JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Miljöforskningsinstitutets meddelanden 178

BIOINDIKATORUPPFÖLJNING AV LUFTKVALITETEN I KARLEBY- OCH JAKOBSTADSNEJDEN 2012

Irene Huuskonen, Emmi Lehkonen och Mika Laita

2013

AMBIOTICA

Muuttuvan ympäristömme asiantuntija

Miljöforskningsinstitutets
meddelanden
178

BIOINDIKATORUPPFÖLJNING AV LUFTKVALITETEN I KARLEBY- OCH JAKOBSTADSNEJDEN 2012

Irene Huuskonen, Emmi Lehkonen och Mika Laita

Jyväskylä universitet
Miljöforskningsinstitutet
2013

Kartor:
Baskartor © Karttakeskus Oy, Tillstånd L10047/13.
CLC2000 markanvändnings/marktäckningsdata (generaliserad 25 ha) © SYKE, EEA
Då CLC2000 materialet framställts har man använt följande informationsproducenters material: SYKE, LMV, JSM (åkeruppgifter 1999), BRC (bebyggda områden 2001) och Forststyrelsens och UPM Kymmene Oy:s material som utnyttjats i tolkningen av satellitbilder.

ISSN 0781-8793
ISBN 978-951-39-5253-2 (tryckt)
ISBN 978-951-39-5254-9 (webbpublikation)
Jyväskylän yliopistopaino, Jyväskylä 2013

Översättning: Lingsoft Oy

SAMMANDRAG

Luftkvaliteten i Karlebyregionen har följts upp med hjälp av bioindikatorer sedan 1970-talet, och i Jakobstadsnejden sedan början av 2000-talet. Som bioindikatorer för luftkvaliteten användes tallens stamlavar samt grundämneshalter och de kemiska egenskaperna hos tallbarr, mossor och humus. År 2012 genomfördes bioindikatoruppföljningen för första gången som en gemensam uppföljning för regionerna.

Inverkan luftens föroreningar har på indikatorerna kunde tydligt observeras på mera belastade områden, på mindre belastade områden var inverkan svagare. Av de undersökta parametrarna, beskrev parametrarna för lavar olika luftföroreningars (svaveldioxid, kväveoxider, partiklar och metallutsläpp) samverkan. Grundämneshalterna i barr, mossa och humus beskrev delvis belastningen från luftföroreningar (svaveldioxid, kväveoxider, metallutsläpp), och delvis naturliga faktorer, främst jordmånens egenskaper och skogarnas näringstillstånd.

I Karleby- och Jakobstadsregionen finns betydande kluster av storindustri och energiproduktion som alstrar svaveldioxid, kväveoxider, partiklar och tungmetaller. Dessa utsläppskällor har en inverkan på lavflorans sammansättning och kondition på så vis, att i närheten av anläggningarna är lavflorans kondition sämre och lavfloran är mera utarmad än på bakgrundsområden. 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.

Utsläppsmängderna från de tillståndspliktiga anläggningarna var som högst under början av 2000-talet, när man utför granskningen från mitten av 1990-talet. På grund av detta var lavfloran i genomsnitt i sämst kondition och svavelhalterna var som högst år 2006, och år 2012 hade de återhämtat sig till nivån som rådde år 2002. I området för Nykarleby-Pedersöre har skadorna på blåslaven ökat, och zonen av en mera utarmad lavflora som sträcker sig från Nykarleby ut mot Karlebys kustområde, har blivit tydligare.

I närheten av metallutsläppskällorna, särskilt vid Yxpila området, är halterna av tungmetaller förhöjda både i humus, mossor och i barren. Uppmätt som totala utsläppsmängd och med beaktande på halterna är den mest anmärkningsvärda enskilda metallföroreningen som uppbärs i luften, zink. Metallbelastningen som sprids via luften har minskat i Karleby sedan 1990-talet, men under 2000-talet har inga anmärkningsvärda förändringar skett i Karleby eller Jakobstad. Jämfört med nivån på 1990-talet har mossornas metallhalter minskat. Under 2000-talet kan man i barrens, mossans och humusens metallhalter observera en variation mellan olika uppföljningsår, men förändringarna är inte entydiga och halterna har främst i genomsnitt förblivit inom samma storleksklass.

Inverkan från människan verksamhet syns tydligt i bioindikatorarterna som undersöktes i Karleby-Jakobstadsregionen. Då man granskar både grundämneshalter och lavflorans kondition, ligger de områden som förändrats mest i Yxpila området i Karleby och på Nykarleby-Pedersöres pälsproduktionsområden samt i närheten av industriverksamhet och pälsproduktionskluster i Kaustby. Samtidigt förblir det dock kvar zoner inom områdets mera glesbebyggda områden, som har en lavflora i naturtillstånd och halterna av grundämnen på dessa ligger på samma nivå som hos bakgrundsområden i naturtillstånd.

INNEHÅLL

1. INLEDNING 1

2. UPPFÖLJNINGSOMRÅDE 2

2.1 Allmän beskrivning 2
2.2 Luftkvaliteten i uppföljningsområdet 4
2.2.1 Utsläpp 4
2.2.2 Utvecklingen av utsläppsmängderna 8
2.2.3 Luftkvaliteten i Finland 11

3. UPPFÖLJNINGSMATERIAL OCH -METODER 12

3.1 Provytor 12
3.2 Forskningsgruppen och tidpunkten för fältarbetena 14
3.3 Tallens stamlavar 15
3.3.1 Luftföroreningarnas effekter på stamlavar 15
3.3.2 Undersökta lavarter 15
3.3.3 Bedömning av skador och täckningsgrader 19
3.4 Grundämneshalter i barr, mossor och humus 21
3.4.1 Barrens grundämneshalter och fastställandet av dessa 24
3.4.2 Mossans grundämneshalter och fastställandet av dessa 25
3.4.3 Fastställande av grundämneshalter och kemiska egenskaper i humus 26
3.5 3.2.11 Geoinformationsmetoder 28
3.6 Statistiska metoder 28
3.6.1 Bakgrundsvariablernas inverkan 29
3.6.2 Regressionsanalys 29
3.6.3 Faktoranalys 30
3.6.4 Korrelationer 30
3.6.5 Jämförelser mellan år 30
3.7 Felkällor och tillförlitlighet 31
3.7.1 Lavkartering 31
3.7.2 Fastställande av barrens grundämneshalter 32
3.7.3 Fastställande av grundämneshalter i mossa och humus 33

4. RESULTAT 34

4.1 Tallarnas stamlavar 34
4.1.1 Blåslavens skadeklass 34
4.1.2 Allmän skadeklass 37
4.1.3 Mängder och förekomsten av lavarter 39
4.1.4 Täckningsgrader 41
4.1.5 IAP-index 43
4.2 Tallbarrens grundämneshalter 45
4.3 Mossornas grundämneshalter 57
4.4 Humusens grundämneshalter 70

5. GRANSKNING AV RESULTATEN 86

5.1 Statistisk granskning av lavvariablerna 86
5.1.1 Klassvariablernas inverkan 86
5.1.2 Regressionsanalyser 89
5.2 Statistisk granskning av grundämneshalterna för barr och mossor 93
5.2.1 Faktoranalys av barrens grundämneshalter 93
5.2.2 Faktoranalys av mossans grundämneshalter 95
5.3 Korrelationer i humusens grundämneshalter 98
5.4 Sammandrag 99

6. JÄMFÖRELSE 100

6.1 Jämförelse mellan olika år 100
6.1.1 Tallarnas stamlavar 100
6.1.2 Barrens grundämneshalter 108
6.1.3 Mossans grundämneshalter 111
6.1.4 Humusens grundämneshalter 122
6.2 Jämförelse med andra uppföljningar utförda i Finland 128
6.2.1 Tallarnas stamlavar 128
6.2.2 Barrens grundämneshalter 129
6.2.3 Mossans grundämneshalter 129
6.2.4 Humusens grundämneshalter 131

7. SLUTSATSER 132

1. Inledning

Luftkvaliteten i Karleby- och Jakobstadsnejden har följts upp i flera bioindikatoruppföljningar av luftkvaliteten i Karlebynejden sedan 1970-talet och i Jakobstadsnejden sedan år 2000. I de utförda uppföljningarna i Karlebynejden har bl.a. vegetationen av tallens stamlavar undersökts och tallbarrens grundämneshalter samt trädkronornas kondition hos tallen (Laaksovirta och Olkkonen 1977, Kling m.fl. 1985, Väisänen 1986, Pesonen m.fl. 1987, Kekäläinen och 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 (Raitio och Kärkkäinen 2002, Laita m.fl. 2008b) 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.

Forskningsresultaten från Karleby- och Jakobstadsnejden har tidigare år rapporterats i egna regionala rapporter, men resultaten från 2012 rapporteras i en gemensam rapport. Som indikatorer på luftkvalitet användes 2012 vegetationen av 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 miljöns tillstånd kan till exempel observeras i organismartens struktur, organismernas grundämneshalter, riklighet och utbreddhet samt i strukturförändringar hos organismsamhällen. Vegetationen av 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 räcker 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 skillnad från tidigare uppföljningar följdes inte längre trädkronornas kondition upp i uppföljningen 2012, eftersom man konstaterat att kronkonditionen inte är någon bra indikator på föroreningseffekterna.

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 var med genomfördes uppföljningen på samma provytor som i tidigare uppföljningar. Dessutom kompletterade man det befintliga provytsnätverket genom att anlägga nya provytor i närheten av olika utsläppskällor, t.ex. pälsfarmer, boskapsskydd, industrianläggningar och skjutbanor samt i bakgrundsområdena. Sammanlagt ingick 238 provytor, varav 137 i Karlebyområdet och 101 i Jakobstadsområdet. Resultaten jämfördes med uppföljningen från åren 2006–2007 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 samt grundämneshalter samt genom att granska resultat och förändringar i dessa i förhållande till utvecklingen av utsläppsmängderna.

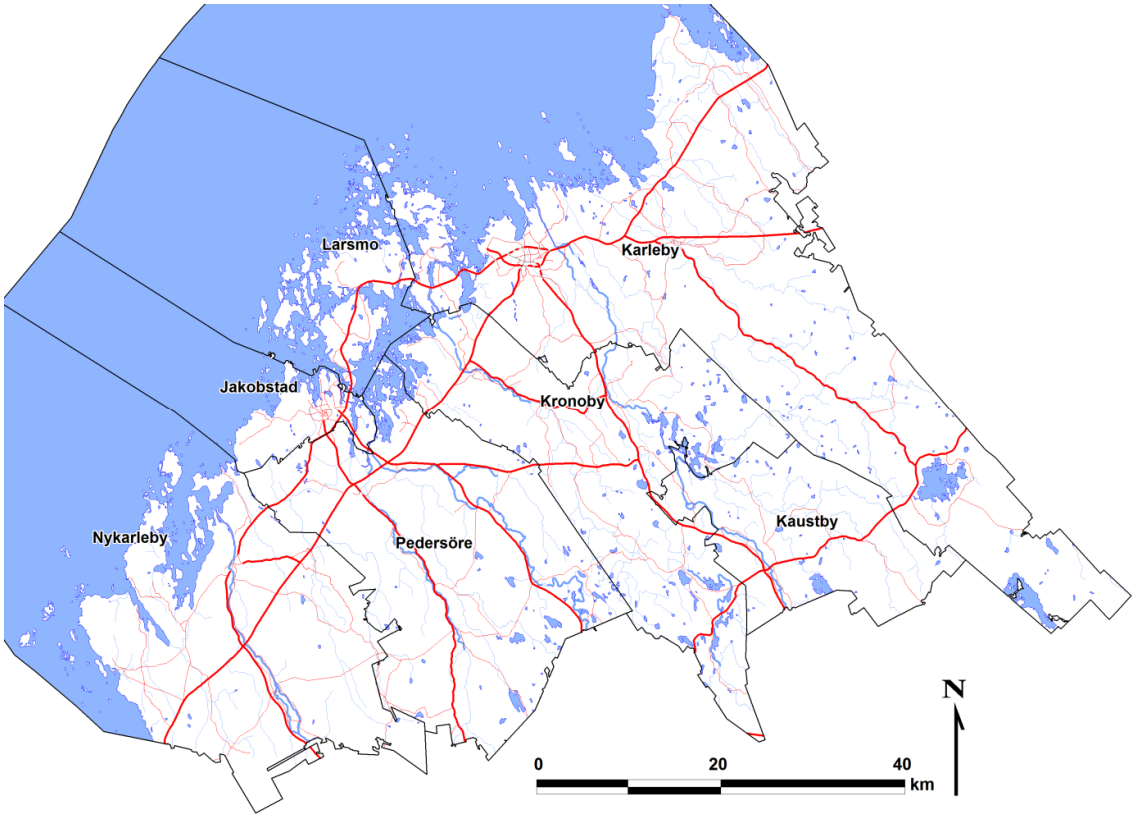
De som beställde uppföljningen är kommunerna som deltog i uppföljningen. Dessa finansierade också uppföljningen tillsammans med områdets industri. Uppföljningen förverkligades av miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet. Uppföljningens fältarbeten utfördes sommaren 2012

och i dessa deltog forskarna Emmi Lehkonen, Irene Huuskonen och Anne Kiljunen samt forskningsassistent Janne Ruuth. Forskare Irene Huuskonen analyserade forskningsmaterialet och sammanställde denna uppföljningsrapport.

2. Uppföljningsområde

2.1 Allmän beskrivning

Figur 1 visar de kommuner som deltagit i uppföljningen. 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.

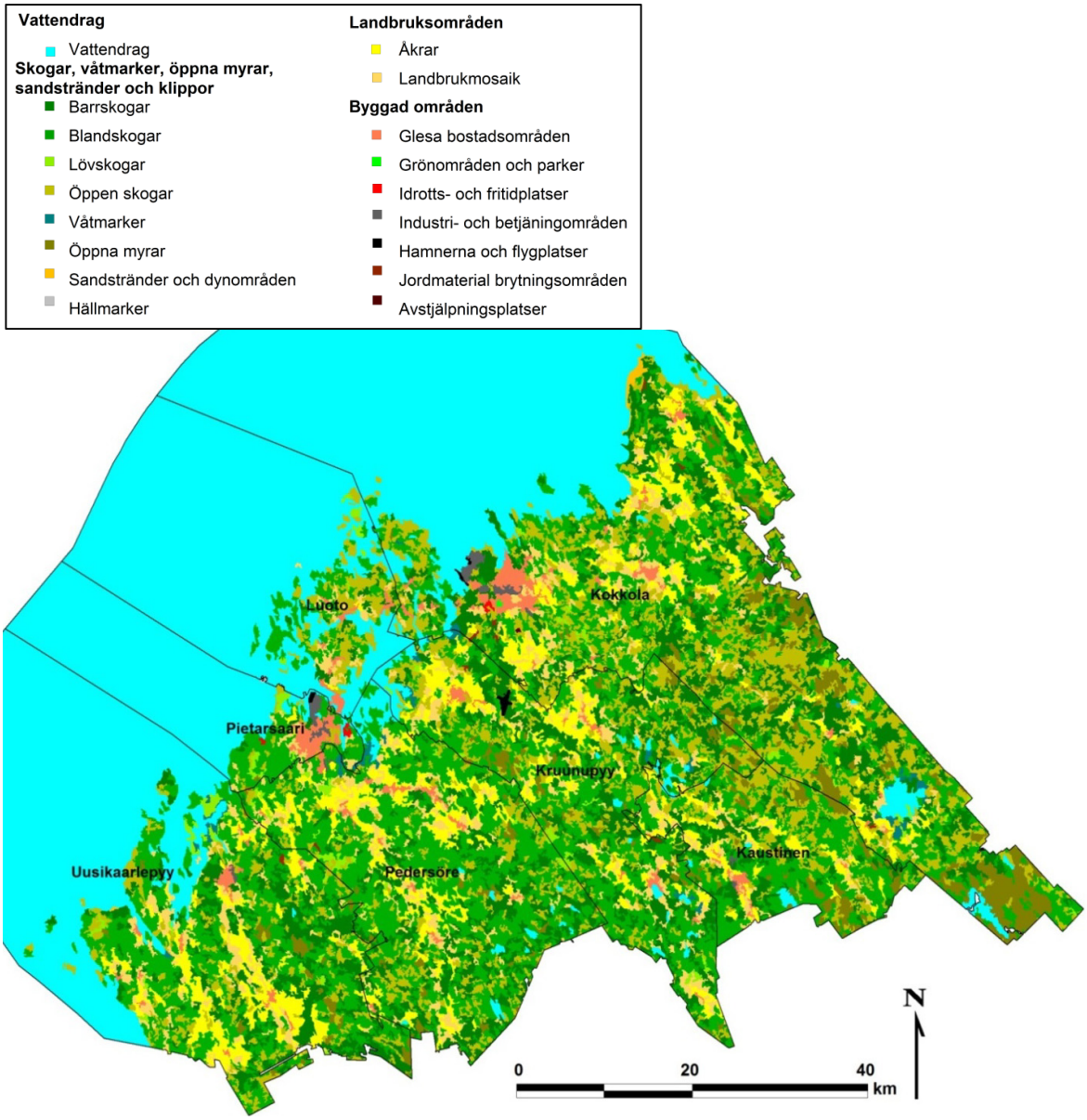


Figur 1. Kommuner som deltagit i bioindikatoruppföljningen i Karleby- och Jakobstadsnejden år 2012 samt områdets huvudvägsnätverk.

