eurofins | Environment Testing

Eurofins Ahma Oy
Projekt 11070
20.12.2019

BIOINDIKATORUPPFÖLJNING AV LUFTKVALITETEN I KARLEBY- OCH JAKOBSTADSNEJDEN 2018

eurofins | Environment Testing

BIOINDIKATORUPPFÖLJNING AV LUFTKVALITETEN I KARLEBY- OCH JAKOBSTADSNEJDEN 2018

Innehållsförteckning

SAMMANDRAG 1

1. INLEDNING 2

2. UPPFÖLJNINGSOMRÅDE 3

2.1 ALLMÄN BESKRIVNING 3
2.2 LUFTKVALITETEN I UPPFÖLJNINGSOMRÅDET 5
2.2.1 Utsläpp 5
2.2.2 Utvecklingen av utsläppsmängderna 9

3. MATERIAL OCH METODER 12

3.1 PROVYTOR 12
3.2 TALLENS STAMLAVAR 14
3.2.1 Luftföroreningarnas effekter på stamlavar 14
3.2.2 Undersökta lavarter 15
3.2.3 Bedömning av skador och täckningsgrader 19
3.3 GRUNDÄMNESHALTER I BARR, MOSSOR OCH HUMUS SAMT HUMUSENS KEMISKA EGENSKAPER 20
3.3.1 Barrens grundämneshalter och fastställandet av dessa 23
3.3.2 Mossans grundämneshalter och fastställandet av dessa 23
3.3.3 Humusens grundämneshalter och kemiska egenskaper samt fastställandet av dessa24
3.4 GEOINFORMATIONSMETODER 26
3.5 STATISTISKA METODER 26
3.5.1 Bakgrundsvariablernas inverkan 26
3.5.2 Regressionanalys 27
3.5.3 Jämförelser mellan år 28
3.6 FELKÄLLOR OCH TILLFÖRLITLIGHET 28
3.6.1 Lavkartering 28
3.6.2 Fastställande av barrens grundämneshalter 29
3.6.3 Fastställande av mossans och humusens grundämneshalter 30

4. RESULTAT 31

4.1 TALLENS STAMLAVAR 31
4.1.1 Blåslavens skadeklass 31
4.1.2 Allmän skadeklass 32
4.1.3 Mängder och förekomsten av lavarter 34
4.1.4 Täckningsgrad 36
4.1.5 IAP-index 37
4.2 TALLBARRENS GRUNDÄMNESHALTER 38
4.3 MOSSANS GRUNDÄMNESHALTER 50
4.4 HUMUSENS GRUNDÄMNESHALTER 62

5. GRANSKNING AV RESULTATEN 78

5.1 STATISTISK GRANSKNING AV LAVVARIABLERNA 78
5.1.1 Klassvariablernas inverkan 78
5.1.2 Regressionsanalys 82
5.2 sTATISTISK GRANSKNING AV GRUNDÄMNESHALTERNA FÖR BARR OCH MOSSOR 85

Copyright © Eurofins Ahma Oy

5.2.1 Faktoranalys av barrens grundämneshalter ... 85
5.2.2 Faktoranalys av mossans grundämneshalter ... 86
5.3 KORRELATIONER I HUMUSENS GRUNDÄMNESHALTER ... 87
5.4 SAMMANDRAG ... 88

6. JÄMFÖRELSE ... 89

6.1 JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA ÅR ... 89
6.1.1 Tallarnas stamlavar ... 90
6.1.2 Barrens grundämneshalter ... 97
6.1.3 Mossans grundämneshalter ... 101
6.1.4 Humusens grundämneshalter ... 114
6.2 JÄMFÖRELSE MED ANDRA UPPFÖLJNINGAR UTFÖRDA I FINLAND ... 117
6.2.1 Tallarnas stamlavar ... 117
6.2.2 Tallbarrens grundämneshalter ... 117
6.2.3 Mossans grundämneshalter ... 119
6.2.4 Humusens grundämneshalter ... 121

7. SLUTSATSER ... 122

LITTERATUR ... 125

Kartor: © Lantmäteriverket

Bilder: © Eurofins Ahma Oy

20.12.2019, uppdaterad 10.1.2020

Eurofins Ahma Oy

Niina Lappalainen
Miljöexpert, biolog, FT

Eeva-Maria Leppänen
Miljöexpert, FM

Kontaktuppgifter

Eurofins Ahma Oy
Teollisuustie 6
96320 Rovaniemi
Epost: FörnamnEfternamn@eurofins.fi

www.eurofins.fi

Copyright © Eurofins Ahma Oy

SAMMANDRAG

Man har undersökt luftkvaliteten i Karleby- och Jakobstadsnejden med hjälp av flera bioindikatoruppföljningar i Karlebynejden sedan 1970-talet och i Jakobstadsnejden sedan år 2000. År 2012 genomfördes bioindikatoruppföljningen för första gången som en gemensam uppföljning för regionerna, och fortsatte på samma sätt år 2018. Som bioindikatorer för luftkvaliteten användes tallens stamlavar samt grundämneshalterna och de kemiska egenskaperna hos tallbarr, mossor och humus.

Den inverkan som luftföroreningar har på indikatorerna kunde tydligt observeras på mera belastade områden, medan inverkan var svagare i diffust belastade områden. Av de undersökta bioindikatorerna, påvisade lavarnas resultat en samverkan av olika luftföroreningar (svaveldioxid, kväveoxider, partiklar och metallutsläpp). Grundämneshalterna i barren, mossorna och humusen demonstrerade delvis påverkan av luftföroreningar (svaveldioxid, kväveoxid, metallutsläpp), i en del naturliga faktorer, men huvudsakligen jordmånens egenskaper och skogarnas näringstillstånd.

I Karleby- och Jakobstadsregionen finns betydande kluster av storindustri och energiproduktion som alstrar svaveldioxid, kväveoxider, partiklar samt tungmetaller. Dessa utsläppskällor har en inverkan på lavflorans sammansättning och kondition genom att lavflorans kondition är sämre och lavfloran är mer utarmad i närheten av anläggningarna än på bakgrundsområden. Inverkan på lavfloran var tydlig i energiproduktionsområden, medan påverkan av industrin var mindre tydlig på grund av sammanslagningen av både stora och mindre industrianläggningar i samma kategori Förutom industrin och energiproduktionen förekommer utsläpp av luftföroreningar bl.a. från trafiken och boskapsuppfödning samt även från pälsproduktion Av dessa har särskilt pälsproduktionen en inverkan på lavfloran, och i närheten av områdets pälsproduktionskluster är lavfloran kraftigt utarmade och skadade.

Då man granskar anläggningarnas utsläppsmängder från mitten av 1990-talet var de som högst i början av 2000-talet. Därmed var lavflorans kondition i genomsnitt sämst och barrens svavelhalter i genomsnitt högst år 2006. År 2012 hade de återhämtat sig till nivån som rådde år 2002. Under 2018 observerades en försämring i lavflorans kondition och barrens svavelhalter hade ökat något jämfört med 2012.I närheten av metallutsläppskällorna, särskilt vid Yxpila området, var halterna av tungmetaller förhöjda både i humus, mossor och i barr.

Den mest anmärkningsvärda enskilda luftburna metallföroreningen är zink, både i fråga om total utsläppsmängd samt i beaktande av halter. Den luftburna metallbelastningen har minskat i Karleby sedan 1990-talet, men på 2000-talet har det inte skett några anmärkningsvärda förändringar i belastningen i Karleby eller Jakobstad. Jämfört med nivån på 1990-talet har mossans metallhalter minskat i Karleby. Under 2000-talet kan man i barrens, mossans och humusens metallhalter observera en variation mellan uppföljningsåren, men förändringarna är inte entydiga och halterna har främst förblivit inom samma storleksklass i genomsnitt.

Människans inverkan syns tydligt i bioindikatorerna som undersöktes i Karleby-Jakobstadsregionen år 2018. Då man granskar både grundämneshalterna och lavflorans kondition, ligger de mest förändrade områdena i Yxpila området i Karleby, Nykarleby-Pedersöres pälsproduktionsområden samt i närheten av industriverksamhet och pälsproduktionsklustret i Kaustby. Inom undersökningsområdets glesbebyggda delar finns det fortfarande zoner, där lavfloran är i naturtillstånd och där grundämneshalterna ligger på en nivå, som motsvarar grundämneshalterna i ett bakgrundsområde i naturtillstånd.

1. INLEDNING

Luftkvaliteten i Karleby- och Jakobstadsnejden har följts upp i flera bioindikatoruppföljningar i Karlebynejden sedan 1970-talet och i Jakobstadsnejden sedan år 2000. I de utförda uppföljningarna i Karlebynejden har bl.a. vegetationen av tallens stamlavar och tallbarrens grundämneshalter samt trädkronornas kondition hos tallen undersökts (Laaksovirta och Olkkonen 1977, Kling m.fl. 1985, Väisänen 1986, Pesonen m.fl. 1987, Kekäläinen & Vanhatalo 1993, Niskanen m.fl. 1998, Niskanen m.fl. 2003, Laita m.fl. 2008a). Fram till 2002 täckte uppföljningsområdet kommunerna Karleby, Kelviå, Kronoby och Larsmo i Karlebynejden. I undersökningen åren 2006–2007 utvidgades uppföljningsområdet till Halso, Himango, Kannus, Kaustby, Lestijärvi, Lochteå, Perho, Toholampi, Ullava och Vetil kommuners område, varav Kaustby och före detta Lochteå, Kelviå och Ullava kommuner som en följd av kommunsammanslagningar var med i 2012 års uppföljning som en del av Karleby stad. I Jakobstadsnejden har uppföljningar gjorts åren 2000–2001 och 2006–2007 och 2012 (Raitio och Kärkkäinen 2002, Laita m.fl. 2008b, Huuskonen m.fl. 2013) och uppföljningsområdet har förutom Jakobstad dessutom omfattat kommunerna Nykarleby, Pedersöre och Larsmo. I Jakobstadsområdet har man undersökt vegetationen av tallens stamlavar, trädkronornas kondition hos tallen, tallbarrens grundämneshalter samt mossornas och humusens grundämneshalter och kemiska egenskaper.

Uppföljningsresultaten från Karleby- och Jakobstadsnejden åren 2006-2007 har redovisats i respektive egna regionala rapporter, men resultaten från 2012 och 2018 rapporteras i en gemensam rapport. Som indikatorer på luftkvalitet användes 2018 vegetationen hos tallens stamlavar, tallbarrens grundämneshalter, mossans grundämneshalter samt humusens grundämneshalter och kemiska egenskaper Som bioindikatorer används organismarter som ger uttryck för miljöns tillstånd och förändringar som sker i detta. Förändringar som sker i miljön kan till exempel observeras i organismartens struktur, organismernas grundämneshalter, riklighet och utbreddhet samt i strukturförändringar hos organismsamhällen. Vegetationen hos tallens stamlavar är en god bioindikator på luftkvaliteten, eftersom den reagerar snabbt på luftföroreningar såväl med sin yttre form som med förändringar i artsammansättning och -riklighet. Det dröjer länge innan föroreningseffekterna syns på lavarterna och därför lämpar sig lavkartläggningsmetoder speciellt bra för beskrivning av förändringstrender under en mycket lång tid. Tallbarrens, mossornas och humusens grundämneshalter för sin del indikerar föroreningarnas stoftnedfall samt skogsmarkens näringstillstånd. På uppkomsten av luftföroreningseffekter inverkar alltid också naturliga faktorer, som antingen kan buffra eller förstärka effekterna.

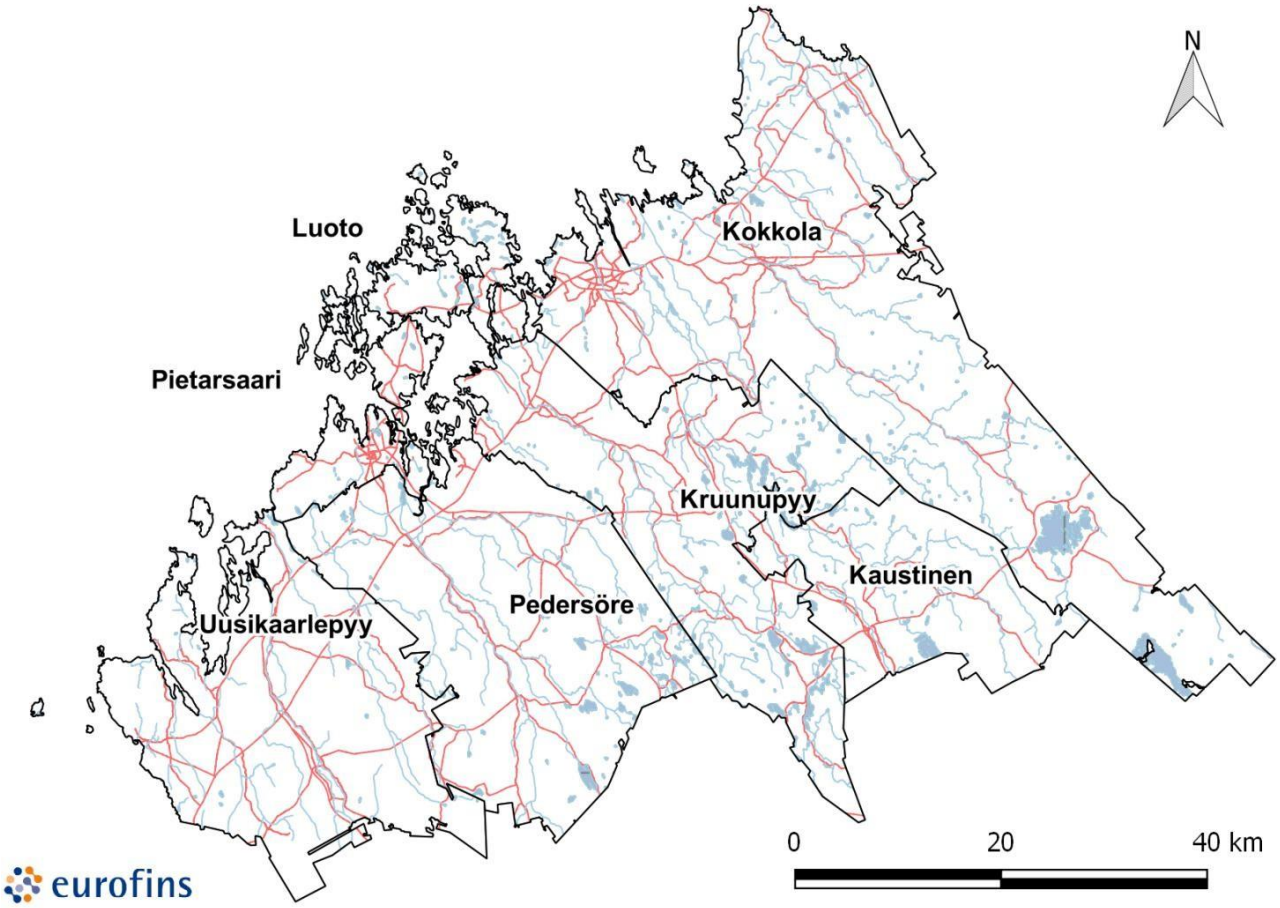
Till uppföljningsområdet hörde kommunerna Karleby, Kaustby, Kronoby, Larsmo, Pedersöre, Jakobstad och Nykarleby. Som en följd av kommunsammanslagningar hör före detta Lochteå, Kelviå och Ullava kommuner till Karleby stad och följaktligen till uppföljningsområdet. I uppföljningskommunerna som ingick genomfördes uppföljningen på samma provytor som i tidigare uppföljningar. Två nya provytor grundades i Kaustby. Sammanlagt ingick 240 provytor. Resultaten jämfördes med uppföljningen från åren 2006–2007 och 2012 samt med Karlebynejdens resultat åren 1992, 1997 och 2002 och Jakobstadsnejdens resultat åren 2000–2001. Dessutom jämfördes resultaten med resultat från bioindikatoruppföljningar som gjorts på andra håll i Finland. Resultaten tolkades genom att granska variationen i indikatorvariabler som beskriver luftens kvalitet i förhållande till utsläppskällor, genom att jämföra resultaten sinsemellan, genom att jämföra förändringar som skett olika år i artförhållanden och lavarnas skick och grundämneshalter samt genom att granska resultat och förändringar i dessa i förhållande till utvecklingen av utsläppsmängderna.

Beställaren är kommunerna som deltog i uppföljningen. Dessa finansierade också uppföljningen tillsammans med områdets industrier. Uppföljningen förverkligades av Eurofins Ahma Oy. Projektchef var miljöexpert, fil.dr. Niina Lappalainen och projektledare 2018 miljöexpert fil.mag. Janne Ruuth. Uppföljningens fältarbeten utfördes på vintern och sommaren 2018, och i dessa deltog provtagare Tuomas Talvitie (naturkartläggare, EAT), Olli-Pekka Tervo (fil.stud., biologi), Juha Halonen, Arto Kangasmäki, Anne Aikio, Kimmo Kangas, Kari Kangas, Jaakko Simppula och miljöexpert fil.mag. Eeva-Maria Leppänen. Miljöexpert Janne Ruuth organiserade och handledde fältarbetet i 2018. Miljöexpert, fil. dr. Niina Lappalainen och miljöexpert fil.mag. Eeva-Maria Leppänen analyserade materialet och sammanställde uppföljningsrapporten. Assistenterna med rapporteringen var miljöexpert/provtagare Oskari Törmänen, fil. kand. Jaakko Jokinen och fil.mag. Stiina Lehmus samt miljöexpert fil.mag. Henna Ruuth (kartarbete m.fl.).

2. UPPFÖLJNINGSOMRÅDE

2.1 Allmän beskrivning

Till uppföljningsområdet för Karlebynejdens del hörde Karleby, Kronoby, Kaustby och norra delen av Larsmo. Uppföljningsområdet för Jakobstadsnejdens del bestod av Jakobstad, Pedersöre, Nykarleby samt södra delen av Larsmo. (Figur 2-1).

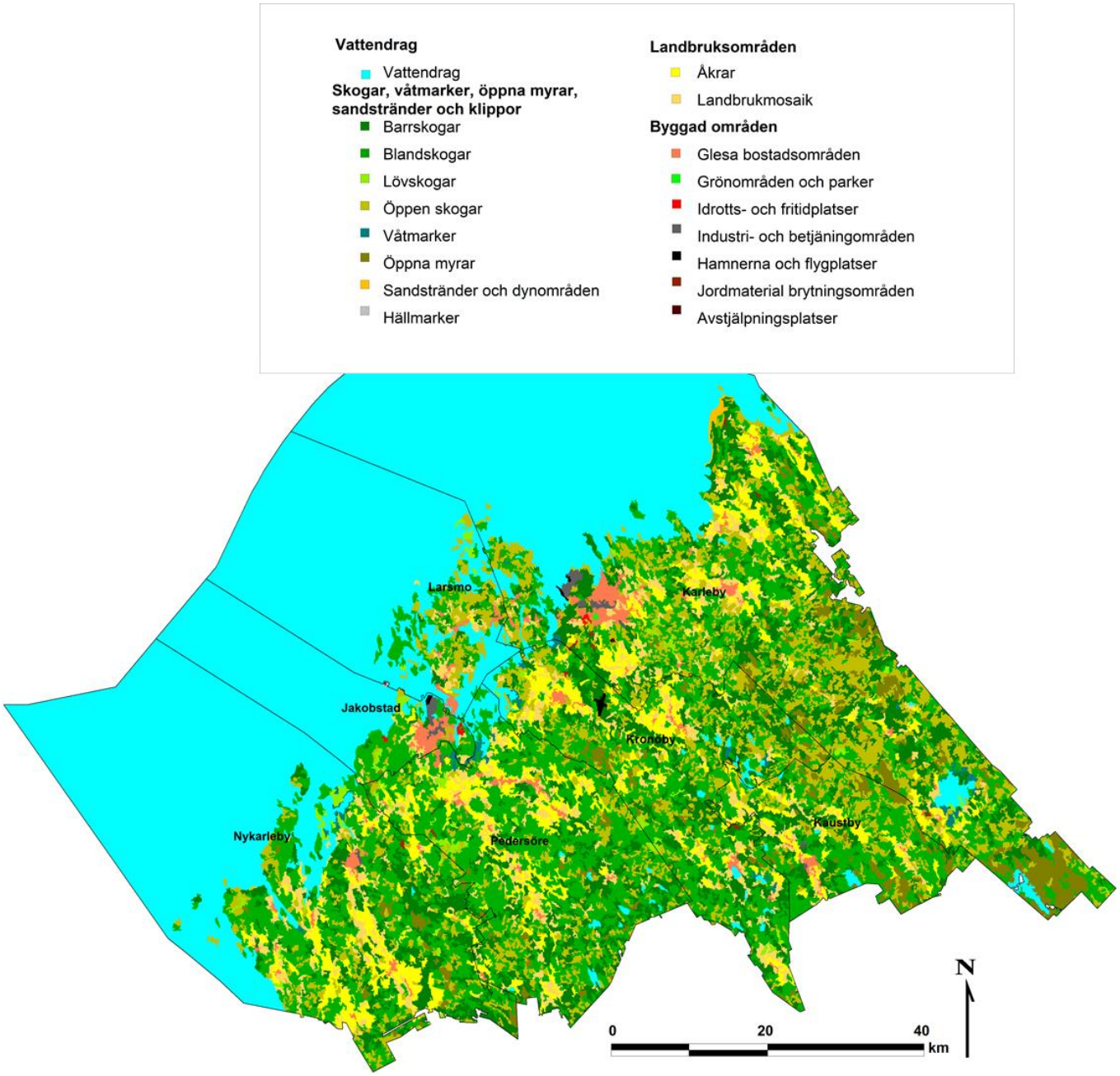


Figur 2-1. Kommuner som deltagit i bioindikatoruppföljningen i Karleby- och Jakobstadsnejden år 2018 samt områdets vattendrag och huvudvägsnätverk.

Figur 2-2 visar markanvändningen i uppföljningsområdet enligt CLC2000 markanvändnings/ marktäckningsdata. Den nordligaste delen ligger nära övergångszonen för Österbotten-Kajanaland (Kalliola 1973). Det som präglar naturen är havsklimatet som stabiliserar temperaturväxlingarna och gör snötäcket tunnare på vintern. Det som är karakteristiskt för Österbotten, är att området är låglänt och flackt. Det finns få sjöar i området, men det korsas av åar och älvar samt ådalar där odlingsområdena främst finns. Områdets jordmån är främst morän; den mera artspecifika jordmånen finns längs åarna. Torvmarker är allmänna i synnerhet i uppföljningsområdets norra delar. (Geologiska forskningscentralen 2007). Kusten är ett landhöjningsområde; i Jakobstadsområdet är den årliga landhöjningen 8-9 mm (Österbottens förbund 2006). Berggrunden i området består främst av glimmerskiffer och migmatit (Geologiska forskningscentralen 1999). Typiskt för Karlebynejden är den stora mängden av sulfithaltiga finkorniga sediment, s.k. alunjordar. En stor mängd tungmetaller finns bundna i sulfitmineraler, men vittringen av de här mineralerna kan förorsaka att försurande föreningar samt tungmetaller släpps ut i jordmån och vattendrag (Björklund m.fl. 1996).

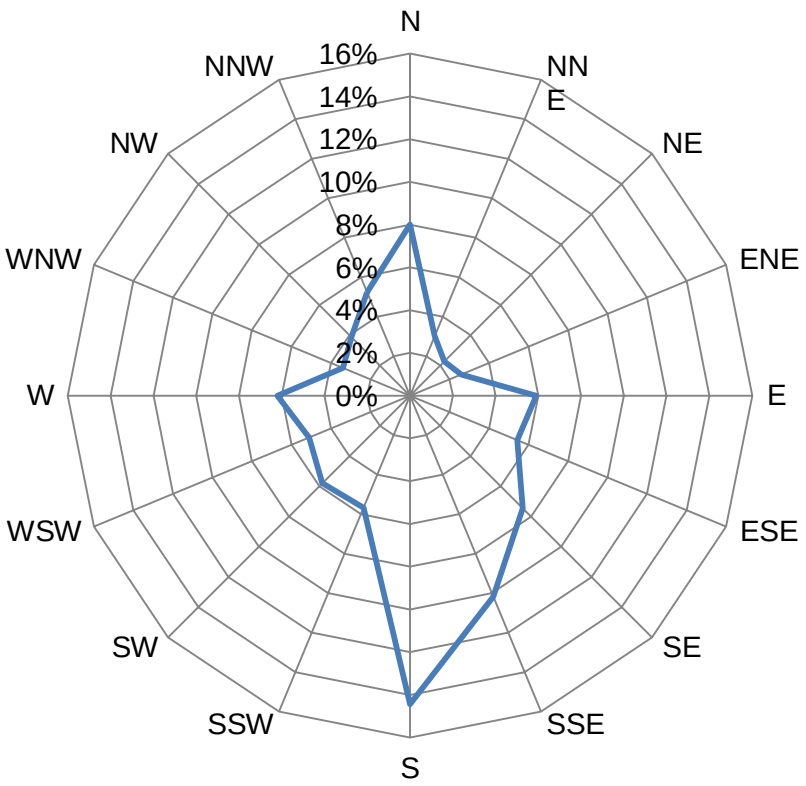
Uppföljningsområdet hör till landskapen Mellersta Österbotten och Österbotten. I området bor sammanlagt ca 100 000 människor. Den till befolkningsmängden största kommunen är Karleby med sina ca 47 000 invånare, näst störst är Jakobstad med ca 19 000 invånare. (Kommunförbundet 2018). Uppföljningsområdet genomkorsas i sydvästlig-nordostlig riktning av riksväg 8, vars genomsnittliga dygnstrafik varierar mellan 4000–12000 fordon (Trafikledsverket 2018).

Karleby är traditionellt ett starkt industriområde. I Yxpilaområdet finns en betydande koncentration av storindustri. Även primärproduktionen har en betydande roll i Karlebyregionen och den kommer att stärkas i regionen som ett resultat av de planerade gruvprojekten (Mellersta Österbottens förbund 2008). I Jakobstadsregionen finns bl.a. massa- och pappersindustri, båtindustri och livsmedelsindustri (Österbottens förbund 2006). Jordbruk och pälsfarmning som regionalt särdrag är viktiga näringar för området.



Figur 2-2. Markanvändning i Karleby- och Jakobstadsnejden (CLC2000 markanvändning/marktäckning (generaliserad 25 ha): © SYKE, EEA)

Baserat på väderobservationsdata från Kronoby flygfält (Meteorologiska institut 2019) i området dominerade sydliga vindar (Figur 2-3).



Figur 2-3. Rådande vindriktningar på Kronoby flygfält 2018.

2.2 Luftkvaliteten i uppföljningsområdet

I detta kapitel redovisas de mest betydande utsläppskällorna i uppföljningsområdets samt utsläppsmängdens utveckling.

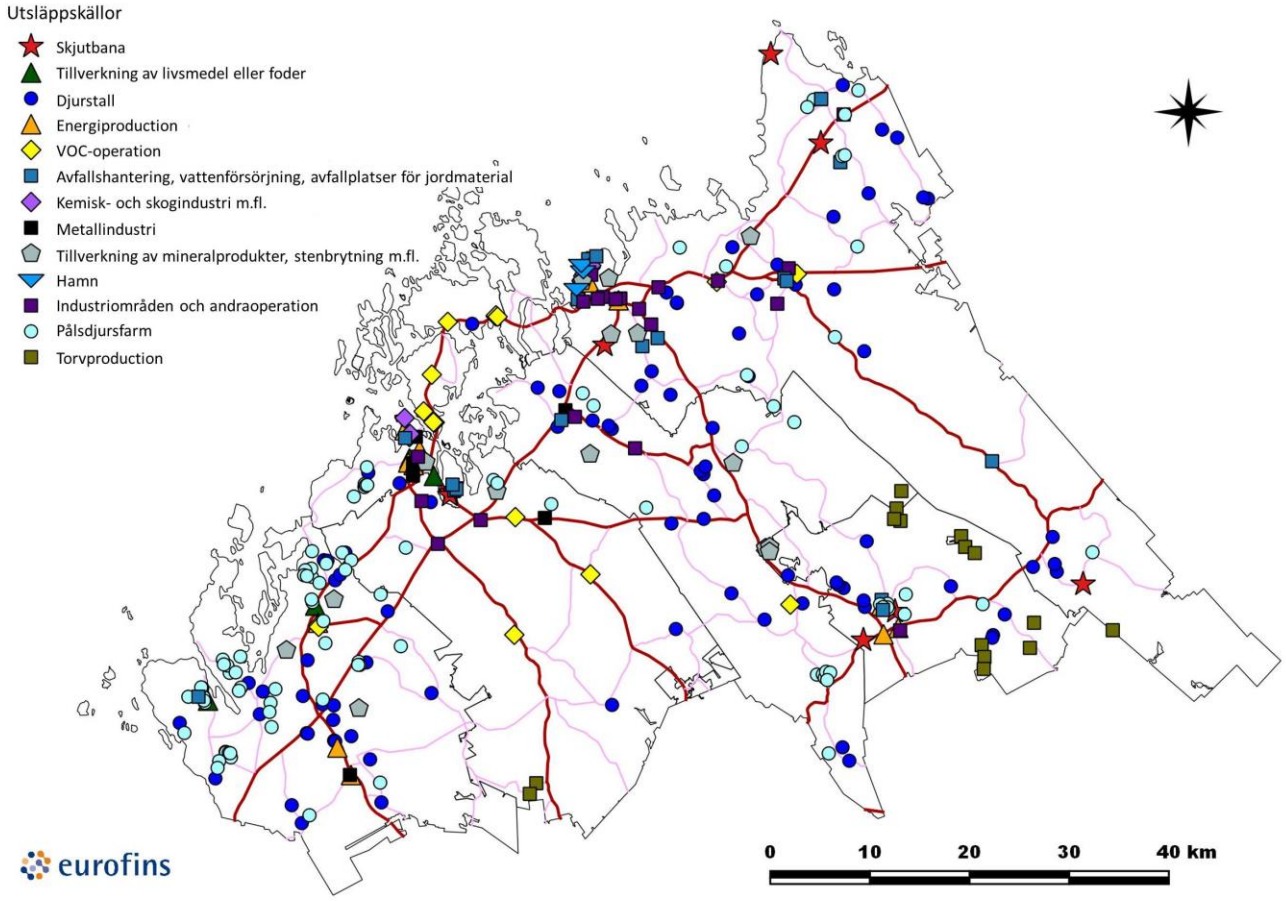
2.2.1 Utsläpp

I Finland är luftkvaliteten i genomsnitt god och de lokala effekterna av luftföroreningar är små. Tack vare luftskyddet har luftkvaliteten hos oss förbättrats betydligt under de senaste årtiondena. Det förekommer fortfarande utsläpp från energiproduktionen, industrin och trafiken, särskilt huvudstadsregionen. De globala effekterna av luftföroreningarna är att klimatförändringen förstärks, ozonskiktet uttunnas och miljön kemikaliseras. Lokala effekter är exempelvis att jordmånen och vattnen försuras och ozonhalterna i den undre atmosfären ökar. (Miljöförvaltningen 2016).

Nästan alla halter av de mest betydande luftföroreningarna har minskat radikalt vid bakgrundsstationerna sedan början av 1980-talet. I långtidsmätningar syns minskningen av halten av svavelföreningar och stoftnedfall under de senaste årtiondena särskilt tydligt. Minskningen av luftföroreningarna har fortsatt ännu på 1990-talet, om än långsammare i Södra Finland än i Norra Finland. (Kulmala m.fl. 1998, Meteorologiska Institutet 2013, Miljöförvaltningen 2016).

I figur 2-4 redovisas uppföljningsområdets utsläppskällor. I granskningen ingår tillståndspliktiga utsläppskällor som orsakar svavel-, kväve-, partikel-, damm- och metallutsläpp eller utsläpp från flyktiga organiska föreningar (VOC). För djurskyddens och pälsfarmernas del ingår gårdar och farmer som beviljats miljötillstånd av regionförvaltningsverket. Verksamheterna på kartan har klassificerats så att avfallshantering, avloppsreningsverk och avstjälpningsplatser för marksubstanser är avbildade med samma symbol, kemiindustri, skogsindustri och lagring, användning eller behandling av kemikalier eller bränsle är avbildade med samma symbol, framställning av mineralprodukter och stenbrytning, krossanläggningar, asfaltstationer eller malning av kalksten är avbildade med samma symbol och till annan verksamhet och industriområden har räknats små industrikluster och vattentvätterier för textilier och kemiska tvätterier. Uppgifterna om verksamheternas placering har samlats in hos ifrågavarande kommuners miljöskyddsmyndigheter med undantag för några uppdateringar

från tidigare uppföljningen (Huuskonen m.fl. 2013). Uppgifter om utsläpp rapporteras inte om merparten av utsläppskällorna som redovisas i figuren 2-4; till exempel är utsläpp från djurskydd och pälsfarmer sådana utsläpp där statistikuppgifter saknas.



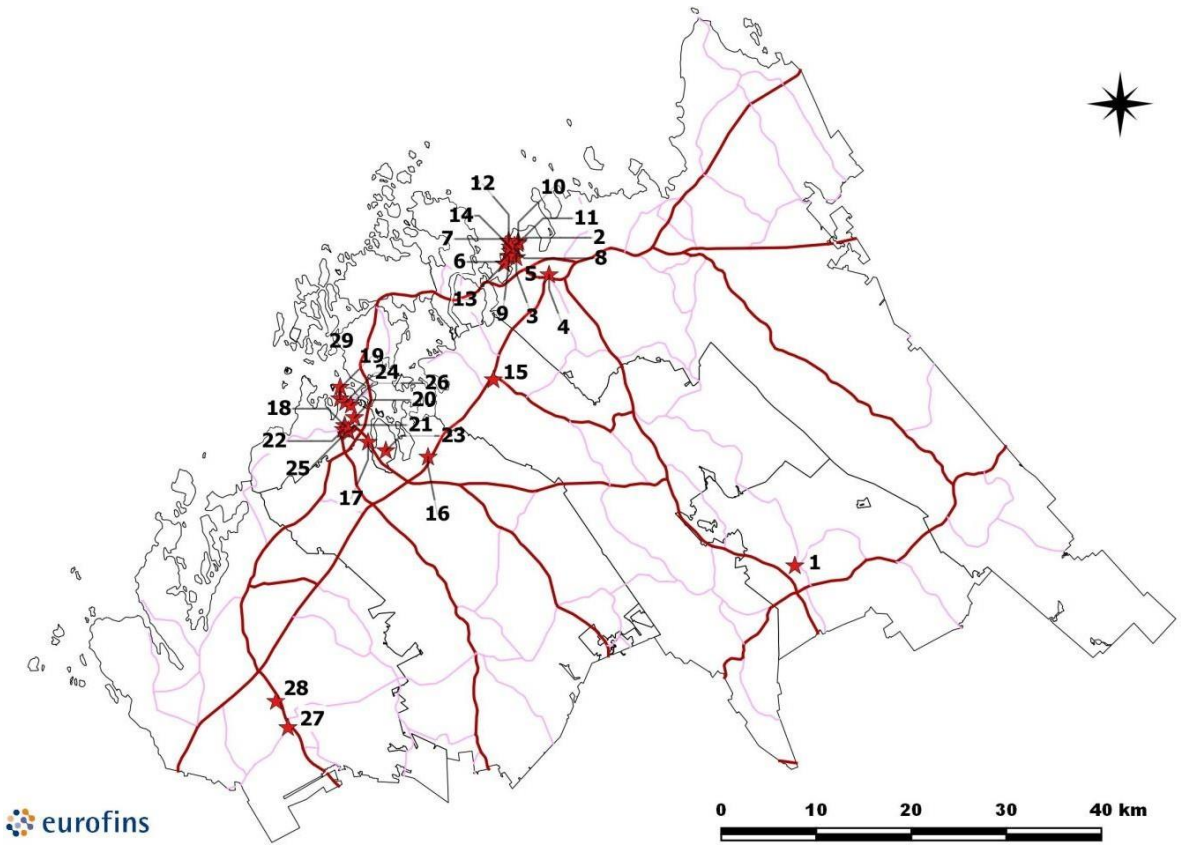
Figur 2-4. Utsläppskällor i Karleby- och Jakobstadsområdet.

De mest betydande utsläppskällorna i uppföljningsområdet redovisas på följande kartan (Figur 2-5, Tabell 2-1). I tabell 2-2 redovisas anläggningsspecifika utsläppsmängder av svaveldioxid, kväveoxider och partiklar samt utsläppsvolymen i trafiken per kommun 2017. Uppgifterna om utsläppen från industrin grundar sig på VAHTI-databaserna och Karlebys Luftkvalitetsrapport (Lahtinen 2018). Trafikens emissioner hämtades från Trafikverkets LIPASTO-databas. Efter 2015 reviderades beräkningen av utsläppsdata och utsläppsmängder från år 2017 är inte direkt jämförbara med tidigare trafikuppgifter.

Utifrån uppgifter från 2017 rapporterades det att de största utsläppen i uppföljningsområdet var kväveoxidutsläpp, sammanlagt 2 805 ton (Tabell 2-2). Av dessa härstammade 78 procent från industrin. Största delen av kväveoxidutsläppen uppstod i Karleby och den största utsläppskällan var UPM Kymmene Oyj. Bland kommunerna var kväveoxidutsläppen från trafiken störst i Karleby.

Svaveldioxidutsläppen uppgick till sammanlagt 1 289 ton. Största delen av kväveoxidutsläppen uppstod i Jakobstad och den största utsläppskällan var Karleby Energi Ab och Boliden Karleby Ab:s svavelsyrefabrik.

År 2017 rapporterades att partikelutsläppen i området sammanlagt uppgick till 527 ton, varav 47 procent uppstod inom industrin. De största partikelutsläppskällorna var Tetra Chemicals Europe Oy i Karleby och UPM Kymmene Oy i Jakobstad. Mängden partikelutsläpp från Tetra Chemicals 2017 innehåller stora osäkerheter på grund av den använda provtagningsmetoden.



Figur 2-5. De mest betydande utsläppskällorna i uppföljningsområdet (se Tabell 2-1).

Tabell 2-1. I figur 2-5 redovisas utsläppskällor.

Nr	Namn	Nr	Namn
1	Findest Protein Oy och Kaustby värmeanläggning (STEP Oy)	16	NCC Roads
2	Karleby Energi Ab (ex-Fortum), kraftverk	17	Snellman Ab
3	Karleby Energi Ab, kraftverk	18	Snellman Ab
4	Karleby Energi Ab, Kosilas värmeanläggning	19	Alholmens Kraft Oy
5	TETRA Chemicals Europe Oy	20	Oy Herrfors Ab, Itälän
6	CABB Oy, Karleby fabriker	21	Oy Herrfors Ab, Sikören
7	Yara Phosphates Oy	22	Oy Herrfors Ab, centralstation
8	Boliden Karleby Oy	23	Alholmens Kraft Oy
9	Yara Suomi Oy	24	UPM-Kymmene Oyj
10	Boliden Karleby Oy, zinkfabrik	25	Componenta Jakobstad Oy
11	Freeport Cobalt Oy	26	Outokumpu STP
12	Karleby hamn, djuphamn	27	Oy KWH Mirka Ab
13	Karleby hamn, stamhamn	28	Jeppo Biogas Ab
14	Karleby hamn, Silversten hamn	29	Wibax
15	Nordic Flanges Oy		

Tabell 2-2. Uppföljningsområdets utsläpp av svaveldioxid, kväveoxider samt partiklarnas del (ton/år) per kommun 2017.

Anläggning	Kommun	SO2	% kommunens industri-utsläpp	% hela områdets industri-utsläpp	NOx	% kommunens industri-utsläpp	% hela områdets industri-utsläpp	% kommunens alla utsläpp	% området s alla utsläpp	partiklar	% kommunens industri-utsläpp	% hela områdets industri-utsläpp	% kommunens alla utsläpp	% området s alla utsläpp
Boliden Karleby Oy, Svavelsyrefabrik	Karleby	360,6	38 %	28 %	21,59	4 %	1 %	3 %	1 %		0 %	0 %	0 %	0 %
Yara Suomi Oy	Karleby	83,2	9 %	6 %	111,6	22 %	5 %	15 %	4 %	3,6	6 %	1 %	6 %	1 %
Yara Phosphates Oy	Karleby	117,2	12 %	9 %	85,91	17 %	4 %	12 %	3 %	0,92	2 %	0 %	1 %	0 %
Karleby Energi Ab, Power	Karleby	326,2	35 %	25 %	174	35 %	8 %	24 %	6 %	9,53	17 %	4 %	15 %	2 %
Karleby Energi Ab, Voima	Karleby	36,61	4 %	3 %	83,06	17 %	4 %	11 %	3 %	0,87	2 %	0 %	1 %	0 %
Boliden Karleby Oy, Zinkfabrik	Karleby	4,89	1 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	1,17	2 %	0 %	2 %	0 %
CABB Oy	Karleby		0 %	0 %	22,06	4 %	1 %	3 %	1 %		0 %	0 %	0 %	0 %
Karleby hamn	Karleby		0 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	0,33	1 %	0 %	1 %	0 %
Tetra Chemicals Europe Ab	Karleby		0 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	38,54	69 %	15 %	62 %	7 %
Andra	Karleby	16,55	2 %	1 %	1,58	0 %	0 %	0 %	0 %	0,63	1 %	0 %	1 %	0 %
Sammanlagt	***Karleby***	***945***	**100 %**	***73 %***	***500***	**100 %**	**23 %**	**68 %**	***18 %***	***56***	**100 %**	**22 %**	**90 %**	***11 %***
OSTP Finland Oy Ab	Jakobstad		0 %	0 %	61,78	4 %	3 %	4 %	2 %		0 %	0 %	0 %	0 %
Oy Alholmens Kraft Ab	Jakobstad	310,4	91 %	24 %	516,4	31 %	24 %	30 %	18 %	74,07	38 %	30 %	38 %	14 %
UPM Kymmene Oyj	Jakobstad	32,58	9 %	3 %	1109	66 %	51 %	64 %	40 %	120,6	62 %	48 %	61 %	23 %
Wibax Oy, Jakobstads terminal	Jakobstad		0 %	0 %	0,33	0 %	0 %	0 %	0 %	0,03	0 %	0 %	0 %	0 %
Sammanlagt	***Jakobstad***	***343***	**100 %**	**27 %**	***1688***	**100 %**	**77 %**	**97 %**	60 %	***195***	**100 %**	**78 %**	**99 %**	37 %
Industrins utsläpp sammanlagt		***1288***			***2188***				***77,99 %***	***250***				***47 %***
Trafik	Karleby	0,315			237,7			32 %		6,472			10 %	
Trafik	Jakobstad	0,074			54,8			3 %		1,563			1 %	
Trafik	Pedersöre	0,125			97,51			100 %		2,452			100 %	
Trafik	Larsmo	0,036			25,54			100 %		0,669			0 %	
Trafik	Kaustby	0,05			38,26			100 %		0,988			13 %	
Trafik	Kronoby	0,091			71,31			100 %		1,811			54 %	
Trafik	Nykarleby	0,114			92,05			100 %		2,308			48 %	
Industri+trafik	Karleby	946			738					62				
Industri+trafik	Jakobstad	343			1743					196,2				
Industri+trafik	Pedersöre	0,125			97,51					2,452				
Industri+trafik	Larsmo	0,036			25,54					250,9				
Industri+trafik	Kaustby	0,05			38,26					7,46				
Industri+trafik	Kronoby	0,091			71,31					3,375				
Industri+trafik	Nykarleby	0,114			92,05					4,76				
Alla utsläpp sammanlagt		**1289**			**2805**					**527**				

Metallutsläppskällor och utsläppsmängder i Karleby 2017 redovisas i följande tabell (Tabell 2-3). Zink hade de största utsläppsmängderna, som till största delen orsakades av Boliden Karleby Ab:s verksamhet.

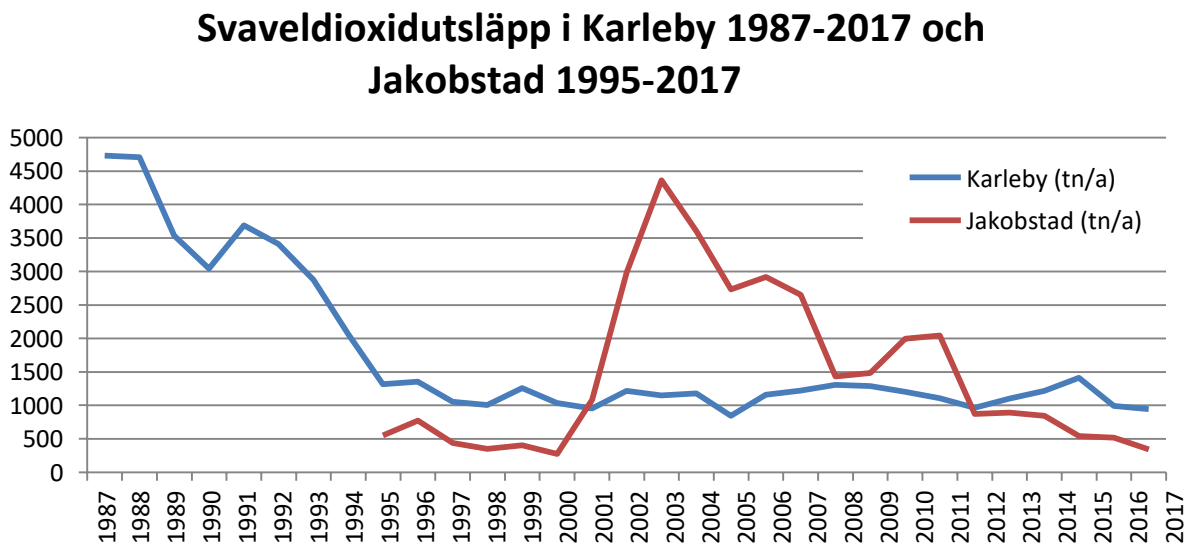
Tabell 2-3. Metallutsläppskällor och utsläppsmängder i Karleby 2017 (Lahtinen 2018).

Grundämne (kg/a)	Boliden Karleby Oy	Freeport Cobalt	Karlebys Energia Oy Power	Karlebys Energia Oy Voima	OSTP Finland Oy Ab	UPM Kymmene Oyj	Sammanlagt
Aluminium	692,83						692,83
Antimon							0
Arsenik	28,42		0,88	0,18		0,1	29,58
Kvicksilver	0,7		2,35	0,66		0,01	3,72
Kadmium	13,26		0,15	0,38			13,79
Kobolt		3363					3363
Krom			1,84	1,68	10,26	0,57	14,35
Koppar	16,34	12	3,39	4,05			35,78
Bly	3,62		2,51	2,78		0,1	9,01
Mangan							0
Nickel		54	1,84	1,68	12,64	1,79	71,95
Järn	20,76						20,76
Zink	3709,91		26,26	42,45		36,51	3815,13
Vanadin			3,97	7,02			10,99

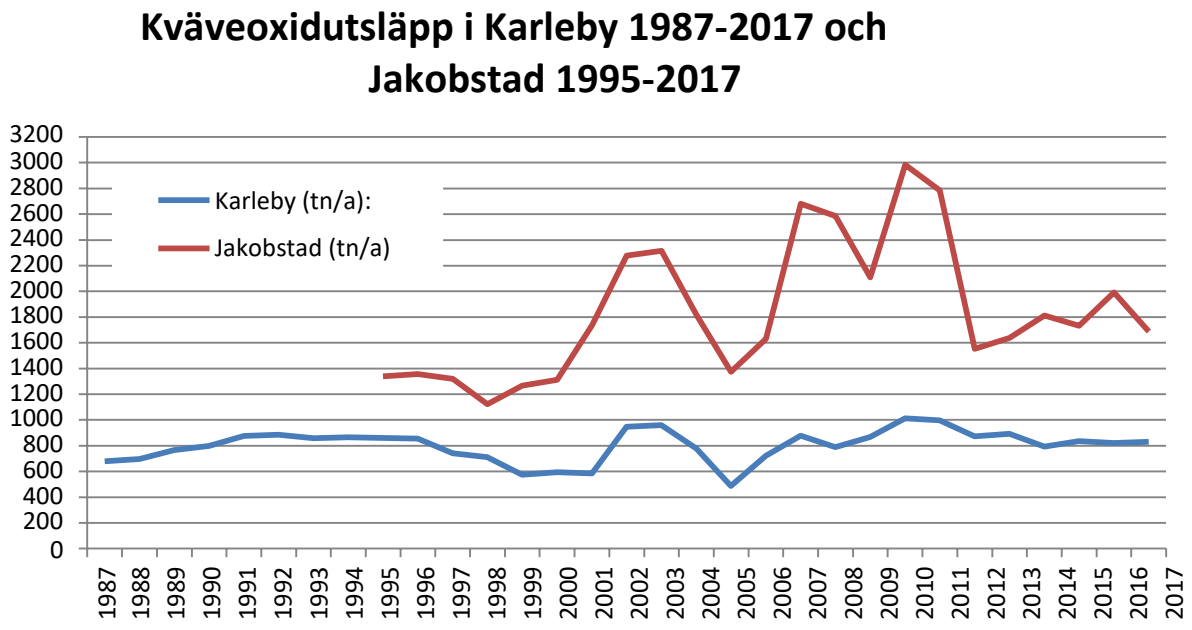
2.2.2 Utvecklingen av utsläppsmängderna

Utvecklingen av utsläppsmängderna av svaveldioxid, kväveoxid och partiklar åren 1995–2017 redovisas i figurerna (Figur 2-6 – Figur 2-8).

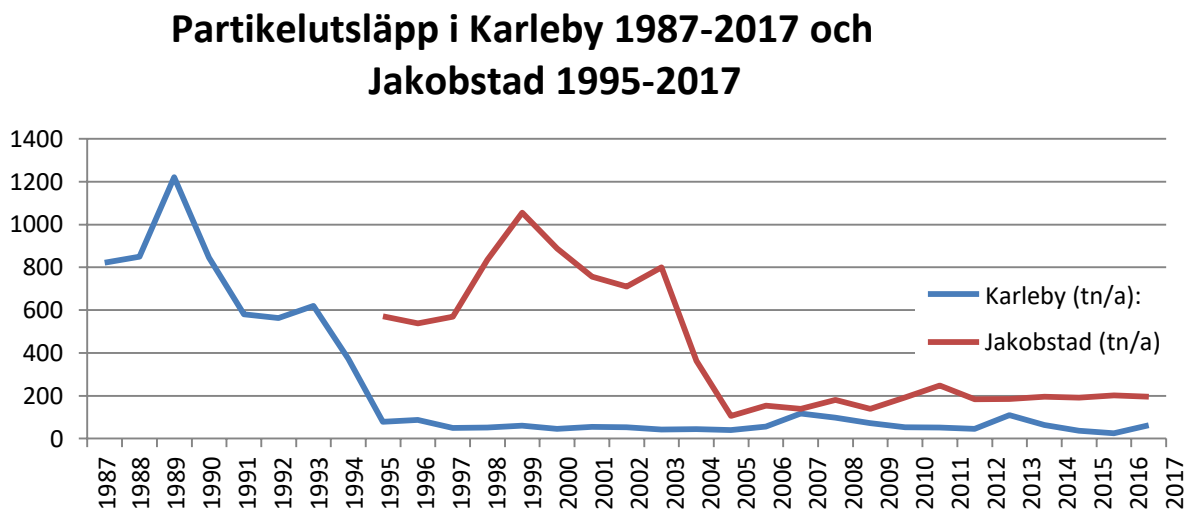
Den totala mängden svaveldioxidutsläpp 2011 var större än i slutet av 1990-talet. År 2017 har utsläppen däremot minskat till nivån i slutet av 1990-talet. Största delen av kväveoxidutsläppen under uppföljningsperioden 2012-2018 var år 2014, men på en klart lägre nivå än i början av 2000-talet. Under 2012-2017 var totalutsläppen av kväveoxid på en lägre nivå än tidigare. Partikelutsläppsmängderna har däremot minskat anmärkningsvärt efter 2004, på samma nivå som 2005.



Figur 2-6. Svaveldioxidutsläpp från industri och trafik i uppföljningsområdet (ton/år) 1987- 2017.

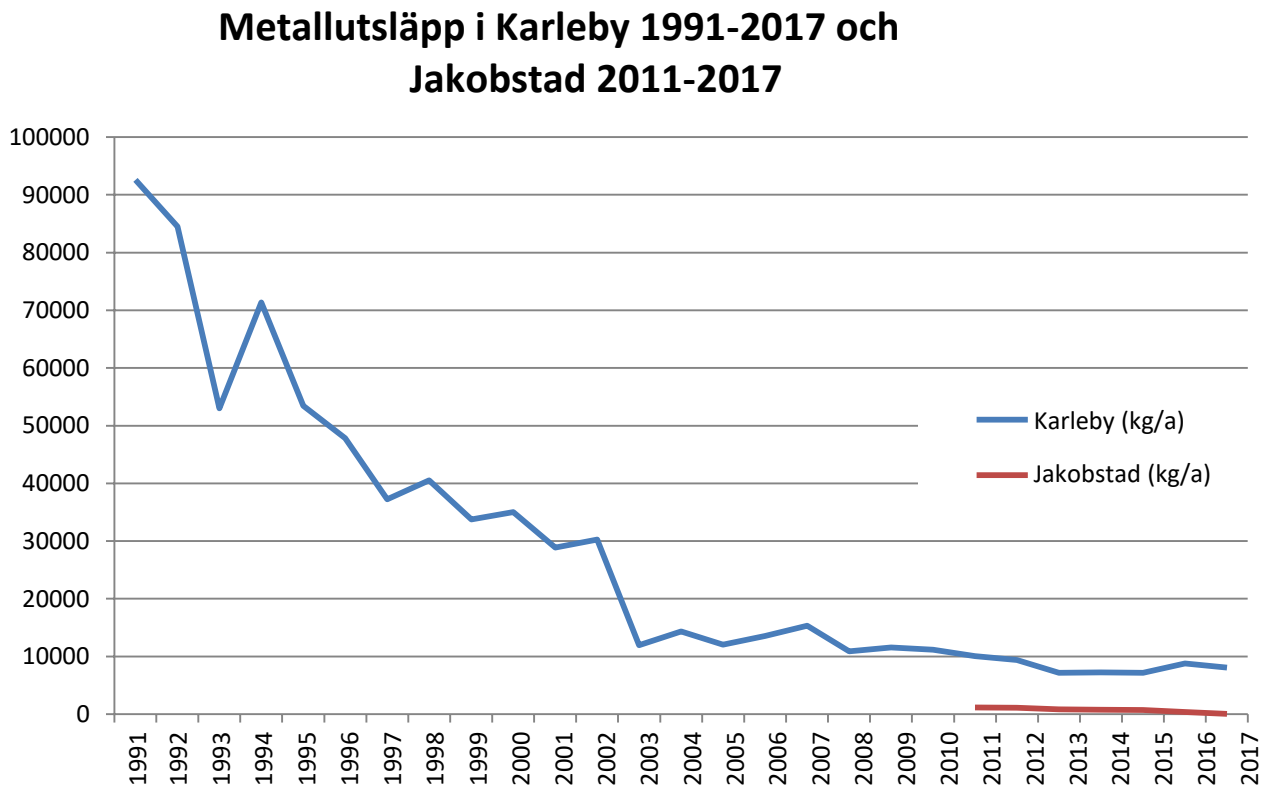


Figur 2-7. Kväveoxidutsläpp från industri och trafik i uppföljningsområdet (ton/år) 1987- 2017.

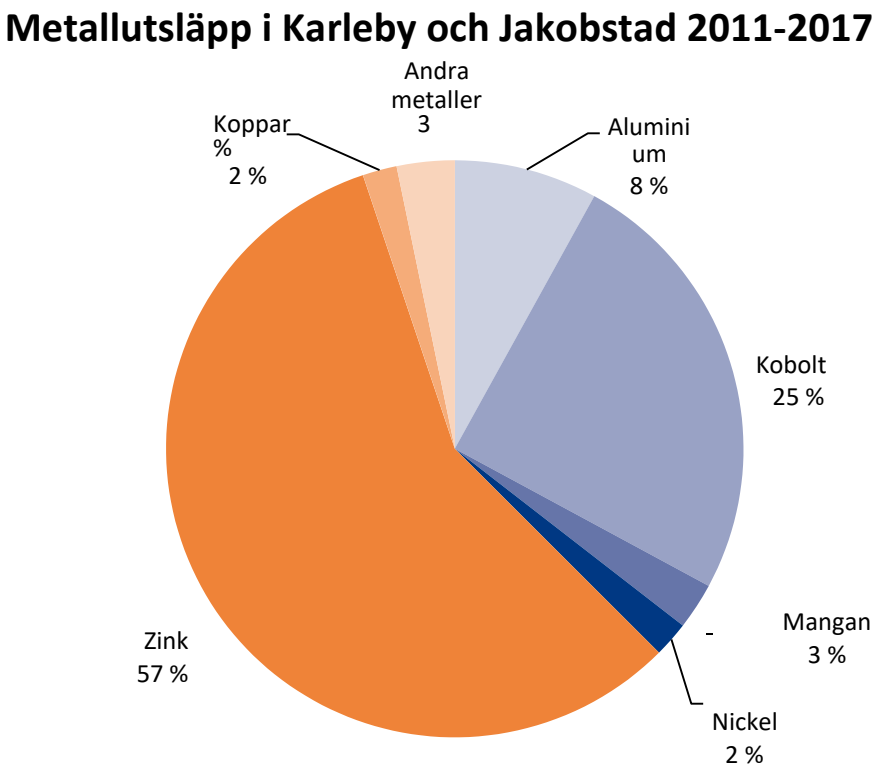


Figur 2-8. Partikelutsläpp från industri och trafik i uppföljningsområdet (ton/år) 1987-2017.

Utvecklingen av metallutsläppen i Karleby 1991-2017 redovisas i figur 2-9. Fördelningen av utsläppen åren 2011-2017 redovisas i figur 2-10. Metallutsläppen har minskat avsevärt under uppföljningsperioden. Efter 2003 har metallernas totalutsläppsnivå varit på samma nivå, ca 10 000 kg per år. Utsläppen utgörs till största delen av zinkutsläpp (57 %). Andelen koboltutsläpp är 25 procent.



Figur 2-9. Utvecklingen av metallutsläppen i Karleby och Jakobstad (kg/år) åren 1991-2017.

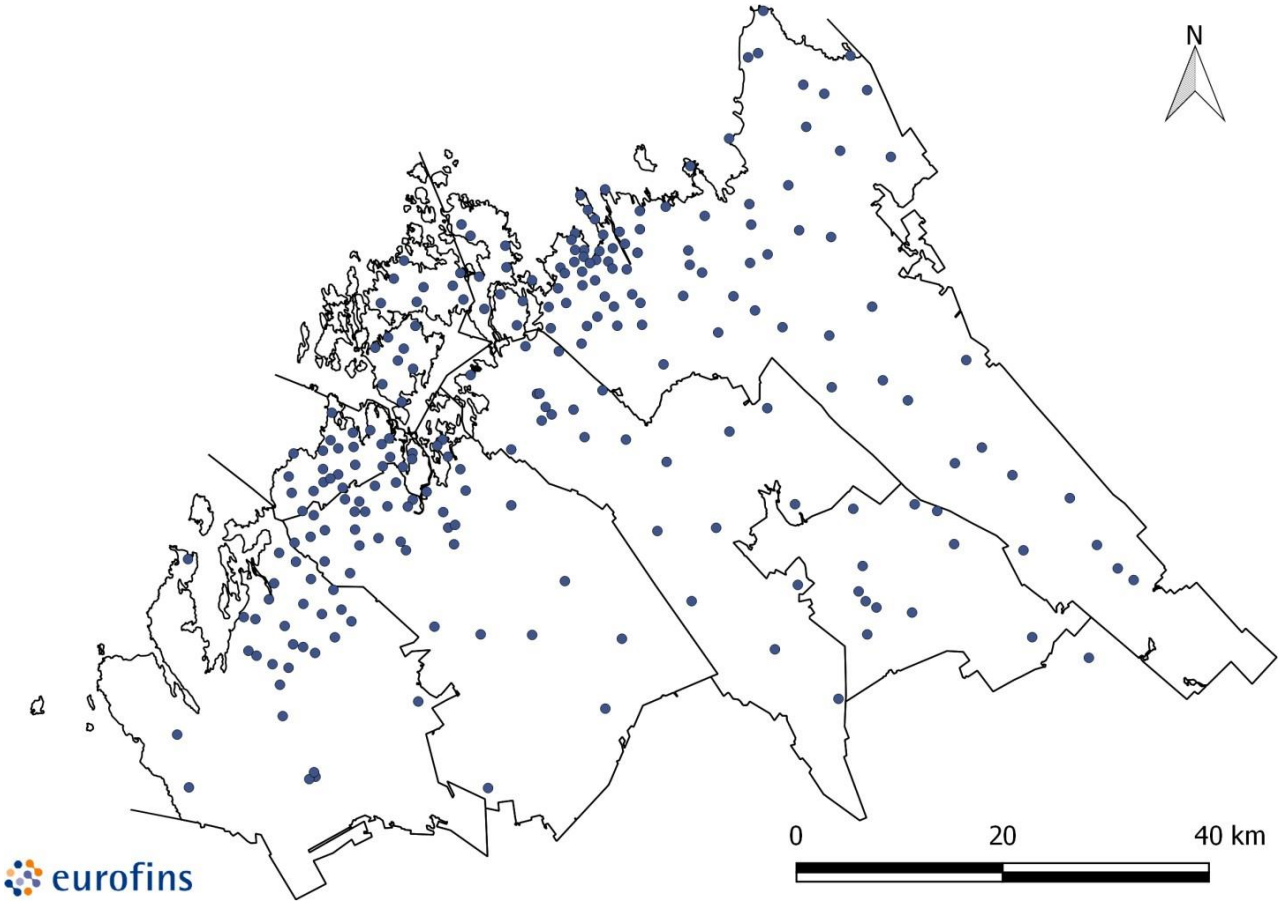


Figur 2-10. Fördelning av utsläpp åren 2011-2017.

3. MATERIAL OCH METODER

3.1 Provytor

Uppföljningen utfördes på 240 provytor där man undersökte vegetationen av tallarnas stamlavar och grundämneshalter i barr, mossor och humus samt humusens kemiska egenskaper. Provytornas lägen redovisas i kartan (Figur 3-1). I tabell nedan redovisas provytornas antal per kommun (Tabell 3-1).



Figur 3-1. Provytornas läge i uppföljningsområdet 2018.

Tabell 3-1. Provytornas antal per kommun och antalet nya provytor som anlagts 2018.

Kommun	Lav-ytor	Gamla ytor	Utbytta ytor	Nya ytor	Barr-ytor	Moss-ytor	Humus-ytor
Kaustby	11	11	0	2	10	11	2
Karleby	97	70	27	0	91	88	14
Kronoby	23	17	6	0	23	22	1
Larsmo	16	13	3	0	16	16	4
Pedersöre	37	25	12	0	37	35	9
Jakobstad	25	23	2	0	23	24	6
Nykarleby	31	28	3	0	31	31	6
Sammanlagt	***240***	***187***	***53***	***2***	***231***	***227***	***42***

Observationerna gjordes på provytan på fem provträd. 238 av provytorna var desamma som i uppföljningen 2012 (Huuskonen m.fl. 2013). Två nya provytor grundades i Kaustby.

Nya provytor användes för att utreda den aktuella situationen i närheten av i förekommande litiumgruvor (Keliber Oy). På gamla provytor strävade man till att utföra karteringen på samma provträd som i den förra uppföljningen som genomfördes år 2012, men på grund av hyggen eller ändringar i markanvändningen inrättade man 20 % nya ytor (totalt 53 nya ytor). Alla förändringar på provytorna eller -träden antecknades och iakttogs vid jämförelse av resultat från olika år.

Provytornas läge fastställdes med GPS-mottagare och för varje provyta fyllde man i en bakgrundsuppgiftsblankett där man antecknade hur man återfann provytan och var provträden var belägna. Provytans skogstyp, trädbeståndets utvecklingsklass, ålder och längd samt stamarternas bottenytor och provytans topografi antecknades. Provytans lämplighet klassificerades genom att använda skalan god-måttlig-dålig. Provytans lämplighet är observatörens subjektiva bedömning av provytans lämplighet för bioindikatoruppföljning och då den bedöms iakttas kriterierna som gäller skog som ska användas för lavkartering. Stamträdens bottenyta fastställdes med hjälp av relaskop och trädens ålder och höjd fastställdes visuellt.

I valet av nya ytor var det viktigaste kriteriet ytans lämplighet för lavkartering. Istället för en gammal förstörd provyta strävade man efter att anlägga en ny yta på den närmaste plats som uppfyllde kriterierna för lavkartering. Kriterier för skog som ska användas i lavkartering har presenterats i standarden SFS 5670. De viktigaste av dessa är skogens ålder, trädbeståndets täthet samt förekomst av undervegetation. Provytor som är optimala i förhållande till urvalskriterierna finns på torftiga eller näringsrika torvmarker där undervegetationen är låg och skogen ganska gles. Genom valet av provytor strävar man efter att eliminera mikroklimatfaktorer som inverkar på den naturliga lavflorans sammansättning samt på skador. Den viktigaste av dessa faktorer är förhållandet mellan ljus och skugga. Då nya uppföljningsskogsbestånd valdes strävade man dessutom efter att undvika kanteffekt eller t.ex. dödisgropar och solsluttningar, där det råder ett avvikande mikroklimat. Man undvek även nyligen skötta skogar, t.ex. skog som gallrats under de senaste tre åren. Provträden valdes med kriterierna att diametern skulle vara åtminstone 20 cm och stammarna grenfria upp till tre meters höjd. De träd som hade buskar eller plantor växande runt sig, eller träd som växte mycket nära andra träd godkändes inte för karteringen.

Provytornas fördelning i klasser i relation till bakgrundsvariablerna redovisas i följande tabell (Tabell 3-2). Största delen av provytorna var med avseende på lämpligheten goda (59 %). Av provytorna fanns som frisk mo i skog av blåbärstyp (MT) (48 procent av provytorna) eller på torra torvmarker av ljungtyp (VT) (45 procent av provytorna) 1-3 procent av ytorna hade räknats till klassen annan. Största delen av skogen klassificerades som mogen (56 procent av provytorna). Uppföljningsträdens genomsnittliga längd var 19 meter. I diameter var träden i genomsnitt 30 cm och trädbeståndens genomsnittliga bottenyta var 21 m^2/ha. På majoriteten av ytorna var den dominerande arten tall och den andra dominerande arten vanligtvis gran eller björk. Andra stamarter som observerats på provytorna var asp, rönn, al, hägg och sälg.

Barrproverna samlades in under perioden 8.1.-9.3.2018. av forskarna Juha Halonen, Arto Kangasmäki, Anne Aikio, Kimmo Kangas, Kari Kangas och Jaakko Simppula. Karteringen av lavarna och provtagningen av humusen utfördes under tiden 12.5.-13.6.2018. I fältarbetena som utfördes på sommaren deltog forskarna Tuomas Talvitie (naturkartläggare, EAT) och Olli-Pekka Tervo (fil.stud., biologi) samt miljöexpert fil.mag Eeva-Maria Leppänen. Dessutom genomfördes ytterligare provtagning av mossor och humus på två provytor i Kaustby den 25.11.2019 (provtagare Kimmo Kangas). Organisering av fältarbetena och handledning till fältarbetet genomfördes av miljöexpert fil.mag Janne Ruuth i 2018 och miljöexpert fil.dr Niina Lappalainen 2019.

Tabell 3-2. Provytornas fördelning i klasser enligt bakgrundsvariablerna.

Kod	Klass	Antal	Del av ytor
Lämplighet	God	141	59 %
	Måttlig	86	36 %
	Dålig	11	5 %
Skogstyp	CT, karg mo	8	3 %
	VT, torr mo	108	45 %
	MT, frisk mo	115	48 %
	OMT, lundartad mo	6	3 %
	Annan	2	1 %
Utvecklingsklass	Mogen	135	56 %
	Uppväxt	105	44 %
	Ung	0	0 %
Längd (m)	under 15	16	7 %
	15-19	91	38 %
	över 20	129	54 %
Ålder (å)	under 80	52	22 %
	80-99	91	38 %
	100-119	67	28 %
	120 eller över	27	11 %
Diameter (cm)	under 25	1	0 %
	25-29	115	48 %
	30-34	97	40 %
	35-39	16	7 %
	40 eller över	8	3 %
1. stamart	Tall	235	98 %
	Gran	5	2 %
2. stamart	Gran	160	67 %
	-	50	21 %
	Björk	22	9 %
	Tall	5	2 %
	Asp	2	1 %
	Hägg	1	0 %
3. stamart	-	160	67 %
	Björk	60	25 %
	Gran	11	5 %
	Asp	4	2 %
	Rönn	1	0,4 %
	Al	1	0,4 %
	Lärk	1	0,4 %
4. stamart	-	237	98,8 %
	Asp	2	1 %
	Sälg	1	0 %
Bottenyta (m^2)	under 10	4	2 %
	10-14	24	10 %
	15-19	78	33 %
	20-24	78	33 %
	25-29	42	18 %
	30 eller över	14	6 %

3.2 Tallarnas stamlavar

3.2.1 Luftföroreningarnas effekter på stamlavar

Lavar består av den klorofyllfria svampdelen och den assimilerande algdelen som lever i symbios. De har god framgång i näringsfattiga och torra livsmiljöer, där högre växter inte klarar sig Lavar växer som flercelliga växtkroppar med lös struktur utan skyddande ytcellskikt och luftintag. Näring och vatten tas upp direkt från luften, regnvattnet eller stamavrinningen. Detta gör lavarna känsliga för luftföroreningseffekter. De viktigaste luftföroreningarna som inverkar på lavarna är svaveldioxid och kväveoxider. Exponeringen sker i huvudsak så att föroreningarna fäster sig på de proteiner i cellväggarna som finns på svampdelen. Under vintern när det vanligtvis finns mera föroreningar i luften, skyddas inte de epifyta lavarna av snötäcket och under mildare väderförhållanden kan deras cellverksamhet aktiveras.

Lavar beskriver luftföroreningarnas inverkan individuellt som morfologiska eller kemiska förändringar synliga för ögat, som förändringar i täckningsgrad och som förändringar i lavsamhällenas artsammansättning (Lodenius m.fl. 2002). De förändringar i lavarna och lavfloran som luftföroreningar orsakar kan uppenbara sig snabbt, speciellt vid höga föroreningshalter. Vanligtvis syns effekterna i flera år efter att belastningen minskat, eftersom lavarna växer långsamt och effekterna kan föras vidare genom växtunderlaget (Jussila m.fl. 1999). Lavarterna reagerar olika på luftföroreningar: Först minskar täckningsgraden av de känsligaste arterna på trädens stammar tills arten inte längre kan klara sig på sin tillväxtplats. Då kan de mer hållbara arterna erövra den frilagda livsmiljön. Några arter kan till och med dra nytta av belastningen.

I denna uppföljning bedömdes blåslavens (*Hypogymnia physodes)* skadeklass samt den allmänna skadeklassen som morfologisk förändring. Förändringar i lavfloran bedömdes med hjälp av artantal och IAP-indexet (Index on Atmospheric Purity, index som beskriver luftens renhet). Täckningsgrader bedömdes för blåslavens och tagellavens (*Bryoria* sp.) del med poängfrekvensmetoden. Observationerna gjordes på provytan på fem provträd, vars lavarter bedömdes på 50–200 centimeters höjd.

3.2.2 Undersökta lavarter

Som indikatorarter enligt standarden SFS 5670 användes 12 lavarter som är allmänt förekommande på tallar. Indikatorarterna klassificerats enligt sin känslighet i fyra klasser (Tabell 3-3). Förekomsten av vissa arter påverkas förutom av artens känslighet för föroreningar även av naturliga miljöförhållanden, vilket är förklaringen till varför arternas indikatorvärden är olika. Vissa arter föredrar t.ex. havsstränder, vissa ljusa och torra skogar andra vill ha tätare skogar. Vissa vill ha yngre träd medan andra vill ha äldre. Arternas särdrag samt deras indikatorvärden redovisas i tabell 3-4.

Tabell 3-3. Undersökta lavarter och deras sensitivitet för svaveldioxid (Kuusinen m.fl. 1990).

Sensitivitet	Vetenskapligt namn	Svenskt namn
Hållbar, nyttoanvändare	*Algae + Scoliciosporum*	algtäcke
	Hypocenomyce scalaris	flarnlav
Tämligen uthållig	*Hypogymnia physodes*	blåslav
	Parmeliopsis ambiqua	stocklav
	Cetraria chlorophylla	brämlav
	Vulpicida pinastri	granlav
Tämligen känslig	*Parmeliopsis hyperopta*	vedlav
	Parmeliopsis aleurites	klilav
	Platismatia glauca	näverlav
	Pseudevernia furfuracea	gällav
	Parmelia sulcata	skrynkellav
Känslig	*Bryoria* sp.	tagellavar
	Usnea sp.	skägglavar

Tabell 3-4. Lavarter enligt standarden SFS 5670 som indikatorer för luftkvaliteten. Indikatorvärdets klassificering: +++ god, ++ måttlig, + liten, - dålig. Antalet åtföljande arter har beräknats utifrån sammanslaget material från bioindikatorstudier i Nyland 2009, Norra-Karelen 2010, Karleby och Jakobstad 2012 samt Södra-Karelen 2012 (Huuskonen m.fl. 2010, Lehkonen m.fl. 2011, Huuskonen m.fl. 2013, Lehkonen 2013 och denna uppföljning, total av 7885 träder).

