

SEINÄJOEN SEUDUN JA ETELÄ-POHJANMAAN BIOINDIKAATTORITUTKIMUS 2017



Seinäjoki, Ilmajoki, Kurikka, Kauhava, Alavus, Ähtäri, Alajärvi, Kuortane, Lapua, Evijärvi, Lappajärvi, Soini, Vimpeli, Suupohjan seutukunta

SEINÄJOEN SEUDUN JA ETELÄ-POHJANMAAN BIOINDIKAATTORITUTKIMUS 2017

22.12.2017

Niina Lappalainen, biologi FT

Tuomas Lahti, biologi FM

Helena Puro, limnologi FM

Tuomas Väyrynen, ympäristöasiantuntija, luontokartoittaja (EAT)

Sisällysluettelo:

TIIVISTELMÄ	1
1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSALUE.....	4
2.1 YLEISTÄ.....	4
2.2 ILMANLAATU	5
2.2.1 Ilmaan kohdistuvat päästöt.....	5
2.2.2 Paikalliset ilmanlaatumittaukset	6
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	7
3.1 HAVAINTOALAT	7
3.2 JÄKÄLÄKARTOITUS.....	9
3.3 NEULASTEN ALKUAINEPITOISUUDET	14
3.4 SAMMALNÄYTTEIDEN ALKUAINEPITOISUUDET	15
3.5 SAMMALPALLOJEN ALKUAINEPITOISUUDET	16
3.6 AINEISTON KÄSITTELY JA TULOSTEN ESITTÄMINEN	17
4. TULOKSET.....	17
4.1 HAVAINTOALOJEN TIEDOT	17
4.2 MÄNNYN RUNKOJÄKÄLÄT	18
4.2.1 Sormipaisukarpeen ja jäkälälajiston yleiset vaurioasteet.....	18
4.2.2 Sormipaisukarpeen peittävyys ja levän yleisyys	21
4.2.3 Lajimäärät	23
4.2.4 IAP-indeksi	25
4.3 NEULASTEN ALKUAINEPITOISUUDET	27
4.4 SAMMALTEN ALKUAINEPITOISUUDET	37
4.5 SAMMALPALLOJEN ALKUAINEPITOISUUDET	44
5. TULOSTEN TARKASTELU	46
5.1 TAUSTAMUUTTUJEN VAIKUTUS JA MUUTTUJEN VÄLINEN RIIPPUVUUS.....	46
5.2 VERTAILU ALUEELLA AIEMMIN TOTEUTETTUIHIN TUTKIMUKSIIN	48
5.2.1 Männyn runkojäkälät	49
5.2.2 Neulasten alkuainepitoisuudet	53
5.2.3 Sammalten alkuainepitoisuudet	57
5.2.4 Sammalpallojen alkuainepitoisuudet	58
5.3 VERTAILU MUUALLA SUOMESSA TEHTYIHIN TUTKIMUKSIIN	60
5.3.1 Männyn runkojäkälät	60



5.3.2	<i>Neulasten alkuainepitoisuudet</i>	<i>60</i>
5.3.3	<i>Sammalten alkuainepitoisuudet</i>	<i>61</i>
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
	VIITTEET	64

Copyright © Ahma ympäristö Oy

Sammonkatu 8
90570 Oulu
p. 040-1333 800

TIIVISTELMÄ

Seinäjoen seudulla ja koko Etelä-Pohjanmaalla on tutkittu ilmanlaatua ja ilman epäpuhtauksien vaikutuksia kasvillisuuteen 1990-luvun vaihteesta lähtien. Vuonna 2017 tutkimus toteutettiin Seinäjoen, Ilmajoen, Kurikan, Kauhavan, Alavuden, Ähtärin, Alajärven, Kuortaneen, Lapuan, Evijärven, Lappajärven, Soinin, Vimpelin sekä Suupohjan seutukunnan kuntien Isojoen, Karijoen, Kauhajoen ja Teuvan alueilla yhteensä 97 mäntyhavaintoalalla, 41 sammalhavaintoalalla ja neljällä sammalpallohavaintoalalla. Näyteverkosto oli tiheimmillään kuormitetuimmilla Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla. Bioindikaattoreina selvityksessä käytettiin männyn runkojäkäliä sekä männyn neulasten, metsäsammalnäytteiden ja sammalpallojen alkuainepitoisuuksia.

Seinäjoella yksi suurimmista yksittäisistä päästölähteistä on liikenne. Suurimpia liikenteestä aiheutuvia päästöjä ovat typen oksidit, hiilivedyt, hiilimonoksidi ja hiukkaset. Liikenteen lisäksi ilman epäpuhtauksien kuormitusta syntyy myös Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijaitsevien teollisuuslaitosten päästöistä. Teollisuuslaitosten ilmaan kohdistuvissa päästöissä kehitys on ollut lähinnä aaltomaista. Pääsääntöisesti ilmanlaatu on pysynyt 2010-luvulla hyvällä tasolla.

Jäkälälajiston perusteella ilman epäpuhtauksien kasvillisuusvaikutukset Etelä-Pohjanmaalla olivat lieviä. Männyn runkojäkalien lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi (IAP) perusteella jäkälälajisto oli tutkimusalueella keskimäärin lievästi köyhtynyttä. Tutkitut muuttujat olivat jossain määrin parantuneet edelliseen tutkimusajankohtaan verrattuna. Mäntymetsien yleisimpien jäkälälajien runsaudet olivat säilyneet entisellään, minkä lisäksi useat myös ilman epäpuhtauksille herkemmat indikaattorilajit olivat runsastuneet. Toisaalta ilman epäpuhtauksista hyötyvien levän ja seinänsuomujäkälän määrä oli myös lisääntynyt verrattuna edelliseen tutkimusajankohtaan. Erityisesti Seinäjoen taajama-alueella sekä Ilmajoella oli havaittavissa jäkälälajiston indikaattoriarvojen paranemista edelliseen tutkimusajankohtaan verrattuna. Toisaalta kuormitettujen alueiden havaintoalojen välillä oli myös huomattavia eroja ja vaihtelevuutta paikallisella tasolla. Tutkimusalueen lajirikkaimmat alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, Alavudella, Kuortaneella, Ähtärissä ja Kurikassa. Vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoituivat tutkimusalueen keski- ja eteläosiin Seinäjoelle, Ilmajoelle, Isojoelle, Kauhajoelle, Alavudelle ja Teuvaan. Aikaisempina tutkimusajankohtina tutkimusalueen lajirikkaimmat ja vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoituivat tutkimusalueen eli Etelä-Pohjanmaan eteläosiin. Yleinen vaurioaste korreloi neulasten tyyppipitoisuuksien kanssa; jäkälät olivat vaurioituneempia aloilla, joiden neulasissa esiintyi enemmän tyyppiä.

Männynneulasten alkuainepitoisuudet (erityisesti rikin ja typen pitoisuudet) kuvaavat osin ilman kautta tulevaa kuormitusta. Neulasten alkuainepitoisuudet eivät kuitenkaan kerro pelkästä ilmanlaadusta, vaan myös muut tekijät voivat vaikuttaa pitoisuuksiin. Vuoden 2017 neulasten keskimääräistä rikkipitoisuutta 943 mg/kg voidaan pitää Etelä-Suomen männyille tyypillisenä pitoisuutena. Neulasten keskimääräinen rikkipitoisuus oli vuonna 2017 hieman korkeampi kuin edellisellä vuoden 2012 tutkimuskerralla, mutta edelleen rikkipitoisuudet olivat matalammat kuin vuonna 2007, jolloin neulasten keskimääräinen rikkipitoisuus oli vuonna 1990 aloitetun seurannan aikana korkeimmalla tasollaan. Rikkipitoisuudet ovat kuitenkin säilyneet Etelä-Pohjanmaan tutkimusalueella melko vakaalla tasolla vuodesta 1995 lähtien. Neulasten rikkipitoisuudet vuonna 2017 olivat Seinäjoen seudulla ja Etelä-Pohjanmaan alueella pitkälti samalla tasolla tai alhaisempia kuin muualla Länsi-Suomessa 2010-luvulla. Neulasten magnesiumin pitoisuudet olivat jatkaneet kasvuaan edellisiin tutkimusvuosiin nähden, kun taas kuparin ja raudan osalta pitoisuudet olivat laskeneet vuoteen 2012 verrattuna.

Sammalten alkuainepitoisuuksissa mitattiin edellisen tutkimusajankohdan tapaan korkeimmat pitoisuudet Seinäjoen Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä, kun taas Nurmon taajama-alueen koillispuoli, missä havaittiin korkeita pitoisuuksia vuonna 2012, ei korostunut tässä tutkimuksessa. Usean sammalista määritetyn raskasmetallin pitoisuudet olivat laskeneet edellisiin tutkimuksiin verrattuna.



Myös Seinäjoen ja Ilmajoen alueelle sijoitettujen sammalpallojen alkuainepitoisuuksissa suurimmat pitoisuudet mitattiin pääosin Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydessä sijainneen näytealan näytteestä.

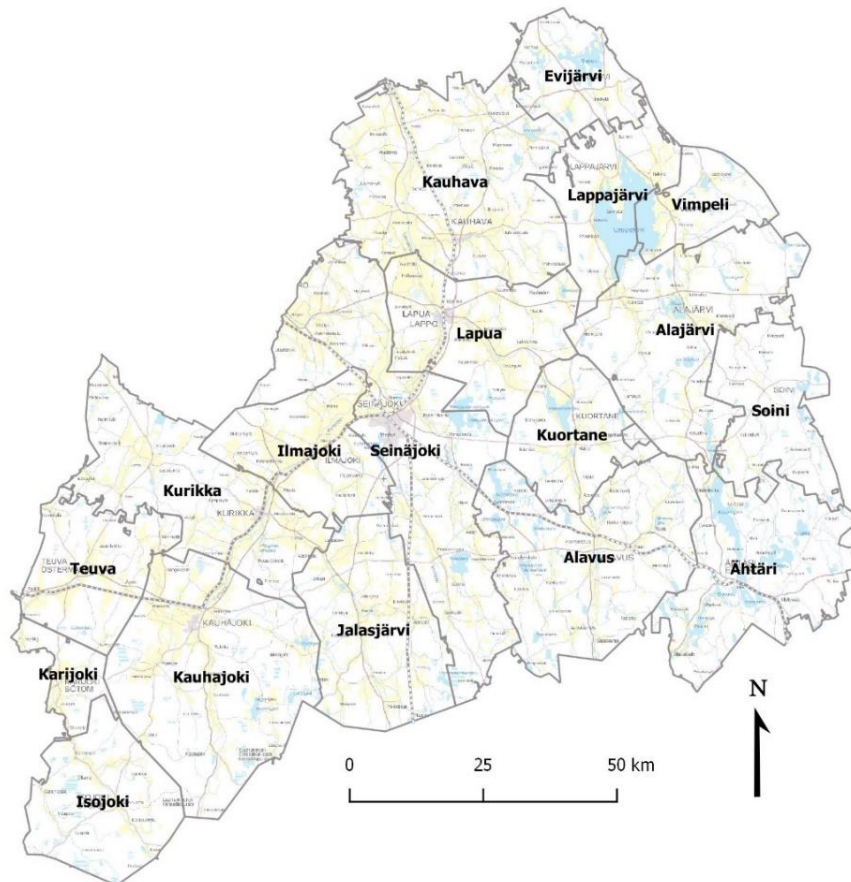
Kaikkiaan ilman epäpuhtauksien vaikutukset bioindikaattoreihin Seinäjoen seudulla olivat lieviä, mutta paikallisten päästölähteiden vaikutukset näkyivät selvästi erityisesti sammalten raskasmetallipitoisuuksissa. Neulasten rikkipitoisuudet olivat kohoamisesta huolimatta normaalilla tasolla. Etelä-Pohjanmaalla todennäköisesti sekä rikki- että typpipäästöillä oli jossain määrin vaikutusta jäkälämuuttujiin. Jäkälät olivat kuitenkin myös kuormitetuimmalla Seinäjoki-Ilmajoki-alueella pääasiassa hyväkuntoisia.

1. JOHDANTO

Bioindikaattori on eliö, osa eliötä tai eliöyhteisöä, joka sisältää tietoa ympäristön ja ekosysteemin laadusta, niihin kohdistuvasta stressistä ja toimivuudesta (Lodenius ym. 2002, Markert ym. 2004). Bioindikaattorin rakenteen, toiminnan, kemiallisen koostumuksen tai alkuainepitoisuuden muutoksen perusteella voidaan osoittaa esimerkiksi epäpuhtauksien esiintymistä, levinneisyyttä ja vaikutuksia ympäristössä (SFS 5670).

Ilman epäpuhtauksista aiheutuvia kasvillisuusvaikutuksia on seurattu bioindikaattorimenetelmien avulla Seinäjoen seudun ja koko Etelä-Pohjanmaan metsissä 1990-luvun vaihteesta lähtien. Bioindikaattoritutkimuksissa on selvitetty männyn runkojäkäliä, männyn neulaskatoa, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia sekä metsäsammalnäytteiden ja sammalpallojen alkuainepitoisuuksia. Tässä selvityksessä selvitettiin ilman epäpuhtauksien vaikutuksia männyn runkojäkäliin sekä männyn neulasten, metsäsammalnäytteiden ja sammalpallojen alkuainepitoisuuksiin.

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. Vuonna 2012 selvitykseen osallistui yhteensä 17 kuntaa. Vuonna 2017 selvitykseen osallistui yhteensä 17 kuntaa ja bioindikaattoriseuranta toteutettiin yhteensä 142 havaintoalalla. Näistä 97 havaintoalalla toteutettiin mäntyjen jäkäläkartoitus sekä selvitettiin männyn neulasten alkuainepitoisuuksia. Seinäjoen ja Ilmajoen alueella sijaitsevilla 41 havaintoalalla selvitettiin seinäsammalen alkuainepitoisuuksia. Lisäksi Seinäjoen ja Ilmajoen alueella sijaitsi neljä sammalpalloalaa.



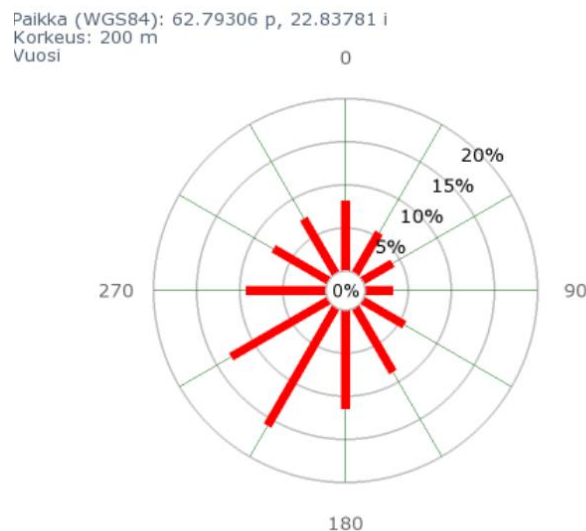
Kuva 1-1. Tutkimuskunnat (Jalasjärvi on nykyään kuntaliitoksen myötä osa Kurikkaa).

Tutkimuksen tilaajana on Seinäjoen kaupunki/Seinäjoen seudun ilmanlaadun tarkkailutyöryhmä 2013–2017, jossa mukana ovat Seinäjoki, Ilmajoki ja kuntien suurimmat ilmaan pistemäisiä päästöjä tuottavat laitokset. Lisäksi Seinäjoen kaupungin tilaamaan tutkimukseen osallistuivat Etelä-Pohjanmaan muut kunnat: Alajärvi, Alavus, Evijärvi, Kauhava, Kuortane, Kurikka, Lappajärvi, Lapua, Soini, Vimpeli, Ähtäri ja Suupohjan kunnat (Isojoki, Karijoki, Kauhajoki, Teuva). Alajärveltä mukana ovat Alajärven Lämpö ja Mäkelän Alu sekä Vimpelistä Vimpelin lämpö. Tutkimuksen toteutti Ahma ympäristö Oy tilaajien toimeksiannosta. Tutkimuksen maastotöihin osallistuivat FT biologi Niina Lappalainen, FM limnologi Helena Puro, sertifioitu näytteenottaja Mikko-Matti Välimaa ja näytteenottaja Armi Jaakkola. Näytteet analysoitiin Ahma ympäristö Oy:n laboratoriossa Oulussa. Laboratorioanalytiikasta vastasi FM kemisti Ilkka Välimäki. Selvityksen raportoinnista vastasivat FT biologi Niina Lappalainen, FM limnologi Helena Puro, FM biologi Tuomas Lahti ja ympäristöasiantuntija Tuomas Väyrynen. Työtä ohjasi ympäristötarkastaja Aili Sorjanen Seinäjoen kaupungista.

2. TUTKIMUSALUE

2.1 Yleistä

Etelä-Pohjanmaan alue lukeutuu eliömaantieteellisessä aluejaossa keskiborealiselle vyöhykkeelle ja siinä edelleen Pohjanmaahan. Alue on topografiaoloiltaan varsin alavaa ja loivapiirteistä. Alueen maisemakuvaa hallitsevat laajat viljavat jokilaaksot, joiden välisillä selännealueilla pinnanmuodot voivat olla vaihteleviakin. Jokivarsilla maaperä on hienojakoista ja lajittunutta, selännteillä ja maaston painanteissa esiintyy moreenimaita ja turvekankaita. Maaston lakialueilla on paikoin kalliopaljastumia. Metsät ovat mäntyvaltaisia kuivia ja kuivahkon kankaan metsiä. Kuusi yleistyy maaston painanteissa ja rinteillä. Tutkimusalueella vallitsevat etelän- ja lounaanpuoleiset tuulet (Kuva 2-1).



Kuva 2-1. Tuulensuuntien suhteelliset osuudet tutkimusalueella vuositasolla (Tuuliatlas 2017).

2.2 Ilmanlaatu

2.2.1 Ilmaan kohdistuvat päästöt

Seuraavat tiedot ovat raportista Ilmanlaatu Seinäjoen seudulla 2016 (Rintamäki 2016).

Seinäjoella yksi suurimmista yksittäisistä päästölähteistä on liikenne. Suurimpia liikenteestä aiheutuvia päästöjä ovat typen oksidit, hiilivedyt, hiilimonoksidi ja hiukkaset. Tieliikenteen arvioidut päästöt Seinäjoen seudulla 2013-2015 on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-1). Hiilidioksidipäästöt nousevat polttoaineenkulutuksen kasvaessa.

Taulukko 2-1. Tieliikenteen päästöt Seinäjoella vuosina 2013-2015 (LIISA 2015 -laskentaohjelma).

t/a	SO ₂	NO _x	Hiukkaset	CO ₂
2015	0,42	354,40	11,48	100 667
2014	0,46	362,78	12,10	103 270
2013	0,48	391,34	13,40	108 115

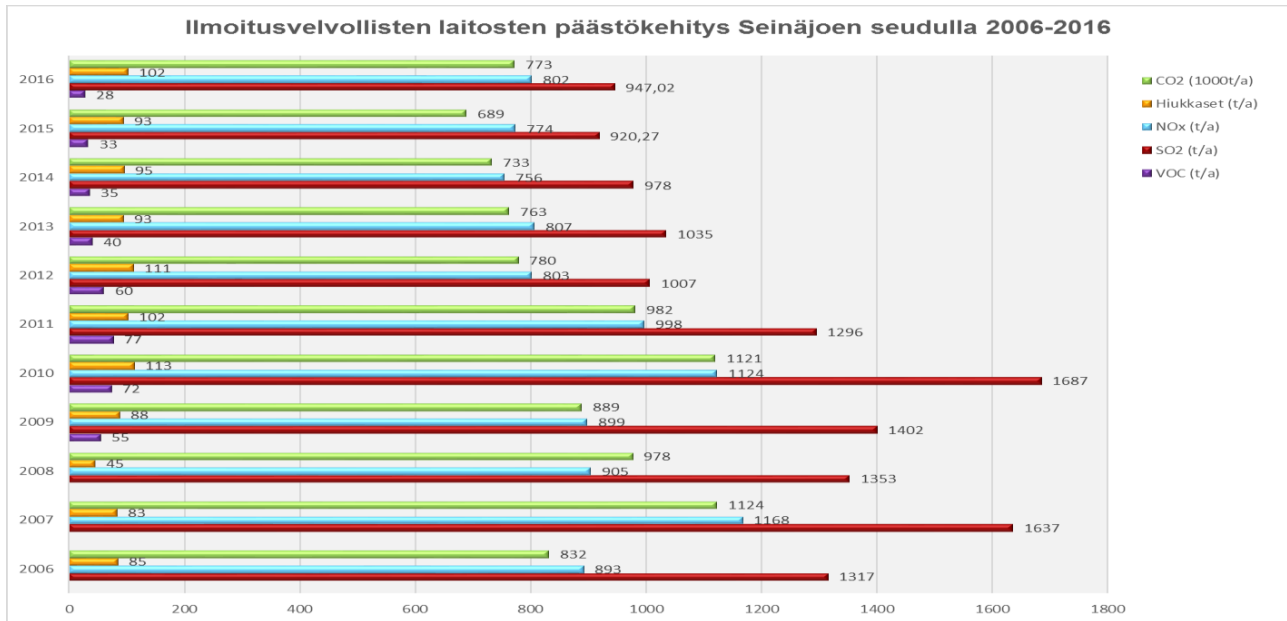
Ilmoitusvelvollisten laitosten päästöjen kehitys Seinäjoen seudulla on pitemmällä aikavälillä tarkasteltuna ollut aaltomaista. Osaltaan tilanteeseen on vaikuttanut tuotannon vaihtelut. Päästömäärät ovat suoraan verrannollisia tuotettuun energiamäärään. Seinäjoelle vuonna 2010 tehdyn ilmapäästöjen mallinnuksen mukaan energiatuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt eivät ole kriittisiä tekijöitä Seinäjoen kaupungin ilmanlaadun kannalta. Taulukossa 2-2 on eriteltynä Seinäjoen seudun ilmoitusvelvollisten laitosten päästöt vuonna 2016.

Taulukko 2-2. Ilmoitusvelvollisten päästöt Seinäjoen seudulla 2016.

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	2,74	5,73	8,83	2 385,00	2 334,00	4 719,00	-
Altia Oyj, Koskenkorvan tehdas	3,65	-	-	-	14 069,00	14 069,00	1,00
A-Rehu Oy, Koskenkorvan tehdas	1,59	-	-	-	-	-	-
Atria Suomi Oy / Vapo Oy Nurmon kattilat	2,20	43,00	68,50	1 358,80	-	1 358,80	-
Kurikan kaukolämpö Oy / Ilmajoen lämpölaite	9,90	21,80	33,90	7 349,00	-	7 349,00	-
Lemminkäinen Infra Oy, Kalliosalon asfalttiasema	3,10	13,50	5,60	2 247,20	-	2 247,20	-
NCC Roads Oy, Seinäjoen asfalttiasema	0,60	5,60	2,60	989,30	-	989,30	-
Ruukki Construction Oy / Peräseinäjoki *	-	-	-	-	-	-	15,92
Seinäjoen Energia Oy Hanneksenrinne	2,70	15,16	15,94	5 251,09	3 106,87	8 357,96	-
Seinäjoen Energia Oy Kapernaumi	15,41	88,67	54,82	33 977,93	1 514,75	35 492,68	-
Seinäjoen Energia Oy Kasperi	-	-	-	-	-	-	-
Seinäjoen Energia Oy Peräseinäjoen kattilat	8,90	16,51	10,89	4 929,41	1 531,72	6 461,13	-
Seinäjoen Energia Oy Puhdistamonkatu	2,51	33,76	13,56	5 315,38	-	5 315,38	-
Seinäjoen kaupunki/Skanska Asfaltti Oy Routakallio	0,77	10,38	4,74	1 825,70	-	1 825,70	-
STEP Oy Koskenkorvan voimalaitos	1,10	69,20	65,60	26 202,50	37 511,00	63 713,50	-
STEP Oy Seinäjoki Hankkijan voimalaitos	1,79	6,50	5,74	1 071,00	3 518,00	4 589,00	-
Valio Oy / Adven Oy	2,34	41,94	79,30	32 357,00	8 088,00	40 445,00	-
Valio Oy / Seinäjoen tehdas	10,30	-	-	-	-	-	-
Vapo Oy / Haukinevan pellettitehdas	1,78	4,27	6,36	1 657,00	-	1 657,00	-
Vaskiluodon Voima Oy / Seinäjoen voimalaitos	30,60	571,00	425,80	401 485,31	172 950,85	574 436,16	10,64
Yhteensä	101,98	947,02	802,18	528 401,62	244 624,19	773 025,81	27,56

**ilmoitusvelvollisuus VOC-päästöjen osalta

Seuraavassa (Kuva 2-2) on esitetty ilmoitusvelvollisten laitosten päästöt CO₂, hiukkasten, SO₂ ja NO₂ osalta vuosilta 2006–2016.



Kuva 2-2. Ilmoitusvelvollisten laitosten päästöt vuosina 2006–2016.

2.2.2 Paikalliset ilmanlaatumittaukset

Seinäjoen ilmanlaadun mittausasemalla laitteistona ovat:

- kemiluminesenssiin perustuva typen oksidien mittauslaite
- hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) mittauslaite
- säähavaintolaitteet

Mittaustulokset kerätään, arkistoidaan ja raportoidaan ohjelmistolla, ja tiedot on mahdollista lukea valtakunnallisesta Ilmanlaatuportaalista.

Vuosi 2016 oli ilmanlaadun suhteen hyvä. Kevään pahin katupölyaika ajoittui maaliskuuhun, jolloin raja-arvo ylittyi neljä kertaa. Suuret ylitykset jäivät kuitenkin vähäisiksi, koska Seinäjoen kaupunki satoi pölyä vilkkaimmilla liikenneväylillä kalsiumkloridilla.

Typidioksidipitoisuus indikoi liikennettä ja osittain energiantuotantoa. Liikenteen päästövaikutus on havaittavissa lähellä maan pintaa, kun taas laitosten päästöt leviävät korkeiden piippujen ansiosta korkeammalle ja laimentuvat. Mittauspisteellä vuoden 2016 typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvoksi saatiin 11,4 µg/m³ ja vuositasolla toiseksi suurin vuorokausiarvo oli 38 µg/m³. Korkein typpidioksidipitoisuuden tuntiarvo oli joulukuussa 103 µg/m³. Mittausvaliditeetti oli 99,4 %. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi asetettujen raja-arvojen ylityksiä ei ollut vuoden 2016 aikana.

Korkeisiin pölypitoisuuksiin vaikuttaa ensisijaisesti hiekoituspölyn nouseminen liikenteen ja katujen siivouksen vaikutuksesta ilmaan. Myös muina aikoina kohonneet pölypitoisuudet kertovat liikenteen ja tuulen nostamasta kuivasta pölystä. Leikatun leijuman koko vuoden 2016 keskiarvo oli 12 µg/m³. Raja-arvo ylittyi vain neljänä vuorokautena, jotka painoutuivat maaliskuun loppupuolelle. Mittausvaliditeetti vuonna 2016 oli 100 %.

Ilmanlaatuindeksi määräytyy edellä mainittujen komponenttien, typioksidin ja hiukkasten, mittaustuloksista. Pääsääntöisesti (88 %) indeksiarvo pysyi edellisvuosien tapaan hyvällä tasolla, mutta myös ilmanlaatuindeksissä näkyy selvästi kevään pölyongelma. Mittausvaliditeetti oli 99,9 %. (Rintamäki 2016).