Figur 2 visar markanvändningen på uppföljningsområdet enligt CLC2000 markanvändnings/marktäckningsdata. I Finlands geobotaniska områdesindelning ligger Karleby- och Jakobstadsnejderna i Sydösterbottens zon. Den nordligaste delen ligger nära övergångszonen för Österbotten-Kajanaland. 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. Jordbruksmarkens andel av uppföljningsområdets yta är 17 procent. 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 2009). 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

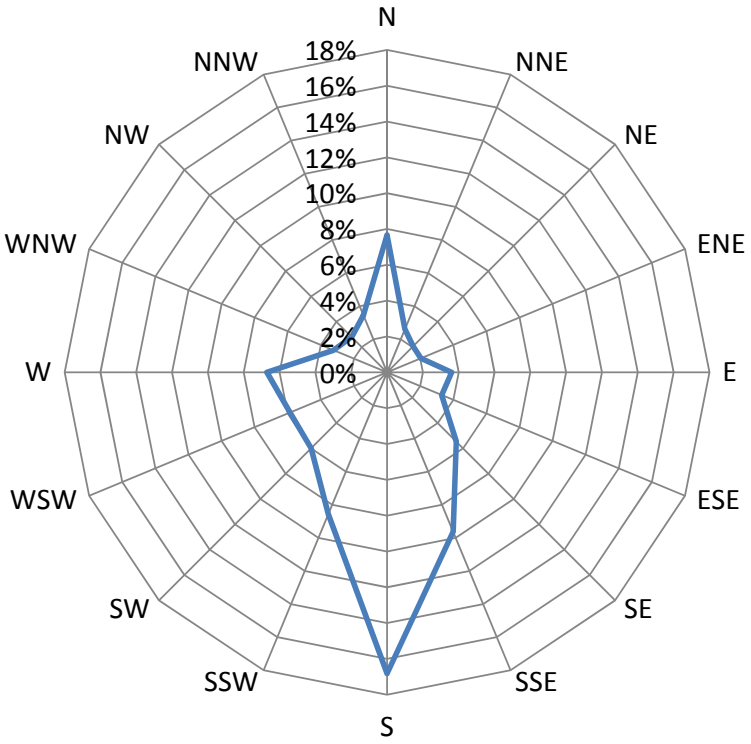
här mineralena kan förorsaka att försurande föreningar samt tungmetaller släpps ut i jordmån och vattendrag (Björklund m.fl. 1996).

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 46 000 invånare, näst störst är Jakobstad med ca 20 000 invånare. (Statistikcentralen) Uppföljningsområdet genomkorsas i sydvästlig-nordostlig riktning av riksväg 8, vars genomsnittliga dygnstrafik varierar mellan 4 000–12 000 fordon (Södra-Österbottens ELY-central 2012). 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; av alla Finlands kommuner hade Nykarleby åren 2009–2011 störst andel skatteinkomster från pälsnäringen av alla kommunens skatteinkomster (Pyykkönen och Huovari 2012).



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

Figur 3 visar rådande vindriktningar i området 2011 baserat på väderobservationsdata från Kronoby flygfält (Wunderground 2013). I området dominerade sydliga vindar.



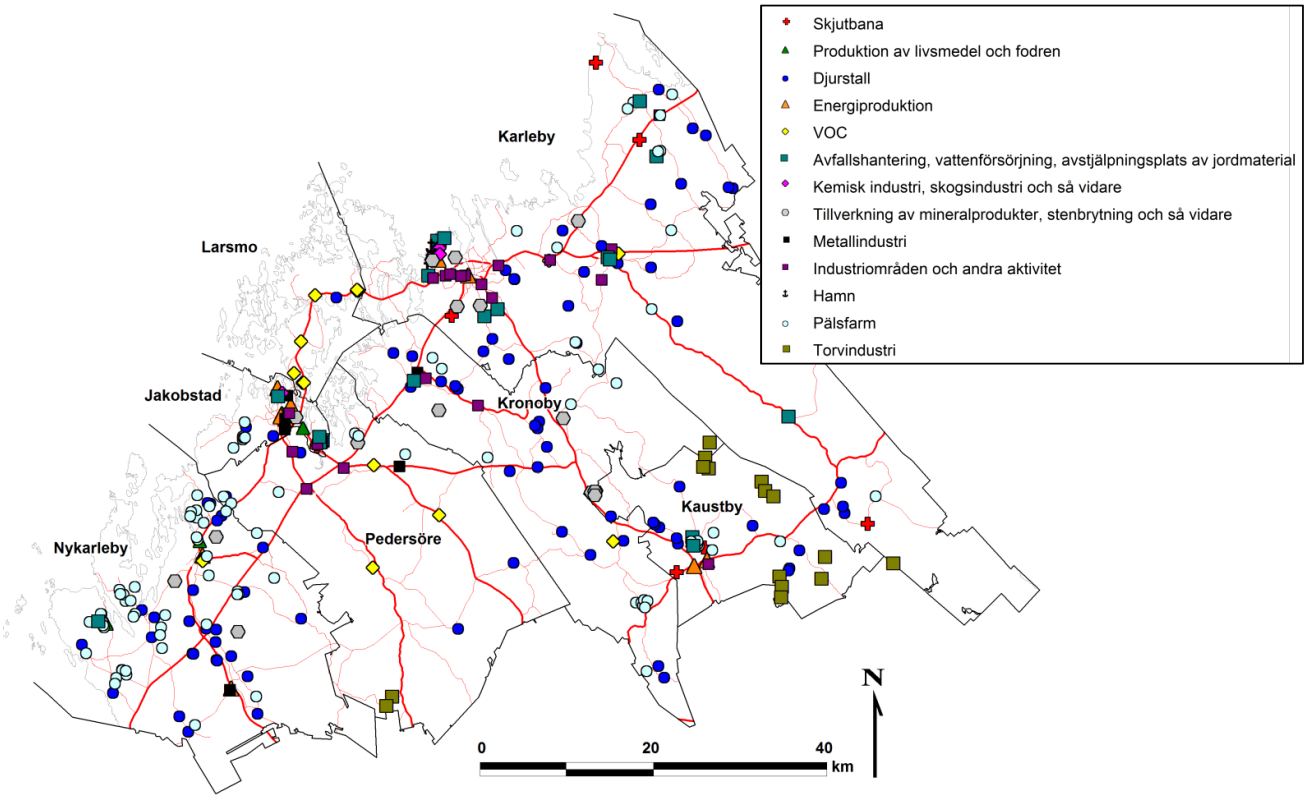
Figur 3. Rådande vindriktningar på Kronoby flygfält 2011.

2.2 Luftkvaliteten i uppföljningsområdet

I detta kapitel presenteras de mest betydande utsläppskällorna i uppföljningsområdets samt utsläppsmängdens utveckling från och med 1995.

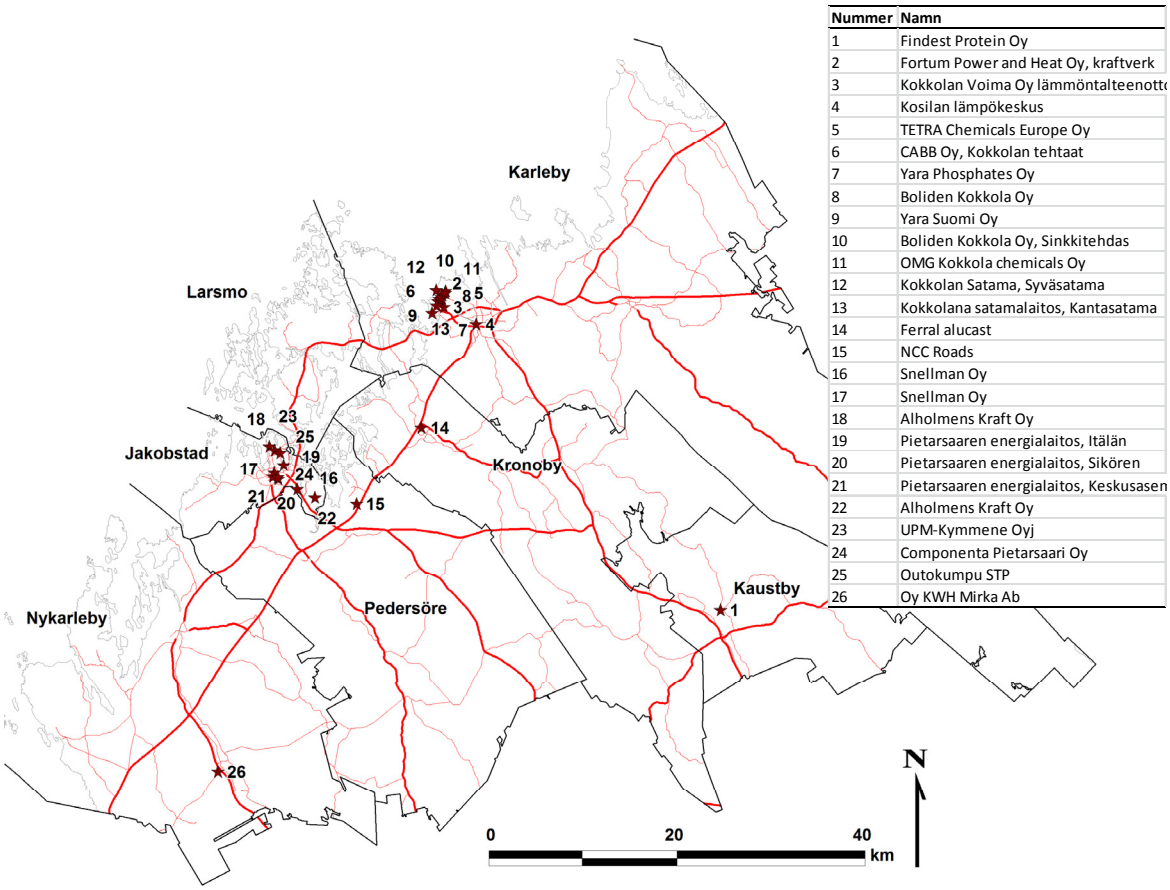
2.2.1 Utsläpp

I figur 4 presenteras 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. Uppgifter om utsläpp rapporteras inte om merparten av utsläppskällorna som presenteras i figuren; till exempel är utsläpp från djurskydd och pälsfarmer sådana utsläpp där statistikuppgifter saknas.



Figur 4. Utsläppskällor i Karleby- och Jakobstadsområdet.

I tabell 1 presenteras anläggningsspecifika utsläppsmängder av svaveldioxid, kväveoxider och partiklar samt utsläppsvolymen i trafiken per kommun 2011. I figur 5 presenteras samma utsläppskällor på karta. Uppgifterna om utsläppen från industrin grundar sig på VAHTI-databaserna. Trafikens emissioner har beräknats med VTT:s LIISA 2011-kalkyleringssystem.



Nummer	Namn
1	Findest Protein Oy
2	Fortum Power and Heat Oy, kraftverk
3	Kokkolan Voima Oy lämmöntalteenotto
4	Kosilan lämpökeskus
5	TETRA Chemicals Europe Oy
6	CABB Oy, Kokkolan tehtaat
7	Yara Phosphates Oy
8	Boliden Kokkola Oy
9	Yara Suomi Oy
10	Boliden Kokkola Oy, Sinkkitehdas
11	OMG Kokkola chemicals Oy
12	Kokkolan Satama, Syväsatama
13	Kokkolana satamalaitos, Kantasatama
14	Ferral alucast
15	NCC Roads
16	Snellman Oy
17	Snellman Oy
18	Alholmens Kraft Oy
19	Pietarsaaren energialaitos, Itälän
20	Pietarsaaren energialaitos, Sikören
21	Pietarsaaren energialaitos, Keskusasen
22	Alholmens Kraft Oy
23	UPM-Kymmene Oyj
24	Componenta Pietarsaari Oy
25	Outokumpu STP
26	Oy KWH Mirka Ab

Figur 5. De mest betydande utsläppskällorna i uppföljningsområdet.

På basis av uppgifter från 2011 rapporterades det att de största utsläppen i uppföljningsområdet var kväveoxidutsläpp, sammanlagt 3 496 ton. Av dessa härstammade 78 procent från industrin. Största delen av kväveoxidutsläppen uppstod i Jakobstad och den största utsläppskällan var UPM Kymmene Oyj. Av kommunerna var kväveoxidutsläppen från trafiken störst i Karleby.

Svaveldioxidutsläppen uppgick till sammanlagt 2 280 ton och de fördelades tämligen jämnt mellan Karlebys och Jakobstads industri. Den största enskilda utsläppskällan av svaveldioxid var Oy Alholmens Kraft Ab i Jakobstad, vars andel av alla svavelutsläpp var 43 procent.

År 2011 rapporterades att partikelutsläppen i området sammanlagt uppgick till 329 ton, varav 87 procent uppstod inom industrin. De största partikelutsläppskällorna var Oy Alholmens Kraft Ab och UPM Kymmene Oy i Jakobstad.

Tabell 1. Uppföljningsområdets utsläpp av svaveldioxid, kväveoxider samt partiklarnas del (ton/år) per kommun 2011. Aktörerna märkta med stjärna har inte årlig rapporteringsskyldighet, utan rapporteringen sker med till exempel fem års mellanrum.

Anläggning	Kommun	SO_2	% kommunens industriutsläpp	% hela områdets industriutsläpp	NO_x	% kommunens industriutsläp	% hela områdets industriutsläpp	% kommunens alla utsläpp	% områdets alla utsläpp	partiklar	% kommunens	% hela områdets industriutsläp	% kommunens alla utsläpp	% områdets alla utsläpp
Findest Protein Oy	Kaustby	8	100 %	0,4 %	15	100 %	1 %	23 %	0 %	0,9	100 %	0,3 %	24 %	0,3 %
Boliden - Svavelsyrefabrik	Karleby	538	49 %	24 %	20	3 %	1 %	2 %	1 %	*	* %	* %	* %	* %
Yara Suomi Oy	Karleby	74	7 %	3 %	142	18 %	5 %	13 %	4 %	2	6 %	1 %	4 %	1 %
Yara Phosphates Oy	Karleby	7	1 %	0 %	35	4 %	1 %	3 %	1 %	0,9	3 %	0,3 %	2 %	0,3 %
Tetra Chemicals Europe Oy*	Karleby	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Oy Kokkola Power Ab	Karleby	334	30 %	15 %	195	25 %	7 %	18 %	6 %	6	17 %	2 %	12 %	2 %
Kokkolan Voima Oy	Karleby	101	9 %	4 %	164	21 %	6 %	15 %	5 %	3	8 %	1 %	5 %	1 %
Boliden - Zinkfabrik	Karleby	12	1 %	1 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %	19	53 %	7 %	36 %	6 %
Karleby Hamn		0	0 %	0 %	197	25 %	7 %	18 %	6 %	3	9 %	1 %	6 %	1 %
CABB Oy		0	0 %	0 %	30	4 %	1 %	3 %	1 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %
Andra	Karleby	42	4 %	2 %	2	0,2 %	0,1 %	0,2 %	0,1 %	2	5 %	1 %	3 %	1 %
sammanlagt	***Karleby***	***1107***	**100 %**	**49 %**	***786***	**100 %**	**29 %**	**72 %**	**22 %**	**36**	**100 %**	**13 %**	**68 %**	**11 %**
NCC Roads Oy	Pedersöre	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Oy Alholmens Kraft Ab	Jakobstad	970	90 %	43 %	881	47 %	32 %	45 %	25 %	124	51 %	44 %	50 %	38 %
UPM Kymmene Oyj	Jakobstad	96	9 %	4 %	943	50 %	35 %	48 %	27 %	119	48 %	42 %	48 %	36 %
KWH Plast Ab Jakobstads fabrik*	Jakobstad	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Sikörens värmecentral	Jakobstad	0,4	0,04 %	0,02 %	0,4	0,02 %	0,01 %	0,02 %	0,01 %	0,02	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %
Östanpå värmecentral	Jakobstad	0,01	0 %	0 %	0,01	0 %	0 %	0 %	0 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %
Centralstationens värmecentral	Jakobstad	0	0 %	0 %	0,01	0 %	0 %	0 %	0 %	0	0 %	0 %	0 %	0 %
Oy Outokumpu STP*	Jakobstad	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Oy Snellman Ab*	Jakobstad	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Affärsverket Jakobstads hamn	Jakobstad	5	0,4 %	0,2 %	45	2 %	2 %	2 %	1 %	1	0,5 %	0,4 %	0,5 %	0,4 %
Thermisol Oy / Jakobstad fabrik	Jakobstad	4	0,4 %	0,2 %	0,9	0,05 %	0,03 %	0,05 %	0,03 %	0,7	0,3 %	0,2 %	0,3 %	0,2 %
Componenta Finland Oy Jakobstad*	Jakobstad	*	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %	*	* %	* %	* %	* %
Neste Oil Oyj, Pietarsaaren terminaali	Jakobstad	0	0 %	0 %	1,01	0,05 %	0,04 %	0,05 %	0,03 %	0,12	0,05 %	0,04 %	0,05 %	0,04 %
Sammanlagt	***Jakobstad***	***1075***	**100 %**	**47 %**	***1887***	**100 %**	**70 %**	**97 %**	**54 %**	***245***	**100 %**	**86 %**	**98 %**	**75 %**
Adven Ab, Oy Mirka Ab fabriken i	Nykarleby	89	100 %	4 %	26	100 %	1 %	20 %	1 %	3	1	1 %	39 %	1 %
Industrins utsläpp sammanlagt		***2279***			***2714***				***78 %***	***285***				***87 %***
Trafik	Kaustby	0,1			51			77 %	1 %	2,8			76 %	1 %
Trafik	Karleby	0,6			299			28 %	9 %	16,8			32 %	5 %
Trafik	Kronoby	0,2			92			100 %	3 %	5,0			100 %	2 %
Trafik	Larsmo	0,1			37			100 %	1 %	2,3			100 %	1 %
Trafik	Pedersöre	0,2			132			100 %	4 %	7,1			100 %	2 %
Trafik	Jakobstad	0,1			68			3 %	2 %	4,2			2 %	1 %
Trafik	Nykarleby	0,2			105			80 %	3 %	5,2			61 %	2 %
Industri+trafik	Kaustby	8			66				2 %	4				1 %
Industri+trafik	Karleby	1108			1084				31 %	53				16 %
Industri+trafik	Kronoby	0,2			92				3 %	5				2 %
Industri+trafik	Larsmo	0,1			37				1 %	2				1 %
Industri+trafik	Pedersöre	0,2			132				4 %	7				2 %
Industri+trafik	Jakobstad	1075			1955				56 %	249				76 %
Industri+trafik	Nykarleby	89			131				4 %	9				3 %
Alla utsläpp sammanlagt		**2280**			**3496**					**329**				

Metallutsläppskällor och utsläppsmängder i forskningsområdet 2011 presenteras i tabell 2. Zink hade de största utsläppsmängderna, som till största delen orsakades av Boliden Kokkola Oy:s verksamhet. Karleby regionens företag producerade 93 % av alla metallutsläppen. Majoriteten av utsläpp av aluminium, arsenik, kadmium, kobolt, koppar, mangan, järn, zink och vanadin föddes i Karleby regionen, och i Jakobstad antimon, kvicksilver, krom och bly. Nickelutsläppen genererades lika mycket i båda regionerna.

