



Finnish
Consulting
Group

Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriselvitys vuonna 2025

Joona Kyhyräinen ja Henna Ruuth

8.12.2025

P53010

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Tutkimusalue	6
2.1	Yleiskuvaus	6
2.2	Tutkimusalueen päästöt vuonna 2024.....	9
2.3	Päästömäärien kehitys vuosina 1987–2024.....	14
2.3.1	Teollisuus.....	14
2.3.2	Liikenne	18
3	Aineisto ja -menetelmät	20
3.1	Tutkimusalat.....	20
3.2	Männyn runkojäkälät	23
3.2.1	Tutkitut lajit.....	24
3.2.2	Vaurioiden ja peittävyysien arvioiminen	28
3.3	Neulasten, sammalten ja humuksen alkuainepitoisuudet sekä humuksen kemialliset ominaisuudet	29
3.3.1	Neulasten alkuainepitoisuudet	34
3.3.2	Sammalen alkuainepitoisuudet	35
3.3.3	Humuksen alkuainepitoisuudet ja kemialliset ominaisuudet.....	36
3.4	Paikkatietomenetelmät.....	39
3.5	Tilastomenetelmät	40
3.5.1	Luokiteltujen taustamuuttujien vaikutus.....	40
3.5.2	Regressioanalyysi	41
3.6	Vuosien välinen vertailu	42
3.7	Tutkimuksen virhelähteet	42
3.7.1	Jäkäläkartoitus	42
3.7.2	Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittäminen	44
3.7.3	Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien määrittäminen.....	45
4	Tulokset.....	47
4.1	Mäntyjen runkojäkälät	47
4.1.1	Jäkälälajiston vaurioasteet.....	47
4.1.2	Lajimäärä ja yleisyys.....	49

4.1.3	Peittävydet	51
4.1.4	IAP-indeksi.....	52
4.2	Männyn neulasten alkuainepitoisuudet	54
4.3	Sammalten alkuainepitoisuudet	66
4.4	Humuksen alkuainepitoisuudet ja ominaisuudet	79
5	Tulosten tilastollinen tarkastelu	84
5.1	Jäkälämuuttujien tilastollinen tarkastelu	95
5.1.1	Luokiteltujen muuttujien vaikutus.....	95
5.1.2	Regressioanalyysit.....	100
5.2	Neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien tilastollinen tarkastelu	106
5.2.1	Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi	106
5.2.2	Sammalten alkuainepitoisuuksien pääkomponenttianalyysi	107
5.3	Humuksen alkuainepitoisuuksien korrelaatiot	109
5.4	Yhteenveto	109
6	Vertailu	111
6.1	Vuosien välinen vertailu	111
6.1.1	Mäntyjen runkojäkälät.....	112
6.1.2	Neulasten alkuainepitoisuudet	121
6.1.3	Sammalten alkuainepitoisuudet	126
6.1.4	Humuksen alkuainepitoisuudet	141
6.2	Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin	145
6.2.1	Mäntyjen runkojäkälät.....	145
6.2.2	Neulasten alkuainepitoisuudet	146
6.2.3	Sammalten alkuainepitoisuudet	148
6.2.4	Humuksen alkuainepitoisuudet	150
7	Johtopäätökset	151
	Lähteet	155

*FCG Finnish Consulting Group ("FCG") on laatinut tämän raportin FCG:n asiakkaan ("Asiakas") toimeksiannon ja ohjeiden mukaisesti. Tämä raportti on laadittu FCG:n ja Asiakkaan välisen sopimuksen ehtojen mukaisesti. **FCG ei ole vastuussa tästä raportista tai sen käytöstä suhteessa mihinkään muuhun tahoon kuin Asiakkaaseen.***

Tämä raportti voi perustua kokonaan tai osaksi kolmansien osapuolten FCG:lle antamiin tietoihin tai julkisiin lähteisiin ja näin ollen tietoihin, joihin FCG:llä ei ole ollut vaikutusmahdollisuuksia. FCG toteaa nimenomaisesti, ettei sillä ole vastuuta sille annettujen virheellisten tai puutteellisten tietojen perusteella.

Kaikki oikeudet (mukaan lukien tekijänoikeudet) tähän raporttiin kuuluvat FCG:lle, tai Asiakkaalle, mikäli niin on sovittu FCG:n ja Asiakkaan välillä. Tätä raporttia tai sen osaa ei saa muokata tai käyttää uudelleen toiseen tarkoitukseen ilman FCG:n kirjallista lupaa.

1 Johdanto

Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen ilmanlaatua on seurattu useiden vuosikymmenien ajan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimusten avulla. Kokkolan seudulla ensimmäiset selvitykset on tehty 1970-luvulla ja Pietarsaaren seudulla vuonna 2000. Laajoja yhteisiä seurantatutkimuksia on tällä vuosituhannella tehty vuosina 2000–2001, 2006–2007, 2012 ja 2018. Molempien alueiden seurannan tulokset on vuodesta 2012 alkaen raportoitu yhteisessä raportissa.

Bioindikaattori on eliölaji, joka ilmentää ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Ympäristön tilassa tapahtuvat muutokset voidaan havaita esimerkiksi eliölajin rakenteen, alkuainepitoisuuksien, runsauden ja levinneisyyden sekä eliöyhteisöjen rakenteen muutoksina. Mäntyjen runkojäkäliät reagoivat herkästi ilman epäpuhtauksiin paitsi ulkomuodollaan, myös lajikoostumuksen ja runsaussuhteiden muutoksilla, ja ovat siten hyviä ilmanlaadun bioindikaattoreita. Vaikutukset ilmenevät jäkälälajeissa useiden vuosien viiveellä, minkä vuoksi jäkäläkartoitusmenetelmät soveltuvat hyvin pitkän aikavälin muutostrendien kuvaamiseen. Neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuudet puolestaan indikoivat epäpuhtauksien laskeumaa sekä metsämaan ravinnetilaa. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksen ilmenemiseen vaikuttavat aina myös luontaiset, kasvupaikkasidonnaiset tekijät, jotka voivat joko puskuroida tai voimistaa vaikutuksia. **Vuonna 2025 ilmanlaadun indikaattoreina käytettiin mäntyjen runkojäkäliä, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia, sammalen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia.** Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla aiemmin toteutetuissa tutkimuksissa (Laaksovirta ja Olkkonen 1997, Kling ym. 1985, Pesonen ym. 1987, Kekäläinen ja Vanhatalo 1993, Jyväskylän yliopisto 1998, 2003, 2008d) on selvitetty mm. mäntyjen runkojäkälikasvillisuutta, männyn neulasten alkuainepitoisuuksia ja mäntyjen latvuskuntoa. Lisäksi on seurattu sammalten alkuainepitoisuuksia, humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia.

Tutkimusalueeseen kuuluivat vuonna 2025 Kokkolan, Kaustisen, Kruunupyyn, Luodon, Pedersören, Pietarsaaren ja Uudenkaarlepyyn kunnat. Tutkimusalue oli sama kuin vuonna 2018. Tutkimus toteutettiin mahdollisimman pitkälle samoilla tutkimusaloilla kuin aiemmissa tutkimuksissa. Lisäksi Syväjärven ja Rapasaaren kaivoksen sekä Päivänevan rikastamon läheisyyteen perustettiin neljä uutta tutkimusalaa, joista kaksi sijoitettiin Kokkolaan ja kaksi Kaustiselle. Kaivos ja rikastamo eivät ole vielä tuotannossa, vaan kyseiset alat kuvaavat alueen tilaa ennen toiminnan aloittamista. Yhteensä tutkimusaloja oli mukana 244. Aiemmista tutkimuksista aineistoa oli käytettävissä vuosien 2012 ja 2018 tutkimusten osalta. Tuloksia verrattiin myös muualla Suomessa tehtyjen bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Tuloksia tulkittiin tarkastelemalla ilman laatua kuvaavien indikaattorimuuttujien vaihtelua suhteessa päästölähteisiin, vertailemalla tuloksia keskenään, vertailemalla lajistosuhteissa ja jäkälien kunnossa sekä alkuainepitoisuuksissa tapahtuneita muutoksia eri vuosina sekä tarkastelemalla tuloksia ja niiden muutoksia suhteessa päästömäärien kehitykseen.

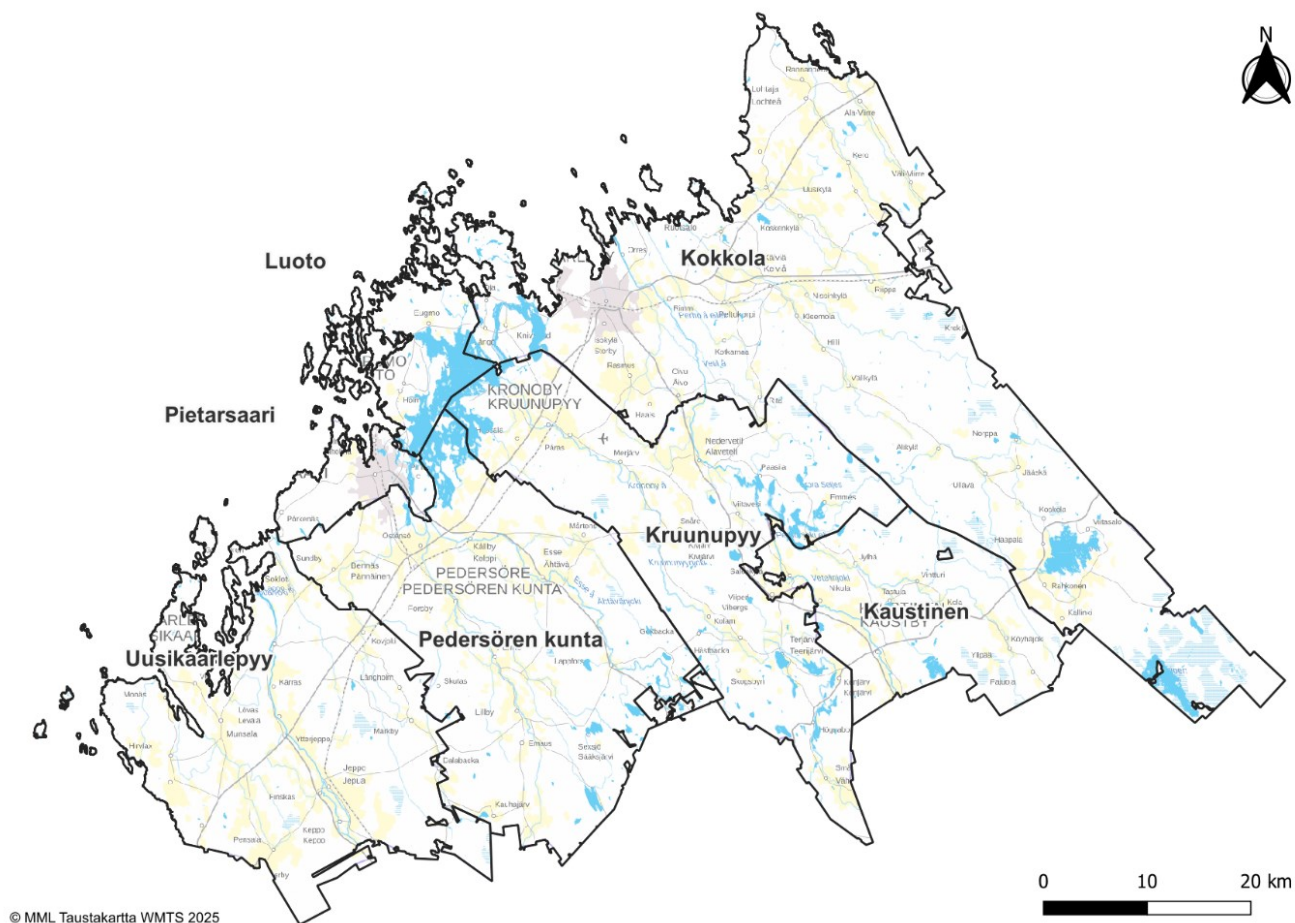
Tutkimuksen tilaajana ovat Kokkolan ja Pietarsaaren kaupungit, jotka rahoittivat tutkimusta yhdessä muiden tutkimusalueen kuntien ja alueen teollisuuden kanssa. Tutkimuksen toteutti

FCG Rakennettu Ympäristö Oy. Maastotyöt ja näytteenotot tehtiin talvella ja kesällä 2025 ja niihin osallistuivat ympäristöasiantuntijat Tuomas Talvitie (luontokartoittaja, EAT) ja Joona Kyhyräinen (FM). Maastotöiden organisoinnin ja maastotyöntekijöiden perehdytyksen toteutti FM Janne Ruuth. Projektin johtamisesta vastasi FM Henna Ruuth (Envineer Oy). Raportin laativat FM Joona Kyhyräinen ja FM Henna Ruuth, ja karttatöissä avusti FM Henna Träskelin. Laboratorioanalyysit toteutti KVVY Tutkimus Oy.

2 Tutkimusalue

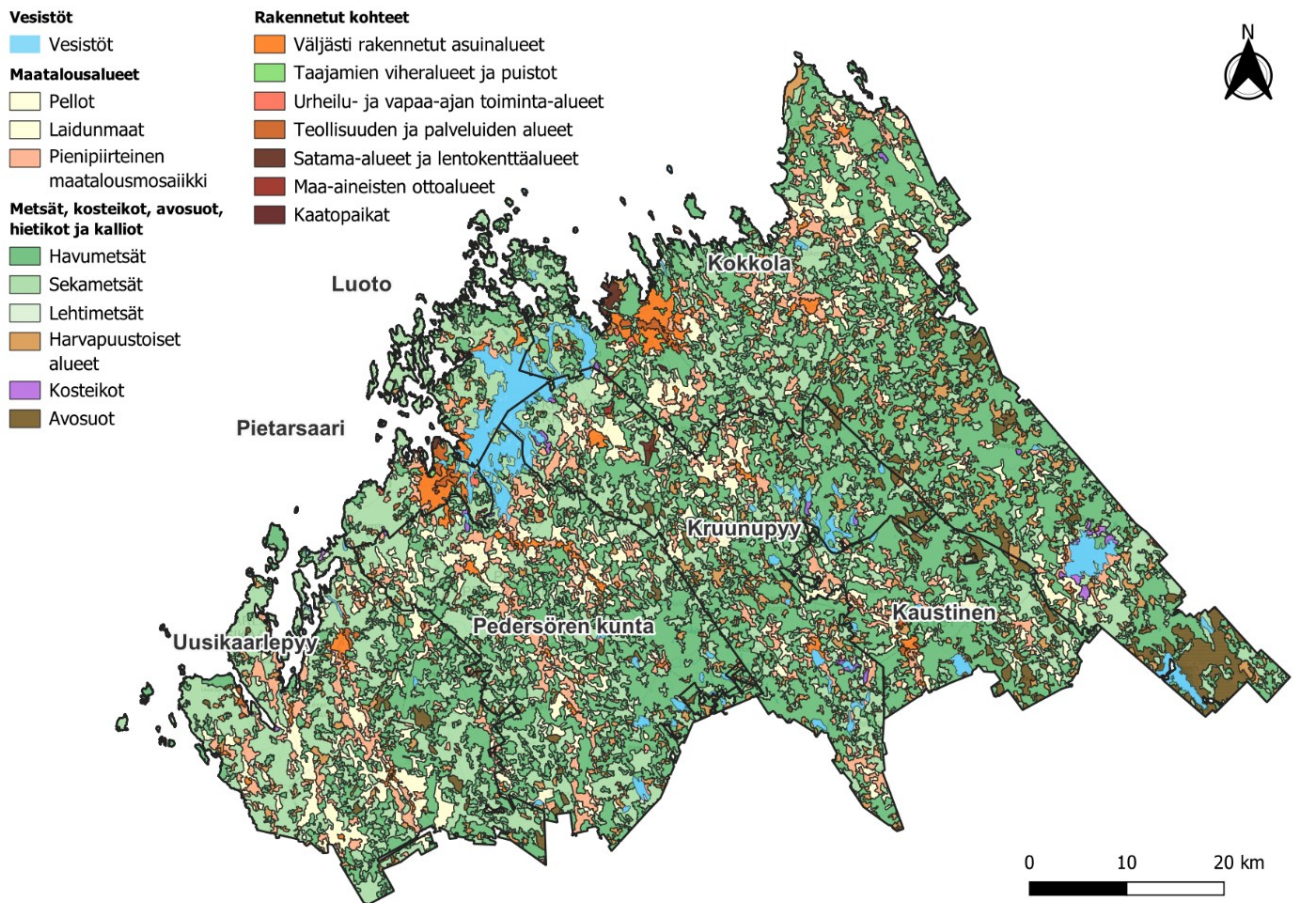
2.1 Yleiskuvaus

Kokkolan ja Pietarsaaren alueiden ilmanlaadun seurantaan osallistuivat Kokkolan, Kruunupyyn, Kaustisen, Luodon, Pietarsaaren, Uudenkaarlepyyn ja Pedersören kunnat (Kuva 2.1).



Kuva 2.1 Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen bioindikaattoritutkimukseen vuonna 2025 osallistuneet kunnat sekä alueen vesistöt ja tiestö.

Tutkimusalueen maankäyttö on esitetty kartalla Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Corine maanpeite 2018-aineiston mukaisesti (Kuva 2.2). Suomen kasvimaantieteellisessä aluejaossa Kokkolan ja Pietarsaaren seudut sijoittuvat Etelä-Pohjanmaan vyöhykkeelle, ja alueen pohjoisin osa on lähellä Pohjanmaan-Kainuun vaihtumisyvyöhykettä (Kalliola 1973). Alueen luonnolle yhden ominaispiirteen antaa mereisyys, joka tasoittaa lämpötilavaihteluita ja ohentaa talvista lumipeitettä. Pohjanmaan seudulle tyypillisesti alue on alavaa ja loivapiirteistä. Järviä on vähän, mutta aluetta halkovat joet ja jokilaaksot, joihin viljelysalueet pääosin keskittyvät. Alueen maaperä on pääasiassa moreenia ja lajittuneemmat maalajit sijoittuvat jokien varsille. Turvemaat ovat etenkin tutkimusalueen pohjoisosissa yleisiä (Geologian tutkimuskeskus 2015). Rannikko on maankohoamisaluetta ja Keski-Pohjanmaan alueella maa kohoaa vuosittain 8-9 mm (Pohjanmaan liitto 2006). Alueen kallioperä koostuu pääasiassa kiilleliuskeesta, granodioriitista ja graniitista (Geologian tutkimuskeskus 2022). Kokkolan seudulle on tyypillistä sulfidipitoisten hienoainessedimenttien, ns. alunamaiden suuri määrä. Sulfidimineraaleihin on sitoutuneena suuri määrä raskasmetalleja, ja näiden mineraalien rapautuminen aiheuttaa happamoittavien yhdisteiden sekä raskasmetallien vapautumista maaperään ja vesiin (Björklund ym. 1996).

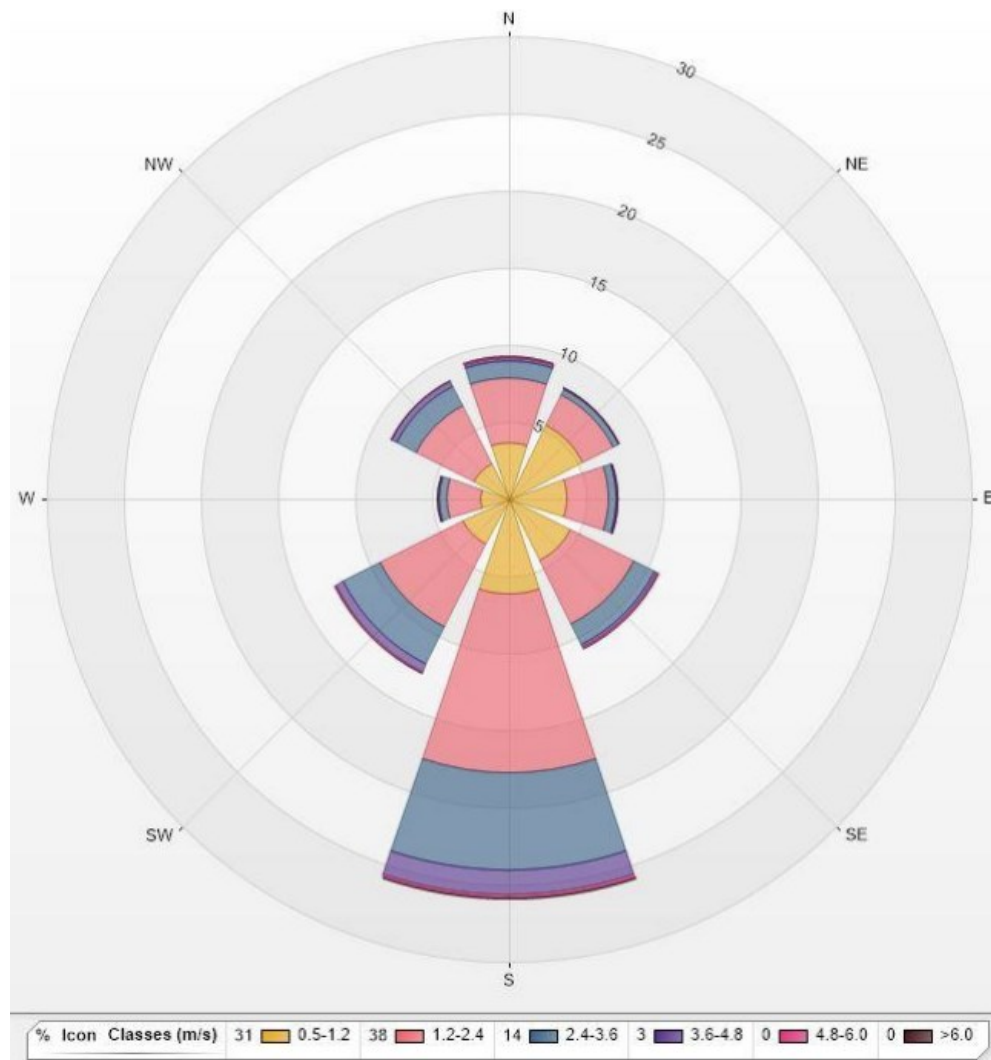


Kuva 2.2 Maankäyttö Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla (Corine maanpeite -aineisto 2018, yleistetty 25 ha, copyright: SYKE).

8.12.2025

KJ

Tuulet puhaltavat Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla pääsääntöisesti etelän ja lounaan suunnasta (Kuva 2.3).



Kuva 2.3 Tuulen suuntien osuudet (%) ja tuulen nopeuden (m/s) jakautuminen eri nopeusluokkiin tuulensuunnittain Ykspihlajassa vuonna 2024 (Kokkolan kaupunki, 2025).

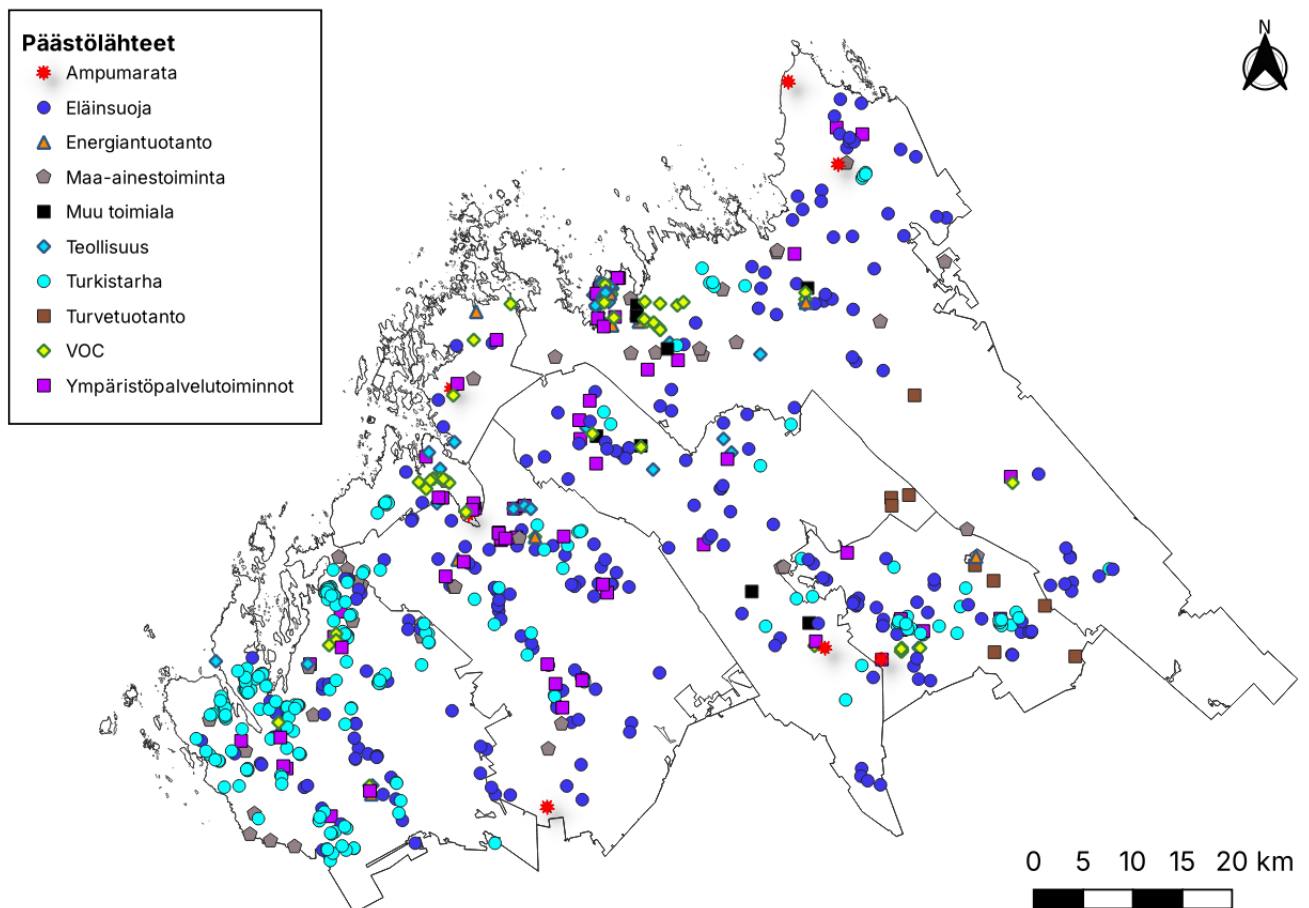
Tutkimusalue kuuluu Keski-Pohjanmaan ja Pohjanmaan maakuntiin. Alueella asuu yhteensä n. 100 000 ihmistä. Väestömäärältään suurin kunta on Kokkola n. 48 000 asukkaallaan, toisena Pietarsaari n. 20 000 asukkaallaan (Tilastokeskus 2024). Tutkimusaluetta halkoo lounas-koillinen suunnassa kulkeva valtatie 8, jonka keskimääräinen vuorokausiliikenne vaihtelee välillä 3 000–12 000 ajoneuvoa (Väylävirasto 2024).

Kokkola on perinteisesti vahvaa teollisuusaluetta. Ykspihlajan alueella sijaitsee Kokkolan suurteollisuusalue, joka on merkittävä suurteollisuuden keskittymä. Myös alkutuotannon rooli Kokkolan seudulla on merkittävä, ja on vahvistunut Kokkolan seudulle suunniteltujen kaivoshankkeiden myötä. Pietarsaaren seudulla on mm. massa- ja paperiteollisuutta,

veneteollisuutta ja elintarviketeollisuutta. Maatalous ja alueellisena erityispiirteenä turkistarhaus ovat alueella tärkeitä elinkeinoja.

2.2 Tutkimusalueen päästöt vuonna 2024

Tutkimusalueen kaikki kuntien ja ELY-keskusten valvomat toiminnassa olevat päästölähteet on esitetty kuvassa Kuva 2.4. Tarkastelussa mukana olevista päästölähteistä aiheutuu rikki-, typpi-, hiukkas-, pöly-, metalli- ja VOC-päästöjä ympäristöön. Eläinsuojien ja turkistarhojen osalta mukana ovat aluehallintoviraston ympäristöluvittamat tilat ja tarhat. Toiminnot on kartassa luokiteltu siten, että ympäristöpalvelutoiminnot kuten jätehuolto, jätevedenpuhdistamot ja maankaatopaikat on kuvattu samalla symbolilla, teollisuuden alat (kemianteollisuus, metsäteollisuus ja muu teollisuus) on kuvattu samalla symbolilla, maa-ainestoiminta (mineraalituotteiden valmistus ja kivenlouhinta, murskaamot, asfalttiasemat ja kalkkikivenjauhaus) on kuvattu samalla symbolilla. Tiedot toiminnoista ja niiden sijainneista ovat peräisin kuntien ympäristösuojeluviranomaisilta.



Kuva 2.4 Kokkolan ja Pietarsaaren alueen päästölähteet.

Tutkimusalueen merkittävimmät päästölähteet on esitetty alla (Kuva 2.5. ja Taulukko 2.1) Rikkidioksidin, typen oksidien, hiukkasten ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (*volatile*

organic compounds, VOC) laitoskohtaiset päästömäärät sekä liikenteen päästömäärät kunnittain vuonna 2024 (liikenteen osalta vuonna 2023) on esitetty taulukoissa 2.1 ja 2.2. Teollisuuden ja liikenteen päästötiedot perustuvat kuntien ympäristöviranomaisten ilmoittamiin tietoihin. Vuoden 2015 jälkeen päästötietojen laskentaa on uudistettu, eivätkä vuosien 2023 ja 2024 päästömäärät ole suoraan vertailukelpoisia ennen vuotta 2015 ilmoitettujen liikenteen päästömäärien kanssa.

Suurin osa tutkimusalueen rikkipäästöistä on peräisin Kokkolan ja Pietarsaaren suurteollisuudesta ja energiantuotannosta. Hiukkas- ja typpipäästöistä merkittävin osa muodostuu Pietarsaaressa. Metallipäästöistä suurin osa on peräisin Kokkolan alueelta, lukuun ottamatta elohopeaa, kuparia ja lyijyä.

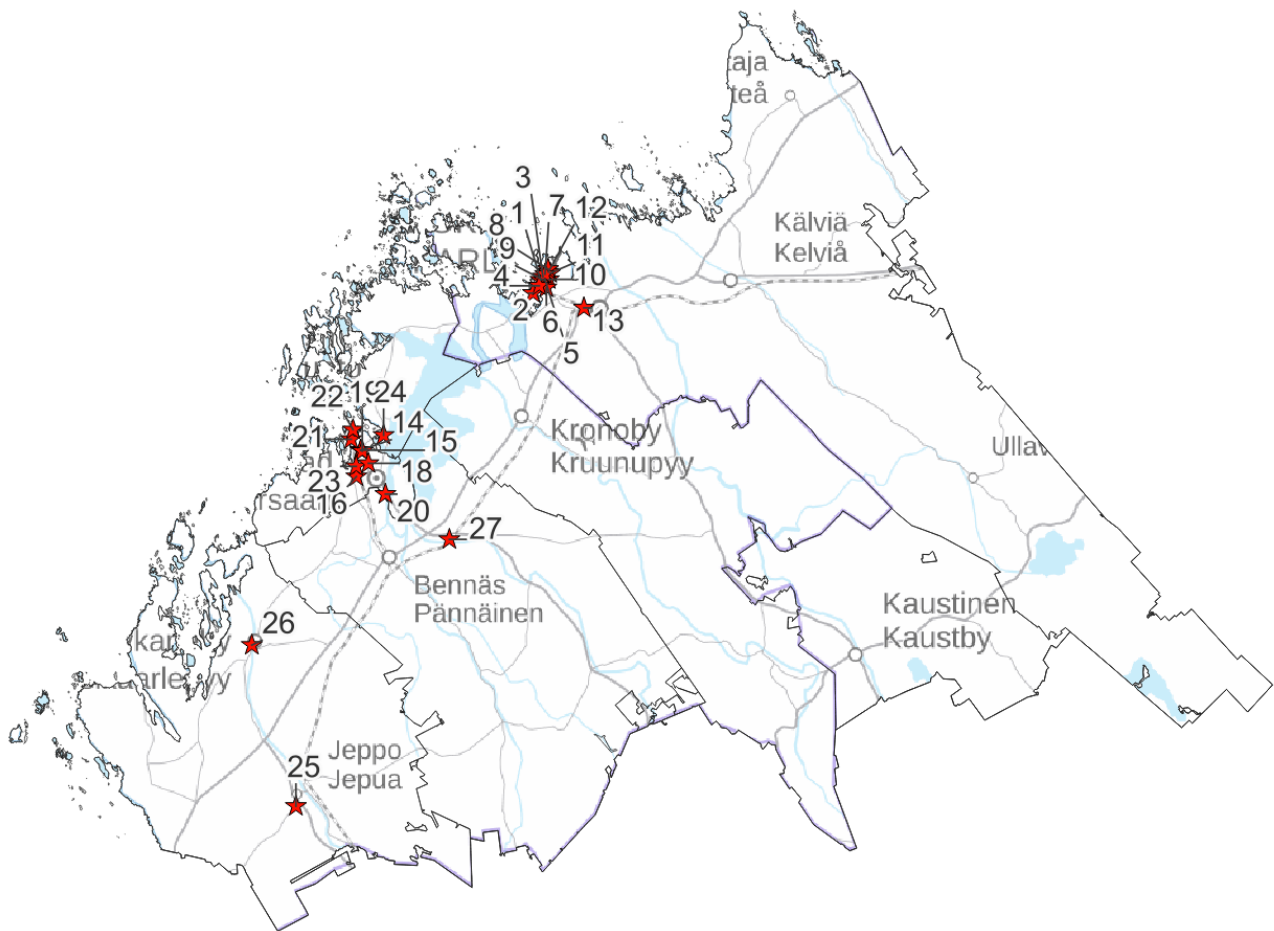
Tilaaajan toimittamien vuoden 2024 tietojen perusteella tutkimusalueella raportoitiin syntyneen eniten typen oksidien päästöjä, yhteensä 2056 tonnia. Näistä 87 % syntyi teollisuuden päästöistä. Suurin osa typen oksidien päästöistä syntyi Pietarsaaressa, jossa suurin päästölähde oli UPM Kymmene Oyj, jonka typen oksidien päästöt olivat 892 tonnia vuonna 2024. Liikenteen typen oksidien päästöjä syntyi eniten Kokkolan alueella, jossa päästö määrä oli 124 tonnia vuonna 2023.

Rikkidioksidipäästöjä syntyi yhteensä 1000 tonnia. Suurin osa rikkidioksidipäästöistä syntyi Kokkolassa ja suurimmat päästölähteet olivat Boliden Kokkola Oy:n rikkihappotehdas (316 tn/a) ja Yara Suomi Oy (155 tn/a).

Hiukkaspäästöjä raportoitiin alueella syntyneen yhteensä 152 tonnia, joista 97 % syntyi teollisuudessa. Suurimmat hiukkaspäästölähteet olivat UPM Kymmene Oyj (86 tn/a) ja Alholmens Kraft (44 tn/a).

8.12.2025

KJ



Kuva 2.5 Merkittävimmät päästölähteet tutkimusalueella (ks. Taulukko 2.1).

Taulukko 2.1 Kuvassa esitetyt päästölähteet.

Nro	Nimi	Nro	Nimi
1	CABB Oy	15	UPM-Kymmene Oyj
2	Kokkolan Satama	16	Herrfors Oy, Keskusaseman lämpökeskus
3	Boliden Kokkola Oy Rikkihappotehdas	17	Herrfors Oy, Siikaluodon lämpökeskus
4	Yara Suomi Oy	18	Herrfors Oy, Itälän lämpökeskus
5	Yara Phosphates Oy	19	OSTP Finland Oyj
6	Kokkolan Energia Oy, Power	20	Snellman Ab Oy
7	Kokkolan Energia Oy, Voima	21	Liikelaitos Pietarsaaren satama
8	Boliden Kokkola Oy Sinkkitehdas	22	Wibax Tank Oy
9	Tetra Chemicals Europe Oy	23	KWH-Plast Oy
10	Neste Oyj Kokkolan terminaalii	24	Löfs Ab Oy
11	Umicore Finland Oy	25	Adven Oy
12	Jervois Finland Oy	26	Nykarleby Kraftverk
13	Kokkolan Energia Oy, Kosila	27	Feedex Ab Oy
14	Alholmens Kraft		

Taulukko 2.2 Tutkimusalueen päästöt rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten osalta (tn/a) kunnittain vuonna 2024. Viimeiset liikennepäästö-tiedot ovat vuodelta 2023. Myös laitokset, joiden viimeisimmät päästötiedot ovat vuodelta 2023, on merkitty tähdellä ().*

Laitos	Kunta	SO ₂	% kunnan teollisuus- päästöistä	% koko alueen teollisuus- päästöistä	NO _x	% kunnan teolli- suus- pääs- töistä	% koko alueen teolli- suus- pääs- töistä	% kun- nan kai- kista pääs- töistä	% alu- een kai- kista pääs- töistä	hiuk- kaset	% kunnan teolli- suus- pääs- töistä	% koko alu- een teolli- suuspääs- töistä	% kunnan kai- kista pääs- töistä	% alueen kaikista päästöistä
CABB Oy	Kokkola	22,8	3	2	31,02	6	2	5	2	0,53	3	0	3	0,3
Kokkolan Satama	Kokkola	2,16	0	0	65,33	12	4	10	3	1,61	9	1	8	1,1
Boliden Kokkola Oy, Rikkihappotehdas	Kokkola	316	48	32	22,70	4	1	4	1					
Yara Suomi Oy	Kokkola	155	23	16	134,2	26	8	21	7	5,40	32	4	28	3,5
Yara Phosphates Oy	Kokkola	55	8	6	71,00	14	4	11	4	7,00	41	5	37	4,6
Kokkolan Energia Oy, Power	Kokkola	6,36	1	1	130,2	25	7	20	6	0,77	5	1	4	0,5
Kokkolan Energia Oy, Voima	Kokkola	29,50	5	3	72,80	14	4	11	4	0,39	2	0	2	0,3
Boliden Kokkola Oy Sinkkitehdas	Kokkola	75,97	12	8						1,31	8	1	7	0,9
Tetra Chemicals Eu- rope Oy*	Kokkola									0*		0	0	0,0
Kokkola yhteensä		663	100	66	527	100	29	81	26	17	100	12	90	11
Alholmens Kraft	Pietarsaari	133	39	13	295,7	23	17	23	14	43,64	34	30	34	28,6
UPM-Kymmene Oyj	Pietarsaari	201,7	60	20	892,4	71	50	69	43	85,86	66	58	66	56,3
Siikaluodon lämpökeskus	Pietarsaari	0,01	0	0	1,28	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0,1
Itälän lämpökeskus	Pietarsaari	0,00	0	0	0,32	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0,0
OSTP Finland Oy	Pietarsaari				39,58	3	2	3	2	0,15	0	0	0	0,1
OY Snellman AB	Pietarsaari	1,93	1	0	3,00	0	0	0	0	0,10	0	0	0	0,1
Liikelaitos Pietarsaaren satama	Pietarsaari	0,92	0	0	32,88	3	2	3	2					
Wibax Ab	Pietarsaari				0,17	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0
Pietarsaari yhteensä		337	100	34	1265	100	71	98	62	130	100	88	100	85

8.12.2025

KJ

Laitos	Kunta	SO ₂	% kunnan teollisuus- päästöistä	% koko alueen teollisuus- päästöistä	NO _x	% kunnan teolli- suus- pääs- töistä	% koko alueen teolli- suus- pääs- töistä	% kun- nan kai- kista pääs- töistä	% alu- een kai- kista pääs- töistä	hiuk- kaset	% kunnan teolli- suus- pääs- töistä	% koko alu- een teolli- suuspääs- töistä	% kunnan kai- kista pääs- töistä	% alueen kaikista päästöistä
Adven Oy*	Uusikaarle- pyy				1,84*	100	0	4	0	0*		0		0
Uusikaarlepyy yhteensä		0			2	100	0	4	0	0		0	0	0
Oy Feedex AB	Pedersöre									0,85	100	1	47	1
Pedersöre yhteensä		0			0					0,85	100	1	47	1
Teollisuuden päästöt yhteensä		1000			1794				87	148				97
Liikenne*	Kokkola	0			124,0			19,0		2,00			11	
Liikenne*	Pietarsaari	0,06			30,19			2,3		0,58			0	
Liikenne*	Pedersöre	0,12			48,88			100,0		0,95			53	
Liikenne*	Luoto	0,03			13,69			100,0		0,25			100	
Liikenne*	Uusikaarle- pyy	0,10			44,62			96,0		0,88			100	
Liikennepäästöt yhteensä		0,3			261				13	5				3
Teollisuus + liikenne	Kokkola	662,9			651,26					19,01				
Teollisuus + liikenne	Pietarsaari				1295,5					130,4				
Teollisuus + liikenne	Pedersöre	337,1			1					5				
Teollisuus + liikenne	Luoto	0,12			48,88					1,80				
Teollisuus + liikenne	Uusikaarle- pyy	0,03			13,69					0,25				
Teollisuus + liikenne		0,10			46,46					0,88				
Kaikki päästöt yhteensä		1000			2056					152				

Taulukko 2.3 Metallipäästölähteet ja päästömäärät vuonna 2024.

Alkuaine (kg/a)	Boliden Kokkola Oy	Jervois Finland Oy	Umicore Finland Oy	Kokkolan Energia Oy, Power	Kokkolan Energia Oy, Voima	OSTP Finland Oy Ab	Oy Alhol- mens Kraft Ab	Yht.
Alumiini								0,00
Antimoni								0,00
Arseeni	26,83			0,10	0,23		0,11	27
Elohopea	2,21			0,20	0,08		28,54	31
Kadmium	4,02			0,10	0,04		0,56	4,7
Koboltti		532,20	126,50	1,10	0,23			660
Kromi				0,30	0,40	0,70	2,23	3,6
Kupari	13,79		2,80	0,60	0,21		68,63	86
Lyijy	12,62			0,30	0,22		16,72	30
Mangaani				1,00				1,0
Nikkeli		47,70	15,90	1,30	0,60	0,75	35,00	101
Rauta	11,79							11,8
Sinkki	7741,48			5,80	3,14		212,03	7963
Vanadiini				0,10	0,17		10,03	10,3
Yhteensä	7813	580	145	10,9	5,3	1,45	374	8 929

2.3 Päästömäärien kehitys vuosina 1987–2024

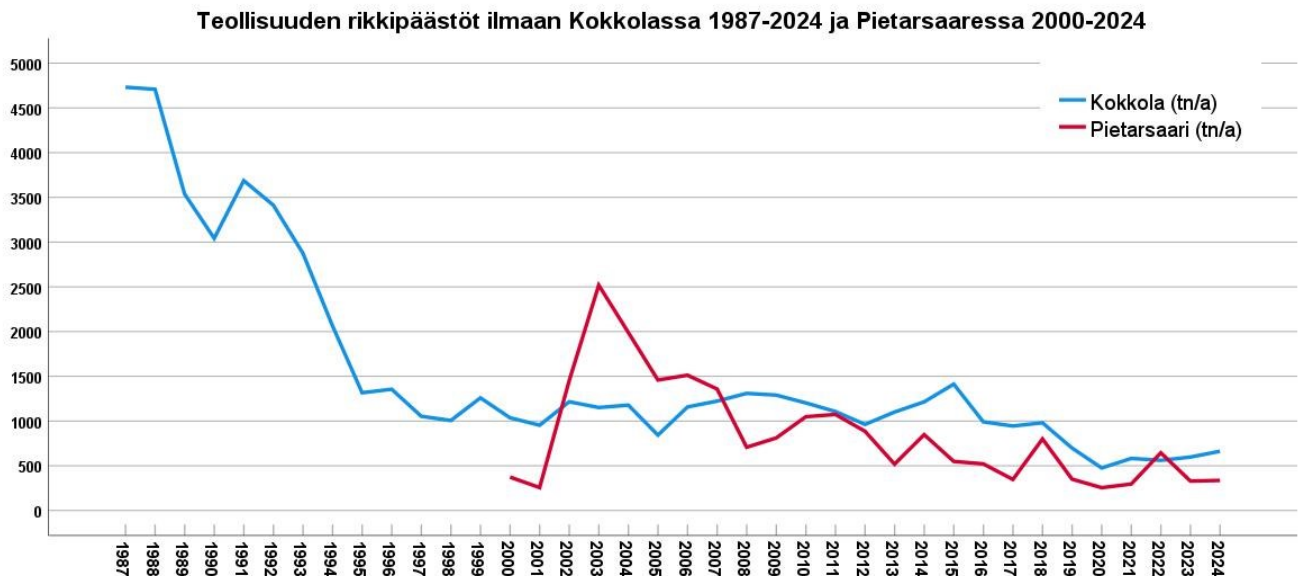
Teollisuuden ja liikenteen päästömääriä on seurattu Kokkolan ja Pietarsaaren alueilla vuodesta 1987 lähtien. Rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten päästömäärien kehitys teollisuuden osalta on esitetty alla kuvissa (Kuva 2.6–Kuva 2.8). Metallipäästöt on esitetty kuvassa Kuva 2.9 ja liikenteen päästöt typen oksidien ja pienhiukkasten osalta kuvissa Kuva 2.10 ja Kuva 2.11.

2.3.1 Teollisuus

Teollisuuden rikkidioksidipäästöjen kokonaismäärä on ollut tasaisessa laskussa 2000-luvun alkupuolelta lähtien. Kokkolan ja Pietarsaaren teollisuuden päästöjen määrä oli 2000-luvun alussa yli 1 000 tonnia rikkidioksidia vuodessa, mutta ne ovat laskeneet 2020-luvulla alle 700 tonniin vuodessa. Suurimmat rikkidioksidipäästöt tarkastelujaksolla 2018-2024 osuivat vuoden 2018, ollen kuitenkin alle 1 000 tonnia vuodessa. Rikkidioksidin kokonaispäästöt olivat vuosina 2018-2024 edellistä tarkastelujaksoa 2012-2017 matalammalla tasolla. (Kuva 2.6)

8.12.2025

KJ

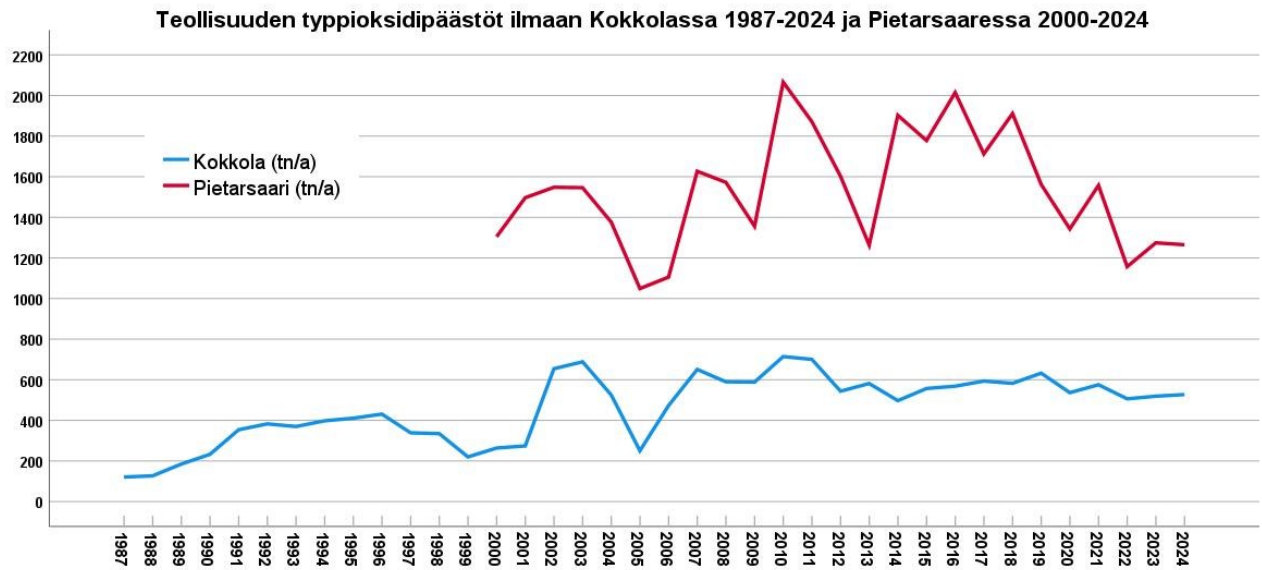


Kuva 2.6 Tutkimusalueen teollisuuden rikkidioksidipäästöt (tonnia/vuosi) vuosina 1987-2024.

Teollisuuden typen oksidien kokonaispäästöt ovat säilyneet samalla tasolla Kokkolassa läpi 2000-luvun, ollen noin 500-700 tonnia vuosittain. Hienoista laskua päästömäärissä on ollut huomattavissa vuoden 2011 jälkeen, kun typen oksidien päästöt ovat laskeneet 500-600 tonniin vuodessa, kun 2000-luvun alussa päästömäärät olivat 600-700 tonnia vuosittain. Pietarsaassa typen oksidien päästöt ovat vähentyneet huomattavasti vuoden 2018 jälkeen palaten 2000-luvun alun tasolle, joka oli noin 1400-1600 tonnia typen oksideja vuodessa. Vuosina 2007-2018 päästöt olivat 1600-200 tonnia vuodessa. Typen oksidien määrä Pietarsaassa on siis vähentynyt huomattavasti edellisestä tarkastelujaksosta 2011-2017. Kokkolan typen oksidien päästöt ovat pysyneet samalla tasolla. Pietarsaaren päästöt ovat olleet 600-1300 tonnia vuodessa suurempia kuin Kokkolan päästöt vuosina 2018-2024. (Kuva 2.7)

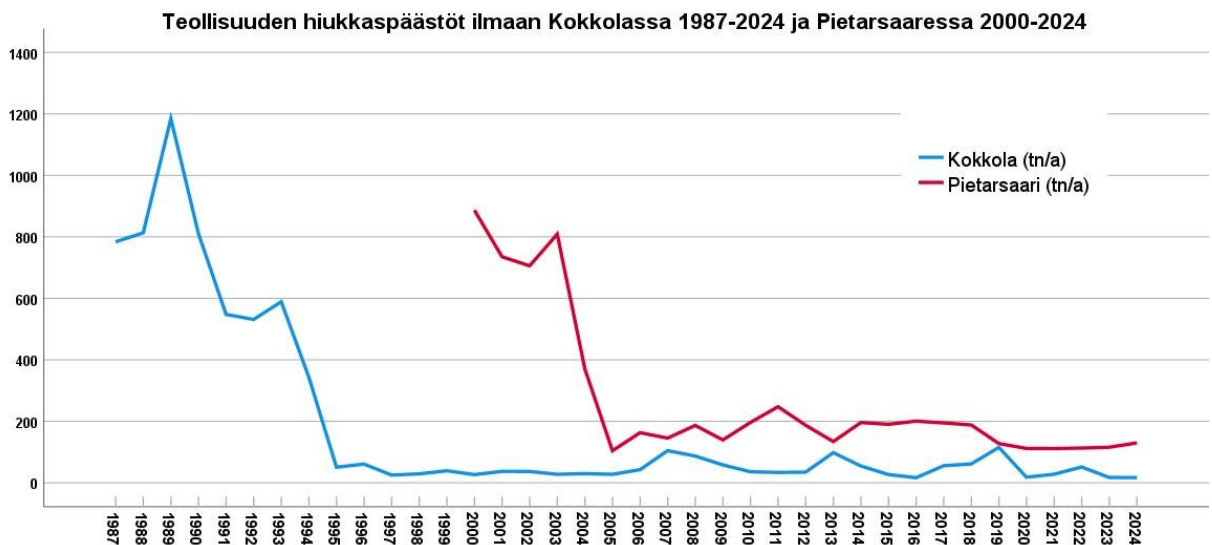
8.12.2025

KJ



Kuva 2.7 Tutkimusalueen teollisuuden tyyppien oksidien päästöt (tonnia/vuosi) vuosina 1987-2024.

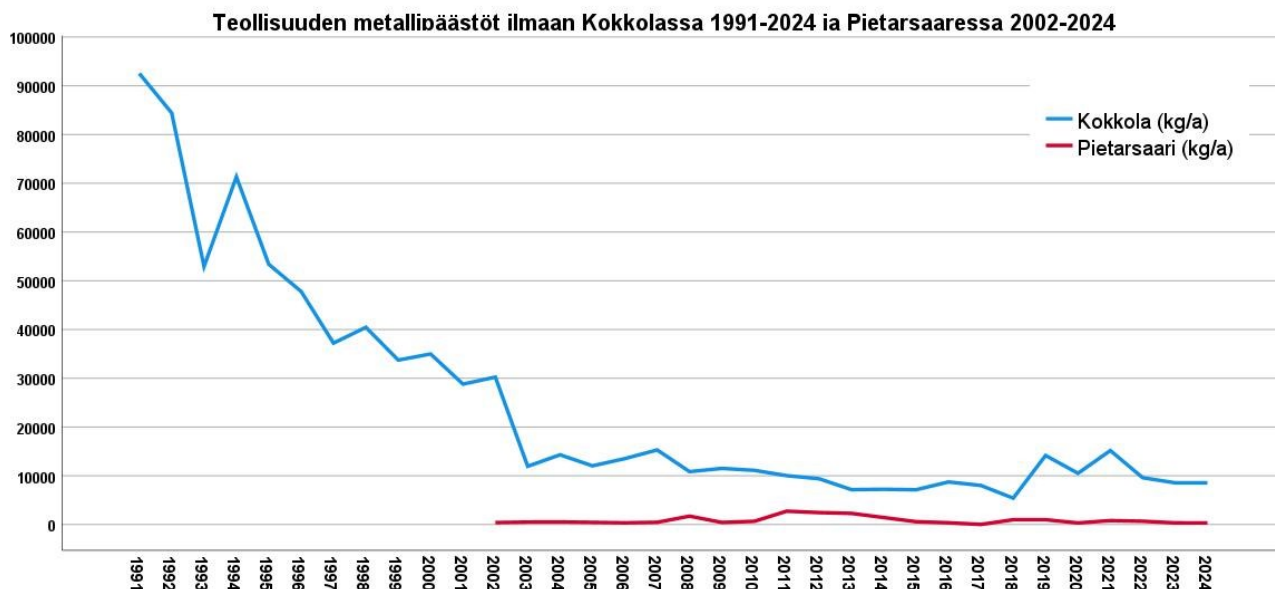
Teollisuuden hiukkaspäästömäärät ovat vähentyneet merkittävästi vuoden 2004 jälkeen ja säilyneet vuoden 2005 tasolla siitä lähtien. Pietarsaaren hiukkaspäästöt ovat olleet Kokkolan päästöjä suurempia. (Kuva 2.8)



Kuva 2.8 Tutkimusalueen teollisuuden hiukkaspäästöt (tonnia/vuosi) vuosina 1987-2024.

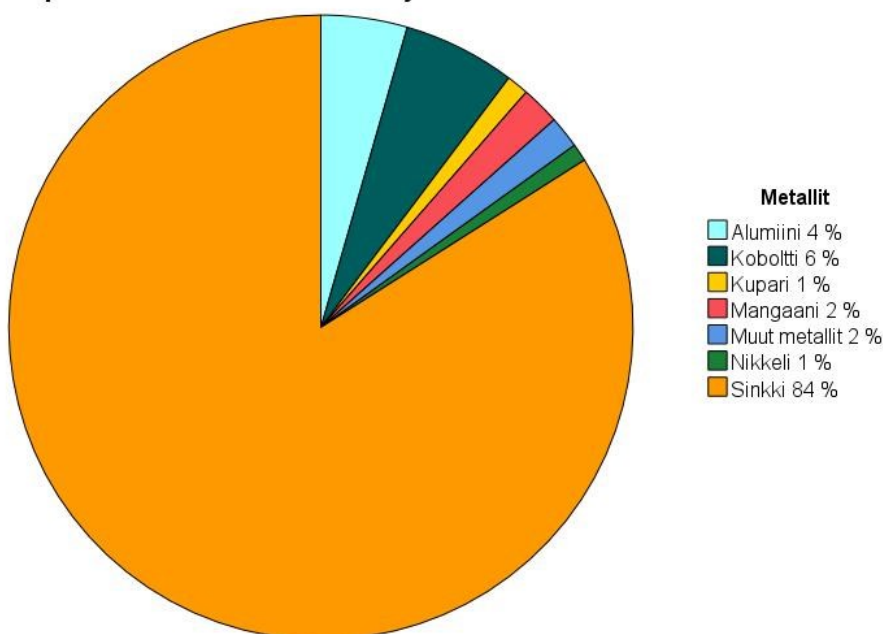
Kokkolan metallipäästöt ovat vähentyneet huomattavasti tarkastelujakson 1991-2024 aikana. Viimeisimmän tarkastelujakson 2018-2024 aikana on tapahtunut pienoista kasvua päästö määrässä verrattuna tarkastelujakson 2011-2017 päästö määriin. Metallipäästöt ovat kasvaneet aikaisemmasta tarkastelujaksosta 2-6 tonnia vuodessa ja olleet vuosina 2018-2024 vuosien 2003-2012 tasolla. Pietarsaaren metallipäästöissä ei ole tapahtunut suuria

muutoksia vuosien 2002-2024 välillä. Pietarsaaren metallipäästöt ovat pienempiä kuin Kokkolan metallipäästöt. Kokkolassa metallipäästöt olivat vuosina 2018-2024 noin 8-15 tonnia vuodessa, kun Pietarsaassa päästöt olivat 0,3-1 tonnia vuodessa. Kokkolan ja Pietarsaaren vuosien 2018-2024 metallipäästöistä 84 % oli peräisin sinkistä. Seuraavaksi suurimpia päästömääriä havaittiin koboltilla (6 %), alumiinilla (4 %) ja mangaanilla (2 %). (Kuva 2.10)



Kuva 2.9 Kokkolan ja Pietarsaaren metallipäästöjen (kg/a) kehitys vuosina 1991-2024).

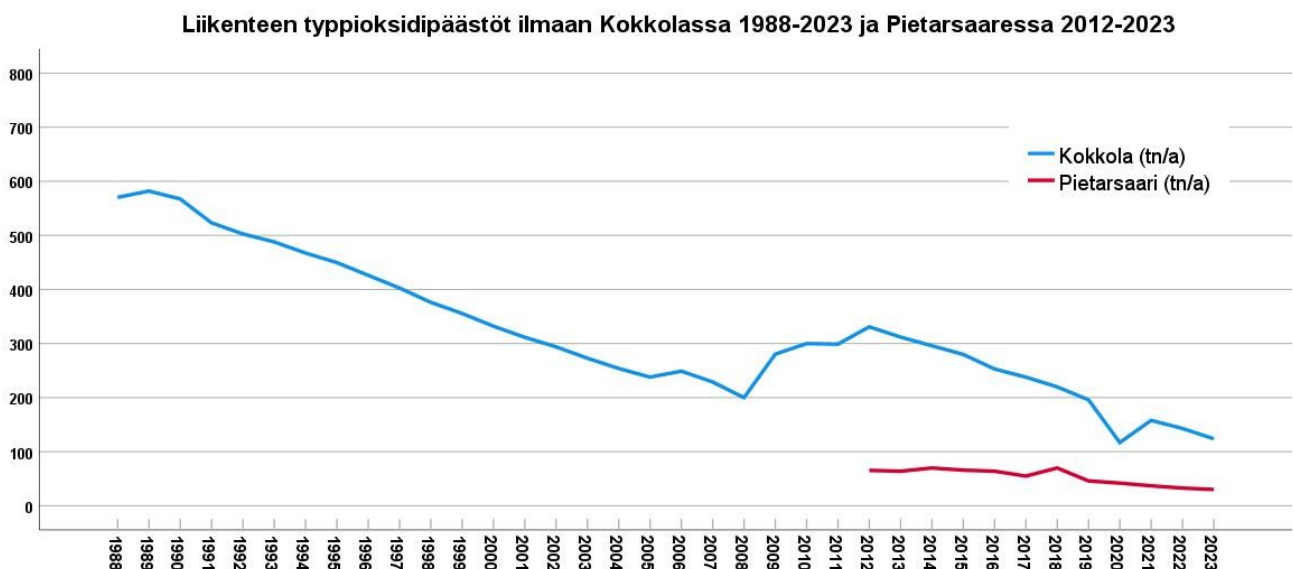
Metallipäästöt ilmaan Kokkolassa ja Pietarsaassa 2018-2024



Kuva 2.10 Metallipäästöjen jakautuminen vuosina 2018-2024.

2.3.2 Liikenne

Liikenteen rikkidioksidipäästöjen kokonaismäärä Kokkolassa ja Pietarsaareissa oli 0-0,5 tonnia mittausjakson 2012-2023, mikä oli enimmillään noin 0,2 % vuosikohtaisesta teollisuuden ja liikenteen yhteenlasketusta rikkidioksidin päästömäärästä, eikä liikenteen rikkipäästöjä ole pienen osuuden takia esitetty kuvaajissa. Liikenteen typen oksidien päästöt ovat vähentyneet merkittävästi ajan kuluessa. Vuosina 2018-2023 Kokkolan liikenteen typpipäästöt olivat 100-200 tonnia vuodessa, mikä on vähemmän kuin edellisen tarkastelujakson 2011-2017 typpipäästöt 240-320 tonnia vuodessa. Pietarsaaren liikenteen typpipäästöissä on myös tapahtunut hienoinen lasku tarkastelujaksojen välillä, mutta päästöt ovat pienemmät kuin Kokkolassa, noin 30-80 tonnia vuodessa. Kokkolassa liikenteen typpipäästöt olivat merkittävä osa kaikista typpipäästöistä vuosina 2018-2023, enimmillään noin 28 % kaikista alueen typpipäästöistä. Pietarsaareissa liikenteen typpipäästöt olivat samalla ajanjaksolla huomattavasti vähemmän merkittävä osa kaikista typpipäästöistä. Pietarsaaren liikenteen typpipäästöjen osuus kaikista typpipäästöistä vuosina 2018-2023 oli enimmillään noin 5 %. (Kuva 2.11)

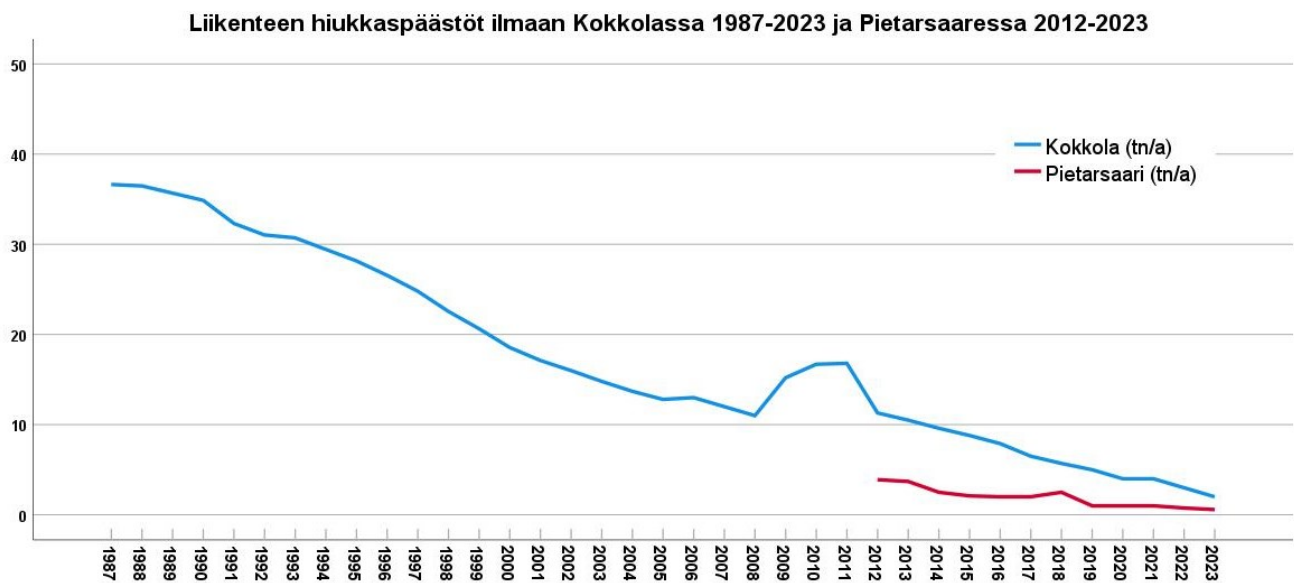


Kuva 2.11 Tutkimusalueen liikenteen typen oksidien päästöt (tonnia/vuosi) vuosina 1987-2023.

