteaseman itäpuolelta (7,95 mg/kg). Kapernaumin teollisuusalueen ympäristöstä mitattiin myös 1,6 mg/kg pitoisuus. Muuten havaintoalueen pitoisuudet olivat korkeintaan 1,5 mg/kg (kuva 4-24).

Sammalnäytteiden keskimääräinen **nikkelipitoisuus** oli 5,4 mg/kg. Suurimmat nikkelipitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen (11–18 mg/kg) sekä Atrian ruokatehtaan (11,8 mg/kg) ympäristöstä. Matalin pitoisuus (1,5 mg/kg) mitattiin havaintoalueen pohjoisimmalta pisteeltä Ylistaron läheisyydestä. Pääasiassa havaintoalueen nikkelipitoisuudet olivat alle 5 mg/kg (kuva 4-24).

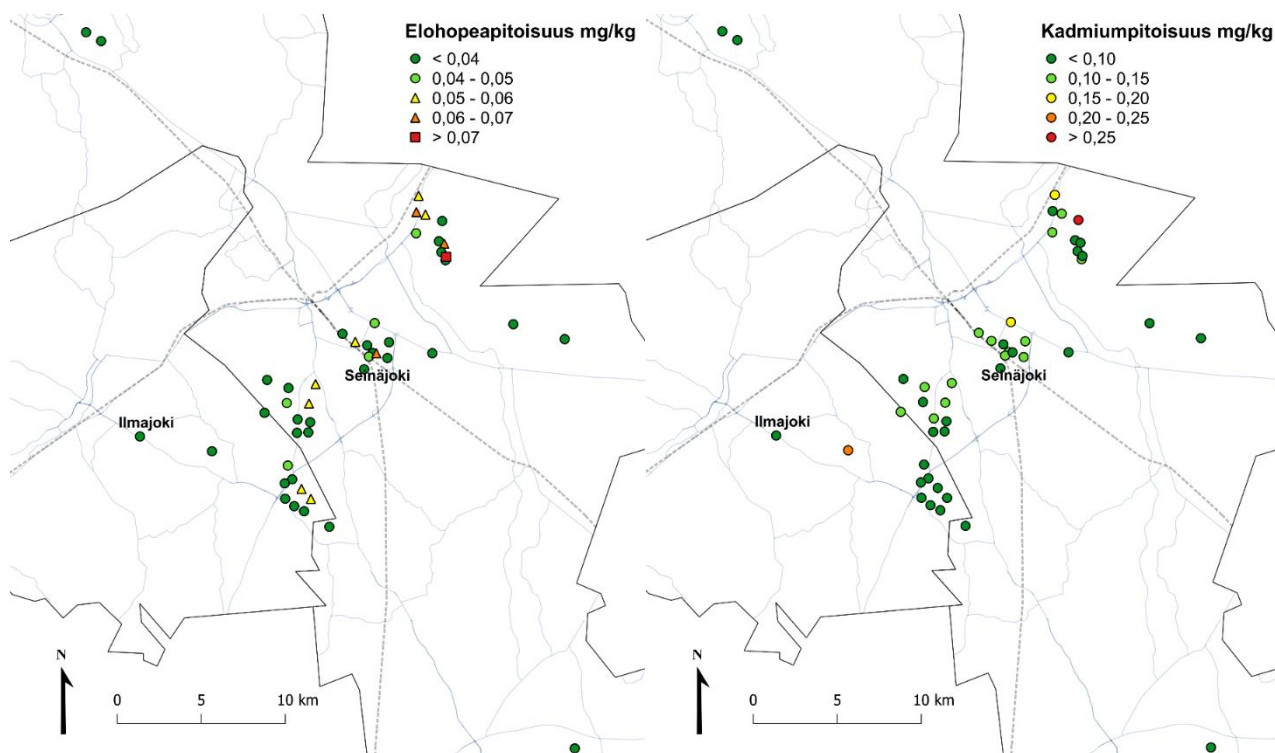
Sammalnäytteiden keskimääräinen **rautapitoisuus** oli 1176 mg/kg. Suurimmat rautapitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristöstä (2400–5700 mg/kg). Alhaisin pitoisuus (220 mg/kg) mitattiin Peräseinäjoen Haapaluomassa sijaitsevalta taustapisteeltä (kuva 4-25).

Sammalnäytteiden keskimääräinen **rikkipitoisuus** oli 872 mg/kg. Suurimmat rikkipitoisuudet mitattiin Atrian ruokatehtaan ympäristössä (1300–1500 mg/kg) sekä Seinäjoen lentoaseman läheisyydessä (1300 mg/kg). Muita yli 1000 mg/kg rikkipitoisuuksia mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristöstä sekä Törnävän asuinalueelta. Alhaisin rikkipitoisuus (580 mg/kg) mitattiin Peräseinäjoen Haapaluomassa sijaitsevalta taustapisteeltä (kuva 4-25, kuva 4-28).

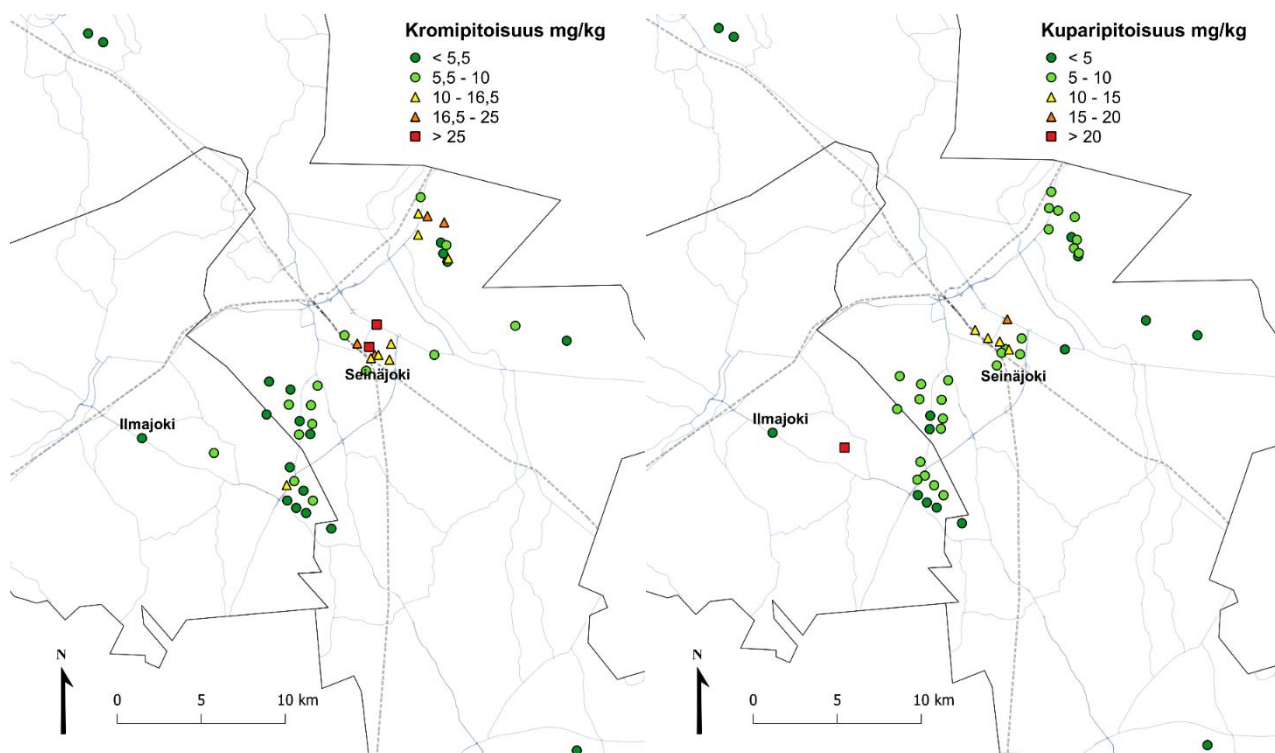
Sammalnäytteiden keskimääräinen **sinkkipitoisuus** oli 47 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (140 mg/kg) ja Ilmajoen jäteaseman itäpuolella (102 mg/kg). Matalimmat sinkkipitoisuudet (24 mg/kg) mitattiin Seinäjoen Kankaanpäästä Kuortaneentien varrelta ja Kyrkösjärven tekojärven länsipuolelta (kuva 4-26).



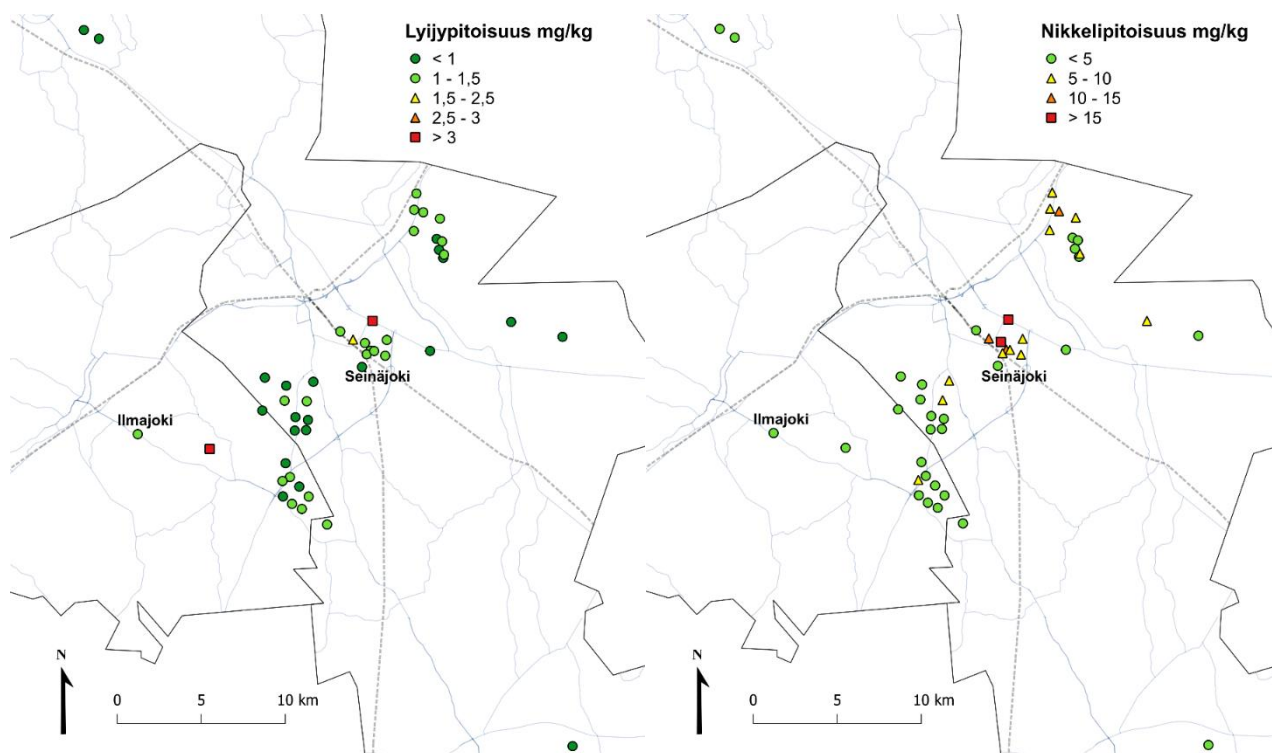
Kuva 4-21. Sammalnäytteiden alumiini- ja arseenipitoisuus tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).



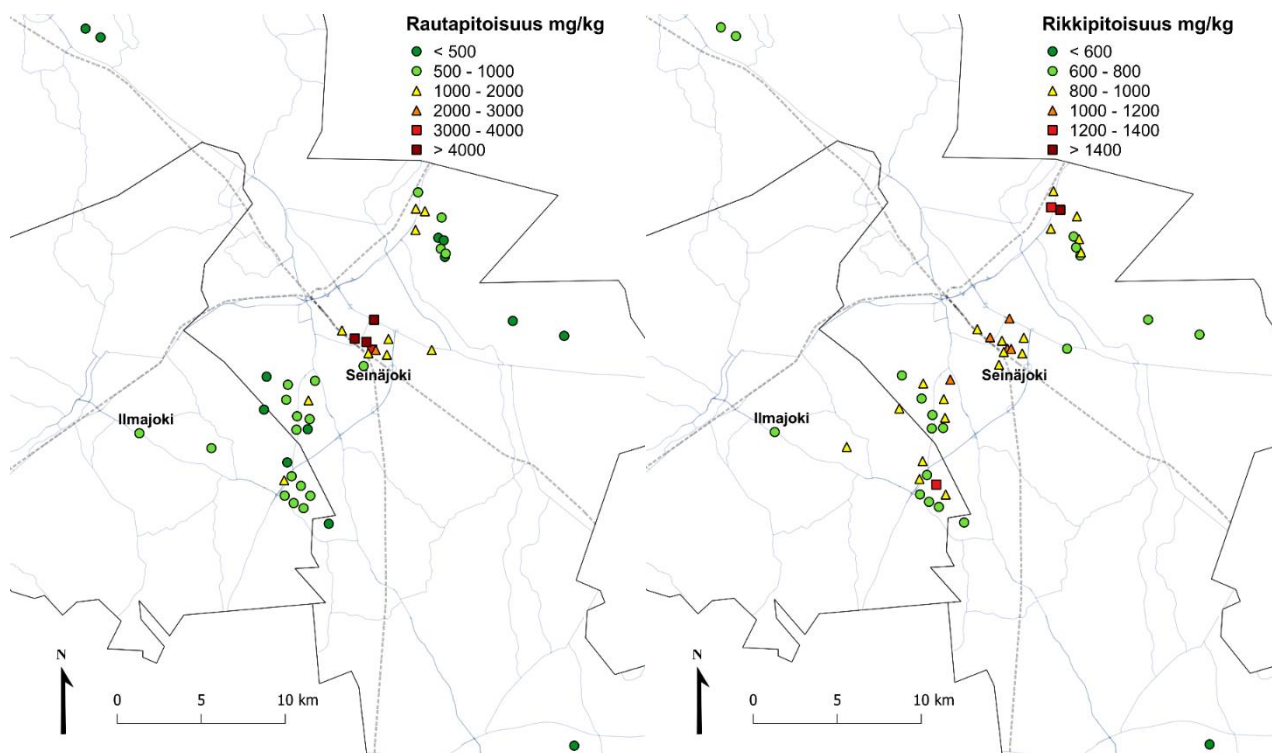
Kuva 4-22. Sammalnäytteiden elohopea- ja kadmiumpitoisuus tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).