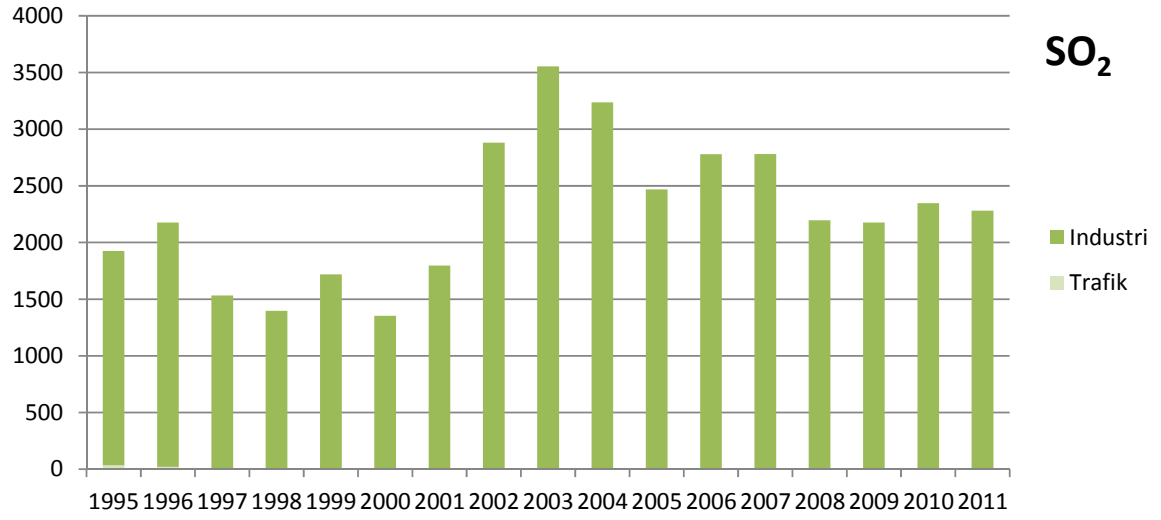
Tabell 2. Metallutsläppskällor och utsläppsmängder i Karleby och Jakobstad 2011.

Grundämne	Boliden Kokkola Oy	OMG Kokkola Chemicals Oy	Oy Kokkola Power Ab	Kokkolan Voima Oy	UPM Kymmene Oyj	Ahlholmens Kraft	Sammanlagt
Aluminium (kg/a)	695						695
Antimon (kg/a)						106	106
Arsenik (kg/a)	31		1	0,3	0,3	23	56
Kvicksilver (kg/a)	2,9		2,5	0,9	2,3	25	33
Kadmium (kg/a)	63		0,2	0,4	0,1	2,4	66
Kobolt (kg/a)		1850				38	1888
Krom (kg/a)			2,1	1,9	0,3	48	53
Koppar (kg/a)	96	9	3,9	4,5	2,1	100	215
Bly (kg/a)	23		3,6	3,1		50	80
Mangani (kg/a)	0,35						0,35
Nickel (kg/a)		300	12	1,9	67	246	627
Järn (kg/a)	99						99
Zink (kg/a)	6703		31	47	11	13	6805
Vanadin (kg/a)			37	7,7		28	73

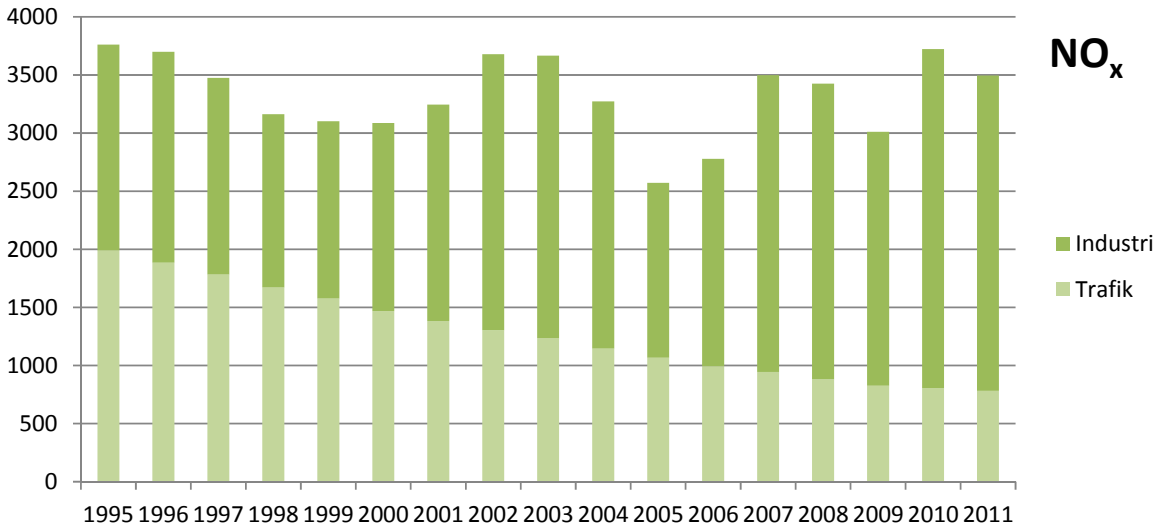
2.2.2 Utvecklingen av utsläppsmängderna

Utvecklingen av utsläppsmängderna av svaveldioxid, kväveoxid och partiklar åren 1995–2011 presenteras i figurerna 6–8. Trafikutsläppens andel av svaveldioxidutsläppen är mycket liten. Trafikutsläppens andel av utsläppen av kväveoxider har i början av uppföljningsperioden varit över hälften, men andelen har kontinuerligt minskat. Andelen partikelutsläpp från trafiken av totalpartikelutsläppen var ca 15 procent i slutet av uppföljningsperioden.

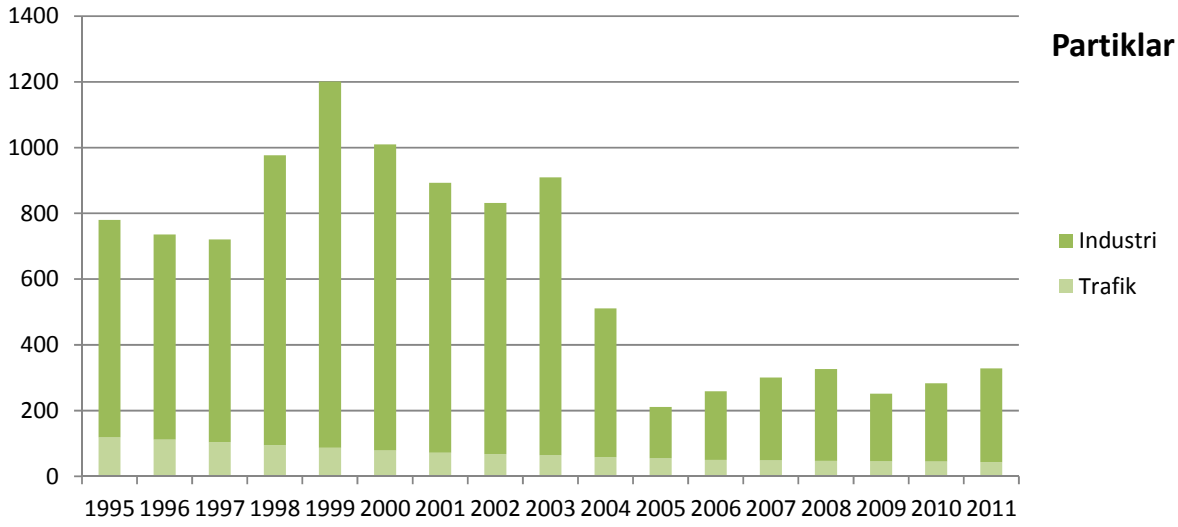
Den totala mängden svaveldioxidutsläpp 2011 var större än i slutet av 1990-talet. De största svaveldioxidutsläppen under uppföljningsperioden inträffade 2003. I slutet av 2000-talet hölls svaveldioxidutsläppen på samma nivå. I slutet av uppföljningsperioden 2011 var totalutsläppen av kväveoxid på samma nivå som i början av uppföljningsperioden 1995. Industrins utsläpp har ökat under denna tid men på grund av trafikutsläppens nedåtgående utveckling har inga anmärkningsvärda förändringar skett i den totala utsläppsmängden. Partikelutsläppsmängderna har däremot minskat anmärkningsvärt efter 2004. Uppföljningsperiodens största partikelutsläpp inträffade år 1999.



Figur 6. Svaveldioxidutsläpp från industri och trafik i uppföljningsområdet (ton/år) 1995–2011.

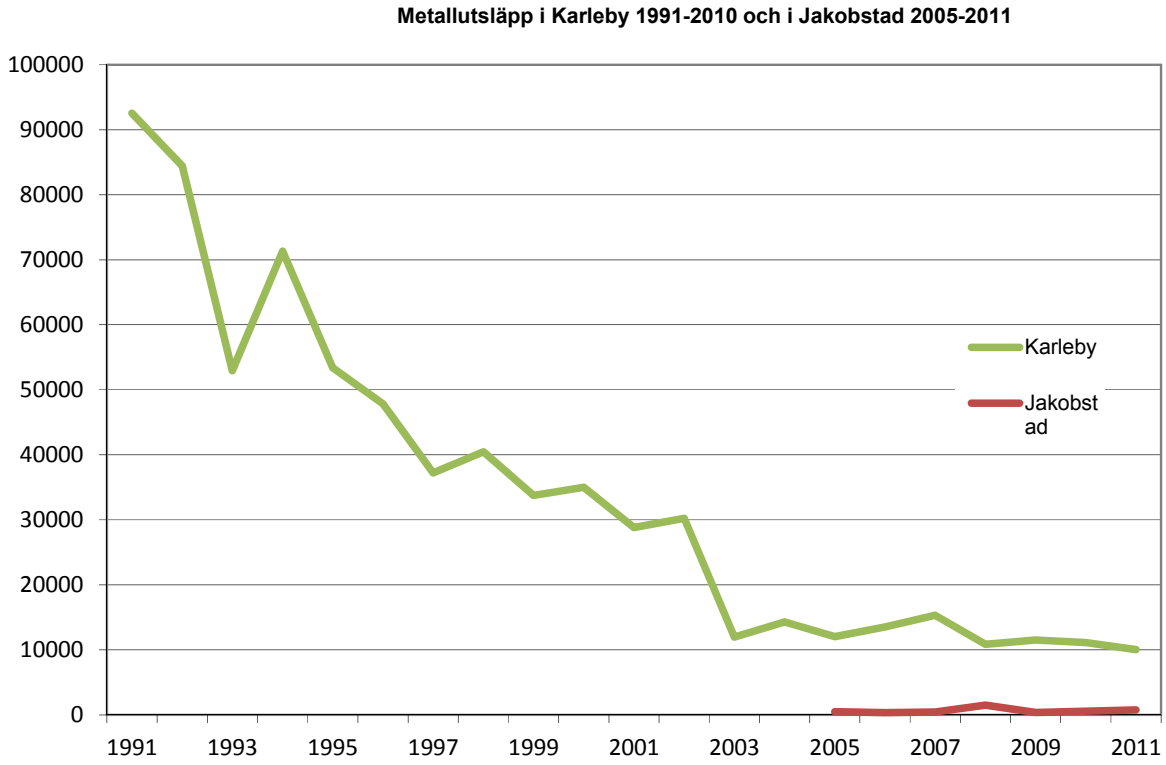


Figur 7. Kväveoxidutsläpp från industri och trafik i uppföljningsområdet (ton/år) 1995–2011.

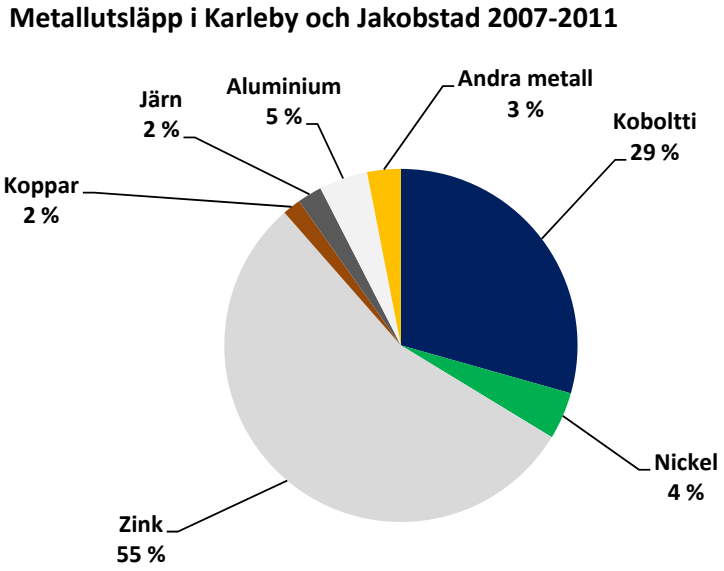


Figur 8. Partikelutsläpp från industri och trafik i uppföljningsområdet (ton/år) 1995–2011.

Metallutsläppens utveckling i Karleby och i Jakobstad 1990–2010 presenteras i figur 9 (Jakobstad 2005-2011). Metallutsläppen i Karleby har minskat avsevärt under uppföljningsperioden. Metallutsläppen i Jakobstad har varierat utan en klar utvecklingstrend. Efter 2003 har metallernas totalutsläppsnivå varit på samma nivå, ca 10 000 kg per år. Fördelningen av utsläppen åren 2007–2010 presenteras i figur 10. Utsläppen utgörs till största delen av zinkutsläpp (55 %). Andelen koboltutsläpp är 29 procent.



Figur 9. Utvecklingen av metallutsläppen i Karleby 1991–2010 (Koljonen 2013).

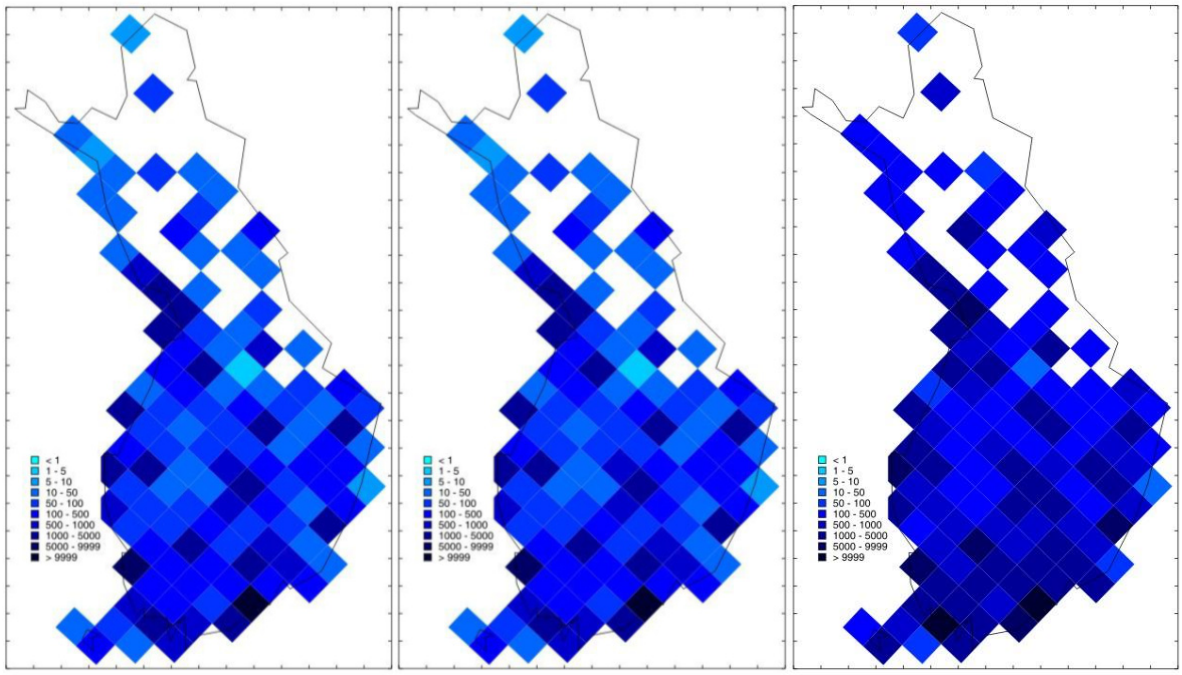


Figur 10. Fördelningen av metallutsläpp 2007–2011 (Koljonen 2013). Klassen 'andra metaller' innehåller kadmium, arsenik, kviksilver, bly, krom och vanadin.