Liikenteen hiukkaspäästöt ovat typpipäästöjen trendin mukaisesti vähentyneet säännönmukaisesti aina 1900-luvun loppupuolelta lähtien. Kokkolan liikenteen hiukkaspäästöt olivat vuosina 2018-2023 2–6 tonnia vuodessa ja Pietarsaaren päästöt 0,5–4 tonnia vuodessa. Kokkolassa liikenteen hiukkaspäästöjen osuus kaikista teollisuuden ja liikenteen hiukkaspäästöistä oli enimmillään noin 2 % vuosina 2018-2024, Pietarsaareissa liikenteen hiukkaspäästöt kattoivat enimmillään noin 0,8 % kaikista hiukkaspäästöistä. (Kuva 2.12)

8.12.2025

KJ

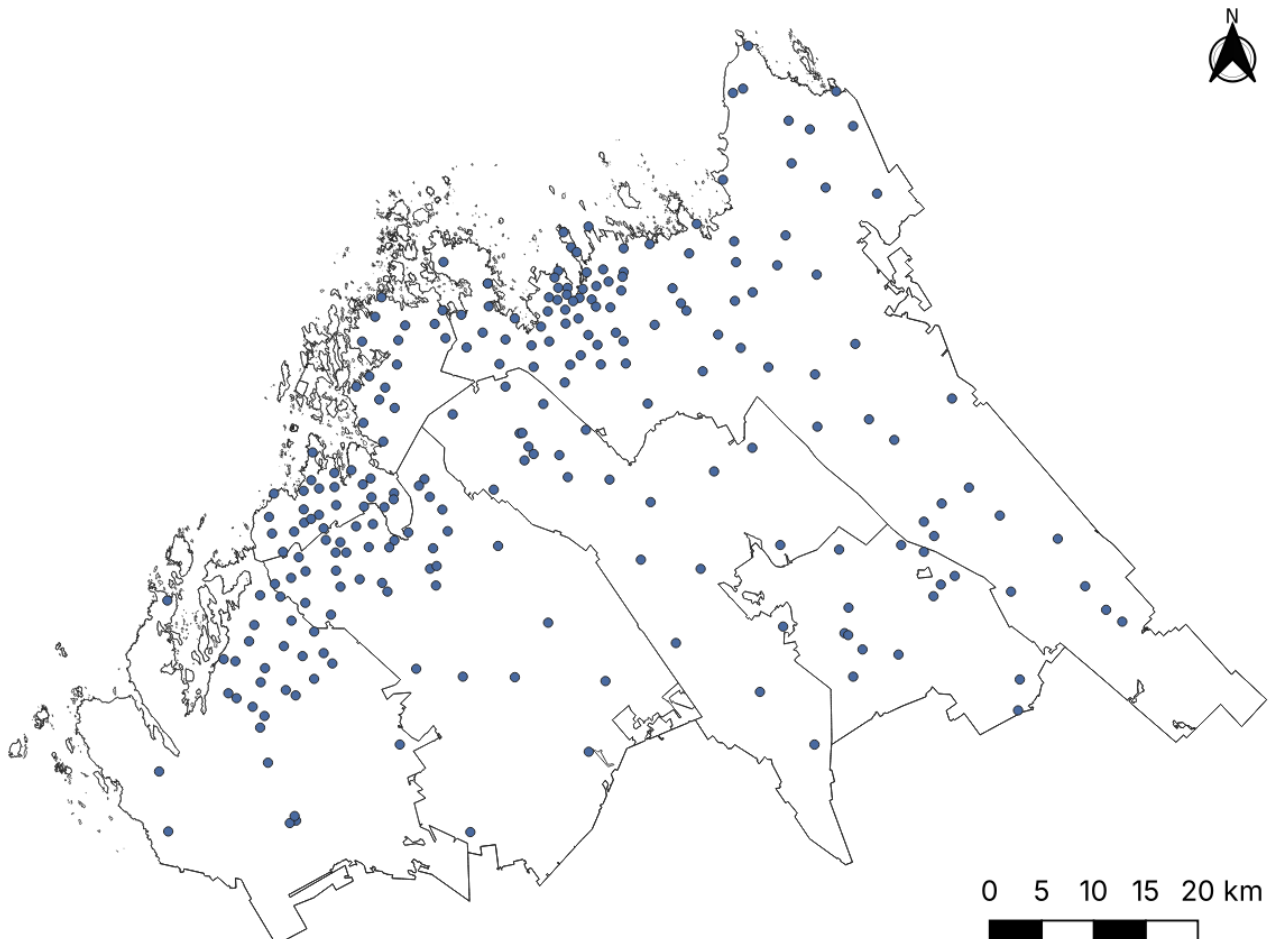


Kuva 2.12 Tutkimusalueen liikenteen hiukkaspäästöt (tonnia/vuosi) vuosina 1987-2023.

3 Aineisto ja -menetelmät

3.1 Tutkimusalat

Tutkimus tehtiin 244 tutkimusalalla, joilla tutkittiin mäntyjen runkojäkäliä ja neulasten, seinäsammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia sekä humuksen kemiallisia ominaisuuksia. Tutkimusalojen sijainnit on esitetty kartalla alla (Kuva 3.1). Taulukossa alla on esitetty tutkimusalojen lukumäärät kunnittain. Vuoden 2025 tutkimuksessa otettiin kaikilta tutkimusalueen mäntyaloilta neulasnäytteet. Näytealojen kokonaismäärää lisättiin neljällä, kattamaan paremmin Kaustisen ja Kokkolan rajalle tulevien Syväjärven ja Rapasaaren kaivosten ja rikastamon vaikutusalue. Uusien tutkimusalojen avulla selvitettiin nykytila litiumkaivoksen lähi-alueella. Toiminta alkaa vuonna 2026 Syväjärven kaivoksesta, noin 3 km rikastamon alueesta pohjoiseen. Lisäksi neljän Kokkolan Ykspihlajan alueella sijaitsevan näytealan humusanalyysivalikoimaan lisättiin litiumanalyysi.



Kuva 3.1 Tutkimusalojen sijainti tutkimusalueella vuonna 2025.

Taulukko 3.1 Tutkimusalojen lukumäärä kunnittain ja uutena perustettujen havaintoalojen määrät vuonna 2025.

Kunta	Jäkälä- alat	Vanhat alat	Vaihtuneet alat	Uudet alat	Neulas- alat	Sammal- alat	Humus- alat
Kaustinen	14	11	3	2	14	14	4
Kokkola	98	81	17	2	98	90	16
Kruunupyy	23	17	6	0	23	23	1
Luoto	16	13	3	0	16	16	4
Pedersöre	38	32	6	0	38	38	9
Pietarsaari	25	24	1	0	25	25	6
Uusikaarlepyy	30	21	9	0	30	29	6
Yhteensä	244	199	45	4	244	235	46

Vanhoilla tutkimusaloilla ruonkojäkäläkartoitus pyrittiin tekemään samoilla tutkimuspuilla kuin vuonna 2018 toteutetussa tutkimuksessa, mutta hakkuiden tai maankäytön muutosten vuoksi noin viidesosa vanhoista aloista perustettiin uudestaan (45 alaa). Kaikki muutokset tutkimusaloissa tai -puissa kirjattiin, ja ne huomioitiin vuosien välisiä tuloksia vertailtaessa.

Jokaisesta tutkimusalasta täytettiin taustatietolomake, johon merkittiin alan koordinaatit, alan etsintäohje ja puiden sijainti. Tutkimusalan metsätyyppi, puuston kehitysluokka, ikä ja pituus, sekä valtapuulajien pohjapinta-alat ja havaintoalan topografia kirjattiin ylös. Alan soveltuvuus luokiteltiin käyttäen asteikkoa hyvä-kohtalainen-huono. Soveltuvuus on havainnoitsijan subjektiivinen arvio havaintoalan soveltuvuudesta bioindikaattoritutkimukseen, ja sitä arvioitaessa huomioidaan runkojäkäläkartoitukseen käytettävää metsikköä koskevat kriteerit. Puuston pohjapinta-alat määritettiin relaskoopin avulla, ja puuston ikä ja pituus silmä-määräisesti.

Uusien alojen valinnassa tärkein kriteeri oli alan soveltuvuus jäkäläkartoitukseen. Vanhan tuhoutuneen tutkimusalan tilalle pyrittiin perustamaan uusi ala lähimmälle jäkäläkartoituksen kriteerit (standardi SFS 5670) täyttävälle paikalle. Kriteereistä tärkeimpiä ovat metsikön ikä, puuston tiheys sekä aluskasvillisuuden esiintyminen. Niiden kannalta parhaat tutkimusalat sijaitsevat kuivahkoilla tai kuivilla kankailla, joilla aluskasvillisuus on matalaa ja metsä melko harvaa. Tutkimusalojen valinnalla pyritään eliminoimaan luontaiset jäkälälajiston koostumukseen sekä vaurioihin vaikuttavat mikroilmastolliset tekijät, joista tärkein on valoisuuden ja varjoisuuden suhde. Uusia tutkimusmetsiköitä valittaessa pyrittiin lisäksi välttämään reuna vaikutusta tai esim. suppia ja paisterinteitä, joissa vallitsee poikkeava mikroilmasto. Myös hiljattain käsiteltyjä metsiköitä vältettiin. Tutkimuspuiksi valittiin rinnankorkeudella läpimitaltaan vähintään 20 cm ja kolmen metrin korkeudelle oksattomia puita. Pensaiden tai taimien ympäröimiä puita tai hyvin lähellä toisia puita kasvavia puita ei hyväksytty mukaan kartoitukseen, jos niiden poisjättäminen oli mahdollista.

8.12.2025

KJ

Neulasnäytteet kerättiin 27.1.–27.2.2025. Neulasnäytteitä keräsivät näytteenottajat Tuomas Talvitie (luontokartoittaja, EAT) ja nuorempi ympäristöasiantuntija Joona Kyhyräinen (FM Ympäristötieteet). Männyn runkojäkäläkartoitus sekä sammalten ja humusten näytteenotto toteutettiin 15.4.–3.7.2025. Kesäaikaisiin maastotöihin osallistuivat edellä mainitut henkilöt. Maastotyöntekijöiden perehdytyksen toteuttivat vuonna 2025 projektipäälliköt Janne ja Henna Ruuth.

Taulukko 3.2 Tutkimusalojen jakaantuminen luokkiin taustamuuttujien suhteen.

Tunnus	Luokka	Lukumäärä	Osuus aloista
Soveltuvuus	Hyvä	143	59 %
	Kohtalainen	86	35 %
	Huono	15	6 %
Metsätyyppi	CT, kuiva kangas	14	6 %
	VT, kuivahko kangas	119	49 %
	MT, tuore kangas	93	38 %
	OMT, lehtomainen kangas	13	5 %
	Muu	4	2 %
Kehitysluokka	Kypsä	89	36 %
	Varttunut	147	60 %
	Nuori	8	3 %
Puuston pituus (m)	alle 15	20	8 %
	15-19	72	30 %
	20 tai yli	152	62 %
Puuston ikä (v)	alle 80	67	27 %
	80-99	98	40 %
	100-119	49	20 %
	120 tai yli	30	12 %
Puiden halkaisija (cm)	alle 25	5	2 %
	25-29	97	40 %
	30-34	96	39 %
	35-39	37	15 %
	40 tai yli	9	4 %
1. valtalaji	Mänty	243	99,6 %
	Kuusi	1	0,4 %
2. valtalaji	Kuusi	149	61 %
	-	69	28 %
	Koivu	22	9 %
	Mänty	1	0,4 %
	Haapa	2	1 %

8.12.2025

KJ

Tunnus	Luokka	Lukumäärä	Osuus aloista
	Tuomi	1	0,4 %
3. valtalaji	-	163	67 %
	Koivu	58	24 %
	Kuusi	14	6 %
	Haapa	6	2 %
	Pihlaja	1	0,4 %
	Leppä	1	0,4 %
	Lehtikuusi	1	0,4 %
	-	242	99,2 %
4. valtalaji	Haapa	1	0,4 %
	Raita	1	0,4 %
	-		
Puuston pohjapinta-ala (m ²)	alle 10	3	1 %
	10-14	35	14 %
	15-19	83	34 %
	20-24	67	27 %
	25-29	39	16 %
	30 tai yli	17	7 %

3.2 Männyn runkojäkälät

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

Jäkälät ilmentävät ilman epäpuhtauksien vaikutuksia yksilöllisesti silmin havaittavina morfologisina tai kemiallisina muutoksina, peittävyysien muutoksina tai jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksina (Lodenius ym. 2002). Ilman epäpuhtauksien aiheuttamat muutokset jäkälissä ja jäkälälajistossa voivat ilmetä nopeasti etenkin suurissa pitoisuuksissa. Usein vaikutukset näkyvät vielä vuosienkin päästä kuormituksen vähennyttyä, koska jäkälät ovat hyvin hidaskasvuisia ja vaikutukset saattavat välittyä niihin myös kasvualustan muutosten kautta (Jussila ym. 1999). Jäkälälajit reagoivat ilman epäpuhtauksiin eri tavoin. Ensimmäisenä herkimpien lajien peittävyys puiden rungoilla pienenevät, kunnes laji ei enää pysty

8.12.2025

KJ

menestymään kasvupaikallaan. Tällöin kestävämmät lajit saattavat vallata vapautunutta elin-tilaa. Eräät lajit saattavat jopa hyötyä kuormituksesta.

Tässä tutkimuksessa morfologisina muutoksina arvioitiin sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioastetta sekä runkojäkälien yleistä vaurioastetta. Jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksia arvioitiin lajilukumäärän ja IAP-indeksin (Index on Atmospheric Purity, ilmanpuhtausindeksi) avulla. Sormipaisukarpeen ja luppojen (*Bryoria* sp.) peittävyysä arvioitiin pistefrekvenssimenetelmällä. Havainnot tehtiin tutkimusalalla viideltä tutkimuspuulta, joiden jäkälälajisto arvioitiin 50-200 cm:n korkeudelta.

3.2.1 Tutkitut lajit

Indikaattorilajeina käytettiin standardin SFS 5670 mukaisesti 12 männyillä yleisesti kasvavaa jäkälälajia. Indikaattorilajit on luokiteltu herkkyytensä mukaan neljään luokkaan (Taulukko 3.3). Tietyn lajin esiintymiseen vaikuttavat lajin saasteherkkyyden lisäksi myös luontaiset ympäristöolosuhteet, minkä vuoksi eri lajien indikaattoriarvot ovat erilaisia. Toiset lajit suosivat esim. merenrantoja, toiset valoisia ja kuivia metsiköitä, toiset sulkeutuneempia metsiköitä, toiset nuorempia puita ja toiset vanhempia. Lajien erityispiirteitä sekä niiden indikaattoriarvot on kuvattu alla.

Taulukko 3.3 Tutkitut jäkälälajit ja niiden herkkyydet rikkidioksidille (Kuusinen ym. 1990)

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

8.12.2025

KJ

Tutkimuksessa tarkastellut jäkälälajit, jotka ovat ilmanlaadun bioindikaattoreita. Jäkälien indikaattoriarvot luokiteltiin hyvä (+++), kohtalainen (++) , pieni (+) ja huono (-).

Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) +++



Sormipaisukarve on kestävä ja yleinen indikaattorilaji, joka sietää hyvin ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen peittävyys pienentyy vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Se on myös hyvä bioindikaattori, koska sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta. Seuralaislajien lukumäärä on 4,92.

Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++



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

Harmaatyvikarve ja tuhkakarve (*Imshaugia aleurites* & *Parmeliopsis hyperopta*) +++



Harmaatyvikarve ja tuhkakarve sijoittuvat kestävyydeltään kolmanneksi. Sormipaisukarvetta ja keltatyvikarvetta herkempinä lajeina, harmaatyvikarpeen ja tuhkakarpeen pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille. Harmaa- ja tuhkatyvikarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja, jotka suosivat kuivia ja valoisia kalliomänniköitä. Seuralaislajien lukumäärä on 5,33.

Lupot (*Bryoria* sp.) +++



Lupoilla on keskimäärin eniten seuralaislajeja, mikä osoittaa sen olevan herkkä ilman epäpuhtauksille. Lupon esiintymisfrekvenssit noudattavat yleensä ilmansaasteiden kuormitusta ja luppen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Lupot ovat hyviä ilman laadun indikaattoreita. Seuralaislajien lukumäärä on 6,27.

8.12.2025

KJ

Naavat (*Usnea sp.*) +++

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

Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ++

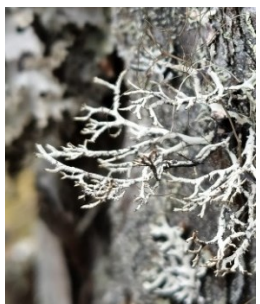
Harmaaröyhelö on seuralaislajien määrän perusteella suhteellisen herkkä indikaattorilaji ja myös sen esiintymisfrekvenssit ovat yleensä kaavaa noudattavia: laji puuttuu kuormitetuilta alueilta ja eniten sitä esiintyy puhtailla alueilla. Harmaaröyhelö on herkkä ilman epäpuhtauksille, mutta sen luontainen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

Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +

Keltaröyhelön esiintyminen on usein varsin satunnaista. Sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueilta, ja toisaalta se voi puuttua puhtailla alueilta. Keltaröyhelön luontainen esiintyminen vaihtelee suuresti, mutta mahdollisesti myös ilman epäpuhtauksilla on vaikutusta sen esiintymiseen. Keltaröyhelön arvo ilman laadun indikaattorina on kuitenkin pieni. Seuralaislajien lukumäärä on 5,32.

Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) –

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

Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++

Hankakarve on hyvin yleinen jäkälälaji männyn rungolla. Laji on herkkä ilman epäpuhtauksille, ja sen esiintymisfrekvenssien alueellinen jakauma vastaa yleensä ilman epäpuhtauksien kuormituksen jakaumaa. Ilmansaasteet aiheuttavat selvästi havaittavia muutoksia sekovarressa. Rannikon läheisyys suosii hankakarpeen esiintymistä, sillä se viihtyy valoisissa, kuivissa kalliomänniköissä. Indikaattorina se on kohtalainen. Seuralaislajien lukumäärä on 5,80.

8.12.2025

KJ

Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*) +

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

Seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ++

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

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

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

Lajien esiintyminen tutkittiin laajentaen standardinmukaista menetelmää siten, että kunkin lajin runsaus arvioitiin kolmiasteisella luokituksella (Taulukko 3.4). Kullekin tutkimuspuulle ja -alalle laskettiin ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lajimäärä. Ala- ja puukohtaisia lajimääriä laskettaessa ei huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä seinäsuomujäkälää tai levää ja vihersukkulajäkälää, jolloin lajeja saattoi olla puuta tai alaa kohti enimmillään 10. Puhtailla tausta-alueilla havaitaan yleensä enemmän jäkälälajeja kuin kuormitetuilla alueilla.

Taulukko 3.4 Jäkälän runsauden luokittelu. Leväpeite ja seinäsuomujäkälä on luokiteltu peittävyytensä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.

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

Taulukko 3.5 Jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella.

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

Kullekin havaintopaikalle laskettiin havaintopaikan jäkäläkasvillisuutta kuvaava IAP-indeksi (Index of Atmospheric Purity) (LeBlanc ja DeSloover 1970). IAP-indeksillä voidaan esittää eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit yhtenä lukuarvona, jossa on otettu huomioon eri lajien herkkyydet ilman epäpuhtauksille. Korkea indeksiarvo kertoo runsaasta jäkälälajistosta ja siten hyvästä ilmanlaadusta, matalan indeksin arvon saavat puolestaan lajistoltaan köyhtyneet tutkimusalat (Taulukko 3-7). Indeksia laskettiin kullekin tutkimusalalle seuraavasti:

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

Q = kunkin jäkälälajin keskimääräinen seuralaislajien lukumäärä (ks. indikaattorilistaus)

f = lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealalla (0-1)

n = jäkälälajien lukumäärä (10)

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

Taulukko 3.6 Jäkälälajiston luokitus IAP-indeksin perusteella.

Indeksiarvo	Lajiston kuvaus
> 3	Luonnontilainen lajisto, mukana herkkiä lajeja
2-3	Lajistossa on lieviä muutoksia, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti
1-2	Lajisto on köyhtynyt, herkimpiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla
0,5-1	Lajisto on erittäin selvästi köyhtynyt, herkimpiä lajeja puuttuvat yleisesti, rungoilla esiintyy yleisesti ilmansaasteista hyötyviä lajeja
< 0,5	Jäkäläautio tai lähes jäkäläautio

3.2.2 Vaurioiden ja peittävyysien arvioiminen

Sormipaisukarve on erityisen hyvä ilmanlaadun epäpuhtauksien bioindikaattori, koska se kestää hyvin suuriakin ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, mutta ilmentää niitä morfologisilla muutoksilla, joita arvioidaan vaurioasteen avulla. On myös esitetty, että sormipaisukarve

8.12.2025

KJ

saattaisi hyötyä ilman epäpuhtauksista tiettyyn kuormitustasoon asti (Anttonen 1990). Kuormitustason kasvaessa sormipaisukarve voi vahvana kilpailijana vallata kasvualaa muilta lajeilta, mikä näkyy lajin peittävyiden kasvamisena lievässä kuormitustasossa. Sormipaisukarve kestää kuormitusta kuitenkin vain tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen sen vauriot pahenevat ja peittävyys pienenee (vrt. esim. Niskanen ym. 2003 ja Niskanen ym. 1996).

Sormipaisukarpeen vaurioaste ja runkojäkälien yleinen vaurioaste arvioitiin viisiasteisella luokituksella puolen vaurioluokan tarkkuudella (Taulukko 3.7). Yleisessä vaurioasteessa on eritelty kasvutavaltaan pensasmaisiksi lopot, naavat ja hankakarve, loput lajit ovat lehtimäisiä.

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

Taulukko 3.7. Sormipaisukarpeen ja jäkälien yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

Vaurioaste	Sormipaisukarpeen vauriot	Yleinen vaurio
I Terve	Jäkalät terveitä tai lähes terveitä	Kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II Lievä vaurio	Lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia	Pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
III Selvä vaurio	Jäkalät kitukasvuisia, vihertyneitä ja/tai tummuneita	Pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV Paha vaurio	Jäkalät pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä ja/tai tummuneita	Pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V Kuollut tai puuttuu	Kuollut tai puuttuu	Myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä

3.3 Neulasten, sammalten ja humuksen alkuainepitoisuudet sekä humuksen kemialliset ominaisuudet

Tässä tutkimuksessa selvitettiin metallien ja ravinteiden pitoisuuksia ja kertymistä männyn neulasissa, seinäsammalessa sekä maaperän humuksessa. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin maaperän kemiallisia ominaisuuksia. Tutkitut muuttujat kuvaavat kuormituksen alueellista jakaumaa, sekä tutkimusmetsiköiden ravinnetilaa sekä maaperän ominaisuuksia. Tutkittujen alojen määrät kunkin näyttemateriaalin ja alkuaineen suhteen on raportoitu seuraavassa taulukossa (Taulukko 3.8).

Taulukko 3.8 Tutkimusalojen lukumäärät tutkittujen alkuaineiden ja matriisien suhteen.

Alkuaine	Lyhenne	Neulasaloja	Sammalaloja	Humusaloja
Alumiini	Al	0	235	46
Arseeni	As	79	235	21
Boori	B	244	235	25
Elohopea	Hg	79	235	21
Fosfori	P	244	235	25
Kadmium	Cd	244	235	46
Kalium	K	244	235	46
Kalsium	Ca	244	235	46
Koboltti	Co	79	235	21
Kromi	Cr	244	235	25
Kupari	Cu	244	235	46
Litium	Li	8	6	10
Lyijy	Pb	0	235	25
Magnesium	Mg	244	235	46
Mangaani	Mn	244	235	25
Natrium	Na	0	235	21
Nikkeli	Ni	244	235	46
Rauta	Fe	244	235	39
Rikki	S	244	235	25
Sinkki	Zn	244	235	46
Typpi	N	244	0	0
Vanadiini	V	79	235	21
Vaihtohappamuus		0	0	46
Kationinvaihtokapasiteetti		0	0	46

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

Tutkitut alkuaineet on kuvattu seuraavassa lyhyesti.

Alumiini toimii osaltaan maaperän happamoitumisen puskurina. Happamuuden lisääntyessä maahan sitoutunut alumiini vapautuu maaveteen liukoisena Al^{3+} :na, joka on korkeina pitoisuuksina esiintyessään haitallista kasveille. (Tamminen 1998).

Arseeni on luonnossa yleinen, tavallisimmin sulfidimineraalien kanssa esiintyvä puolimetalli. Arseeni on erittäin myrkyllistä vesieliöille, ja se sitoutuu tavallisesti maaperän oksideihin, orgaaniseen ainekseen ja savimineraaleihin. Karkearakeisissa maalajeissa arseeni voi olla helposti liikkuvaa ja kulkeutua pohjaveteen. Arseenia käytetään mm.

elektroniikkateollisuudessa. Suomessa maaperän paikallista arseenikuormitusta on aiheuttanut lähinnä arseenin käyttö puunsuojaukseen CCA-kyllästeinä. (Reinikainen 2007).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Litium on alkalimetalleihin kuuluva alkuaine, jota esiintyy kallioperässä lähinnä silikaateissa. Litiumilla ei tiedetä olevan merkitystä ravinteena, mutta suurina pitoisuuksina litium on haitallista eliöille. Litiumilla on lääkinnällistä merkitystä ja sitä käytetään esimerkiksi akuissa. (Koljonen 1992).

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

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

Mangaani on yksi maankuoren kahdeksasta yleisimmästä alkuaineesta, ja ihmiselle tarpeellinen hivenaine. Suomen luontaisesti hapan maaperä sisältää luontaisesti paljon mangaania (Rautjärvi ja Raitio 2003). Kallioperässä mangaania esiintyi erilaisina mineraaleina ja malmeina. Mangaania käytetään muun muassa raudan ja teräksen valmistuksessa,

8.12.2025

KJ

alumiiniseoksissa ja väriaineina. Mangaanin päästölähteitä ovat mm. terästeollisuus ja kivihiilen, öljyn ja turpeen poltto sekä maaperän pölyäminen. (Värri 2007).

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

Nikkeliä esiintyy Suomen kallio- ja maaperässä luontaisesti mm. nikkelisulfidimineraaleissa. Nikkelin liikkuvuutta maaperässä säätelevät pH sekä orgaanisen aineksen ja alumiinipitoisten savimineraalien määrä. Nikkeli on välttämätön hivenaine, joka on kuitenkin tiettyinä yhdisteinä erittäin myrkyllinen vesieliöille. Nikkeliä käytetään mm. ruostumattoman teräksen ja metalliseosten valmistuksessa, metallien galvanoinnissa sekä paristoissa. Nikkelin päästölähteitä ovat mm. kaivos- ja metalliteollisuus ja kivihiilen ja öljyn poltto. (Reinikainen 2007, Melanen ym. 1999).

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

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

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

Typpi on kasvisolujen tärkeimpiä rakennusaineita, ja sen osuus kasvien kuiva-aineesta on 1-3 % (Raitio 1983), neulasilla tyypillisesti alle 2 % (Reinikainen ym. 1998). Typpi on helposti liikkuva ravinne, ja sen pitoisuus männyn neulasissa tavallisesti alenee neulasten ikääntyessä

(Helmisaari 1993). Suomessa typpi on tärkein puiden kasvia rajoittava tekijä, ja lievää typen puutetta voi esiintyä kohtalaisen rehevilläkin kivennäismailla (Reinikainen ym. 1998). Runsaan laskeuman alueella on havaittu typen kertymistä neulasiin (Raitio 1994, Innes 1995). Typpilaskeuman lisääntyminen voi muuttaa kasvien ainesuhteita ja heikentää puiden ravinteidenottokykyä, ja ravinne-epätasapaino altistaa puuston taudeille ja tuholaisille ja sääolosuhteiden haittavaikutuksille (Thelin ym. 1998).

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

3.3.1 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasiin kertyy epäpuhtauksia sekä juuriston kautta että suoraan ilmasta neulasten pintasolukoiden läpi. Osa laskeumasta jää neulasten pinnoille kulkeutumatta eteenpäin (Jussila ym. 1999). Neulasten alkuainepitoisuudet kuvaavat suhteellista kuormitusta, koska osa alkuaineista on aina peräisin maaperän luontaisista ravinnevaroista (Jussila ym. 1999). Alkuainepitoisuuksien perusteella voidaan tehdä päätelmiä ravinteiden keskinäisistä suhteista, puutostiloista tai myrkyllisen korkeista pitoisuuksista. Voimakkaat sateet laskevat neulasten alkuainepitoisuuksia (Huttunen 1982). Myös latvustosta voi huuhtoutua ravinteita alempien neulasten pinnoille; nämä ravinteet ovat peräisin lehtisolukoista ja kuivalaskeumasta (Helmisaari 1993). Neulasten vanhetessa helposti liikkuvien ravinteiden (N, S, Mg, K) pitoisuudet pienenevät, ja heikosti liikkuvien (Ca, Mn) pitoisuudet kasvavat. Kuormitetuilla alueilla rikkipitoisuudet voivat kuitenkin kasvaa neulasten vanhetessa (Nieminen ym. 1993, Helmisaari 1993). Neulasten iän vaikutusta on tutkimuksissa pyritty vakioimaan tekemällä analyysit toisen vuosikerran neulasista.

Yksiselitteisiä ohjearvoja neulasten alkuainepitoisuuksille ei ole, koska arvot vaihtelevat suuresti eri lähteissä (vrt. Reinikainen ym. 1998). Neulasten eri ravinnepitoisuuksille annettuja viitearvoja on esitetty alla (Taulukko 3.9).

Taulukko 3.9. Männyn neulasten alkuainepitoisuuksien viitearvoja kangasmaan metsille (Reinikainen ym. 1998, Braecke 1994, Mälkönen 1991 ja Raitio 1994 mukaan).

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

Neulasnäytteet kerättiin standardin SFS 5669 mukaisesti talvella 2025 pääasiassa samoilta tutkimusaloilta, joilta runkojäkälselvitys myöhemmin keväällä ja kesällä tehtiin. Neulasnäytteet kerättiin puiden lepoaikana tammi-helmikuussa, jolloin neulasten alkuainepitoisuuksissa on vähemmän vaihtelua kuin kasvukaudella (Raitio ja Merilä 1998). Näytepuista katkaistiin kolme oksaa eri puolilta latvustoa puiden ylimmästä neljänneksestä, mahdollisimman läheltä latvaa. Näytteet pakattiin muovipusseihin, joita säilytettiin pakastimessa näytteiden esikäsittelyyn asti. Näytteistä erotettiin toisen vuosikasvaimen neulas laboratoriossa (vuoden 2023 vuosikerta). Näytteet kuivattiin ja neulaset jauhettiin homogeeniseksi massa-seokseksi. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuudet analysoitiin standardien SFS-EN ISO 17294-1:2024, SFS-EN ISO 17294-2:2023, SFS-EN 16168:2012, SFS-EN ISO 11885:2009 ja EPA7473:2007 standardien mukaisesti. Tulokset on ilmoitettu mg/kg kuiva-ainetta kohti.

3.3.2 Sammalen alkuainepitoisuudet

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

Sammalen alkuaineiden pitoisuudet analysoitiin standardin SFS 5671 mukaisesti. Jokaiselta näytealalta kerättiin vähintään viisi osanäytettä eri paikoista mahdollisimman puhtailta

seinäsammalkasvustoilta. Osanäytteet pyrittiin keräämään metsän aukkopaikoilta. Sammalista leikattiin maastossa kolme nuorinta vihreää vuosikasvainta, jotka pakattiin amergrippusseihin. Laboratoriossa sammalnäytteet puhdistettiin ja kuivattiin. Kuivatut sammalet jauhettiin homogeeniseksi massaksi. Sammalten alkuainepitoisuudet määritettiin samojen standardien mukaan kuin neulasten alkuaineet.

3.3.3 Humuksen alkuainepitoisuudet ja kemialliset ominaisuudet

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

Humuksen **raskasmetallipitoisuuksien** katsotaan kuvaavan sekä ilman kautta leviävää kuormitusta että maaperästä peräisien olevien raskasmetallien määrää. Ilman kautta leviävä kuormitus voi olla peräisin kaukokulkeumasta tai paikallisista päästölähteistä. Erityisesti humuskerroksesta analysoitujen kuparin ja lyijyn pitoisuuksien valtakunnallisten jakaumien on havaittu vastaavan hyvin sammalista analysoitujen pitoisuuksien jakaumia. (Tamminen 1998). Laskeuman raskasmetallit kerääntyvät metsämaiden humuskerrokseen, jossa ne muodostavat yleensä vakaita kompleksiyhdisteitä. Metallien siirtyminen alapuolisiin maakerrokseen on riippuvaista orgaanisen aineksen liikkuvuudesta, jota happamoituminen kiihdyttää (Ulrich 1991). Raskasmetallit ovat mukana humuskerroksen ja kivennäismaan kationinvaihtoreaktioissa muuttaen maaperän kemiallista koostumusta. Kuolan niemimaalla voimakas raskasmetallilaskeuma Montsegorskin lähellä on aiheuttanut mm. maan pintakerroksen ravinteisuuden köyhtymistä (Derome & Väre 1995). Vastaavanlaisia havaintoja on tehty myös Harjavallan seudulla (Jussila 1999) sekä Kokkolassa vuonna 1997 (Niskanen ym. 1998).

Suomen metsämaat ovat luonnostaan melko happamia. Happamoitumista aiheuttavat luontaisesti mm. sade- ja maaveden hiilihapo, kasvien ravinteiden oton yhteydessä maahan siirtyvät vetyionit ja orgaanisen aineksen hajotessa syntyvät hapot. Neutraloivia prosesseja ovat puolestaan mineraalien rapautuminen sekä happamuuden muutoksia vastustavat puskurireaktiot. (Tamminen 1998). Happamoitavaa laskeumaa aiheuttavat rikin ja typen oksidit, jotka muuttuvat ilmakehässä rikki- ja typpihapoksi. Laskeuma happamoittaa maaperää korvaamalla maahiukkasten pinnalla olevat vaihtuvat emäskationit vetyioneilla ja kiihdyttämällä happamoitumista puskuroivien emäskationien huuhtoutumista maaperästä. (Lindroos ja

8.12.2025

KJ

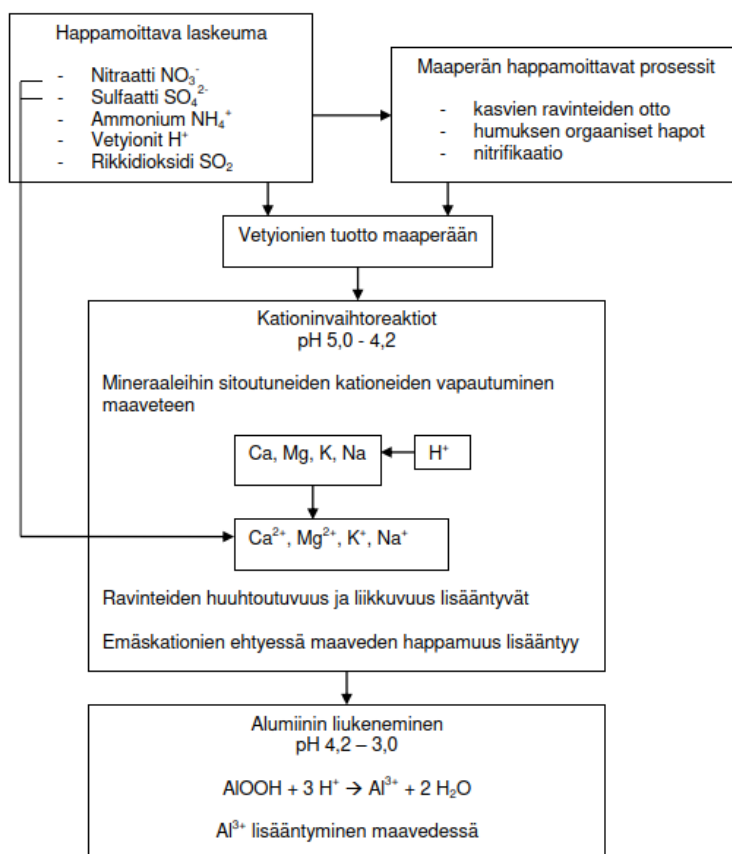
Derome 1998). Maaperän emäskationivarastojen ehdyttyä maaveden vetyionien määrä lisääntyy, jolloin tietyssä vaiheessa myös maan silikaattimineraalien alumiini liukenee maaveeteen (Kuva 3.2). Maaperän alumiini toimii osaltaan happamoitumisen puskurina. Happamuuden lisääntyessä sitoutunut alumiini vapautuu maaveeteen liukoisena Al^{3+} :na, joka on korkeina pitoisuuksina esiintyessään haitallinen kasveille. Happaman laskeuman vaikutukset metsämaahan riippuvat paljolti maaperän ominaisuuksista, erityisesti emäskationien määrästä ja maaperän rapautumiskyvystä. Maaperän happamuus vaihtelee sekä ajallisesti (kasvukauden aikana ja vuodesta toiseen) että syvyysuunnassa. Humuskerroksen happamuudella on selvä yhteys kasvupaikan viljavuuteen. Happamoitumisella ei toistaiseksi ole Suomessa havaittu olevan suoria vaikutuksia puustoon, mutta happamoituminen vaikuttaa puustoon epäsuorasti mm. hidastamalla orgaanisen aineksen hajoamista. (Tamminen 1998).

Maaperän pH on yksi tapa kuvata maan happamuutta, mutta se ei kerro maaperän kokonaishappamuutta. Maaperän **vaihtohappamuus** kuvaa maaperän happamuutta kuten pH:kin, mutta siinä missä pH-arvo kertoo vetyionikonsentraatiosta, saadaan vaihtohappamuutta mittaamalla tietoa myös mineraaleihin sitoutuneiden vetyionien määrästä.

Kationinvaihtokapasiteetti kertoo kuinka paljon maahiukkanen voi pidättää positiivisesti varautuneita ioneja (kationeja) maa-aineksen pinnoille kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Tärkeimmät positiivisesti varautuneet ravinneionit ovat ammoniumtyppi (NH_4^+), kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}) ja Magnesium (Mg^{2+}), minkä lisäksi myös monet hivenravinteet ovat positiivisesti varautuneita. Mitä suurempi kationinvaihtokapasiteetti, sitä enemmän maahan tai humukseen voi varastoitua (joitain) keskeisiä kasvinravinteita sähköisin varauksin. Raskasmetallit voivat heikentää humuksen ravinnepitoisuuksia. Esimerkiksi alumiinin kiinnittymisvoimakkuus, jolla alumiinikationi (Al^{3+}) kiinnittyy maapartikkelin pinnalle, on korkeampi verrattuna ravinnekationeihin, minkä takia alumiini syrjäyttää helposti esimerkiksi kaliumia jo melko pienillä pitoisuuksilla, kun taas alumiinin syrjäyttämiseen tarvitaan runsaasti kaliumia. (Mattila & Rajala 2018).

8.12.2025

KJ



Kuva 3.2 Maaperän happamoitumiseen vaikuttavia tekijöitä ja happamoitumisen aiheuttamia muutoksia (Niskanen ym. 1998).

Humusnäytealoja sijaitsi Kokkolan seudulla 15, joista 13 sijaitsi Ykspihlajan ympäristössä ja kaksi tausta-alueilla Kokkolassa ja Kruunupyyssä. Pietarsaaren seudulla sijaitsi 25 näytealaa. Kaustisille perustettiin vuonna 2018 kaksi uutta humusala ja tätä tutkimusta varten neljä uutta humusala vuonna 2025. Kultakin näytealalta otettiin noin 5 osanäytettä humuskerroksesta, jotka yhdistettiin yhdeksi tilavuudeltaan n. 2 litran kokoomanäytteeksi.

Laboratoriossa humusnäytteet kuivattiin ilmakeiviksi, jonka jälkeen ne jauhettiin ja seuloitiin. Osa näytteestä erotettiin vaihto happamuuden määrittystä varten (ISO12260, ISO14254). Ilmakeivatun humusnäytteen alkuaineet määritettiin neulasten ja sammalten alkuaineiden määrittämiseen käytettyjen standardien mukaisesti. Kokonaisvaihto happamuus laskettiin NaOH:n kulutuksen perusteella. Tulos on ilmoitettu cmol+/kg (=meq/100g) kuiva-ainetta kohti.

Vuonna 2025 määritettiin humusnäytteistä alumiinin kokonaispitoisuudet samoin kuin vuonna 2018. Vuonna 2012 ja sitä aikaisemmissa tutkimuksissa alumiini määritettiin vaihtuvassa muodossa (eli humusten asetaattiutteesta) tai alumiinin kokonaispitoisuuksina. Alumiinin kokonaispitoisuus on huomattavasti suurempi kuin vaihtuvassa muodossa määritetty

alumiini. Tästä johtuen eri vuosina toteutetuissa tutkimuksissa on huomattavia eroja alumiinipitoisuuksissa.

Valtioneuvoston pilaantuneita maita (PIMA) koskevassa asetuksessa (VNA 214/2007) on säädetty maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Asetuksessa on annettu pitoisuuksille kynnysarvot sekä alemmat ja ylemmät ohjearvot (Taulukko 3.10). Kynnysarvojen ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava. Maaperää pidetään pilaantuneena, jos ylempi kynnysarvo on ylittynyt vähintään yhden aineen osalta teollisuus-, varasto- tai liikennealueella taikka muulla vastaavalla alueella. Alempia ohjearvoja sovelletaan muille alueille (4§).

Taulukko 3.10 Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa käytettävät kynnys- ja ohjearvot (VNA 214/2007). Arviointiperuste-sarakkeessa e-kirjain viittaa ekologiseen riskiin, t-kirjain terveydelliseen riskiin.

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

3.4 Paikkatietomenetelmät

Paikkatietoaineistojen tuottamisessa, käsittelyssä ja visualisoinnissa käytettiin QGIS 3.40 -ohjelmistoa (versio 3.40.6). Vyöhykekartat interpoloitiin kriging-menetelmällä Surfer 12 -ohjelmistolla. Kriging-menetelmä laskee tuntemattomalle pisteelle arvon painottamalla lähimpien tunnettujen pisteiden arvoja, mutta painotus ei perustu ainoastaan pisteiden väliseen etäisyyteen ja ennustettuun sijaintiin, vaan myös tunnettujen pisteiden ja niiden arvojen spatiaaliseen järjestäytymiseen. Kriging-menetelmää käytettäessä huomioidaan spatiaalisen autokorrelaation vaikutus. Autokorrelaatio tarkoittaa sitä, että toisiaan lähellä olevissa paikoissa vastemuuttujan arvot ovat keskenään keskimäärin samanlaisempia kuin toisistaan kaukana olevissa paikoissa.

Vyöhykekarttoja tarkasteltaessa tulee huomioida, että interpolointitulos on aina yleistys, jonka tarkkuuteen vaikuttaa erityisesti tunnettujen pisteiden määrä ja tiheys. Näin ollen interpoloinnin tulosta voidaan pitää luotettavana niillä alueilla, joilla tunnettuja pisteitä (tutkimusaloja) on tiheässä, mutta harvan tutkimusalaverkon alueilla tulokseen tulee huomattavasti enemmän epävarmuustekijöitä. Kun tutkimusalaverkosto on harva, yksittäisen alan tulos vaikuttaa laajempiin alueisiin kuin jos tutkimusalaverkko olisi tiheä.

3.5 Tilastomenetelmät

Tilastomenetelmien avulla pyrittiin saamaan tietoa ilmanlaatu- ja taustamuuttujien vaikutuksesta tutkittuihin muuttujiin, ilmanlaatua kuvaavien muuttujien välisestä yhteisvaihtelusta sekä vuosien välisistä eroista (Partanen & Veijola 1996). Tilastomenetelmin tutkittiin taustamuuttujien (metsän ominaisuuksien ja ns. ilmanlaatumuuttujien) vaikutusta jäkälän lajimäärään, vaurioasteisiin ja muihin ominaisuuksiin, sekä edellä mainittujen jäkälämuuttujien ja alkuainepitoisuuksien välisiä korrelaatioita sekä neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien yhteisvaihtelua pääkomponenttianalyysin avulla. Tilastollisten testien tekemiseen käytettiin IBM SPSS Statistics -ohjelmaa (versio 27).

3.5.1 Luokiteltujen taustamuuttujien vaikutus

Taustamuuttujina käytettiin tutkimusalan luonnonolosuhteita kuvaavia ns. kontrollimuuttujia, sekä tutkimusalan suhdetta päästölähteisiin kuvaavia muuttujia, ns. ilmanlaatumuuttujia. Kontrollimuuttujat eivät itsessään kuvaa ilmanlaatua, mutta ne saattavat vaikuttaa ilmanlaadusta kertoviin muuttujiin. Ilmanlaatumuuttujat kuvaavat alan sijoittumista suhteessa päästölähteisiin, esimerkiksi alan etäisyytenä lähimpään päästölähteeseen, etäisyytenä lähimpään päästötyyppiin tai sijoittumisena tietylle etäisyydelle päästölähteestä (< 1 km, < 2 km tai < 5 km). Lisäksi tässä tutkimuksessa tarkasteltiin lähimmän päästölähteen toimialan vaikutusta. Tilastollisissa analyyseissä käytetyt lupavelvolliset päästölähteet on esitetty luvussa 2.2. Päästötyyppienä käytettiin tietoa toiminnan ilmapäästöistä, joita olivat rikki-, typpiyhdiste-, hiukkas-, metalli-, pöly- ja VOC-päästöt. Lupavelvollisista laitoksista Findest Protein Oy, Kaustisen lämpölaitos (STEP Oy), Jepuan Biokaasu Oy:n laitos ja Wibax (ks. kuva 2-5) jäivät puuttumaan tarkastelusta puutteellisten lähtötietojen takia.

Päästölähteet jaettiin luokkiin eläinsuojat (nauta, sika), energian tuotanto, maa-ainesten käsittelyyn liittyvää toimintaa harjoittavien laitosten (mineraalituotteiden valmistus, kivenlouhinta, murskaamot, asfalttiasemat, kalkkikiven jauhatus), teollisuus, turkistarhat, turvetuotanto, VOC-päästöjä aiheuttavat laitokset ja ympäristöpalvelutoiminta (jätevedenkäsittely, kaatopaikat, maankaatopaikat). Ampumaratoja ei sisällytetty tarkasteluun. Teollisuuden ryhmään oli yhdistetty metalliteollisuus, kemianteollisuus, metsäteollisuus, elintarvikkeiden ja rehujen valmistus sekä satamat ja pienteollisuusalueet. Tämä ryhmä sisälsi erittäin vaihtelevia teollisuuden muotoja. Yhdistäminen täytyi kuitenkin tehdä, jotta havaintojen määrä oli riittävä tilastollisen analyysin tekemiseen.

Luokiteltujen muuttujien vaikutusta tutkittiin ei-parametrisen Kruskal-Wallisn varianssianalyysin sekä Mann-Whitneyn U-testin avulla. Luokiteltuja kontrollimuuttujia olivat:

1. Tutkimusalan soveltuvuus (hyvä – kohtalainen – huono)
2. Metsätyyppi (OMT – MT – VT – CT – CIT – MUU)
3. Kehitysluokka (nuori – varttunut – kypsä)
4. Ilmanlaatua kuvaavat luokitellut muuttujat:
 - tutkimusalan etäisyys lupavelvollisesti päästölähteestä < 1 km
 - tutkimusalan etäisyys lupavelvollisesti päästölähteestä < 2 km
 - tutkimusalan etäisyys lupavelvollisesti päästölähteestä < 5 km
 - lähimmän päästölähteen toimiala.

Jatkuvien muuttujien vaikutusta tutkittiin regressioanalyysin avulla. Jatkuvia kontrollimuuttujia olivat:

1. Puiden ikä
2. Puiden pituus
3. Puuston pohjapinta-ala
4. Havaintopuiden halkaisija
5. Ilmanlaatua kuvaavat jatkuvat muuttujat:
 - tutkimusalan etäisyys lähimmästä päästölähteestä
 - tutkimusalan etäisyys lähimmästä eläinsuojasta, energiantuotantolaitoksesta, maa-ainestoinnasta, teollisuuslaitoksesta, turkistarhasta, turvetuotantoalueesta, VOC-yhdisteitä tuottavasta toiminna, ja ympäristöpalvelutoiminna (jätevedenkäsittelylaitokset, jätekeskukset, maankaatopaikat).

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

3.5.2 Regressioanalyysi

Tärkeimpien tutkittujen muuttujien riippuvuutta jatkuvista tausta- ja ilmanlaatua kuvaavista muuttujista tarkasteltiin usean selittävän muuttujan lineaarisen regressioanalyysin avulla. Regressioanalyysin avulla pyrittiin vastaamaan siihen, miten selitettävän muuttujan arvojen vaihtelu riippuu selittävien muuttujien arvoista ja näiden muutoksista. Alan luontaista vaihtelua kuvaavina selittävinä muuttujina käytettiin puuston pohjapinta-alaa, ikää, pituutta ja tutkimuspuiden keskimääräistä halkaisijaa. Ilmanlaatua kuvaavina selittävinä muuttujina

käytettiin etäisyyttä lähimpään eri toimialan päästölähteeseen. Eri toimialoja täytyi yhdistellä ryhmiä, jottei esimerkiksi teollisuusryhmäksi yhdistetyillä toimialoilla ryhmät jääneet liian pieniksi tilastollisia menetelmiä ajatellen. Ampumaradat jätettiin tarkastelusta pois, koska niitä oli lukumääräisesti liian vähän, eikä niillä tehdyissä tarkasteluissa havaittu olevan vaikutusta jäkälämuuttujiin.

Regressiotaulukoissa esiintyvä regressiokerroin kertoo selitettävän muuttujan riippuvuutta selittävistä muuttujista eli se kuvaa selittävän muuttujan muutoksen vaikutuksen suuruutta selitettävän muuttujan arvoihin. Näin ollen regressiokertoimesta voidaan suoraan päätellä, kuinka paljon esimerkiksi etäisyyden kasvaminen lisää tai vähentää tarkasteltavan muuttujan arvoa yksikköä kohden. Kertoimen etumerkki kertoo riippuvuuden suunnan. Standardoitu B-kerroin kertoo puolestaan kunkin selittävän muuttujan mittayksiköstä riippumattoman vaikutuksen selitettävään muuttujaan. Näiden kertoimien avulla voidaan vertailla eri muuttujien keskinäistä tärkeyttä tarkasteltavan muuttujan selittäjinä. Testisuure t:n ja p-arvon avulla voidaan tarkastella regressiomalliin kuuluvien termien (sarake B) tilastollista merkittävyyttä.

3.6 Vuosien välinen vertailu

Aiemmista tutkimuksista oli käytettävissä vuosien 2012 ja 2018 aineisto. Vuosien välisiä eroja tutkittiin parittaisella t-testillä. Sillä voidaan testata, onko saman tutkimusalan tulokset tilastollisesti merkitsevästi erilaisia eri vuosien välillä, eli onko muutosta tutkittavissa muuttujissa tapahtunut. Vuosien välistä vertailua ei ole mielekästä tehdä uusille tutkimusaloille, jotka on jouduttu perustamaan eri paikkaan, kuin missä vanha ala on sijainnut.

3.7 Tutkimuksen virhelähteet

3.7.1 Jäkäläkartoitus

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

Eri jäkälälajien esiintymisen kirjaaminen voi vaihdella eri arvioitsijoiden kesken. Leväpeitteen ja seinäsuomujäkälän kasvutavan vuoksi niiden havainnointi on erityisen hankalaa. Leväpeitettä voi esiintyä hyvinkin pieninä vihertävinä laikkuina. Seinäsuomujäkälä kasvaa yksittäisinä alle 1 mm:n kokoisina suomina. Tämä suomupeite voi olla lähes yhtenäinen, selvästi havaittava peite kaarnalla, tai niukimmillaan lähes yksittäisiä suomuja. Tyvikarpeiden osalta on

kirjattu esiintymiseksi vain selvästi erottuva sekovarsi, ei kaarnan pinnalla oleva kellertävä tai vaalea jauhomainen kasvusto. Edellä esitettyjen syiden vuoksi näiden lajien havainnointiin ja runsauden arviointiin liittyvät erityisen suuret virhelähteet, kun verrataan eri tutkijoiden tuloksia keskenään.

Subjektiviisiin arvioihin pohjautuva jäkälän näkyvien vaurioiden arviointi ja luokittelu aiheuttaa myös tutkijakohtaisia eroja jäkäläkartoituksen tuloksiin. Näiden virhelähteiden pienentämiseksi maastoryhmä koulutettiin ja arviointitasot saatettiin samalle tasolle ennen maastokauden alkua. Koska maastoryhmä koostui suurimman osan ajasta yhdestä työparista, vauriotulkintojen yhtenäisyyttä oli mahdollista tutkia ja säätää säännöllisesti.

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen selvityksessä (Jyväskylän yliopisto, 2005) männyn epifyyttijäkälän ja sormipaisukarpeen vaurioiden havainnoinnin virhelähteistä todettiin, että arviot sormipaisukarpeen vaurioista eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien eivätkä eri havainnoijien arvioiden välillä. Havainnot ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärästä eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi havainnoijien omien havaintokertojen välillä, mutta eri havainnoijien välillä todettiin muutamia tilastollisesti merkitseviä eroja. Sormipaisukarpeen suhteellisissa peittävyyksissä todettiin tilastollisesti merkitseviä eroja sekä havainnoijien omien että eri havainnoijien tekemien mittausten välillä, kuten myös leväpeitteen arvioinnissa. Jäkälähavainnoista leväpeitteen havainnointi osoittautui tarkkuudeltaan epävarmimmaksi. Arviot leväpeitteen esiintymisestä poikkesivat Tutkimusaloilla, joilla leväpeitettä esiintyi mäntyjen rungoilla hyvin pieninä viher-tävinä laikkuina. Leväpeitteestä poiketen seinäsuomujäkälän havainnoinnissa ei eroja todettu. (Taulukko 3.11).

Taulukko 3.11 Jäkälähavaintojen mittaustarkkuus 95 %:n luottamusvälillä Jyväskylän yliopiston vuoden 2005 ympäristöntutkimuskeskuksen selvityksessä.

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

3.7.2 Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittäminen

Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus tutki vuonna 2004 neulasnäytteiden keräämiseen ja analysointiin liittyviä virheitä (Jyväskylän yliopisto, 2005). Menetelmän mittaus-tarkkuus, joka käsittää sekä näytteenottoon että analyysiin liittyvät virheet, oli rikki-pitoisuudelle keskimäärin $\pm 5 \%$ ja typpipitoisuudelle $\pm 7 \%$. Heikoimmillaan mittaustarkkuus oli suuren pistepäästölähteen vaikutusalueella rikille $\pm 14 \%$ ja typelle $\pm 12 \%$ (Taulukko 3-13). Näytteenoton mittausepävarmuuden vähentämiseksi näytteet otetaan eri puolilta näytepuuta, jolloin kokoomanäytteeseen tulee neulasia sekä päästökohteiden puolelta että suojapuolelta. Menetelmän toistettavuutta tutkittaessa ei tilastollisesti merkitseviä eroja juuri havaittu (ks. Jyväskylän yliopisto, 2005). Vuoden 1995 tutkimuksessa neulasten rikki-pitoisuuksien kartoittamisen mittaustarkkuudeksi arvioitiin $\pm 7 \%$ (Niskanen, 1995) ja toistettavuuden osalta $\pm 14 \%$ (Taulukko 3.12). (Niskanen ym. 1996).

Taulukko 3.12 Rikin ja typen keskimääräiset mittaustarkkuudet eri vuosina tehdyissä mittaustarkkuuksien arvioinneissa 95 %:n luottamusvälillä (Jyväskylän yliopisto, 2005). Vuonna 1995 näytepuuta oli alalla viisi vuonna 2004 käytettyjen kymmenen sijasta.

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

Neulasten rikki- ja typpipitoisuuden kartoituksessa käytetyn menetelmän tarkkuus heikenee etenkin tilanteessa, jossa pitoisuuksien vaihteluväli on pieni ja sääolosuhteet vaikuttavat pitoisuuksiin. Ottamalla näytteet eri vuosina samoilta puilta saadaan parempi kuva pitoisuuksien muutoksesta näytealalla. Neulasnäytteistä määritettyjen alkuaineiden laboratorio-analyysihin liittyvät mittausepävarmuudet on esitetty taulukossa 3.13.

Taulukko 3.13 Neulasten (N) ja sammalten (S) alkuainepitoisuuksien analyysien mittausepävarmuudet.

Materiaali	Alkuaine	Mittausepävarmuus
S	Al	30 %
NS	As	20 %
NS	B	20 %
NS	Ca	30 %
NS	Cd	15 %
NS	Co	30 %
NS	Cr	30 %
NS	Cu	25 %
S	Fe	30 %

Materiaali	Alkuaine	Mittausepävarmuus
NS	Hg	25 %
NS	K	30 %
NS	Mg	30 %
NS	Mn	30 %
N	N	20 %
S	Na	30 %
NS	Ni	30 %
NS	P	15 %
S	Pb	20 %
NS	S	30 %
NS	V	30 %
NS	Zn	20 %
NS	Li	-

3.7.3 Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien määrittäminen

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

Sammalnäytteistä tutkittiin kadmiumin, lyijyn, vanadiinin, nikkelin, raudan, sinkin ja elohopean pitoisuudet ja humusnäytteistä kalsiumin, magnesiumin, kaliumin, natriumin ja alumiinin pitoisuudet. Alla olevissa taulukoissa (Taulukko 3.14, Taulukko 3.15) on verrattu 5 ja 10 osanäytteestä muodostetun kokoomanäytteen mittaustarkkuutta. Tulosten perusteella analysoitaessa useampia osanäytteitä saavutetaan pienempi vaihteluväli. Sammalten osalta paras mittaustarkkuus oli sinkillä, heikoin nikkelillä. Humusten osalta paras mittaustarkkuus oli magnesiumilla ja heikoin alumiinilla.

Sammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksien analysointiin liittyvät mittausepävarmuudet ovat samoja kuin neulasillakin (Taulukko 3.13).

8.12.2025

KJ

Taulukko 3.14 Sammalten metallipitoisuuksien 95 %:n luottamusväli, kun kokoomanäyte koostuu viidestä tai kymmenestä osanäytteestä (keskiarvo standardoitu sadaksi). (Veijola & Niskanen 1998).

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

Taulukko 3.15 Humuksen muuttujien 95 %:n luottamusväli, kun kokoomanäyte koostuu viidestä tai kymmenestä osanäytteestä. Keskiarvo on standardoitu sadaksi. Metallipitoisuuksien yksikkönä käytettiin cmol+/kg (=meq/dm³). (Veijola & Niskanen 1998).

5 osanäytettä		10 osanäytettä	
	Nuoksio	Puolarmetsä	
			Nuoksio
			Puolarmetsä
Ca	100 ± 55	100 ± 46	100 ± 32
Mg	100 ± 31	100 ± 40	100 ± 18
K	100 ± 45	100 ± 58	100 ± 26
Na	100 ± 32	100 ± 49	100 ± 18
Al	100 ± 56	100 ± 52	100 ± 32

4 Tulokset

4.1 Mäntyjen runkojäkälät

Alla on esitetty jäkälämuuttujien keskiarvot, vaihteluväli ja keskihajonta (Taulukko 4.1). Muuttujia on kuvattu tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 4.1. Männyn runkojäkälien ilmanpuhtausindeksin, alakohtaisen ja puukohtaisen lajimäärän, sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen, sormipaisukarpeen peittävyys, loppojen peittävyys ja levän yleisyyden keskiarvo, keskihajonta sekä pienin ja suurin arvo.