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

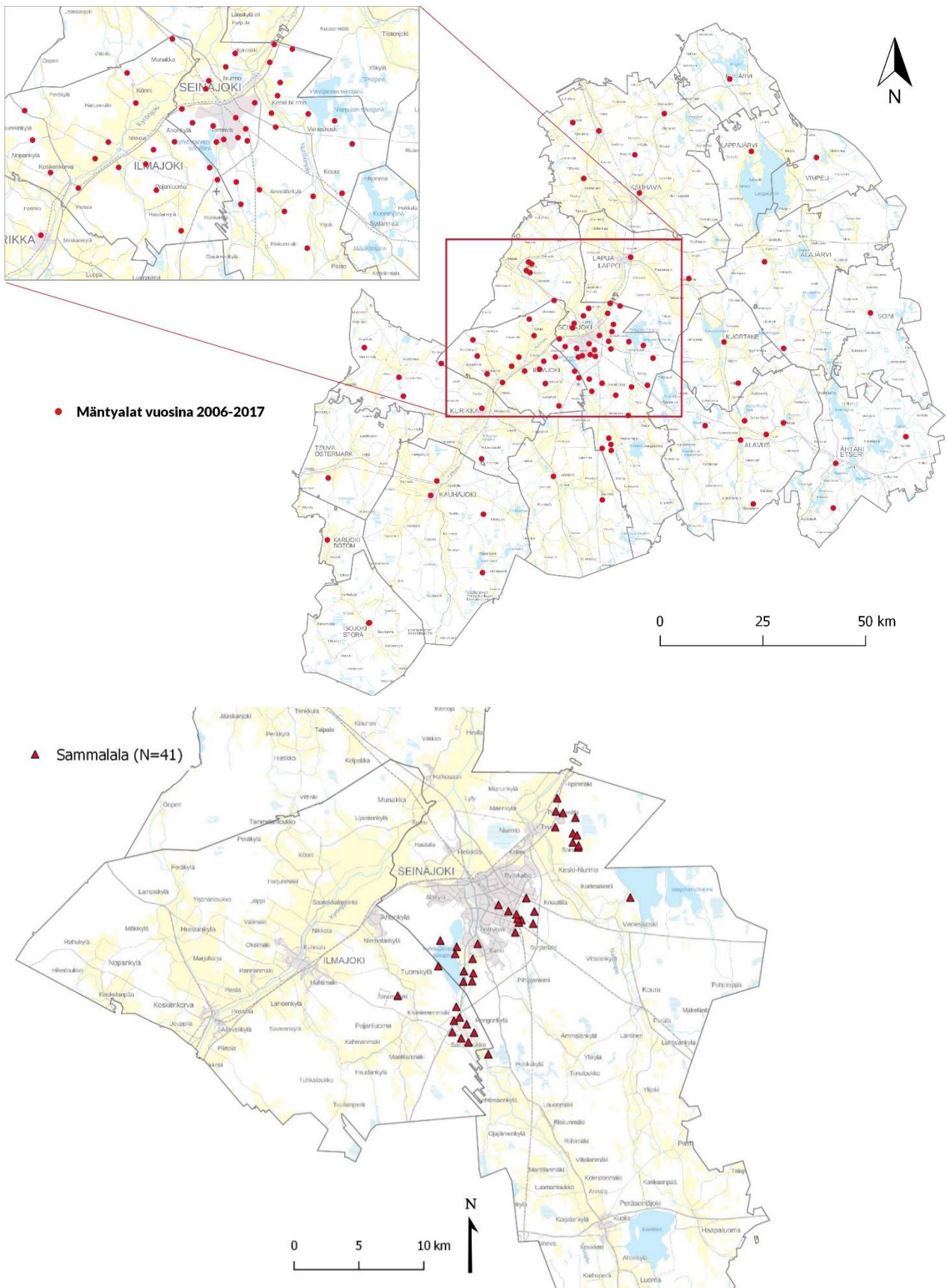
Menetelmien kuvauksissa on hyödynnetty raporttia Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus 2012 (Ramboll 2012).

3.1 Havaintoalat

Koko tutkimusalueen kattavana osuutena toteutettiin männynneulasten alkuainepitoisuuksien tutkimus sekä runkojäkälekartoitukset yhteensä 97 mäntyhavaintoalalla (Taulukko 3-1). Lisäksi Seinäjoen ja Ilmajoen kuntien alueelle sijoittui 41 sammalnäytealaa sekä neljä sammalpalloalaa. Havaintoalaverkosto oli tihein kuormitetuilla Seinäjoen ja Ilmajoen kuntien alueilla (Kuva 3-1, Kuva 4-27). Tutkimuksessa käytettiin alueella aiemmin toteutetuissa tutkimuksissa perustettua havaintoalaverkostoa. Havaintoalaverkostosta 95 mäntyhavaintoalaa olivat samoja kuin vuoden 2012 tutkimuksessa (Ramboll 2012), ja kaksi alaa sisältyi vuoden 2006–2007 havaintoalaverkoston (Laita ym. 2008). Työn yhteydessä jouduttiin perustamaan yhteensä 36 mäntyhavaintoalaa, 9 sammalalaa ja yksi sammalpalloala uudelleen metsänhakkuiden ja rakentamisen seurauksena. Uusien mäntyhavaintoalojen valinnassa pyrittiin ottamaan huomioon erityisesti jäkälekartoituksen 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 kolmen metrin korkeudelle oksattomia.

Taulukko 3-1. Havaintoalojen lukumäärät kunnittain.

Kunta	Alue	Mäntyala	Sammalala	Sammalpalloala
Seinäjoki		39	32	3
Ilmajoki		18	9	1
Alajärvi		2		
Alavus		6		
Evijärvi		1		
Kauhava		6		
Kuortane		2		
Kurikka		7		
Lappajärvi		1		
Lapua		2		
Soini		1		
Suupohjan seutukunta				
	Isojoki	2		
	Kauhajoki	4		
	Karjajoki	1		
	Teuva	1		
Vimpeli		1		
Ähtäri		3		



Kuva 3-1. Mänty- ja sammalhavaintoalojen sijainnit.

Havaintoalojen sijainti määritettiin GPS-laitteella. Havaintopuiden (10 puuta/mäntyala) sijainnit pyrittiin selvittämään havaintoalan etsintäohjeiden sekä havaintopuiden tyvessä olevien valkoisten maalitäplien avulla. Osasta havaintoaloja ei ollut käytettävissä etsintäohjeita, eivätkä valkoiset maalitäplät olleet enää havaittavissa kaikilla aloilla.

Vuonna 2017 perustetuilla mäntyhavaintoaloilla määritettiin metsätyyppi, puulajisuhteet, puuston kehitysluokka, puuston pohjapinta-ala, havaintopuiden keskimääräinen korkeus ja ikä sekä määritettiin metsikön soveltuvuus kartoitukseen. Puuston pohjapinta-ala määritettiin relaskoopin avulla. Puiden ikä määritettiin silmämääräisesti.

Vuoden 2012 tai 2006–2007 selvityksiin sisältyneillä ns. vanhoilla mäntyhavaintoaloilla kirjattiin ylös muutokset metsikön rakenteessa, puulajisuhteissa sekä metsikön soveltuvuudessa kartoitukseen. Puuston pohjapinta-ala määritettiin relaskoopin avulla. Puiden ikä määritettiin silmämääräisesti.

3.2 Jäkäläkartoitus

Jäkälät koostuvat symbioosissa elävästä lehtivihreättömästä sieniosakkaasta ja yhteyttävästä leväosakkaasta. Jäkälän herkkyys ilman epäpuhtauksille perustuu siihen, että niiltä puuttuu suojaavia pintasolukerroksia ja ne ottavat ravinteensa ja vetensä suoraan ilmasta, sadevedestä ja runkovalunnasta. Männyn kaarnalla esiintyvät epifyyttijäkälät kasvavat lisäksi suojaamattomina puun rungoilla ympäri vuoden, jolloin niiden sekovarsiin kertyy myös tehokkaasti ilman epäpuhtauksia.

Ilman epäpuhtaudet näkyvät usein ulkoisina ja fysiologisina muutoksina jäkälissä (Lodenius 2002). Muutokset voivat näkyä niiden morfologiassa, jolloin jäkälän sekovarren koko pienenee tai liuskaisuus ja väri muuttuvat. Lisäksi muutokset voivat ilmetä jäkälän peittävyudessa sekä jäkäläyhteisön lajikoostumuksessa. Jäkälälajit reagoivat ilman epäpuhtauksiin eri tavoin. Usein vaikutukset näkyvät ensin herkimmissä lajeissa, joiden peittävyys männyn rungoilla vähenee. Altistuksen jatkuessa ilman epäpuhtauksille herkimmät 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).

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

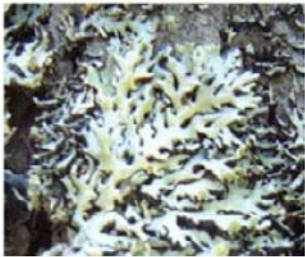
Lajin herkkyys	Lajin nimi	Lajin tieteellinen nimi
kestävä, hyötyvä	seinäsuomujäkälä leväpeite	<i>Hypocenomyce scalaris</i> <i>Algae + Scoliosporum</i>
melko kestävä	sormipaisukarve keltatyvikarve ruskoröyhelö keltaröyhelö	<i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmeliopsis ambigua</i> <i>Cetraria chlorophylla</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</i> sp. <i>Usnea</i> sp.

Ilman epäpuhtauksien aiheuttamat muutokset jäkälissä ja jäkälälajistossa voivat ilmetä nopeasti etenkin suurissa saastepitoisuuksissa, minkä lisäksi vaikutukset näkyvät usein vielä vuosienkin päästä kuormituksen vähennyttyä (Jussila ym. 1999). Tähän vaikuttaa jäkälän hidaskasvuisuus, minkä lisäksi myös kasvualustan

muutokset voivat vaikuttaa jäkäliin (Jussila ym. 1999). Tärkein jäkäliin vaikuttava ilman epäpuhtaus on rikkidioksidi, mutta myös typpiyhdisteillä on vaikutusta, samoin alkalisilla päästöillä, jotka 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 käytettävien jäkälälajien kuormitusherkkyyttä ja indikaattoriarvoa on luonnehdittu lyhyesti taulukossa 3-3. Jäkälälajien esiintymiseen alueella vaikuttavat ilman epäpuhtausherkkyyden lisäksi lajien luontaiset kasvupaikkavaatimukset.

Taulukko 3-3. Standardin 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni ja – huono. Seuralaislajien lukumäärät perustuvat Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan vuoden 2000 bioindikaattoritutkimuksen aineistoon (Niskanen ym. 2001). Lajikuvaukset ja -kuvat Laita ym. 2008.



Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) +++

Sormipaisukarve on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji, joka sietää eniten ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssit (tai peittävyys) pienentyvät vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Sormipaisukarve on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta. Seuralaislajien lukumäärä 3,93.



Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++

Keltatyvikarve sietää myös hyvin ilman epäpuhtauksia ja sen esiintymisfrekvenssit noudattavat ilman epäpuhtauksien kuormitusvyöhykkeitä. Keltatyvikarve viihtyy parhaiten sulkeutuneissa kosteissa metsissä. Keltatyvikarvetta esiintyy hyvin yleisesti ja se on ilman epäpuhtauksia kestävä, hyvä indikaattorilaji. Seuralaislajien lukumäärä 4,02.



Tuhkakarve & harmaatyyvikarve (*Parmeliopsis hyperopta* & *Imshaugia aleurites*)

Tuhkakarve ja harmaatyyvikarve sijoittuvat kestävyydeltään kolmanneksi. Tämä sijoitus sopii yleensä hyvin näiden lajien esiintymisfrekvenssin alueelliseen jakaantumiseen, sillä kahden edellistä lajia herkempanä näiden lajien pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille kuin sormipaisu- ja keltatyvikarpeella. Tuhka- ja harmaatyyvikarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja, jotka tosin suosivat kuivia ja valoisia kalliomänniköitä. Seuralaislajien lukumäärä 4,49



Seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ++

Seinänsuomujäkälää kasvaa luontaisesti vanhojen mäntyjen rungoilla. Se pystyy myös käyttämään hyväkseen ilmassa olevia epäpuhtauksia ja sen esiintyminen lisääntyy ilman saasteiden kuormituksen lisääntyessä. Seinänsuomujäkälä on kohtalaisen hyvä ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori eli sen esiintyminen kuvastaa lähinnä typpilaskeuman rehevöittävää vaikutusta. Seuralaislajien lukumäärä 4,84.



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. Seurallaislajien lukumäärä 5,12.



Naavat (*Usnea sp.*)

Naavojen esiintymisfrekvenssit vaihtelevat ilmansaastekuormituksen mukaan yleensä samalla tavalla kuin lupoillakin. Naavojen seurannaislajien määrä on yleensä samaa tasoa kuin lupoilla eli osoittaa näiden jäkälälajien herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Naavojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Rannikon läheisyys suosii naavojen esiintymistä, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi. Seurallaislajien lukumäärä 5,12.



Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ++

Harmaaröyhelö on seurannaislajien 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. Seurallaislajien lukumäärä 4,51.



Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +

Keltaröyhelön esiintyminen on usein varsin satunnaista, sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueita ja toisaalta se saattaa puuttua tausta-alueilla. Keltaröyhelön luontainen esiintyminen vaihtelee suuresti, mutta mahdollisesti myös ilman epäpuhtauksilla on vaikutusta sen esiintymiseen. Keltaröyhelön arvo ilman laadun indikaattorina jää kuitenkin pieneksi. Seurallaislajien lukumäärä 4,39.



Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) –

Ruskoröyhelö on yleensä 12 indikaattorilajin joukossa yksi harvinaisimmista lajeista. Sen esiintyminen vaihtelee usein hyvin satunnaisesti ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueilta. Ilman laadun indikaattorina ruskoröyhelö on huono. Seurallaislajien lukumäärä 5,10.



Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++

Hankakarve on hyvin yleinen jäkälälaji männyn rungolla. Keskimääräisen seurannaislajien määrän perusteella hankakarve voidaan katsoa olevan herkkä ilman epäpuhtauksille, myös sen esiintymisfrekvenssien alueellinen jakauma vastaa yleensä ilman epäpuhtauksien kuormituksen jakaantumista. Ilmansaasteet aiheuttavat selvästi havaittavia muutoksia hankakarpeen sekovarressa. Rannikon läheisyys suosii hankakarpeen esiintymistä, sillä se viihtyy valoisissa, kuivissa kalliomänniköissä, indikaattorina kohtalainen. Seurallaislajien lukumäärä 4,41.


Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*) +

Raidanisokarve on harvinainen jäkälälaji männyn rungolla. Raidanisokarve on ravinneisuudesta hyötyvä jäkälälaji, jota esiintyy yleensä mm. kalkkipölyalueiden liepeillä. Raidanisokarve soveltuu kalkkipölyn indikaattoriksi. Yleensä raidanisokarve on niin harvinainen, että sen indikaattoriarvo jää pieneksi. Seurallislajien lukumäärä 4,27.


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 3,98.

Kullakin mäntyhavaintoalalla toteutettiin männyn rungoilla esiintyvien 12 jäkälälajin kartoitus standardin SFS 5670 mukaisesti elokuussa ja elo-syyskuun 2017 vaihteessa. Kartoitus toteutettiin kymmeneltä puulta 50–200 cm korkeudelta lieriönmuotoiselta alalta. Standardista poiketen kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (Taulukko 3-4). Sormipaisukarpeen runsaus arvioitiin sekä sekovarsien lukumäärinä että peittävyys.

Taulukko 3-4. Jäkälän runsauden luokittelu. Leväpeite ja seinäsuomujäkälä on luokiteltu peittävyys (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella. Sormipaisukarpeen osalta arvioitiin sekä peittävyys (%) että sekovarsien lukumäärä.

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

Sormipaisukarpeen ja luppojen esiintymisfrekvenssit laskettiin sabluunaruudukon avulla puunrungon itä-koillisen ja länsi-lounaan puolelta. Sormipaisukarpeen ja jäkälän yleinen vaurioaste arvioitiin viisiportaisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (Taulukko 3-5, Kuva 3-3 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 tai puuttuu

Kuva 3-3. Sormipaisukarpeen vaurioluokitus.

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

Vaurio	Näkyvät muutokset
I normaali	Kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	Pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset vaurioituneita
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 herkkydet (Polojärvi 2005). IAP-indeksi kuvaa jäkäläkasvillisuuden tilaa, eli mitä suurempi indeksiluku on, sitä runsaampi on jäkälälajisto ja sitä enemmän esiintyy ilman saasteille herkkiä lajeja.

Indeksi laskettiin kullekin havaintoalalla seuraavasti:

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

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 vihersukulajäkälän 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

Männyn neulasnäytteiden alkuainepitoisuudet kuvaavat osin ilman kautta tulevaa kuormitusta. Neulasten alkuainepitoisuudet eivät kuitenkaan kerro pelkästä ilmanlaadusta, vaan myös muut tekijät voivat vaikuttaa niihin. Alkuaineita kertyy neulasiin myös maaperästä juuriston kautta, joten myös kasvupaikka ja alkuaineiden pitoisuudet maaperässä vaikuttavat neulasiin kertyviin pitoisuuksiin. Lisäksi lukuiset eri tekijät, kuten neulasten ikä, neulasten asema latvuksessa ja vuodenaikaisvaihtelut, aiheuttavat luontaista vaihtelua neulasten kemiallisessa koostumuksessa (Jussila ym. 1999, Nieminen ym. 1993).

Typpi, fosfori, kalsium, kalium, magnesium ja rikki ovat kasvien tarvitsemia pääravinteita, kun taas mangaani, rauta, boori, kupari, sinkki ja kloori ovat kasveille välttämättömiä hivenaineita, joita puut käyttävät vähän. Ravinteiden käyttäytyminen kasvissa vaihtelee. Joitakin ravinteita (mm. N, P, K, S, Mg) kasvi voi siirtää kasvinosista toisiin. Yleensä näiden ravinteiden pitoisuus laskee neulasten ikääntymisen myötä, kun kasvi siirtää ravinteita nuorempiin osiin. Kaikkia ravinteita (mm. Ca) kasvi ei kykene siirtämään yhtä helposti, joten näiden ravinteiden puutosoireet ilmenevät ensimmäisinä nuoremmassa kasvinosissa.

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. Jukan (1988) luokittelemat männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvot on esitetty taulukossa 3-9.

Taulukko 3-9. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvoja kuivahkoilla ja kuivilla kankailla (Jukka 1988).

Ravinnetila	Typpi, g/kg	Fosfori, g/kg	Kalium, g/kg	Boori, mg/kg
alhainen	< 11,0	< 1,2	< 3,5	< 5,0
välttävä	11,0 – 13,9	1,2 – 1,44	3,5 – 3,9	5,0 – 7,9
sopiva	≥ 14,0	≥ 1,45	≥ 4,0	≥ 8,0

Neulasnäytteenotto toteutettiin standardin SFS 5669 mukaisesti helmikuussa 2017 kaikilla 97 mäntyhavaintoalalla. Kustakin tutkimuspuusta katkaistiin oksasahalla 3–4 oksaa eri puolilta latvustoa. Näytteet yhdistettiin havaintoaloittain kokoomanäytteiksi muovipusseihin ja säilytettiin viileässä näytteiden

esikäsittelyyn asti. Näytteistä erotettiin laboratoriossa toiseksi viimeiset vuosikerrat (vuoden 2015 vuosikerta), jotka kuivattiin vakiopainoon (40 °C). Kuivatut näytteet homogenisoitiin ja hajotettiin mikroaaltomärkäpolttolaitteistolla väkevässä typpihapossa. Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS-tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 17294-2 standardiin ja ICP-OES-tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 11885 standardiin. Typpipitoisuus määritettiin Leco CHN628-alkuaineanalyysaattorilla soveltaen standardia SFS-EN 16948. 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.



Kuva 3-4. Mäntyhavaintoaloja.

3.4 Sammalnäytteiden alkuainepitoisuudet

Metsän yleisimpiä sammalia, kuten metsäkerrossammalta (*Hylocomium splendens*) ja tässä työssä analysoitua 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 suoraan pintasolukonsa läpi. Juuriston ja kasvin solukkoa suojaavan pintakerroksen eli kutikulan puuttumisen johdosta ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat sammaleeseen putkilokasveja tehokkaammin.

Suomessa esiintyvät sammalten alkuainepitoisuudet ovat peräisin kaukokulkeutumasta ja toisaalta lähempänä sijaitsevista pistemäisistä lähteistä. Useimpien raskasmetallien pitoisuudet sammalissa ovat laskeneet Suomessa vuosien 1985–2010 välillä (Metsäntutkimuslaitos 2012). Voimakkainta on ollut lyijypitoisuuksien lasku, mikä johtuu lyijyttömään bensiiniin siirtymisestä 1990-luvun alussa. Lyijyn ohella lisäksi 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 suurimpien pistemäisten päästölähteiden läheisyydessä.

Sammalnäytteet kerättiin standardin SFS 5671 mukaisesti Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijainneilta sammalaloilta syyskuun 2017 alussa (Kuva 3-1). Kullakin havaintoalalla kerättiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) mahdollisimman puhtailta kasvustoilta vähintään viidestä eri kohtaa. Osanäytteet puhdistettiin roskista ja yhdistettiin yhdeksi havaintoalakohtaiseksi kokoomanäytteeksi. Sammalnäytteistä erotettiin laboratoriossa vihreä osuus, mikä vastaa noin kahden-kolmen vuoden kasvua.

Sammalnäytteet kuivattiin vakiopainoon (40 °C). Kuivatut näytteet homogenisoitiin ja hajotettiin mikroaaltomärkäpolttolaitteistolla väkevässä typpihapossa. Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS-tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 17294-2 standardiin ja ICP-OES-tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 11885 standardiin. Typpipitoisuus määritettiin Leco CHN628-alkuaineanalyysointilaitteella soveltaen standardia SFS-EN 16948. Näytteistä määritettiin alumiinin (Al), arseenin (As), boorin (B), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (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.

3.5 Sammalpallojen alkuainepitoisuudet

Sammalpallomenetelmä (SFS 5794) soveltuu ilman hiukkas- ja joidenkin kaasumaisten epäpuhtauksien, pääasiassa raskasmetallien leviämisen tutkimiseen, sekä kuormituksessa tapahtuvien muutosten seurantaan. Jäätyminen ja palloihin kertyvä lumi rajoittavat pallojen käyttöä talvella (SFS 5794).

Sammalpallot valmistettiin standardin SFS 5794 mukaisesti. Materiaalina käytettiin keskeisestä Suomesta kerättyä korpilahkasammalta (*Sphagnum girgensohnii*). Roskista puhdistettu sammal pestiin laimealla suolahappoliuoksella sammalen puhdistamiseksi laskeumasta ja metallipitoisuuksien tasaamiseksi hyvin alhaisiksi, minkä jälkeen sammal huuhdeltiin ionivaihdetulla vedellä. Pesty sammal valutettiin ja punnittiin noin 15 gramman eriin (tuorepaino) hiusverkkoihin. Pallot numeroitiin ja säilytettiin ripustukseen asti pakastettuina.

Sammalpallot ripustettiin Seinäjoella sijaitseville neljälle havaintoalalle 23.2.2017 ja noudettiin 28.4.2017. Kullekin havaintoalalle ripustettiin yhteensä kolme sammalpalloa pääasiassa lehtipuiden oksien kärkeen. Niin sanotut nollapallot säilytettiin koko tutkimuksen ajan pakastettuina. Laboratoriossa sammalpaloista poistettiin verkot ja saman havaintoalueen pallot yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi. Näytteet kuivattiin (40 °C) ja analysoitiin kuten seinäsammalnäytteet. Näytteistä määritettiin alumiinin (Al), arseenin (As), boorin (B), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (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. Pitoisuuksista vähennettiin ns. nollapallon pitoisuudet ja havaintoalakohtaisesti laskettiin kertymä 30 vuorokautta kohti.



Kuva 3-5. Kapernaumin uusi sammalpallola SS13.

3.6 Aineiston käsittely ja tulosten esittäminen

Tulokset käsiteltiin taulukkomuodossa ja koottiin kuvaajiin ja taulukoihin. Paikkatieto-ohjelmanä selvityksessä käytettiin QGIS- sekä MapInfo-ohjelmia. Teemakartat toteutettiin QGIS-ohjelmalla. Vyöhykekartat laadittiin QGIS-ohjelmalla, jossa interpolointi toteutettiin Kriging-menetelmällä. Aineiston tilastollisessa käsittelyssä käytettiin SPSS 19 –ohjelmaa. Kartta-aineistona käytettiin Maanmittauslaitoksen avoimen aineiston tiedostopalvelua (4/2017–11/2017).

4. TULOKSET

4.1 Havaintoalojen tiedot

Valtaosa (69 %) havaintoaloista sijaitsi varttuneissa kuivahkon kankaan (VT) mäntymetsissä (Taulukko 4-1). Noin viidesosa (19 %) havaintoaloista sijoittui mustikkatyyppin (MT) metsiin. Muutamat alat sijoituivat kuivan kankaan (CT) mäntymetsiin tai luokan 'Muu' metsiin. Luokkaan 'Muu' kuuluvat metsät olivat joko taajamien puistometsiä tai turvemaita. Yhtä alaa lukuun ottamatta, havaintoaloilla kasvoi pääpuulajina mäntyä. Männyn sekapuuna tai alikasvoksena kasvoi usein kuusta tai koivua. Tutkimuspuiden kokonaismäärä oli 970 mäntyä.

Puuston keskimääräinen ikä havaintoaloilla oli 98 vuotta ja valtaosa aloista sijoittui ikäluokkaan 80–99 vuotta (Taulukko 4-2). Valtapuiden keskimääräinen pituus oli 17,5 m ja läpimitta 31,4 cm. Puuston keskimääräinen pohjapinta-ala oli 19,7 m³.

Taulukko 4-1. Mäntyhavaintoaloja (N = 97) kuvaavia tunnuksia.

Tunnus	Luokka	Kpl	Osuus (%)
Metsätyyppi	CT	6	6
	VT	67	69
	MT	18	19
	Muu	6	6
Kehitysluokka	varttunut	69	71
	kypsä	28	29
Havaintopuiden keskimääräinen ikä	alle 60	0	0
	60-79	0	0
	80-99	60	62
	100-119	28	29
	120 tai yli	9	9
Valtapuiden pituus (m)	alle 10	0	0
	10-14	16	16,5
	15-19	65	67
	20 tai yli	16	16,5
Havaintopuiden keskimääräinen halkaisija (cm)	alle 25	2	2
	25-29	37	38
	30-34	41	42
	35 tai yli	17	18
Puuston pohjapinta-ala (m³)	alle 10	0	0
	10-14	14	14
	15-19	45	46
	20-24	25	26
	25-29	7	7
	30 tai yli	6	6

Tunnus	Luokka	Kpl	Osuus (%)
Puuston 1. valtalaji	mänty	96	99
	kuusi	1	1
Puuston 2. valtalaji	kuusi	47	48
	koivu	35	36
	mänty	1	1
	haapa	1	1
	pihlaja	1	1

Taulukko 4-2. Mäntyjen pituus ja läpimitta on laskettu havaintoalakohtaisista tuloksista (N = 97).

	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta
Puiden pituus (m)	17,5	11	25,5	2,62
Puunrunkojen läpimitta (cm)	31,4	24	45	3,73

4.2 Männyn runkojäkälät

Kaikilta mäntyhavaintoaloilta laskettu ilmanpuhtausindeksi oli 2,0 (Taulukko 4-3), mikä sijoittuu kahden luokka-arvon rajalle. Tutkimusalueella käytetyn luokituksen mukaisesti (Taulukko 3-7) ilmanpuhtausindeksi kertoo lajistossa esiintyvän lieviä muutoksia tai lajiston olevan keskimäärin köyhtynyttä. Tällöin herkempiä lajeja joko esiintyy mutta puuttuu yleisesti, tai niitä voi esiintyä yksittäisillä rungoilla. Keskimääräinen ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien havaintoaluekohtainen lukumäärä oli 6,6 lajia, mikä vastaa lievästi köyhtynyttä lajistoa. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys tutkimusalueella oli 10,0. Vastaavasti levän yleisyys oli 2,8. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli 2,5, mikä oli hieman enemmän kuin jäkälälajistolla yleensä (2,2). Sormipaisukarve oli tutkimusalueella keskimäärin lievästi-selvästi vaurioitunutta, kun taas jäkälälajisto yleisesti lievästi vaurioitunutta.

Taulukko 4-3. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksi ja muita tunnuslukuja.