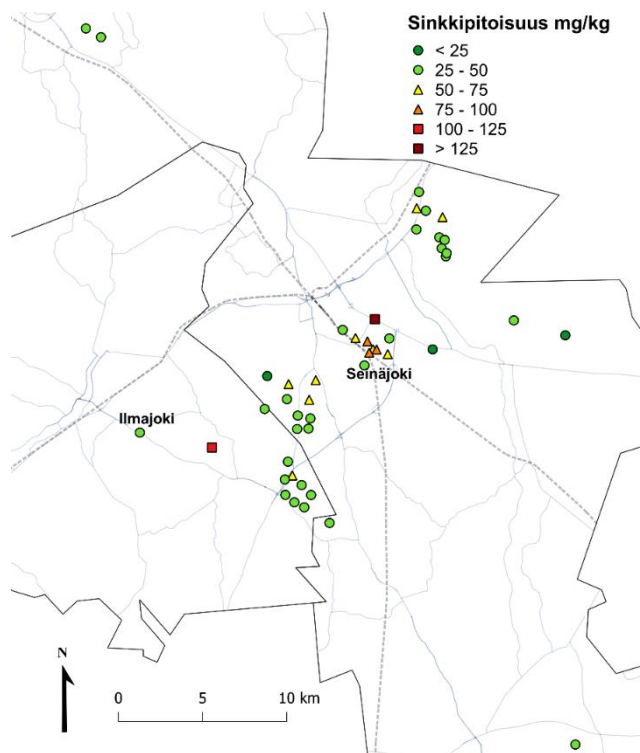
Kuva 4-23. Sammalnäytteiden kromi- ja kuparipitoisuus tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).



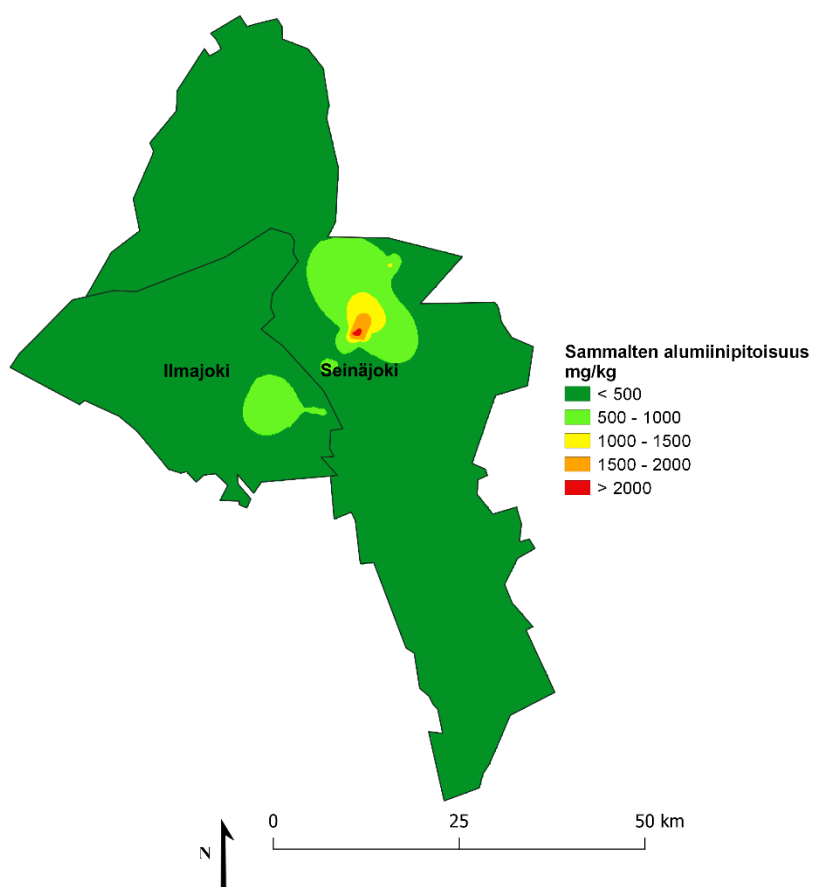
Kuva 4-24. Sammalnäytteiden lyijy- ja nikkelpitoisuus tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).



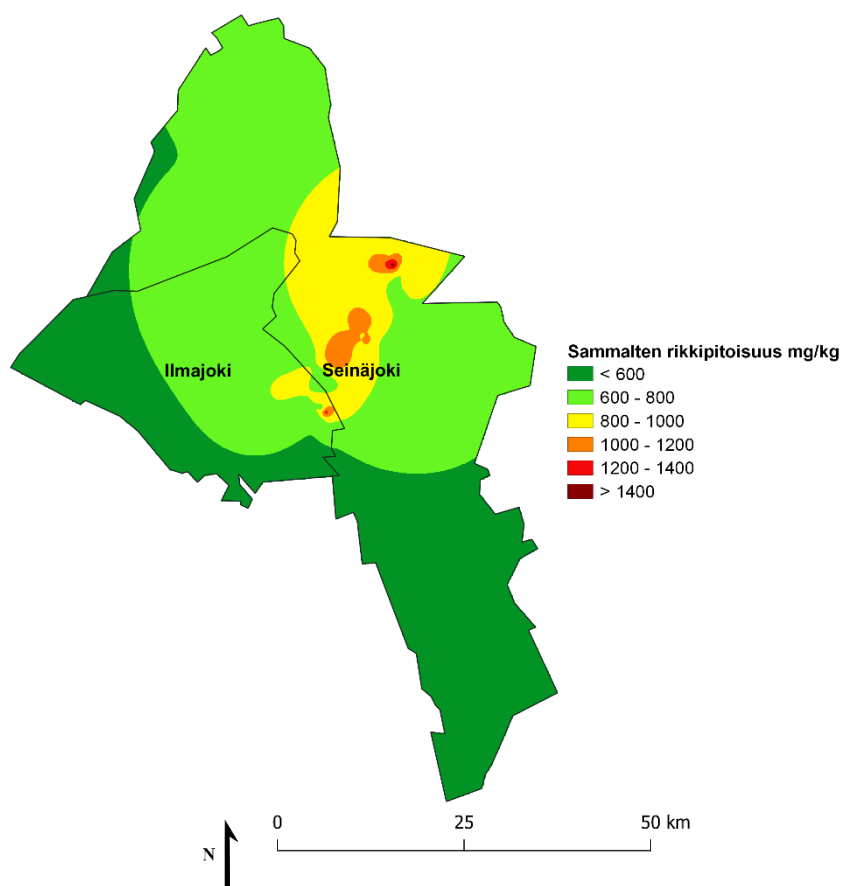
Kuva 4-25. Sammalnäytteiden rauta- ja rikkipitoisuus tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).



Kuva 4-26. Sammalnäytteiden sinkkipitoisuus tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).



Kuva 4-27. Sammalnäytteiden alumiinipitoisuuden vyöhykkeet tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).



Kuva 4-28. Sammalnäytteiden rikkipitoisuuden vyöhykkeet tutkimusalueella heinäkuussa 2022 (n = 47).

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Taustamuuttujien vaikutus ja muuttujien välinen riippuvuus

Taustamuuttujat ovat muuttujia, jotka eivät kuvaa ilmanlaatua, mutta saattavat vaikuttaa ilmanlaadusta kertoviin muuttujiin. Luokiteltuina taustamuuttujina käytettiin muun muassa metsikön soveltuvuutta kartoitukseen, metsätyyppejä sekä puuston kehitysluokkaa.

Tutkimusmetsän soveltuvuudella oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta levän esiintyvyyteen sekä neulasten typpi- ja rikkipitoisuuteen (taulukko 5-1). Levän esiintyvyys oli alhaisin huonosti soveltuvilla aloilla ja suurin kohtalaisesti soveltuvilla alueilla. Typpi- ja rikkipitoisuudet olivat alhaisimpia näytealoilla, jotka soveltuivat tutkimukseen hyvin. Huonosti soveltuvia näytealoja oli vain kaksi, joten ne eivät ole tilastollisesti vertailukelpoisia muihin soveltuvuusluokkiin.

Metsätyypillä oli tilastollisesti merkittävää vaikutusta kaikkiin tarkasteltuihin muuttujiin typpi- ja rikkipitoisuutta lukuun ottamatta. Sormipaisukarve oli vaurioituneempaa luokkaan "muu" kuuluvissa metsissä, mihin voi vaikuttaa se, että muun muassa taajama-alueiden puistoissa ja hautausmailla sijaitsevat alat luokiteltiin luokkaan "muu". Kuivan kankaan (CT) metsissä sormipaisukarve oli puolestaan vähiten vaurioitunutta.

Jäkälälajiston yleinen vaurioaste ja levän esiintymisfrekvenssi olivat alhaisempia kuivilla kankailla ja korkeimpia tuoreilla kankailla (MT). Sormipaisukarpeen pistefrekvenssin arvot olivat korkeimpia kuivahkon kankaan (VT) metsissä ja alhaisimpia kuivan kankaan metsissä. Lajiston lukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi olivat suurimpia kuivan kankaan metsissä ja alhaisimpia tuoreilla kankailla.

Tutkimusmetsän kehitysluokalla oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta yleiseen vaurioasteeseen, lajimäärään, ilmanpuhtausindeksiin, sormipaisukarpeen pistefrekvenssiin ja levän esiintymiseen. Kypsissä metsissä jäkälälajien lukumäärä, ilmanpuhtausindeksi ja levämäärä olivat suurempia kuin varttuneissa metsissä. Varttuneissa metsissä taas sormipaisukarpeen peittävyys ja jäkälän yleinen vaurioaste olivat korkeampia kuin kypsissä metsissä.

Taulukko 5-1. Taustamuuttujien suhteen tarkasteltujen ilmanlaatua kuvaavien muuttujien tilastollisten analyysien testisuureet ja niiden merkitsevyystasot (p). Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella tähdellä (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella tähdellä (***).

Tarkasteltu muuttuja	Soveltuvuus		Metsätyyppi		Kehitysluokka		
	Testisuure	p	Testisuure	p	Testisuure	p	
Hyp. phy. vaurioaste	5,5732	0,06163	45,755	6,39E-10 ***	3,4252	0,06421	
Yleinen vaurioaste	3,8461	0,1462	62,222	1,97E-13 ***	20,44	6,15E-06 ***	
Lajimäärä	3,7271	0,1551	50,528	6,17E-11 ***	41,813	1,00E-10 ***	
IAP	4,9581	0,08382	46,468	4,51E-10 ***	39,788	2,83E-10 ***	
Hyp. phy. peittävyys %	0,88583	0,6422	2,4086	0,492	1,3998	0,2368	
Hyp. phy. pistefrekvenssi	3,3881	0,1838	15,876	0,001202 **	8,2701	0,00403 **	
Levämäärän luokitus	17,253	0,0001793 ***	18,527	0,0003425 ***	9,3127	0,002276 **	
Tyyppi (N)	12,371	0,002059 **	8,2054	0,04195 *	1,5309	0,216	
Rikki (S)	11,903	0,002601 **	8,0835	0,04432 *	0,48941	0,4842	

Muuttujien välisiä riippuvaisuuksia tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla (taulukko 5-2). Merkitseviä positiivisia korrelaatioita ($> 0,3$) havaittiin puun läpimitan ja iän välillä, yleisen vaurioasteen ja sormipaisukarpeen vaurioasteen välillä, lajilukumäärän ja IAP-indeksin välillä sekä neulasten tyyppi- ja rikkipitoisuuden välillä. Puun läpimitan ja iän, lajilukumäärän ja IAP-indeksin sekä eri vaurioasteiden liittyminen toisiinsa oli odotettua.

Negatiivisia alle -0,3 korrelaatioita (toisen muuttujan arvo kasvaa samalla kun toisen arvo laskee) havaittiin lajilukumäärän ja yleisen vaurioasteen välillä, IAP-indeksin ja yleisen vaurioasteen välillä, sekä sormipaisukarpeen vaurioasteen ja sormipaisukarpeen peittävyyden välillä. Myös levän esiintymisen havaittiin korreloivan negatiivisesti sormipaisukarpeen peittävyyden kanssa. Mitä vaurioituneempia rungoilla esiintyvät jäkälälajit olivat, sitä vähemmän jäkälälajeja rungoilla esiintyi. Mitä suurempi sormipaisukarpeen vaurioaste oli, sitä pienempi oli sormipaisukarpeen peittävyys. Sormipaisukarve sekä muut jäkälälajit reagoivat ilman epäpuhtauksiin näin ollen sekä morfologisina muutoksina että runsauden muutoksena.