N=244	Keskiarvo	Pienin	Suurin	Keskihajonta
IAP	1,6	0	3,4	0,7
Lajimäärä/näyteala	4,1	0	9	1,6
Lajimäärä/puu	3,1	0	6,2	1,2
Sormipaisukarpeen vaurioaste	2,5	1,1	5	1,1
Yleinen vaurioaste	3,6	1,1	5	0,7
Sormipaisukarpeen peittävyys (%)	9,5	0	61,1	11,3
Loppojen peittävyys (%)	0,2	0	11,9	1
Levän yleisyys	0,7	0	3	0,9

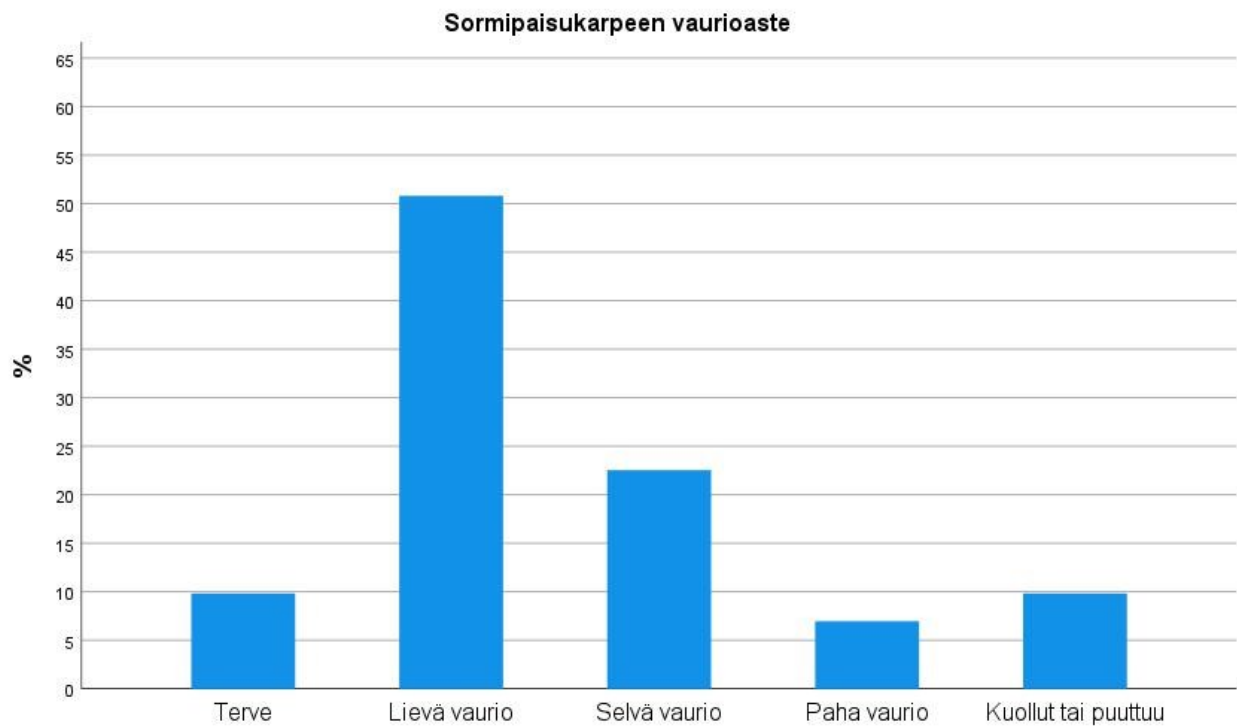
4.1.1 Jäkälälajiston vaurioasteet

Sormipaisukarpeen vaurioaste oli alakohtaisesti tarkasteltuna keskimäärin lievästi ja selvästi vaurioituneen välimaastossa (keskiarvo 2,5). Vaurioasteet vaihtelivat terveestä kuolleeseen ja puuttuvaan. (Taulukko 4.1). Hieman yli puolella tutkimusaloista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta. Selvään vaurioluokkaan luokiteltiin n. 23 % tutkimusaloista. Sormipaisukarve oli tervettä noin kymmenesosalla aloista, ja yhtä suurella osalla aloista laji oli kuollutta tai puuttui kokonaan. (Kuva 4.1)

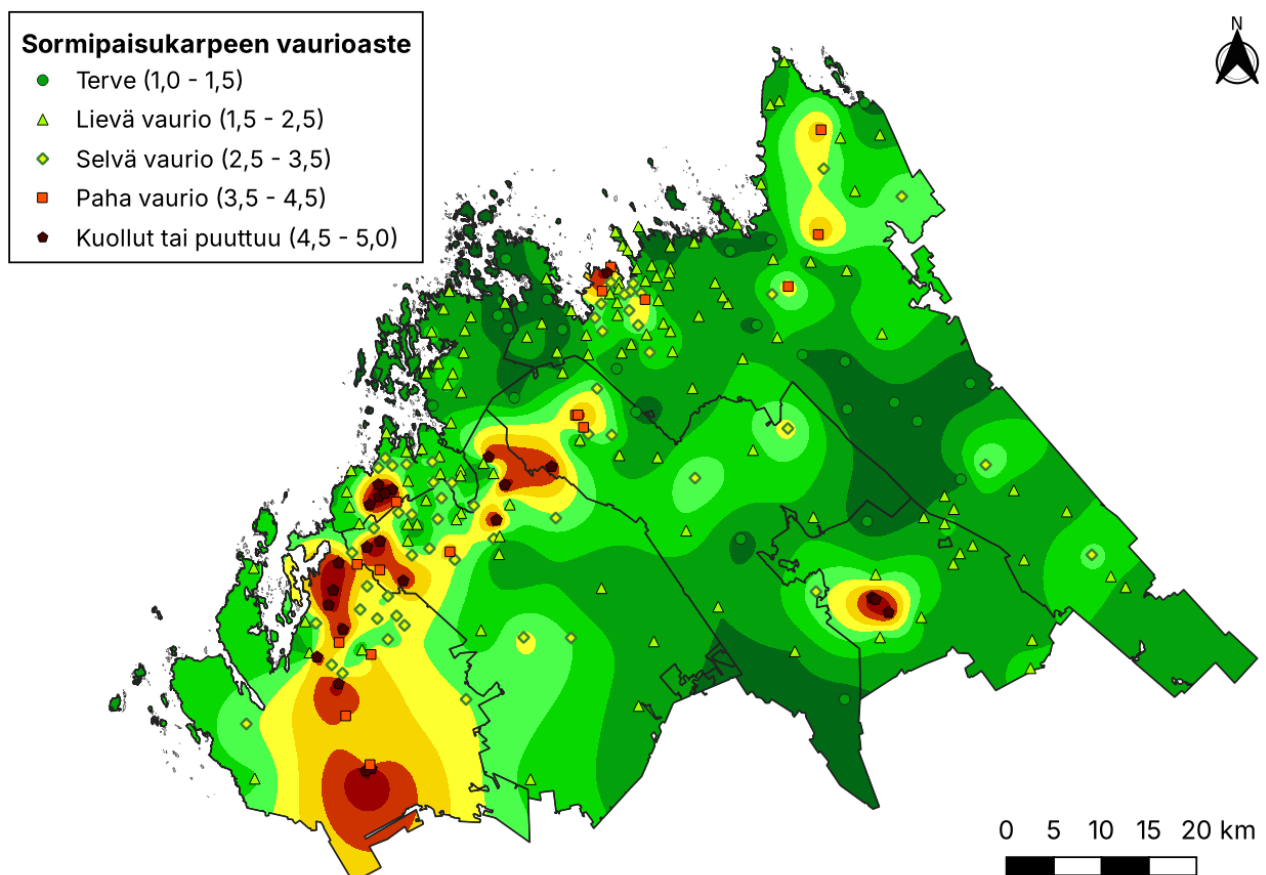
Vaurioituneinta sormipaisukarve oli Kaustisen keskustassa, Kokkolan Ykspihlajassa, Pietarsaaressa turkistarhojen läheisyydessä, sekä Pedersören ja Uudenkaarlepyyn keskustojen tuntumassa. Tutkimusalueen keski- ja itäosissa oli laajempia alueita, joilla sormipaisukarve oli tervettä tai vain lievästi vaurioitunutta. (Kuva 4.2)

8.12.2025

KJ

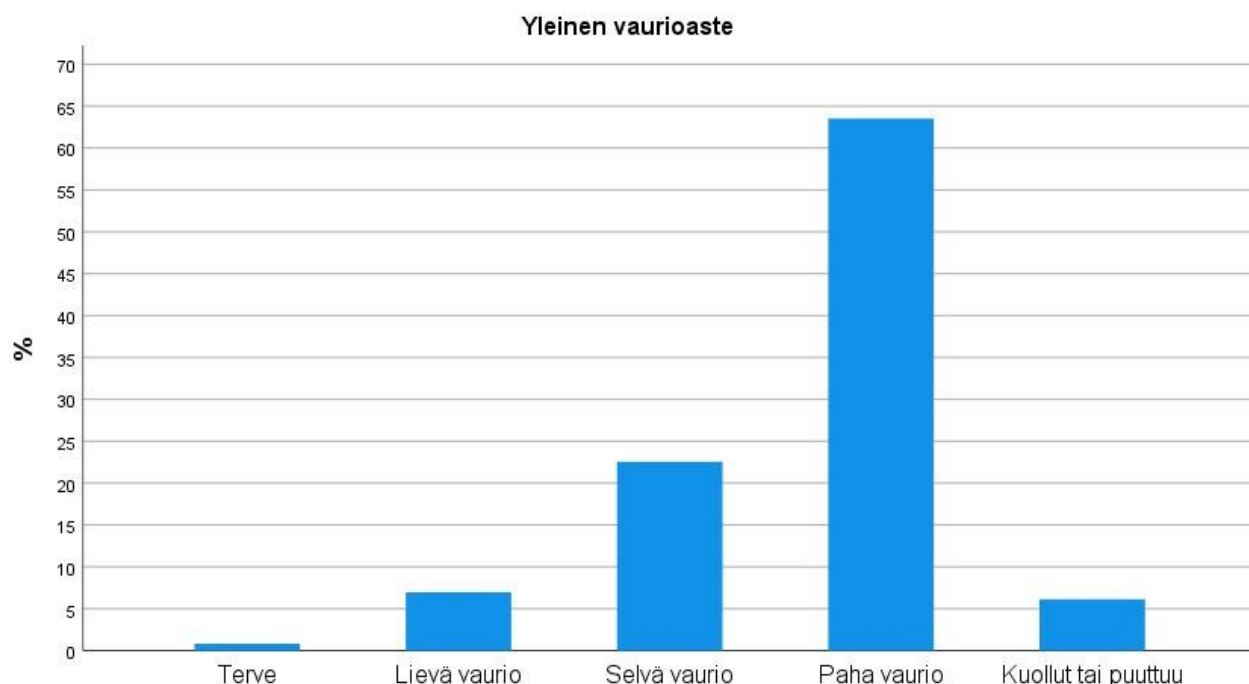


Kuva 4.1 Sormipaisukarpeen vaurioasteet luokittain vuonna 2025 (n=244).



Kuva 4.2. Sormipaisukarpeen vaurioasteet ja vaurioasteita kuvaavat vyöhykkeet vuonna 2025.

Yleinen vaurioaste oli tutkimusaloilla keskimäärin 3,6 eli lajisto oli keskimäärin pahasti vaurioitunutta. Sormipaisukarpeen tapaan yleinen vaurioaste vaihteli terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan. (Taulukko 4.1) Jäkälän yleisvaurioaste luokitui suurimmalla osalla aloista pahasti vaurioituneeseen luokkaan, mitä selittää suureksi osaksi vaurion arviointiasteikko (Taulukko 3.7). Asteikon mukaan puu luokitellaan luokkaan 4 (pahasti vaurioitunut), jos sillä ei kasva lainkaan pensasmaisia lajeja. Jäkälälajisto oli kuollut tai puuttui kokonaan n. 6 %:lla tutkimusaloista (15 alaa). (Kuva 4.3)



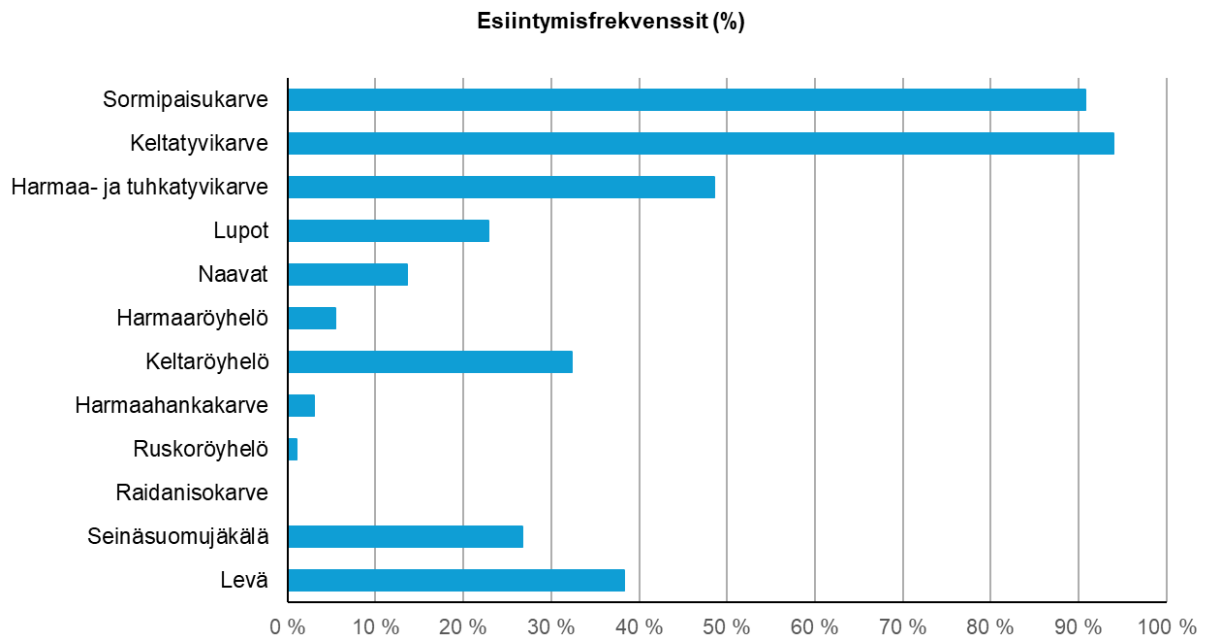
Kuva 4.3 Jäkälälajiston yleinen vaurioaste tutkimusaloilla vuonna 2025 (n=244).

4.1.2 Lajimäärä ja yleisyys

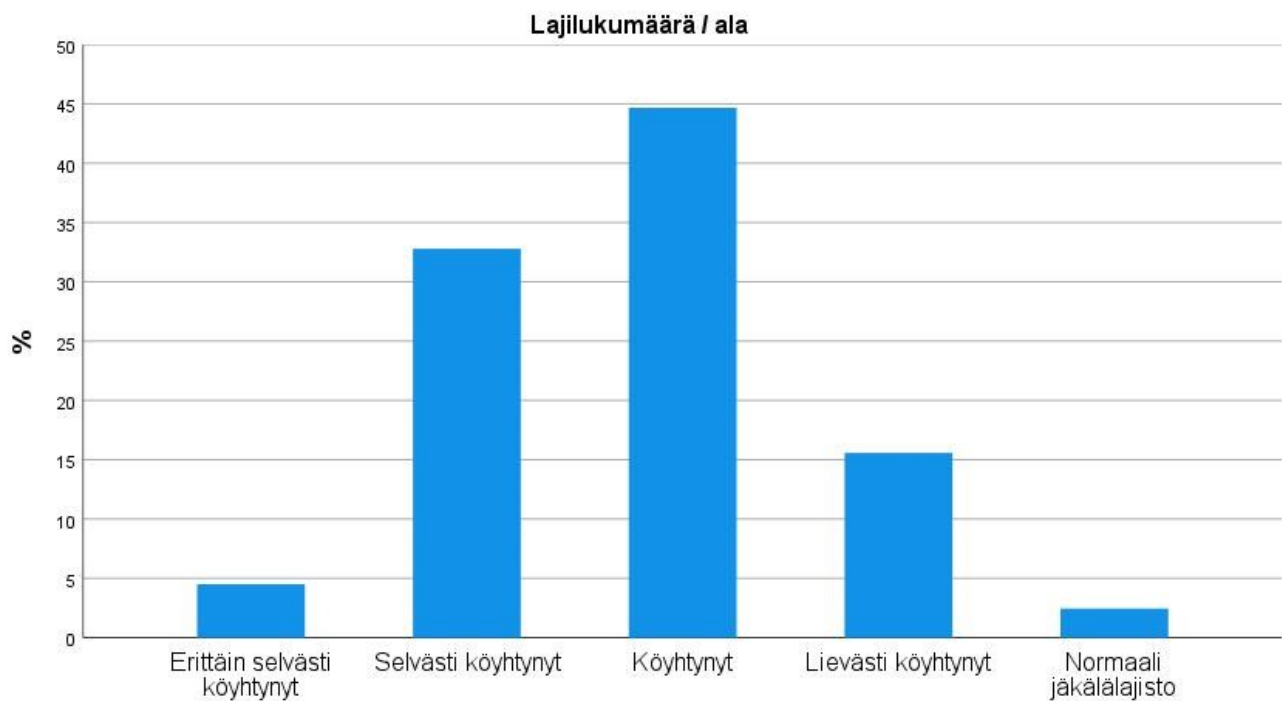
Tutkimusaloilla havaittiin keskimäärin ilman epäpuhtauksille herkkää 4,1 jäkälälajia. Tutkimusaloittainen lajilukumäärä vaihteli 0 ja 9 lajin välillä. (Taulukko 4.1). Lähes puolella tutkimusaloista jäkälälajisto oli köyhtynyt. Lajistoltaan selvästi köyhtyneiden alojen osuus oli noin 33 % ja lievästi köyhtyneiden alojen osuus 13 %. Lajistollisesti erittäin selvästi köyhtyneitä aloja (0–1 ilman epäpuhtauksille herkkää lajia) oli yhteensä 11 kappaletta ja ne sijaitsivat Kokkolan Ykspihlajassa, Kaustisen keskustan tuntumassa sekä Pedersören ja Uudenkaarlepyyn pohjoisosissa. Normaalialueen jäkälälajistoa (vähintään 8 herkkää lajia) esiintyi kuudella tutkimusalalla, pääasiassa eri puolilla Kokkolaa. (Kuva 4.5)

Männyn runkojäkälästä eniten tutkimusaloilla havaittiin keltatyvikarvetta ja sormipaisukarvetta, joita molempia esiintyi yli 90 %:lla tutkimuspuista. Harmaa- ja tuhkatyvikarvetta sekä keltaröyhelöä esiintyi hieman alle puolella tutkimuspuista. Ilman epäpuhtauksille herkkiä loppoja esiintyi 23 %:lla tutkimuspuista. Raidanisokarvetta ei havaittu lainkaan. Ilman

epäpuhtauksista hyötyvää seinäsuomujäkälää esiintyi alle 30 %:lla puista ja levää vajaalla 40 %:lla tutkimuspuista. (Kuva 4.4)



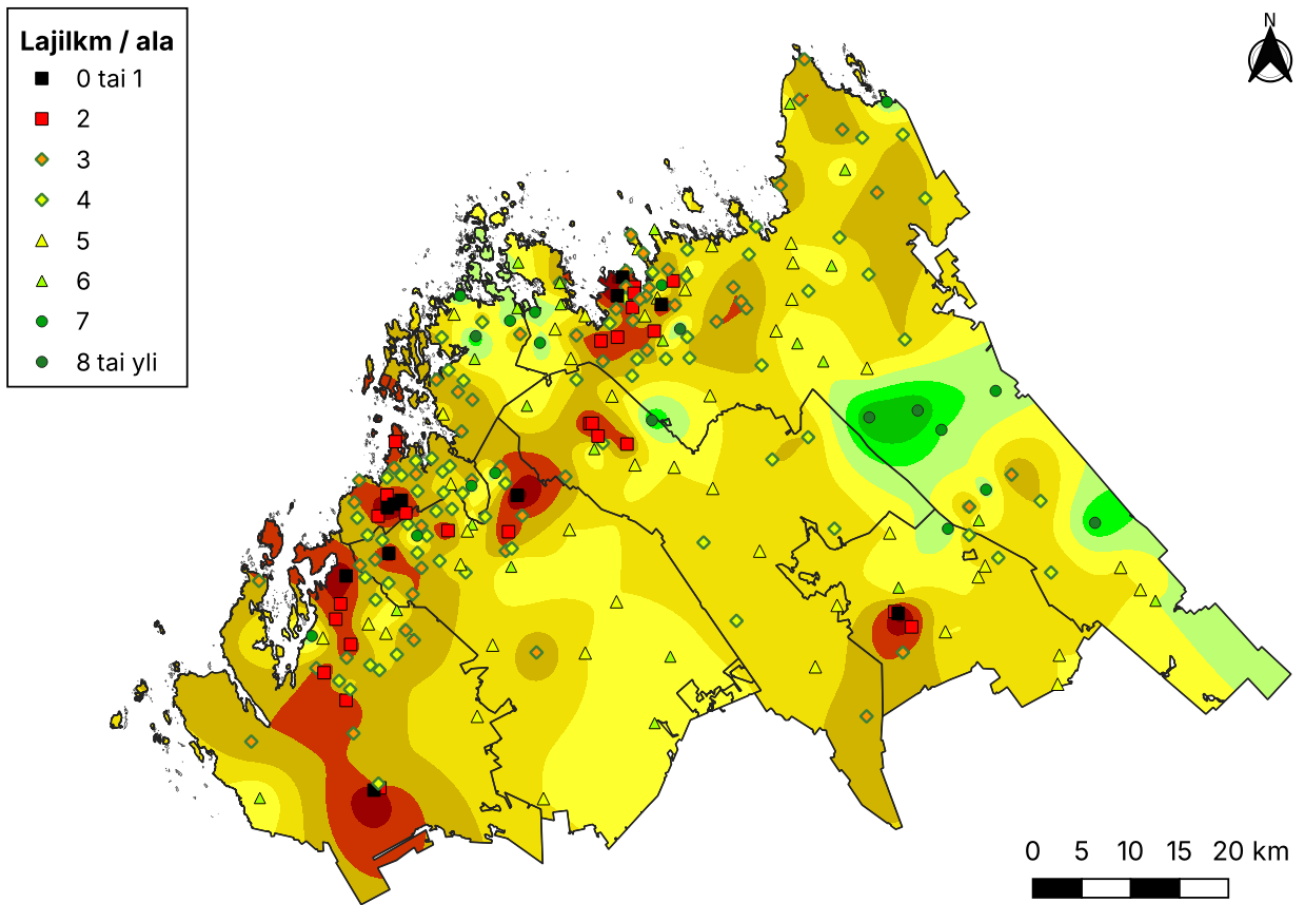
Kuva 4.4 Männyn runkojäkälien esiintymistiheys tutkimuspuiden rungoilla vuonna 2025 (n = 1 220).



Kuva 4.5 Tutkimusalojen jäkälälajiston tila lajimäärän perusteella vuonna 2025 (n = 244).

8.12.2025

KJ



Kuva 4.6 Ilman epäpuhtauksista kärsivien jäkälälajien lukumäärät tutkimusaloilla sekä vyöhyketar-
kastelu ilman epäpuhtauksille herkkien lajien lukumäärästä vuonna 2025.

4.1.3 Peittävydet

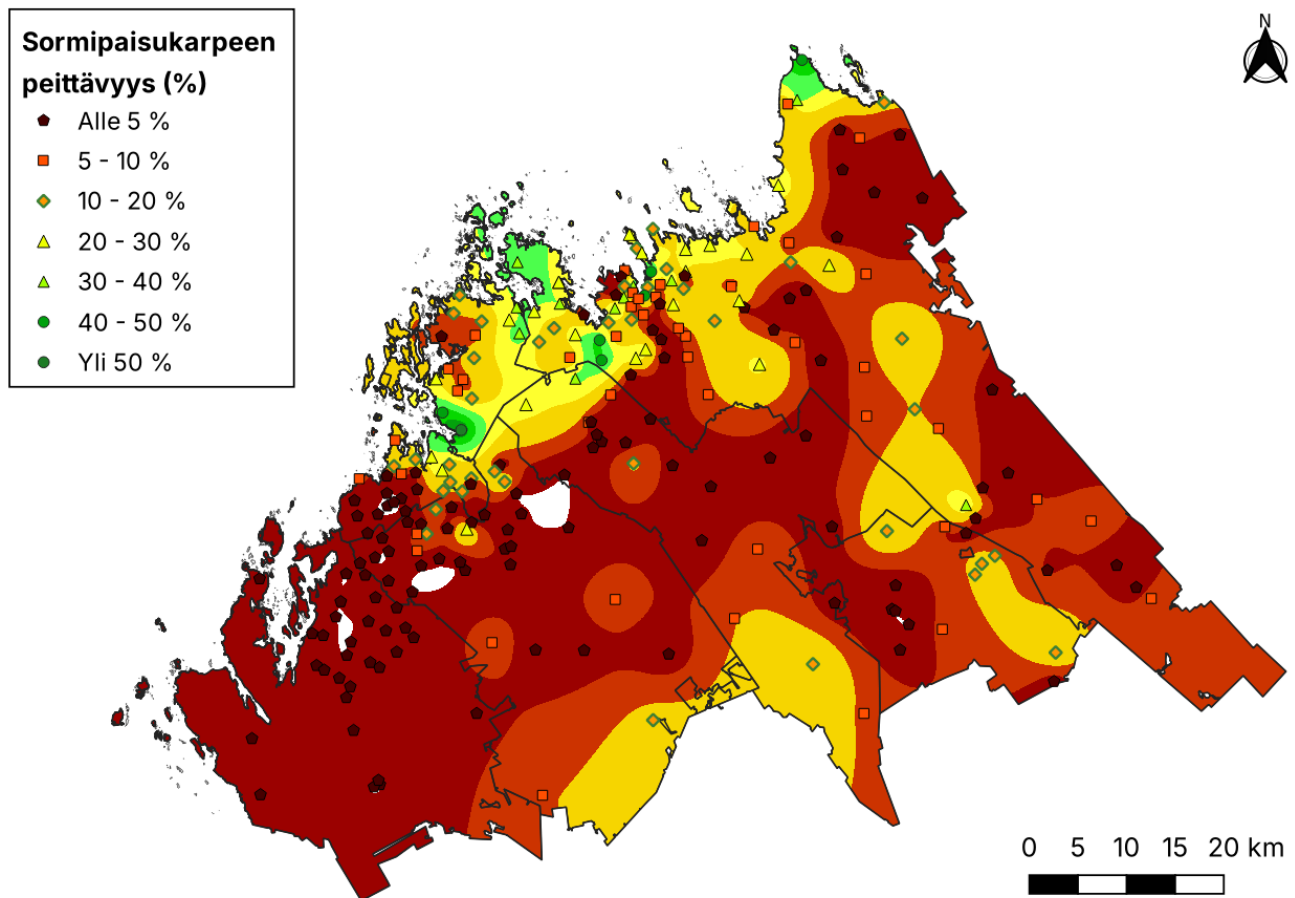
Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys tutkimusaloilla oli 9,5 %. Vaihtelua oli runsaasti, sillä osalla aloista sormipaisukarvetta ei esiintynyt lainkaan ja runsaimmillaan keskimääräinen peittävyys oli yli 60 %. (Taulukko 4.1)

Pistefrekvenssimenetelmällä lasketut sormipaisukarpeen peittävyysprosentit mäntyjen rungoilla on esitetty tutkimusaloilta keskiarvoista yleistettyinä vyöhykkeinä alla (Kuva 4.7). Sormipaisukarpeen peittävyys voi päästöjen kasvaessa usein ensin kasvaa, mutta kuormitustason edelleen noustessa peittävyys alkaa laskea. Lisäksi luontaiset tekijät, kuten tutkimuspuiden ikä, vaikuttavat peittävyyksiin merkittävästi.

Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurimmillaan Kokkolan, Luodon ja Pietarsaaren rannikko-alueilla ja matalin Uudenkaarlepyyn alueella.

Luppojen keskimääräinen peittävyys oli 0,2 %, vaihteluvälin ollessa 0 ja 12 % välillä. Loppoja esiintyi yhteensä 36 %:lla aloista (89 alaa), mutta niiden hennosta, hiusmaisesta kasvutavasta

johtuen niiden peittävyys nousevat harvoin suuriksi. Pääasiassa luppoja esiintyi tutkimusalueen pohjoisosissa.



Kuva 4.7 Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys (%) vyöhykkeittäin vuonna 2025.

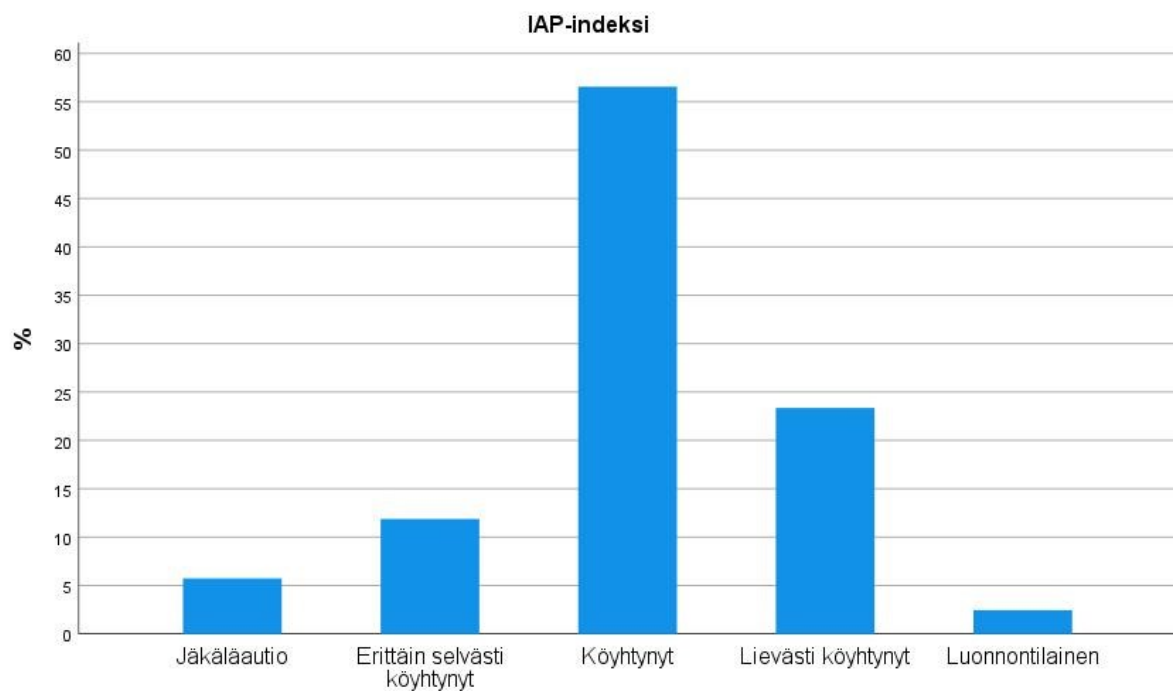
4.1.4 IAP-indeksi

IAP-indeksi eli ilmanpuhtausindeksi oli tutkimusaloilla keskimäärin 1,6 eli indeksin perusteella lajisto oli keskimäärin köyhtynyt. Mitä suurempi indeksiarvo on, sitä runsaampi jäkälälajisto on ja ilmanlaatu parempi. Aloista yli 50 % oli IAP-indeksin perusteella köyhtyneitä. Lievästi köyhtyneitä aloja oli hieman yli viidennes aloista. Luonnontilaisia aloja oli n. 2,4 % (6 alaa). Erittäin selvästi köyhtyneitä aloja oli 12 % ja jäkäläautioita n. 7 %. (Taulukko 4.1, Kuva 4.8)

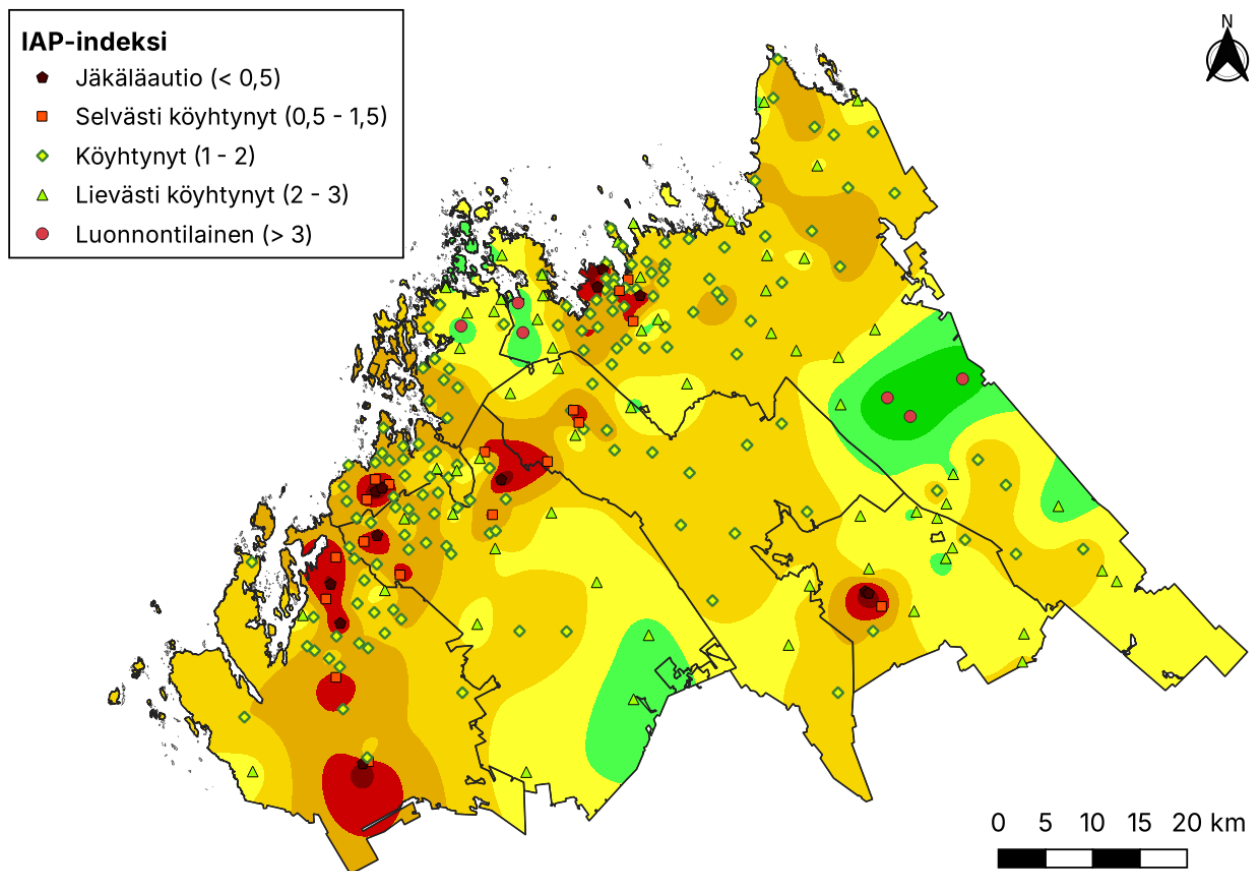
Lajistoltaan köyhtyneimpiä aloja sijaitsi eniten Kokkolassa, mutta niitä esiintyi yksittäisesti myös Kaustisilla, Pedersöressä ja Kruunupyssä. (Kuva 4.9)

8.12.2025

KJ



Kuva 4.8 Tutkimusalojen jäkälälajiston tila Ilmanpuhtausindeksin perusteella vuonna 2025.



Kuva 4.9 IAP-indeksi tutkimusaloilla ja vyöhykkeittäin vuonna 2025.

4.2 Männyn neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten toisen vuosikerran alkuainepitoisuuksista laskettiin tunnuslukuja sekä koko tutkimusalueelle että kunnittain. Kuntien suurimmat keskiarvopitoisuudet on korostettu taulukoon. (Taulukko 4.2) Tutkimusalojen alkuainepitoisuudet on esitetty kartoilla jäljempänä (Kuva 4.10 - Kuva 4.18).

Suurimmat **typpipitoisuudet** mitattiin Kokkolan keskustasta ja Lohtajalta, Pietarsaaresta, Pedersören pohjoisosasta, Udestakaarlepyystä ja Kruunupyyn keski- ja pohjoisosista. Pitoisuudet olivat koholla mm. teollisuuspäästölähteiden, eläinsuojien ja turkistarhojen läheisyydessä.

Suurimmat **rikkipitoisuudet** mitattiin Kokkolan keskustasta ja Ykspihlajan alueella, Kruunupyyn pohjoisosassa ja Pietarsaaren ja Pedersören rajan molemmin puolin. Kohonneiden rikkipitoisuuksien alue muodostaa hajanaisen vyöhykkeen Kokkolan pohjoisosista Kruunupyyn pohjoisosan kautta Pietarsaareen ja Pedersören pohjoisosaan ja edelleen Uudenkaarlepyyn eteläosiin. Tutkimusalueen kaakkois- ja eteläosissa pitoisuudet olivat matalampia.

Kalsium-, magnesium-, mangaani- ja rautapitoisuus vaikuttavat kertovan enemmän maaperän ravinnetilasta kuin päästökuormituksesta, sillä pitoisuudet olivat melko tasaiset eri puolilla tutkimusaluetta.

Booria esiintyi kohonneina pitoisuuksina Kokkolan keskustan tietämiltä Luodon kautta Pietarsaaren ulottuvalla alueella. **Kaliumia** esiintyi eniten Kokkolan Ykspihlajan ja keskustan alueella, Pietarsaaren itäosissa ja Uudenkaarlepyyn keskiosissa.

Elohopean, kromin, arseenin ja kadmiumin suurimmat pitoisuudet mitattiin Kokkolan Ykspihlajan tuntumassa sijaitsevilta aloilta. **Kuparia, sinkkiä ja nikkeliä** esiintyi eniten Ykspihlajan aloilla, ja pitoisuudet olivat muuta tutkimusaluetta suuremmat myös muualla Kokkolan keskustan tuntumassa.

8.12.2025

KJ

Taulukko 4.2. Neulasten alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat pitoisuudet sekä näytemäärät (n) koko alueella ja kunnittain. Suurimmat keskipitoisuudet on korostettu.

Alkuaine		Koko alue	Kausti-nen	Kok-kola	Kruunu-pyy	Luoto	Peder-söre	Pietar-saari	Uusikaar-lepyy
Typpi %	Keskiarvo	1,4	1,3	1,4	1,4	1,2	1,4	1,4	1,4
	Pienin	1,0	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,0
	Suurin	2,0	1,4	2,0	1,8	1,6	1,6	1,8	1,7
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Fosfori mg/kg	Keskiarvo	1 360	1 267	1 351	1 343	1 344	1 372	1 452	1 368
	Pienin	980	1 100	990	1 100	1 100	980	1 200	1 100
	Suurin	1 900	1 500	1 900	1 800	1 600	1 700	1 600	1 700
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Kalium mg/kg	Keskiarvo	5 348	4 980	5 431	5 157	5 075	5 332	5 680	5 303
	Pienin	3 600	4 000	3 600	4 300	4 500	3 800	4 600	4 400
	Suurin	7 500	6 100	6 500	6 500	6 200	6 300	7 500	6 600
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Kalsium mg/kg	Keskiarvo	3 508	3 000	3 763	3 383	3 881	3 235	3 600	3 106
	Pienin	1 900	2 500	2 000	1 900	2 900	2 300	2 000	2 200
	Suurin	6 400	4 100	6 400	4 600	5 000	4 000	5 300	4 600
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Magnesium mg/kg	Keskiarvo	865	818	867	895	936	866	845	836
	Pienin	450	680	450	720	780	560	580	490
	Suurin	1 300	960	1 200	1 100	1 300	1 100	1 200	1 100
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Mangaani mg/kg	Keskiarvo	463	541	483	508	461	440	412	397
	Pienin	110	250	130	210	300	180	120	110
	Suurin	1 000	990	1 000	910	710	910	790	810
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Rikki mg/kg	Keskiarvo	926	857	957	927	868	896	951	908
	Pienin	690	760	690	770	760	710	810	750
	Suurin	1 600	960	1 600	1 300	1 000	1 100	1 100	1 100
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Boori mg/kg	Keskiarvo	17	13	17	15	22	16	20	14
	Pienin	6	6	7	7	12	9	8	7
	Suurin	41	24	41	32	38	32	35	30
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Nikkeli mg/kg	Keskiarvo	0,45	0,31	0,66	0,33	0,28	0,3	0,32	0,32
	Pienin	0,1	0,14	0,12	0,18	0,19	0,14	0,14	0,1
	Suurin	3,3	0,63	3,3	0,59	0,51	0,61	0,79	1
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Koboltti mg/kg	Keskiarvo	0,67	0,13	1,27	0,16	0,22	0,15	0,12	0,11
	Pienin	0,06	0,09	0,07	0,14	0,14	0,08	0,07	0,06
	Suurin	9,5	0,16	9,5	0,18	0,28	0,23	0,21	0,21
	n	79	2	37	2	6	13	8	11
Sinkki mg/kg	Keskiarvo	57	49	68	50	57	47	49	47
	Pienin	20	30	30	36	40	27	30	20

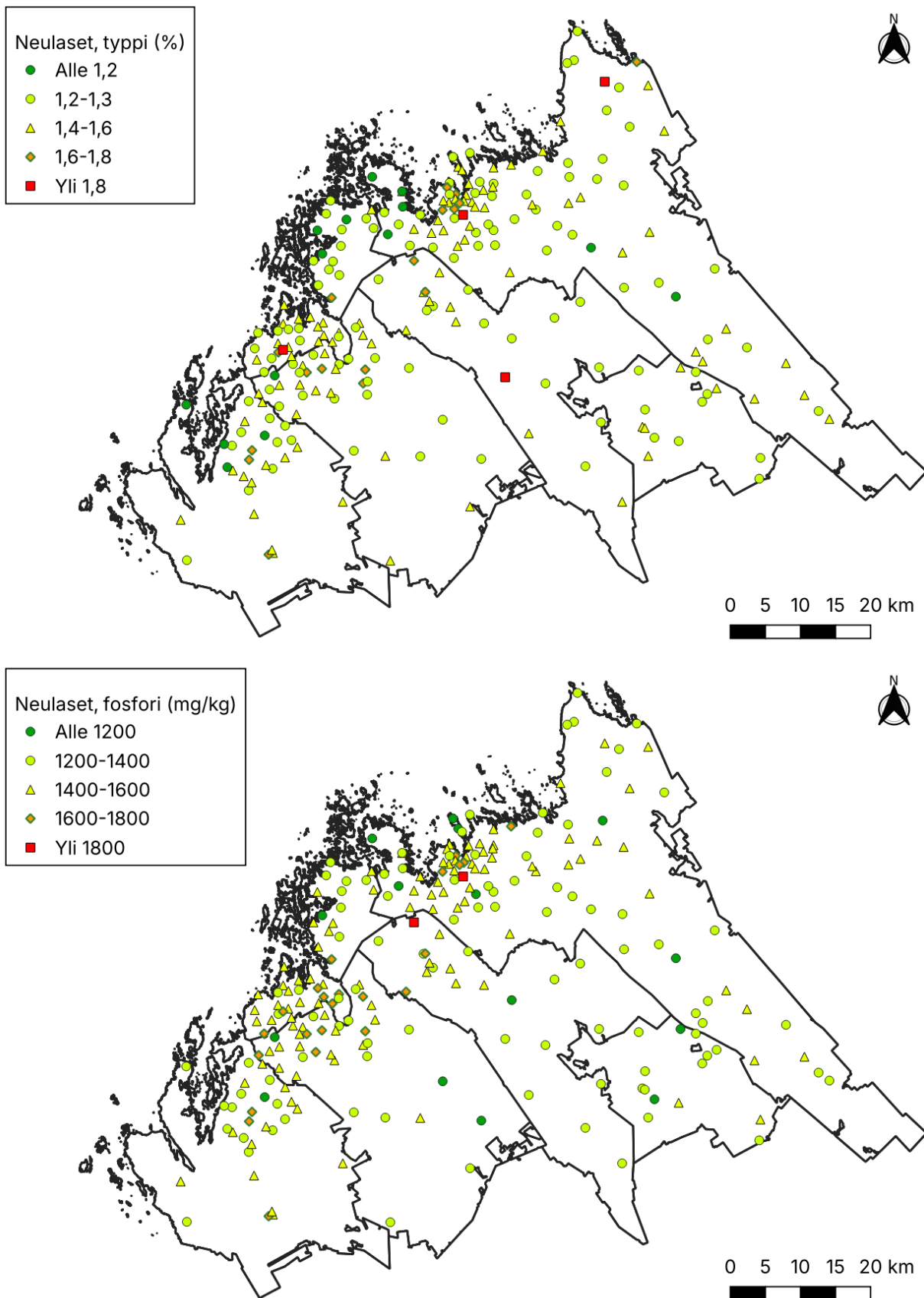
8.12.2025

KJ

Alkuaine		Koko alue	Kausti- nen	Kok- kola	Kruunu- pyy	Luoto	Peder- söre	Pietar- saari	Uusikaar- lepyy
	Suurin n	330 244	61 15	330 97	65 23	74 16	68 37	73 25	65 31
Kupari mg/kg	Keskiarvo	2,4	2,3	2,6	2,3	2,1	2,3	2,4	2,4
	Pienin	1,6	2	1,6	1,8	1,7	1,9	1,8	1,8
	Suurin	7,5	2,9	7,5	2,9	2,6	3,1	3,1	3,1
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Rauta mg/kg	Keskiarvo	61	48	67	56	63	59	63	57
	Pienin	33	33	36	37	42	39	38	41
	Suurin	340	100	340	73	100	100	160	86
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Arseeni mg/kg	Keskiarvo	0,22	0,07	0,42	0,05	0,07	0,04	0,04	0,03
	Pienin	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
	Suurin	3,9	0,1	3,9	0,06	0,08	0,07	0,06	0,06
	n	79	2	37	2	6	13	8	11
Elohopea mg/kg	Keskiarvo	0,032	0,018	0,04	0,027	0,023	0,024	0,027	0,025
	Pienin	0,013	0,017	0,014	0,026	0,015	0,013	0,016	0,018
	Suurin	0,16	0,018	0,16	0,027	0,029	0,035	0,034	0,034
	n	79	2	37	2	6	13	8	11
Kadmium mg/kg	Keskiarvo	0,15	0,06	0,26	0,09	0,11	0,07	0,08	0,07
	Pienin	0,02	0,02	0,05	0,05	0,08	0,04	0,02	0,03
	Suurin	3,6	0,13	3,6	0,19	0,18	0,13	0,16	0,11
	n	244	15	97	23	16	37	25	31
Kromi mg/kg	Keskiarvo	0,18	0,15	0,21	0,16	0,14	0,15	0,18	0,18
	Pienin	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11
	Suurin	2,3	0,28	2,3	0,26	0,26	0,21	0,43	0,55
	n	221	14	91	21	14	35	19	27

8.12.2025

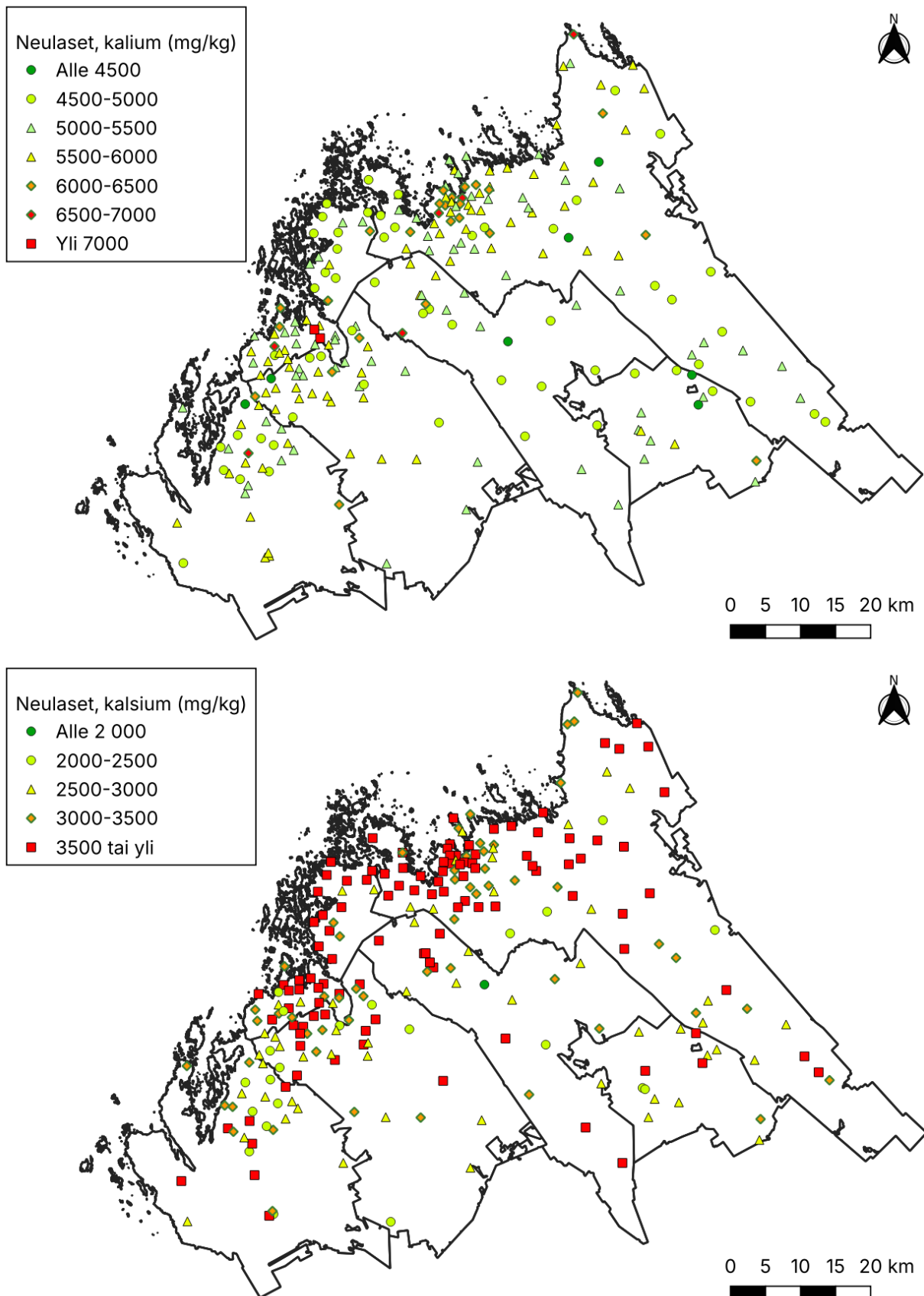
KJ



Kuva 4.10 Neulasten toisen vuosikerran tyyppi- ja fosforipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

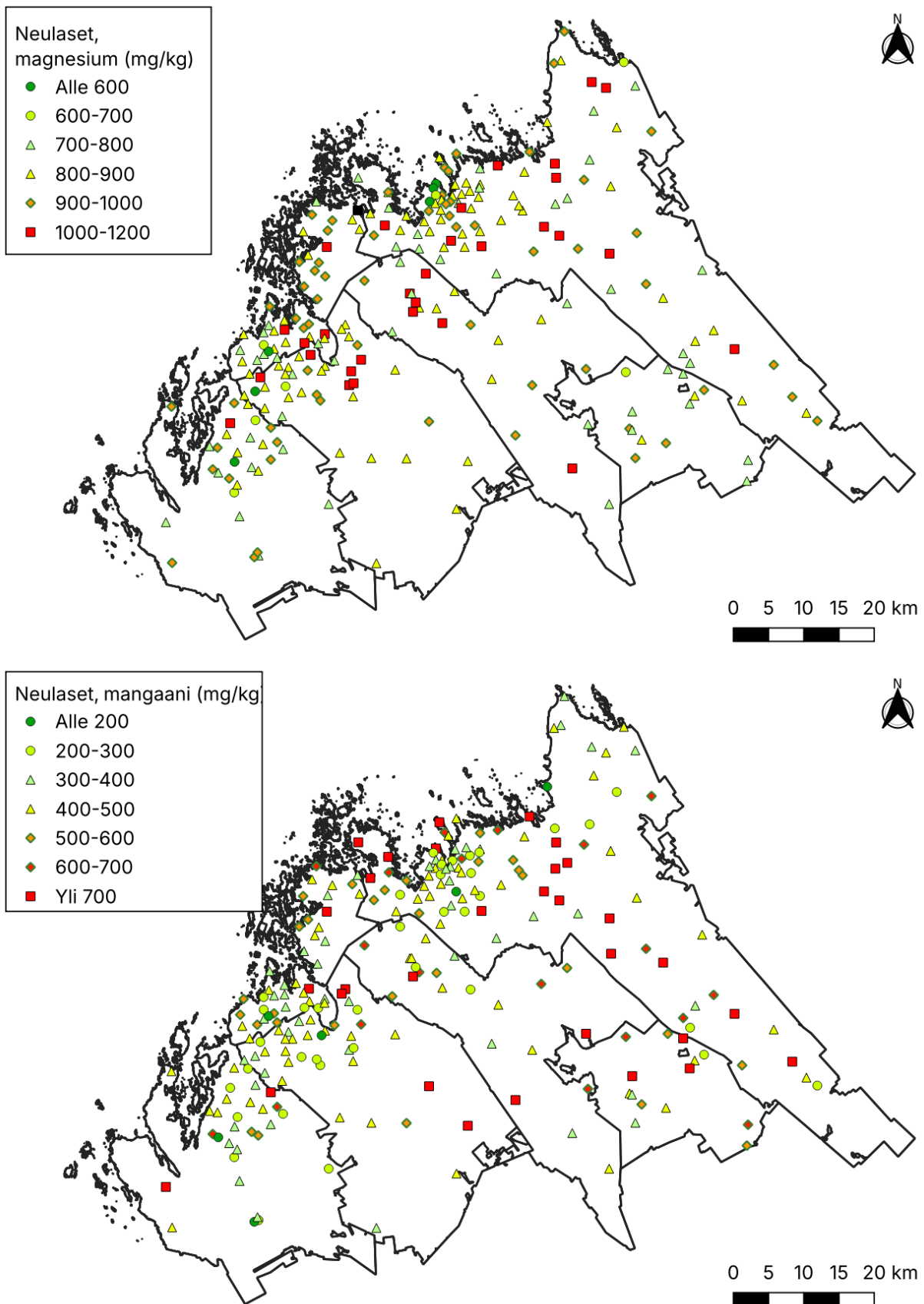
KJ



Kuva 4.11 Neulasten toisen vuosikerran kalium- ja kalsiumpitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

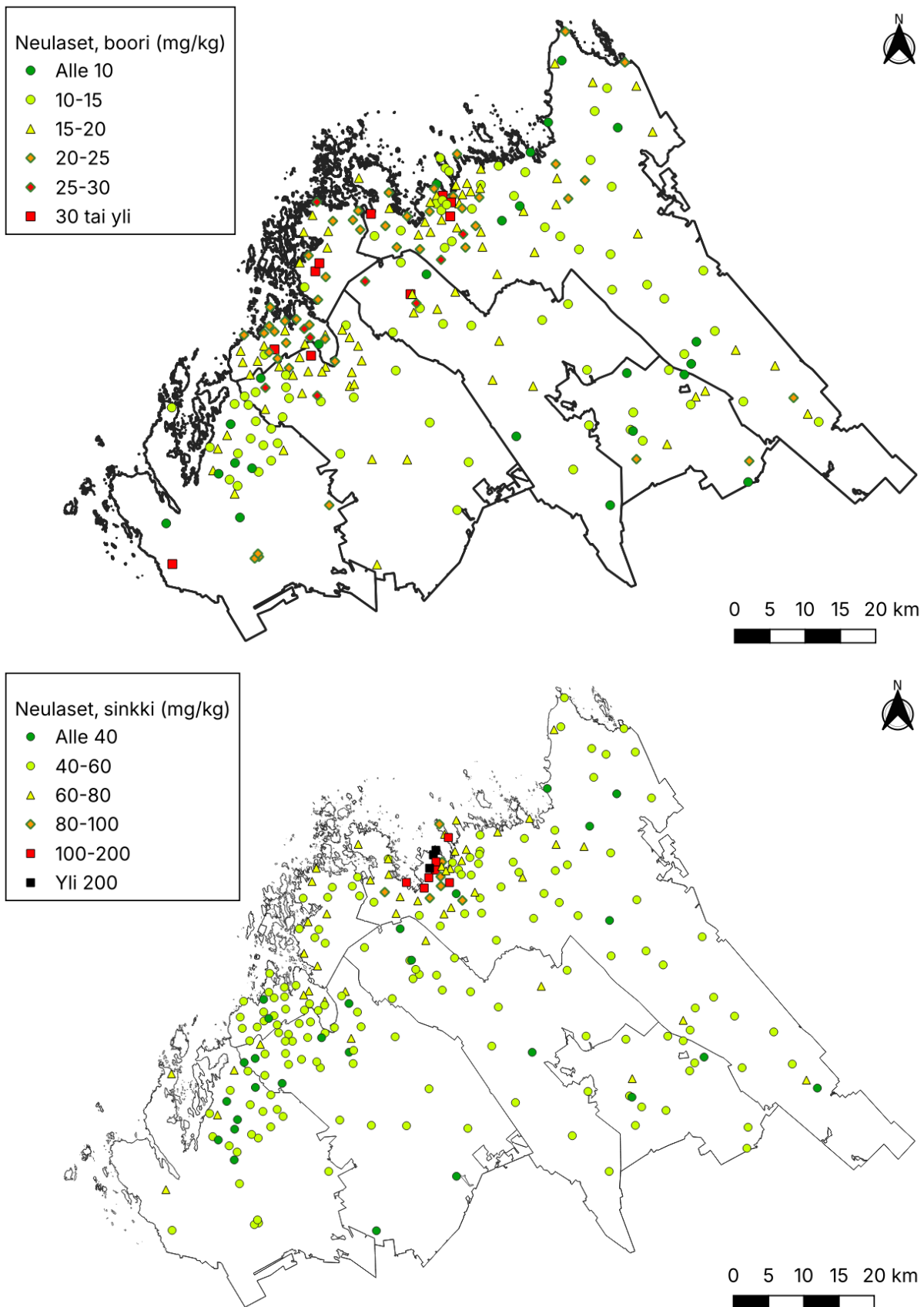
KJ



Kuva 4.12 Neulasten toisen vuosikerran magnesium- ja mangaanipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

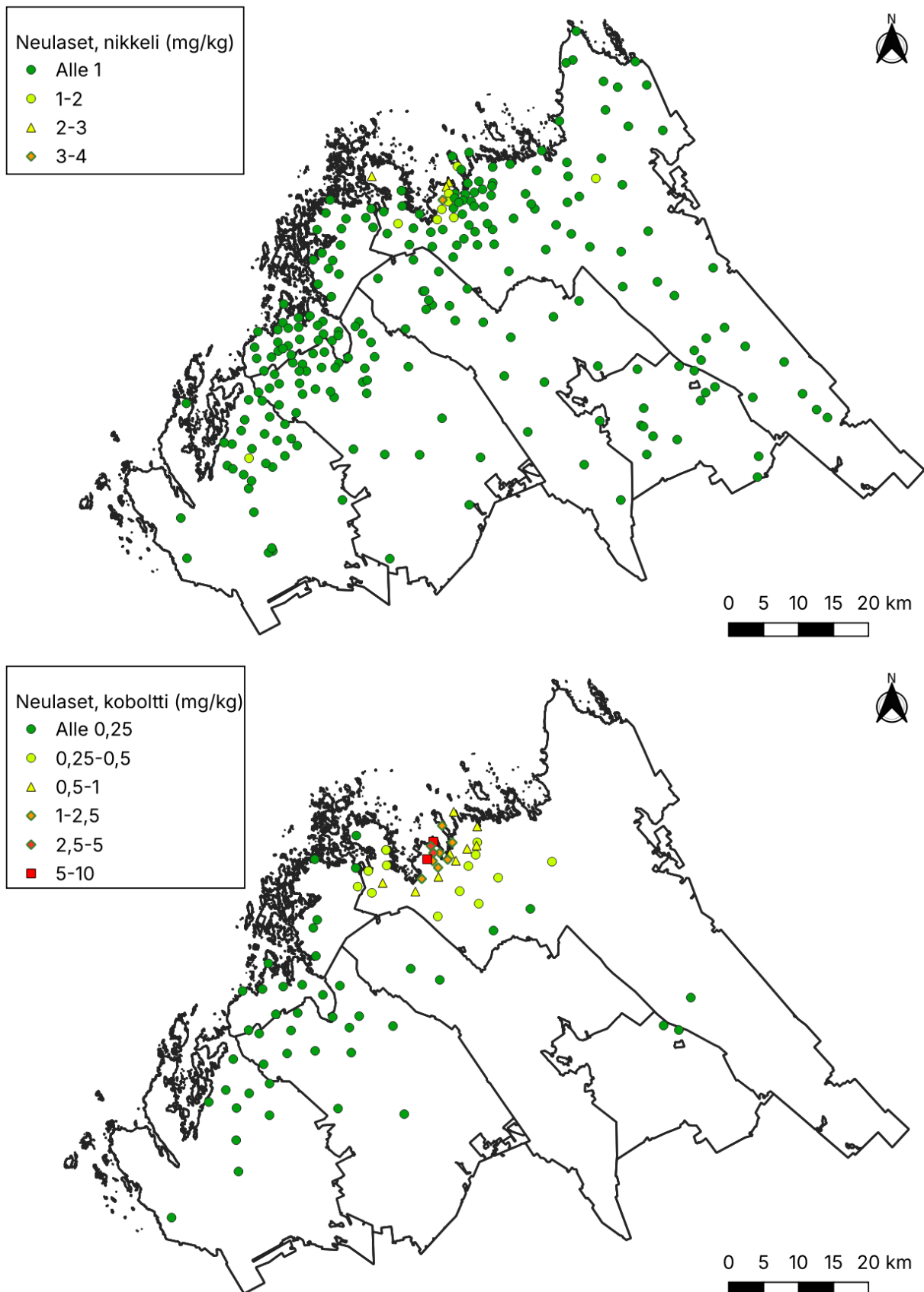
KJ



Kuva 4.13 Neulasten toisen vuosikerran boori- ja sinkkipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

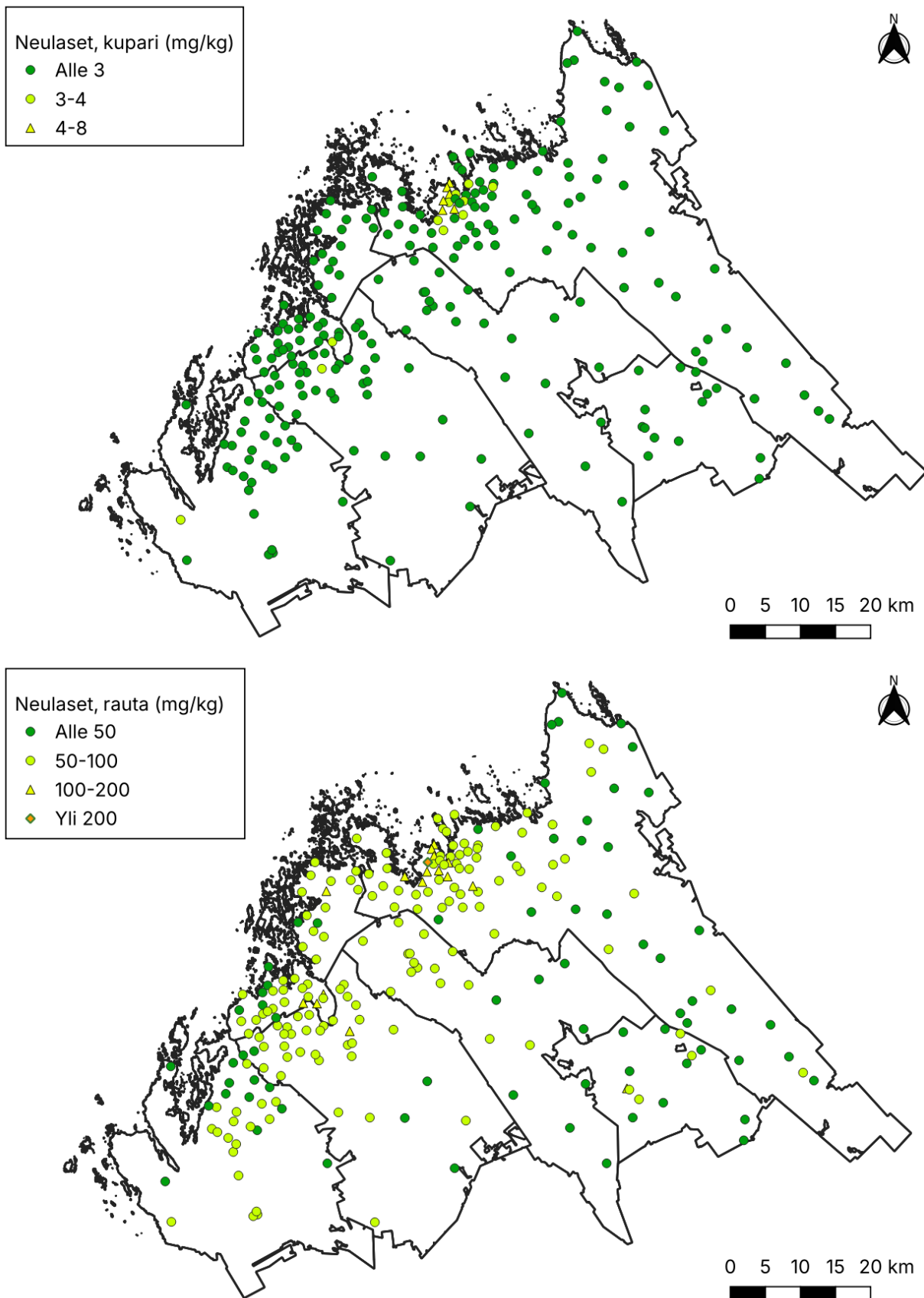
KJ



Kuva 4.14 Neulasten toisen vuosikerran nikkeli- ja kobolttipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