Blåslav (*Hypogymnia physodes*) +++

Blåslaven är den mest uthålliga och allmänna arten av bioindikatorarterna, som tål luftföroreningar bra. Blåslavens förekomstfrekvens d.v.s. täckningsgrad, minskar först på svårt belastade områden. Blåslaven är en bra indikator för luftkvaliteten eftersom även synliga skador på bålflikarna beskriver luftföroreningarnas belastning. Antalet åtföljande arter är 4,92.

Stocklav (*Parmeliopsis ambiqua*) +++

Även stocklaven tål luftföroreningar mycket bra och dess förekomstfrekvens följer belastningszonerna för luftföroreningarna. Stocklaven trivs bäst i täta, fuktiga skogar (Pihlström & Myllyvirta 1995). Stocklaven är väldigt allmän, tål luftföroreningar och är en bra indikatorart Antalet åtföljande arter är 4,92.

Vedlav och klilav (*Parmeliopsis hyperopta & Imshaugia aleurites*) +++

Vedlav och klilav placerar sig på tredje plats vad gäller uthållighet. Denna placering stämmer vanligtvis bra med den regionala fördelningen av dessa arters förekomstfrekvens, då de jämfört med de två föregående arterna är känsligare och arternas minskade förekomstfrekvenser i mindre utsträckning sträcker sig till belastade områden än blås- och stocklaven. Vedlav och klilav tål luftföroreningar och är bra indikatorarter, som dock föredrar torra och ljusa talldungar på klippor. Antalet åtföljande arter är 5,33.

Flarnlav (*Hypocenomyce scalaris*) ++

Flarnlav växer naturligt på gamla tallstammar. Den kan även dra nytta av luftföroreningar och förekomsten ökar när belastningen av luftföroreningar ökar. Flarnlaven är en rätt bra positiv indikator på luftföroreningar, dvs. förekomsten av den beskriver främst kvävenedfallets övergödande inverkan. Antalet åtföljande arter är 5,29.

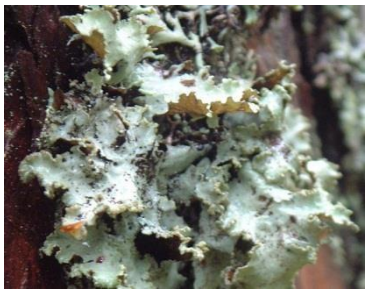
Tagellav (*Bryoria* sp.) +++

Tagellavar har i medeltal flest antal åtföljande arter, vilket pekar på dess känslighet för luftföroreningar. Tagellavarnas förekomstfrekvens följer vanligtvis belastningsnivån av luftföroreningar och tagellavarnas längd kan användas som kännetecken för att beskriva belastningen. Tagellavar är goda indikatorer för luftföroreningar. Antalet åtföljande arter är 6,27.

Skägglav (*Usnea* sp.) +++

Skägglavens förekomstfrekvens varierar beroende på belastningen från luftföroreningar vanligen på samma sätt som för tagellavarna. S. Antalet åtföljande arter är rätt många precis som hos tagellaven, vilket pekar på lavarternas känslighet mot luftföroreningar. Skägglavarnas längd kan även användas som kännetecken för att beskriva belastningen. Närheten till kusten gynnar skägglavarnas förekomst. Antalet åtföljande arter är 6,22.

Näverlav (*Platismatia glauca*) ++



Utifrån antalet åtföljande arter är näverlaven en relativt känslig indikatorart och dess förekomstfrekvens är i allmänhet logisk: arten saknas på belastade områden och förekommer rikligt på rena områden. Näverlaven är känslig för luftföroreningar, men dess naturliga förekomst kan ändå variera mycket och därför är dess indikatorvärde måttligt. Antalet åtföljande arter är 5,88.

Granlav (*Vulpicida pinastri*) +

Förekomsten av granlav är väldigt slumpmässig, den kan förekomma i mycket belastade områden medan den saknas i bakgrundsområden. Den naturliga förekomsten av granlav varierar mycket, men luftföroreningarna kan möjligtvis påverka dess förekomst. Granlavens indikatorvärde för luftkvaliteten är ändå lågt. Antalet åtföljande arter är 5,32.

Brämlav (*Cetraria chlorophylla*) –

Av de 12 indikatorarterna är brämlaven en av de mest sällsynta. Dess förekomst varierar ofta slumpmässigt och den kan hittas på mycket belastade områden. Som indikator för luftkvaliteten är brämlaven dålig. Antalet åtföljande arter är 6,94.

Gällav (*Pseudevernia furfuracea*) ++

Gällav är en mycket allmän lavart på tallstammar. Utifrån medelantalet av åtföljande arter kan gällaven anses vara känslig för luftföroreningar och dess regionala förekomstfrekvens motsvarar ofta belastningsfördelningen av luftföroreningar. Luftföroreningar orsakar tydliga förändringar på gällavens bålflikar. Närheten till kusten gynnar förekomsten av gällav eftersom den trivs i ljusa, torra talldungar på klippor. Som indikator är den måttlig. Antalet åtföljande arter är 5,80.

Skrynkellav (*Parmelia sulcata*) +

Som lavart påträffas skrynkellaven sällan på tallstammar. Skrynkellaven är en lavart som drar nytta av näringsämnen och som förekommer främst t.ex. vid kanterna av områden med kalkdamm. Skrynkellaven lämpar sig bra som indikator för kalkdamm. Generellt är skrynkellaven så sällsynt, att dess indikatorvärde blir lågt. Antalet åtföljande arter är 6,25.

Grönalg och trädgrönelav (*Algae & Scoliciosporum*) +++

Vid en växande mängd av kvävenedfall ökar mattan av grönalger, alltså är den en positiv indikator på luftföroreningar. Grönalgen och trädgrönelaven är goda indikatorer på kvävebelastning. Antalet åtföljande arter är 4,86.

Arternas förekomst undersöktes genom att utvidga standardmetoden på så sätt att rikligheten av varje art bedömdes genom att använda en tre graders klassificering (Tabell 3-5). För varje provträd och -yta beräknades artmängden för de lavar som tar skada av luftföroreningar. Vid beräkningen av artmängden för ett specifikt område eller träd togs inte de arter som drar nytta av föroreningarna, flarnlav samt alg och trädgrönelav, i beaktande varvid artmängden kunde vara högst 10 för varje provträd eller provyta. I rena bakgrundsområden påträffas det vanligtvis fler lavarter än i belastade områden. (Tabell 3-6).

Tabell 3-5. Klassificering av lavarnas riklighet. Algtäcket (Algae & Scoliciosporum) och flarnlaven (Hypocenomyce scalaris) är klassificerade enligt täckningsgrad (%), andra arter utifrån antalet bålflikar.

Klass	Antalet bålflikar, st	Täckning, %
1	1 - 2	< 5
2	2 - 7	5 - 49
3	> 7	≥ 50

Tabell 3-6. Klassificering av lavfloran utifrån artmängd.

Artmängd	Beskrivning av artmängden
0 - 1	Väldigt tydlig minskning
2 - 3	Tydlig minskning
4 - 5	Minskning
6 - 7	Lindrig minskning
≥ 8	Normal mängd i lavfloran

För varje provyta beräknades ett IAP-index (Index of Atmospheric Purity, index som beskriver luftens renhet) som beskriver lavfloran på provytan (LeBlanc och DeSloover 1970). Med hjälp av IAP-indexet kan man presentera diverse lavars förekomstfrekvens med ett siffervärde, i vilket man har tagit de olika arternas känslighet mot luftföroreningar i beaktande. Ett högt indexvärde uttrycker en riklig lavflora och därmed god luftkvalitet. Provytor med utarmad lavflora får däremot ett lågt indexvärde (Tabell 3-7). Indexet räknades för varje provyta på följande sätt:

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

Q = det genomsnittliga antalet av åtföljande arter för varje lavart (se Tabell 3-4)

f = den relativa förekomstfrekvensen för arten på provytan (0-1)

n = antalet lavarter (10)

IAP–indexet är beräknat genom att använda de tio indikatorarterna enligt standarden SFS 5670. I beräkningen lämnades flarnlaven (*Hypocenomyce scalaris*) och alger samt trädgrönelaven (*Algae och Scoliciosporum sp.*) bort, eftersom de drar nytta av belastningen.

Tabell 3-7. Lavarternas klassificering på basis av IAP-indexet.

IAP-index	Beskrivning av lavvegetationen
> 3	Samhälle i naturtillstånd, med känsliga lavarter
2 - 3	i lavfloran finns lindriga förändringar, de känsligaste arterna saknas allmänt
1 - 2	lavfloran har minskat, de känsligaste arterna kan förekomma på enstaka träd
0,5 - 1	lavfloran har minskat tydligt, generellt saknas de känsligaste arterna, arter som drar nytta av luftföroreningar förekommer vanligtvis på stammarna
< 0,5	lavöken eller nästan lavöken

3.2.3 Bedömning av skador och täckningsgrader

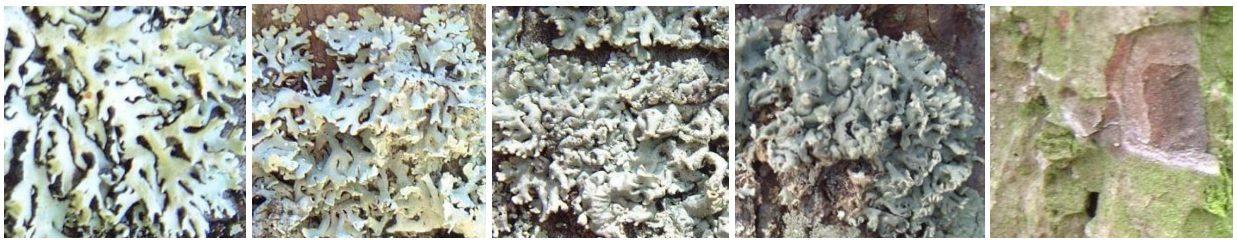
Blåslaven är en mycket god indikator på föroreningar då den klarar också mycket höga halter av luftföroreningar, men indikerar dem med morfologiska förändringar, som bedöms med hjälp av skadeklassen. Det har även föreslagits att blåslaven möjligen kan dra nytta av luftföroreningar till en viss belastningsnivå (Anttonen 1990). Då belastningsnivån växer kan blåsnivån som stark konkurrent ta över växtplatser från andra arter, vilket kommer till uttryck som en ökning av artens täckningsgrad vid en lindrig belastningsnivå. Blåslaven tål dock belastning endast till en viss nivå, därefter förvärras dess skador och täckningsgraden minskar (jämför t.ex. Niskanen m.fl. 2003a och Niskanen m.fl. 1996).

Blåslavens skadeklass och den allmänna skadeklassen bedömdes med en femskalig klassificering, med en halv skadeklass noggrannhet (Tabell 3-8, Figur 3-2). I den allmänna skadeklassen särskiljs tagellavar, skägglavar och gällav som buskartade till sitt växtsätt medan de andra arterna är bladartade.

För blåslav och tagellav (Bryoria sp.) beräknades förekomstfrekvensen med en schablon av ett rutfält på 1,2 meters höjd på den öst-nordöstra sidan och väst-sydvästra sidan av provträdet. På basis av förekomstfrekvenserna beräknades dessa arters relativa täckningsgrad för varje träd.

Tabell 3-8. Blåslavens och lavarnas allmänna skadeklass (SFS 5670).

Skada	Blåslavens skador	Allmän skada
I normal	Lavarna friska eller nästan friska	Alla arters utseende och växt oförändrade
II lindrig skada	Lindrigt förtvinade, lindriga färgförändringar	Buskartade lindrigt tvinade, bladartade normala
III tydlig skada	Lavarna är förtvinade, grönskiftande eller mörknade eller båda	Buskartade små, bladartade skadade
IV svår skada	Lavarna är små, skrynkliga, grönskiftande eller mörknande eller båda	Buskartade saknas, bladartade allvarligt skadade
V död eller saknas	Död eller saknas	Även bladartade saknas, algtäcke kan förekomma



I = normal II = lindrig skada III = tydlig skada IV = svår skada V = död eller saknas

Figur 3-2. Blåslavens (Hypogymnia physodes) skadeklass.

3.3 Grundämneshalter i barr, mossor och humus samt humusens kemiska egenskaper

I denna uppföljning har man utrett metall- och näringshalter och ansamlingen i tallbarr, väggmossor samt i markens humus. Dessutom har man utrett markens kemiska egenskaper (surhet och elledningsförmåga) men pH-värde och elledningsförmåga var inte inkluderat i uppföljningen 2018). Förutom belastningens regionala fördelning beskriver de undersökta variablerna även uppföljningsskogsbeståndens näringstillstånd samt jordmånens egenskaper. I tabell beskrivs antalet undersökta ytor i förhållande till varje matris och grundämne (Tabell 3-9).

Tabell 3-9. Provytornas antal i förhållande till de undersökta grundämnena och matriserna.

Grundämne	Förkortning	Barrytor	Mossytor	Humusytor
Aluminium	Al	0	227	42
Arsenik	As	76	227	15
Bor	B	231	227	27
Kvicksilver	Hg	76	227	15
Fosfor	P	231	227	27
Kadmium	Cd	231	227	42
Kalium	K	231	227	42
Kalcium	Ca	231	227	42
Kobolt	Co	76	227	15
Krom	Cr	231	227	27
Koppar	Cu	231	227	42
Bly	Pb	0	227	27
Magnesium	Mg	231	227	42
Mangan	Mn	231	227	27
Natrium	Na	0	227	15
Nickel	Ni	23	227	42
Järn	Fe	231	227	42
Svavel	S	231	227	27
Zink	Zn	23	227	42
Kväve	N	231	0	0
Vanadin	V	76	227	15
Litium	Li	2	2	2
pH-värde				0
Mängden utbytbara sura substanser cmol+/kg (= meq/100 g)				42
Elledningsförmåga mS/m				0
Kapaciteten för utbyte av katjoner cmol+/kg (= meq/100 g)				42

Brytningen, smältningen och förädlingen av metaller samt deras användning för olika ändamål har fått till stånd en mobilisering och spridning av tungmetaller i atmosfären i olika fysikaliska och kemiska former.

Metallernas rörelse och transformation samt deras avlägsnande från atmosfären i form av torr- och våtdeposition beror på metallernas förekomstformer och deras egenskaper. (Helanen m.fl. 1999).

De undersökta grundämnena beskrivs kort nedan.

Aluminium fungerar för egen del som en buffert för försurning av jordmånen. Då surheten ökar frigörs aluminiumet som är bundet i marken i markvattnet som lösligt Al3+, som då det förekommer i höga halter är skadligt för växter. (Tamminen 1998).

Arsenik är en i naturen allmänt, vanligtvis med sulfitmineraler förekommande halvmetall. Arsenik är mycket giftigt för vattenorganismer och det binds vanligen till jordmånen genom oxider, organiskt material och lermineraler. I grovkorniga jordsorter kan arsenik vara lättrörligt och rinna ut i grundvattnet. Arsenik används bl.a. inom elektronikindustrin. I Finland har lokal arsenikbelastning av jordmånen främst orsakats av användning av arsenik i träskydd som CCA-impregnering (Reinikainen 2007).

Bor är ett mikronäringsämne som vid brist orsakar tillväxt- och utvecklingsstörningar på tallar. Bristen är allmän i samband med höga halter av huvudnäringsämnen (Reinikainen m.fl. 1998). Närheten till havet kan höja borhalten eftersom havsvatten följer med regnen till kusten och innehåller mera bor än sötvatten (Raitio och Kärkkäinen 2002).

Kvicksilver kan förekomma i naturen både i grundämnesform och som olika oorganiska och organiska föreningar. I Finlands natur förekommer kvicksilverhaltiga mineraler naturligt mest i svartskifferhaltig berggrund. Kvicksilver används i allmänhet i bl.a. batterier, elapparater, den elektrolytiska produktionen av klor, målfärger och som bekämpningsmedel. Kvicksilverutsläpp i luften uppstår bl.a. inom energiproduktion samt i den oorganiska kemiindustrin (klorfabriker). (Reinikainen 2007, Helanen m.fl. 1999).

Fosfor är en väsentlig del av växtcellernas energilagrings- och överföringssystem, och dessutom förekommer fosfor också i proteiner och kolhydrater. En hög fosforhalt kan ha samband med brist på spårämnen och kalcium. (Reinikainen m.fl. 1998). På granar har däremot en sänkning av fosforshalten observerats bero på en ökning av kvävehalten (Thelin m.fl. 1998).

Kadmium förekommer i naturen i synnerhet i sulfitmalmer och den är relativt lättrörligt i jordmånen, beroende på jordmånens surhet och bl.a. mängden organiskt material. Kadmium ansamlas i både djur och växter och redan förhållandevis små halter i miljön kan orsaka effekter på näringskedjan. Kadmium har använts bl.a. i ytbehandling av järn, i färgpigment samt i batterier och ackumulatorer. (Reinikainen 2007).

Kalium är ett huvudnäringsämne som är viktigt i växternas vattenhushållning och för näringsämnena som reglerar transporten. Kalium binds inte till växtens organiska struktur, utan rör sig effektivt i K+-jonsform. (Reinikainen m.fl. 1998).

Kalcium är växternas huvudnäring, som i växternas ämnesomsättning verkar som det näringsämne som främjar rottillväxten, groningen och bildandet av cellväggarnas mellanväggar och cellmembranen. Finländska barrträd har anpassat sig till den sura jordmånen, som också barrens låga kalciumhalter beror på, och kalciumbrister i naturen är sällsynta. (Reinikainen m.fl. 1998). Kalkhaltig jordmån och kalkdamm från industriverksamhet kan öka kalciumhalten.

Av berggrunds- och markmineralerna förekommer **kobolt** närmast i sulfiter tillsammans med järn och nickel samt i små halter t.ex. i glimmer- och lermineraler. Kobolt är också ett nödvändigt spårämne för människor, men vissa föreningar är mycket giftiga för vattenorganismer, och vissa föreningar ökar cancerrisken om de inandas. Kobolt har använts bl.a. i olika metallblandningar inom industrin, i målarfärger och i ackumulatorer. Kobolt kan också läcka ut i jordmånen från gruvindustrin, avfall och avloppsvatten. (Reinikainen 2007).

Krom förekommer i naturen med oxidationsgraderna +3 och +6. I berggrunden och jordmånen förekommer största delen av kromet i relativt bestående och svårlösliga oxidmineraler. Sexvärt krom är cancerframkallande och skadligare för organismer än trevärt krom, men det har inte påträffats naturligt i den finländska jordmånen. Trevärt krom är ett nödvändigt spårämne för människor. Krom har i synnerhet använts inom tillverkningen av rostfritt stål samt t.ex. inom läder- och kemiindustrin samt i träskydd. (Reinikainen 2007).

Koppar är ett nödvändigt spårämne för djur och växter, men i höga halter är det mycket giftigt för vattenorganismer. Koppar som läckt ut i jordmånen som en följd av mänsklig verksamhet är ofta i mer löslig form än koppar som är bundet till jordmånens mineraler. Markens surhet och bristen på ämnen som binder koppar ökar kopparns rörlighet. För hög kopparhalt kan orsaka manganbrist på tallar (Rautjärvi och Raitio 2003). I Finland har koppar använts bl.a. i industrins metallblandningar, i färgpigment och för impregnering av trävaror (Reinikainen 2007). Även användningen av fossila bränslen släpper ut koppar i luften (Rautjärvi och Raitio 2003).

Litium tillhör gruppen alkalimetaller och förekommer i silikater i berggrunden. Det är inte känt om litium har någon betydelse som ett näringsämne, men vid höga koncentrationer är litium skadligt. Litium används i medicinskt syfte och i ackumulatorer och batterier. (Koljonen 1992).

Blyansamlingar förekommer vanligtvis i jordmånens organiska ytskikt. Blyets rörlighet i marken är oftast låg, men oxiderande och sura förhållanden samt komplexering med lösliga föreningar ökar blyets löslighet och rörlighet. Bly ansamlas i människans näringskedja och är mycket giftigt för vattenorganismer Bly har använts flitigt bl.a. i elektronikindustrin samt tidigare som tilläggsämne i bensin. Lokal blybelastning av marken har orsakats av bl.a. hagel och kulor från skjutbanor, slagg från kopparsmältverk samt bilackur. Förhöjda blyhalter kan också orsakas av stoftnedfall i luften från energiproduktionens förbränningsprocesser. (Reinikainen 2007).

Magnesium hör till växternas huvudnäringsämnen, och merparten av den förekommer i grönpartiklar. Magnesium är antagonist till kalium och kalcium och magnesiumbrist kan orsakas av ett sällsynt rikligt intag av NH4-kväve, kalium, kalcium eller tungmetaller. (Reinikainen m.fl. 1998). Magnesium i humus beskriver växtplatsens näringsinnehåll (Tamminen 1998). Magnesiumbrist har i Finland förekommit i närheten av pälsfarmer, på torvmarker som är kraftigt gödslade med kväve och på karga torvmarker (Ferm m.fl. 1988, Raitio 1990, Reinikainen m.fl. 1998). I kusttrakterna höjer salter från havsvattnet magnesiumhalterna (Binkley och Högberg 1997).

Mangan är ett av jordskorpans åtta vanligaste grundämnen och ett för människorna nödvändigt spårämne. Finlands naturligt sura jordmån innehåller naturligt mycket mangan (Rautjärvi och Raitio 2003). I berggrunden förekommer mangan som olika mineraler och malmer. Mangan används bland annat i tillverkningen av järn och stål, i aluminiumblandningar och som färgämne. Manganutsläppskällor är bl.a. stålindustri och förbränning av stenkol, olja och torv, samt damm från marken. (Värri 2007).

Natriumföreningar förekommer i jordmånen t.ex. i fältspat. Natrium kan i växter orsaka kalium-, magnesium- och fosforbrist eftersom upptaget av dessa förhindras (Reinikainen 1998).

Nickel förekommer naturligt i den finländska berggrunden och jordmånen bl.a. i nickelsulfitmineraler. Nickelns rörlighet i marken regleras av pH samt mängden organiska ämnen och aluminiumhaltiga lermineraler. Nickel är ett nödvändigt spårämne, som dock i vissa föreningar är mycket giftigt för vattenorganismer. Nickel används bl.a. i tillverkningen av rostfritt stål och metallblandningar, för galvanisering av metaller samt i batterier. Nickelutsläppskällor är bl.a. gruv- och metallindustrin och förbränning av stenkol och olja. (Reinikainen 2007, Melanen m.fl. 1999).

Järn är då det förekommer i barr en uppenbart god indikator på luftkvalitet, eftersom barrens järnhalter har observerats korrelera med järnhalter som mätts i luften (Landolt m.fl. 1989). Järn ansamlas på växternas yta via markdamm och från metall- och gruvindustrin (Rautjärvi och Raitio 2003).

Svavel är ett sidonäringsämne som växten använder för proteinämnen och som en del av sulfatlipiderna till membranstrukturerna. Man känner inte till några svavelbrister i de finländska skogarna. (Reinikainen m.fl. 1998). Svavel i humus beskriver växtplatsens bördighet (Tamminen 1998). Som indikator på svavelbelastning används förutom epifytlavar dessutom svavelhalterna i barr och mossa. Svavel kan röra sig ut i atmosfären relativt långt från sin utsläppskälla och det förekommer oftast i gasform i luften. Fastän svavelhalten har observerats stiga nära utsläppskällor och sjunka längre ifrån dem både i mossor och barr, anses de inte vara speciellt goda anrikningsindikatorer på svavel. Höga svavelhalter skadar växter och ändrar deras ackumuleringskapacitet (Äyräs m.fl. 1997). Dock har svavel på tallar observerats för att i första hand beskriva näringstillstånd och något samband mellan luftens svaveldioxidhalt och halterna i barrenhar man inte alltid observerat (Innes 1995, Rautjärvi och Raitio 2003). Dessutom kontrollerar växternas aktiva fysiologiska processer ansamlingen av svavel (Moser m.fl. 1993).

Zink är en vanlig metall i naturen, som förekommer naturligt i riklig mängd i områden med sulfithaltig berggrund (svartskifferområden) och sulfitmarker, som är vanliga i Österbotten. Försurningen av jordmånen och ökningen av aluminiumets löslighet ökar zinkens rörlighet. Zink är ett nödvändigt spårämne för djur och växter, men vissa zinkföreningar är mycket giftiga för vattenorganismer. Höga zinkhalter kan leda till fosforbrist (Reinikainen 1998). Zink används rikligt inom metallindustrin, t.ex. i ytbeläggning och mässingsblandningar av järn och stål. (Reinikainen 2007).

Kväve är en av växtcellernas viktigaste byggstenar och dess andel av växternas torrsubstans är 1-3 procent (Raitio 1983), i barr vanligtvis under 2 procent (Reinikainen m.fl. 1998). Kväve är ett lättrörligt näringsämne och kvävehalten i tallbarr minskar vanligtvis då barren åldras (Helmisaari 1993). I Finland är kväve den viktigaste faktorn som begränsar trädens tillväxt, och lindrig brist på kväve kan förekomma även i måttligt frodiga mineralmarker (Reinikainen m.fl. 1998). I ett område med rikligt stoftnedfall har man observerat en ansamling av kväve i barr (Raitio 1994, Innes 1995). En ökning av kvävenedfallet kan ändra växternas ämnesförhållanden och försämra trädens näringsupptagningsförmåga. Näringsobalansen utsätter trädbeståndet för sjukdomar, skadedjur och skador på grund av väderförhållanden (Thelin m.fl. 1998).

Vanadin förekommer naturligt i Finlands bergsgrund och jordmån som svårlösliga oxidmineraler eller bundna till glimmermineraler. Vanadin hör till de spårämnen som människan behöver. Vanadin används som blandningsämne bl.a. i stål, järnfria metallblandningar samt kemikalier. (Reinikainen 2007). Vanadinutsläpp uppstår bl.a. vid oljeförbränning (Melanen m.fl. 1999).

3.3.1 Barrens grundämneshalter och fastställandet av dessa

Föroreningar sugs upp via rotsystemet och ansamlas i barren. Dessutom ansamlas föroreningar i barrens ytceller direkt från luften. En del av nedfallet blir kvar på barrens yta utan att tas upp (Jussila m.fl. 1999). Barrens grundämneshalt beskriver den relativa belastningen, eftersom en del av grundämnena har sitt ursprung i markens naturliga näringskällor (Jussila m.fl. 1999). På basis av grundämneshalterna kan man dra slutsatser om relationen mellan näringsämnena, bristtillstånd eller giftigt höga halter. Kraftiga regn sänker grundämneshalten i barren (Huttunen 1982). Näringsämnen kan också spolas ner från kronan på de lägre barrens ytor; dessa näringsämnen härstammar från bladceller och torra nedfall (Helmisaari 1993). När barren åldras minskar halten av lättransportabla näringsämnen (N, S, Mg, K), och halterna av svårtransportabla (Ca, Mn) ökar. På belastade områden kan svavelhalterna dock tvärtom växa då barren åldras (Nieminen m.fl. 1993, Helmisaari 1993). I uppföljningen har man strävat efter att göra inverkan av barrens ålder konstant genom att göra analysen på andra årgångens barr.

Det är svårt att ge entydiga riktvärden för barrens grundämneshalter eftersom riktvärdena varierar i olika källor (jmf. Reinikainen m.fl. 1998). Referensvärden för barrens olika (närings)halter redovisas i följande tabell (Tabell 3-10).

Tabell 3-10. Referensvärden för barrens grundämneshalter i skog på momark (enligt Reinikainen m.fl. 1998, Brække 1994, Mälkönen 1991 och Raitio 1994).

Tall	Stor brist	Lämplig (optimal)	Medeltal	Minimum	Maksimum
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	över 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	över 0,9	0,94	0,66	1,42
B mg/kg	under 4	över 8,0	12,1	3,6	27,6
Cu mg/kg	1,9 - 3,0	inget optimalt värde	2,6 - 3,2	0,8	5,9
Zn mg/kg	under 5,0	inget optimalt värde	40 - 46	25,5	61
Mn mg/kg	under 7,0	inget optimalt värde	409 - 555	157	767
Fe mg/kg	27 - 30	inget optimalt värde	46,4	24,3	148

Barrproverna samlades in enligt standarden SFS 5669 under vintern 2018 från samma provytor som användes vid kartering av lavar senare på sommaren. Barrproverna samlas in under trädens viloperiod, eftersom barrens grundämneshalter då varierar mindre än under växtperioden (t.ex. Raitio och Merilä 1998). Från provträden skars 3–4 kvistar från olika sidor av kronan på 8–12 meters höjd. Proverna förpackades i plastpåsar som förvarades i frys tills det var dags för förbehandlingen av dem. Den andra barrårgången (årgången från 2016) separerades från proverna och barren torkades i papperspåsar i 40°C cirka en vecka. De torkade barren maldes till en homogen massa och upplöstes med hjälp av koncentrerad salpetersyra i en apparat där våtförbränningen sker med hjälp av mikrovågor. De avsvalnade proverna späddes ut med vatten. Barrprovernas grundämneshalter fastställdes med hjälp av ICP-OES apparatur i enlighet med standarden SFS-EN ISO 11885:09 och med hjälp av ICP-MS –apparatur i enlighet med standarden SFS-EN ISO 17294-2:16 (Tabell 3-14). För kvalitetssäkring av grundämnesbestämningarna används förutom parallellbestämningar både laboratoriets interna kontrollprov och certifierade referensmaterial (NIST SRM 1573a, Tomato Leaves). Resultaten är presenterade per torrsubstans (105 °C).

3.3.2 Mossans grundämneshalter och fastställandet av dessa

En kemisk analys av mossor är en bra metod för att t.ex. undersöka stoftnedfallet av tungmetaller, eftersom det täta mosstäcket samlar upp nästan allt stoftnedfall. Eftersom mossor inte har rötter, tar de upp alla grundämnen de behöver från näringsämnen som finns i regnvattnet och i förnan direkt i sina celler. I Norden har mossor ofta använts för att kartera tungmetallhalter, och en mycket anmärkningsvärd statistisk korrelation har upptäckts mellan mossornas tungmetallhalter och den absoluta mängden av stoftnedfall (Rühling m.fl. 1987).

Halterna av grundämnen i mossorna analyserades i enlighet med standarden SFS 5671. Från varje provyta insamlades minst fem delprover från olika plaster från så rena mossväxtligheter som möjligt. Man strävade efter att samla in delproverna från öppna platser i skogen. Från mossorna skars i terrängen de tre yngsta årsskotten som packades i plastpåsar. I laboratoriet rengjordes mossproverna och torkades i värmeskåp i ca. 40°C. De torkade barren maldes till en homogen massa och upplöstes med hjälp av koncentrerad salpetersyra i en apparat där våtförbränningen sker med hjälp av mikrovågor. Mossornas grundämneshalter fastställdes med hjälp av ICP-OES och ICP-MS apparatur (Tabell 3-14).

3.3.3 Fastställande av grundämneshalter och kemiska egenskaper i humus

Jordmånen och luftföroreningar

Naturliga faktorer påverkar jordmånens grundämneshalter, näringshalt och försurning (t.ex. mineraljordens geokemiska komposition, tjockleken på jordmånen och humusskiktet, jordmånens kornstorleksfördelning, stenighet, grundvattnets mobilitet, grundvattennivån, klimatfaktorer). Men även människans verksamhet, främst stoftnedfall som luftföroreningarna orsakar samt olika skogsbruksaktiviteter, påverkar grundämneshalterna i jordmånen. De näringsämnen som är tillgängliga för skogsvegetationen är bundna i humuslagret som täcker mineralmarken. På humuslagrets egenskaper inverkar växtligheten samt de miljöfaktorer som reglerar aktiviteten för populationen av nedbrytande organismer i jordmånen. (Tamminen 1998, Raitio & Kärkkäinen 2002). Ett beroendeförhållande mellan jordmånens egenskaper och produktionsförmåga har iakttagits, men däremot har man inte iakttagit något samband mellan vitaliteten för trädbeståndet som är kännetecknande för växtplatsen och jordmånens egenskaper bortsett från några ovanliga undantagsfall. (Tamminen 1998).

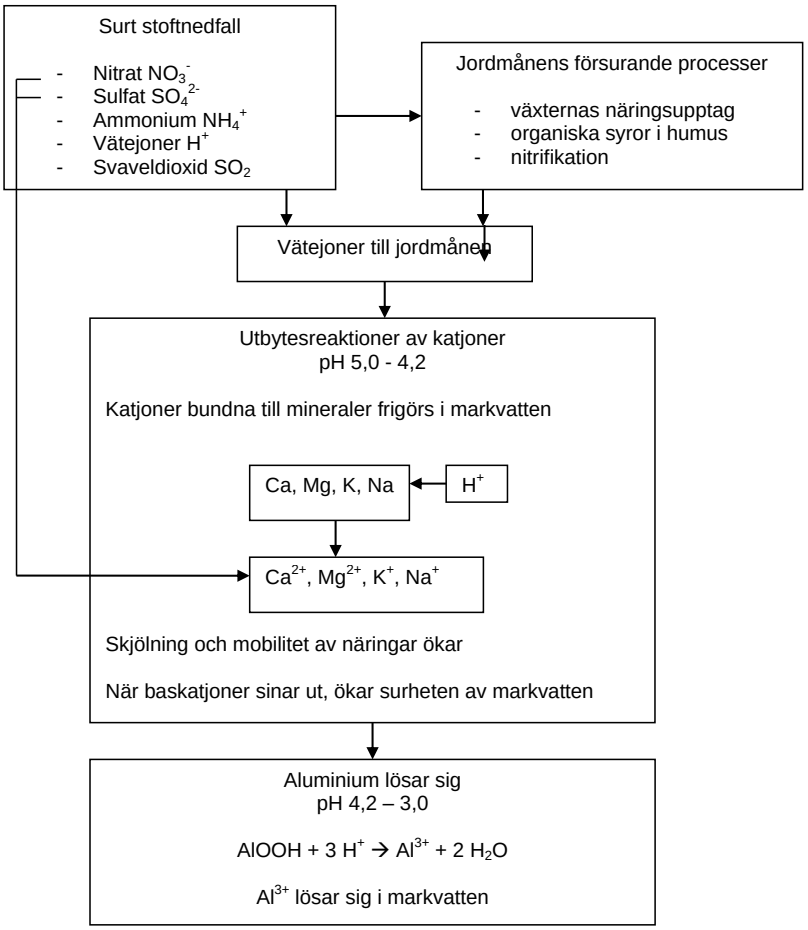
Man anser att humusens tungmetallhalter beskriver både belastningen som sprids genom luften och mängden tungmetaller som härstammar från jordmånen. Belastningen som sprids genom luften kan härstamma från fjärrtransport eller från lokala utsläppskällor. Speciellt den nationella fördelningen av de analyserade koppar- och blyhalterna i humusskikt, har konstaterats motsvara fördelningen av analyserade halter i mossor. (Tamminen 1998). Tungmetallerna i nedfallet samlas i skogsmarkernas humuslager där de vanligtvis bildar stabila komplexa föreningar. Metallernas övergång till de undre jordlagren är beroende av det organiska ämnets rörlighet, vilket påskyndas av försurningen (Ulrich 1991). Tungmetallerna deltar i utbytesreaktionen av katjoner mellan humuslagret och mineralmarken genom att förändra jordmånens kemiska sammansättning. På Kolahalvön har ett starkt tungmetallnedfall i närheten av Montegorsk förorsakat t.ex. utarmning av ytskiktets näringsinnehåll (Derome och Väre 1995). Motsvarande observationer har också gjorts i Harjavaltaregionen (Jussila 1999) samt i Karleby år 1997.(Niskanen m.fl. 1998).

Finlands skogsmarker är av naturen ganska sura. Försurning förorsakas naturligt av kolsyra i bl.a. regn- och markvatten, av vätejoner som förflyttar sig till marken i samband med att växterna tar upp näring ur marken och av de syror som bildas när ett organiskt ämne bryts ner. Förvittringen av mineraler och buffertreaktioner som motverkar förändringar i surheten är däremot neutraliserande processer. (Tamminen 1998). Nedfall som förorsakar försurning förorsakas av svavlets och kvävets oxider som i atmosfären förvandlas till svavel- och salpetersyra. Nedfallet gör att marken blir sur genom att ersätta de utbytbara basiska katjonerna som finns på ytan av jordpartiklarna med vätejoner och genom att försnabba urlakning av buffrande basiska katjoner ur jordmånen. (Lindroos och Derome 1998). När jordmånens förråd av basiska katjoner tagit slut, ökar mängden vätejoner i markvattnet, varvid även silikatmineralernas aluminium löser sig i markvattnet i ett visst skede (Figur 3-3). Aluminiumet i jordmånen fungerar för sin del som buffert för försurningen. Då surheten ökar frigörs aluminiumet som är bundet i marken ut i markvattnet som lösligt Al3+, som då det förekommer i höga halter är skadligt för växter. Det sura nedfallets inverkan på skogsmarken beror mycket på jordmånens egenskaper, framför allt på mängden basiska katjoner och jordmånens förvittringsförmåga. Jordmånens surhet fluktuerar både tidsmässigt (under växtperioden och från år till år) samt i djupled. Humuslagrets surhet har ett klart samband med växtplatsens bördighet. Försurningen har tills vidare inte konstaterats ha direkta verkningar på trädbeståndet i Finland, men försurningen inverkar indirekt på trädbeståndet bl.a. genom att fördröja nedbrytningen av organiskt material. (Tamminen 1998).

Jordmånens pH är ett sätt att beskriva markens surhet, men det beskriver inte jordmånens totalsurhet. Förändringar i jordmånens surhet beskriver jordmånens surhet liksom pH, men där pH-värdet anger koncentrationen av vätejoner kan mängden av vätejoner som binds till mineralerna också mätas genom att mäta mängden utbytbara sura substanser.

Kapaciteten för utbyte av katjoner beskriver jordmånens förmåga att binda de föränderliga katjonerna. De viktigaste positivt laddande näringsjonerna är ammoniumkväve (NH^{4+}), kalium (K^{+}), kalcium (Ca^{2+}) och magnesium (Mg^{2+}). Många spårämnen är också positivt laddade. Ju större kapaciteten för utbyte av

Katjoner är, desto mer väsentliga växtnäringsämnen kan lagras i marken eller i humus med elektroniska laddningar. Tungmetaller kan minska näringshalten i humusskiktet. T.ex. bindingskraften som aluminiumkatjon (Al3+) binder på jordmartikelns yta är högre jämfört med näringskatjoner liksom kalium, kalcium och magnesium. Aluminium avlägsnar t.ex. kalium i relativt låga koncentrationer, medan mycket kalium behövs för att avlägsna aluminium. (Mattila & Rajala 2018).



Figur 3-3. Faktorer som påverkar jordmånens surhet samt förändringar orsakade av surheten (Niskanen m.fl. 1998).

Fastställande av grundämneshalter och surhet

I Karlebyregionen fanns det 15 provytor för humus, varav 13 i Yxpilaomgivningen och 2 i bakgrundsområdena i Karleby och Kronoby. I Jakobstadsregionen fanns 25 provytor. Två nya 2 provytor grundades i Kaustby. Från varje provyta togs cirka 5 delprover från humuslagret som sammanställdes till ett blandprov som till sin volym var cirka 2 liter.

I laboratoriet sållades humusproverna genom en 2 mm sil och lufttorkades efteråt i 40 °C. För fastställandet av tungmetaller extraherades proverna och analyserades med samma metoder som för barr- och mossproverna. En del av proverna separerades för fastställande av mängden utbytbara sura substanser (ISO 12260, ISO 14254). Lufttorkade humusproven impregnerades genom att behandla den tre gånger med 0,1 M BaCl-lösningen. För mätningen titrerades med 0,05 M NaOH till pH-värdet 7,8. Totalsurheten beräknades på basis av NaOH-konsumtion. Resultatet har rapporterats med cmol+/kg (= meq/100g) torrsubstans.

Totalhalterna av aluminium analyserades i humusprov 2018. Tidigare uppföljningar hade bestämt aluminium i variabel form (dvs acetatekstrakt från humus) eller totala aluminiumkoncentrationer. Det totala aluminiuminnehållet är betydligt högre än aluminium bestämt i variabel form. Det fanns betydande skillnader i aluminiumhalterna i uppföljningar som genomförts under olika år.

Elledningsförmåga (mS/m) och pH-mätningar ingår inte i uppföljningen 2018.

Tröskel- och riktvärden som ska användas i bedömning av föroreningsgrad och saneringsbehov

I statsrådets förordning (VNA 214/2007) föreskrivs om bedömning av markens föroreningsgrad och saneringsbehov. I förordningen har man angett tröskelvärden för halterna samt lägre och högre riktvärden (Tabell 3-11). Om tröskelvärdena överskrids måste markens föroreningsgrad och saneringsbehov bedömas. Marken anses vara förorenad om det *högre tröskelvärdet* har överskridits för ett eller flera ämnens del på industri-, lager eller trafikområde eller på annat motsvarande område. Lägre riktvärden tillämpas för andra områden (4§).

Tabell 3-11. Tröskel- och riktvärden för bedömning av markens föroreningsgrad och saneringsbehov (VNA 214/2017). I kolumnen för utvärderingsgrund står bokstaven e för ekologisk risk och bokstaven t för hälsorisk.

Metall	Naturlig halt (mg/kg)	Tröskel-värde (mg/kg)	Nedre riktvärde (mg/kg)	Högre riktvärde (mg/kg)	Utvärderings grund
Arsenik	1 (0,1-25)	5	50	100	e
Kvicksilver	0,005 (<0,005-0,05)	0,5	2	5	e
Kadmium	0,3 (0-01-0,15)	1	10	20	e
Kobolt	8 (1-30)	20	100	250	e
Krom	31 (6-170)	100	200	300	e
Koppar	22 (5-110)	100	150	200	e
Bly	5 (0,1-5)	60	200	750	t/e
Nickel	17 (3-100)	50	100	150	e
Zink	31 (8-110)	200	250	400	e
Vanadin	38 (10-115)	100	150	250	e

3.4 Geoinformationsmetoder

Vid bearbetningen, utarbetningen och visualiseringen av geoinformationsmaterialet användes programmen QGIS 2.18 och QGIS 2.4. Zonkartorna interpolerades med kriging-metoden. Kriging-metoden beräknar värdet för okända punkter genom att fokusera på de närmaste kända punkternas värde, men fokuseringen baserar sig inte endast på avståndet mellan punkterna eller de förutspådda positionerna, utan även på kända punkters spatiala ordning och deras värden. Vid användandet av Kriging-metoden iakttas den spatiala autokorrelationens inverkan. Autokorrelation innebär att på platser som ligger nära varandra påminner responsvariablerna mer om varandra än på platser som ligger långt från varandra.

Vid granskningen av zonkartor ska det tas i beaktande att interpoleringen alltid är en generalisering, vars precision påverkas framför allt av punkternas mängd och täthet. Följaktligen kan resultaten från interpoleringen anses vara tillförlitliga på de områden där kända punkter (provytorna) är nära varandra, men i interpoleringsresultaten från glesa nätverk av provytor är osäkerhetsfaktorerna betydligt flera. När nätverket av provytor är glest, påverkar resultatet från en enskild provyta hela det vidsträckta området betydligt mer än om nätverket av provytor är tätt.

3.5 Statistiska metoder

Med hjälp av statistiska metoder strävade man efter att få uppgifter om luftkvalitets- och bakgrundsvariablernas inverkan på de undersökta variablerna, om samverkan mellan variablerna som beskriver luftkvaliteten samt om skillnader mellan olika år (Partanen och Veijola 1996). Med statistiska metoder undersöktes bakgrundsvariablernas (skogsbestånd och s.k. luftkvalitetsvariabler) inverkan på lavbestånd, samt korrelationen mellan lavbestånd och grundämneshalter. Med faktoranalys undersöktes även samverkan mellan barrens och mossornas grundämneshalter. För genomförande av de statistiska testerna användes programmet IBM SPSS Statistics.

3.5.1 Bakgrundsvariablernas inverkan

Som bakgrundsvariabler användes både s.k. kontrollvariabler, som beskriver provytans naturförhållanden, och variabler som beskriver provytans förhållande till utsläppskällorna (s.k. luftkvalitetsvariabler). Kontrollvariablerna beskriver inte direkt luftkvaliteten, men de kan påverka variabler som beskriver

luftkvaliteten. ”Luftkvalitetsvariablerna” beskrev ytans placering i förhållande till utsläppskällan beskriven som ytans avstånd till närmaste utsläppskälla, som avstånd till närmaste särskilda utsläppskälla, som avstånd till närmaste utsläppstyp eller som placering under 1 km, 2 km eller 5 km från utsläppskällan. Dessutom granskades inverkan av den närmaste utsläppskällans bransch. Tillståndspliktiga utsläppskällor som använts i de statistiska analyserna redovisas i Luftkvaliteten i uppföljningsområdet (kap 2.2). Som utsläppstyper användes uppgifter om verksamhetens luftutsläpp. Dessa var svavel-, kväveförenings-, partikel-, metall-, damm- och -utsläpp. Av tillståndspliktiga anläggningar saknas Kaustbys värmeanläggning (STEP Oy), Jepua Biogas Ab och Wibax (se Figur 2-5, som inte ingår i granskningen på grund av ofullständiga källuppgifter.)

Fördelning av utsläppskällor var djurstall (nöt, svin), energiproduktion, anläggningar som hanterar jordmaterial (produktion av mineralprodukter, stenbrytning, krossanläggningar, asfaltsanläggningar, kalkstensmalning), industri, pälsfarmer, torvproduktion, anläggningar som orsakar VOC-utsläpp och miljöserviceverksamheter (behandling av avloppsvatten, avstjälpningsplatser och jordavstjälpningsplatser). Skjutbanorna lämnades utanför granskningen. I gruppen för industrianläggningar ingick i denna granskning kemisk industri, skogsindustri, tillverkning av livsmedel och foder, hamnar och områden med småindustri, dvs. gruppen var synnerligen heterogen. Det var trots allt nödvändigt att slå ihop observationerna för att antalet skulle bli tillräckligt stort för analyserna.

De klassificerade variablernas inverkan undersöktes med hjälp av Kruskal-Wallis variansanalys och Mann-Whitneys U-test. De klassificerade kontrollvariablerna var följande:

- Provytans lämplighet (på skalan god – måttlig – dålig)
- Skogstyp
- Utvecklingsklass (på skalan ung – uppväxt – mogen)
- Klassificerade variabler som beskriver luftkvaliteten var
    - ytans placering i förhållande till en 1 km:s buffert i en tillståndspliktig utsläppskällas närhet
    - ytans placering i förhållande till en 2 km:s buffert i en tillståndspliktig utsläppskällas närhet
    - ytans placering i förhållande till en 5 km:s buffert i en tillståndspliktig utsläppskällas närhet
    - den närmaste utsläppskällans bransch

De kontinuerliga variablernas inverkan undersöktes med hjälp av regressionsanalys. Kontinuerliga kontrollvariabler var:

- Ålder (observationsträdens uppskattade genomsnittliga ålder)
- Längd (den uppskattade medellängden på skogsbeståndets stamträd)
- Bottenyta (medelvärdet av resultat mätt från tre ställen med relaskop, alla trädslag)
- Observationsträdens diameter i brösthöjd.
- Kontinuerliga variabler som beskriver luftkvaliteten var
    - provytans avstånd till närmaste utsläppskälla
    - provytans avstånd till närmaste djurskydd, energiproduktionsanläggning, marktäktsverksamhet, industrianläggning, pälsfarm, torvproduktionsområde, verksamhet som producerar voc-föreningar och s.k. miljöserviceverksamhet (behandlingsanläggningar för avloppsvatten, avfallscentraler, avstjälpningsplatser för marksubstanser).

Provytornas ojämna fördelning i klasserna som baseras på bakgrundsvariablerna kan minska tillförlitligheten i den statistiska utvärderingen av bakgrundsvariablernas inverkan, varvid resultaten speciellt kan påverkas av fel orsakade av oenigheter i de parametriska testernas bakgrundsantaganden, som påverkar testernas relevansnivå och varaktighet. Om till exempel både urvalsstorlekarna och varianserna skiljer sig gruppvis, växer risken att göra ett typ-1 fel, det vill säga att man förkastar nollhypotesen trots att den är sann (Ranta m.fl. 1989).

3.5.2 Regressionsanalys

De viktigaste undersökta variablernas beroende av kontinuerliga variabler som beskriver bakgrunds- och luftkvalitet granskades med linjär regressionsanalys av flera förklarande variabler. Med hjälp av regressionsanalysen försökte man få svar på hur variationen i en beroende variabels värde beror på oberoende variablers värden och förändringar i dessa. Som förklarande variabler som beskriver ytans naturliga variation användes trädbeståndets bottenyta, ålder, längd och genomsnittliga diameter i brösthöjd. Som förklarande variabler som beskriver luftkvalitet användes avståndet till närmaste utsläppskälla i olika branscher. Olika branscher grupperades i djurskydd, energiproduktionsanläggningar, marktäktsverksamhet (tillverkning av mineralprodukter, stenbrytning, krossanläggningar, asfaltstationer, malning av kalksten), i industri (inkluderar både s.k. små- och storindustri eller bl.a. skogs- och kemiindustri, tillverkning av livsmedel och foder, hamnar mm.), pälsfarmer, torvproduktionsområden, verksamhet som producerar voc-föreningar (bl.a. plastindustri, målerier m.m.) och s.k. miljöserviceverksamheter (avloppsvattenreningsverk, avstjälpningsplatser, avstjälpningsplatser för marksubstanser). En sammanslagning av grupper var nödvändig då det t.ex. i branscherna som sammanslagits till industrigruppen fanns många små grupper som

det inte var meningsfullt att behandla som skilda variabler. Skjutbanorna lämnades utanför granskningen då de till antalet var få och inte i de redan utförda granskningarna observerats ha någon inverkan på lavvariablerna.

Konstanten (regressionskoefficienten) som förekommer i regressionstabellerna beskriver den beroende variabelns beroende av en oberoende variabel, dvs. den beskriver hur stor förändrande inverkan den oberoende variabeln har på den beroende variabelns värden. Av den anledningen kan man på basis av regressionskoefficienten direkt avgöra hur mycket t.ex. en ökning av avståndet ökar eller minskar den observerade variabelns värde per enhet. Konstantens tecken beskriver beroendets riktning. Den standardiserade B-koefficienten beskriver för sin del varje förklarande variabels inverkan, oberoende mätenhet, på den beroende variabeln. Med hjälp av dessa koefficienter kan man jämföra olika variablers ömsesidiga betydelse som förklarare av variabeln som ska granskas. Med hjälp av teststorheten t- och p-värde kan man granska den statistiska signifikansen för termer som hör till regressionsmodellen (kolumn B).

3.5.3 Jämförelser mellan år

Skillnader mellan år undersöktes med ett parvis t-test.

3.6 Felkällor och tillförlitlighet

3.6.1 Lavkartering

På tillförlitligheten hos lavkarteringens resultat inverkar speciellt den artkännedom och den erfarenhet av bioindikatorutredningar de som utför karteringen har. Det är inte nog att känna till de 12 indikatorarterna enligt standarden SFS 5670, för om artkännedomen är knapp kan man blanda ihop indikatorarterna. Luftföroreningar kan orsaka märkbara förändringar i lavarnas utseende och därför räcker det inte med tanke på undersökningen tillräckligt att man känner igen lavarnas naturliga utseende.

Registeringen av olika lavarter kan variera mellan olika karterare. På grund av algtäckets och flarnlavens växtsätt kan det vara mycket svårt att observera dessa. Algtäcken kan förekomma även som väldigt små grönaktiga fläckar. Flarnlaven växer som enskilda fjäll med en storlek som är under 1 mm. Detta fjälltäcke kan vara ett nästan enhetligt, klart skönjbart täcke på barken eller endast nästan enskilda fjäll. Vad gäller släktet Parmeliopisis har bara de med tydligt synbara bålflikarna registrerats; gula och ljusa finmjöliga växttyper som finns på barken registreras inte. På grund av de tidigare nämnda orsakerna är felkällorna många vid observation och bedömning av förekomst, när man sinsemellan jämför olika forskares resultat.

Bedömning och klassificering av de synliga skadorna på lavarna som baserar sig på subjektiva bedömningar ger också upphov till skillnader mellan karterarna i resultaten av lavkarteringen. För att minska dessa felkällor utbildades terränggruppen och bedömningsnivåerna styrdes till samma nivå med hjälp av test innan terrängsäsongens början. Terränggruppens bedömningsnivå av skadorna och noggrannheten i lavartsobservationerna testades också under terrängsäsongen.

I utredningen (Palojärvi m.fl. 2005a) som miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet gjorde på felkällor vid bedömning av tallens epifyta lavar och blåslavens skador, konstaterades att värdena för blåslavens skador inte skilde sig statistiskt märkbart mellan karterarnas egna bedömningsgånger och inte heller mellan olika karterares observationer. Observationerna av antalet lavarter som lider av luftföroreningar skilde sig inte statistiskt märkbart från varandra mellan karterarnas egna observationsgånger, men mellan olika karterare konstaterades några statistiskt betydande skillnader. I blåslavens relativa täckning förekom statistiskt märkbara skillnader både i karterarnas egna mätningar och i mätningar gjorda av olika karterare, liksom också i bedömningen av grönalgen. Av lavobservationerna visade sig observationen av algtäcket vara den mest osäkra i fråga om noggrannhet. Bedömningen av algens förekomst avvek på provytor där algtäcket förekom som mycket små grönaktiga fläckar på tallstammarna. Till skillnad från grönalgen konstaterades inga skillnader i observationen av flarnlaven. (Tabell 3-12).

Tabell 3-12. Lavobservationernas mätningsprecision med en 95 % konfidensintervall.

	Observationsprecision	Skillnad i resultaten
Blåslavens skador		
Skillnaden mellan en karterares värden	3 - 12 %	0,1 - 0,2 skadeklass
Skillnaden mellan flera karterares värden på en provyta	10 - 16 %	0,2 - 0,4 skadeklass
Antal lavarter		
Skillnaden mellan en karterares värden	11 - 23 %	0,9 - 1,6 arter
Skillnaden mellan flera karterares värden på en provyta	0 - 5 %	0 - 0,9 arter
Blåslavens täckningsgrad		
Skillnaden mellan en karterares värden	34 - 42 %	3,3 - 3,0 %-enhet
Skillnaden mellan flera karterares värden på en provyta	11 - 22 %	0,7 - 4,9 %-enhet

3.6.2 Fastställande av barrens grundämneshalter

Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet undersökte under 2004 sådana fel som uppstår i samband med insamlingen och analyseringen av barrprover (Polojärvi m.fl. 2005). Mätnoggrannheten för metoden som innefattar fel som uppstår både vid provtagning och vid analys var för svavelhalten i medeltal ± 5 % och för kvävehalten ± 7 %. Som lägst var mätnoggrannheten på verkningsområdet för ett stort punktutsläppsområde för svavel ± 14 % och kväve ± 12 % (Tabell 3-13). För att minska provtagningens mätosäkerhet tas proverna på olika sidor av provträdet varvid det i blandprovet finns barr från både utsläppssidan och den skyddade sidan. Vid undersökningen av metodens reproducerbarhet iakttog man just inga statistiskt betydande skillnader (se Polojärvi m.fl. 2005b). I studien från 1995 bedömdes karteringens mätningsprecision för barrens svavelhalt att vara ± 7 % (Niskanen 1995) och vid upprepning av metoden ± 14 % (Tabell 3-14) (Niskanen m.fl. 1996).

Vid karteringen av barrens svavel- och kvävehalt försämrades precisionen i metoden som användes, speciellt vid sådana situationer där halternas variationsintervall var liten och halterna påverkades av väderförhållandena. Genom att ta prover från samma träd under olika år får man en bättre bild av förändringar i halterna på provytorna. Mätosäkerheten och de bestämningsgränser som uppkommer i samband med laboratorieanalysen för de specificerade grundämneshalterna redovisas i tabell (Tabell 3-14).

Tabell 3-13. Medelvärdet av mätningsprecisionen för svavel och kväve i de olika evalueringarna av mätningsprecisionen som gjorts under olika år med 95 % konfidensintervall. (Polojärvi m.fl. 2005). År 1995 var mängden träd på provytorna fem i stället för de tio som användes 2004.

		Mätningsprecision i mätningsprecision	Sämsta mätningsprecision
Svavel	2004	± 5 %	± 14 %
	1995	± 7 %	
Kväve	2004	± 7 %	± 12 %

Tabell 3-14. Metoder, bestämningsgränser och mätosäkerheter som användes vid analyseringen av barrens (B) och mossans (M) grundämneshalter.

Material	Grundämne	Metod	Bestämingsgrans mg/kg medeltal (torrsubstans)	Mätosäkerhet
M	Al	ICP-MS	10	<500 mg/kg ± 30%, >500 mg/kg ± 15%
BM	As	ICP-MS	0,03	<0,5 mg/kg ± 30 %, >0,5 ± 15 %
BM	B	ICP-OES	5	>30 mg/kg ± 22 %, >30 mg/kg ± 14 %
BM	Ca	ICP-MS	100	<2000 mg/kg ± 20 %, >2000 mg/kg ± 12 %
BM	Cd	ICP-MS	0,02	<0,1 mg/kg ± 35%, 0,1-0,2 mg/kg ± 20%, >0,2 mg/kg ± 10%
BM	Co	ICP-MS	0,03	<0,2 mg/kg ± 20%, >0,2 mg/kg ± 13%
BM	Cr	ICP-MS	0,1	<2 mg/kg ± 30%, >2 mg/kg ± 16%
BM	Cu	ICP-MS	0,4	<5 mg/kg ± 26%, >5 mg/kg ± 16%
M	Fe	ICP-MS	5	<100 mg/kg ± 20%, >100 mg/kg ± 15%
BM	Hg	ICP-MS	0,03	<0,15 mg/kg ± 22%, >0,15 mg/kg ± 15%
BM	K	ICP-MS	100	<1000 mg/kg ± 32%, >1000 mg/kg ± 12%

Material	Grundämne	Metod	Bestämingsgrans mg/kg medeltal (torrsubstans)	Mätosäkerhet
BM	Mg	ICP-MS	20	<1000 mg/kg ± 15%, >1000 mg/kg ± 10%
BM	Mn	ICP-MS	1	<70 mg/kg ± 20%, >70 mg/kg ± 13%
B	N	ICP-MS	300	<3000 mg/kg ± 30%, >3000 mg/kg ± 15%
M	Na	ICP-MS	40	<150 mg/kg ± 30%, >150 mg/kg ± 16%
BM	Ni	ICP-MS	N: 0,1 / S: 0,2	<1 mg/kg ± 25%, >1 mg/kg ± 15%
BM	P	ICP-MS	20	<500 mg/kg ± 20%, >500 mg/kg ± 12%
M	Pb	ICP-MS	0,05	<0,02 mg/kg ± 28 %, >0,02 mg/kg mg/kg ± 14 %
BM	S	ICP-MS	50	<1000 mg/kg ± 20%, >1000 mg/kg ± 10%
BM	V	ICP-MS	0,1	<1 mg/kg ± 25%, >1 mg/kg ± 16%
BM	Zn	ICP-MS	3	<20 mg/kg ± 26%, >20 mg/kg ± 13%
BM	Li	ICP-MS	0,2	± 20%

3.6.3 Fastställande av mossans och humusens grundämneshalter

I samband med bioindikatoruppföljningen i huvudstadsregionen har man uppskattat mätnoggrannheten för bestämningen av metallhalterna för mossa och humus (Veijola & Niskanen 1998). I utredningen analyserades de 10 moss- och humusproverna som tagits från samma två provytor (Noux och Bolarskog) separat för att uppskatta helhetsprovets noggrannhet. För de mätbara parametrarna uppskattades konfidensintervaller när helhetsproverna antogs bestå av 5–15 delprover. För att det skulle vara lättare att föreställa sig parameterns mätningsprecision, framställdes resultaten genom att standardisera medelvärdet till hundra. I praktiken kan konfidensintervallen 100 ± 40 tolkas så att skillnaden mellan olika områden, eller år bör vara större än 40 procent för att de statistiskt ska skilja sig från varandra.

I mossproverna undersökte man halterna av kadmium, bly, vanadin, nickel, järn, zink och kvicksilver I humusproverna undersökte man halterna av kalcium, magnesium, kalium, natrium och aluminium. I tabellerna nedan (Tabell 3-15, Tabell 3-16) har man jämfört mätnoggrannheten för ett blandprov av 5 och 10 delprover. På basis av resultaten uppnår man en mindre variationsbredd när man analyserar flera delprover. För mossornas del hade zink den bästa mätningsprecisionen och nickel den sämsta. För humusens del hade magnesium den bästa mätningsprecisionen och aluminium den sämsta.

Mätosäkerheterna i samband med analysen av grundämneshalterna för mossa och humus samt bestämningsgränserna är de samma som hos barr (Tabell 3-14).

Tabell 3-15. Konfidensintervallen 95% för mossornas metallhalter när blandprovet består av 5 eller 10 delprover (medelvärdet standardiserats till 100) (Veijola & Niskanen 1998).

	5 delprov		10 delprov	
	Noux	Bolarskog	Noux	Bolarskog
Cd	100 ± 19	100 ± 19	100 ± 11	100 ± 11
Pb	100 ± 13	100 ± 23	100 ± 8	100 ± 13
V	100 ± 29	100 ± 28	100 ± 17	100 ± 16
Ni	100 ± 74	100 ± 48	100 ± 43	100 ± 28
Fe	100 ± 39	100 ± 29	100 ± 23	100 ± 17
Zn	100 ± 17	100 ± 10	100 ± 10	100 ± 6
Hg	100 ± 33	100 ± 40	100 ± 19	100 ± 23

Tabell 3-16. Konfidensintervallen 95% för humusens parametrar då blandprovet består av 5 eller 10 delprover. Medelvärdet är standardiserat till 100. Som enhet för metallhalterna användes cmol+/kg (= meq/dm^3). (Veijola & Niskanen 1998).

	5 delprov		10 delprov	
	Noux	Bolarskog	Noux	Bolarskog
Ca	100 ± 55	100 ± 46	100 ± 32	100 ± 26
Mg	100 ± 31	100 ± 40	100 ± 18	100 ± 23
K	100 ± 45	100 ± 58	100 ± 26	100 ± 34
Na	100 ± 32	100 ± 49	100 ± 18	100 ± 28
Al	100 ± 56	100 ± 52	100 ± 32	100 ± 30

4. RESULTAT

4.1 Tallarnas stamlavar

Tallarnas lavflora, beskrivna med variablernas medeltal, maximi- och minimivärde samt standardavvikelse redovisas i tabell nedan (Tabell 4-1). Varje variabel som beskriver en lavflora har granskats närmare i följande kapitel.

Tabell 4-1. Luftrenhetsindexet för tallens stamlavar, artmängden på enskilda provytor och den trädspecifika artmängden, blåslavens skadeklass, allmän skadeklass, blåslavens täckning, tagellavarnas täckning och medeltalet av algens frekvens, standardavvikelse och minimi- och maximivärde.

N = 240	Medeltal	Minimum	Maximum	Standardavvikelse
IAP	1,6	0	3,3	0,62
Artmängd/provyta	4,1	0	8	1,60
Artmängd/träd	3,1	0	6	1,11
Blåslavens skadeklass	2,6	1,1	5	1,04
Allmän skadeklass	3,7	1	5	0,63
Blåslavens täckningsgrad (%)	8,2	0	50,8	10,1
Tagellavarnas täckningsgrad (%)	0,04	0	3,5	0,28
Algens förekomst	1,9	0	5	2,20

4.1.1 Blåslavens skadeklass

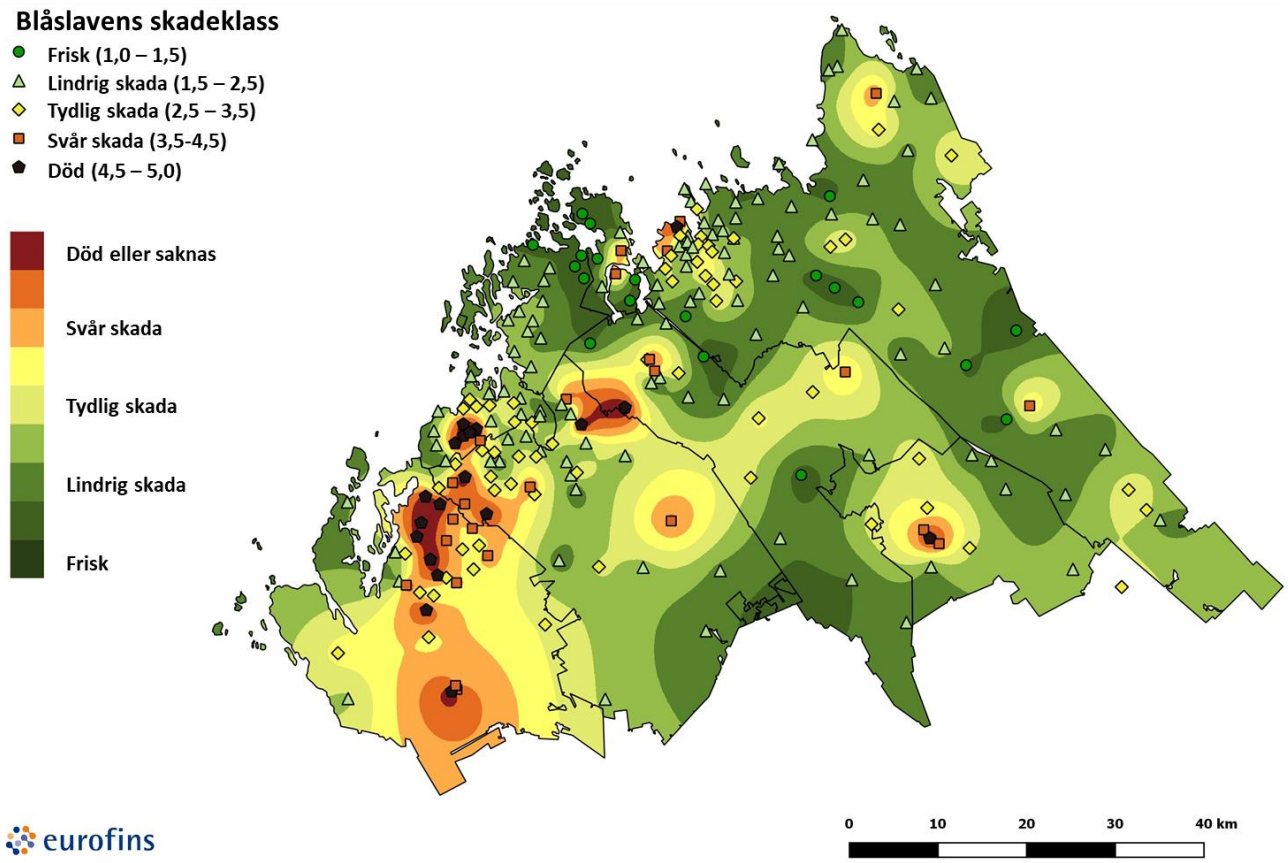
Blåslavens skador var i genomsnitt lindriga (genomsnittlig skadeklass 2,6). Skadeklasserna i uppföljningsområdet varierade från normal till död eller saknas (Tabell 4-1). Skadornas fördelning i hela materialet undersöktes genom att klassificera skadeklasser enligt provyta (Figur 4-1). På nästan hälften av provytorna var blåslaven lindrigt skadad och tydligt skadad på ca. 20 procent av provytorna. Blåslaven var svårt skadad ca 10 procent av ytor och saknades från ca. 8 procent dvs. 19 ytor. Blåslaven var normal på 8 procent av provytorna.

Figur 4-1. Blåslavens skadeklass på provytorna per stam 2018 (N =240).

Friskt växande blåslavar fanns i uppföljningsområdet i Karleby i områden nära kusten, i mellersta delarna av Karleby, Larsmo och mellersta delen av Kronoby samt i nordvästra del (Figur 4-2).

I Yxpilaområdet fanns en lavöken, på andra provytor på Yxpilaområdet förekom blåslav. Effekten av Yxpila industriområdes utsläpp nådde inte för blåslavsskadornas del något särskilt omfattande område. Ytor med lavöken fanns förutom i Yxpila dessutom i Jakobstad, Nykarleby, Pedersöre, Kaustby och Ullava bycentrum. Ytor med lavöken i Larsmo kommun var inte observerats. Kaustbys ytor med lavöken låg i närheten av Findest Protein Oy, Fortum och pälsfarmsklustret som finns i området. Ytan med lavöken som ligger i norra delen av Pedersöre ligger i omedelbar anslutning till en pälsfarm. Ytorna med lavöken i Jakobstad och de andra svårast skadade blåslavsytorna låg även de i närheten av ett pälsfarmskluster. I Nykarleby fanns ytor med lavöken i närheten av pälsfarmer, djurskydd och en energiproduktionsanläggning. I närheten till de lavöknar, som förekommer i västra kanten av Kronoby och Pedersöre, finns inga utsläppskällor.

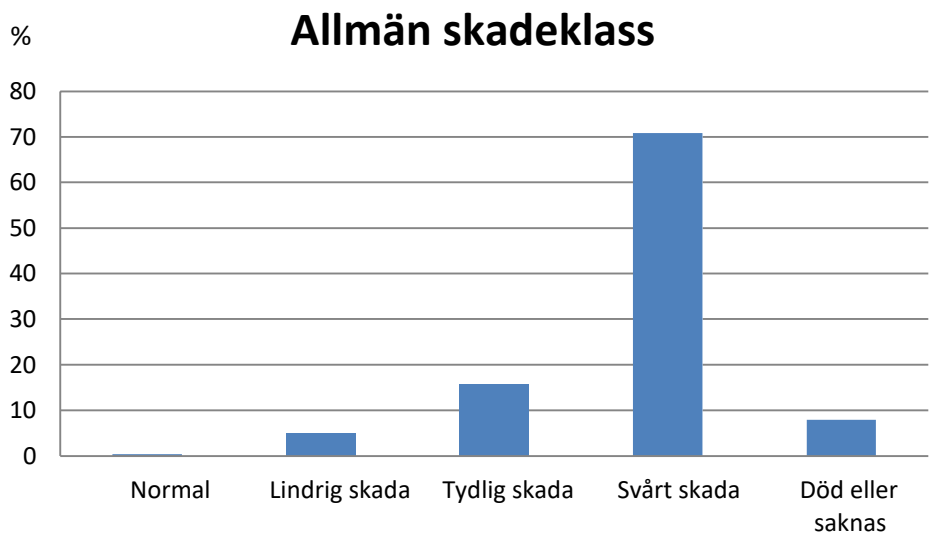
Ytorna med tydliga eller svåra skador utgjorde zoner i omgivningen kring Karleby centrum och Yxpila området, från västra delen av Pedersöre till Nykarlebys norra- och södra delar, från norra delen av Pedersöre till Kronoby och Jakobstad. I dessa områden fanns pälsfarmer och industri- och energiproduktionsverksamhet.



Figur 4-2. Blåslavens skadeklass på provytorna och zoner som beskriver blåslavens skadeklass i uppföljningsområdet 2018.

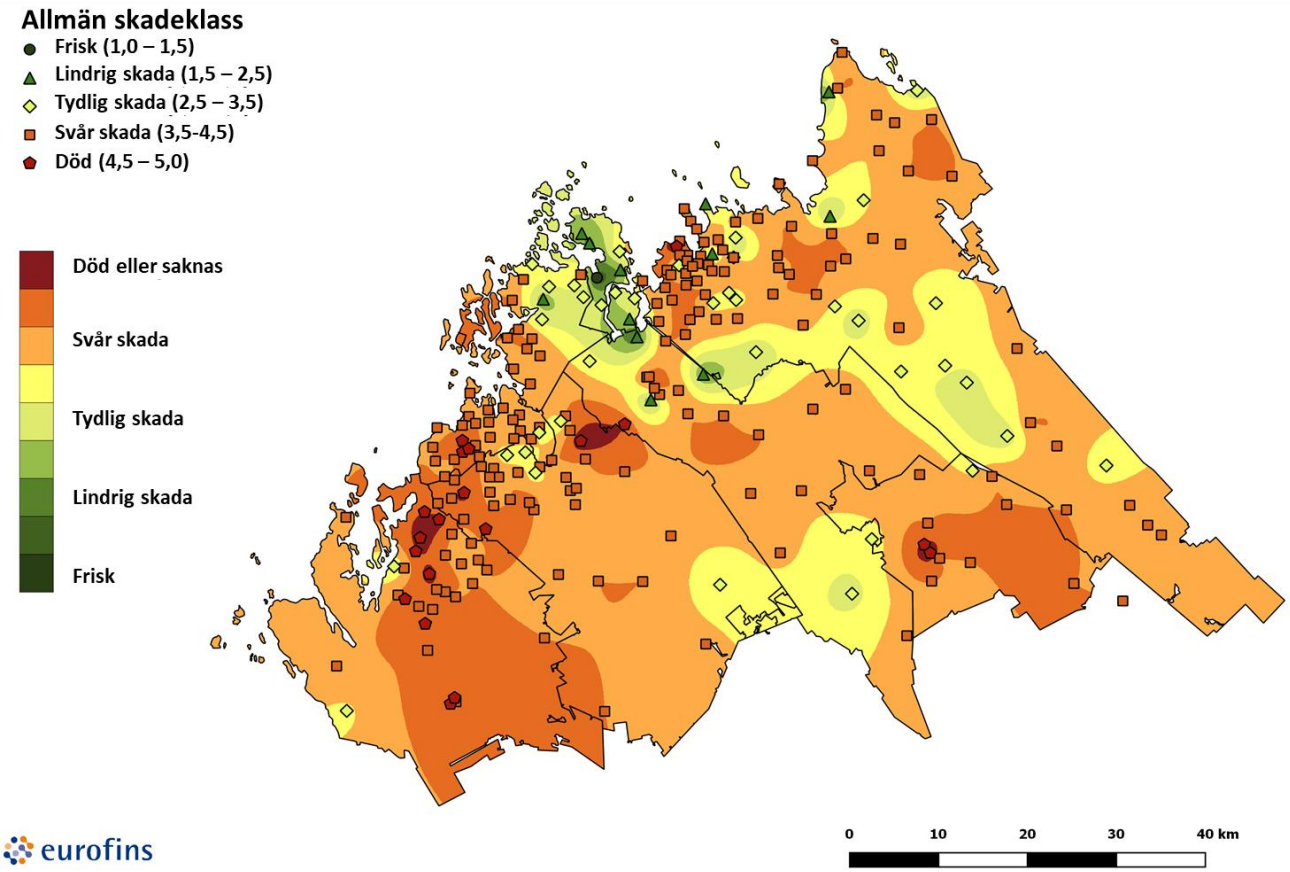
4.1.2 Allmän skadeklass

Den allmänna skadeklassen var i medeltal 3,7, lavarterna i uppföljningsområdet var redan svårt skadade (Tabell 4-1). Skadeklasserna varierade från normal till död eller saknas (Figur 4-3). På största delen (71 %) av provytorna var lavarna svårt skadade. Detta förklaras av skadans bedömningsskala, där trädet automatiskt klassificeras till klass 4, om det inte alls växer buskartade arter på det (se Tabell 3-8). För den allmänna skadeklassens del var en av ytorna helt normal, och arten var helt eller nästan död på 8 procent av ytorna (19 ytor).