Neulasten alkuainepitoisuuksissa todettiin riippuvuutta typen ja fosforin, rikin, kalsiumin, kuparin sekä kaliumin välillä (taulukko 5-3). Fosforipitoisuuden ja rikin, typen, kalsiumin, kuparin, kaliumin ja nikkelin välillä oli riippuvuutta. Rikin ja typen osalta riippuvuutta oli fosforin, kuparin, raudan sekä kaliumin välillä. Osa raskasmetalleista korreloivat keskenään. Neulasista analysoitujen raskasmetallipitoisuuksien välillä havaitut tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet viittaavat siihen, että neulasiin päätyvillä raskasmetalleilla on yhteinen päästölähte, kuten teollisuus, liikenne, kaukokulkeuma tai näiden yhteisvaikutus. Myös neulasten rikki- ja typpipitoisuuksien välillä havaittiin merkittävä positiivinen korrelaatio. Myös rikin ja typen voimakas korrelaatio voi kertoa siitä, että sekä rikkiä että typpeä pääsee ilmaan samoista epäpuhtauksista tuottavista prosesseista.

Sammalissa lähes kaikki raskasmetallit korreloivat keskenään positiivisesti, poikkeuksina kalium ja mangaani (taulukko 5-4). Kuten neulasissa, sammaleista analysoitujen raskasmetallipitoisuuksien välillä havaitut tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet viittaavat siihen, että sammaliin päätyvillä raskasmetalleilla on yhteinen päästölähde.

Taulukko 5-2. Muuttujien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Välillä -0,3–0,3 korrelaatioita ei yleisesti katsota merkitykselliseksi. Laji-lkm ei sisällä levää eikä seinäsuomujäkälää. Pohjapinta-alana käytettiin koko puuston pohjapinta-alaa.

	Pituus	Pohja- pinta-ala	Ikä	Läpimit- ta	Hyp. phy. vaur.	Yleinen vaur.	Laji-lkm	IAP	Hyp. phy. peit.	Levä- luokitus	N	S
Pituus	1											
Pohjapinta- ala	0,207	1										
Ikä	0,204	0,018	1									
Läpimitta	0,183	-0,152	0,420	1								
Hyp. phy. vaurioaste	-0,015	0,073	0,078	0,031	1							
Yleinen vaurioaste	-0,006	0,067	-0,027	-0,127	0,320	1						
Laji-lkm	0,035	-0,058	0,000	0,122	-0,265	-0,788	1					
IAP	0,042	-0,047	0,006	0,128	-0,252	-0,778	0,976	1				
Hyp. phy. peittävyys %	0,050	-0,015	-0,254	-0,340	-0,452	-0,199	0,240	0,064	1			
Levä- luokitus	0,038	0,007	0,125	0,137	0,221	0,273	-0,233	-0,087	-0,360	1		
N	0,178	-0,174	0,171	0,276	-0,108	0,024	-0,031	-0,050	0,043	0,140	1	
S	0,207	-0,155	0,208	0,285	0,056	0,109	-0,109	-0,207	0,008	0,056	0,671	1

Taulukko 5-3. Neulasten alkuainepitoisuuksien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Välillä -0,3–0,3 korrelaatioita ei yleisesti katsota merkitykselliseksi.

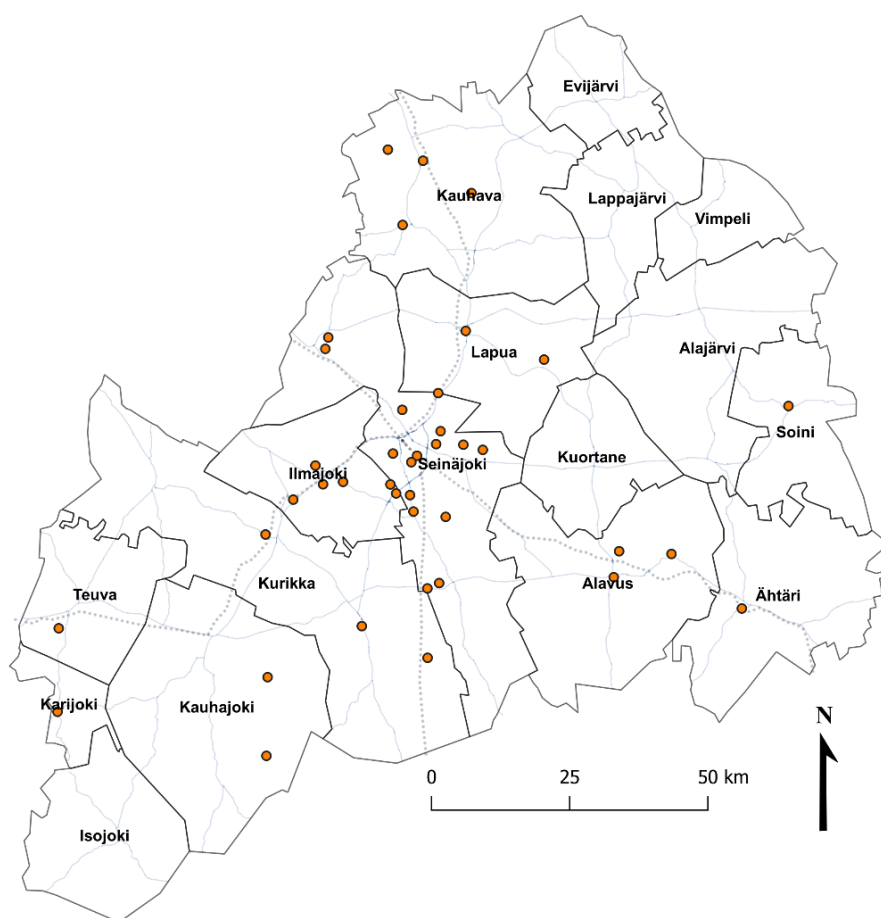
	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	N	Ni	P	S	Zn
B	1													
Ca	0,165	1												
Cd	0,126	0,605	1											
Cr	0,400	-0,087	-0,036	1										
Cu	0,277	0,136	0,172	0,252	1									
Fe	0,496	0,045	0,173	0,711	0,473	1								
K	0,068	0,020	0,161	0,041	0,420	0,077	1							
Mg	0,317	0,290	0,284	0,247	0,265	0,371	-0,163	1						
Mn	0,031	0,343	0,462	-0,079	0,014	0,064	-0,142	0,186	1					
N	0,171	0,345	0,210	0,072	0,679	0,197	0,409	0,103	-0,096	1				
Ni	0,280	0,168	0,239	0,709	0,296	0,596	0,175	0,230	-0,016	0,178	1			
P	0,250	0,364	0,254	0,138	0,537	0,250	0,574	0,148	0,039	0,527	0,312	1		
S	0,250	0,289	0,154	0,160	0,671	0,409	0,505	0,175	-0,053	0,671	0,225	0,799	1	
Zn	0,196	0,488	0,605	0,101	0,167	0,290	-0,086	0,446	0,382	0,067	0,256	0,135	0,111	1

Taulukko 5-4. Sammalten alkuainepitoisuuksien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Välillä -0,3–0,3 korrelaatioita ei yleisesti katsota merkitykselliseksi.

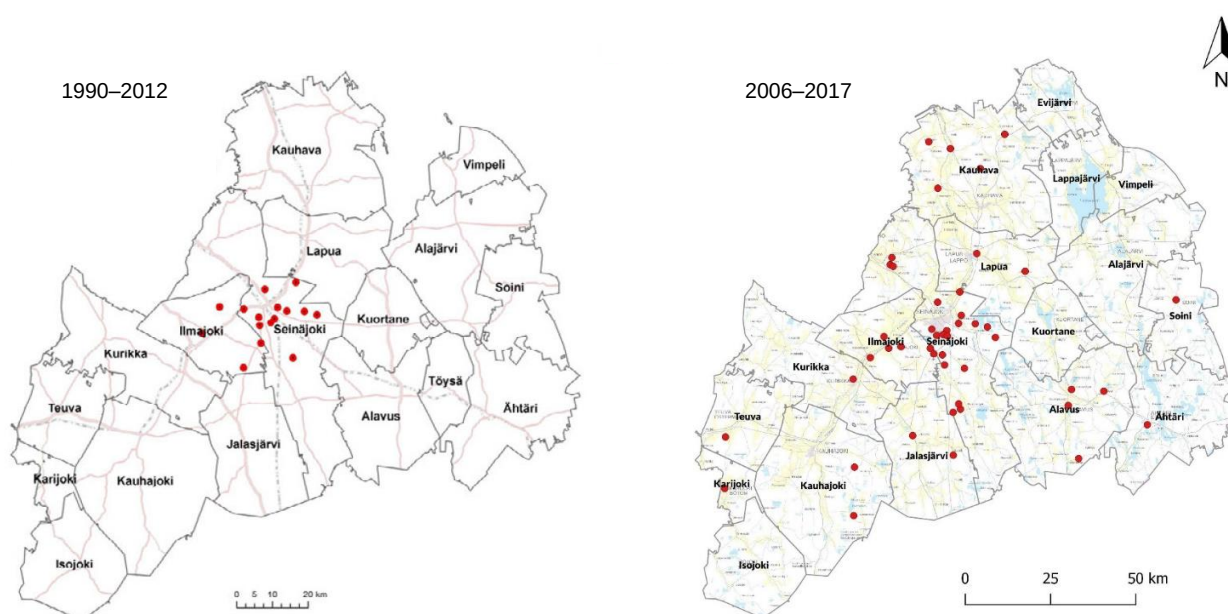
	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	V	Zn
Al	1																			
As	0,88	1																		
B	0,55	0,63	1																	
Ca	0,58	0,64	0,75	1																
Cd	0,50	0,52	0,53	0,59	1															
Co	0,89	0,84	0,64	0,59	0,65	1														
Cr	0,78	0,80	0,48	0,58	0,47	0,76	1													
Cu	0,78	0,80	0,65	0,70	0,56	0,75	0,74	1												
Fe	0,98	0,89	0,60	0,60	0,50	0,91	0,80	0,80	1											
Hg	0,40	0,42	0,40	0,46	0,15	0,39	0,37	0,55	0,42	1										
K	0,09	0,08	0,34	0,18	0,06	0,17	0,01	0,40	0,12	0,42	1									
Mg	0,65	0,70	0,68	0,68	0,48	0,67	0,55	0,69	0,67	0,36	0,47	1								
Mn	-0,08	-0,04	0,13	0,26	0,07	-0,04	0,11	-0,08	-0,05	-0,01	0,00	0,12	1							
Na	0,50	0,59	0,60	0,36	0,30	0,60	0,44	0,60	0,52	0,46	0,44	0,58	-0,22	1						
Ni	0,86	0,87	0,52	0,64	0,48	0,82	0,96	0,79	0,87	0,47	0,08	0,61	0,06	0,51	1					
P	0,21	0,25	0,43	0,33	0,19	0,29	0,14	0,42	0,24	0,57	0,84	0,57	-0,02	0,46	0,23	1				
Pb	0,69	0,69	0,33	0,57	0,44	0,59	0,74	0,70	0,65	0,51	-0,08	0,40	-0,12	0,33	0,75	0,13	1			
S	0,68	0,71	0,71	0,70	0,47	0,71	0,61	0,82	0,72	0,75	0,54	0,75	0,03	0,67	0,69	0,65	0,57	1		
V	0,96	0,87	0,52	0,51	0,44	0,87	0,81	0,73	0,97	0,37	0,05	0,63	0,00	0,48	0,86	0,17	0,65	0,64	1	
Zn	0,69	0,75	0,68	0,78	0,63	0,71	0,65	0,79	0,68	0,41	0,18	0,64	0,21	0,50	0,71	0,31	0,70	0,70	0,64	1

5.2 Vertailu alueella aiemmin toteutettuihin tutkimuksiin

Männynneulasten ja runkojäkälien osalta vertailussa on huomioitu vuosien 2006, 2012, 2017 ja 2022 välillä samana pysyneet havaintoalat (n = 40) (kuva 5-1), sillä tutkimusvuosien 1990–2022 aikana samoina pysyneiden havaintoalojen määrä oli erittäin vähäinen. Vuonna 2017 vertailussa käytettiin vuosina 2006–2017 samoina pysyneitä havaintoaloja (n = 47) (Ahma ympäristö 2017) ja vuonna 2012 käytettiin vuosina 1990–2012 samoina pysyneitä havaintoaloja (n = 16) (kuva 5-2) (Ramboll 2012).



Kuva 5-1. Neulasten alkuainepitoisuustutkimuksissa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat vuosina 2006–2022 (n = 40).



Kuva 5-2. Vuosien 1990–2012 tutkimuksissa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat (n = 16, vasemmanpuoleinen kartta, Ramboll 2012), sekä vuosien 2006–2017 tutkimuksissa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat (n = 47, oikeanpuoleinen kartta, Ahma ympäristö 2017). Jalasjärvi on nykyään kuntaliitoksen myötä osa Kurikkaa.