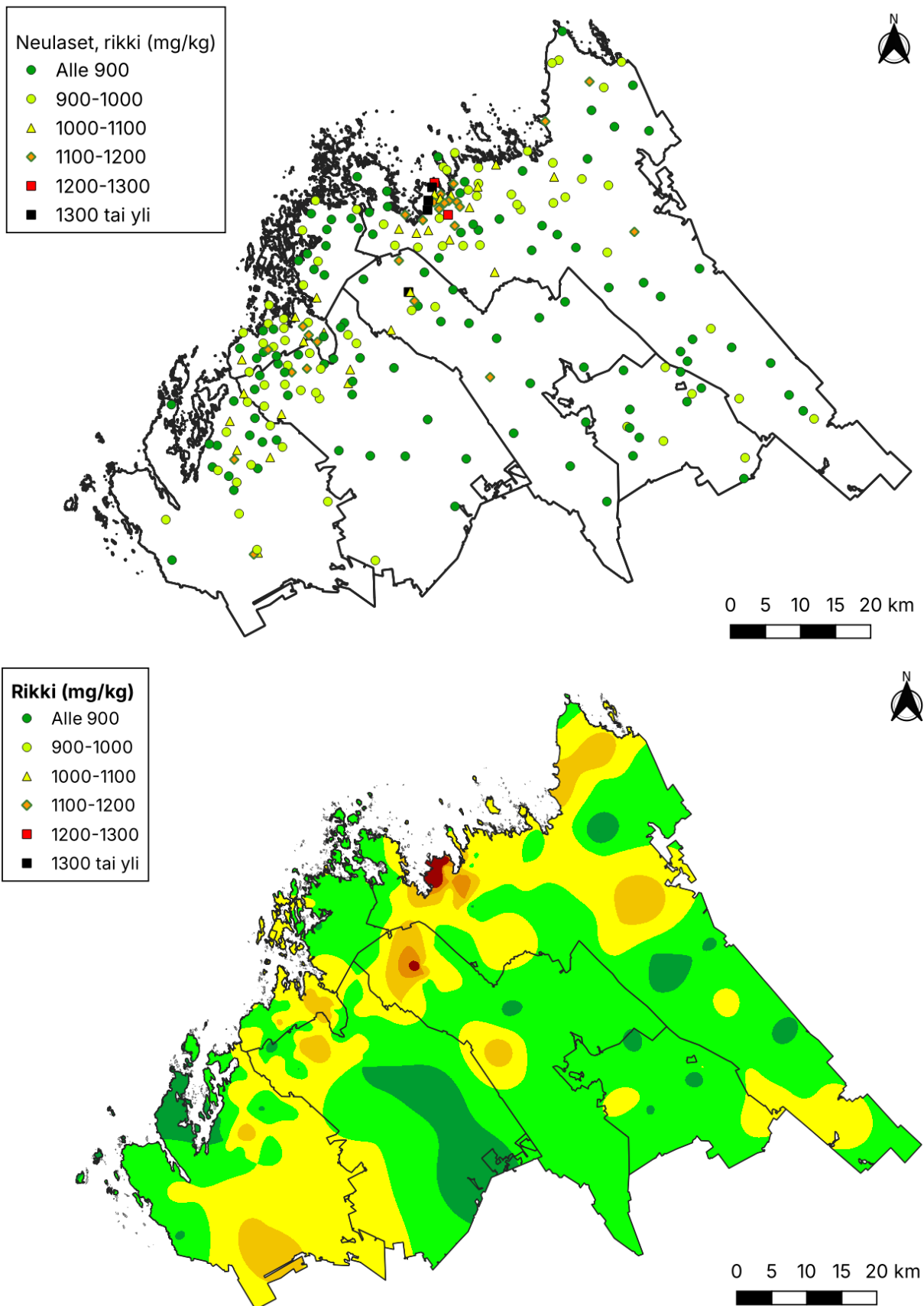
KJ



Kuva 4.15 Neulasten toisen vuosikerran kupari- ja rautapitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

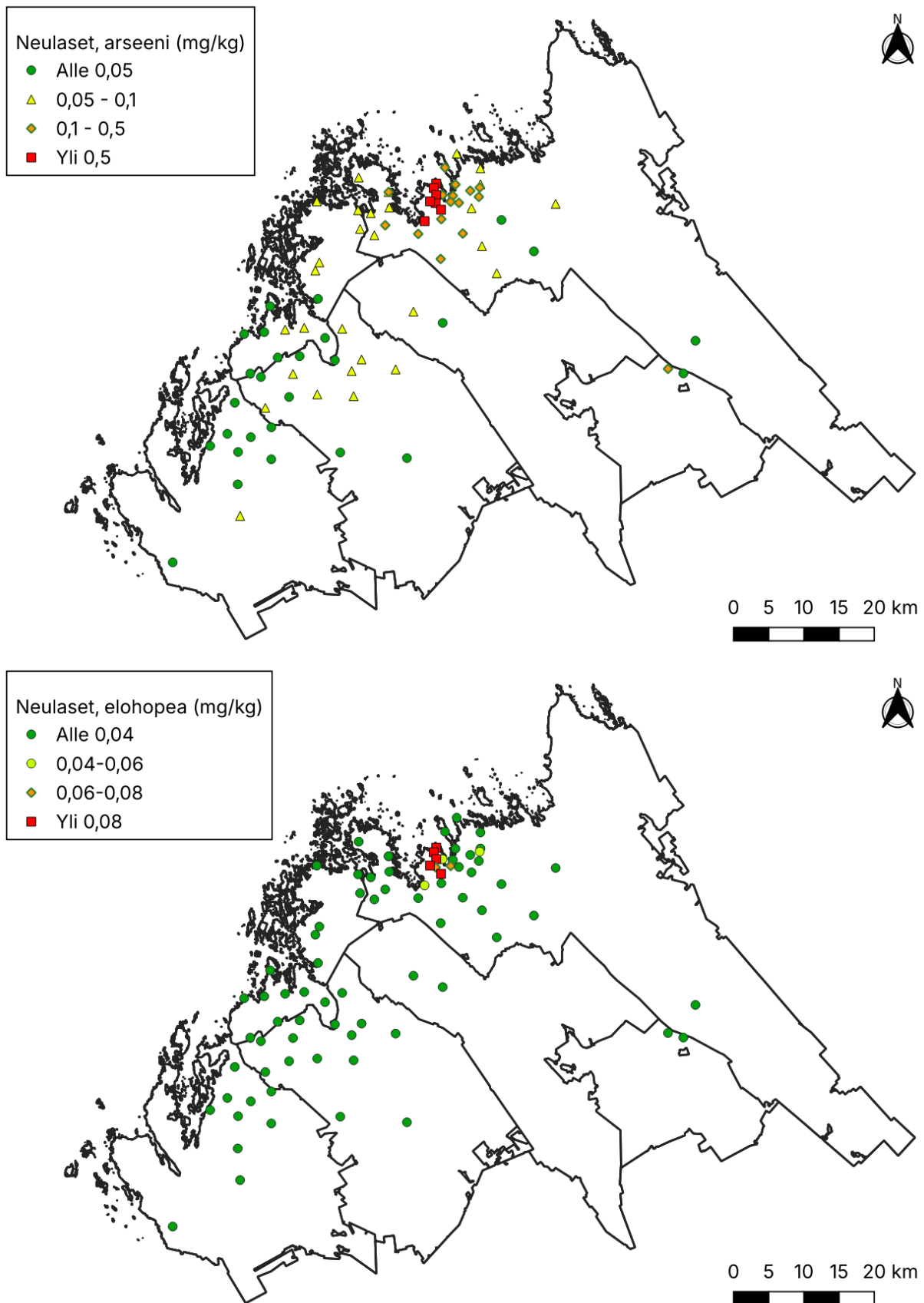
KJ



Kuva 4.16 Neulasten toisen vuosikerran rikkipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

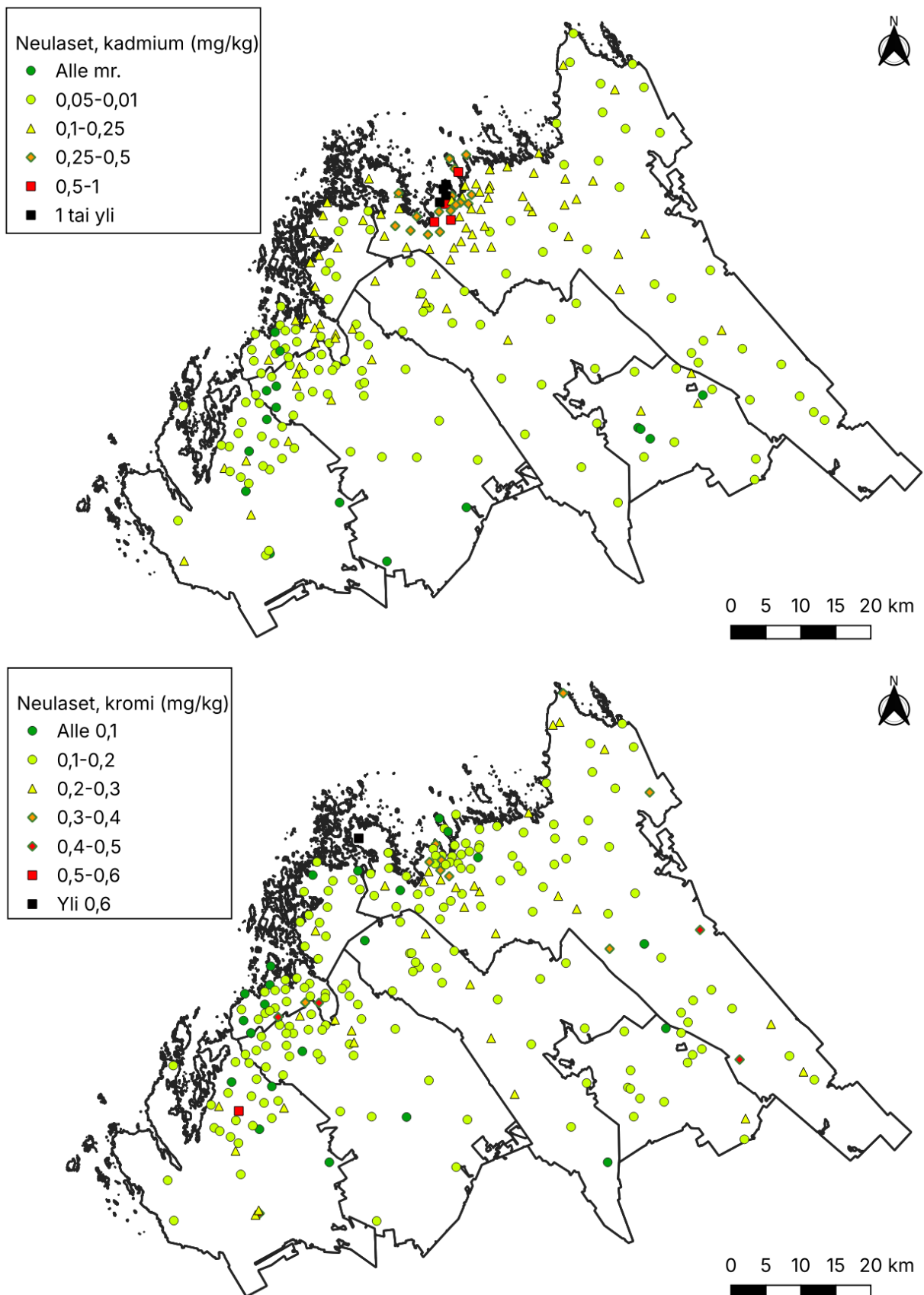
KJ



Kuva 4.17 Neulasten toisen vuosikerran arseeni- ja elohopeapitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

KJ



Kuva 4.18 Neulasten toisen vuosikerran kadmium- ja kromipitoisuudet vuonna 2025.

4.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalten alkuainepitoisuuksista lasketut keskiarvot ja vaihteluvälit koko tutkimusalueella sekä kunnittain on esitetty alla taulukossa (Taulukko 4.3). Pitoisuuksien jakautuminen on kuvattu alkuainekohtaisesti kartoilla jäljempänä (Kuva 4.19–Kuva 4.28).

Booripitoisuus ylitti määritysrajan vain neljällä alalla, jotka sijoittuivat Kokkolan Yksipihlajaan ja Kruunupyyn pohjoisosaan. Samoilla alueilla havaittiin myös suurimmat **rikki-** ja **elohopeapitoisuudet**.

Kadmium-, alumiini- ja arseenipitoisuudet olivat muuta tutkimusaluetta korkeammat Kokkolan keskustassa, Kruunupyyn pohjoisosissa ja pienellä alueella Pietarsaaren itäosassa. Arseenia esiintyi myös Uudenkaarlepyyn keskiosissa ja Kaustisella ja alumiinia Uudenkaarlepyyn keskiosissa, Pedersören pohjoisosissa ja Kruunupyyn keskiosissa.

Koboltti-, lyijy-, nikkeli-, sinkki- ja kuparipitoisuudet olivat suurimmat Kokkolan Yksipihlajan ja keskustan alueilla. **Kromia** esiintyi eniten Uudenkaarlepyyn ja Pedersören rajalla. **Vanadiinia** esiintyi yksittäisinä suurempina pitoisuuksina Uudenkaarlepyyn ja Kokkolan alueilla.

Korkeammat **fosfori-, kalium-, magnesium-, natrium-, rauta- ja kalsiumpitoisuudet** olivat jakautuneet suht tasaisesti koko tutkimusalueelle, ollen kuitenkin osalla alkuaineista hieman muuta aluetta suuremmat kuormittuneimmilla alueilla kuten Kokkolassa ja Pietarsaassa sekä Kruunupyyn pohjoisosassa. Mangaanipitoisuuksissa ei ollut nähtävissä selkeää yhteyttä päästölähteisiin.

Litiumpitoisuudet olivat alle määritysrajan kaikilla kuudella tutkimusalalla.

8.12.2025

KJ

Taulukko 4.3. Sammalen alkuainepitoisuuden keskiarvot ja vaihteluväli kunnittain ja koko alueella tarkasteltuna. Suurimmat keskiarvopitoisuudet on korostettu.

Alkuaine		Koko alue	Kaustinen	Kok-kola	Kruunupyy	Luoto	Pedersöre	Pietarsaari	Uusikaarle-pyy
mg/kg	n	235	14	90	23	16	38	25	29
Al	keskiarvo	283	244	251	327	233	277	282	402
	pienin	93	140	93	96	120	120	140	170
	suurin	2300	540	810	1100	430	910	740	2300
As	keskiarvo	0,40	0,18	0,69	0,36	0,25	0,19	0,16	0,20
	pienin	0,05	0,07	0,05	0,06	0,09	0,11	0,07	0,08
	suurin	5,6	0,79	5,6	0,88	0,70	0,43	0,28	1,5
B	keskiarvo	5,1	< 5	5,1	5,1	< 5	< 5	< 5	< 5
	pienin	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	suurin	13	< 5	13	7,0	< 5	< 5	< 5	< 5
Ca	keskiarvo	2235	2150	2236	2274	2263	2108	2376	2255
	pienin	1400	1600	1400	1600	1900	1400	1600	1600
	suurin	4300	3000	4300	3500	3200	3800	3700	3000
Cd	keskiarvo	0,23	0,09	0,39	0,20	0,15	0,12	0,14	0,10
	pienin	0,06	0,06	0,06	0,08	0,09	0,07	0,06	0,06
	suurin	2,10	0,14	2,1	0,42	0,27	0,25	0,80	0,14
Co	keskiarvo	1,7	0,41	3,5	1,2	0,64	0,61	0,50	0,41
	pienin	0,13	0,25	0,13	0,21	0,33	0,27	0,23	0,20
	suurin	25	0,92	25	3,5	1,1	2,2	1,2	1,6
Cr	keskiarvo	0,72	0,55	0,69	0,75	0,47	0,63	0,63	1,20
	pienin	0,19	0,23	0,19	0,19	0,25	0,25	0,30	0,40
	suurin	10	1,2	2,8	2,7	0,8	3,1	2,1	10
Cu	keskiarvo	4,4	4,0	5,3	4,4	3,2	3,5	3,9	3,9
	pienin	1,8	2,4	2,5	2,4	2,2	1,8	2,3	2,4
	suurin	18	10,0	18,0	8,6	4,4	6,0	8,9	6,2
Fe	keskiarvo	391	344	359	446	297	361	369	581
	pienin	100	150	100	110	140	140	150	200
	suurin	3800	1400	1200	1600	720	1300	1100	3800
Hg	keskiarvo	0,05	0,03	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
	pienin	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,02	0,02
	suurin	0,28	0,05	0,28	0,16	0,08	0,08	0,07	0,06
K	keskiarvo	5739	6000	6052	5617	5181	5508	5568	5493
	pienin	3200	3900	4500	3900	4000	3700	3200	3500
	suurin	9100	8600	9100	7600	6900	7700	7400	8400
Li	keskiarvo	<1	<1	<1	-	-	-	-	-
	pienin	<1	<1	<1	-	-	-	-	-
	suurin	<1	<1	<1	-	-	-	-	-
Mg	keskiarvo	990	989	991	997	919	927	1056	1044
	pienin	580	700	680	640	730	580	690	640
	suurin	2300	1400	2100	1700	1200	1700	1500	2300
Mn	keskiarvo	251	284	255	257	251	234	222	271

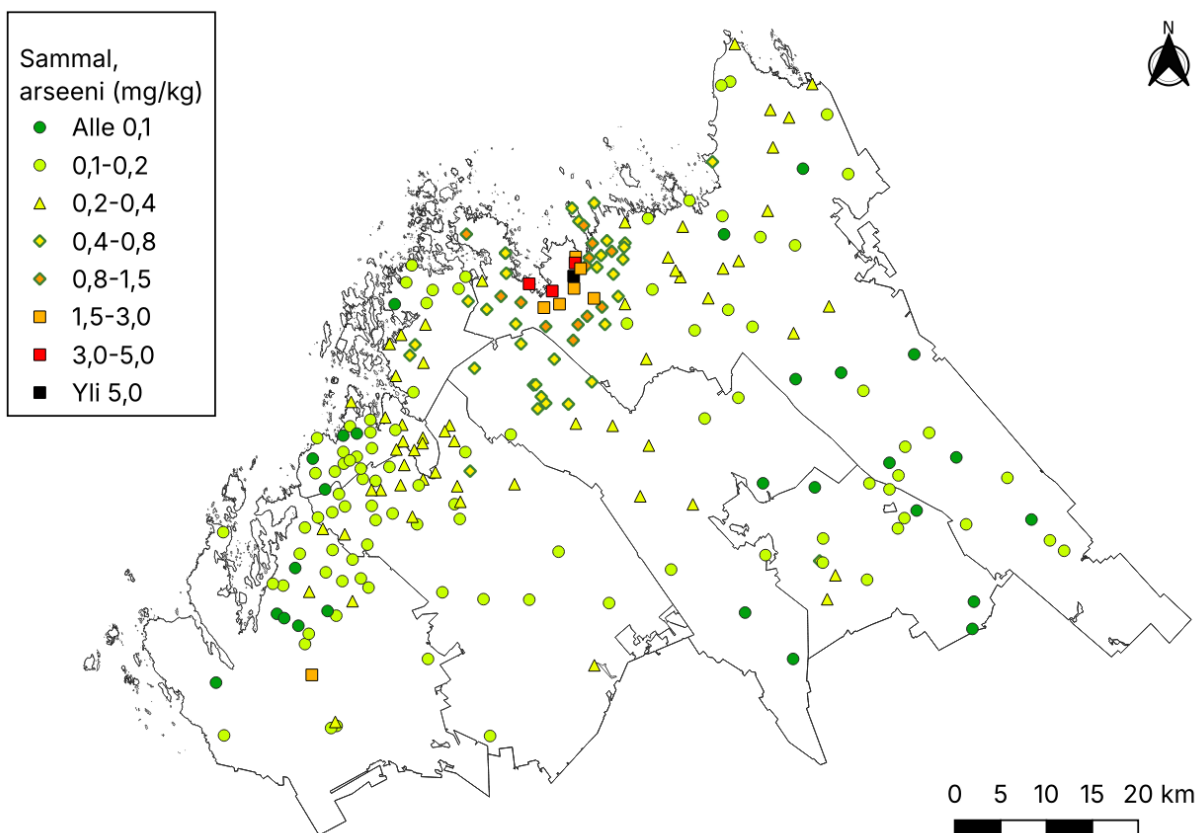
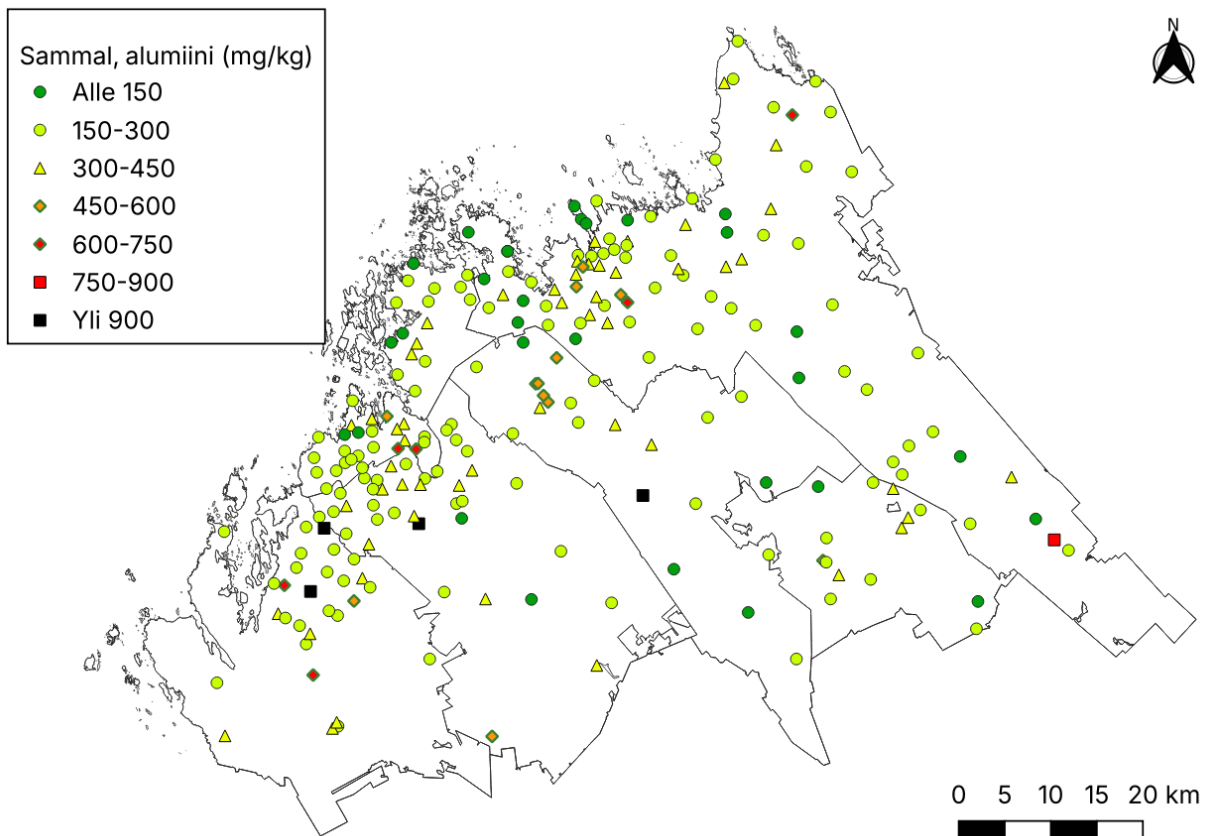
8.12.2025

KJ

Alkuaine	Koko alue	Kaustinen	Kok-kola	Kruunupyy	Luoto	Pedersöre	Pietarsaari	Uusikaarle-pyy	
mg/kg	n	235	14	90	23	16	38	25	29
	pienin	64	170	80	100	170	64	120	86
	suurin	610	400	600	460	440	500	370	610
	keskiarvo	118	117	126	116	123	95	128	118
Na	pienin	38	78	64	38	54	59	56	62
	suurin	590	220	270	390	250	170	310	590
	keskiarvo	0,96	0,74	1,2	0,93	0,56	0,71	0,69	0,96
Ni	pienin	0,27	0,43	0,27	0,32	0,34	0,41	0,40	0,42
	suurin	6,6	1,8	4,6	1,8	0,8	2,2	1,9	6,6
	keskiarvo	3,7	0,82	6,8	3,1	2,4	1,6	1,4	1,2
Pb	pienin	0,42	0,54	0,42	0,62	0,83	0,94	0,68	0,68
	suurin	57	1,3	57	8,5	7,0	2,8	3,0	2,3
	keskiarvo	1228	1112	1301	1207	1167	1159	1216	1210
P	pienin	630	670	790	790	900	650	630	720
	suurin	2400	2000	2400	2200	1600	1800	2000	1800
	keskiarvo	718	672	778	727	683	628	724	677
S	pienin	370	420	470	420	530	370	470	460
	suurin	1500	1100	1500	1400	900	880	1000	1000
	keskiarvo	0,85	0,86	0,79	0,90	0,61	0,83	0,80	1,2
V	pienin	0,26	0,27	0,28	0,26	0,33	0,33	0,31	0,46
	suurin	6,7	3,5	5,1	2,9	1,1	3,2	2,5	6,7
	keskiarvo	71	33	114	61	41	39	43	51
Zn	pienin	20	22	20	25	30	23	23	27
	suurin	620	75	620	140	70	83	110	170

8.12.2025

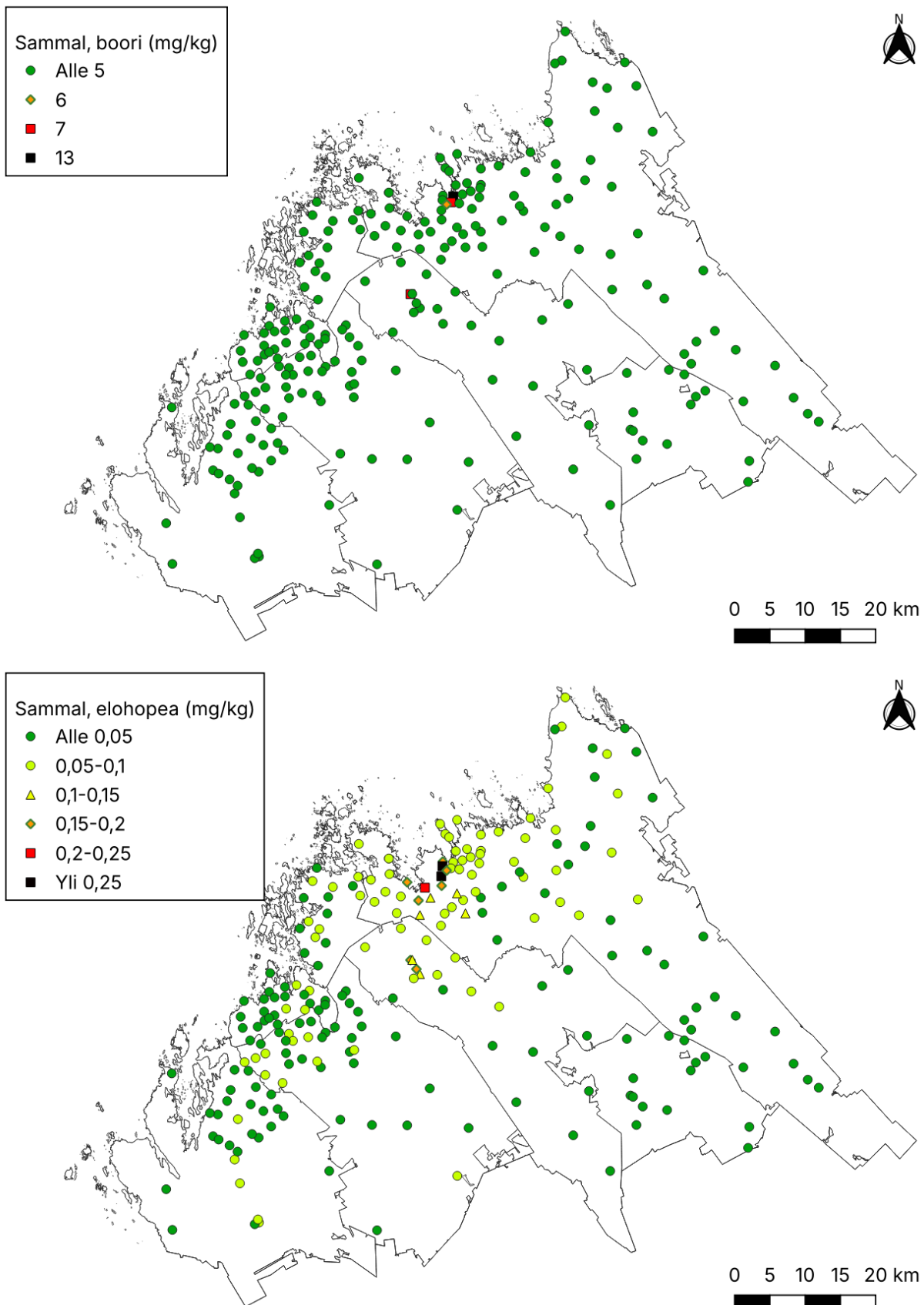
KJ



Kuva 4.19 Sammalen alumiini- ja arseenipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

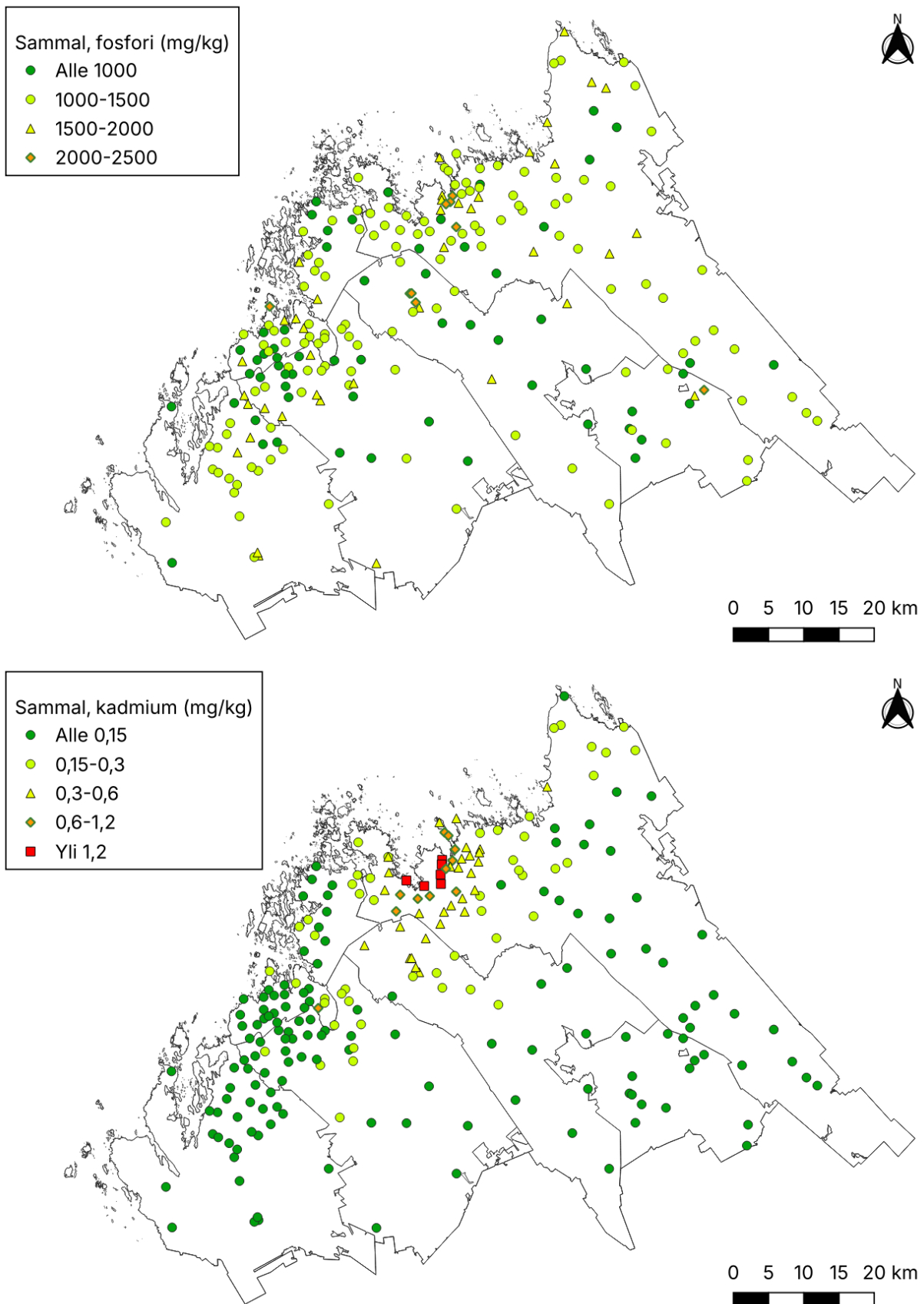
KJ



Kuva 4.20 Sammalen boori- ja elohopeapitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

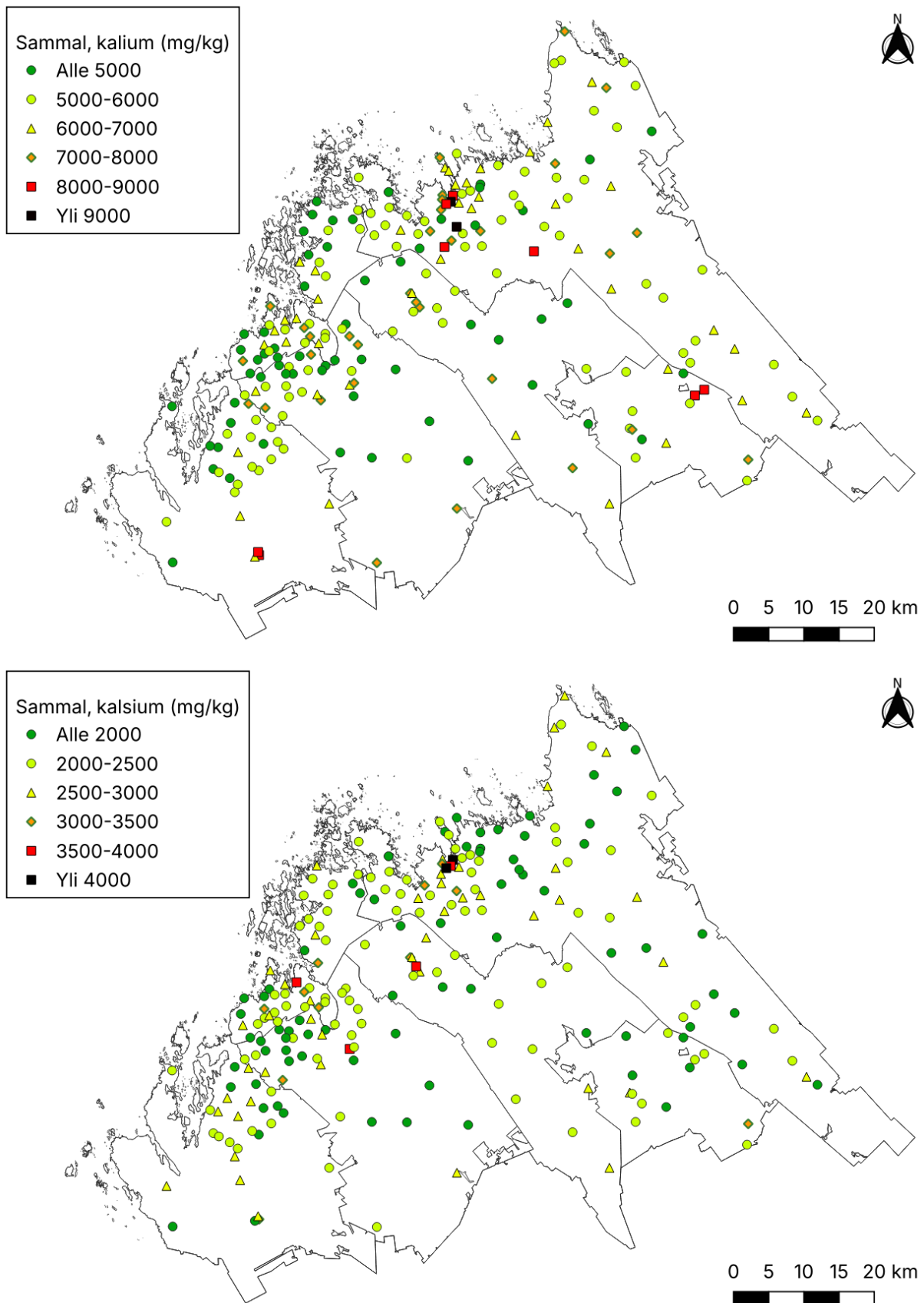
KJ



Kuva 4.21 Sammalen fosfori- ja kadmiumpitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

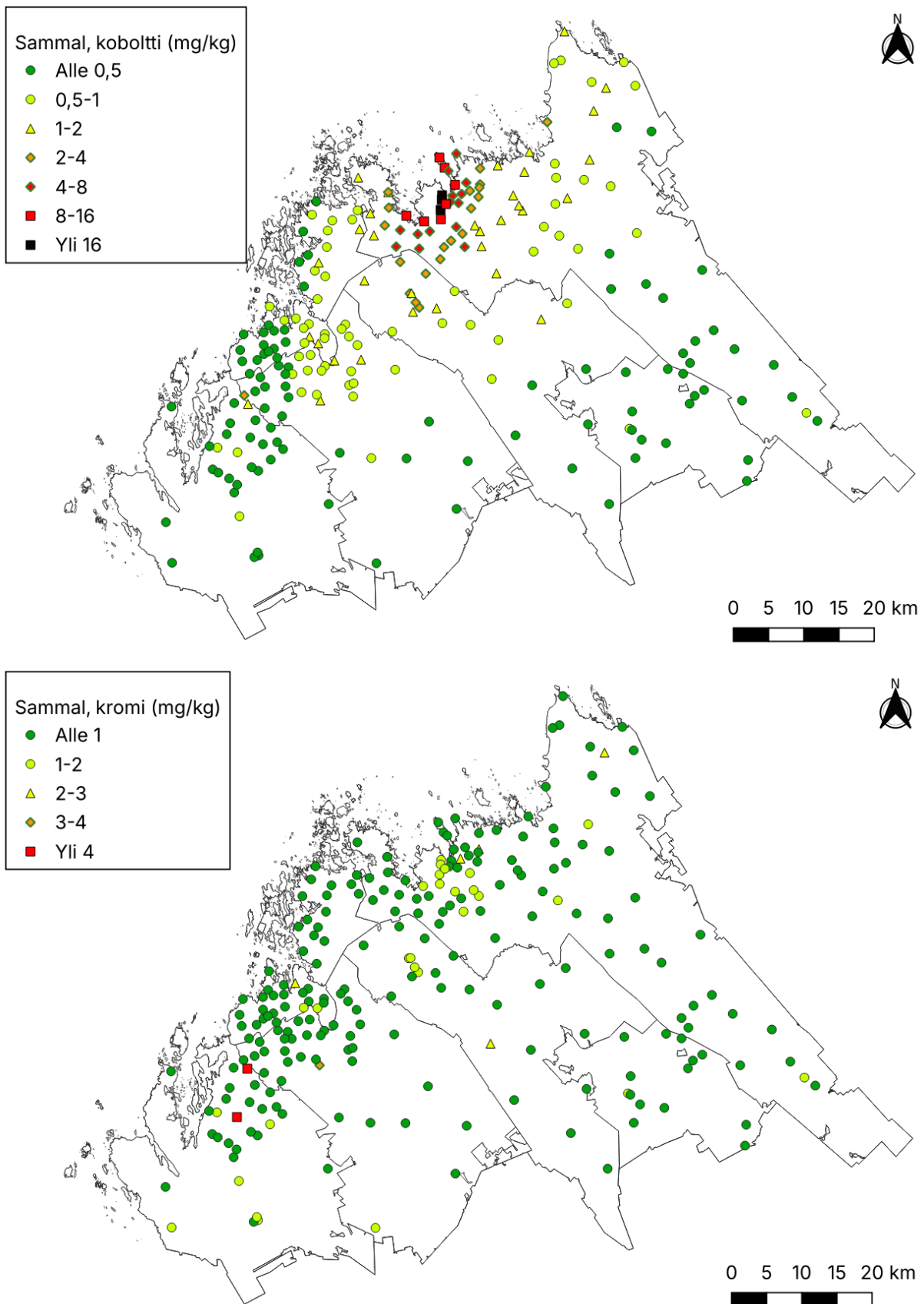
KJ



Kuva 4.22 Sammalen kalium- ja kalsiumpitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

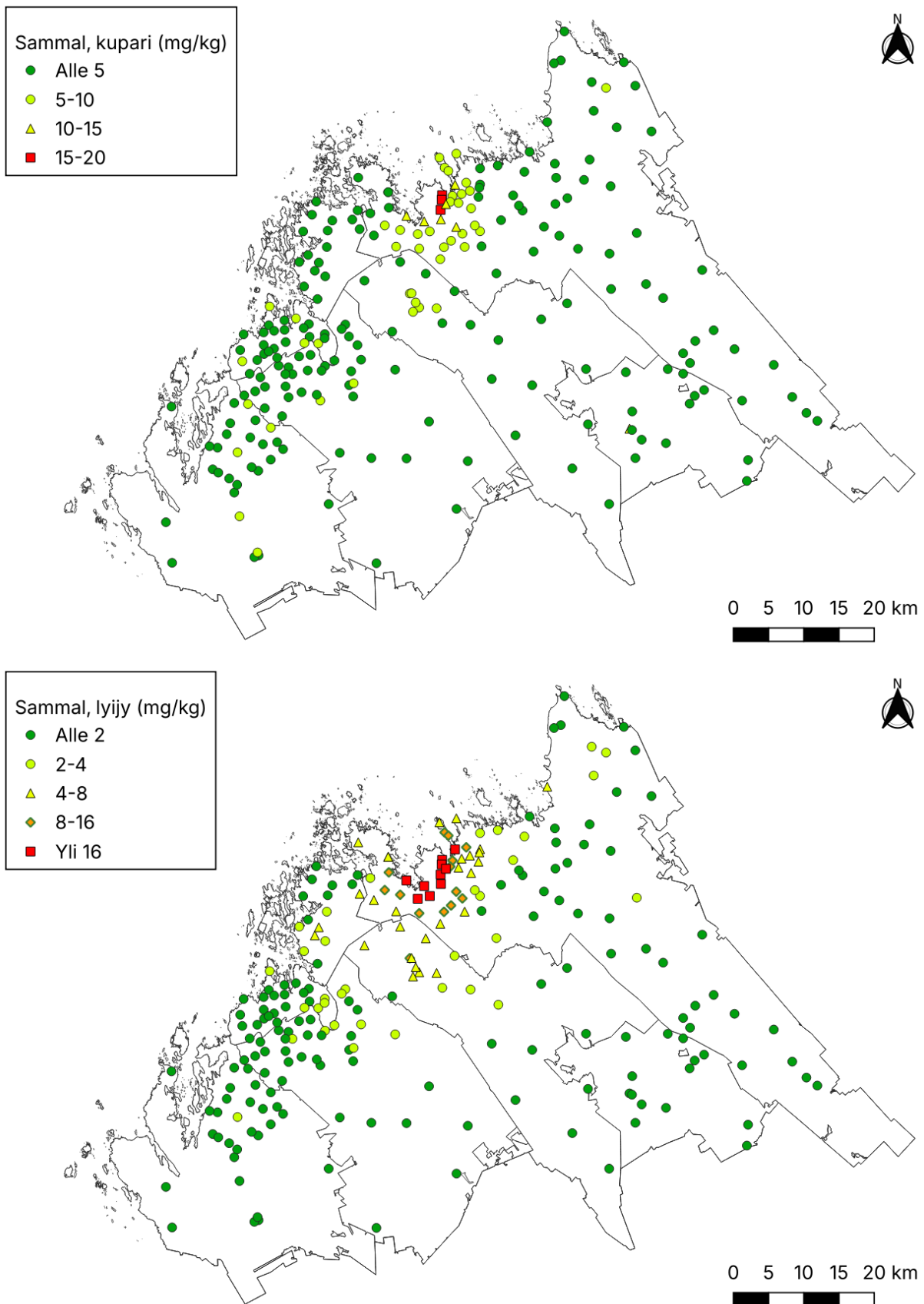
KJ



Kuva 4.23 Sammalen koboltti- ja kromipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

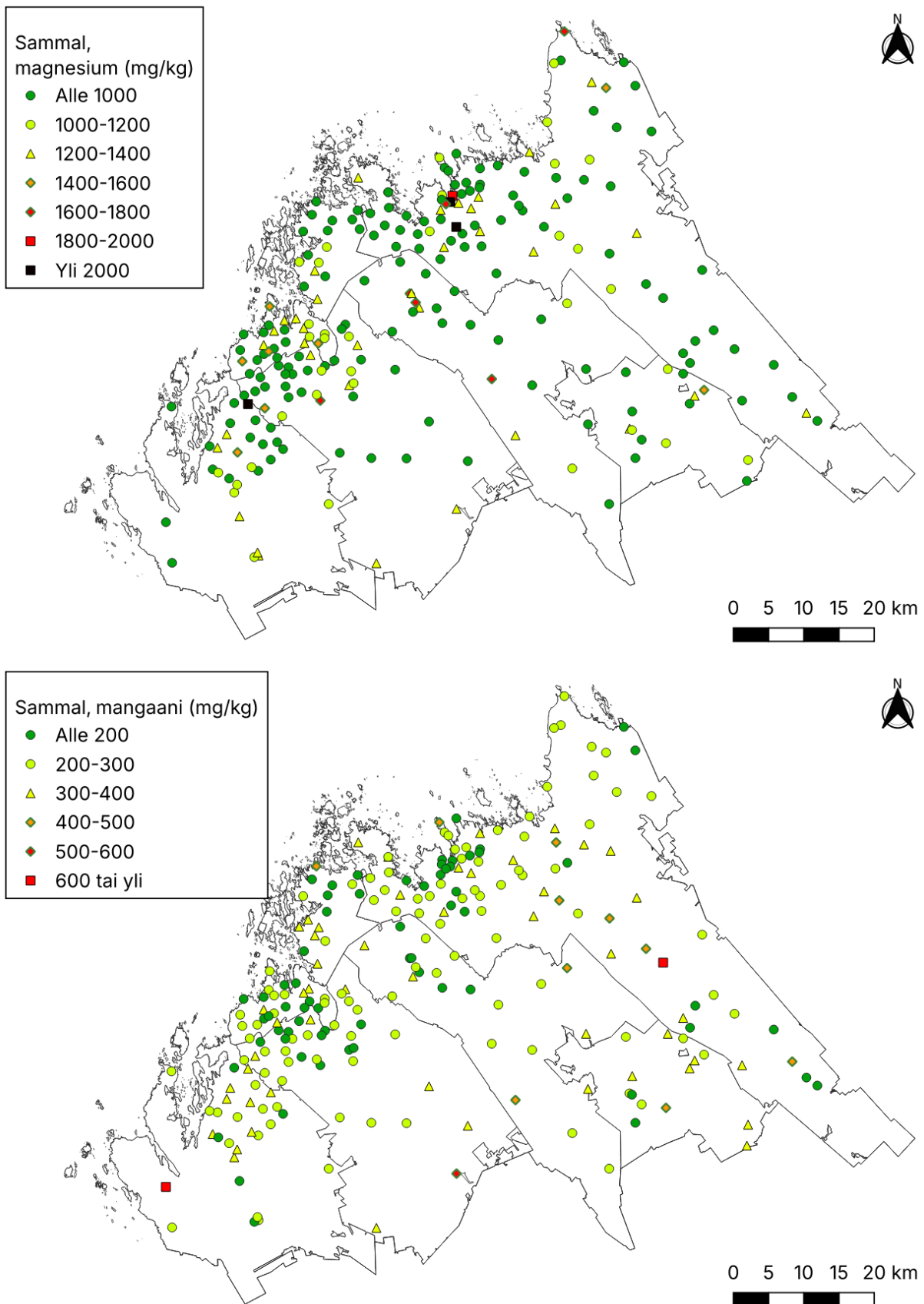
KJ



Kuva 4.24 Sammalen kupari- ja lyijypitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

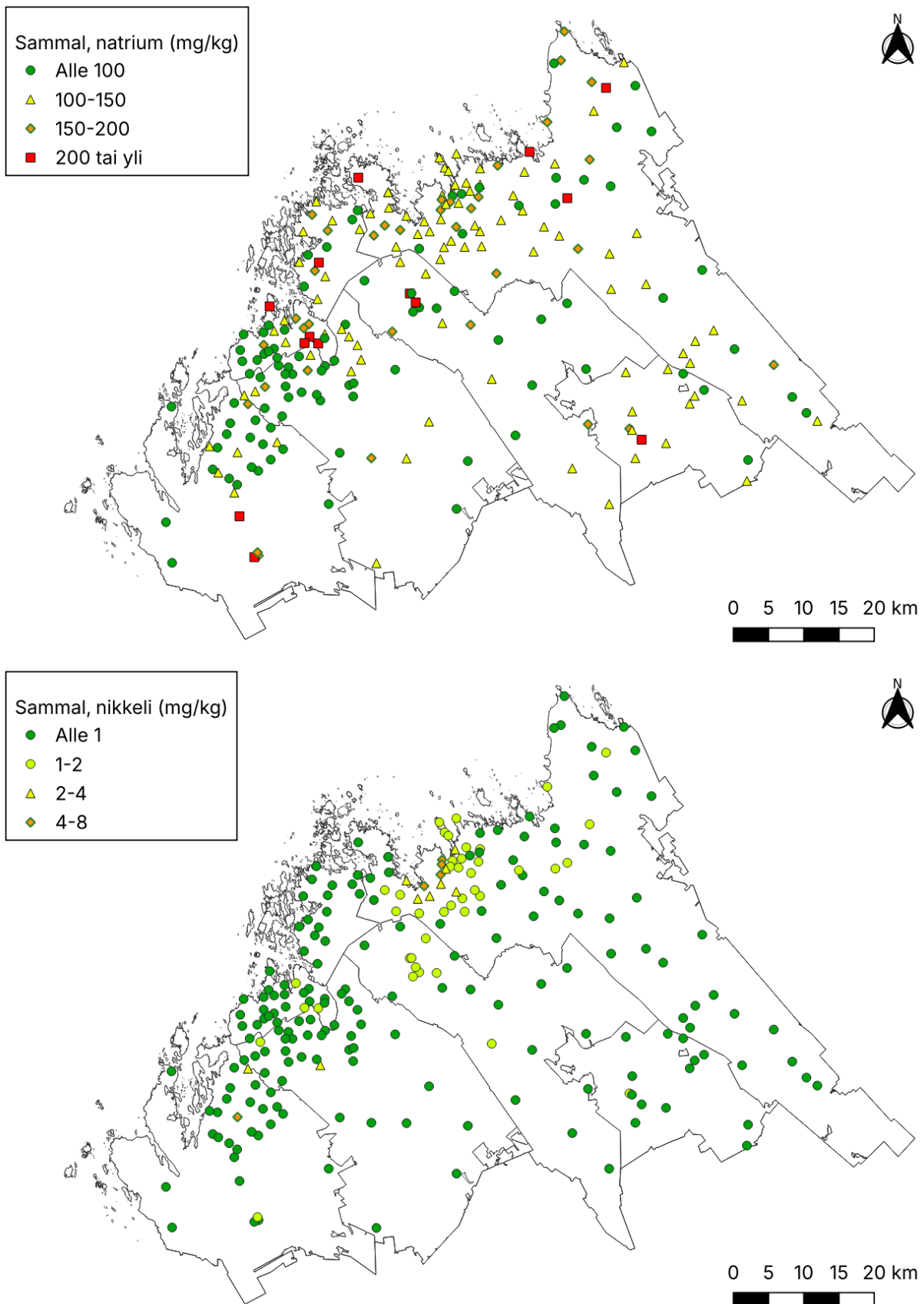
KJ



Kuva 4.25 Sammalen magnesium- ja mangaanipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

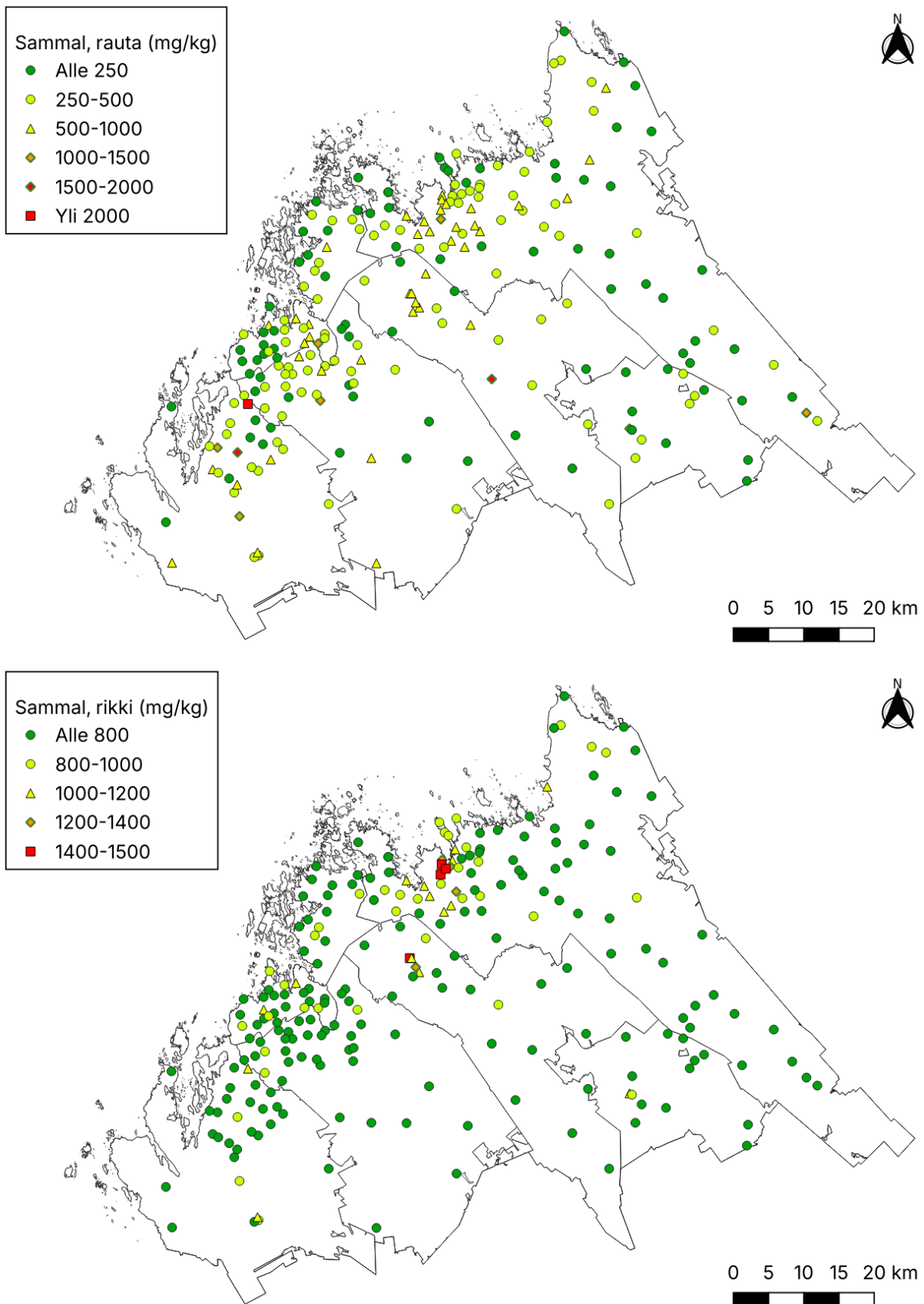
KJ



Kuva 4.26 Sammalen natrium- ja nikkelipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

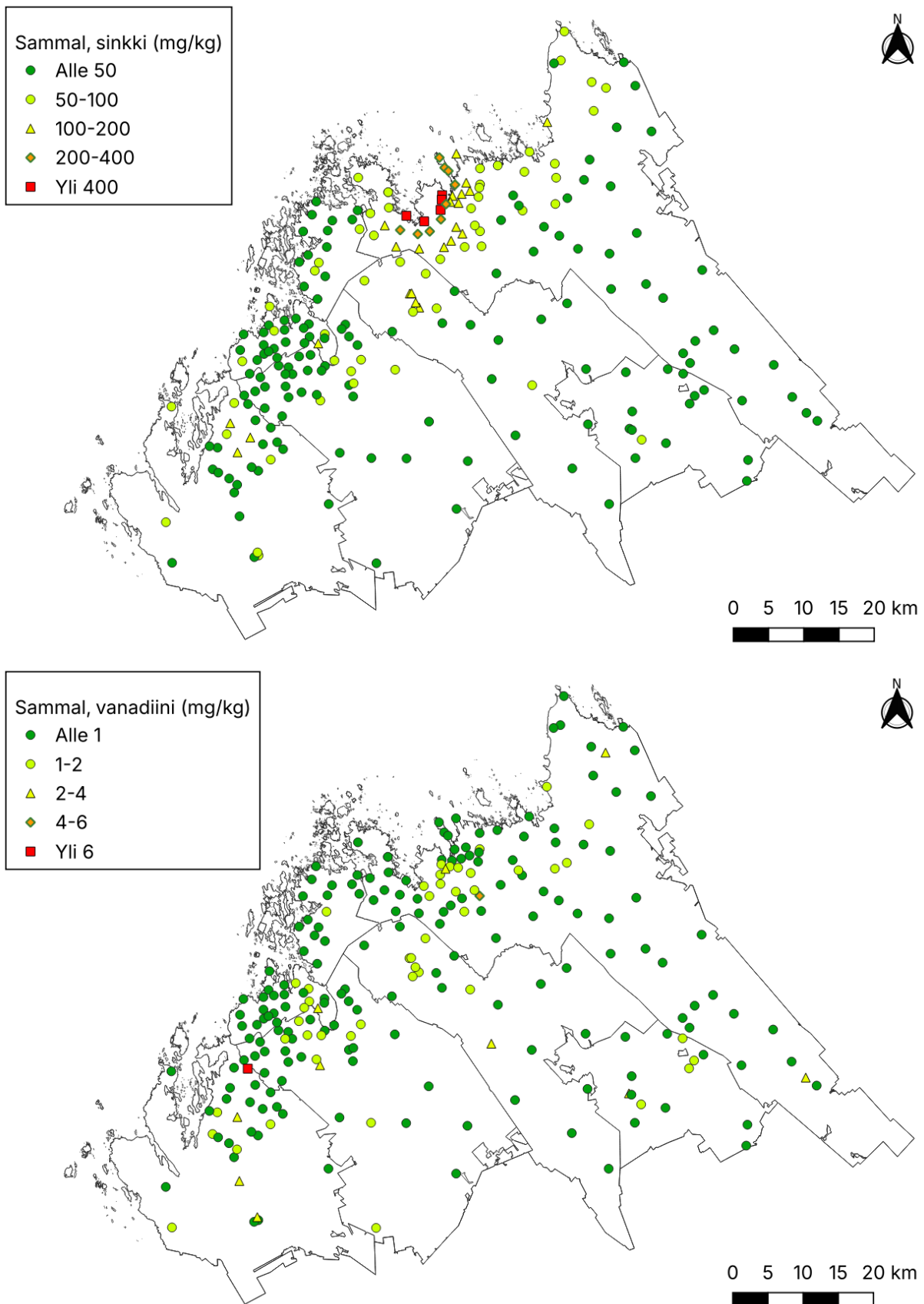
KJ



Kuva 4.27 Sammalen rauta- ja rikkipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

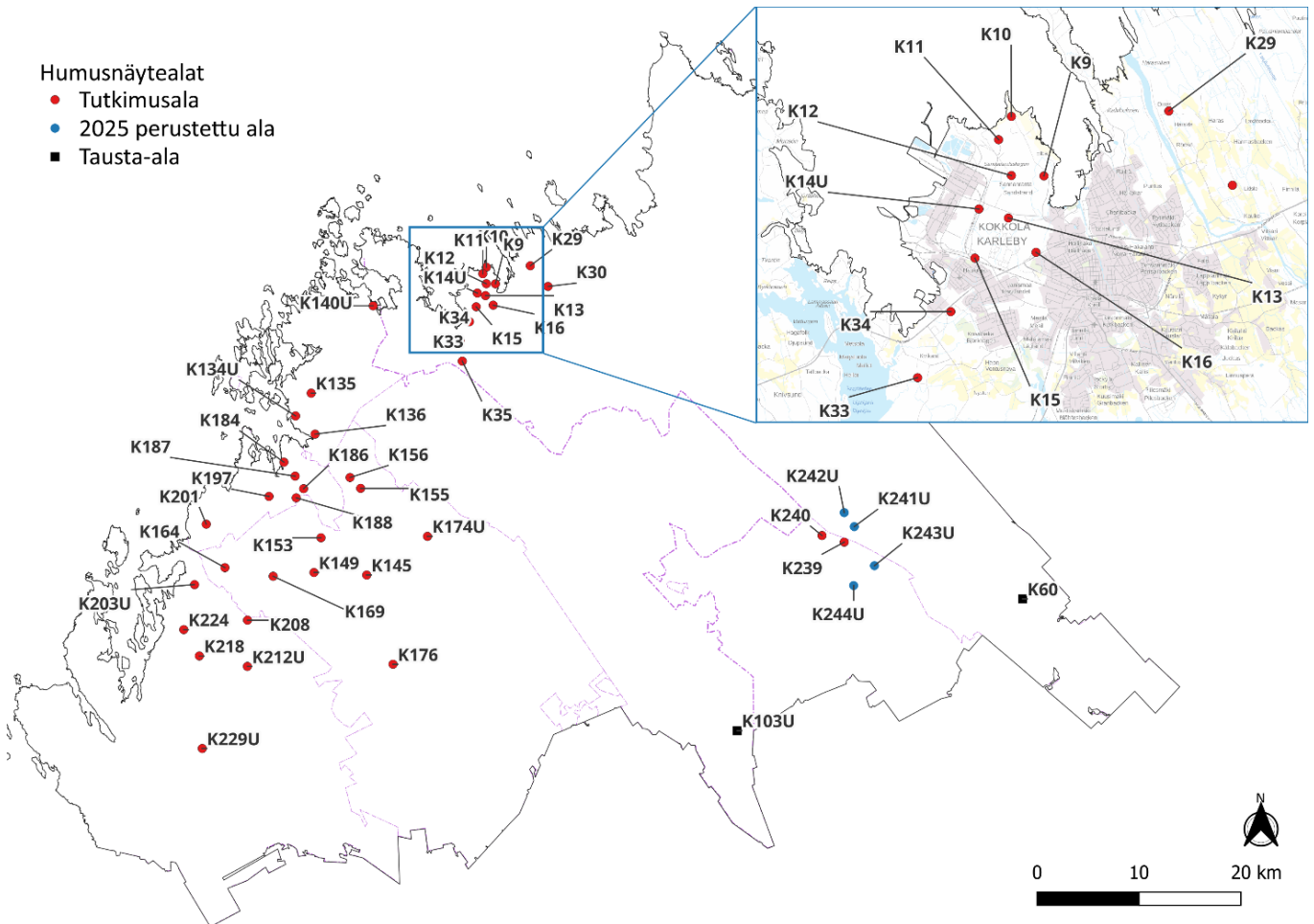
KJ



Kuva 4.28 Sammalen sinkki- ja vanadiinipitoisuudet vuonna 2025.

4.4 Humuksen alkuainepitoisuudet ja ominaisuudet

Humusnäytteitä otettiin yhteensä 46 tutkimusalueelta (Kuva 4.29), joista 4 alaa olivat uusia. Uudet alat (K241-K244) sijoittuvat Kaustiselle ja Kokkolaan Rapasaaren kaivos- ja rikastamotoimintojen läheisyyteen.