2.2.3 Luftkvaliteten i Finland

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)

I figur 11 presenteras den regionala fördelningen av utsläpp av svaveldioxid, kväveoxider och partiklar i Finland 2010 (Finlands miljöcentral 2012). Presentationen av den regionala fördelningen har gjorts genom att förena UNECE:s fjärrtransportavtal med hjälp av EMEP-programmets kartmodell. Utsläppsmängden för samtliga föreningar är något högre i kusttrakterna än på motsvarande höjd i inlandet, vilket beror på den mänskliga verksamheten som koncentrerats till kustregionerna.



Figur 11. Regional fördelning av utsläpp av svaveldioxid, kväveoxider och partiklar i Finland 2010 (Finlands miljöcentral 2012).

3. Uppföljningsmaterial och -metoder

3.1 Provytor

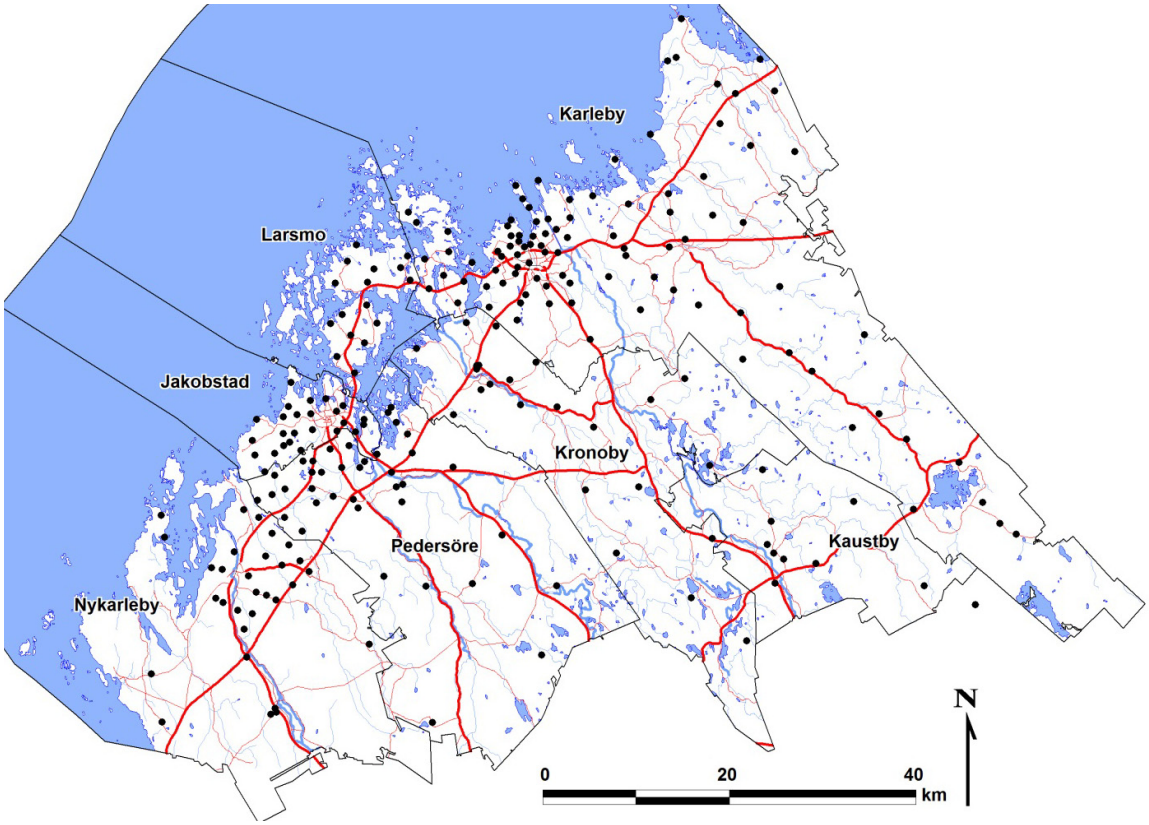
Uppföljningen utfördes på 238 provytor där man undersökte vegetationen av tallarnas stamlavar och grundämneshalter i barr, mossor och humus. Provytornas lägen presenteras i figur 12, och numrering i bilagan 1. I tabell 3 presenteras provytornas antal per kommun. Till skillnad från tidigare uppföljningsår undersöktes inte tallarnas barrförlust, därför att barrförlusten på nuvarande utsläppsnivå inte har ansetts ha något klart samband med förekomsten av luftföroreningar. Provytans lavarter karterades på fem träd. Av provytorna var 200 gamla. Man anlade 38 nya ytor. Av de nya provytorna anlades majoriteten i Karleby stads kommunsammanslagningsområde det vill säga tidigare Kelviå, Ullava och Lochteå kommuners område. Även i Kaustby kommuns område anlades ett nätverk av provytor som var tätare än tidigare och där ytor som låg nära utsläppskällor betonades. I bakgrundsområden i Pedersöre och Nykarleby samt i närheten av stora pälsfarmsområden anlades nya provytor. I denna uppföljning gallrades nätverket av provytor i Larsmo kommuns område. På gamla provytor strävade man till att utföra karteringen på samma provträd som i den förra uppföljningen som genomfördes åren 2006–2007, men på grund av hyggen eller ändringar i markanvändningen inrättade man 11 tidigare använda provytor på nytt (5,5 % av de gamla ytorna). I den förra uppföljningen hade bedömningen av barrförlust gjorts på 10 träd och lavkarteringen på 5 (1–5). Om provträdet som använts för lavkartering på den gamla ytan föregående uppföljningsgång hade fallit, försökte man i första hand ersätta det med ett träd som varit med i barrförlustbedömningen. Alla förändringar på provytorna eller -träden antecknades och de 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 återfinner provytan och var provträden är 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 presenteras i tabell 4. Största delen av provytorna var med avseende på lämpligheten goda (55 %). Provytorna fanns vanligtvis på torftiga torvmarker i skog av lingontyp (VT) (51 % av provytorna). Av provytorna fanns 37 procent på torvmark som är lika näringsrik som frisk mo i skog av blåbärstyp (MT), 8 procent av ytorna fanns på torra torvmarker av ljungtyp (CT) och 3 procent av provytorna på lundartad momark av Oxalis-Myrtillus-typ (OMT). Tre ytor hade räknats till klassen annan. Största delen av skogen klassificerades som mogen (59 % av provytorna). Uppföljningsträdens genomsnittliga längd var 19 meter. I diameter var träden i genomsnitt 29 cm och trädbeståndens genomsnittliga bottenyta var 22 m2/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.



Figur 12. Provytornas läge i uppföljningsområdet 2012.

Tabell 3. Provytornas antal per kommun och antalet nya provytor som anlagts 2012.

Kommun	Ytor (lavar och barr)	Gamla ytor	Utbytta ytor	Nya ytor	Mossytor	Humusytor
Kaustby	10	1		9	10	
Karleby	96	78	5	18	88	14
Kronoby	23	20		3	22	1
Larsmo	16	16			16	4
Pedersöre	38	35	2	3	36	9
Jakobstad	25	23	2	2	25	6
Nykarleby	30	27	2	3	30	6
Sammanlagt	*238*	200	*11*	*38*	*227*	*40*

Tabell 4. Provytornas fördelning i klasser enligt bakgrundsvariablerna.

Kod	Klass	Antal	%
Lämplighet	God	132	55
	Måttlig	96	40
	Dålig	10	4
Skogstyp	CT	19	8
	VT	121	51
	MT	87	37
	OMT	8	3
	Annan	3	1
Utvecklingsklass	Mogen	147	59
	Uppväxt	87	36
	Ung	4	2
längd (m)	under 15	36	15
	15–20	119	50
	över 20	81	34
ålder (år)	under 80	81	34
	80–100	109	46
	100–120	29	12
	över 120	18	8
diameter (cm)	under 25	40	17
	25–30	133	56
	30–35	55	23
	35–40	8	3
	över 40	2	1

Kod	Klass	Antal	%
1. stamart	Tall	235	99
	Gran	3	1
2. stamart	Gran	158	67
	-	45	19
	Björk	31	13
	Tall	2	0,8
	Asp	1	0,4
	Rönn	1	0,4
3. stamart	-	157	66
	Björk	59	25
	Gran	14	6
	Asp	4	2
	Rönn	3	1
	Tall	2	1
bottenyta (m^2)	under 10	5	2
	10–15	20	8
	15–20	61	26
	20–25	85	36
	25–30	39	16
	över 30	27	11

3.2 Forskningsgruppen och tidpunkten för fältarbetena

Barrproverna samlades in under perioden 5.3.2012–18.4.2012 av forskarna Emmi Lehkonen, Anne Kiljunen, Mika Laita, Irene Huuskonen samt forskningsassistenterna Janne Ruuth och Tatu Lappalainen vid Jyväskylä universitet. Karteringen av lavarna och provtagningen av humusen utfördes under tiden 8.5.2012–19.6.2012. I fältarbetena som utfördes på sommaren deltog forskarna Emmi Lehkonen (FM), Irene Huuskonen (pol.mag.) och Anne Kiljunen (FM) samt forskningsassistent Janne Ruuth (fil.stud.).

3.3 Tallens stamlavar

3.3.1 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.

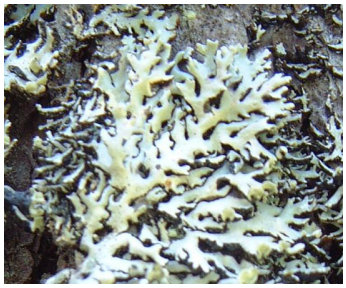
I denna uppföljning bedömdes blåslavens (Hypogymnia physodes) skadeklass samt den allmänna skadeklassen som morfologisk förändring. Förändringar i lavfloran bedömdes med hjälp av artantal och IAP-indexet. Täckningsgrader bedömdes för blåslavens och tagellavens del med poängfrekvensmetoden. Observationerna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

3.3.2 Undersökta lavarter

Som indikatorarter enligt standarden SFS 5670 användes 12 lavarter som är allmänt förekommande på tallar. Arternas särdrag samt deras indikatorvärden presenteras i tabell 5. I tabell 6 har indikatorarterna klassificerats enligt sin känslighet i fyra klasser. 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.

Tabell 5. Lavarter enligt standarden SFS 5670 som indikatorer för luftkvaliteten. Indikatorvärdets klassificering: +++ god, ++ måttlig, + liten, - dålig. Antalet åtföljande arter har beräknats på basis av 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, Lehkonen 2013 och denna uppföljning).

Blåslav (*Hypogymnia physodes*) +++

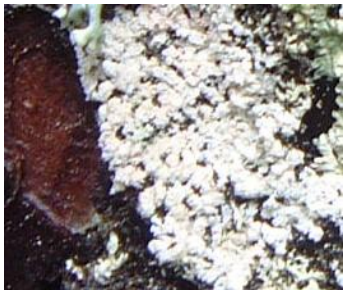


Blåslaven är den mest uthålliga och allmänna arten av bioindikatorarterna, som tål luftföroreningar bra. Blåslavens förekomstfrekvens d.v.s. täckningsgrad, minskar först på svårt belastade områden. Blåslaven är en bra indikator för luftkvaliteten eftersom även synliga skador på bålflikarna beskriver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

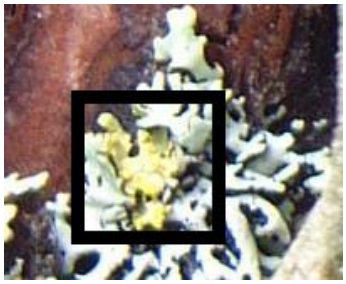
Skägglav (*Usnea* sp.) +++

Skägglavens förekomstfrekvens varierar beroende på belastningen från luftföroreningar vanligen på samma sätt som för tagellavarna. 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*) ++

På basis av 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. På basis av 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.

Tabell 6. Undersökta lavarter och deras sensitivitet för svaveldioxid (Kuusinen m.fl. 1990).

Sensitivitet	Art (vet.)	Art (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	blodlav
	Platismatia glauca	näverlav
	Pseudevernia furfuracea	gällav
	Parmelia sulcata	skrynkellav
känslig	*Bryoria* sp.	tagellavar
	Usnea sp.	skägglavar

Arternas förekomst undersöktes genom att utvidga standardmetoden på så sätt att rikligheten av varje art bedömdes genom att använda en tre graders klassificering (tabell 7). 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 8.)

Tabell 7. Klassificering av lavarnas riklighet. Algtäcket (Algae & Scoliciosporum) och flarnlaven (Hypocenomyce scalaris) är klassificerade enligt täckningsgrad (%), andra arter på basis av antalet bålflikar.

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

Tabell 8. Klassificering av lavfloran på basis av 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 9). 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 5)
f = den relativa förekomstfrekvensen för arten på provytan (0-1)
n = antalet lavarter (10)

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

Antalet åtföljande arter i den här studien (tabell 5) beräknades på basis av sammanslaget material från bioindikatorstudier i Nyland 2009, Norra Karelen 2010, Karleby och Jakobstad 2012 samt Södra Karelen 2012, som utfördes på 7885 träd (Huuskonen m.fl. 2010, Lehkonen m.fl. 2011, Huuskonen & Lehkonen 2012). Antalet åtföljande arter i studien år 2007 hade beräknats på basis av materialet från Nylands och Östra-Nylands bioindikatorstudie från år 2000. För jämförbarhetens skull beräknades tidigare studiers IAP-index på nytt genom att använda antalet åtföljande arter som definierats i denna uppföljning. I mängden av åtföljande arter för varje art har flarnlav, alg och trädgrönelav tagits i beaktande.

Tabell 9. 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

3.3.3 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 blåslaven 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 10, figur 13). 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 10. Blåslavens (*Hypogymnia physodes*) skadeklass (SFS 5670).

Skada	Synliga förändringar
I normal	lavarna friska eller nästan friska
II lindrig skada	lindrigt förtvinade, lindriga färgförändringar
III tydlig skada	lavarna är förtvinade, grönskiftande eller mörknade eller bådadera
IV svår skada	lavarna är små, skrynkliga, grönskiftande eller mörknande eller båda
V död eller saknas	

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

Figur 13. Blåslavens (Hypogymnia physodes) skadeklassificering.

Tabell 11. Allmän skadeklass (SFS 5670).

Allmän skadeklass	Synliga förändringar
I normal	alla arters utseende och växt oförändrade
II lindrig skada	buskartade lindrigt tvinade, bladartade normala
III tydlig skada	buskartade små, bladartade skadade
IV svår skada	buskartade saknas, bladartade allvarligt skadade
V döda eller saknas	även bladartade saknas, algtäcke kan förekomma

3.4 Grundämneshalter i barr, mossor och humus

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). Förutom belastningens regionala fördelning beskriver de undersökta variablerna även uppföljningsskogsbeståndens näringstillstånd samt jordmånens egenskaper. I tabell 12 beskrivs antalet undersökta ytor i förhållande till varje matris och grundämne.

Tabell 12. Provytornas antal i förhållande till de undersökta grundämnena och matriserna.

Grundämne	Förkortning	Barrytor	Mossytor	Humusytor
Antimon	Sb		9	
Aluminium	Al		226	40
Arsenik	As	78	226	15
Beryllium	Be		9	
Bor	B	238	226	25
Kvicksilver	Hg	78	226	15
Fosfor	P	238	226	25
Kadmium	Cd	238	226	40
Kalium	K	238	226	40
Kalcium	Ca	238	226	40
Kobolt	Co	78	226	15
Krom	Cr	238	226	25
Koppar	Cu	238	226	40
Litium	Li		9	
Bly	Pb		226	25
Magnesium	Mg	238	226	40
Mangan	Mn	238	226	25
Natrium	Na		226	15
Nickel	Ni	238	226	40
Järn	Fe	238	226	40
Svavel	S	238	226	25
Zink	Zn	238	226	40
Titan	Ti		9	
Kväve	N	238		
Vanadin	V	78	226	15
pH-värde	pH			40
mängden utbytbara sura substanser mekv/100 g	VH			40
Elledningsförmåga mS/m	Ef.			40
kapaciteten för utbyte av katjoner mekv/100 g	CEC			40

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.

Antimon är en halvmetall i stil med arsenik, som förekommer naturligt i den finländska jordmånen i mycket lite utsträckning. Antimon används bl.a. i blykulor och halten av antimon kan vara förhöjd i omgivningen kring skjutbanor. (Reinikainen 2007, 92) I den här uppföljningen utreddes antimonhalterna i omgivningen kring Lochteå skjutbana.

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). Aluminiumhalterna i mossa anses ofta beskriva jordmånens egenskaper (Poikonen 2004), men industriverksamhet som utnyttjar aluminium höjer halterna lokalt.

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, 93)

Beryllium förekommer i jordmånen i huvudsak som finfördelat silikatmineral eller organiskt material. Beryllium binds lätt till organiskt material, vilket försämrar dess rörelse i naturen. I växter som växer i oförorenad miljö har berylliumhalten observerats vara högst 0,5 mg/kg (Lyyränen m.fl. 2004). I denna uppföljning undersöktes berylliumhalterna i omgivningen för planerade gruvområden.