Figur 4-3. De allmänna skadeklasserna klassificerade på provytorna 2018 (N = 240).

Lavarternas största skador fanns i huvudsak i samma områden som blåslavens skador, men lavarternas allmänna skadeklasser var i medeltal 1,1 skadeklasser högre än blåslavens (Tabell 4-1). Zonen för tydlig till svår skadeklass fanns i uppföljningsområdet i sydvästlig-nordostlig riktning längs kusten. Dessutom fanns ett område med svår skadeklass i Kaustby. De mest normala områdena fanns i Karleby och Larsmo kommuner. (Figur 4-4).

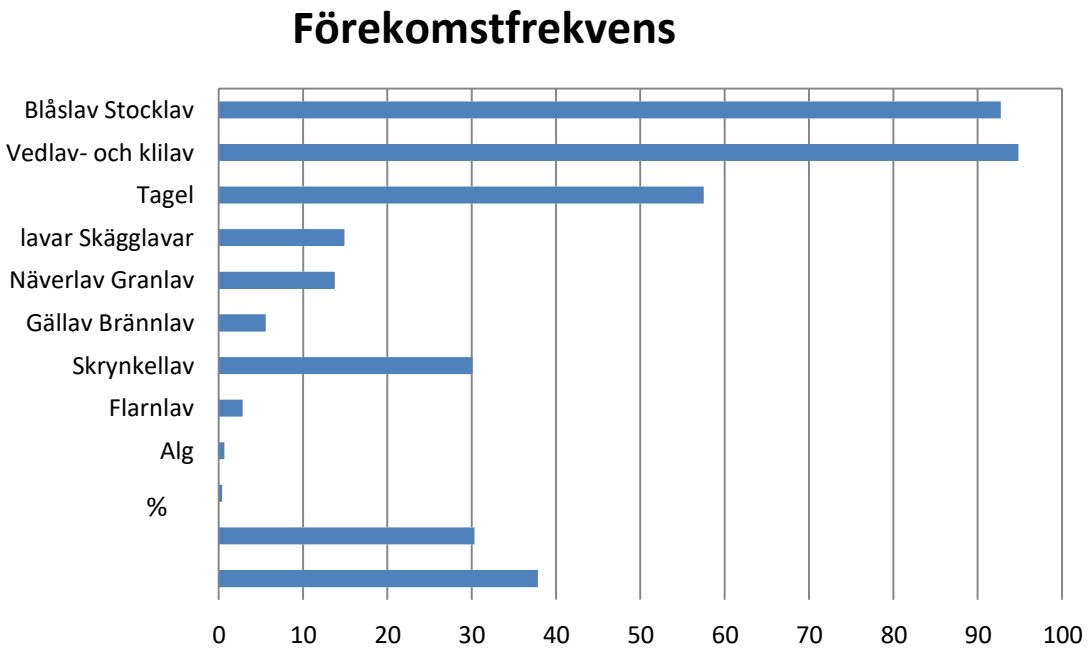


Figur 4-4. Allmän skadeklass på provytorna och zoner som beskriver skadeklass i uppföljningsområdet 2018.

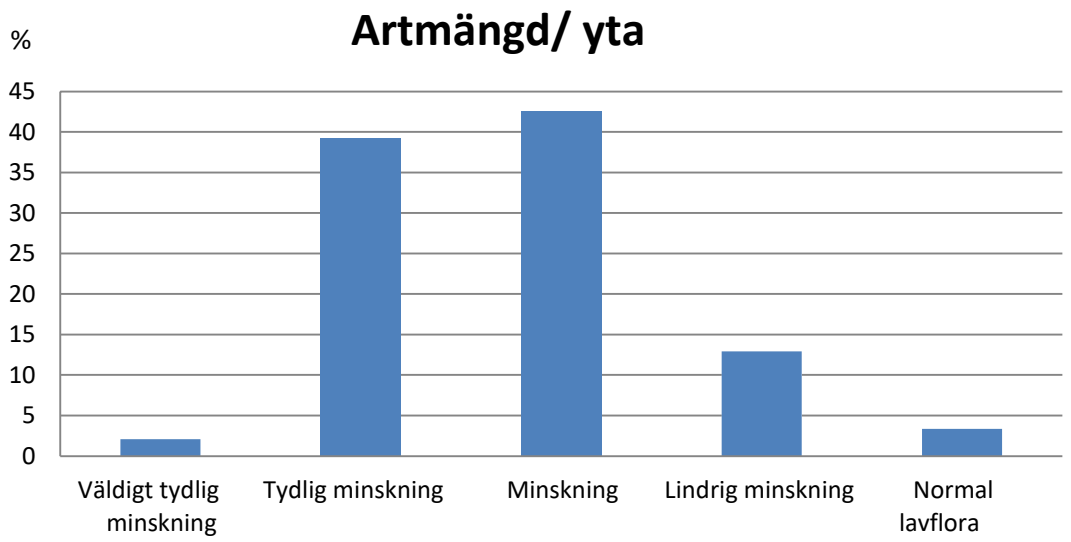
4.1.3 Mängder och förekomsten av lavarter

De mest allmänna arterna i uppföljningsområdet var blåslav och stocklav, som förekom på över 90 procent av provträden. Andra arter som förekom på över hälften av provträden var klilav och vedlav. Alg och flarnlaven som drar nytta av luftföroreningar fanns på över 30 procent av träden. (Figur 4-5).

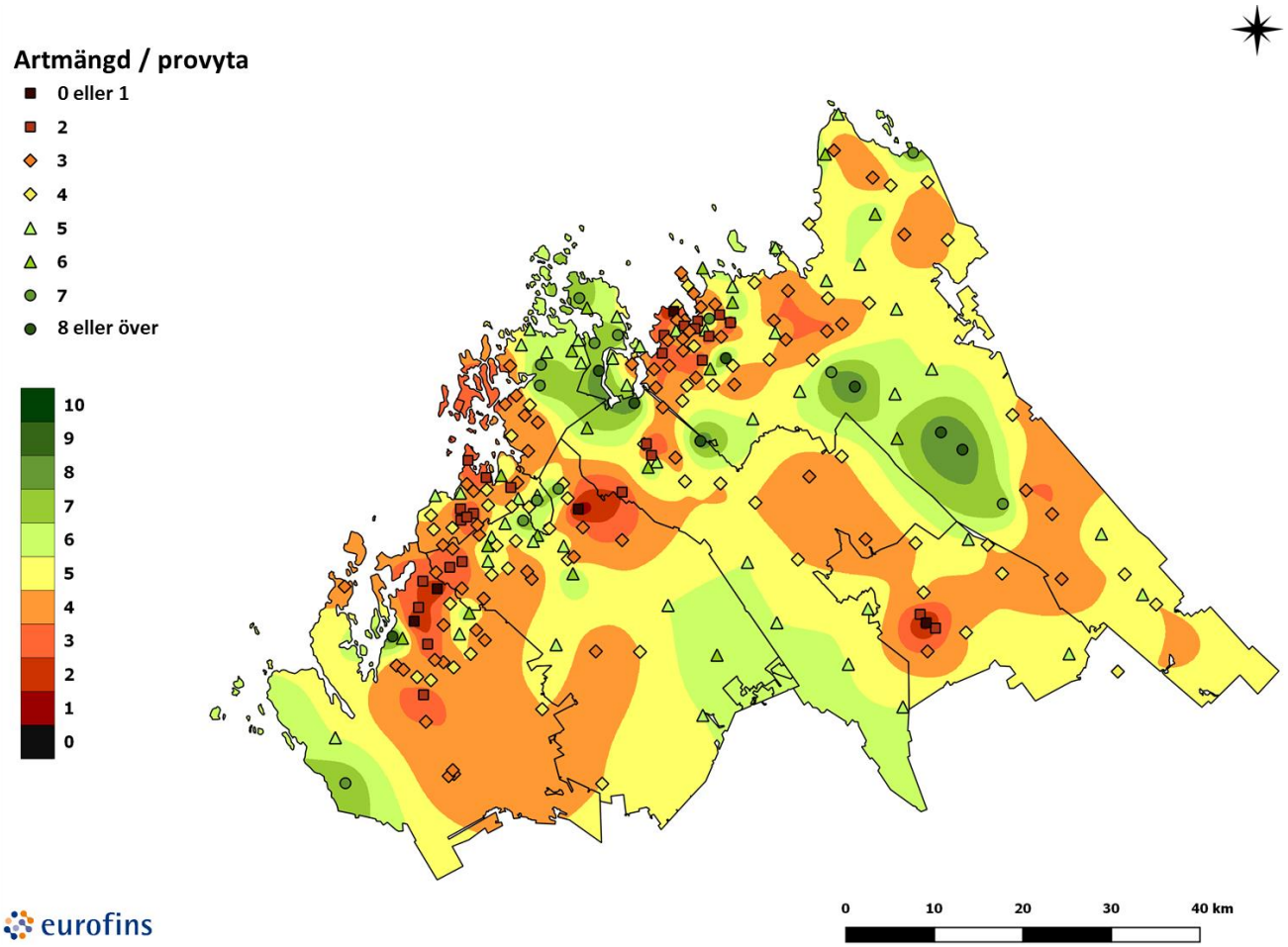
I uppföljningsområdet observerades i medeltal 4,1 arter då artmängden i uppföljningsområdet varierade mellan nolla och åtta (Tabell 4-1). Granskad per provträd, det genomsnittliga artavtalet var 3,1 arter (variationsintervall 0-6 arter/träd). Utifrån artmängden per provyta var floran i genomsnitt utarmad och på basis av artmängden per provträd tydligt utarmad. På den största delen av provytorna var floran utarmad (4-5 arter) och tydlig utarmad (2-3 arter) (Figur 4-6). Det fanns fem ytor med tydligt utarmad lavflora i uppföljningsområdet (0 eller 1 art som tar skada av luftföroreningar). Dessa fanns i Kaustby, Yxpila i Karleby och norra delar av Pedersöre och Nykarleby (Figur 4-7). Lavflora i naturtillstånd fanns ca 3 procent av uppföljningsområden (8 ytor). En artflora i naturtillstånd fanns i mellersta och västra delarna av Karleby, i närheten av kusten samt enstaka ytor i Larsmo, Kronoby och Pedersöre. Utarmad lavflora observerades särskilt i närheten av kusten samt i mellersta delarna av Nykarleby, Kaustby, Kronoby och Karleby.



Figur 4-5. Förekomstfrekvens för tallens stamlavar i uppföljningsområdet 2018 (N = 240).



Figur 4-6. Provytornas fördelning i klasser på basis av artantal (N = 240).



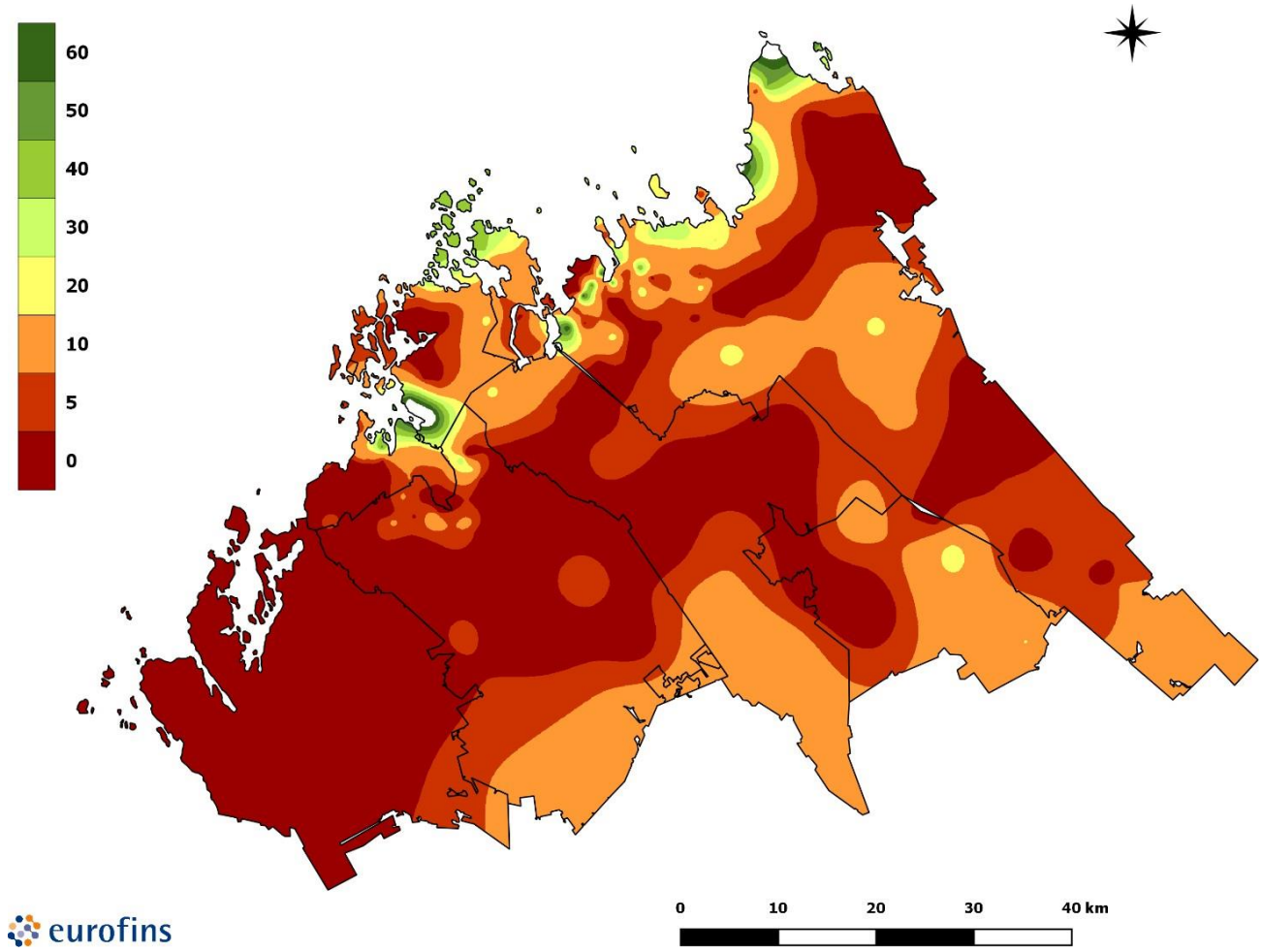
Figur 4-7. Antalet lavarter som tar skada av luftföroreningar på provytorna samt beskrivning enligt zon av antalet arter som tar skada av luftföroreningar i uppföljningsområdet 2018.

4.1.4 Täckningsgrad

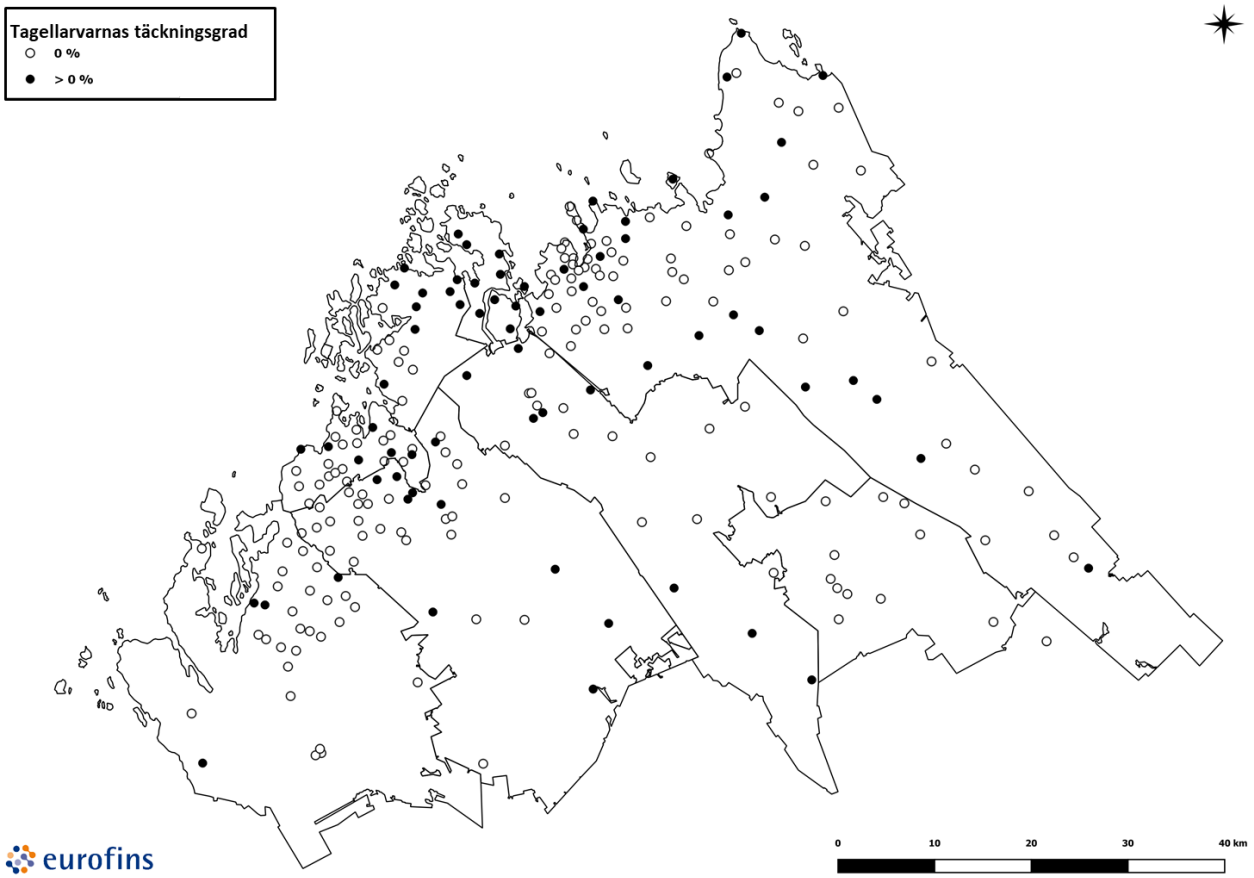
På följande kartan (Figur 4-8) redovisas blåslavens och tagellavarnas täckningsgrad på tallarnas stammar räknat med poängfrekvensmetoden och presenterade som zoner generaliserade av medelvärden per provyta. Tagellavar förekom i jämförelsevis liten utsträckning i uppföljningsområdet, så täckningar presenterades som punkter i klasserna ”tagellavar finns” och ”tagellavarna finns ej” (Figur 4-9). Då man granskar kartorna måste man observera, att speciellt blåslavens täckningsgrad reagerade icke-linjärt på luftföroreningarna: Artens täckningsgrad ökar ofta först som en följd av föroreningarna, och då belastningsnivån ytterligare ökar, minskar täckningsgraden åter. Dessutom inverkar naturliga faktorer anmärkningsvärt på täckningsgraderna, t.ex. blåslavens täckningsgrad är större i yngre än gamla tallskogar.

Blåslavens genomsnittliga täckningsgrad var 8,2 procent (Tabell 4-1). Blåslavens täckningsgrad var som störst i Karlebys, Larsmos och Jakobstads kustområden och som minst i Nykarleby kommuns område (Figur 4-8).

Tagellavarna förekom rikligt bara på enstaka ytor. Tagellavarnas genomsnittliga täckningsgrad var 0,04 procent (Tabell 4-1). Tagellavarna förekom totalt på 73 provytor huvudsakligen uppföljningsområdets norra delar, och enstaka ytor fanns i mellersta delarna av uppföljningsområdena (Figur 4-9).



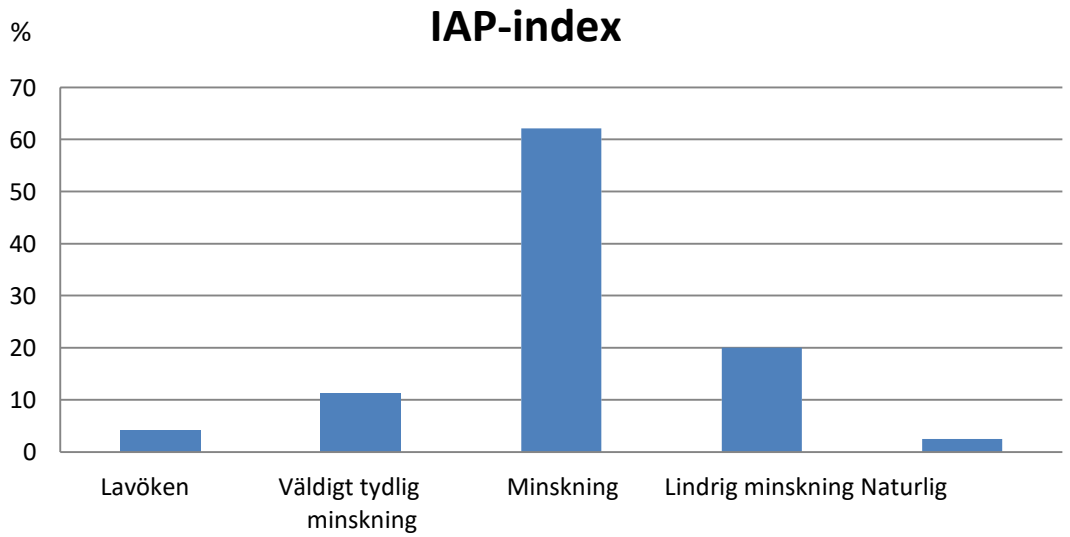
Figur 4-8. Blåslavens genomsnittliga täckningsgrad (%) som zoner i uppföljningsområdet 2018 (klassens nedra gränsen visas för klassen).



Figur 4-9. Tagellavarnas genomsnittliga täckningsgrad (%) i uppföljningsområdet 2018.

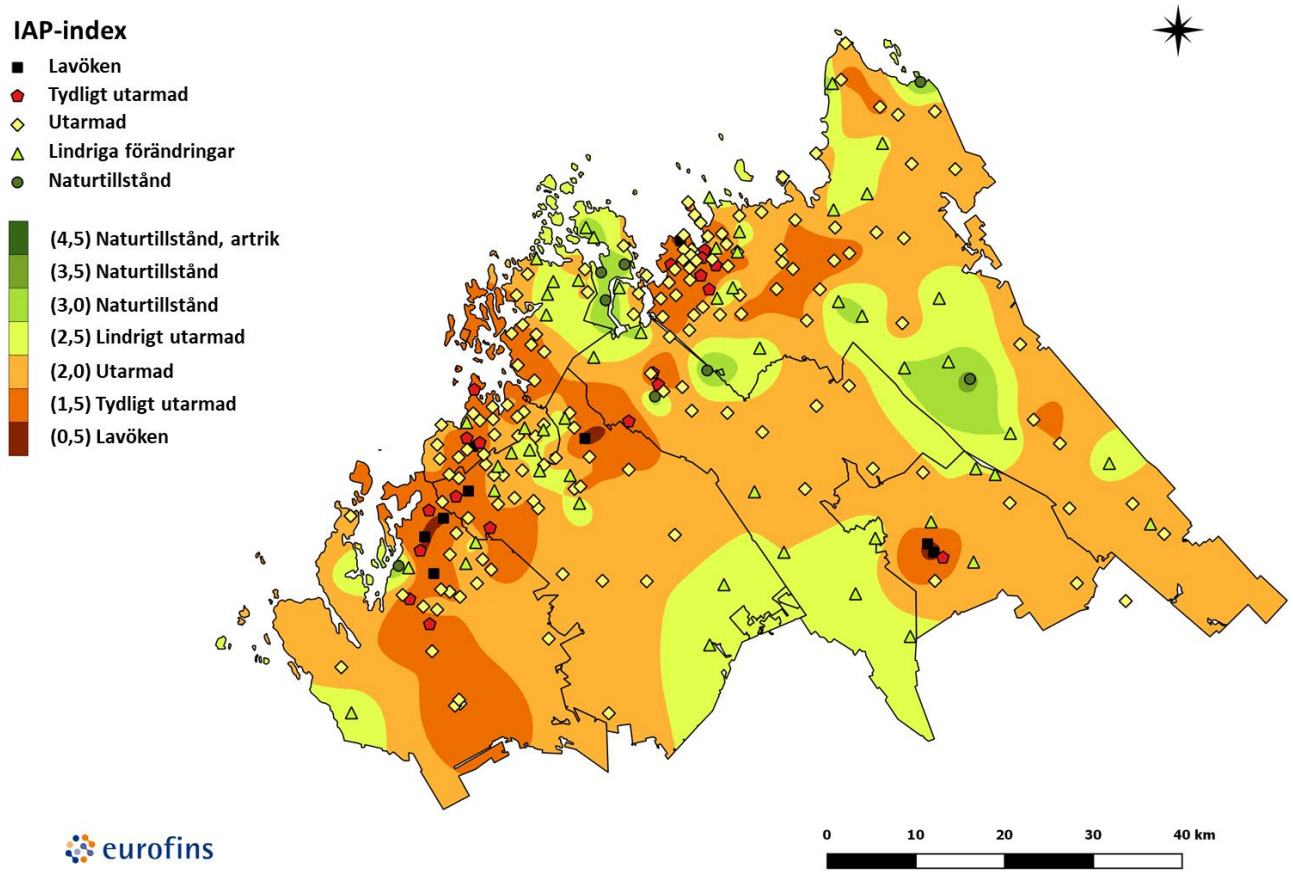
4.1.5 IAP-index

IAP-indexet var i medeltal 1,6 i uppföljningsområdet, utifrån vilket man kan beskriva floran som lindrigt förändrad. Det lägsta IAP-indexets värde var 0 (lavöken) och högsta 3,3 (artflora i naturtillstånd) (Tabell 4-1). På största delen av provytorna (ca 62 %) var floran baserat på IAP-indexet utarmad (Figur 4-10). Till den näst största klassen, där floran var tydligt utarmad, hörde 20 procent av ytorna. Flora i naturtillstånd fanns på 2,5 procent av ytorna.



Figur 4-10. AP-indexets fördelning per provyta 2018 (N = 240).

En artflora i naturtillstånd (IAP-indexets värde > 3) fanns på 6 av provytorna. Dessa fanns i mellersta delen av Karleby och i områden nära kusten samt i Kronobys västra delen (Figur 4-11). Ytor som hade den mest utarmade lavfloran fanns i Yxpila i Karleby, i pälsfarmsindustriområdena i Kaustby samt i närheten av pälsfarmsområdet i Pedersöre. Zonen med den mest omfattade utarmade floran fanns i de norra delarna av området Nykarleby-Jakobstad-Pedersöre, och fortsatte därifrån som ett band genom Kronoby och norra delen av Karleby till Lochteå.



Figur 4-11. IAP-index per zon i uppföljningsområdet 2018 (klassens nedre grans visas vid zonklass).

4.2 Tallbarrens grundämneshalter

Nyckeltal beräknades för barrens grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsområdet för hela områdets del och per kommun (Tabell 4-2). Kommunernas högsta medeltal och högsta halter anges med fetstil i tabellen. Provytornas grundämneshalter redovisas på kartor (Figur 4-12 – Figur 4-30).

Förhöjda halter av **svavel** observerades i omgivningen av Yxpila i Kaustby och i omgivningen av industriutsläppskällor i Kronoby och Jakobstad. Förhöjda halter av svavel observerades längs kusten från Nykarleby till norra delen av Karleby. Förhöjda halter observerades också i närheten av industrier i Kaustby. De lägsta halterna förekom i undersökningsområdets mellersta delarna från Pedersöre via Kronoby till Kelviå-Ullava-trakten (Figur 4-27, Figur 4-28).

Förhöjda halter av **kväve** observerades i Karleby, Kaustby, mellersta delarna av Nykarleby samt norra delen av Pedersöre i omgivningen av industriutsläppskällor men även i närheten av pälsfarmer och djurstall. (Figur 4-24).

De högsta halterna av grundämnena som undersökts i barren fanns på provytor i Karleby och speciellt på provytorna i Yxpila i fråga om **arsenik**, **kadmium**, **kobolt**, **krom**, **järn**, **kvicksilver**, **nickel** och **zink.** Något förhöjda halter av arsenik observerades också på provytor i Jakobstad, Pedersöre, Kronoby och Larsmo.

Enstaka förhöjda halter av krom observerades också i det övriga uppföljningsområdet men de förhöjda halterna verkade inte ha något att göra med den närliggande industriverksamheten, förutom vid Kaustbys Kelviå industri och Kaustbys energiproduktion. Lätt förhöjda halter av järn observerades även i övriga områden i närheten av industriverksamheter. Lätt förhöjda halter av kvicksilver observerades också i det övriga uppföljningsområdet, men med undantag av en provyta i närheten av en avfallcentral i Karleby, dessa verkade inte bero på lokala industriverksamheter. Förhöjda halter av **koppar** fanns speciellt i Karleby. Den högsta enskilda halten av **vanadin** observerades i Jakobstad i närheten av industrier och energiproduktionsanläggningar. Halterna av vanadin var förhöjda i området Karlebys Yxpila.

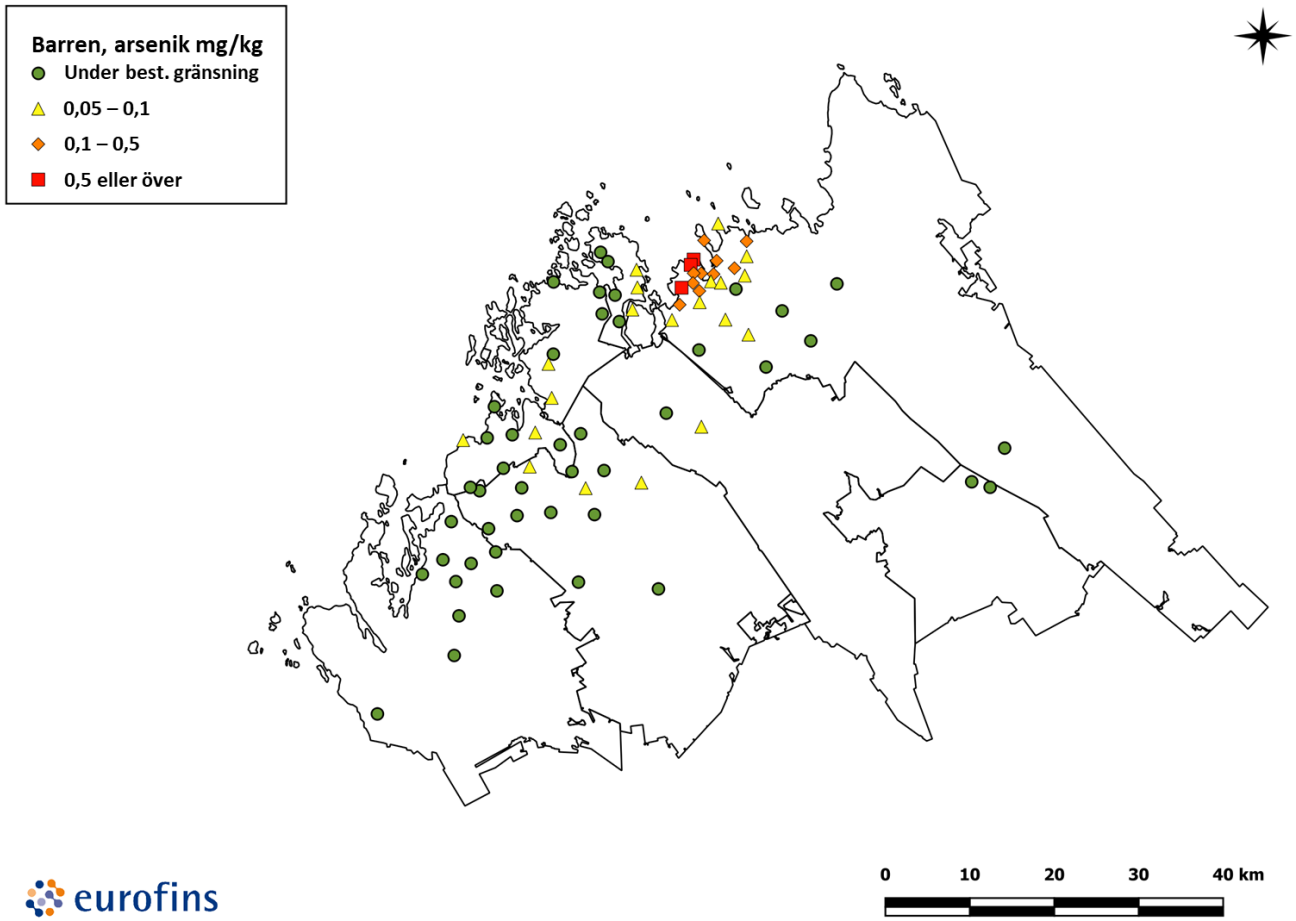
Halterna av **bor, kalcium, kalium, magnesium och fosfor** verkade primärt ge uttryck för växtplatsförhållandena hellre än utsläpp av föroreningar. De högsta medelvärdena av dessa grundämnen samt materialets högsta halter observerades i många kommuner. Dessutom observerades i synnerhet i kustområdena rikligt med högre halter av dessa grundämnen än på det övriga området.

Litiumhalterna observerades på två ytor i Kaustby, i närheten av planerade gruvområden. (Keliber Oy). Tallbarrens litiumhalt på dessa ytor var < 0,2 mg/kg (yta K239) och 0,28 mg/kg (yta K240) (se ytornas läge Figur 4-51).

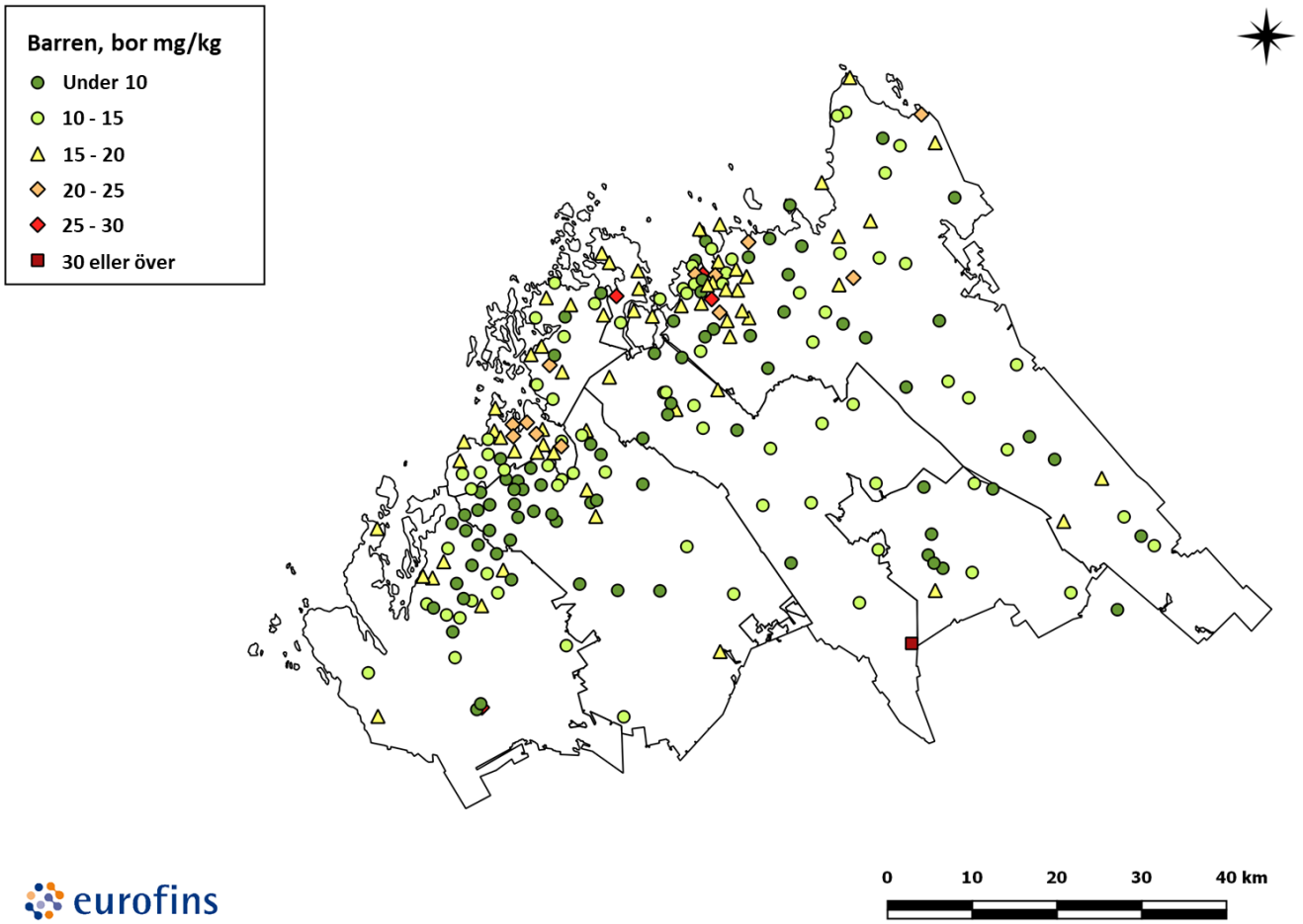
Tabell 4-2. Medelvärdena av barrens grundämneshalter, minimi- och maximivärdena i hela området och per kommun.

Grundämne		Hela område	Kaust-by	Karleby	Krono-by	Lars-mo	Peder-söre	Jakob-stad	Nykar-leby
Kväve %	Medeltal	1,49	1,46	1,46	1,44	1,44	**1,55**	1,51	1,54
	Minimum	1,11	1,29	1,11	1,19	1,33	1,28	1,20	1,30
	Maximum	1,94	**1,94**	1,88	1,78	1,70	1,93	1,81	1,90
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Arsenik mg/kg	Medeltal	0,099	0,031	**0,17**	0,06	0,05	0,04	0,05	0,02
	Minimum	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	Maximum	1,20	0,046	**1,20**	0,06	0,06	0,09	0,09	0,05
	N	78	2	36	2	6	13	8	11
Bor mg/kg	Medeltal	12,6	9,5	13,9	12,3	14,3	8,5	**16,2**	11,5
	Minimum	<5	<5	6,2	<5	7,0	<5	8,4	<5
	Maximum	30,0	16,0	28,0	**30,0**	22,0	19,0	23,0	25,0
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Kvicksilver mg/kg	Medeltal	0,04		**0,06**	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
	Minimum	<0,03		0,03	0,03	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	Maximum	0,26		**0,26**	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	N	76		36	2	6	13	8	11
Kadmium mg/kg	Medeltal	0,18	0,07	**0,30**	0,11	0,13	0,10	0,10	0,08
	Minimum	0,03	0,04	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03
	Maximum	2,40	0,11	**2,40**	0,31	0,19	0,18	0,22	0,15
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Kalium mg/kg	Medeltal	5681	5426	**5875**	5497	5704	5434	5755	5558
	Minimum	4200	4840	4740	4810	5080	4200	4300	4430
	Maximum	7580	5770	**7580**	6450	6600	6440	7430	6650
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Kalcium mg/kg	Medeltal	4014	3232	**4264**	3541	4260	3964	4099	3754
	Minimum	2040	2510	2710	2140	3240	2040	2320	2580
	Maximum	7200	4180	6580	5200	6330	5830	**7200**	4980
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Kobolt mg/kg	Medeltal	1,33	0,175	**2,52**	0,37	0,54	0,32	0,29	0,21
	Minimum	0,058	0,16	0,10	0,35	0,35	0,15	0,17	0,06
	Maximum	14,00	0,19	**14,00**	0,39	0,73	0,68	0,44	0,71
	N	78	2	36	2	6	13	8	11
Fosfor mg/kg	Medeltal	1444	1369	1466	1384	**1481**	1451	1467	1402
	Minimum	1150	1270	1190	1160	1300	1210	1150	1170
	Maximum	1920	1510	**1920**	1680	1700	1760	1750	1590
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Krom mg/kg	Medeltal	0,16	0,12	**0,23**	0,14	0,11	0,13	0,13	0,10
	Minimum	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Maximum	1,80	0,31	**1,80**	0,25	0,21	0,26	0,40	0,43
	N	231	10	91	23	16	37	23	31

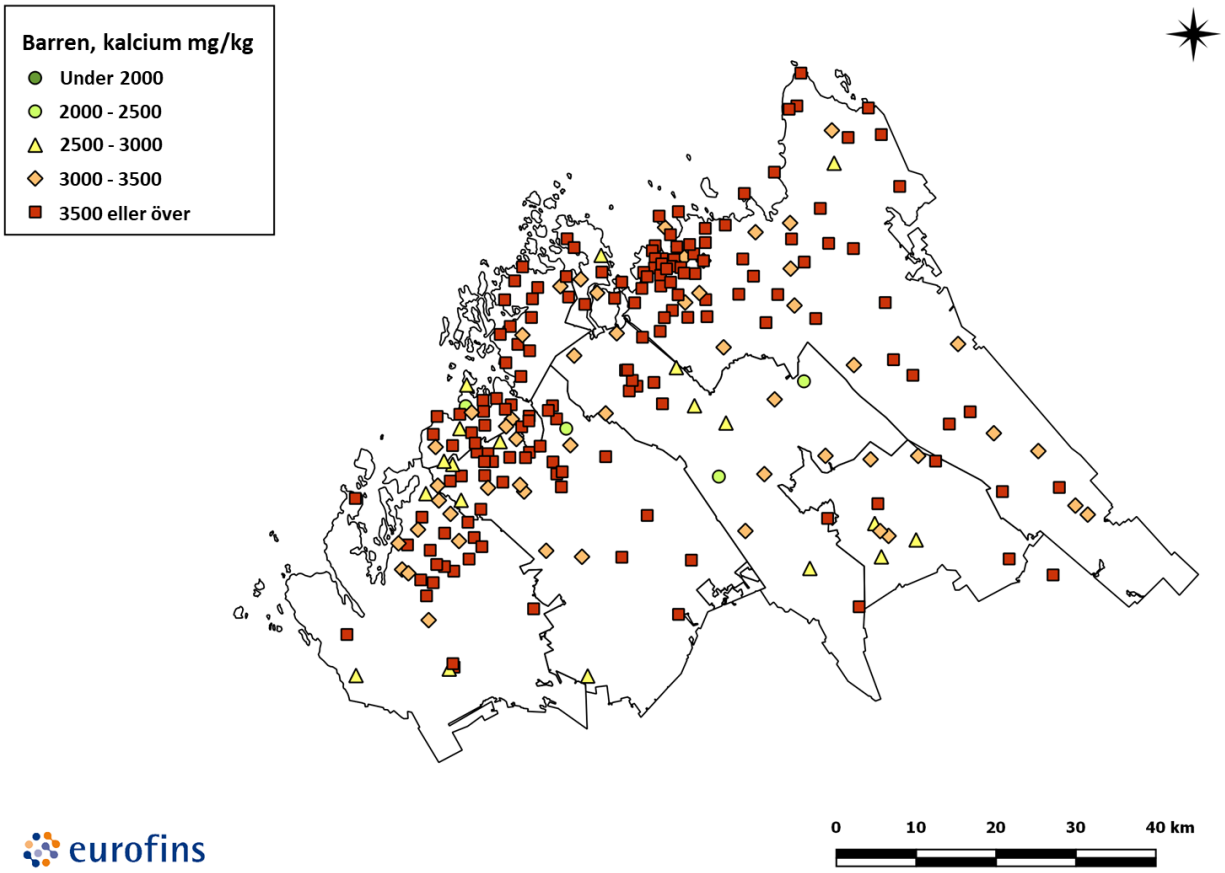
Grundämne		Hela område	Kaust-by	Karleby	Krono-by	Lars-mo	Peder-söre	Jakob-stad	Nykar-leby
Koppar	Medeltal	3,46	3,64	**3,99**	3,23	2,71	2,84	2,89	3,55
mg/kg	Minimum	1,30	3,30	1,30	2,50	2,50	2,40	2,20	2,40
	Maximum	10,00	4,20	**10,00**	4,50	3,00	3,50	3,90	4,50
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Magnesium	Medeltal	784	776	791	818	**901**	754	761	731
	Minimum	490	680	490	570	740	500	590	530
mg/kg	Maximum	1140	900	1070	**1140**	1090	1010	890	970
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Mangan	Medeltal	437	**499**	475	460	480	425	322	366
mg/kg	Minimum	100	310	180	170	300	130	180	100
	Maximum	1310	630	**1310**	760	720	1030	550	650
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Nickel	Medeltal	0,50	0,40	**0,71**	0,39	0,36	0,35	0,39	0,32
mg/kg	Minimum	0,12	0,20	0,12	0,19	0,24	0,15	0,19	0,15
	Maximum	3,30	0,58	**3,30**	0,86	0,54	0,58	0,80	0,89
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Järn	Medeltal	77,5	47,3	**104,4**	70,1	61,7	63,0	62,5	50,6
mg/kg	Minimum	25,0	35,0	25,0	36,0	48,0	34,0	37,0	38,0
	Maximum	640,0	75,0	**640,0**	170,0	89,0	120,0	130,0	83,0
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Svavel	Medeltal	985	983	**1024**	1004	892	871	1017	1019
mg/kg	Minimum	730	890	820	810	790	730	840	860
	Maximum	1410	1220	**1410**	1330	1220	970	1250	1170
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Zink	Medeltal	57,4	46	**71**	51	59	48	49	44
mg/kg	Minimum	25	36	27	25	40	27	31	26
	Maximum	300	50	**300**	71	72	64	85	67
	N	231	10	91	23	16	37	23	31
Vanadin	Medeltal	0,083	<0,1	0,095	0,080	0,083	0,062	**0,120**	<0,01
mg/kg	Minimum	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Maximum	0,61	<0,1	0,350	0,110	0,190	0,210	**0,610**	<0,01
	N	78	2	36	2	6	13	8	11
Litium	Medeltal	0,19	0,19						
mg/kg	Minimum	<0,2	<0,2						
	Maximum	0,28	0,28						
	N	2	2						



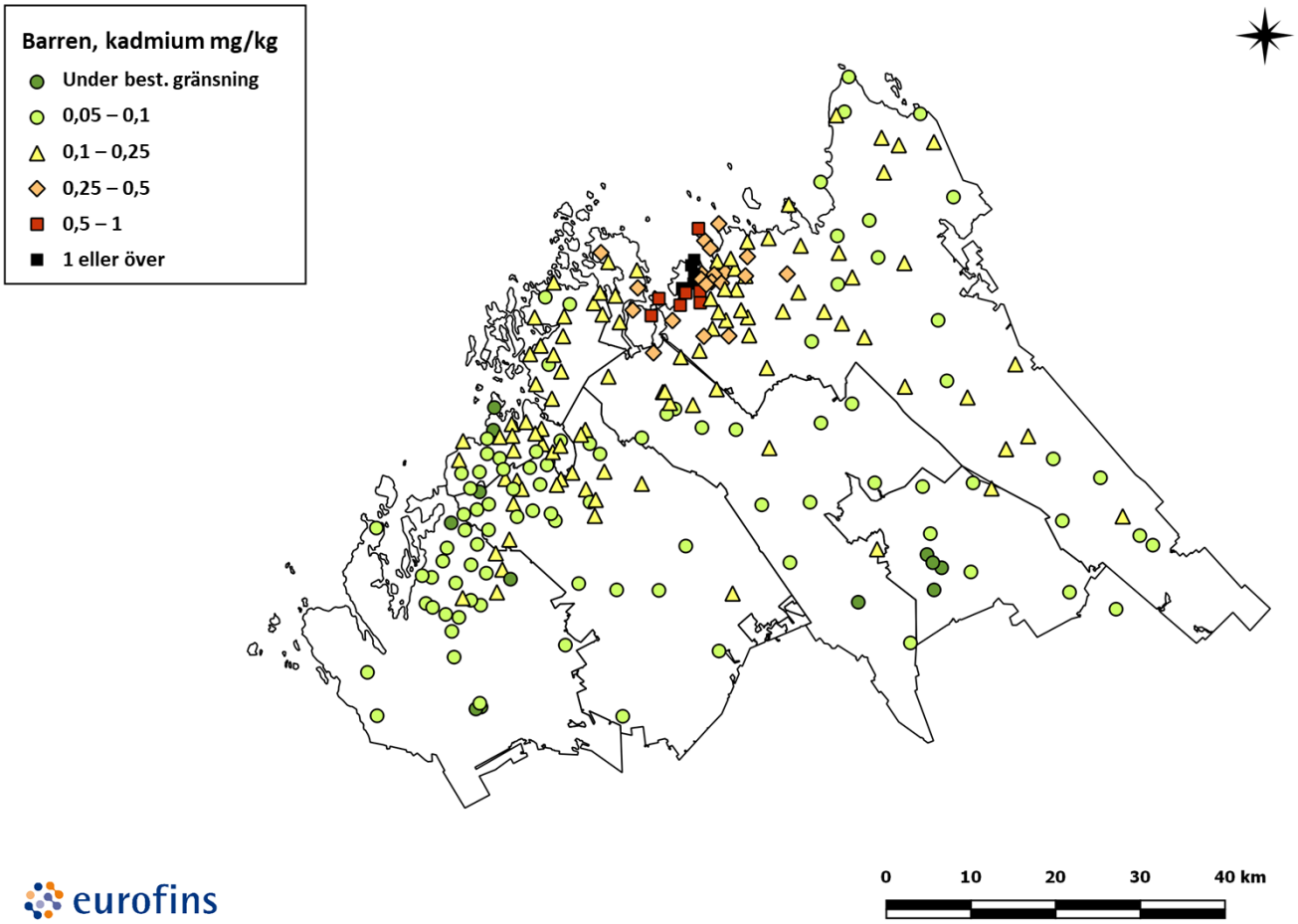
Figur 4-12. Tallbarrens, andra årgången, arsenikhalter på provytor 2018.



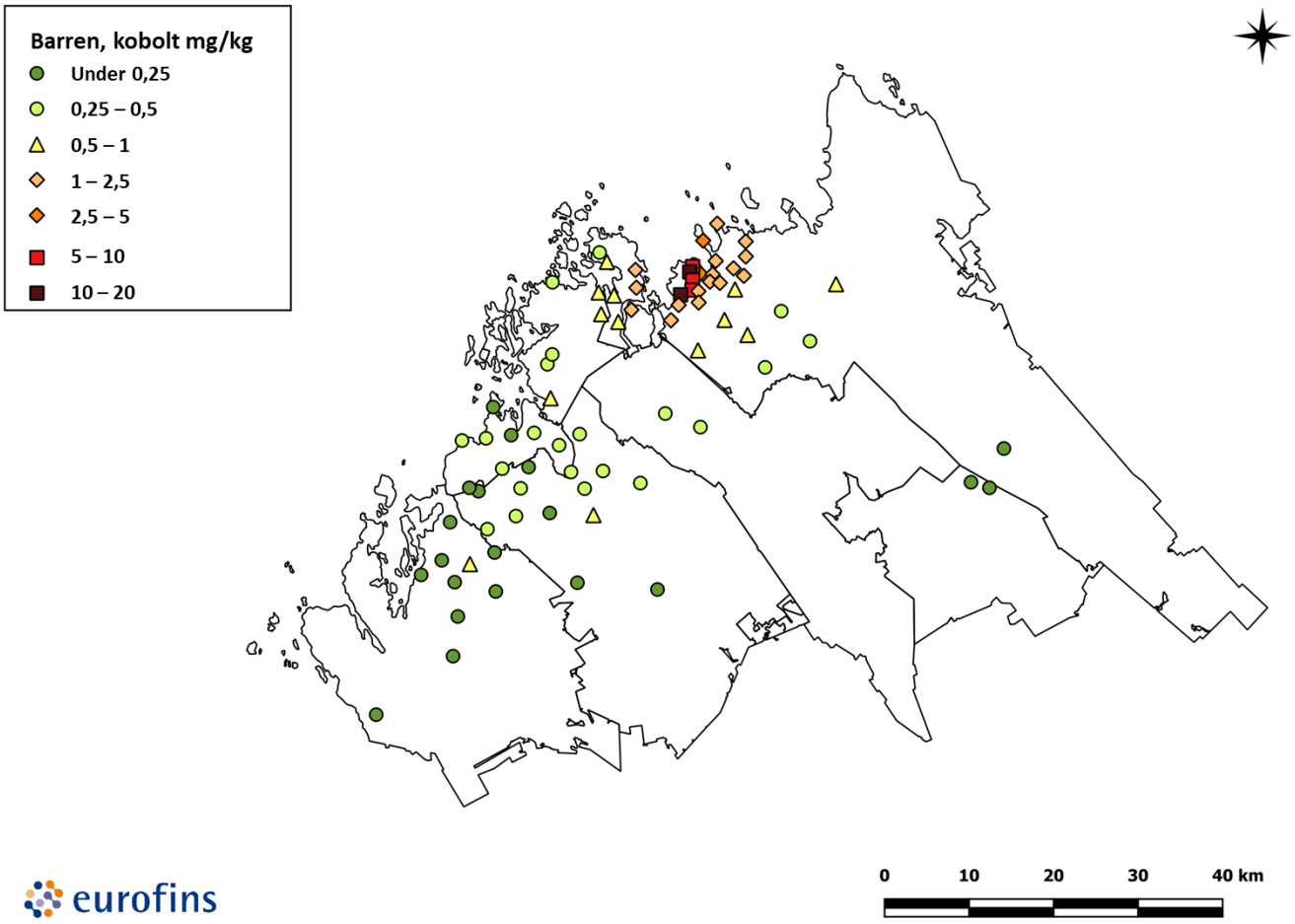
Figur 4-13. Tallbarrens, andra årgången, borhalter på provytor 2018.



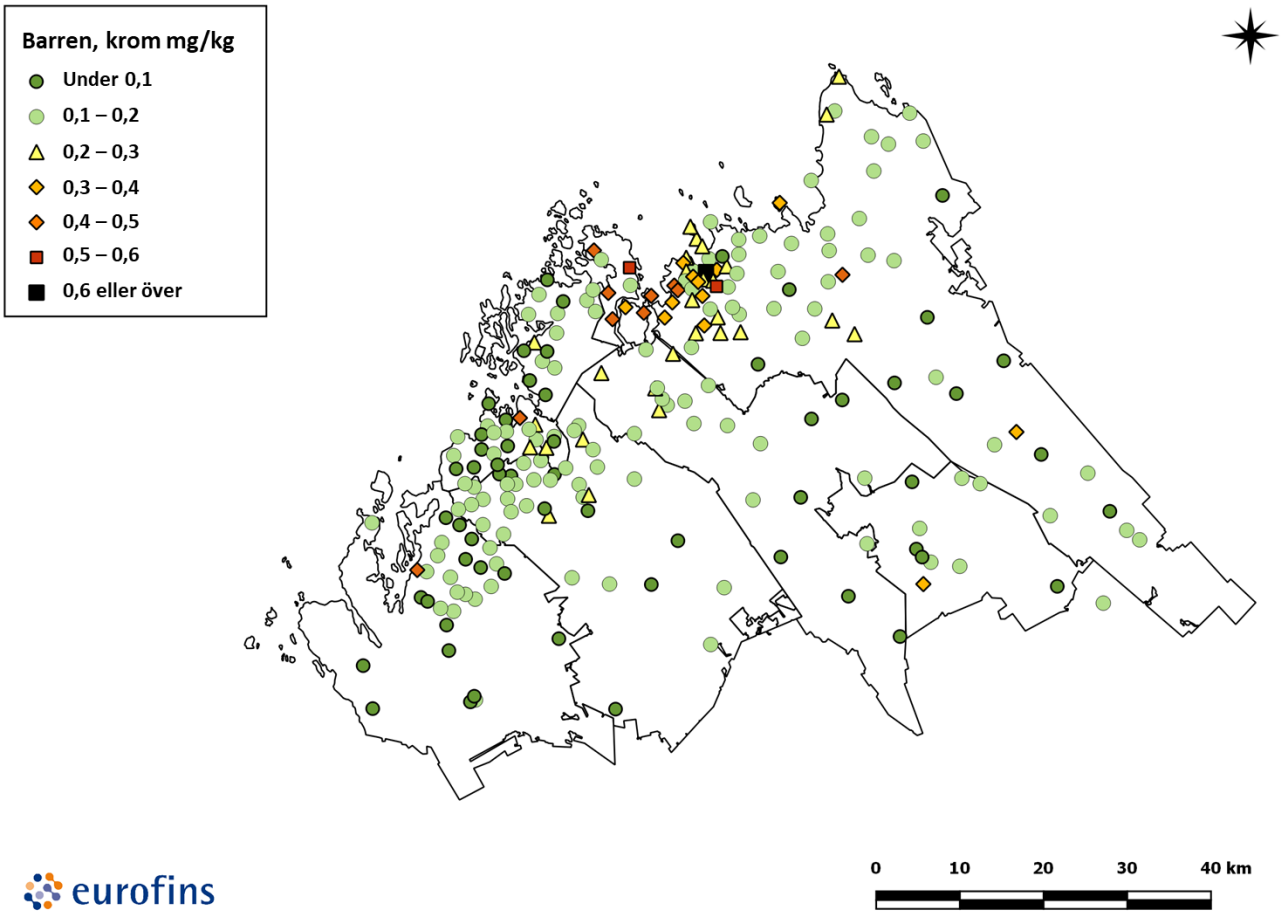
Figur 4-14. Tallbarrens, andra årgången, kalciumhalter på provytor 2018.



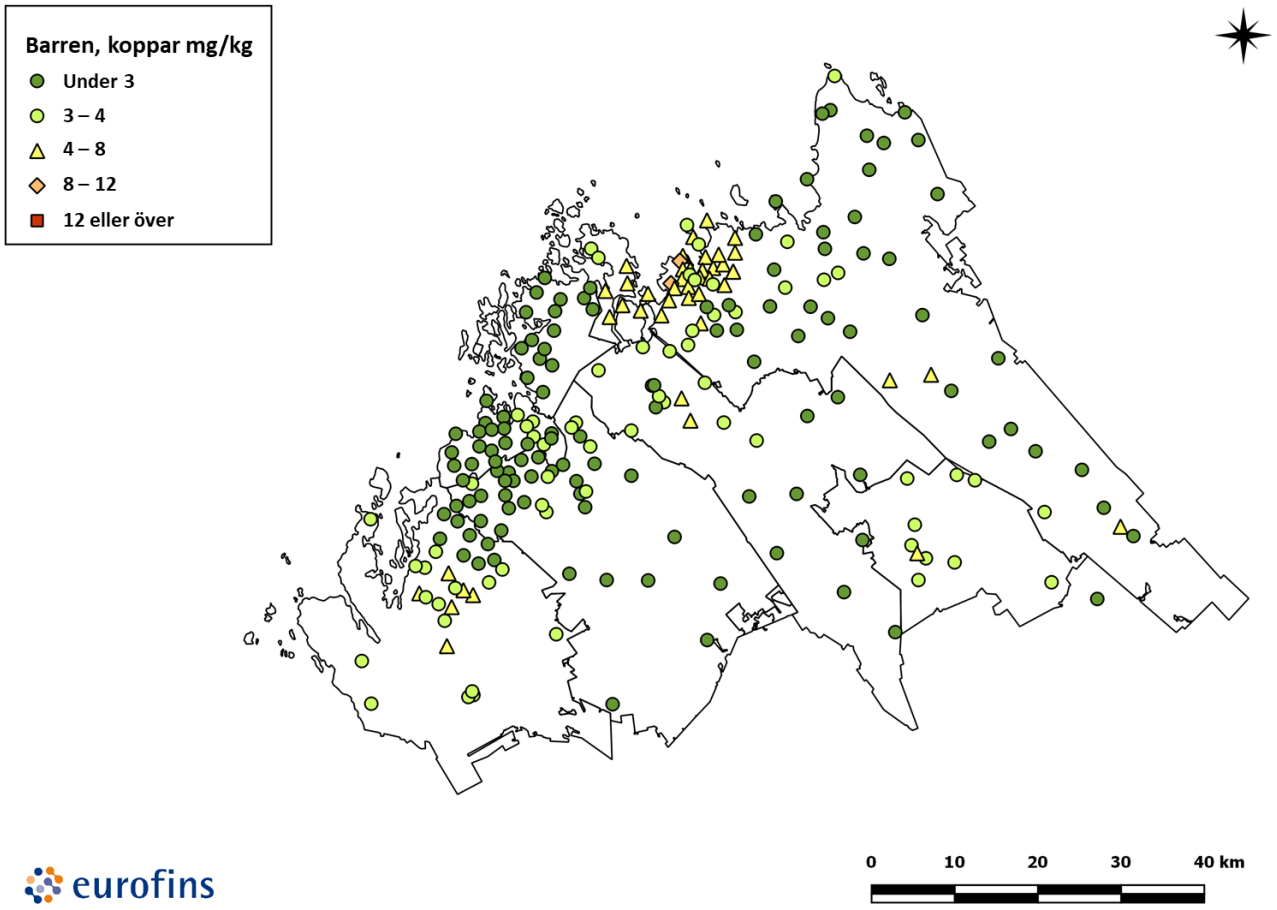
Figur 4-15. Tallbarrens, andra årgången, kadmiumhalter på provytor 2018.



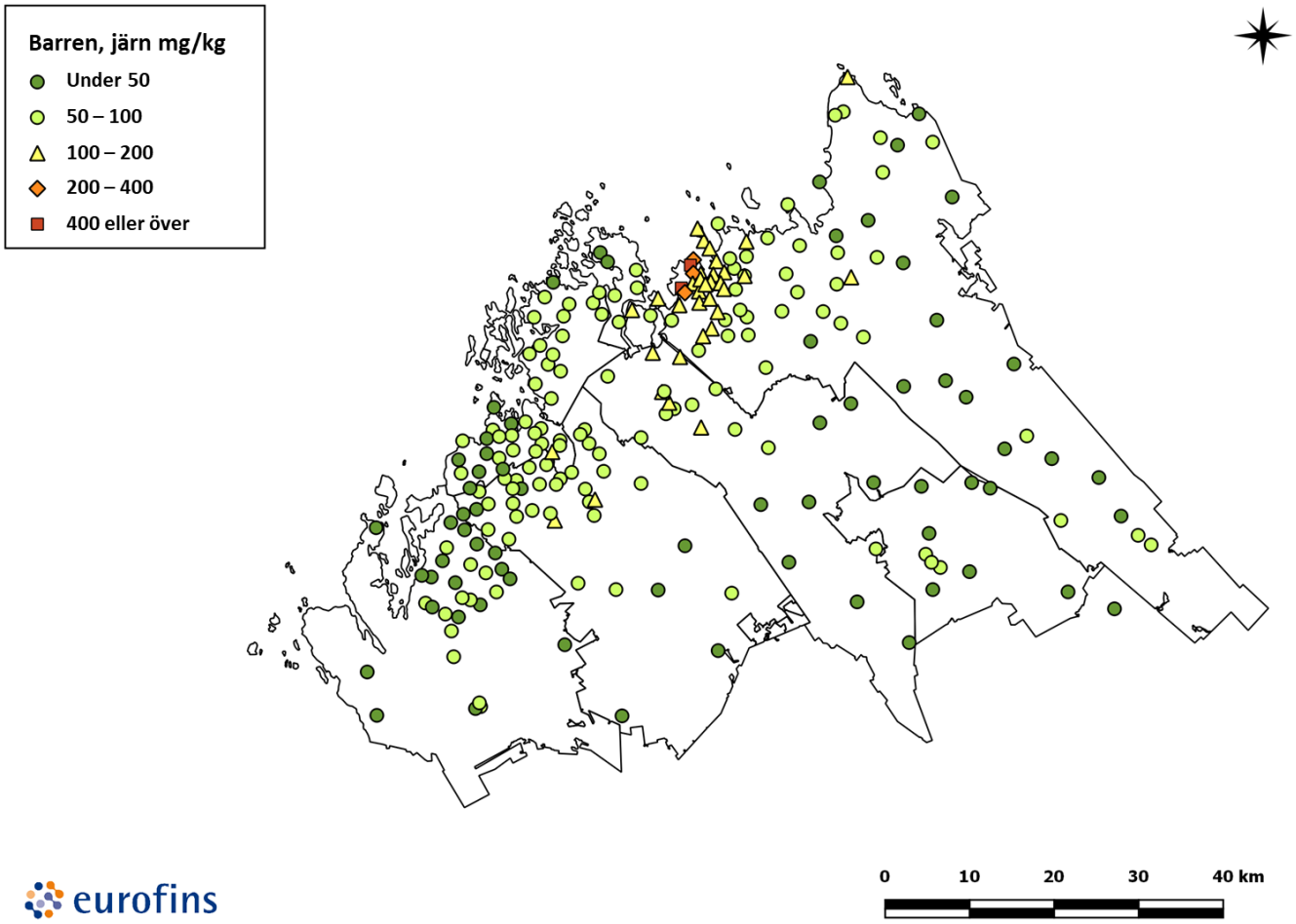
Figur 4-16. Tallbarrens, andra årgången, kobolthalter på provytor 2018.



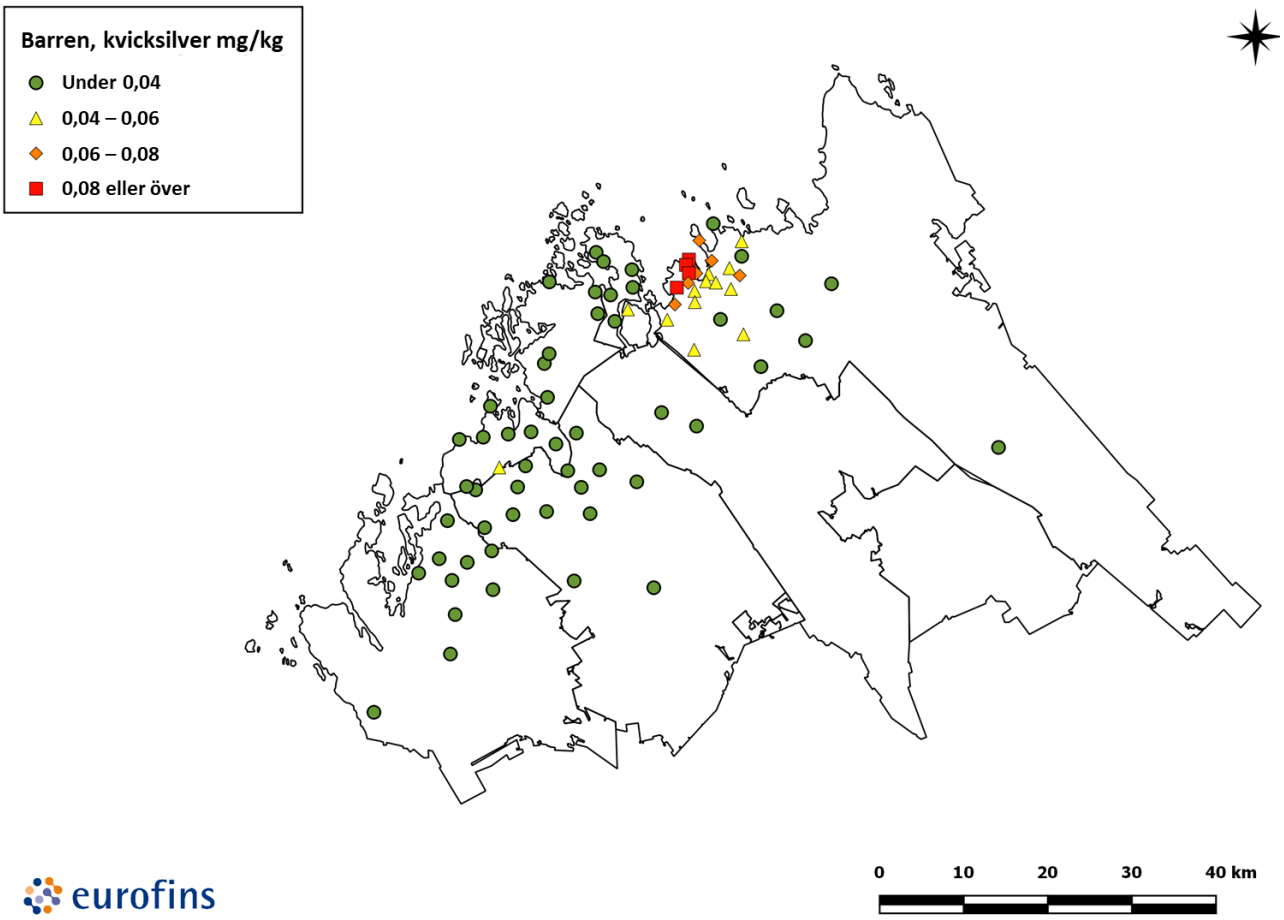
Figur 4-17. Tallbarrens, andra årgången, kromhalter på provytor 2018.



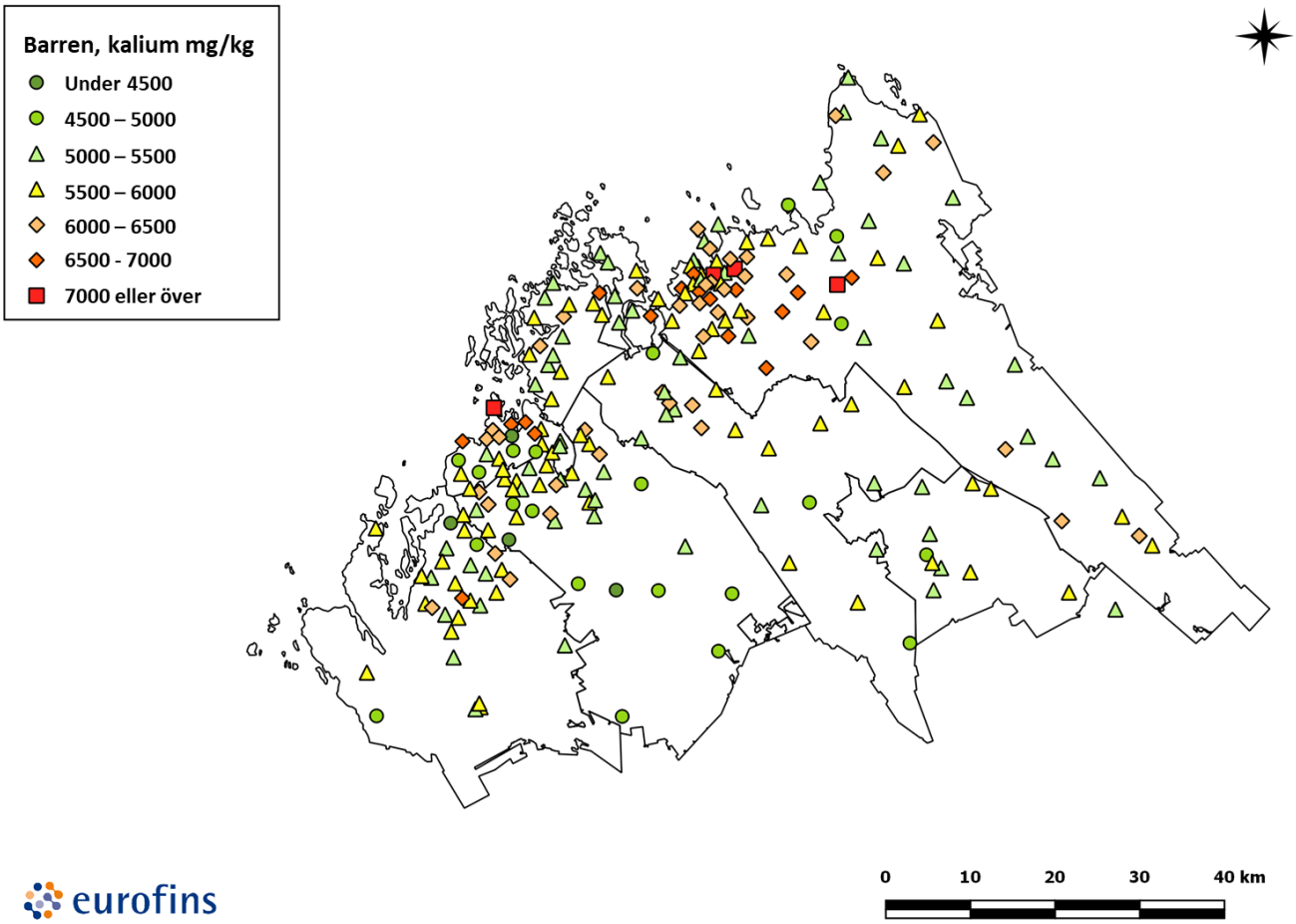
Figur 4-18. Tallbarrens, andra årgången, kopparhalter på provytor 2018.