Kuva 4.29 Humusnäytealojen sijoittuminen tutkimusalueella vuonna 2025. Pienemmässä kartassa on kuvattu alojen sijoittuminen Kokkolassa. Alan nimen perässä oleva U = uutena perustettu tai vanhan hävinneen alan tilalle perustettu ala.

Humusnäytteiden tulokset ja vertailu valtioneuvoston asetuksen 214/2007 mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin on esitetty alla taulukoituna (Taulukko 4.4 ja

Taulukko 4.5). Pitoisuudet on esitetty myös kartoilla (Kuva 4.30–Kuva 4.40).

Kokkolan tutkimusaloilla VNa 214/2007 mukainen ylempi ohjearvo ylittyi elohopean (1 ala), koboltin (1), kuparin (3), nikkelin (2) ja sinkin (9) osalta. Myös Kokkolan tutkimusalojen keskimääräinen sinkkipitoisuus (887 mg/kg) ylitti ylemmän ohjearvon. Edellisten lisäksi alempi ohjearvo ylittyi elohopean (3 alaa), kadmiumin (2), koboltin (2), kuparin (1) ja sinkin (2) osalta. Kynnysarvo ylittyi arseenin

(10 alaa) , elohopean (9), kadmiumin (9), koboltin (8), kuparin (2) ja nikkelin (4) osalta. Kokkolan alojen keskimääräinen arseeni-, elohopea-, kadmium-, koboltti-, kupari- ja nikkelpitoisuus ylitti kynnyksarvon. (Taulukko 4.3)

Kaustisilla arseenipitoisuus ylitti kynnyksarvon yhdellä alalla Rapasaaren kaivoksen eteläpuolella. Ohjearvojen ylityksiä ei esiintynyt. (Taulukko 4.4)

Luodossa sinkkipitoisuuden alempi ohjearvo ylittyi yhdellä alalla Finholmissa venesataman eteläpuolella. Pietarsaassa lyijypitoisuus ylitti kynnyksarvon yhdellä alalla Pietarsaaren keskustassa. Uudessaakkarlepyssä kuparipitoisuus ylitti kynnyksarvon yhdellä alalla Västerskogenissa. Pedersöressä humuksen kynnys- tai ohjearvojen ylittymisiä ei havaittu. (

Taulukko 4.5)

Kadmiumin, koboltin, kuparin, nikkelin, elohopean ja sinkin pitoisuudet olivat Kokkolan kuormiteuilla alueilla moninkertaisia muihin alueisiin nähden. **Alumiinia** esiintyi muita aloja enemmän Kaustisella Rapasaaren kaivoksen läheisellä alalla K244. Myös Kokkolan Ykspihlajan ala K15 erottui hiekan korkeamman alumiinipitoisuuden puolesta. **Rautapitoisuudet** olivat koholla Kokkolan Ykspihlajan aloilla sekä yhdellä alalla Pietarsaassa.

Litiumpitoisuudet olivat lähellä määritysrajaa tai sen alle lukuun ottamatta Kaustisilla, Rapasaaren eteläpuolella sijaitsevaa alaa K244, jolla pitoisuus oli n. 5 mg/kg.

Boorin, kalsiumin, kaliumin, magnesiumin, mangaanin, fosforin ja rikin pitoisuudet vaikuttavat ilmentävän edellisvuosien tapaan maaperän ravinnetilaa ulkoisen kuormituksen sijaan.

Vaihtohappamuus oli matalin Kaustisella. **Kationinvaihtokapasiteetti** oli korkein Pietarsaassa.

8.12.2025

KJ

Taulukko 4.4. Humuksen alkuainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) ja kemialliset ominaisuudet sekä keskiarvot Kaustisen ja Kokkolan tutkimusaloilla ja tausta-aloilla (T1 ja T2). Sininen korostus = kynnysarvon ylitys, keltainen = alemman ohjearvon ylitys, punainen = ylemmän ohjearvon ylitys (VNa 214/2007). Suurimmat pitoisuudet on lihavoitu.

Kunta	Ala	Al	As	Hg	Cd	K	Ca	Co	Cu	Fe	Li	Mg	Na	Ni	Zn	V	Vaihtohap (ml/kg)	Kat.vaihtokap. (cmol+/kg)
Kynnysarvo		-	5	0,5	1	-	-	20	100	-	-	-	-	50	200	100	-	-
Alempi ohjearvo		-	50	2	10	-	-	100	150	-	-	-	-	100	250	150	-	-
Ylempi ohjearvo		-	100	5	20	-	-	250	200	-	-	-	-	150	400	250	-	-
Kokkola	K9	1 700	7,1	1,6	3,7	1 200	3 800	81	85	7 300		590	72	50	820	12	4 100	31,4
Kokkola	K10	2 100	22	3,8	9,3	880	3 100	75	220	12 000		590	81	46	2 100	11	3 420	27,4
Kokkola	K11	2 200	36	8,4	17	720	1 900	230	640	33 000		430	77	180	2 700	46	4 200	26,4
Kokkola	K12	2 500	11	1,2	3,4	530	1 300	83	120	10 000	<1,0	360	71	55	670	17	3 050	24,1
Kokkola	K13	2 900	14	1,3	3,9	870	3 000	92	140	12 000	<1,0	600	75	68	750	18	3 710	28,2
Kokkola	K14U	2 000	26	4,3	11	910	2 500	250	370	17 000	1,3	650	88	200	2 400	32	11 700	33,1
Kokkola	K15	4 300	24	2,8	7,1	820	3 400	130	190	15 000	<1,0	530	87	87	1 400	16	4 370	31,2
Kokkola	K16	2 300	7,8	1,4	2,9	750	3 100	44	66	6 800		670	110	33	490	14	6 240	32,8
Kokkola	K29	2 000	3,3	0,52	0,89	740	2 700	15	21	3 900		430	81	14	190	8,4	5 690	38,2
Kokkola	K30	2 400	2,8	0,65	0,88	890	1 900	13	21	4 500		670	68	14	150	6,4	5 230	38,4
Kokkola	K33	2 400	10	1,5	3	850	3 700	49	72	7 300		510	80	37	470	9,7	5 220	38,3
Kokkola	K34	2 400	6,5	0,99	1,6	500	1 500	36	55	6 100		540	65	23	380	9	3 520	29,9
Kokkola	K35	1 700	4,4	0,77	1,4	620	1 900	23	36	3 900		450	73	19	280	6,9	2 600	30,1
Kokkola	K241U	2 200	2,6	0,23	0,6	670	2 100	0,75	5,8		1,2	410	70	2,6	37	4,2	3 800	25,1
Kokkola	K242U	1 400	1,2	0,15	0,4	570	1 700	0,94	6,7		1,5	390	47	4	44	3,7	2 680	21,4
Kokkola	K60/T1	2 300	1,2	0,23	0,37	1 400	3 100	1,3	6,5			870	92	3,4	55	6	5 240	30,5
Kruunupyy	K103U/ T2	3 300	1,3	0,13	0,13	660	1 900	0,98	3,2			730	65	2,4	27	18	1 350	14,9
Kaustinen	K239	1 700	1,9	0,29	0,38	810	3 200	1	6,2	2 200	1	460	77	3,1	52	7,8	2 830	32,1
Kaustinen	K240	520	0,62	0,19	0,2	920	3 300	0,82	6,2		<1,0	450	28	2,1	48	1,7	4 470	28,4
Kaustinen	K243U	2 500	1,7	0,23	0,45	660	1 900	2	6,8		<1,0	360	41	3,7	18	3	5 760	27,1
Kaustinen	K244U	4 800	5,6	0,14	0,16	1 200	2 200	1,7	6,8		4,9	1 900	68	5,3	44	19	2 090	20,4

8.12.2025

KJ

Kunta	Ala	Al	As	Hg	Cd	K	Ca	Co	Cu	Fe	Li	Mg	Na	Ni	Zn	V	Vaihtohap. (ml/kg)	Kat.vaihtokap. (cmol+/kg)
Kynnysarvo		-	5	0,5	1	-	-	20	100	-	-	-	-	50	200	100	-	-
Alempi ohjearvo		-	50	2	10	-	-	100	150	-	-	-	-	100	250	150	-	-
Ylempi ohjearvo		-	100	5	20	-	-	250	200	-	-	-	-	150	400	250	-	-
Keskiarvo Kokkola		2 300	12	2	4,5	768	2507	75	137	10 677	1,3	521	76	56	887	14	4 635	30
Keskiarvo Kaustinen		2 380	2,5	0,21	0,3	898	2650	1,4	6,5	2 200	3	793	54	3,6	41	7,9	3 788	27

Taulukko 4.5. Humuksen alkuainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta kohti) ja kemialliset ominaisuudet sekä kuntakohtaiset keskiarvot Luodon, Pedersören, Pietarsaaren ja Uudenkaarlepyyn tutkimusaloilla. Myös Kokkolan ja Pietarsaaren keskiarvot on esitetty taulukossa soveltuvien osin. Sininen korostus = kynnysarvon ylitys, keltainen = alemman ohjearvon ylitys, punainen = ylemmän ohjearvon ylitys (VNa 214/2007). Suurimmat pitoisuudet on lihavoitu.

Kunta	Ala	Al	B	Cd	K	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	P	Pb	S	Zn	Vaihto- hap.	Kat.vaih- tokap.
Kynnysarvo		-	-	1	-	-	100	100	-	-	-	50	-	60	-	200	-	-
Alempi ohjearvo		-	-	10	-	-	200	150	-	-	-	100	-	200	-	250	-	-
Ylempi ohjearvo		-	-	20	-	-	300	200	-	-	-	150	-	750	-	400	-	-
Luoto	K134U	2 900	< 5	0,49	670	3 200	3	11	4 800	440	20	6,4	780	34	1 500	40	6 040	39,2
Luoto	K135	1 500	< 5	0,37	640	3 600	2,7	9,6	1 800	580	86	9,3	630	33	1 600	64	6 430	38,4
Luoto	K136	1 800	7	0,35	630	2 200	4	27	5 700	500	44	22	690	22	1 000	99	2 260	23,6
Luoto	K140U	1 100	6	0,72	920	3 300	3,7	11	1 700	840	71	6	710	28	1 600	370	4 550	36,1
Pedersöre	K145	1 900	< 5	0,39	1 300	2 800	3,5	13	2 300	730	110	5,5	810	29	1 500	74	5 160	35,4
Pedersöre	K149	2 900	< 5	0,32	1 000	2 700	7,3	19	4 300	1 000	29	6,7	610	37	1 700	62	5 580	36,6
Pedersöre	K153	2 000	< 5	0,42	820	3 300	3,8	8,3	2 800	920	51	5,6	670	21	1 400	53	4 730	21,6
Pedersöre	K155	1 600	< 5	0,32	540	2 700	2,4	8,5	1 700	470	19	4,9	650	28	1 800	52	6 490	27,4
Pedersöre	K156	1 400	< 5	0,72	910	3 000	1,3	9,7	2 600	760	54	7,6	650	28	1 400	81	3 780	32,6
Pedersöre	K164	2 600	< 5	0,21	550	2 300	3,4	5,3	12 000	380	63	3	740	30	1 300	26	4 750	25,7
Pedersöre	K169	1 500	< 5	0,48	530	2 400	2,3	6,1	1 600	500	13	4,2	510	28	1 200	52	4 500	30,6
Pedersöre	K174U	4 900	< 5	0,33	1 200	1 700	11	6,8	5 600	1 400	72	6,6	430	32	710	42	2 780	31,7

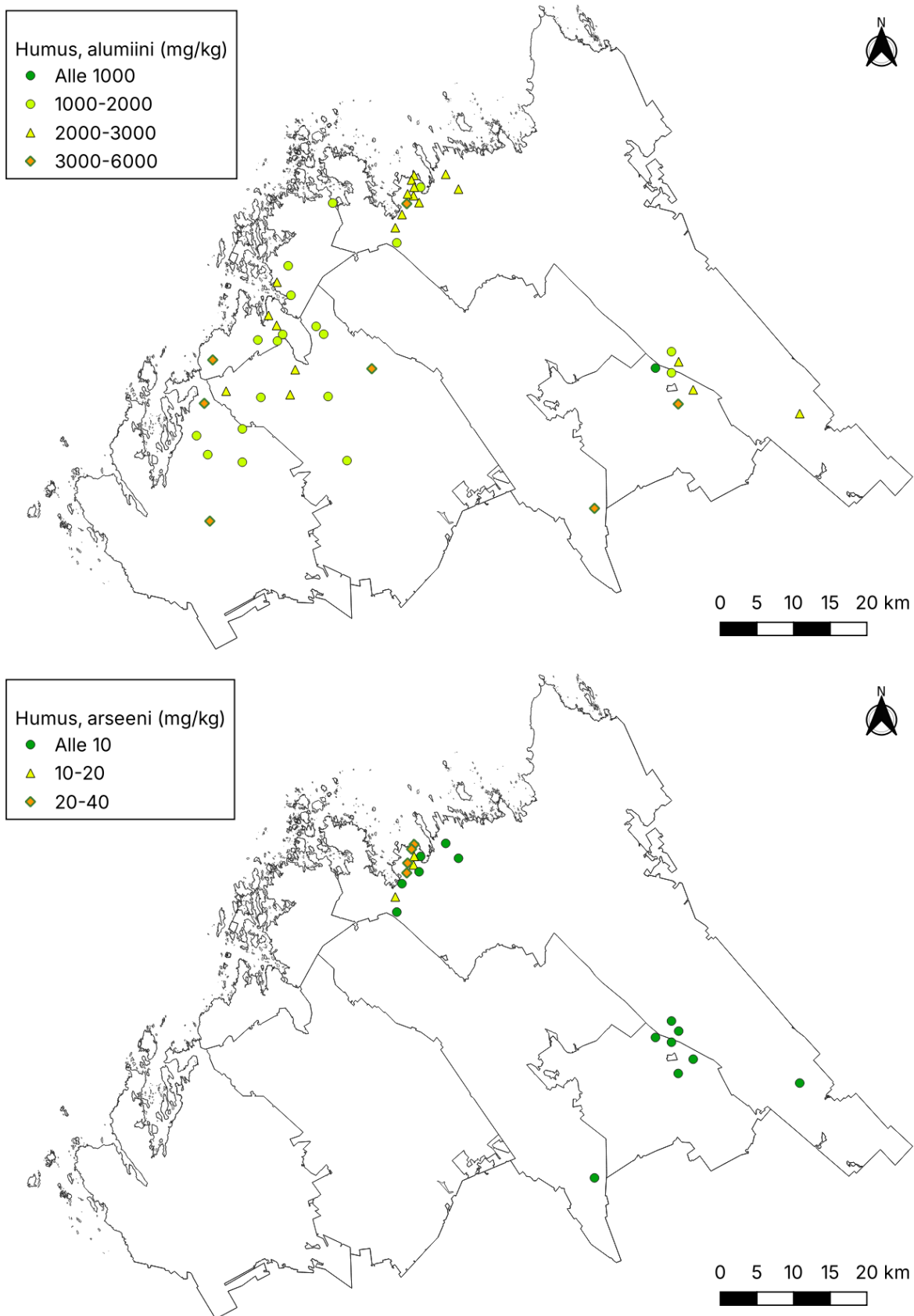
8.12.2025

KJ

Kunta	Ala	Al	B	Cd	K	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	P	Pb	S	Zn	Vaihto- hap.	Kat.vaih- tokap.
Kynnysarvo		-	-	1	-	-	100	100	-	-	-	50	-	60	-	200	-	-
Alempi ohjearvo		-	-	10	-	-	200	150	-	-	-	100	-	200	-	250	-	-
Ylempi ohjearvo		-	-	20	-	-	300	200	-	-	-	150	-	750	-	400	-	-
Pedersöre	K176	1 400	< 5	0,28	870	3 300	2,7	6,6	1 700	540	150	3,8	690	18	1 400	53	6 560	32,1
Pietarsaari	K184	2 600	< 5	0,34	720	3 600	6,7	12	4 800	690	55	10	680	50	1 300	56	1 700	31,9
Pietarsaari	K186	1 700	8	0,23	470	2 900	3,5	9,8	2 400	400	75	5,5	580	55	1 300	44	4 650	35
Pietarsaari	K187	2 300	< 5	0,29	950	4 900	6	15	4 200	570	62	12	950	60	1 900	67	4 990	40,3
Pietarsaari	K188	1 800	< 5	0,41	930	2 900	4,5	11	2 700	570	74	6,4	810	49	1 600	68	4 770	37,4
Pietarsaari	K197	1 400	< 5	0,37	700	2 800	2,4	7,6	1 900	440	27	4,3	610	19	1 300	84	2 580	37,3
Pietarsaari	K201	3 900	< 5	0,6	560	1 800	5,2	14	31 000	350	42	4,5	920	25	2 000	33	6 760	34,8
Uusikaarlepyy	K203U	5 800	< 5	0,28	630	240	3,2	150	2 500	320	7,5	6,9	1 200	34	2 500	12	6 660	31,5
Uusikaarlepyy	K208	1 200	< 5	0,29	610	3 200	2	5,4	1 400	390	220	2,8	670	14	1 300	50	3 890	32,7
Uusikaarlepyy	K212U	1 700	< 5	0,16	710	2 600	3,4	8,2	2 200	340	52	3,7	780	30	1 500	43	4 570	31,7
Uusikaarlepyy	K218	1 800	< 5	0,3	540	2 300	3	6,1	1 800	360	47	3,9	560	27	1 600	38	5 050	34,6
Uusikaarlepyy	K224	1 300	< 5	0,55	470	3 000	1,9	5,1	1 300	630	49	3,8	580	32	1 700	35	6 100	30,2
Uusikaarlepyy	K229U	4 400	10	0,16	1 300	3 000	13	12	9 700	1 400	120	5,5	930	27	1 500	63	307	31,1
Keskiarvo Kokkola		2 300		4,5	768	2 507		137	10 677	521		56				887	4 635	30
Keskiarvo Kaustinen		2 380		0,3	898	2 650		6,5	2 200	793		3,6				41	3 788	27
Keskiarvo Pedersöre		2 244	< 5	0,39	858	2 689	4,2	9,3	3 844	744	62	5,3	640	28	1 379	55	4 926	30
Keskiarvo Luoto		1 825	5,8	0,48	715	3 075	3,4	15	3 500	590	55	11	703	29	1 425	143	4 820	34
Keskiarvo Pietarsaari		2 283	5,5	0,37	722	3 150	4,7	12	7 833	503	56	7,1	758	43	1 567	59	4 242	36
Keskiarvo Uusikaarlepyy		2 700	6	0,29	710	2 390	4,4	31	3 150	573	83	4,4	787	27	1 683	40	4 430	32

8.12.2025

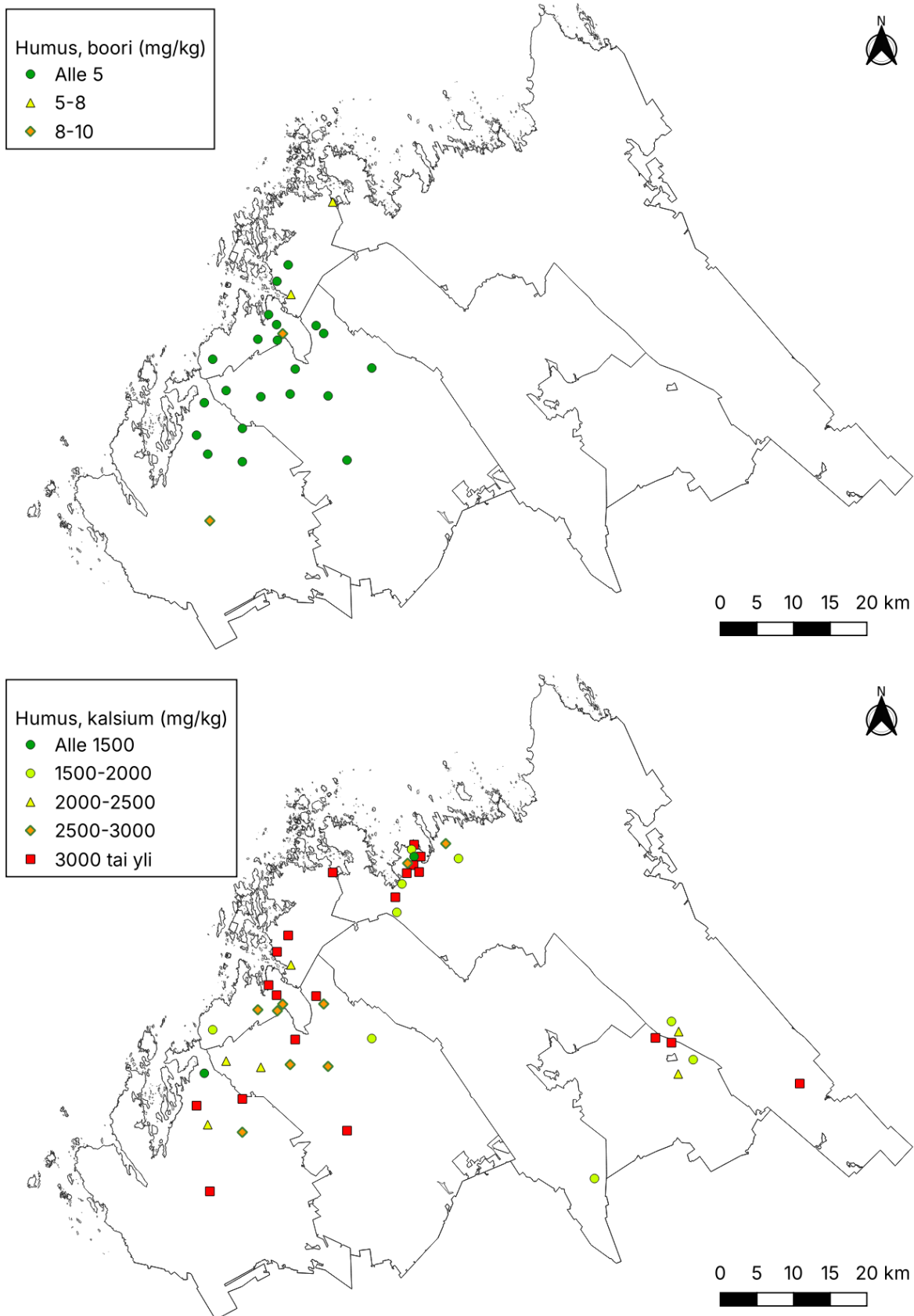
KJ



Kuva 4.30. Humuksen alumiini- ja arseenipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

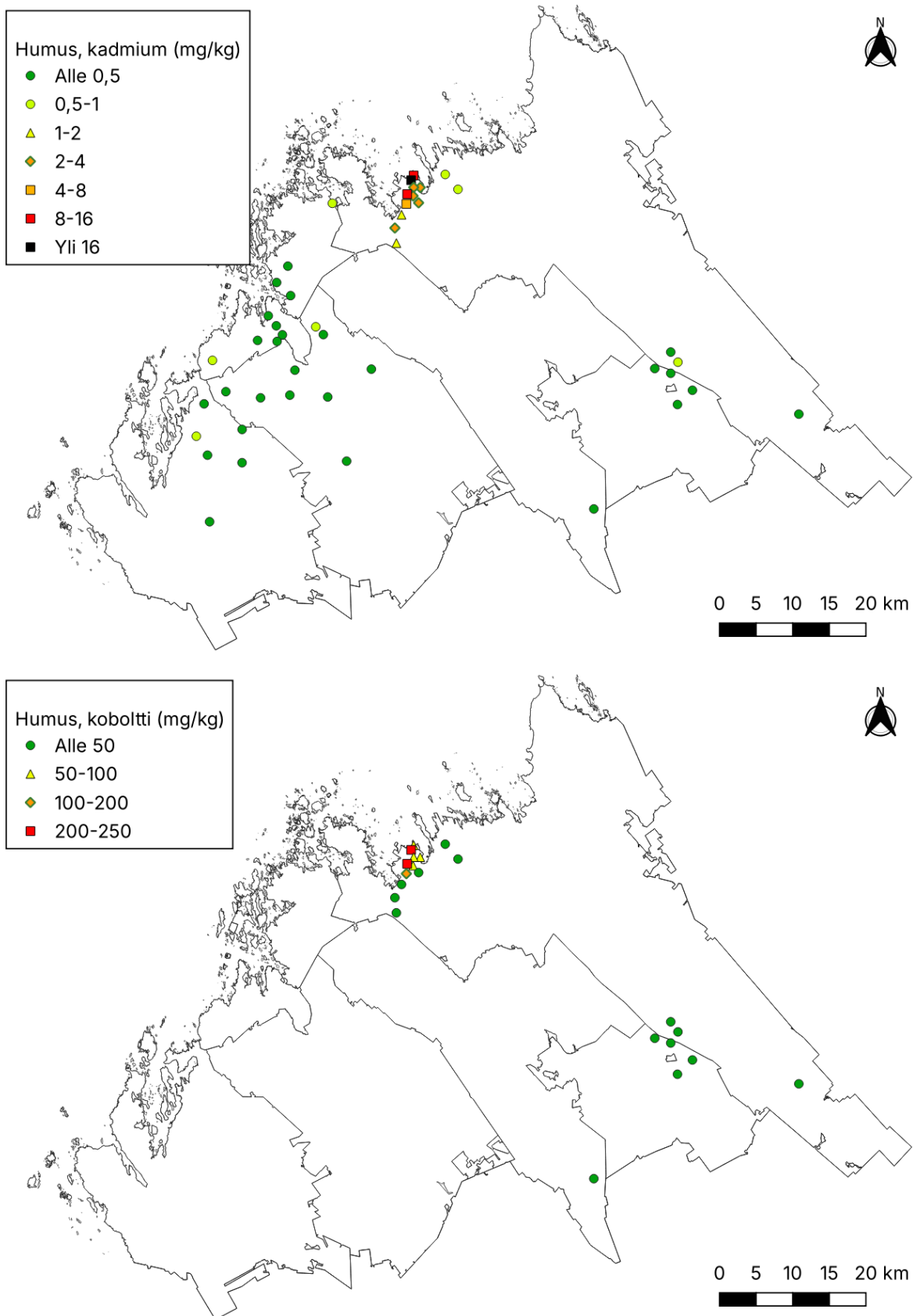
KJ



Kuva 4.31. Humuksen boori- ja kalsiumpitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

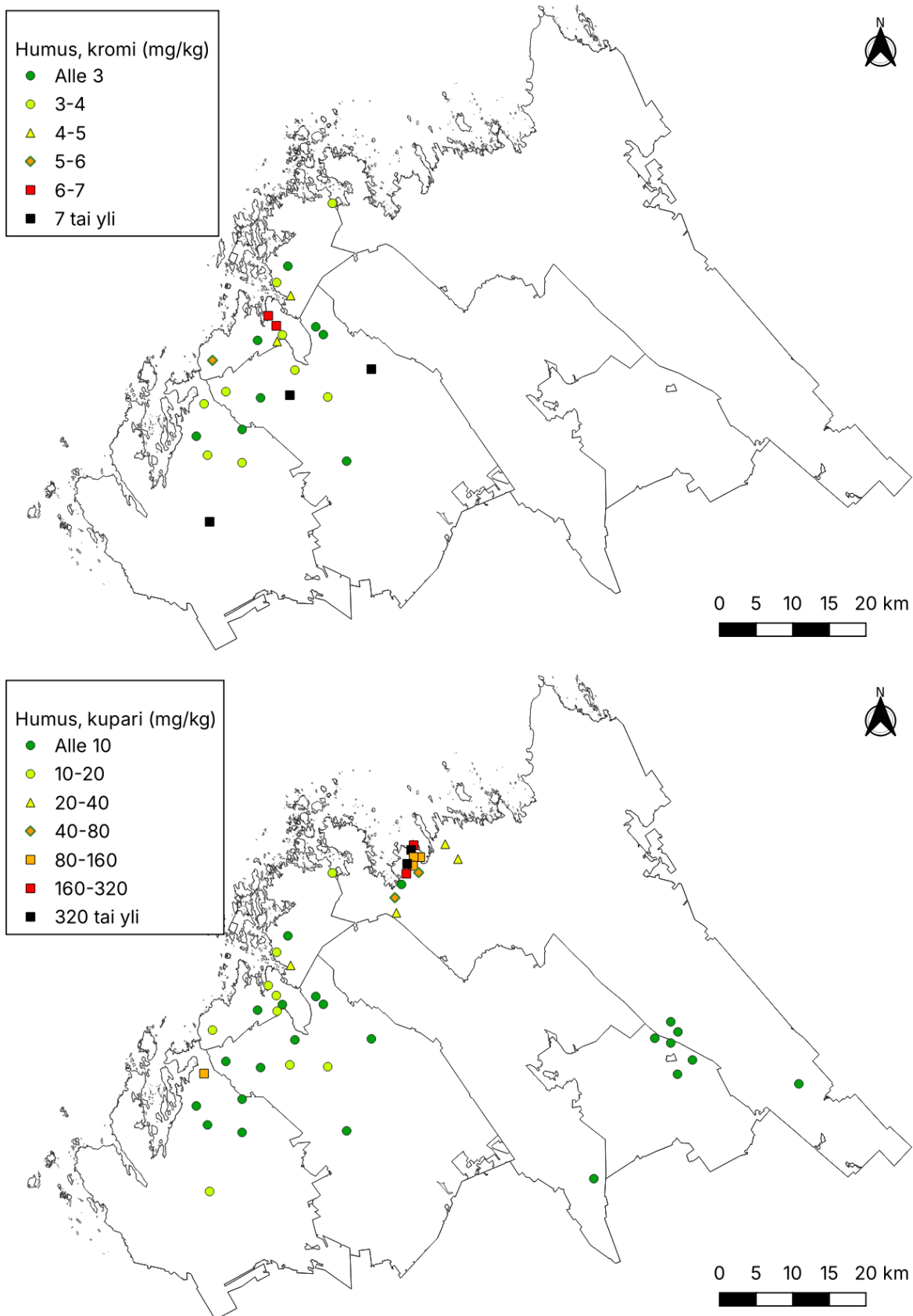
KJ



Kuva 4.32. Humuksen kadmium- ja kobolttipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

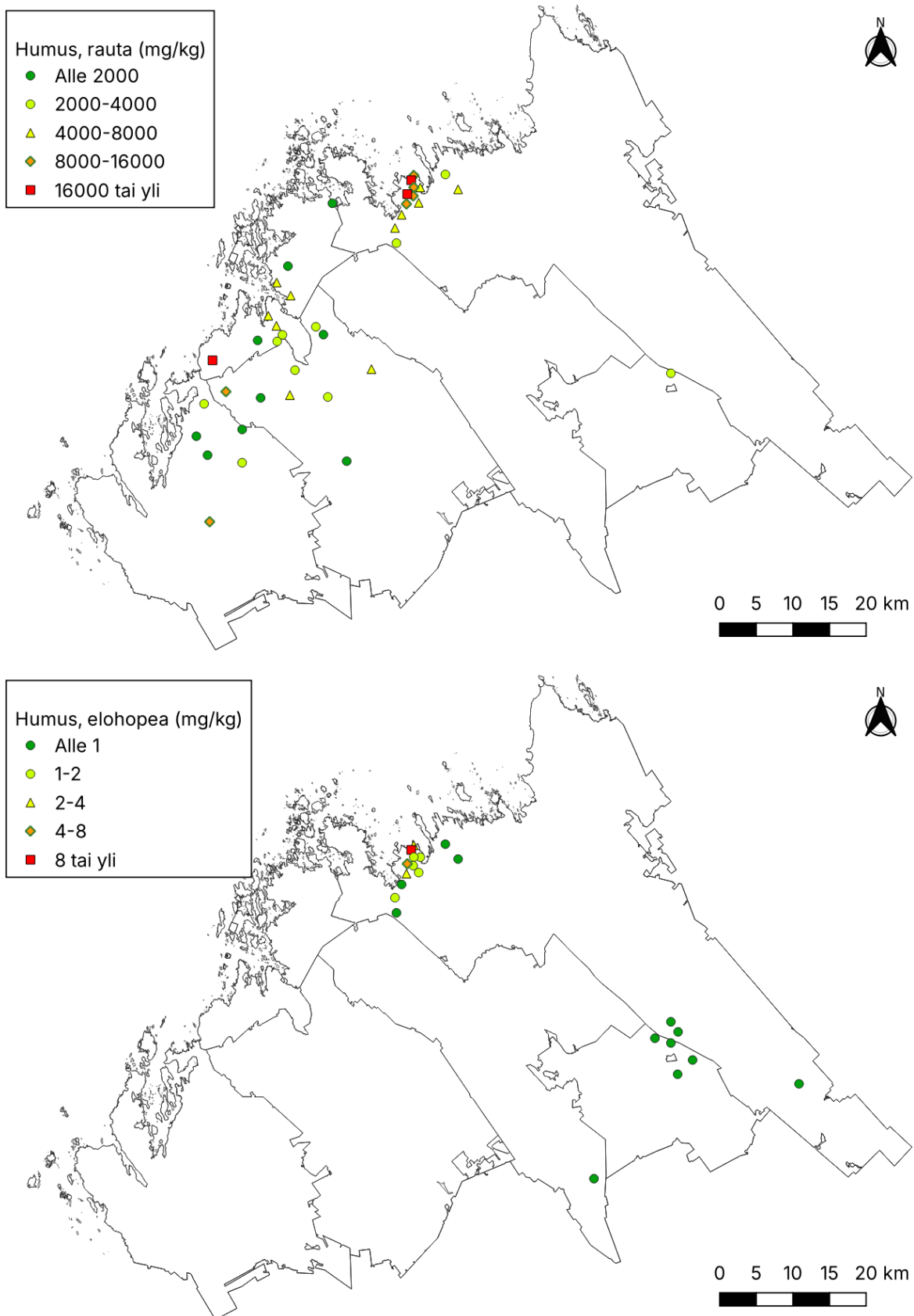
KJ



Kuva 4.33. Humuksen kromi- ja kuparipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

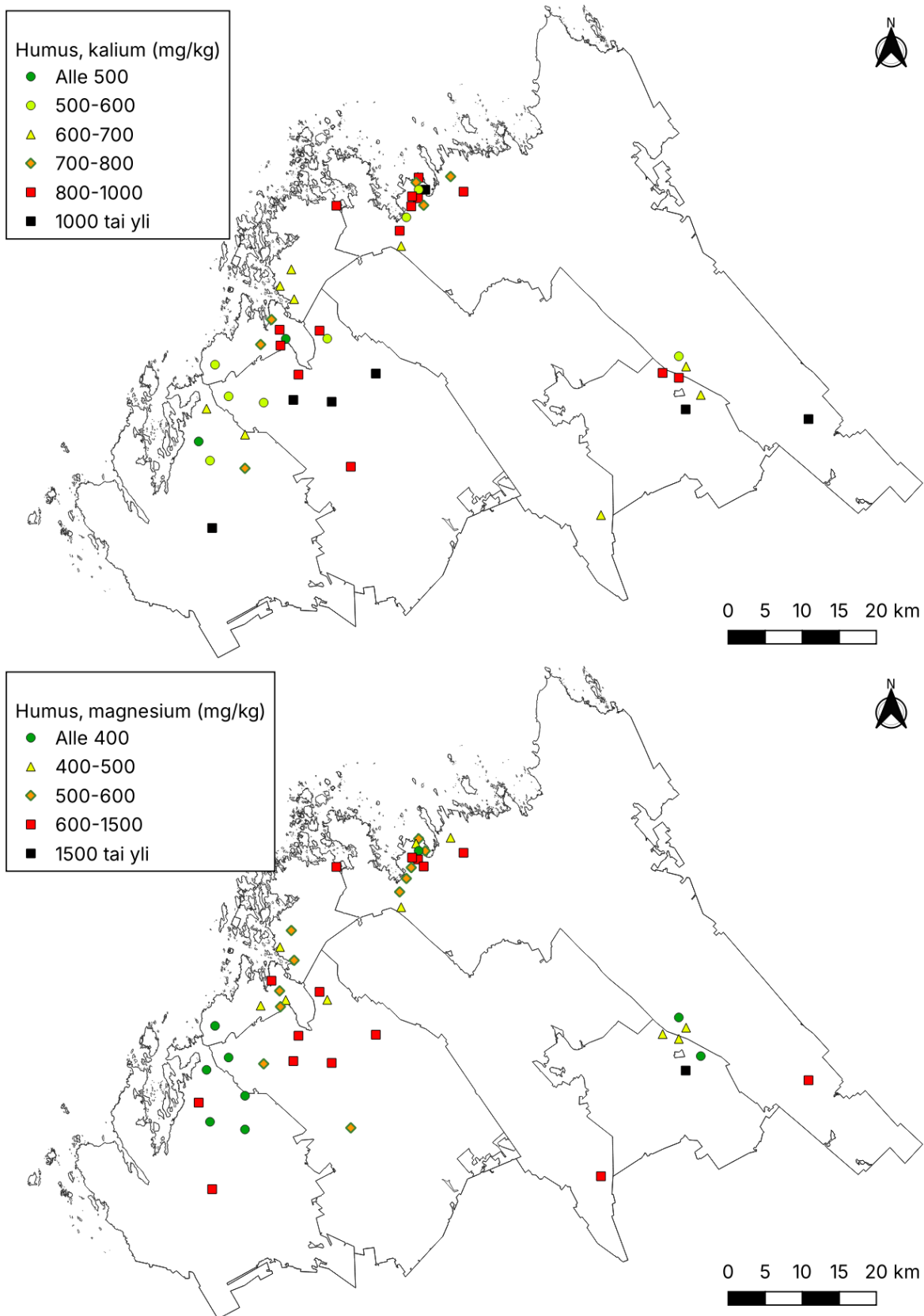
KJ



Kuva 4.34. Humuksen rauta- ja elohopeapitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

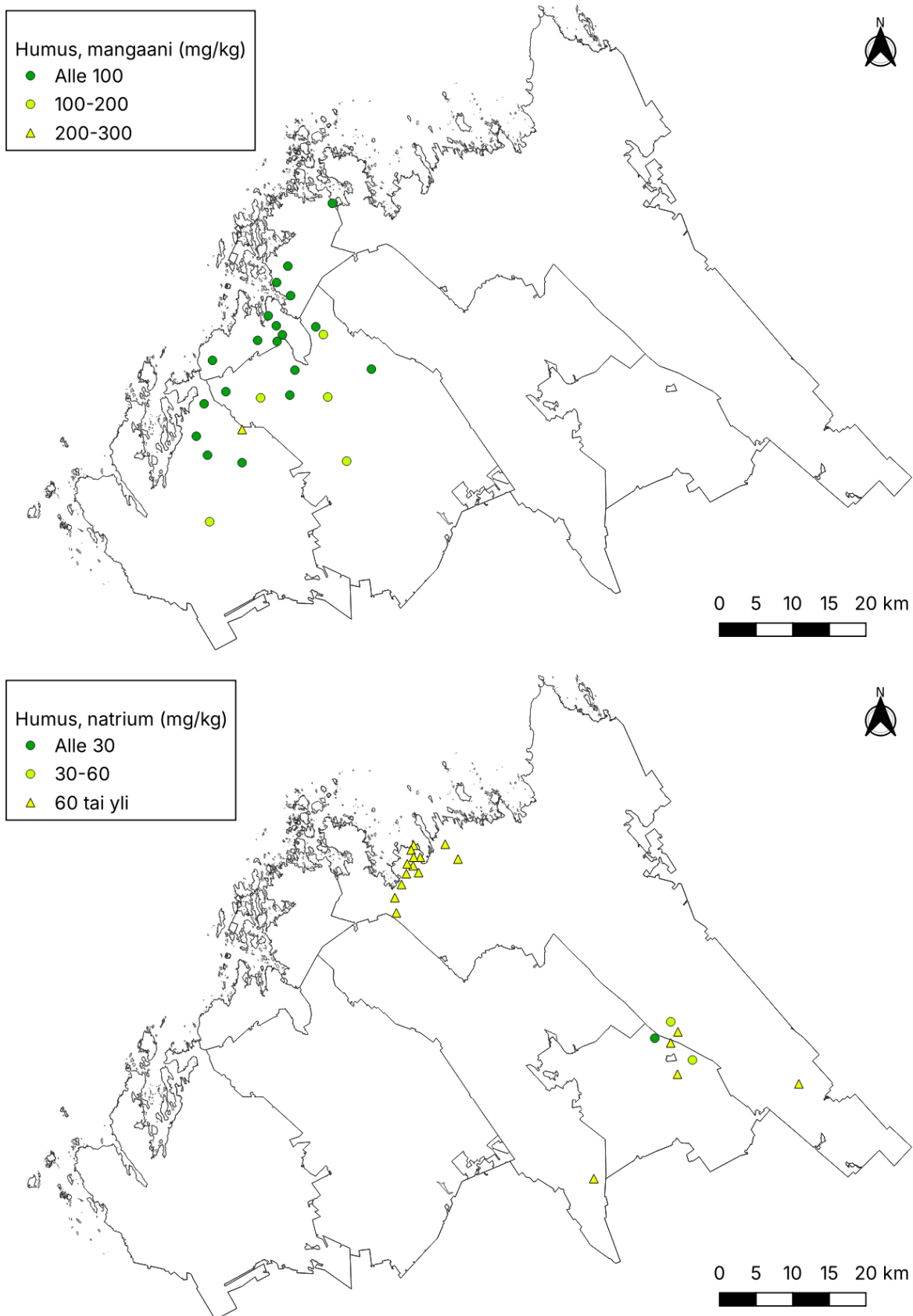
KJ



Kuva 4.35. Humuksen kalium- ja magnesiumpitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

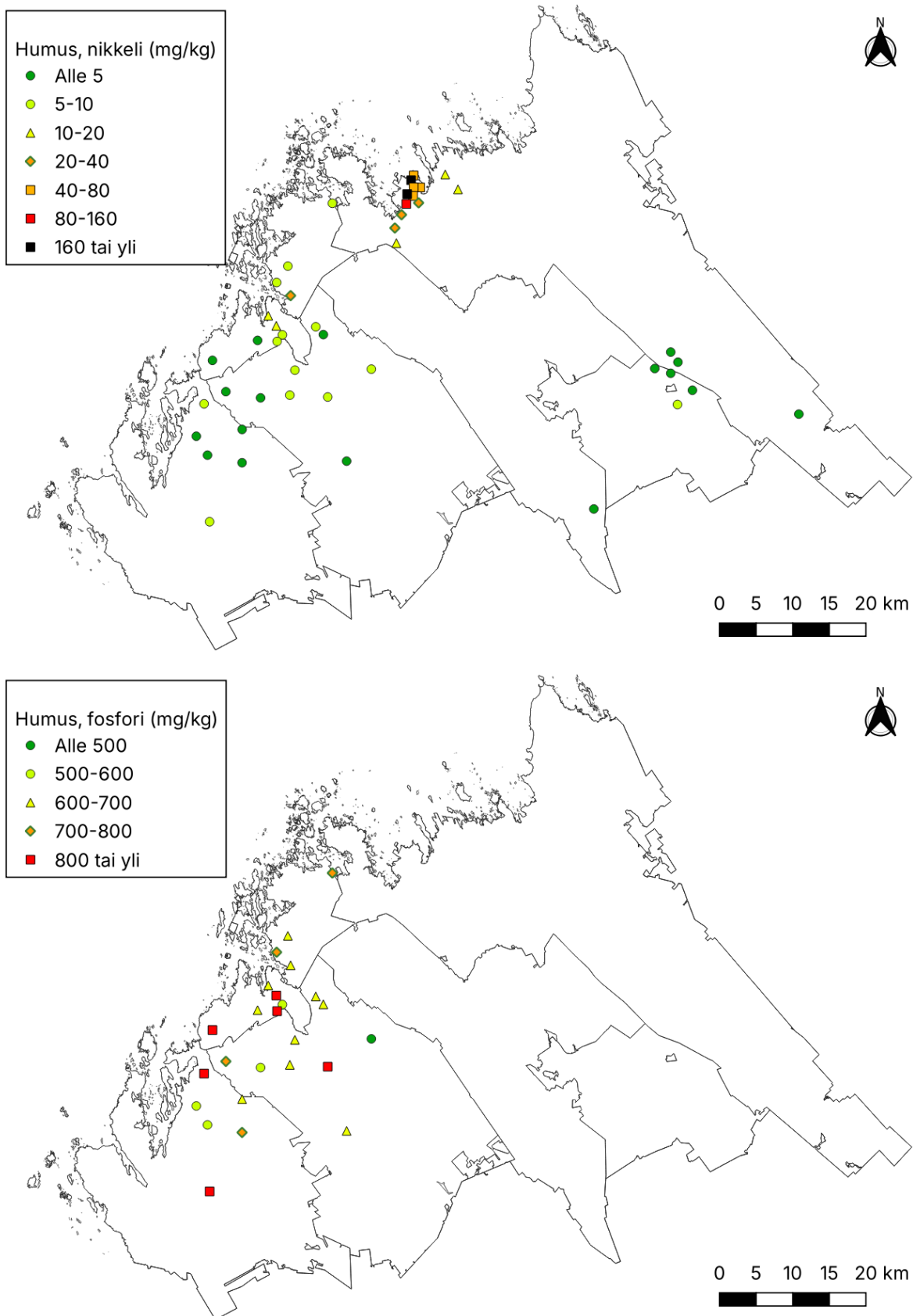
KJ



Kuva 4.36. Humuksen mangaani- ja natriumpitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

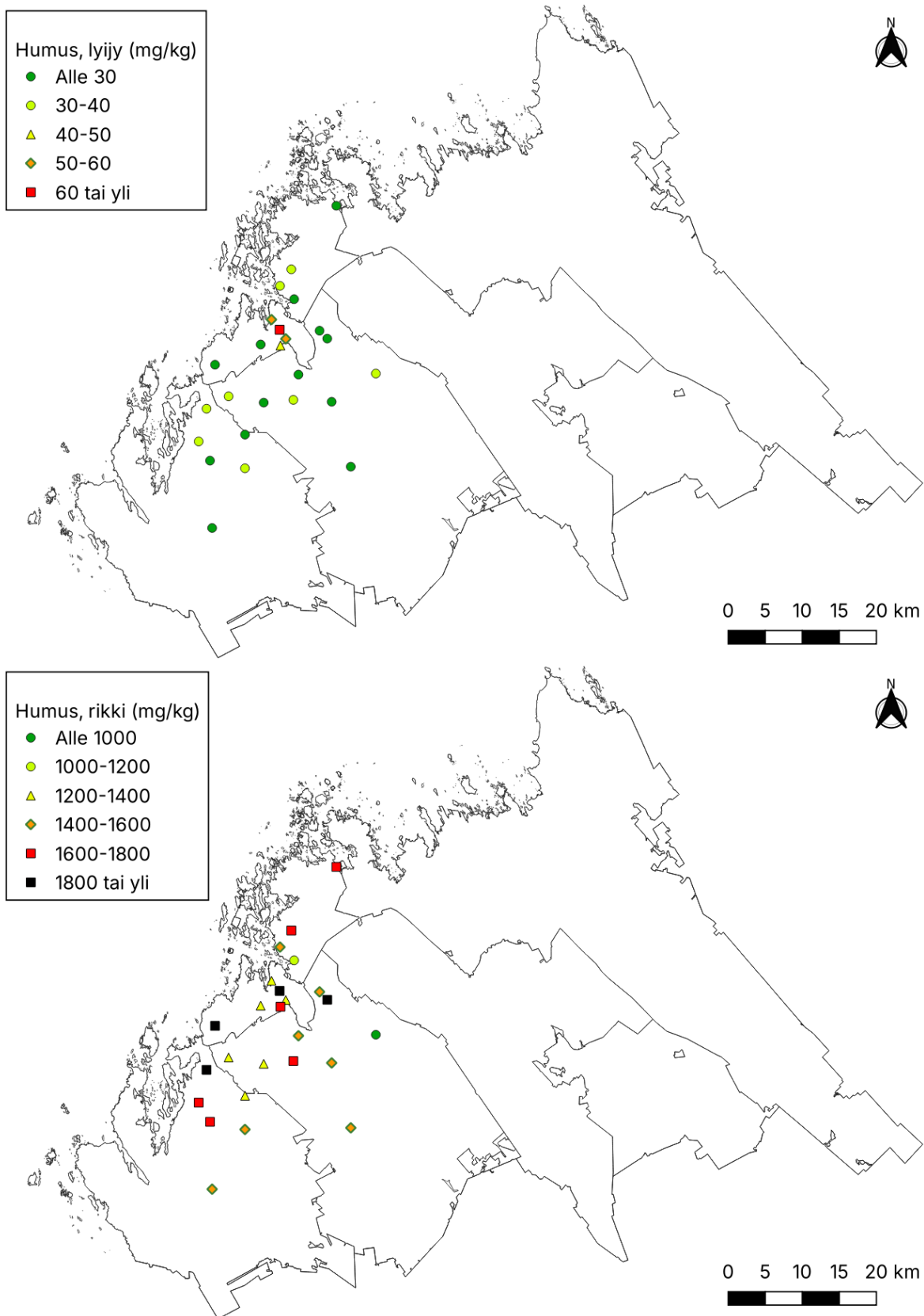
KJ



Kuva 4.37. Humuksen nikkeli- ja fosforipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

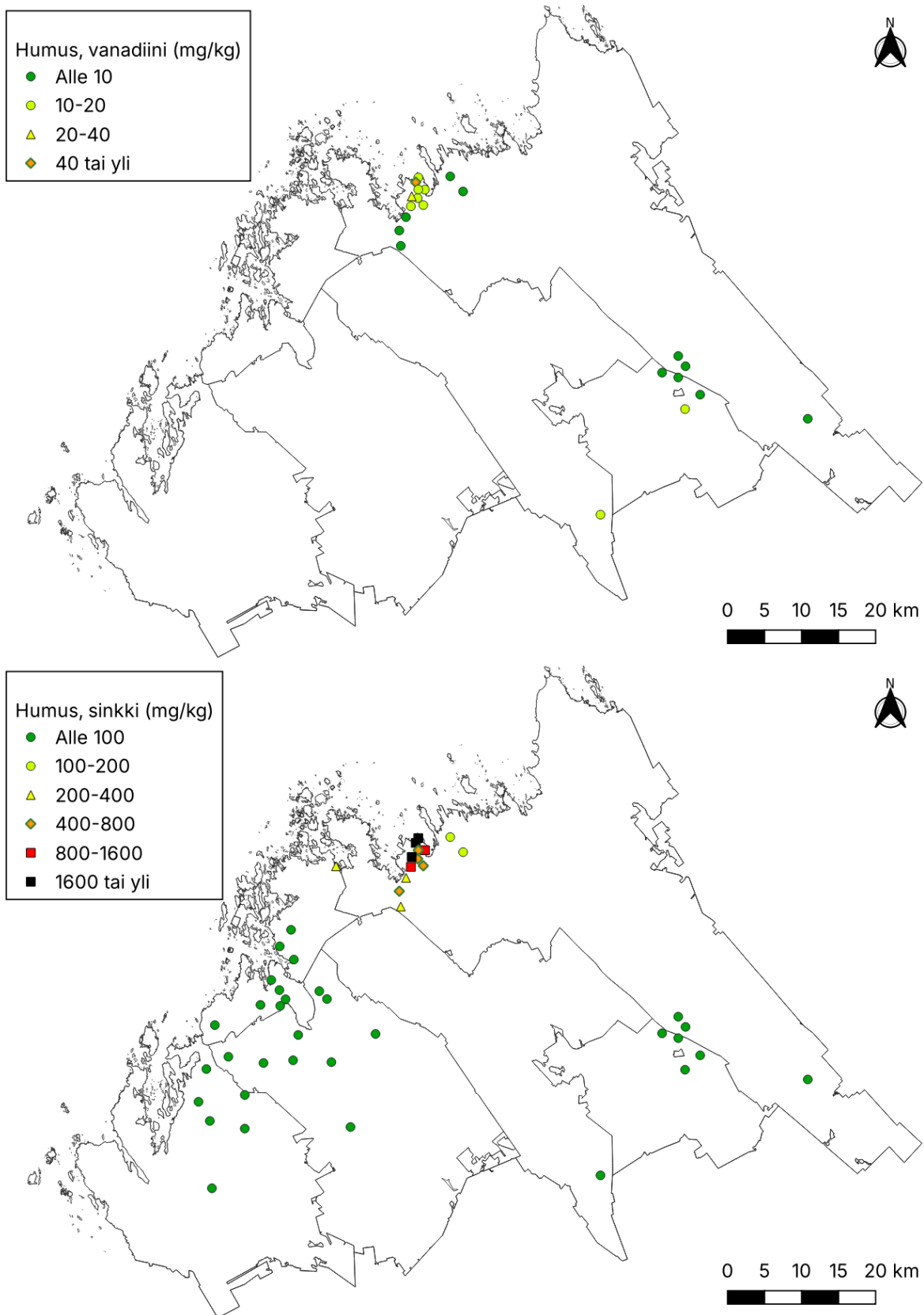
KJ



Kuva 4.38. Humuksen lyijy- ja rikkipitoisuudet vuonna 2025.

8.12.2025

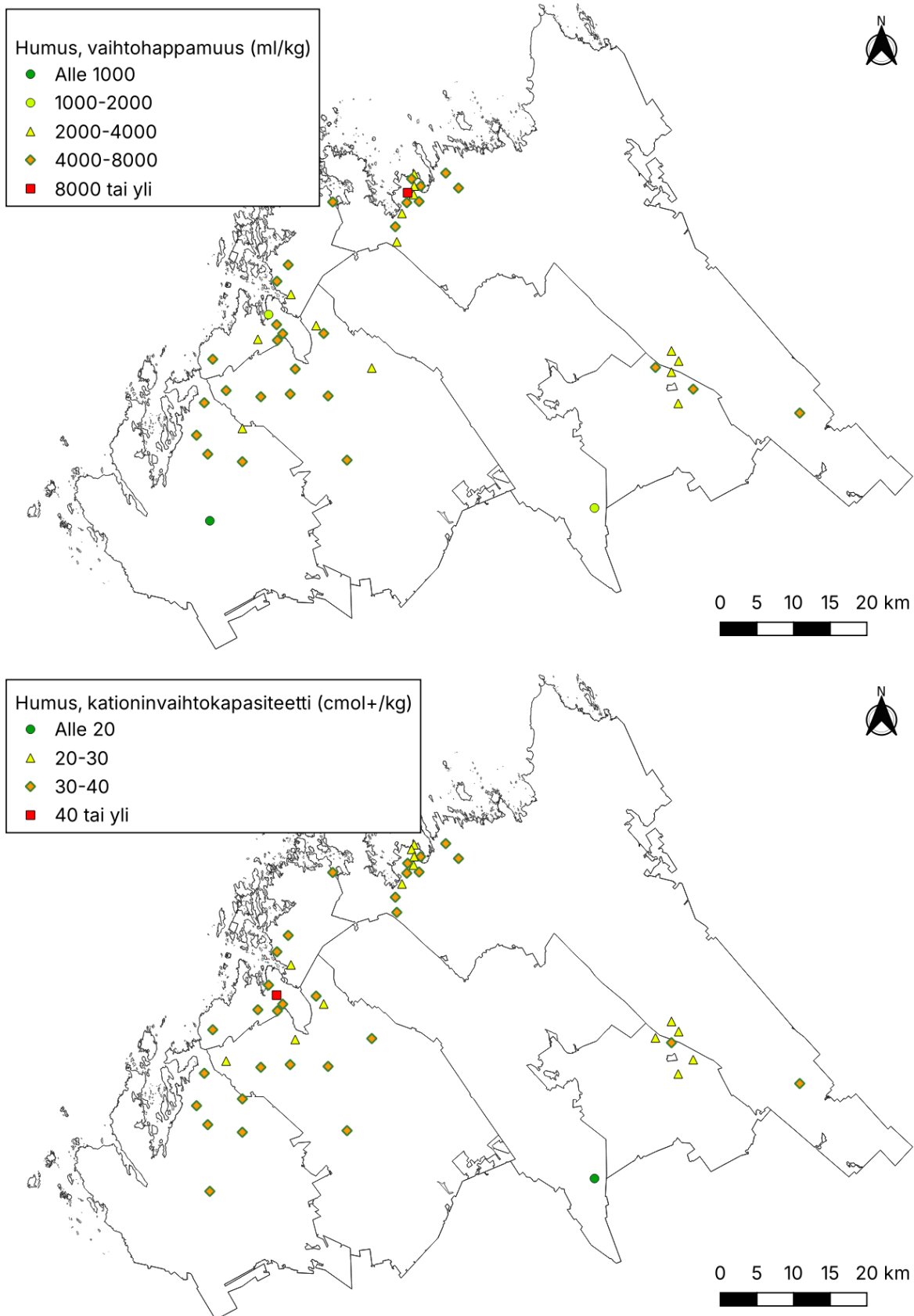
KJ



Kuva 4.39. Humuksen vanadiini- ja sinkkipitoisuudet tutkimusaloilla vuonna 2025.

8.12.2025

KJ



Kuva 4.40. Humuksen vaihtohappamuus ja kationinvaihtokapasiteetti vuonna 2025.

5 Tulosten tilastollinen tarkastelu

5.1 Jäkälämuuttujien tilastollinen tarkastelu

Ilmanlaatua ja päästölähteitä kuvaavilla muuttujilla, sekä tutkimusalan luonnonolosuhteita kuvaavilla muuttujilla on todettu olevan tilastollisesti merkitsevä yhteys jäkäläindikaattoreihin useissa Suomessa toteutetuissa ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa (esim. Lehkonen ym. 2013, Lehkonen ym. 2012, Huuskonen ym. 2010, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b). Tässä kappaleessa tarkastellaan luokiteltujen sekä jatkuvien muuttujien vaikutusta jäkälämuuttujiin.

5.1.1 Luokiteltujen muuttujien vaikutus

Luokiteltujen muuttujien vaikutusta jäkälien tunnuslukuihin tarkasteltiin ei-parametrisellä Kruskal-Wallisn varianssianalyysillä ja Mann-Whitneyn U-testillä. Tilastollisten analyysien tulokset kertovat, eroavatko eri luokkien varianssit toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Tarkastellut luokitellut muuttujat olivat metsikön soveltuvuus tutkimukseen, metsätyyppi ja kehitysluokka, lähimmän päästölähteen toimiala sekä tutkimusalan etäisyys lähimmästä lupa-velvollisesta päästölähteestä (< 1 km, < 2 km ja < 5 km). Tarkasteluissa mukana olleet päästölähteet on esitetty kuvissa Kuva 2.4 ja Kuva 2.5.

Taulukko 5.1 Taustamuuttujien vaikutus jäkälän tunnuslukuihin. Vaikutusta tutkittiin Kruskal-Wallis-variantianalyysin avulla. Testitulokset on jaettu melkein merkitseviin (= $p < 0,05$), merkitseviin (** = $p < 0,01$) ja erittäin merkitseviin (***) = $p < 0,001$) tuloksiin.*

	Metsä- tyyppi	Kehi- tys- luokka	Soveltuvuus	< 1 km	< 2 km	< 5 km	Lähimmän päästöläh- teen toimiala
IAP	< 0,001***	0,980	< 0,001***	0,001**	<0,001***	0,002**	0,005**
Lajiluku- määrä/ala	< 0,001***	0,622	< 0,001***	0,025*	0,003**	0,002**	0,062
Lajiluku- määrä/puu	< 0,001***	0,936	< 0,001***	0,002**	<0,001***	0,002**	0,004**
Sormipai- sukarpeen vaurioaste	0,001**	0,146	<0,001***	0,002**	0,008**	0,071	< 0,001***
Yleinen vaurioaste	< 0,001***	0,294	<0,001***	0,003**	0,065	0,114	< 0,001***
Levän ylei- syys	< 0,001***	0,484	<0,001***	<0,001***	0,004**	0,013*	0,016*
Sormipai- sukarpeen peittävyys	0,594	0,307	0,008**	0,684	0,684	0,684	< 0,001***
Luppojen peittävyys	0,355	0,030*	0,248	0,265	0,265	0,265	0,276

Metsätyyppi kuvaa kasvupaikkaa suhteessa sen ravinteisuuteen ja vesitalouteen. Jäkälät menestyvät rehevämmillä metsätyypeillä yleensä huonommin kuin karummilla, koska jäkälät suosivat valoisia kasvupaikkoja, ja rehevillä kasvupaikoilla puusto on yleensä tiheämpää ja aluskasvillisuus yleisempää kuin karummilla. Tässä tutkimuksessa metsätyypillä oli vaikutusta IAP-indeksiin, lajilukumäärien, sormipaisukarpeen vaurioasteen, runkojäkälän yleisen vaurioasteen ja levän yleisyyden jakaumiin. Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyyteen metsätyyppi ei vaikuttanut. Lajilukumäärä oli keskimäärin korkeampi karummissa metsätyypeissä (CT, VT) verrattuna rehevämpiin metsätyyppeihin (MT, OMT), mikä näkyi myös korkeampana IAP-indeksinä. Sormipaisukarpeen vaurioaste ja runkojäkälän yleinen vaurioaste olivat pienempiä karummilla metsätyypeillä verrattuna rehevämpiin metsätyyppeihin. Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyyksissä ei ollut tilastollisia eroja eri metsätyyppien välillä. Levän runsaus puiden rungoilla oli yleisempää rehevillä kasvupaikoilla verrattuna karumpiin metsätyyppeihin.

Metsän kehitysluokka arvioitiin asteikolla nuori-varttunut-kypsä. Jäkäläkartoitusalat pyritään yleensä perustamaan kypsiin tai varttuneisiin metsiin, sillä puiden ikä näyttää vaikuttavan lajistosuhteisiin. Nuorilla männyillä sormipaisukarve on yleensä peittävämpi kuin vanhoilla, ja herkkien indikaattorilajien esiintyminen nuorissa metsissä on vähäisempää kuin vanhoissa. Metsän kehitysluokalla oli tässä tutkimuksessa vaikutusta luppojen peittävyyteen, ja lupot

8.12.2025

KJ

olivatkin yleisempiä kypsissä metsissä kuin varttuneissa metsissä. Muihin tunnuslukuihin metsän kehitysluokalla ei ollut vaikutusta.

Metsän soveltuvuus jäkäläkartoitukseen on tutkijan subjektiivinen arvio siitä, kuinka hyvät kasvuolosuhteet tutkimusalalla vallitsevat runkojäkälien kannalta. Jäkälän kasvuolosuhteita huonontavat liika varjoisuus, paahteisuus tai epäsuotuisat mikroilmastoon liittyvät tekijät. Metsän soveltuvuutta arvioidaan puuston iän, pituuden, puulajisuhteiden, metsätyyppin ja puuston pohjapinta-alan perusteella. Soveltuvuudeltaan hyväksi luokitellussa metsässä taustamuuttujien vaikutus oletetaan vähäiseksi, kohtalaisessa metsässä taustamuuttujilla on havaittavaa vaikutusta jäkäliin ja huonossa metsässä taustamuuttujien vaikutus on suuri. Metsän soveltuvuudella oli tässä tutkimuksessa vaikutusta IAP-indeksiin, lajilukumääriin, sormipaisukarpeen vaurioasteeseen, yleiseen vaurioasteeseen, sormipaisukarpeen peittävyys ja levän peittävyys. Lajilukumäärät ja IAP-indeksi olivat suurempia hyvin soveltuvilla aloilla kuin kohtalaisesti ja huonosti soveltuvilla aloilla, ja kohtalaisesti soveltuvilla aloilla indeksi oli suurempi kuin huonosti soveltuvilla aloilla. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli pienempi hyvin ja kohtalaisesti soveltuvilla aloilla kuin huonosti soveltuvilla aloilla, mutta hyvän ja kohtalaisesti soveltuvien alojen välillä ei ollut eroa. Yleinen vaurioaste erosi tilastollisesti kaikkien soveltuvuusluokkien välillä, vaurioasteen ollessa suurin huonosti soveltuvilla, ja pienin hyvin soveltuvilla aloilla. Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurempaa hyvin ja kohtalaisesti soveltuvilla aloilla kuin huonosti soveltuvilla aloilla. Levän peittävyys erosi tilastollisesti kaikkien soveltuvuusluokkien välillä, ollen suurinta huonosti soveltuvilla, ja pienintä hyvin soveltuvilla aloilla. Vaikutukset ovat samansuuntaisia soveltuvuuden kuin metsätyyppin suhteen, eli paremmin tutkimukseen soveltuvat alat olivat usein kuivia elinympäristöjä, joissa valo-olosuhteet olivat sopivat jäkälien menestymiseen alueella. Rehevämpiä elinympäristöjä on luokiteltu kohtalaisiin ja huonoihin soveltuvuusluokkiin, missä varjostusta on ollut enemmän ja olosuhteet jäkälien menestymiselle huonommat muun muassa varjostuksen takia. Rehevämmillä alustoilla myös leväpeitteet olivat suurempia.