N = 97	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Ilmanpuhtausindeksi IAP	2,0	0,62	5,8	1,08
Lajimäärä / havaintoala (*)	6,6	3	9	1,79
Yleinen vaurioaste	2,2	1,15	3,7	0,53
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	1,4	4,4	0,62
Sormipaisukarpeen peittävyys %	10,0	0,4	42,3	8,2
Levän yleisyys	2,8	0	29	6,7

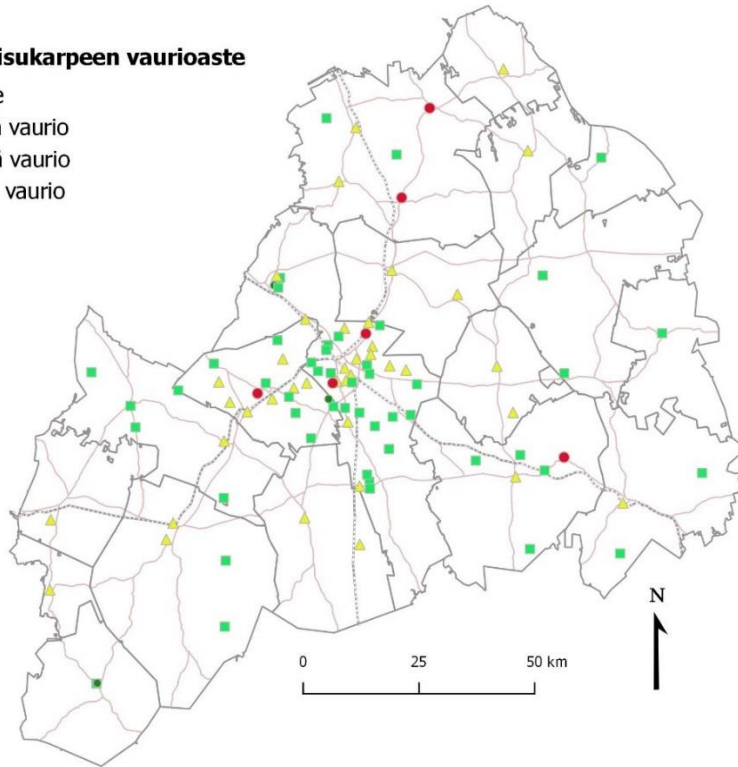
(*) lajimäärässä ei huomioitu levää ja seinäsuomujäkälää

4.2.1 Sormipaisukarpeen ja jäkälälajiston yleiset vaurioasteet

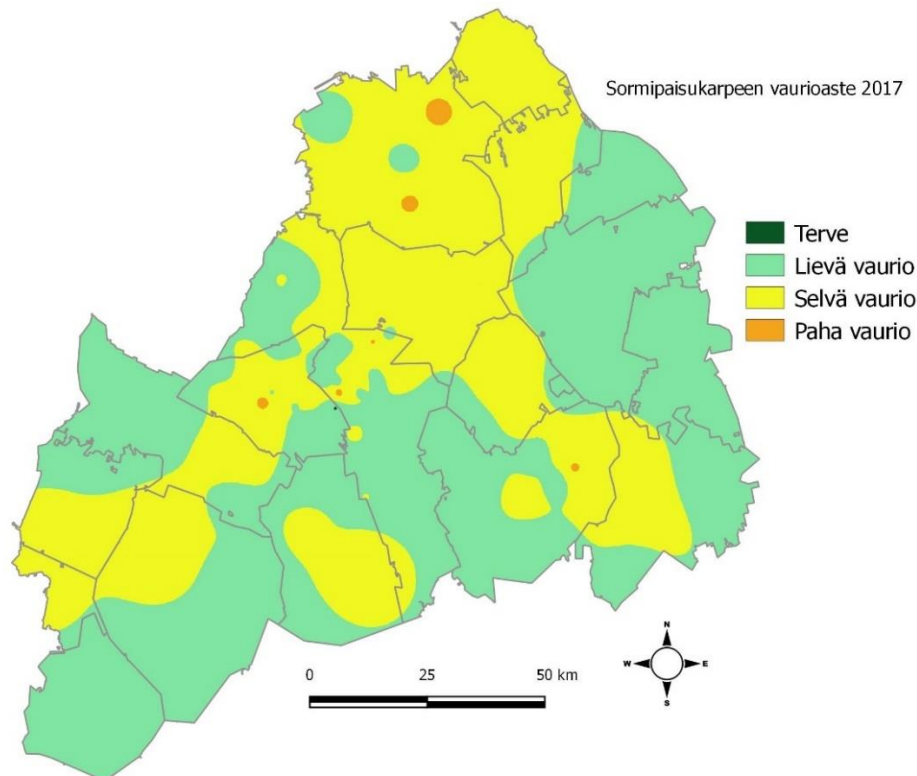
Sormipaisukarpeen vaurioluokituksessa valtaosa havaintoaloista (88 havaintoalaa) sijoittui luokkiin II ja III, jolloin jäkäläistössä oli nähtävissä lieviä ja selviä vaurioita (Taulukko 4-4). Noin 6 % havaintoaloista sijoittui luokkaan IV, jossa sormipaisukarpeen kasvustoissa oli nähtävissä pahoja vaurioita. Nämä alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, Kauhavalla ja Alavudella Töysässä. Ainoastaan kolmella Seinäjoen Ylistaroon, Ilmajoelle ja Isojoelle sijoittuvalla havaintoalalla kasvustot luokiteltiin normaaleiksi.

Sormipaisukarpeen vaurioaste

- Terve
- Lievä vaurio
- ▲ Selvä vaurio
- Paha vaurio



Kuva 4-1. Sormipaisukarpeen vaurioaste tutkimusalueella vuonna 2017.



Kuva 4-2. Sormipaisukarpeen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2017.

Taulukko 4-4. Havaintoalojen lukumäärä ja osuus sormipaisukarpeen vaurioluokituksessa (N = 97).

Vaurio	Havaintoalojen lukumäärä	Havaintoaloja %
I normaali	3	3
II lievä vaurio	49	51
III selvä vaurio	39	40
IV paha vaurio	6	6
V kuollut tai puuttuu	0	0

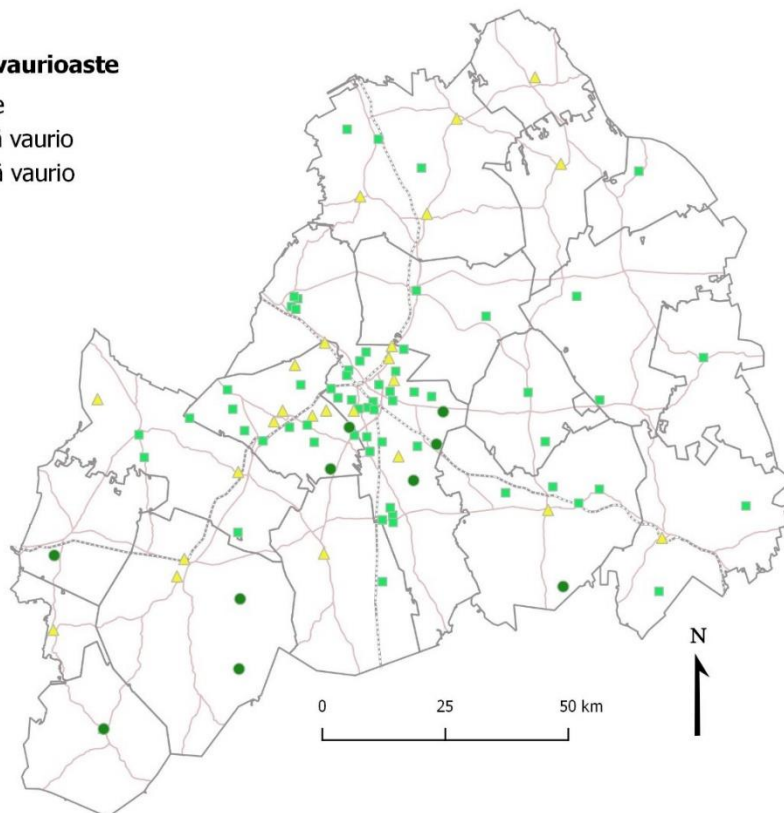
Yleinen runkojäkälien vaurioaste oli keskimäärin hieman alhaisempi kuin sormipaisukarpeen vaurioaste (Taulukko 4-3). Valtaosa (65 %) havaintoaloista sijoittui luokkaan II, jossa jäkälien vauriot olivat lieviä (Taulukko 4-5). Selviä vaurioita havaittiin 25 %:lla havaintoaloista, jotka sijoittuivat eri puolille tutkimusaluetta ja tutkimusalueen keskiosiin. Kymmenesosalla (10 %) aloista jäkälistö luokiteltiin normaaliksi.

Taulukko 4-5. Havaintoalojen lukumäärä ja osuus yleisessä vaurioluokituksessa (N = 97).

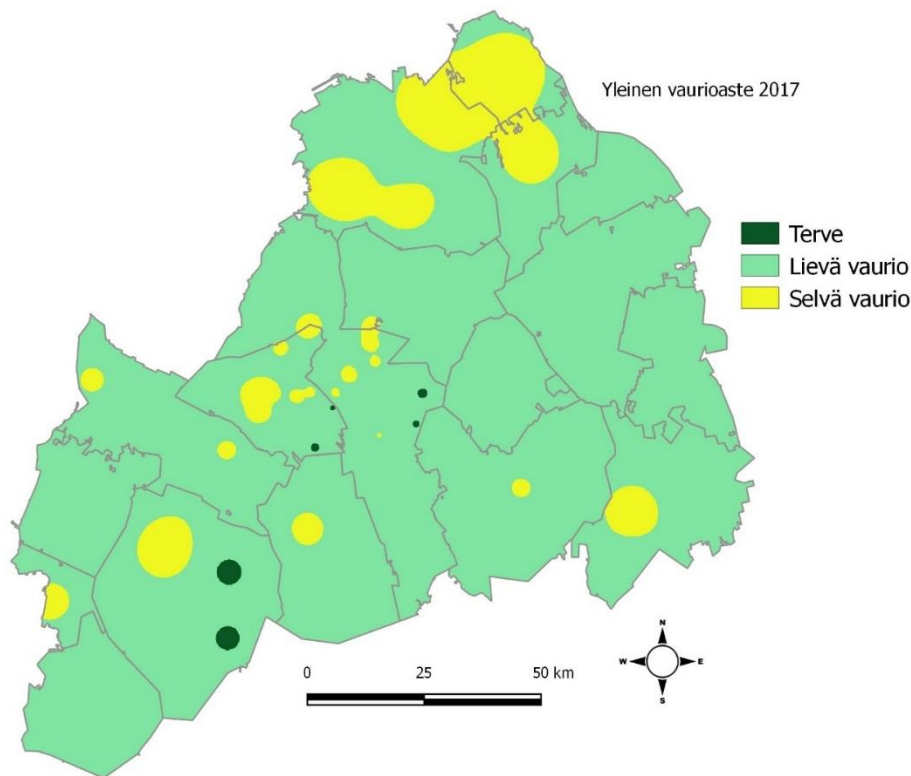
Vaurio	Havaintoalojen lukumäärä	Havaintoaloja %
I normaali	10	10
II lievä vaurio	63	65
III selvä vaurio	24	25
IV paha vaurio	0	0
V kuollut tai puuttuu	0	0

Yleinen vaurioaste

- Terve
- Lievä vaurio
- ▲ Selvä vaurio



Kuva 4-3. Yleinen vaurioaste tutkimusalueella vuonna 2017.

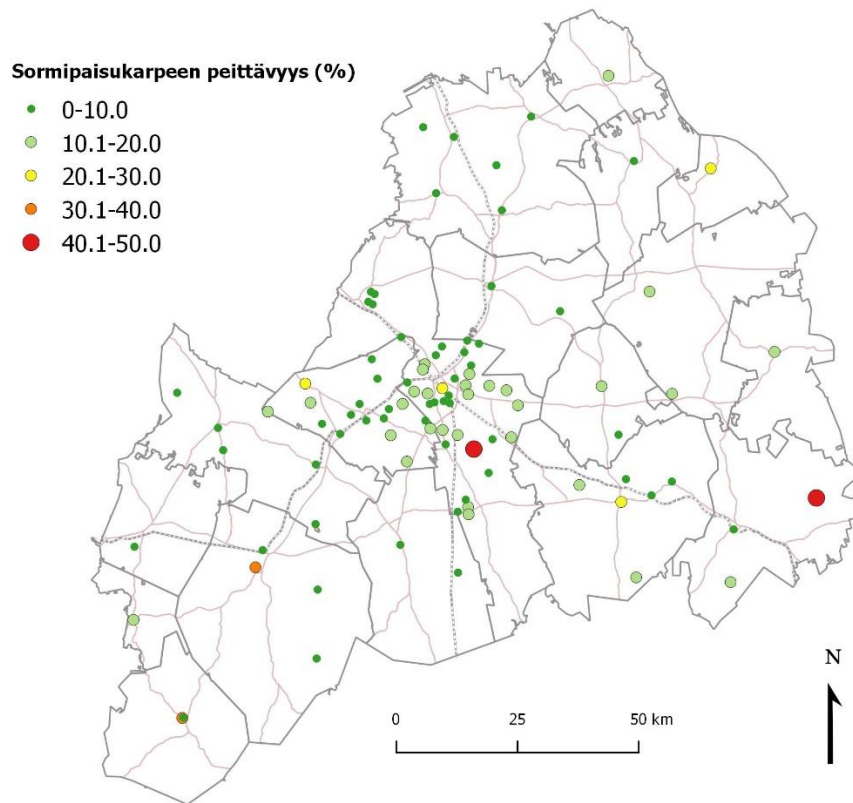


Kuva 4-4. Yleisen vaurioasteen vyöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2017.

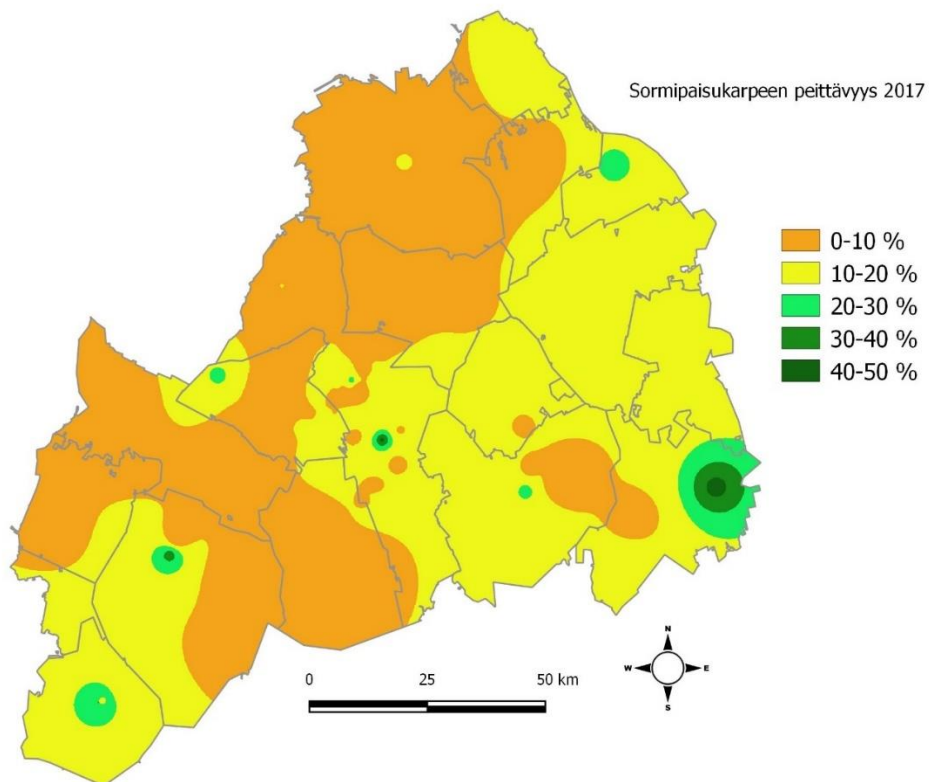
4.2.2 Sormipaisukarpeen peittävyys ja levän yleisyys

Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla oli 10,0 %. Yli puolella havaintoaloista peittävyys oli alle 10 % (57 havaintoalaa). Nämä havaintoalat sijoituivat tasaisesti lähes koko tutkimusalueelle, itäisessä osassa tutkimusaluetta näitä havaintoaloja oli vähän. Kolmanneksella havaintoaloista peittävyys oli 10–20 % (32 alaa) ja muutamalla alalla 21–30 %:n luokkaa (4 alaa). Neljällä Seinäjoen keskustan eteläpuolelle, Ähtäriin, Kauhajoelle ja Isojoelle sijoittuvalla alalla peittävyydet olivat jopa yli 30 ja 40 prosenttia. Tiheimmän havaintoverkon alueilla peittävyydet olivat pääasiassa matalampia.

Pistefrekvenssimenetelmällä puun rungon itä-koillis- sekä länsi-lounaispuolelta mitattuna sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys oli 11,2 %. Yli puolella havaintoaloista (56 %, 54 alaa) sormipaisukarpeen peittävyys oli alle 10 %. Kolmanneksella (31 %, 30 alaa) havaintoaloista peittävyys oli 11–20 %. Yhdeksällä alalla peittävyys oli 21–30 % (9,3 % aloista) ja neljällä alalla yli 30 % tai yli 40 % (4,1 % aloista).

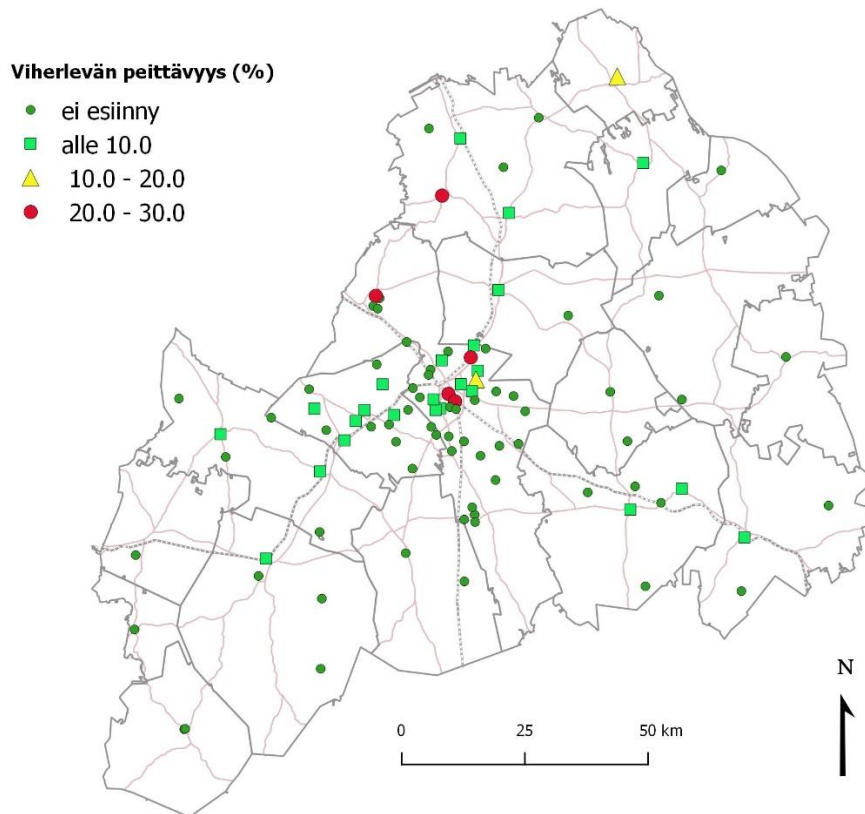


Kuva 4-5. Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla vuonna 2017.



Kuva 4-6. Sormipaisukarpeen keskimääräisen peittävyuden vyöhykkeet männyn rungoilla vuonna 2017.

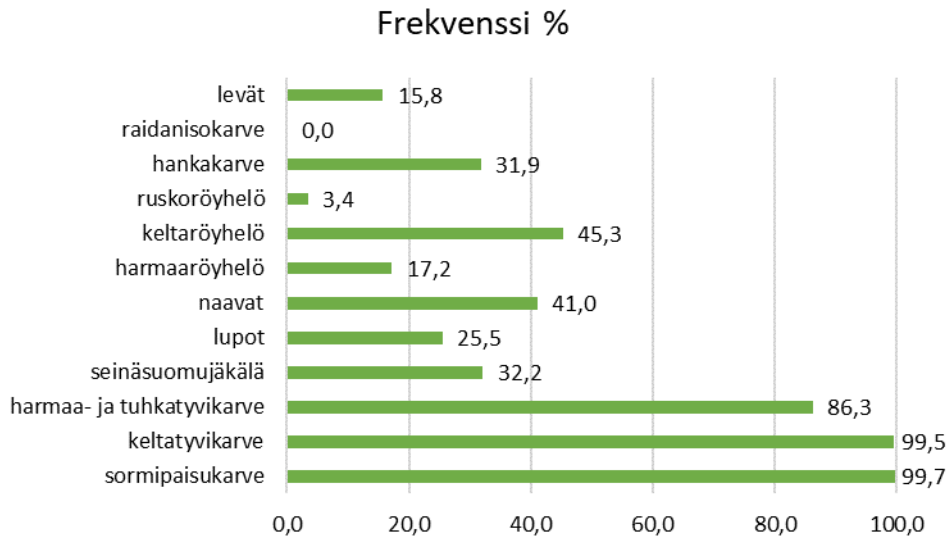
Viherleväkasvustoa ei esiintynyt 68 %:lla havaintoalueista (66 alaa) ja viidenneksellä havaintoaloista (25%, 24 alaa) peittävyys oli alle 10 %. Kahdella Seinäjoella ja Evijärvellä sijaitsevalla alalla peittävyys oli 10–20 % (2 % aloista). Neljällä Seinäjoen ja yhdellä Kauhavan havaintoalalla (5,2 % aloista) peittävyys oli 20–30 %. Suurimmat peittävyydet (29 %) havaittiin Seinäjoen keskustan tuntumassa sekä Kauhavalla sijaitsevalla havaintoalueella.



Kuva 4-7. Viherlevän keskimääräinen peittävyys männyn rungoilla vuonna 2017.

4.2.3 Lajimäärät

Standardin SFS 5670 mukaisista lajeista Etelä-Pohjanmaan alueella esiintyi runsaimmin sormipaisukarvetta (esiintyi 967 rungolla) sekä keltatyvikarvetta (esiintyi 965 rungolla) (Kuva 4-8). Noin 86 %:lla rungoista esiintyi harmaa- ja tuhkatyvikarvetta (837 rungolla). Keltaröyhelöä ja naavoja esiintyi lähes puolella tutkituista rungoista (esiintyi 439 ja 398 rungolla). Seinäsuomujäkälää ja hakakarvetta esiintyi noin kolmanneksella rungoista (esiintyi 312 ja 309 rungolla). Luppoja esiintyi noin viidenneksellä tutkituista rungoista (247 rungolla). Harmaaröyhelöä ja leviä esiintyi lähes viidenneksellä rungoista (167 ja 153 rungolla). Ruskoröyhelöä esiintyi 33 rungolla. Raidanisokarvetta ei havaittu tutkituilla mäntyaloilla.

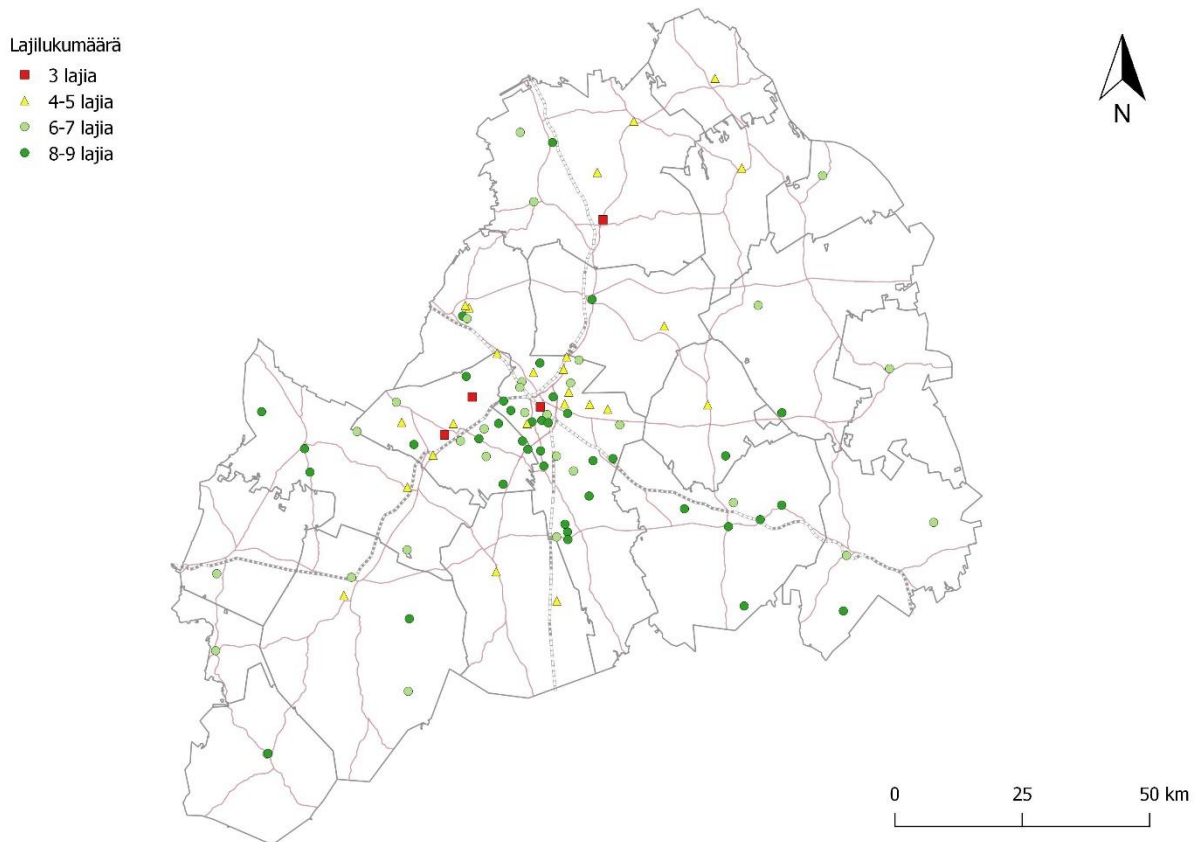


Kuva 4-8. Männyn runkojäkälien esiintymistiheys tutkimusalueella 2017 (N = 970).

Tutkimuspuiden rungoilla esiintyvien lajien havaintoalakohtaisten kokonaismäärien laskennassa huomioitiin ainoastaan ilman epäpuhtauksista kärsivät 10 jäkälälajia (Taulukko 4-6). Havaintoalakohtainen kokonaislajimäärä oli usein korkeampi kuin havaintoalan tutkimuspuukohtaiset lajimäärät. Tutkimusalueella ei havaittu erittäin selvästi lajistoltaan köyhtyneitä havaintoaloja (Kuva 4-9). Noin 40 % havaintoaloista oli luokiteltavissa jäkälälajistoltaan normaaliksi. Noin 56 %:lla aloista lajilukumäärät jakautuivat tasaisesti lievästi–selvästi köyhtyneisiin havaintoalueisiin. Selvästi köyhtyneet alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella ja Kauhavalla (Kuva 4-9, Kuva 4-10). Lajirikkaimmat alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, Alavudella, Kuortaneella, Ähtärissä ja Kurikassa.

Taulukko 4-6. Tutkimusalueen jäkälälajiston luokitus tutkimusalueen kokonaislajilukumäärän perusteella.

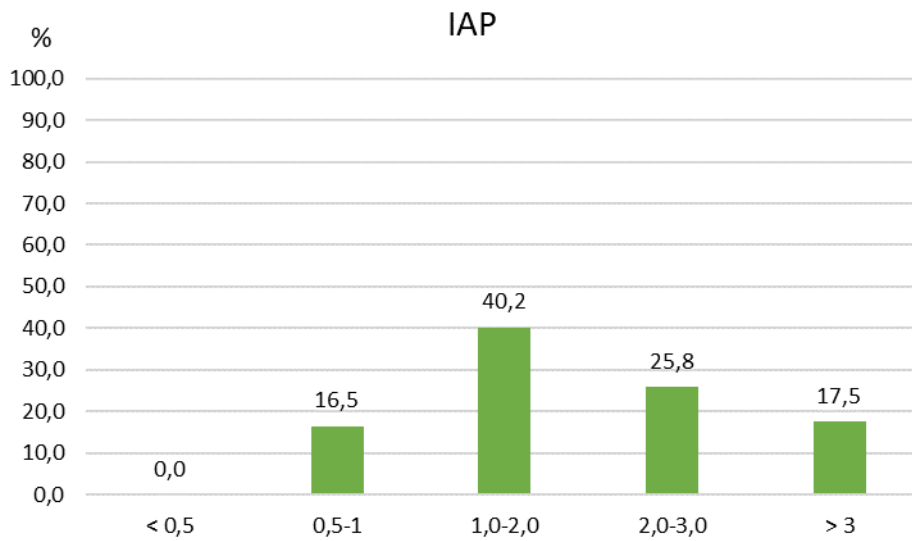
Lajiluku-määrä	Lajiston kuvaus	Havaintoalojen lukumäärä	%
0–1	Erittäin selvästi köyhtynyt	0	0,0
2–3	Selvästi köyhtynyt	4	4,1
4–5	Köyhtynyt	24	24,8
6–7	Lievästi köyhtynyt	30	30,9
≥ 8	Normaali jäkälälajisto	39	40,2



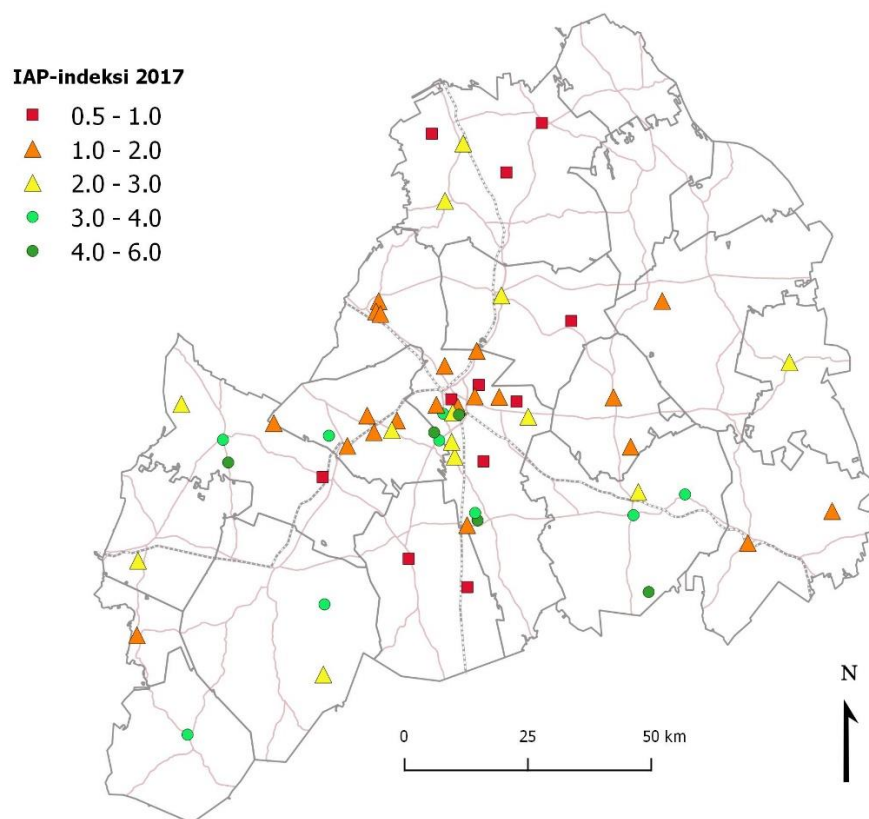
Kuva 4-9. Tutkittujen ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien (10 lajia) lukumäärät havaintoaloilla vuonna 2017.