5.2.1 Männyn runkojäkälät

Vuosina 2006, 2012, 2017 ja 2022 samoina pysyneillä mäntyhavaintoaloilla ($n = 40$) ilmanpuhtausindeksin arvo laski 0,3 yksikköä edelliseen tutkimuskertaan (2017) verrattuna (taulukko 5-5, kuva 5-4). Arvo ei ollut kuitenkaan vuoden 2012 tasolla, joka on ollut tarkastelujakson alhaisin. Vielä vuonna 2006 jäkälälajisto luokiteltiin ilmanpuhtausindeksin perusteella lievästi muuttuneeksi (luokka 2–3), mutta vuodesta 2012 eteenpäin lajisto on luokiteltu keskimäärin köyhtyneeksi (luokka 1–2).

Havaintoalakohtainen lajilukumäärä oli keskimäärin 0,5 yksikköä edellistä tutkimuskertaa (2017) alhaisempi (taulukko 5-4). Eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit olivat laskeneet lähes kaikkien ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien kohdalla sormipaisukarvetta ja hankakarvetta lukuun ottamatta. Esiintymisfrekvenssien aleneminen oli huomattavinta ruskoröyhelön, keltaröyhelön, luppojen ja naavojen kohdalla. Edelliseen tutkimusajankohtaan verrattuna ilman epäpuhtauksista hyötyvän levän esiintymisfrekvenssi oli lisääntynyt ja seinäsuomujäkälän vähentynyt. Ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärä oli vähäisin vuonna 2012.

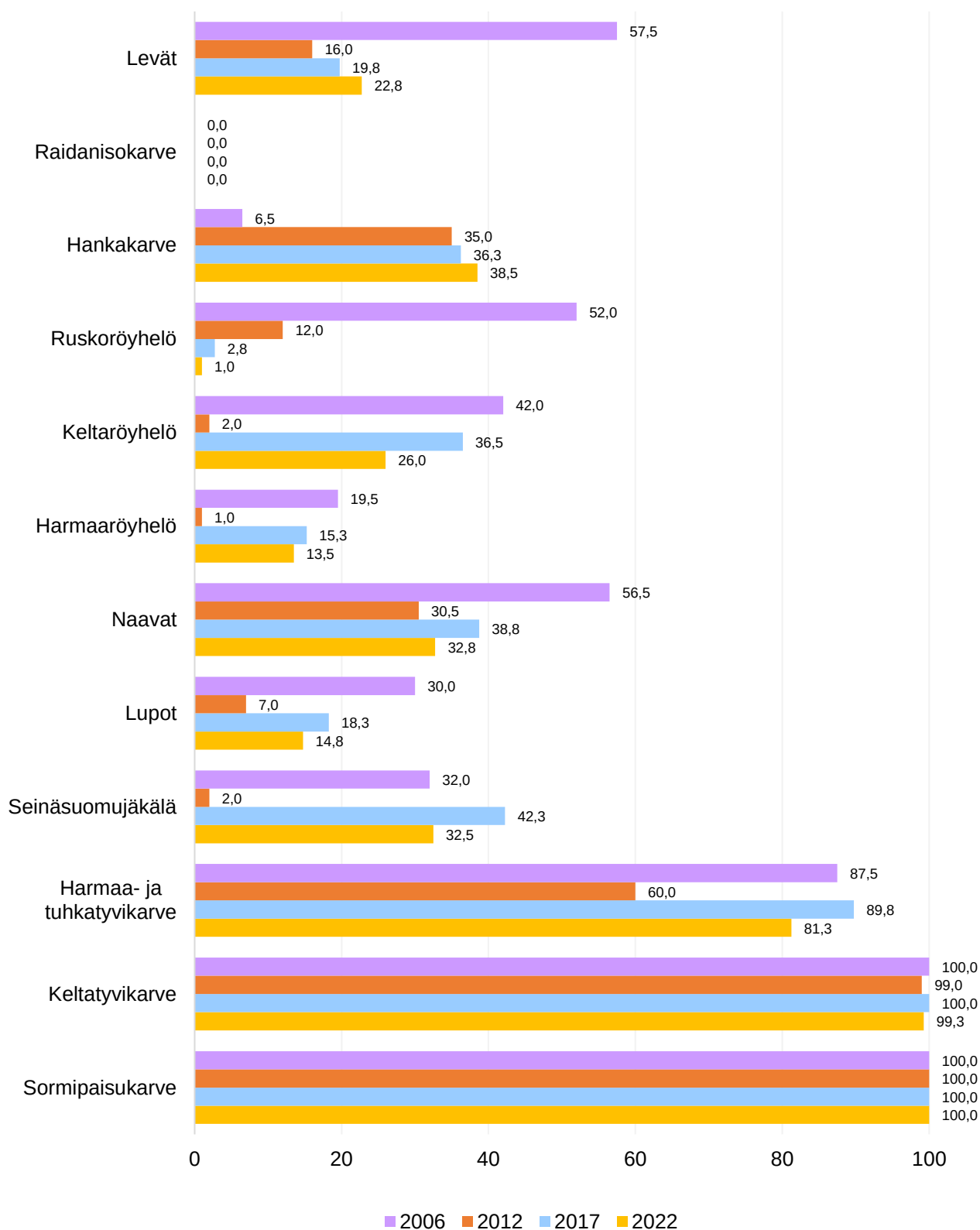
Sormipaisukarpeen keskimääräinen vaurioaste oli kasvanut 0,5 yksikköä edelliseen tutkimusajankohtaan (2017) verrattuna ja sormipaisukarve luokiteltiin selvästi vaurioituneeksi (taulukko 5-5, kuva 5-5). Muutos oli voimakkainta Seinäjoen ja Ilmajoen alueella. Yleinen vaurioaste oli kasvanut huomattavasti ja tarkasteltujen alojen jäkälälajisto luokiteltiin vuonna 2022 keskimäärin selvästi vaurioituneeksi. Yleisen vaurioasteen heikkenemiseen vaikutti herkimpien pensasmaisten jäkälien esiintymisfrekvenssin väheneminen tutkimusalueella. Puun jäkälälajisto luokitellaan pahasti vaurioituneeksi, jos puulla ei kasva pensasmaisia lajeja, vaikka lehtimäiset lajit olisivat parempikuntoisia.

Vuoden 2022 tulosten vertailukelpoisuutta aikaisempien vuosien tuloksiin heikentää se, että havaintopuiden maalimerkit olivat kadonneet usealta alalta. Tämän takia kartoituksessa mukana olleet puut eivät välttämättä olleet samoja, kuin aikaisempina vuosina kartoitetut puut. Vaikka kartoitus tehtiin koordinaattien mukaan samasta kohdasta, tutkimuspuiden vaihtumisella voi olla merkittävää vaikutusta kartoituksen tuloksiin.

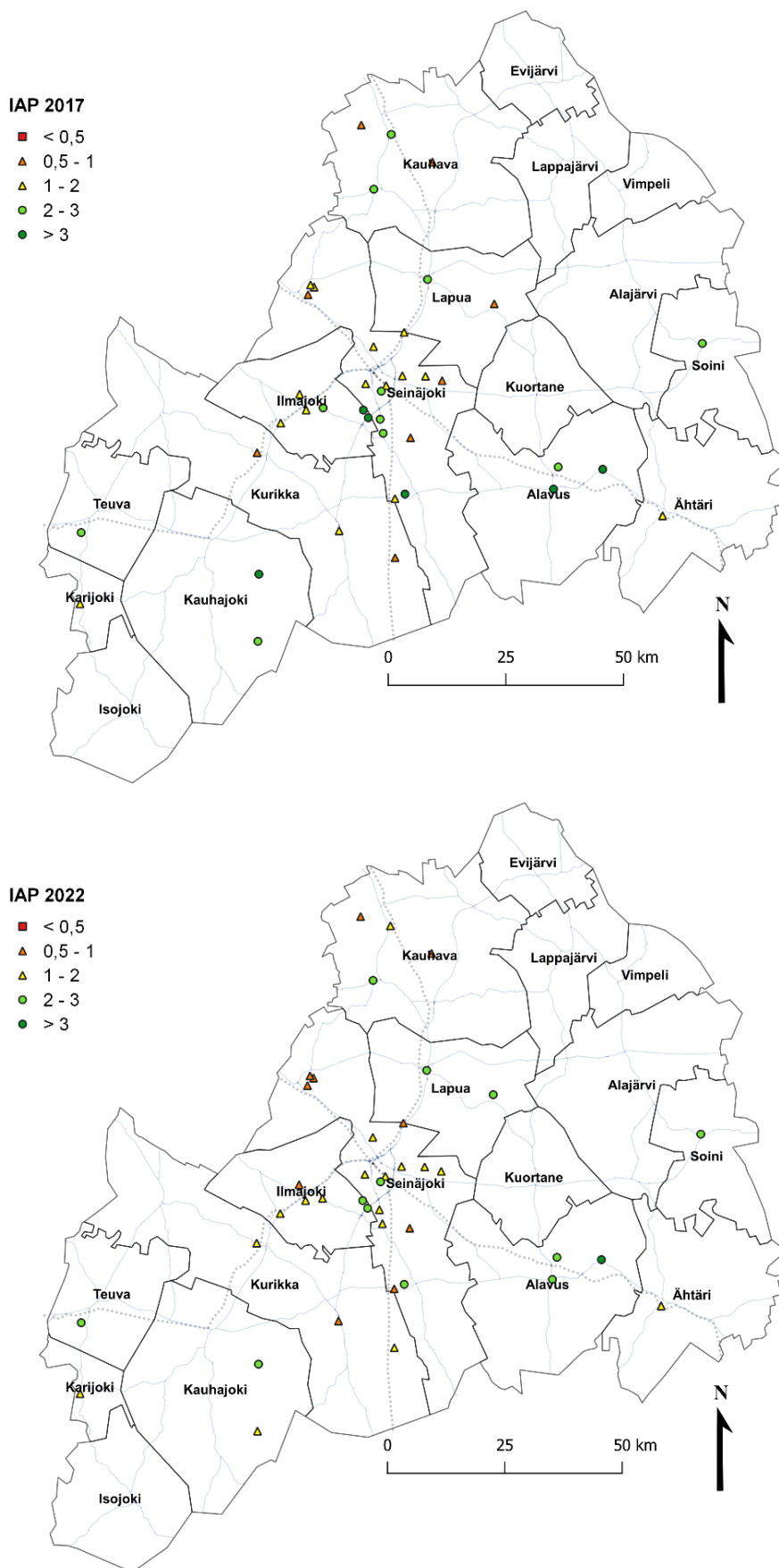
Taulukko 5-5. Männyn runkojäkälien tunnuslukuja tutkimusvuosilta 2006 (Laita ym. 2008), 2012 (Ramboll 2012), 2017 (Ahma ympäristö 2017) ja 2022 (n = 40, samoina pysyneet havaintoalat).

	Ka	Min	Max	S.D.
2022				
IAP ilmanpuhtausindeksi	1,6	0,6	3,5	0,74
Lajimäärä / havaintoala*	5,9	3,0	9,0	1,73
Yleinen vaurioaste	3,5	1,8	4,2	0,55
Sormipaisukarpeen vaurioaste	3,1	2,6	4,2	0,31
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	2,2	3,0	0,13
2017				
IAP ilmanpuhtausindeksi	1,9	0,8	4,8	1,03
Lajimäärä / havaintoala*	6,4	4,0	9,0	1,69
Yleinen vaurioaste	2,2	1,2	3,2	0,50
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	1,4	3,6	0,58
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	2,8	3,0	0,03
2012				
IAP ilmanpuhtausindeksi	1,5	0,7	2,7	0,54
Lajimäärä / havaintoala*	4,4	2,0	7,0	1,47
Yleinen vaurioaste	1,9	1,0	3,2	0,51
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	1,4	4,4	0,66
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	3,0	3,0	0,00
2006				
IAP ilmanpuhtausindeksi	2,2	1,2	3,4	0,60
Lajimäärä / havaintoala*	6,3	3,0	9,0	1,46
Yleinen vaurioaste	2,7	1,0	4,0	0,61
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,0	1,1	3,7	0,60
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	3,0	3,0	0,00

*lajimäärissä ei huomioitu levää eikä seinäsuomujäkälää



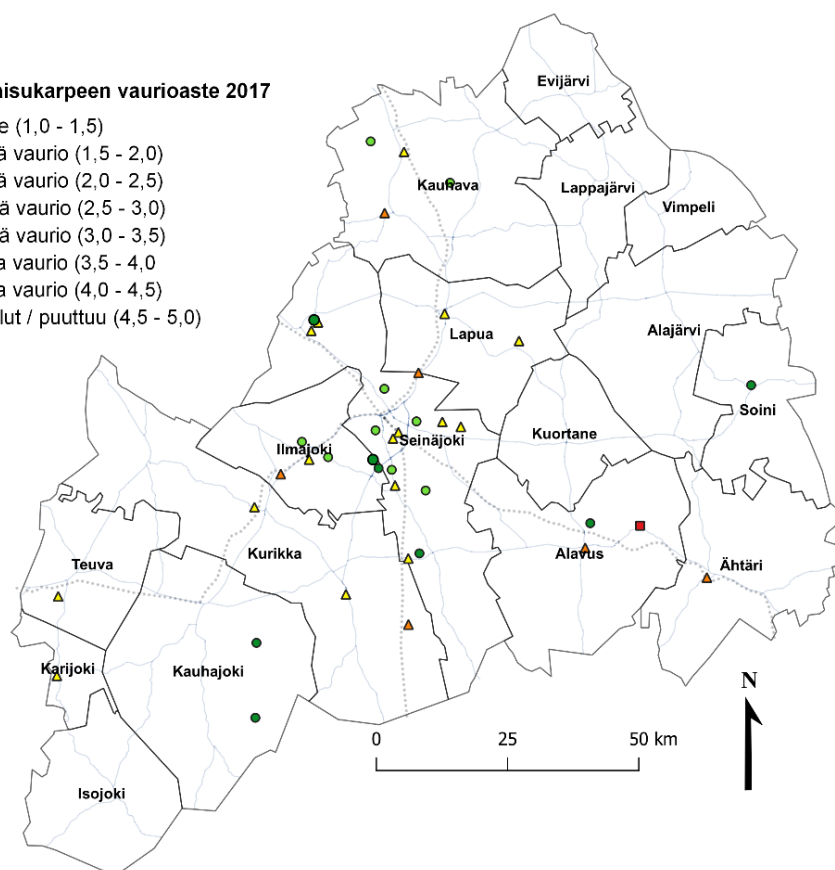
Kuva 5-3. Männyn runkojäkälien prosentuaalinen esiintymistiheys tutkimusrungoilla vuosina 2006 (n = 200, Laita ym. 2008), 2012 (n = 200, Ramboll 2012), 2017 (n = 400, Ahma ympäristö 2017) ja 2022 (n = 400). Vertailussa huomioitu samana pysyneet mäntyhavaintoalat (n = 40).