Alan sijoittumisella alle 1 km, alle 2 km tai 5 km etäisyydelle lupavelvollisesta päästölähteestä oli vaikutusta kaikissa etäisyysluokissa IAP-indeksiin, lajilukumääriin ja levän yleisyyteen. Tutkimusalan sijoittuminen päästölähteen läheisyyteen huononsi IAP-indeksiä ja lajilukumääriä, ja lisäsi levän esiintyvyyttä rungolla. Myös tutkimusalan sijoittuminen alle yhden ja kahden kilometrin etäisyydelle päästölähteestä lisäsi sormipaisukarpeen vaurioastetta. Viiden kilometrin vyöhykkeellä ei havaittu olevan tilastollisesti merkitsevää eroa kauempana sijaitsevien tutkimusalojen kanssa. Myös yleinen vaurioaste oli suurempi alle yhden kilometrin etäisyydellä päästölähteestä, mutta muilla etäisyyksillä eroa ei enää havaittu. Sormipaisukarpeen ja loppujen peittävyys etäisyydellä ei ollut vaikutusta. Pääosa tutkimusaloista (95 %) sijoittui alle 5 kilometrin etäisyydelle jostakin tarkastellusta päästölähteestä. Aloista 66 % sijoittui alle kahden ja 33 % alle yhden kilometrin etäisyydelle jostakin päästölähteestä.

Lähimmän päästölähteen toimialalla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus IAP-indeksiin, lajilukumäärään puun rungolla, vaurioasteisiin, levän esiintyvyyteen sekä sormipaisukarpeen peittävyys. Energiantuotannon, turkistarhojen ja teollisuuden lähistöllä IAP-indeksi ja

8.12.2025

KJ

lajilukumäärät olivat pienempiä, ja jäkälien vaurioasteet suurempia, kuin alueella keskimäärin. Myös levää oli enemmän näiden toimintojen läheisyydessä. Sormipaisukarpeen peittävyydet olivat keskimääräistä matalammat, kun tutkimusalan lähimmän päästölähteen toimiala oli eläinsuojat, turkistarhat tai energiantuotanto. Muiden toimialojen vaikutukset eivät olleet yhtä selvästi havaittavissa. Luppojen peittävyyteen toimialoilla ei ollut vaikutusta. (Taulukko 5.1 ja Taulukko 5.3)

Taulukko 5.2 Jäkälien tunnuslukujen keskiarvot, minimi ja maksimi laskettuna tutkimusalojen tarkasteluetaisyyden perusteella. Tarkasteluetaisyyksinä käytettiin 1, 2 ja 5 km etäisyyksiä. Tutkimusalat joko sijoittuivat (= kyllä) tai eivät sijoittuneet (= ei) tarkasteluetaisyydelle lupavelvollisesta päästölähteestä (alapuolella alojen lukumäärä).

Jäkäletunnusluvut		< 1 km		< 2 km		< 5 km	
		Ei 233	Kyllä 11	Ei 212	Kyllä 32	Ei 154	Kyllä 90
IAP-indeksi	Keskiarvo	1,65	1,14	1,68	1,23	1,77	1,38
	Pienin	0	0,30	0	0	0	0
	Suurin	3,43	1,73	3,43	2,63	3,43	2,85
Lajilukumäärä /ala	Keskiarvo	4,11	3,18	4,19	3,25	4,39	3,52
	Pienin	0	1	0	0	0	0
	Suurin	9	5	9	7	9	8
Lajilukumäärä /puu	Keskiarvo	3,16	2,26	3,22	2,41	3,37	2,68
	Pienin	0	0,6	0	0	0	0
	Suurin	6,2	3,4	6,2	4,8	6,2	5,2
Sormipaisukarpeen vaurioaste	Keskiarvo	2,46	3,26	2,41	3,05	2,35	2,74
	Pienin	1,10	2	1,10	1,5	1,10	1,10
	Suurin	5	5	5	5	5	5
Yleinen vaurioaste	Keskiarvo	3,59	4,12	3,56	3,96	3,51	3,8
	Pienin	1,1	3,8	1,1	2,5	1,1	2,0
	Suurin	5	4,7	5	5	5	5,0
Levän yleisyys	Keskiarvo	0,61	1,87	0,56	1,34	0,47	1,00
	Pienin	0	0	0	0	0	0
	Suurin	3	3	3	3	3	3
Sormipaisukarpeen peittävyys	Keskiarvo	9,1	16,4	9,21	11,42	8,37	11,44
	Pienin	0	0	0	0	0	0
	Suurin	48,2	61,1	48,2	61,1	48,2	61,1
Luppojen peittävyys	Keskiarvo	0,19	0	0,20	0,006	0,23	0,082
	Pienin	0	0	0	0	0	0
	Suurin	11,9	0	11,9	0,2	11,9	1,8

8.12.2025

KJ

Taulukko 5.3 Jäkälien tunnusluvut koko alueella sekä luokiteltuna lähimmän päästölähteen toimialan mukaan.

		Koko alue 244	Eläinsuojat 75	Energiantuo- tanta 4	Maa-ainestoi- minta 33	Teollisuus 9	Turkis- tarhat 35	Turve- tuotanto 7	VOC 34	Ympäristöpalve- lutoiminta 34
IAP	Keskiarvo	1,6	1,7	1,3	1,7	1,5	1,3	2,5	1,7	1,6
	Pienin	0	0,30	0,59	0,98	0	0	1,9	0,39	0
	Suurin	3,4	2,9	2,1	3,2	2,3	2,8	3,4	3,2	3,4
Laji- määrä/ala	Keskiarvo	4,1	4,3	3,3	4,1	3,9	3,4	5,7	4,4	3,9
	Pienin	0	1	2	2	0	0	4	1	0
	Suurin	9	9	5	7	7	8	9	8	7
Laji- määrä/puu	Keskiarvo	3,1	3,2	2,5	3,3	2,9	2,5	4,7	3,2	3,1
	Pienin	0	0,6	1,2	2,0	0,0	0,0	3,8	0,8	0,0
	Suurin	6,2	5,4	4,0	5,8	4,4	5,2	6,2	5,6	6,0
Sormipai- sukarpeen vaurioaste	Keskiarvo	2,5	2,4	3,3	2,0	2,5	3,3	1,7	2,2	2,7
	Pienin	1,1	1,2	1,7	1,1	1,6	1,5	1,2	1,2	1,1
	Suurin	5,0	5,0	4,8	3,9	5,0	5,0	2,2	4,1	5,0
Yleinen vaurioaste	Keskiarvo	3,6	3,6	3,9	3,5	3,7	4,1	3,1	3,3	3,7
	Pienin	1,1	2,1	2,8	2,0	2,9	2,6	2,1	1,1	1,1
	Suurin	5,0	4,7	4,6	4,0	5,0	5,0	4,0	4,2	5,0
Levän yleisyys	Keskiarvo	0,7	0,6	1,4	0,4	0,9	1,0	0,03	0,7	0,8
	Pienin	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Suurin	3	3,0	2,6	2,0	3,0	2,6	0,2	3,0	3,0
Sormipaisu- karpeen peittävyys	Keskiarvo	9,5	7,6	5,0	12	15	4,4	11	16	8,2
	Pienin	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0
	Suurin	61	48	10	39	61	29	17	45	44
Luppojen peittävyys	Keskiarvo	0,18	0,04	0,68	0,35	0,00	0,01	0,04	0,62	0,07
	Pienin	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Suurin	12	0,80	2,7	5,7	0,00	0,30	0,30	12	1,4

5.1.2 Regressioanalyysit

Regressioanalyysien avulla tutkittiin taustamuuttujien vaikutusta seitsemään muuttujaan, joiden oletetaan kuvaavan ilmanlaatua: IAP-indeksiin, ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien lukumäärään tutkimusalueella, sormipaisukarpeen vaurioasteeseen, runkojäkälien yleiseen vaurioasteeseen, levän yleisyyteen, sormipaisukarpeen peittävyys ja loppujen peittävyys (Taulukko 5.4– Taulukko 5.10). Yhteenveto regressioanalyysien tuloksista on esitetty taulukossa 5-11.

Taulukko 5.4 Ilmanpuhtausindeksille IAP tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) tähdellä.*

IAP-indeksi ($r^2 = 36,4 \%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Vakio	2,836	0,343		8,269	0,000***
Puuston ikä	0,006	0,002	0,209	3,416	0,001***
Puuston pituus (m)	-0,014	0,012	-0,085	-1,164	0,246
Puuston halkaisija (cm)	-0,045	0,011	-0,276	-4,211	0,000***
Puuston pohjapinta-ala	0,002	0,007	0,014	0,220	0,826
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-2,336E-05	0,000	-0,108	-1,836	0,068
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	3,302E-06	0,000	0,028	0,390	0,697
Etäisyys lähimpään maa-ainestointimintaan	-1,909E-05	0,000	-0,110	-1,779	0,077
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	2,033E-05	0,000	0,188	2,359	0,019*
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	4,113E-05	0,000	0,300	4,991	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-1,172E-05	0,000	-0,287	-4,689	0,000***
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	8,898E-06	0,000	0,063	0,790	0,430
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	7,993E-06	0,000	0,045	0,640	0,523

8.12.2025

KJ

Taulukko 5.5 Tutkimusalaakohtaiselle lajilukumäärälle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) tähdellä.*

Lajilukumäärä per ala ($r^2 = 29,8\%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Vakio	6,916	0,901		7,674	0,000***
Puuston ikä	0,015	0,004	0,221	3,440	0,001**
Puuston pituus (m)	-0,025	0,033	-0,059	-0,772	0,441
Puuston halkaisija (cm)	-0,100	0,028	-0,244	-3,551	0,000***
Puuston pohjapinta-ala	-0,017	0,019	-0,059	-0,902	0,368
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-8,141E-05	0,000	-0,150	-2,436	0,016*
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-8,894E-06	0,000	-0,030	-0,400	0,690
Etäisyys lähimpään maa-ainestointimintaan	-2,995E-05	0,000	-0,069	-1,062	0,289
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	4,304E-05	0,000	0,159	1,901	0,059
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	8,879E-05	0,000	0,259	4,102	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	-2,585E-05	0,000	-0,253	-3,937	0,000***
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	-1,092E-07	0,000	0,000	-0,004	0,997
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	6,104E-05	0,000	0,138	1,860	0,064

Taulukko 5.6 Sormipaisukarpeen vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) tähdellä.*

Sormipaisukarpeen vaurioaste ($r^2 = 33,4\%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Vakio	1,164	0,557		2,089	0,038*
Puuston ikä	-0,003	0,003	-0,072	-1,151	0,251
Puuston pituus (m)	-0,024	0,020	-0,087	-1,164	0,246
Puuston halkaisija (cm)	0,059	0,017	0,228	3,395	0,001**
Puuston pohjapinta-ala	0,016	0,012	0,087	1,367	0,173
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	-1,839E-05	0,000	-0,053	-0,890	0,374
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-3,574E-05	0,000	-0,192	-2,599	0,010*
Etäisyys lähimpään maa-ainestointimintaan	4,912E-05	0,000	0,178	2,817	0,005**
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	3,790E-06	0,000	0,022	0,271	0,787
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-8,087E-05	0,000	-0,372	-6,041	0,000***

8.12.2025

KJ

Sormipaisukarpeen vaurioaste ($r^2 = 33,4\%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	1,872E-05	0,000	0,288	4,609	0,000***
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	5,232E-06	0,000	0,023	0,286	0,775
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-3,938E-05	0,000	-0,140	-1,940	0,054

Taulukko 5.7 Yleiselle vaurioasteelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) tähdellä.

Yleinen vaurioaste ($r^2 = 31,6\%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Vakio	2,807	0,386		7,268	0,000***
Puuston ikä	-0,007	0,002	-0,246	-3,889	0,000***
Puuston pituus (m)	0,006	0,014	0,031	0,415	0,678
Puuston halkaisija (cm)	0,047	0,012	0,263	3,877	0,000***
Puuston pohjapinta-ala	-0,003	0,008	-0,026	-0,395	0,693
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	8,087E-06	0,000	0,034	0,565	0,573
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-1,010E-05	0,000	-0,079	-1,060	0,290
Etäisyys lähimpään maa-ainestoitukseen	1,709E-05	0,000	0,091	1,414	0,159
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-5,221E-06	0,000	-0,044	-0,538	0,591
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-5,633E-05	0,000	-0,379	-6,072	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	1,118E-05	0,000	0,252	3,974	0,000***
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	6,650E-06	0,000	0,044	0,524	0,600
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-2,030E-05	0,000	-0,105	-1,443	0,150

8.12.2025

KJ

Taulukko 5.8 Levän esiintymiselle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) tähdellä.*

Levän esiintyminen ($r^2 = 35,7\%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Vakio	-1,312	0,464		-2,825	0,005**
Puuston ikä	-0,008	0,002	-0,210	-3,422	0,001**
Puuston pituus (m)	-0,031	0,017	-0,136	-1,859	0,064
Puuston halkaisija (cm)	0,074	0,014	0,339	5,145	0,000***
Puuston pohjapinta-ala	0,039	0,010	0,256	4,076	0,000***
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	1,732E-05	0,000	0,059	1,005	0,316
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-4,732E-06	0,000	-0,030	-0,413	0,680
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	2,441E-05	0,000	0,104	1,680	0,094
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-8,286E-06	0,000	-0,057	-0,710	0,478
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	-4,615E-05	0,000	-0,250	-4,137	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	1,616E-05	0,000	0,293	4,776	0,000***
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	-7,057E-06	0,000	-0,037	-0,463	0,644
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-2,890E-05	0,000	-0,121	-1,709	0,089

Taulukko 5.9 Sormipaisukarpeen peittävyydelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) tähdellä.*

Sormipaisukarpeen peittävyys ($r^2 = 27,6\%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Vakio	5,658	6,271		0,902	0,368
Puuston ikä	-0,115	0,031	-0,242	-3,705	0,000***
Puuston pituus (m)	0,215	0,228	0,074	0,943	0,347
Puuston halkaisija (cm)	0,042	0,195	0,015	0,216	0,829
Puuston pohjapinta-ala	-0,032	0,130	-0,016	-0,246	0,806
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	0,001	0,000	0,283	4,516	0,000**
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	0,000	0,000	0,214	2,776	0,006**

8.12.2025

KJ

Sormipaisukarpeen peittävyys ($r^2 = 27,6 \%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	0,000	0,000	-0,089	-1,357	0,176
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	0,000	0,000	-0,160	-1,892	0,060
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	0,001	0,000	0,380	5,925	0,000***
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	2,057E-05	0,000	0,029	0,450	0,653
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	0,000	0,000	-0,100	-1,174	0,242
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	0,000	0,000	0,039	0,519	0,604

Taulukko 5.10 Luppojen peittävyydelle tehdyn regressioanalyysin tulokset. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) riippuvuus on merkitty yhdellä tähdellä (*), merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**) ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella (***) tähdellä.

Luppojen peittävyys ($r^2 = 3,9 \%$)	B	Keskivirhe	Beta	Testisuure t	Merkitsevyys p
Vakio	0,769	0,615		1,251	0,212
Puuston ikä	0,003	0,003	0,065	0,866	0,387
Puuston pituus (m)	-0,004	0,022	-0,017	-0,190	0,850
Puuston halkaisija (cm)	-0,034	0,019	-0,142	-1,765	0,079
Puuston pohjapinta-ala	-0,002	0,013	-0,010	-0,129	0,897
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan	6,916E-06	0,000	0,022	0,303	0,762
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen	-2,751E-06	0,000	-0,016	-0,181	0,856
Etäisyys lähimpään maa-ainestointaan	-1,098E-06	0,000	-0,004	-0,057	0,955
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	-1,102E-06	0,000	-0,007	-0,071	0,943
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	4,530E-05	0,000	0,227	3,068	0,002**
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	2,905E-06	0,000	0,049	0,649	0,517
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen	-6,971E-06	0,000	-0,034	-0,345	0,730
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan	-9,644E-08	0,000	0,000	-0,004	0,997

Jäkälämuuttujien regressiomallien selitysasteet vaihtelivat välillä 3-37 % (Taulukko 5.11). Huonoin selitysaste (3,9 %) oli luppojen peittävyydellä. Parhaiten regressiomalli selitti lajiyhteisöä kuvaavaa IAP-indeksiä (36,4 %), levän esiintymistä (35,7 %), sormipaisukarpeen vaurioastetta (33,4 %). Alan

8.12.2025

KJ

luontaista vaihtelua kuvaavista tekijöistä selvin yhteys tutkittuihin jäkälien tunnuslukuihin oli puuston iällä, joka selitti viiden jäkälämuuttujan vaihtelua. Vanhemmissa metsissä IAP-indeksi ja lajimäärät olivat suurempia, jäkälien yleinen vaurioaste ja levän määrä pienempiä sekä sormipaisukarpeen peittävyys pienempi kuin nuoremmassa metsässä. Puiden runkojen paksuuden kasvaessa jäkälälajistossa esiintyi vähenemistä, ja levän esiintyminen sekä vaurioasteet lisääntyivät. Puuston suurempi pohjapinta-ala lisäsi myös levän esiintymistä, sillä suurempi pohjapinta-ala tarkoittaa varjoisampaa elinympäristöä, mikä lisää levän esiintymisen todennäköisyyttä. Puuston pituudella ei ollut vaikutusta jäkälien tunnuslukuihin.

Etäisyysmuuttujista turkistarhoilla oli selvin jäkälämuuttujia huonontava vaikutus. Mitä lähempänä turkistarhaa tutkimusala sijaitsi, sitä pienempi IAP-indeksi ja lajilukumäärä, sekä sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys oli. Lisäksi vaurioasteet sekä levän esiintyminen kasvoivat, mitä lähempänä turkistarhoja oltiin. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksilla ei ollut selviä vaikutuksia jäkälämuuttujiin. Etäisyys teollisuuslaitoksiin vaikutti hieman IAP-indeksiin, mutta ei muihin tunnuslukuihin. IAP-indeksi oli pienempi, mitä lähempänä teollisuuslaitosta oltiin. Teollisuuslaitosten luokkaan sisältyy niin pieniä kuin suuria laitoksia, joiden vaikutukset jäkälälajistoon voivat erota huomattavasti toisistaan, mikä voi vaikeuttaa vaikutusten huomaamista. Muiden toimialojen vaikutuksia olivat esimerkiksi energiantuotannon sormipaisukarpeen vaurioastetta lisäävä vaikutus ja eläinsuojien sekä energiantuotantolaitosten sormipaisukarpeen peittävyttä lisäävä vaikutus.

Turvetuotannon vaikutus jäkälien tunnuslukuihin oli aiemmista tuloksista poikkeava. Mitä lähempänä turvetuotantoaluetta oltiin, sitä parempi IAP-indeksi ja suurempi lajilukumäärä alueella oli. Myös vaurioasteet ja levän esiintyminen alueella olivat sitä pienempiä, mitä lähempänä turvetuotantoaluetta oltiin. Turvetuotannolla ei kuitenkaan arvioida todellisuudessa olevan merkittävää vaikutusta jäkälämuuttujiin, ja alueen turvetuotantoalueet sijaitsevat alueilla, joilla muita kuormitus-tekijöitä ei yleensä ole, mikä voi selittää myös lajiston monipuolisuutta ja kuntoa. Selityksenä voi olla myös se, että kaikki seudun turvetuotantoalueet eivät ole mukana aineistossa, joka on saatu tätä tutkimusta varten. Aineistossa oli yhdeksän turvetuotantoaluetta, jotka sijoituivat kaikki Kaus-tisen ja Kruunupyyn kuntien alueille, ja näin ollen Pietarsaaren lähikuntien ja Kokkolan kunnan turvetuotantoalueita ei ole huomioitu.

Ympäristöpalvelutoiminnoilla ja VOC-laitoksilla ei havaittu olevan vaikutusta jäkälien lajilukumääriin, esiintyvyyteen, vaurioasteisiin tai peittävyteen.

Taulukko 5.11 Yhteenvedo regressioanalyysistä. Taulukossa on kuvattu +-merkillä selittävän muuttujan arvon kasvamisen selitettävää muuttujaa kasvattava vaikutus ja –merkillä selittävän muuttujan arvon kasvamisen selitettävää muuttujaa vähentävä vaikutus. Etumerkkien määrällä kuvataan tuloksen tilastollista merkitsevyyttä siten, että melkein merkitsevä ($p < 0,05$) yhteys kuvataan yhdellä symbolilla, merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kolmella symbolilla.

	IAP	Lajimäärä / ala	Sormipaisukarpeen vaurioaste	Yleinen vaurioaste	Levän esiintyminen	Sormipaisukarpeen peittävä.	Luppojen peittävä.
Selitysaste	36,4 %	29,8 %	33,4 %	31,6 %	35,7 %	27,6 %	3,9 %
Puuston ikä	+++	++		---	--	---	
Puuston pituus (m)							
Puuston halkaisija (cm)	---	---	++	+++	+++		
Puuston pohjapinta-ala					+++		
Etäisyys lähimpään eläinsuojaan		-				++	
Etäisyys lähimpään energiantuotantolaitokseen			-			++	
Etäisyys lähimpään maa-ainestoitintaan			++				
Etäisyys lähimpään teollisuuslaitokseen	+						
Etäisyys lähimpään turkistarhaan	+++	+++	---	---	---	+++	++
Etäisyys lähimpään turvetuotantoalueeseen	---	---	+++	+++	+++		
Etäisyys lähimpään VOC-laitokseen							
Etäisyys lähimpään ympäristöpalvelutoimintaan							

5.2 Neulasten ja sammalten alkuainepitoisuuksien tilastollinen tarkastelu

5.2.1 Neulasten alkuainepitoisuuksien faktorianalyysi

Neulasten alkuainepitoisuuksien sisältämää vaihtelua tiivistettiin pääkomponenttianalyysin avulla. Mukana oli 16 alkuainetta. Neulasten alkuainepitoisuudet yhdistyivät analyysissä kolmeksi pääkomponentiksi, jotka selittivät 78 % muuttujien sisältämästä vaihtelusta. Neulasten alkuainepitoisuuksien pääkomponenttianalyysin perusteella on muodostettu komponenttimatriisi, joka kertoo, mitkä alkuaineet selittävät eri pääkomponenttien aiheuttamien vaihteluiden suuruuden. (Taulukko 5.12)

8.12.2025

KJ

Suurimman osan vaihtelusta selittivät ensimmäisen pääkomponentin alkuaineista arseeni, kadmium, koboltti, kupari, nikkeli, sinkki, kalsium, rauta, rikki ja elohopea. Arseeni, kadmium, koboltti, kupari, nikkeli, sinkki, rauta ja elohopea selittivät vaihtelua kaikkein voimakkaimmin ja ovat peräisin teollisuuden metallipäästöistä. Rikki ja kalsium ovat kasveille tärkeitä ravinteita, joten komponentti kuvaa myös kasvupaikan ravinteisuutta. Rikkiin vaikuttaa myös teollisuuden rikkipäästöt.

Toisen pääkomponentin vaihtelua selittävät merkittävimmät alkuaineet olivat typpi, fosfori ja kalium, jotka kuvaavat sekä kasvupaikan ravinteisuutta että teollisuuden ravinnepäästöjä.

Kolmannen pääkomponentin vaihtelua eniten selittävä alkuaine oli boori ja toiseksi eniten kalsium, jotka ovat kasveille välttämättömiä ravinteita. Kolmas pääkomponentti kuvaa siis metsän ravinteisuutta ja luontaisia tekijöitä.

Taulukko 5.12 Neulasten alkuainepitoisuuksien pääkomponenttianalyysin rotatoitu komponenttimatriisi.

	1	2	3
Arseeni	0,898	0,175	-0,127
Kadmium	0,911	0,065	0,101
Koboltti	0,970	0,110	-0,003
Kupari	0,923	0,291	-0,002
Nikkeli	0,882	-0,005	0,037
Sinkki	0,951	-0,021	0,117
Boori	-0,100	0,134	0,744
Fosfori	0,063	0,855	0,250
Kalium	0,168	0,782	0,056
Kalsium	0,718	0,083	0,505
Magnesium	-0,567	-0,052	0,231
Mangaani	0,039	-0,609	0,464
Rauta	0,882	0,189	-0,086
Rikki	0,722	0,579	0,174
Elohopea	0,897	0,316	-0,078
Kokonaistyyppi	0,194	0,867	-0,015
Osuus vaihtelusta	51 %	19 %	8 %

5.2.2 Sammalten alkuainepitoisuuksien pääkomponenttianalyysi

Sammalten alkuainepitoisuuksien sisältämää vaihtelua tiivistettiin pääkomponenttianalyysin avulla. Mukana oli 19 alkuainetta. Sammalten alkuainepitoisuudet yhdistyivät analyysissä neljäksi pääkomponentiksi, jotka selittivät 85,6 % muuttujien sisältämästä vaihtelusta. Pääkomponenttianalyysin perusteella muodostettiin komponenttimatriisi, joka kertoo, mitkä alkuaineet selittävät eri pääkomponenttien aiheuttamien vaihteluiden suuruuden. (Taulukko 5.13)

8.12.2025

KJ

Ensimmäinen pääkomponentti selittu muuttujien vaihtelusta 38,5 %. Pääkomponenttiin merkittävimmin vaikuttavia alkuaineita olivat lyijy, kadmium, sinkki, koboltti, arseeni, elohopea, kupari ja nikkeli. Toisen pääkomponentin selittämä osuus vaihtelusta oli 20,8 %. Alumiini, rauta, vanadiini ja kromi selittivät suurimman osan toisen pääkomponentin aiheuttamasta vaihtelusta. Ensimmäinen ja toinen pääkomponentti kuvaavat teollisuuden metallipäästöjä.

Kolmas pääkomponentti selitti 19,5 % muuttujien vaihtelusta. Tämän pääkomponentin merkittävimmät osatekijät olivat alkuaineet fosfori, kalium, kalsium, magnesium ja rikki. Neljäs pääkomponentti selitti 6,8 % muuttujien vaihtelusta. Sen merkittävimmät osatekijät olivat mangaani ja natrium, jotka ovat myös metsän ravinteisuutta ja luontaisia tekijöitä kuvaavia alkuaineita. Kolmas ja neljäs pääkomponentti kuvaavat metsän ravinteisuutta ja luontaisia olosuhteita.

Taulukko 5.13 Sammalten alkuainepitoisuuksien pääkomponenttianalyysin rotatoitu komponenttimatriisi.

	1	2	3	4
Arseeni	0,938	0,056	0,093	0,137
Kadmium	0,960	-0,003	0,086	0,076
Koboltti	0,955	0,020	0,109	0,039
Kromi	0,103	0,861	0,110	-0,095
Kupari	0,862	0,215	0,340	0,118
Lyijy	0,973	0,011	0,087	0,064
Nikkeli	0,763	0,511	0,189	-0,018
Sinkki	0,960	0,014	0,122	0,020
Vanadiini	0,020	0,897	0,173	0,191
Alumiini	-0,012	0,952	0,152	0,123
Fosfori	0,232	0,054	0,899	0,013
Kalium	0,173	0,050	0,879	0,030
Kalsium	0,255	0,188	0,755	-0,008
Magnesium	-0,034	0,420	0,840	0,090
Mangaani	-0,219	-0,098	0,156	-0,746
Natrium	0,049	0,131	0,331	0,725
Rauta	0,162	0,939	0,147	0,130
Rikki	0,614	0,226	0,617	0,249
Elohopea	0,892	0,036	0,230	0,128
Osuus vaihtelusta	38 %	21 %	20 %	7 %

5.3 Humuksen alkuainepitoisuuksien korrelaatiot

Humuksesta mitattujen alkuainepitoisuuksien keskinäiset korrelaatiot on esitetty taulukossa 5.14. Korrelaatiomatriisin perusteella metallipitoisuuksien välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä, erittäin voimakkaita riippuvuuksia. Suurin osa korrelaatioista oli positiivisia. Lisäksi alumiinin ja kalsiumin välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio, mikä viittaa kappaleessa 3.3.3 esitettyyn tilanteeseen, missä suuren kiinnittymisvoimakkuuden omaavat metallit kuten alumiini, voivat syrjäyttää ravinneaineita kuten kalsiumia maaperästä.

5.4 Yhteenveto

Tulosten tilastollisessa tarkastelussa selvimmin jäkäliin vaikutti turkistarhojen päästöt. Myös etäisyys energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksiin vaikutti jäkälien lajilukumääriin, mutta ei yhtä selvästi kuin etäisyys turkistarhoihin. Tähän selityksenä voi olla se, että suuret ja pienet laitokset on kaikki yhdistetty samaan luokkaan ja niiden vaikutukset ilmanlaatuun poikkeavat suuresti toisistaan. Suurilla teollisuustuotantolaitoksilla on todettu olevan vaikutuksia jäkäliin, mutta pienempien laitosten vaikutus ei ole ollut yhtä selkeä (esim. Jyväskylän yliopisto 2013a). Muiden päästölähteiden vaikutukset jäkälämuuttujiin jäivät vähäiseksi, ja VOC-laitosten sekä ympäristöpalvelutoiminnan etäisyydellä ei havaittu olevan vaikutusta tunnuslukuihin.

Sammalen ja neulasten alkuainepitoisuuksissa teollisuustoimintojen vaikutukset näkyivät selvimmin raskasmetallien pitoisuuksissa, jotka korreloivat voimakkaasti keskenään ja muodostivat molemmilla pääkomponenttimatriiseilla ensimmäisen pääkomponentin, joka selitti suurimman osan aineistossa havaitusta vaihtelusta alkuaineiden pitoisuuksissa. Neulasilla myös rikki oli merkittävä tekijä vaihtelun aiheuttajana, mutta vähemmän merkityksellinen sammalilla. Rikkipitoisuudet kuvaavat kasvupaikan ravinteisuutta, mutta myös paikalliset päästöt nostavat niitä.

Humuksesta mitatut raskasmetallipitoisuudet korreloivat voimakkaasti keskenään, mikä tarkoittaa sitä, että alueilla, joissa raskasmetallipitoisuudet olivat korkeita, myös muita raskasmetalleja oli enemmän. Lisäksi alumiinin ja kalsiumin välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio, mikä on merkki siitä, että alumiini on voinut syrjäyttää ravinneaineita kuten kalsiumia maaperästä alumiinin hyvän kiinnittymisvoimakkuuden myötä.

8.12.2025

KJ

Taulukko 5.14 Humuksesta mitattujen muuttujien keskinäiset riippuvuudet. Melkein merkitsevä ($p < 0,05$) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä () ja merkitsevä ($p < 0,01$) kahdella (**). Vihreällä värillä merkitty positiiviset (* = vaaleanvihreä, ** = tummanvihreä) ja oranssilla negatiiviset riippuvuudet.*

	Arseeni	Kadmium	Koboltti	Kromi	Kupari	Lyijy	Nikkeli	Sinkki	Vanadiini	Alumiini	Fosfori	Kalium	Kalsium	Magnesium	Mangaani	Natrium	Rauta	Rikki	Elohopea
Arseeni	1,000																		
Kadmium	,915**	1,000																	
Koboltti	,933**	,921**	1,000																
Kromi		-0,206		1,000															
Kupari	,938**	,625**	,969**	,591**	1,000														
Lyijy		-0,093		0,324	0,350	1,000													
Nikkeli	,943**	,687**	,979**	,446*	,923**	,480*	1,000												
Sinkki	,892**	,696**	,922**	0,134	,751**	-0,120	,811**	1,000											
Vanadiini	,766**	,524*	,702**		,624**		,682**	,609**	1,000										
Alumiini	0,259	0,006	0,214	,705**	,336*	0,365	0,274	-0,084	,443*	1,000									
Fosfori		-0,164		0,354	,581**	0,099	0,165	0,058		0,390	1,000								
Kalium	0,054	0,012	0,084	,566**	0,205	0,102	0,176	,339*	0,106	0,175	0,365	1,000							
Kalsium	0,115	0,014	0,122	-0,065	-0,001	0,113	0,062	0,272	0,005	-,306*	0,093	,401**	1,000						
Magnesium	0,086	0,025	0,081	0,377	0,064	0,092	0,206	,305*	0,396	0,152	-0,173	,677**	,332*	1,000					
Mangaani		-0,272		0,183	-0,154	-0,041	-0,104	0,262		-0,195	0,122	,398*	,460*	0,332	1,000				
Natrium	,544*	,526*	,538*		,504*		,515*	,628**	0,389	-0,018		0,331	,489*	0,313		1,000			
Rauta	,977**	,510**	,959**	,732**	,718**	0,222	,683**	,494**	,891**	,732**	,409*	0,232	-0,161	0,063	-0,042	0,316	1,000		
Rikki		0,084		0,046	0,374	0,271	0,104	-0,157		0,150	,418*	0,025	0,051	-0,121	-0,244		-0,091	1,000	
Elohopea	,896**	,966**	,910**		,929**		,903**	,953**	,513*	-0,039		0,118	0,275	0,008		,621**	,911**		1,000

6 Vertailu

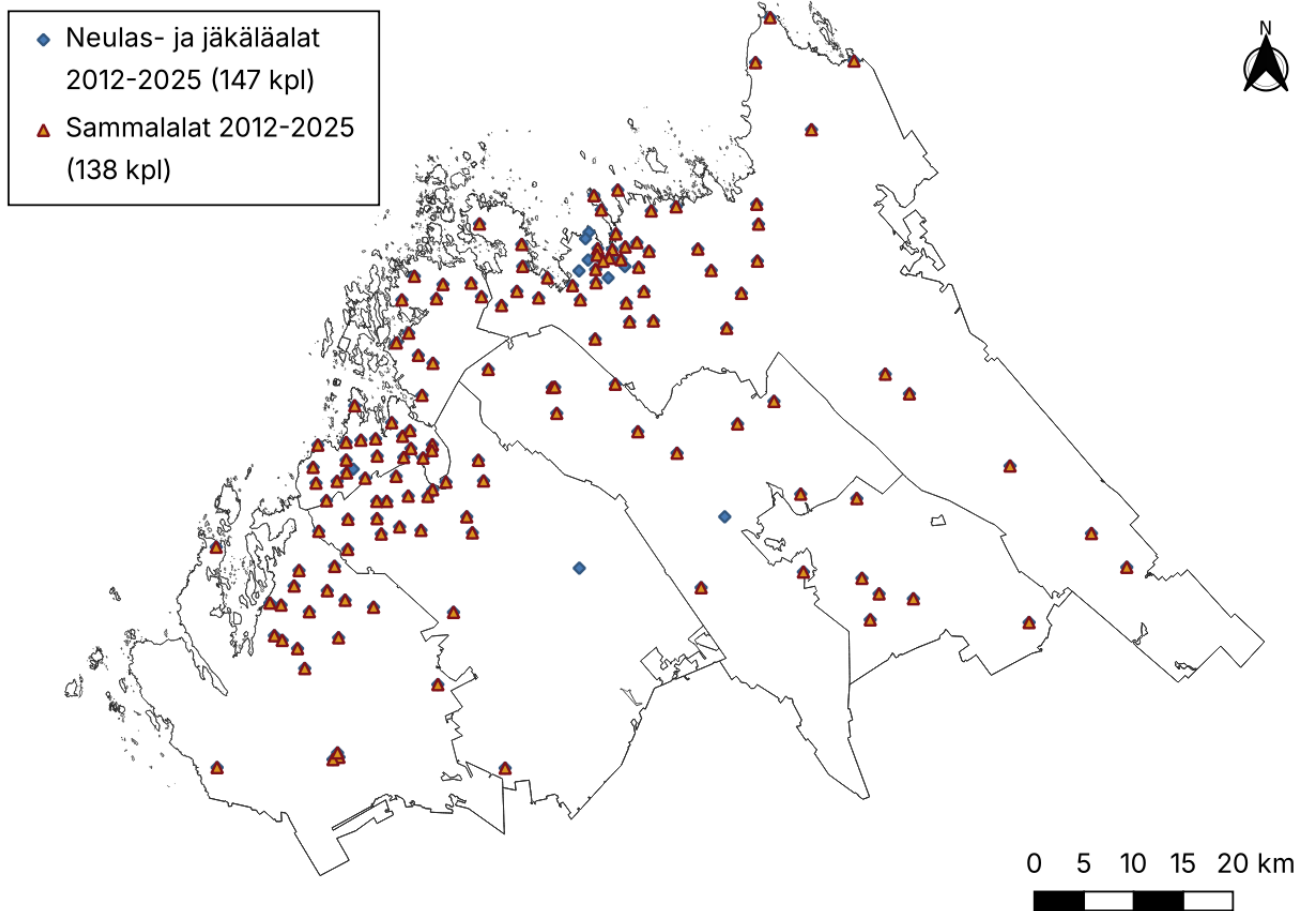
6.1 Vuosien välinen vertailu

Tässä luvussa vertaillaan vuoden 2025 tuloksia aikaisempien vuosien bioindikaattoritutkimusten tuloksiin. Tutkimus on tehty vastaavilla menetelmillä aiemmin sekä Kokkolan että Pietarsaaren seudulla vuosina 2006-2007, 2012 ja 2018. Tätä ennen vertailukelpoisia tuloksia Pietarsaaren seudulta on vuodelta 2002 ja Kokkolan seudulta vuosilta 1992, 1997 ja 2002. Tuloksia vertaillaan vuosien 2012, 2018 ja 2025 välillä, joiden alkuperäiset aineistot olivat vertailua varten käytössä.

Vuonna 2025 alueelle perustettiin jonkin verran uusia tutkimusaloja korvaamaan esimerkiksi hakkuiden johdosta menetettyjä aloja. Myös vuonna 2018 alueelle perustettiin runsaasti uusia tutkimusaloja. Uusilta aloilta ei ole olemassa vertailutuloksia. Vertailutulosten onkin siis katsottava kattavan alueen vain siltä osin kuin samana pysyneitä tutkimusaloja on vertailussa mukana. Keskiarvotarkasteluissa aineistosta on karsittu vuodesta 2012 vaihtuneet tutkimusalat, joita vuoteen 2025 mennessä oli yhteensä 97 kappaletta neulas- ja jäkäläaloille, ja 106 kappaletta sammalaloille. Näin ollen vuosien väliseen tarkasteluun jäi neulasille 147 ja sammalille 138 tutkimusalaa (Kuva 6.1). Humusalojen pienen kokonaismäärän vuoksi tarkasteluun sisällytettiin kaikki, myös vaihtuneet tutkimusalat (luku 6.1.4). Ainoastaan Kokkolan ja Kaustisen vuonna 2025 perustettujen tutkimusalojen humusnäytteiden tuloksia ei sisällytetty vuosien väliseen tarkasteluun. Vyöhykekarttaesitykset puolestaan on laadittu perustuen kaikkien kyseisenä tutkimusvuonna tutkittujen alojen havaintoihin.

8.12.2025

KJ



Kuva 6.1 Vuosina 2012, 2018 ja 2025 samana säilyneet tutkimusalat. Suurin osa neulas- ja jäkäläaloista sijoittuu samoille paikoille kuin sammalalat. Samana säilyneitä neulas- ja jäkäläaloja on yhdeksän enemmän kuin sammalaloja.

6.1.1 Mäntyjen runkojäkälät

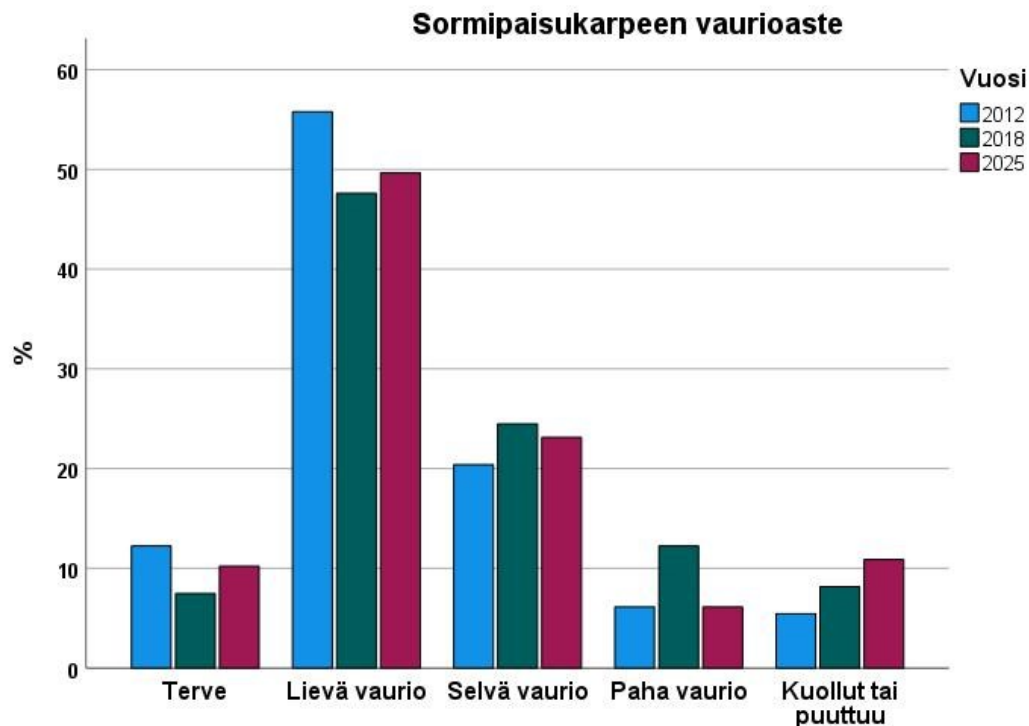
Seuraavissa kuvissa on esitetty tutkimusalojen jakautuminen luokkiin vuosina 2012, 2018 ja 2025 sormipaisukarpeen vaurioasteen, yleisen vaurioasteen sekä IAP-indeksin mukaan (Kuva 6.2–Kuva 6.4). Lisäksi on esitetty tutkittujen jäkälien esiintymisfrekvenssit tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025 (Kuva 6.5). Männyn runkojäkälä kuvaavien muuttujien keskiarvot, minimi ja maksimi vuosina 2012, 2018 ja 2025 koko tutkimusalueella ja eri kunnissa on esitetty taulukossa 6.1. Vyöhykekuvaajissa on esitetty sormipaisukarpeen vaurioasteen, lajilukumäärän ja IAP-indeksin vyöhykkeet vuosina 2012, 2018 ja 2025 (Kuva 6.6–Kuva 6.8).

Vuonna 2025 sormipaisukarpeen vaurioasteiden luokituksessa terveen sormipaisukarpeen luokkaan kuuluvien alojen määrä oli kasvanut vuodesta 2018, mutta oli noin 2 %-yksikköä pienempi kuin vuonna 2012. Myös lievän vaurion luokkaan kuuluvien alojen määrä oli kasvanut edellisiin vuosiin verrattuna. Selvän ja pahan vaurion luokkaan kuuluvien alojen määrä oli hieman laskenut vuodesta 2018. Aloja, joilla sormipaisukarve oli kuollut tai puuttui, oli enemmän kuin edellisinä vuosina. Parittaisten t-testien perusteella sormipaisukarpeen

8.12.2025

KJ

vaurioaste vuonna 2025 oli pienempi kuin vuonna 2018 ($t = -2,177$; $p = 0,031$), mutta suurempi kuin vuonna 2012 ($t = 5,182$, $p < 0,001$).

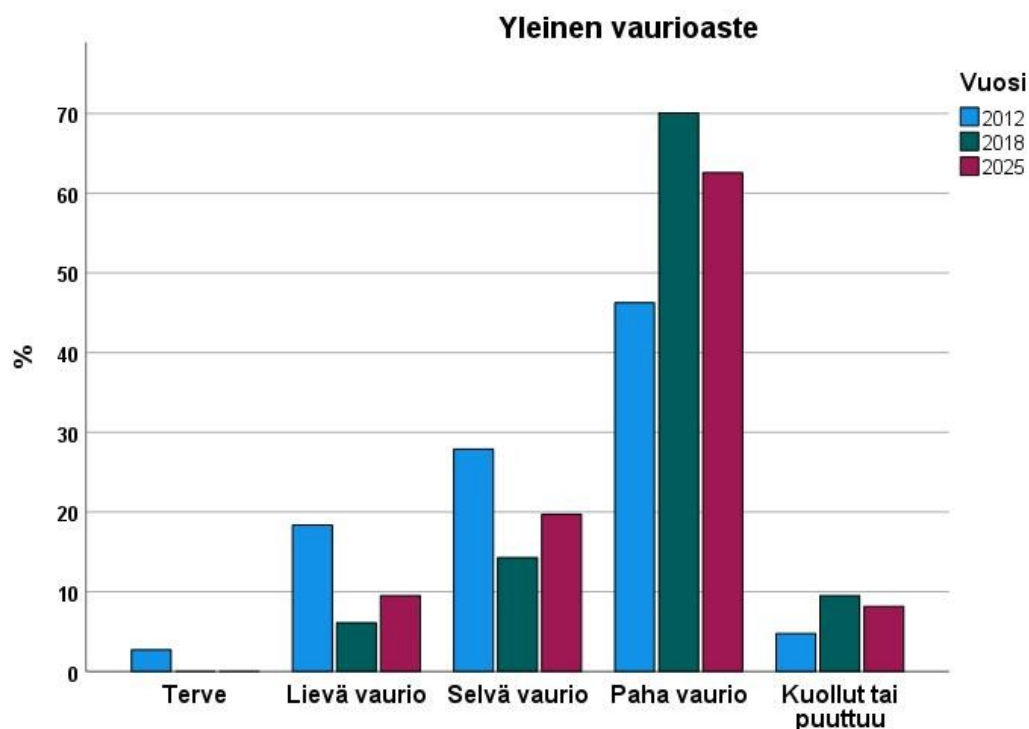


Kuva 6.2 Vuosina 2012, 2018 ja 2025 samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna sormipaisukarpeen vaurioasteen mukaan (N = 147).

Runkojäkälälajien yleisen vaurioasteen osalta lajisto ei ollut täysin tervettä millään alalla vuonna 2025, samoin kuin ei vuonna 2018. Lievien vaurioiden luokkaan kuuluvien alojen määrä kasvoi vuodesta 2018, mutta oli pienempi kuin vuonna 2012. Selvien vaurioiden luokkaan kuuluvien alojen määrä noudatti samaa trendiä. Pahojen vaurioiden luokkaan kuuluvien alojen määrä oli sen sijaan pienentynyt vuodesta 2018, mutta selkeästi korkeampi kuin vuonna 2012. Luokassa ”kuollut tai puuttuu” noudatettiin samaa trendiä. Parittaisten t-testien mukaan yleinen vaurioaste vuonna 2025 oli pienempi kuin vuonna 2018 ($t = 4,390$, $p < 0,001$), mutta suurempi kuin vuonna 2012 ($t = 8,559$, $p < 0,001$).

8.12.2025

KJ

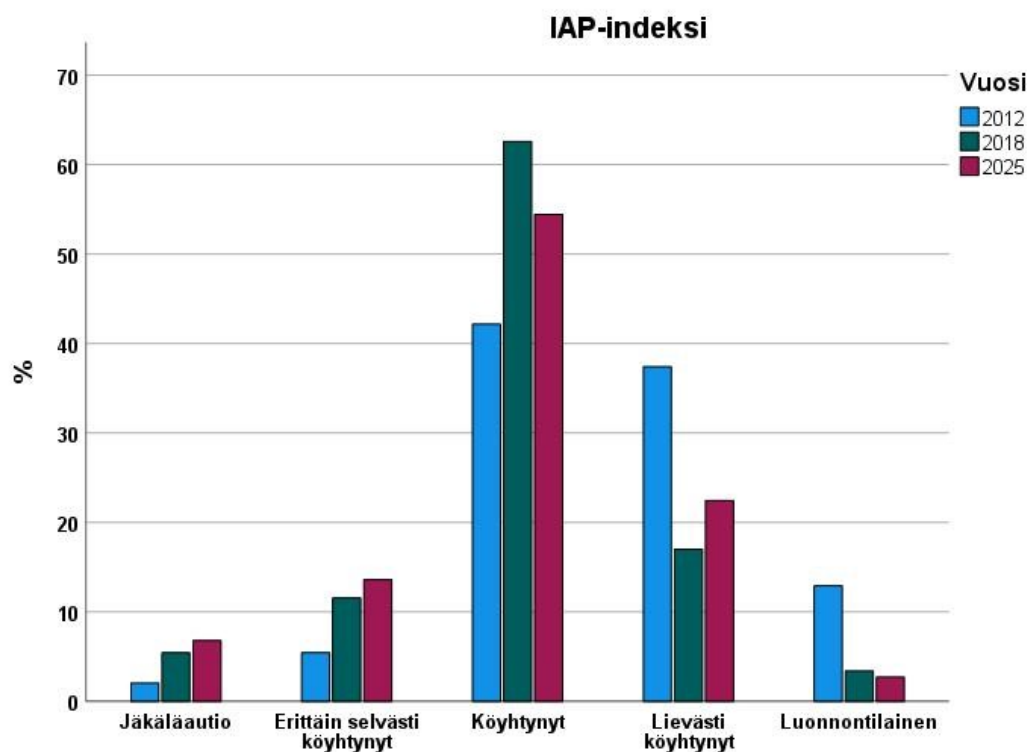


Kuva 6.3 Vuosina 2012, 2018 ja 2025 samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna yleisen vaurioasteen mukaan (N = 147).

IAP-indeksin perusteella luokiteltujen alojen jakaumissa jäkäläautioita ja erittäin köyhtyneitä aloja oli enemmän vuonna 2025 kuin aikaisempina vuosina. Köyhtyneitä aloja oli vähemmän kuin vuonna 2018, mutta enemmän kuin vuonna 2012. Lievästi köyhtyneitä aloja oli puolestaan enemmän kuin vuonna 2018, mutta vähemmän kuin vuonna 2012. Luonnontilaisten alojen määrä vuonna 2025 oli vähentynyt edelleen vuosista 2018 ja 2012. Parittaisten t-testien perusteella muutosta vuosien 2018 ja 2025 välillä IAP-indeksissä ei tapahtunut ($t = -0,734$, $p = 0,464$). Vuonna 2025 IAP-indeksi oli kuitenkin selvästi pienempi kuin vuonna 2012 ($t = -11,886$, $p < 0,001$).

8.12.2025

KJ

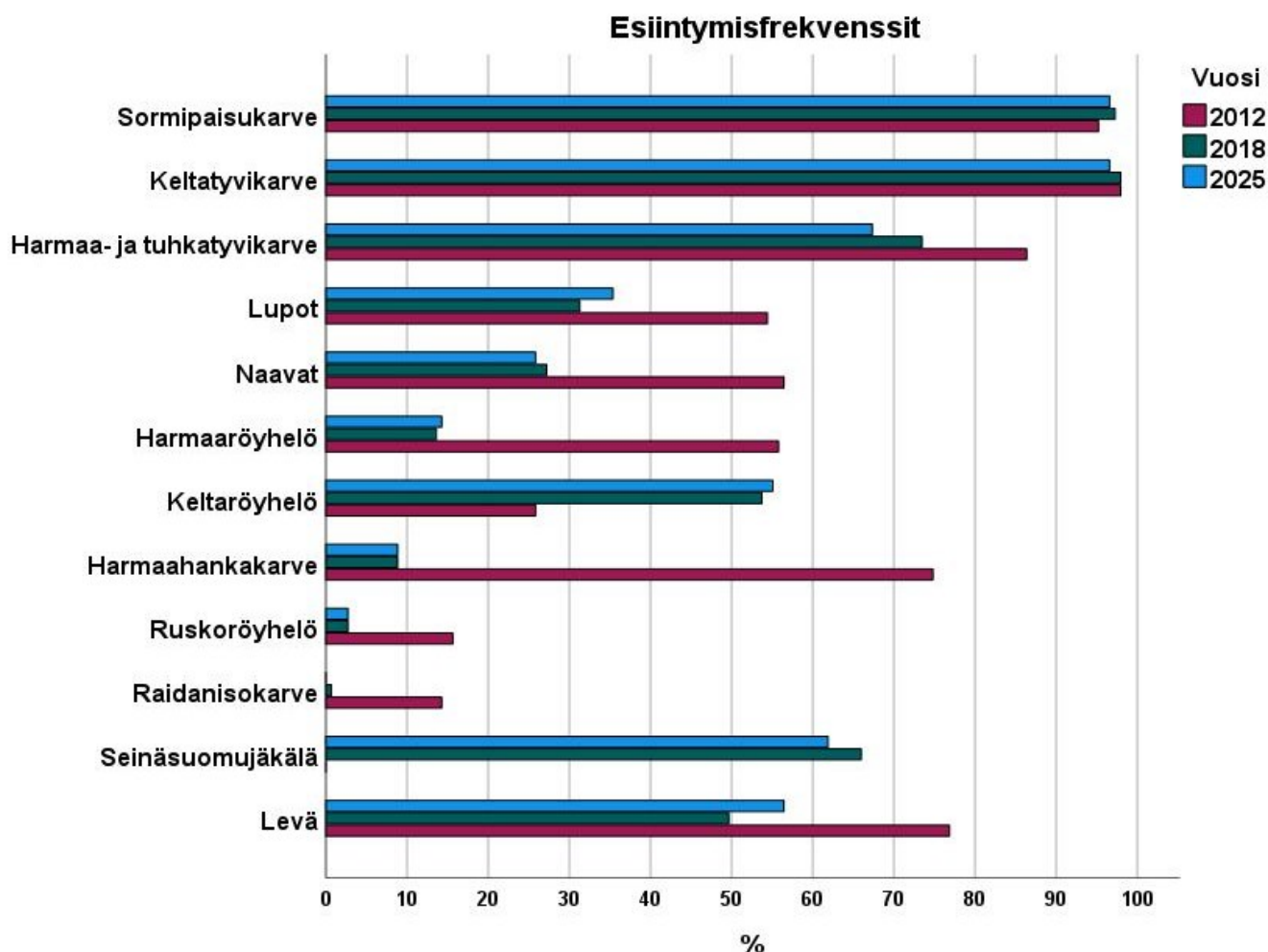


Kuva 6.4 Vuosina 2012, 2018 ja 2025 samana pysyneet tutkimusalat luokiteltuna IAP-indeksin mukaan (N = 147).

Vuonna 2025 sormipaisukarpeen ja keltatyvikarpeen esiintymisfrekvenssit pysyivät lähes samoina vuosiin 2018 ja 2012 verrattuna. Harmaa- ja tuhkatyvikarvetta ja seinäsuomujäkälää esiintyi alueella vähemmän kuin vuonna 2018. Luppoja ja levää puolestaan esiintyi tutkimusaloilla enemmän kuin vuonna 2012. Muiden jäkälien esiintyvyydessä ei havaittu selviä muutoksia, mutta harmaa- ja keltaröyhelöä havaittiin hieman enemmän kuin vuonna 2018. Naivoja havaittiin puolestaan hieman vähemmän kuin aiemmin. Huomionarvoista on myös se, että vaikka joidenkin jäkälien esiintyminen oli hienoisessa kasvussa vuoteen 2018 verrattuna, seinäsuomujäkälää ja keltaröyhelöä lukuun ottamatta kaikkia jäkälälajeja havaittiin vähemmän kuin vuonna 2012. (Kuva 6.5)

8.12.2025

KJ



Kuva 6.5 Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit samoina pysyneillä tutkimusaloilla vuosina 2012, 2018 ja 2025 (N = 147).

Jäkälämuuttujien alueellinen jakautuminen on kuvattu vyöhykekartoilla, jotka on laadittu kaikkien kyseisen tutkimusvuoden alojen havaintojen pohjalta (Kuva 6.6–Kuva 6.8). **Sormipaisukarpeen vauriovyöhykkeissä** on tapahtunut vain vähäisiä alueellisia muutoksia vuodesta 2018 vuoteen 2025. Kokkolan keskiosissa ja Pedersören ja Kruunupyyn eteläosissa on edelliseen tutkimukseen verrattuna hieman laajemmat terveen sormipaisukarpeen alueet, mutta eivät kuitenkaan aivan yhtä laajat kuin vuonna 2012. Vuoteen 2012 verrattuna vaurioitunutta sormipaisukarvetta selvästi vaurioituneen sormipaisukarpeen vyöhyke Pietarsaaren, Pedersören pohjoisosan ja Uudenkaarlepyyn alueella on voimistunut. (Kuva 6.6)

Lajiston monimuotoisuus on vähentynyt vuodesta 2012 etenkin tutkimusalueen keskiosien vähemmän kuormittuneilla alueilla sekä **lajien lukumäärän** että **IAP-indeksin** perusteella. Vuoteen 2018 verrattuna lajimäärät vaikuttavat kuitenkin hieman nousseen Pedersören ja Kokkolan eteläosissa, Kruunupyyn keskiosissa ja Kaustisella, ja lajimäärältään vähäisemmät alat painottuvat hieman selvemmin kohti rannikkoa. Merkittävää eroa vuoden 2018 lajimääriin tai IAP-indeksiin ei kuitenkaan ole havaittavissa vyöhykekartoilta. (Kuva 6.7–Kuva 6.8)

8.12.2025

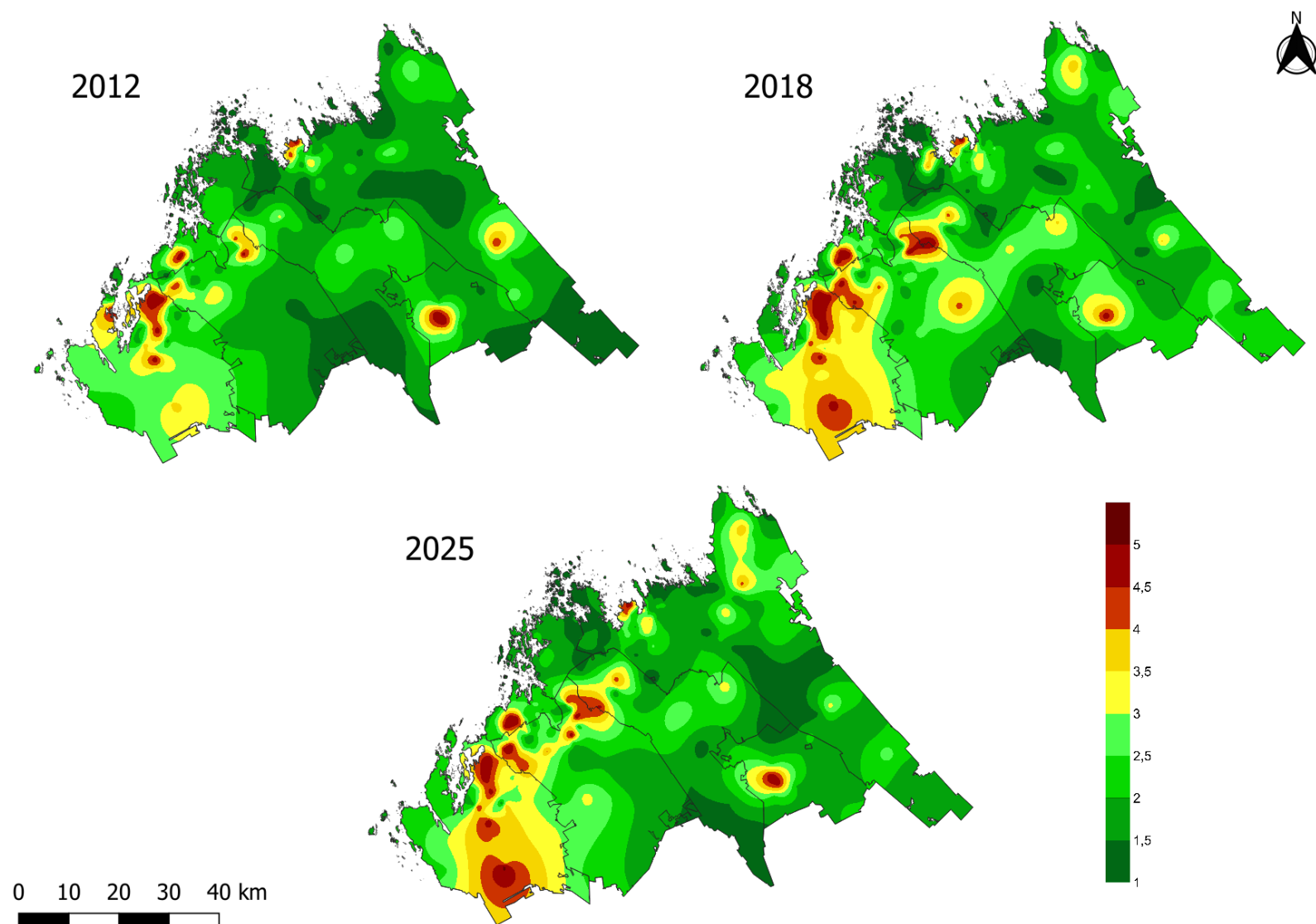
KJ

Taulukko 6.1 Männyn runkojäkälien tunnuslukuja kunnittain vuosina 2012, 2018 ja 2025.

		Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyö			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
	Vuosi n	2012 147	2018 147	2025 147	2012 6	2018 6	2025 6	2012 54	2018 54	2025 54	2012 13	2018 13	2025 13	2012 11	2018 11	2025 11	2012 21	2018 21	2025 21	2012 22	2018 22	2025 22	2012 20	2018 20	2025 20
Sormipai- sukarpeen vaurioaste	Keskiarvo	2,3	2,6	2,5	3,0	3,0	2,8	1,9	2,3	2,1	2,1	2,3	2,3	1,9	1,8	1,8	2,5	2,8	2,7	2,6	2,8	2,8	3,0	3,6	3,6
	Pienin	1,1	1,1	1,1	1,1	1,9	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5	1,1	1,6	1,5	1,7	1,9	1,9
	Suurin	5,0	5,0	5,0	5,0	4,2	4,8	5,0	5,0	5,0	3,3	4,3	4,3	2,3	2,2	2,4	4,9	5,0	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0	4,9	5,0
Yleinen vaurioaste	Keskiarvo	3,3	3,8	3,6	3,7	4,1	3,9	3,0	3,6	3,4	2,8	3,5	3,5	3,0	3,5	3,4	3,4	3,9	3,8	3,7	4,0	3,9	3,6	4,1	4,1
	Pienin	1,2	1,9	1,7	2,0	4,0	2,8	1,2	2,1	1,7	1,3	1,9	2,1	1,6	2,1	2,3	2,0	3,0	2,6	2,4	3,0	2,5	2,1	3,0	3,1
	Suurin	5,0	5,0	5,0	4,5	4,6	4,8	5,0	5,0	5,0	4,0	4,3	4,3	4,0	4,0	4,0	4,9	5,0	5,0	4,6	4,8	5,0	4,5	4,7	4,7
IAP	Keskiarvo	2,1	1,6	1,6	1,7	1,4	1,4	2,1	1,7	1,7	2,5	1,9	1,8	2,3	1,7	1,8	2,1	1,6	1,5	1,8	1,5	1,3	1,9	1,4	1,3
	Pienin	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,8	0,8	1,2	1,1	1,1	0,1	0,0	0,0	0,9	0,3	0,0	0,5	0,4	0,3
	Suurin	4,3	3,3	3,4	2,7	2,0	2,2	4,3	3,3	3,4	3,2	3,2	2,7	3,6	2,5	3,0	3,0	2,7	2,5	3,2	2,4	2,6	3,1	3,1	2,3
Lajiluku- määrä / ala	Keskiarvo	5,2	4,1	4,0	3,8	3,3	3,7	5,5	4,3	4,4	6,5	4,5	4,6	5,5	4,2	4,3	5,1	4,0	4,0	4,6	3,8	3,3	4,6	3,7	3,6
	Pienin	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	3,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	1,0	0,0	0,0	3,0	2,0	0,0	2,0	1,0	1,0
	Suurin	9,0	8,0	9,0	6,0	5,0	5,0	9,0	8,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	6,0	7,0	8,0	7,0	7,0	7,0	8,0	7,0
Sormipai- sukarpeen peittävyys	Keskiarvo	9,5	7,9	9,5	8,0	7,6	7,3	16	13	15	6,3	5,1	5,0	9,7	11	19	6,5	4,4	4,8	7,6	5,6	7,0	1,2	0,8	0,8
	Pienin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	1,2	0,7	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Suurin	52	51	61	18	19	18	52	49	48	12	20	24	33	51	61	16	16	23	20	20	28	3,5	3,2	3,1
Luppojen peittävyys	Keskiarvo	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pienin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Suurin	3,9	1,9	4,0	0,1	0,0	0,0	3,9	1,9	4,0	1,0	0,4	0,0	0,2	0,0	2,7	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0

8.12.2025

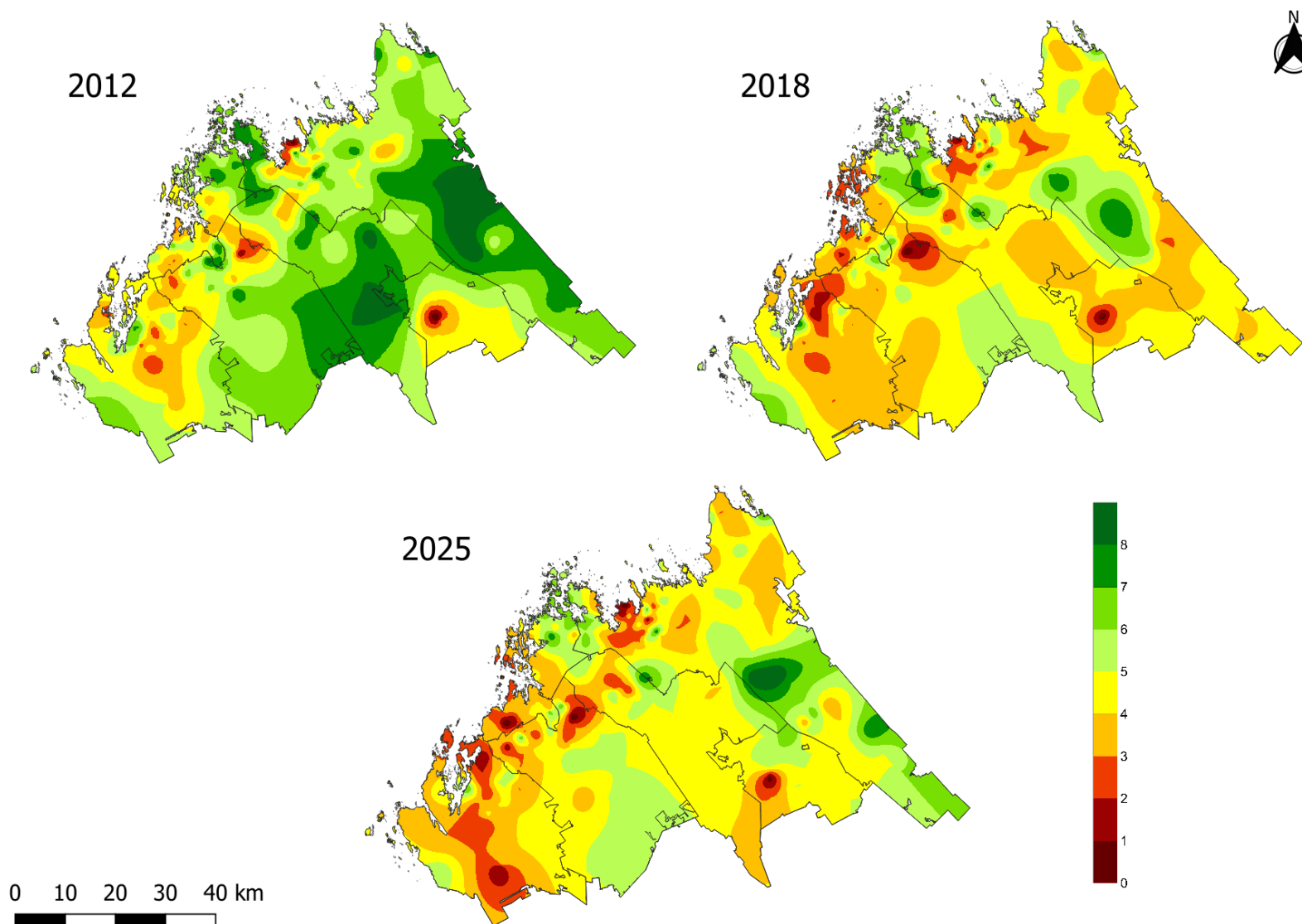
KJ



Kuva 6.6. Sormipaisukarpeen vaurioasteet tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025

8.12.2025

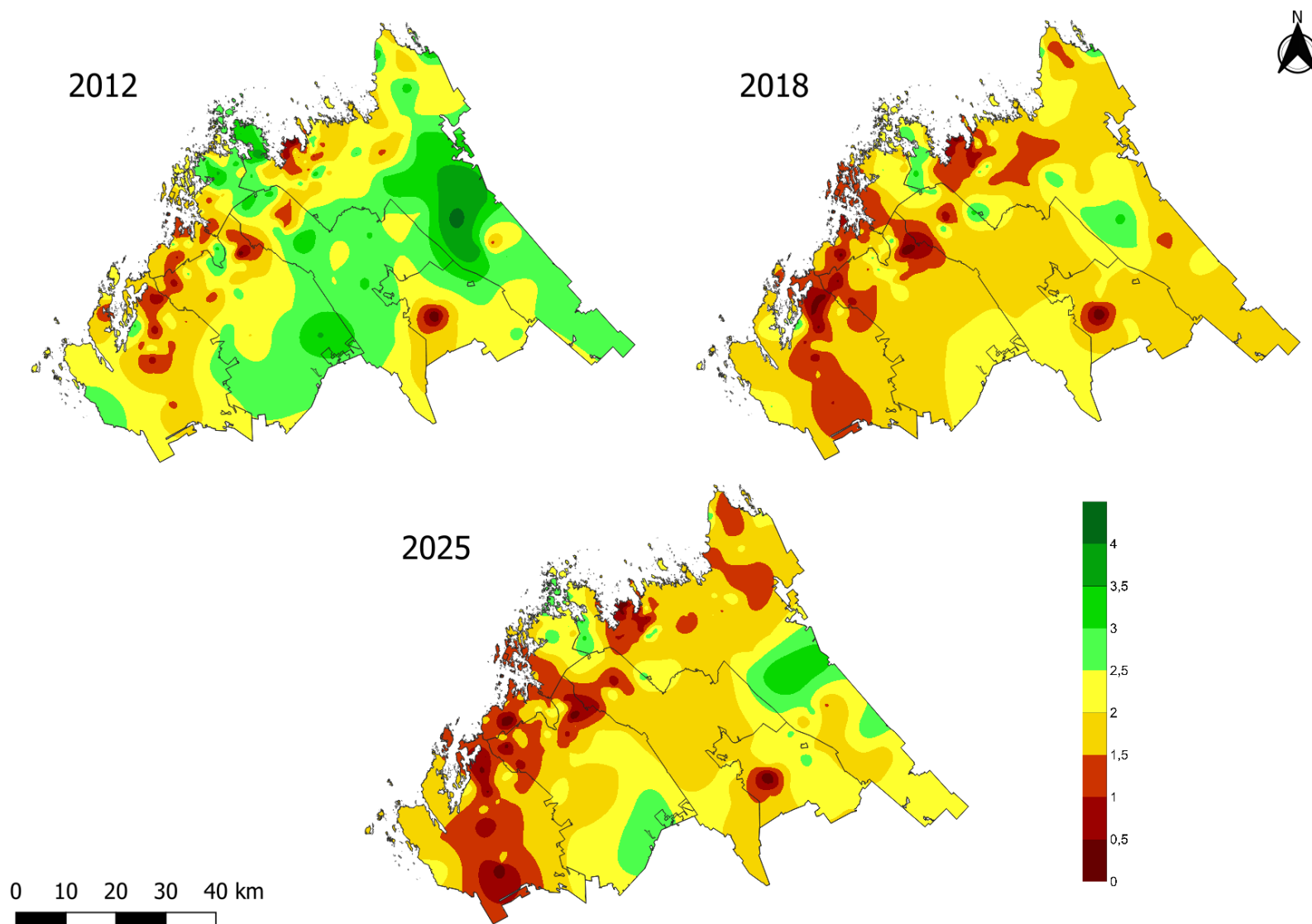
KJ



Kuva 6.7. Jäkälien lajilukumäärä tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

KJ



Kuva 6.8. IAP-indeksi tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025

6.1.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten alkuainepitoisuuksien keskiarvot sekä pienimmät ja suurimmat arvot koko alueella ja kunnittain vuosilta 2012, 2018 ja 2025 on esitetty taulukossa 6.2. Vertailussa ovat mukana ne alat, jotka ovat pysyneet samoina, ja joilta analyysit on kyseisinä tutkimusvuosina tehty.

Koko aluetta tarkasteltaessa parittaisten t-testien avulla, arseenin, boorin, magnesiumin ja mangaanin pitoisuudet olivat kasvaneet alueella vuoteen 2018 verrattuna. Kadmiumin, koboltin, kuparin, nikkelin, fosforin, kaliumin, kalsiumin, raudan, rikin, elohopean ja kokonaistypen pitoisuudet olivat puolestaan laskeneet verrattuna vuoteen 2018. Sinkin ja vanadiinin pitoisuuksissa ei huomattu tilastollisesti merkitseviä eroja vuosien 2025 ja 2018 välillä.

Vuonna 2025 sinkin, boorin, kalsiumin, magnesiumin ja mangaanin pitoisuudet olivat korkeammat kuin vuonna 2012. Koboltin, kuparin, nikkelin, vanadiinin, kaliumin, raudan, rikin ja kokonaistypen osalta pitoisuudet olivat pienemmät kuin vuonna 2012. Elohopean osalta muutos oli melkein merkitsevä ($p = 0,050$) ja sen pitoisuus oli pienempi kuin vuonna 2012. Arseenin, kadmiumin ja fosforin pitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja vuosien 2025 ja 2012 välillä.

Neulasten **rikkipitoisuuden** suurimmat pitoisuudet ovat asettuneet melko selkeäksi, mutta hajanaiseksi vyöhykkeeksi lähelle rannikkoa, ja pitoisuudet ovat laskeneet sisämaassa. Laskua on tapahtunut sekä vuoteen 2012 että 2018 verrattuna. (Kuva 6.9)

Vuonna 2018 Kaustisiin perustettiin kaksi uutta tutkimusalaa (239 ja 240), joissa neulasten litiumpitoisuudet olivat 0,1 ja 0,28 mg/kg. Vuonna 2025 vastaavat pitoisuudet samoilla aloilla olivat < 1,0 mg/kg. Litiumpitoisuuksia seurataan myös tulevaisuudessa.

8.12.2025

KJ

Taulukko 6.2 Neulasten alkuainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta kohti) kunnittain vuosina 2012, 2018 ja 2025.

Neulaset, alkuaine mg/kg		Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
N %	Keskiarvo	1,4	1,5	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,2	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,3
	Pienin	1,1	1,1	1,0	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,0
	Suurin	2,0	1,9	1,8	1,5	1,5	1,4	2,0	1,9	1,8	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,9	1,6	1,7	1,8	1,8	1,7	1,9	1,7
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
P	Keskiarvo	1365	1443	1363	1317	1355	1300	1376	1480	1361	1285	1358	1285	1409	1474	1336	1405	1441	1386	1377	1466	1445	1325	1391	1340
	Pienin	1 000	1150	1000	1200	1290	1100	1100	1240	1100	1100	1200	1100	1200	1300	1100	1200	1220	1000	1000	1150	1200	1100	1230	1100
	Suurin	1 900	1920	1900	1400	1440	1500	1600	1920	1900	1600	1680	1600	1900	1700	1600	1600	1760	1600	1600	1750	1600	1500	1590	1700
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
K	Keskiarvo	5585	5689	5406	5433	5290	5283	5656	5903	5506	5623	5497	4977	5764	5772	5173	5510	5530	5448	5532	5694	5682	5455	5481	5235
	Pienin	4200	4300	4300	4900	4840	4500	4300	4740	4600	4600	4940	4300	4800	5100	4600	4400	4640	4600	4200	4300	4600	4400	4630	4500
	Suurin	7600	7580	7500	5900	5750	6100	7600	7580	6500	7000	6270	5600	6700	6280	6200	6500	6340	6100	7000	7430	7500	7000	6390	6600
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Ca	Keskiarvo	2902	4013	3478	2450	3058	2817	3117	4347	3841	2462	3396	3162	3537	4394	3818	2595	3757	3157	3064	4186	3586	2540	3703	2935
	Pienin	1500	2040	1900	2000	2510	2500	2000	2710	2400	1500	2140	1900	2800	3240	2900	1700	2040	2300	1900	2740	2000	1800	2580	2200
	Suurin	5200	7200	6300	2900	3940	3500	4400	6580	6300	3100	4690	4600	5200	6330	5000	3600	5310	4000	4500	7200	5300	3200	4980	4100
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Mg	Keskiarvo	797	784	868	805	803	853	812	789	879	776	850	886	934	902	909	764	726	857	757	761	845	769	739	846
	Pienin	390	490	450	640	680	680	390	490	450	610	670	720	770	740	800	580	500	690	410	590	580	640	580	650
	Suurin	1100	1140	1200	930	900	950	1000	1000	1200	1000	1140	1100	1100	1090	990	1000	960	1000	1000	890	1200	1000	970	1100
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Mn	Keskiarvo	382	424	459	387	473	492	411	469	506	402	482	564	417	465	443	360	406	421	340	334	405	335	339	365
	Pienin	110	100	110	230	310	330	160	180	210	120	170	210	300	320	310	110	130	180	120	180	120	140	100	110
	Suurin	860	1030	1000	490	630	610	790	890	1000	700	760	910	560	600	580	860	1030	910	510	550	790	540	560	640

8.12.2025

KJ

Neulaset, alkuaine mg/kg	Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy			
	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	
n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20	
S	Keskiarvo	956	988	929	907	955	867	996	1036	974	884	980	897	980	911	856	943	860	910	950	1023	948	916	1016	888
	Pienin	760	730	710	840	900	780	800	820	770	760	810	770	880	790	760	760	730	710	810	840	810	770	860	750
	Suurin	1400	1410	1600	1000	1020	960	1400	1410	1600	1100	1320	1300	1200	1220	1000	1100	970	1100	1100	1250	1100	1100	1160	1100
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
B	Keskiarvo	16	13	17	14	11	16	16	14	18	16	12	16	22	16	22	15	8,3	17	17	16	19	15	12	15
	Pienin	6,6	2,5	7,0	8,4	7,6	8,0	6,6	6,2	9,0	9,9	7,6	8,0	19	10	17	8,5	2,5	13	10	11	8,0	11	2,5	7,0
	Suurin	31	28	41	22	16	24	29	28	41	27	18	32	31	22	38	23	16	29	23	23	28	20	25	30
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Ni	Keskiarvo	1,0	0,50	0,45	0,48	0,37	0,30	1,8	0,78	0,70	0,58	0,37	0,30	0,55	0,37	0,28	0,53	0,32	0,28	0,54	0,40	0,32	0,54	0,27	0,30
	Pienin	0,09	0,14	0,10	0,27	0,20	0,14	0,13	0,14	0,12	0,38	0,25	0,20	0,42	0,24	0,19	0,27	0,15	0,14	0,31	0,19	0,14	0,09	0,15	0,10
	Suurin	7,7	3,3	2,7	0,57	0,58	0,43	7,7	3,3	2,7	0,96	0,86	0,56	0,85	0,54	0,51	0,72	0,56	0,49	1,0	0,80	0,79	2,2	0,42	0,64
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Co	Keskiarvo	1,6	1,3	0,6				3,1	2,3	1,1	0,32	0,39	0,14	0,35	0,60	0,24	0,26	0,33	0,15	0,25	0,29	0,12	0,12	0,24	0,08
	Pienin	0,08	0,07	0,06				0,34	0,47	0,20	0,32	0,39	0,14	0,33	0,49	0,19	0,16	0,19	0,08	0,14	0,17	0,07	0,08	0,07	0,06
	Suurin	15	13	5,9				15	13	5,9	0,32	0,39	0,14	0,39	0,67	0,28	0,40	0,68	0,21	0,47	0,44	0,21	0,20	0,71	0,14
	n	52	52	53	0	0	0	26	26	27	1	1	1	3	3	3	9	9	9	8	8	8	5,00	5	5
Cu	Keskiarvo	3,3	3,5	2,4	2,4	3,5	2,4	3,8	4,3	2,7	2,7	3,0	2,2	2,7	2,7	2,1	4,0	2,8	2,3	2,8	2,9	2,4	3,0	3,6	2,3
	Pienin	1,1	2,2	1,7	1,1	3,3	2,1	2,2	2,5	1,9	2,2	2,5	1,8	2,1	2,5	1,7	2,5	2,4	1,9	2,3	2,2	1,8	2,2	2,5	1,8
	Suurin	18	10	6,5	3,1	3,8	2,9	9,1	10	6,5	3,6	4,0	2,7	3,1	3,0	2,6	18	3,5	3,1	3,2	3,9	3,1	5,8	4,4	2,9
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Fe	Keskiarvo	101	79	62	57	48	52	164	114	69	67	61	56	57	64	61	68	62	58	73	65	64	56	50	54
	Pienin	36	34	36	36	35	38	43	35	36	38	36	46	42	54	42	47	34	40	39	37	38	43	38	41
	Suurin	690	540	170	95	75	100	690	540	170	110	140	72	77	89	100	97	96	75	170	130	160	82	81	86
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20

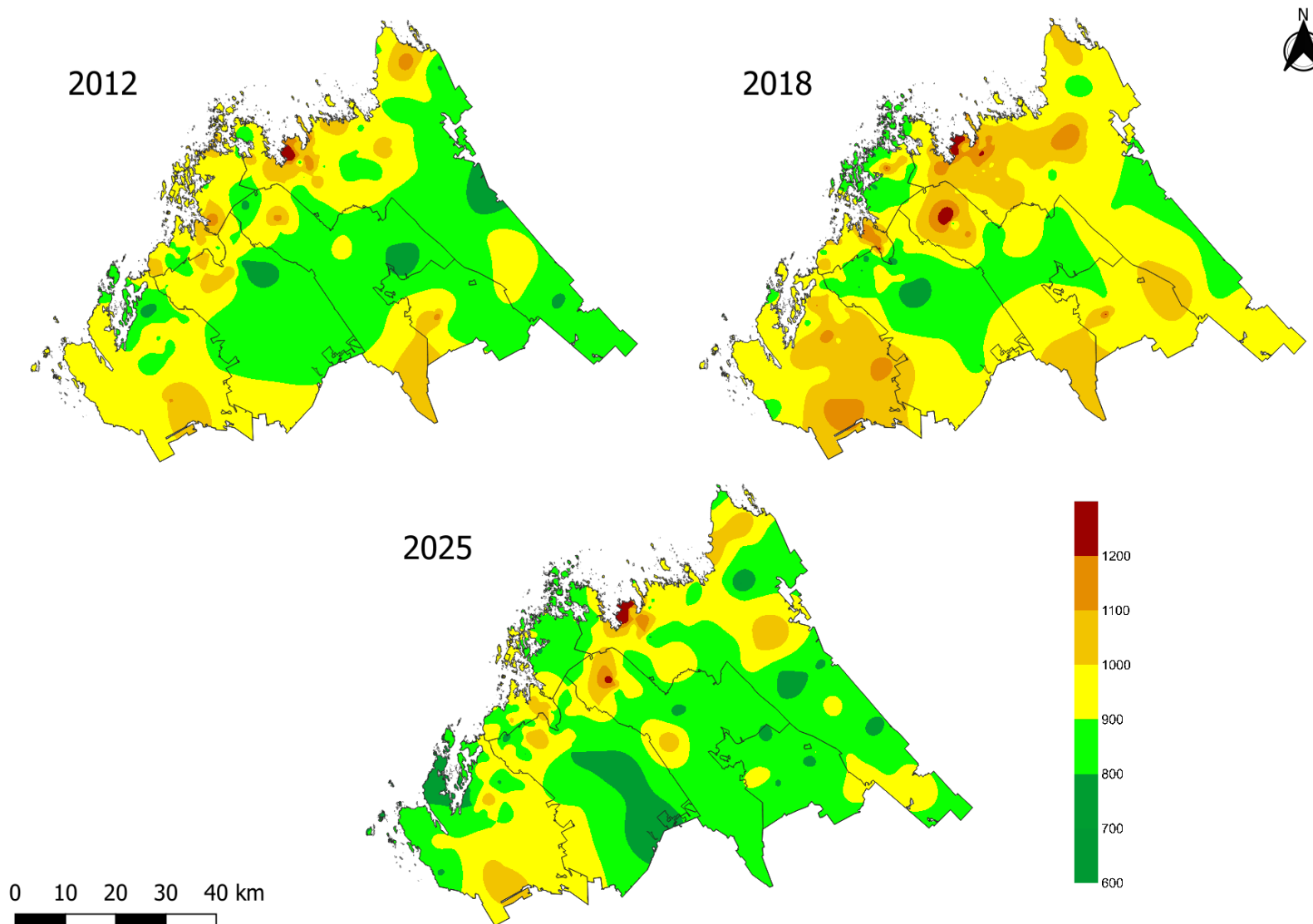
8.12.2025

KJ

Neulaset, alkuaine mg/kg		Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
As	Keskiarvo	0,13	0,10	0,21				0,22	0,16	0,37	0,03	0,05	0,06	0,03	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03
	Pienin	0,03	0,02	0,02				0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
	Suurin	1,0	1,2	2,3				1,0	1,2	2,3	0,03	0,05	0,06	0,03	0,06	0,08	0,07	0,05	0,05	0,06	0,09	0,06	0,03	0,04	0,04
	n	52	52	53	0	0	0	26	26	27	1	1	1	3	3	3	9	9	9	8	8	8	5	5	5
Hg	Keskiarvo	0,04	0,04	0,03				0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
	Pienin	0,02	0,02	0,01				0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Suurin	0,10	0,22	0,11				0,10	0,22	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
	n	52	52	53	0	0	0	26	26	27	1	1	1	3	3	3	9	9	9	8	8	8	5	5	5
Cd	Keskiarvo	0,15	0,19	0,16	0,13	0,05	0,05	0,27	0,35	0,31	0,08	0,10	0,09	0,11	0,13	0,10	0,07	0,10	0,07	0,09	0,11	0,08	0,06	0,07	0,06
	Pienin	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,06	0,05	0,03	0,06	0,05	0,08	0,06	0,08	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
	Suurin	2,6	2,4	3,6	0,54	0,09	0,07	2,6	2,4	3,6	0,12	0,15	0,18	0,17	0,19	0,18	0,17	0,10	0,13	0,17	0,22	0,16	0,11	0,10	0,10
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Cr	Keskiarvo	0,17	0,17	0,19	0,10	0,12	0,17	0,23	0,26	0,22	0,13	0,14	0,16	0,15	0,12	0,14	0,13	0,12	0,15	0,13	0,13	0,18	0,13	0,10	0,21
	Pienin	0,06	0,05	0,10	0,07	0,05	0,11	0,08	0,05	0,10	0,09	0,05	0,13	0,07	0,05	0,10	0,07	0,05	0,11	0,07	0,05	0,10	0,06	0,05	0,11
	Suurin	0,75	1,80	2,30	0,14	0,31	0,28	0,75	1,80	2,30	0,19	0,25	0,23	0,24	0,21	0,26	0,51	0,19	0,20	0,23	0,40	0,43	0,60	0,43	0,55
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
Zn	Keskiarvo	51	59	58	36	45	49	66	77	75	42	50	50	53	60	55	41	48	47	44	49	50	41	44	45
	Pienin	24	26	20	29	36	41	30	38	37	33	33	36	42	44	40	28	31	36	25	31	30	24	26	20
	Suurin	240	300	330	42	50	59	240	300	330	59	65	65	73	72	70	56	64	57	59	85	73	62	67	65
	n	147	144	147	6	6	6	54	53	54	13	13	13	11	11	11	21	21	21	22	20	22	20	20	20
V	Keskiarvo	0,15	0,09	0,08				0,16	0,09	0,08	0,10	0,05	0,08	0,12	0,12	0,06	0,13	0,07	0,08	0,17	0,12	0,07	0,09	0,05	0,07
	Pienin	0,07	0,05	0,05				0,08	0,05	0,06	0,10	0,05	0,08	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,08	0,05	0,06
	Suurin	0,64	0,61	0,14				0,33	0,17	0,14	0,10	0,05	0,08	0,13	0,19	0,08	0,20	0,21	0,10	0,64	0,61	0,10	0,10	0,05	0,10
	n	52	52	52	0	0	0	26	26	26	1	1	1	3	3	3	9	9	9	8	8	8	5	5	5

8.12.2025

KJ



Kuva 6.9 Neulasten rikkipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

6.1.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalen alkuainepitoisuuksien tunnusluvut tutkimusvuosina 2012, 2018 ja 2025 koko alueella ja kunnittain on esitetty taulukossa 6.3. Muutokset tutkimusvuosina 2025 ja 2018 havaittujen pitoisuuksien välillä testattiin parittaisella t-testillä.

Koko aluetta tarkasteltaessa parittaisten t-testien perusteella arseenin, lyijyn, alumiinin, natriumin ja raudan pitoisuudet sammalissa olivat kasvaneet vuodesta 2018 vuoteen 2025. Koboltin, kuparin, fosforin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, mangaanin, rikin ja elohopean pitoisuudet olivat puolestaan vähentyneet vuoteen 2018 verrattuna. Kadmiumin, kromin, nikkelin, sinkin ja vanadiinin pitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja vuosien 2018 ja 2025 välillä.

Vuoteen 2012 verrattuna arseenia, kadmiumia, lyijyä, sinkkiä, natriumia ja elohopeaa lukuunottamatta kaikki alkuainepitoisuudet olivat pienentyneet vuoteen 2025 mennessä. Arseenin, natriumin ja lyijyn pitoisuudet olivat kasvaneet sammalissa vuodesta 2012 vuoteen 2025. Sinkin, natriumin ja elohopean pitoisuudet eivät eronneet vuosien 2012 ja 2025 välillä.

Vuonna 2018 Kaustisiin perustettiin kaksi uutta tutkimusalaa (239 ja 240), joissa litiumpitoisuudet sammalissa olivat 0,1 ja 0,1 mg/kg. Vuonna 2025 vastaavat pitoisuudet samoilla aloilla olivat < 1,0 mg/kg. Litiumpitoisuuksia seurataan myös tulevaisuudessa tutkimuksissa.

Sammalen alkuainepitoisuuksien vyöhykekartat vuosilta 2012, 2018 ja 2025 on esitetty jäljempänä (Kuva 6.10–Kuva 6.18). Vyöhykekartoilla **alumiinipitoisuudet** ovat kasvaneet vuosien 2012 ja 2018 tutkimuksiin verrattuna Kruunupyyssä, Pedersöressä ja Uudessakaarlepyyssä. Aiempien vuosien tapaan kohonneita alumiinipitoisuuksia esiintyy edelleen hajanaisena vyöhykkeenä rannikon aloilla. Aiemmissa tutkimuksissa Uudenkaarlepyyn alueella ei ole aiemmin havaittu kohonneita alumiinipitoisuuksia. Vyöhykkeet sijoittuivat vuonna 2018 Uudenkaarlepyyn keskustaan, kunnan koillisosaan Karbyn tuntumaan sekä Ytterjeppoon. Koillisosassa olevaa vyöhykettä selittää erityisesti alan K204 sijoittuminen lähelle R&R Frostdahl Ab:n maa-ainesaluetta, missä sijaitsee myös vanha, vedellä täyttynyt louhos. Vanha ala oli tuhoutunut ja sen korvaavalla alalla pitoisuudet ovat korkeampia kuin aiemmalla alalla. Lisäksi pitoisuudet olivat koholla Uudenkaarlepyyn keskustan tuntumassa sijaitsevalla alalla (K218) lähellä Ab Ekorosk Oy:n hyötykäyttöasemaa, sekä Kruunupyyden Björkmossenilla lähellä vanhaa kaatopaikkaa. Myös Björkmossenin ala on jouduttu korvaamaan uudella vuoden 2018 jälkeen, mikä selittää muutosta edelliseen tutkimukseen.

Arseenipitoisuuksissa näkyy kaikkina vuosina kohonneita pitoisuusvyöhykkeitä Kokkolan Ykspihlajan ja keskustan tuntumassa. Vyöhyke oli vuonna 2025 laajentunut aiempiin vuosiin verrattuna ja hieman kohonneita pitoisuuksia on nähtävissä myös Uudenkaarlepyyn Jepualla. (Kuva 6.11)

8.12.2025

KJ

Kadmium-, koboltti- ja kuparipitoisuuksien vyöhykkeissä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia vuosina 2012–2025. Koboltin ja kuparin kohonneiden pitoisuuksien vyöhykkeet asetuvat hieman tiiviimmin Kokkolan Ykspihlajan ympärille ja tutkimusalueen reunoilla pitoisuudet ovat olleet laskusuunnassa. (Kuva 6.12–Kuva 6.14)

Sammalen rautapitoisuuksien vyöhykkeet asettuvat pääpiirteissään melko samoin kuin vuosina 2012 ja 2018. Korkeimpien pitoisuuksien painopisteet ovat kuitenkin siirtyneet Kokkolan ja Kruunupyyn pohjoisosista kohti Uudenkaarlepyyn pohjoisosia ja Kruunupyyn Björkmosse-
nin kaatopaikkaa. (Kuva 6.15)

Elohopean ja sinkin pitoisuusvyöhykkeet ovat pääpiirteissään samankaltaisia kuin vuosina 2012 ja 2018. Pitoisuudet Kruunupyyn ja Kaustisen alueella ovat hieman laskeneet vuodesta 2018, ja pienimpien pitoisuuksien vyöhykkeet tutkimusalueen eteläpuoliskolla ovat yhtenäisiä. (Kuva 6.16 ja Kuva 6.18)

Nikkelin suurimmat pitoisuusvyöhykkeet ovat selvästi kutistuneet vuodesta 2012. Suurimmat pitoisuudet ovat kaikissa tutkimuksissa esiintyneet Kokkolan Ykspihlajan tietämillä, ja muilla alueilla pitoisuudet ovat olleet suhteellisen pieniä. (Kuva 6.17)

8.12.2025

KJ

Taulukko 6.3 Sammalten alkuainepitoisuudet (mg/kg) kunnittain vuosina 2012, 2018 ja 2025. Vuoteen 2018 verrattuna kohonneet pitoisuudet on merkitty oranssilla ja laskeneet vihreällä.

Sammal, alkuaine mg/kg	Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy			
	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	
As	Keskiarvo	0,26	0,21	0,46	0,14	0,23	0,26	0,51	0,33	0,93	0,17	0,21	0,35	0,11	0,11	0,24	0,15	0,14	0,19	0,13	0,13	0,16	0,11	0,11	0,14
	Pienin	0,05	0,04	0,05	0,07	0,12	0,07	0,07	0,04	0,05	0,07	0,06	0,08	0,07	0,07	0,09	0,05	0,06	0,11	0,05	0,05	0,07	0,07	0,04	0,08
	Suurin	2,5	1,5	5,6	0,22	0,42	0,79	2,5	1,5	5,6	0,41	0,54	0,88	0,19	0,15	0,70	0,40	0,27	0,43	0,25	0,37	0,28	0,18	0,17	0,32
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Cd	Keskiarvo	0,26	0,24	0,26	0,12	0,14	0,09	0,47	0,43	0,50	0,19	0,22	0,19	0,17	0,16	0,16	0,14	0,13	0,12	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,09
	Pienin	0,08	0,06	0,06	0,09	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,11	0,10	0,08	0,13	0,12	0,09	0,08	0,07	0,07	0,09	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06
	Suurin	1,6	1,6	2,1	0,15	0,22	0,11	1,6	1,6	2,1	0,41	0,53	0,42	0,23	0,25	0,27	0,23	0,26	0,25	0,25	0,24	0,80	0,16	0,18	0,13
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Co	Keskiarvo	3,3	3,1	2,1	0,42	0,99	0,48	7,4	6,7	4,9	1,7	2,4	1,2	1,9	1,7	0,62	1,0	1,1	0,64	1,1	1,1	0,52	0,48	0,48	0,36
	Pienin	0,23	0,19	0,13	0,23	0,44	0,33	0,30	0,19	0,13	0,42	0,39	0,27	1,10	0,93	0,33	0,38	0,41	0,27	0,54	0,50	0,23	0,35	0,31	0,22
	Suurin	27	26	25	0,54	1,8	0,92	27	26	25	5,0	7,6	3,5	3,7	3,8	1,1	1,9	3,9	2,2	2,4	2,7	1,2	0,69	0,78	0,84
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Cr	Keskiarvo	1,2	0,75	0,71	1,1	1,9	0,57	1,3	0,84	0,68	0,97	0,80	0,65	0,81	0,52	0,44	1,5	0,63	0,59	1,2	0,77	0,64	0,84	0,40	1,2
	Pienin	0,55	0,20	0,19	0,73	0,62	0,23	0,62	0,20	0,19	0,72	0,20	0,23	0,69	0,31	0,25	0,55	0,20	0,25	0,56	0,20	0,30	0,59	0,20	0,40
	Suurin	11	6,4	10	1,3	6,4	1,2	4,0	2,8	2,8	2,2	2,3	1,4	1,0	0,83	0,64	11	1,2	1,0	2,9	2,9	2,1	1,3	0,86	10
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Cu	Keskiarvo	6,0	5,8	4,6	4,2	4,4	4,6	8,7	6,9	6,2	5,2	6,5	4,4	4,7	5,5	3,4	4,7	5,2	3,5	5,0	5,6	4,0	3,9	4,4	3,6
	Pienin	2,7	3,1	2,2	3,4	3,6	2,4	2,7	3,1	2,6	3,1	3,6	2,4	3,6	4,7	2,2	3,3	3,9	2,6	3,1	4,0	2,3	3,3	3,3	2,4
	Suurin	19	14	18	5,0	5,7	10	19	14	18	12	13	8,6	6,2	6,7	4,4	7,7	7,7	4,6	9,5	11	8,9	5,2	8,0	6,0
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Pb	Keskiarvo	3,0	2,5	4,4	1,2	1,5	0,84	5,5	4,2	9,5	2,1	2,2	3,1	1,6	1,4	2,3	1,7	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,4	1,2	1,1
	Pienin	0,77	0,57	0,42	1,1	0,89	0,57	0,95	0,57	0,42	0,98	0,79	0,66	1,1	0,83	0,83	0,77	0,68	0,98	0,98	0,87	0,68	0,99	0,58	0,68
	Suurin	22	16	57	1,4	2,4	1,0	22	16	57	6,1	5,3	8,5	2,2	1,8	7,0	4,0	2,9	2,4	2,8	3,9	3,0	2,3	2,0	2,3

8.12.2025

KJ

Sammal, alkuaine mg/kg		Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Ni	Keskiarvo	2,4	1,1	1,0	0,95	1,1	0,81	4,3	1,5	1,5	1,4	1,0	0,84	1,2	0,82	0,54	1,3	0,87	0,65	1,6	1,0	0,71	1,6	0,69	0,96
	Pienin	0,54	0,31	0,27	0,66	0,82	0,43	0,54	0,40	0,27	0,67	0,45	0,32	0,96	0,49	0,34	0,58	0,42	0,41	0,61	0,42	0,40	0,61	0,31	0,47
	Suurin	17	3,5	6,6	1,3	1,6	1,8	17	3,5	4,6	3,9	2,7	1,8	2,2	1,7	0,76	5,7	1,5	0,99	6,1	3,0	1,9	7,9	1,8	6,6
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Zn	Keskiarvo	80	83	82	32	51	39	142	137	149	56	77	59	45	57	41	51	52	37	52	55	46	37	41	53
	Pienin	21	24	20	25	37	23	24	24	20	29	36	25	21	41	30	33	35	27	36	38	23	23	27	27
	Suurin	560	540	620	40	64	75	560	540	620	150	180	140	62	92	70	78	76	53	82	77	110	55	63	170
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
V	Keskiarvo	1,3	0,83	0,81	0,95	0,94	1,1	1,2	0,84	0,74	0,89	0,90	0,80	0,83	0,69	0,58	0,88	0,76	0,83	1,6	1,0	0,81	2,3	0,67	0,98
	Pienin	0,39	0,25	0,26	0,50	0,56	0,38	0,44	0,26	0,27	0,45	0,32	0,26	0,65	0,35	0,33	0,39	0,25	0,37	0,45	0,27	0,38	0,46	0,27	0,46
	Suurin	15	5,2	3,5	1,6	2,0	3,5	3,7	2,0	2,0	2,6	2,9	1,8	1,7	2,3	0,80	1,5	1,4	1,6	9,7	5,2	2,5	15	2,9	2,7
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Al	Keskiarvo	287	245	268	223	323	257	345	268	243	272	283	291	178	149	213	284	257	277	309	264	280	218	167	327
	Pienin	90	73	96	110	210	140	93	73	96	161	140	110	94	88	120	107	84	120	90	99	140	113	110	170
	Suurin	1525	830	1100	347	600	540	1525	830	570	881	790	600	301	290	340	532	450	450	1011	810	740	364	320	1100
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
P	Keskiarvo	1334	1339	1236	1057	1070	1002	1346	1375	1338	1253	1259	1206	1280	1412	1205	1520	1352	1136	1421	1413	1211	1192	1250	1227
	Pienin	680	770	630	920	900	820	910	810	810	960	770	800	680	1180	920	1000	920	750	940	990	630	730	820	870
	Suurin	2600	2560	2400	1200	1380	1300	2600	2560	2400	2400	2480	2200	1600	1900	1600	2600	2030	1800	2100	1900	2000	1700	1890	1800
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
K	Keskiarvo	6217	6904	5696	5183	6012	5733	6308	7025	6140	6050	6190	5308	6145	7361	5273	6760	7063	5445	6024	7148	5600	6105	6645	5440
	Pienin	3000	3560	3200	4300	3920	4300	4000	4500	4600	4300	3560	3900	4000	5780	4000	4800	5080	3700	4500	4610	3200	3000	4260	3900
	Suurin	10000	11200	9100	5900	7750	7200	10000	11200	9100	8300	10700	7500	8000	9680	6900	10000	10200	7700	8500	9930	7400	8200	10800	8400
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Ca	Keskiarvo	2630	2942	2274	2200	3083	2267	2575	2965	2329	2500	3111	2267	2827	3010	2273	2825	2929	2075	2962	3110	2376	2320	2544	2240

8.12.2025

KJ

Sammal, alkuaine mg/kg		Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
	Pienin	1500	1800	1400	2100	2570	1600	1600	1800	1400	1900	2250	1700	1500	2460	1900	2100	2190	1500	2400	2310	1600	1600	1880	1600
	Suurin	4200	4670	4300	2400	3800	3000	4200	4480	4300	3700	4260	3300	3700	3450	3200	4000	4670	3800	4000	4140	3700	3100	3780	3000
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Mg	Keskiarvo	1096	1196	985	967	1125	958	1068	1146	1009	993	1128	958	1042	1272	924	1236	1296	893	1185	1310	1050	1060	1113	1009
	Pienin	570	630	580	860	790	700	720	700	730	740	630	710	570	1090	730	740	910	580	710	930	690	800	810	640
	Suurin	2100	2620	2100	1100	1390	1200	2100	1690	2100	1900	2260	1600	1300	1580	1200	2000	2620	1400	1800	1700	1500	1400	1560	1500
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Mn	Keskiarvo	294	362	248	302	403	277	287	384	259	308	418	285	282	341	245	330	334	208	281	349	228	285	320	257
	Pienin	98	140	64	200	280	170	110	140	80	180	150	100	98	260	180	240	200	64	190	180	130	150	140	86
	Suurin	590	750	600	420	700	400	590	750	600	430	730	460	390	470	350	450	520	310	390	510	370	440	540	370
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Na	Keskiarvo	82	68	118	85	62	135	81	53	124	73	56	115	83	36	123	86	109	94	79	99	135	84	60	102
	Pienin	43	20	38	51	49	80	43	20	64	52	20	38	46	20	54	58	20	59	47	20	56	47	20	62
	Suurin	250	190	390	120	75	220	250	93	250	130	190	390	140	72	180	110	190	170	140	180	310	120	140	250
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Fe	Keskiarvo	473	328	377	308	367	435	639	393	374	393	386	376	243	187	265	443	319	362	509	331	363	289	205	458
	Pienin	120	77	100	120	210	150	140	77	100	190	110	110	120	110	160	130	99	140	140	89	150	150	110	200
	Suurin	2400	1320	1900	600	860	1400	2400	1200	1100	1400	1320	900	390	390	420	860	680	690	1800	1220	1100	530	440	1900
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
S	Keskiarvo	1000	884	732	863	895	688	1019	902	823	938	789	733	842	769	700	1059	906	628	1077	1002	722	984	812	661
	Pienin	480	420	420	670	700	420	670	420	470	730	450	420	480	580	590	790	640	470	830	780	470	580	590	460
	Suurin	1800	1510	1500	1100	1240	1100	1800	1450	1500	1600	1440	1400	1100	1020	900	1700	1280	880	1500	1510	1000	1600	1190	1000
	n	138	138	138	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Hg	Keskiarvo	0,06	0,06	0,06	0,03	0,05	0,03	0,08	0,09	0,09	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
	Pienin	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02

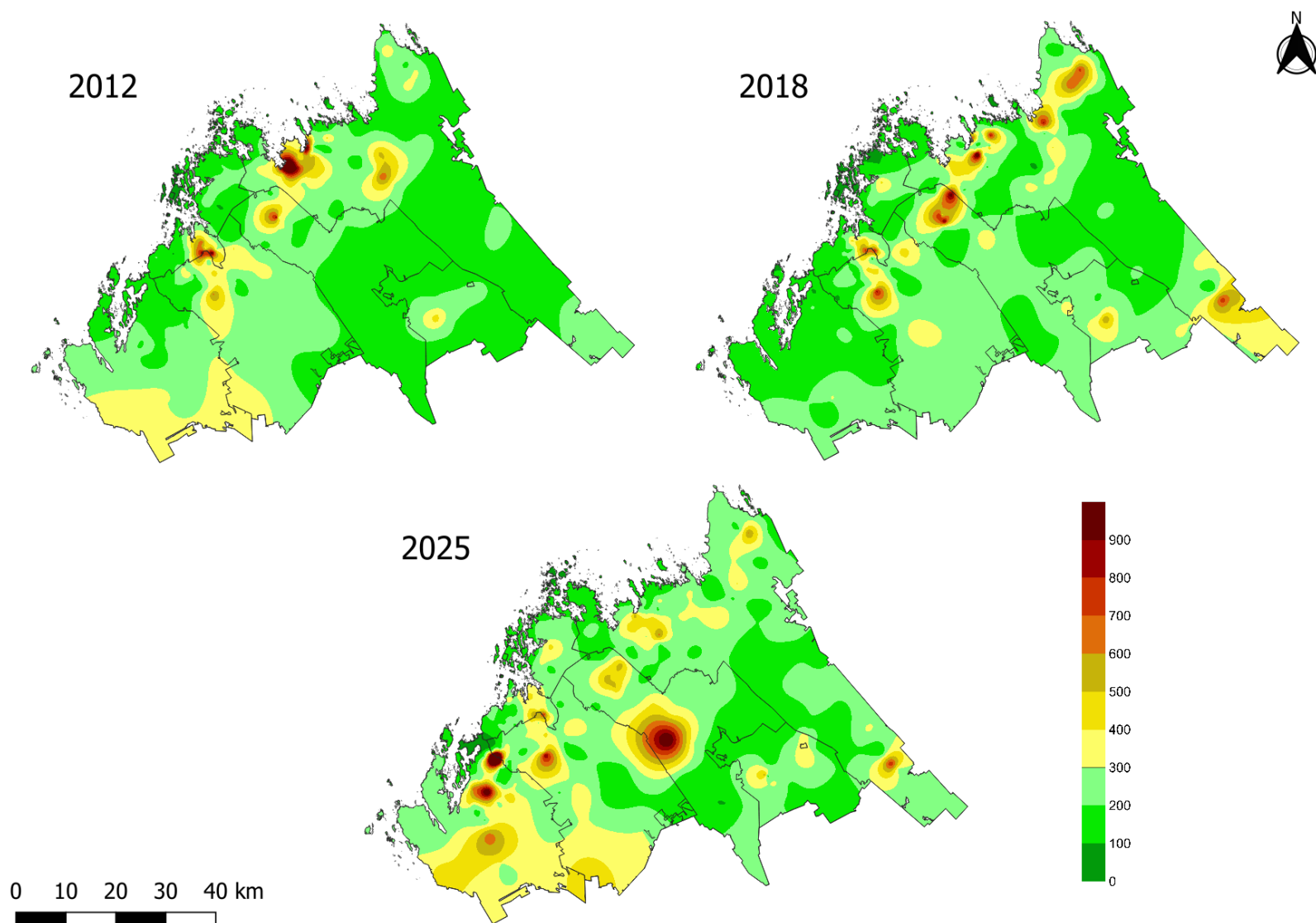
8.12.2025

KJ

Sammal, alkuaine mg/kg	Koko alue			Kaustinen			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
Suurin	0,28	0,28	0,28	0,04	0,07	0,04	0,28	0,28	0,28	0,24	0,16	0,16	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,08	0,06
n	138	138	137	6	6	6	48	48	48	12	12	12	11	11	11	20	20	20	21	21	21	20	20	20

8.12.2025

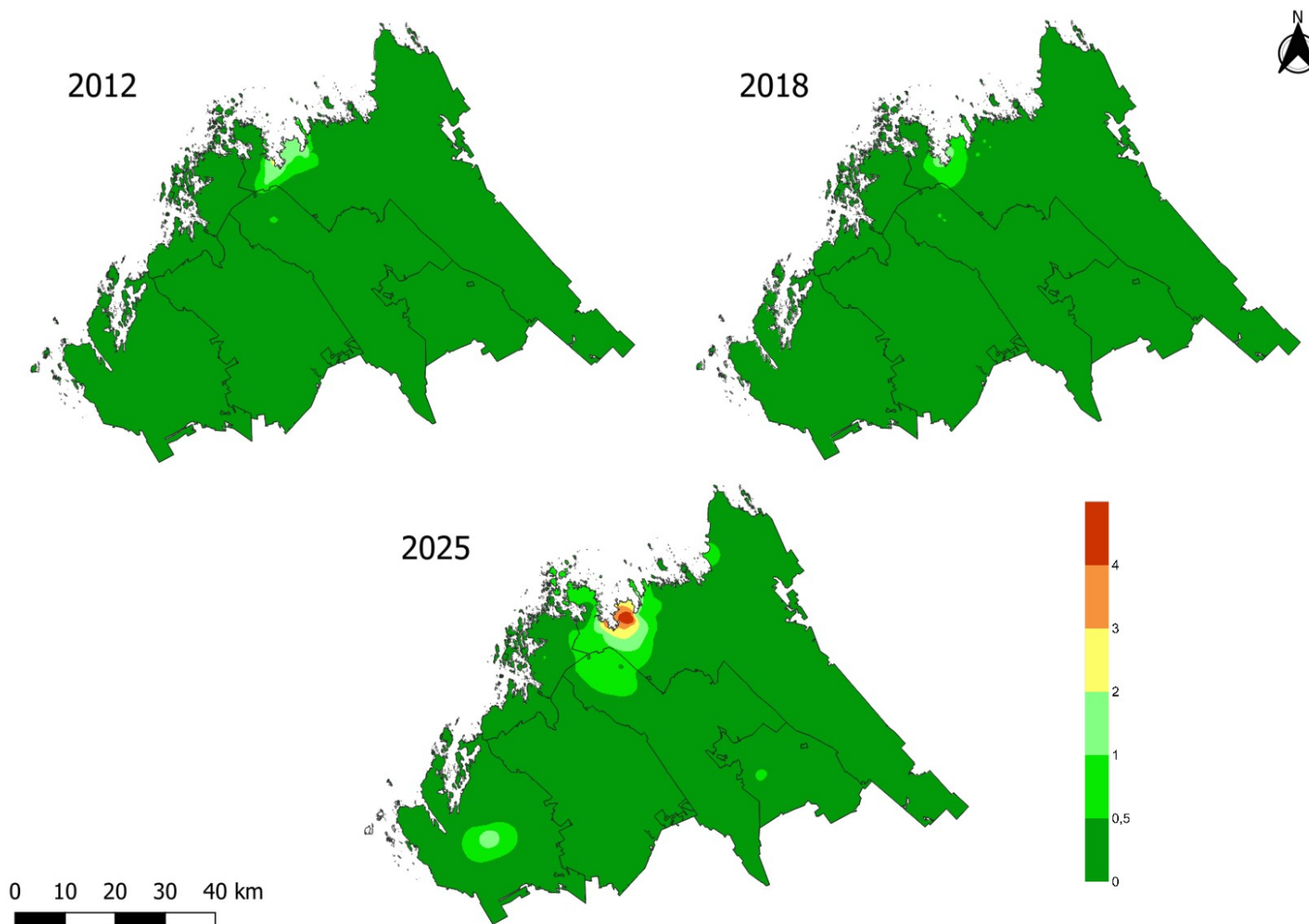
KJ



Kuva 6.10 Sammalen alumiinipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

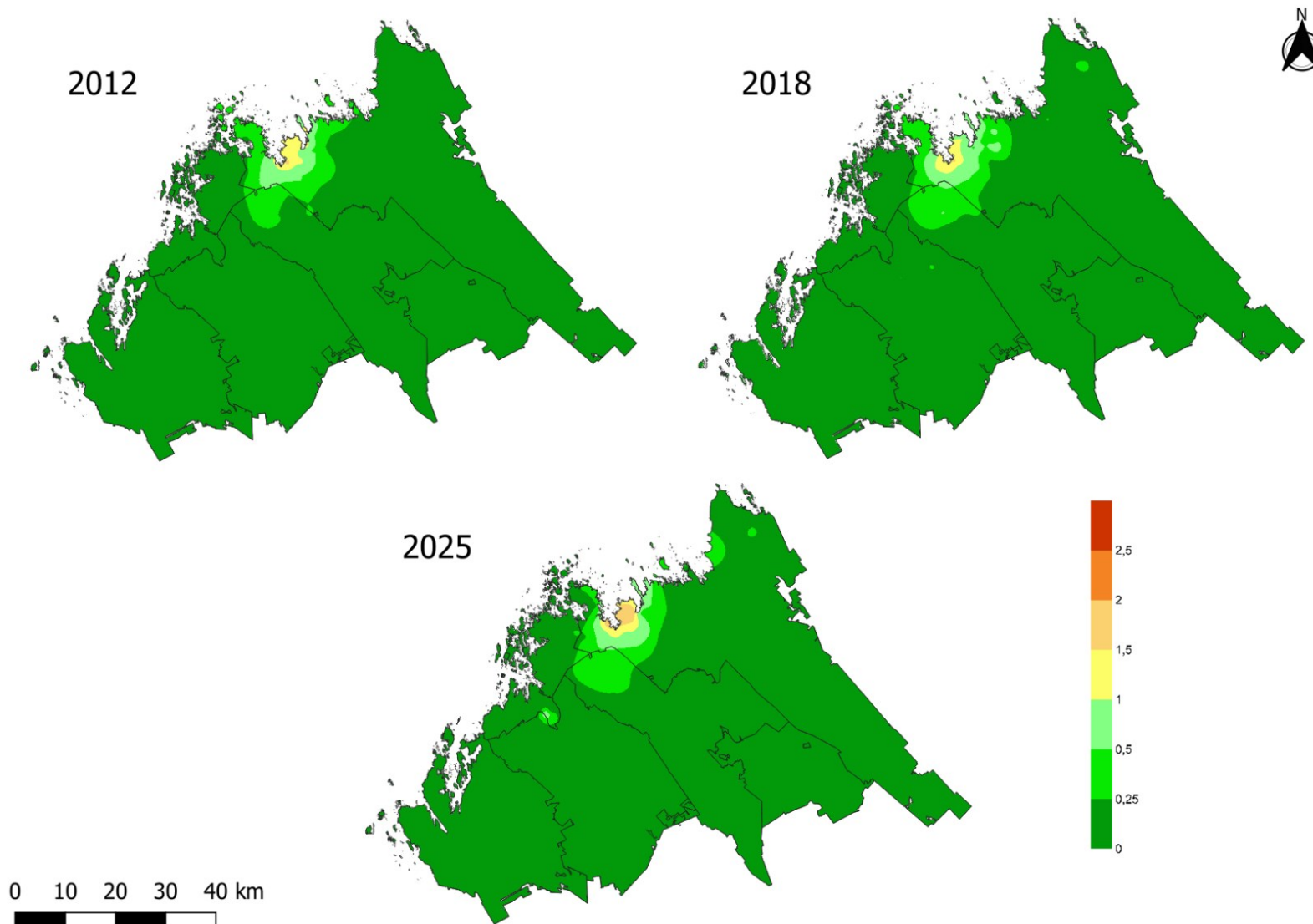
KJ



Kuva 6.11 Sammalen arseenipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

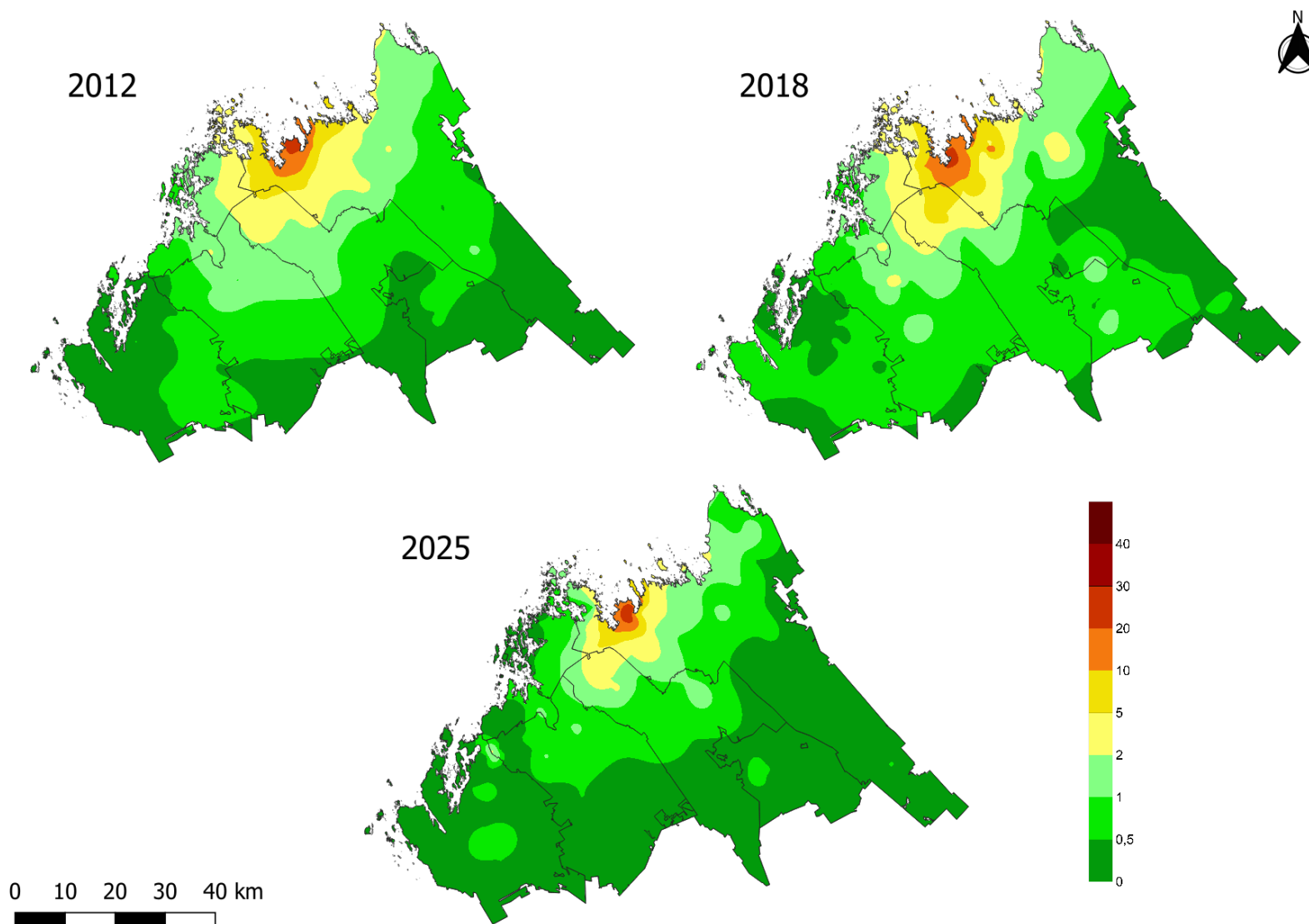
KJ



Kuva 6.12 Sammalen kadmiumpitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

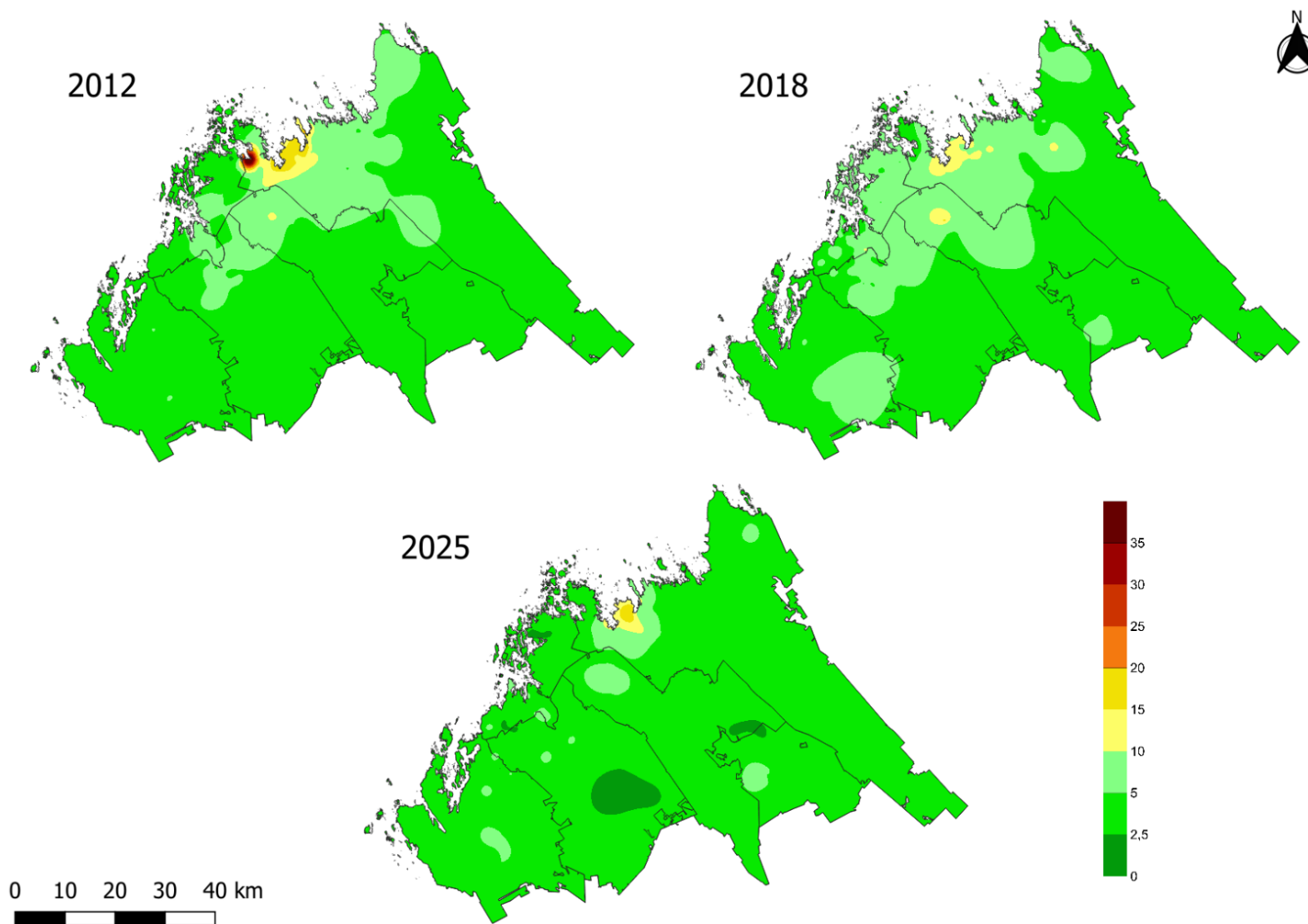
KJ



Kuva 6.13 Sammalen kobolttipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