4.2.4 IAP-indeksi

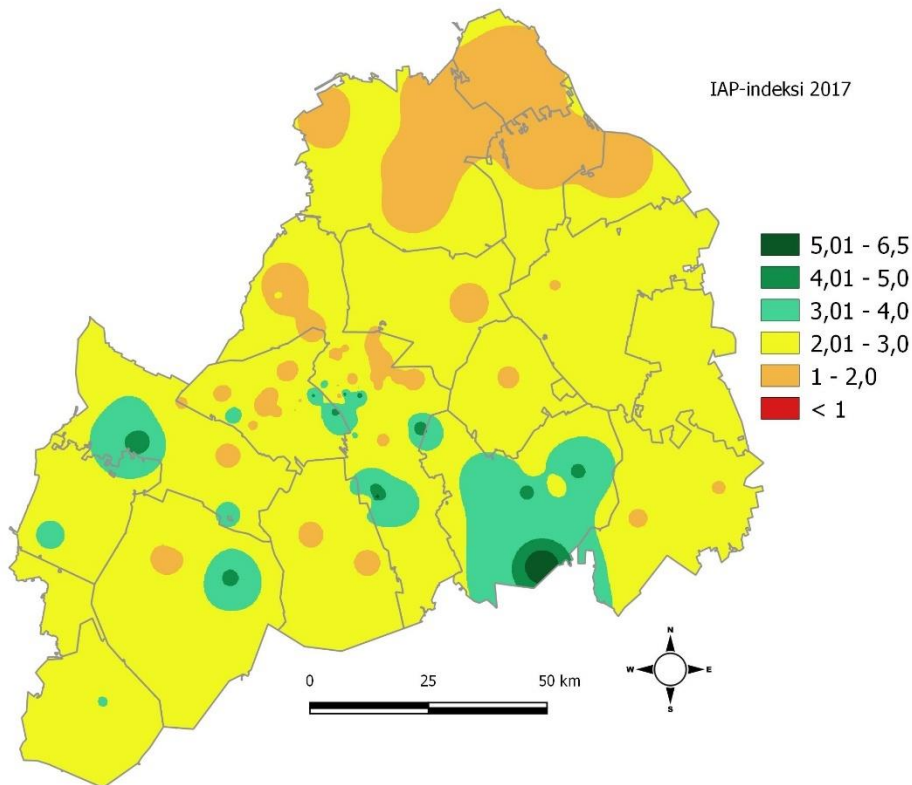
IAP-indeksi (*Index of Air Purity*, ks. luku 3.2) oli tutkimusalueella keskimäärin 2,0, mikä kuvailee käytetyn luokituksen mukaisesti tutkimusalueen lajistoa köyhtyneeksi tai että tutkimusalueen lajistossa esiintyy lieviä muutoksia (Taulukko 3-7). Pienin indeksiarvo 0,6 (selvästi köyhtynyt) laskettiin Seinäjoen keskustassa sijaitsevalta alalta. Lajistoltaan selvästi köyhtyneet alat sijaitsivat pääosin Seinäjoen taajama-alueella ja Ilmajoella, tutkimusalueen pohjoisosassa Kauhavalla sekä tutkimusalueen eteläosassa Kauhajoella ja Kurikassa sekä Kurikan Jalasjärvellä. Tutkimusalueella ei kuitenkaan havaittu jäkäläautioita tai lähes jäkäläautioita, joissa indeksi oli alle 0,5. Suuri osa (40,2 %) havaintoaloista sijoittui luokkaan 1–2, jossa lajisto on köyhtynyt, mutta herkimpiä lajeja voi esiintyä puiden rungoilla. Tähän vyöhykkeeseen kuuluivat tutkimusalueen tiheimmän tutkimusalueverkoston keskiosa sekä itäosa. Lajistoltaan lievästi muuttuneita aloja (luokka 2–3) sijaitsi tasaisesti eri puolilla tutkimusaluetta. Havaintoaloja, joilla lajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa ja joilla esiintyy yleisesti herkimpiä lajeja, sijaitsi tutkimusalueen tiheimmän tutkimusalueverkoston eteläosassa sekä koko tutkimusalueen eteläosassa.



Kuva 4-11. IAP-indeksin frekvenssit tutkimusalueella vuonna 2017 (N = 97).



Kuva 4-12. IAP-indeksi tutkimusalueella vuonna 2017. IAP > 3 = jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa.



Kuva 4-13. IAP-indeksivöhykkeet tutkimusalueella vuonna 2017. IAP > 3 = jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa.

4.3 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 3-15). Näytteen alkuainepitoisuuden alittaessa analyysin määrittämissä, käytettiin tunnuslukujen laskemisessa näytteen pitoisuutena määrittämissä arvoja. Kromin määrittämissä arvo 0,04 mg/kg alittui yhteensä 18 alalla ja nikkelin määrittämissä arvo 0,2 mg/kg yhdellä alalla. Neulasten alkuainepitoisuuksille ei ole annettu yksiselitteisiä ohjearvoja, vaan arvot vaihtelevat eri kirjallisuuslähteissä (ks. luku 3.3). Esimerkiksi osa ohjearvoista on esitetty kuiville ja kuivahkoille kankaille (VT- ja CT-tyypit) ja osa yleisemmin kangasmaan metsille (Laita ym. 2008). Osa alkuaineista on pieninä pitoisuuksina välttämättömiä ravinteita, kun taas suurina pitoisuuksina ne voivat olla haitallisia.

Taulukko 3-15. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta (N = 97).

	S	N	P	K	Ca	B	Cd
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	943	13,4	1450	5973	3886	15,28	0,08
pienin	690	8,9	1090	4680	2210	6,90	0,04
suurin	1170	19,0	1780	7160	7040	26,0	0,27
keskihajonta	98	1,6	142,9	462	927	3,41	0,03

	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	0,67	2,57	1005	411	0,60	59,3	45,8
pienin	<0,4	1,10	690	150	<0,2	17,0	24,0
suurin	1,90	5,30	1290	980	1,60	220,0	75,0
keskihajonta	0,35	0,46	122	143	0,23	27,4	9,0

Neulasten **rikkipitoisuuden** keskiarvo tutkimusalueella oli 943 mg/kg. Neulasten normaalina rikkipitoisuutena pidetään noin tasoa 900 mg/kg, ja kuormitetuilla alueilla Etelä-Suomessa rikkipitoisuus voi olla 1500 mg/kg (ks. luku 3.3, Jussila 1999). Puiden kasvun kannalta sopivana rikkipitoisuutena pidetään 900–1200 mg/kg (Reinikainen ym. 1998). Rikkipitoisuus oli suurimmillaan (1170 mg/kg) Seinäjoella Törnäväntien varressa sekä Seinäjoen Peräseinäjoella Näätsmäjantien varressa. Yli 900 mg/kg rikkipitoisuuksia havaittiin yhteensä 60 havaintoalalla, jotka sijoittuivat pääasiassa Seinäjoen keskusta-alueelle sekä tutkimusalueen keskiosiin, mutta myös tutkimusalueen muissa osissa yli 900 mg/kg rikkipitoisuudet olivat tavallisia (Kuva 4-14).

Neulasten **typpipitoisuuden** keskiarvo oli 13,4 g/kg. Neulasten sopivana typpipitoisuutena pidetään ≥ 14 g/kg (Jukka 1988). Valtaosalla havaintoaloista typpipitoisuus oli välttävällä tasolla (11,0–13,9 mg/kg). Vain viidellä alalla Seinäjoella, Kauhavalla ja Suupohjan alueella typpipitoisuus oli alhaisella tasolla (<11,0 mg/kg), jolloin puun katsotaan kärsivän typen puutteesta (Jukka 1988).

Neulasten **fosforipitoisuuden** keskiarvo oli 1450 mg/kg. Noin puolella havaintoaloista (48 havaintoalaa) fosforipitoisuus oli kasville sopivalla tasolla (≥ 1450 mg/kg) (ks. luku 3.3, Jukka 1988). Alhaisia alle 1200 mg/kg fosforipitoisuuksia mitattiin kolmella alalla; Alajärvellä, Kauhavalla ja Seinäjoella. Noin puolet havaintoaloista (46 havaintoalaa) sijoittui fosforipitoisuudeltaan välttävään luokkaan (1200–1440 mg/kg).

Neulasten **kaliumpitoisuuden** keskiarvo tutkimusalueella oli 5970 mg/kg ja suurin pitoisuus 7160 mg/kg. Kaikilla havaintoaloilla kaliumpitoisuus oli ≥ 4000 mg/kg, mitä pidetään sopivana neulasten kaliumtasona (ks. luku 3.3, Jukka 1988).

Neulasten **booripitoisuuden** keskiarvo oli 15,28 mg/kg. Yhtä alaa lukuun ottamatta neulasten booripitoisuudet olivat sopivalla tasolla ($\geq 8,0$ mg/kg) (ks. luku 3.3, Jukka 1988). Yhdellä havaintoalalla Kurikan Jurvassa pitoisuus oli riittävällä tasolla (ks. luku 3.3).

Kalsiumpitoisuuden keskiarvo oli 3886 mg/kg. Yli puolella havaintoaloista (53 havaintoalaa) pitoisuus oli 3000–4000 mg/kg. Neljänneksellä havaintoaloista (33 havaintoalaa) kalsiumpitoisuus oli yli 4000 mg/kg, joista kolmella alalla pitoisuus oli yli 6000 mg/kg. Yhdellätoista havaintoalalla pitoisuus oli 2000–3000 mg/kg. Yhdelläkään havaintoalalla pitoisuus ei ollut alle 2100 mg/kg. Kalsiumpitoisuutta alle 2100 mg/kg pidetään kangasmaiden metsissä ankarana puutostilana, ja yli 3000 mg/kg pitoisuutta sopivana (ks. Laita ym. 2008).

Neulasten **kadmiumpitoisuuden** keskiarvo tutkimusalueella oli 0,08 mg/kg. Viidenneksellä aloista (21 havaintoalaa) pitoisuus oli alle 0,05 mg/kg. Noin kahdella kolmasosalla havaintoaloista (66 havaintoalaa)

pitoisuus oli 0,051–0,1 mg/kg. Kymmenellä alalla pitoisuus oli yli 0,1 mg/kg, joista suurin pitoisuus 0,27 mg/kg havaittiin Seinäjoella Törnäväntien varressa.

Kromipitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 0,67 mg/kg. Analyysin määritysraja 0,4 mg/kg alittui 18 havaintoalalla. Noin viidenneksellä havaintoaloista (18 havaintoalaa) pitoisuus oli 0,4–0,5 mg/kg. Noin puolella havaintoaloista (51 havaintoalaa) pitoisuus oli 0,51–1,0 mg/kg. Kymmenellä havaintoalalla pitoisuus oli yli 1,0 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet havaittiin Alavudella (1,9 mg/kg) ja Seinäjoen keskustan länsipuolella Kettukankaantien varrella (1,8 mg/kg).

Kuparipitoisuuden keskiarvo oli 2,57 mg/kg. Neulasten kuparipitoisuudelle kangasmaiden metsissä ei ole esitetty optimipitoisuusarvoa, mutta pitoisuudet 1,9–3,0 mg/kg on määritelty ankaraksi puutostilaksi (ks. Laita ym. 2008). Yli puolella havaintoaloista (53 havaintoalaa) pitoisuus oli enintään 2,5 mg/kg. Reilu kolmannes aloista (35 havaintoalaa) sijoittui luokkaan, jossa kuparipitoisuus oli 2,5–3 mg/kg. Muutamalla alalla (8 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 3–4 mg/kg. Ähtärissä sijaitsevalla havaintoalalla pitoisuus oli 5,3 mg/kg.

Neulasnäytteiden **magnesiumpitoisuuden** keskiarvo oli 1005 mg/kg. Lähes puolet havaintoaloista (43 havaintoalaa) sijoittui luokkaan 800–1000 mg/kg. Myös lähes puolet aloista (45 havaintoalaa) sijoittui luokkaan 1000–1200 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet esiintyivät Seinäjoen Kapernaumin ympäristössä (1240 mg/kg) ja Ilmajoella Kahmanmäellä (1290 mg/kg). Muutamalla alalla (8 havaintoalaa) pitoisuus oli välillä 600–800 mg/kg. Kangasmaiden metsien neulasten sopivaksi magnesiumpitoisuudeksi on esitetty 500–1000 mg/kg (ks. Laita ym. 2008).

Neulasnäytteiden **mangaanipitoisuuden** keskiarvo oli 411 mg/kg. Reilulla viidenneksellä havaintoaloista (22 havaintoalaa) pitoisuus oli alle 300 mg/kg. Reilu puolet havaintoaloista (53 alaa) sijoittui luokkaan, jossa pitoisuus oli 300–500 mg/kg. Viidennes aloista (20 havaintoalaa) sijoittui luokkaan, jossa pitoisuus oli 500–700 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Seinäjoella ampumaradan läheisyydessä (750 mg/kg) ja Seinäjoella keskusta-alueen eteläpuolella (980 mg/kg). Kangasmaiden metsien neulasten mangaanipitoisuuden ankan puutostilan rajaksi on määritetty < 7,0 mg/kg (ks. Laita ym. 2008).

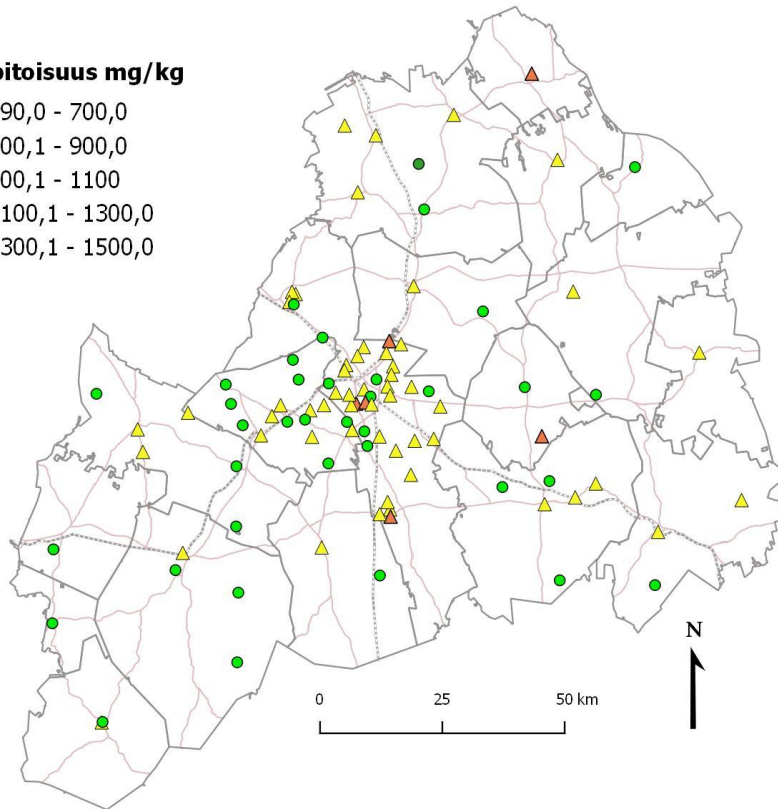
Nikkelipitoisuuden keskiarvo oli 0,6 mg/kg. Yhdellä alalla Kurikassa pitoisuus alitti määritysrajan 0,2 mg/kg. Valtaosa havaintoaloista (65 havaintoalaa) sijoittui luokkaan 0,4 – 0,8 mg/kg. Alle viidennes havaintoaloista (17 alaa) sijoittui luokkaan 0,2–0,4 mg/kg. Muutamalla alalla (9 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 0,8–1,0 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Seinäjoella Kasperin asuinalueen eteläpuolella (1,2 mg/kg) sekä Alavuden Lähteentiellä hautausmaan reunalla (1,6 mg/kg).

Rautapitoisuuden keskiarvo oli 59,3 mg/kg. Alle puolella havaintoaloista (41 havaintoalaa) pitoisuus oli enintään 50 mg/kg. Yli puolella (51 havaintoalaa) rautapitoisuus oli luokassa 50–100 mg/kg. Muutamalla alalla (4 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 100–150 mg/kg. Suurin rautapitoisuus mitattiin Seinäjoella Kasperin asuinalueen eteläpuolella (220 mg/kg). Kangasmaiden metsien neulasten rautapitoisuuden ankan puutostilan rajaksi on määritetty 27–30 mg/kg (ks. Laita ym. 2008).

Neulasnäytteiden **sinkkipitoisuuden** keskiarvo oli 45,8 mg/kg. Valtaosalla havaintoaloista (67 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 40–60 mg/kg. Noin neljäsosalla aloista (25 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 20–40 mg/kg. Muutamalla alalla (5 havaintoalaa) pitoisuus oli suurempi kuin 60 mg/kg. Suurin sinkkipitoisuus havaittiin Kauhajoen Aron teollisuusalueella (75 mg/kg). Kangasmaiden metsien neulasten sinkkipitoisuuden ankan puutostilan rajaksi on määritetty < 5,0 mg/kg (ks. Laita ym. 2008).

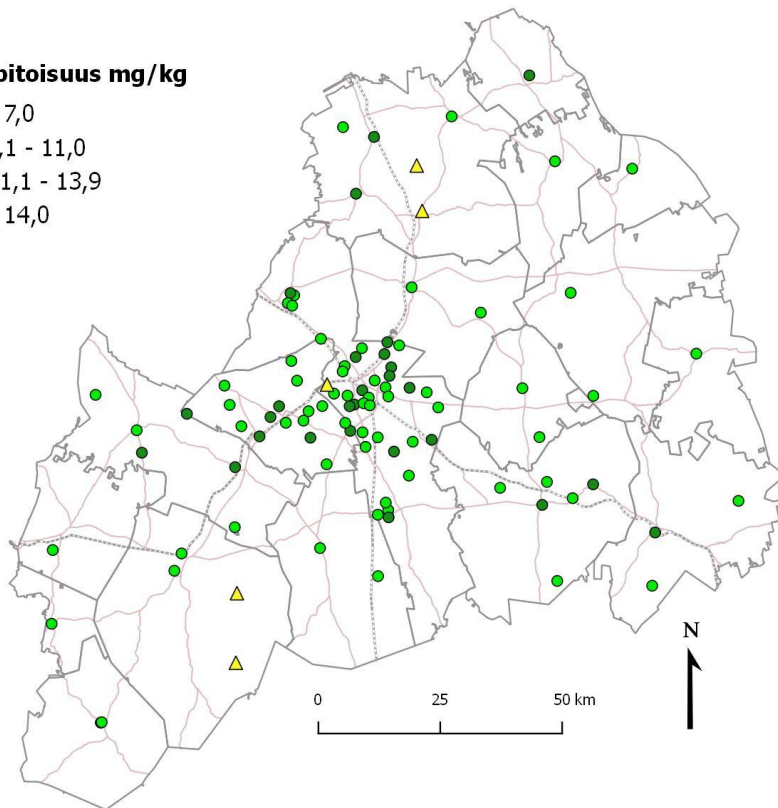
Rikkipitoisuus mg/kg

- 590,0 - 700,0
- 700,1 - 900,0
- ▲ 900,1 - 1100
- ▲ 1100,1 - 1300,0
- 1300,1 - 1500,0

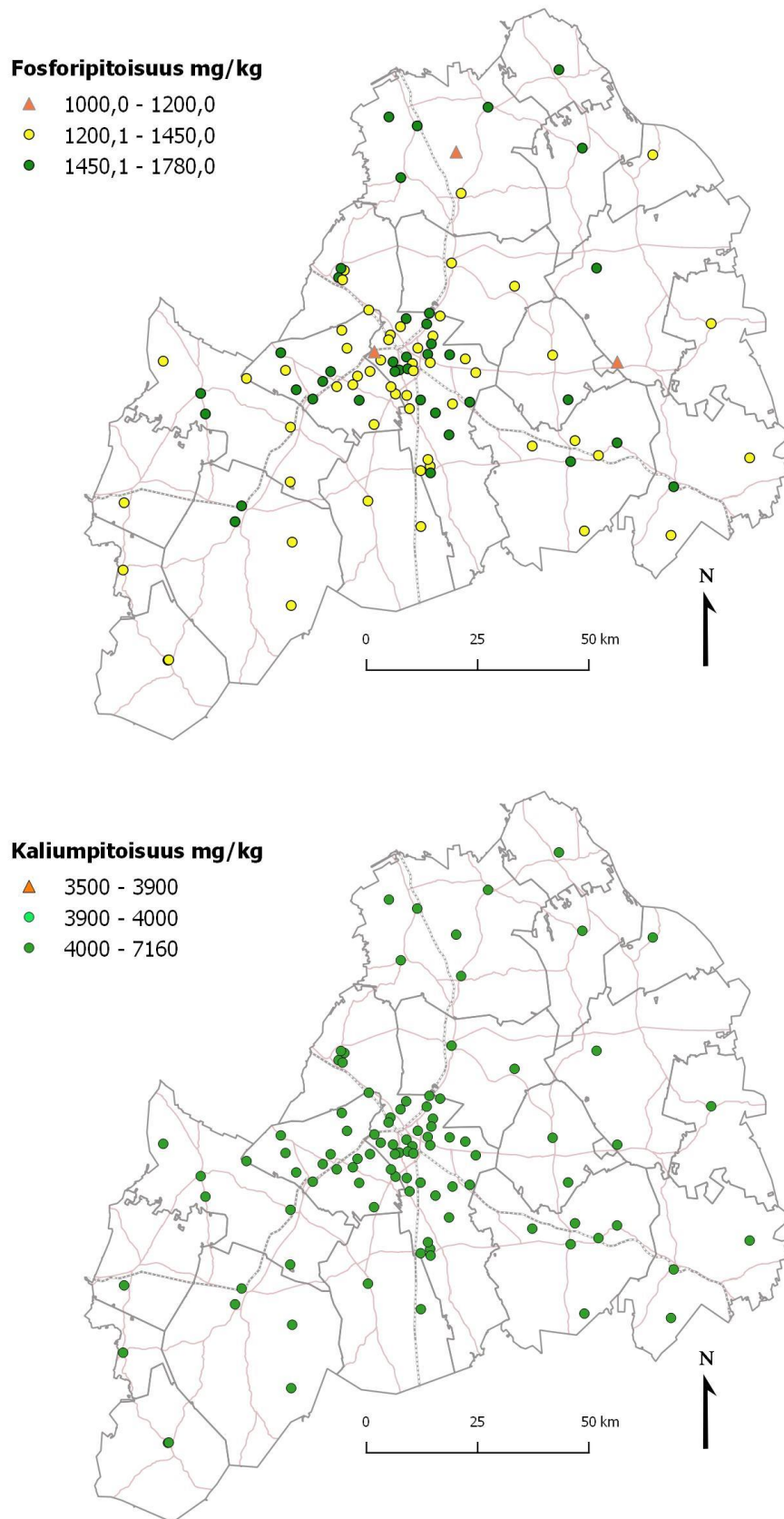


Typpipitoisuus mg/kg

- ▲ < 7,0
- ▲ 7,1 - 11,0
- 11,1 - 13,9
- ≥ 14,0



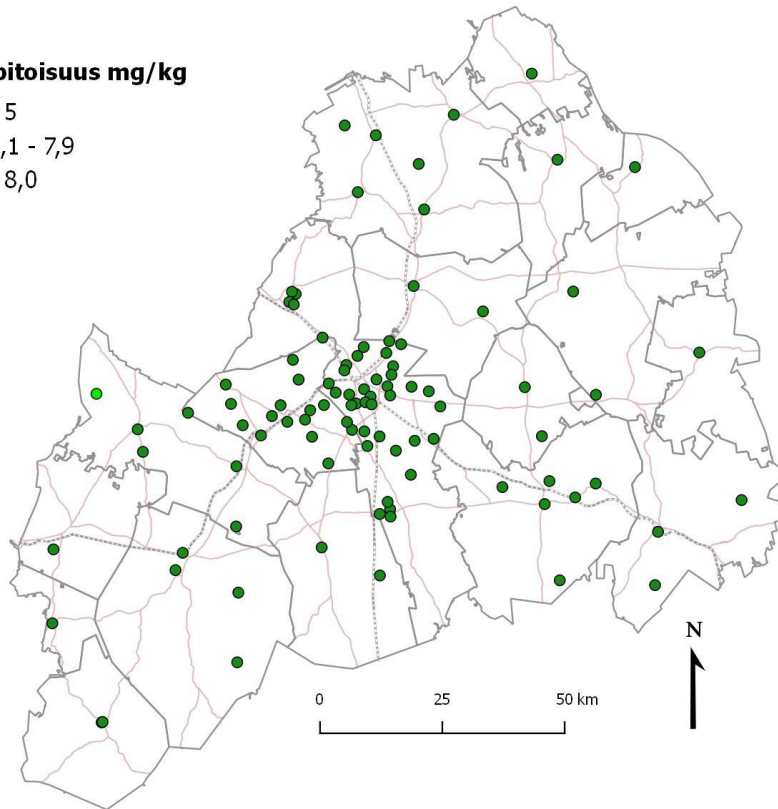
Kuva 4-14. Neulasnäytteiden rikki- ja typpipitoisuus tutkimusalueella keväällä 2017 (N = 97).



Kuva 4-15. Neulasnäytteiden fosfori- ja kaliumpitoisuus tutkimusalueella kevättalvella 2017 (N = 97).

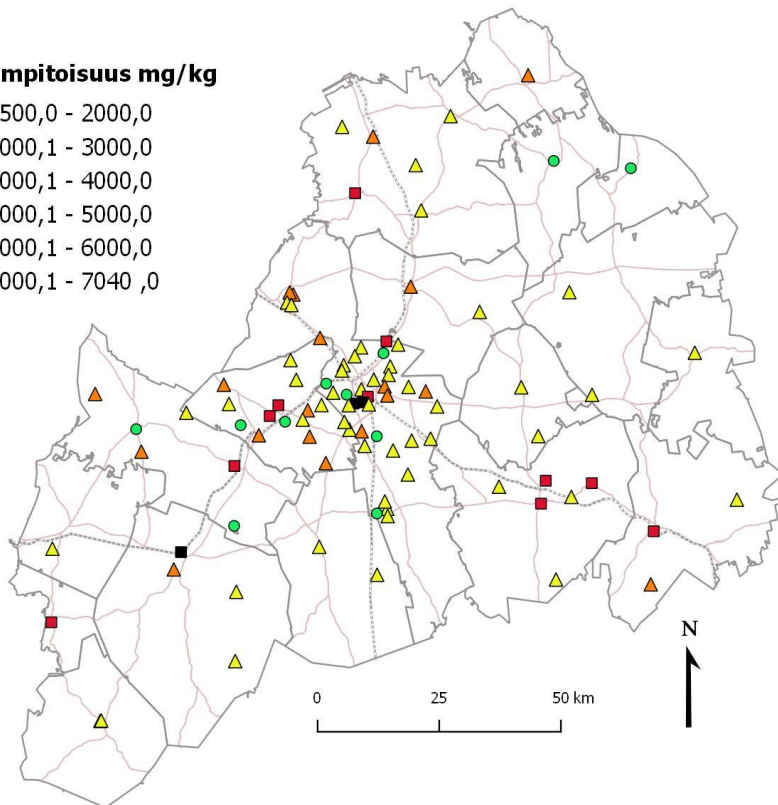
Booripitoisuus mg/kg

- ▲ ≤ 5
- 5,1 - 7,9
- ≥ 8,0



Kalsiumpitoisuus mg/kg

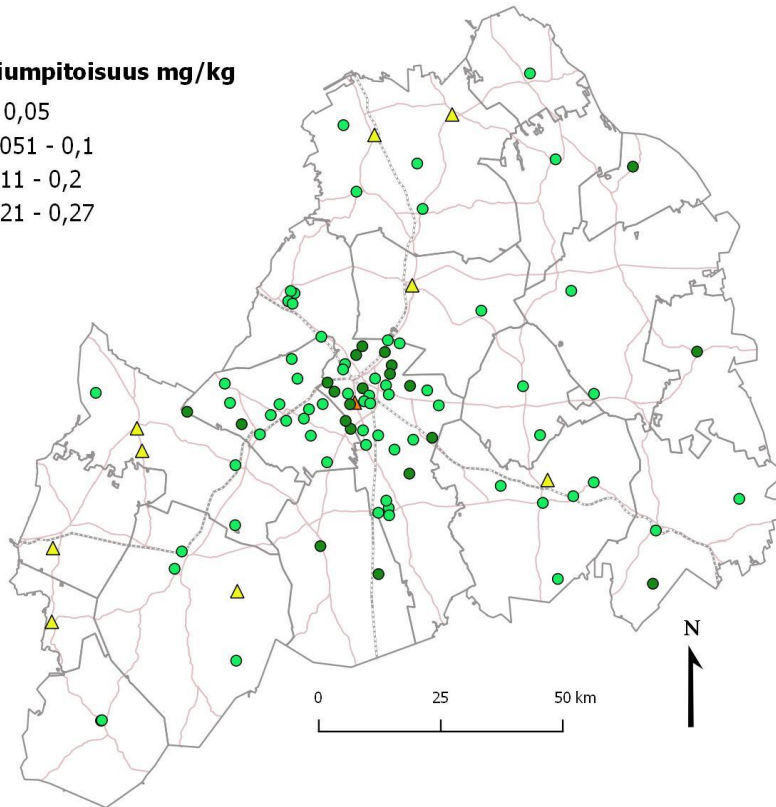
- 1500,0 - 2000,0
- 2000,1 - 3000,0
- ▲ 3000,1 - 4000,0
- ▲ 4000,1 - 5000,0
- 5000,1 - 6000,0
- 6000,1 - 7040,0



Kuva 4-16. Neulasnäytteiden boori- ja kalsiumpitoisuus tutkimusalueella kevättalvella 2017 (N = 97).