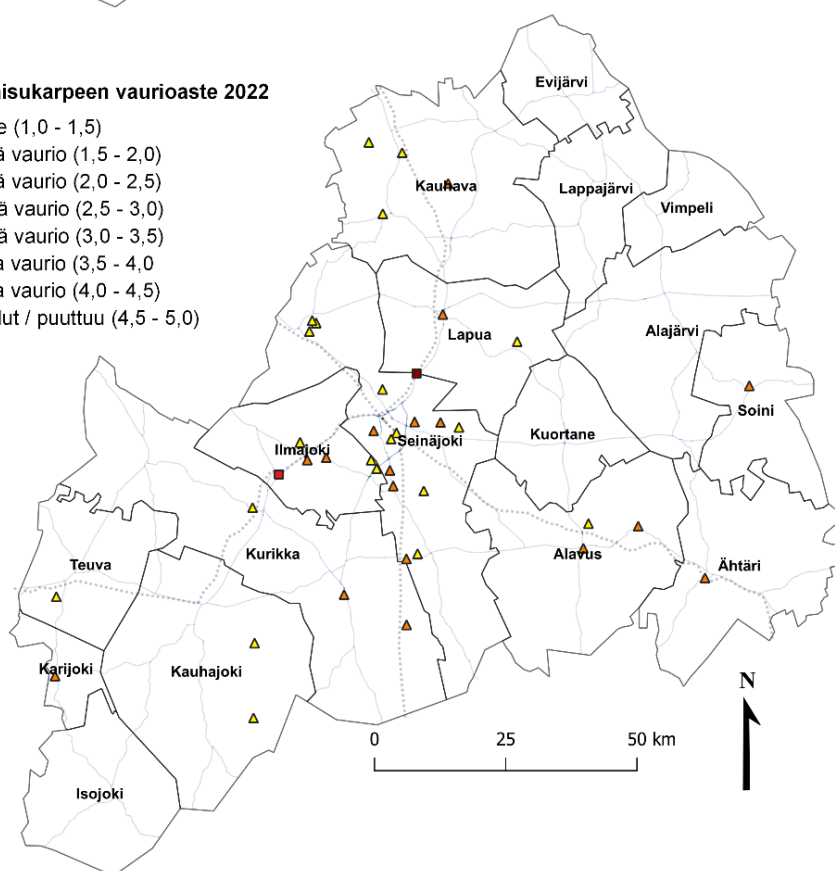
Kuva 5-4. IAP-indeksi vuosina 2017 (Ahma ympäristö 2017) ja 2022 (n = 40).

Sormipaisukarpeen vaurioaste 2017

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

**Sormipaisukarpeen vaurioaste 2022**

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



Kuva 5-5. Sormipaisukarpeen vaurioaste vuosina 2017 (Ahma ympäristö) ja 2022 (n = 40).

5.2.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten keskimääräiset boori-, fosfori-, mangaani- ja sinkkipitoisuudet ovat vaihdelleet Etelä-Pohjanmaalla vain vähän tutkimusvuosien 2006–2022 välillä, eikä selkeää kehityssuuntaa ole havaittavissa. Neulasten keskimääräisten kromi- ja nikkelpitoisuuksien kehityssuunta on ollut selvästi nouseva, kun taas kadmiumpitoisuuden kehityssuunta on ollut laskusuuntainen. Neulasten magnesium-, kalsium- ja kaliumpitoisuudet nousivat vuosien 2006–2017 välillä, mutta pitoisuudet ovat kääntyneet laskuun ja ovat tällä hetkellä lähellä vuoden 2012 tasoa. Neulasten keskimääräiset rauta- ja kuparipitoisuudet olivat nousseet viime tutkimusvuodesta (2017), mutta eivät olleet kuitenkaan vuoden 2012 tasolla. Kuparipitoisuuden kehityksessä voidaan nähdä kasvavaa trendiä.

Neulasten typpi- ja rikkipitoisuuksissa voidaan nähdä kasvavaa trendiä vuodesta 2012 alkaen. Edelliseen tutkimuskertaan verrattuna pitoisuuksien nousu oli kuitenkin hyvin maltillista (N +2,3 %, S +0,6 %) ja vuoden 2022 pitoisuudet sijoittuivat aikaisempien tutkimusvuosien välillä havaittuun vaihteluväliin. Neulasten keskimääräinen rikkipitoisuus on ollut alhaisimmillaan vuonna 1990 (625 mg/kg) (Ramboll 2012). Vuosien 1995–2000 välillä keskimääräiset pitoisuudet olivat korkeampia vaihdellen välillä 814–986 mg/kg (n = 10–16). Vuosien 2006–2017 välillä pitoisuudet ovat olleet lähellä vuosien 1995–2000 tasoa ja vaihdelleet välillä 899–980 mg/kg (n = 40).

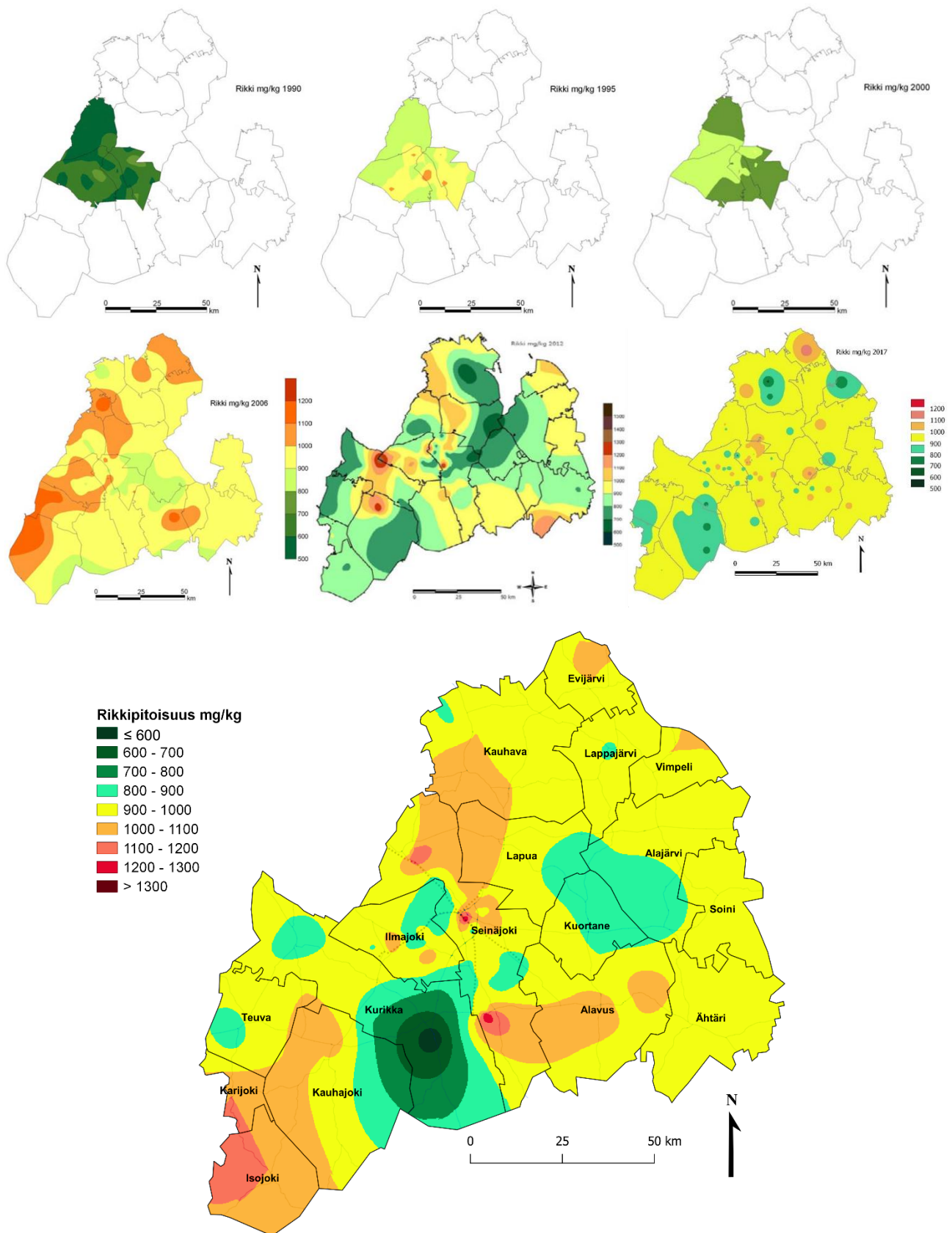
Vuonna 2012 Ilmajoen ja Kurikan seutu sekä Kauhajoen ja Seinäjoen taajama-alueet tutkimusalueella korostuivat korkean rikkipitoisuuden vyöhykkeinä, kun taas Kauhavan, Lapuan, Kuortaneen ja Alajärven seuduilla oli havaittavissa alhaisemman rikkipitoisuuden vyöhyke (kuva 5-7). Vuonna 2017 tutkimusalueella ei korostunut vastaavalla tavalla korkean rikkipitoisuuden vyöhykkeitä, sillä rikkipitoisuudet vaihtelivat melko tasaisesti koko tutkimusalueella. Korkeamman pitoisuuden alueita esiintyi muun muassa Evijärvellä, Seinäjoella ja Kuortaneella ja alhaisemman rikkipitoisuuden vyöhykkeitä oli havaittavissa Kauhavan, Vimpelin ja Lappajärven sekä Kauhajoen alueilla. Vuonna 2022 korkeamman pitoisuuden alueita esiintyi muun muassa Seinäjoella sekä Karijoen ja Isojoen alueilla. Alhaisemman rikkipitoisuuden vyöhykkeitä oli havaittavissa Kurikan, Kuortaneen ja Kauhajoen alueilla. Muuten pitoisuudet vaihtelivat melko tasaisesti koko tutkimusalueella.

Taulukko 5-6. Neulasten alkuainepitoisuuksia tutkimusalueella vuosina 2006, 2012, 2017 ja 2022 (n = 40, kyseisinä tutkimusajankohtina samoina pysyneet havaintoalat. Tulokset ovat esitetty tyyppiä (N) lukuun ottamatta yksikössä mg/kg kuiva-ainetta. Typen tulokset on esitetty yksikössä g/kg kuiva-ainetta.

	N	B	Cd	K	Ca	P	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	S	Zn
2022														
Ka	13,70	15	0,078	5470	3570	1414	0,97	2,9	963	389	0,84	86	945	49
Min	10,8	7,6	0,026	3200	2000	850	0,40	1,7	590	130	0,42	47	530	27
Max	15,8	29	0,180	6800	5900	1800	3,30	3,7	1300	860	1,70	330	1100	79
S.D.	1,40	4,8	0,033	717	846	167	0,57	0,4	156	151	0,30	45	103	12
2017														
Ka	13,39	16	0,081	6009	4101	1444	0,65	2,6	1033	403	0,60	63	939	47
Min	8,94	11	0,037	5210	2710	1130	0,40	2,1	800	150	0,26	30	690	24
Max	16,80	24	0,130	6830	6870	1780	1,90	3,6	1180	660	1,60	150	1150	67
S.D.	1,66	2,9	0,027	386	980	143	0,34	0,3	96	131	0,24	23	103	8
2012														
Ka	11,39	16	0,089	5290	3660	1430	0,22	3,2	930	371	0,55	98	899	49
Min	8,20	8,3	0,031	3600	2100	1200	0,10	2,6	660	220	0,17	51	590	22
Max	16,00	31	0,180	6800	5900	1700	0,77	4,1	1400	670	1,20	210	1500	72
S.D.	1,70	4,7	0,031	575	910	124	0,14	0,4	145	104	0,26	39	168	12
2006														
Ka	15,36	16	0,097	4724	3321	1463	0,11	2,3	888	379	0,43	69	980	46
Min	12,32	8,9	0,050	4174	2534	1244	0,06	1,7	691	244	0,24	39	860	28
Max	18,96	28	0,560	5518	5277	1735	0,27	3,8	1203	622	1,02	155	1196	71
S.D.	1,62	4,2	0,080	342	631	109	0,04	0,4	116	99	0,17	21	83	8



Kuva 5-6 Neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet Etelä-Pohjanmaalla vuosina 2006–2022 samoina pysyneillä havaintoaloilla (n = 40). Tulokset yksikössä mg/kg kuiva-ainetta.