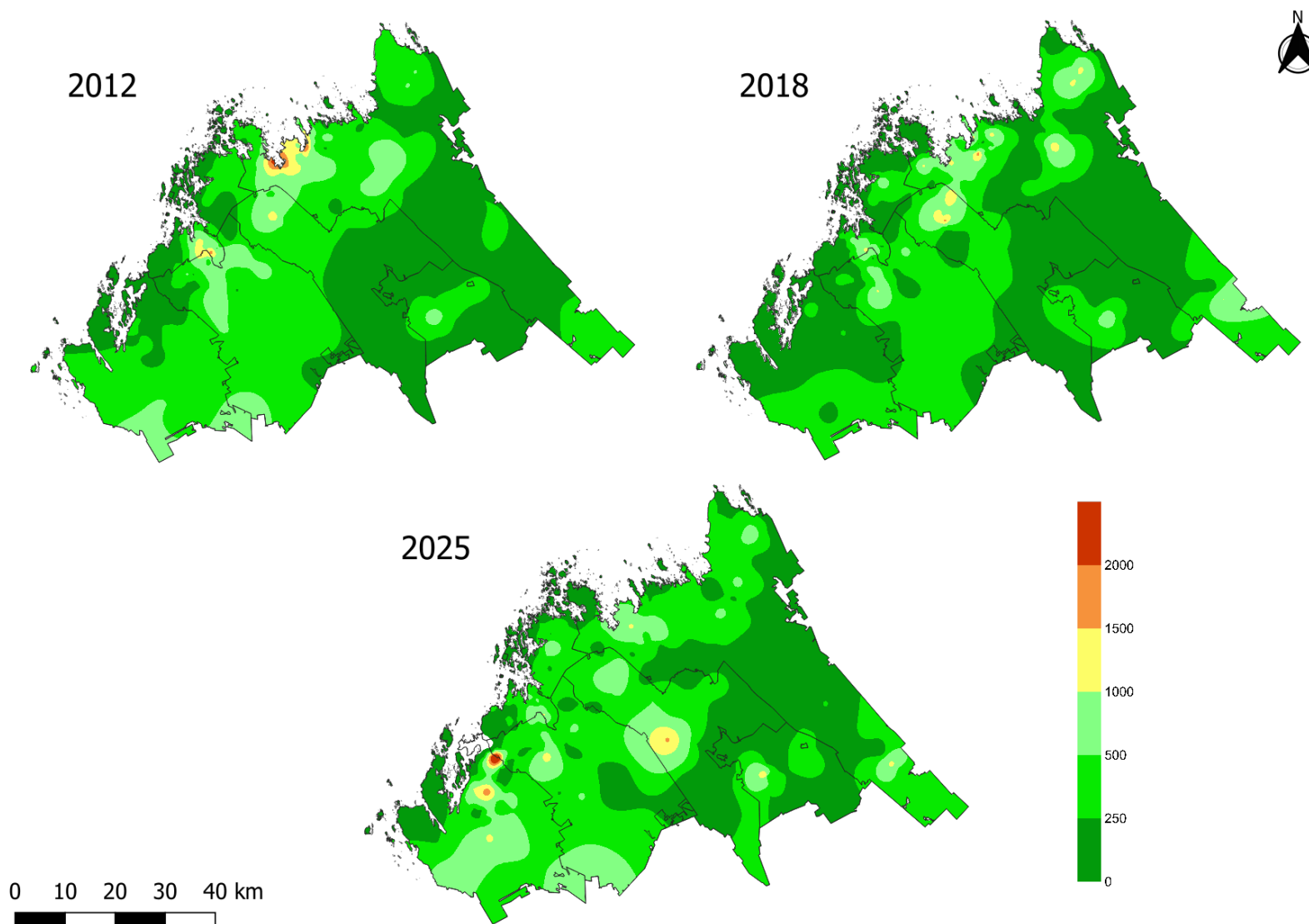
KJ



Kuva 6.14 Sammalen kuparipitoisuudet (mg/kg) tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

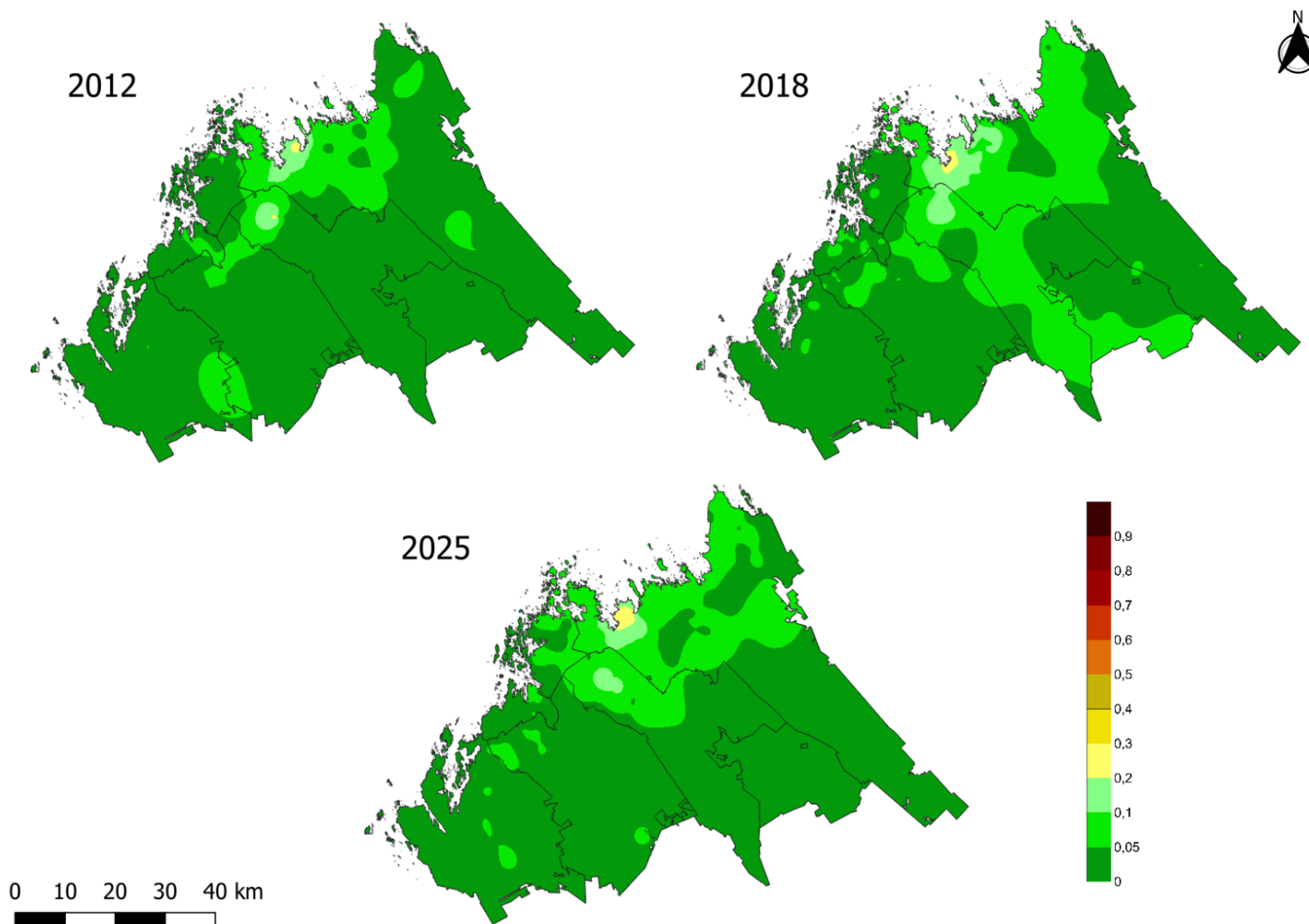
KJ



Kuva 6.15 Sammalen rautapitoisuudet tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

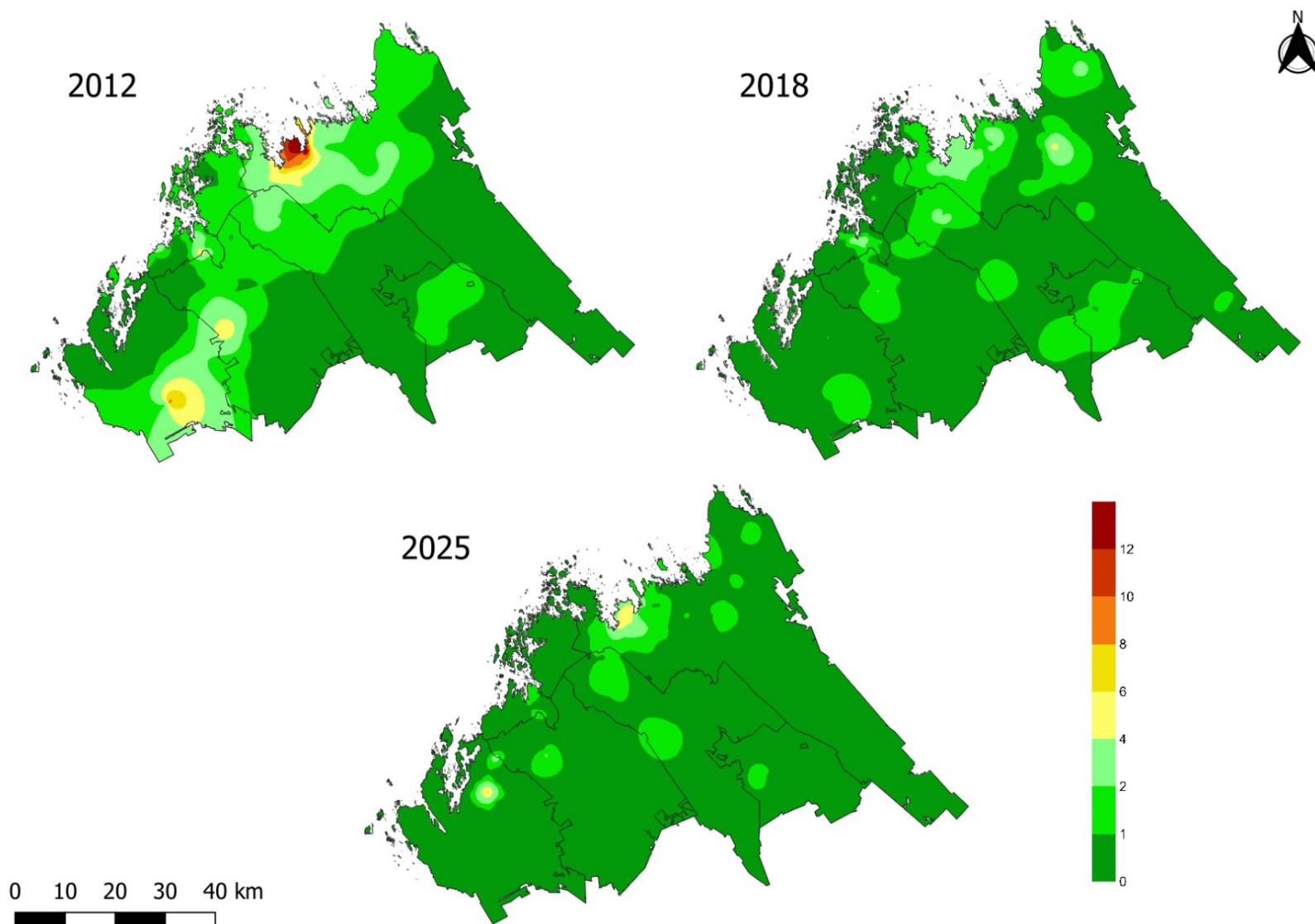
KJ



Kuva 6.16 Sammalen elohopeapitoisuudet tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

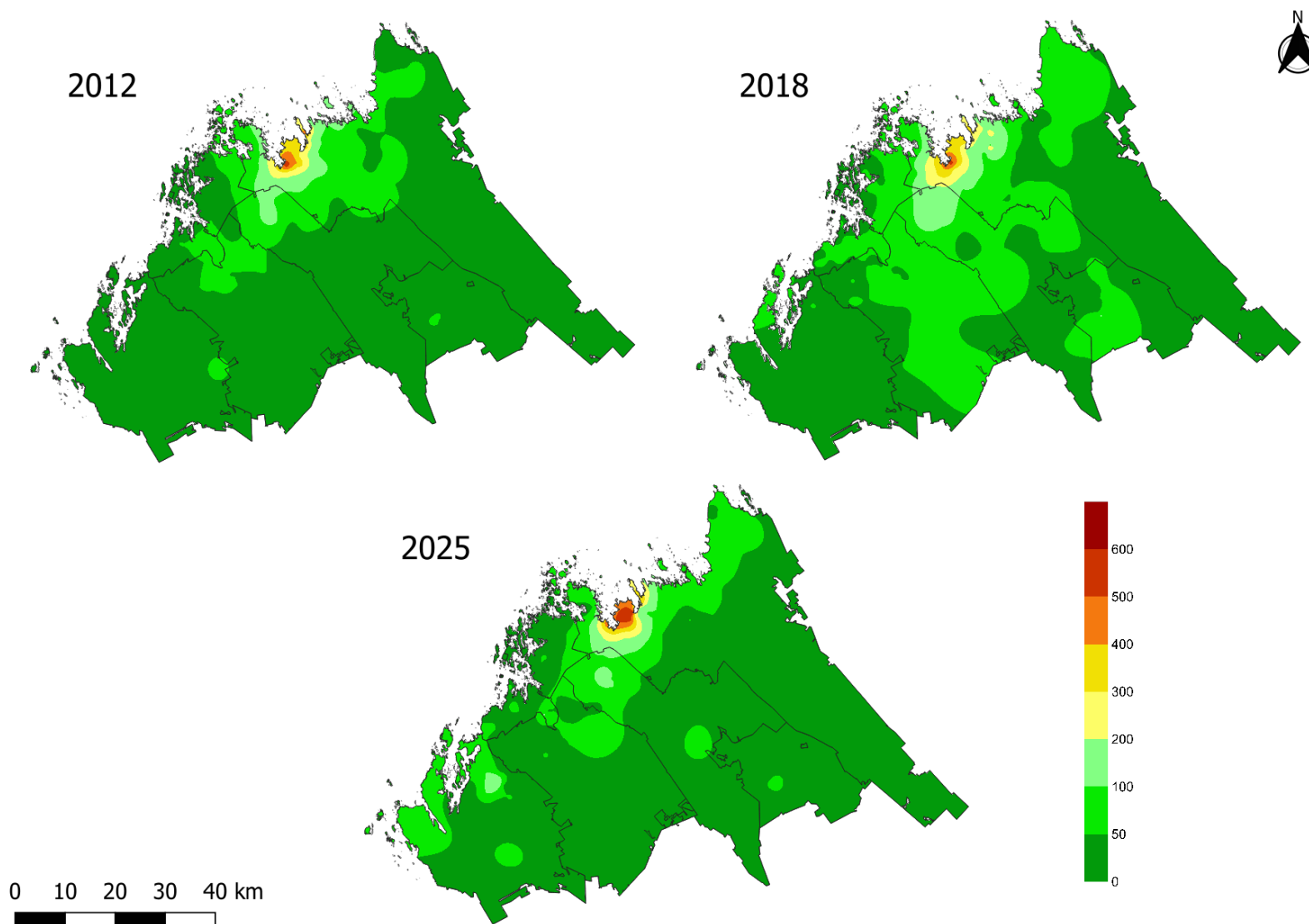
KJ



Kuva 6.17 Sammalen nikkelpitoisuudet tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

8.12.2025

KJ



Kuva 6.18 Sammalen sinkkipitoisuudet tutkimusalueella vuosina 2012, 2018 ja 2025.

6.1.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Humuksen alkuainepitoisuuksien tunnusluvut tutkimusvuosina 2012, 2018 ja 2025 koko alueella ja kunnittain on esitetty taulukossa 6.4. Kokkolan osalta on esitetty erikseen näytealat ja tausta-alat. Muutokset vuosina 2025 ja 2018 havaittujen pitoisuuksien välillä testattiin parittaisella t-testillä. Humuksen alkuainepitoisuuksien vuosien väliseen tarkasteluun on sisällytetty kaikki tutkimusalat, myös vaihtuneet, koska samoina pysyneitä humusaloja oli pieni määrä. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin kuitenkin Kaustisen ja Kokkolan neljä uutta tutkimusalaa, koska ne perustettiin vuonna 2025, eikä niiden alueella ole vertailukohteita. Tutkimusalojen vertailussa oli mukana 41 alaa.

Vuoteen 2018 verrattuna tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi kromin, vanadiinin, natriumin ja rikin pitoisuuksista. Kromin, vanadiinin ja rikin pitoisuudet olivat pienentyneet, ja natriumin pitoisuudet kasvaneet vuoteen 2018 verrattuna. Muiden alkuaineiden pitoisuuksissa ei havaittu tilastollisia eroja.

Vuoteen 2012 verrattuna puolimetallien ja metallien, kuten arseenin, kadmiumin, koboltin, kuparin, nikkelin, ja elohopean pitoisuudet humuksessa olivat laskeneet vuoteen 2025 mennessä. Ainoastaan raudan pitoisuus humuksessa koko alueella kasvoi. Alumiinin osalta tilannetta on vaikeaa arvioida, koska vuonna 2012 sen pitoisuus oli aineiston mukaan 38,3 mg/kg ja vuonna 2025 alumiinin pitoisuus oli 2 348 mg/kg, mikä viittaa virheeseen alumiinin aineistoissa tai sen analysoinnissa, tai siihen, että humuksia ei ole kerätty päästölähteiden läheisyydestä vuonna 2012. Kromin ja lyijyn pitoisuudet humuksessa olivat säilyneet samana vuoteen 2012 verrattuna. Muiden alkuaineiden, pääasiassa ravinteiden pitoisuudet, ovat nousseet vuodesta 2012 vuoteen 2025.

Vuonna 2018 Kaustisiin perustettiin kaksi uutta tutkimusalaa (239 ja 240), joissa humuksen litiumpitoisuudet olivat 1,4 ja 0,85 mg/kg. Vuonna 2025 vastaavat pitoisuudet samoilla aloilla olivat 1,0 ja < 1,0 mg/kg. Litiumpitoisuuksia seurataan myös tulevaisuuden tutkimuksissa.

8.12.2025

KJ

Taulukko 6.4 Humuksen alkuainepitoisuudet kunnittain vuosina 2012, 2018 ja 2025.

Humus, alkuaine mg/kg		Koko alue			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
As	Keskiarvo	15	12	12	15	12	13	2,6	2,2	1,3												
	Pienin	2,6	1,7	1,2	3,1	1,7	1,2	2,6	2,2	1,3												
	Suurin	43	38	36	43	38	36	2,6	2,2	1,3												
	n	15	15	15	14	14	14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cd	Keskiarvo	2,0	2,1	1,9	5,0	5,1	4,7	0,35	0,25	0,13	0,41	0,37	0,48	0,45	0,51	0,39	0,50	0,46	0,37	0,34	0,34	0,29
	Pienin	0,23	0,15	0,13	0,43	0,27	0,37	0,35	0,25	0,13	0,25	0,15	0,35	0,23	0,24	0,21	0,26	0,34	0,23	0,26	0,25	0,16
	Suurin	18	19	17	18	19	17	0,35	0,25	0,13	0,59	0,56	0,72	0,66	0,98	0,72	0,77	0,65	0,60	0,41	0,51	0,55
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4		9	9	9	6	6	6	6	6	6
Co	Keskiarvo	83	73	75	89	77	80	1,0	7,2	0,98												
	Pienin	1,0	2,2	0,98	1,0	2,2	1,3	1,0	7,2	0,98												
	Suurin	260	240	250	260	240	250	1,0	7,2	0,98												
	n	15	15	15	14	14	14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	Keskiarvo	4,4	18	4,2							5,0	11	3,4	3,7	10	4,2	6,3	28	4,7	3,1	25	4,4
	Pienin	2,6	2,0	1,3							3,7	2,8	2,7	2,8	2,0	1,3	4,4	9,3	2,4	2,6	3,1	1,9
	Suurin	8,5	60	13							6,8	28	4,0	4,5	43	11	8,5	60	6,7	3,7	48	13
	n	25	25	25	0	0	0	0	0	0	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Cu	Keskiarvo	68	62	61	173	156	146	7	8	3,2	11	9	15	12	9	9,3	14	18	12	8	8	31
	Pienin	6	6	3,2	10	6	6,5	7	8	3,2	7	6	10	6	6	5,3	10	12	7,6	7	6	5,1
	Suurin	660	710	640	660	710	640	7	8	3,2	14	13	27	17	12	19	20	27	15	9	9	150
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Pb	Keskiarvo	33	109	32							26	35	29	29	115	28	47	65	43	32	192	27
	Pienin	15	16	14							15	16	22	19	16	18	31	35	19	20	24	14
	Suurin	70	980	60							30	46	34	42	770	37	70	140	60	36	980	34
	n	25	25	25	0	0	0	0	0	0	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6

8.12.2025

KJ

Humus, alkuaine mg/kg		Koko alue			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
Ni	Keskiarvo	30	33	25	72	73	59	2,9	17	2,4	8,4	14	11	5,9	9	5,3	9,4	15	7,1	4,5	7,4	4,4
	Pienin	2,9	4	2,4	4,3	7	3,4	2,9	17	2,4	5,5	7	6,0	3,4	6	3,0	5,7	7	4,3	4,0	3,7	2,8
	Suurin	210	230	200	210	230	200	2,9	17	2,4	11	23	22	9,2	14	7,6	16	20	12	5,4	11	6,9
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Zn	Keskiarvo	313	329	364	792	815	918	17	49	27	64	61	143	60	62	55	53	100	59	50	50	40
	Pienin	17	36	12	48	50	55	17	49	27	37	55	40	23	45	26	24	52	33	37	36	12
	Suurin	2700	2820	2700	2700	2820	2700	17	49	27	86	74	370	100	94	81	80	230	84	59	66	63
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
V	Keskiarvo	20	20	15	21	19	15	3,9	30	18												
	Pienin	3,9	6	6,0	6,5	6	6,0	3,9	30	18												
	Suurin	64	58	46	64	58	46	3,9	30	18												
	n	15	15	15	14	14	14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	Keskiarvo	38	2248	2348	51	2198	2371	7,0	4960	3300	14	1528	1825	19	1857	2244	80	3648	2283	18	1578	2700
	Pienin	7,0	810	1100	19	1320	1700	7,0	4960	3300	9,0	1130	1100	11	940	1400	21	1880	1400	10	810	1200
	Suurin	310	6390	5800	160	5800	4300	7,0	4960	3300	19	2420	2900	35	2640	4900	310	6390	3900	27	2020	5800
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
P	Keskiarvo	615	697	710							555	565	700	570	609	640	597	950	760	740	663	790
	Pienin	380	410	430							420	410	630	420	550	430	380	710	580	540	560	560
	Suurin	850	1370	1200							790	660	780	670	670	810	850	1370	950	840	780	1200
	n	25	25	25	0	0	0	0	0	0	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
K	Keskiarvo	537	791	788	474	652	834	350	910	660	523	608	715	681	818	858	512	1160	722	537	808	710
	Pienin	250	400	470	250	500	500	350	910	660	250	480	630	450	400	530	410	560	470	450	590	470
	Suurin	1000	2690	1400	730	900	1 400	350	910	660	670	710	920	1000	2120	1300	600	2690	950	600	1260	1300
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Ca	Keskiarvo	1779	2885	2714	1470	2591	2636	1900	1920	1900	2375	3960	3075	1922	2866	2689	2030	2982	3150	1617	2948	2390
	Pienin	780	480	240	880	480	1300	1900	1920	1900	1800	2510	2200	1100	1350	1700	780	1150	1800	1400	2240	240

8.12.2025

KJ

Humus, alkuaine mg/kg		Koko alue			Kokkola			Kruunupyy			Luoto			Pedersöre			Pietarsaari			Uusikaarlepyy		
		2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025	2012	2018	2025
	Suurin	3700	5440	4900	2200	3960	3800	1900	1920	1900	2900	5440	3600	2800	4620	3300	3700	4400	4900	2000	3790	3200
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Mg	Keskiarvo	319	557	604	288	520	564	340	1480	730	358	698	590	348	553	744	318	447	503	318	510	573
	Pienin	110	300	320	110	330	360	340	1480	730	210	490	440	230	300	380	240	310	350	210	390	320
	Suurin	550	1480	1400	550	940	870	340	1480	730	450	1090	840	480	910	1400	390	530	690	430	650	1400
	n	40	40	40	14	14	14	1	1	1	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Mn	Keskiarvo	134	81	65							210	142	55	149	89	62	71	43	56	123	64	83
	Pienin	34	11	7,5							91	29	20	43	28	13	34	12	27	47	11	7,5
	Suurin	340	330	220							340	330	86	310	170	150	120	100	75	230	160	220
	n	25	25	25	0	0	0	0	0	0	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Na	Keskiarvo	36	68	30	36	67	80	32	72	65												
	Pienin	15	50	0	15	50	65	32	72	65												
	Suurin	94	92	110	94	92	110	32	72	65												
	n	15	15	15	14	14	14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	Keskiarvo	5076	5488	6666	9361	7343	10677	2600	13400		2850	2140	3500	1944	1902	3844	5450	11083	7833	1295	1857	3150
	Pienin	750	990	1300	750	1910	3900	2600	13400		1700	1360	1700	1600	1020	1600	2000	3800	1900	970	990	1300
	Suurin	28000	32300	33000	28000	21000	33000	2600	13400		4700	4350	5700	2400	2710	12000	18000	32300	31000	1700	2960	9700
	n	40	40	38	14	14	13	1	1	0	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
S	Keskiarvo	1320	1644	1504							1243	1453	1425	1322	1442	1379	1353	1973	1567	1333	1747	1683
	Pienin	670	420	710							670	420	1000	1000	1090	710	840	1390	1300	1000	1250	1300
	Suurin	2000	2680	2500							1900	1960	1600	2000	1810	1800	1800	2680	2000	1700	2120	2500
	n	25	25	25	0	0	0	0	0	0	4	4	4	9	9	9	6	6	6	6	6	6
Hg	Keskiarvo	2,2	1,7	2,0	2,4	1,8	2,1	0,31	0,21	0,13												
	Pienin	0,28	0,21	0,13	0,28	0,22	0,23	0,31	0,21	0,13												
	Suurin	8,6	7,1	8,4	8,6	7,1	8,4	0,31	0,21	0,13												
	n	15	15	15	14	14	14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.2 Vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

6.2.1 Mäntyjen runkojäkälät

Jäkälämuuttujien tuloksia vuoden 2025 tutkimuksessa verrattiin muihin Suomessa tehtyihin tutkimuksiin. Sormipaisukarpeen vaurioaste oli samaa suuruusluokkaa Uudenmaan, Porin seudun ja Hämeen tutkimusten kanssa. Viimeisen vuosikymmenen aikana sormipaisukarve on ollut vähemmän vaurioitunutta Porin seudun ja Etelä-Satakunnan, Kainuun sekä Pohjois-Karjalan tutkimuksissa, joissa niissäkin keskimääräinen vaurioituneisuus on ollut lievästä selvään vaurioon. (Taulukko 6.5)

Kokkolan ja Pietarsaaren seudun keskimääräinen lajilukumäärä sekä tutkimuspuu- että -ala kohtaisesti tarkasteltuna on matalampi kuin muilla alueilla. Ilmanpuhtausindeksi on Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla samaa tasoa muiden alueiden kanssa. (Taulukko 6.5)

Sama ilmiö on ollut havaittavissa kaikissa jäkälämuuttujissa myös Kokkolan ja Pietarsaaren vuosien 2018 ja 2012 tuloksia muihin alueisiin verrattaessa. (Taulukko 6.5)

Taulukko 6.5 Sormipaisukarpeen vaurioaste, puu- ja tutkimusalakohtainen lajilukumäärä ja ilmanpuhtausindeksi (IAP) eri puolilla Suomea tehdyissä tutkimuksissa.

Alue	N	Tutkimus- vuosi	Sormipaisu- karpeen vaurio	Laji- määrä /puu	Laji- määrä /ala	IAP
Kokkola-Pietarsaari	244	2025	2,5	3,1	4,1	1,6
Porin seutu ja Etelä-Satakunta ¹⁾	152	2022	2,2	3,6	5,6	1,9
Etelä-Karjala ²⁾	245	2022	2,8	3,9	5,3	2,1
Seinäjoke ja Etelä-Pohjanmaa ³⁾	96	2022	3,0	-	6	1,6
Uusimaa ⁴⁾	501	2020	2,5	5,1	6	1,5
Pohjois-Karjala ⁵⁾	315	2020	1,9	5,5	6,9	2,9
Kokkola-Pietarsaari⁶⁾	240	2018	2,6	3,1	4,1	1,6
Seinäjoke ja Etelä-Pohjanmaa ⁷⁾	97	2017	2,5	-	6,6	2
Kainuu ⁸⁾	52	2015	1,7	4,9	-	-
Uusimaa ⁹⁾	734	2014	2,5	4,4	6,7	1,7
Pori-Harjavalta ¹⁰⁾	57	2014	2,4	3,6	5,7	-
Kanta- ja Päijät-Häme ¹¹⁾	304	2014	2,5	4,5	6	2,4
Vaasan seutu ¹²⁾	53	2013	2,3	4,3	6	1,9
Kokkola-Pietarsaari¹³⁾	238	2012	2,3	3,9	5,2	2,1
Etelä-Karjala ¹⁴⁾	263	2012	2,1	4,9	6,5	2,6
Pohjois-Karjala ¹⁵⁾	300	2010	2,1	6	7,4	2,7
Uusimaa ¹⁶⁾	776	2009	2,2	4,4	7	2
Vakka-Suomi ¹⁷⁾	103	2006	2,1	5,1	6,8	2,2

8.12.2025

KJ

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) Ramboll Finland Oy, 2023 | 10) Nab Labs Oy, 2016a |
| 2) Eurofins Ahma Oy, 2023 | 11) Hämeen ELY-keskus, 2016 |
| 3) Eurofins Ahma Oy, 2022 | 12) Nab Labs Oy, 2016b |
| 4) Uudenmaan ELY-keskus, 2021 | 13) Jyväskylän yliopisto, 2013a |
| 5) Pohjois-Karjalan ELY-keskus, 2021 | 14) Jyväskylän yliopisto, 2013b |
| 6) Jyväskylän yliopisto, 2013 | 15) Pohjois-Karjalan ELY-keskus, 2011 |
| 7) Ahma Ympäristö Oy, 2017 | 16) Uudenmaan ELY-keskus, 2010 |
| 8) Kainuun ELY-keskus, 2017 | 17) Jyväskylän yliopisto, 2008 |
| 9) Uudenmaan ELY-keskus, 2015 | |

6.2.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Tämän tutkimuksen tuloksia verrattiin muihin eri puolilla Suomea saatuihin tutkimustuloksiin. Lisäksi tarkasteluun sisällytettiin metsikön keskimääräistä ravinnetilaa kuvaavia neulasten alkuainepitoisuuksien vertailuarvoja. (Taulukko 6.6)

Vuoden 2025 Kokkolan-Pietarsaaren tuloksista kupari- ja mangaanipitoisuudet olivat suunnilleen vertailuarvojen tasolla. Boori-, sinkki-, rauta-, kalium- ja kalsiumpitoisuus olivat vertailutasoa hieman korkeammat. (Taulukko 6.6)

Kadmium- ja sinkkipitoisuus olivat hieman korkeampia kuin vastaavat keskipitoisuudet muissa tutkimuksissa. Muiden alkuaineiden osalta Kokkola-Pietarsaaren vuoden 2025 keskipitoisuudet ovat samaa tasoa muiden alueiden kanssa. Kokkola-Pietarsaaren neulasten keskimääräinen kupari- ja nikkelpitoisuus olivat laskeneet vuoden 2018 ja 2012 tasolta muiden alueiden tasolle. (Taulukko 6.6)

8.12.2025

KJ

Taulukko 6.6. Neulasten alkuainepitoisuuksia (mg/kg) Kokkola-Pietarsaaren bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2025 ja eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Kokkola-Pietarsaaren tulokset eri vuosina on korostettu.

Alue	Vuosi	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	N %	Ni	P	S	Zn
Kokkola-Pietarsaari	2025	17	3 508	0,15	0,18	2,4	61	5 348	865	463	1,4	0,45	1 360	926	57
Porin seutu ja Etelä-Satakunta ¹⁾	2022		3 800					5 700	850	500	1,4			900	
Seinäjoen seutu ja Etelä-Pohjanmaa ²⁾	2022	15	3 524	0,08	0,16	2,9	80	5 700	940	400	1,4	0,79	1 396	960	46
Kokkola-Pietarsaari³⁾	2018	12	3 874	0,13	0,13	3,3	66	5 607	790	432	1,5	0,94	1 355	947	49
Seinäjoki ja Etelä-Pohjanmaa ⁴⁾	2017	15	3 886	0,08	0,67	2,6	59	5 973	1 005	411	1,3	0,60	1 450	943	46
Kainuu ⁵⁾	2015	8	2 590	0,09	0,40	2,6	35	4 280	720	602	1,2	0,97	1 180	770	35
Pori-Harjavalta ⁶⁾	2014		4 363					4 504	760	700	1,4			1 100	
Kanta- ja Päijät-Häme ⁷⁾	2014	20	4 210					4 560	830		0,9			1 060	
Vaasan seutu ⁸⁾	2013	18	3 521			2,8		5 379	899	508	1,5		1 490	1 067	
Kokkola-Pietarsaari⁹⁾	2012	16	2 881	0,13	0,16	3,2	94	5 499	783	388	1,4	0,94	1 355	947	49
Vaasan seutu ¹⁰⁾	2006	19	3 475	0,12	0,16	2,4	74	5 254	880	519	1,5	0,60	1 527	1 037	51
Seinäjoki ¹¹⁾	2006	15	3 218	0,08	0,13	2,2	68	4 697	879	413	1,5	0,41	1 461	971	45
Vakka-Suomi ¹²⁾	2006	19	3 524		0,10	2,6	58	5 077	887	564	1,6	0,47	1 531	1 088	52
Turku ¹³⁾	2005		4 400					5 600	1 000	650	1,6			1 100	
Vertailuarvo (Taulukko 3.9)		12,1	1 850-2 280			2,6-3,2	46,4	4 820-4 870	990-1 070	409-555	1,2		1 460-1 520	940	40-46

¹⁾ Ramboll Finland Oy, 2024²⁾ Eurofins Ahma Oy, 2022³⁾ Eurofins Ahma Oy, 2020⁴⁾ Eurofins Ahma Oy, 2017⁵⁾ Ahma Ympäristö Oy, 2017⁶⁾ Nab Labs Oy, 2016a⁷⁾ Hämeen ELY-keskus, 2016⁸⁾ Nab Labs Oy, 2016b⁹⁾ Jyväskylän yliopisto, 2013b¹⁰⁾ Jyväskylän yliopisto, 2008b¹¹⁾ Jyväskylän yliopisto, 2008a¹²⁾ Jyväskylän yliopisto, 2008c¹³⁾ Jyväskylän yliopisto, 2006¹⁴⁾ Reinikainen ym. 1998, Braekke 1994, Mälkönen 1991 ja Raitio 1994 mukaan

6.2.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Vuoden 2025 tutkimuksen sammalen alkuainepitoisuuksia on verrattu muihin eri puolella Suomea tehtyihin tutkimuksiin (Taulukko 6.7). Tarkasteluun on sisällytetty maakunnallisten bioindikaattoritutkimusten tulosten lisäksi pitoisuuksia Metlan koko Suomen laajuisesta tutkimuksesta vuonna 2010.

Kromin, kuparin ja nikkelin keskimääräiset pitoisuudet olivat Metlan aineiston pitoisuuksia pienempiä. Muiden tutkittujen alkuaineiden osalta Kokkolan-Pietarsaaren vuoden 2025 pitoisuudet olivat Metlan aineiston pitoisuuksia suurempia. (Taulukko 6.7)

Kokkolan ja Pietarsaaren seudun elohopea-, kadmium-, lyijy- ja sinkkipitoisuus olivat korkeampia kuin muilla alueilla. Magnesium-, nikkeli- ja rikkipitoisuus olivat hieman muuta maata matalampia. Muiden alkuaineiden pitoisuudet Kokkolan-Pietarsaaren seudulla olivat samalla tasolla muiden tutkimusten keskipitoisuuksien kanssa. (Taulukko 6.7)

8.12.2025

KJ

Taulukko 6.7. Sammalen alkuainepitoisuuksia (mg/kg) tässä tutkimuksessa sekä eri puolilla Suomea tehdyissä tutkimuksissa. Kokkola-Pietarsaaren tulokset vuosilta 2025, 2018 ja 2012 on korostettu.

Alue	Tutkimus- vuosi	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Ni	P	Pb	S	V	Zn
Kokkola-Pietarsaari	2025	283	0,40	0,23	0,72	4,4	391	0,05	990	0,96	1228	3,7	718	0,85	71
Porin seutu ja Etelä-Satakunta ¹⁾	2022		0,13	0,15	1,5	11	240	0,03		3,6		1,0		0,50	30
Seinäjoen seutu ja Etelä-Pohjanmaa ²⁾	2022		0,88	0,11	9,6	7,2	1 200	0,04		5,4		1,5		2,2	47
Pohjois-Karjala ³⁾	2020		0,07	0,11	0,56	5,3	190		1300	1,2	1600	0,57	750	0,56	34
Kokkola-Pietarsaari⁴⁾	2018	250	0,2	0,23	0,76	5,7	336	0,06	1188	1,1	1335	2,3	869	0,83	80
Seinäjoki ja Etelä-Pohjanmaa ⁵⁾	2017	407	0,7	0,07	16	5,9	728	0,03	1374	8,6	1281,0	0,92	754	1,67	32
Kainuu ⁶⁾	2015		0,09	0,12	0,92	4,1	232	0,04		3		1,8		1,1	30
Pori-Harjavalta ⁷⁾	2014		0,50	0,34	0,9	28	286	0,05		8,6		2,2		0,85	41
Kanta- ja Päijät-Häme ⁸⁾	2014			0,17	1,1	5,8		0,04		1,4		3,1		1,4	41
Kokkola-Pietarsaari⁹⁾	2012	268	0,23	0,24	1,1	6,0	435	0,05	1084	2,1	1336	2,6	979	1,1	74
Seinäjoki ¹⁰⁾	2012	285	0,38	0,11	3,6	5,8	439	0,03	1389	2,6	1552	1,1	945	1,2	32
Pohjois-Karjala ¹¹⁾	2010		0,16	0,16	1,7	5,2	431		1171	2,5	1345	1,9	922	1,6	38
Metla ¹²⁾	2010		0,11	0,12	0,97	5,0	243	0,04		2,5		2,1		1,1	31

¹⁾ Ramboll Finland Oy, 2024

²⁾ Eurofins Ahma Oy, 2022

³⁾ Pohjois-Karjalan ELY-keskus, 2021

⁴⁾ Eurofins Ahma Oy, 2020

⁵⁾ Ahma Ympäristö Oy, 2017

⁶⁾ Kainuun ELY-keskus, 2017

⁷⁾ Nab Labs Oy, 2016a

⁸⁾ Hämeen ELY-keskus, 2016

⁹⁾ Jyväskylän yliopisto, 2013a

¹⁰⁾ Ramboll Finland Oy, 2012

¹¹⁾ Pohjois-Karjalan ELY-keskus, 2011

¹²⁾ Metla, 2010

6.2.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Humuksen keskipitoisuuksia verrattiin eri puolella Suomea tehtyihin vastaavien tutkimusten tuloksiin (Taulukko 6.8). Arseeni-, nikkeli-, elohopea-, kadmium-, koboltti-, kupari- nikkeli- ja sinkkipitoisuus olivat koko Suomen ja pääkaupunkiseudun taustatasoa korkeampia (sarake Helsinki, luonnonmaat 2010).

Alumiini-, boori-, kalsium- kromi-, rauta-, kalium-, magnesium-, natrium-, fosfori-, lyijy-, rikki- ja vanadiinipitoisuus olivat suunnilleen muun maan tutkimusten tasolla. Mangaanipitoisuus oli muuta maata pienempi.

Taulukko 6.8 Humuksen alkuainepitoisuuksia eri puolilla Suomea tehdyissä tutkimuksissa.

Alku- aine mg/kg	Kokkola- Pietar- saari 2025	Boliden Kevitsa 2025 ¹⁾	Kokkola- Pietarsaari 2018 ²⁾	Kanta- ja Päijät- Häme 2016 ³⁾	Kokkola- Pietar- saari 2012 ⁴⁾	Helsinki, luonnon- maat 2010 ⁵⁾	Pääkaupun- kiseudun kehyskunnat 2004–2005 ⁶⁾	Koko Suomi 2001– 2002 ⁷⁾
Al	2 327	-	2 245	-	3 825	-	4 056	1960
As	9,1	-	12	-	15	4	2,1	1,3
B	7,8	-	2,4	-	2,6	-	4,5	5,0
Hg	1,5	-	1,7	-	2,2		0,2	0,2
Ca	2 673	-	2 885	-	1 779		4 264	2 610
Cd	1,7	-	2,1	0,4	2,0	0,3	0,4	0,3
Co	54	5,8	73	-	83	3	2,1	1,1
Cr	4,2	40	18	11	4,4	15	8,5	3,9
Cu	54	64	62	17	68	21	10	7,9
Fe	6 551	-	5 488	-	5 076	-	5 336	2 250
K	790	-	791		537	-	118	927
Mg	611	-	557	-	319	-	1 112	531
Mn	65	-	81	-	134	-	425	187
Na	72	-	68	-	36	-	100	50
Ni	22	60	33	9,4	30	10	7,5	4,6
P	714	-	697	-	615	-	878	742
Pb	32	-	109	51	33	69	55	31
S	1 504	-	1 644	-	1 320	-	1 518	1 230
V	13	9	20	20	20	24	16	6,9
Zn	318	47	329	68	313	62	68	41

¹⁾ Eurofins Ahma Oy 2025

²⁾ Eurofins Ahma Oy 2019

³⁾ Hämeen ELY-keskus 2016

⁴⁾ Jyväskylän yliopiston Ympäristöntutkimus-
keskus 2013

⁵⁾ Helsingin ympäristökeskus 2010

⁶⁾ GTK 2006

⁷⁾ Salminen ym. 2003

7 Johtopäätökset

Kokkolan ja Pietarsaaren seutujen ilmanlaatua on seurattu useiden vuosikymmenien ajan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimusten avulla. Kokkolan seudulla ensimmäiset selvitykset on tehty 1970-luvulla ja Pietarsaaren seudulla vuonna 2000, ja vuodesta 2012 alkaen seuranta on toteutettu alueilla yhtenäisenä. Ilmanlaadun bioindikaattoreina käytettiin männyn runkojäkälää ja männyn neulasten, seinäsammalen ja humuksen alkuainepitoisuuksia ja kemiallisia ominaisuuksia.

Kokkolan ja Pietarsaaren seudulla sijaitsee merkittäviä suurteollisuuden ja energiantuotannon keskittymiä, joista aiheutuu hiukkasten, typen, rikin ja raskasmetallien päästöjä. Lisäksi päästöjä aiheutuu hajapäästöinä myös liikenteestä ja karjataloudesta. 1980-luvun jälkeen paikallisen teollisuuden aiheuttamat päästöt ja kaukokulkeuma ovat vähentyneet merkittävästi piipunpääteknologioiden käyttöönoton seurauksena. Liikenteen päästöt ovat niin ikään vähentyneet autokannan uusiutuessa. Alueella on runsaasti karjataloutta ja etenkin turkistarhausta, joista aiheutuu typpipäästöjä matalina hajapäästöinä. Nämä hajapäästöt eivät todennäköisesti kulkeudu kovin laajalle alueelle, mutta niillä voi olla selviä vaikutuksia paikallisesti. Näiden hajapäästöjen kehitys liittyy tilojen lukumäärään ja eläinmääriin. Turkistarhaus on elinkeinona ollut vähenemään päin koko Suomessa. Hajapäästöjä aiheutuu lisäksi esimerkiksi turvetuotannosta ja maa-ainesten otosta, tosin lukumääräisesti näitä päästölähteitä on vähemmän kuin eläinsuojia.

Suurin osa tutkimusalueen rikkipäästöistä on peräisin Kokkolan ja Pietarsaaren suurteollisuudesta ja energiantuotannosta. Hiukkas- ja typpipäästöistä merkittävin osa muodostuu Pietarsaaressa. Metallipäästöistä suurin osa on peräisin Kokkolan alueelta, lukuun ottamatta elohopeaa, kuparia ja lyijyä.

Teollisuuden rikkidioksidipäästöjen kokonaismäärä on ollut tasaisessa laskussa 2000-luvun alkupuolelta lähtien. Teollisuuden typen oksidien kokonaispäästöt ovat säilyneet samalla tasolla Kokkolassa läpi 2000-luvun, mutta Pietarsaaren typpipäästöissä on ollut enemmän vaihtelua. Vuoden 2018 jälkeen teollisuuden rikkipäästöt ovat olleet matalammalla tasolla kuin edellisellä tarkastelujaksolla vuosina 2012–2018. Typpipäästöt ovat pysyneet vuosina 2018–2024 Kokkolassa samalla tasolla, kun taas Pietarsaaressa päästöt ovat laskeneet hieman. Metallipäästöt ovat laskeneet tasaisesti 1990-luvulta alkaen ja pysyneet melko vakiintuneella tasolla läpi 2000-luvun, joskin metallipäästöissä on ollut hieman nousua vuoden 2018 jälkeen. Suurin osa metallipäästöistä koostuu sinkistä. Liikenteen päästöt ovat molemmissa kunnissa laskeneet tasaisesti koko 2010-luvun.

Jäkälistä sormipaisukarve oli keskimäärin selvästi vaurioituneen ja lievästi vaurioituneen välimaastossa. Lajisto oli keskimäärin köyhtynyttä sekä lajimäärän että IAP-indeksin perusteella. Ilman epäpuhtauksien vaikutus tutkittuihin indikaattoreihin oli selkeästi havaittavissa voimakkaasti kuormitetuilla aloilla. Vaurioitunein sormipaisukarve ja köyhtynein lajisto

sijaitsivat aloilla, jotka sijoittuivat teollisuusalueiden, kuntien keskustojen ja turkistarhakeskittymien läheisyyteen. Tällaisia alueita oli Kokkolan Ykspihlajan alueella, Pietarsaassa, Uudenkaarlepyyn ja Pedersören pohjoisosassa sekä Kaustisella. Jäkälälajiston suhteen luonnontilaisimmat tutkimusalat sijaitsivat hajanaisesti Kokkolan Kokkolan keski- ja länsiosissa, Luodossa ja Pedersören pohjoisosissa. Lajisto oli luonnontilaiseksi luokiteltavaa lähinnä yksittäisillä aloilla siellä täällä, enemmän kuin laajemmilla vyöhykkeillä. Kokkolan-Pietarsaaren alueella suurin osa jäkälätunnuksista oli vuonna 2025 samalla tasolla muiden Suomessa viime vuosina tehtyjen tutkimusten kanssa. Vain jäkälälajisto oli muita alueita köyhtyneempää. Yleisimmät havaitut jäkälälajit olivat keltatyvikarve ja sormipaisukarve. Epäpuhtauksista, etenkin typpikuormituksesta, hyötyviä levää ja seinäsuomujäkälää esiintyi noin kolmanneksella tutkimuspuista. Epäpuhtauksille herkistä lajeista lupot olivat yleistyneet edelliseen tutkimukseen verrattuna.

Jäkälämuuttujat kuvastivat sekä päästölähteiden läheisyyttä että kasvupaikan luontaisten tekijöiden vaikutusta. Taustatekijöistä metsätyyppillä ja alan soveltuvuudella havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys jäkälien lajimäärään ja vaurioituneisuuteen. Metsätyyppi kuvaa alan ravinnetasoa ja soveltuvuus alan mikroilmastoa jäkälien kannalta sekä puita varjostavan aluskasvillisuuden määrää tutkimusalalla. Lajilukumäärä ja IAP-indeksi olivat keskimäärin korkeampia karummissa metsätyypeissä. Vaurioasteet olivat pienempiä karummilla metsätyypeillä. Levän runsaus puiden rungoilla puolestaan oli yleisempää rehevillä kasvupaikoilla.

Alan sijoittumisella alle 1 km, alle 2 km tai 5 km etäisyydelle lupavelvollisesta päästölähteestä oli vaikutusta kaikissa etäisyysluokissa IAP-indeksiin, lajilukumääriin ja levän yleisyyteen. Alan sijoittuminen 1 tai 2 km säteelle lupavelvollisesta päästölähteestä lisäsi sormipaisukarpeen vaurioastetta. Jäkälien peittävyteen sijainnilla ei ollut vaikutusta.

Selvin yhteys jäkälämuuttujien ja eri päästölähteen toimialan välillä oli matalilla hajapäästölähteillä, kuten turkistarhoilla ja turvetuotantoalueilla. Turkistarhojen läheisyys vaikutti laskevasti IAP-indeksiin ja herkkien lajien lukumäärään tutkimusaloilla, sekä sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyteen. Vastaavasti turkistarhojen läheisyydessä jäkälälajisto oli vaurioituneempaa ja levää esiintyi enemmän. Ilmiötä selittää tarhojen typpikuormitus. Turvetuotantoalueiden läheisyydessä IAP-indeksi ja lajilukumäärä olivat suurempia kuin kauempana niistä, ja jäkälälajisto sekä sormipaisukarpeen osalta, että yleisesti vähemmän vaurioitunutta. Myös levää esiintyi enemmän kauempana turvetuotantoalueista. Turvetuotannolla ei kuitenkaan arvioida todellisuudessa olevan merkittävää vaikutusta jäkälämuuttujiin, ja alueen turvetuotantoalueet sijaitsevat alueilla, joilla muita kuormitustekijöitä ei yleensä ole, mikä voi selittää myös lajiston monipuolisuutta ja kuntoa. Turvetuotantoalueita oli päästöaineistossa vain yhdeksän kappaletta, mikä entisestään lisää tuloksen epävarmuutta.

Lähimmän eläinsuojan ja lähimmän energiantuotantolaitoksen läheisyys vähensi sormipaisukarpeen peittävyttä. Yhteys havaittiin myös maa-ainestoiminnalla ja vaurioituneemmalla sormipaisukarpeella niiden läheisyydessä. Heikko yhteys havaittiin myös IAP-indeksin pienemisellä teollisuuslaitosten läheisyydessä. Kokkolassa ja Pietarsaassa sijaitsee lukuisia

teollisuus- ja energiantuotantolaitoksia, joiden päästökorkeus on suuri, jolloin epäpuhtaudet laimenevat ilmassa ja leviävät laajalle alueelle, ja niiden vaikutuksetkin voivat jäädä suhteellisen vähäisiksi. Lisäksi rannikolla vallitsevat etelänsuuntaiset tuulet, jotka kuljettavat päästöjä merelle. Teollisuuslaitosten luokkaan sisältyy niin pieniä kuin suuria laitoksia, joiden vaikutukset jäkälälajistoon voivat erota huomattavasti toisistaan, mikä voi vaikeuttaa vaikutusten huomaamista. Suurten teollisuuslaitosten on todettu vaikuttavan jäkäliin, mutta pienemmillä laitoksilla yhteys ei ole yhtä selkeä (esim. Jyväskylän yliopisto, 2013a). Turkistarhoja, turvetuotantoa ja maa-ainesalueita lukuun ottamatta muilla hajapölypäästöillä ei ollut vaikutusta jäkälien kuntoon.

Vaikka erityisesti rikkipäästöt ovat olleet laskusuunnassa pitkään, ja muutkin päästöt suhteellisen vakiintuneella tasolla, jäkälissä ei havaittu alueellista paranemista vuoden 2018 tasosta ja useat jäkälätunnukset olivat heikommalla tasolla kuin vuonna 2012.

Neulasten typpipitoisuus kuvasi pääasiassa metsiköiden luontaista ravinnetilaa. Typpipitoisuus latautui pääkomponenttianalyysissä samalle faktorille useiden muiden ravinnealkuaineiden kanssa. **Neulasten rikkipitoisuus** puolestaan kuvasi enemmän ilman välityksellä leviävää kuormitusta kuin ravinnetilaa, sillä rikki latautui samalle faktorille useimpien metallien kanssa. Karttatarkastelujen perusteella suurimmat rikkipitoisuudet esiintyivät eniten kuormitetuilla alueilla. Vuosien välisen vertailun perusteella lupavelvollisten laitosten rikkipitoisuudet tutkimusalueella ovat laskeneet vuoden 2018 tasosta lähelle vuoden 2012 tasoa. Vuosina 2018–2024 teollisuuden rikkipäästöt ovatkin olleet matalammalla tasolla kuin aiemmin 2000-luvulla, mikä selittää myös neulasten rikkipitoisuuksien laskua.

Sammalten rikkipitoisuus ei latautunut yksiselitteisesti millekään faktorille, ja sen pitoisuus kuvasi tasapuolisesti sekä päästöjen vaikutusta että ravinnetilaa. Jossain määrin myös sammalissa havaittiin suurempia rikkipitoisuuksia lähellä kuormitetuimpia alueita, kuten Kokkolan Ykspihlajassa, mutta sammalissa rikkipitoisuus ei mukaillut yhtä tarkasti kuormituslähteitä kuin neulaspitoisuuksissa.

Alueen lupavelvollisten laitosten metallipäästöt ilmaan ovat olleet hieman suuremmat 2018–2024 kuin edeltävällä tarkastelujaksolla (2012–2017). Neulasten metallipitoisuuksia tarkasteltaessa arseenin, magnesiumin ja mangaanin pitoisuudet olivat nousseet tilastollisesti merkitsevästi verrattuna vuoteen 2018. Sinkin ja vanadiinin osalta eroa ei havaittu, ja muiden alkuaineiden osalta pitoisuudet olivat laskeneet verrattuna vuoteen 2018.

Vuoteen 2012 verrattuna vuonna 2025 sammalten alkuainepitoisuudet olivat pienentyneet arseenia, kadmiumia, lyijyä, sinkkiä, natriumia ja elohopeaa lukuunottamatta. Sammalen alumiini-, arseeni-, natrium- ja rautapitoisuudet ovat kuitenkin kasvaneet jonkin verran vuodesta 2018. Kadmiumin, kromin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet ovat vähentyneet vuodesta 2018. Muiden alkuaineiden pitoisuuksissa ei ollut tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta. Karttatarkastelun perusteella elohopean, sinkin ja koboltin suuret pitoisuudet ovat keskittyneet aiempaa selkeämmin rannikon kuormitetuimmille alueille, ja Kokkolan Ykspihlaja erottui lähes kaikissa alkuaineissa korkeammilla pitoisuuksillaan. Vastaavasti vähemmän

8.12.2025

KJ

kuormitetuilla alueilla etenkin tutkimusalueen etelä- ja keskiosissa pitoisuudet olivat koboltin, kuparin, elohopean, nikkelin ja sinkin osalta laskeneet.

Erot muutoksissa voivat johtua paitsi eri metallijakeiden suhteellisista osuuksista ilmaan johdettavissa päästöissä, myös paikallisista leviämisolosuhteista ja säästä. Sammaliin pitoisuudet kertyvät pääasiassa laskeuman kautta, mutta neulasiin niitä kertyy myös juurien kautta. Rankkasateet huuhtovat latvustoa ja voivat laskea latvuspitoisuuksia, mutta vastaavasti myös nostaa sammalten pitoisuuksia laskeuman kautta. Lumipeite vaikuttaa niin ikään siihen, miten laskeuma saavuttaa sammalen.

Humuksesta mitatut raskasmetallipitoisuudet korreloivat voimakkaasti keskenään, mikä tarkoittaa sitä, että alueilla, joissa raskasmetallipitoisuudet olivat korkeita, myös muita raskasmetalleja oli enemmän. Lisäksi alumiinin ja kalsiumin välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio, mikä on merkki siitä, että alumiini on voinut syrjäyttää ravinneaineita kuten kalsiumia maaperästä alumiinin hyvän kiinnittymisvoimakkuuden myötä.

Vuodesta 2012 vuoteen 2025 katsoen lähes kaikkien puolimetallien ja metallien pitoisuudet humuksessa olivat pienentyneet. Muiden alkuaineiden, pääasiassa ravinteiden, pitoisuudet ovat nousseet vuodesta 2012. Suurin osa humuksen alkuainepitoisuuksista oli suunnilleen samalla tasolla muiden Suomessa tehtyjen tutkimusten kanssa, mutta verrattuna pääkaupunkiseudun taustapitoisuuksiin ja koko Suomen aineistoon, pitoisuudet olivat Kokkola-Pietarsaareissa suurempia. Neulasten ja sammalten keskiarvoja alentaa runsas näytealojen määrä, kun taas humusnäytealat ovat keskittyneet Kokkolan-Pietarsaaren seudulla kuormitetuille alueille, mikä nostaa keskipitoisuuksia.

Kokkolan-Pietarsaaren seudulla oli vuonna 2025 tutkituissa indikaattoreissa edelleen nähtävissä selkeästi ihmistoiminnan vaikutus. Selkeimmin jäkäliin vaikutti turkistarhaus. Lisäksi teollisuustoiminnalla on vaikutuksia jäkälälajistoon. Vaikutuksen voimakkuus riippuu merkittävästi päästökorkeudesta, sillä piipun päästä tulevat päästöt laimenevat tehokkaasti ja leviävät laajalle alueelle vähentäen vaikutusta. Matalalta peräisin olevat päästöt, kuten turkistarhojen typpikuormitus, voivat vaikuttaa paikallisesti voimakkaasti. Jäkälätunnukset olivat keskimäärin suunnilleen samalla tasolla kuin vuonna 2018, ja heikompia kuin vuonna 2012. Sammalissa muutoksen suunta ei ole ollut yksiselitteinen. Osa sammalten alkuainepitoisuuksista on laskenut ja osa kasvanut. Joidenkin alkuainepitoisuuksien osalta korkeammat pitoisuudet ovat siirtyneet selkeämmin kaikkein kuormitetuimmille alueille Kokkolaan, ja taustapitoisuudet vähemmän kuormitetuilla aloilla ovat laskeneet vuodesta 2018.

Lähteet

- Ahma Ympäristö Oy, 2017. Seinäjoen seudun ja Etelä-Pohjanmaan bioindikaattoritutkimus 2017. Lappalainen N., Lahti T., Puro H. ja Väyrynen T.
- Björklund ym. 1996. Björklund, A., Edén, P., Mattson, L ja Sjöström, J. 1996. Kallio- ja maaperä. Teoksessa Raitio, H. (toim.) Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella. Merenkurkun neuvosto, Jyväskylä.
- Brække F., 1994. Diagnostiske grensevier for naeringselementer I gran-og furunåler. Aktuelt fra skogforsk 15/97.
- Eurofins Ahma Oy, 2025. Boliden Kevitsa Mining Oy – Bioindikaattoriselvitykset 2024. Kallo M. ja Yksjärvi M.
- Eurofins Ahma Oy, 2023. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriselvitys vuonna 2022. Osmala T., Kajankari-Shelvey P. ja Jokinen J.
- Eurofins Ahma Oy, 2022. Seinäjoen seudun ja Etelä-Pohjanmaan bioindikaattoritutkimus 2022. Osmala T., Jokinen J. ja Kajankari-Shelvey P.
- Eurofins Ahma Oy, 2019. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriselvitys vuonna 2018. Lappalainen N ja Leppänen E-M.
- GTK, 2015. Maankamara-karttapalvelu. Viitattu 10/2025. <https://gtkdata.gtk.fi/Maankamara/index.html>
- GTK, 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Tarvainen T.
- Helsingin ympäristökeskus, 2010. Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet sekä pitoisuudet puistoissa ja kerrostalojen pihalla Helsingissä. Östersundomin liitosalueen tuloksilla täydennetty versio. Salla A. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2010.
- Hämeen ELY-keskus, 2016. Kanta- ja Päijät-Hämeen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Ruuth J., Toivanen H., Kuhmonen I., Leppänen E. ja Kiljunen A. Raportteja 5/2016.
- Jyväskylän yliopiston Ympäristöntutkimuskeskus, 2013a. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriselvitys vuonna 2012. Huuskonen I., Lehtonen E. ja Laita M. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 177.
- Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2013b. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Lehtonen E., Huuskonen I., Keskitalo T. ja Laita M. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 176.
- Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2008a. Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Laita M., Huuskonen I., Keskitalo T. ja Lehtonen E. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 165.
- Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2008b. Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Laita M., Huuskonen I., Keskitalo T., Lehtonen E. ja Ellonen T. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 164.
- Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2008c. Vaasan alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Laita M., Huuskonen I., Keskitalo T. ja Lehtonen E. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 164.

8.12.2025

KJ

Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2008d. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Laita M., Huuskonen I., Keskitalo T. ja Lehtonen E. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 169.

Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2006. Turun seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Laita M., Huuskonen I., Haahla A., Polojärvi K. ja Ellonen T. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 163.

Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2005. Mittaustarkkuus mäntyjen runkojäkälistön ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioiden havainnoinnissa. Polojärvi K, Niskanen I, Haahla A & Ellonen T. Tutkimusraportti 89/2005.

Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 2003. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2002. Niskanen, I., Polojärvi, K., Witick, A., Haahla, A. ja Laitakari, V. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 156.

Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus, 1998. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1997. Niskanen I., Ellonen T. ja Witick A. Ympäristönkeskuksen tiedonantoja 150.

Kainuun ELY-keskus, 2017. Kainuun bioindikaattoriselvitys. Toim. Seppänen A. Laatikainen T., Piispanen J., Poikolainen J., Karhu J., Seppänen R ja Kubin E. Elinvoimaa alueelle 3/2017.

Kalliola, 1973. Suomen kasvimaantiede. WSOY, Porvoo.

Kekäläinen, H. ja Vanhatalo, M. 1993. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1992. Kokkolan ympäristötoimiston julkaisuja 7/1993.

Kling, P., Laaksovirta, K. ja Lodenius, M. 1985. Jäkälän ja männyn kaarnan raskasmetallipitoisuudet ilman saastumisen indikaattoreina Kokkolassa. Ympäristö ja terveys 5: 314-222.

Kokkolan kaupunki 2025. Ilmanlaadun yhteistarkkailun vuosiraportti 2024. Lindgren E., Hirvijoki T. ja Sillanpää T.

Laaksovirta K. ja Olkkonen H., 1977. Epiphytic lichen vegetation and element contents of *Hypogymnia physodes* and pine needles examined as indicator of air pollution at Kokkola, W. Finland. Annales Botanici Fennici 14: 112-130.

Mälkönen E. 1991. Maa- ja neulasanalyysin käyttökelpoisuus metsänhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. Joensuun tutkimusasema.

Nab Labs Oy, 2016a. Porin-Harjavallan alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2014-2015. Tutkimusraportti 31/2016.

Nab Labs Oy, 2016b. Vaasan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2013. Tutkimusraportti 36/2016.

Niskanen I., Veijola H. ja Ellonen T., 1996. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1996. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 17.

Niskanen I., 1995. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11. ISSN 0357-5454.

Pesonen, R., Pohjola, V., Jokinen, J., Kauppinen, H., Kartastenpää, R. ja Säynätkari, T. 1987. Kokkolan ilmanlaatu vuosina 1984-1986. Ilmatieteen laitos, ilmanlaatuosasto.

8.12.2025

KJ

Pohjanmaan liitto, 2006. Pietarsaaren seudun aluerakennesuunnitelma 2030. Perusselvitys. Vaasa.

Pohjois-Karjalan ELY-keskus, 2021. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2020. Ruuth J., Keskitalo T., Talvitie T. ja Korhonen K.T. Raportteja 15/2021.

Pohjois-Karjalan ELY-keskus, 2011. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Lehtonen E., Huuskonen I., Keskitalo T., Nevalainen S., Poikolainen J. ja Laita M. Raportteja 2/2011.

Raitio H., 1994. Kangasmetsien ravinnetilä neulasanalyysien valossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527.

Ramboll Finland Oy, 2024. Porin seudun ja Etelä-Satakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2022-2023. Keskitalo T. ja Kiljunen A.

Reinikainen A., Veijalainen H. ja Nousiainen H., 1998. Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688.

Salminen R., Bogatyrev I., Chekushin V., Glavatskikh S.P., Gregorauskiene V., Niskavaara H., Selenok L., Tenhola M. ja Tomilina O., 2003. Barents ecogeochemistry – a large geochemical baseline study of heavy metals and other elements in surficial deposits, NW-Russia and Finland. Geological survey of Finland, special paper 36.

Tilastokeskus, 2024.

Uudenmaan ELY-keskus, 2021. Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2020. Ruuth J. ja Keskitalo T. Raportteja 13/2021.

Uudenmaan ELY-keskus, 2015. Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2014. Keskitalo T., Laita M., Ruuth J. ja Toivanen H. Raportteja 109/2015.

Uudenmaan ELY-keskus, 2010. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Huuskonen I., Lehtonen E., Keskitalo T. ja Laita M. Julkaisu 4/2010.

Veijola H. ja Niskanen I., 1996. Sammaleesta ja humuksesta tutkittavien muuttujien mittaustarkkuuden arviointi. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Muistio 1/1998.

VNa 214/2007. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista.

Väisänen, S., 1986. Effects of air pollution by metal, chemical and fertilizer plants on forest vegetation at Kokkola, W. Finland. Annales Botanici Fennici 23: 205-315.

Väylävirasto, 2024.