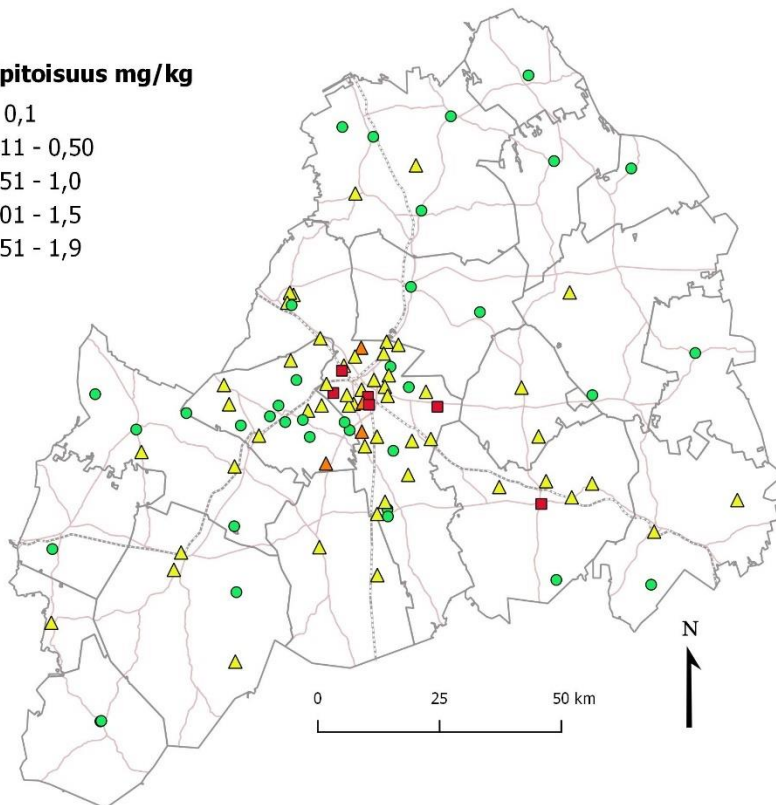
Kadmiumpitoisuus mg/kg

- $\leq 0,05$
- 0,051 - 0,1
- ▲ 0,11 - 0,2
- ▲ 0,21 - 0,27



Kromipitoisuus mg/kg

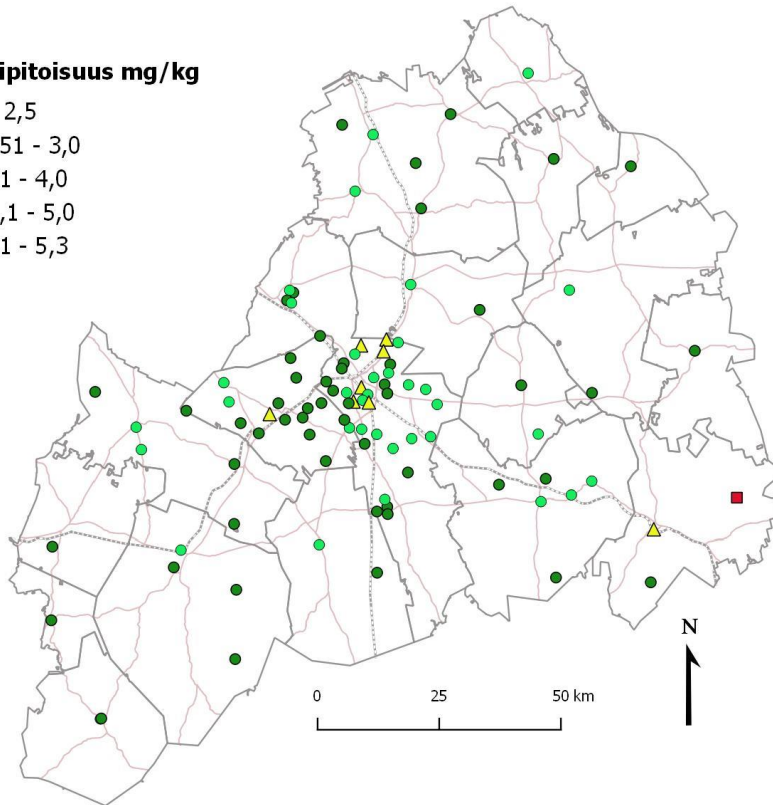
- $\leq 0,1$
- 0,11 - 0,50
- ▲ 0,51 - 1,0
- ▲ 1,01 - 1,5
- 1,51 - 1,9



Kuva 4-17. Neulasnäytteiden kadmium- ja kromipitoisuus tutkimusalueella kevättalvella 2017 (N = 97).

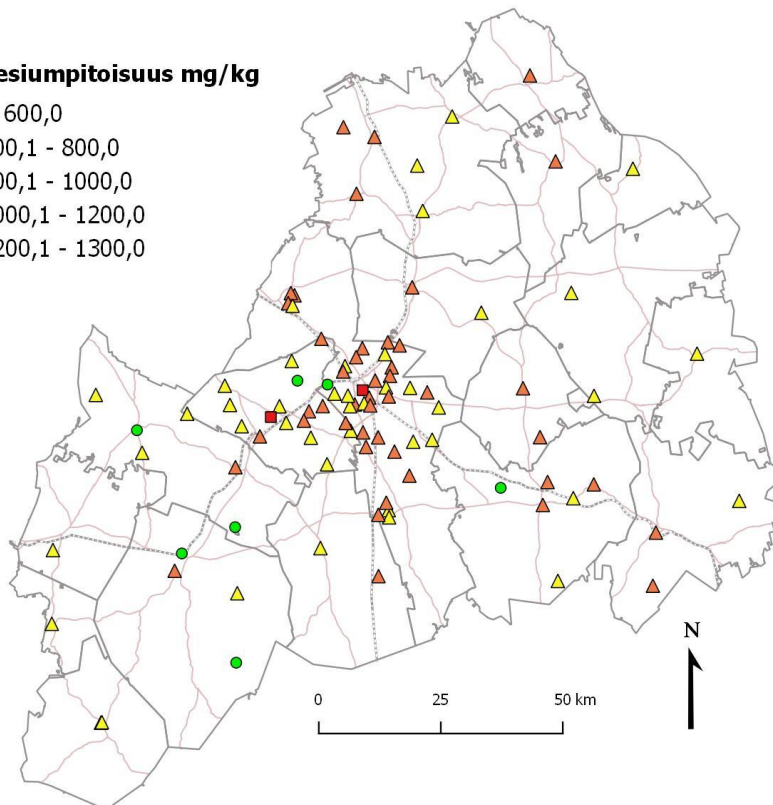
Kuparipitoisuus mg/kg

- ≤ 2,5
- 2,51 - 3,0
- ▲ 3,1 - 4,0
- ▲ 4,1 - 5,0
- 5,1 - 5,3



Magnesiumpitoisuus mg/kg

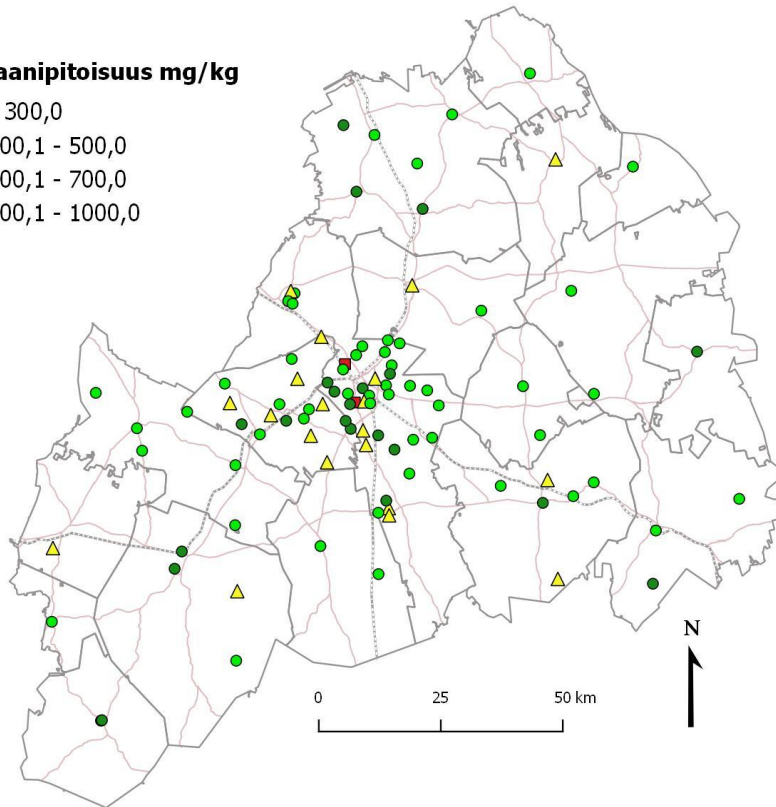
- ≤ 600,0
- 600,1 - 800,0
- ▲ 800,1 - 1000,0
- ▲ 1000,1 - 1200,0
- 1200,1 - 1300,0



Kuva 4-18. Neulasnäytteiden kupari- ja magnesiumpitoisuus tutkimusalueella kevättalvella 2017 (N = 97).

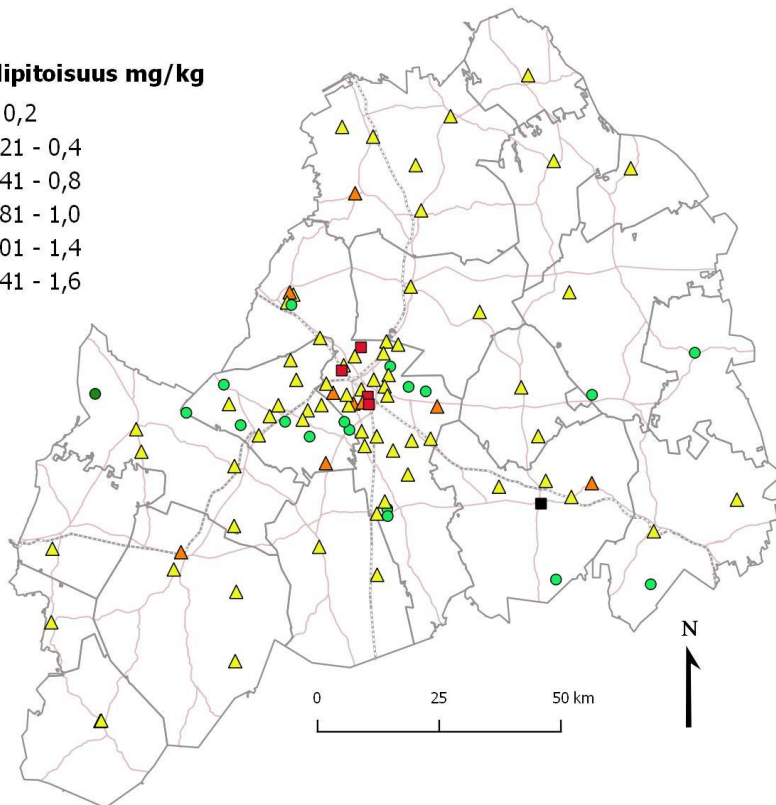
Mangaanipitoisuus mg/kg

- ≤ 300,0
- 300,1 - 500,0
- ▲ 500,1 - 700,0
- 700,1 - 1000,0



Nikkelipitoisuus mg/kg

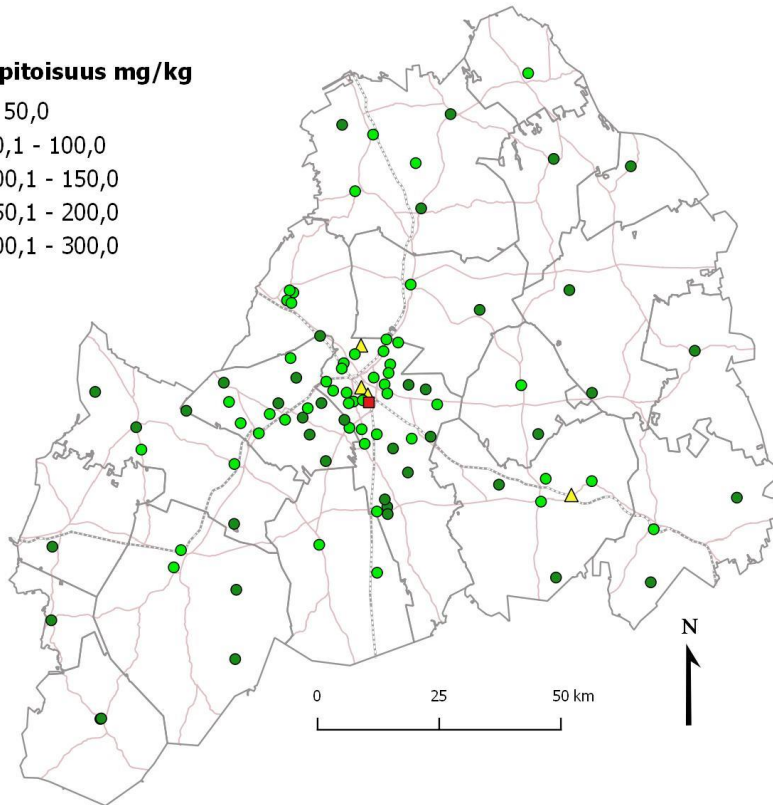
- ≤ 0,2
- 0,21 - 0,4
- ▲ 0,41 - 0,8
- ▲ 0,81 - 1,0
- 1,01 - 1,4
- 1,41 - 1,6



Kuva 4-19. Neulasnäytteiden mangaani- ja nikkelipitoisuus tutkimusalueella kevättalvella 2017 (N = 97).

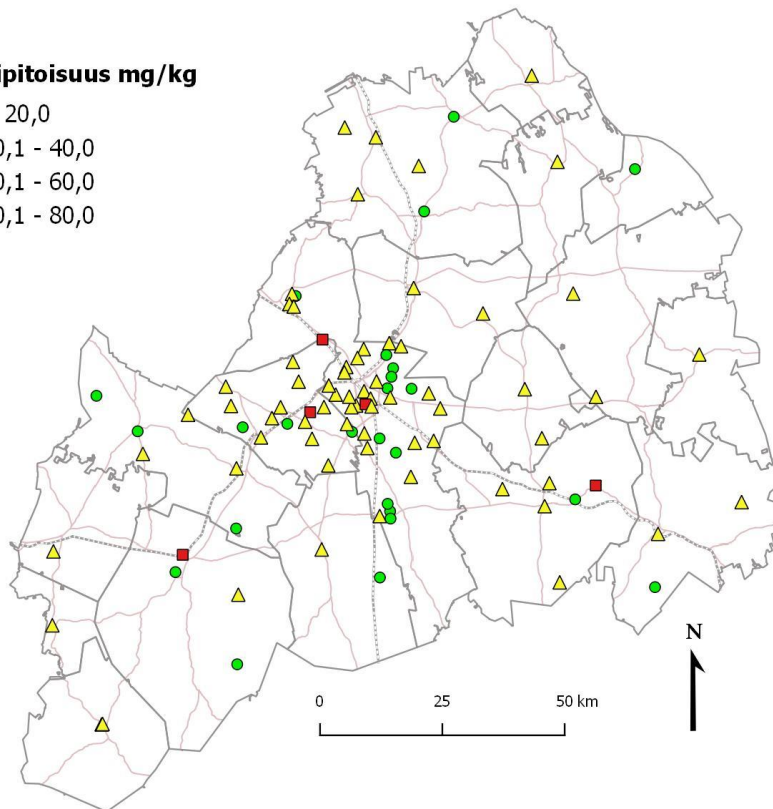
Rautapitoisuus mg/kg

- ≤ 50,0
- 50,1 - 100,0
- ▲ 100,1 - 150,0
- ▲ 150,1 - 200,0
- 200,1 - 300,0



Sinkkipitoisuus mg/kg

- ≤ 20,0
- 20,1 - 40,0
- ▲ 40,1 - 60,0
- 60,1 - 80,0



Kuva 4-20. Neulasnäytteiden rauta- ja sinkkipitoisuus tutkimusalueella kevättalvella 2017 (N = 97).

4.4 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 3-16).

Taulukko 3-16. Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta (N = 41).

	Al	As	B	Hg	P	Cd	K
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	407	0,70	1,92	0,031	1281	0,071	7381
pienin	80	0,06	0,9	<0,03	840	0,028	4660
suurin	2180	5,50	5,2	0,061	1930	0,180	11000
keskihajonta	476	1,11	1,00	0,005	275	0,025	1764

	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg	Mn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	2278	0,76	15,98	5,85	0,92	1374	258
pienin	1630	0,21	2,9	3,9	0,36	900	60
suurin	4250	3,10	68,0	11,0	3,20	2020	410
keskihajonta	533	0,71	16,03	1,88	0,54	264	83

	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	93	8,56	728	754	32,4	1,67
pienin	60	1,7	120	590	20	0,27
suurin	200	34,0	4300	1120	62	10,0
keskihajonta	29	7,91	916	127	10,2	2,14

Sammalnäytteiden **alumiinipitoisuuden** keskiarvo tutkimusalueella oli 407 mg/kg. Pitoisuudet olivat suurimmillaan Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä 1080–2180 mg/kg sekä Kapernaumin itäpuolella (1190 mg/kg). Alumiinipitoisuuksia 600–800 mg/kg mitattiin Kapernaumin teollisuusalueella ja sen itäpuolella sekä Kasperin asuinalueen itäpuolella. Yhteensä 14 havaintoalalla pitoisuudet olivat enintään 200 mg/kg. Matalin pitoisuus (80 mg/kg) havaittiin Keski-Nurmossa.

Arseenipitoisuuden keskiarvo oli 0,70 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (5,5 mg/kg ja 3,9 mg/kg). Kasperin asuinalueen itäpuolella sekä Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä havaittiin myös muita yli 2,0 mg/kg arseenipitoisuuksia. Kolmella havaintoalalla Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä, Kapernaumin itäpuolella sekä Nurmon taajaman koillispuolella Atrian teollisuusalueen ympäristössä pitoisuus oli luokassa 1,1–1,5 mg/kg. Muilta osin arseenipitoisuudet sijoittuivat luokkaan 0,051–1,0 mg/kg.

Elohopeapitoisuuden alitti määrittämissä $< 0,03$ mg/kg 38 havaintoalalla. Suurin pitoisuus 0,061 mg/kg mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä. Seuraavaksi korkeimmat elohopeapitoisuudet mitattiin Keski-Nurmossa ja Seinäjoen lentoaseman ympäristössä (0,33 ja 0,3 mg/kg).

Sammalnäytteiden **kadmiumipitoisuuden** keskiarvo oli 0,071 mg/kg. Suurin pitoisuus (0,18 mg/kg) mitattiin Soukkajoen asuinalueen eteläpuolella. Pitoisuudet sijoittuivat luokkaan 0,071–0,14 mg/kg yhteensä 16 havaintoalalla. Yli puolella aloista (24 havaintoalalla) pitoisuus oli enintään 0,07 mg/kg. Pienin pitoisuus (0,028 mg/kg) mitattiin Nurmon taajama-alueen koillispuolella.

Kromipitoisuuden keskiarvo oli 15,98 mg/kg. Pitoisuuksissa havaittiin suurta vaihtelua. Suurimmat pitoisuudet sijoittuivat Kapernaumin teollisuusalueen ympäristöön (68 mg/kg, 60 mg/kg ja 57 mg/kg). Kapernaumin teollisuusalueen itäpuolella ja Kasperin asuinalueen itäpuolella pitoisuudet olivat luokassa 30–50 mg/kg. Muutamalla Kapernaumin teollisuusalueelle ja sen itäpuolelle sekä Soukkajoen asuinalueen eteläpuolelle sijoittuvalla havaintoalalla (4 alaa) pitoisuus oli 20–30 mg/kg. Yli puolella havaintoaloista pitoisuus oli luokassa 5,1–10,0 mg/kg (18 havaintoalaa) tai luokassa 10,1–20,0 mg/kg (7 havaintoalaa). Muutamalla havaintoalalla (6 alaa) pitoisuus oli 2,9–5 mg/kg.

Kuparipitoisuuden keskiarvo tutkimusalueella oli 5,85 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (8,1–11 mg/kg), Kasperin asuinalueen itäpuolella (9,5 mg/kg) sekä Ilmajoen jätehuoltokeskuksen itäpuolella (9,9 mg/kg). Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä ja itäpuolella, Kyrkösjärven itärannalla ja Nurmon taajama-alueen koillispuolella havaittiin pitoisuuksia luokassa 6,1–8,0 mg/kg. Yli puolella aloista (26 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 4,1–6,0 mg/kg. Pienimmät pitoisuudet (≤ 4 mg/kg) mitattiin Nurmon taajama-alueen itäpuolella sekä lentokentän ympäristössä.

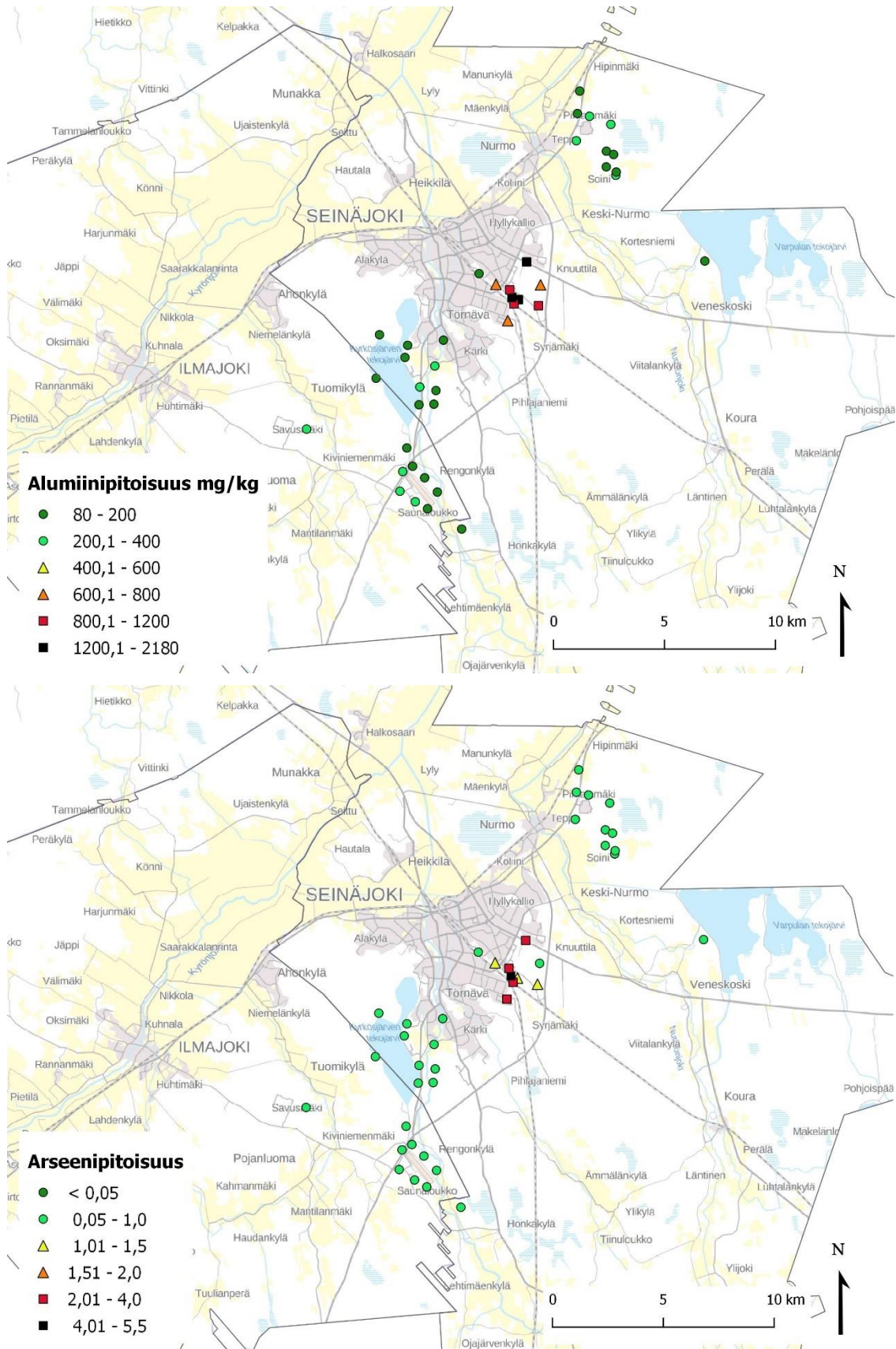
Lyijypitoisuuden keskiarvo oli 0,92 mg/kg. Suurimmat lyijypitoisuudet mitattiin Ilmajoen jätehuoltokeskuksen itäpuolella (3,2 mg/kg) ja Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (1,9 mg/kg). Muilta osin lyijypitoisuudet olivat alle 1,5 mg/kg.

Nikkelipitoisuuden keskiarvo oli 8,56 mg/kg. Suurimmat nikkelipitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (34 mg/kg, 30 mg/kg, 29 mg/kg ja 22 mg/kg). Kapernaumin teollisuusalueen ympäristön lisäksi Kapernaumin itäpuolella, Kasperin asuinalueen itäpuolella sekä Soukkajoen asuinalueen eteläpuolella havaittiin pitoisuuksia luokassa 12,0–20,0 mg/kg (5 havaintoalaa). Nurmon taajama-alueen itäpuolella, Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä ja itäpuolella sekä Kyrkösjärven länsirannalla pitoisuudet olivat luokassa 8,0–12,0 mg/kg (4 havaintoalaa). Kyrkösjärven itärannalla ja lentoaseman ympäristössä esiintyi pitoisuuksia luokassa 6,0–8,0 mg/kg (3 havaintoalaa). Yli puolella aloista (26 havaintoalaa) pitoisuus oli luokassa 1,7–6,0 mg/kg.

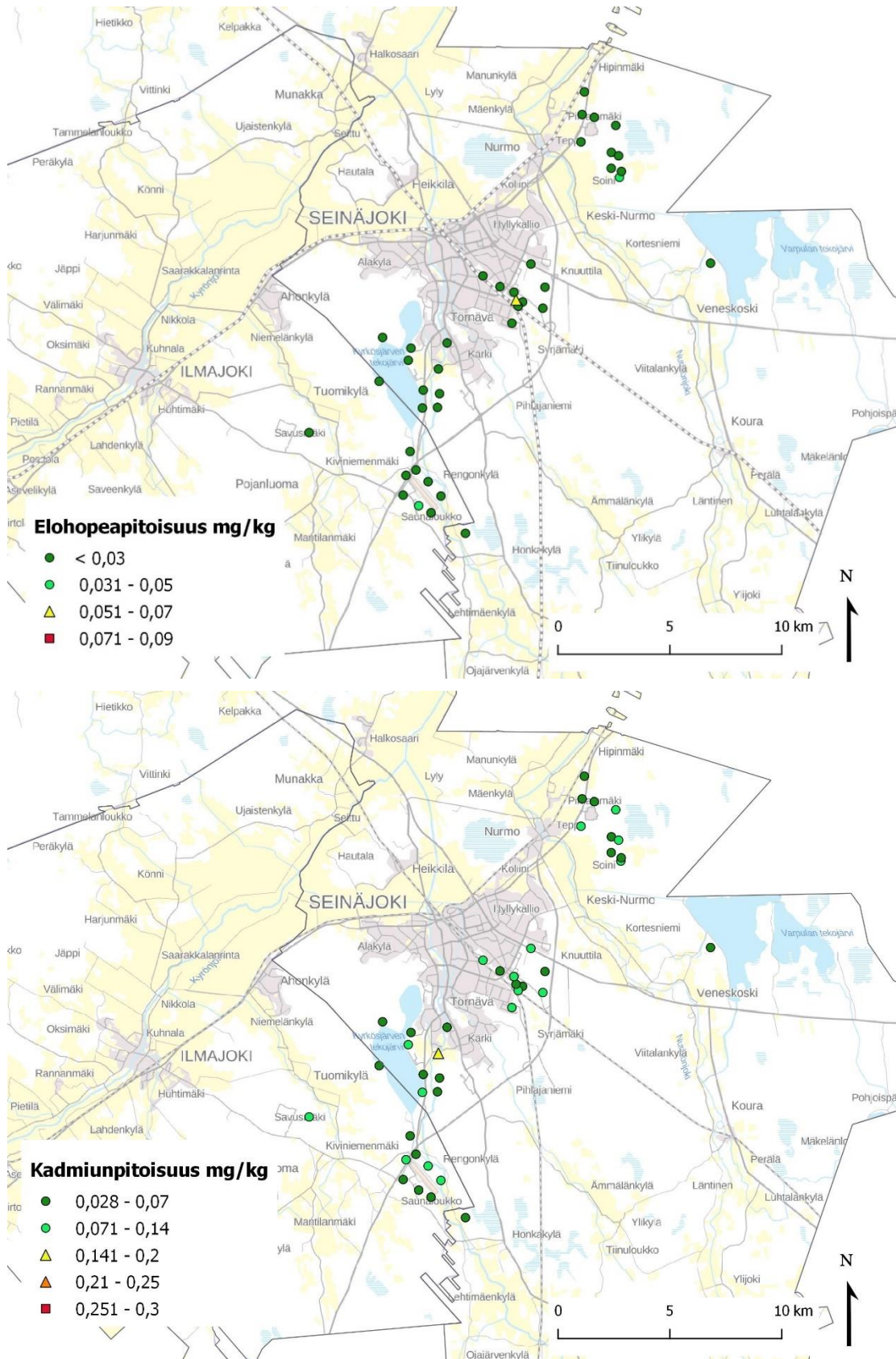
Rautapitoisuuden keskiarvo oli 728 mg/kg. Suurimmat rautapitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä ja Kapernaumin itäpuolella (1830–4300 mg/kg) (6 havaintoalaa). Muutamalla alalla pitoisuus vaihteli luokassa 500–1000 mg/kg (4 havaintoalaa) ja luokassa 1000–1600 mg/kg (3 havaintoalaa). Neljäsosalla havaintoaloista pitoisuus oli luokassa 300–500 mg/kg (9 alaa) ja lähes puolella havaintoaloista luokassa 120–300 mg/kg (19 havaintoalaa). Pienimmät pitoisuudet mitattiin Nurmon taajama-alueen itäpuolella ja Hirvijärven tekojärven länsirannalla.