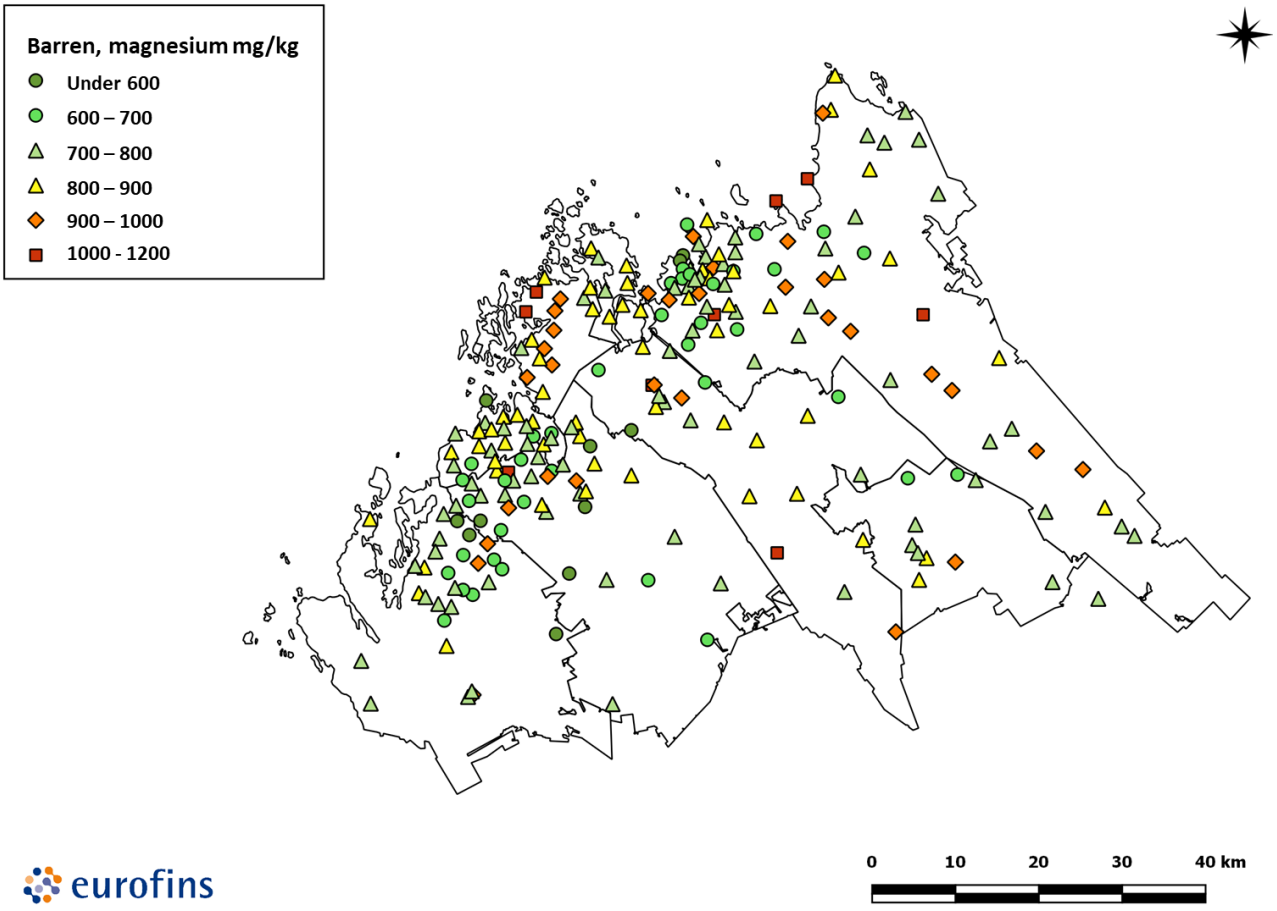
Figur 4-19. Tallbarrens, andra årgången, järnhalter på provytor 2018.



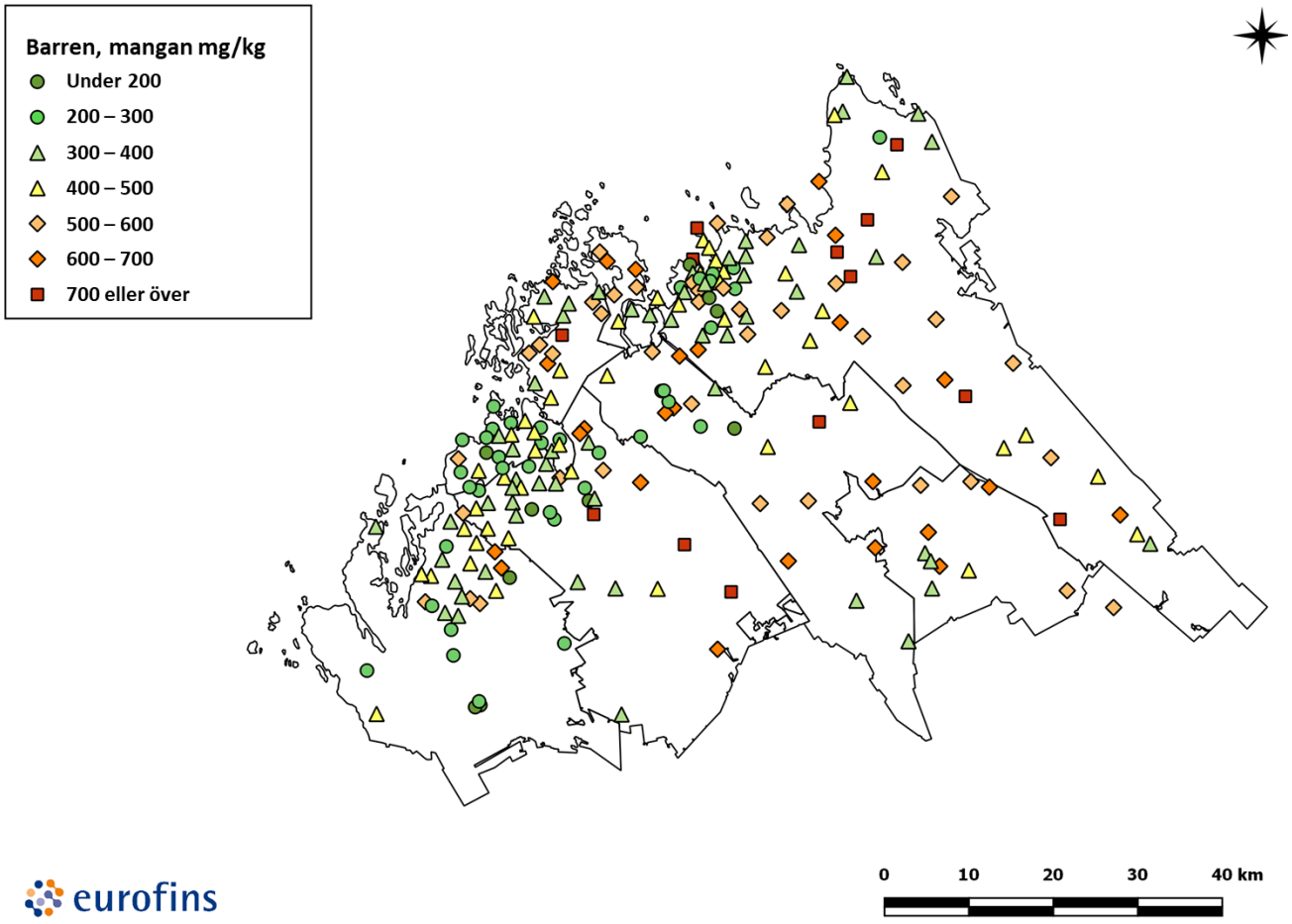
Figur 4-20. Tallbarrens, andra årgången, kvicksilverhalter på provytor 2018.



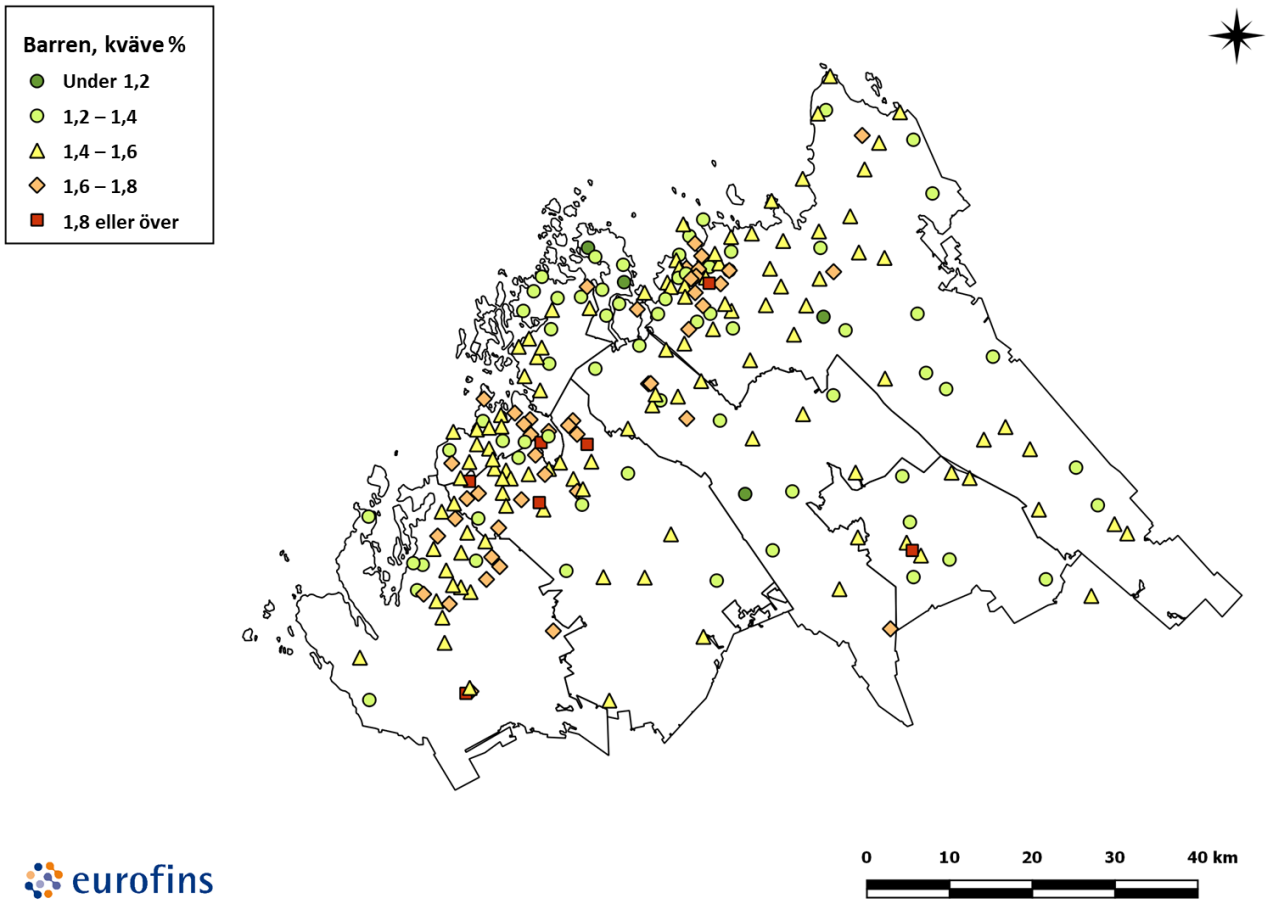
Figur 4-21. Tallbarrens, andra årgången, kaliumhalter på provytor 2018.



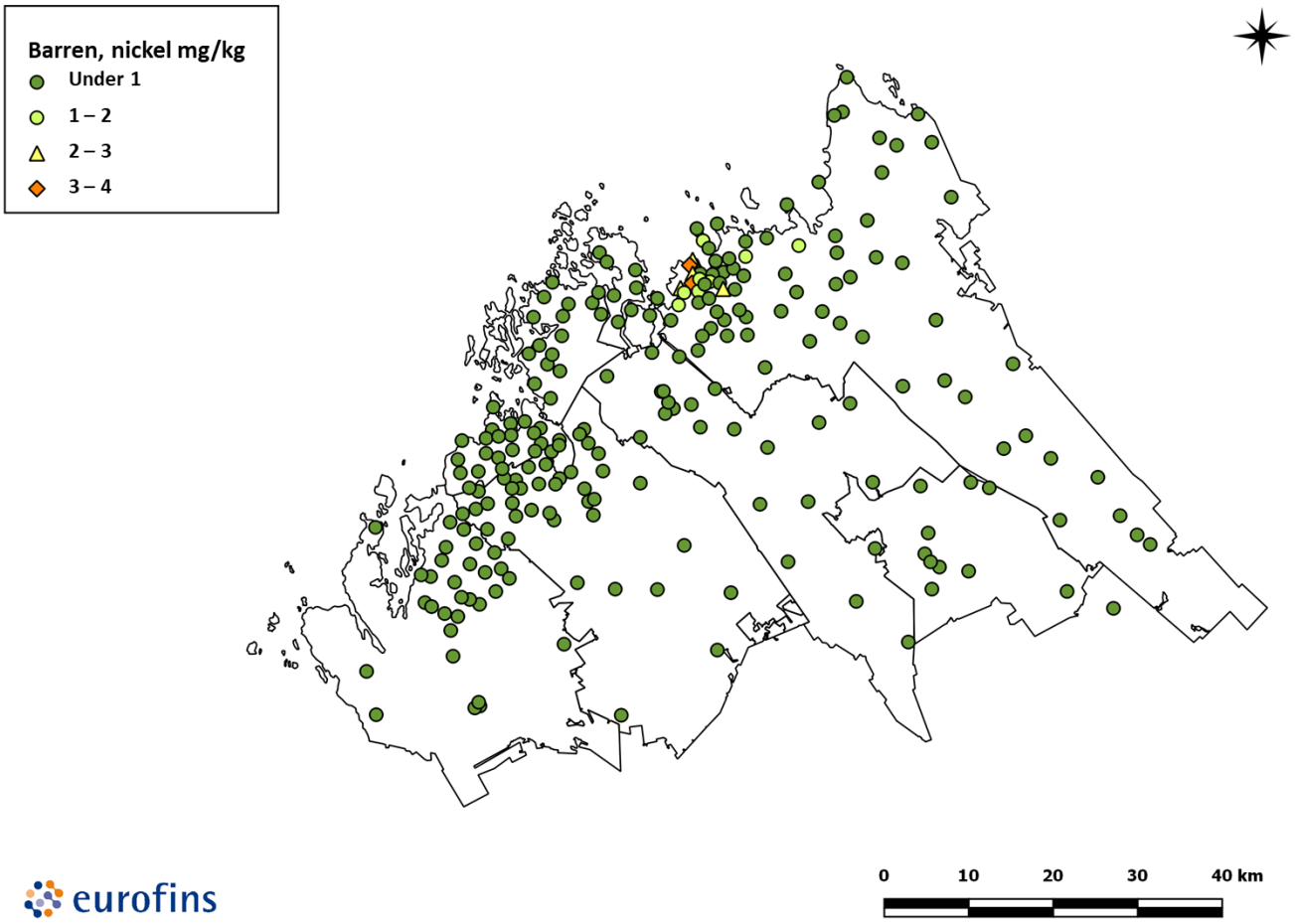
Figur 4-22. Tallbarrens, andra årgången, magnesiumhalter på provytor 2018.



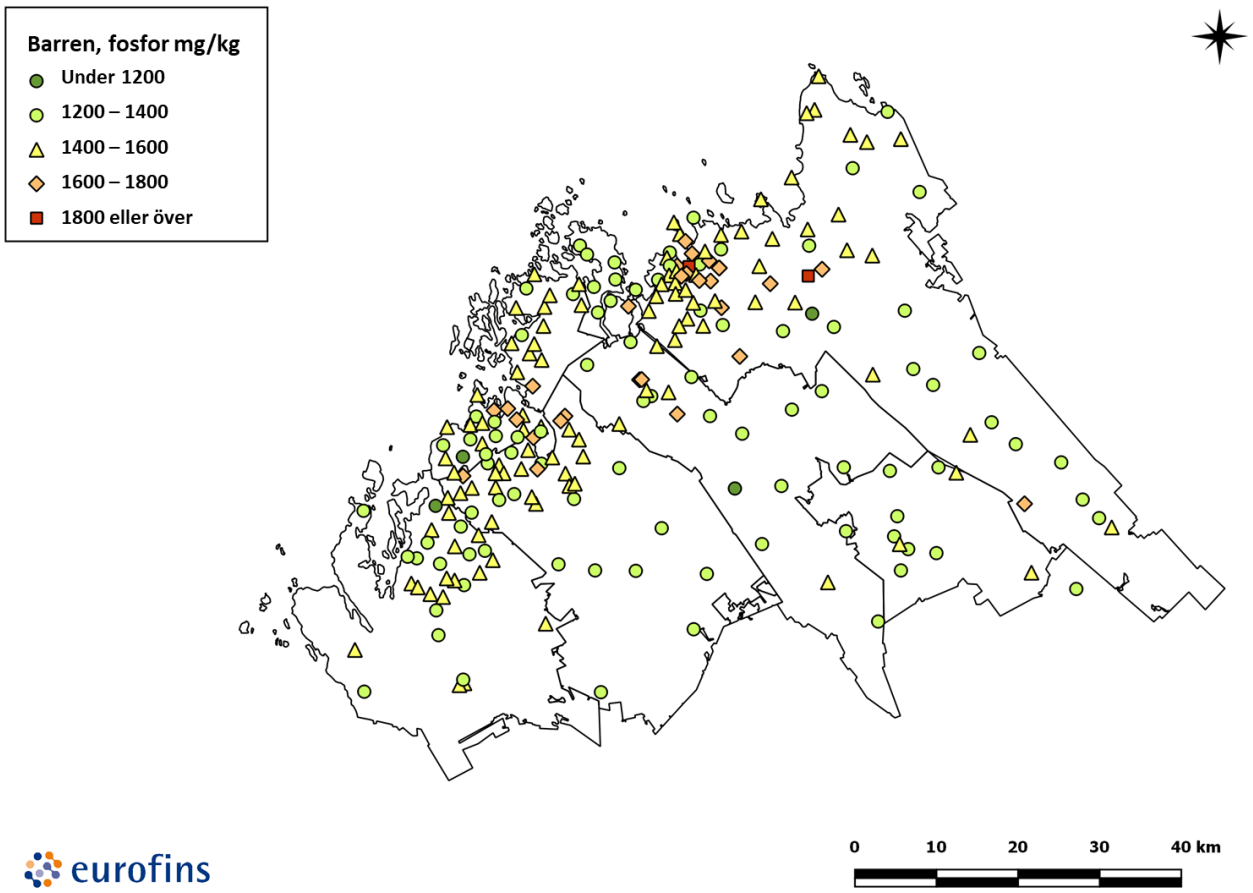
Figur 4-23. Tallbarrens, andra årgången, manganhalter på provytor 2018.



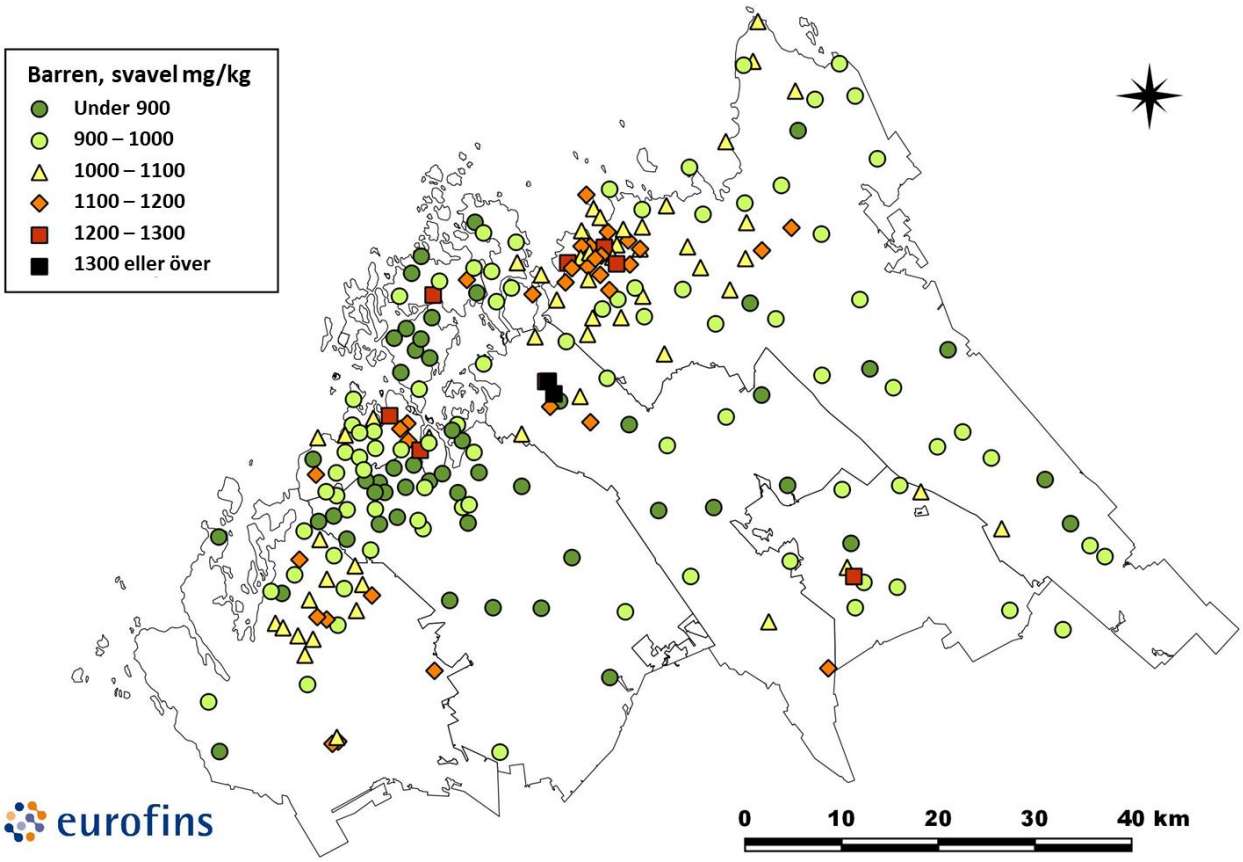
Figur 4-24. Tallbarrens, andra årgången, totalkvävehalter på provytor 2018.



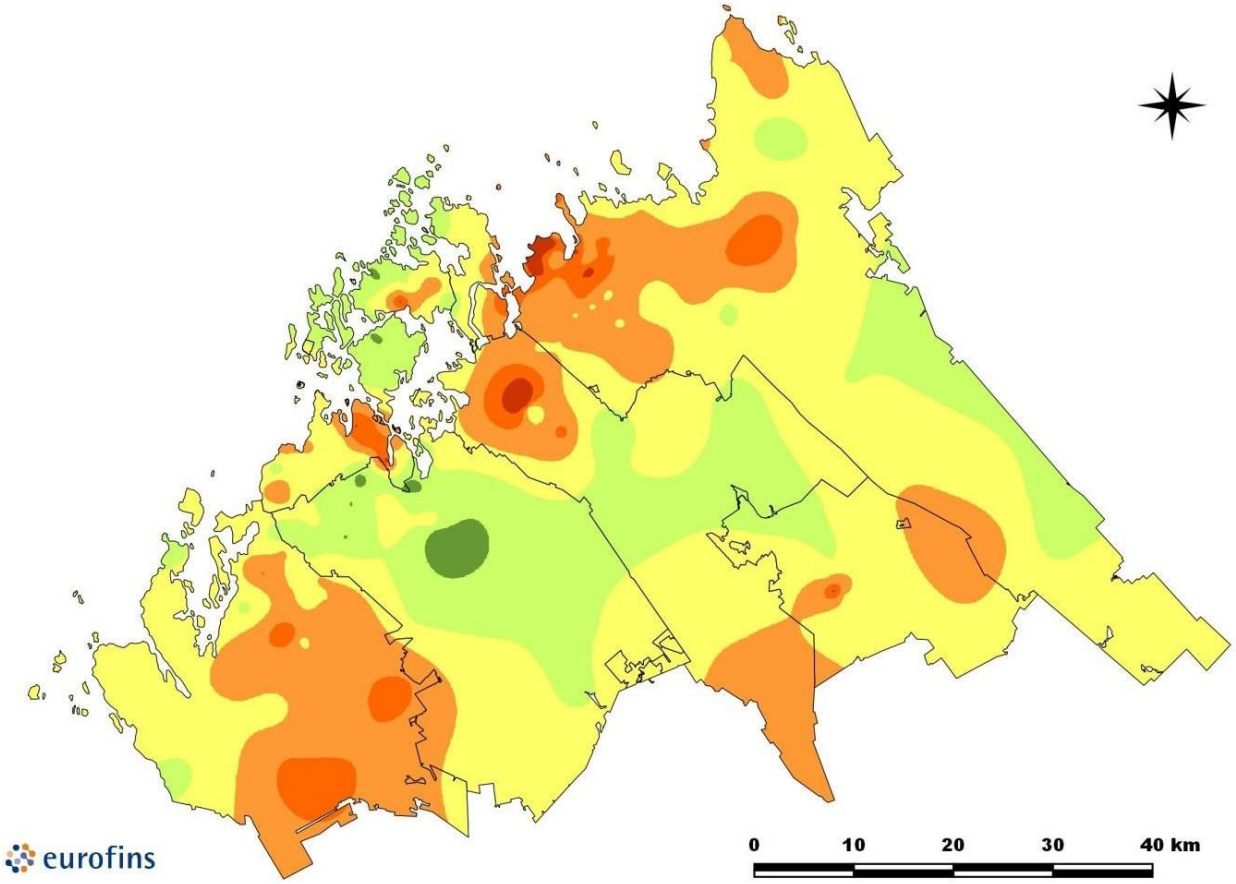
Figur 4-25. Tallbarrens, andra årgången, nickelhalter på provytor 2018.



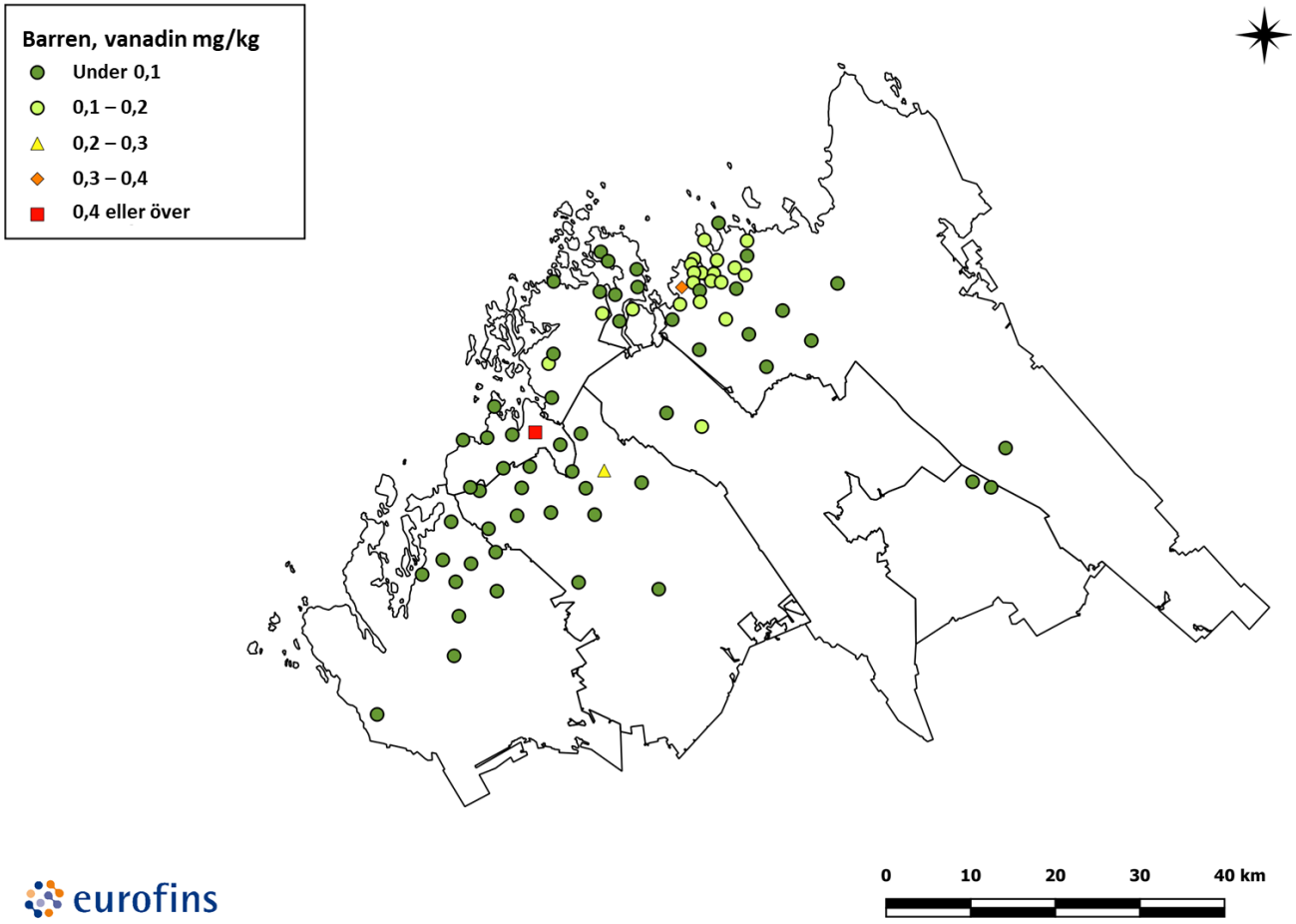
Figur 4-26. Tallbarrens, andra årgången, totalfosforhalter på provytor 2018.



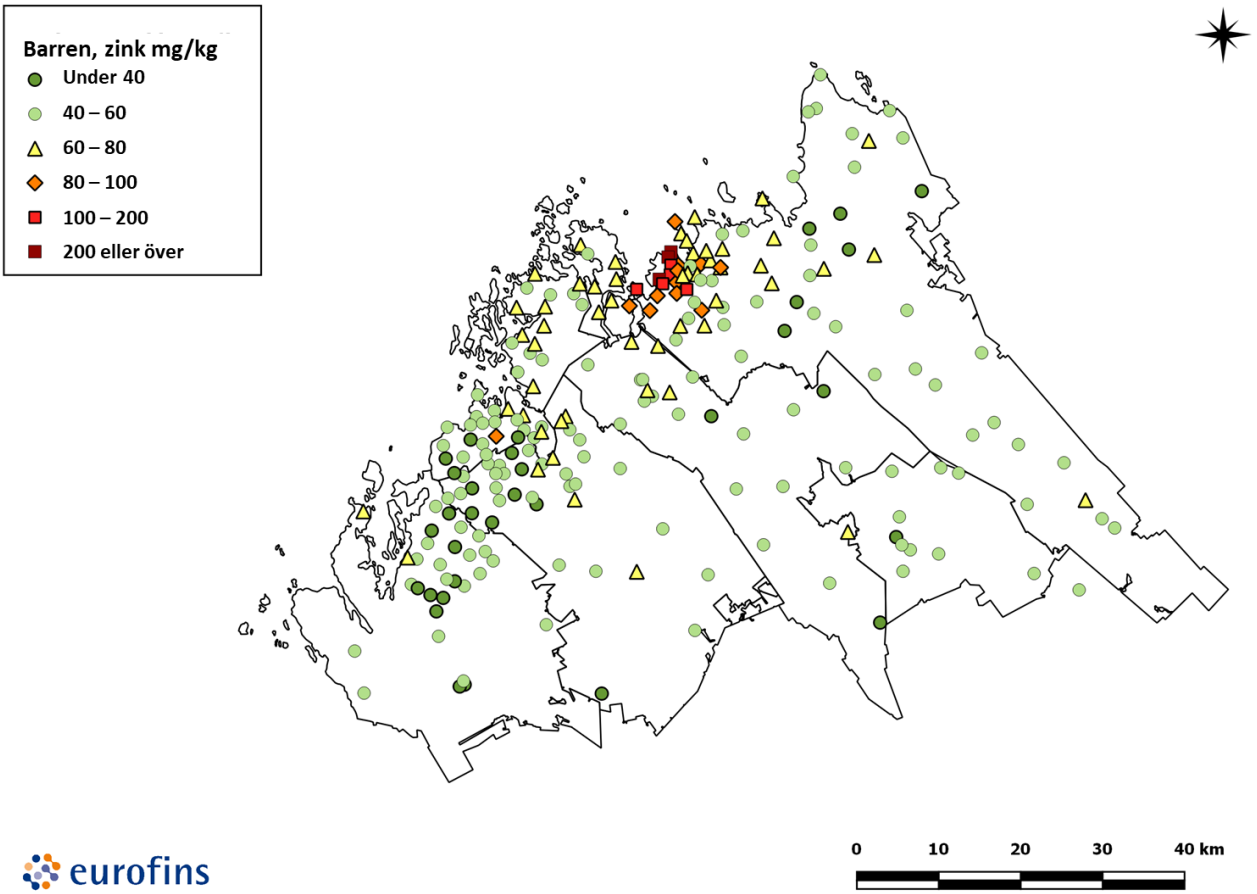
Figur 4-27. Tallbarrens, andra årgången, svavelhalter på provytor 2018.



Figur 4-28. Tallbarrens, andra årgången, svavelhalter på provytor 2018.



Figur 4-29. Tallbarrens, andra årgången, vanadinhalter på provytor 2018.



Figur 4-30. Tallbarrens, andra årgången, zinkhalter på provytor 2018.

4.3 Mossans grundämneshalter

Nyckeltal beräknades för mossans grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsområdet för hela områdets del och per kommun (Tabell 4-3). Kommunernas högsta medeltal och högsta halter anges med fetstil i tabellen. Provytornas grundämneshalter redovisas på kartor (Figur 4-31 – Figur 4-50).

I mossornas grundämneshalter observerades i fråga om några grundämnen en klar Karlebycentrerad gradient, där de högsta halterna observerades på ytor nära Yxpila. På andra håll i uppföljningsområden var halterna klart lägre än i detta område. Gradient observerades för **arsenik, kadmium**, **kobolt**, **bly** och **zink**. Förhöjda halter av **koppar** observerades i Yxpila i Karleby och Kelviå, men den högsta halten uppmättes i Kronoby. Enstaka förhöjda halter av zink observerads i Kaustby och västra delen av Kronoby.

Förhöjda halter av **aluminium, järn, kvicksilver** och **nickel** observerades förutom på ytor i Karleby centrum också på andra ytor i närheten av industriområden och i Kelviå i Karleby och Lochteå, Jakobstad, Pedersöre och Kronoby. Förhöjda halter av aluminium uppmättes i Karleby i närheten av Läntä samt i Kaustby. De högsta **svavel**halterna i mossan fanns i närheten av Karleby centrum, i Kaustbys Fortum-Findest område, i Jakobstad och Kronobys industriområde. De förhöjda halterna av **vanadin** observerades i omgivningen kring Karleby och Jakobstad centrum, och förhöjda halterna observerades också i Lochteå, Kronoby och Larsmo industriområden, Pedersöre och Nykarlebys Jeppo. De högsta halterna av **krom** fanns i Kaustby, Karlebys Kelviå och i närheten av Yxpila i Karleby. Enstaka förhöjda halter av krom observerades också i Jakobstad, norra delen av Pedersöre, Kronoby och norra delen av Karleby.

De högsta halterna av **bor** observerades i Pedersöre och Karleby. Det var inte möjligt att granska borkoncentrationerna för hela området, eftersom bestämningsgraden i vissa prov var 1 mg/kg, men i andra prov 5 mg/kg på grund av en felbedömning(?) (Figur 4-33). Halterna av **kalium**, **kalcium** och **fosfor** var högre i närheten av kusten än i det övriga området. De högsta halterna av **magnesium** fanns i Kronoby, Kaustby, norra delen av Pedersöre och närheten av Lochteå i Karleby. De högsta halterna av magnesium fanns i Karlebys centrumområde och provytor i Jakobstad-Pedersöre regionen. De högsta

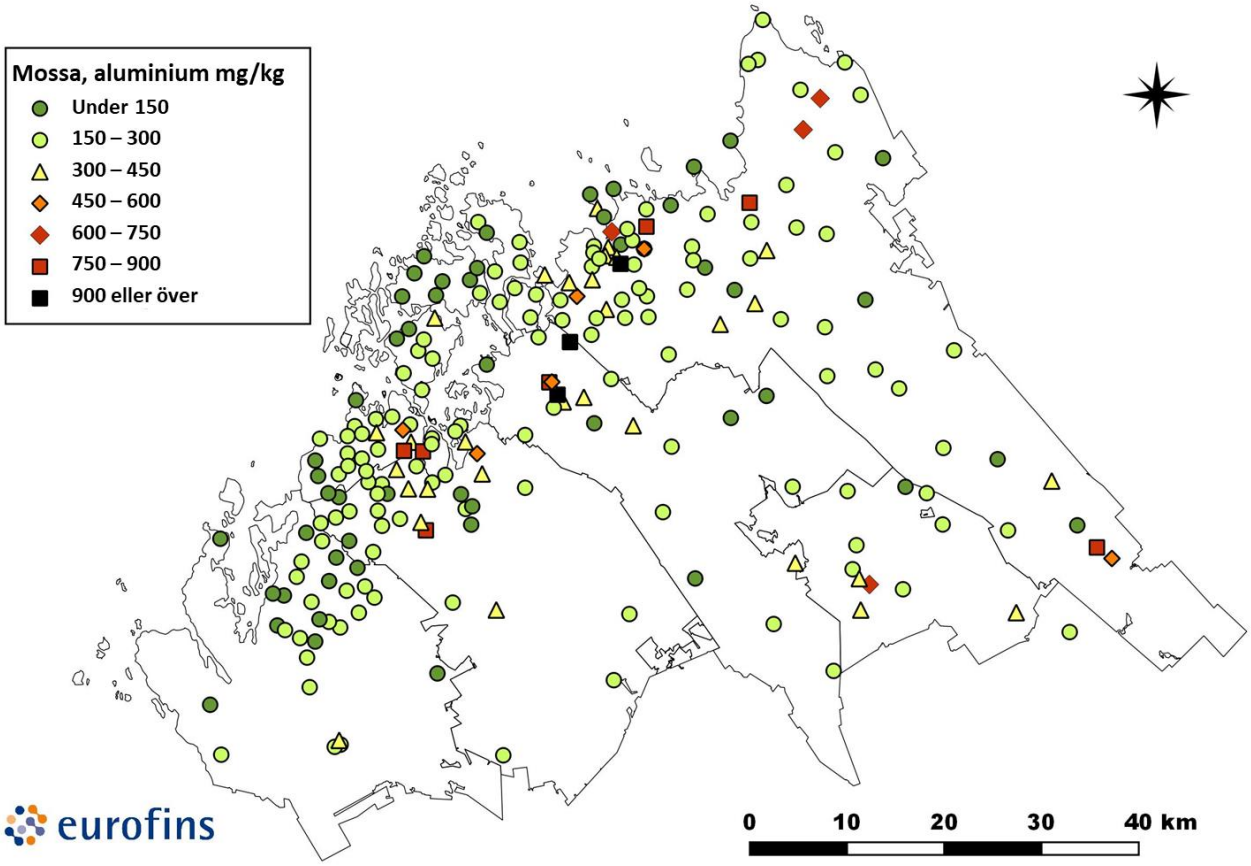
halterna av **mangan** fanns på olika håll i uppföljningsområdet, för manganhalterna kunde man dock inte se någon klar regionalitet. De högsta halterna av **natrium** fanns i området Jakobstad-Pedersöre.

Litiumhalter observerades på två ytor i Kaustby. Dessa ytor fanns i omgivningen för planerade gruvområden (Keliber Oy). Mossarnas litiumhalter på dessa ytor var under bestämningsgränsen 0,2 mg/kg (ytor K239 och K240) (se läge Figur 4-51). Litiumkoncentrationer bestämdes i prover tagna vid en tidpunkt, som skiljer sig från den normala provtagningstiden för humus (25.11.2019).

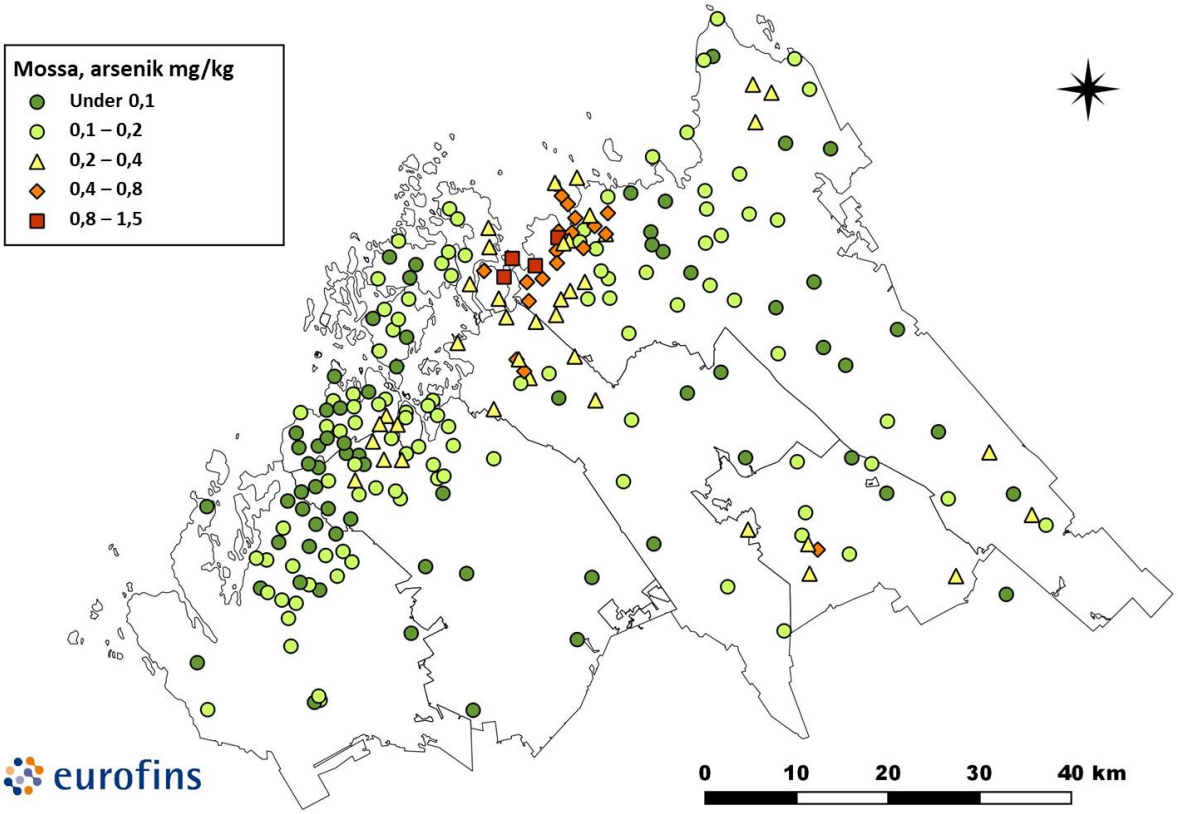
Tabell 4-3. Medeltal, minimum- och maximumvärde av mossans grundämneshalter för hela området och per kommun (N = 227, med undantag av bor var N = 120 och litium var N = 2, se text). De högsta medelvärdena och de högsta värdena per kommun är markerad med fet stil.

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

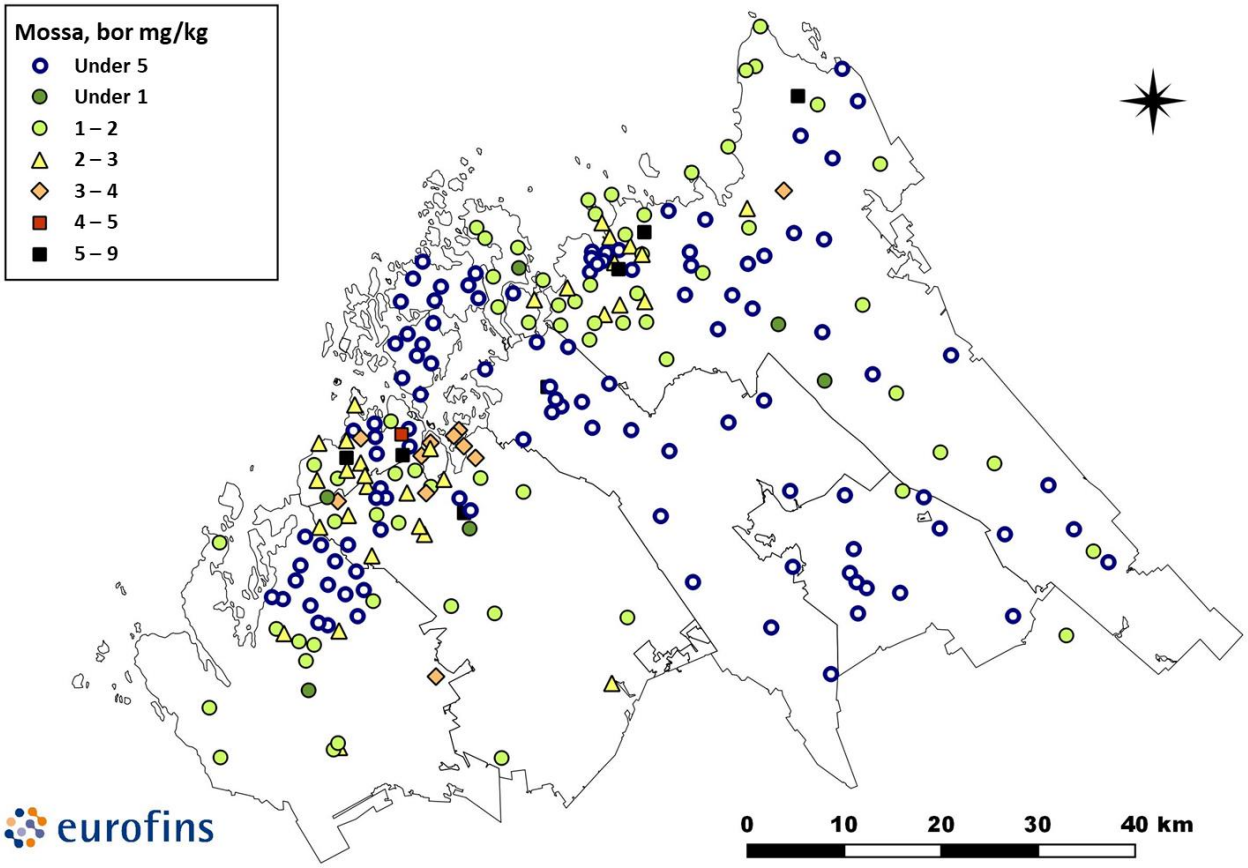
Grund-ämne		Hela område	Kaust-by	Karleby	Krono-by	Lars-mo	Peder-söre	Jakob-stad	Nykarle-by
	N =	227	11	88	22	16	35	24	31
	maximum	16	2,4	**16**	5,3	2	2,9	3,9	2
S mg/kg	medeltal	869	928	885	959	772	901	**991**	764
	minimum	420	660	420	660	580	550	730	490
	maximum	1650	1630	**1650**	1440	1020	1280	1510	1190
V mg/kg	medeltal	0,83	0,89	0,88	**1,16**	0,71	0,74	0,99	0,60
	minimum	0,24	0,38	0,26	0,36	0,35	0,25	0,27	0,24
	maximum	5,2	2	4,5	3	2,3	2,6	**5,2**	2,9
Zn mg/kg	medeltal	80	57	**121**	97	57	52	54	39
	minimum	24	37	24	46	41	35	38	27
	maximum	540	110	**540**	180	92	76	77	63
Li mg/kg	medeltal		<0,2						
	minimum		<0,2						
	maximum		<0,2						
	N		2	0	0	0	0	0	0



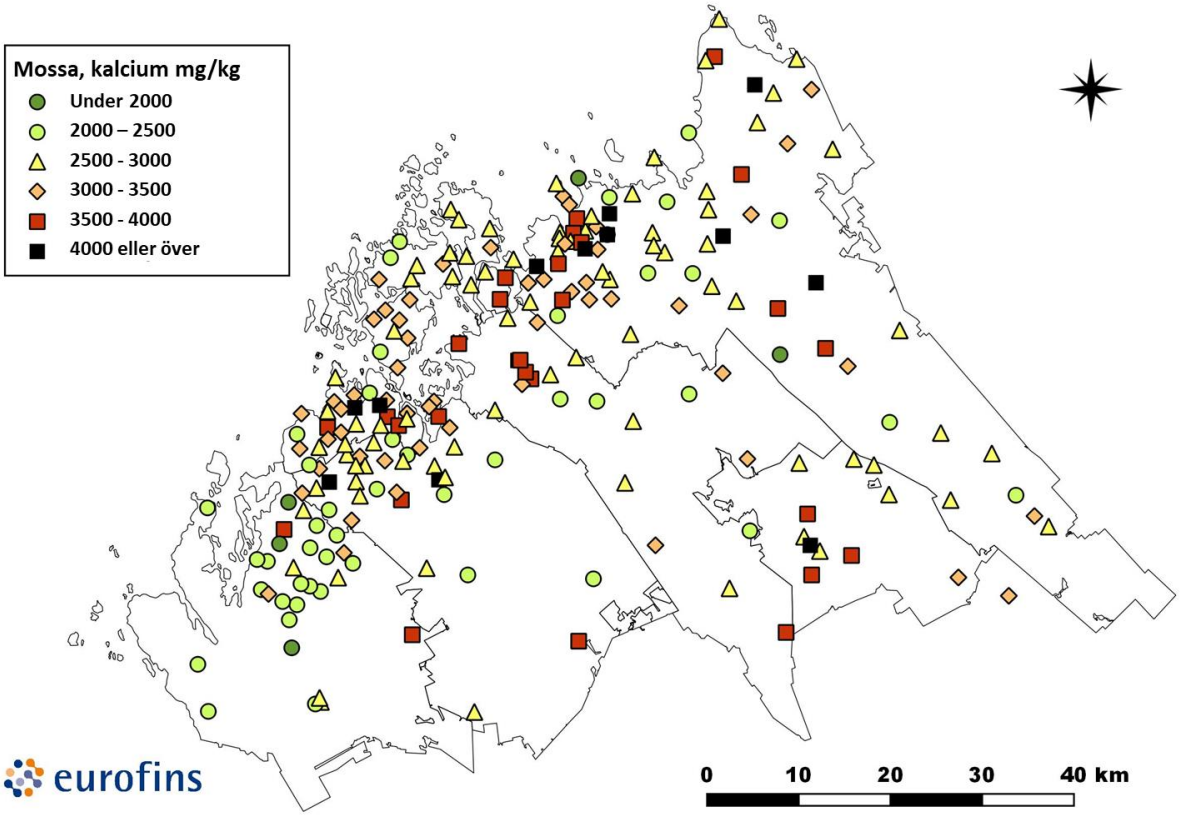
Figur 4-31. Mossans aluminiumhalter på provytor 2018.



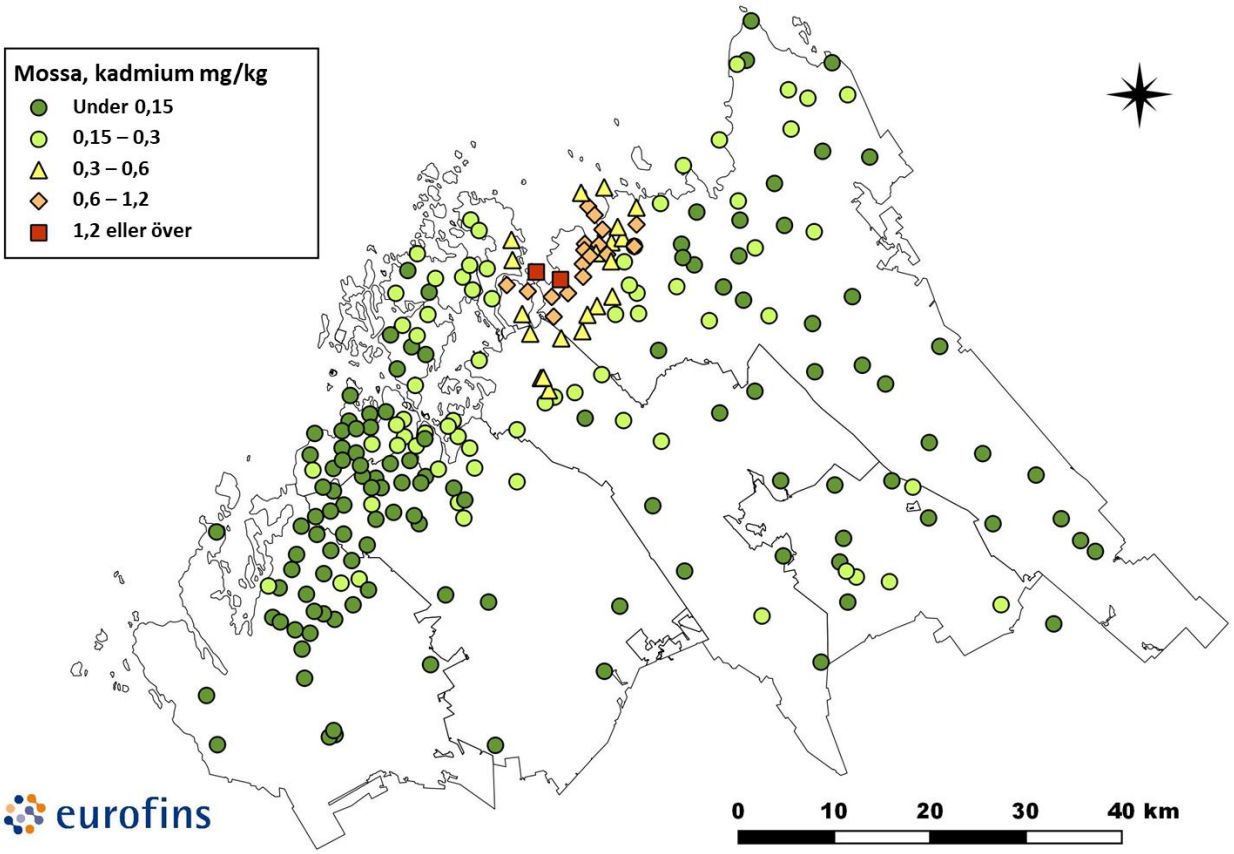
Figur 4-32. Mossans arsenikhalter på provytor 2018.



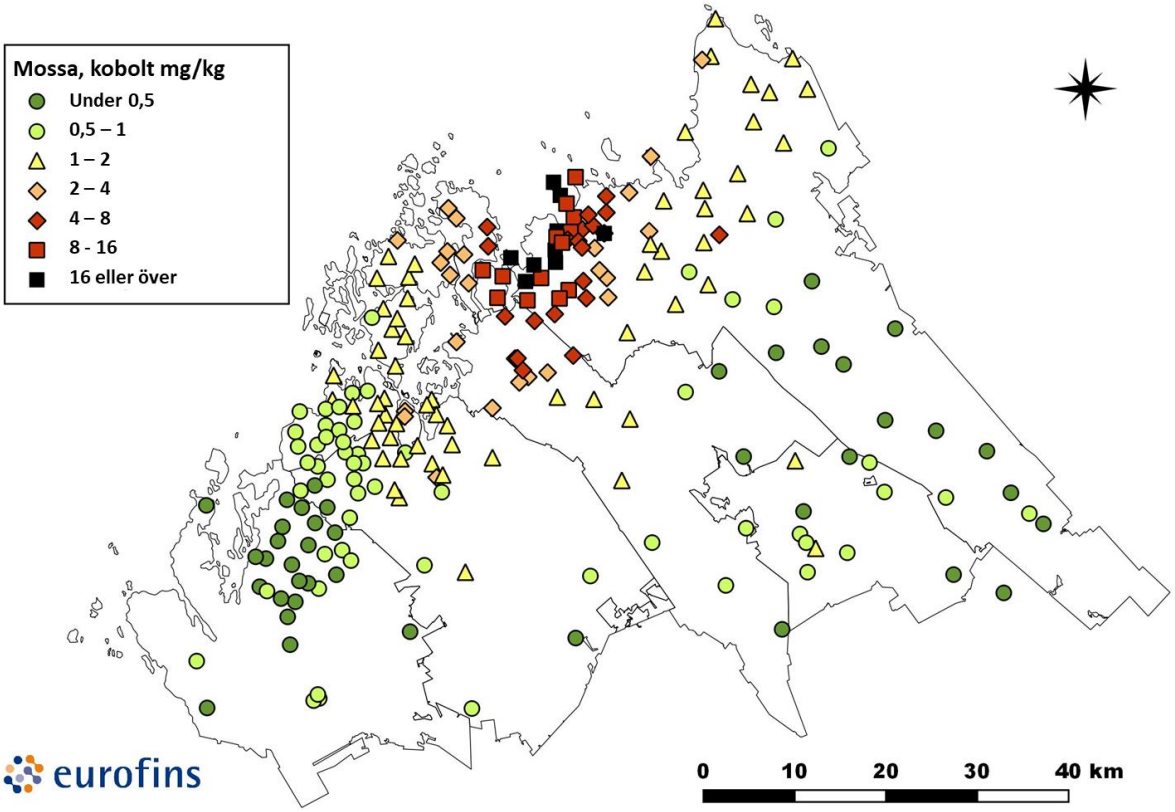
Figur 4-33. Mossans borhalter på provytor 2018.



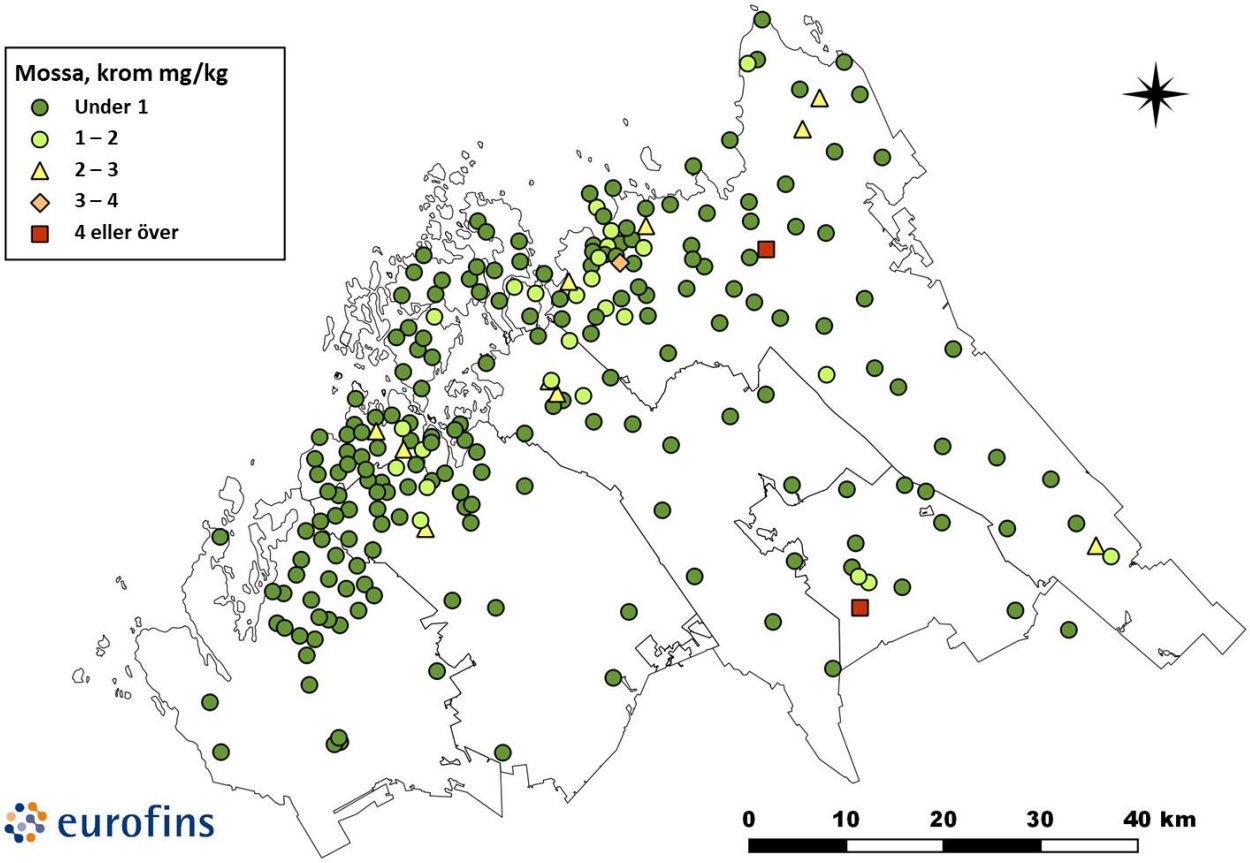
Figur 4-34. Mossans kalciumhalter på provytor 2018.



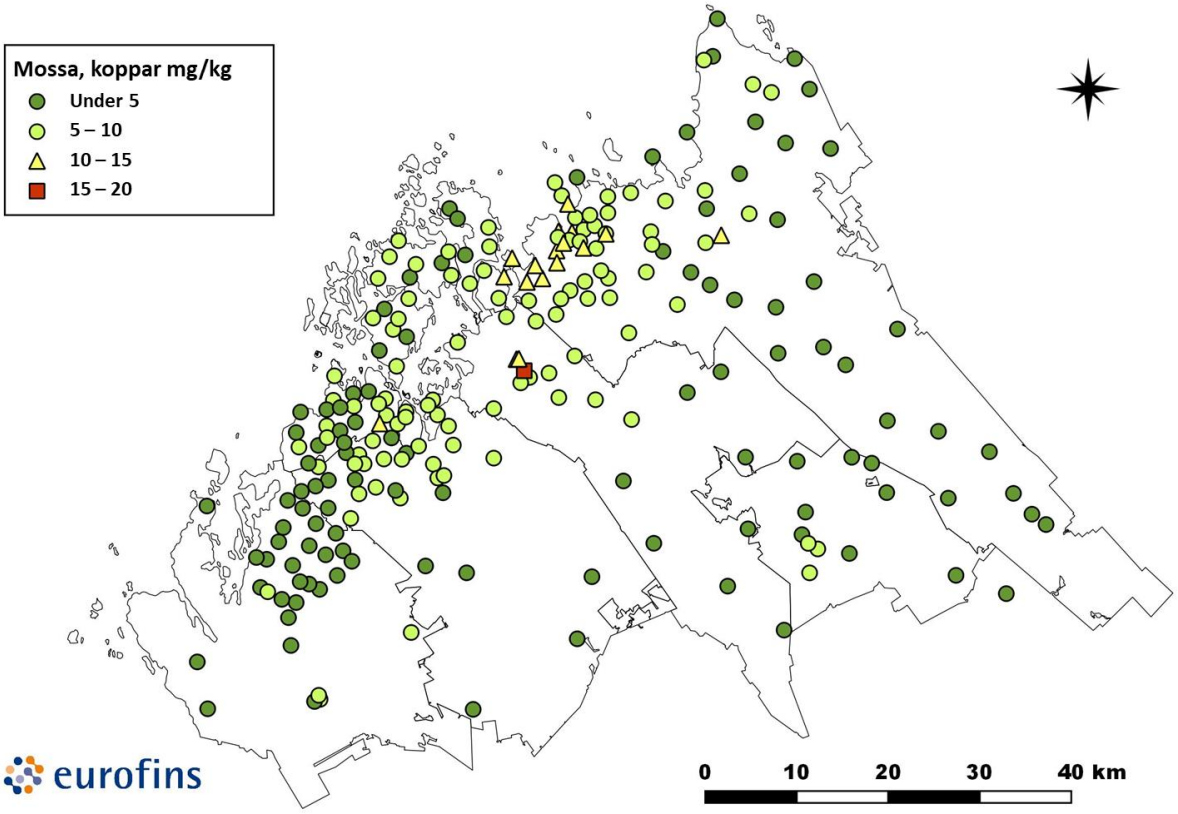
Figur 4-35. Mossans kadmiumhalter på provytor 2018.



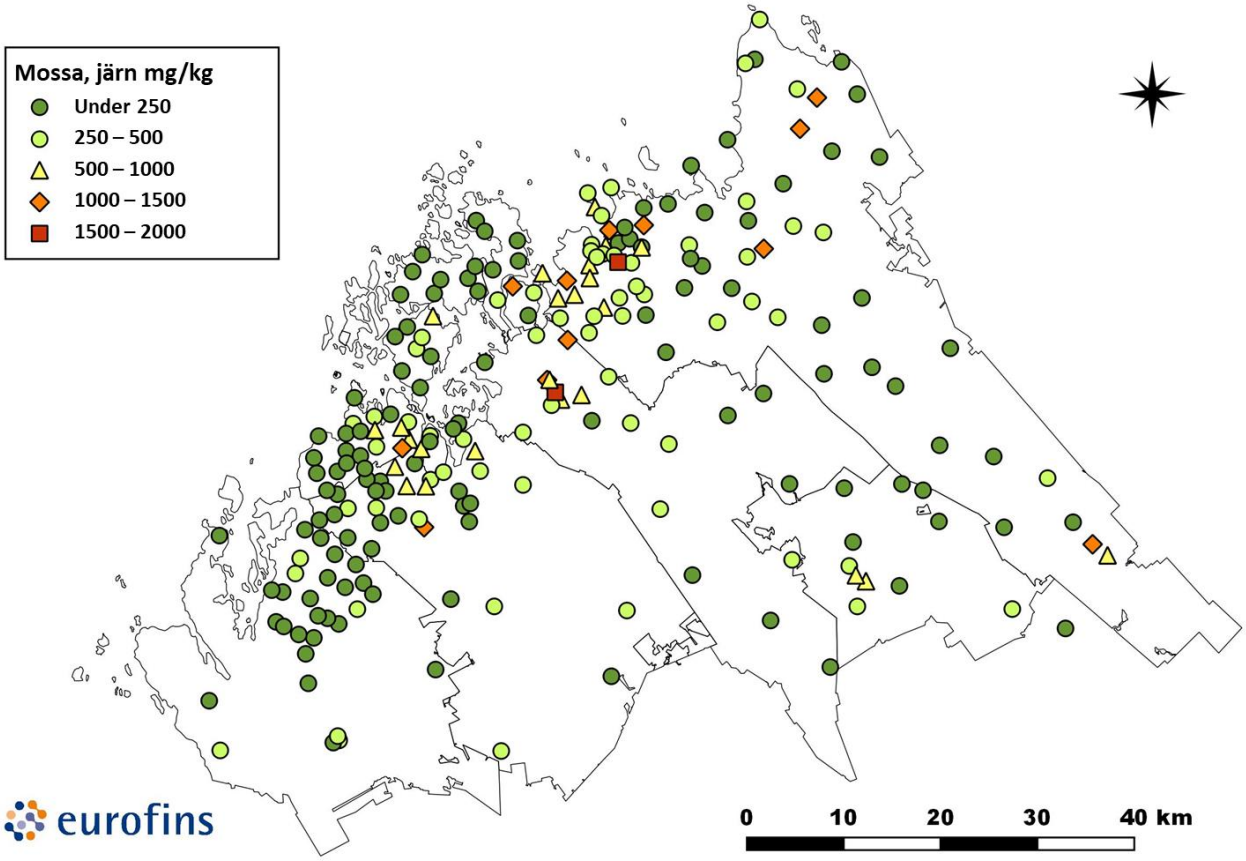
Figur 4-36. Mossans kobolthalter på provytor 2018.



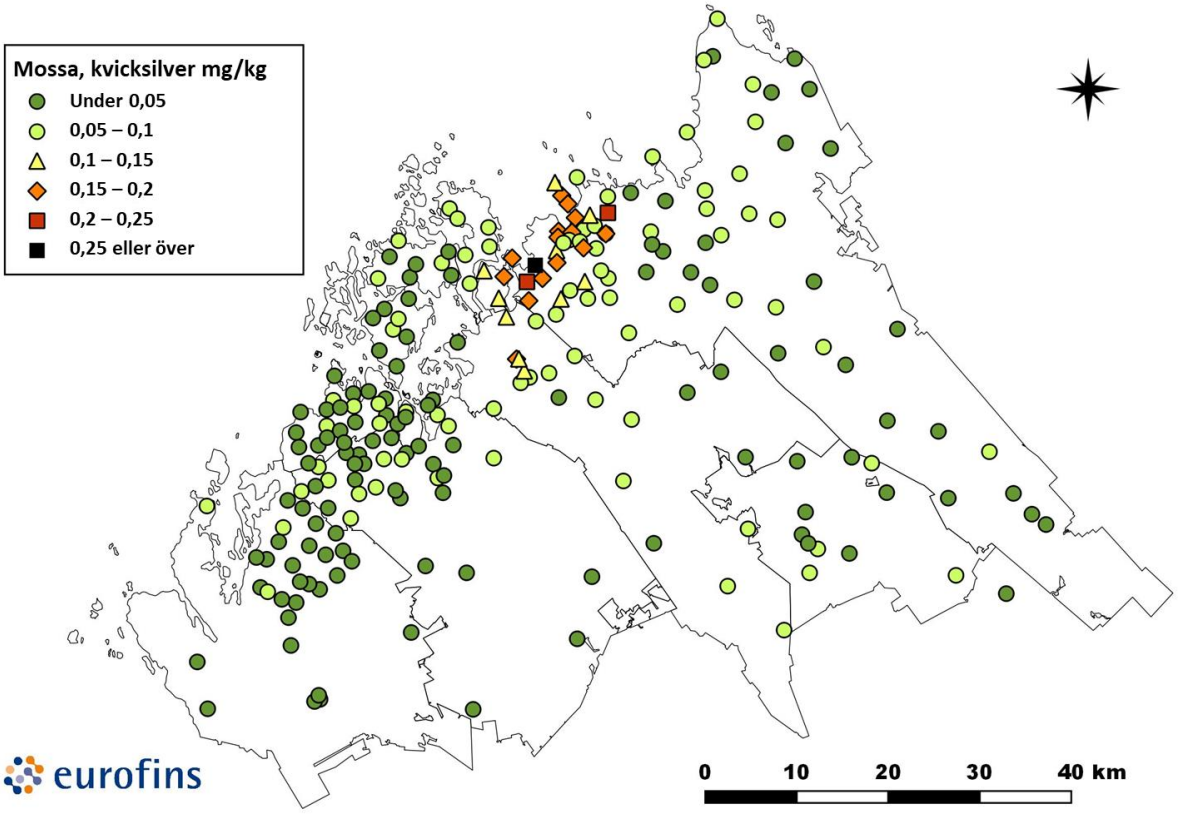
Figur 4-37. Mossans kromhalter på provytor 2018.



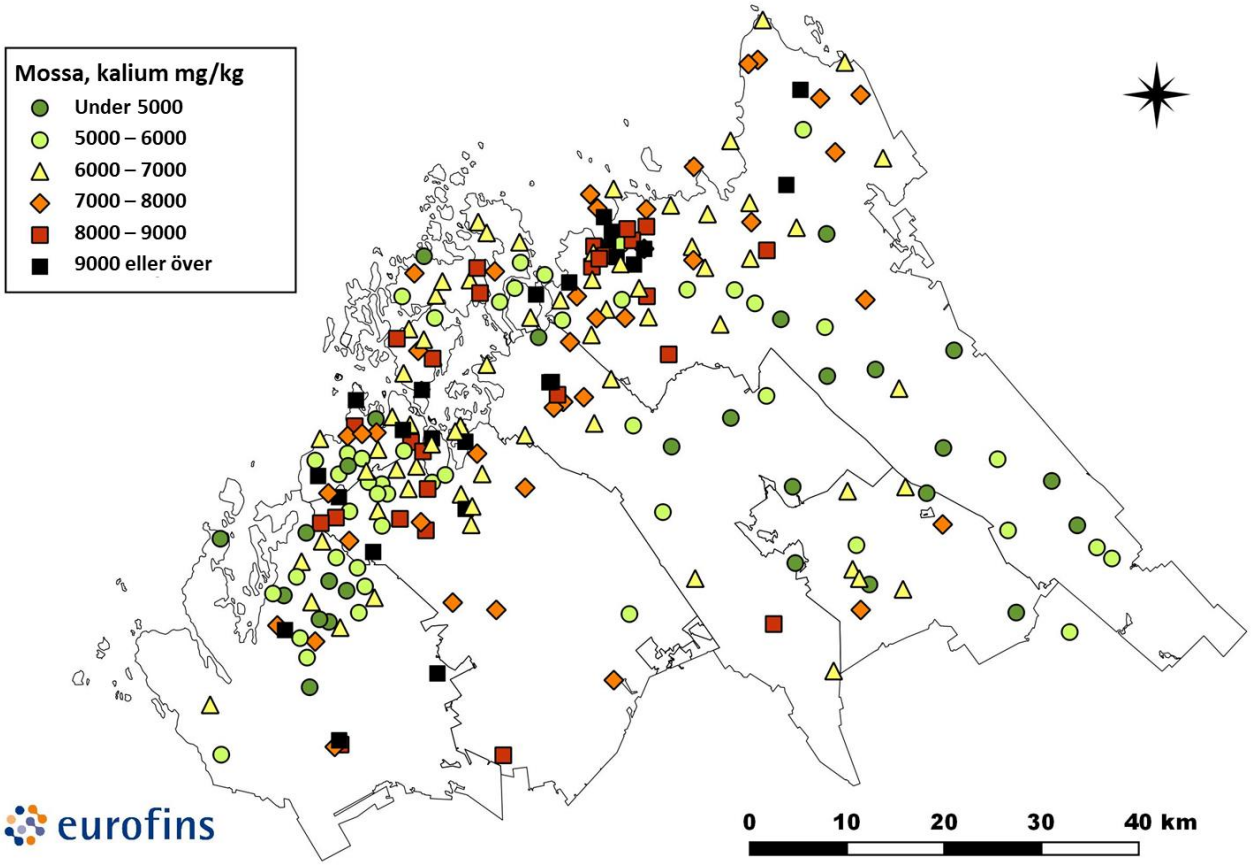
Figur 4-38. Mossans kopparhalter på provytor 2018.