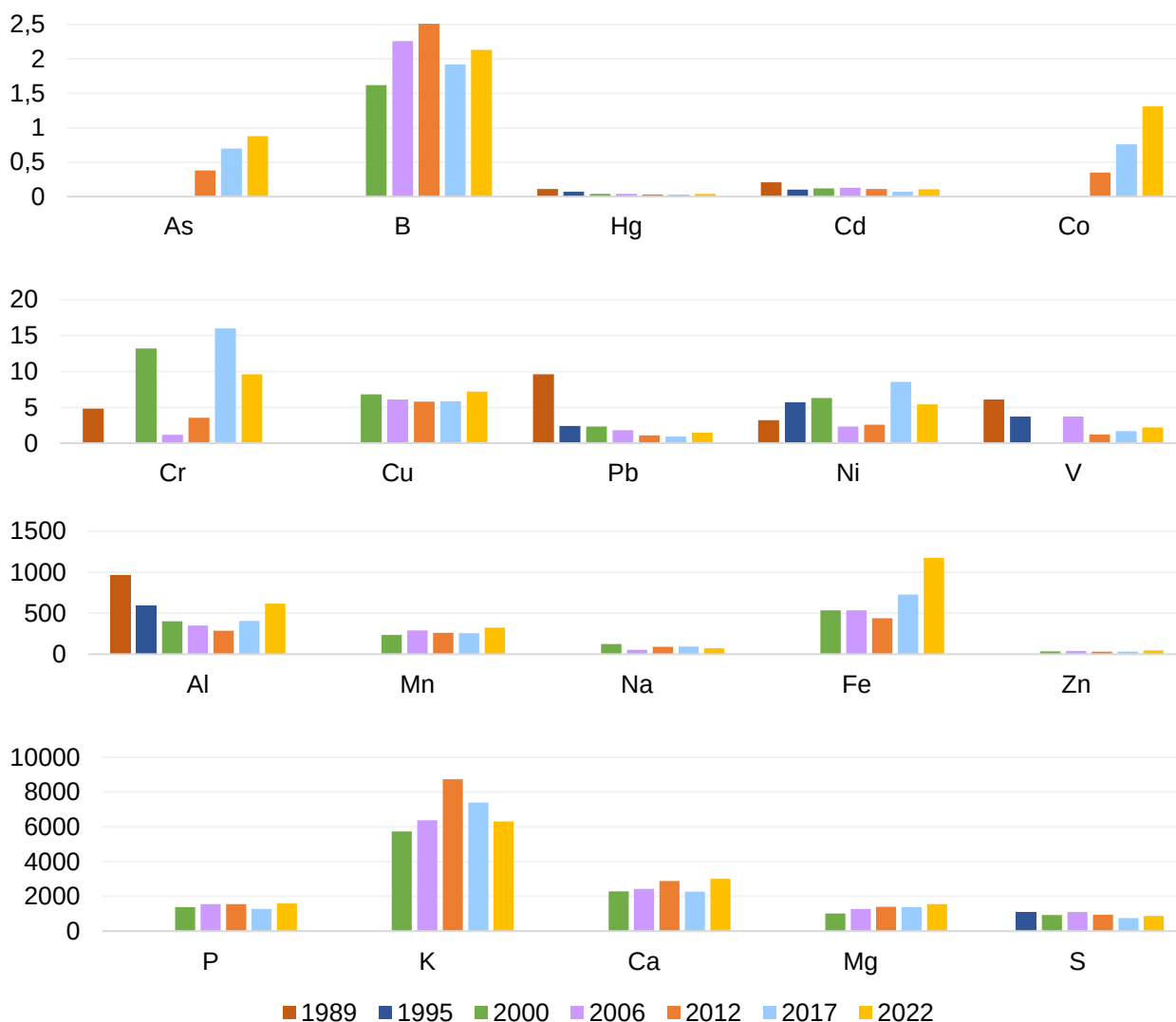
Kuva 5-7. Neulasten rikkipitoisuus vuosina 1990, 1995, 2000, 2006 (kuvat Laita ym. 2008), 2012 (kuva Ramboll 2012), 2017 (Ahma ympäristö 2017) ja 2022. Vyöhykekartoissa on käytetty kaikkia kyseisten vuosien havaintoaloja.

5.2.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalten alkuainepitoisuuksia eri tutkimusvuosina on esitelty oheisessa taulukossa (taulukko 5-7) ja pylväsdiagrammissa (kuva 5-8). Vertailussa on käytetty kaikkia havaintoaloja, lukuun ottamatta vuoden 2022 taustapitoisuusalaa. Vuosina 2006, 2012, 2017 ja 2022 alkuainepitoisuudet analysoitiin seinäsammalesta (*Pleurozium schreberi*). Aikaisempina tutkimusvuosina analyysiin on käytetty myös metsäkerrossammalta (*Hylocomium splendens*).

Sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet olivat vuonna 2022 nikkeliä, natriumia ja kromia lukuun ottamatta korkeampia edelliseen tutkimuskertaan (2017) verrattuna. Usean alkuaineen (As, Hg, Co, Cu, V, Al, Fe, Zn) pitoisuuksissa voidaan nähdä kasvavaa trendiä vuodesta 2012 alkaen. Sammalten kaliumpitoisuus on vastaavalla aikavälillä puolestaan laskenut. Sammalten lyijypitoisuus on ollut pidemmällä aikavälillä laskussa, mutta tässä tutkimuksessa pitoisuuden havaittiin nousseen. On huomattava, että yhden mittauspisteen korkea tulos (12 mg/kg) nosti tutkimusalueen keskimääräistä lyijypitoisuutta lähes 20 %. Keskimääräinen lyijypitoisuus oli kuitenkin aikaisempia vuosia korkeampi, vaikka poikkeava tulos jätettiin huomiotta (ka. 1,22 mg/kg, n = 45).

Joillakin alkuaineilla (P, Cd, B, Ca, Cr, Mn, Na, Ni, S) ei ole ollut havaittavissa selkeää lasku- tai noususuuntaa, johtuen pitoisuuksien vaihtelusta eri seurantakertojen välillä. Magnesiumpitoisuuksissa on nähtävissä nousujohteisuutta, vaikka vuoden 2017 pitoisuus oli aikaisempaa vuotta alhaisempi.



Kuva 5-8. Sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet tutkimusalueella vuosina 1989–2022. Tulokset yksikössä mg/kg kuiva-ainetta.

Taulukko 5-7a. Sammalnäytteiden keskimääräiset alkuainepitoisuudet tutkimusalueella vuosina 1989, 1995, 2000, 2006 (Laita ym. 2008), 2012 (Ramboll 2012), 2017 (Ahma ympäristö 2017) ja 2022. Vertailuun on käytetty kaikkia havaintoaloja, pois lukien vuoden 2022 taustapitoisuusala.

	Al	As	B	Hg	P	Cd	K	Ca	Co	Cr
2022, n = 46										
Ka	618	0,88	2,13	0,041	1590	0,10585	6314	3002	1,31	9,61
Min	170	0,16	0,87	< 0,03	730	0,05	3900	1600	0,17	2,0
Max	2200	4,6	7,8	0,072	2500	0,32	9000	5000	28	39
S.D.	498	1,07	1,36	0,012	408	0,0483	1276	716	4,06	7,75
2017, n = 41										
Ka	407	0,7	1,92	0,031	1281	0,071	7381	2278	0,76	15,98
Min	80	0,06	0,9	<0,03	840	0,028	4660	1630	0,21	2,9
Max	2180	5,5	5,2	0,061	1930	0,18	11000	4250	3,1	68
S.D.	476	1,11	1	0,005	275	0,025	1764	533	0,71	16,03
2012, n = 41										
Ka	285	0,38	5,1	0,03	1552	0,11	8739	2873	0,35	3,56
Min	72	0,05	1	0,01	660	0,069	5000	1800	0,1	0,36
Max	770	1,6	28	0,09	3000	0,27	15000	4100	0,95	19
S.D.	186	0,37	6,16	0,01	426	0,04	2303	539	0,24	3,63
2006, n = 40										
Ka	348	-	2,26	0,04	1559	0,13	6381	2435	-	1,18
Min	149	-	0,85	0,03	1177	0,09	4740	1817	-	0,47
Max	1140	-	6,1	0,7	2477	0,19	8707	3139	-	3,3
S.D.	208	-	1,13	0,01	303	0,028	1065	337	-	0,66
2000, n = 40										
Ka	403	-	1,62	0,04	1380	0,12	5730	2284	-	13,2
Min	212	-	0,57	0,02	807	0,08	3930	1790	-	4,5
Max	1000	-	3,83	0,07	2810	0,25	8930	318	-	33,5
S.D.	155	-	0,73	0,01	380	0,03	1352	327	-	6,51
1995, n = 43										
Ka	590	-	-	0,07	-	0,1	-	-	-	-
Min	214	-	-	0,02	-	0,05	-	-	-	-
Max	1440	-	-	0,13	-	0,19	-	-	-	-
S.D.	332	-	-	0,02	-	0,03	-	-	-	-
1989, n = 43										
Ka	966	-	-	0,11	-	0,21	-	-	-	4,81
Min	343	-	-	0,06	-	0,11	-	-	-	0,25
Max	4250	-	-	0,18	-	0,37	-	-	-	16,7
S.D.	742	-	-	0,03	-	0,06	-	-	-	3,04

Taulukko 5-7b. Sammalnäytteiden keskimääräiset alkuainepitoisuudet tutkimusalueella vuosina 1989, 1995, 2000, 2006 (Laita ym. 2008), 2012 (Ramboll 2012), 2017 (Ahma ympäristö 2017) ja 2022. Vertailuun on käytetty kaikkia havaintoaloja, pois lukien vuoden 2022 taustapitoisuusala.

	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
2022, n = 46										
Ka	7,19	1,45	1560	324	73	5,4	1176	872	47	2,18
Min	3,4	0,66	880	110	46	1,5	260	610	24	0,53
Max	24	12	2700	1200	140	18	5700	1500	140	9,8
S.D.	3,84	1,90	410	195	21	3,8	1171	207	23	2,10
2017, n = 41										
Ka	5,85	0,92	1374	258	93	8,56	728	754	32,4	1,67
Min	3,9	0,36	900	60	60	1,7	120	590	20	0,27
Max	11	3,2	2020	410	200	34	4300	1120	62	10
S.D.	1,88	0,54	264	83	29	7,91	916	127	10,2	2,14
2012, n = 41										
Ka	5,8	1,1	1389	262	89	2,56	439	945	32	1,22
Min	3,5	0,64	850	93	48	0,11	100	540	21	0,33
Max	11	7,3	2400	440	250	12	1600	2100	48	4,7
S.D.	1,7	1	244	82	34	2,38	383	275	7	1,01
2006, n = 40										
Ka	6,1	1,8	1271	292	53	2,3	537	1101	38	3,7
Min	3,8	1,1	927	142	34	0,8	188	804	28	1,1
Max	13	2,9	1641	526	83	12	1898	1652	54	25
S.D.	2,2	0,4	193	107	13	1,9	421	203	7,2	4,4
2000, n = 40										
Ka	6,8	2,3	1004	234	122	6,3	537	923	35	-
Min	3,2	1,5	693	105	74	2,3	188	698	27	-
Max	48,1	3,7	1540	455	202	13,8	1895	1490	47	-
S.D.	7,4	0,5	2066	72	31	2,5	421	153	5	-
1995, n = 43										
Ka	-	2,4	-	-	-	5,7	-	1083	-	3,7
Min	-	1,1	-	-	-	1,3	-	761	-	1
Max	-	4,1	-	-	-	60	-	1520	-	8,8
S.D.	-	0,6	-	-	-	12	-	138	-	1,7
1989, n = 43										
Ka	-	9,6	-	-	-	3,2	-	-	-	6,1
Min	-	4,9	-	-	-	1,8	-	-	-	2,4
Max	-	16,1	-	-	-	6,5	-	-	-	15,9
S.D.	-	2,9	-	-	-	1	-	-	-	2,5

5.3 Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

5.3.1 Männyn runkojäkälet

Pitkällä aikavälillä tapahtuneesta yleisestä päästöjen vähentymisestä huolimatta ilmanpuhtausindeksin heikentymistä sekä ilman epäpuhtauksille herkkien jäkäälajien harvinaistumista on havaittu Etelä-Pohjanmaan lisäksi myös muualla Suomessa, kuten Uudellamaalla (Ruuth & keskitalo 2021), Pohjois-Karjalassa (Ruuth ym. 2021) sekä Kokkolan ja Pietarsaaren alueella (Lappalainen & Leppänen 2019). Etelä-Pohjanmaan keskimääräinen ilmanpuhtausindeksi (IAP) oli vuonna 2022 samaa luokkaa kuin Uudellamaalla sekä Kokkolan ja Pietarsaaren alueella tehdyissä tutkimuksissa vuosina 2018–2020 (taulukko 5-8). Etelä-Pohjanmaan keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste oli heikompi kuin vertailualueilla keskimäärin.