Rikkipitoisuuden keskiarvo oli 754 mg/kg. Kolmea havaintoalaa lukuun ottamatta pitoisuudet sijoittuivat luokkaan 600–1000 mg/kg (38 havaintoalaa). Suurin rikkipitoisuus mitattiin Nurmon taajaman koillispuolella Atrian teollisuusalueen ympäristössä (1200 mg/kg). Yksittäiset enintään 600 mg/kg:n pitoisuudet mitattiin lentokentän ympäristössä ja Nurmon taajama-alueen koillispuolella.

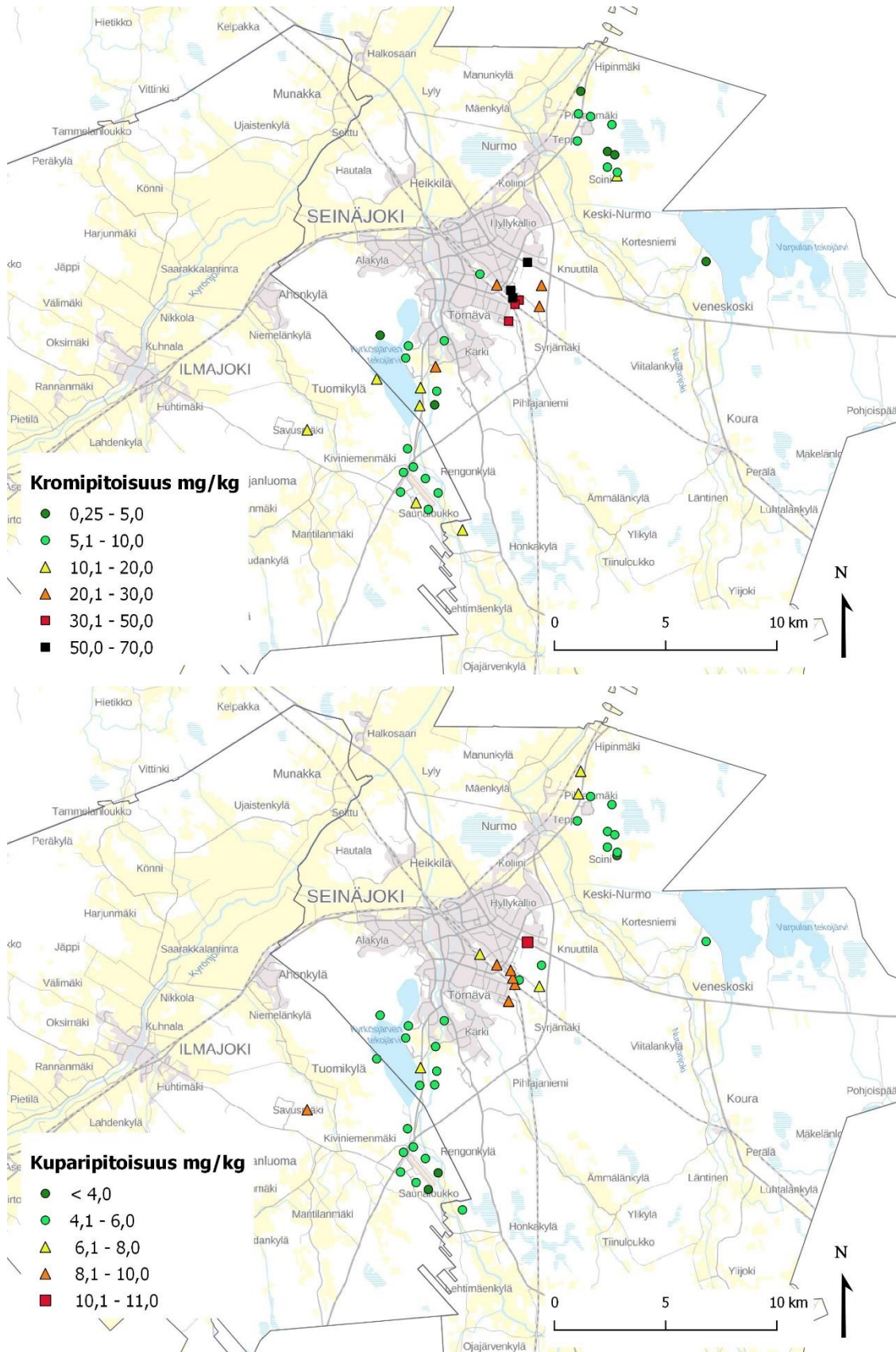
Sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 32,4 mg/kg. Suurimmat pitoisuudet mitattiin Kapernaumin teollisuusalueen ympäristössä (51–62 mg/kg), Kasperin asuinalueen itäpuolella (54 mg/kg) ja Soukkajoen asuinalueen eteläpuolella (51 mg/kg). Korkeampia pitoisuuksia esiintyi myös Kapernaumin teollisuusalueen ympäristön lisäksi Kapernaumin itäpuolella ja Ilmajoen jätehuoltokeskuksen itäpuolella (40–50 mg/kg) (4 havaintoalaa). Yli puolella havaintoaloista pitoisuudet olivat alle 30 mg/kg (25 havaintoalaa).



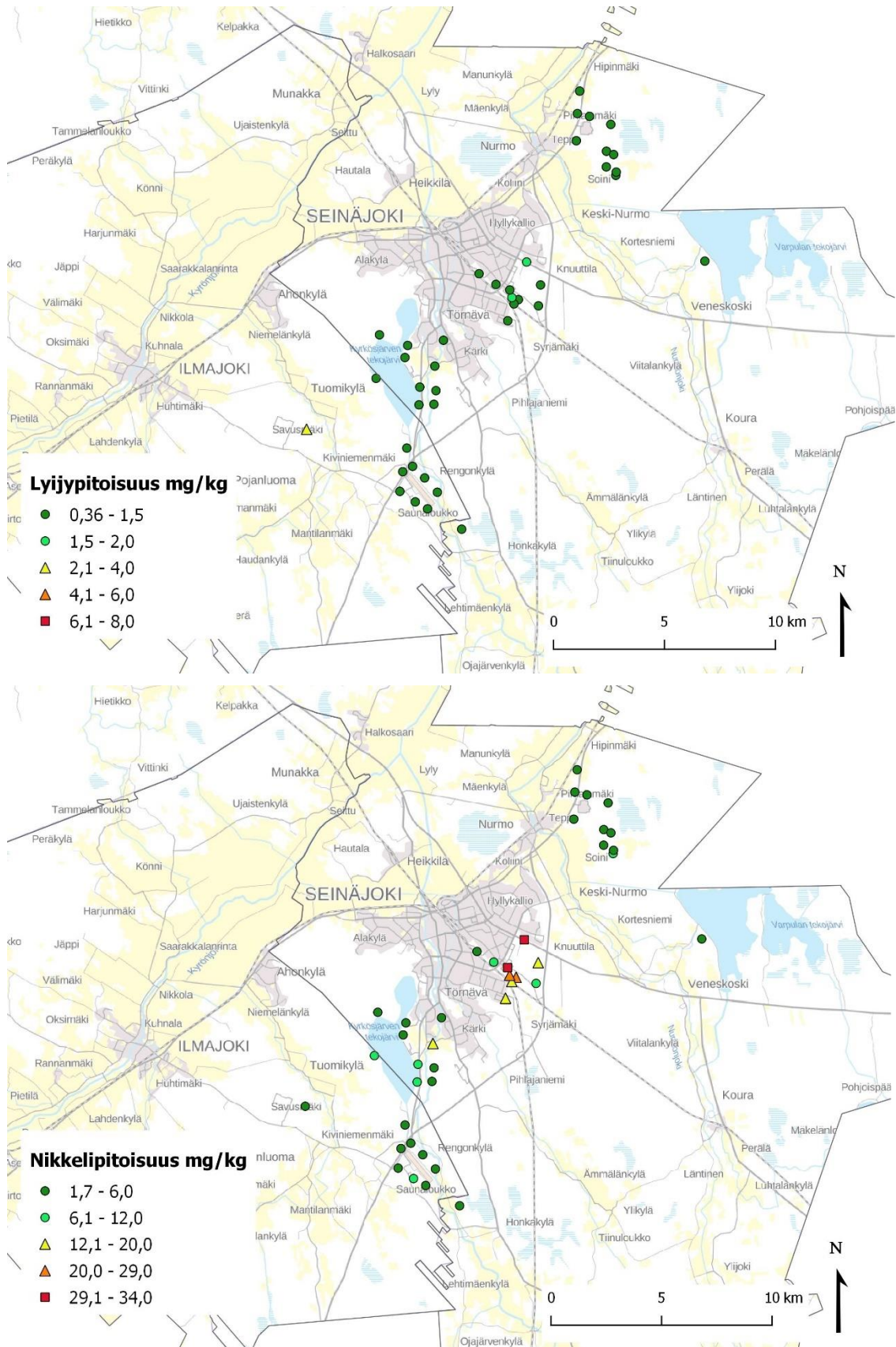
Kuva 4-21. Sammalnäytteiden alumiini- ja arseenipitoisuus tutkimusalueella loppukesällä 2017 (N = 41).



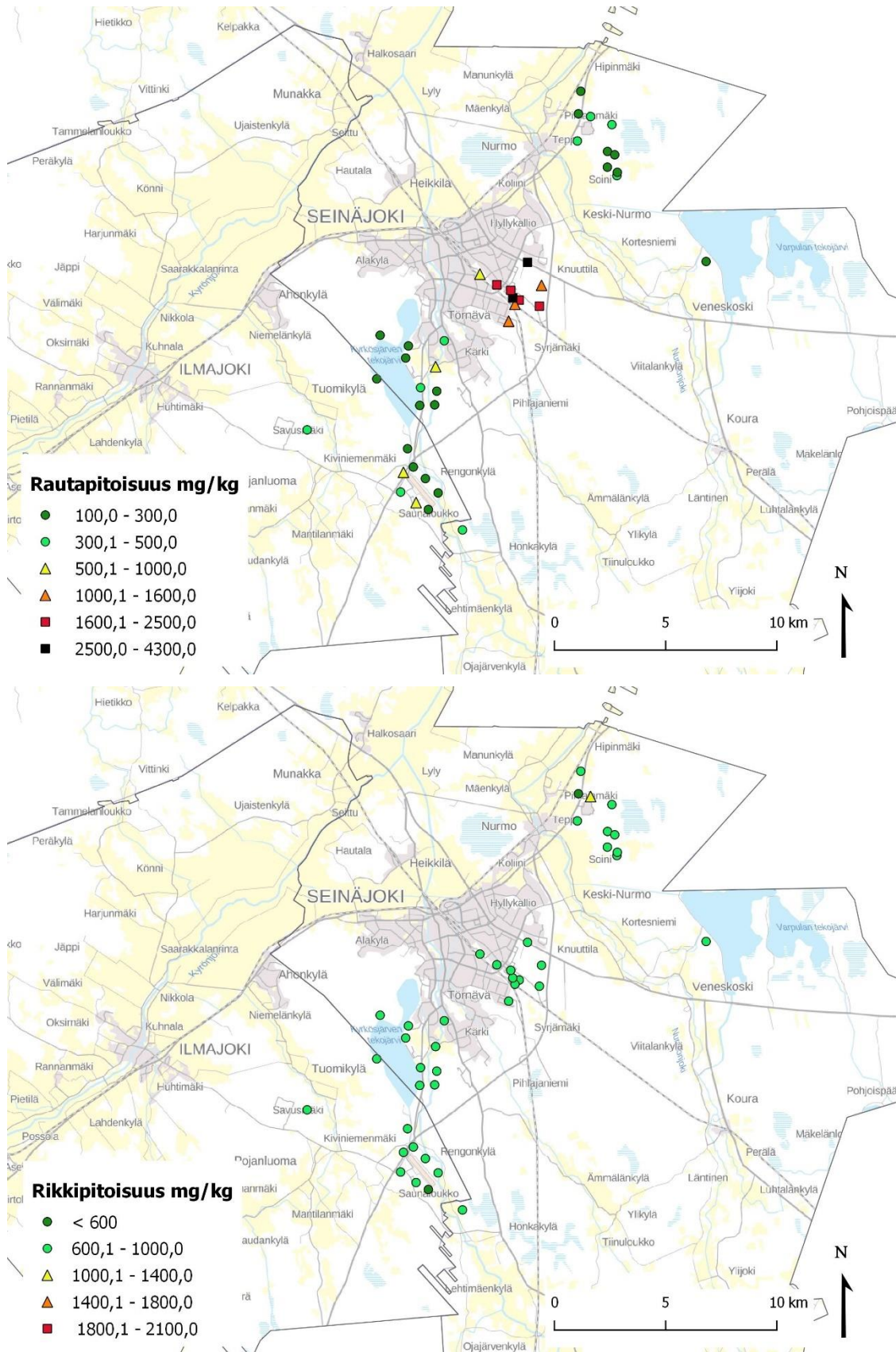
Kuva 4-22. Sammalnäytteiden elohopea- ja kadmiumpitoisuus tutkimusalueella loppukesällä 2017 (N = 41).



Kuva 4-23. Sammalnäytteiden kromi- ja kuparipitoisuus tutkimusalueella loppukesällä 2017 (N = 41).



Kuva 4-24. Sammalnäytteiden lyijy- ja nikkelpitoisuus tutkimusalueella loppukesällä 2017 (N = 41).

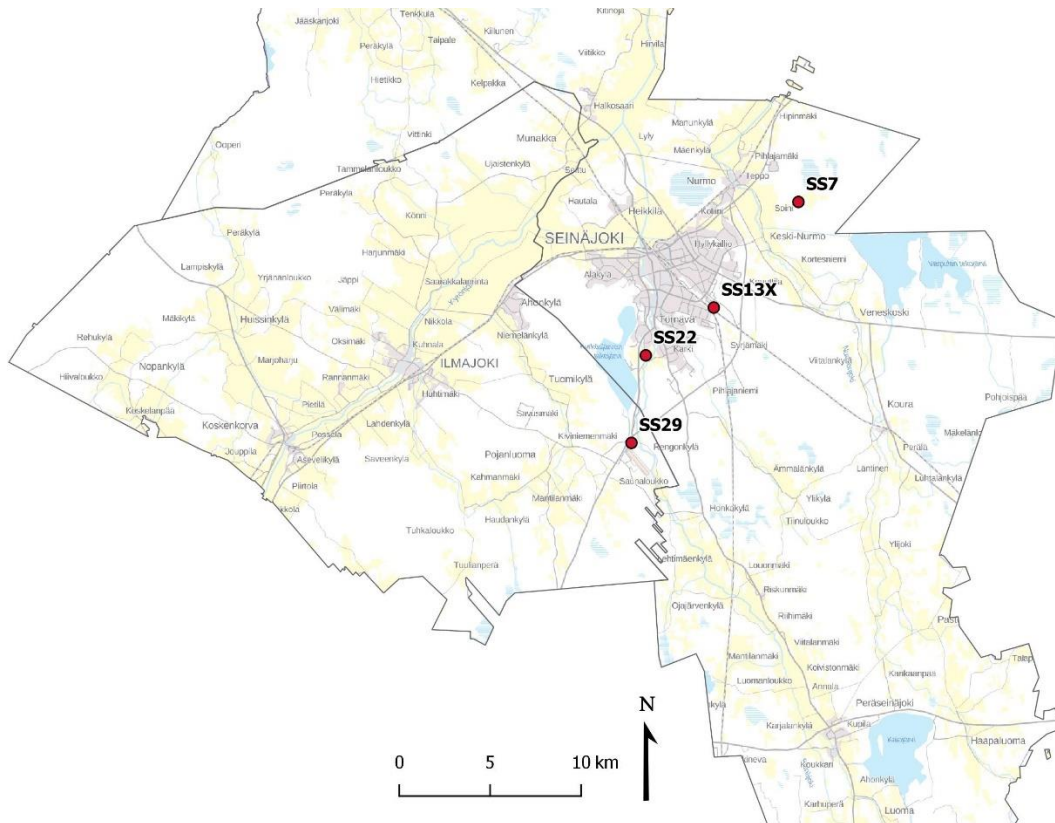


Kuva 4-25. Sammalnäytteiden rauta- ja rikkipitoisuus tutkimusalueella loppukesällä 2017 (N = 41).

4.5 Sammalpallojen alkuainepitoisuudet

Sammalpallonäytteiden alkuainepitoisuudet on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 3-17). Osalla havaintoaloista sammalpaloista analysoidut pitoisuudet olivat pienempiä kuin nollapallojen pitoisuudet, mikä johtui pääasiassa mittausepävarmuuksista johtuvasta vaihtelusta. Tällöin pitoisuudeksi on ilmoitettu 0 mg/kg/30d.

Alumiinin, arseenin, kaliumin, koboltin, kromin, kuparin, lyijyn, magnesiumin, mangaanin, nikkelin, raudan ja vanadiinin osalta suurimmat pitoisuudet mitattiin havaintoalalla SS13, joka sijaitsee Kapernaumin teollisuusalueen välittömässä läheisyydessä. Kyrkösjärven läheisyydessä sijaitsevalla havaintoalalla SS22 mitattiin suurimmat boorin, fosforin, kalsiumin, natriumin ja rikin pitoisuudet. Lentokentän läheisyydessä sijaitsevalla havaintoalalla SS29 mitattiin ainoastaan sinkin osalta suurin pitoisuus.



Kuva 4-27. Sammalpalojen sijainti Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla.

Taulukko 3-17. Sammalpalojen alkuainepitoisuudet (mg/kg/30d).

	Al	As	B	Hg	P	Cd	K
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	45	0,12	0,043	0	1,2	0	12
pienin	10	0,02	0	0	0	0	0
suurin	90	0,21	0,173	0	4,7	0	23
keskihajonta	34	0,08	0,087	0	2,3	0	11

	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg	Mn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	22	0,047	1,35	0,012	0,082	35	2,03
pienin	0	0,011	0,42	0	0,056	10	0,56
suurin	52	0,084	2,25	0,047	0,113	62	3,00
keskihajonta	26	0,030	0,88	0,023	0,024	21	1,10

	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	12	0,30	91	13	1,24	0,21
pienin	0	0	28	0	0,42	0,06
suurin	42	0,57	169	42	2,02	0,38
keskihajonta	20	0,24	59	20	0,69	0,14

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Taustamuuttujien vaikutus ja muuttujien välinen riippuvuus

Taustamuuttujat ovat muuttujia, jotka eivät kuvaa ilmanlaatua, mutta saattavat vaikuttaa ilmanlaadusta kertoviin muuttujiin. Luokiteltuja taustamuuttujia olivat tutkimuksessa mm. metsikön soveltuvuus kartoitukseen, metsätyyppi ja puuston kehitysluokka.

Tutkimusmetsän soveltuvuudella oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sormipaisukarpeen peittävyysasteeseen ja neulasten typpipitoisuuteen. Sormipaisukarpeen peittävyysaste näyttävät olleen keskimäärin korkeampia kohtalaisesti soveltuvilla havaintoaloilla kuin hyvin soveltuvilla aloilla. Myös neulasten typpipitoisuus oli keskimäärin hieman korkeampi kohtalaisesti soveltuvilla havaintoaloilla.

Metsätypillä oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sormipaisukarpeen vaurioasteeseen ja yleiseen vaurioasteeseen, lajimäärään, ilmanpuhtausindeksiin, leväpeitteeseen ja neulasten typpipitoisuuteen. Jäkälälajisto oli keskimäärin jossain määrin vaurioituneempaa muu-luokkaan kuuluvissa puistomaisissa metsissä sekä mustikkatypin tuoreen (MT) kankaan metsissä kuin kuivan (CT) ja kuivahkon (VT) kankaan metsissä. Kuivan (CT) ja kuivahkon (VT) kankaan metsissä oli keskimäärin enemmän lajeja kuin mustikkatypin (MT) metsissä. Ilmanpuhtausindeksi oli myös parempi kuivemmissä metsätyypeissä. Leväpeitettä esiintyi eniten mustikkatypin (MT) sekä muu-luokkaan kuuluvissa metsissä ja vähiten kuivahkon (VT) kankaan metsissä. Neulasten typpipitoisuus oli keskimäärin korkeampi mustikkatypin (MT) sekä muu-luokkaan kuuluvissa metsissä. Tuoreen kankaan metsiä esiintyy tutkimusalueella erityisesti kuormitetuilla taajama-alueilla, millä on todennäköisesti vaikutusta jäkälälajiston kuntoon, leväpeitteen esiintymiseen sekä neulasten typpipitoisuuteen.

Tutkimusmetsän kehitysluokalla oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sormipaisukarpeen vaurioasteeseen ja peittävyysasteeseen sekä neulasten typpipitoisuuteen. Sormipaisukarpe oli keskimäärin vähemmän vaurioitunut ja peittävyys korkeampi kehitysluokaltaan varttuneissa metsissä kuin kypsissä metsissä. Neulasten typpipitoisuus oli keskimäärin korkeampi kypsissä metsissä. Kehitysluokaltaan kypsiä metsiä kasvoi erityisesti taajama-alueilla, jotka ovat osin kuormitetuimpia alueita.

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

Tarkasteltu muuttuja	Soveltuvuus		Metsätyyppi			Kehitysluokka	
	Kruskal-Wallis		Kruskal-Wallis			Kruskal-Wallis	
	testisuure	p	testisuure	p		testisuure	p
Sormipaisukarpeen vaurioaste	0,094	0,759	15,571	0,001	***	5,933	0,015 *
Yleinen vaurioaste	0,510	0,475	15,947	0,001	***	2,199	0,138
Lajimäärä	0,014	0,906	14,839	0,002	**	1,147	0,284
Ilmanpuhtausindeksi (IAP)	0,042	0,837	14,942	0,002	**	3,124	0,077
Sormipaisukarpeen peittävyys, %	5,446	0,020 *	1,101	0,777		5,095	0,024 *
Sormipaisukarpeen peitt., frekv.	5,800	0,016 *	0,402	0,940		6,309	0,012 *
Levän peittävyys, %	3,798	0,051	14,985	0,002	**	3,133	0,077
N, g/kg	4,486	0,034 *	10,323	0,016 *	*	4,029	0,045 *
S, mg/kg	1,932	0,164	6,415	0,093		2,935	0,087

Muuttujien välisiä riippuvaisuuksia tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla (Taulukko 5-2). Yli 0,3 positiivisia korrelaatioita (jolloin molempien muuttujien arvot kasvavat) havaittiin yleisen vaurioasteen ja sormipaisukarpeen vaurioasteen välillä, lajilukumäärän ja IAP-indeksin välillä sekä yleisen vaurioasteen ja neulasten typpipitoisuuden välillä. Myös levän peittävyden havaittiin korreloivan puiden iän, sormipaisukarpeen ja yleisen vaurioasteen sekä neulasten typpi- ja rikki-pitoisuuden kanssa. Lajilukumäärän ja IAP-indeksin sekä eri vaurioasteiden liittyminen toisiinsa oli odotettua. Levän peittävyys oli sitä suurempi mitä iäkkäämpiä puita havaintoalalla keskimäärin esiintyi, mitä vaurioituneempia rungoilla esiintyvät jäkälät olivat ja mitä enemmän neulasissa havaittiin tyypeä ja rikkiä. Levän esiintymiseen vaikutti siis havaintoalan altistuminen ilman epäpuhtauksille. Levän ja neulasten rikki- ja typpipitoisuuksien väliset riippuvuudet olivat odotettuja. Myös jäkälälajien vaurioituneisuuden kasvaminen rikki- ja typpipitoisuuksien lisääntyessä oli odotettua.

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

Taulukko 5-2. Muuttujien väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet. Välillä -0,3–0,3 korrelaatioita ei yleisesti katsota merkitykselliseksi.

	Pohja- pinta- ala	Pituus	Ikä	Läpi- mitta	Sormip. vaur.	Yleinen vaur.	Laji-lkm	IAP	Sormip. peitt.	Sormip. pistefr.	N, g/kg	S, mg/ kg
Pohjapinta- ala	1											
Pituus	0,091	1										
Ikä	-0,108	0,243	1									
Läpimitta	-0,239	0,228	0,462	1								
Sormip. vaur.	0,083	0,171	0,296	0,196	1							
Yleinen vaur.	-0,036	0,099	0,176	0,131	0,719	1						
Laji- lkm	-0,118	-0,140	-0,090	0,087	-0,477	-0,556	1					
IAP	-0,016	-0,153	-0,092	0,096	-0,507	-0,674	0,887	1				
Sormip. peitt.	0,011	-0,062	-0,166	0,089	-0,406	-0,211	0,134	0,186	1			
Sormip. pistefr.	0,064	0,025	-0,241	0,071	-0,458	-0,264	0,144	0,219	0,926	1		
N, g/kg	-0,084	0,272	0,215	0,262	0,205	0,301	-0,086	-0,090	0,063	0,070	1	
S, mg/kg	-0,130	0,216	0,220	0,254	0,209	0,234	-0,049	-0,087	0,089	0,062	0,794	1
Levä peitt.	-0,079	0,126	0,329	0,219	0,605	0,564	-0,385	-0,427	-0,284	-0,312	0,449	0,372

Neulasten alkuainepitoisuuksissa todettiin positiivisia korrelaatioita typen ja fosforin, typen ja kuparin, fosforin ja kuparin, fosforin ja rikin, kromin ja nikkelin, kromin ja raudan, kuparin ja rikin sekä nikkelin ja raudan kesken (Taulukko 5-3). Neulasista analysoitujen raskasmetallipitoisuuksien välillä havaitut tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet viittaavat siihen, että neulasiin päätyvillä raskasmetalleilla on yhteinen päästölähde, kuten teollisuus tai liikenne. 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.

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

	N g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	P mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Fe mg/kg	S mg/kg
N, g/kg	1												
B, mg/kg	0,264	1											
Cd, mg/kg	-0,040	0,071	1										
K, mg/kg	0,176	0,133	0,053	1									
Ca, mg/kg	0,227	0,176	0,520	-0,204	1								
P, mg/kg	0,746	0,214	0,066	0,368	0,239	1							
Cr, mg/kg	0,100	0,216	0,112	-0,050	0,296	0,114	1						
Cu, mg/kg	0,557	0,261	0,134	0,082	0,219	0,562	0,405	1					
Mg, mg/kg	0,255	0,322	0,041	-0,174	0,336	0,240	0,220	0,250	1				
Mn, mg/kg	-0,056	-0,035	0,435	-0,241	0,259	-0,095	0,048	0,020	-0,003	1			
Ni, mg/kg	0,132	0,150	0,348	0,133	0,353	0,233	0,713	0,348	0,197	0,157	1		
Fe, mg/kg	0,293	0,333	0,090	-0,061	0,291	0,183	0,621	0,414	0,379	-0,002	0,514	1	
S, mg/kg	0,794	0,230	-0,003	0,109	0,234	0,806	0,247	0,711	0,349	-0,052	0,236	0,319	1
Zn, mg/kg	0,030	0,336	0,440	-0,095	0,438	0,063	0,320	0,337	0,338	0,282	0,301	0,384	0,149

5.2 Vertailu alueella aiemmin toteutettuihin tutkimuksiin

Tässä luvussa vertaillaan vuoden 2017 tuloksia alueella aiemmin laadittujen bioindikaattoritutkimusten tuloksiin.

Vuoden 2017 tutkimuksessa hyödynnettiin vuoden 2012 havaintoalaverkostoa kokonaisuudessaan. Tämän lisäksi havaintoalaverkoston sisällytettiin kaksi Lappajärvelle ja Evijärvelle sijoittuvaa alaa, jotka kuuluivat vuonna 2006–2007 toteutettuun tutkimukseen.

Vuosina 1990, 1995 ja 2000 tutkimus toteutettiin Seinäjoen, Nurmon, Ilmajoen ja Ylistaron alueilla, mistä johtuen vuoksi vertailu vuonna 2012 koski vain kyseisillä alueilla sijaitsevia havaintoaloja (Kuva 5-1).