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, 94; 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, 95.)

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, 96.)

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, 97.)

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, 98.) Även användningen av fossila bränslen släpper ut koppar i luften (Rautjärvi och Raitio 2003).

Alkalimetallen **litium** är på grund av sin lätthet och reaktivitet ett flitigt använt material i ackumulatorer och batterier. Litium finns i stora områden av jordklotets berggrund, men även Finlands litiumreserver är betydande på vissa ställen (Naumov och Naumova 2010). I den här uppföljningen utreddes litiumhalterna i omgivningen för planerade gruvområden.

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 bilbatterier. Förhöjda blyhalter kan också orsakas av stoftnedfall i luften från energiproduktionens förbränningsprocesser. (Reinikainen 2007, 99)

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. Höga halter av 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, 100; 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 barren har 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, 101)

Titan är ett typiskt grundämne som har sitt ursprung i jordmånen, och det uppträder mest i stora partiklar (Saari m.fl. 2012). I denna uppföljning utreddes titanhalterna i omgivningen runt planerade gruvområden.

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 1990). I Finland är kväve den viktigaste faktorn som begränsar trädens tillväxt, och lindrig brist på kväve kan förekomma även i måttligt frodiga mineralmarker. 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, 102) Vanadinutsläpp uppstår bl.a. vid oljeförbränning (Melanen m.fl. 1999).

3.4.1 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. I uppföljningen har man strävat efter att göra inverkan av barrens ålder konstant genom att göra analysen på andra årgångens barr. På belastade områden kan svavelhalterna dock tvärtom växa då barren åldras (Nieminen m.fl. 1993, Helmisaari 1993).

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 presenteras i tabell 13.

Tabell 13. Referensvärden för barrens grundämneshalter i skog på momark (enligt Reinikainen m.fl. 1998, Brække 1995, Mälkönen 1991 och Raitio 1994).

Tall	Stor brist	Lämplig (optimal)	Medeltal	Minimum	Maximum
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 2012 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 2010) separerades från proverna och barren torkades i papperspåsar i 40°C i 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 och centrifugerades. Barrprovernas grundämneshalter, förutom kväve, fastställdes med hjälp av ICP-OES apparatur (Jobin-Yvon Ultima 2) i enlighet med standarden SFS-EN ISO 11885:98 och med ICP-MS apparatur (Agilent 7500ce) i enlighet med standard SFS-EN ISO 17294-2:05 (tabell 17). Kvävehalterna fastställdes vid Skogsforskningsinstitutet från de lufttorkade proverna med en intern metod (apparat Leco CHN-1000), som baserar sig på standarderna ISO 10694:1995 och ISO 13878:1998. För kvalitetssäkring av grundämnesbestämningarna används förutom parallellbestämningar både laboratoriets interna kontrollprov och certifierade referensmaterial (NIST SRM 1575, tallbarr). Resultaten är presenterade per torrsubstans (105 °C).

3.4.2 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. Mossart var väggmossa (*Pleurozium schreberi*). 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 40°C. Halterna av grundämnen, förutom kvicksilver, i mossorna fastställdes med ICP-OES- och ICP-MS-analysator, medan CVAAS-metoden användes för att fastställa kvicksilverhalten.

3.4.3 Fastställande av grundämneshalter och kemiska egenskaper i humus

Jordmånen och luftföroreningar

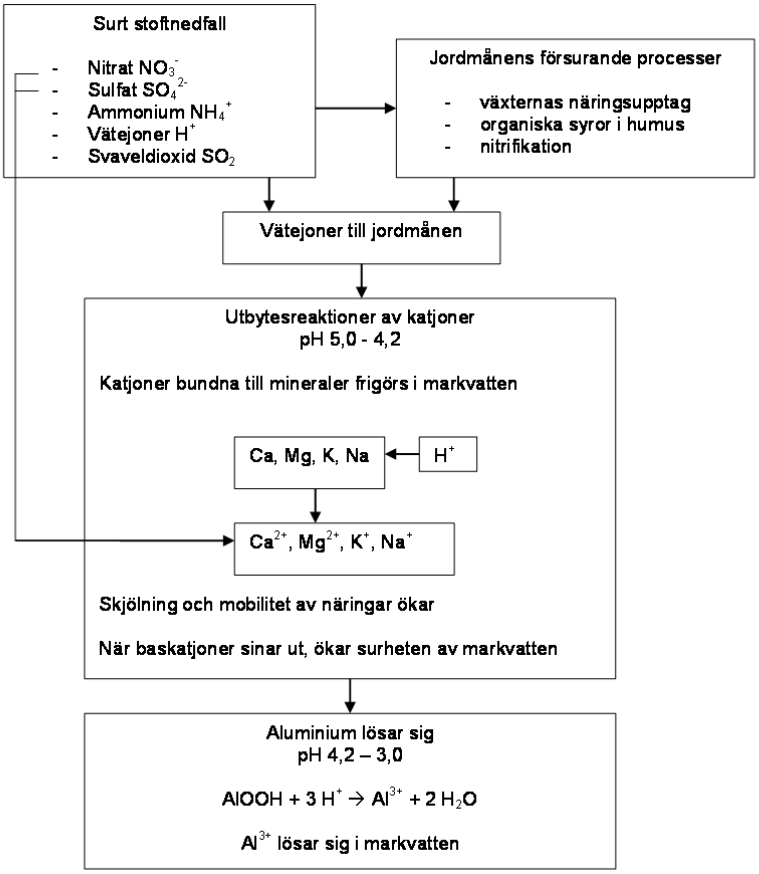
Naturliga faktorer påverkar jordmånens grundämneshalter, näringshalt och försurning (t.ex. mineraljordens geokemiska komposition, tjockleken på jordmånen och humusskiktet, jordmånens kornstorleksfördelning, stenighet, grundvattnets mobilitet, grundvattennivån, klimatfaktorer). Men även människans verksamhet, 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 och 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 1998) 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 14). Aluminiumet i jordmånen fungerar för sin del som buffert för försurningen. Då surheten ökar löses 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. Kapaciteten för utbyte av katjoner beräknas genom att addera de föränderliga näringsämnena (Ca, K, Mg, Na) och mängden av utbytbara sura substanser.



Figur 14. 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. Från varje provyta togs cirka 5 delprover från humuslagret som sammanställdes till ett blandprov som till sin volym var cirka 2 liter. I laboratoriet såldes 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. Mängden utbytbara sura substanser fastställdes från KCl-extrakt. Ett lufttorkat humusprov som motsvarade 20 g färskvikt extraherades i 100 ml 1 M KCl-lösning. Provet blandades i två timmar och blandningen filtrerades. För mätningen titrerades 50 ml av filtratet med 0,05 M NaOH till pH-värdet 8,2. Resultatet har rapporterats med meq/100 g torrsubstans.

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

I statsrådets förordning 214/2007 föreskrivs om bedömning av markens föroreningsgrad och saneringsbehov. I förordningen har man angett tröskelvärden för halterna samt lägre och högre riktvärden. 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 §). Tröskelvärdena och riktvärdena presenteras i tabell 14.

Tabell 14. Tröskel- och riktvärden som ska användas i bedömning av markens föroreningsgrad och saneringsbehov. I kolumnen för bedömningsgrund åsyftar bokstaven e ekologisk risk, bokstaven t hälsorisk. (SRF 214/2007)

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

3.5 3.2.11 Geoinformationsmetoder

Vid bearbetningen, utarbetningen och visualiseringen av geoinformationsmaterialet användes programmen MapInfo 8.0, MapViewer 5 samt Surfer 8. 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. I Karleby- och Jakobstadsregionen har antalet provytor på bakgrundsområdena utökats, vilket för sin del förbättrar bedömningens tillförlitlighet.

3.6 Statistiska metoder

Med hjälp av de statistiska metoderna strävade man efter att få uppgifter om luftkvalitets- och bakgrundsvariablernas inverkan på de undersökta variablerna, om samverkan mellan variablerna som beskrev luftkvaliteten samt om skillnader mellan olika år (Partanen och Veijola 1996). Med statistiska metoder undersöktes bakgrundsvariablernas (skogsbestånd och s.k. luftkvalitetsvariabler) inverkan på lavbestånd, korrelationen mellan lavbestånd och grundämneshalter samt med faktoranalys samverkan mellan barrens och mossornas grundämneshalter. För genomförande av de statistiska testerna användes programmet IBM SPSS Statistics 20.0.

3.6.1 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 i sig själva luftkvaliteten, men de kan inverka på 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 i förhållande till en 1, 2 eller 5 kilometers buffert i utsläppskällans omgivning. Dessutom granskades inverkan av den närmaste utsläppskällans bransch. Tillståndspliktiga utsläppskällor som använts i de statistiska analyserna presenteras i figur 5 i kapitel 2.2.1 och alla utsläppskällor i figur 4 i samma kapitel. Som utsläppstyper användes uppgifter om verksamhetens luftutsläpp. Dessa var svavel-, kväveförenings-, partikel-, metall-, damm- och voc-utsläpp.

De klassificerade variablernas inverkan undersöktes med hjälp av Kruskal-Wallis variansanalys. 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).
- provytans avstånd till närmaste verksamhet som producerar svavel-, kväveförenings-, partikel-, metall-, damm- och voc-utsläpp.

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).

3.6.2 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).

3.6.3 Faktoranalys

En faktoranalys är en mångvariabelmetod, där man i en stor grupp av variabler försöker uppfatta en mer begränsad mängd tolkningsbara, dolda (latenta) variabler, faktorer. En faktoranalys sammanfattar variationen mellan variabler på basis av korrelationer mellan variabler, och avslöjar regelbundenheter som döljer sig i materialet. Faktorerna är varimax-roterade, vilket innebär att faktorerna inte korrelerar sinsemellan. Faktorpoäng som analysen producerar kan användas t.ex. i kartgranskningar, varvid man t.ex. kan granska sambandet mellan typerna av utsläppskällor och olika grundämneshaltprofiler (faktorer).

Faktoranalysen gjordes på barrens grundämneshalter och mossornas grundämneshalter. I faktoranalysen av barrens grundämneshalter togs de halter med som hade analyserats i hela materialet. I granskningen inkluderade man på konventionellt sätt de faktorer vars karaktäristiska värden var över ett.

3.6.4 Korrelationer

Beroendeförhållandet mellan variablerna som beskriver jordmånen granskades med hjälp av Spearmans rangkorrelation. Korrelationer under 0,3 anses i allmänhet inte vara signifikanta. Med stort material kan även relativt små korrelationer vara statistiskt signifikanta. Ett statistiskt signifikant resultat innebär sålunda inte alltid att korrelationen mellan variablerna behöver vara mycket stark.

3.6.5 Jämförelser mellan år

Skillnader mellan år undersöktes med ett parvis t-test.

3.7 Felkällor och tillförlitlighet

3.7.1 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 tillräckligt med tanke på undersökningen 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. Grönalgen 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 grönalgens 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 15).

Tabell 15. Lavobservationernas mätningsprecision med en 95 % konfidensintervall

	OBSERVATIONSPRECISION	SKILLNAD I RESULTATEN
Skador på blåslaven		
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

I forskningsgruppens inbördes nivågranskningar som gjordes under terrängarbetena observerades inga anmärkningsvärda avvikelser i igenkännandet av arten eller bedömningen av skadenivåerna.

3.7.2 Fastställande av barrens grundämneshalter

Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet undersökte under 2004 sådana fel som uppstår i samband med insamlingen och analyseringen av barrprover. Mätnoggrannheten för metoden som innefattar fel som uppstår både vid provtagning och vid analys var för svavelhalten i medeltal ± 5 procent och för kvävehalten ± 7 procent. Som lägst var mätnoggrannheten på verkningsområdet för ett stort punktutsläppsområde för svavel ±14 procent och för kväve ± 12 procent (tabell 16). 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 procent (Niskanen 1995) och vid upprepning av metoden ± 14 procent (tabell 17) (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 presenteras i tabell 17.

Tabell 16. Medelvärdet av mätningsprecisionen för svavel och kväve i de olika evalueringarna av mätningsprecisionen som gjorts under olika år med en 95 % konfidensintervall. År 1995 var mängden träd på provytorna 5 i stället för de 10 som användes 2004.

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

Tabell 17. Metoder, bestämningsgräns och mätosäkerhet som användes vid analyseringen av barrens grundämneshalter

GRUNDÄMNE	METOD	BESTÄMNINGSGRÄNS	MÄTOSÄKERHET
Al	ICP-OES	5	5–15 mg/kg ± 3 mg/kg > 15 mg/kg ± 20 %
As	ICP-MS	0,05	0,05–0,15 mg/kg ± 0,03 mg/kg> 0,15 mg/kg ± 20 %
B	ICP-OES	1	1–3 mg/kg ± 0,6 mg/kg > 3 mg/kg ± 20 %
Ca	ICP-OES	10	10-40 mg/kg ± 6 mg/kg > 40 mg/kg ± 15 %
Be	ICP-MS	0,05	20 %
Cd	ICP-MS	0,05	0,05–0,15 mg/kg ± 0,03 mg/kg> 0,15 mg/kg ± 20 %
Co	ICP-MS	0,1	0,1–0,3 mg/kg ± 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg ± 20 %
Cr	ICP-MS	0,1	0,1–0,3 mg/kg ± 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg ± 20 %
Cu	ICP-OES	1	1-4 mg/kg ± 0,6 mg/kg > 4 mg/kg ± 15 %
Fe	ICP-OES	3	3–20 mg/kg ± 2 mg/kg > 20 mg/kg ± 10 %
Hg	CVAAS	0,01	20 %
K	ICP-OES	30	30–150 mg/kg ± 15 mg/kg > 150 mg/kg ± 10 %
Li	ICP-MS	0,50	20 %
Mg	ICP-OES	10	10–50 mg/kg ± 5 mg/kg > 50 mg/kg ± 10 %
Mn	ICP-OES	0,2	0,2–0,7 mg/kg ± 0,1 mg/kg > 0,7 mg/kg ± 5 %
Na	ICP-OES	30	30–100 mg/kg ± 15 mg/kg > 100 mg/kg ± 15 %
Ni	ICP-MS	0,1	0,1–0,3 mg/kg ± 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg ± 20 %
P	ICP-OES	10	10–50 mg/kg ± 5 mg/kg > 50 mg/kg ± 10 %
Pb	ICP-MS	0,05	0,05–015 mg/kg ± 0,03 mg/kg > 0,15 mg/kg ± 20 %
S	ICP-OES	15	15-80 mg/kg ± 8 mg/kg > 80 mg/kg ± 10 %
Sb	ICP-MS	0,05	20 %
Ti	ICP-MS	1	20 %
V	ICP-MS	0,1	0,1–0,3 mg/kg ± 0,06 mg/kg > 0,3 mg/kg ± 20 %
Zn	ICP-OES	1	1–5 mg/kg ± 1 mg/kg > 5 mg/kg ± 20 %

3.7.3 Fastställande av grundämneshalter i mossa och humus

I samband med bioindikatoruppföljningen i huvudstadsregionen har man uppskattat mätnoggrannheten för bestämningen av metallhalterna för mossa och humus (Veijola och 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 18 och 19 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 delprov. 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 och presenteras i tabell 17.

Tabell 18. Konfidensintervallen 95% för mossornas metallhalter när blandprovet består av 5 eller 10 delprover (medelvärdet standardiserats till 100).

	5 delprover		10 delprover	
	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 19. Konfidensintervallen 95% för humusens parametrar då blandprovet består av 5 eller 10 delprover. Medelvärdet är standardiserat till 100. Som enhet för metallhalterna användes meq/dm3

	5 delprover		10 delprover	
	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

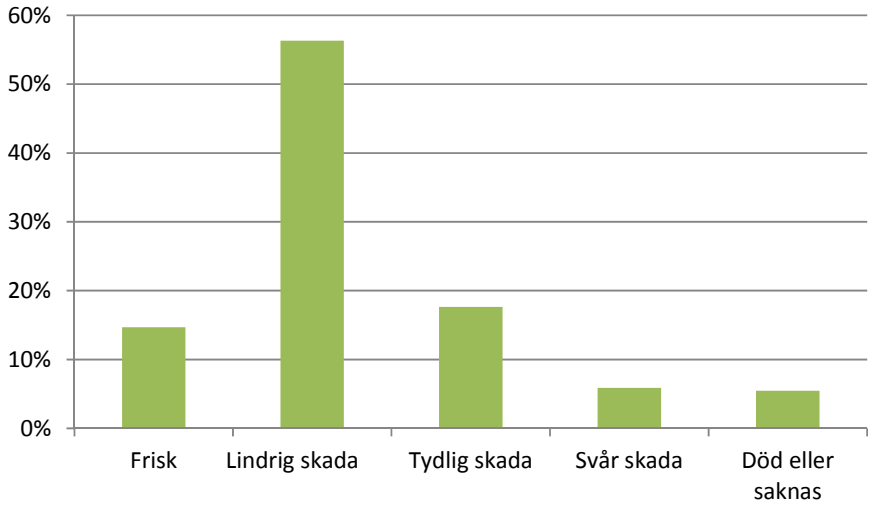
Tallarnas lavflora, beskrivna med variablernas medeltal, maximi- och minimivärde samt standardavvikelse presenteras i tabell 20. Varje variabel som beskriver en lavflora har granskats närmare i följande kapitel.