Taulukko 5-8. Männyn runkojäkäliä kuvaavat sormipaisukarpeen vaurioaste ja ilmanpuhtausindeksi (IAP = Index of Air Purity) Etelä-Pohjanmaan alueen bioindikaattoritutkimuksessa 2022 sekä eri puolella Suomea toteutetuissa tutkimuksissa (Huuskonen ym. 2013, Keskitalo ym. 2015, Lehtonen ym. 2013, Rundgren 2013, Ruuth ym. 2016a, Ruuth ym. 2016b, Toivanen ym. 2016, Lappalainen & Leppänen 2019, Ruuth ym. 2021, Ruuth & keskitalo 2021).

Alue	n	Vuosi	Sormipaisukarpeen vaurioaste, ka	IAP
Seinäjoen seutu	96	2022	3,0	1,6
Uusimaa	501	2020	2,5	1,5
Pohjois-Karjala	315	2020	1,9	2,9
Kokkola ja Pietarsaari	240	2018	2,6	1,6
Uusimaa	734	2014	3,1	1,7
Pori-Harjavalta	107	2014	2,4	1,9
Kanta- ja Päijät-Häme	304	2014	2,5	2,4
Vaasan seutu	53	2013	2,3	2,3
Kuopio	50	2013	2,5	1,7
Kokkola ja Pietarsaari	238	2012	2,3	2,1
Etelä-Karjala	263	2012	2,1	2,6

5.3.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten alkuainepitoisuuksien erot olivat pieniä ja pitoisuudet olivat lähes samaa suuruusluokkaa kaikissa tarkastelluissa bioindikaattoritutkimuksissa. Etelä-Pohjanmaalla neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet olivat boorin, kadmiumin, kuparin, raudan, nikkelin, rikin ja sinkin osalta hieman muun Suomen tasoa alhaisempia. Neulasten magnesiumipitoisuus oli puolestaan muun Suomen tasoa korkeampi. Kuparin, raudan, kaliumin, kalsiumin, mangaanin ja typen pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin muualla Suomessa (taulukko 5-9).

Taulukko 5-9. Neulasten alkuainepitoisuudet Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2022 sekä viimeisimmissä neulasten alkuainepitoisuusmäärittelyksen sisältäneissä ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa Suomessa (Lappalainen & Leppänen 2019, Ruuth ym. 2016a, Ruuth ym. 2016b, Toivanen ym. 2016, Huuskonen ym. 2013). Tulokset ovat typpeä (N) lukuun ottamatta yksikössä mg/kg kuiva-ainetta. Typen tulokset ovat prosentteina (%).

	n	Vuosi	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K
Seinäjoen seutu	96	2022	14,5	3524	0,076	0,90	2,9	80	5361
Kokkola ja Pietarsaari	240	2018	12,6	4014	0,18	0,16	3,46	77,5	5681
Pori-Harjavalta	107	2014	-	4363	-	-	-	-	4504
Kanta- ja Päijät-Häme	302	2014	20	4210	-	-	-	-	4560
Vaasan seutu	53	2013	17,6	3521	-	-	2,8	78	5379
Kokkola ja Pietarsaari	238	2012	16,3	2881	0,13	0,16	3,2	94	5499
	n	Vuosi	Mg	Mn	N	Ni	P	S	Zn
Seinäjoen seutu	96	2022	940	404	1,36 %	0,79	1396	956	46
Kokkola ja Pietarsaari	240	2018	784	437	1,49 %	0,50	1444	985	57,4
Pori-Harjavalta	107	2014	760	700	1,40 %	-	-	1098	-
Kanta- ja Päijät-Häme	302	2014	830	-	0,94 %	-	-	1060	-
Vaasan seutu	53	2013	899	508	1,47 %	-	1490	1067	-
Kokkola ja Pietarsaari	238	2012	783	388	1,40 %	0,94	1355	947	49

5.3.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet Etelä-Pohjanmaan alueella vuonna 2022 olivat valtakunnallista tasoa korkeampia alumiinin, arseenin, boorin, kaliumin, kalsiumin, kromin, magnesiumin, mangaanin, raudan ja vanadiinin osalta korkeampia kuin muualla Suomessa tehdyissä bioindikaattoritutkimuksissa. Myös nikkeli- ja kuparipitoisuudet olivat korkeampia kuin muualla Suomessa Pori-Harjavallan alueella tehtyä tutkimusta lukuun ottamatta. Kromin ja raudan osalta ero muihin tutkimuksiin verrattuna oli huomattava (taulukko 5-9).

Elohopean, fosforin, kadmiumin, lyijyn, rikin, natriumin ja sinkin pitoisuudet olivat pääasiassa samaa luokkaa kuin muualla suomessa. Koboltin pitoisuus oli alhaisempi kuin Kokkolan ja Pietarsaaren bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2012. (taulukko 5-10).

Taulukko 5-10. Sammalten alkuainepitoisuuksia Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2022 sekä muualla Suomessa toteutetuissa bioindikaattoritutkimuksissa (Ramboll 2012, Huuskonen ym. 2013, Metsäntutkimuslaitos 2010, Ruuth ym. 2016a, Ruuth ym. 2016b, Ruuth ym. 2020). Tulokset ovat yksikössä mg/kg kuiva-ainetta.

	n	Vuosi	Al	As	B	Hg	P	Cd	K
Seinäjoen seutu	46	2022	618	0,88	2,1	0,041	1590	0,106	6314
Pohjois-Karjala	101	2020	-	0,07	-	-	1 600	0,11	-
Pori-Harjavalta	150	2014	-	0,495	-	0,045	-	0,335	-
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	-	-	-	0,04	-	0,17	-
Kokkola ja Pietarsaari	226	2012	268	0,23	1,24	0,05	1336	0,24	6236
Metla (koko Suomi)		2010	-	0,11	-	0,042	-	0,12	-

	n	Vuosi	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg	Mn
Seinäjoen seutu	46	2022	3002	1,31	9,6	7,2	1,45	1560	324
Pohjois-Karjala	101	2020	-	-	0,56	5,3	0,57	1 300	-
Pori-Harjavalta	150	2014	-	-	0,9	28	2,175	-	-
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	-	-	1,12	5,8	0,69	-	-
Kokkola ja Pietarsaari	226	2012	2577	2,88	1,09	6	2,6	1084	302
Metla (koko Suomi)		2010	-	-	0,97	5,03	2,05	-	-

	n	Vuosi	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
Seinäjoen seutu	46	2022	73	5,4	1176	872	47	2,18
Pohjois-Karjala	101	2020	-	1,2	190	750	34	0,56
Pori-Harjavalta	150	2014	-	8,55	286	-	40,5	0,85
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	-	1,4	-	-	41	1,4
Kokkola ja Pietarsaari	226	2012	82	2,1	435	979	74	1,1
Metla (koko Suomi)		2010	-	2,51	243	-	31,01	1,09

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilman epäpuhtauksien vaikutuksia männyn runkojäkäliin sekä männyn neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksiin tutkittiin Etelä-Pohjanmaan alueella vuonna 2022. Tutkituissa bioindikaattorimuuttujissa oli nähtävissä sekä myönteisiä että kielteisiä kehityssuuntia. Etelä-Pohjanmaan alueella yksi suurimmista yksittäisistä päästölähteistä on liikenne. Suurimpia liikenteestä aiheutuvia päästöjä ovat typen oksidit, hiilivedyt, hiilimonoksidi sekä hiukkaset. Liikenteen lisäksi kuormitusta syntyy myös Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijaitsevien teollisuuslaitosten päästöistä. Vuonna 2018 ilmoitusvelvollisten teollisuuslaitosten päästötasot olivat rikkidioksidin, typen oksidien ja hiilidioksidin osalta vuosien 2012–2017 päästötasoa korkeammat. Vuodesta 2018 eteenpäin päästömäärien kehitys on ollut pääasiassa laskevaa ja ilmanlaatu on pysynyt pääsääntöisesti hyvällä tasolla. Merkittävänä maatalousmaakuntana myös Etelä-Pohjanmaan maataloustoiminnoilla on paikallisia ilmanlaatuvaikutuksia.

Runkojäkälän osalta Etelä-Pohjanmaan indikaattoriarvot olivat heikentyneet edelliseen tutkimusajankohtaan verrattuna. Muun muassa ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien esiintymistiheydet olivat pääasiassa laskeneet ja ilman epäpuhtauksista hyötyvän levän määrä oli lisääntynyt. Lajimäärien muutokset näkyivät ilmanpuhtausindeksin arvon heikkenemisenä. Ilman epäpuhtauksille herkimmat indikaattorilajit olivat hävinneet useilta havaintoaloilta kokonaan, mikä näkyi jäkälän yleisen vaurioasteen luokituksen huomattavana heikkenemisenä. Myös sormipaisukarve oli keskimäärin edellistä tutkimusta vaurioituneempaa ja kasvustot olivat hävinneet kokonaan useilta tutkimusrungoilta. Sormipaisukarve luokiteltiin kokonaan puuttuvaksi kahdella havaintoalalla. Tutkimusalueen lajirikkaimmat alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, Töysässä sekä Suupohjan alueella. Vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoituivat pääasiassa Alavudelle, Seinäjoelle ja Ähtäriin.

Edellä kuvatut jäkälissä tapahtuneet muutokset voivat indikoida ilmanlaadun heikentymistä standardin SFS 5670 mukaan, vaikka epäpuhtauksien päästöt ovatkin pääasiassa pienentyneet. Jäkälät reagoivat kuormitustasoissa ja ympäristössä tapahtuviin muutoksiin suhteellisen hitaasti, minkä takia vuoden 2018 kohonneet pitoisuudet voivat ainakin osittain selittää jäkälätunnusten arvojen heikkenemistä vuosien 2017 ja 2022 tutkimusten välillä. Lisäksi erilaiset luontaiset tekijät, kuten sateisuus, kovat helteet tai kuivuus, voivat vaikuttaa tuloksiin puskuroida tai voimistamalla ilman epäpuhtauksien vaikutuksia. Luontaisten tekijöiden vaikutusten seurauksena bioindikaattorilajien vasteet eivät aina yksiselitteisesti seuraa päästömäärissä tapahtuvia muutoksia. Päästömäärien kehityksestä ainakin osittain riippumaton jäkälätunnusten heikentymistä on tapahtunut Etelä-Pohjanmaan lisäksi myös muualla Suomessa, joten jäkälän kunnon ja monimuotoisuuden heikkenemisen taustalla voi olla myös laajempialaisia tekijöitä, kuten ilmastomuutos ja muun muassa tästä johtuva metsien yleinen rehevöitymiskehitys. Ilmastomuutos lisää myös talvilämpötilan vaihtelua nollan molemmiin puoliin, mikä voi hankaloittaa jäkälän talvehtimistä ja heikentää niiden elinmahdollisuuksia. Jäkälän yleisimmän leväosaryhmän (*Trebouxia* spp.) on myös havaittu sopeutuvan ilmastomuutoksen aiheuttamiin muutoksiin vaadittua hitaammin (Nelsen ym. 2022).

Vuoden 2022 jäkälätulosten vertailukelpoisuutta aikaisempien vuosien tuloksiin heikensi se, että havaintopuiden maalimerkit olivat kadonneet usealta alalta. Tämän takia kartoituksessa mukana olleet puut eivät välttämättä olleet samoja, kuin aikaisempina vuosina kartoitetut puut. Vaikka kartoitus tehtiin koordinaattien mukaan samasta kohdasta, tutkimuspuiden mahdollisella vaihtumisella voi olla merkittävää vaikutusta kartoituksen tuloksiin. Lisäksi useilla havaintoaloilla oli suoritettu metsänhoidollisia toimenpiteitä, jotka muuttavat metsiköiden mikroilmastollisia ominaisuuksia. Myös varjostavan aluskasvillisuuden voimistuminen oli havaittavissa usealla havaintoalalla. Tausta-alueiden vähäinen määrä ja havaintoverkon painottuminen kuormiteummille alueille voivat osin selittää sormipaisukarpeen vaurioasteen poikkeamista Suomen keskimääräisestä tasosta.

Neulasten rikkipitoisuus on säilynyt tutkimusalueella keskimäärin melko vakaalla tasolla vuodesta 1995 lähtien. Vuonna 2022 keskimääräinen rikkipitoisuus oli hieman korkeampi kuin vuonna 2017, mutta edelleen matalampi kuin vuonna 2006. Keskimääräistä rikkipitoisuutta voidaan pitää kuitenkin edelleen eteläiselle Suomelle tyypillisenä. Tutkimuksessa Seinäjoen alue korostui hieman korkeamman rikkipitoisuuden vyöhykkeenä ja Kurikan alue puolestaan matalan rikkipitoisuuden vyöhykkeenä. Pääasiassa pitoisuudet kuitenkin vaihtelivat melko tasaisesti koko Etelä-Pohjanmaan alueella. Rikin lisäksi neulasten typpi-, kromi-, kupari-, nikkeli-, rauta- ja sinkkipitoisuudet olivat nousseet vuoteen 2017 verrattuna. Magnesium-, kalsium- ja kaliumpitoisuuksien kehitys oli puolestaan kääntynyt laskuun. Kadmiumpitoisuuden kehityssuunta on ollut koko tarkastelujakson aikana laskeva. Neulasten raskasmetallipitoisuudet korreloivat keskenään, mikä viittaa sii-

hen, että neulasiin päätyvillä raskasmetalleilla on yhteinen päästölähde, kuten teollisuus, liikenne, kaukokulkeuma tai näiden yhteisvaikutus. Myös rikin ja typen voimakas korrelaatio voi kertoa siitä, että yhdisteet päätyvät ilmaan samoista epäpuhtauksia tuottavista prosesseista.