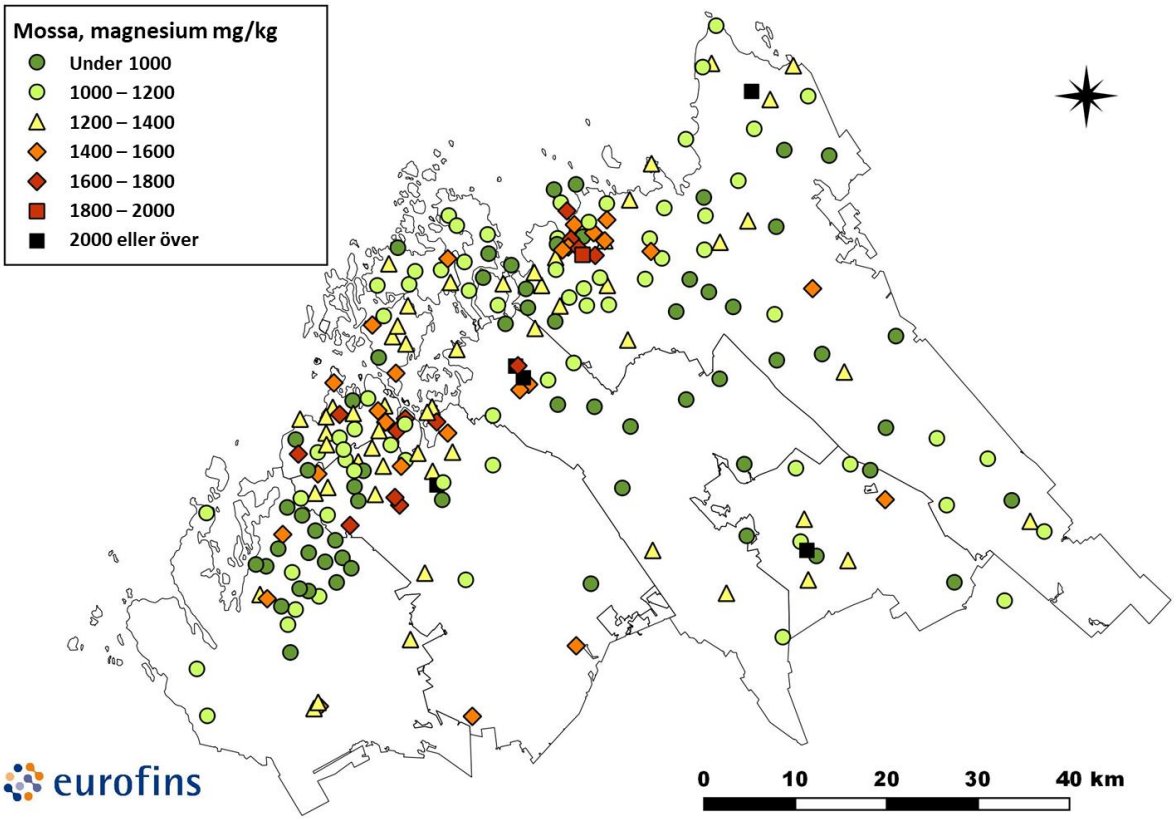
Figur 4-39. Mossans järnhalter på provytor 2018.



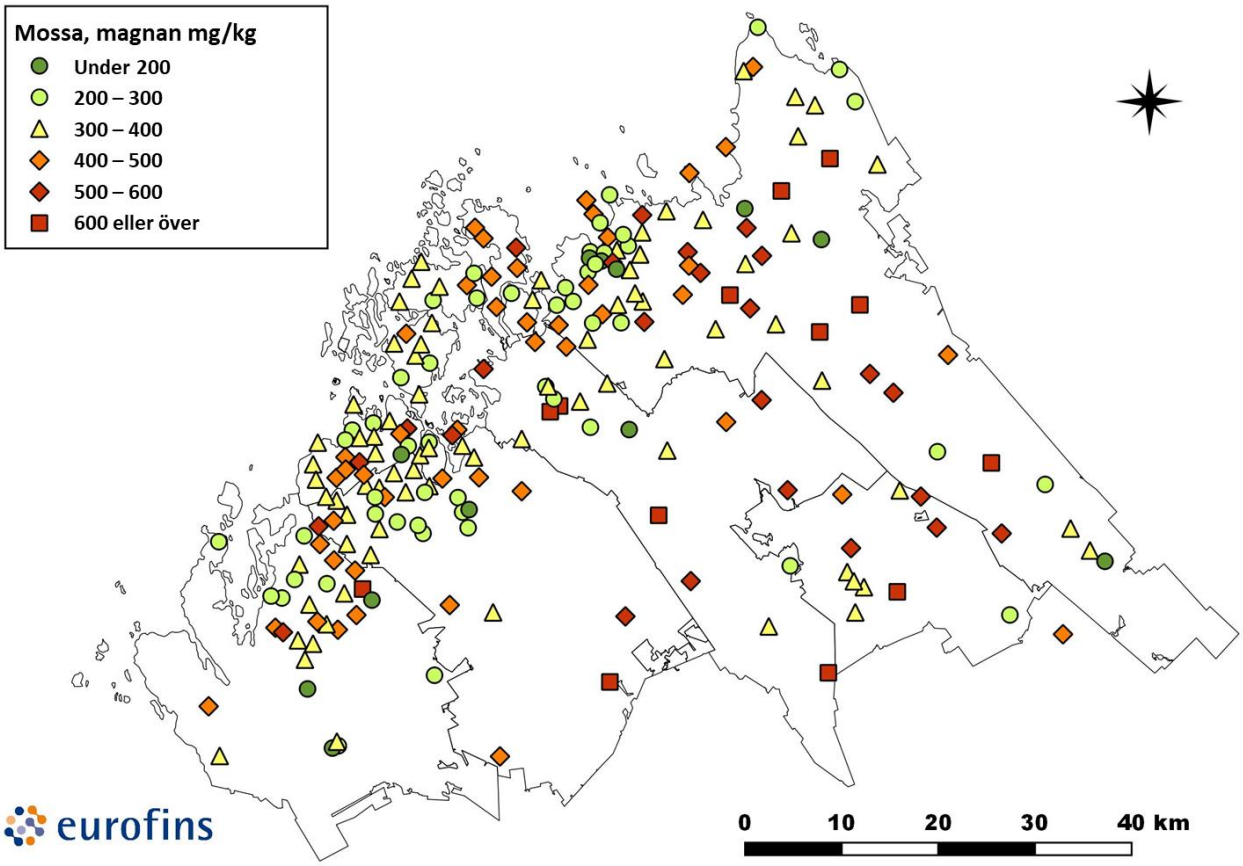
Figur 4-40. Mossans kvicksilverhalter på provytor 2018.



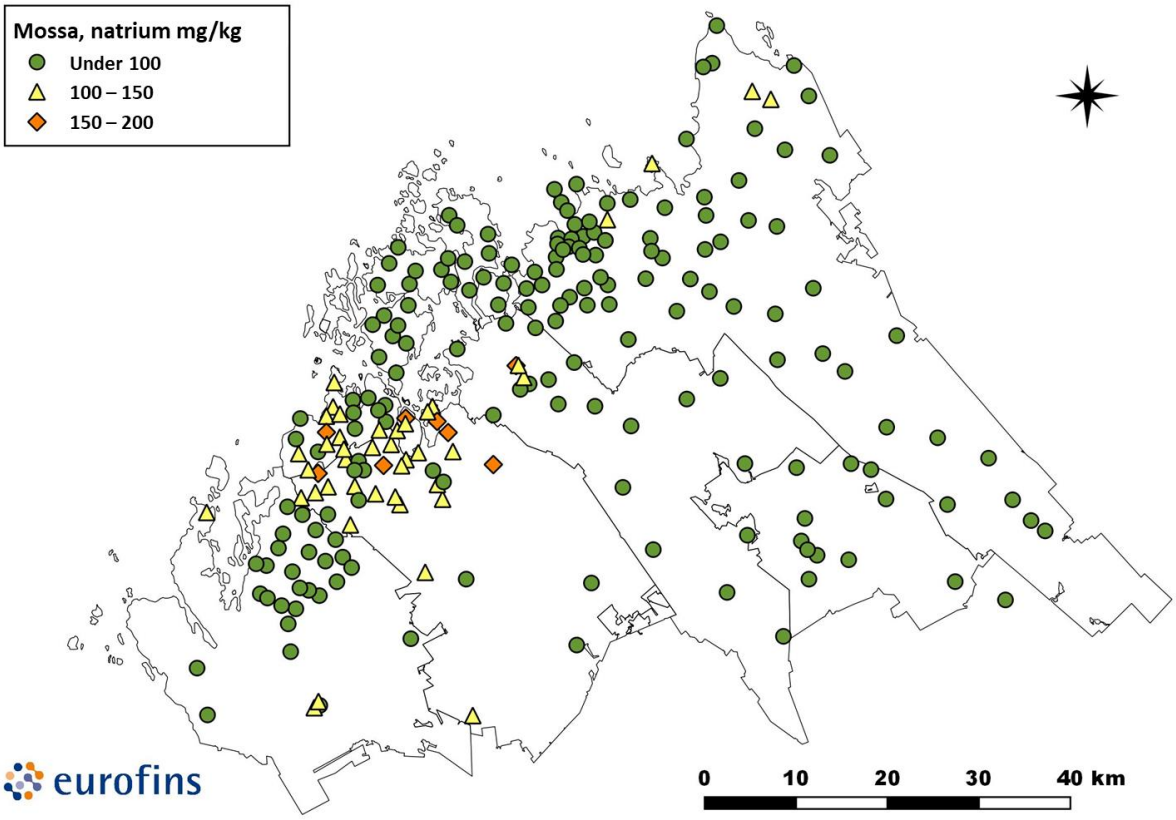
Figur 4-41. Mossans kaliumhalter på provytor 2018.



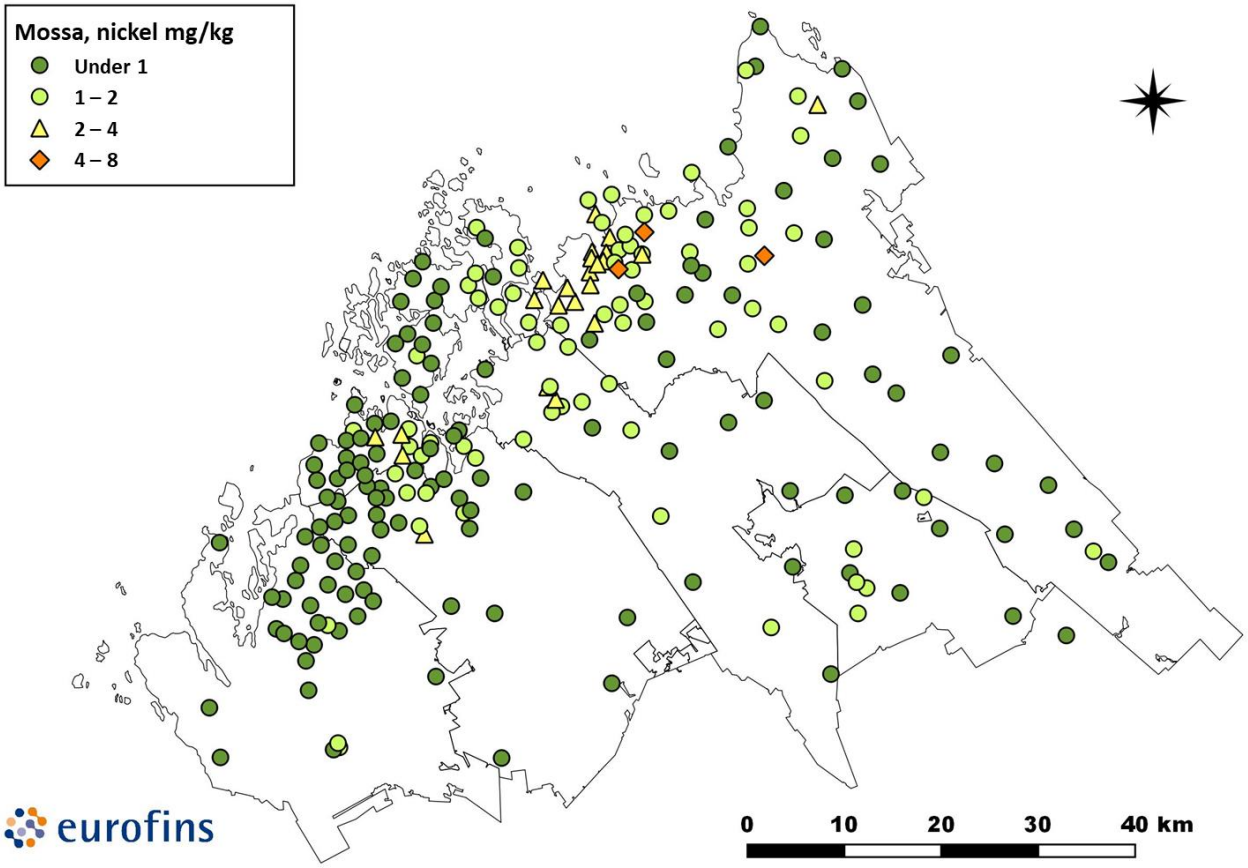
Figur 4-42. Mossans magnesiumhalter på provytor 2018.



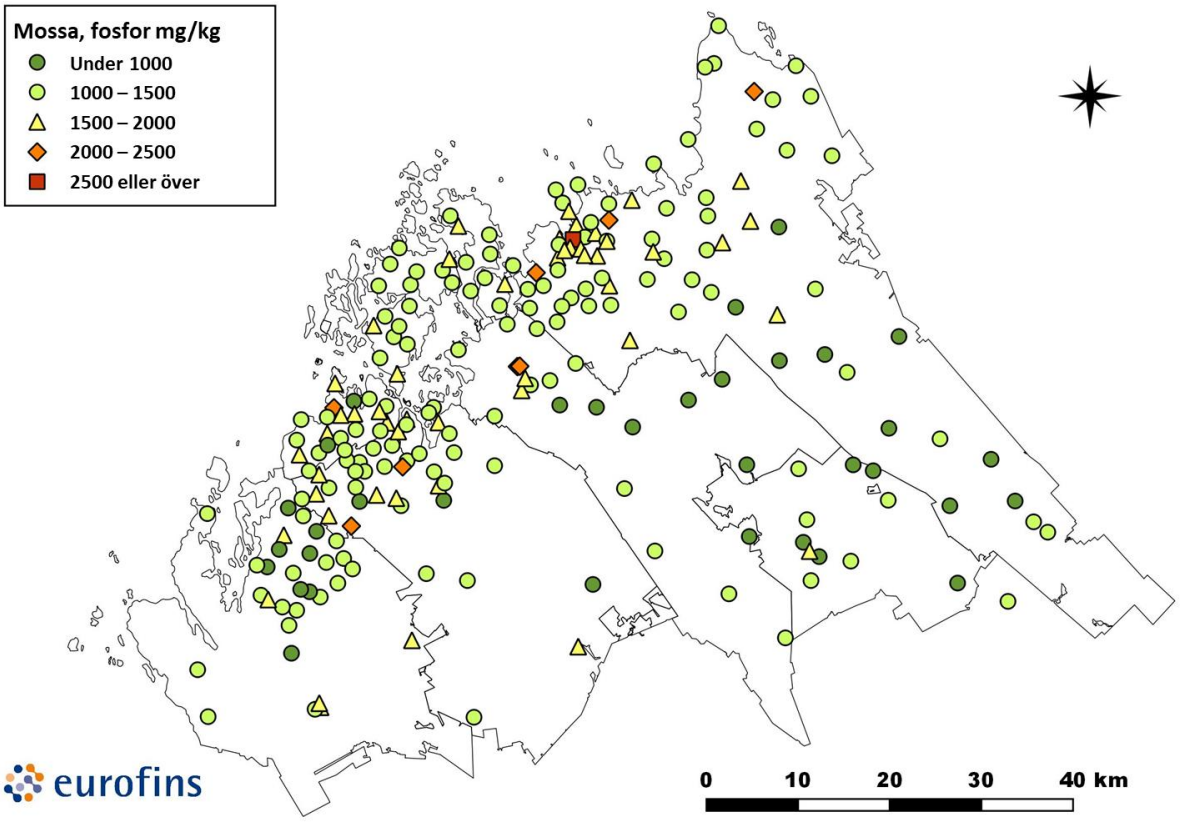
Figur 4-43. Mossans manganhalter på provytor 2018.



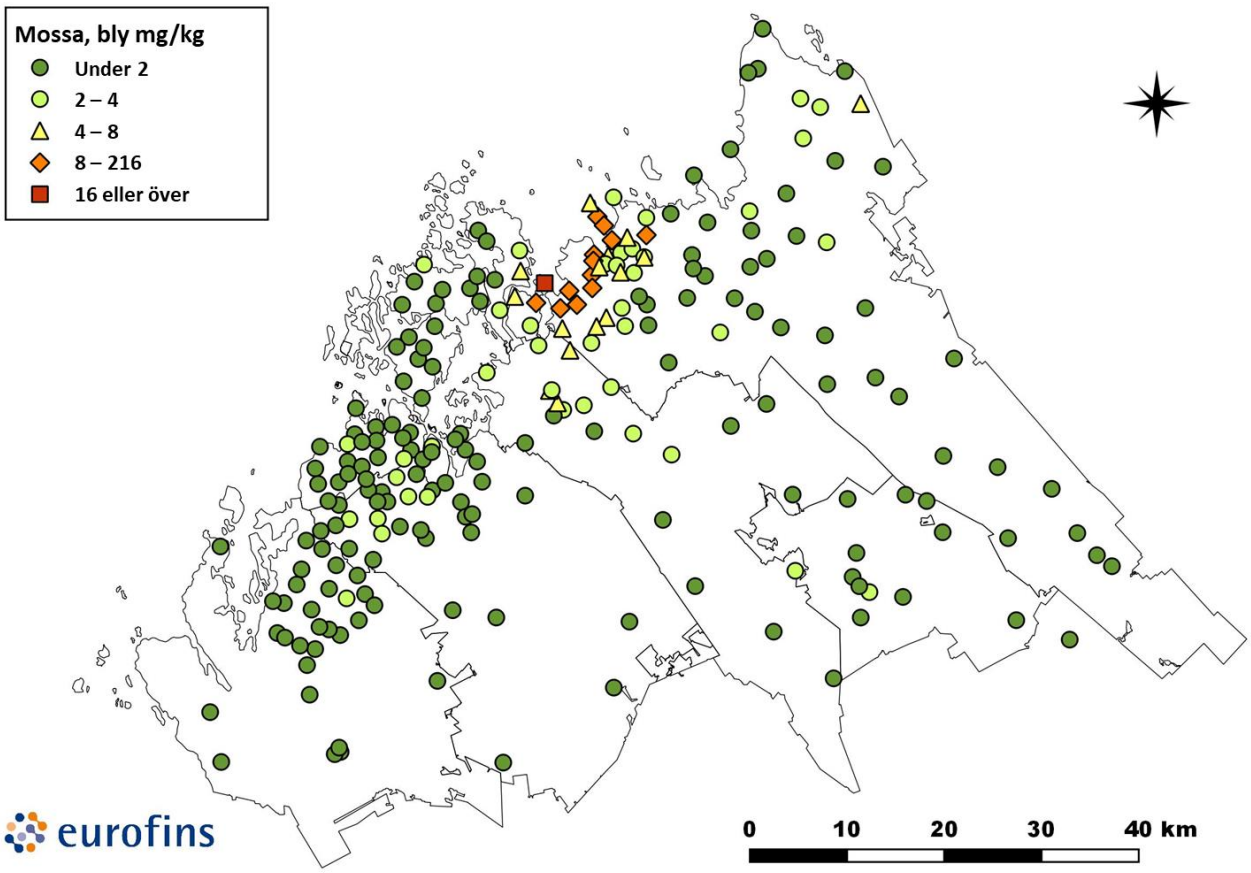
Figur 4-44. Mossans natriumhalter på provytor 2018.



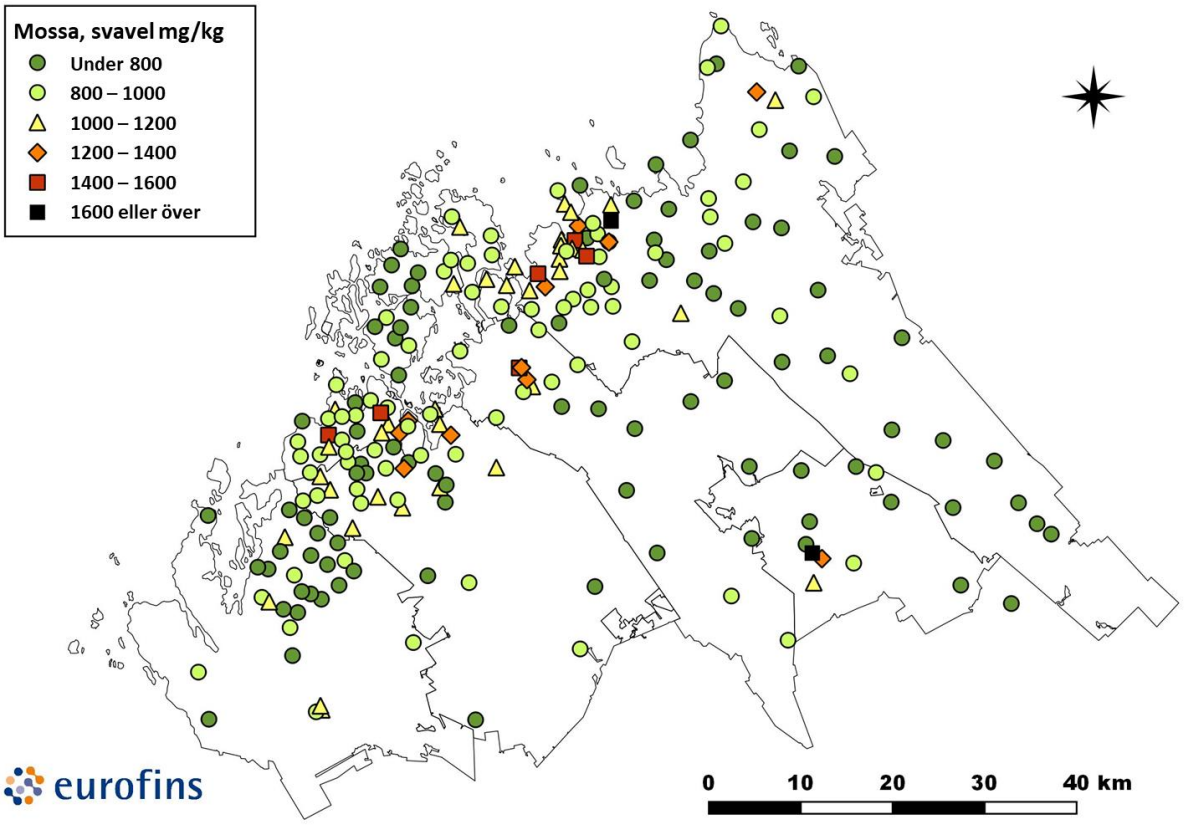
Figur 4-45. Mossans nickelhalter på provytor 2018.



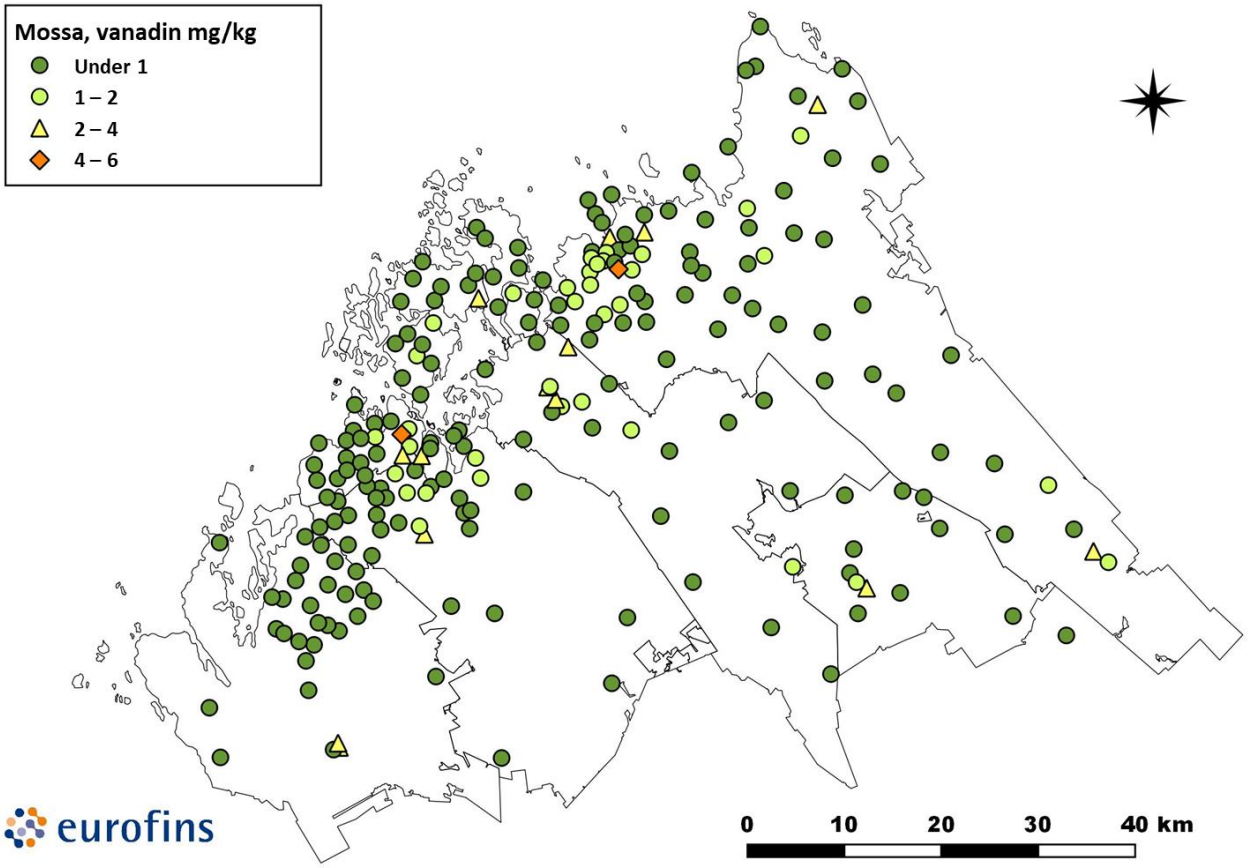
Figur 4-46. Mossans fosforhalter på provytor 2018.



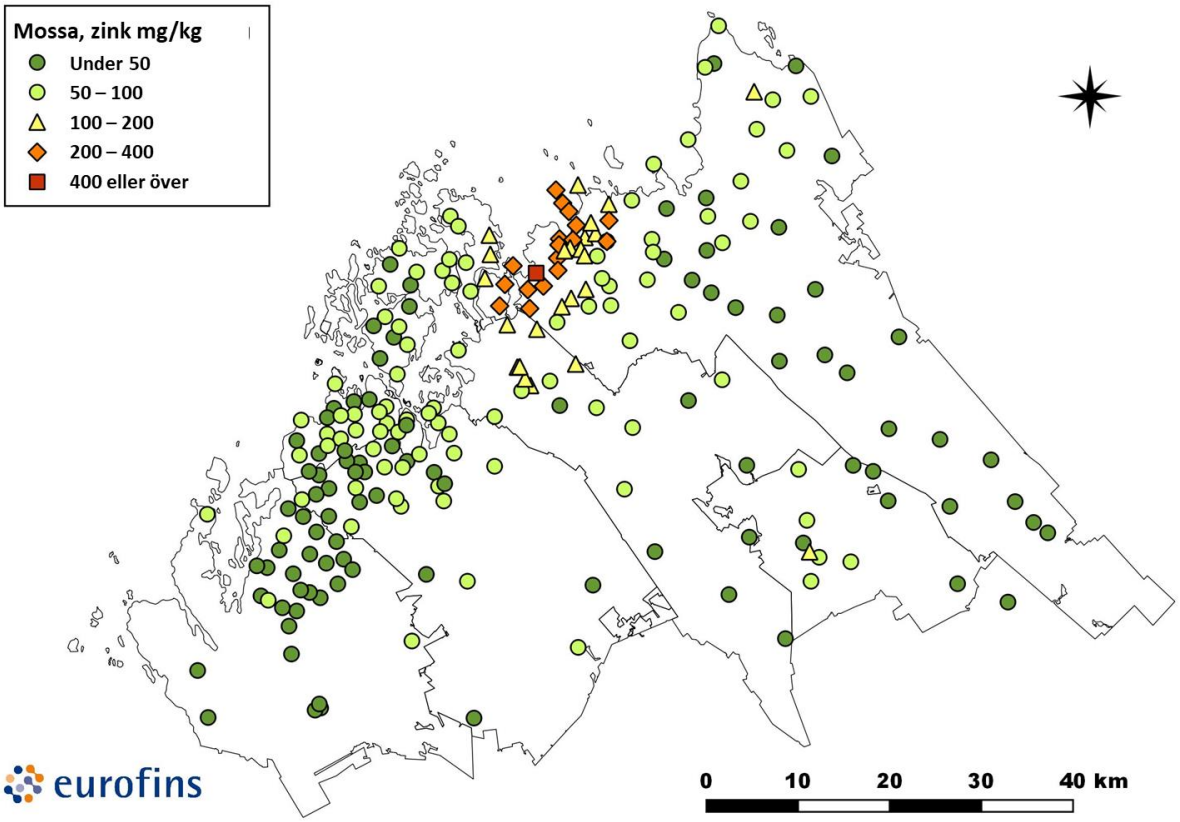
Figur 4-47. Mossans blyhalter på provytor 2018.



Figur 4-48. Mossans svavelhalter på provytor 2018.



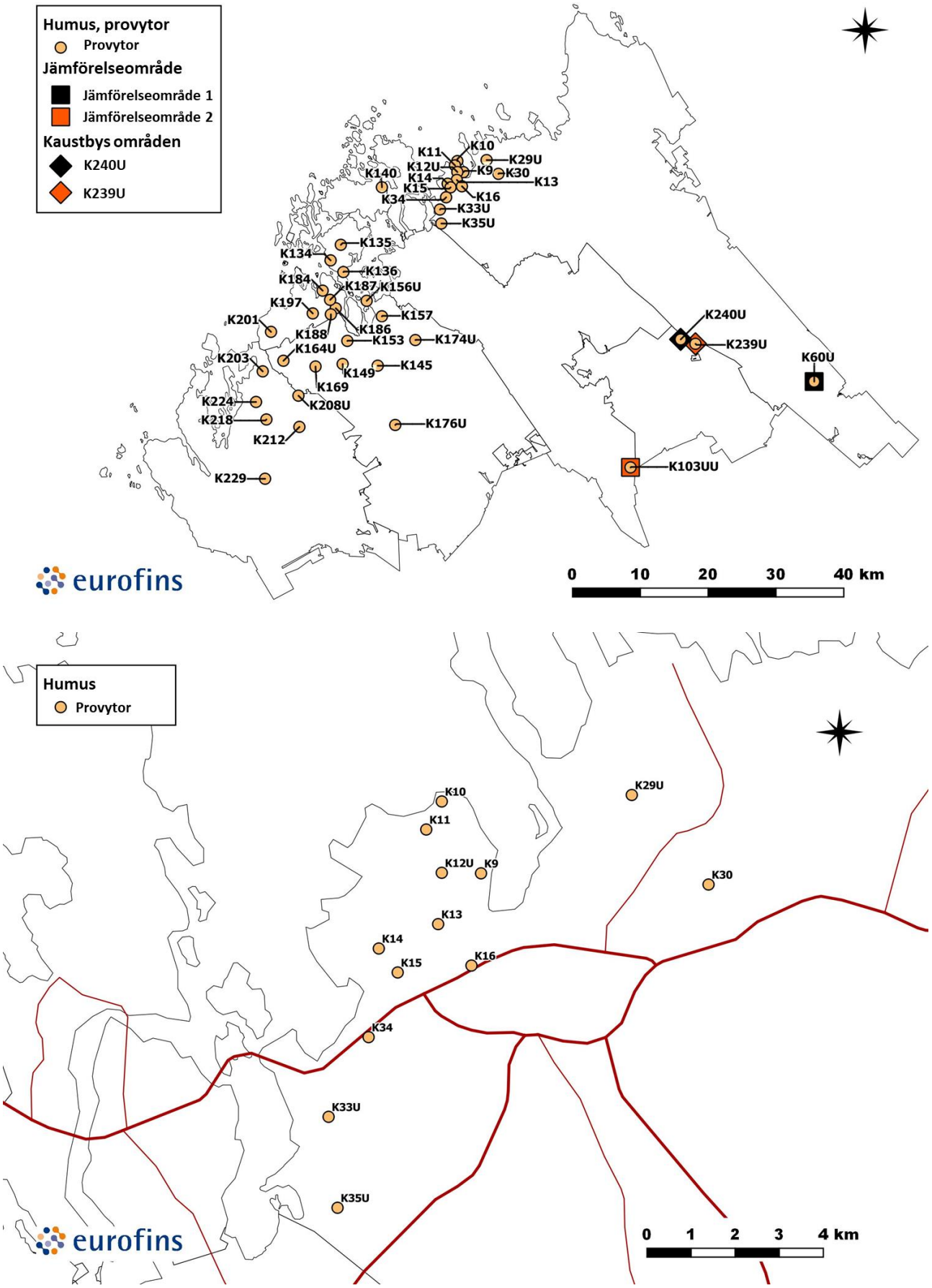
Figur 4-49. Mossans vanadinhalter på provytor 2018.



Figur 4-50. Mossans zinkhalter på provytor 2018.

4.4 Humusens grundämneshalter

Humusens grundämneshalter och kemiska egenskaper redovisas per provyta och per kommun i medeltal (Tabell 4-4, Tabell 4-5, Figur 4-52 – Figur 4-73). Halter på bakgrundsområdena redovisas med resultat från Karleby och Kaustby (Tabell 4-4). Bakgrundsområden jämfört med uppföljningsområde redovisas på kartan (Figur 4-51).



Figur 4-51. Humusens provytor 2018 i hela områden (ovan) och i Karleby (nedan).

I tabell 4-4 är de ytor markerade, där tröskelvärdet för metallhalter i jordmånen enligt PIMA-förordningen (SRF 214/2007) eller det lägre eller högre riktvärdet har överskridits (Tabell 4-4, cf. Tabell 3-11). Riktvärden användes för arsenik, kvicksilver, kadmium, kobolt, koppar, nickel, zink och vanadin.

De högre riktvärden överskreds på provytorna i Karleby (avtal av ytor inom parentes) för kvicksilver (1), koppar (4), nickel (2) och zink (10). **Lägre riktvärden** överskreds för kvicksilver (2), kadmium (2), kobolt (4), nickel (2) och zink (1). **Tröskelvärdena** överskreds också i Yxpila och centrum av Karleby för arsenik (11), kvicksilver (9), kadmium (9), kobolt (7), koppar (1) och nickel (3). Medeltalen för de egentliga provytorna (exl. bakgrundsytor) i Karleby överskreds för det högre riktvärdet för koppar och zink, för det lägre riktvärdet för nickel och för tröskelvärdet för arsenik, kvicksilver, kadmium och kobolt. Flest överskridningar av det högre riktvärdet fanns på yta 11, som finns i norra delen av Yxpila. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan medelvärdeshalterna av aluminium, kalium, kalcium, magnesium och natrium på ytor nära Yxpila och på bakgrundsytorna. (Tabell 4-4).

Humusens nickelhalt överskred **tröskelvärdena** på den andra provytan i Kaustby. Grundämneshalterna på Kaustbys provytor var liknande som halterna på Karlebys bakgrundsytorna. (Tabell 4-4). Grundämneshalterna på Kaustbys provytor har bestämts från prover tagna vid en tidpunkt som skiljer sig från den vanliga provtagningstiden (25.11.2019).

Aluminiumhalten var högre än på två ytor i Jakobstad, varför det genomsnittliga aluminiumhalten i humus också var det högsta i Jakobstad. **Aluminium**halten på Karleby-Yxpila ytor och Kaustby var genomsnittligt något högre än på ytor i andra kommuner (Tabell 4-5).

De högsta enskilda halterna av **bor** observerades i Larsmo och Pedersöre. Den högsta genomsnittliga borhalten fanns i Larsmo. De högsta enskilda halterna och de högsta medelvärdena av kalcium observerades i Larsmo. Halterna av **bor, kalcium, kalium, magnesium, mangan**, **svavel** och **fosfor** verkade ge uttryck för jordmånens näringssituation och inte den yttre belastningen. (Tabell 4-5).

Halterna av **kadmium**, **koppar** och **zink** var i Karleby mångfaldiga jämfört med det övriga området. Halterna av **nickel** var mångfaldiga jämfört med det övriga området i Karleby och Kaustby. Förhöjda halter av **järn** observerades i Jakobstad. Järnhalterna på två provytor i Jakobstad var tydligt högre jämfört med andra ytor. (Tabell 4-5).

De högsta halterna av krom observerades i Jakobstad och Nykarleby på fyra provytorna. De högsta halterna av **bly** observerades på en provyta i Nykarleby och Pedersöre. (Tabell 4-5).

Litium observerades på två provytor i Kaustby. Dessa ytor fanns i omgivningen för planerade gruvområden (Keliber Oy). Litiumhalterna på dessa ytor var 1,4 mg/kg (K239) och 0,85 mg/kg (K240). (se läge Figur 4-51).

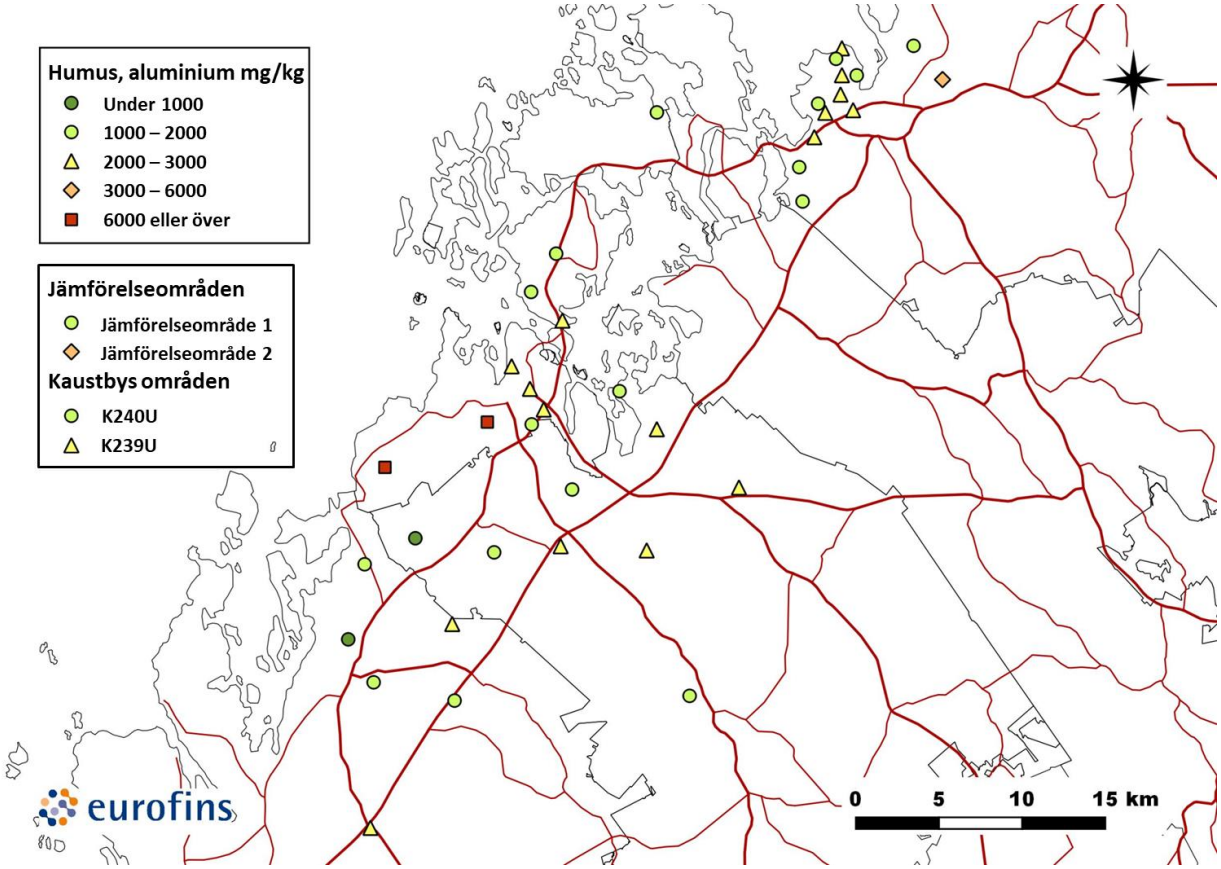
Mängden utbytbara sura substanser var lägsta i Larsmo. **Kapaciteten för katjonutbyte** var störst i Jakobstad. (Tabell 4-5).

Tabell 4-4. Humusens grundämneshalter (mg/kg per torrsubstans) och kemiska egenskaper (cmol+/kg = meq/100g) samt medeltal på Karlebys provytorna (ytor K9-K35) och bakgrundsytorna (T1 och T2) samt Kaustbys provytorna (ytor K239-K240). Värden som överskrider tröskelvärdet är markerade med grönt, de som överskrider det lägre riktvärdet med gult och de som överskrider det övre riktvärdet med rött.

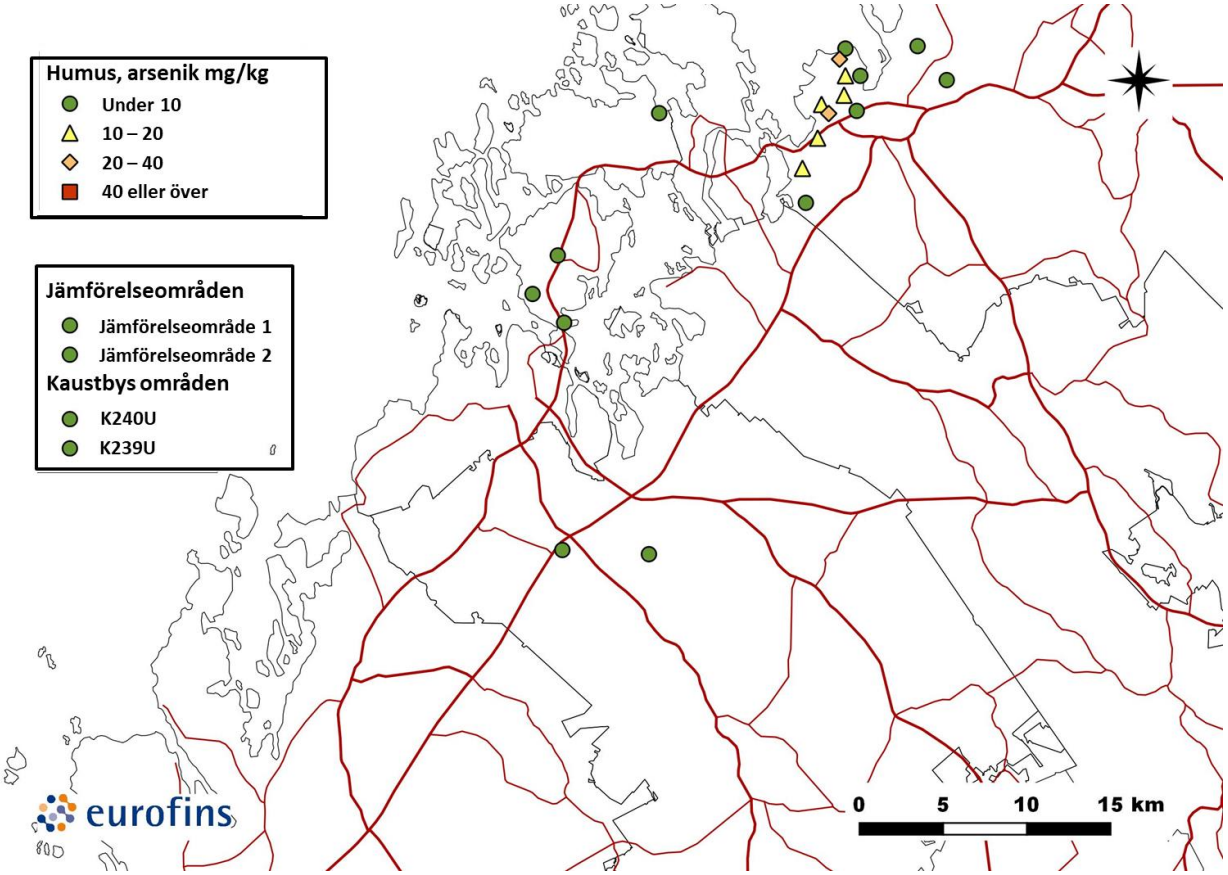
Yta	Al	As	Hg	Cd	K	Ca	Co	Cu	Mg	Na	Ni	Fe	Zn	V	Utbytbara sura substanser cmol+/kg	Kapaciteten för katjonutbyte cmol+/kg
Karleby																
K9	1580	5,9	1,3	3,2	650	3 160	57	73	590	77	51	3 420	660	11	10,5	27,6
K10	2150	9,1	3,2	3,8	750	1 410	40	100	940	76	51	5 340	710	11	5,5	10,5
K11	1800	38,0	7,1	19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

Tabell 4-5. Humusens grundämneshalter (mg/kg per torrsubstans) och kemiska egenskaper (cmol+/kg = meq/100g) och medelvärde per kommun på Jakobstads, Larsmos, Pedersöres och Nykarlebys provytorna. Också medeltal från Karleby och Kaustby (cf. Tabell 4-4) redovisas i tabell i förekommande fall.

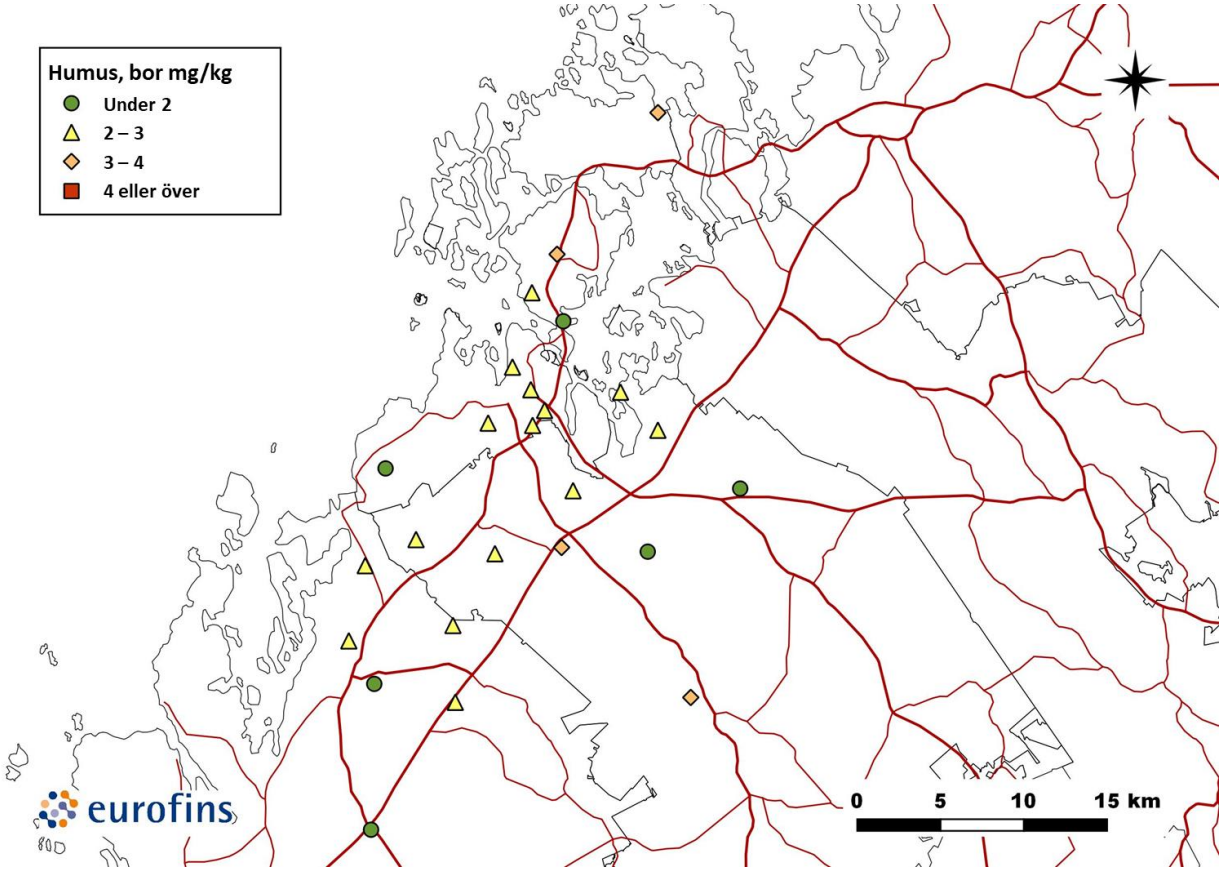
Kommun	Yta	Al	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	P	Pb	S	Zn	Utbytbara sura substanser cmol+/kg	Kapaciteten för katjonutbyte cmol+/kg
Larsmo	K134	1130	2,2	**5440**	0,56	2,8	9,1	1360	480	560	70,0	7,0	570	46	1770	58	14,3	24,8
Larsmo	K135	1330	**3,5**	3830	0,33	9,2	10,0	1410	620	490	140,0	14,0	620	45	1660	57	9,5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



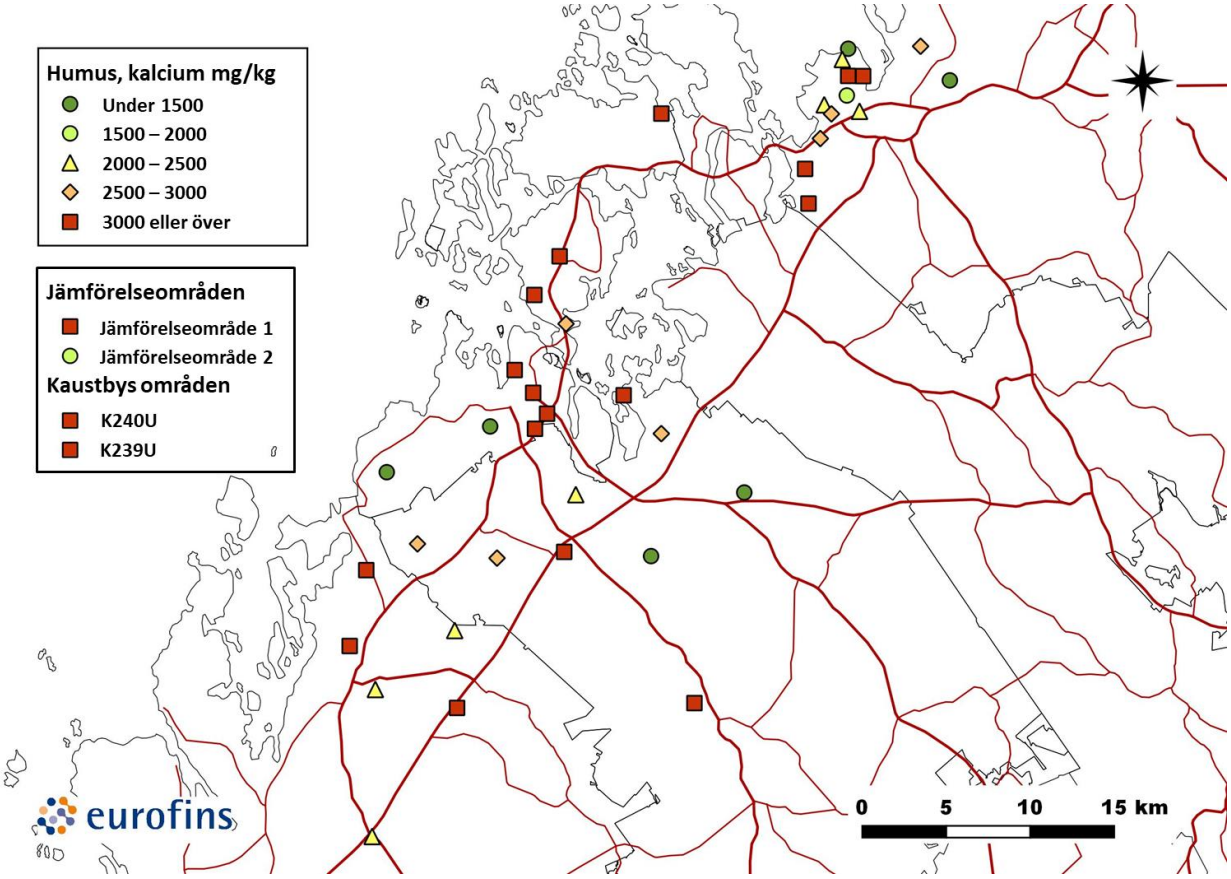
Figur 4-52. Humusens aluminiumhalter på provytor 2018.



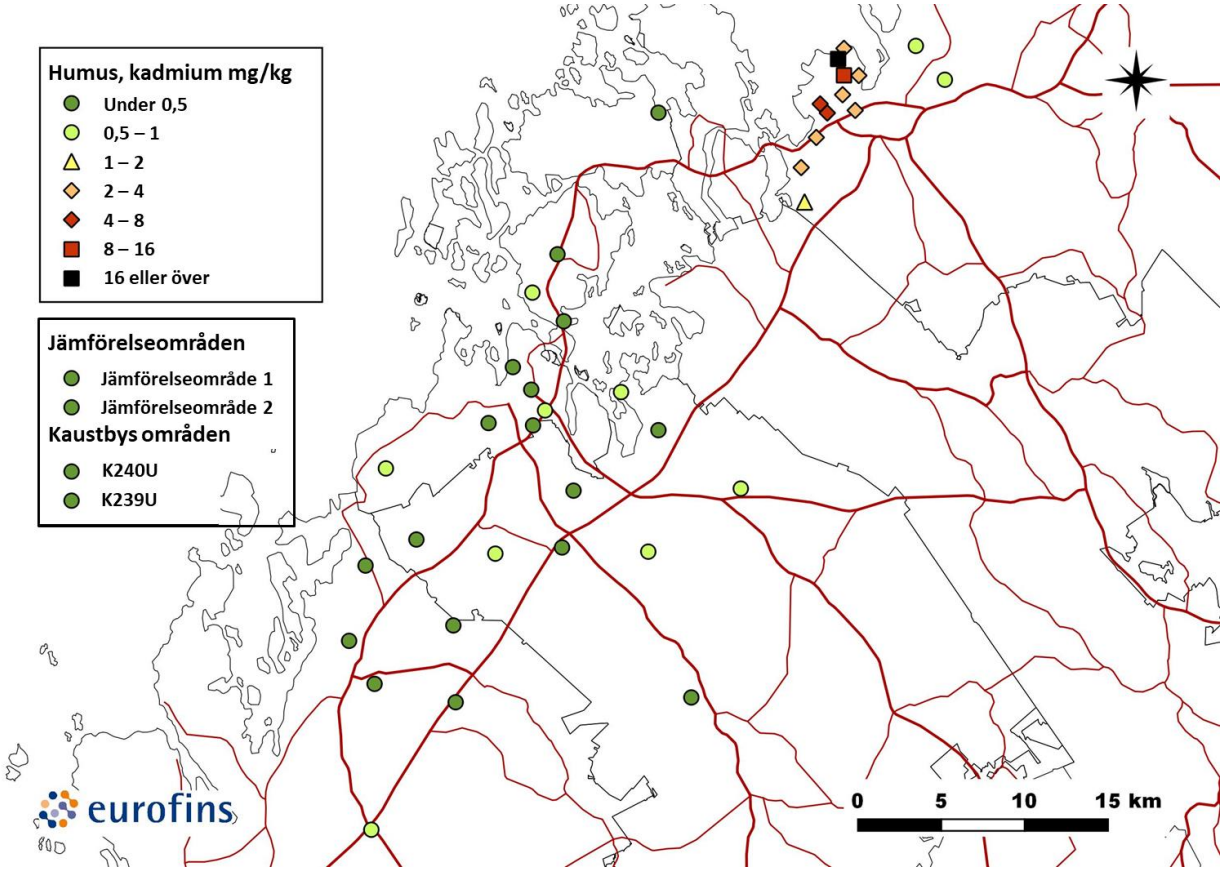
Figur 4-53. Humusens arsenikhalter på provytor 2018.



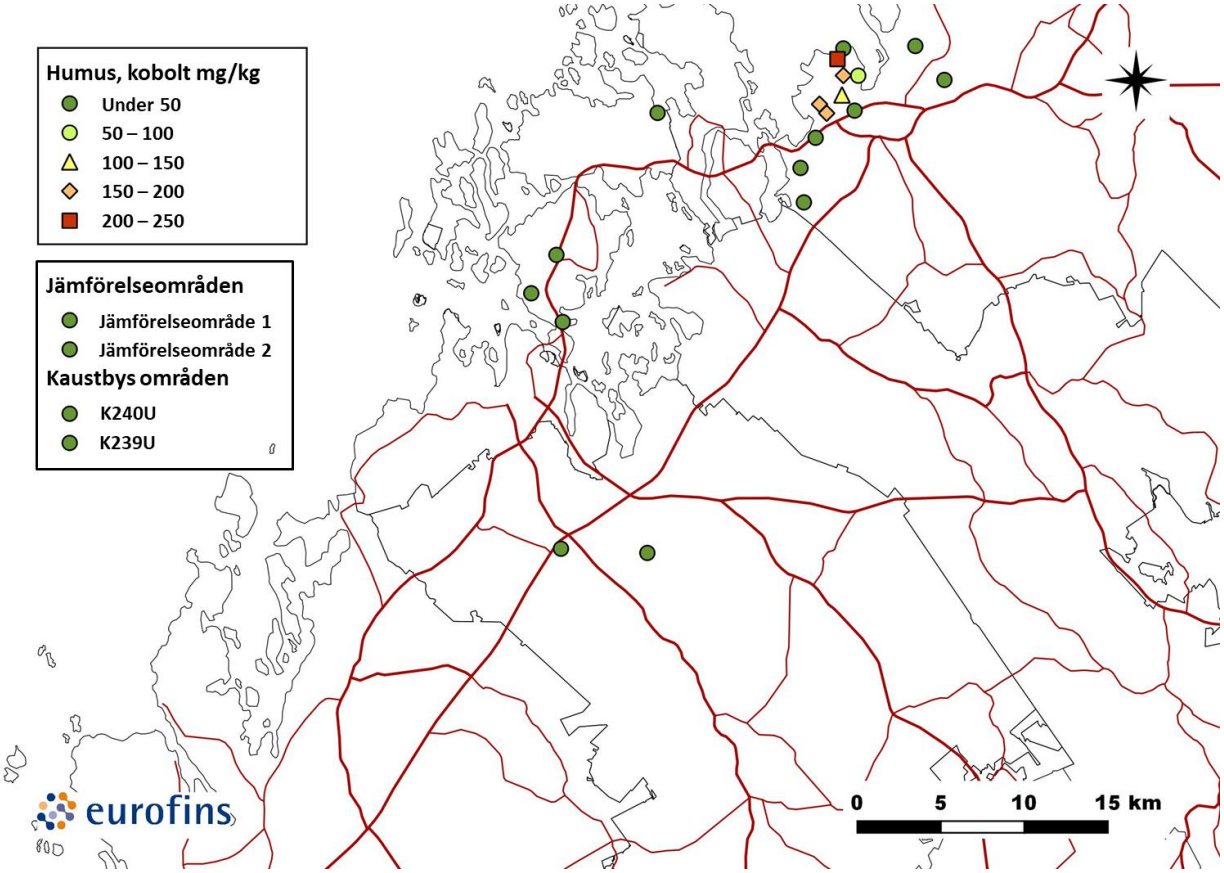
Figur 4-54. Humusens borhalter på provytor 2018.



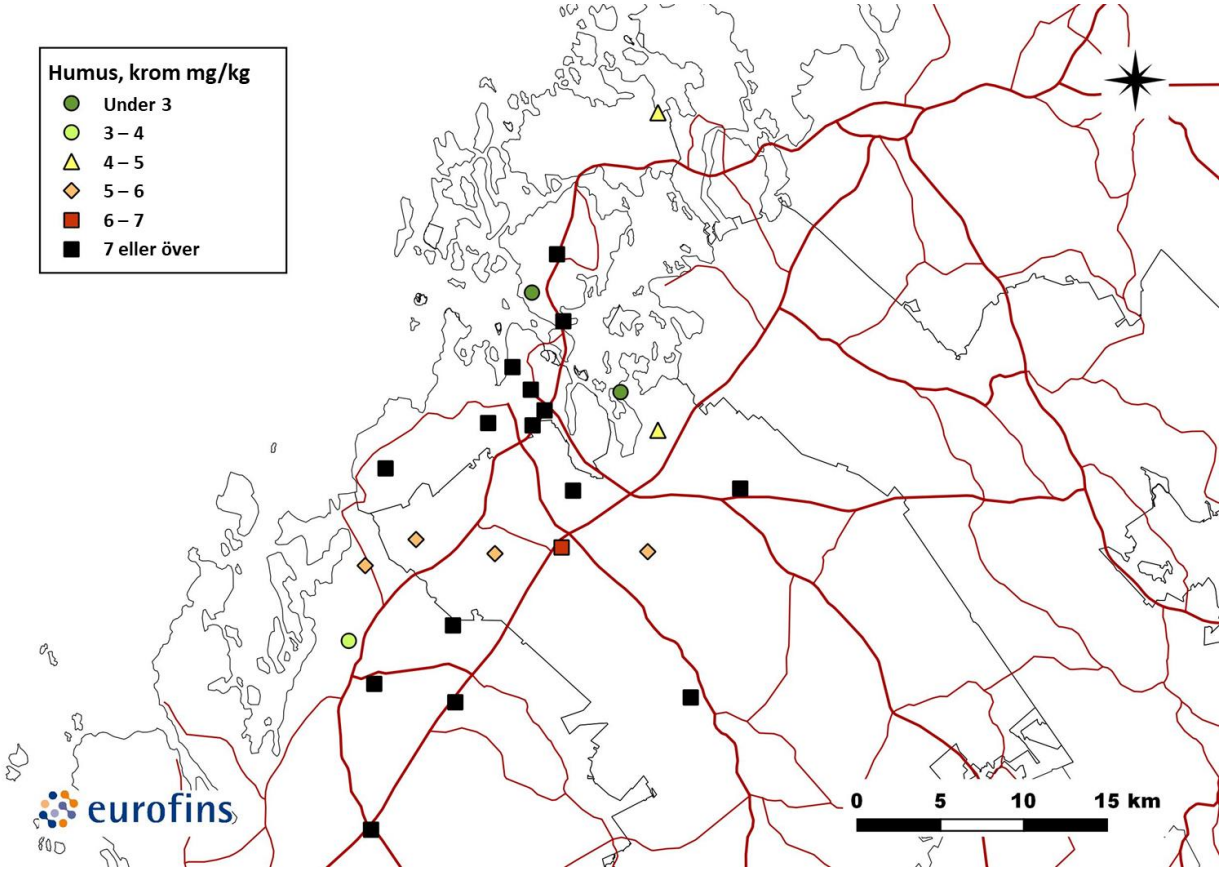
Figur 4-55. Humusens kalciumhalter på provytor 2018.



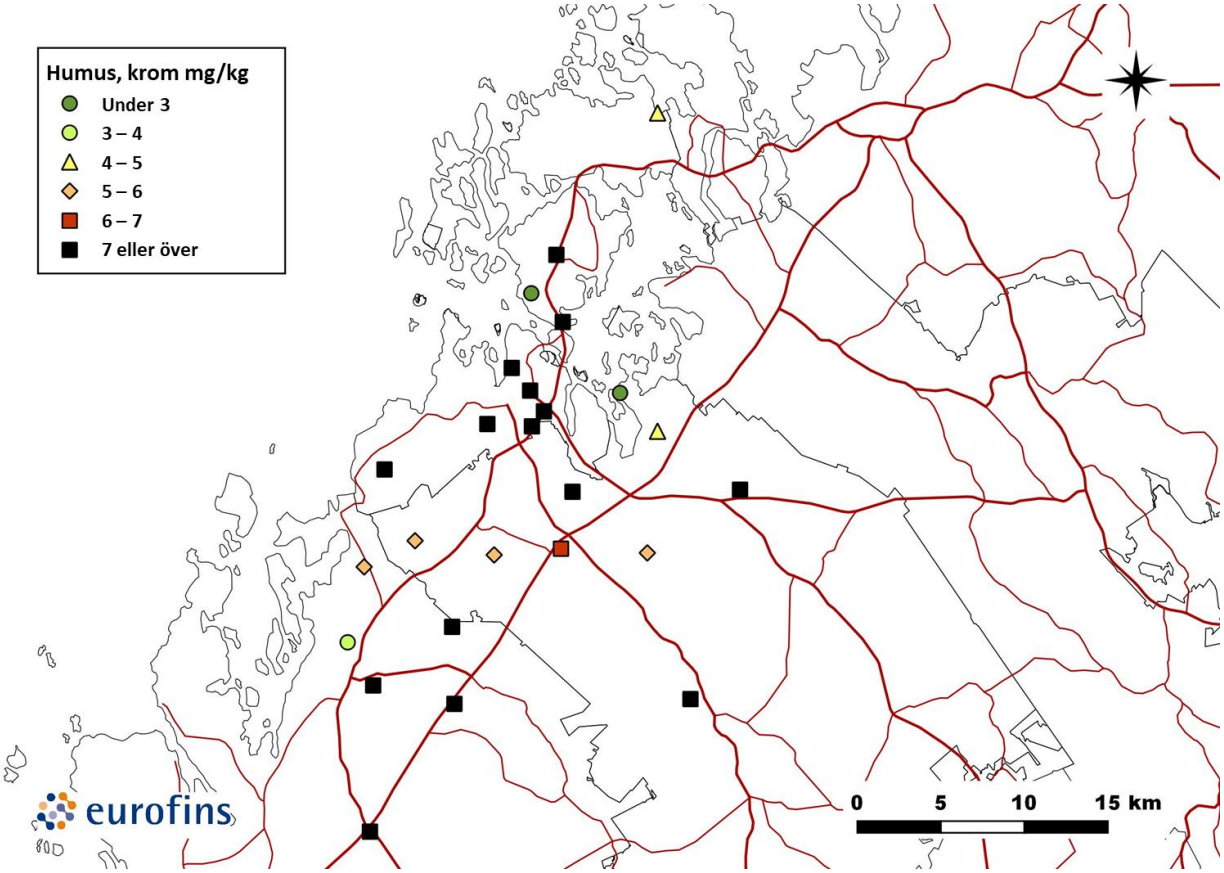
Figur 4-56. Humusens kadmiumhalter på provytor 2018.



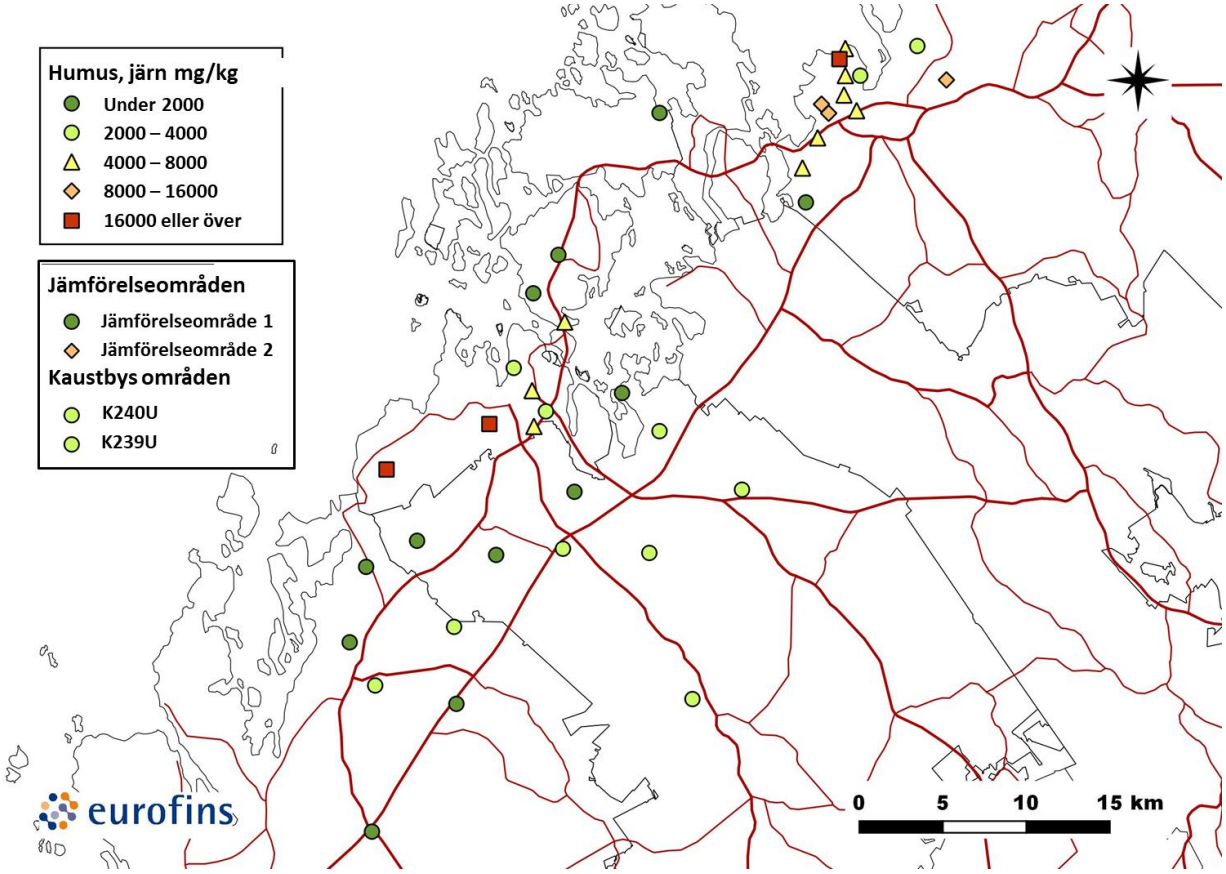
Figur 4-57. Humusens kobolthalter på provytor 2018.



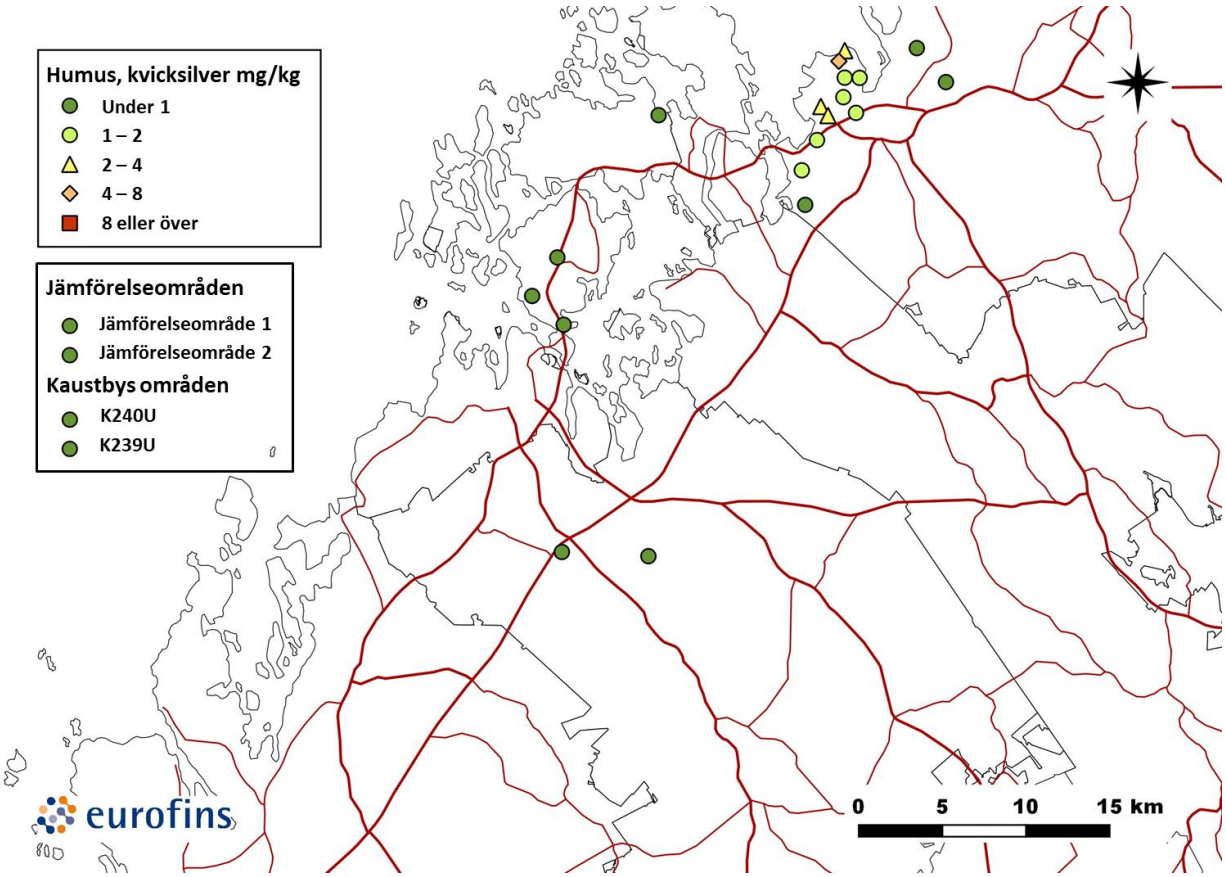
Figur 4-58. Humusens kromhalter på provytor 2018.