Verrattaessa tutkimusvuoteen 2006–2007, vuoden 2012 tutkimuksessa havaintoaloja ei sijoitettu Lappajärven tai Evijärven kuntien alueelle. Tutkimusalue oli puolestaan laajentunut Vimpelin, Alajärven ja Isojoen kuntien osalta. Lisäksi vuoden 2012 tutkimuksessa olivat mukana Teuvan ja Karijoen alueilla sijaitsevat havaintoalat, jotka kuuluivat vuonna 2006–2007 Suupohjan alueella toteutettuun bioindikaattoritutkimukseen. Jurvan kunta oli mukana Vaasan seudulla vuonna 2006–2007 toteutetussa selvityksessä, mutta kuntaliitoksen myötä mukana vuoden 2012 tutkimuksessa osana Kurikkaa.

Männynneulasten ja runkojäkälien osalta vertailussa on huomioitu vuosien varrella samoina pysyneet havaintoalat.

5.2.1 Männyn runkojäkälet

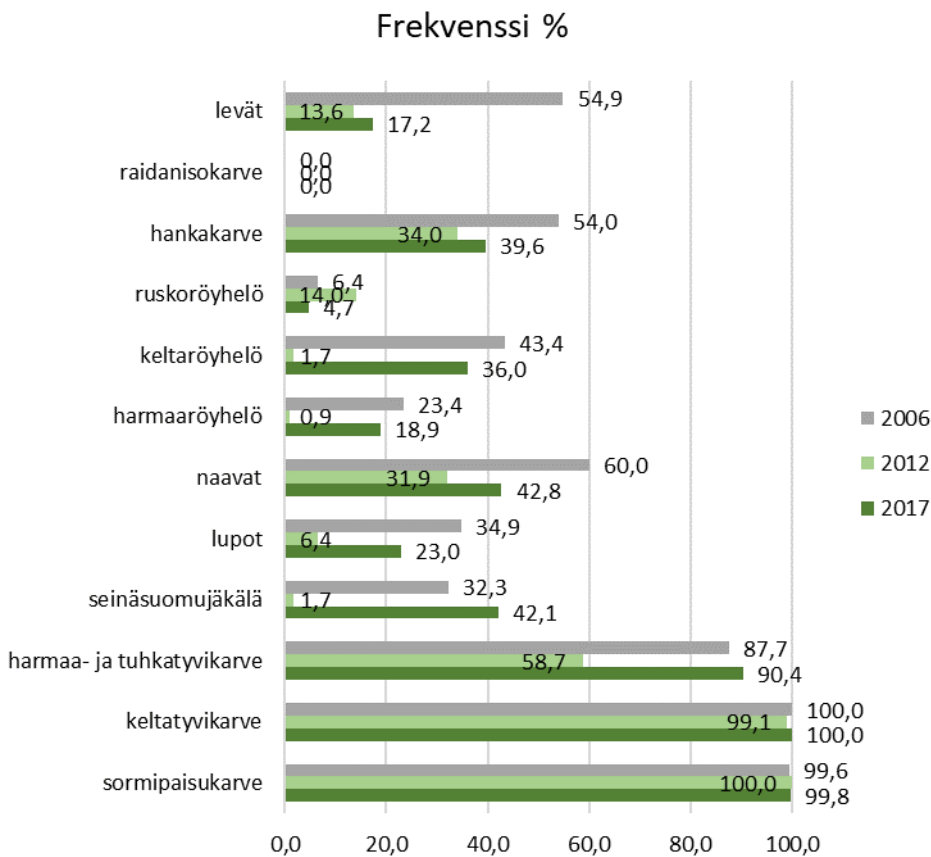
Huomioitaessa vuosien 2006, 2012 ja 2017 tutkimuksissa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat (47 alaa), todettiin ilmanpuhtausindeksin heikenneen vuosien 2006 ja 2012 tutkimusajankohtien välillä keskimäärin 0,7 yksikköä ja jälleen parantuneen vuosien 2012 ja 2017 tutkimusajankohtien välillä keskimäärin 0,5 yksikköä (Taulukko 5-4). Vuonna 2017 ilmanpuhtausindeksi kuvailee käytetyn luokituksen mukaisesti tutkimusalueen lajistoa köyhtyneeksi tai että tutkimusalueen lajistossa esiintyy lieviä muutoksia, 2006 jäkälälajisto luokiteltiin indeksin perusteella lievästi muuttuneeksi (luokka 2–3), kun taas vuonna 2012 lajisto oli keskimäärin köyhtynyttä (luokka 1–2). Ilmanpuhtausindeksin parantumista on tapahtunut erityisesti Seinäjoen ja Ilmajoen havaintoaloilla, kun taas ympäröivissä kunnissa osalla havaintoaloista ilmanpuhtausindeksi parani ja toisilla huononi (Kuva 5-2).

Taulukko 5-4. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksi ja muita tunnuslukuja tutkimusvuosilta 2006 (Laita ym. 2008), 2012 (Ramboll 2012) ja 2017 (N = 47, samoina pysyneet havaintoalat).

2017	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Ilmanpuhtausindeksi IAP	2,0	0,6	5,8	1,08
Lajimäärä / havaintoala (*)	6,6	3,0	9,0	1,79
Yleinen vaurioaste	2,2	1,2	3,2	0,52
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	1,4	3,8	0,59
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	2,4	3,0	0,09
2012	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Ilmanpuhtausindeksi IAP	1,5	0,7	2,7	0,53
Lajimäärä / havaintoala (*)	4,4	2,0	7,0	1,47
Yleinen vaurioaste	1,9	1,0	3,2	0,54
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,6	1,4	4,4	0,67
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	3,0	3,0	0,0
2006	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
Ilmanpuhtausindeksi IAP	2,2	1,2	3,4	0,64
Lajimäärä / havaintoala (*)	6,5	3,0	9,0	1,47
Yleinen vaurioaste	2,6	1,0	4,2	0,67
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,0	1,1	3,7	0,60
Sormipaisukarpeen peittävyys, lk	3,0	2,4	3,0	0,09
(*) lajimäärässä ei huomioitu levää ja seinäsuomujäkälää				

Vuonna 2006 keskimääräinen lajilukumäärä havaintoalalla oli 6,5 lajia ja vuonna 2012 4,4 lajia, kun se vuonna 2017 oli 6,6 lajia (Taulukko 5-4). Lajilukumäärän kasvamiseen vuoteen 2012 verrattuna vaikuttaa mm. harmaaröyhelön ja keltaröyhelön sekä harmaa- ja tuhkkakarpeen yleistymisen havaintoalueilla (Kuva 5-

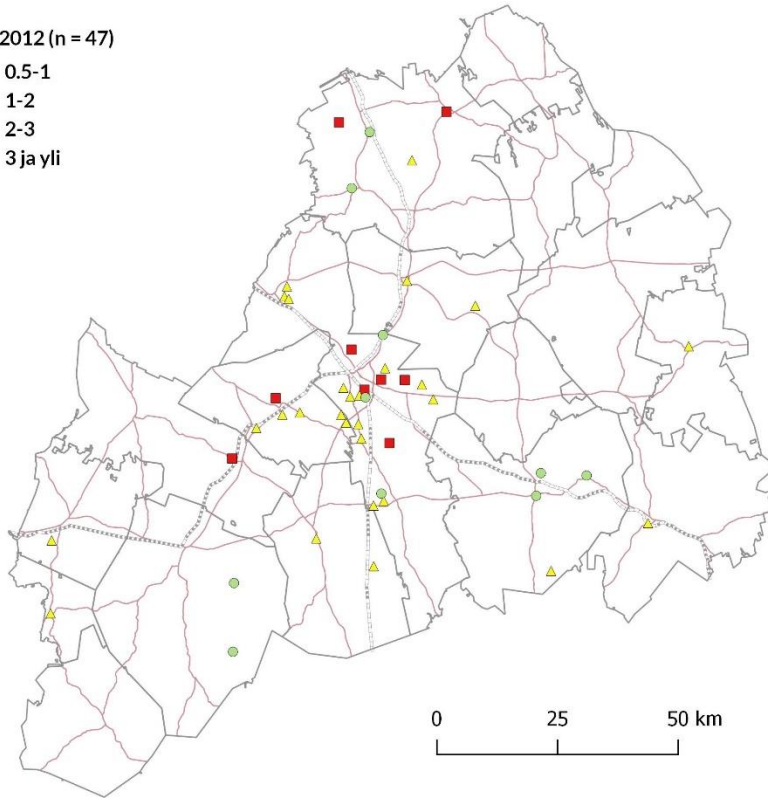
1). Myös epäpuhtauksille alttiita naavoja ja luppoja havaittiin enemmän kuin vuonna 2012, mutta suppeammin kuin vuonna 2006. Ilman epäpuhtauksista hyötyvien seinäsuomujäkälän ja levän runsaus oli myös lisääntynyt vuodesta 2012. Mäntymetsien yleisimpien lajien, sormipaisukarpeen ja keltatyvikarpeen, runsaus oli säilynyt entisellään. Sormipaisukarpeen arvioitiin olevan keskimäärin yhtä vaurioituneita kuin vuonna 2012 ja keskimäärin enemmän vaurioitunutta kuin vuonna 2006 (lievästi vaurioitunut) (Kuva 5-3). Muutos tältä osin on tapahtunut eri puolilla tutkimusaluetta. Jäkälälajisto yleisesti oli vaurioituneempaa kuin vuonna 2012, mutta jäkälälajiston yleinen vaurioaste oli kuitenkin pienempi kuin vuonna 2006 (Taulukko 5-4).



Kuva 5-1. Männyn runkojäkälän esiintymistiheys tutkimusalueella vuosina 2006 (Laita ym. 2008), 2012 (Ramboll 2012) ja 2017 (N = 940).

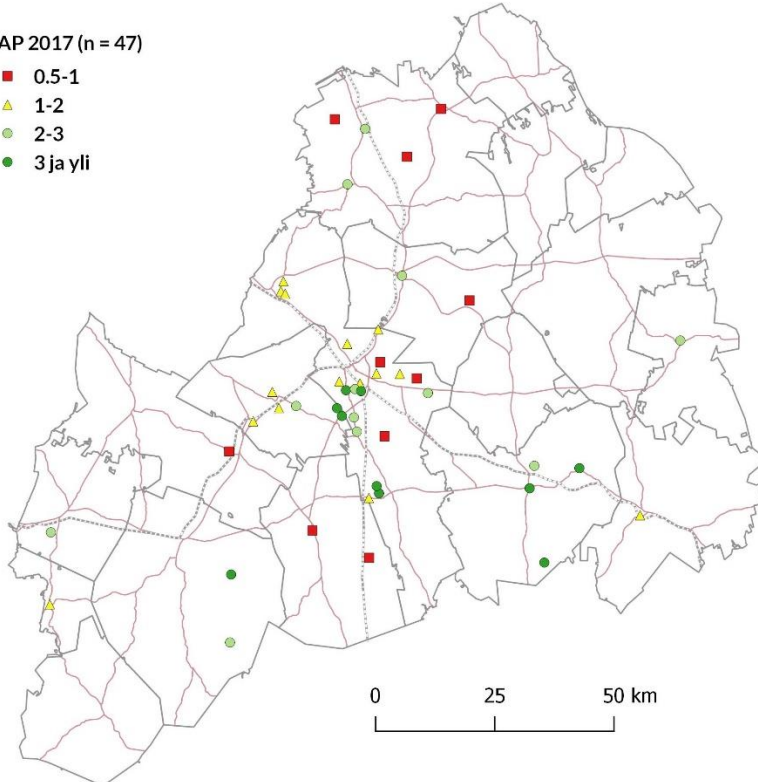
IAP 2012 (n = 47)

- 0.5-1
- ▲ 1-2
- 2-3
- 3 ja yli



IAP 2017 (n = 47)

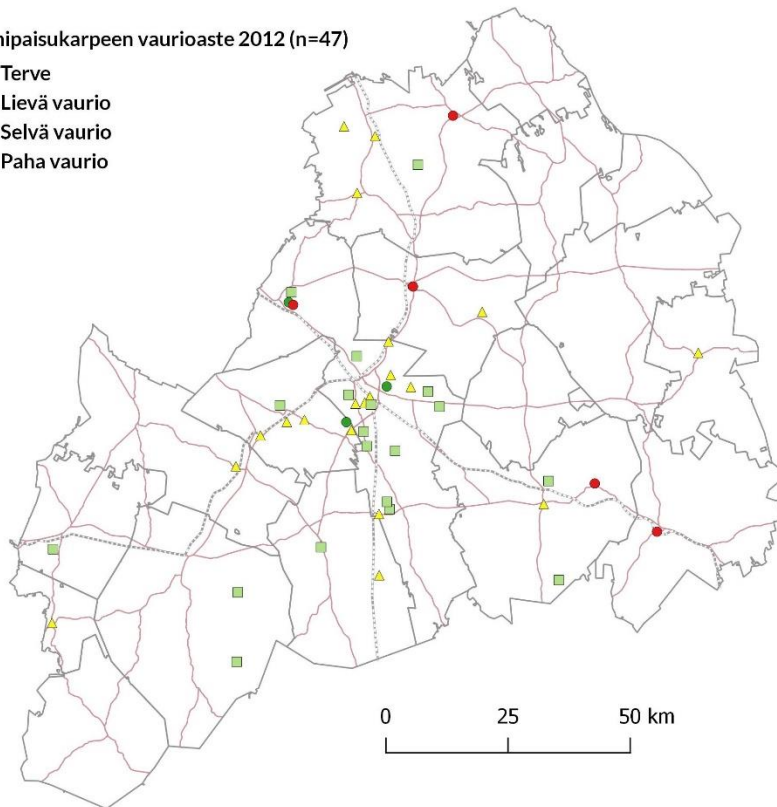
- 0.5-1
- ▲ 1-2
- 2-3
- 3 ja yli



Kuva 5-2. IAP-indeksi tutkimusalueella vuosina 2012 (Ramboll 2012) ja 2017 samoina pysyneillä havaintoaloilla (N = 47).

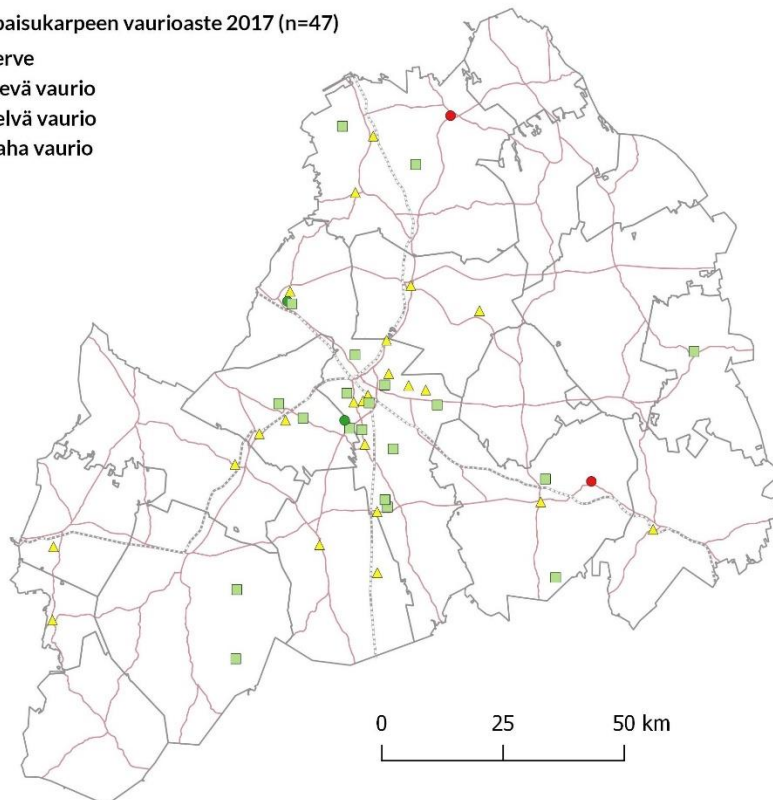
Sormipaisukarpeen vaurioaste 2012 (n=47)

- Terve
- Lievä vaurio
- ▲ Selvä vaurio
- Paha vaurio



Sormipaisukarpeen vaurioaste 2017 (n=47)

- Terve
- Lievä vaurio
- ▲ Selvä vaurio
- Paha vaurio

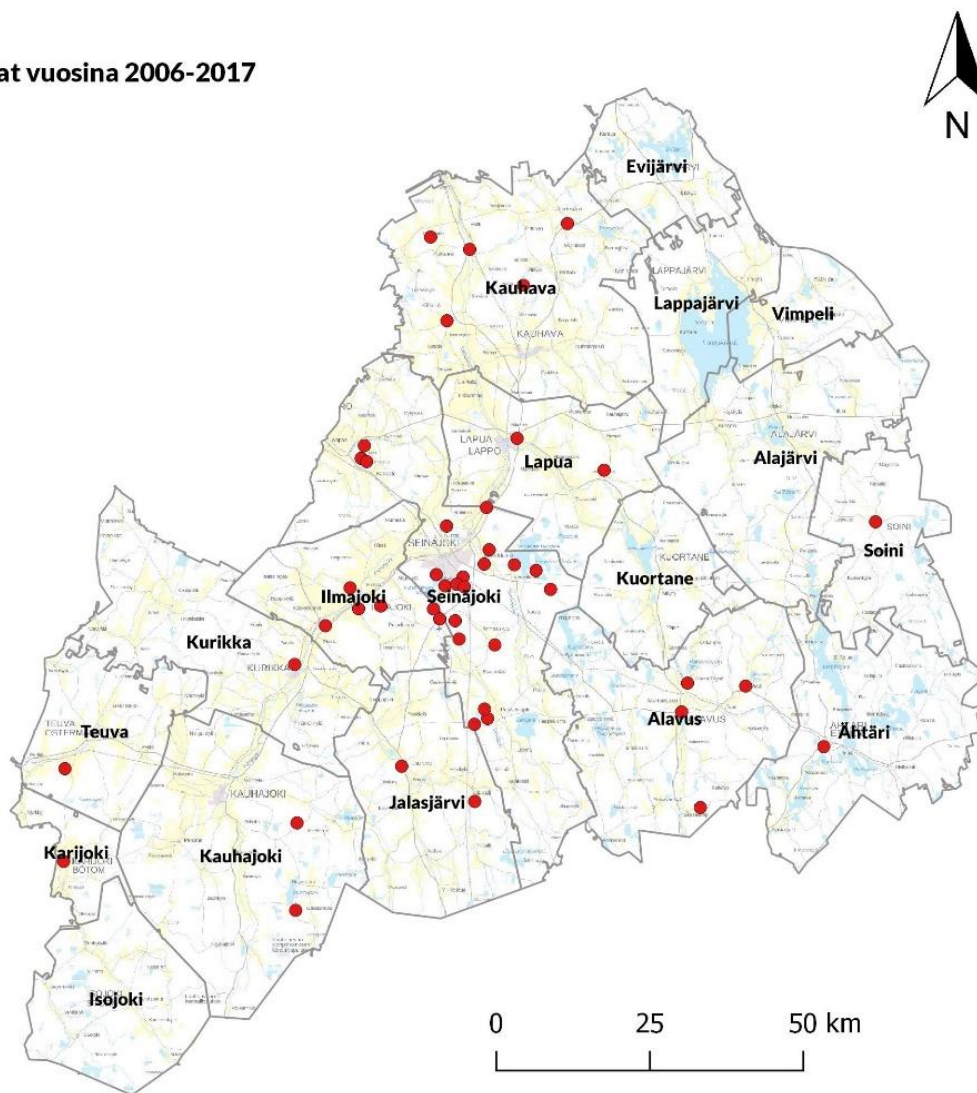


Kuva 5-3. Sormipaisukarpeen vaurioaste tutkimusalueella 2012 (Ramboll 2012) ja 2017 samoina pysyneillä havaintoaloilla (N = 47).

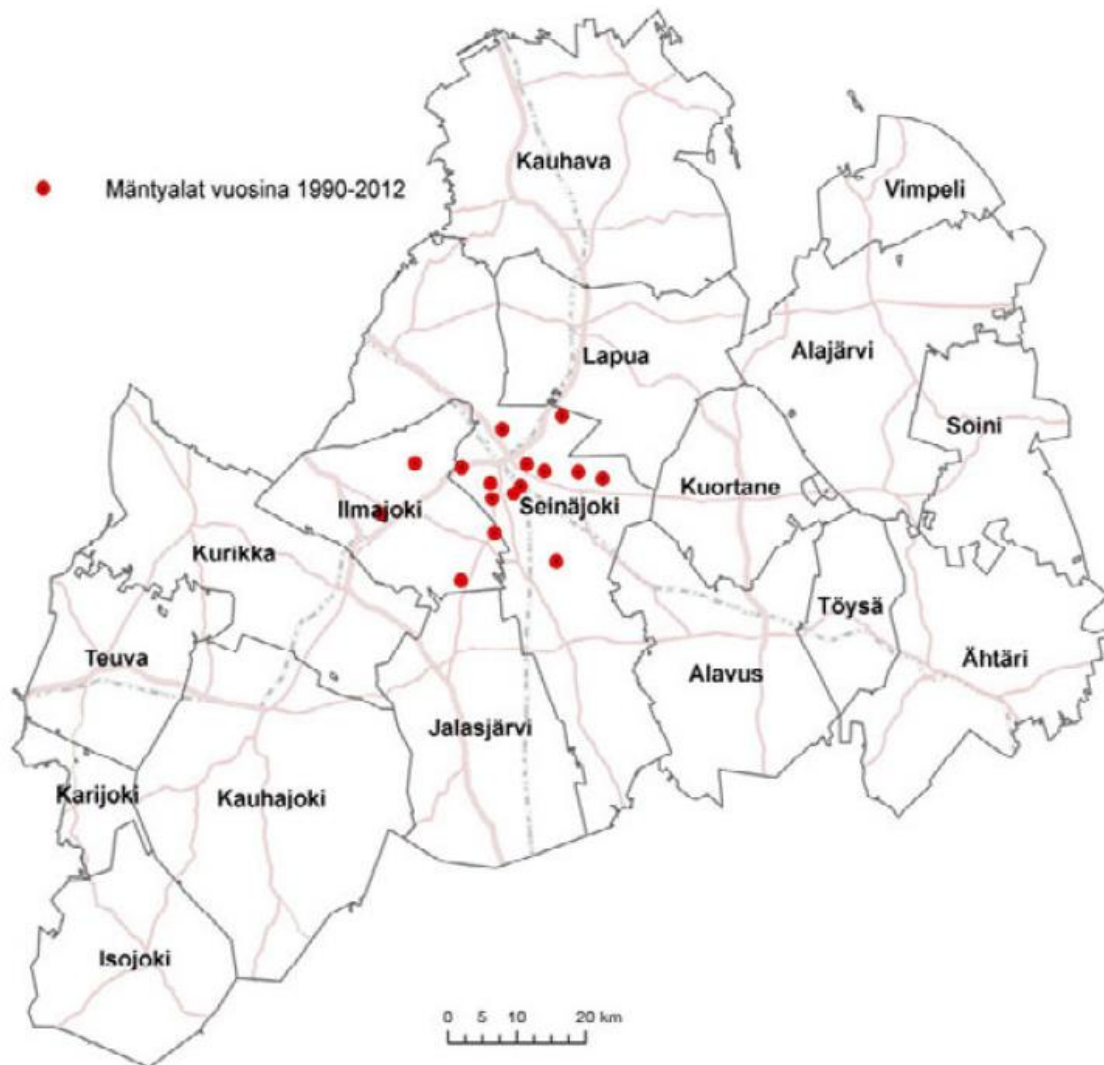
5.2.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksia eri ajankohtina verrattiin pääasiassa vuosien 2007, 2012 ja 2017 välillä (47 alaa) (Taulukko 5-5, Kuva 5-4), sillä aikaisemmilta vuosilta ei ollut käytettävissä havaintoalakohtaisia tuloksia. Tämän lisäksi tutkimusvuosien 1990–2017 aikana samoina pysyneiden havaintoalojen määrä oli erittäin pieni. Vuonna 2012 vertailussa käytettiin vuosina 1990–2012 samoina pysyneitä havaintoaloja, joita oli yhteensä 16 kappaletta (Kuva 5-5) (Ramboll 2012). Karttaesityksen perusteella näistä aloista yhdeksän pysyi samoina vuonna 2017 (vrt. Kuva 5-4, Kuva 5-5).

● Mäntyalat vuosina 2006-2017



Kuva 5-4. Vuosien 2006–2007, 2012 ja 2017 neulasten alkuainepitoisuustutkimuksessa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat (N = 47) (Jalasjärvi on nykyään kuntaliitoksen myötä osa Kurikkaa).



Kuva 5-5. Vuosien 2009–2012 tutkimuksissa samoina pysyneet mäntyhavaintoalat (N = 16, kartta Ramboll 2012). Jalasjärvi on nykyään kuntaliitoksen myötä osa Kurikkaa.

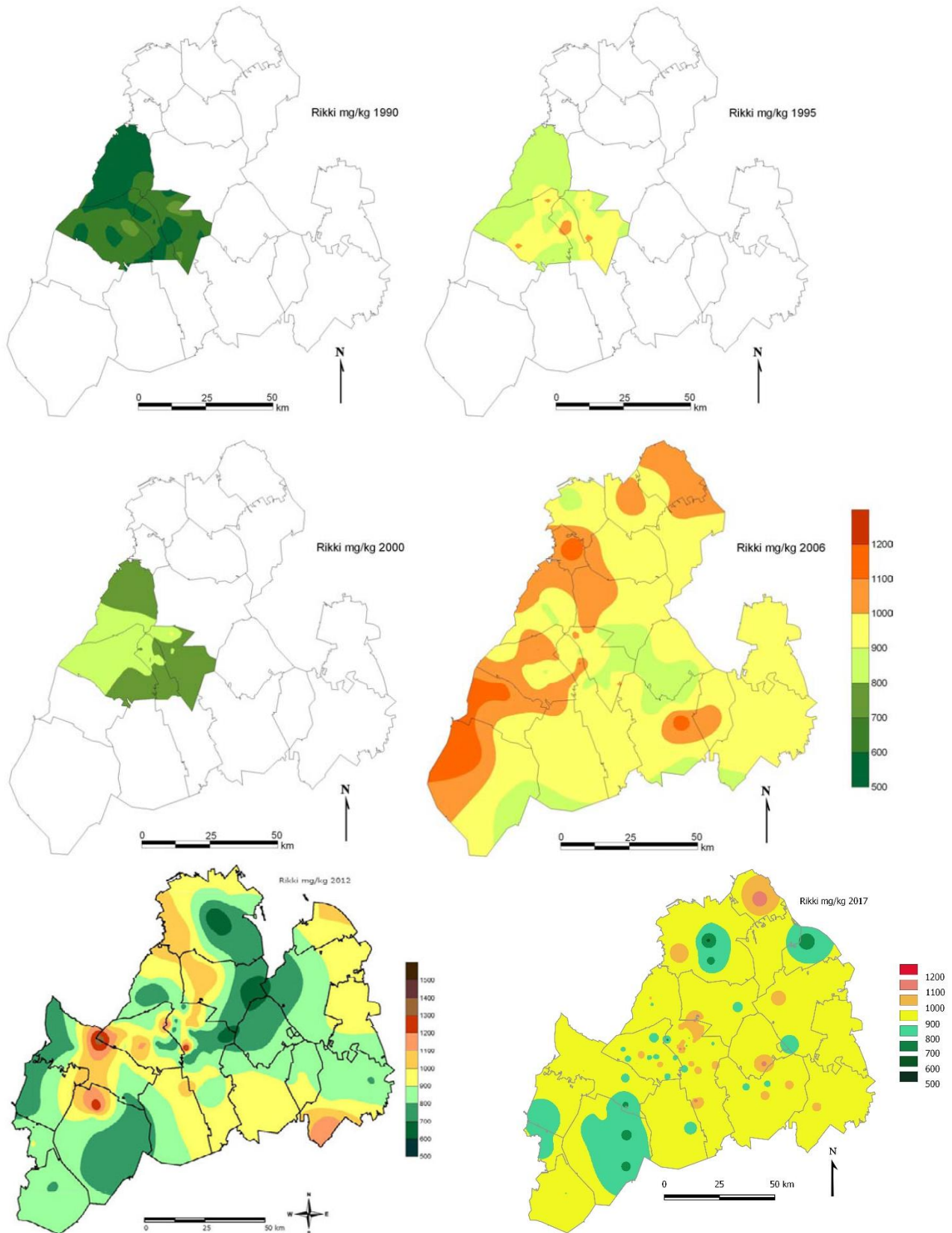
Neulasten rikkipitoisuudet olivat vuonna 2017 hieman korkeammat kuin edellisellä tutkimuskerralla vuonna 2012. Vuoden 2012 tarkastelussa keskimääräiset rikkipitoisuudet olivat alhaisimmat vuonna 1990 (625 mg/kg), ja vuodesta 1995 lähtien keskimääräiset pitoisuudet olivat välillä 814–986 mg/kg (N = 16, paitsi vuonna 2000 N = 10) (Ramboll 2012). Vuonna 2017 havaitut keskimääräiset pitoisuudet sijoittuivat samaan vaihteluväliin (942 mg/kg, N = 47).