Yhteiseen päästölähteeseen viittaava eri alkuainepitoisuuksien välinen korrelaatio oli vielä selkeämmin havaittavissa sammalista mitatuissa pitoisuuksissa, sillä lähes kaikki mitatut alkuaineet korreloivat voimakkaasti keskenään. Paikallisten päästölähteiden vaikutus oli selkeästi havaittavissa useiden tutkittujen alkuaineiden osalta, sillä suurimmat pitoisuudet mitattiin pääasiassa Seinäjoen Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydestä, kuten myös vuonna 2017. Kapernaumin alueen lisäksi Atrian ruokatehtaan ja Ilmajoen jäteaseman ympäristöt koroistuivat tiettyjen alkuaineiden osalta. Vuoden 2017 tutkimukseen verrattuna sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet olivat nousseet nikkeliä, natriumia ja kromia lukuun ottamatta. Sammalten keskimääräinen lyijypitoisuus on pidemmällä aikavälillä ollut laskussa, mutta tässä tutkimuksessa pitoisuuden havaittiin nousseen.

Ristiriitaisuutta Etelä-Pohjanmaan päästömäärien kehityksen sekä neulas- ja sammalnäytteistä mitattujen alkuainepitoisuuksien välillä voi aiheuttaa muun muassa kaukolaskeuma. On huomattava, että neulasten ja sammalten kohonneita alkuainepitoisuuksia voi osin selittää myös tutkimusvuosien väliset erot, sillä muun muassa vallitsevat sääolosuhteet voivat vaikuttaa pitoisuuksiin.

Lähes kaikki sammalalat ja suurin osa mäntyaloista sijaitsevat Seinäjoen ja Ilmajoen taajama-alueilla, minkä takia muuttujien tulokset kuvaavat pääasiassa kuormitettujen alueiden tilaa. Tutkimusverkkoa olisi tärkeää laajentaa kattamaan myös vähemmän kuormitettuja tausta-alueita, jotta tulokset kuvaisivat Etelä-Pohjanmaan todellista tilannetta paremmin. Seuraavassa bioindikaattoritutkimuksessa muun muassa tutkimusvuosien välisten säätilaerojen sekä säässä tapahtuvien muutostrendien huomioiminen helpottaisi luontaisten tekijöiden vaikutusten voimakkuuden arviointia. Myös kaarnan pH-mittaukset voisivat tarjota selittävää tietoa eri jäkälälajien taantumisesta, sillä kaarnan pH-arvo vaikuttaa eri lajeihin eri tavoin, riippuen suositavko lajit happamampaa vai emäksisempää kasvu ympäristöä. Havaintoalojen soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä olisi myös hyvä eritellä tarkemmin ja luokitella vaikutusten voimakkuuden mukaan. Tämä voisi sisältää muun muassa aluskasvillisuuden varjostavan vaikutuksen voimakkuuden arviointia erillisellä asteikolla.

VIITTEET

- Bjerke, J. W. 2011. Winter climate change: Ice encapsulation at mild subfreezing temperatures kills freeze-tolerant lichens. *Environmental and Experimental Botany* 72: 404–408
- Dinno, A. 2017. *_dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums_*. R package version 1.3.5, <https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>.
- Helmisaari, H-S. 1993. Metsikön ja puun ravinnekierto. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.) *Metsäluonto ja ilmansaasteet*. Metsäntutkimuslaitoksen tie-donantoja 446, Helsinki.
- Huttunen, S. 1982. Some experience on standardised monitoring of urban pollution in forest ecosystems. Teoksessa: Steubing, L. and Jäger, H.-J. (eds.): *Monitoring of air pollutants by plants*. Junk Publisher, The Hague. pp 155-161.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. ja Laita, M. 2013. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 177. Jyväskylän yliopisto.
- Ilmatieteenlaitos, 2022. Havaintojen lataus. Ilmatieteenlaitoksen avoimen datan verkkopalvelu. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>
- Jussila, I., Joensuu, E. ja Laiho, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki. ISBN 1238-8602.
- Keskitalo, T., Laita, M., Järvisalo, K., Ruuth, J. ja Toivanen, H. 2015. Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2014. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 109/2015.
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). 2018a. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s.
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). 2018b. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 2: Luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 925 s.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. ja Lehtonen, E. 2008. Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006–2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 165.
- Lappalainen, N., Leppänen E-M. 2019. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2018. Eurofins Ahma Oy.
- Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. & Laita, M. 2011. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.
- Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T. ja Laita, M. 2013. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 176. Jyväskylän yliopisto.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raikonen, H., Ranta, P. ja R. Willamo 2002. Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos.
- Markert, B.M., Fraenzle, S. ja Fomin, A. 2004. From the biological system of the elements to biomonitoring. Teoksessa Merian, E., Anke, M., Inhat, M. ja Stoepler, M. (toim.): *Elements and their compounds in the environments*. Wiley-Vch.
- Metsäkeskus, 2020. Etelä- ja Keski-Pohjanmaan metsäohjelma 2021-2025. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/fi> (Lainattu 9.8.2022).
- Metsäntutkimuslaitos, 2012. Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa, kartoitus sammalten pitoisuuksien perusteella 1985–2010. Met-info, Metsien terveys. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/tulokset.htm> (Lainattu 10.8.2022).
- Nelsen, M., Leavitt, S., Heller, K., Muggia, L. & Lumbsch, H. 2022. Contrasting Patterns of Climatic Niche Divergence in *Trebouxia*—A Clade of Lichen-Forming Algae. *Front. Microbiol.* 13:791546

- Nieminen, T., Raitio, H. ja Salemaa, M. 1993. Neulasten kemiallinen koostumus elinvoimatunnuksena. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.). Metsäluonto ja ilman saasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki. Gummerus, Jyväskylä.
- Polojärvi, K., Niskanen, I., Haahla, A. ja Ellonen, T. (2005). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuosina 2004 ja 2005. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki. Alueelliset ympäristöjulkaisut 385.
- R Core Team 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raitio, H. & Merilä, P. 1998. Seasonal variation in the size and chemical composition of Scots pine and Norway spruce needles in different weather conditions. European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems. Level II, Finland. Technical Report, Finnish Forest Research Institute. 44 s.
- Ramboll, 2012. Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus 2012. Tutkimusraportti.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. ja Nousiainen, H. (1998). Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. ISBN 951-40-1629-7.
- Rintamäki, 2022. Ilmanlaatu Seinäjoen seudulla 2021. Seinäjoen kaupunki.
- Rundgren, E. 2013. Kuopion kaupungin ilman laatua mittaava jäkäläbioindikaattoritutkimus vuonna 2013.
- Ruuth, J., Keskitalo, T., Talvitie, T., Korhonen, K. 2021. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2020. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 15 /2021.
- Ruuth, J., Keskitalo, T. 2021. Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta 2020. Uudenmaan ELY-keskus. Raportteja 13/2021
- Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I., Leppänen, E. ja Kiljunen, A. 2016a. Kanta- ja Päijät-Hämeen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 6/2016.
- Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I. ja Kiljunen, A. 2016b. Porin-Harjavallan alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2014-2015. Nab Labs Oy. Tutkimusraportti 31/2016.
- SFS 5669, 1990. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- SFS 5670, 1990. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- SFS 5671, 1990. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- SFS 16413, 2014. Ambient air - Biomonitoring with lichens - Assessing epiphytic lichen diversity. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- Toivanen, H., Ruuth, J., Kuhmonen, I. ja Kiljunen, A. 2016. Vaasan seudun bioindikaattoritutkimus vuonna 2013. Nab Labs Oy. Tutkimusraportti 36/2016.

Liite 1. Neulas- ja sammalnäytteiden menetelmätiedot ja mittausepävarmuudet

Neulaset

Menetelmätiedot

Testikoodi	Parametrin nimi	Menetelmän mittausepävarmuus	Menetelmän määrittäysraja	Akkreditoitu	Menetelmä	Laboratorio
Alkuaineanalyysit						
YB0EV	Kalsium (Ca)	<500:±50mg/kgka >500:±10%	100	Kyllä	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0EZ	Kalium (K)	<500:±60mg/kgka >500:±12%	100	Kyllä	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0EY	Magnesium (Mg)	<100:±10mg/kgka >100:±10%	20	Kyllä	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0F1	Natrium (Na)	<180:±20mg/kgka >180:±11%	40	Kyllä	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0EU	Fosfori (P)	<100:±10mg/kgka >100:±10%	20	Kyllä	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0F2	Rikki (S)	<250:±25mg/kgka >250:±11%	50	Kyllä	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0C0	Alumiini (Al)	<50:±10mg/kgka >50:±20%	10	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BK	Arseeni (As)	<0.19:±0.03mg/kgka >0.19:±16%	0,03	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C2	Boori (B)	<2.5:±0.3mg/kgka >2.5:±12%	0,5	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BT	Kadmium (Cd)	<0.14:±0.02mg/kgka >0.14:±14%	0,02	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BU	Koboltti (Co)	<0.2:±0.03mg/kgka >0.2:±15%	0,03	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BM	Kromi (Cr)	<1.6:±0.3mg/kgka >1.6:±18%	0,4	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C3	Kupari (Cu)	<1.7:±0.2mg/kgka >1.7:±12%	0,4	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C5	Rauta (Fe)	<25:±3.5mg/kgka >25:±14%	5	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BS	Elohopea (Hg)	<0.13:±0.02mg/kgka >0.13:±15%	0,03	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C4	Mangaani (Mn)	<10:±1mg/kgka >10:±10%	1	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BP	Nikkeli (Ni)	<1.1:±0.2mg/kgka >1.1:±18%	0,2	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BN	Lyijy (Pb)	<0.25:±0.03mg/kgka >0.25:±12%	0,05	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BQ	Vanadiini (V)	<0.5:±0.08mg/kgka >0.5:±16%	0,1	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C6	Sinkki (Zn)	<14:±2mg/kgka >14:±14%	3	Kyllä	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YBE25	Mikroaaltohajotus			Kyllä	EPA 3051A	YB

Laboratorio

YB Eurofins Ahma - Oulu

SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 FINAS T131

Sammaleet

Menetelmätiedot

Testikoodi	Parametrin nimi	Menetelmän mittausepävarmuus	Menetelmän määrittäysraja	Akkreditoitu	Menetelmä	Laboratorio
Kenttämittaukset						
RZ901	Ilman lämpötila °C			Ei	Kenttämittaus, Lämpötilan mittaus	YS
RZ905	Tuulen nopeus			Ei	Kenttämittaus, Tekniikka	YS
RZ906	Tuulen suunta			Ei	Kenttämittaus, Tekniikka	YS
RZ902	Pilvisyys			Ei		YS
YS991	Sateisuus			Ei		YS
Alkuaineanalyysit						
YB0EV	Kalsium (Ca)	<500:±50mg/kgka >500:±10%	100	Ei	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0EZ	Kalium (K)	<500:±60mg/kgka >500:±12%	100	Ei	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0EY	Magnesium (Mg)	<100:±10mg/kgka >100:±10%	20	Ei	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0EU	Fosfori (P)	<100:±10mg/kgka >100:±10%	20	Ei	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0F2	Rikki (S)	<250:±25mg/kgka >250:±11%	50	Ei	SFS-EN ISO 11885:2009; EPA 3051A	YB
YB0C2	Boori (B)	<2.5:±0.3mg/kgka >2.5:±12%	0,5	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BT	Kadmium (Cd)	<0.14:±0.02mg/kgka >0.14:±14%	0,02	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BM	Kromi (Cr)	<1.6:±0.3mg/kgka >1.6:±18%	0,4	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C3	Kupari (Cu)	<1.7:±0.2mg/kgka >1.7:±12%	0,4	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C5	Rauta (Fe)	<25:±3.5mg/kgka >25:±14%	5	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C4	Mangaani (Mn)	<10:±1mg/kgka >10:±10%	1	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0BP	Nikkeli (Ni)	<1.1:±0.2mg/kgka >1.1:±18%	0,2	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YB0C6	Sinkki (Zn)	<14:±2mg/kgka >14:±14%	3	Ei	SFS-EN ISO 17294-2:2016; EPA 3051A	YB
YBE25	Mikroaaltohajotus			Ei	EPA 3051A	YB
GQKCN	Hiili (C), kuiva näyte		0,05	Ei	Sis. men., Palaminen	GQ
GQKCN	Typpi (N), kuiva näyte		0,02	Ei	Sis. men., Palaminen	GQ

Laboratorio

GQ	Eurofins Environment Testing Finland (Jyväskylä)
YB	Eurofins Ahma - Oulu
YS	Eurofins Ahma (Rovaniemi)