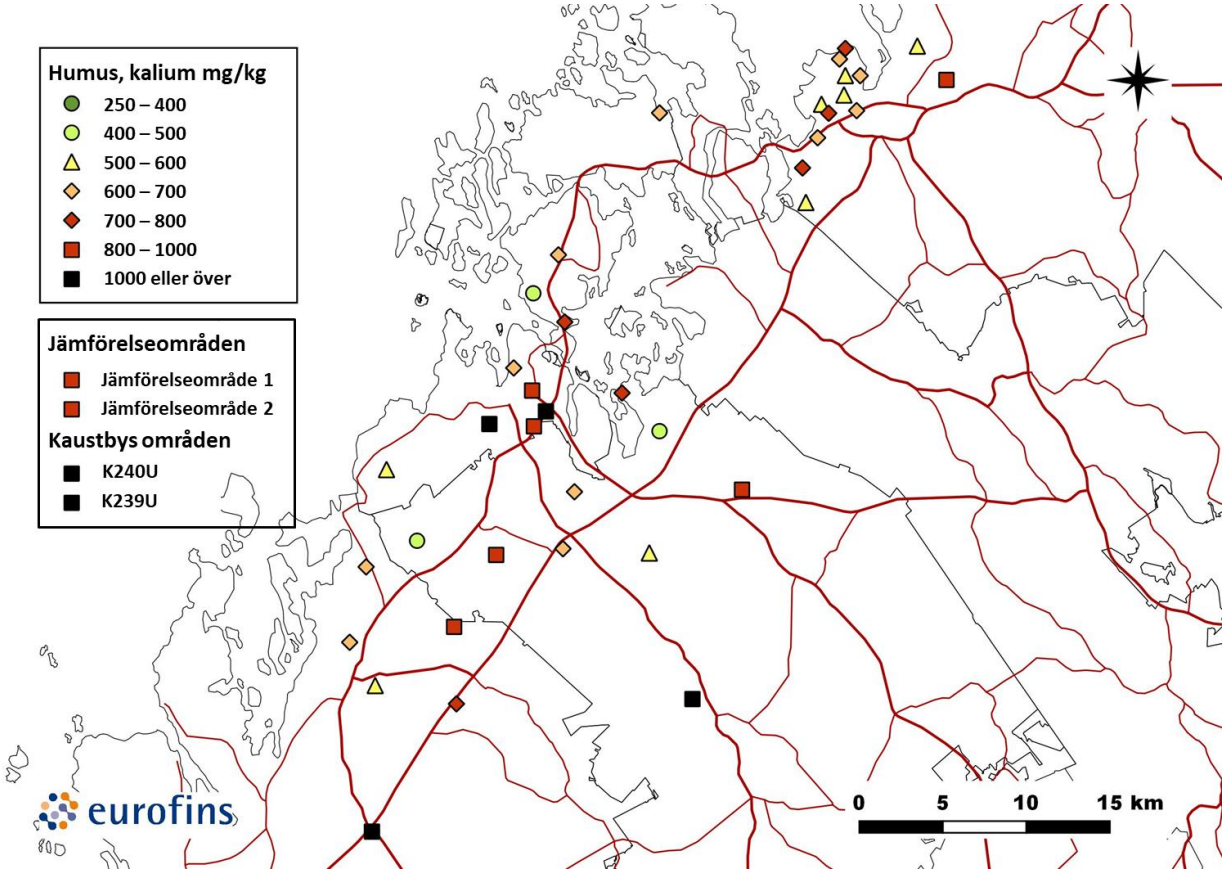
Figur 4-59. Humusens kopparhalter på provytor 2018.



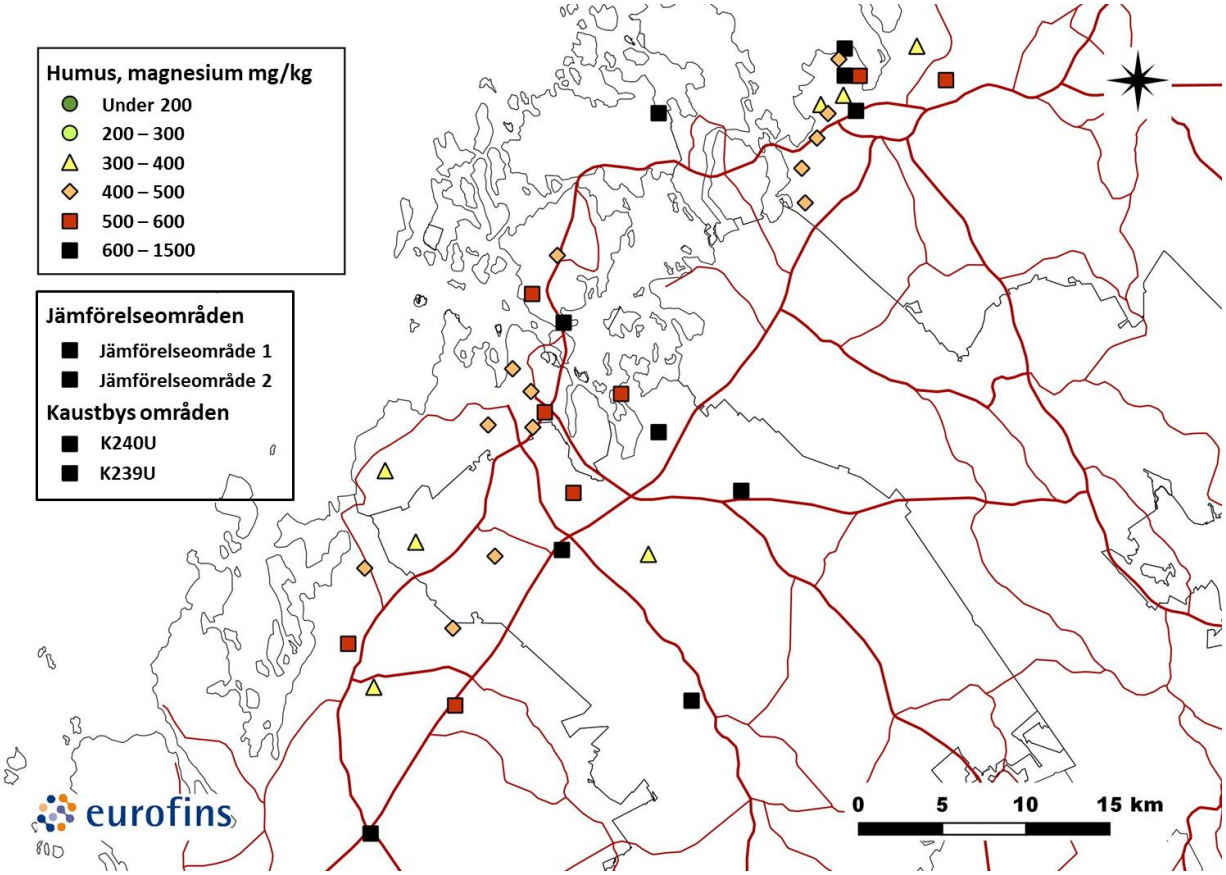
Figur 4-60. Humusens järnhalter på provytor 2018.



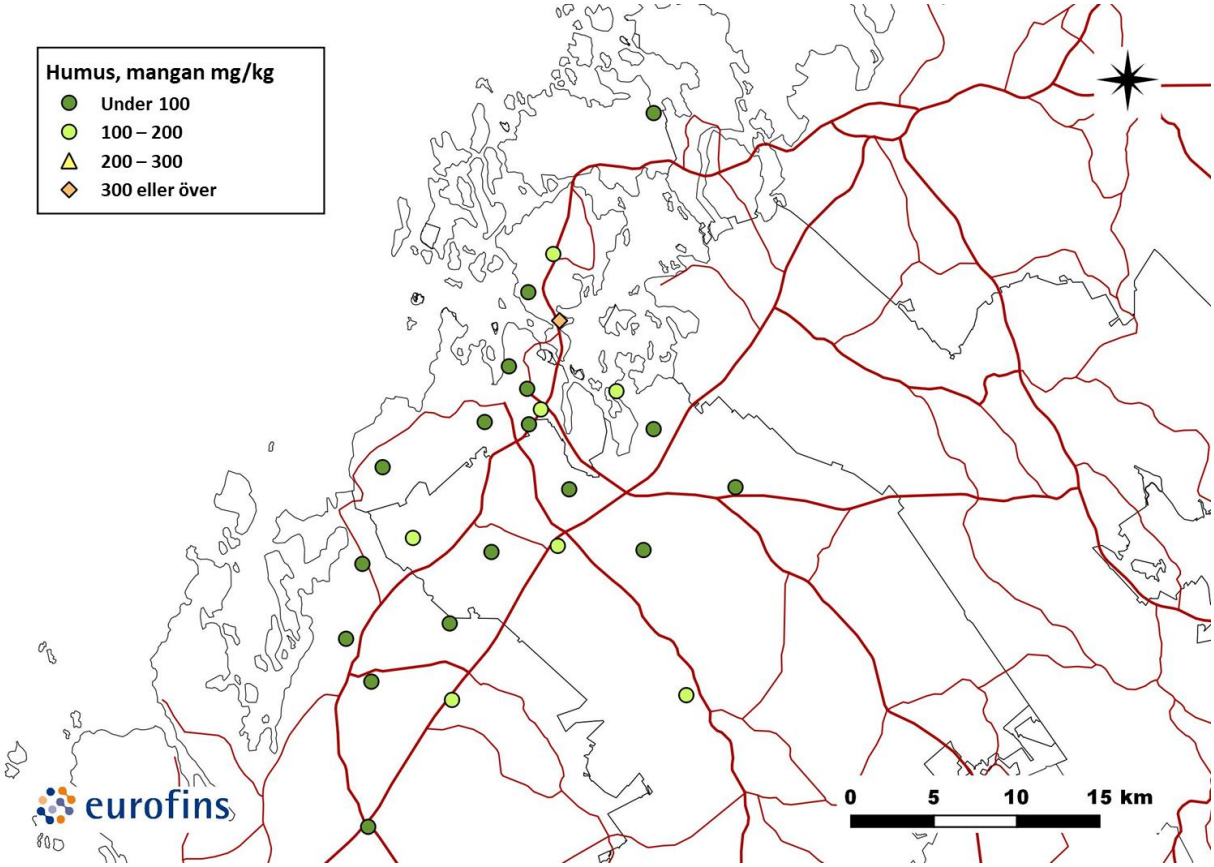
Figur 4-61. Humusens kvicksilverhalter på provytor 2018.



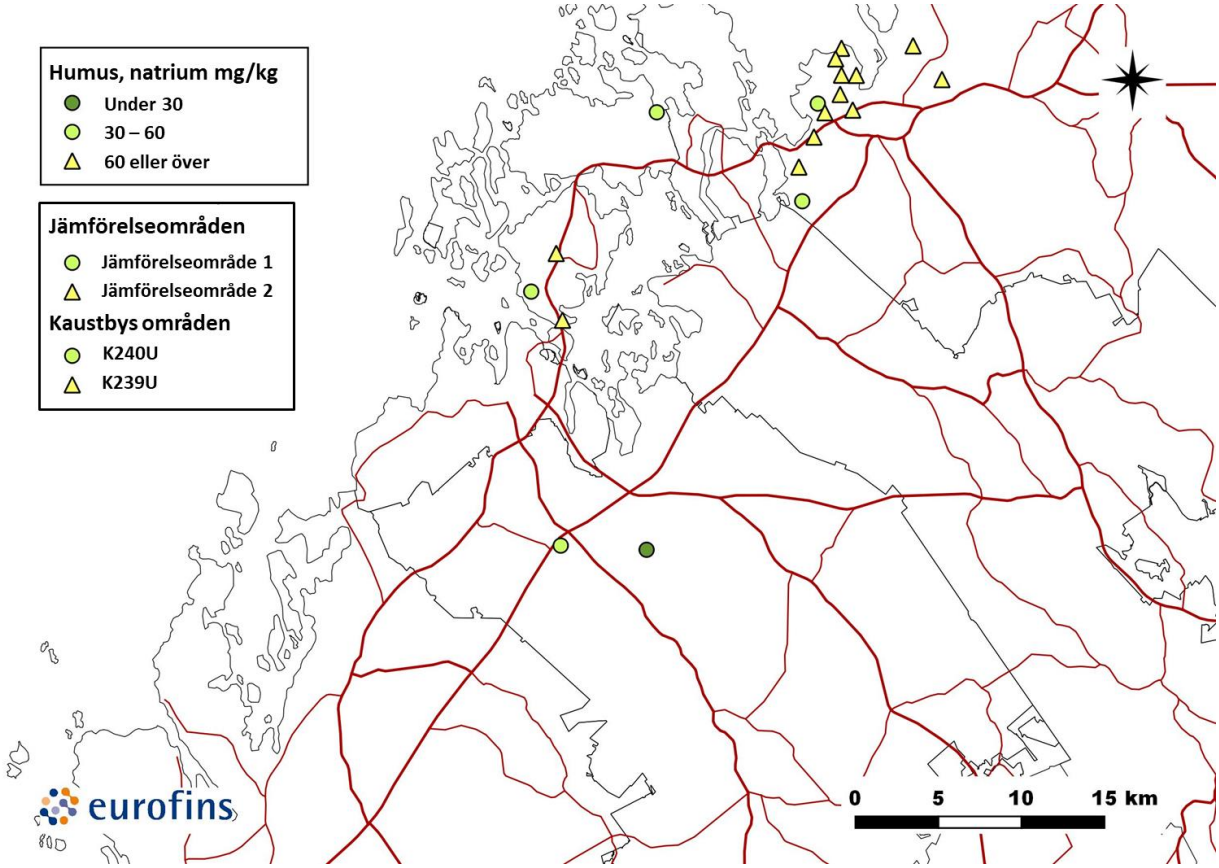
Figur 4-62. Humusens kaliumhalter på provytor 2018.



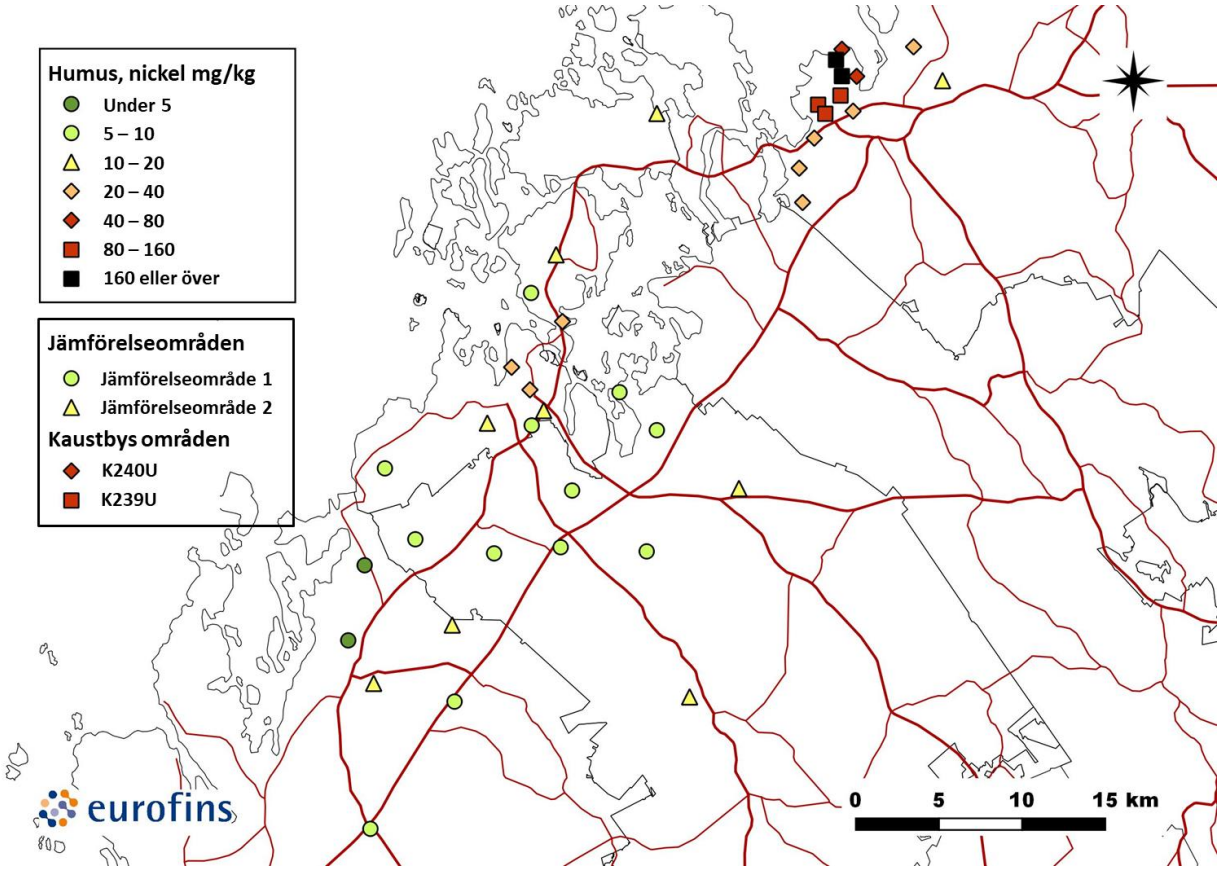
Figur 4-63. Humusens magnesiumhalter på provytor 2018.



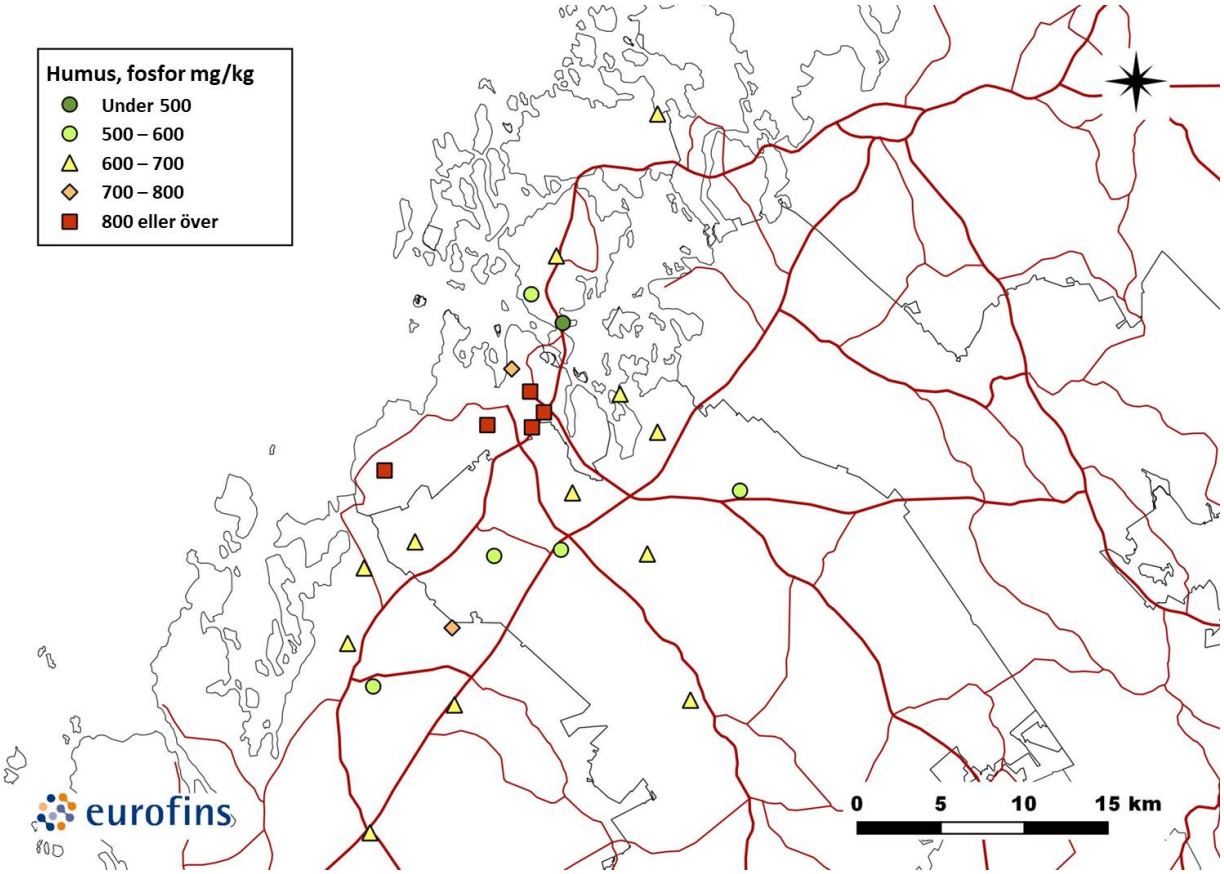
Figur 4-64. Humusens manganhalter på provytor 2018.



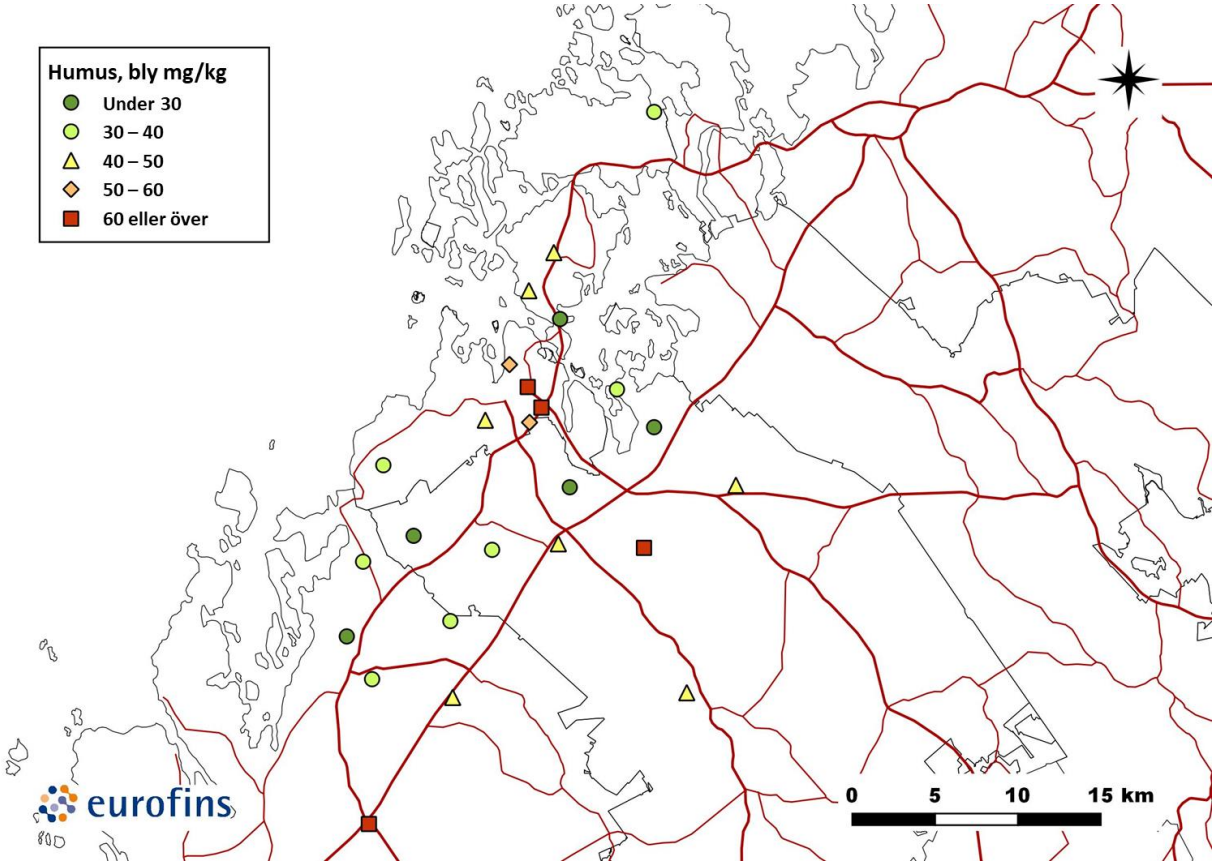
Figur 4-65. Humusens natriumhalter på provytor 2018.



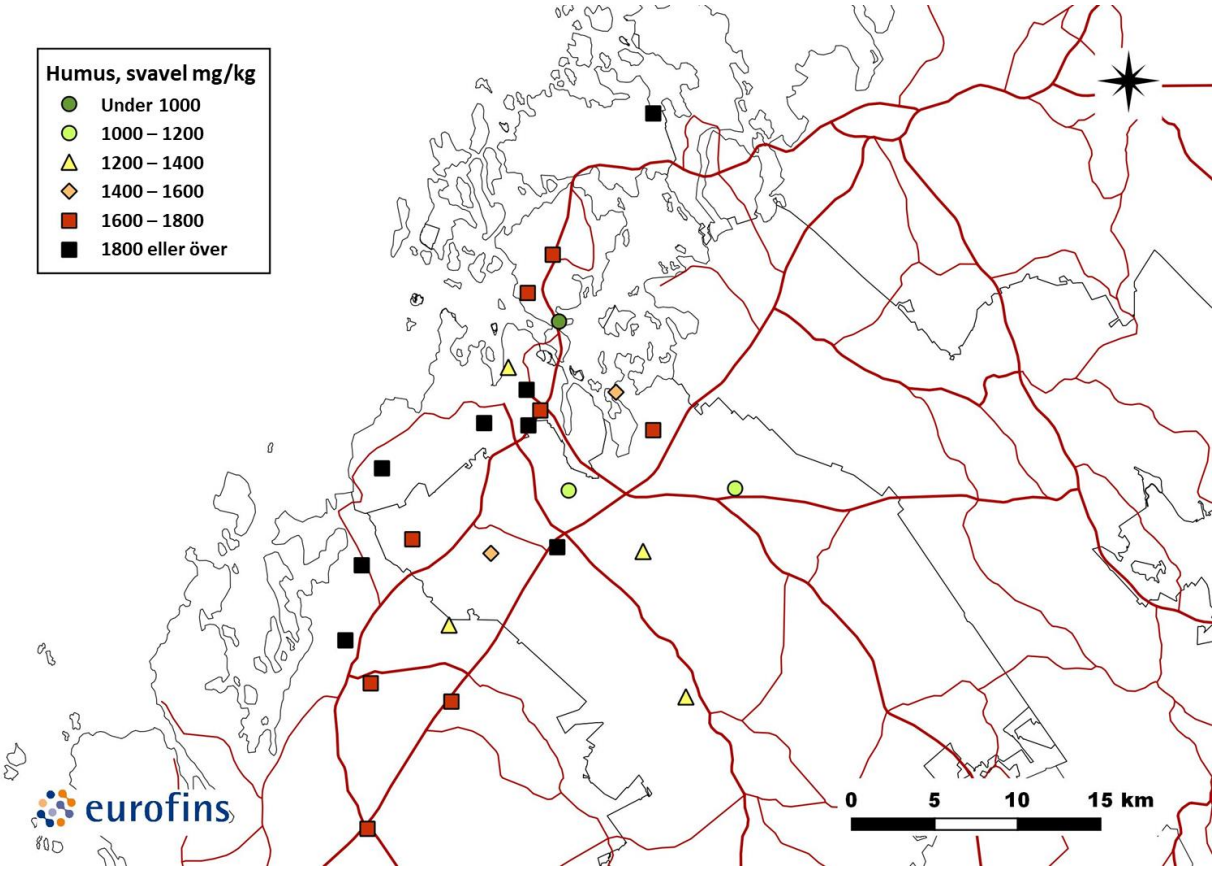
Figur 4-66. Humusens nickelhalter på provytor 2018.



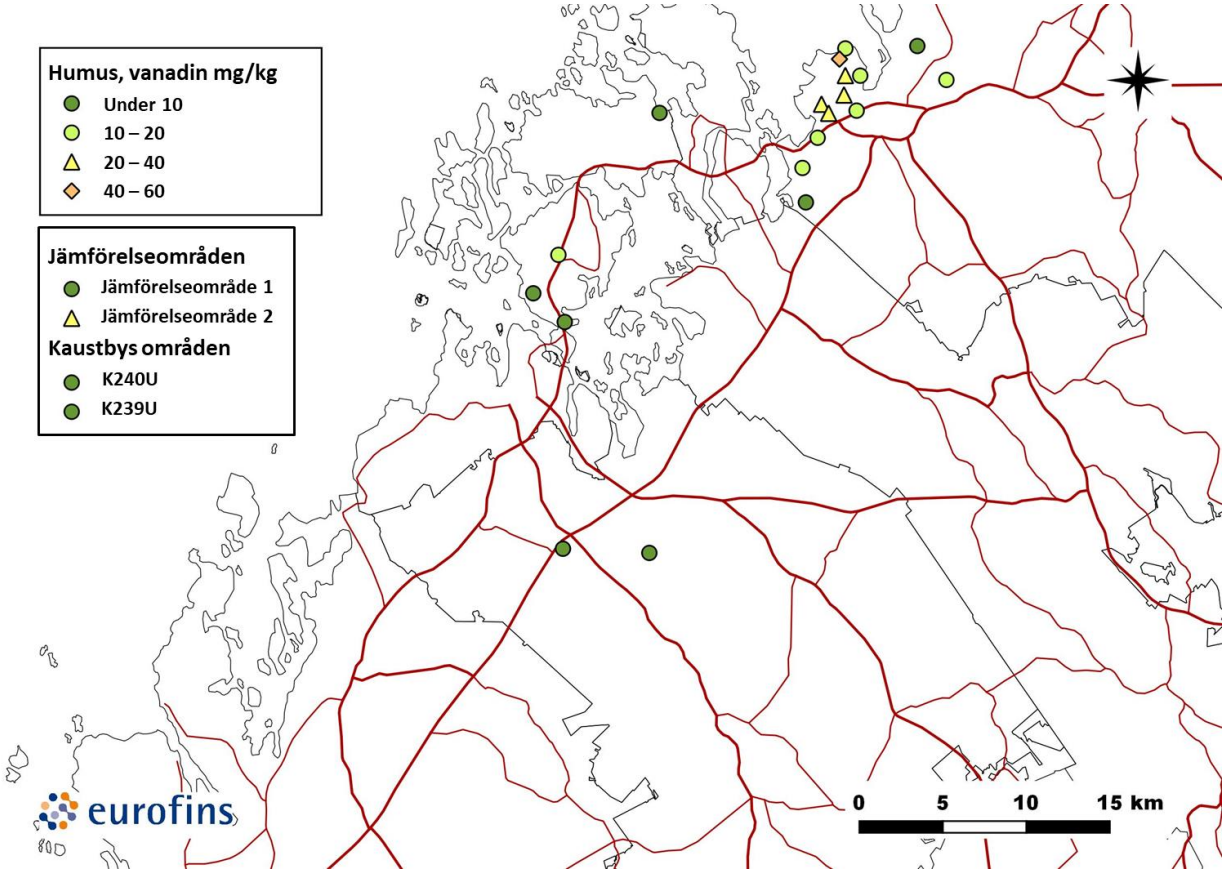
Figur 4-67. Humusens fosforhalter på provytor 2018.



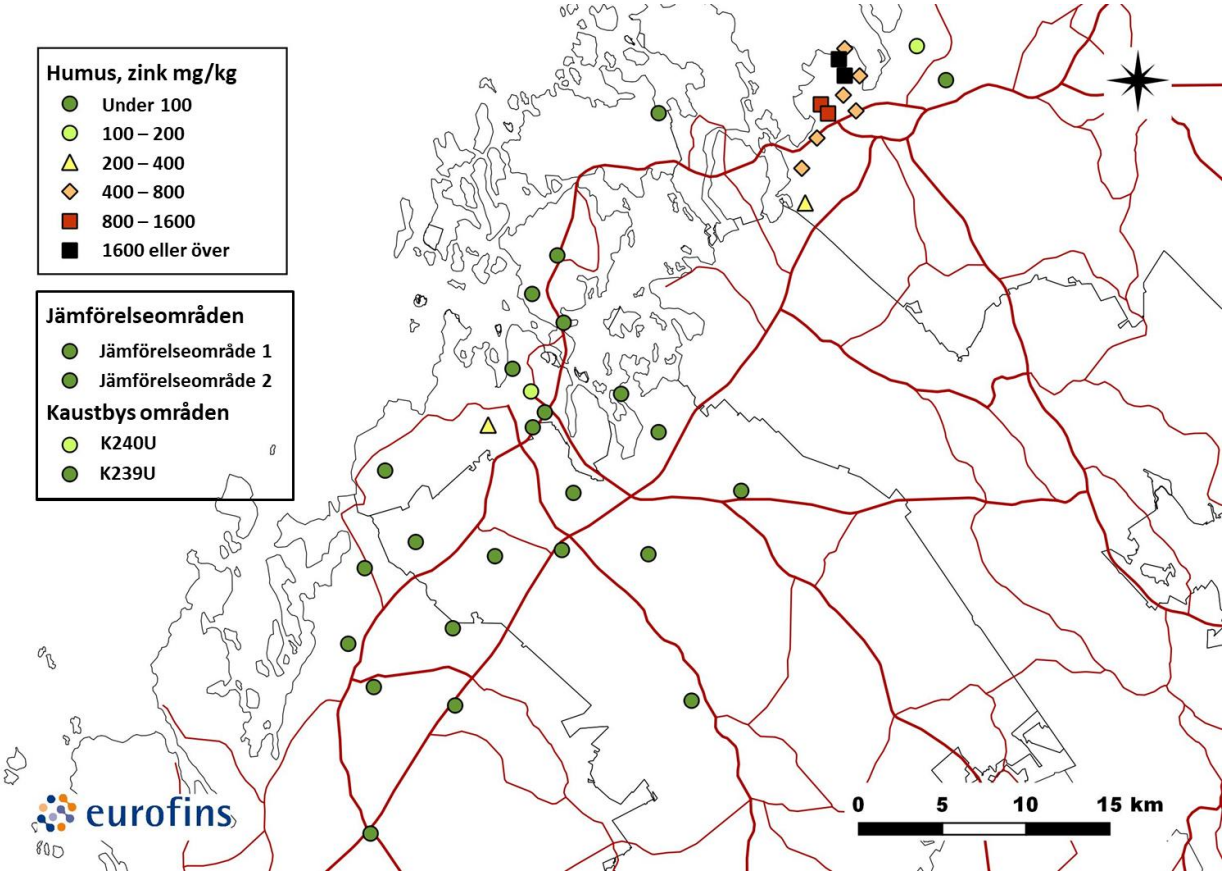
Figur 4-68. Humusens blyhalter på provytor 2018.



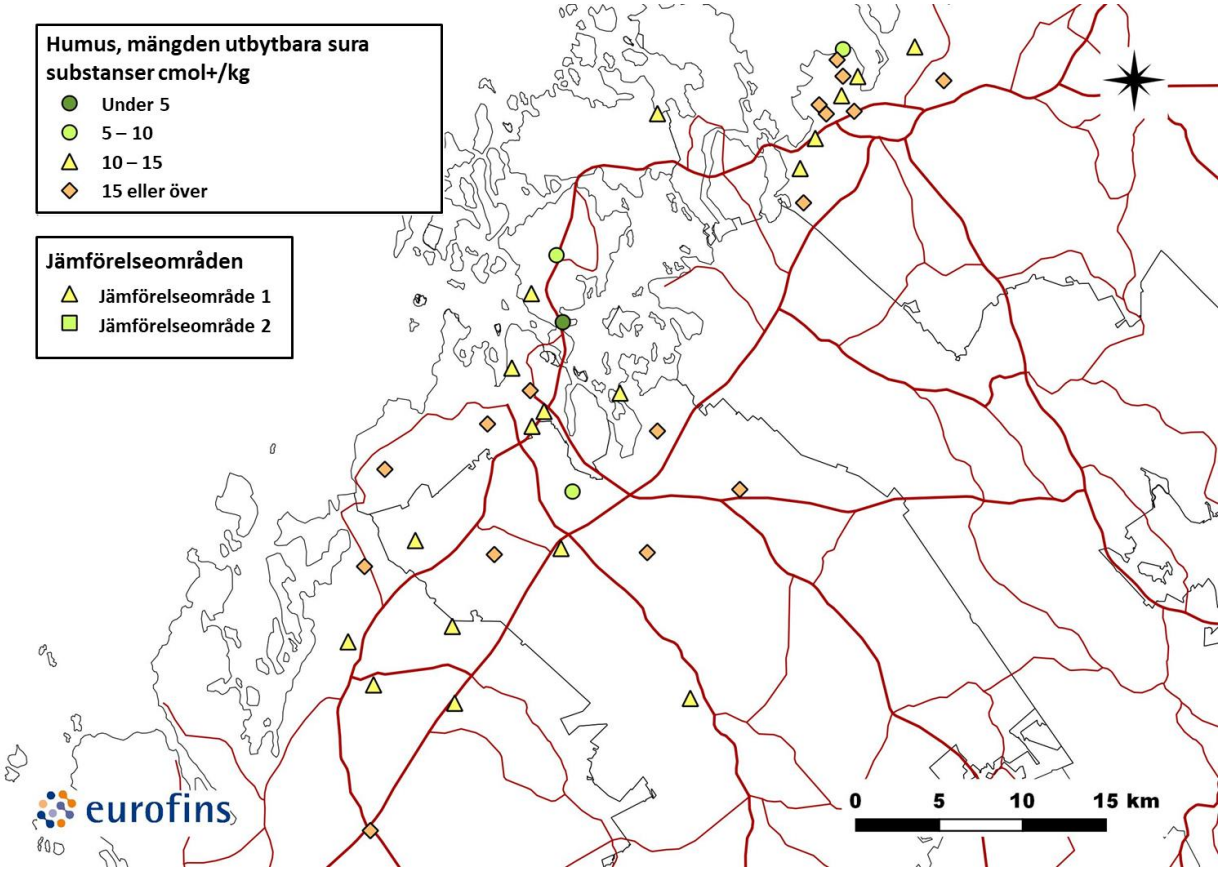
Figur 4-69. Humusens svavelhalter på provytor 2018.



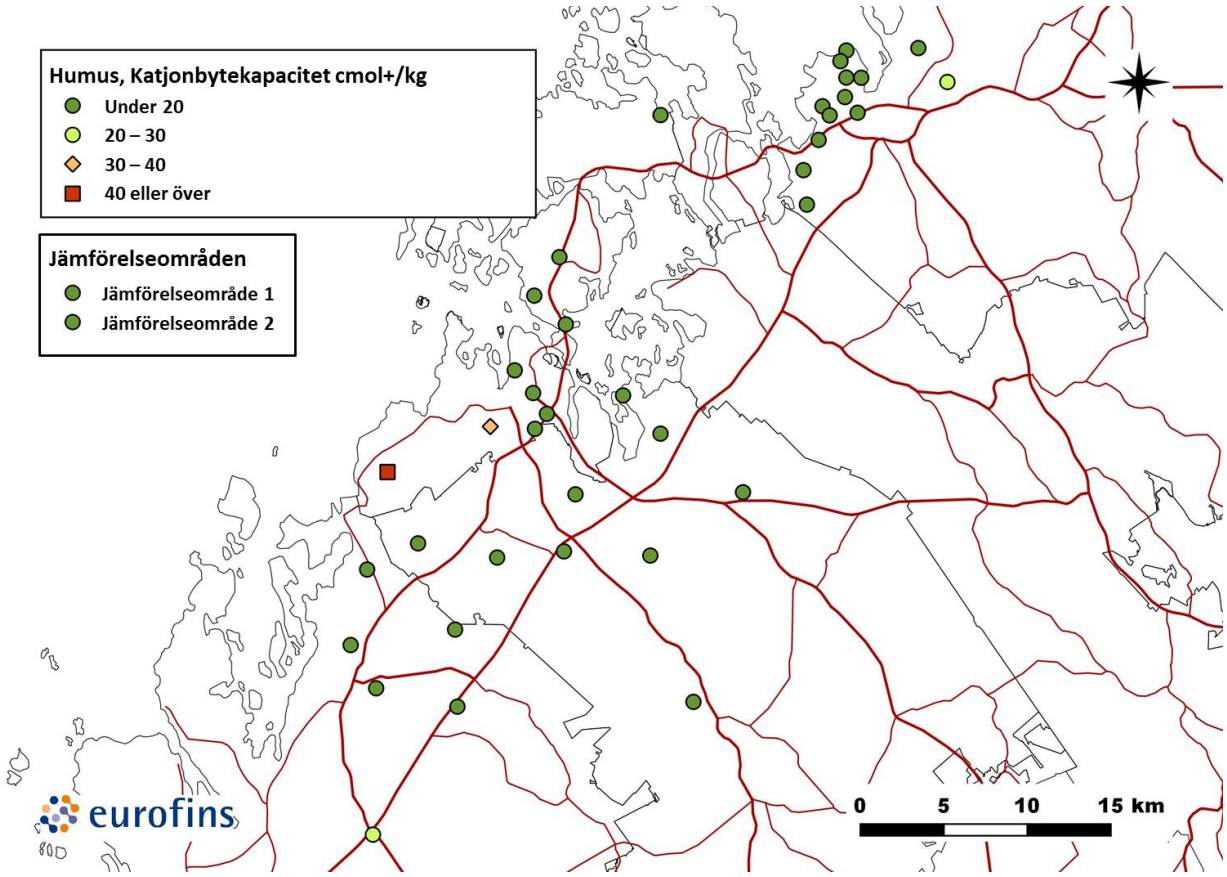
Figur 4-70. Humusens vanadinhalter på provytor 2018.



Figur 4-71. Humusens zinkhalter på provytor 2018.



Figur 4-72. Mängden utbytbara sura substanser i humusen på provytor 2018.



Figur 4-73. Humusens kapacitet för katjonutbyte på provytor 2018.

5. GRANSKNING AV RESULTATEN

I det här kapitlet granskas resultaten, de faktorer som påverkat resultaten och samvariationen mellan resultaten med hjälp av statistiska metoder.

5.1 Statistisk granskning av lavvariablerna

De variabler som beskriver provytans naturförhållanden och de variabler som beskriver luftkvaliteten och utsläppskällorna har konstaterats uppvisa en statistiskt signifikant korrelation med lavindikatorerna i bioindikatoruppföljningar utförda på andra håll i Finland (t.ex. Lehkonen m.fl. 2013, Lehkonen m.fl. 2012, Huuskonen m.fl. 2010, Laita m.fl. 2008a, Laita m.fl. 2008b). I följande granskas klassvariablernas inverkan på lavvariablerna samt de kontinuerliga variablernas inverkan separat med hjälp av regressionsanalyser.

5.1.1 Klassvariablernas inverkan

Klassvariablernas inverkan på lavvariablerna granskades med hjälp av icke-parametrisk Kruskal-Wallis variansanalys och Mann-Whitney-test, som visar om skillnaderna mellan de olika klassernas varianser är statistiskt signifikant. De granskade klassvariablerna var skogens lämplighet, skogstyp, utvecklingsklass, placering under 1 km, 2 km och 5 km från den närmaste utsläppskällans och den närmaste tillståndspliktiga utsläppskällans verksamhetsområden (Tabell 5-1). De tillståndspliktiga utsläppskällorna redovisas i kapitel 2 (Figur 2-4, Figur 2-5).

Tabell 5-1. Relevansnivå (p) för Kruskal-Wallis variansanalys och Mann-Whitney U-test (utvecklingsklass) av lavvariabler undersökta på basen av bakgrundsvariabler. Nästan signifikant (p < 0,05) testresultat är märkt med en stjärna (*), signifikant (p <0,01) med två (**) och mycket signifikant (p < 0,001) med tre (***).

	Skogs typ	Utveck-lings-klass	Lämplighet	< 1km	< 2km	< 5km	Den närmaste utsläppskällans bransch
IAP	0,000***	0,490	0,096	0,000***	0,000***	0,002**	0,000***
Artmängd/yta	0,000***	0,998	0,132	0,000***	0,001**	0,008**	0,005**
Artantal/träd	0,000***	0,410	0,131	0,000***	0,000***	0,002**	0,000***
Blåslavens skadeklass	0,031*	0,282	0,106	0,000***	0,000***	0,000***	0,003**
Allmän skadeklass	0,001**	0,432	0,076	0,000***	0,000***	0,009**	0,012*
Algens förekomst	0,000***	0,423	0,093	0,000***	0,000***	0,005**	0,000**
Blåslavens täckningsgrad	0,226	0,421	0,738	0,000***	0,000***	0,018*	0,001**
Tagellavarnas täckningsgrad	0,111	0,035*	0,621	0,004**	0,01**	0,001**	0,062

Skogstypen beskriver växtplatsen i relation till dess näringsinnehåll och vattenhushållning. Lavarna klarar sig i allmänhet sämre i frodiga skogstyper än i karga sådana, eftersom lavar trivs på ljusa och frodiga växtplatser, vilka ofta har tätare trädbestånd och mer undervegetation än karga områden. I den här undersökningen inverkade skogstyperna på fördelningen av IAP-indexet, artantalet, blåslavens skadeklass, den allmänna skadeklassen, algens utbredning och blåslavens täckning. Blåslavens och tagellavarnas täckning var den enda granskade lavvariabeln som inte påverkades av skogstypen Artantalet var större och därför var också IAP-indexets värde högre än genomsnittet i kargare skogstyper (CT, VT) jämfört med de frodigare skogstyperna (MT, OMT). Blåslavens skador och de allmänna skadorna var mindre i de kargare skogstyperna jämfört med de frodigare skogstyperna. Blåslavens täckning var däremot något större på de frodigare växtplatserna, och algen var mer utbredd på de frodigare växtplatserna än på de karga. Tagellavarnas täckningsgrad var högre i de kargare skogstyperna.

Fördelningen av variablerna med tanke på skogstypen påverkas också av att de frodigare skogstypernas provytor oftare än de karga skogsytornas provytor ligger i närheten av utsläppskällorna. Detta beror på att nätet av provytor är tätare i närheten av utsläppskällorna, så att det inom dessa områden inte finns lika många möjligheter att välja provyta med tanke på lavflorans optimala växtförhållanden. I närheten av utsläppskällorna kräver det ringa urvalet i stället att man kompromissar i fråga om provytans kvalitet.

Skogens **utvecklingsklass** bedömdes på skalan ung-uppväxt-mogen. Man strävar i allmänhet efter att förlägga provytorna för lavkartläggning till mogna eller uppväxta skogsbestånd, eftersom trädens ålder förefaller påverka arternas förhållanden. Blåslaven är ofta rikligare på unga tallar än på äldre, och känsliga indikatorarter är mindre utbredda i unga skogar än i äldre. Utvecklingsklassen hade en statistiskt signifikant inverkan på tagellavarnas utbredning. Tagellavar förekom mer allmänt i uppväxta skogar än i mogna skogar.

Skogens **lämplighet** för lavkartläggning är forskarens subjektiva uppfattning om hur goda provytans växtförhållanden är med tanke på tallens stamlavar. Lavarnas växtförhållanden försämras av för mycket skugga, solgass eller ogynnsamma mikroklimatiska faktorer, och dessa bedöms utifrån trädbeståndets ålder, trädarternas förhållanden, skogstypen samt trädbeståndets bottenyta och längd. Provytans lämplighet är karterarens subjektiva bedömning av hur dessa faktorer påverkar lavarnas växtförhållanden. I skogar som till sin lämplighet klassificerats som goda antas att inverkan är ringa. I skogar som klassificerats som måttliga har bakgrundsvariablerna en märkbar inverkan på lavarna och i skogar som klassificerats som dåliga är bakgrundsvariablernas inverkan stor. I denna undersökning påverkade skogens lämplighet inte lavvariablerna. Fördelningen av variablerna med tanke på lämpligheten påverkas av samma faktorer som skogstypen, dvs. provytor i närheten av utsläppskällorna är oftare måttliga eller dåliga jämfört med de provytor som ligger längre bort.

Placeringen av provytan under 1 km, 2 km och 5 km från en tillståndspliktig utsläppskälla påverkade IAP-indexet, artantalet, skadorna och algens utbredning, blåslavens täckning och tagellavarnas täckning i alla klasserna (Tabell 5-1). När provytan placerades inom en buffertzon (både under 1 km, under 2 km och under 5 km tillstånd till utsläppskälla) försämrades IAP-indexet på alla avstånd, artantalet sjönk, skadeklassen höjdes och förekomsten av alg ökade (Tabell 5-2). De flesta provytor fanns under 5 km avstånd till någon utsläppskälla, och nästan 30 procent av ytorna fanns under 1 km avstånd till närmaste utsläppskälla (Tabell 5-2).

En statistiskt signifikant korrelation finns mellan **den närmaste utsläppskällans verksamhetsområde** och IAP-indexet, artantalet, skadorna och blåslavens täckning. Den närmaste utsläppskällans verksamhetsområde hade ingen statistisk signifikant korrelation med tagellavarnas täckningsgrad (Tabell 5-3).

Granskningen visade att lavvariablerna allra tydligast påverkades av energiproduktion, miljötjänster (behandling av avloppsvatten, avstjälpningsplatser och jordavstjälpningsplatser), hantering av jordmaterial (produktion av mineralprodukter, stenbrytning, krossanläggningar, asfaltsanläggningar, kalkstensmalning), industri (metallindustri, kemisk industri, skogsindustri, tillverkning av livsmedel och foder, hamnar och områden med småindustri) och pälsfarmer. Den närmaste utsläppskällans verksamhetsområde var någon av dessa, på provytorna var floran mer utarmad (IAP-index och artavtal) och lavarna var mer skadade jämfört med områden i genomsnitt. I närheten av torvproduktionen observerades också lavflora som var mer skadad i genomsnitt enligt den allmänna skadeklassen. När den närmaste utsläppskällan till provytan var djurstall (nöt, svin), pälsfarmer eller industri, var blåslavens täckning mindre än inom området i genomsnitt.

Algen var också mer utbredd i närheten av energiproduktionsanläggningar, industrier och pälsfarmer.

Gruppens (metallindustri, kemiindustri, tillverkning av livsmedel och foder, hamnar, småindustri) heterogenitet har antagligen haft en viss effekt på resultaten. Vissa anläggningar i gruppen har en större skadlig effekt på lavvariabler än andra.

Tabell 5-2. Lavindikatorer för de enskilda provytorna, klassificerade efter om provytan ligger i närheten av en tillståndspliktig anläggning, provytan ligger längre bort än granskningsavståndet eller inom granskningsavståndet. Granskningsavståndet var 1 km, 2 km och 5 km. Nej = provytan ligger längre bort än granskningsavståndet, ja = provytan ligger inom granskningsavståndet.

		< 1 km		< 2 km			< 5 km	
		nej	ja	nej	ja		nej	ja
	N =	170	69	90	146		13	223
IAP-index	Medeltal	1,797	1,190	1,897	1,456		2,167	1,591
	Minimum	0,394	0	0,394	0		1,517	0
	Maximum	3,314	2,519	3,196	3,314		3,176	3,314
Artmängd/yta	Medeltal	4,459	3,058	4,678	3,678		5,308	3,982
	Minimum	2	0	2	0		3	0
	Maximum	8	7	8	8		8	8
Artantal/träd	Medeltal	3,445	2,348	3,616	2,834		4,077	3,073
	Minimum	0,8	0	0,8	0		3	0
	Maximum	6	4,6	5,8	6		5,8	6
Blåslavens skadeklass	Medeltal	2,280	3,247	2,072	2,854		1,654	2,612
	Minimum	1,1	1,5	1,1	1,1		1,1	1,1
	Maximum	5	5	5	5		2,2	5
Allmän skadeklass	Medeltal	3,598	4,093	3,482	3,897		3,269	3,768
	Minimum	1	2,1	1	2		1,8	1
	Maximum	4,7	5	4,7	5		4	5
Algens förekomst	Medeltal	1,359	3,232	0,889	2,510		0,385	1,987
	Minimum	0	0	0	0		0	0
	Maximum	5	5	5	5		5	5
Blåslavens täckningsgrad	Medeltal	9,086	6,039	10,462	6,844		15,615	7,781
	Minimum	0	0	0	0		1,1	0
	Maximum	49,1	50,8	49,1	50,8		49,1	50,8
Tagellavarnas täckningsgrad	Medeltal	0,061	0,000	0,107	0,005		0,162	0,036
	Minimum	0	0	0	0		0	0
	Maximum	3,5	0	3,5	0,2		1,3	3,5

Tabell 5-3. Lavindikatorer i hela områden efter den närmaste utsläppskällans verksamhetsområde.

		Hela området	Djur-stall	Energi-produktion	Jordmaterial-hantering	Industri	Pälsdjurs-farm	Torv-produktion	VOC	Miljötjänst-operation
	N =	240	47	8	19	36	54	7	34	21
IAP-index	Medeltal	1,60	1,81	1,33	1,54	1,53	1,49	1,86	1,70	1,34
	Minimum	0	0,39	0,60	0,69	0,69	0,00	1,73	0,39	0,00
	Maximum	3,3	3,20	2,23	3,12	2,96	3,19	2,05	3,31	2,48
Artmängd/yta	Medeltal	4,10	4,45	3,25	3,74	3,97	3,76	4,29	4,29	3,43
	Minimum	0	2	2	2	2	0	4	2	0
	Maximum	8	8	6	8	8	8	5	8	7
Artantal/träd	Medeltal	3,10	3,47	2,63	2,98	2,97	2,87	3,63	3,27	2,62
	Minimum	0	0,8	1,2	1,4	1,4	0	3,4	0,8	0
	Maximum	6	5,8	4,2	5,6	5,4	5,8	4	6	4,6
Blåslavens skadeklass	Medeltal	2,60	2,56	2,75	2,20	2,68	3,07	2,20	2,15	2,63
	Minimum	1,1	1,2	1,8	1,2	1,2	1,4	1,5	1,1	1,2
	Maximum	5	5	4,3	4	4,8	5	2,9	4,9	5
Allmän skadeklass	Medeltal	3,70	3,64	4,01	3,73	3,75	3,92	3,91	3,56	3,92
	Minimum	1	1,5	3,6	2,4	2,1	2,1	3,4	1	2,6
	Maximum	5	4,7	4,4	4	4,5	5	4	4,7	5
Algens förekomst	Medeltal	1,90	1,83	2,63	1,42	2,72	2,65	0,00	1,00	1,90
	Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Maximum	5	5	5	5	5	5	0	5	5
Blåslavens täckningsgrad	Medeltal	8,20	5,36	8,28	12,53	7,46	5,72	12,01	10,51	8,74
	Minimum	0	0	0,2	0,1	0	0	3,2	0	0
	Maximum	50,8	23,5	39,6	39,8	33,2	32,2	22,6	50,8	33,3
Tagellavarnas täckningsgrad	Medeltal	0,04	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,12	0
	Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Maximum	3,5	0,4	0	0,2	0,2	1,9	0	3,5	0

5.1.2 Regressionsanalys

Med hjälp av regressionsanalyser undersöktes bakgrundsvariablernas inverkan på de sju variabler som förmodas beskriva luftkvaliteten: IAP-indexet, antalet arter som tar skada av luftföroreningar, blåslavens skadeklass, den allmänna skadeklassen, algens utbredning, blåslavens täckning och tagellavarnas täckning (Tabell 5-4 – Tabell 5-10). Sammanfattning av resultaten redovisas i följande tabell (Tabell 5-11).

Tabell 5-4. Resultaten av den regressionsanalys som gjorts av luftrenhetsindexet Nästan signifikant (p <0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p<0,001) med tre (***).

IAP-index (r^2 = 31 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet t	Signifikans
Konstant	2,809	0,408		6,891	0,000 ***
Ålder	0,007	0,002	0,246	3,885	0,000 ***
Längd (m)	-0,035	0,013	-0,181	-2,612	0,010 *
Diameter (cm)	-0,034	0,012	-0,196	-2,793	0,006 **
Bottenyta	-0,006	0,007	-0,053	-0,863	0,389
Avstånd till närmaste djurstall	-3,14E-05	0,000	-0,124	-1,856	0,065
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	2,84E-05	0,000	0,335	4,169	0,000 ***
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-1,11E-05	0,000	-0,121	-0,972	0,332
Avstånd till närmaste industrianläggning	8,75E-06	0,000	0,069	0,558	0,577
Avstånd till närmaste pälsfarm	4,31E-05	0,000	0,283	3,518	0,001 **
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-8,12E-06	0,000	-0,143	-1,848	0,066
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	5,67E-07	0,000	0,006	0,054	0,957
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter	-1,54E-05	0,000	-0,132	-1,696	0,091

Tabell 5-5. Resultaten av den regressionsanalys som gjorts av antalet arter per provyta Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p<0,001) med tre (***).

Artantal/provyta (r^2 = 26 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet t	Signifikans
Konstant	6,201	1,063		5,835	0,0 ***
Ålder	0,018	0,005	0,255	3,899	0,0 ***
Längd (m)	-0,091	0,035	-0,186	-2,594	0,010 **
Diameter (cm)	-0,063	0,032	-0,145	-2,006	0,046 *
Bottenyta	-0,015	0,017	-0,056	-0,888	0,375
Avstånd till närmaste djurstall	-9,13E-05	0,000	-0,142	-2,067	0,040 *
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	5,90E-05	0,000	0,275	3,321	0,001 **
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-6,08E-06	0,000	-0,026	-0,204	0,839
Avstånd till närmaste industrianläggning	1,23E-05	0,000	0,038	0,301	0,764
Avstånd till närmaste pälsfarm	9,98E-05	0,000	0,259	3,122	0,002 **
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-9,60E-06	0,000	-0,067	-0,837	0,403
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	-1,05E-05	0,000	-0,044	-0,383	0,702
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter	-3,08E-05	0,000	-0,104	-1,302	0,194

Tabell 5-6. Resultaten av den regressionsanalys som gjorts av blåslavens skadeklass. Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p<0,001) med tre (***).

Blåslavens skadeklass (r^2 = 33 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet t	Signifikans
Konstant	2,849	0,670		4,251	0,000 ***
Ålder	-0,004	0,003	-0,091	-1,453	0,148
Längd (m)	-0,046	0,022	-0,141	-2,061	0,040 *
Diameter (cm)	0,051	0,020	0,176	2,546	0,012 *
Bottenyta	0,007	0,011	0,04	0,662	0,509
Avstånd till närmaste djurstall	-3,17E-06	0,000	-0,007	-0,114	0,910
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	-3,20E-05	0,000	-0,226	-2,855	0,005 **
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	9,90E-06	0,000	0,065	0,526	0,599
Avstånd till närmaste industrianläggning	-5,59E-05	0,000	-0,263	-2,171	0,031 *
Avstånd till närmaste pälsfarm	-9,03E-05	0,000	-0,355	-4,481	0,000 ***
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-4,82E-06	0,000	-0,051	-0,667	0,505
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	4,81E-06	0,000	0,03	0,278	0,781
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter	6,66E-05	0,000	0,342	4,469	0,000 ***

Tabell 5-7. Resultaten av den regressionsanalys som gjorts av den allmänna skadeklassen. Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p<0,001) med tre (***).

Den allmänna skadeklassen (r^2 = 29 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet t	Signifikans
Konstant	3,201	0,414		7,741	0,000 ***
Ålder	-0,006	0,002	-0,216	-3,375	0,001 **
Längd (m)	0,020	0,014	0,101	1,445	0,150
Diameter (cm)	0,028	0,012	0,163	2,306	0,022 *
Bottenyta	0,011	0,007	0,097	1,578	0,116
Avstånd till närmaste djurstall	3,12E-05	0,000	0,122	1,818	0,070
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	-1,57E-05	0,000	-0,184	-2,267	0,024 *
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	1,17E-05	0,000	0,127	1,010	0,313
Avstånd till närmaste industrianläggning	-2,16E-05	0,000	-0,169	-1,358	0,176
Avstånd till närmaste pälsfarm	-4,96E-05	0,000	-0,324	-3,991	0,000 ***
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-5,74E-06	0,000	-0,100	-1,288	0,199
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	-4,85E-06	0,000	-0,051	-0,454	0,650
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter	2,57E-05	0,000	0,220	2,798	0,006 **

Tabell 5-8. Resultaten av den regressionsanalys som gjorts av algens utbredning Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p <0,001) med tre (***).

Algens utbredning (r^2 = 37 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet t	Signifikans
Konstant	-0,257	1,372		-0,187	0,852
Älder	-0,023	0,006	-0,240	-3,954	0,000 ***
Längd (m)	-0,015	0,045	-0,023	-0,340	0,734
Diameter (cm)	0,140	0,041	0,230	3,429	0,001 **
Bottenyta	0,044	0,022	0,114	1,947	0,053
Avstånd till närmaste djurstall	-2,56E-05	0,000	-0,029	-0,449	0,654
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	-5,81E-05	0,000	-0,194	-2,530	0,012 *
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	1,19E-05	0,000	0,037	0,310	0,757
Avstånd till närmaste industrianläggning	-8,59E-05	0,000	-0,191	-1,630	0,105
Avstånd till närmaste pälsfarm	0,00	0,000	-0,351	-4,570	0,000 ***
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	3,25E-05	0,000	0,162	2,194	0,029 *
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	-1,96E-06	0,000	-0,006	-0,055	0,956
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter	0,00	0,000	0,264	3,566	0,000 ***

Tabell 5-9. Resultaten av den regressionsanalys som gjorts av blåslavens täckning Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p<0,001) med tre (***).

Blåslavens täckning (r^2 = 26 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet t	Signifikans
Konstant	0,45	6,814		0,066	0,947
Ålder	-0,119	0,029	-0,270	-4,110	0,000 ***
Längd (m)	0,198	0,225	0,063	0,881	0,379
Diameter (cm)	0,077	0,203	0,028	0,381	0,704
Bottenyta	-0,084	0,111	-0,048	-0,752	0,453
Avstånd till närmaste djurstall	0,001	0,000	0,276	3,993	0,000 ***
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	-9,41E-05	0,000	-0,069	-0,826	0,410
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-1,61E-05	0,000	-0,011	-0,084	0,933
Avstånd till närmaste industrianläggning	0,00	0,000	0,056	0,436	0,663
Avstånd till närmaste pälsfarm	0,00	0,000	0,085	1,023	0,307
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	0,00	0,000	0,325	4,069	0,000 ***
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	0,00	0,000	0,115	0,999	0,319
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter	0,00	0,000	-0,110	-1,364	0,174

Tabell 5-10. Resultaten av den regressionsanalys som gjorts av tagellavarnas täckning. Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p<0,001) med tre (***).

Tagellavarnas täckning (r^2 = 9 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet t	Signifikans
Konstant	0,018	0,207		0,088	0,930
Ålder	0,002	0,001	0,140	1,931	0,055
Längd (m)	0,00	0,007	0,003	0,044	0,965
Diameter (cm)	-0,012	0,006	-0,155	-1,928	0,055
Bottenyta	-0,001	0,003	-0,014	-0,198	0,843
Avstånd till närmaste djurstall	5,29E-07	0,000	0,005	0,062	0,951
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	1,24E-06	0,000	0,033	0,358	0,721
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-1,05E-06	0,000	-0,026	-0,181	0,856
Avstånd till närmaste industrianläggning	-3,20E-06	0,000	-0,057	-0,403	0,687
Avstånd till närmaste pälsfarm	1,16E-05	0,000	0,172	1,871	0,063
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	4,56E-06	0,000	0,180	2,043	0,042 *
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	6,64E-06	0,000	0,158	1,244	0,215
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter	-5,19E-07	0,000	-0,010	-0,113	0,910

Förklaringsgraderna för regressionsmodellen för lavvariabler varierade mellan nio och 37 procent (Tabell 5-11). Tagellavarnas täckning hade den lägsta förklaringsgraden. Bäst förklarade regressionsmodellen de variabler som beskriver artsamhället, IAP-indexet, artantalet och den allmänna skadeklassen. Bland de faktorer som beskriver provytans naturliga variation uppvisade trädbeståndets ålder den tydligaste korrelationen med de granskade lavvariablerna. Artsammansättningen blev allt mer mångsidig och den allmänna skadeklassen lägre, utbredningen av alg minskade och blåslavens täckning minskade i äldre skogsbestånd. När trädbeståndet växte på längden, blev lavfloran mindre och blåslavens skadeklass blev lägre. När trädbeståndets bottenyta utökades (diameter) blev också blåslavens skadeklass och den allmänna skadeklassen högre, och utbredningen av alg ökade. Bottenytan beskriver provytans skuggighet, som för sin del försämrar lavarnas levnadsförhållanden. Bottenytan observerades att ha ingen korrelation med lavvariablerna.

Bland avståndsvariablerna var det energiproduktionsanläggningarna och pälsfarmerna som tydligast försämrade lavindikatorerna. Ju närmare dessa en provyta låg, desto mer ensidig var lavfloran (IAP-index och artavtal) och desto större var skadorna (blåslavens och stamlavsarternas allmänna skadeklass). Algens utbredning var större närmare energiproduktionsanläggningen. Sannolikheten för förekomst av tagellavar och alger ökade ju längre bort från pälsfarmen provytan låg.

Närheten till industrianläggningar verkade öka blåslavens skadeklass. Korrelationen var svag, sannolikt på grund av gruppens heterogenitet. I klassen ingick både små och stora anläggningar, som inte inverkar lika mycket på lavfloran.

Blåslavens täckningsgrad ökade när avstånden till närmaste djurstall eller torvproduktionsanläggning ökade. Ju närmare djurstall en provyta låg, desto mer mångsidig var lavfloran. Sannolikheten för förekomst av både alger och tagellavar ökade också när avståndet till torvproduktionsområdet ökade. Detta torde bero på att dessa verksamheter inte har någon betydande inverkan på lavfloran, och i deras närhet finns sällan någon annan verksamhet som kan försämra lavflorans sammansättning och kondition. Korrelationen mellan miljöserviceverksamheter (behandling av avloppsvatten, avstjälpningsplatser och jordavstjälpningsplatser) och lavflorans sammansättning och kondition var svag. Korrelationen mellan utvinning, behandling och förädling av jordmaterial och mineraler samt verksamhet som orsakar VOC-utsläpp och lavflorans sammansättning och kondition var svag.

Figur 5-11. Sammandrag av regressionsanalyserna. I tabellen beskrivs med plustecken den ökande inverkan på värdet på en beroende variabel som orsakas av att värdet på en oberoende variabel ökar. Med ett minustecken beskrivs den minskande inverkan på värdet på en beroende variabel som orsakas av att värdet på en oberoende variabel ökar. Med antalet förtecken beskrivs resultatets statistiska signifikans så att ett nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med ett tecken, ett signifikant (p<0,01) med två tecken och ett mycket signifikant (p<0,001) med tre tecken.

	IAP	Artantal	Blåslavens skadeklass	Allmän skade-klass	Algens utbred-ning	Blåslavens täckning	Tagel-lavarnas täcknings-grad
Förklaringsgrad (%)	31	26	33	29	37	26	9
Ålder	+++	+++		--	---	---	
Längd (m)	-	--	-				
Diameter (cm)	--	-	+	+	++		
Bottenyta							
Avstånd till närmaste djurstall		-				+++	
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	+++	++	--	-	-		
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial							
Avstånd till närmast industrianläggning			-				
Avstånd till närmaste pälsfarm	++	++	---	---	+++		
Avstånd till närmaste område för torvutvinning					+	+++	+
Avstånd till närmaste VOC-anläggning							
Avstånd till närmaste miljöserviceverksamheter			+++	++	+++		

5.2 Statistisk granskning av tallbarrens och mossarnas grundämneshalter

5.2.1 Faktoranalys av barrens grundämneshalter

Variationen i barrens grundämneshalter sammanfattades med hjälp av en faktoranalys. I analysen ingick 14 grundämnen. Barrens grundämneshalter slogs samman med hjälp av faktoranalysen till fyra faktorer, som

förklarade sammanlagt 82 procent av variablernas variation. En roterad komponentmatris som utarbetats utifrån faktoranalysen av barrens grundämneshalter redovisas i följande tabell (Tabell 5-12). Laddningen för den faktor för vilken varje grundämne får sin högsta faktorladdning är markerad med fet stil. I allmänhet betraktas värden över 0,5 som signifikanta faktorladdningar.

Med den första faktorn fick kadmium, krom, koppar, nickel, järn och zink de högsta laddningarna. Zink (0,93), kadmium (0,92) och järn (0,91) hade de högsta av dessa laddningar, med ett värde över 0,9. Koppars laddning var svagast (0,78). Faktorn beskrev metallutsläppen från industriverksamheten.

Med den andra faktorn fick väte, kalium, fosfor och svavel de högsta laddningarna. Laddningarna varierade inom intervallen 0,68–0,88. Faktorn beskrev alltså både växtplatsens näringshalt och utsläppen av svavel och kväve.

Med den tredje faktorn fick bor, krom och magnesium de högsta laddningarna. Den kraftigaste laddningen hade bor (0,72) och den svagaste krom (0,45). Faktorn beskrev alltså å ena sida skogsbeståndets näringshalt och naturliga faktorer, å andra sidan konsekvenserna av människans verksamhet.

Med den fjärde faktorn fick kalcium (0,67) och mangan (0,7) de högsta laddningarna. Faktorn beskrev skogsbeståndets näringshalta och naturliga faktorer.

Tabell 5-12. Roterad komponentmatris för faktoranalysen av barrens grundämneshalter Den faktor med vilken varje grundämne har fått sin högsta laddning är markerad med fet stil.

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

5.2.2 Faktoranalysen av mossans grundämneshalter

Variationen i mossans grundämneshalter sammanfattades med hjälp av en faktoranalys. I analysen ingick 20 grundämnen som uppmättes i väggmossor. Mossans grundämneshalter slogs samman med hjälp av faktoranalysen till tre faktorer, som förklarade sammanlagt 80 procent av variablernas variation. Roterad komponentmatris för faktoranalysen av mossans grundämneshalter redovisas i följande tabell (Tabell 5-13). Markerats med fet stil laddningen för den faktor för vilken varje grundämne får sin högsta laddning. I allmänhet betraktas värden över 0,5 som signifikanta faktorladdningar.

Den första faktorns andel av variablernas variation var 50 procent. Med denna faktor fick arsenik, kvicksilver, kadmium, kobolt, koppar, bly, järn och zink de högsta laddningarna. Kopparns laddning var svagast (0,75). Laddningen av andra grundämne var över 0,9. Även nickel fick en hög laddning (0,62), men med den tredje faktorn fick nickel en högre laddning (0,64). Faktorn beskrev metallutsläppen från industriverksamheten.

Den andra faktorns andel av variablernas variation var 20 procent. Med denna faktor fick bor, kalium, kalcium, fosfor, magnesium, mangan, natrium och svavel de högsta laddningarna. Den kraftigaste laddningen fick fosfor och magnesium (0,90). Natrium och mangan fick svaga laddningar (0,49 och 0,05), men av de analyserade faktorerna fick de ändå bland de högsta värdena för denna faktor. Faktorn beskrev skogsbeståndets näringshalt och naturliga faktorer.

Den tredje faktorn beskrev 11 procent av variablernas variation. Med denna faktor fick aluminium, järn, krom, vanadin och nickel de högsta laddningarna. Den största laddningen fick aluminium (0,90). Nickelns laddning var svagast (0,64). Faktorn beskrev utsläppen från industriverksamheten.

Tabell 5-13. Roterad komponentmatris för faktoranalysen av mossans grundämneshalter. Den faktor med vilken varje grundämne har fått sin högsta laddning är markerad med fet stil.

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

5.3 Korrelationer i humusens grundämneshalter

I tabellen redovisas inbördes korrelationer mellan grundämneshalter som uppmätts i humus (Tabell 5-14). Två provytor i Kaustby lämnades utanför statistiska granskningen då Kaustby provtagningstidpunkt avvek från andra humusprov.

Statistiskt signifikanta, mycket starka korrelationer mellan metallhalterna observerades. Man har observerat att tungmetallbelastningen minskar näringshalten i humusskiktet (se kap. 3.3.3). I denna analys observerades statistiskt signifikanta negativa korrelationer mellan tungmetallhalterna och näringshalterna. Mellan kalcium och järn samt magnesium och svavel fanns en negativ korrelation.

Tabell 5-14. Inbördes korrelationer mellan variabler som uppmätts i humus. Statistiskt signifikanta korrelationer är markerade med stjärnor och färg. Nästan signifikant (p < 0,05) testresultat är märkt med en stjärna (*), signifikant (p <0,01) med två (**) och mycket signifikant (p < 0,001) med tre (***). Positiva korrelationer är märkt med grönt och negativa med röd.

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

Tabell 5-14. forts.

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

5.4 Sammandrag

En statistisk granskning av resultaten visar att framför allt lavvariablerna synnerligen väl beskriver luftkvalitetens lokala variation. Tydligast påverkas lavarna av energiproduktionsanläggningarnas svavel-, kväve- och partikelutsläpp. Industrianläggningarnas inverkan på lavarna var inte så tydlig, eftersom bara blåslavens skadeklass ökade i närheten av industrianläggningarna. Resultatet har troligen påverkats av att man slog samman stora och mindre industrianläggningar i samma kategori. Även stora industrianläggningar påverkar lavarna, medan mindre industrianläggningar inte har någon klar inverkan (t.ex. Huuskonen m.fl. 2013). Kväveutsläppen från djurstall verkar inte ha någon tydlig inverkan på lavvariablerna. Däremot inverkade kväveutsläppen från pälsfarmer helt tydligt på lavvariablerna. Inverkan av spridda dammutsläpp och VOC-utsläpp på lavarna verkade vara ringa med de halter som förekom i uppföljningsområdet. I barrens och mossans grundämneshalter syntes inverkan av industrin tydligast i tungmetallhalterna, som korrelerade kraftigt sinsemellan och utgjorde en gemensam faktor i faktoranalysen i båda matriserna. Både för barr och mossor syntes svavelhalterna tydligast i den faktor som bör tolkas som en indikator för näringshalt. Det verkar trots allt som om även lokala utsläpp i viss mån höjde svavelhalterna i barr och mossor samt kvävehalten i barr, men någon klar tolkning av inverkan kunde inte göras.