Tabell 20. 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. När arterna räknats har inte alg och flarnlav tagits med i beräkningen.

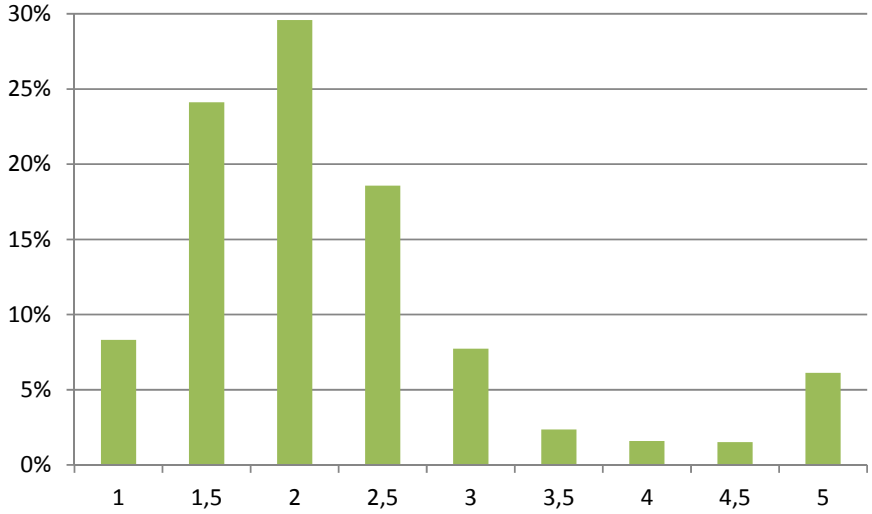
n = 238	medeltal	minimum	maximum	standardavvikelse
IAP	2,1	0	4,3	0,79
Artmängd/provyta	5,2	0	9	1,85
Artmängd/träd	3,9	0	9	1,57
Blåslavens skadeklass	2,3	1	5	0,88
Allmän skadeklass	3,2	1,1	5,0	0,88
Blåslavens täckningsgrad (%)	10,5	0	74,8	11,6
Tagellavarnas täckning (%)	0,09	0	3,9	0,42
Algens förekomst	3,0	0	5	2,15

4.1.1 Blåslavens skadeklass

Blåslavens skador var i genomsnitt lindriga (genomsnittlig skadeklass 2,3). Skadeklasserna på uppföljningsområdet varierade från normal till död eller saknas (tabell 15). Skadornas fördelning i hela materialet undersöktes genom att klassificera skadeklasser både enligt provyta och enligt provträd (figur 15 och 16). På största delen (56 %) av provytorna var blåslaven lindrigt skadad. Blåslaven var normal på 15 procent av provytorna, tydligt skadad på 18 % av provytorna och svårt skadad på 6 procent av provytorna. Blåslaven saknades helt på 5 procent av provytorna. Granskad per provträd var blåslaven normal eller ganska normal (skadegrad 1 eller 1,5) på 32 procent av provträden. Den största skadeklassen var lindrigt skadad (30 % av provträden). Blåslaven saknades helt på 6 procent av stammarna.



Figur 15. Blåslavens skadeklass på provytorna klassvis 2012. N =238.

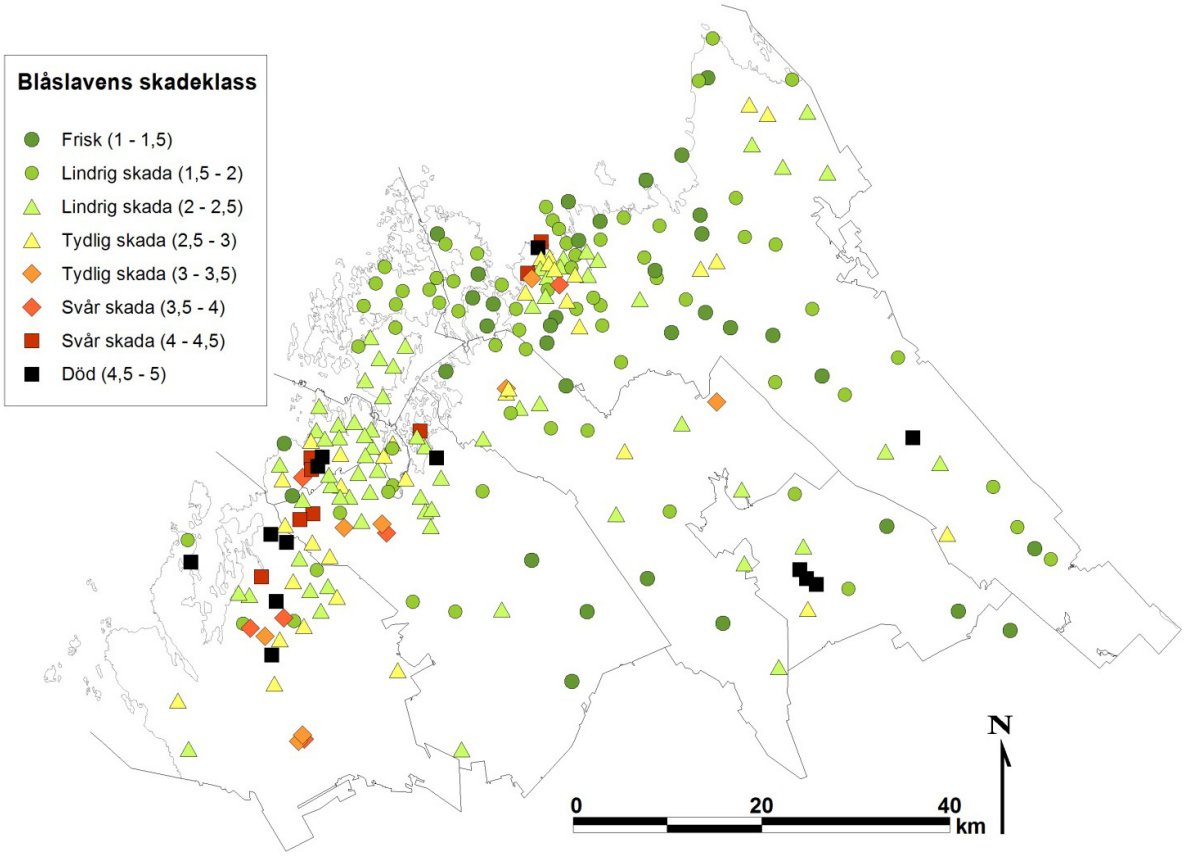


Figur 16. Blåslavens skadeklass på provytorna per stam 2012. N = 1190.

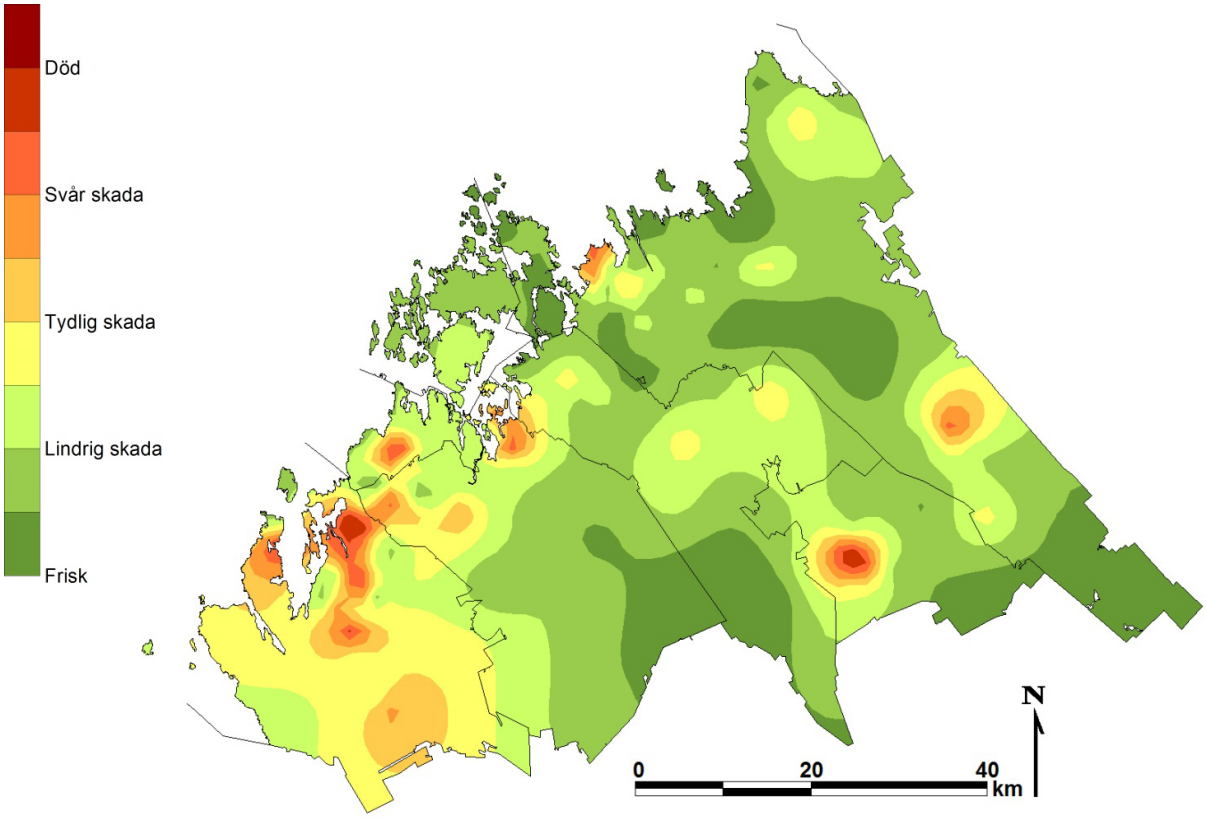
Friskt växande blåslavar fanns i uppföljningsområdet i Karleby i områden nära kusten, i före detta Kelviå kommuns område, i gränstrakterna Pedersöre-Kronoby samt i området Kaustby-före detta Ullava.

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. Kaustbys ytor med lavöken låg i närheten av Findest Protein Oy, Adven Oy och pälsfarmsklustret som finns i området. I närheten av ytan i Ullava ligger ett avloppsvattensreningsverk vars kväveutsläpp kan förklara lavöknen. 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 och en energiproduktionsanläggning.

Ytorna med tydliga eller svåra skador utgjorde zoner i omgivningen kring Karleby centrum och Yxpila området, i Kelviå kring centrum, i södra delen av Nykarleby, från norra delen av Pedersöre till Kronoby längs kusten samt i Kronoby kommun kring Nedervetil. I dessa områden fanns pälsfarmer och industri- och energiproduktionsverksamhet.



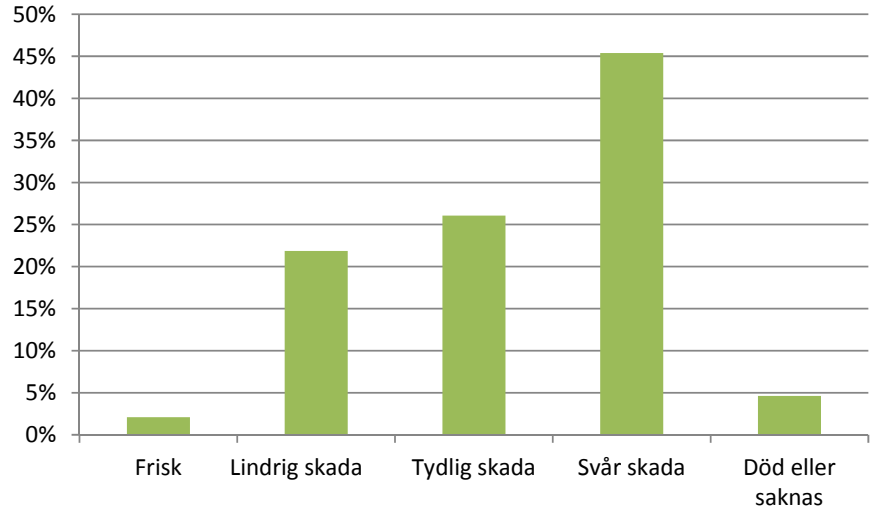
Figur 17. Blåslavens skadeklass på provytorna 2012.



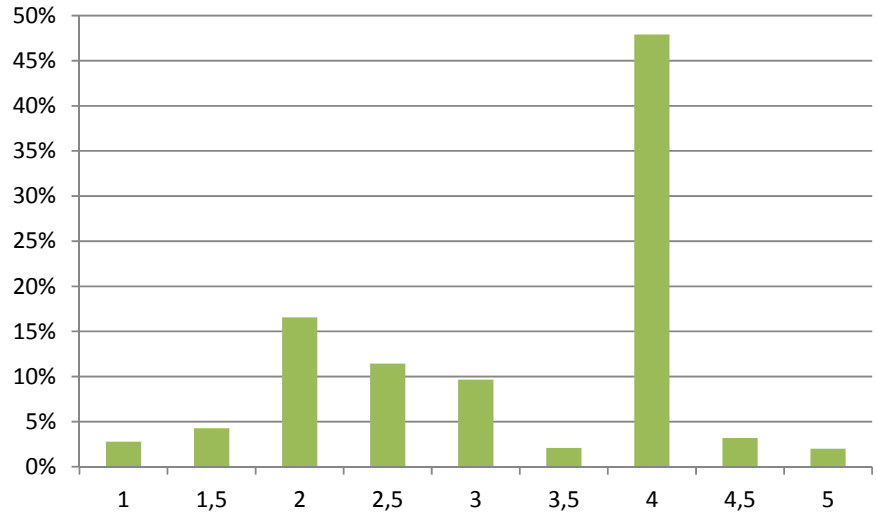
Figur 18. Zoner som beskriver blåslavens skadeklass i uppföljningsområdet 2012.

4.1.2 Allmän skadeklass

Den allmänna skadeklassen var i medeltal 3,2, lavarterna på uppföljningsområdet var med andra ord tydligt skadade. Skadeklasserna varierade från normal till död eller saknas (tabell 20). Skadornas fördelning i hela materialet undersöktes genom att klassificera skadeklasser både enligt provyta och enligt provträd (figur 19 och 20). På största delen (45 %) av provytorna var lavarna svårt skadade. Granskad per provträd var den största gruppen även den svårt skadade (skadeklass 4). Detta förklaras av skadans bedömningsskala, där trädet automatiskt klassificeras till klass 4, om det inte alls växer buskartade arter på det (se tabell 11 s. 20). För den allmänna skadeklassens del var 2 procent av ytorna helt normala (5 ytor), och arten var helt eller nästan död på 5 procent av ytorna (11 ytor).

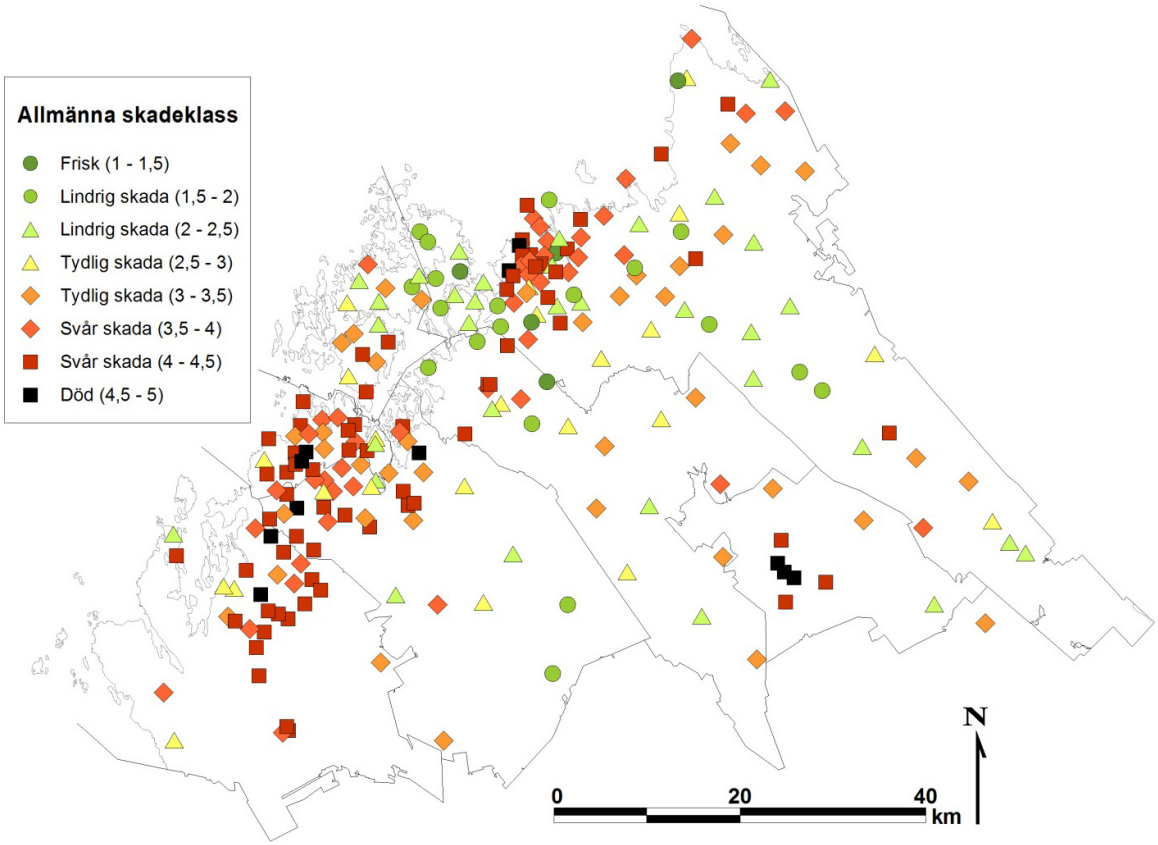


Figur 19. De allmänna skadeklasserna klassificerade per yta 2012. N = 238.