Magnesiumpitoisuus oli vuonna 2017 keskimäärin korkeampi kuin vuosina 2012 tai 2006. Myös kromipitoisuus oli vuonna 2017 keskimääräistä korkeampi. Kupari- ja rautapitoisuudet olivat puolestaan matalampia kuin vuonna 2012. Raudan keskimääräiset pitoisuudet olivat vuonna 2012 (N = 16) kaksinkertaistuneet vuoteen 2000 verrattuna (Ramboll 2012), kun taas vuonna 2017 rautapitoisuuksien havaittiin keskimäärin laskeneen vuodesta 2012 (N = 47, Taulukko 5-5).

Taulukko 5-5. Neulasten alkuainepitoisuuksia tutkimusalueella vuosina 2007, 2012 ja 2017 (N = 47, kyseisinä tutkimusajankohtina samoina pysyneet havaintoalat).

	N	B	Cd	K	Ca	P	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	S	Zn
	g/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg
2017														
keskiarvo	13,4	15,4	0,1	5973	4082	1441	0,7	2,6	1028	414	0,6	64,8	942	47,2
pienin	8,9	9,9	0,0	5210	2710	1130	0,4	2,1	800	150	0,3	30,0	690	24,0
suurin	16,8	24,0	0,3	6830	7040	1780	1,9	3,6	1190	980	1,6	220,0	1170	67,0
keskihajonta	1,6	2,9	0,0	402	1030	141	0,4	0,3	100	152	0,3	31,5	102	8,3
2012														
keskiarvo	11,3	15,6	0,1	5191	3634	1415	0,2	3,1	933	386	0,6	98,9	892	49,6
pienin	8,2	6,7	0,0	3600	2100	1200	0,1	2,5	660	220	0,2	51,0	590	22,0
suurin	16,0	31,0	0,2	6800	5900	1700	0,8	4,1	1400	870	1,3	290,0	1500	72,0
keskihajonta	1,6	4,6	0,0	592	909	135	0,1	0,4	145	123	0,3	46,7	167	11,4
2006														
keskiarvo	15,3	15,6	0,1	4717	3243	1457	0,1	2,2	884	388	0,4	69,9	975	46,4
pienin	12,3	8,9	0,1	3827	2411	1244	0,1	1,7	691	244	0,2	38,6	838	27,5
suurin	19,0	28,0	0,6	5518	5277	1735	0,3	3,8	1203	715	1,0	181,5	1196	70,8
keskihajonta	1,6	4,0	0,1	372	617	114	0,0	0,4	115	112	0,2	26,0	85	8,1

Neulasten rikkipitoisuuksista eri tutkimusajankohtina laaditut vyöhykekartat on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 5-6). Vyöhykekartoissa on käytetty kaikkia kyseisten vuosien havaintoaloja (Laita ym. 2008, Ramboll 2012). Rikkipitoisuudet olivat pysyneet melko vakaalla tasolla vuodesta 1995 lähtien. Vuonna 2012 tutkimusalueella korostuivat korkean rikkipitoisuuden vyöhykkeinä Ilmajoen ja Kurikan seutu sekä Kauhajoen ja Seinäjoen taajama-alueet, kun taas Kauhavan, Lapuan, Kuortaneen ja Alajärven seuduilla oli havaittavissa alhaisemman rikkipitoisuuden vyöhyke. Verrattaessa vuosien 2012 ja 2017 tilannetta, vuonna 2017 tutkimusalueella ei korostunut vastaavalla tavalla korkean rikkipitoisuuden vyöhykkeitä, sillä rikkipitoisuuksissa esiintyi vaihtelua koko tutkimusalueella. Korkeamman pitoisuuden alueita esiintyi mm. Evijärvellä, Seinäjoella ja Kuortaneella. Alhaisemman rikkipitoisuuden vyöhykkeitä oli havaittavissa Kauhavan, Vimpelin ja Lappajärven sekä Kauhajoen alueilla.



Kuva 5-6. Neulasten rikkipitoisuus vuosina 1990, 1995, 2000, 2006 (kuvat Laita ym. 2008), 2012 (kuva Ramboll 2012) ja 2017.

5.2.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalten alkuainepitoisuuksia eri tutkimusvuosina on esitelty oheisessa taulukossa (Taulukko 5-6). Vertailussa on käytetty kaikkia havaintoaloja. Vuonna 2006, 2012 ja 2017 pitoisuudet analysoitiin seinäsammalesta. Aikaisempina tutkimusvuosina analyysiin on käytetty myös kerrossammalta.

Osan tutkittujen alkuaineiden pitoisuuksista on ajan mittaan havaittu laskeneen (elohopea, kupari, lyijy). Joidenkin laskevan trendin alkuaineiden kohdalla vuoden 2017 pitoisuudet olivat kutakuinkin samalla tasolla vuoden 2012 tasolla (elohopea, kupari). Joillakin alkuaineilla pitoisuus on ollut laskussa, mutta nyt pitoisuudessa havaittiin jonkinlaista nousua (alumiini, vanadiini). Boorin pitoisuus on pidemmällä aikavälillä ollut nousussa, mutta tässä tutkimuksessa pitoisuuden havaittiin laskeneen. Osan tutkittujen alkuaineiden pitoisuuksista on ajan mittaan havaittu jossain määrin nousseen. Magnesiumin pitoisuus on ajan mittaan jossain määrin noussut, mutta nyt pitoisuus oli hieman matalampi kuin edellisessä seurannassa. Arseeni- ja kobolttipitoisuudet on analysoitu näytteistä vasta kahden seurannan yhteydessä, ja näitä vuosia verrattaessa molempien pitoisuudet olivat nousseet.

Taulukko 5-6a. Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksia tutkimusalueella vuosina 1989, 1995, 2000, 2006 (Laita ym. 2008), 2012 (Ramboll 2012) ja 2017. Vertailuun on käytetty kaikkia havaintoaloja.

	Al	As	B	Hg	P	Cd	K	Ca	Co	Cr
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2017, N = 41										
keskiarvo	407	0,70	1,92	0,031	1281	0,071	7381	2278	0,76	15,98
pienin	80	0,06	0,9	<0,03	840	0,028	4660	1630	0,21	2,9
suurin	2180	5,50	5,2	0,061	1930	0,180	11000	4250	3,10	68,0
keskihajonta	476	1,11	1,00	0,005	275	0,025	1764	533	0,71	16,03
2012, N = 41										
keskiarvo	285	0,38	5,10	0,03	1552	0,11	8739	2873	0,35	3,56
pienin	72	0,05	1	0,01	660	0,069	5000	1800	0,1	0,36
suurin	770	1,6	28	0,09	3000	0,27	15000	4100	0,95	19
keskihajonta	186	0,37	6,16	0,01	426	0,04	2303	539	0,24	3,63
2006, N = 40										
keskiarvo	348		2,26	0,04	1559	0,13	6381	2435		1,18
pienin	149		0,85	0,03	1177	0,09	4740	1817		0,47
suurin	1140		6,1	0,7	2477	0,19	8707	3139		3,3
keskihajonta	208		1,13	0,01	303	0,028	1065	337		0,66
2000, N = 40										
keskiarvo	403		1,62	0,04	1380	0,12	5730	2284		13,2
pienin	212		0,57	0,02	807	0,08	3930	1790		4,5
suurin	1000		3,83	0,07	2810	0,25	8930	318		33,5
keskihajonta	155		0,73	0,01	380	0,03	1352	327		6,51
1995, N = 43										
keskiarvo	590			0,07		0,1				
pienin	214			0,02		0,05				
suurin	1440			0,13		0,19				
keskihajonta	332			0,02		0,03				
1989, N = 43										
keskiarvo	966			0,11		0,21				4,81
pienin	343			0,06		0,11				0,25
suurin	4250			0,18		0,37				16,7
keskihajonta	742			0,03		0,06				3,04

Taulukko 5-6b.

	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2017, N = 41										
keskiarvo	5,85	0,92	1374	258	93	8,56	728	754	32,4	1,67
pienin	3,9	0,36	900	60	60	1,7	120	590	20	0,27
suurin	11,0	3,20	2020	410	200	34,0	4300	1120	62	10,0
keskihajonta	1,88	0,54	264	83	29	7,91	916	127	10,2	2,14
2012, N = 41										
keskiarvo	5,8	1,10	1389	262	89	2,56	439	945	32	1,22
pienin	3,5	0,64	850	93	48	0,11	100	540	21	0,33
suurin	11	7,3	2400	440	250	12	1600	2100	48	4,7
keskihajonta	1,7	1,0	244	82	34	2,38	383	275	7	1,01
2006, N = 40										
keskiarvo	6,1	1,8	1271	292	53,0	2,3	537	1101	38,0	3,7
pienin	3,8	1,1	927	142	34,0	0,8	188	804	28,0	1,1
suurin	13,0	2,9	1641	526	83,0	12,0	1898	1652	54,0	25,0
keskihajonta	2,2	0,4	193	107	13,0	1,9	421	203	7,2	4,4
2000, N = 40										
keskiarvo	6,8	2,3	1004	234	122	6,3	537	923	35,0	
pienin	3,2	1,5	693	105	74,0	2,3	188	698	27,0	
suurin	48,1	3,7	1540	455	202	13,8	1895	1490	47,0	
keskihajonta	7,4	0,5	2066	72,0	31,0	2,5	421	153	5,0	
1995, N = 43										
keskiarvo		2,4				5,7		1083		3,7
pienin		1,1				1,3		761		1,0
suurin		4,1				60,0		1520		8,8
keskihajonta		0,6				12,0		138		1,7
1989, N = 43										
keskiarvo		9,6				3,2				6,1
pienin		4,9				1,8				2,4
suurin		16,1				6,5				15,9
keskihajonta		2,9				1,0				2,5

Joillakin alkuaineilla ei ole ollut havaittavissa selkeää lasku- tai noususuuntaa, johtuen pitoisuuksien vaihtelusta eri seurantakertojen välillä (fosfori, kadmium, kalium, kalsium, kromi, mangaani, natrium, nikkeli, rauta, rikki, sinkki). Esimerkiksi kadmium-, mangaani- ja rikkipitoisuudet ovat olleet laskussa 2000-luvun puolivälin jälkeen, kun taas kromi- ja nikkelipitoisuudet ovat olleet tällä ajanjaksolla nousussa.

5.2.4 Sammalpallojen alkuainepitoisuudet

Sammalpallojen alkuainepitoisuudet olivat osin sekä suurentuneet että pienentyneet tutkimusvuosien 2017, 2012 ja 2006 välillä (Taulukko 5-7).

Nurmon taajaman koillispuolella sijaitsevalla havaintoalalla SS7 olivat kaliumin, kalsiumin, mangaanin ja rikin pitoisuudet vähentyneet selvästi. Sinkkipitoisuudet olivat puolestaan kasvaneet. Alumiini-, arseeni-, koboltti-, kromi-, magnesium- ja rautapitoisuudet olivat jälleen jossain määrin nousseet, ja kuparipitoisuus oli jälleen laskenut.

Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydessä perustettiin uusi sammalpallohavaintoala. Uudella havaintoalalla SS13 olivat kaliumin, natriumin ja rikin pitoisuudet vähentyneet selvästi. Myös mangaani- ja

sinkkipitoisuudet olivat vähentyneet jossain määrin. Alumiinin, kromin, nikkelin ja raudan pitoisuudet olivat kasvaneet tutkimusajankohtien välillä. Myös arseenin, magnesiumin, nikkelin ja vanadiinin pitoisuudet olivat jonkin verran korkeampia. Kalsium- ja kuparipitoisuudet olivat jälleen laskeneet, kun taas koboltti- ja kromipitoisuudet olivat jälleen nousseet.

Kyrkösjärven itäpuolella sijaitsevalla havaintoalalla SS22 oli kaliumin pitoisuus laskenut selvästi. Myös kalsiumin pitoisuus oli jonkin verran laskenut. Alumiinin, raudan ja rikin pitoisuudet olivat puolestaan kasvaneet. Myös arseenin, boorin, fosforin, kromin, lyijyn, nikkelin ja magnesiumin pitoisuudet olivat jonkin verran korkeampia. Kuparipitoisuus oli jälleen laskenut.

Seinäjoen lentokentän läheisyydessä sijaitsevalla havaintoalalla SS29 kaliumin ja natriumin pitoisuudet olivat vähentyneet. Arseenin, kromin ja sinkin pitoisuudet olivat kasvaneet. Myös mangaanin, nikkelin ja raudan pitoisuudet olivat jonkin verran korkeampia. Magnesiumpitoisuus oli jälleen noussut, kun taas alumiini- ja kuparipitoisuudet olivat jälleen laskeneet.

Taulukko 5-7a. Sammalpalojen alkuainepitoisuudet (mg/kg/30d) vuosina 2017, 2012 (Ramboll 2012) ja 2006 (Laita ym. 2008) (N = 4). Altistettuihin sammalpalloihin kertyneiden pitoisuuksien ollessa pienempiä kuin kontrollipalojen pitoisuudet, on taulukkoon merkitty pitoisuudeksi 0.

	Al	As	B	Hg	P	Cd	K
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
SS7, v2017	10,3	0,024	0	0	0	0	0
SS7, v.2012	0	0	0	0,003	0	0,0048	44
SS7, v.2006	28,5	0,0082	0,098	0,0032		0,0059	169
SS13, v.2017	90,5	0,21	0	0	0	0	23,4
SS13, v.2012	36	0,08	0	0	0	0,028	58
SS13, v.2006	31,1	0,0258	0,077	0,0027		0,0041	311
SS22, v.2017	48,3	0,13	0,17	0	4,7	0	18,80
SS22, v.2012	20	0,05	0	0	0	0	62
SS22, v.2006	16,4	0,0131	0,034	0,0023		0,0052	114
SS29, v.2017	29,5	0,13	0	0	0	0	4,7
SS29, v.2012	39	0,03	0	0	0	0,0054	140
SS29, v.2006	11,5	0,0015	0,110	0		0,0047	212

	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg	Mn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
SS7, v2017	0	0,011	0,422	0	0,056	10,3	0,56
SS7, v.2012	25	0	0	1,1	0,07	6,7	1,5
SS7, v.2006	115	0,12	0,18	0		52	
SS13, v.2017	0	0,084	2,250	0,047	0,089	61,9	3,0
SS13, v.2012	130	0,056	0,063	1,4	0,067	47	4,8
SS13, v.2006	97	0,09	0	0		53	
SS22, v.2017	51,6	0,046	0,797	0	0,113	38,4	1,8
SS22, v.2012	61	0,022	0	0,66	0,049	27	1,3
SS22, v.2006	73	0,01	0	0		32	
SS29, v.2017	37,5	0,046	1,922	0	0,070	29,1	2,72
SS29, v.2012	41	0,021	0,067	0,55	0,059	13	1,5
SS29, v.2006	72	0,43	0	0		33	

Taulukko 5-7b.

	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
SS7, v.2017	0	0	28,1	9,4	0,422	0,056
SS7, v.2012	0	0	0	310	0,091	0
SS7, v.2006			16,9			
SS13, v.2017	0	0,57	168,8	0	1,55	0,384
SS13, v.2012	28	0,15	48	120	3,4	0,18
SS13, v.2006			53,6			
SS22, v.2017	42,2	0,239	98,4	42,2	0,98	0,220
SS22, v.2012	40	0,047	29	0	0,82	0,1
SS22, v.2006			21,5			
SS29, v.2017	4,68	0,38	70,3	0	2,02	0,169
SS29, v.2012	35	0,12	60	0	0,72	0,1
SS29, v.2006			12			

5.3 Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

Tässä luvussa tarkastellaan muualla Suomessa 2010-luvulla laadittujen bioindikaattoriselvityksen tuloksia Etelä-Pohjanmaan alueella vuonna 2017 saatuihin tuloksiin.

5.3.1 Männyn runkojäkalät

Etelä-Pohjanmaan alueella vuonna 2017 todettu keskimääräinen sormipaisukarpeen vaurioaste oli samaa luokkaa kuin vertailualueilla keskimäärin (Taulukko 5-8). Myös keskimääräinen ilmanpuhtausindeksi (IAP) oli samaa luokkaa kuin vertailualueilla keskimäärin.

Taulukko 5-8. Männyn runkojäkäliä kuvaavat sormipaisukarpeen vaurioaste ja ilmanpuhtausindeksi (IAP = Index of Air Purity) Etelä-Pohjanmaan alueen bioindikaattoritutkimuksessa 2017 sekä eri puolella Suomea toteutetuissa tutkimuksissa (Huuskonen ym. 2013, Keskitalo ym. 2015, Lehtonen ym. 2013, Rundgren 2013, Ruuth ym. 2016a, Ruuth ym. 2016b ja Toivanen ym. 2016).

Alue	N	Vuosi	Sormipaisukarpeen vaurioaste, k.a.	IAP
Seinäjoen seutu, Etelä-Pohjanmaa	97	2017	2,5	2,0
Seinäjoen seutu, Etelä-Pohjanmaa	95	2012	2,6	1,4
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
Kokkola ja Pietarsaari	238	2012	2,3	2,1
Kuopio	50	2013	2,5	1,7
Etelä-Karjala	263	2012	2,1	2,6
Vaasan seutu	53	2013	2,3	2,3

5.3.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet olivat boorin, kadmiumin, kuparin, raudan, nikkelin, rikin ja sinkin osalta pitkälti alhaisempia kuin muualla Suomessa 2010-luvulla toteutetuissa esimerkkitutkimuksissa. Kromin ja magnesiumin keskimääräiset pitoisuudet olivat puolestaan korkeampia kuin muualla Suomessa.

toteutetuissa esimerkkitutkimuksissa. Erot olivat kuitenkin pieniä ja pääasiassa pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa (Taulukko 5-9). Verrattuna edelliseen Etelä-Pohjanmaan toteutettuun selvitykseen, osa alkuainepitoisuuksista oli korkeampia ja osa matalampia vuonna 2017 kuin vuonna 2006–2007.

Taulukko 5-9. Neulasten alkuainepitoisuudet Seinäjoen seudun (eli Etelä-Pohjanmaan, **) bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2017 sekä muualla Suomessa 2010-luvulla tehdyissä ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa (tulokset lähteistä Ramboll 2012, Huuskonen ym. 2013, Ruuth ym. 2016a, Ruuth ym. 2016b, Toivanen ym. 2016).

Alue	N	Vuosi	B, mg/kg	Ca, mg/kg	Cd, mg/kg	Cr, mg/kg	Cu, mg/kg	Fe, mg/kg	K, mg/kg
Seinäjoen seutu **	97	2017	15,28	3886	0,08	0,67	2,57	59,3	5973
Seinäjoen seutu **	95	2012	14,6	3434	0,08	0,2	3,05	91	5077
Pori-Harjavalta	107	2014		4363					4504
Kanta- ja Päijät-Häme	302	2014	20	4210					4560
Kokkola ja Pietarsaari	238	2012	16,3	2881	0,13	0,16	3,2	94	5499
Vaasan seutu	53	2013	17,6	3521			2,8	78	5379

Alue	N	Vuosi	Mg, mg/kg	Mn, mg/kg	N, g/kg	Ni, mg/kg	P, mg/kg	S, mg/kg	Zn, mg/kg
Seinäjoen seutu **	97	2017	1005	411	13,4	0,6	1450	943	45,8
Seinäjoen seutu **	95	2012	895	392	11,5	0,5	1386	898	47
Pori-Harjavalta	107	2014	760	700	1,40 %			1098	
Kanta- ja Päijät-Häme	302	2014	830		0,94			1060	
Kokkola ja Pietarsaari	238	2012	783	388	1,40 %	0,94	1355	947	49
Vaasan seutu	53	2013	899	508	14,7		1490	1067	

5.3.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet Etelä-Pohjanmaan alueella 2017 olivat valtakunnallista tasoa korkeampia arseenin, kromin, kuparin, nikkelin, raudan ja vanadiinin osalta, joista arseenin, kromin, nikkelin ja raudan pitoisuudet olivat selvästi valtakunnallista tasoa korkeampia (Taulukko 5-10) (Metsäntutkimuslaitos 2010).

Sammalten keskimääräiset alkuainepitoisuudet Etelä-Pohjanmaan alueella 2017 olivat alumiinin, arseenin, boorin, kaliumin, kromin, magnesiumin, raudan ja vanadiinin osalta korkeampia kuin muualla Suomessa 2010-luvulla tehdyissä esimerkkitutkimuksissa. Myös nikkelpitoisuudet olivat pääasiassa korkeampia kuin muualla Suomessa 2010-luvulla tehdyissä esimerkkitutkimuksissa. Kromin ja raudan osalta ero muihin tutkimuksiin verrattuna oli selvästi suurempi kuin muiden yllä mainittujen alkuaineiden osalta.

Elohopean, kadmiumin, koboltin, lyijyn, mangaanin, rikin ja sinkin pitoisuudet olivat pääasiassa alhaisempia kuin 2010-luvun esimerkkitutkimuksissa. Fosforin, kaliumin, kalsiumin, kuparin ja natriumin pitoisuudet olivat Etelä-Pohjanmaan alueella samaa suuruusluokkaa kuin suurimmassa osassa esimerkkitutkimuksia (Taulukko 5-10).

Taulukko 5-10. Sammalten alkuainepitoisuuksia Seinäjoen seudulla (Etelä-Pohjanmaa, **) vuonna 2017 sekä muualla Suomessa 2010-luvulla toteutetuissa bioindikaattoritutkimuksissa (tulokset lähteistä Ramboll 2012, Huuskonen ym. 2013, Metsäntutkimuslaitos 2010, Ruuth ym. 2016a, Ruuth ym. 2016b).

Alue	N	Vuosi	Al, mg/kg	As, mg/kg	B, mg/kg	Hg, mg/kg	P, mg/kg	Cd, mg/kg	K, mg/kg
Seinäjoen seutu **	41	2017	407	0,7	1,92	0,031	1281	0,071	7381
Seinäjoen seutu **		2012	285	0,38	5,1	0,03	1552	0,11	8739
Metla (koko Suomi)		2010		0,11		0,042		0,12	
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

Alue	N	Vuosi	Ca, mg/kg	Co, mg/kg	Cr, mg/kg	Cu, mg/kg	Pb, mg/kg	Mg, mg/kg	Mn, mg/kg
Seinäjoen seutu **	41	2017	2278	0,76	15,98	5,85	0,92	1374	258
Seinäjoen seutu **	95	2012	2873	0,35	3,56	5,76	1,1	1389	262
Metla (koko Suomi)		2010			0,97	5,03	2,05		
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

Alue	N	Vuosi	Na, mg/kg	Ni, mg/kg	Fe, mg/kg	S, mg/kg	Zn, mg/kg	V, mg/kg
Seinäjoen seutu **	41	2017	93	8,56	728	754	32,4	1,67
Seinäjoen seutu **	95	2012	89	2,56	439	945	32	1,22
Metla (koko Suomi)		2010		2,51	243		31,01	1,09
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

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Seinäjoen seudulla ja koko Etelä-Pohjanmaalla tutkittiin vuonna 2017 ilman epäpuhtauksien vaikutuksia männyn runkojäkäliin sekä männyn neulasten ja sammaleen alkuainepitoisuuksiin. Lisäksi tutkittiin epäpuhtauksien kertymistä sammalpalloinäytteisiin.

Seinäjoella yksi suurimmista yksittäisistä päästölähteistä on liikenne. Suurimpia liikenteestä aiheutuvia päästöjä ovat typen oksidit, hiilivedyt, hiilimonoksidi ja hiukkaset. Liikenteen lisäksi ilman epäpuhtauksien kuormitusta syntyy myös Seinäjoen ja Ilmajoen alueilla sijaitsevien teollisuuslaitosten päästöistä. Teollisuuslaitosten ilmaan kohdistuvissa päästöissä kehitys on ollut lähinnä aaltomaista. Pääsääntöisesti ilmanlaatu on pysynyt 2010-luvulla hyvällä tasolla.

Tutkituissa bioindikaattorimuuttujissa oli nähtävissä sekä myönteisiä että kielteisiä kehityssuuntia.

Runkojäkälien osalta Seinäjoen ja Ilmajoen taajama-alue indikaattoriarvot olivat parantuneet edelliseen tutkimusajankohtaan verrattuna. Toisaalta ilman epäpuhtauksista hyötyvien levän ja seinänsuomujäkälän määrät olivat lisääntyneet verrattuna edelliseen tutkimusajankohtaan. Mäntymetsien yleisimpien jäkälälajien runsaudet olivat säilyneet entisellään, minkä lisäksi useat myös ilman epäpuhtauksille herkemmat indikaattorilajit olivat runsastuneet. Tutkimusalueen lajirikkaimmat alat sijaitsivat Seinäjoella, Ilmajoella, Alavudella, Kuortaneella, Ähtärissä ja Kurikassa. Vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoittuivat tutkimusalueen keski- ja eteläosiin Seinäjoelle, Ilmajoelle, Isojoelle, Kauhajoelle, Alavudelle ja Teuvaan. Aikaisempina tutkimusajankohtina tutkimusalueen lajirikkaimmat ja vähiten lajistoltaan vaurioituneet alueet sijoittuivat tutkimusalueen eteläosiin.

Neulasten rikkipitoisuus on säilynyt tutkimusalueella keskimäärin melko vakaalla tasolla vuodesta 1995 lähtien. Vuonna 2017 keskimääräinen rikkipitoisuus oli hieman korkeampi kuin vuonna 2012, mutta edelleen hieman matalampi kuin vuonna 2006. Keskimääräistä rikkipitoisuutta voidaan pitää eteläiselle Suomelle tyypillisenä. Vuonna 2017 tutkimusalueella ei korostunut korkean rikkipitoisuuden vyöhykkeitä, kuten vuonna 2012, jolloin korkean rikkipitoisuuden vyöhykkeinä Ilmajoen ja Kurikan seutu sekä Kauhajoen ja Seinäjoen taajama-alueet. Vuonna 2017 korkeamman pitoisuuden alueita esiintyi mm. Evijärvellä, Seinäjoella ja Kuortaneella. Alhaisemman rikkipitoisuuden alueita oli havaittavissa Kauhavan, Vimpelin ja Lappajärven sekä Kauhajoen alueilla. Koko tutkimusaluetta tarkasteltaessa neulasten magnesiumin pitoisuudet olivat jatkaneet kasvuaan edellisiin tutkimusvuosiin nähden, kun taas kuparin ja raudan osalta pitoisuudet olivat laskeneet vuoteen 2012 verrattuna.

Sammalnäytteissä oli havaittavissa paikallisten päästölähteiden vaikutus useiden tutkittujen alkuaineiden osalta. Suurimmat pitoisuudet mitattiin pääasiassa Seinäjoen Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydessä. Nurmon taajama-alueen koillispuoli, jolla havaittiin korkeita pitoisuuksia vuonna 2012, ei korostunut tässä tutkimuksessa. Keskimääräiset elohopea-, kadmium-, kupari-, lyijy-, rikki- ja sinkkipitoisuudet olivat vähentyneet, kun taas arseenin, koboltin, kromin, magnesiumin, natriumin, nikkelin ja raudan pitoisuudet olivat kasvaneet aiempiin tutkimusajankohtiin verrattuna. Alumiini- ja vanadiinipitoisuuksissa oli pidemmällä aikavälillä esiintynyt laskua, mutta vuonna 2017 pitoisuuksissa havaittiin jonkinlaista nousua. Boorin pitoisuus on pidemmällä aikavälillä ollut nousussa, mutta tässä tutkimuksessa pitoisuuden havaittiin laskeneen.

Seinäjoen ja Ilmajoen alueelle sijoitettujen sammalpallojen alkuainepitoisuuksissa suurimmat pitoisuudet mitattiin pääosin Kapernaumin teollisuusalueen läheisyydessä sijainneelta näytealalta.

VIITTEET

- Huuskonen, I., Lehtonen, E. ja Laita, M. 2013. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 177. Jyväskylän yliopisto.
- Jukka, L. 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki.
- 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.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. ja Lehtonen, E. 2008. Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006–2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 165.
- Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T. ja Laita, M. 2013. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 176. Jyväskylän yliopisto.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, 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 Stoeppler, M. (toim.): Elements and their compounds in the environments. Wiley-Vch.
- 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 1.11.2017).
- Metsätuhotietopalvelu 2011. Metsätuhot vuonna 2011. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/metsientila/metsatuhot2011.htm>. Päivitetty 17.08.2012.
- 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.). Metsäluento ja ilmansaasteet. 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.
- Ramboll, 2012. Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus 2012. Tutkimusraportti.
- Ranta, E., Rita, H. ja Kouki, J. 2002. Biometria. Helsinki, Yliopistopaino.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. ja Nousiainen, H. (1998). Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. ISBN 951-40-1629-7.
- Rintamäki, 2016. Ilmanlaatu Seinäjoen seudulla 2016. Seinäjoen ammattikorkeakoulu –Tekniikka. 36 s.
- Rundgren, E. 2013. Kuopion kaupungin ilman laatua mittaava jäkäläbioindikaattoritutkimus vuonna 2013.
- 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 5794, 1994. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalpallomenetelmä. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- Toivanen, H., Ruuth, J., Kuhmonen, I. ja Kiljunen, A. 2016. Vaasan seudun bioindikaattoritutkimus vuonna 2013. Nab Labs Oy. Tutkimusraportti 36/2016.
- Tuuliatlas, 2017. Suomen Tuuliatlas. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/> (Lainattu 1.11.2017).