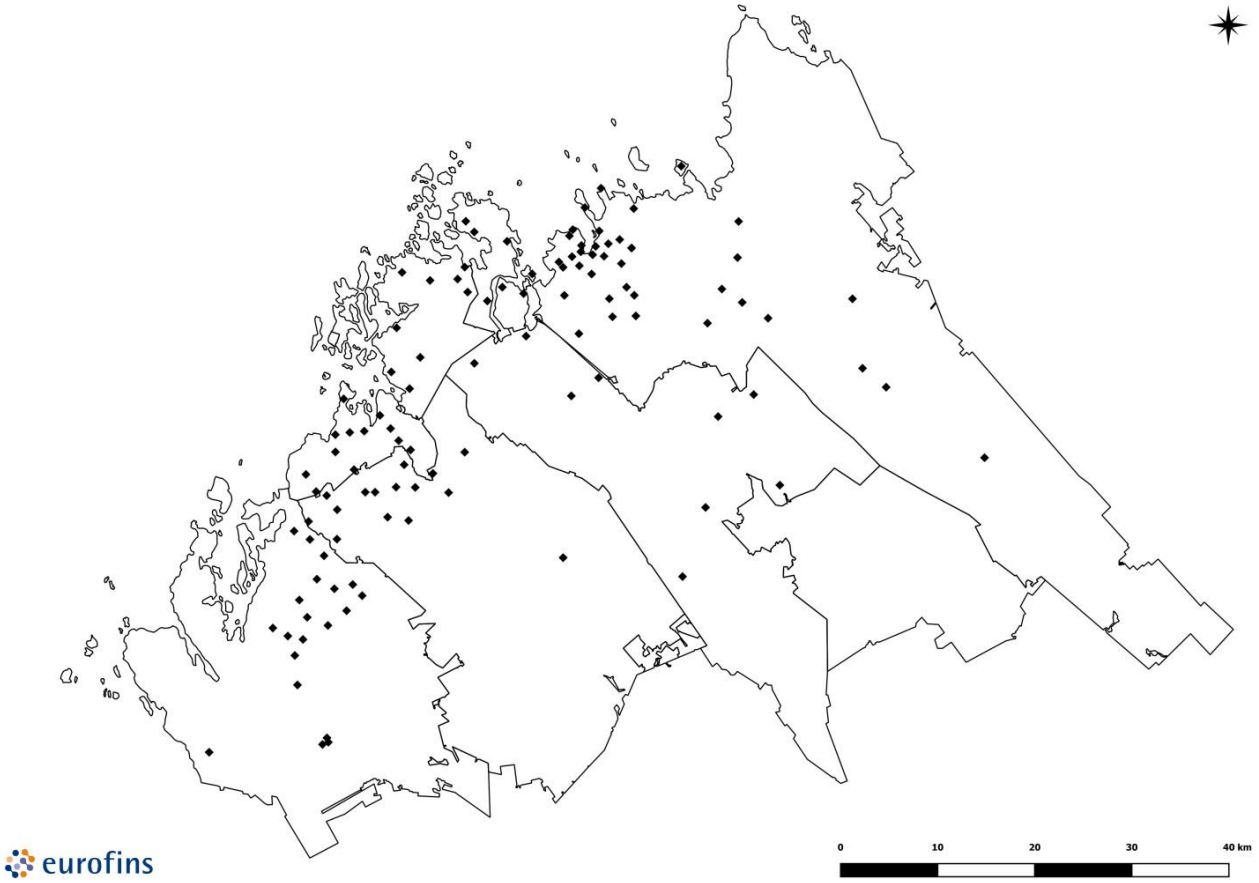
Tungmetallhalterna som uppmättes i humus korrelerade kraftigt sinsemellan. Det är möjligt att tungmetallbelastningen har påverkat näringshalterna i humusskiktet genom att minska på dem. Uppföljningen fann nästan inga statistiskt signifikanta negativa korrelationer mellan näringsämnen och tungmetaller.

6. JÄMFÖRELSE

6.1 Jämförelse mellan olika år

I det här kapitlet jämförs resultaten från 2018 med resultaten av bioindikatoruppföljningar från tidigare år. En uppföljning har gjorts med motsvarande metoder tidigare både i Karleby och Jakobstad åren 2012 och 2006–2007. Tidigare jämförbara resultat finns från Jakobstadsregionen från 2002 och från Karlebyregionen från 2002, 1997 och 1992. I granskningen av kartor ingår för Karlebys del också 1997 och 1992. För att få en enhetlig jämförelse av regionen jämförs medelvärden från 2018, 2012 och 2006 (-2007).

År 2018 grundades många nya provytor i område för att kompensera för exempelvis förlorade områden på grund av hyggen. Också i 2012 grundades många nya provytor i området. Det finns inga jämförande resultat för de nya områdena. Resultaten av jämförelsen kan alltså anses omfatta området endast till den del där de provytor som finns med i jämförelsen har förblivit oförändrade. I granskningen av medelvärden har man utelämnat de provytor som har förändrats, sammanlagt 111 ytor i 2018 (Figur 6-1). Ett undantag från detta är uppföljningen av humusens grundämneshalter, där man har tagit med alla provytor, även de som har blivit utbytta (kapitel 6.1.4). Endast resultaten från humusprover från Kaustbys uppföljningsområden år 2018 inkluderades inte i analysen mellan åren. Kartframställningarna å sin sida har utarbetats med stöd av observationer från alla provytor som granskats under uppföljningsåret i fråga.

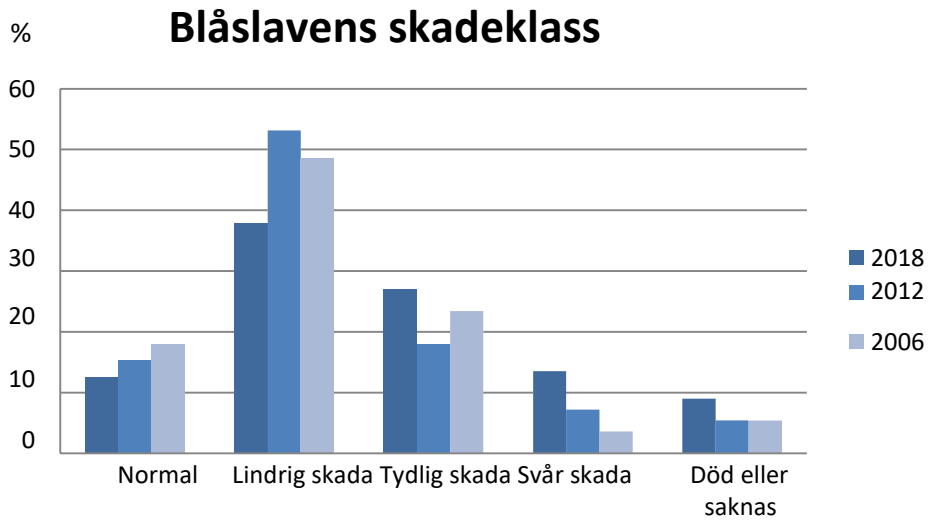


Figur 6-1. Provytor som ingår i jämförelsen mellan åren 2006, 2012 och 2018 (stamlav, barr, moss).

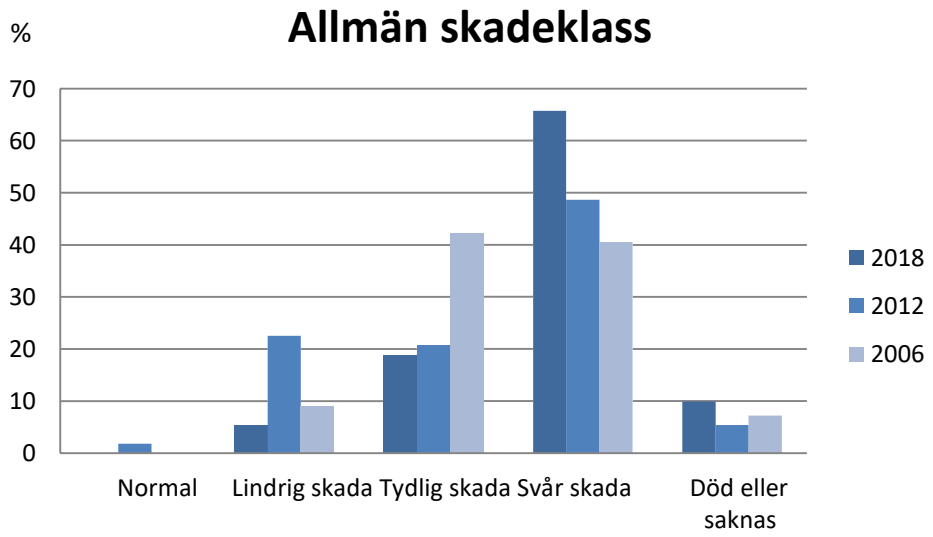
6.1.1 Tallarnas stamlavar

I följande figur redovisas provytornas fördelning i klasser åren 2018, 2012 och 2006 enligt blåslavens skadeklass, den allmänna skadeklassen och IAP-indexet (Figur 6-2, Figur 6-3, Figur 6-4). Dessutom redovisas de undersökta lavarternas förekomstfrekvenser i uppföljningsområdet åren 2012 och 2006 (Figur 6-5). Medelvärden, minimum och maximum värden för de variabler som beskriver tallens stamlavar åren 2018, 2012 och 2006 för hela området och olika kommuner finns i följande tabell (Tabell 6-1). I zonfigurer redovisas blåslavens skadeklass, den allmänna skadeklassen, IAP-indexet och artantalets zoner för åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 och 2018 (Figur 6-6, Figur 6-7, Figur 6-8, Figur 6-9).

Vid klassificeringen av blåslavens skadeklasser under år 2018 hade klassen av normal blåslav minskat jämfört med föregående uppföljningsår. Antal av ytor som ingår i klassen för lindrig skadat hade minskat jämfört med föregående uppföljningsår. Antal av ytor som ingår i klassen för tydligt skadat hade ökat något jämfört med föregående uppföljningsår. Klassen för svårt skadat hade ökat något jämfört med föregående uppföljningsår. Provytor där blåslaven var död eller saknades fanns mer än i föregående uppföljningsår. (Figur 6-2).



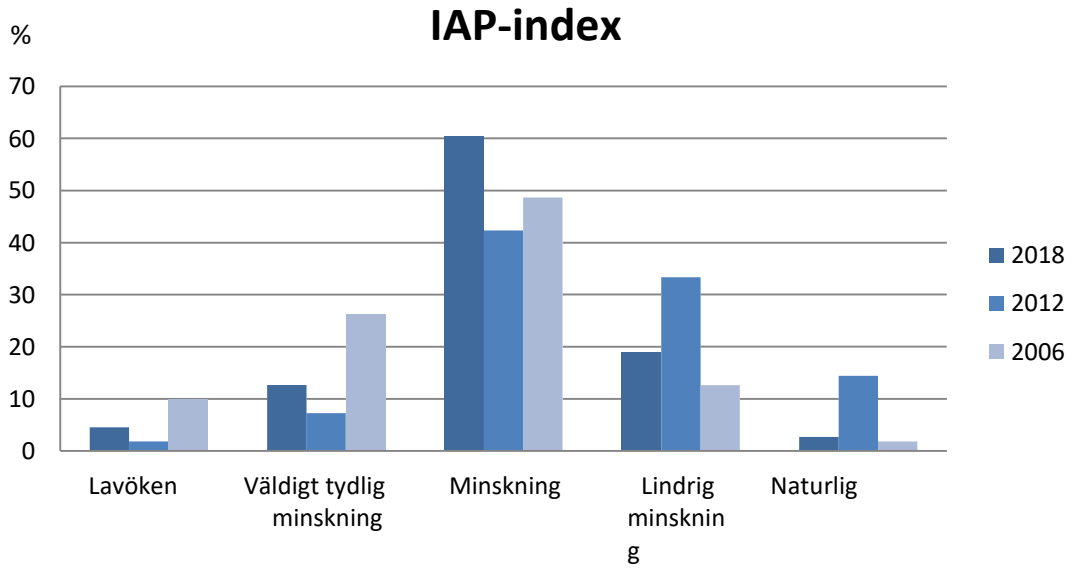
Figur 6-2. Provytor som har förblivit oförändrade klassificerade enligt blåslavens skadeklass åren 2018, 2012 och 2006 (N = 111).



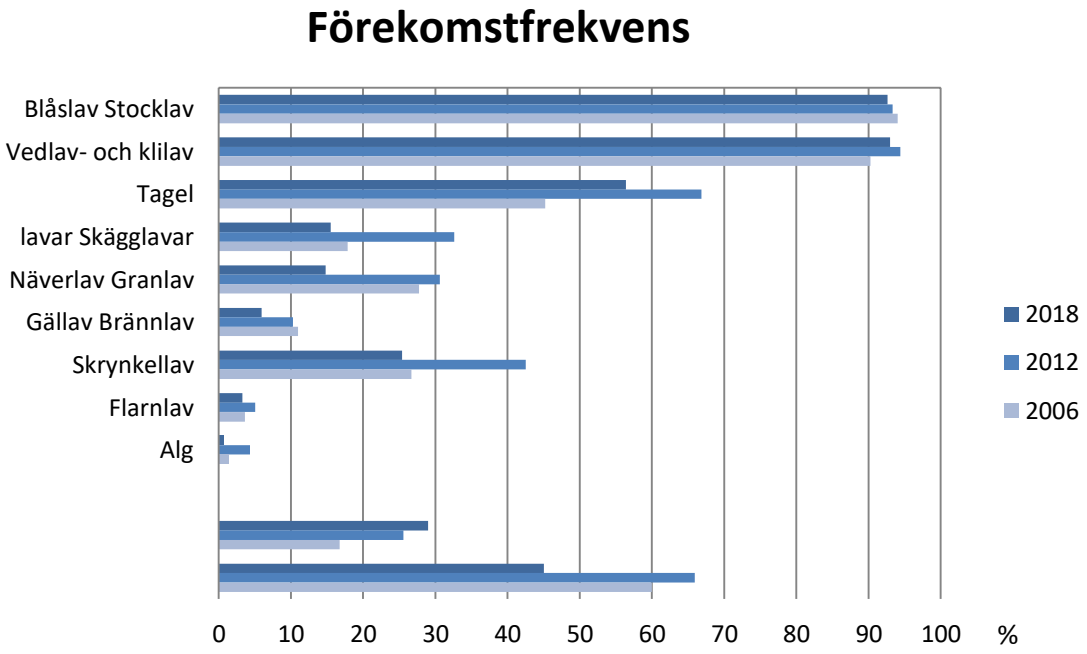
Figur 6-3. Provytor som har förblivit oförändrade klassificerade enligt den allmänna skadeklassen åren 2018, 2012 och 2006 (N = 111).

Med tanke på den allmänna skadeklassen observerades 2018 att lavfloran inte var helt frisk på någon av provytorna. Så var det också 2002, medan år 2012 observerades frisk lavflora i under 2 procent av jämförelseområdena. Klassen för lindrig skada hade tydligt minskat jämfört med år 2012 och något också jämfört med 2002. Klassen för tydlig skada hade minskat jämfört med år 2012 och minskat betydligt jämfört med år 2002. Klassen för svår skada hade tydligt ökat jämfört med år 2012, och ännu mer jämfört med år 2002. Klassen för ”död eller saknas” hade ökat jämfört med åren 2012 och 2006. (Figur 6-3).

I fördelningen av provytor som klassificerats med stöd av IAP-indexet hade lavöken-klassen ökat jämfört med uppföljningar i 2012, men var fortfarande mindre än i uppföljningen 2006. Klassen för tydligt utarmad lavflora hade ökat jämfört med 2012, men var fortfarande mindre än i uppföljningen 2006. Klassen av utarmad flora var större jämfört med tidigare uppföljningsåren. Klassen för lindrigt utarmad lavflora hade minskat jämfört med 2012, men fortfarande större jämfört med 2006. Klassen för naturlig lavflora var tydligt mindre jämfört med 2012, men fortfarande något större än 2006. (Figur 6-4).



Figur 6-4. Provytor som har förblivit oförändrade klassificerade enligt IAP-indexet åren 2018, 2012 och 2006 (N = 111).



Figur 6-5. Lavarternas förekomstfrekvens på provytor som har förblivit oförändrade åren 2012 och 2006 (N = 137).

Med undantag av flarnlav förekom alla lavarter något färre observationer jämfört med 2012. Jämfört med 2006 fanns stocklav, ved- och klilav, flarnlav, tagellavar och granlav mer, medan andra arter förekom mindre. Endast observationer av flarnlav hade ökat på ytor jämfört med åren 2012 och 2006. Skrynkellav observerades inte alls i jämförelseområdena. (Figur 6-5).

Vid granskning per kommun (Tabell 6-1) hade alla variabler som beskriver lavfloran minskat jämfört med föregående uppföljningsår. Blåslavens skadeklass hade förbättrats endast i Larsmo och blåslavens täckningsgrad hade ökat. Jämfört med 2006 fanns variationer i variablerna, eftersom en del av variablerna hade försämrats och en annan del förbättrats. Av lavindikatorerna (IAP-index och artavtal) hade IAP-index förbättrats något i Larsmo, Pedersöre, Jakobstad och Nykarleby. Artantalen av lavindikatorer hade minskat i alla kommuner jämfört med 2006. Jämfört med de tidigare uppföljningsåren, med undantag av Larsmo, hade blåslavens skador ökat i genomsnitt med föregående uppföljningsår. Skadorna på blåslaven hade i genomsnitt minskat i Larsmo kommun jämfört med år 2012, men skadeklassen var fortfarande högre jämfört med år 2006. De allmänna skadorna på lavfloran hade ökat i jämförelse med de tidigare uppföljningsåren i alla kommuner. Blåslavens täckningsgrad hade ökat jämför med år 2012 bara i Larsmo kommun, täckningsgraden i andra kommuner hade minskat. Blåslavens täckningsgrad var fortfarande högre jämfört med Karleby och i Larsmo i uppföljningen 2006. I Kronoby var blåslavens täckningsgrad i genomsnitt på samma nivå som 2006. Tagellavar förekom i jämförelsevis liten utsträckning i uppföljningsområdet. Tagellavarnas täckningsgrad hade minskat eller stannat på samma nivå jämfört med 2012. I många kommuner observerades så små mängder tagellavar, att deras täckning var noll. (Tabell 6-1).

Lavvariablernas regionala fördelning redovisas på zonkartor i figurerna, baserat på observationer i alla undersökta ytor under uppföljningsåret i fråga (Figur 6-6 – Figur 6-9).

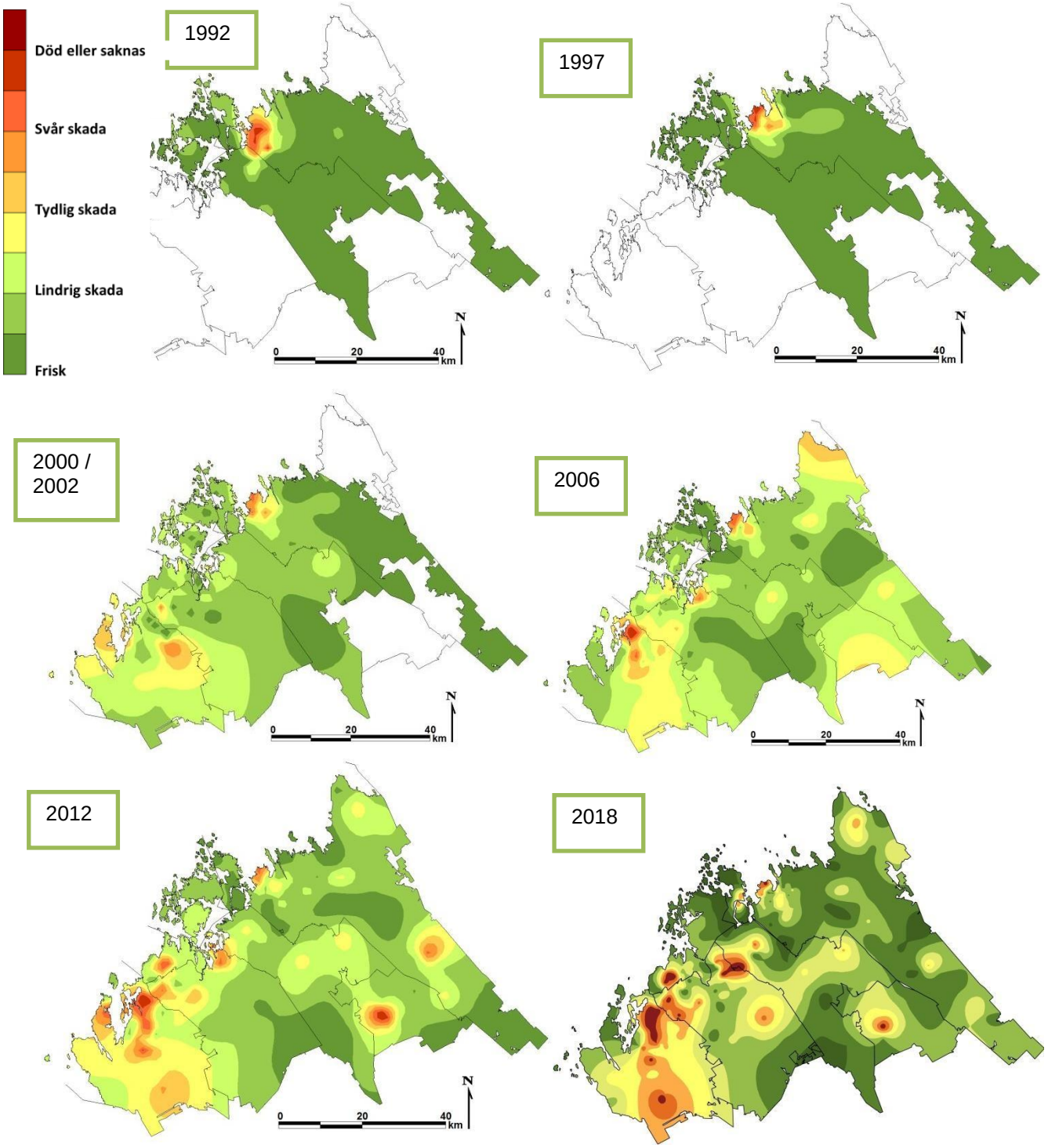
Med tanke på zonerna med skador på blåslaven är det beaktansvärt att zonen med skador verkar har stärkts i regionen Nykarleby– Jakobstad–Pedersöre-Kronoby. De friskaste zonerna med blåslav har stärkts i södra delarna av Kronoby-Pedersöre samt i Karleby och Larsmo. Förändringen av zonerna, särskilt i bakgrundsområden såsom Kaustbyregionen, torde i första hand bero på att ytterligare provytor har grundats i dessa områden. (Figur 6-6).

Zonerna för den allmänna skadeklassen hade utvidgats jämfört med år 2012. Utifrån uppföljningen från 2012 verkade det som om det i uppföljningsområdet höll på att uppkomma en allt tydligare skadezon i nordväst-nordöstlig riktning nära kusten, där bosättning, industri och annan verksamhet som påverkar luftkvaliteten finns samlad. En annan skadezon fanns i södra delen av uppföljningsområdet i Kaustbyregionen. Sådana zoner observerades inte på zonkartor 2018. I uppföljningsområdet fanns också mer skadade ytor jämfört med åren 2012 och 2006. Dessa fanns i områden nära kusten och i Kaustby. (Figur 6-7).

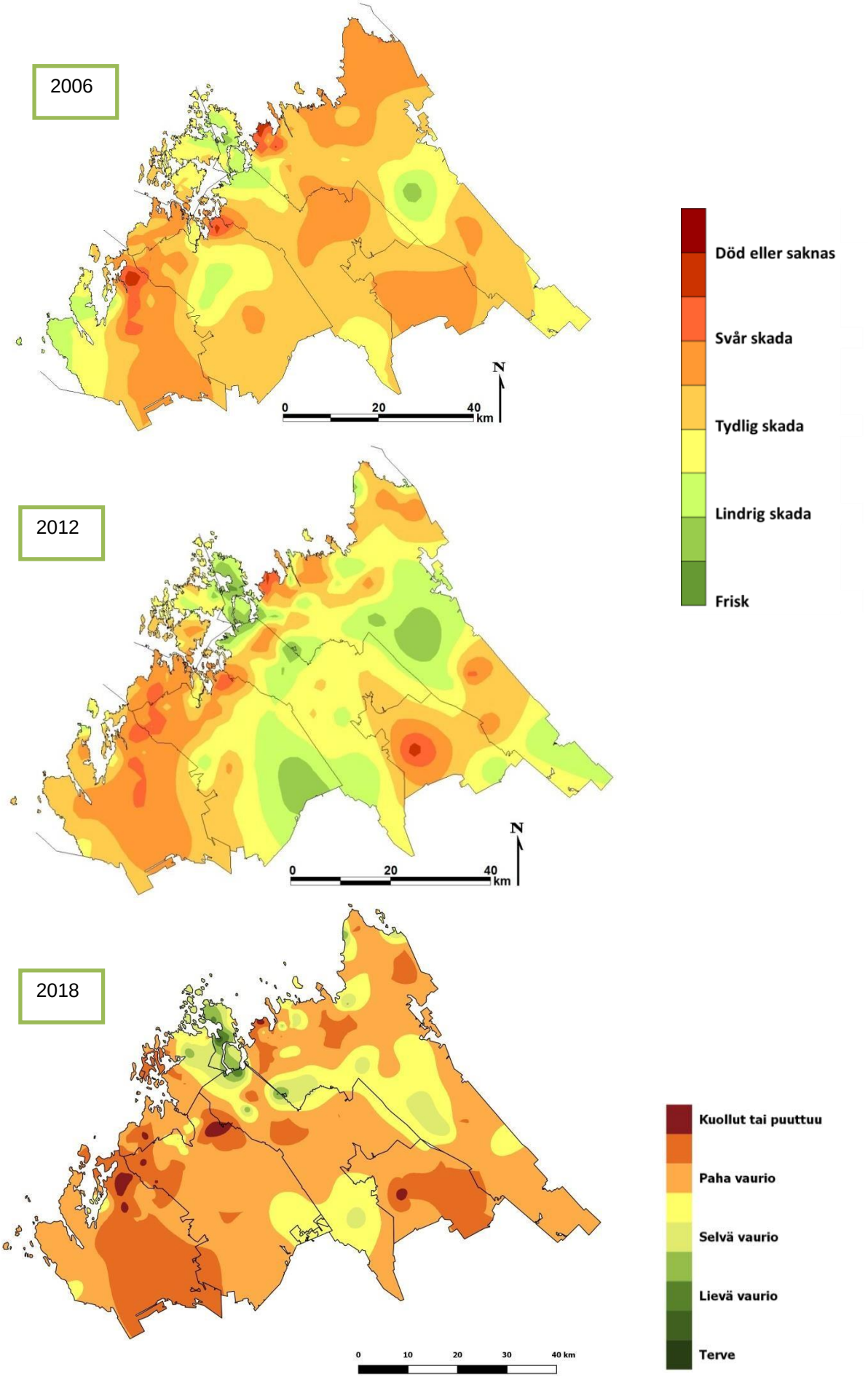
Utifrån artantalet år 2012 verkar det som om det i uppföljningsområdet håller på att uppkomma en allt tydligare skadezon i områden nära kusten och i Kaustbyregionen. (Huuskonen m.fl. 2013). Zonerna var inte längre tydliga, eftersom zoner med utarmad lavflora hade utvidgats i Nykarleby, Kaustby, Kronoby och Karleby (Figur 6-8). AP-indexet visar på en liknande utveckling (Figur 6-9). På grund av båda variablerna hade zoner av lavflora i naturtillstånd minskat betydligt.

Tabell 6-1. Riktvärden för tallens stamlavar åren 2018, 2012 och 2006.

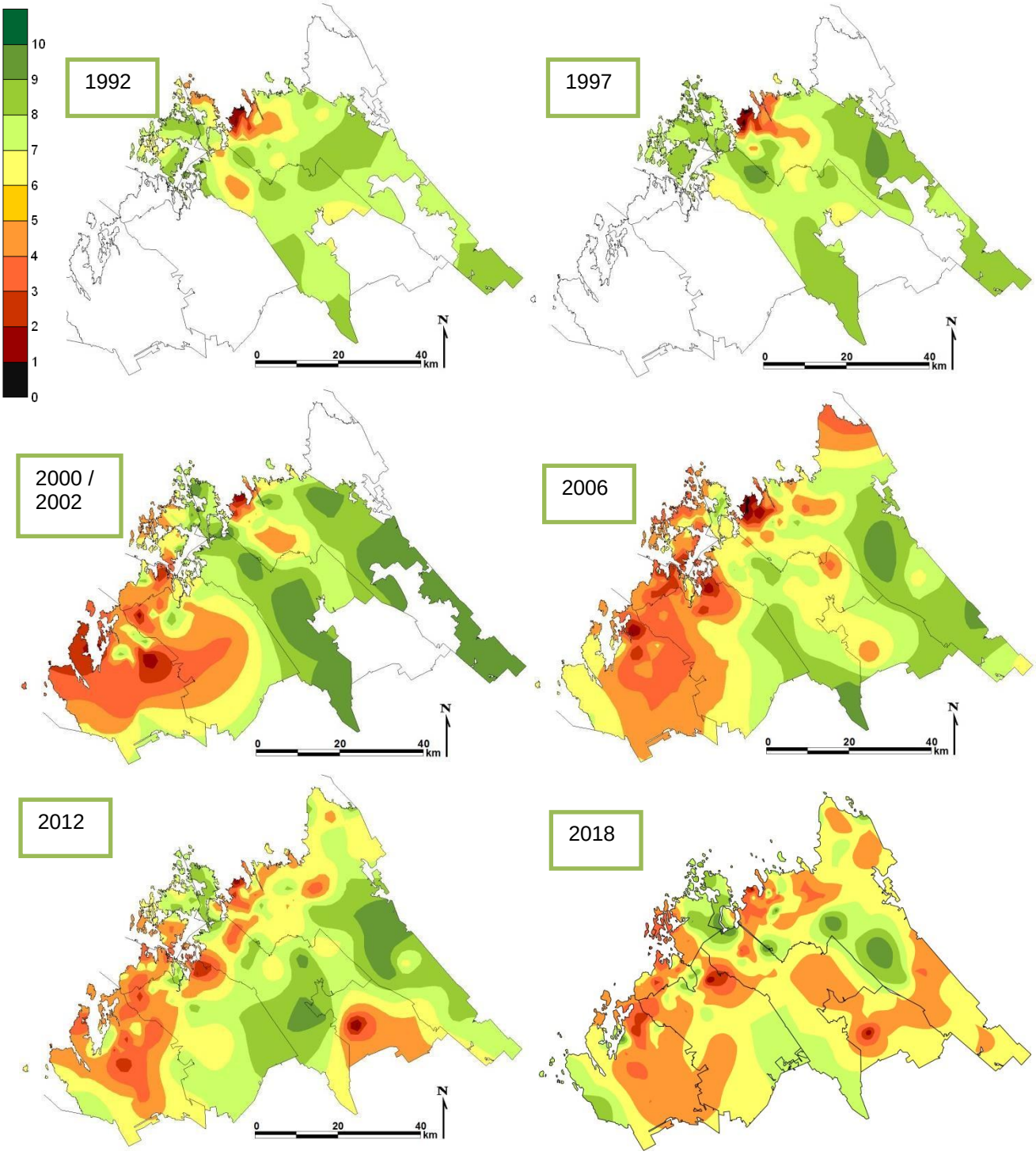
	Kommun	Hela			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
	År	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
	N	111	111	111	46	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Blåslavens-skadeklass	Medeltal	2,6	2,3	2,3	2,2	2,0	2,2	2,0	1,8	1,6	1,7	1,9	1,6	3,0	2,6	2,5	2,7	2,4	2,4	3,9	3,2	3,1
	Minimum	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,5	1,3	1,5	1,4	1,3	1,6	1,1	1,6	2,4	2,0	1,9
	Maximum	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,6	3,0	2,3	2,2	2,2	2,0	5,0	4,9	5,0	5,0	4,1	3,4	5,0	5,0	5,0
Allmän skadeklass	Medeltal	3,7	3,3	3,4	3,5	3,0	3,4	3,3	2,5	3,1	3,5	2,8	2,7	3,9	3,6	3,5	4,0	3,8	3,4	4,2	3,9	3,9
	Minimum	1,5	1,2	1,6	1,8	1,2	1,6	1,5	1,3	2,0	2,8	1,6	2,4	2,9	2,3	2,8	3,8	3,4	2,6	3,4	2,9	2,6
	Maximum	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0	3,7	5,0	4,9	5,0	4,5	4,0	4,0	4,7	4,7	5,0
IAP	Medeltal	1,6	2,0	1,4	1,7	2,1	1,5	2,0	2,8	2,0	1,6	2,3	1,3	1,5	1,9	1,1	1,4	1,8	1,1	1,3	1,6	1,2
	Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,8	1,2	1,2	1,3	0,5	0,0	0,1	0,0	0,7	1,1	0,5	0,3	0,5	0,1
	Maximum	3,3	4,3	3,6	3,3	4,3	3,6	3,2	3,2	2,8	2,3	3,3	1,8	2,7	2,7	2,1	2,1	2,8	1,7	2,5	2,8	1,9
Artantal / yta	Medeltal	4,1	5,2	5,5	4,5	5,5	5,9	4,9	7,2	6,8	4,3	5,7	4,9	3,9	5,0	4,8	3,6	4,6	4,8	3,3	3,9	5,0
	Minimum	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	3,0	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0
	Maximum	8,0	9,0	11,0	8,0	9,0	11,0	8,0	9,0	9,0	6,0	8,0	7,0	7,0	9,0	8,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Blåslavens täcknings-grad	Medeltal	8,7	10,2	8,2	12,4	14,8	10,7	7,7	8,6	7,7	18,3	15,9	10,4	4,6	6,5	5,6	6,5	9,6	10,3	0,7	1,3	2,5
	Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2	2,2	2,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
	Maximum	50,8	51,7	37,3	39,8	51,7	37,3	19,8	21,3	19,8	50,8	32,8	23,3	15,9	16,4	19,3	19,8	19,7	21,8	2,3	3,5	9,3
Tagel-lavarnas täcknings-grad	Medeltal	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Minimum	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
	Maximum	1,3	3,9	1,0	1,3	3,9	1,0	0,4	1,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0



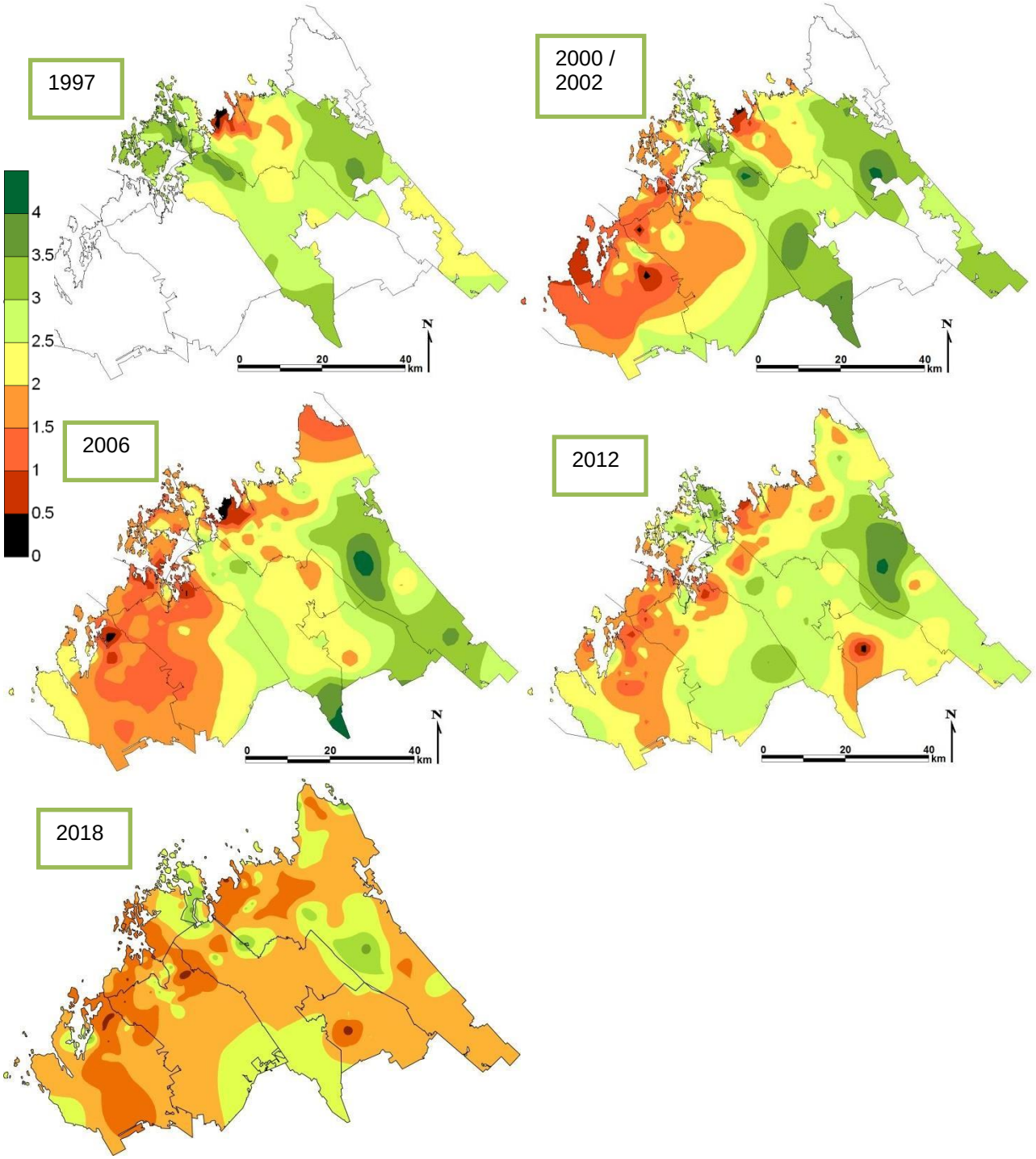
Figur 6-6. Blåslavens skadeklasser i uppföljningsområdet åren 1992 (Karlebyregionen), 1997 (Karlebyregionen), 2000 (Jakobstad) och 2002 (Karleby), 2006, 2012 och 2018.



Figur 6-7. Den allmänna skadeklassen i uppföljningsområdet åren 2006, 2012 och 2018.



Figur 6-8. Antal lavar som tar skada av luftföroreningar i uppföljningsområdet 1992 Karlebyregionen), 1997 (Karlebyregionen), 2000 (Jakobstad) och 2002 (Karleby), 2006, 2012 och 2018.



Figur 6-9. IAP-indexzoner i uppföljningsområdet åren 1997 (Karlebyregionen), 2000 (Jakobstad) och 2002 (Karleby), 2006, 2012 och 2018.

6.1.2 Tallbarrens grundämneshalter

Medel-, minimum- och maximumvärden för de variabler som beskriver tallbarrens grundämneshalter åren 2018, 2012 och 2006 per kommun redovisas i nedanstående tabell (Tabell 6-2). I jämförelsen ingår de områden som har stannat oförändrad och för vilka analyser har utförts under dessa uppföljningsår.

Granskningen av hela området visade att medelvärdena för halterna av kalcium, kadmium, koppar, kalium, zink och kväve hade ökat jämfört med 2012 och 2006. Medeltalen för halterna av mangan, fosfor och svavel var högre jämfört med 2012, men fortfarande lägre jämfört med de genomsnittliga halterna år 2006. De genomsnittliga halterna av arsenik, bor, kobolt, järn och vanadin hade minskat jämfört med 2012 och 2006.

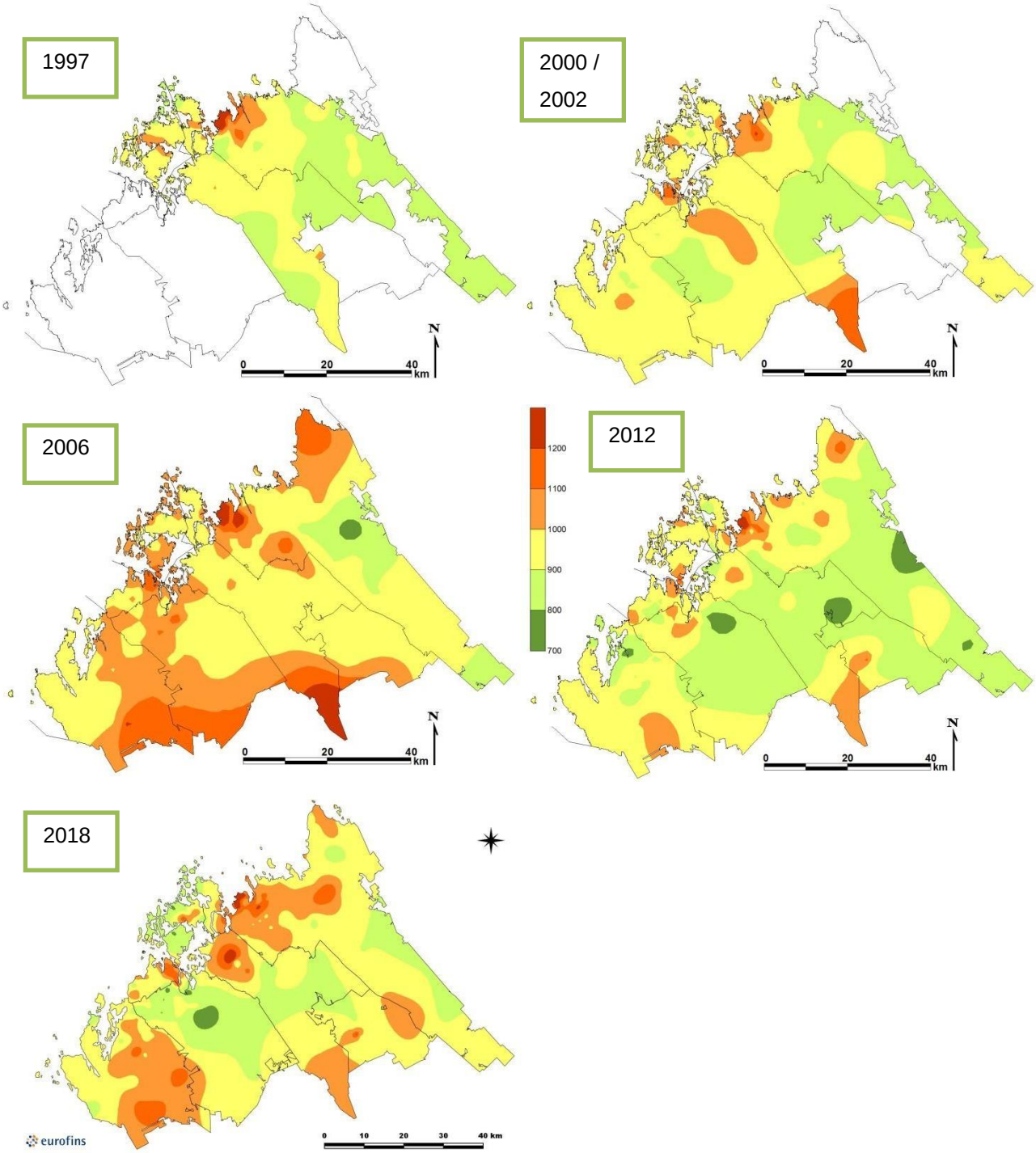
Den genomsnittlig halten av nickel hade däremot minskat från år 2012 till samma nivå som 2006. Halterna av krom, kvicksilver och mangan hade i genomsnitt stannat på samma nivå som 2012, och halterna av krom och mangan var något lägre än 2006. De förhöjda halterna av kadmium och även koppar härstammar framförallt från industrin i Yxpila i Karleby. Vissa av näringsämnehalterna hade minskat och andra hade ökat. De genomsnittliga halterna av kadmium, krom och koppar i Karleby var något högre jämfört med åren 2012 och 2006, medan de genomsnittliga metallhalterna hade minskat. Halten av koppar i Kronoby, halterna av kadmium, kobolt och zink i Larsmo, halten av zink i Pedersöre, halterna av kobolt, krom och koppar i Jakobstad samt halterna av kobolt och koppar i Nykarleby hade ökat något jämfört med åren 2012 och 2006.

De ökade svavelhalterna hade under de olika uppföljningsåren koncentrerats kring Karleby centrum och mindre områden nära kusten (Figur 6-10). Dessutom har förhöjda svavelhalter varit vanliga i undersökningsområdets södra del. Svavelhalterna var högre i 2018 jämfört med 2012 med undantag av Larsmo och Pedersöre. Halterna var ändå mindre, med undantag av Jakobstad, eller på samma nivå som 2006.

Tabell 6-2. Tallbarrens grundämneshalter (mg/kg per torrsubstans) per kommun åren 2018, 2012 och 2006.

	Kommun	Hela området			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
mg/kg	År	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
As	Medeltal	0,12	0,15	0,16	0,19	0,24	0,25				0,04	0,03	0,06	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03
	Minimum	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03				0,04	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	85,00	104,00	122,00
	Maximum	1,20	1,00	2,97	1,20	1,00	2,97				0,06	0,03	0,07	0,09	0,13	0,13	0,09	0,06	0,05	0,04	0,05	0,03
	N	64	48	48	26	26	27	0	0	0	3	3	2	5	5	5	6	6	6	8	8	8
B	Medeltal	13,05	16,57	16,21	14,31	16,77	16,24	12,22	15,00	13,96	15,00	20,89	20,22	8,64	16,25	15,76	16,33	17,50	18,14	10,92	14,63	14,59
	Minimum	2,50	6,60	7,97	6,20	6,60	8,68	2,50	12,00	10,67	9,00	19,00	17,71	2,50	8,50	7,97	11,00	13,00	10,61	86,00	105,00	124,00
	Maximum	28,00	29,00	36,71	28,00	29,00	36,71	18,00	19,00	15,81	19,00	23,00	25,40	15,00	23,00	22,25	23,00	23,00	21,77	25,00	20,00	19,32
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Ca	Medeltal	3997	2912	3282	4294	3087	3313	3324	2511	3223	4221	3422	3554	3732	2707	3218	3983	3008	3554	3735	2562	3012
	Minimum	2040	1700	2375	2840	2200	2567	2140	2100	2375	3240	2800	2479	2040	1700	2586	2740	2000	2754	90	109	129
	Maximum	6580	5200	5598	6580	4400	5217	5200	3100	3865	6330	5200	5598	4920	3200	3824	5490	4500	4603	4980	3200	4042
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Cd	Medeltal	0,21	0,17	0,17	0,37	0,29	0,26	0,13	0,10	0,13	0,13	0,10	0,11	0,09	0,07	0,09	0,09	0,08	0,14	0,07	0,06	0,07
	Minimum	0,03	0,03	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,08	0,05	0,03	0,07	0,04	0,03	0,06	88,00	107,00	126,00
	Maximum	2,40	2,60	1,55	2,40	2,60	1,55	0,31	0,29	0,33	0,19	0,17	0,18	0,14	0,15	0,17	0,12	0,14	0,70	0,15	0,11	0,11
	N	110	111	111	45	46	44	9	9	9	9	9	8	14	14	12	12	12	12	21	21	19
Co	Medeltal	1,65	1,96	0,90	2,78	3,42	1,47				0,68	0,44	0,36	0,28	0,29	0,21	0,29	0,26	0,13	0,22	0,14	0,09
	Minimum	0,06	0,08	0,06	0,47	0,34	0,21				0,64	0,33	0,34	0,21	0,17	0,12	0,17	0,14	0,07	91,00	110,00	130,00
	Maximum	14,00	15,00	5,83	14,00	15,00	5,83				0,73	0,59	0,39	0,37	0,52	0,30	0,44	0,47	0,20	0,71	0,21	0,15
	N	55	48	48	26	26	27	0	0	0	3	3	2	5	5	5	6	6	6	8	8	8
Cr	Medeltal	0,17	0,16	0,21	0,27	0,21	0,15	0,11	0,12	0,13	0,11	0,13	0,09	0,12	0,12	0,15	0,14	0,12	0,10	0,08	0,13	0,70
	Minimum	0,05	0,06	0,05	0,05	0,08	0,05	0,05	0,09	0,08	0,05	0,07	0,06	0,05	0,09	0,05	0,05	0,07	0,05	93,00	112,00	132,00
	Maximum	1,80	0,75	2,54	1,80	0,75	0,46	0,20	0,14	0,16	0,21	0,22	0,11	0,17	0,15	0,75	0,40	0,22	0,18	0,13	0,60	2,54
	N	110	111	111	45	46	32	9	9	9	9	9	7	14	14	10	12	12	10	21	21	10
Cu	Medeltal	3,69	3,36	2,80	4,53	4,04	3,52	3,12	2,76	2,37	2,74	2,72	2,42	2,89	2,99	2,43	3,01	2,86	2,44	3,47	2,92	2,04
	Minimum	2,40	2,20	0,04	2,50	2,20	1,78	2,50	2,20	1,79	2,50	2,50	2,03	2,60	2,70	2,17	2,50	2,30	1,97	94,00	113,00	134,00
	Maximum	10,00	9,50	13,82	10,00	9,50	13,82	4,50	3,70	3,17	3,00	3,10	3,02	3,50	3,40	3,02	3,90	3,20	2,87	4,40	5,80	2,80
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Fe	Medeltal	87,0	111,0	91,5	127,8	176,4	144,7	61,8	76,3	65,3	57,1	54,8	59,6	62,9	65,6	51,0	66,6	71,2	52,5	51,1	59,7	49,0
	Minimum	34,0	38,0	35,7	36,0	49,0	35,7	36,0	38,0	46,5	51,0	43,0	43,3	42,0	47,0	37,3	37,0	39,0	37,2	98,0	117,0	138,0
	Maximum	640,0	690,0	927,0	640,0	690,0	927,0	170,0	210,0	143,0	67,0	64,0	132,5	96,0	94,0	68,0	130,0	170,0	81,5	81,0	85,0	66,8
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Hg	Medeltal	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05				0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
	Minimum	0,02	0,02	0,00	0,03	0,02	0,02				0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,02	87,00	106,00	125,00
	Maximum	0,26	0,10	0,15	0,26	0,10	0,15				0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
	N	57	48	48	26	26	27	0	0	0	3	3	2	5	5	5	6	6	6	8	8	8
K	Medeltal	5771	5636	5466	5833	5676	5515	5562	5456	5303	5821	5778	5329	5816	5479	5670	6004	5942	5469	5542	5495	5348
	Minimum	4300	3900	4190	4910	4300	4190	4940	4600	4766	5450	4800	4884	4980	4400	4627	4300	5400	4537	89	108	128
	Maximum	7580	7600	6823	7580	7600	6499	6260	6400	5992	6600	6300	5765	6440	6400	6823	7430	7000	6292	6650	7000	6583
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Mg	Medeltal	787	789	797	807	810	809	818	747	832	889	868	846	759	774	743	772	750	782	718	759	778
	Minimum	490	390	426	490	390	426	670	610	673	740	760	719	560	580	657	590	580	610	95	114	135
	Maximum	1110	1000	1119	1070	1000	999	1110	810	922	1090	940	965	930	1000	864	890	1000	1119	970	1000	890
	N	110	111	111	45	46	46	9	9	9	9	9	9	14	14	14	12	12	12	21	21	21
Mn	Medeltal	417	387	474	463	414	500	567	472	648	428	374	447	379	356	406	296	323	433	343	354	424
	Minimum	100	110	153	180	160	153	370	330	371	300	200	273	130	110	250	180	210	329	96	115	136
	Maximum	1030	860	1079	870	790	1072	760	700	1079	560	560	605	500	500	530	470	500	672	620	600	832

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



Figur 6-10. Svavelhalternas zoner i uppföljningsområdet åren 1997, 2000-2002, 2006, 2012 och 2018 (S mg/kg).

6.1.3 Tallbarrens grundämneshalter

Indikatorvärden av mossans grundämneshalter uppföljningsåren 2018, 2012 och 2006 i hela området och per kommun redovisas i följande tabell (Tabell 6-3). Skillnaden mellan observerade halterna i uppföljningsår 2018 och 2012 undersöktes med ett parvis t-test Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p<0,01) med två (**) och mycket signifikant (p<0,001) med tre (***).

Jämfört med 2012 hade halter av bor (***), kalcium (***), kalium (***), magnesium (**) och mangan (***) ökat på ett statistiskt signifikant sätt i hela uppföljningsområde. Halter av aluminium (***), arsenik (**), krom (***), koppar (*), järn (***), natrium (***), nickel (***),bly (*), svavel (***) och vanadin (**) hade minskat på ett statis-

tiskt signifikant sätt. Halterna hade stannat på 2012 års nivå för kadmium, kobolt, kvicksilver och zink.

Jämfört med år 2006 hade halter av kalcium (***), mangan (*) och zink (***) ökat på ett statistiskt signifikant sätt. Halter av bor (*), kadmium (**), krom (***), koppar (***), järn (**), kvicksilver (*), kalium (***), nickel (***), bly (***), svavel (***) och vanadin (***) hade minskat på ett statistiskt signifikant sätt.

Aluminiumhalterna hade minskat i genomsnitt på provytan från år 2012. Dessutom hade aluminiumhalterna ökat i kustområden särskilt jämfört med uppföljningen i 2006. Under 2018 var zonen med de högsta halterna nära kusten ännu tydligare jämfört med zonen i 2012. Jämfört med 2012 observerades förhöjda halter i Karlebys Lochteå och Lennonperä, norra delen av Kronoby i närheten av Ferral Alucast Abs produktionsanläggning samt i Pedersöre. Dessutom observerades zonerna med de högsta halterna också i södra delarna av Karleby, sydost om Länta. Halterna hade minskat i södra delarna av Nykarleby och Karlebys Kelviå sedan 2012. Förhöjda halterna observerades också i centrum av Kaustby. De förhöjda halterna i 2012 kan delvis förklaras med att ytterligare provytor anlagts, särskilt i närheten av de belastade områdena (Kronoby och Kaustby) och i bakgrundsområden (Nykarleby). (Figur 6-11).

De högsta halterna av **arsenik** har under alla uppföljningsår observerats i närheten av Yxpila i Karleby. De högsta halterna observerades under uppföljningsperioden 1992, varefter halterna har minskat. Jämfört med 2012 har zonerna för arsenikhalterna minskat något. Arsenikhalter Yxpila i Karleby har minskat sedan 2012. (Figur 6-12).

De högsta halterna av **kadmium** observerades i Yxpila 1992, varefter halterna har minskat konsekvent och zonerna med de högsta halterna har blivit mindre. Inga märkbara förändringar i zonerna för kadmiumhalterna har observerats jämfört med 2012. Kadmiumhalterna i Yxpila i Karleby hade minskat något sedan 2012. (Figur 6-13).

De högsta halterna av **kobolt** observerades båda åren i Yxpila och halterna minskade när avståndet från Yxpila ökade. Några märkbara förändringar i zonerna har inte observerats mellan åren. År 2018 hade zonerna med lindrigt förhöjda halter ökat något jämfört med föregående uppföljningsår. (Figur 6-14).

Kopparhalterna i Yxpila i Karleby hade minskat tydligt jämfört med föregående uppföljningsår, och zonerna med lindrigt förhöjda halterna har inte observerats. De högsta halterna av koppar i 2012 observerades vid gränsen mellan Larsmo och Karleby, varemot åren 2000/2002 och 2006 de högsta halterna fanns i Yxpilaområdet. Åren 2018 och 2012 var kopparhalterna i mossor i Jakobstads centrum inte längre så höga som tidigare. (Figur 6-15).

De högsta **järn**halterna observerades i Yxpila under alla uppföljningsår, även om man också observerade förhöjda järnhalter i andra uppföljningsområden. Jämfört med de tidigare uppföljningsåren under 2000-talet har järnhalten i Yxpila ökat något. (Figur 6-16).

Halterna av **kvicksilver** var som högst år 1997. De högsta halterna som observerades i 2018 fanns i Yxpila i Karleby, men halterna hade tydligt i hela uppföljningsområdet på 2000-talet. År 2018 zonerna med lindrigt förhöjda halter hade ökat något jämfört med 2012, men tydligt minskat jämfört med början av 2000-talet. (Figur 6-17).

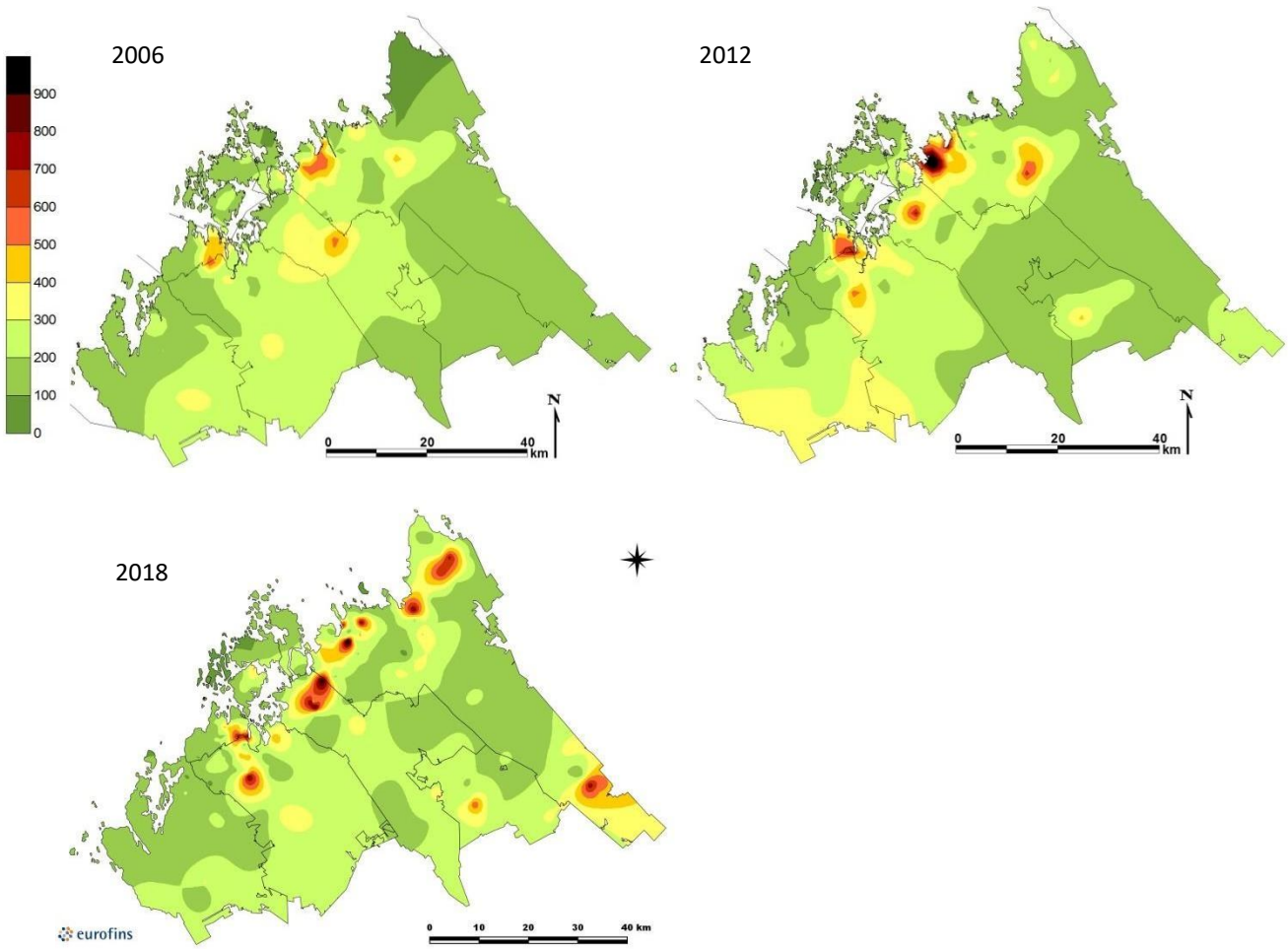
Halten av **nickel** har minskat jämfört med tidigare uppföljningsåren. År 2006 observerades förhöjda nickelhalter särskilt på provytorna i Jeppo i Nykarleby, men dessa halter minskade i uppföljningen 2012 och 2018. År 2012 observerades de högsta halterna i Yxpila i Karleby. Halterna av nickel hade minskat i Yxpila-området jämfört med halterna 2012 till samma nivå som år 2006. (Figur 6-18).

De högsta **zink**halterna har under alla uppföljningsår observerats i Yxpila. Halterna i Yxpila har ändå minskat märkbart från nivån på 1990-talet. Zinkhalterna i Yxpila har ökat efter 2006. (Figur 6-19).

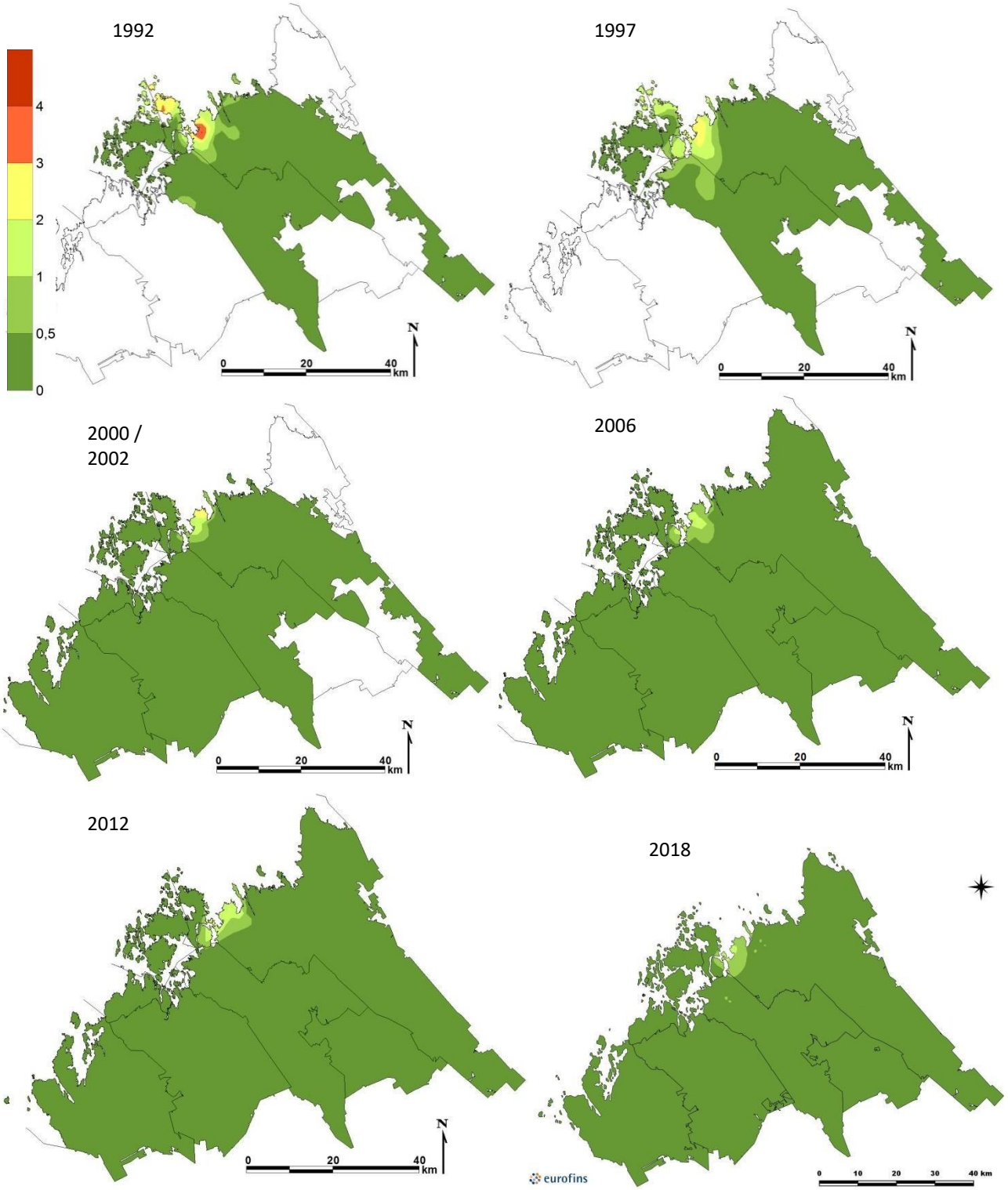
Tabell 6-3. Mossornas grundämneshalter (mg/kg) per kommun åren 2018, 2012 och 2006. Ökat och minskat halter jämfört med 2012

	Kommun	Hela området			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
	År	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
	N	103	103	102	40	40	39	8	8	8	9	9	9	13	13	13	12	12	12	21	21	21
Al	Medeltal	218,5	279,8	232,9	245,6	359,3	278,6	176,3	179,1	203,3	145,3	168,7	173,4	252,3	265,6	218,3	272,4	309,7	249,3	162,5	210,0	184,7
	Minimum	73	90	84,84	73	93	85,9	140	161	134,8	88	94	133,5	120	107	102,9	99	90	84,84	84	121	112,5
	Maximum	810	1080	888,5	720	1080	888,5	300	199	335,9	220	208	206,7	450	447	494,9	810	1011	533,7	320	364	376,5
As	Medeltal	0,21	0,28	0,22	0,34	0,51	0,37	0,16	0,16	0,21	0,11	0,11	0,13	0,15	0,16	0,16	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09
	Minimum	0,038	0,05	0,0488	0,038	0,07	0,0699	0,06	0,08	0,1031	0,072	0,07	0,0974	0,075	0,05	0,0533	0,049	0,05	0,0488	0,062	0,08	0,05
	Maximum	1,5	2,5	1,716	1,5	2,5	1,716	0,27	0,29	0,4553	0,15	0,19	0,1795	0,27	0,4	0,3649	0,26	0,24	0,2057	0,15	0,14	0,1707
B	Medeltal	1,94	1,30	2,26	1,62	1,53	2,37		0,63	1,64		1,28	2,64	2,45	1,54	2,36	2,87	1,71	2,75	1,44	0,76	1,80
	Minimum	0,51	0,5	0,812	0,9	0,5	0,812		0,5	0,8544		0,5	1,19	1,5	0,5	1,304	0,98	0,5	0,9935	0,51	0,5	0,9803
	Maximum	5	5,1	6,649	2,9	5,1	6,649		1	2,317		2	4,502	3,9	3	3,82	5	3	5,606	2,4	1	2,539
	N	58	103	102	27	40	39	0	8	8	0	9	9	10	13	13	10	12	12	11	21	21
Ca	Medeltal	2891	2617	2457	2999	2635	2603	2933	2250	2393	2918	2789	2540	2990	2869	2406	3195	3025	2628	2423	2257	2106
	Minimum	1590	1500	1642	1800	1800	1864	2350	1900	2230	2450	1500	2215	2230	2300	1878	2310	2400	1858	1590	1900	1642
	Maximum	4670	4200	4047	4090	4200	4047	3520	2500	2623	3450	3700	2970	4670	4000	3286	4140	4000	3737	3300	2800	2483
Cd	Medeltal	0,25	0,26	0,28	0,43	0,46	0,46	0,21	0,19	0,23	0,17	0,17	0,21	0,12	0,13	0,16	0,13	0,14	0,15	0,10	0,11	0,13
	Minimum	0,06	0,07	0,0883	0,06	0,08	0,1295	0,1	0,11	0,1505	0,085	0,13	0,142	0,091	0,08	0,0917	0,072	0,09	0,108	0,067	0,07	0,09
	Maximum	1,2	1,2	1,228	1,2	1,2	1,228	0,43	0,39	0,469	0,25	0,23	0,2728	0,15	0,23	0,2638	0,2	0,25	0,2304	0,18	0,15	0,1855
Co	Medeltal	3,21	3,48	3,52	6,44	7,20	7,20	2,33	1,93	2,38	2,02	2,08	2,05	1,04	0,99	1,38	1,04	1,12	1,05	0,48	0,48	0,48
	Minimum	0,24	0,35	0,2576	0,24	0,35	0,294	0,39	0,44	0,515	1,1	1,1	0,979	0,64	0,38	0,397	0,5	0,54	0,397	0,34	0,35	0,2576
	Maximum	19	27	29,99	19	27	29,99	6,1	5,4	8,585	3,8	3,7	3,64	1,5	1,9	3,055	1,7	2,4	2,464	0,78	0,69	0,8826
Cr	Medeltal	0,64	1,07	0,81	0,75	1,33	0,96	0,59	0,75	0,67	0,54	0,81	0,53	0,62	0,94	0,83	0,80	1,20	0,94	0,40	0,79	0,63
	Minimum	0,2	0,54	0,25	0,2	0,62	0,304	0,2	0,71	0,48	0,31	0,69	0,302	0,2	0,55	0,383	0,2	0,56	0,421	0,2	0,54	0,25
	Maximum	2,9	3,6	3,017	1,9	3,6	3,017	1,7	0,81	1,042	0,8	1	0,7645	1,2	1,5	1,513	2,9	2,9	1,767	0,86	1,3	2,103
Cu	Medeltal	5,75	6,19	7,54	6,87	8,65	10,71	5,06	4,70	6,76	5,52	5,00	5,17	5,45	4,88	6,01	5,58	5,23	6,12	4,26	3,94	4,72
	Minimum	3,1	2,7	3,659	3,1	2,7	4,033	3,6	3,1	3,791	4,6	4,2	4,289	4,3	3,6	3,731	4	3,1	3,887	3,2	3,3	3,659
	Maximum	13	19	25,06	13	19	25,06	6,3	7,2	16,09	6,7	6,6	6,788	7,7	7,7	8,975	7,8	9,5	10,63	8	5,2	6,09
Fe	Medeltal	294,9	471,3	352,4	367,7	672,5	467,3	227,5	267,5	293,0	173,3	237,8	228,4	327,7	413,8	304,4	325,8	515,8	347,2	196,2	275,7	247,4
	Minimum	77	120	106,6	77	170	130,3	110	200	220,9	110	120	166,6	150	130	127,2	89	140	106,6	92	150	129,9
	Maximum	1200	2400	1455	1200	2400	1455	510	410	509,5	240	340	305,3	680	740	781,6	950	1800	893,3	440	530	583,7
Hg	Medeltal	0,06	0,06	0,07	0,09	0,08	0,08	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,08	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05
	Minimum	0,015	0,02	0,032	0,015	0,03	0,035	0,037	0,03	0,038	0,035	0,02	0,037	0,015	0,03	0,045	0,032	0,03	0,036	0,015	0,03	0,032
	Maximum	0,19	0,28	0,227	0,19	0,28	0,227	0,1	0,06	0,075	0,051	0,05	0,157	0,092	0,07	0,101	0,078	0,07	0,109	0,08	0,05	0,076
K	Medeltal	7030	6416	12703	7149	6358	21681	5778	5913	5586	7678	6311	9113	7240	7015	8180	7828	6525	7197	6418	6329	6227
	Minimum	4260	4000	4212	4310	4000	4822	4380	4800	4212	6420	4000	4843	5390	5200	5303	5330	4900	5136	4260	4600	4391
	Maximum	11200	10000	42490	11200	10000	42490	7710	8100	8865	9680	8400	27650	10200	10000	14240	9930	8500	10210	10800	8200	10680
Mg	Medeltal	1177	1099	1154	1167	1101	1234	995	875	963	1269	1042	1103	1292	1239	1202	1386	1281	1260	1035	1015	1011
	Minimum	670	570	801,9	750	720	838,4	720	680	847,5	990	570	912,8	960	910	966	960	850	846	670	820	801,9
	Maximum	1700	2100	2094	1690	2100	2094	1270	1000	1092	1580	1300	1302	1640	1800	1711	1700	1800	1686	1560	1400	1253
Mn	Medeltal	373,1	296,9	351,7	405,3	299,5	382,2	453,8	317,5	421,8	317,8	270,9	319,3	325,4	310,8	296,7	354,2	265,8	337,3	345,2	304,3	324,4
	Minimum	140	98	143,4	160	120	203,5	310	230	266,7	200	98	231,5	200	240	195,4	260	200	193,6	140	180	143,4
	Maximum	770	510	619,6	770	510	619,6	570	410	570,1	470	370	483,2	520	420	491,1	460	360	574	610	440	432,6
Na	Medeltal	67,2	86,4	64,9	54,9	90,7	70,6	48,6	67,6	49,9	48,9	79,8	70,8	111,5	87,5	62,8	106,7	82,3	71,7	55,3	89,9	54,9
	Minimum	20	46	31,65	20	52	39,91	20	52	41,57	20	46	44,03	20	74	41,17	47	47	49,97	20	59	31,65
	Maximum	190	250	188,4	100	250	188,4	82	85	79,6	72	140	110,4	190	110	85,5	180	140	119,5	110	150	87,76
Ni	Medeltal	1,08	2,47	1,91	1,44	4,31	1,97	0,85	1,24	1,27	0,88	1,27	1,46	0,88	1,06	1,68	1,13	1,26	2,08	0,67	1,52	2,27
	Minimum	0,4	0,54	0,625	0,4	0,54	0,625	0,45	0,78	0,908	0,55	1	1,056	0,59	0,58	0,8093	0,42	0,61	0,862	0,41	0,55	0,71
	Maximum	3	17	14,13	2,8	17	4,37	1,5	2,3	1,747	1,7	2,2	2,24	1,5	1,6	3,196	3	2,3	6,348	1,8	7,9	14,13

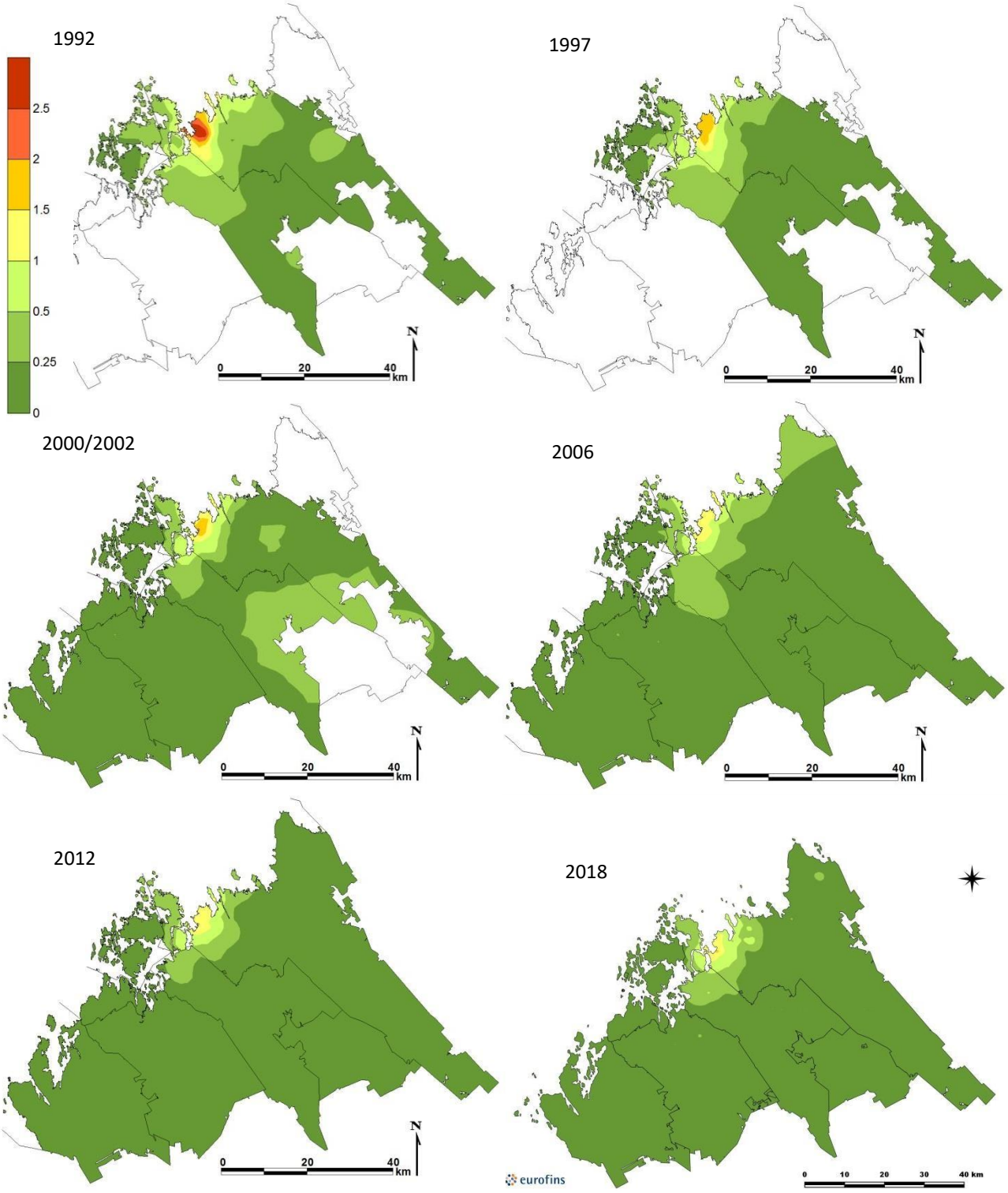
	Kommun	Hela			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
	År	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
	N	103	103	102	40	40	39	8	8	8	9	9	9	13	13	13	12	12	12	21	21	21
P	Medeltal	1348	1358	1542	1389	1368	1611	1079	1149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



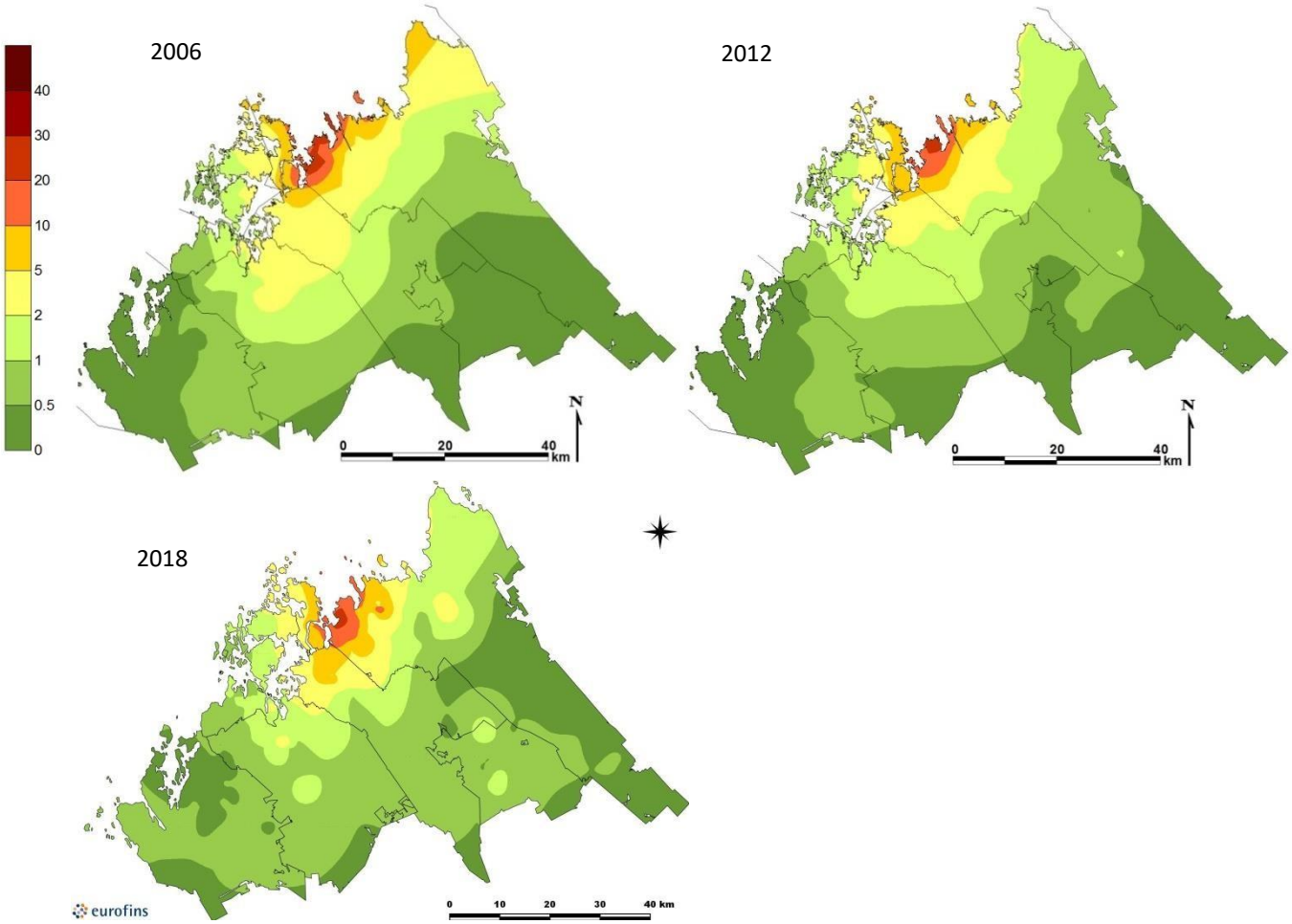
Figur 6-11. Mossans aluminiumhalter (Al mg/kg) i uppföljningsområdet åren 2006, 2012 och 2018.