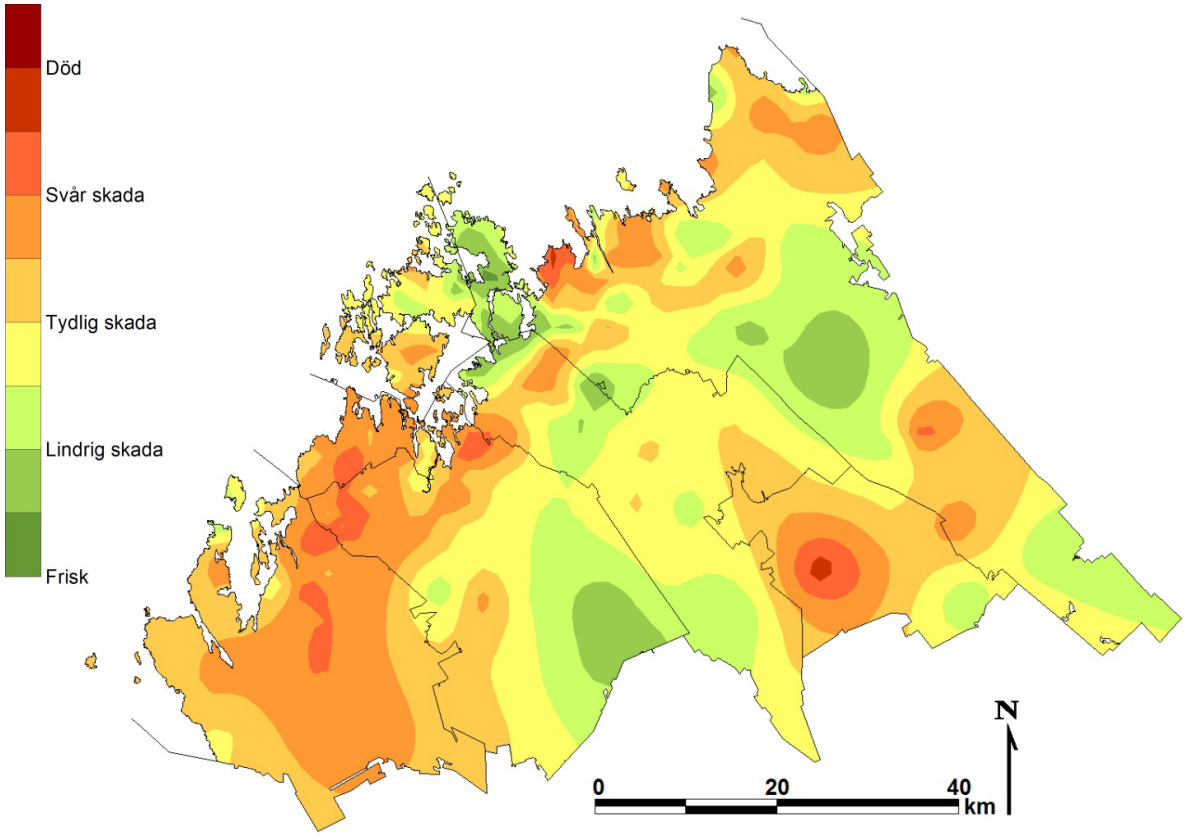


Figur 20. De allmänna skadeklasserna klassificerade per stam 2012. N = 1190

Lavarternas största skador fanns i huvudsak på samma områden som blåslavens skador, men lavarternas allmänna skadeklasser var i medeltal 0,5–1,5 skadeklasser högre än blåslavens. Zonen för tydlig-svår skadeklass fanns i uppföljningsområdet i sydvästlig-nordostlig riktning längs kusten. De mest normala områdena fanns i Karleby i Öja området i sydväst, området mellan Kelviå och Ullava samt i södra delen av Pedersöre. (Figurerna 21 och 22).



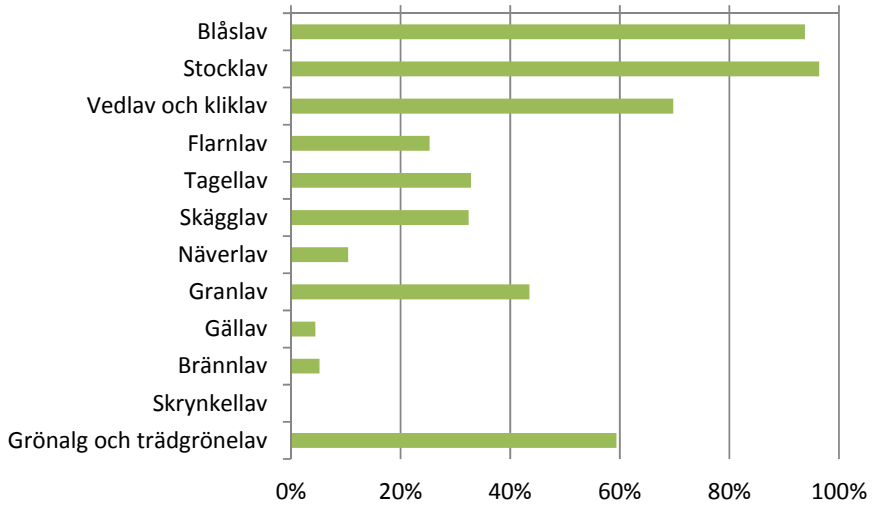
Figur 21. Allmän skadeklass på provytorna 2012



Figur 22. Zoner som beskriver den allmänna skadeklassen i uppföljningsområdet 2012.

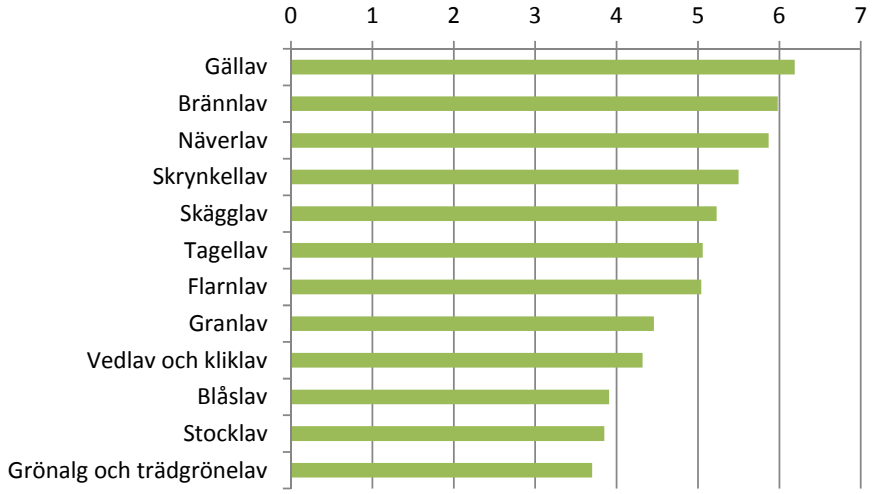
4.1.3 Mängder och förekomsten av lavarter

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 (70 % av träden) och alg (59 % av provträden) (Figur 23).



Figur 23. Förekomstfrekvens för tallens stamlavar i uppföljningsområdet 2012.

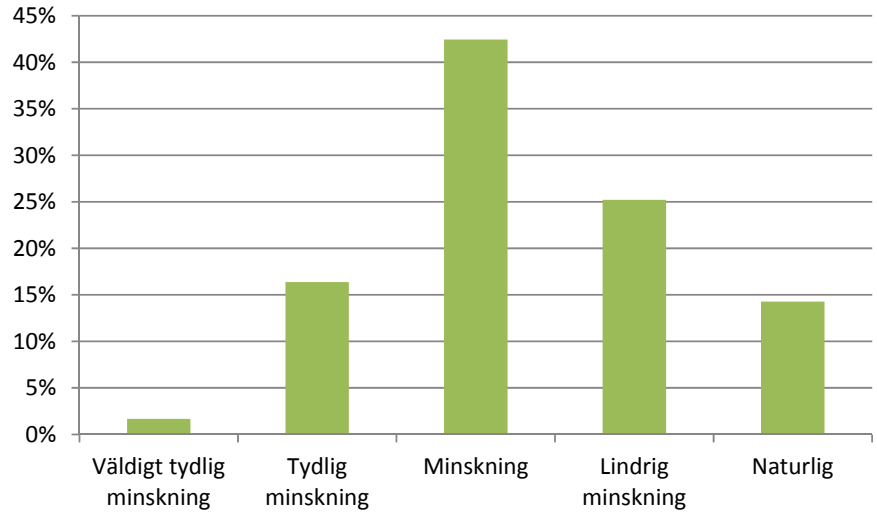
Stamlavarnas åtföljande arter, d.v.s. mängden andra arter som förekommer med ifrågavarande art på samma stam, presenteras i figur 24. Flest åtföljande arter hade de i uppföljningsområdet tämligen sällsynta gällavarna (6,2), brämlavarna (6,0) och näverlavarna (5,9). Minst åtföljande arter hade algen (3,7), stocklaven (3,9) och blåslaven (3,9). De observerade mängderna åtföljande arter motsvarar ganska bra förväntningarna på lavarnas känslighet för luftföroreningar.



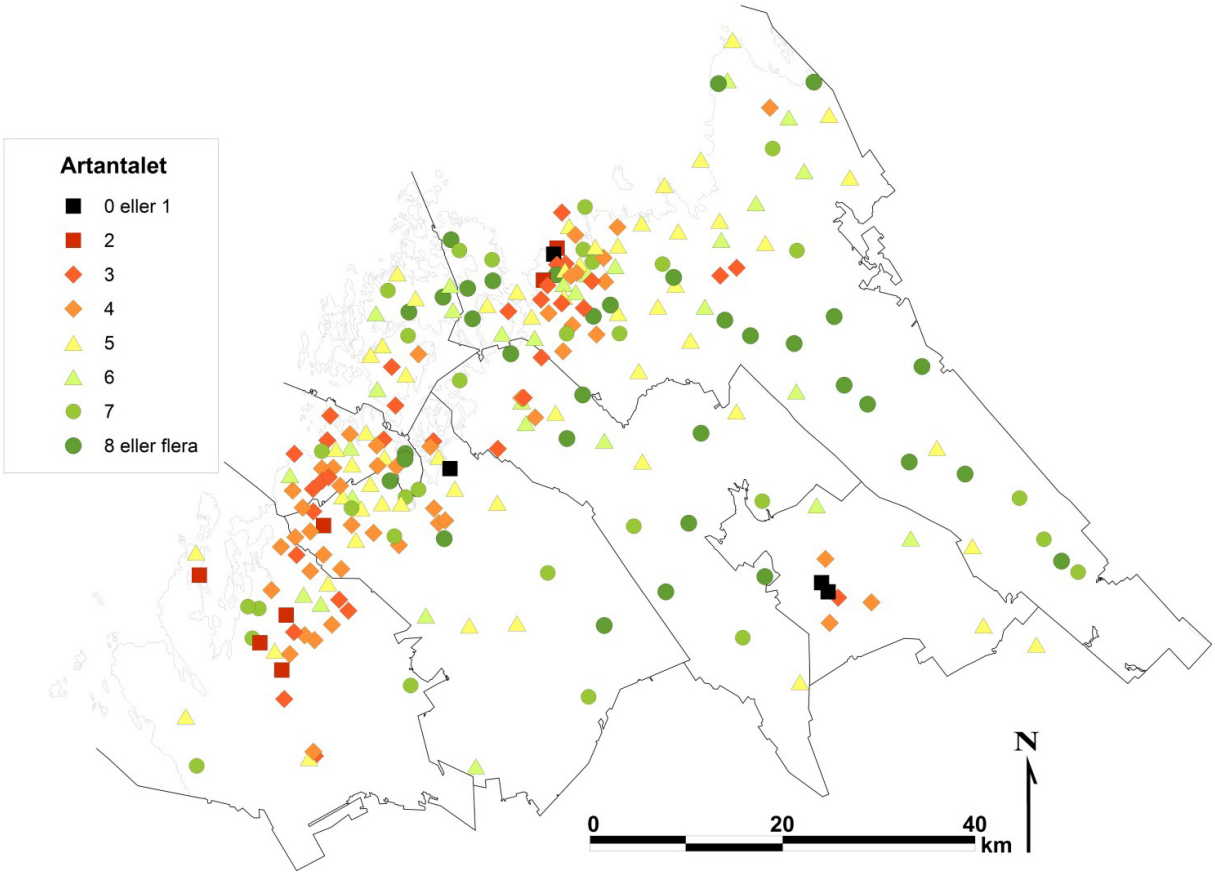
Figur 24. Antal åtföljande arter på tallens stamlavar i uppföljningsområdet 2012.

I uppföljningsområdet observerades i medeltal 5,2 arter då artmängden i uppföljningsområdet varierade mellan 0 och 9. Genomsnittlig artmängd per provträd var 3,9 arter (variationsintervall 0-9 arter). På basis av artmängden per provyta var floran i genomsnitt utarmad och på basis av artmängden per provträd tydligt utarmad. Största delen av provytorna fanns i klassen utarmad (4-5 arter). Det fanns 4 ytor med tydligt utarmad lavflora på uppföljningsområdet (0 eller 1 art som tar skada av luftföroreningar). (Figur 25). De fanns i Kaustby, i Yxpila i Karleby och i norra delen av Pedersöre. Normal lavflora fanns på 14 procent av provytorna. Sådana provytor fanns på olika håll i uppföljningsområdet, men speciellt i Karleby,

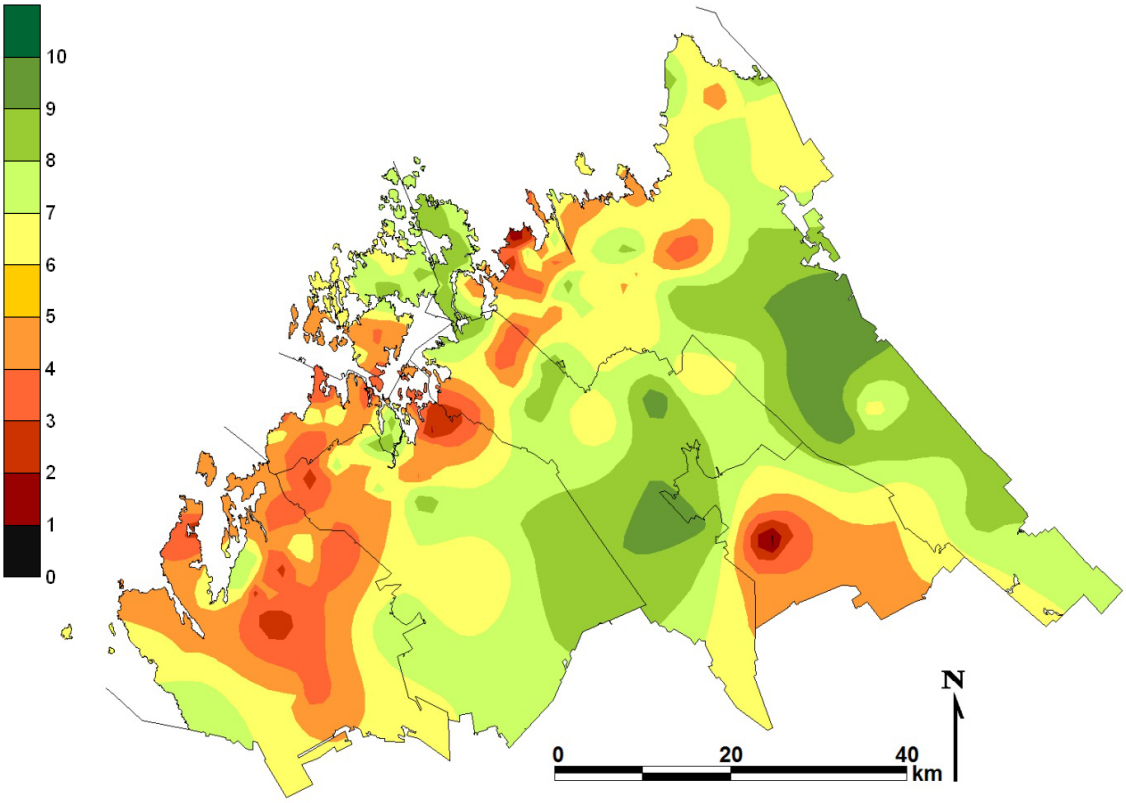
Kronoby och Pedersöre (Figur 26). Zoner med utarmad lavflora fanns i en zon längs havsstranden i uppföljningsområdet i nordvästlig-nordostlig riktning. Även södra delen av Kaustby hade en zon med utarmad lavflora (Figur 27).



Figur 25. Provytornas fördelning i klasser på basis av artantal. N = 238.



Figur 26. Antalet lavarter som tar skada av luftföroreningar på provytorna 2012.