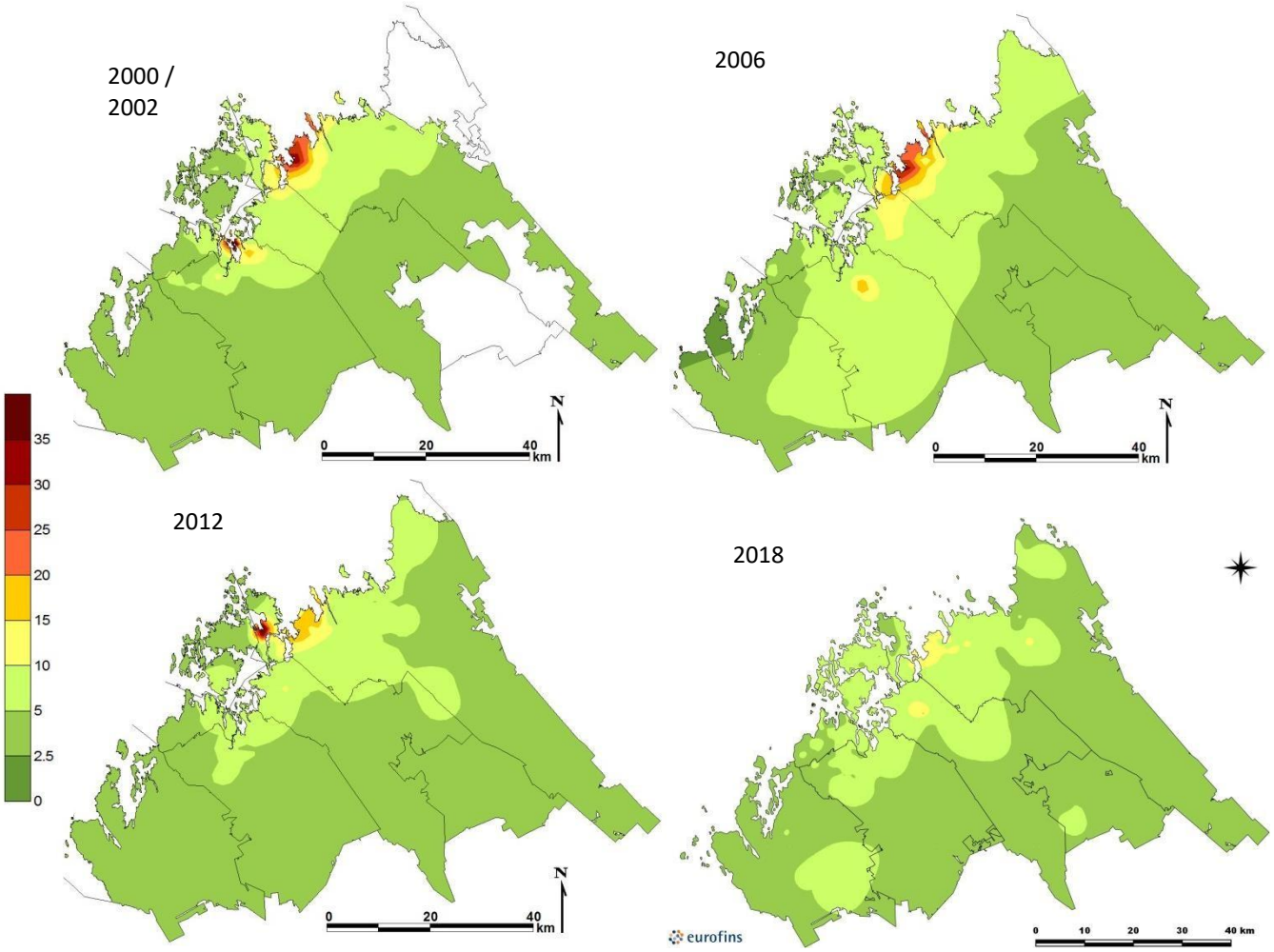
Figur 6-12. Mossans arsenikhalter (As mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 och 2018. Början av skalan är inte enhetlig.



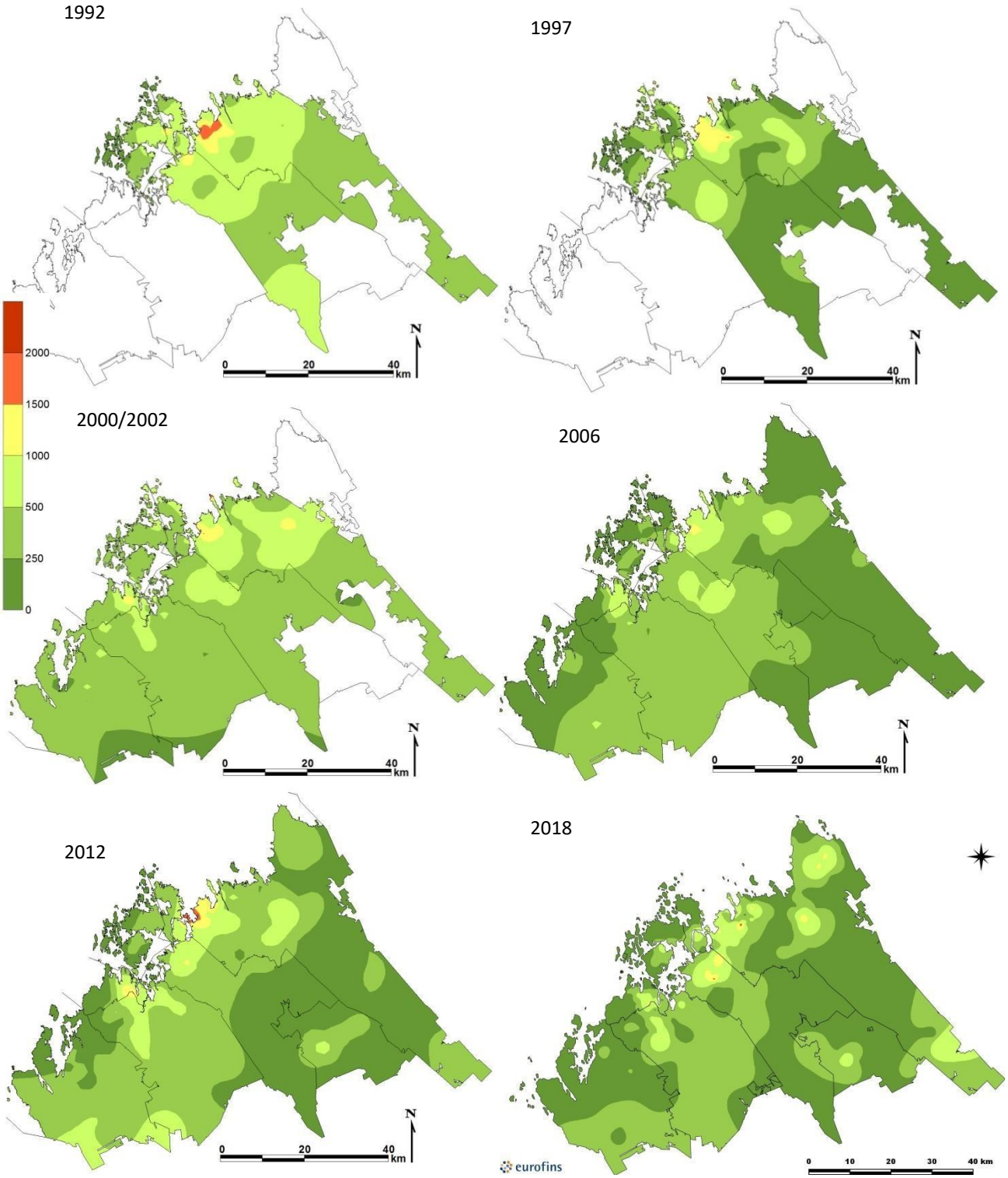
Figur 6-13. Mossans kadmiumhalter (Cd mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 och 2018. Början av skalan är inte enhetlig.



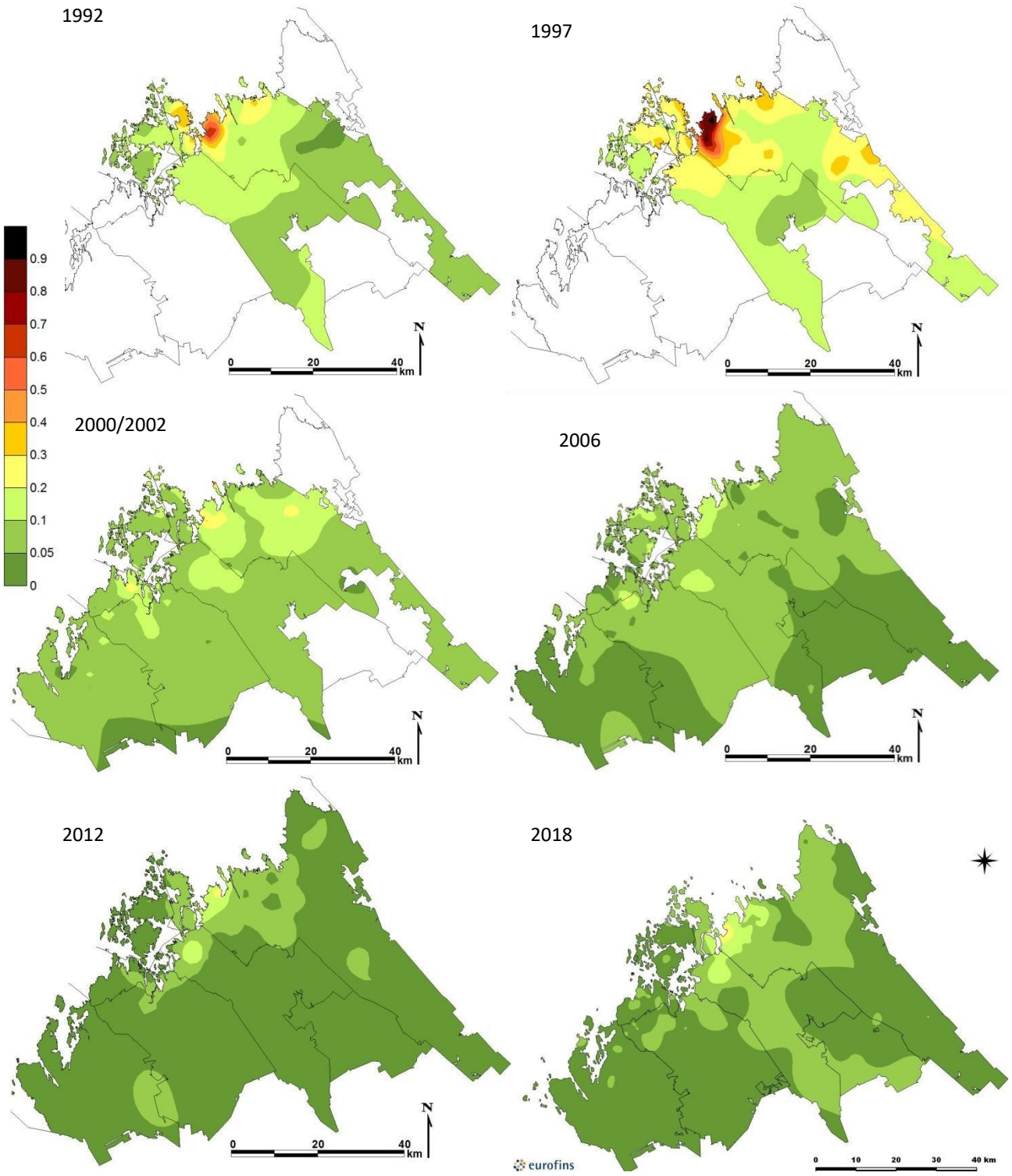
Figur 6-14. Mossans kobolthalter (Co mg/kg) uppföljningsområdet åren 2006, 2012 och 2018. Början av skalan är inte enhetlig.



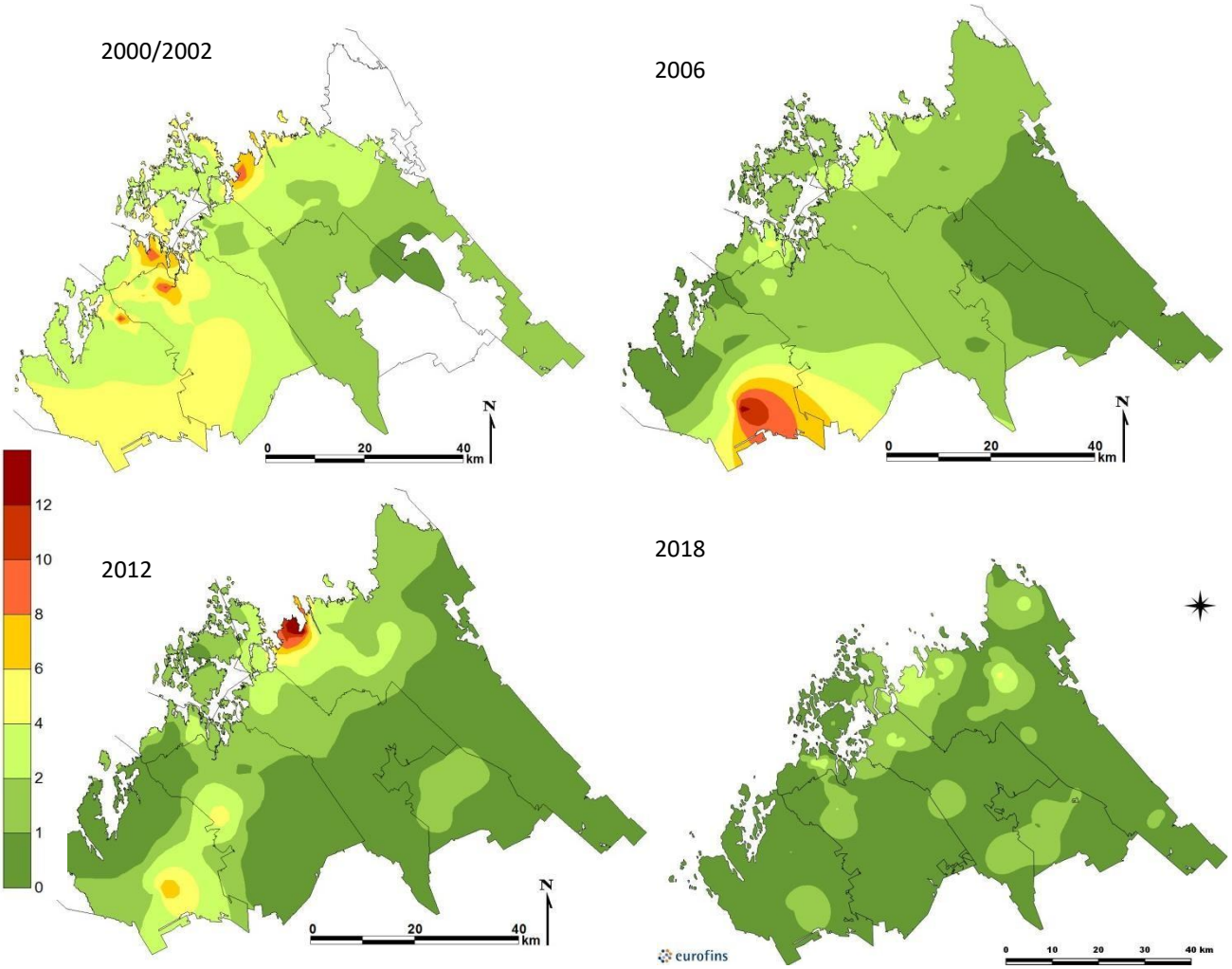
Figur 6-15. Mossans kopparhalter (Cu mg/kg) i uppföljningsområdet åren 2000/2002, 2006, 2012 och 2018. Början av skalan är inte enhetlig.



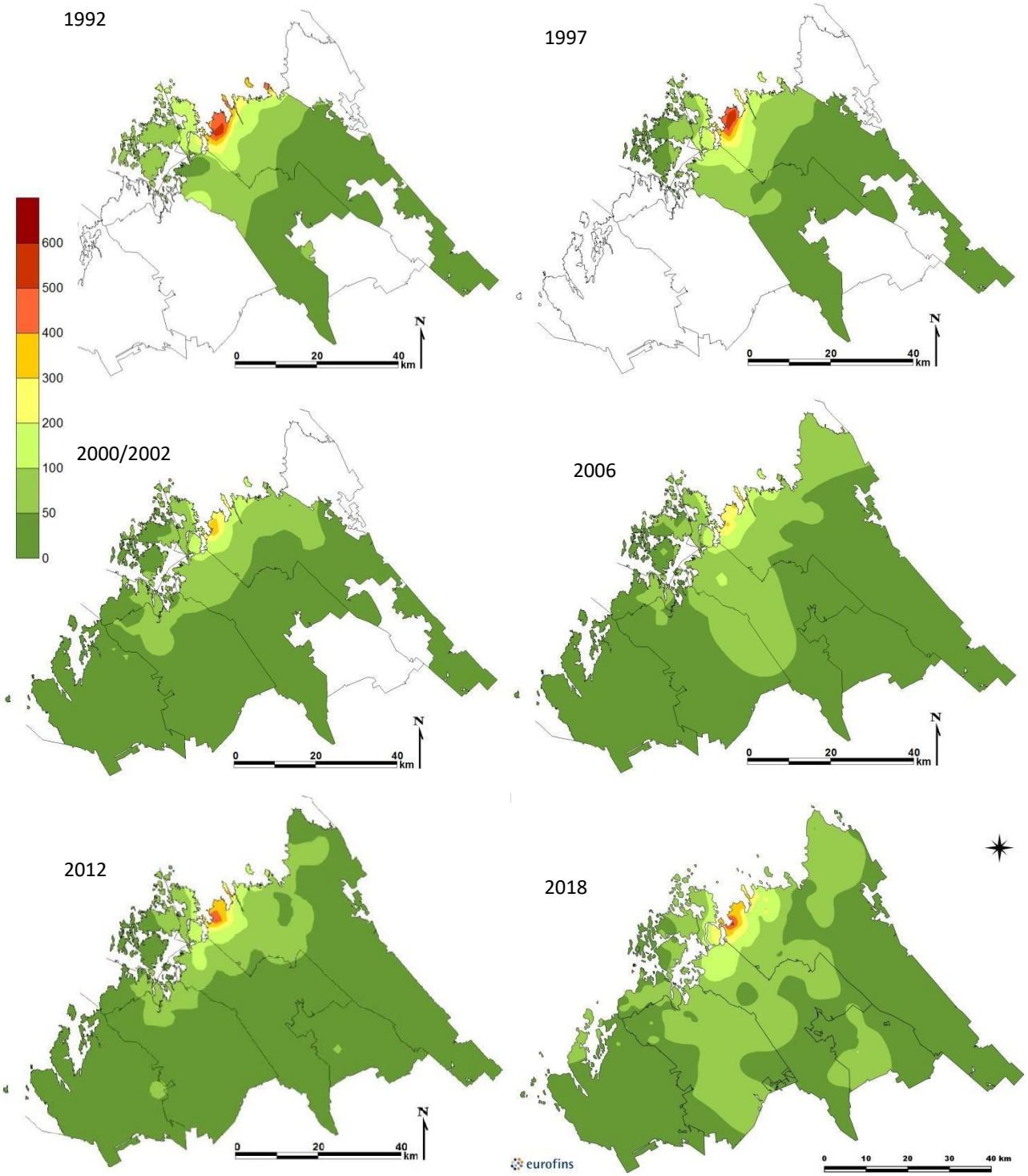
Figur 6-16. Mossans järnhalter (Fe mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 och 2018. Början av skalan är inte enhetlig.



Figur 6-17. Mossans kvicksilverhalter (Hg mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 och 2018. Början av skalan är inte enhetlig.



Figur 6-18. Mossans nickelhalter (Ni mg/kg) i uppföljningsområdet åren 2000/2002, 2006, 2012 och 2018.



Figur 6-19. Mossans zinkhalter (Zn mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006, 2012 och 2018. Början av skalan är inte enhetlig.

6.1.4 Humusens grundämneshalter

Indikatorvärden av humusens grundämneshalter uppföljningsåren 2018, 2012 och 2006 i hela området och per kommun redovisas i följande tabell (Tabell 6-4). Provytor och bakgrundsområdena för Karleby redovisas separat. Skillnaden mellan de observerade halterna uppföljningsåren 2018 och 2012 undersöktes med ett parvis t-test. Nästan signifikant (p<0,05) beroendeförhållande är märkt med en stjärna (*), signifikant (p <0,01) med två (**) och mycket signifikant p < 0,001) med tre (***). I jämförelsen av humusens grundämneshalter ingår alla provytor, inklusive de som blivit förändrade, på grund av det begränsade antalet humusprov på provytor som har förblivit oförändrade. Två provytor i Kaustby lämnades utanför granskningen då Kaustbys provytor grundades år 2018 och Kaustby provtagningstidpunkt avvek från andra humusprov.

Jämfört med 2012 hade halterna av kvicksilver (*) och mangan (*) hade ökat och kalium (**), kalcium (***), krom (**), magnesium (***), natrium (***) samt svavel (**) minskat på ett statistiskt signifikant sätt. Kvicksilverhalterna hade minskat både på provytorna i Karleby och bakgrundsytor. Manganhalterna hade minskat i Larsmo, Pedersöre, Jakobstad och Nykarleby. Aluminiumhalten mellan åren har inte jämförts på grund av skillnader i analysmetoden.

Genomsnittliga kromhalter hade ökat tydligt i Jakobstad och Nykarleby, men också i Larsmo och Pedersöre. Den genomsnittliga svavelhalten hade däremot ökat i Jakobstad, Nykarleby och något också i Larsmo, varemot svavelhalterna i Pedersöre hade inte förändrat på ett statistiskt signifikant sätt. Svavelhalterna var fortfarande lägre än 2006. Kalium-, kalcium-, magnesium- och natriumhalterna hade ökat i alla kommuner från år 2012.

Tabell 6-4. Humusens grundämneshalter per kommun åren 2018, 2012 och 2006.

mg/kg	Kommun	Hela området			Karleby			Karleby, bakgrundsytor			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
	År	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
Al	Medeltal	2248	-	-	2226	-	-	3395	-	-	1528	-		1857	-	-	3648	-	-	1578	-	-
	Minimum	810	-	-	1320	-	-	1830	-	-	1130	-		940	-	-	1880	-	-	810	-	-
	Maximum	6390	-	-	5800	-	-	4960	-	-	2420	-		2640	-	-	6390	-	-	2020	-	-
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
As	Medeltal	11,6	14,8	15,8	13,03	16,8	18,13	1,95	2,85	1,5												
	Minimum	1,7	2,6	1,5	3,8	3,8	3,5	1,7	2,6	1,5												
	Maximum	38,0	43,0	46,0	38,0	43,0	46,0	2,2	3,1	1,5												
	N	15	14	14	13	12	12	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	Medeltal	2,37	2,66	5,06							2,65	4,00		2,34	2,40	4,00	2,40	2,43	7,70	2,20	2,23	3,75
	Minimum	1,40	1,40	3,00							1,70	3,60		1,60	1,40	3,00	1,50	1,80	5,00	1,90	1,90	3,00
	Maximum	3,50	4,70	14,00							3,50	4,70		3,30	3,60	6,00	2,90	2,70	14,00	2,60	2,50	5,00
	N	25	16	13	0	0	0	0	0	0	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Ca	Medeltal	2885	1732	2553	2495	1473	1327,5	2880	1600	2650	3960	2333		2866	1880	4120	2982	2070	4075	2948	1600	2700
	Minimum	480	780	500	480	880	500	1920	1300	2400	2510	1800		1480	1100	3100	1150	780	1700	2240	1400	2300
	Maximum	5440	3700	6200	3960	2200	2600	3840	1900	2900	5440	2900		4620	2800	5000	4400	3700	6200	3790	2000	3300
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Cd	Medeltal	2,05	2,47	3,57	5,43	5,55	6,96	0,26	0,39	0,38	0,37	0,43		0,51	0,41	0,48	0,46	0,51	0,56	0,34	0,33	0,25
	Minimum	0,15	0,23	0,25	0,8	1,2	1,0	0,3	0,4	0,3	0,15	0,25		0,28	0,23	0,25	0,34	0,26	0,25	0,25	0,26	0,25
	Maximum	19,00	18,00	15,00	19,0	18,0	15,0	0,3	0,4	0,5	0,56	0,59		0,98	0,60	0,70	0,65	0,77	1,00	0,51	0,41	0,25
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	2
Co	Medeltal	72,55	85,03	93,71	82,98	99	109	4,7	1,2	2												
	Minimum	2,20	1,00	2,00	9,8	13,0	13,0	2,2	1,0	2,0												
	Maximum	240,00	260,00	220,00	240,0	260,0	220,0	7,2	1,4	2,0												
	N	15	14	14	13	12	12	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	Medeltal	18,11	4,57	5,25							11,13	5,10		10,40	3,70	3,40	27,72	6,95	8,98	24,72	2,88	3,83
	Minimum	2,00	2,60	2,00							2,80	3,70		2,00	2,80	2,00	9,30	5,90	7,80	3,10	2,60	2,00
	Maximum	60,00	8,50	11,00							28,00	6,80		43,0	4,50	5,00	60,00	8,50	11,00	48,00	3,10	6,30
	N	25	16	13	0	0	0	0	0	0	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Cu	Medeltal	61,61	83,83	99,04	167,5	193,1	207,3	7	8,35	9,25	9,48	11,07		9,13	11,20	13,38	18,00	15,00	17,00	7,55	8,03	8,20
	Minimum	5,80	6,40	7,00	24,0	22,0	31,0	6,3	7,2	8,5	5,80	7,20		6,30	6,40	7,90	12,00	10,00	15,00	5,90	6,70	7,00
	Maximum	710,00	660,00	470,00	710,0	660,0	470,0	7,7	9,5	10,0	13,00	14,00		12,00	16,00	17,00	27,00	20,00	19,00	8,80	9,40	8,80
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Fe	Medeltal	5488	5911	11530	7718	9854	19108	7935	3450	4950	2140	3000		1902	2020	2260	11083	7050	12300	1857	1218	2900
	Minimum	990	750	1300	1910	750	3600	2470	2600	2800	1360	1700		1020	1600	1400	3800	2500	3700	990	970	1300
	Maximum	32300	28000	110000	21000	28000	110000	13400	4300	7100	4350	4700		2710	2400	3600	32300	18000	36000	2960	1500	7300
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Hg	Medeltal	1,69	2,28	2,53	1,92	2,61	2,89	0,22	0,30	0,35												
	Minimum	0,21	0,28	0,27	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3												
	Maximum	7,10	8,60	6,20	7,1	8,6	6,2	0,2	0,3	0,4												
	N	15	14	14	13	12	12	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

mg/kg	Kommun	Hela området			Karleby			Karleby, bakgrundsytor			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
	År	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006	2018	2012	2006
K	Medeltal	791	504	820	640	477,5	610	860	365	645	608	473		818	626	934	1160	513	1233	808	515	985
	Minimum	400	250	340	500	250	340	810	350	630	480	250		400	500	760	560	410	830	590	450	600
	Maximum	2690	730	1900	900	730	890	910	380	660	710	610		860	710	1200	2690	600	1900	1260	600	1600
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Mg	Medeltal	557	308	416	501	289,2	289,2	1125	300	360	698	337		553	334	546	447	295	568	510	325	508
	Minimum	300	110	130	330	110	130	770	260	290	490	210		300	230	450	310	240	340	390	210	350
	Maximum	1480	550	710	940	550	490	1480	340	430	1090	450		910	480	680	530	330	710	650	430	690
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Mn	Medeltal	80,6	124,0	94,8							142,3	197,0		89,2	130,2	110,6	43,2	76,5	82,3	64,2	109,0	87,5
	Minimum	11,0	34,0	17,0							29,0	91,0		28,0	43,0	55,0	12,0	34,0	17,0	11,0	47,0	55,0
	Maximum	330,0	340,0	190,0							330,0	340,0		140,0	310,0	190,0	100,0	120,0	150,0	160,0	180,0	130,0
	N	25	16	13	0	0	0	0	0	0	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Na	Medeltal	67,7	35,9	44,6	68,7	37,1	46,8	61	28,5	31												
	Minimum	50,0	15,0	25,0	55,0	15,0	25,0	50,0	25,0	26,0												
	Maximum	92,0	94,0	118,0	92,0	94,0	118,0	72,0	32,0	36,0												
	N	15	14	14	13	12	12	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	Medeltal	32,64	36,03	46,74	78,2	80,3	94,8	12	3,6	5,5	13,75	7,53		8,56	6,06	8,72	14,68	10,03	12,58	7,43	4,15	4,78
	Minimum	3,70	2,90	4,00	19	13	17	7,0	2,9	5,0	7,00	5,50		6,20	3,40	5,30	6,50	5,70	5,40	3,70	4,00	4,00
	Maximum	230,00	210,00	200,00	230	210	200	17,0	4,3	5,9	23,00	8,70		9,50	9,20	14,00	20,00	16,00	19,00	11,00	4,40	5,10
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
P	Medeltal	697	636	980							565	577		609	594	976	950	630	998	663	740	968
	Minimum	410	380	830							410	420		560	490	870	710	380	940	560	540	830
	Maximum	1370	850	1200							660	790		670	670	1100	1370	850	1100	780	840	1200
	N	25	16	13	0	0	0	0	0	0	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
Pb	Medeltal	108,7	32,8	45,5							34,8	24,0		115,0	28,2	39,4	65,0	47,0	66,8	192,2	31,0	32,0
	Minimum	16,0	15,0	23,0							16,0	15,0		16,0	19,0	27,0	35,0	31,0	37,0	24,0	20,0	23,0
	Maximum	980,0	70,0	97,0							46,0	30,0		770,0	42,0	45,0	140,0	70,0	97,0	980,0	36,0	38,0
	N	25	16	13	0	0	0	0	0	0	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
S	Medeltal	1644	1376	2123							1453	1257		1442	1460	2060	1973	1385	2100	1747	1350	2225
	Minimum	420	670	1700							420	670		1110	1100	1700	1390	840	2100	1250	1000	1800
	Maximum	2680	2000	2500							1960	1900		1810	2000	2500	2680	1800	2100	2120	1700	2500
	N	25	16	13	0	0	0	0	0	0	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4
V	Medeltal	19,99	19,87	23,29	20,33	22,03	23,8	17,8	6,95	20,2												
	Minimum	5,60	3,90	7,70	7,6	6,5	7,7	5,6	3,9	8,4												
	Maximum	58,00	64,00	50,00	58,0	64,0	50,0	30,0	10,0	32,0												
	N	15	14	14	13	12	12	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	Medeltal	328,9	378,2	493,5	873,6	865,7	1022,5	49,5	36	47,5	61,0	68,7		62,0	59,2	80,4	100,2	48,5	81,0	49,5	47,3	58,5
	Minimum	36,0	17,0	31,0	67	48	160	49	17	44	55,0	37,0		45,0	23,0	52,0	52,0	24,0	31,0	36,0	37,0	46,0
	Maximum	2820,0	2700,0	2000,0	2820	2700	2000	50	55	51	74,0	86,0		94,0	100,0	110,0	230,0	73,0	120,0	66,0	55,0	65,0
	N	40	30	27	13	12	12	2	2	2	4	3	0	9	5	5	6	4	4	6	4	4

6.2 Jämförelse med andra uppföljningar utförda i Finland

I det här kapitlet jämförs resultaten av uppföljningar utförda på andra håll i Finland med resultaten av bioindikatoruppföljningen i Karleby och Jakobstad.

6.2.1 Tallarnas stamlavar

I tabellen jämförs resultaten av bioindikatoruppföljningen i Karleby och Jakobstad 2018 med resultaten av uppföljningar som utförts på olika håll i Finland med tanke på lavvariablerna (Tabell 6-5). Blåslavens skadeklass i genomsnitt i Karleby-Jakobstadsregionen var något högre jämfört med bioindikatoruppfölningar genomförda åren 2013-2017. Artantalet var lägre än i övriga områden Samma trend observerades också när resultaten från uppföljningen 2012 jämfördes med tidigare uppföljningar. I Karleby-Jakobstadsregionen finns många spridda utsläppskällor både från industrin och från pälsnäring och boskapsskötsel, vilka har påverkat lavarnas kondition och artsammansättning även längre bort från industriområdena och tätorterna.

Tabell 6-5. Blåslavens skadeklass och det trädspecifika artantalet i bioindikatoruppföljningen 2012 i Karleby-Jakobstadsregionen samt i uppföljningar som utförts på olika håll i Finland (Ahma ympäristö Oy 2017, Seppänen m.fl. 2017, Keskitalo m.fl. 2015, Nab Labs Oy 2016a, Ruuth m.fl. 2016, Nab Labs Oy 2016b, Huuskonen m.fl. 2013, Lehkonen m.fl. 2012, Lehkonen m.fl. 2011, Huuskonen m.fl. 2010, Huuskonen m.fl. 2009, Laita m.fl. 2008a, Laita m.fl. 2008b, Laita m.fl. 2007, Haahla m.fl. 2006a, Haahla m.fl. 2006b). Resultat av Karleby-Jakobstad från åren 2018 och 2012 är betonad.

Område	N	Uppföljningsår	Blåslavens skada	Artmängd / träd	Artmängd / yta
Karleby-Jakobstad	**240**	**2018**	**2,6**	**3,1**	**4,1**
Seinäjoki och Södra-Österbotten	97	2017	2,5		6,6
Kajanaland	52	2015	1,7	4,9	
Nyland	734	2014	2,5	4,4	6,7
Björneborg-Harjavalta	107	2014	2,4	3,6	5,7
Egentliga och Päijänne-Tavastland	304	2014	2,5	4,5	6
Vasaregionen	53	2013	2,3	4,3	6
Karleby-Jakobstad	**238**	**2012**	**2,3**	**3,9**	
Södra Karelen	263	2012	2,1	4,9	
Norra Karelen	300	2010	1,9	6,0	
Nyland	776	2009	2,1	4,7	
Pyhäjärviregionen	98	2007	2,1	5,3	
Nystadsregionen	103	2006	2,1	5,1	
Västra Finland	398	2006	2,1	4,1	
Åbo	145	2005	2,2	3,6	
Mellersta Finland	492	2005	2,0		

6.2.2 Tallbarrens grundämneshalter

Resultaten av tallbarrens grundämnesanalyser i Karleby-Jakobstad 2018 jämfördes med resultat från bioindikatoruppföljningar som gjorts på andra håll i Finland (Tabell 6-6). I granskningen ingår också referensvärden av tallbarrens grundämneshalter, som beskriver skogens näringsinnehåll i genomsnitt (Tabell 3-10).

De genomsnittliga halterna av magnesium och mangan var inom referensgränser och den genomsnittlig halten av fosfor var något lägre jämfört med riktvärde. Halterna av andra grundämnen var genomsnittlig på samma eller högre nivå jämfört med referensvärden. Kadmium, koppar, järn och zink var i genomsnitt på något högre nivå jämfört med uppföljningar på andra håll i Finland åren 2013-2017, medan andra halter var på samma nivå som resultaten i jämförelseuppföljningar.

Tabell 6-6. Barrens grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsregionen i bioindikatoruppföljningen 2018 och som gjorts på andra håll i Finland (enligt Ahma ympäristö Oy 2017, Seppänen m.fl. 2017, Nab Labs Oy 2016a, Ruuth m.fl. 2016, Nab Labs Oy 2016b, Huuskonen m.fl. 2013, Reinikainen m.fl. 1998, Brække 1994, Mälkönen 1991 och Raitio 1994; Huuskonen m.fl. 2009, Laita m.fl. 2008c-f, Merilä 2007, Laita m.fl. 2007, Haahla m.fl. 2006, Polojärvi m.fl. 2005). Resultat av Karleby-Jakobstad från åren 2018 och 2012 är betonad.

	År	B	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	N %	Ni	P	S	Zn
Karleby-Jakobstad	**2018**	**12,3**	**3874**	**0,13**	**0,13**	**3,27**	**65,7**	**5607**	**790**	**432**	**1,49**	**0,42**	**1432**	**973**	**52**
Seinäjoki och Södra-Österbotten	2017	15,28	3886	0,08	0,67	2,57	59,3	5973	1005	411	1,34	0,6	1450	943	45,8
Kajanaland	2015	8,29	2590	0,09	0,4	2,56	34,7	4280	720	602	1,2	0,97	1180	770	35,2
Björneborg-Harjavalta	2015		4363					4504	760	700	1,4			1,098	
Egentliga och Päijänne-Tavastland	2014	20	4210					4560	830		0,094			1060	
Vasaregionen	2013	17,6	3521			2,8		5379	899	508	1,47		1490	1067	
Karleby-Jakobstad	**2012**	**16,3**	**2881**	**0,13**	**0,16**	**3,2**	**94**	**5499**	**783**	**388**	**1,4**	**0,94**	**1355**	**947**	**49**
Pyhäjärviregionen	2007	15	3265			3,0	61	5586	767	508	1,49		1457	992	44
Suupohja	2006	16,2	3447	0,12	0,14	2,2	63	4396	892	604	1,51	0,52	1463	1011	49
Vasa	2006	19,3	3475	0,12	0,16	2,4	74	5254	880	519	1,53	0,6	1527	1037	51
Seinäjoki	2006	15,4	3218	0,08	0,13	2,2	68	4697	879	413	1,52	0,41	1461	971	45
Nystadsregionen	2006	19	3524		0,095	2,6	58	5077	887	564	1,57	0,47	1531	1088	52
Åbo	2005		4400					5600	1000	650	1,56			1100	
Mellersta Finland	2005	18,1	4800					5700	1000		1,55		1600	1110	
Nyland (tätort)	2005	20,5	2800	0,2	0,2	3,3	54	5900	1200	419	1,36	1,7	1500	1079	48
ICP Forests	2002-2005	10,3	3080			2,2	40	4580	890	667	1,17		1310	860	48
Referensvärde (Tabell 3-10)		12,1	1850-2280			2,6-3,2	46,4	4820-4870	990-1070	409-555	1,23		1460-1520	940	40-46

6.2.3 Mossans grundämneshalter

Resultaten av mossans grundämnesanalyser i Karleby-Jakobstad 2018 jämfördes med resultat från bioindikatoruppföljningar som gjorts på andra håll i Finland (Tabell 6-7). I granskningen ingår också mossornas grundämneshalter från Metlas studie år 2010 för hela Finland.

De genomsnittliga halterna av undersökta metallerna i Karleby-Jakobstadregionen var högre jämfört med halterna i Metlas forskningsmaterial, med undantag av krom, nickel och vanadin.

Kvicksilver och zink observerades i genomsnitt mer än i andra uppföljningsområden. Däremot var kadmiumhalterna högre jämfört med alla andra jämförliga uppföljningsområden med undantag av Björneborg-Harjavalta. Bly fanns i genomsnitt mer jämfört med alla andra jämförliga uppföljningsområden, med undantag av Egentliga och Päijänne-Tavastland. Järnhalterna var högre än i Kajanaland, Björneborg-Harjavalta och Pyhäjärviregionen. De genomsnittliga halterna av arsenik och koppar var högre jämfört med Kajanaland och Norra Karelen. Halterna av andra grundämnen var på samma nivå eller lägre än i andra uppföljningsområden.

Tabell 6-7. Mossans grundämneshalter (mg/kg) i Karleby-Jakobstadsregionen i bioindikatoruppföljningen 2018 och på andra områden (Ahma ympäristö Oy 2017, Seppänen m.fl. 2017, Nab Labs Oy 2016a, Ruuth m.fl. 2016, Huuskonen m.fl. 2013, Skogsforskningsinstitutet 2012, Lehtinen och Lepola 2012, Lehkonen 2011, Huuskonen m.fl. 2009). Resultat av Karleby-Jakobstad från åren 2018 och 2012 är betonad.

	År		Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Ni	P	Pb	S	V	Zn
Karleby-Jakobstad	**2018**		**250**	**0,2**	**0,23**	**0,76**	**5,71**	**336**	**0,061**	**1188**	**1,12**	**1335**	**2,33**	**869**	**0,83**	**80**
Seinäjoki och Södra-Österbotten	2017		407	0,7	0,071	15,98	5,85	728	0,031	1374	8,56	1281	0,92	754	1,67	32,4
Kajanaland	2017			0,09	0,12	0,92	4,12	232	0,039		3		1,77		1,11	30
Björneborg-Harjavalta	2014			0,495	0,335	0,9	28	286	0,045		8,55		2,175		0,85	40,5
Egentliga och Päijänne-Tavastland	2014				0,17	1,12	5,8		0,04		1,4		3,08		1,4	41
Karleby-Jakobstad	**2012**		**268**	**0,23**	**0,24**	**1,09**	**6**	**435**	**0,05**	**1084**	**2,1**	**1336**	**2,6**	**979**	**1,1**	**74**
Seinäjokiregionen	2012		285	0,38	0,11	3,56	5,76	439	0,03	1389	2,56	1552	1,1	945	1,22	32
Metla	2010	medeltal		0,11	0,12	0,97	5,03	243	0,042		2,51		2,05		1,09	31
		minimum		< 0,10	0,03	0,34	0,74	53	0,016		0,42		0,4		0,32	11,5
		maximum		1,21	0,44	14	55	2230	0,119		88		6,6		14,2	102
Norra Karelen	2010			0,16	0,16	1,7	5,2	431		1171	2,5	1345	1,9	922	1,6	38
Pyhäjärviregionen	2007				0,2	0,74	8,6	282	0,05		2,4		2		1,6	43

6.2.4 Humusens grundämneshalter

Resultaten av humusens grundämnesanalyser i Karleby-Jakobstad 2018 jämfördes med resultat från motsvarande bioindikatoruppföljningar som gjorts på andra håll i Finland (Tabell 6-8).

Arsenik-, kadmium-, kobolt-, koppar-, nickel-, bly- och zinkhalterna i Karleby-Jakobstadregionen var i genomsnitt tydligt högre jämfört med de genomsnittliga halterna i referensområden. Också kromhalterna var genomsnittlig högre jämfört med andra områden. Kvicksilver förekom mer än i forskningsmaterial samlat från hela Finland.

Järn- och vanadinhalterna var på samma nivå eller något högre jämfört med andra forskningsmaterial. Näringshalterna, med undantag av svavel, var mindre eller på samma nivå som i referensmaterialet.

Tabell 6-8. Humusens grundämneshalter och pH i Karleby-Jakobstad bioindikatoruppföljningen 2018 (exl. Kaustby ytor) samt i uppföljningar som utförts på olika håll i Finland (Ruuth m.fl. 2016, Huuskonen m.fl. 2013, Tarvainen m.fl. 2006, Salminen m.fl. 2003). Resultat av Karleby-Jakobstad från åren 2018 och 2012 är betonad.

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

7. SLUTSATSER

Luftkvaliteten i Karleby- och Jakobstadsnejden har följts upp i flera bioindikatoruppföljningar av luftkvaliteten i Karlebynejden sedan 1970-talet och i Jakobstadsnejden sedan början av 2000-talet. År 2012 genomfördes bioindikatoruppföljningen för första gången som en gemensam uppföljning för regionerna, och uppföljningen fortsatte på samma sätt under 2018. Som bioindikatorer för luftkvaliteten användes tallens stamlavar samt grundämneshalterna och de kemiska egenskaperna hos tallbarr, mossor och humus.

I Karleby- och Jakobstadsregionen finns betydande kluster av storindustri och energiproduktion som alstrar svaveldioxid, kväveoxider, partiklar samt tungmetaller. Dessutom alstrar bl.a. trafiken och boskapsuppfödningen samt pälsindustrin luftförorenande utsläpp. Luftföroreningarna från den lokala industrin och de luftburna föroreningarna har i synnerhet i jämförelse med 1980-talen minskat betydligt som en följd av ibruktagandet av skorstensteknologi. Utsläppen från trafiken har också minskat då bilbeståndet har förnyats. Boskapsuppfödningen och i synnerhet pälsdjursuppfödningen, som är en betydande näring i området, alstrar utsläpp av kväveföreningar i form av låga diffusa utsläpp. De diffusa utsläppen rör sig troligen inte så långt, men de kan lokalt också ha starka effekter. Utvecklingen av dessa utsläpp är framför allt kopplade till utvecklingen av antalet gårdar och djurmängderna.

Svaveldioxidutsläppen i forskningsområdet härstammade till största delen från industri och energiproduktion i Karleby och Jakobstad. Av utsläppen av kväveoxider och partiklar härstammade den största delen från Jakobstad, och metallutsläppen från Karleby Svaveldioxidutsläppen ökade i Karleby- och Jakobstadsnejden från mitten av 1990-talet till år 2003, varpå de sjönk, men år 2011 låg de på något högre nivå än i slutet av 1990-talet. Kväveoxidernas årliga utsläppsmängd har varierat. Kväveoxidernas utsläppsmängd har särskilt i Jakobstad varit lägre från år 2012 jämfört med de högsta utsläppsmängderna på 2000-talet. Det har skett en tydlig minskning av partikelutsläppen i området efter år 2003. Metallutsläppen har minskat från 1990-talet till början av 2000-talet, dock så att det efter år 2003 inte skett några anmärkningsvärda förändringar i utsläppsmängderna av metaller. Största delen av metallutsläppen utgörs av zinkutsläpp.

Luftföroreningarnas inverkan på indikatorerna kunde tydligt observeras i områden som belastas kraftigare. I områden med diffus belastning var inverkningarna lindriga. Av de undersökta variablerna visade lavvariablerna en samverkan av luftföroreningar. Grundämneshalterna av barr, mossa och humus beskrev delvis en belastning från luftföroreningar, delvis naturliga faktorer, främst jordmånens egenskaper och näringstillståndet i skogen. Aktiviteter som orsakar belastning av luftföroreningar var förknippade med den regionala växlingen av variabler, och förändringar i utsläppsmängden syntes i förändringar i variabler mellan olika forskningsår. Dock kan naturliga faktorer, t.ex. regn, påverka resultaten genom att buffra eller förstärka effekten av luftföroreningarna, så att indikationen från bioindikatorarterna inte entydigt följer förändringarna i exempelvis utsläppsmängderna.

I genomsnitt kunde *lavfloran* i uppföljningsområdet klassificeras som utarmad-lindrigt utarmad, blåslaven som lindrigt skadad och floran allmänt som tydligt skadad. De tydligaste verkningsområdena med utarmad och skadad lavflora fanns i Karleby på Yxpilaområdet, i Kaustby och i en zon som sträckte sig från Jakobstad genom Pedersöres norra delar till Nykarleby. För lavflorans del fanns områden i mest naturtillstånd i Karleby nära kusten i Öja-området och Larsmo, i de södra gränsområdena i Kronoby och Pedersöre samt i den mittersta delen av Karleby. Då undersökningsområdet jämförs med andra undersökningar utförda i Finland, är lavarnas egenskaper sämre på grund av den intensiva mänskliga verksamheten.

I Karleby uppstår belastningen från industrin i Yxpila. Det fanns bara en yta med total lavöken i Yxpila. Lavöken fanns också i Kaustby och Pedersöre. I Jakobstad finns källorna till områdets största enskilda svaveldioxid- och kväveoxidutsläpp. För dessa anläggningar, såsom överlag för stora energiproduktionsenheter och industrianläggningar, är en hög utsläppsmängd kännetecknande och då tunnas föroreningarna ut i luften och sprids sig till ett bredare område, varpå även effekterna blir proportionellt lindrigare. Dessutom dominerar de sydliga vindarna i området, som sprider kustens utsläpp norrut mot havet. Däremot kan källor med låga utsläpp, såsom pälsfarmer, orsaka kraftiga lokala skador, vilket syns tydligt speciellt i Nykarleby. I statistiska bedömningar har det tydligaste sambandet mellan lavskador och olika utsläppskällor observerats hos energiproduktionsanläggningar och pälsfarmer. Industrianläggningarnas inverkan på lavvariablerna var inte särskilt klar, men man noterade att blåslavens skadeklass ökar i närheten av industrianläggningar.

Man bedömer att resultatet påverkas av att man har slagit ihop både större och mindre industrianläggningar till samma klass Även stora industrianläggningar påverkar lavarna, medan mindre industrianläggningar inte har någon klar inverkan (t.ex. Huuskonen m.fl. 2013). Inverkan av spridda dammutsläpp och VOC-utsläpp på lavarna påverkade inte lavarnas kondition.

Lavar reagerar mycket långsamt på förändringar som sker i belastningsnivån, därför syns de förhöjda utsläppsmängderna i början av 2000-talet i lavfloran under undersökningen år 2006. Under år 2012 var lavindikatorerna i huvudsak bättre än under 2006, medan lavindikatorerna hade försämrats under 2018. Lavvariablernas skadezoner har stannat nästan på samma nivå under olika uppföljningsår. Blåslavens skadeklass hade ökat i Nykarleby-Pedersöre-området. Zonen av en mera utarmad lavflora som sträcker sig från Nykarleby ut mot Karlebys kustområde, har blivit tydligare, liksom i närheten av Kaustby.

Tallbarrens svavel- och kvävehalter beskrev båda den lokala föroreningsbelastningen och skogarnas näringstillstånd. I faktoranalysen påverkade de samma faktor som de andra näringsgrundämnena. Även mossornas svavelhalt påverkade samma faktor som de andra växtnäringsämnena. Växtplatsen inverkade också tydligt på näringsämnena mätta i både barr och mossor, inklusive svavel- och kvävehalterna, så att halten var högre på mer näringsrika växtplatser. De på vissa ställen förhöjda svavel- och kvävehalterna observerades dock på samma områden som utsläppskällorna, och där observerades även lavskador. Alla områden där svavel- eller kvävehalterna var högre än i det övriga området hade dock inte utsläppskällor som skulle ha höjt dem, varvid halterna beskriver belastningsinverkan i förhållande till växtplatsens egenskaper Svavelbelastningen från de tillståndspliktiga anläggningarna i området ökade från slutet av 1990-talet till början av 2000-talet, och minskade fram till 2017, så att uppföljningsperiodens största belastningstopp inföll år 2003. Variationerna i belastning syns i svavelhalterna i barr och mossor, men med en fördröjning så att halterna var som högst år 2006. I Karleby i Yxpilaområdet syns *metallbelastningen* i flera metallhalter i humus, mossa och barr. Flera metallhalter var som högst i Yxpilaområdet. I Yxpilaområdet syns tungmetallbelastningen i halterna i markens humusskikt, som var kraftigt förhöjda, såsom också i tidigare undersökningar. Största delen av de undersökta tungmetallerna påverkade samma faktor i barrens och mossornas faktoranalys, vilket beskriver Yxpilaområdets utsläpp. De högsta halterna av arsenik, kadmium, kobolt, kvicksilver, nickel och zink i barren, mossor och humus koncentrerades helt eller nästan helt till Yxpilas närmiljö. Likartade fokuseringar i en del av provmatriserna fanns även hos krom, koppar, järn, vanadin och bly, men hos dessa observerades även höga halter i andra delar av undersökningsområdet, i närheten av industriverksamhet och energiproduktionsanläggningar. Kadmium, koppar, järn och zink var i genomsnitt på något högre nivå jämfört med uppföljningar på andra håll i Finland åren 2013-2017, medan andra halter var på samma nivå som resultat i jämförelseuppföljningar. Mossornas bly-, kvicksilver- och zinkhalter var huvudsakligen högre jämfört med referensmaterial och -områden. Av de metaller som uppmättes ur humusen var halterna av arsenik, kadmium, kobolt, koppar, kvicksilver, nickel, vanadin och zink i genomsnitt högre än i materialet från andra delar av Finland. Den som inverkar på medeltalen är antalet undersökningsytor; ett stort antal provytor sänker medelvärdet hos barren och mossan, medan provytorna är mera koncentrerade till de belastade områdena i Karleby-Jakobstadsregionen.

Den metallbelastning som sprids genom luften har minskat i Karleby sedan 1990-talet, men på 2000-talet har det inte skett några anmärkningsvärda förändringar i belastningen Ackumuleringsindikatorerna som indikerar metallbelastning, det vill säga grundämneshalterna i barren, mossorna och humusen, fluktuerade mellan olika år. Förändringarna var dock inte entydiga. Humusens kvicksilver- och manganhalter hade minskat på ett statistiskt signifikant sätt från år 2012, och bl.a. krom- och svavelhalterna hade ökat. Tungmetallhalterna i mossor hade antigen minskat eller stannat på samma nivå som 2012. Grundämneshalterna i barren hade ökat för vissa tungmetaller, och minskat för andra.

I Karleby hade mossornas tungmetallhalter minskat i genomsnitt eller stannat på samma nivå med år 2012, medan tallbarrens genomsnittliga halter av kadmium, krom och kroppar hade ökat något jämfört med år 2012. Inkonsekventa förändringar kan orsakas av lokala spridningsförhållanden och också vädret kan inverka på ackumuleringen. Halterna ackumuleras i indikatorarterna huvudsakligen genom stoftnedfall, men i barr kan metaller ackumuleras också via rötterna. Kraftiga regn sköljer kronan, varvid halterna i kronan sjunker, men via stoftnedfall kan mossorna ta åt sig. På vintern påverkar bland annat snötäcket exponeringen. Vid provytorna närmast Karleby har de genomsnittliga halterna av tungmetaller minskat jämfört med 2006, medan näringsämnena hade ökat. Metallhalterna som uppmättes ur mossorna har huvudsakligen minskat jämfört med nivån på 1990-talet.

Inverkan från människan verksamhet syns tydligt i bioindikatorarterna som undersöktes i Karleby-Jakobstadsregionen 2018. Lavflorans kondition och diversitet försämrades av områdets industriverksamhet, energiproduktion och primärproduktion, (främst pälsproduktion). Därtill observerades lokala inverkningar. Intensiteten av inverkan är klart beroende av utsläppshöjden. Utsläpp som sprids från höga skorstenar späds kraftigt ut i luften och sprider över ett bredare område. Utsläpp som sprids från höga skorstenar späds kraftigt ut i luften och förorsakar inte en lika kraftig punktbelastning i ett visst område, som verksamheter med en låg utsläppshöjd (som pälsfarmer). Lavbestånden var i genomsnitt en aning bättre än under den föregående undersökningsomgången år 2012. Mossans metallhalter hade minskat på provytorna närmast Yxpila jämfört med nivån under 1990-talet. Förändringarna under 2000-talet var huvudsakligen små och ingen tydlig öknings- eller minskningstrend kunde observeras i metallhalterna. Då man granskar både halterna och florans kondition, förekom de områden som hade förändrats mest i Yxpila i Karleby och vid Nykarleby-Pedersöres pälsproduktionsområden samt i närheten av industriverksamheterna och pälsproduktionsklustret i Kaustby. Samtidigt förblir det dock kvar zoner inom områdets mera glesbebyggda områden, som har en lavflora i naturtillstånd och halter av grundämnen på dessa, som ligger på samma nivå som hos bakgrundsområden i naturtillstånd.

LITTERATUR

Ahma ympäristö Oy 2017. Seinäjoen seudun ja Etelä-Pohjanmaan bioindikaattoritutkimus 2017. Tutkimusraportti.

Anttonen, T. 1990. Laskeuman ravinteiden vaikutus sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) kasvuun. Kuopion yliopisto, ekologisen ympäristöhygienian laitos. Opinnäytetutkielma.

Binkley D & Högberg P 1997. Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? Forest Ecology and Management 92: 119-152.

Björklund, A., Edén, P., Mattson, L och Sjöstrom, J. 1996. Kallio- ja maaperä. I boken Raitio, H. (red.) Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella. Merenkurkun neuvosto, Jyväskylä.

Brække, F. 1994. Diagnostiske grensevier for naeringselementer i gran-og furunåler. Aktuelt fra skogforsk 15/94. 11 s.

Derome, J, & Väre, H. 1995. Laskeuman vaikutus metsämaahan. Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena. Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti/Ed. Tikkanen, E.

Ferm A, Hytönen J, Kolari K & Veijalainen H 1988. Metsäpuiden kasvuhäiritö turkistarhojen läheisyydessä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 320.

Geologiska forskningscentralen 1999. Suomen kallioperä 1:5 000 000.

Geologiska forskningscentralen 2007. Geokartta-palvelu. http://geokartta.gtk.fi

Haahla, A. Polojärvi, K., Niskanen, I., Laita, M. & Ellonen, T. 2006. Keski-Suomen maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2005-2006. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 162. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet. ISBN 951-39-2546-3.

Helmisaari H-S 1993. Metsikön ja puun ravinnekierto. I boken Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkelä, H. och Nieminen, T. (red.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.

Huuskonen, I., Lehkonen, E. & Ellonen, E. 2009. Pyhäjärviseudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007-2008. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 175. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Huuskonen, I., Lehkonen, E., Keskitalo, T. & Laita, M. 2010. Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. Helsingfors, 184 s.

Huuskonen, I, Lehkonen, E, & Laita, M. 2013. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet, (177).

Ilmatieteen laitos 2019. Säähavaintojen lataus. Kruunupyy Kokkola-Pietarsaari lentoasema. Tillgänglig på: <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>.

Innes JL 1995. Influence of air pollution on the foliar nutrition of conifers in Great Britain. Environmental Pollution 88: 183-192.

Jussila I, Joensuu E & Laihonen P 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsingfors.

Kalliola, R. 1973. Suomen kasvimaantiede. WSOY, Porvoo.

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

Keskitalo, T., Laita, M., Järvisalo, K., Ruuth, J., & Toivanen, H. 2015. Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta 2014. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 109/2015.

Keski-Pohjanmaan liitto 2008. Keski-Pohjanmaan aluerakenne 2030. Läst 29.10.2008.

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

Koljonen, T. (red.) 1992. Suomen geokemiallinen atlas, osa 2: Moreeni. Geologiska forskningscentralen. PunaMusta, Helsingfors.

Kulmala, A., Leinonen, L., Ruoho-Airola, T., Salmi, T. & Waldén, J. 1998. Air quality trends in Finland. Ilmanlaatumittauksia, Air quality measurements. Ilmatieteen laitos, Helsingfors. ISBN 951-697-488-0.

Kommunförbundet 2018. Väestötietoja kunnittain. [Viitattu 5.11.2018]. Tillgänglig på: <https://www.kuntaliitto.fi/asiantuntijapalvelut/vaestotietoja-kunnittain>.

Kuusinen, K., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E.-L. 1990. Epiphytic lichens on conifers in the 1960s to 1980s in Finland. I boken Kauppi, P., Anttila, P. och Kenttämies, K. (red.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. ISBN 3-540-52213-1. S. 397-420.

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

Lahtinen, T. 2018. Ilmanlaadun tarkkailun vuosiraportti 2017. Karleby stad.

Laita, M., Huuskonen I., Keskitalo, T. och Lehkonen, E. 2008a. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 169.

Laita, M., Huuskonen I., Keskitalo, T. och Lehkonen, E. 2008b. Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 167.

Laita, M., Huuskonen, I., Haahla, A., Polojärvi, K. och Ellonen, T. 2007. Turun seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 163. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008c. Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 165. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008d. Suupohjan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 166. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008e. Vaasan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 168. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008f. Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 164. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Landolt W, Guecheca M & Bucher JB 1989. The spatial distribution of different elements in and onthe foliage of Norway spruce growing in Switzerland. Environmental Pollution 56: 1485-1496.

LeBlanc, F. & DeSloover, J. 1970. Relation between industrialisation and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can. J. Bot. 48: 1485-1496. ISSN 0008-4026.

Lehkonen, E, Huuskonen, I, Keskitalo, T, & Laita, M. 2013. Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja/Jyväskylän yliopisto, (176).

Lehkonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. & Laita, M. 2011. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun biondikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- och ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.

Lehtinen, K. och Lepola, A. 2012. Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Ramboll 82139661, 18.12.2012.

Liikennevirasto 2018. Tieliikenteen liikennemäärät –karttapalvelu. [Viitattu 20.11.2018]. Tillgänglig på: <https://julkinen.liikennevirasto.fi/webgis-sovellukset/webgis/template.html?config=liikenne>

Lindroos A-J & Derome J 1998. Laskeuma ja sen vaikutus metsämaahan. I boken Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkelä, H. coh Nieminen, T. (red.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.

Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P. & Willamo, R. 2002. Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. ISSN 1456-8284.

Mattila T.J. & Rajala J. 2018. Kationinvaihtokapasiteetinmääritys ja käyttö viljavuusanalyysin tulkinnassa. Helsingin ylitopisto, Ruralia-instituutti, Raportteja 179.

Melanen M, Ekqvist M, Mukherjee AB, Aunela-Tapola L, Verta M & Salmikangas T 1999: Raskasmetallien päästöt ilmaan Suomessa 1990-luvulla. Suomen ympäristö 329. Suomen ympäristökeskus.

Merilä, P. 2007. Needle chemistry on the intensive monitoring plots 1995-2003. I boken Merilä, P., Kilponen, T. ja Derome, J. Forest condition monitoring in Finland - National report 2002-2005. Working papers of the Finnish forest research institute 45.

Skogsforskningsinstitutet 2012. Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa - kartoitus sammalten pitoisuuksien perusteella 1985-2010. Sammalten raskasmetallipitoisuuksista Suomessa 1985-2010. http://www.metla.fi > metinfo > metsien terveys > raskasmetallilaskeuma. Läst 2/2013.

Moser B, Punz W & Maier R 1993. Inmissionskartierung im Geboiet des Südöstlichen Niederösterreichs anhand des Fichtenborkentests. Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Österreich 130: 135-155.

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

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

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

Nieminen T, Raitio H & Salemaa M 1993. Neulasten kemiallinen koostumus elinvoimatunnuksena. I boken Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkelä, H. och Nieminen, T. (red.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.

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

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

Niskanen I, Ellonen T & Witick A (1998): Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1997. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 150.

Niskanen, I., Polojärvi, K., Witick, A., Haahla, A. och Laitakari, V. 2003. Kokkolan seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus 2002. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 156.

Partanen, P. och Veijola, H. 1996. Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. YTV, Helsingfors. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996:18. ISSN 0357-5454.

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

Pihlström, M. och Myllyvirta, T. 1995. Ilman epäpuhtauksien leviämis- ja vaikutustutkimus Itä- Uudellamaalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa 1994-1995. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry, Porvoo. Tutkimusraportti.

Pohjanmaan liitto. 2006. Pietarsaaren seudun aluerakennesuunnitelma 2030. Perusselvitys. Vasa.

Polojärvi K, Niskanen I, Haahla A & Ellonen T 2005. Mittaustarkkuus mäntyjen runkojäkälistön ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioiden havainnoinnissa. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet. Tutkimusraportti 89/2005.

Raitio H 1990. Decline of young Scots pines in a dry heath forest. Acta universitas Ouluensis. A 216.

Raitio H 1994. Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysin valossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527. 25-34.

Raitio H & Kärkkäinen K 2002. Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Pietarsaaren-Uudenkaarlepyyn alueella 2000. Skogsforskningsinstitutet, Parkanon tutkimusasema.

Raitio H & Merilä P 1998. Seasonal variation in the size and composition of Scots pine and Norway spruce needles in different weather conditions. European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems / Level II, Finland. Pilot study, technical report. The Finnish forest research institute, Parkano.

Raitio, H. 1983. Macro-and microscopic symptoms in growth disturbed forest trees. Communicationes-Instituti Forestalis Fenniae.Ranta, E., Rita, H. och Kouki, J. 1989. Biometria. Helsinki, Yliopistopaino, 569 s. ISBN 951-570-032-9.

Rautjärvi H & Raitio H 2003. Neulasten alkuainepitoisuudet sekä niiden suhde näytepuiden neulaskatoon ja epifyyttijäkäliin Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueella vuosina 2000 ja 2001. Uudenmaan ympäristökeskus, monisteita nro 120. Helsingfors.

Reinikainen A, Veijalainen H & Nousiainen H 1998. Puiden ravinnepuutokset - metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688.

Reinikainen J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määritysperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I., Leppänen, E. och Kiljunen, A. 2016. Kanta- ja Päijät-Hämeen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 6/2016.

Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K., Mäkinen, A., & Steinnes, E. 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985-monitored by moss analyses. Nord, 21, 44.

Salminen, R., Bogatyrev, I., Chekuskin, V., Glavatskkikh, S.P., Grerauskiene, V., Niskavaara, H., Selenok, :, Tenhola, M. och Tomilina, O. 2003. Barents ecogeochemistry - a large scale geochemical base study of heavy metals and other elements in surficial deposits, NW-Russia and Finland. Teoksessa Autio, S. (red.) Geological survey of Finland, Current Research 2001-2002. Geological Survey of Finland, Special Paper 36, 45-52.

SFS 5670. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. 1990. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. *Kumottu 31.3.2014.*

SFS 5671. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, 1990. *Kumottu 31.3.2014.*

Seppänen, A., Laatikainen, T., Piispanen, J., Poikolainen, J., Karhu, J., Seppänen, R., & Kubin, E. 2017. Kainuun bioindikaattoriselvitys. Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Elinvoimaa alueelle 3/2017

Tamminen P 1998. Maaperätekijät. I boken Mähkönen, E. (red.) Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691. S. 64-82.

Tarvainen, T. (red.), Eklund, M., Haavisto-Hyvärinen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Karttunen, V., Kuusisto, E., Ojalainen, J. och Teräsvuori, E. 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Geologiska forskningscentralen. Tutkimusraportti 163.

Thelin, G., Rosengren-Brinck, U., Nihlgård, B. & Barkman, A. 1998. Trends in needle and soil chemistry of Norway spruce and Scots pine stands in South Sweden 1985 –1994. Environmental pollution 99(2):149-158. ISSN 0269-7491.

Volumes 91-100> Volume 99, Issues 2, Pages 141-292 (1998)> Pages 149-158, PdfUlrich B (1991): Deposition of acid and metal compounds. I boken Merian, E. (red.) Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance. VHC.

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007.

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

Värri E 2007. Raskasmetallikuormitus Kotkan Energia Oy:n tulevan hyötyvoimalan ympäristössä 2006 sammalpallomenetelmällä arvioituna. Kotkan ympäristökeskus. 43 s.

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

Ympäristöhallinto 2016. Ilman epäpuhtaudet Suomessa. [Viitattu 16.11.2018]. Tillgänglig på: < http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu/Ilman_epapuhtaudet_Suomessa>

Äyräs M, Niskavaara H, Bogatyrev I, Chekuskin V, Pavlov V, de Caritat P, Halleraker JH, Finne TE, Kashulina G & Reimann C 1997. Regional patterns of heavy metals (Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V and Zn) and sulphur in terrestrial moss samples as indication of airborne pollution in a 188,000 km^2 area in Northern Finland, Norway and Russia. Journal of Geochemical Exploration 58: 269-281.