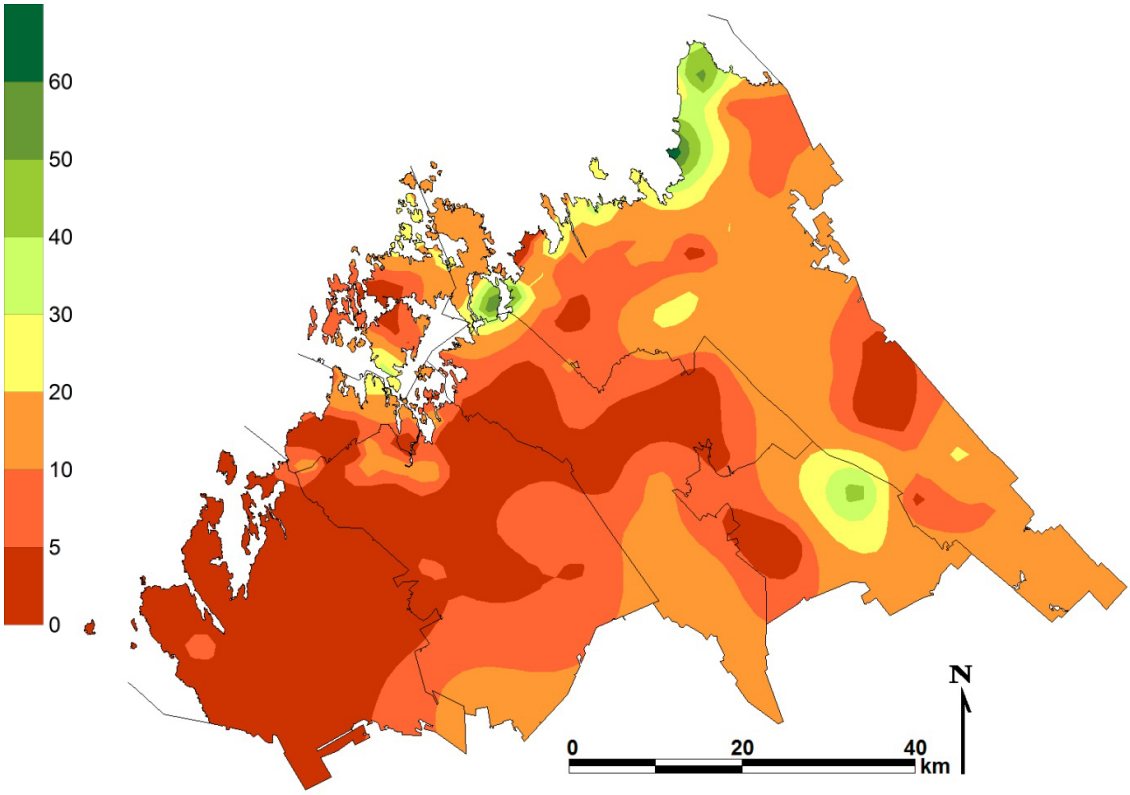
Figur 27. Beskrivning enligt zon av antalet arter som tar skada av luftföroreningar i uppföljningsområdet 2012.

4.1.4 Täckningsgrader

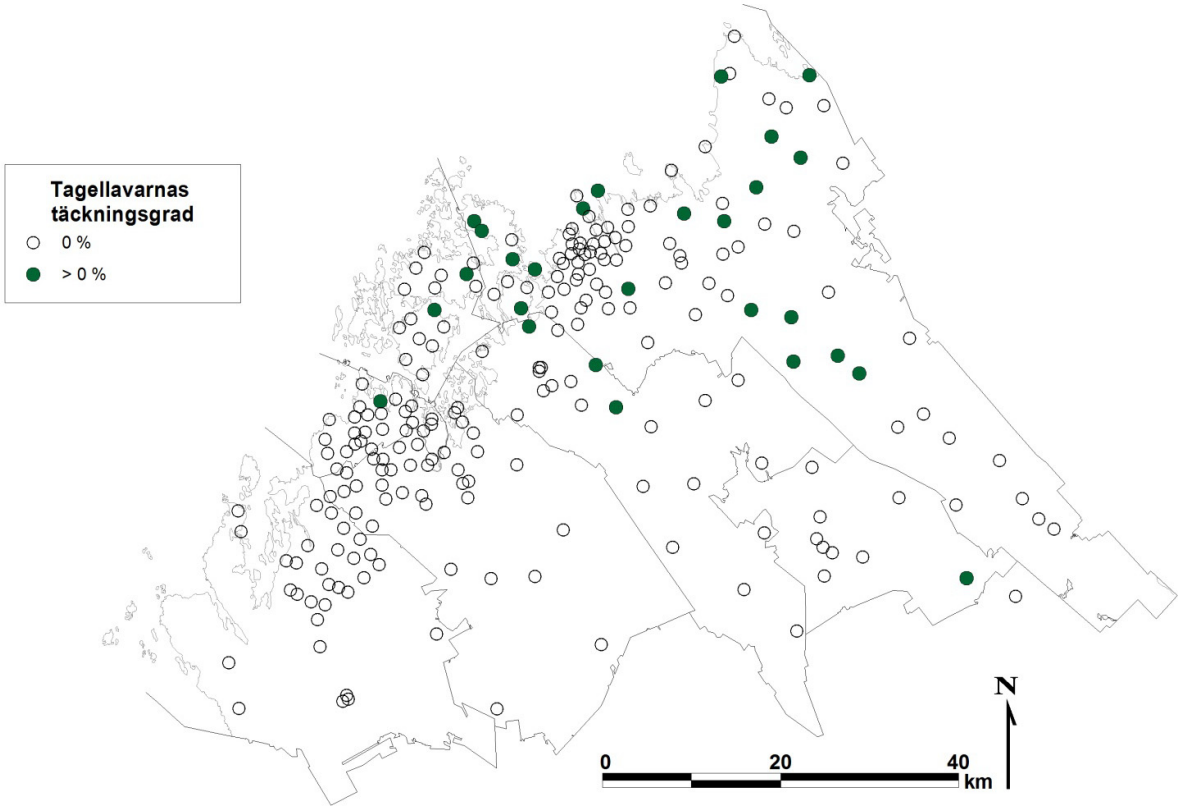
I figurerna 28 och 29 presenteras blåslavens och tagellavarnas täckningsgrad på tallarnas stammar räknat med poängfrekvensmetoden och presenterade som zoner generaliserade av medelvärden per provyta. Då man granskar kartorna måste man observera, att speciellt blåslavens täckningsgrad reagerade icke-linjärt på luftföroreningarna: artens täckningsgrad ökar ofta först som en följd av föroreningarna, och då belastningsnivån ytterligare ökar, minskar åter täckningsgraden. Dessutom inverkar naturliga faktorer anmärkningsvärt på täckningsgraderna, t.ex. blåslavens täckningsgrad är större i yngre än gamla tallskogar.

Blåslavens genomsnittliga täckningsgrad var 10,5 procent (tabell 15). Blåslavens täckningsgrad var som störst i Karlebys kustområden. Blåslavens täckningsgrad var som minst i Nykarleby kommuns område. (Figur 28.)

Tagellavarna förekom rikligt bara på enstaka ytor. Tagellavarnas genomsnittliga täckningsgrad var 0,09 procent (tabell 15). Tagellavarnas täckningsgrad var över 0 huvudsakligen i uppföljningsområdets norra delar (figur 29).



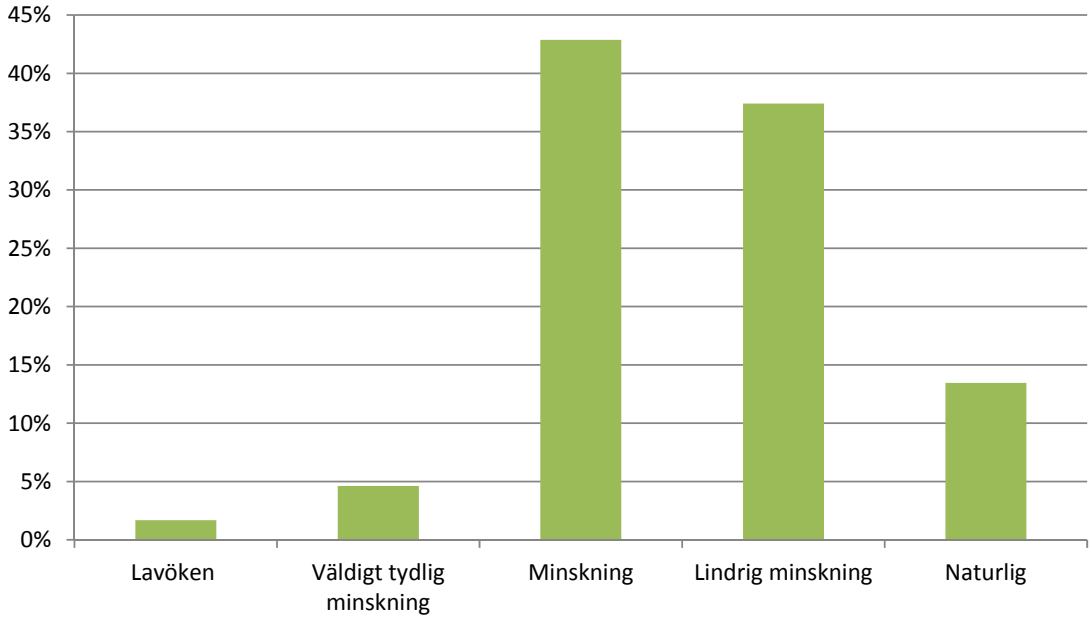
Figur 28. Blåslavens genomsnittliga täckningsgrad (%) som zoner i uppföljningsområdet 2012.



Figur 29. Tagellavarnas genomsnittliga täckningsgrad (%) i uppföljningsområdet 2012.

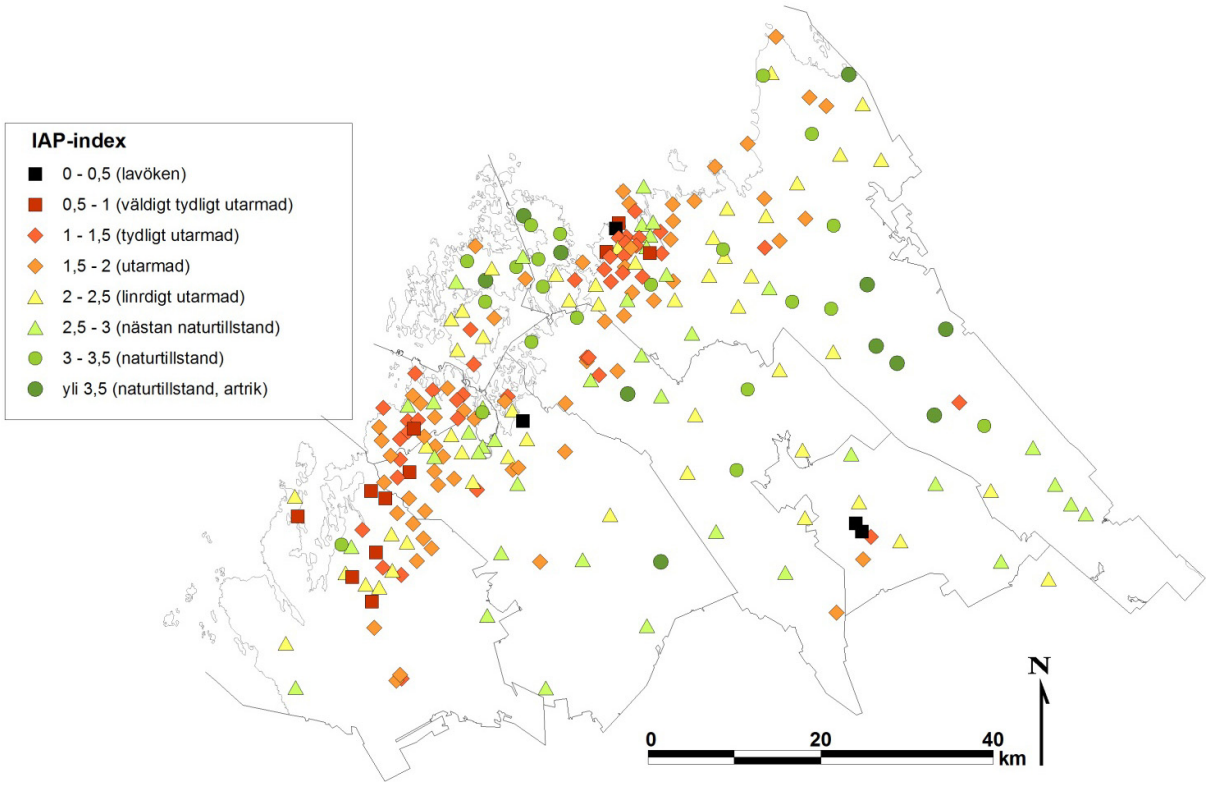
4.1.5 IAP-index

IAP-indexet var i medeltal 2,1 i uppföljningsområdet, på basis av vilket man kan beskriva floran som lindrigt förändrad. Det lägsta IAP-indexets värde var 0 (lavöken) och högsta 4,3 (artflora i naturtillstånd) (tabell 15). På största delen av provytorna (43 %) var floran på basis av IAP-indexet utarmad. Till den näst största klassen, där floran var tydligt utarmad, hörde 37 procent av ytorna. Lavflora i naturtillstånd fanns på 13 procent av ytorna (figur 30).

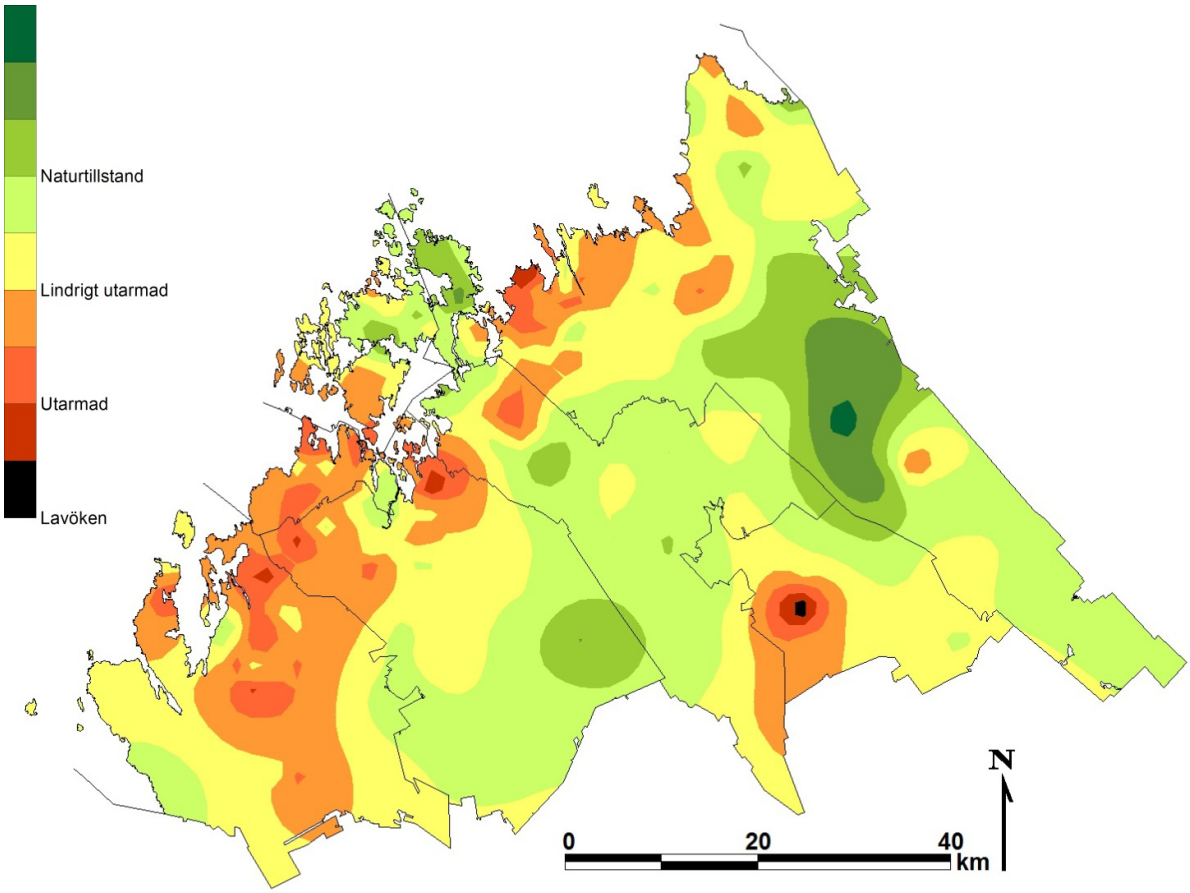


Figur 30. IAP-indexets fördelning per provyta 2012

En artflora i naturtillstånd (IAP-indexets värde > 3) fanns på 32 av provytorna, varav största delen fanns i Karleby, samt enstaka ytor i Larsmo, Kronoby och Pedersöre. 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. (Figurerna 31 och 32.)



Figur 31. IAP-index på provytorna 2012.



Figur 32. IAP-index per zon i uppföljningsområdet 2012.

4.2 Tallbarrens grundämneshalter

I tabell 21 presenteras nyckeltal för barrens grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsområdet för hela områdets del och per kommun. Kommunernas högsta medeltal och högsta halter anges med fetstil i tabellen. Provytornas grundämneshalter presenteras på kartor i figurerna 33–51.

Höga halter av **svavel** observerades speciellt i området Yxpila-centrum i Karleby. En zon med förhöjda svavelhalter fanns längs kusten och sträckte sig från Nykarleby till norra delen av Karleby. Även i Kaustby observerades förhöjda halter i närheten av industriverksamheter. De lägsta halterna fanns i uppföljningsområdets mellersta delar från Pedersöre via Kronoby till tidigare Kelviå-Ullava regionen. I förhållande till trädens näringshushållning låg tallarnas svavelhalter under den optimala nivån på 79 provytor.

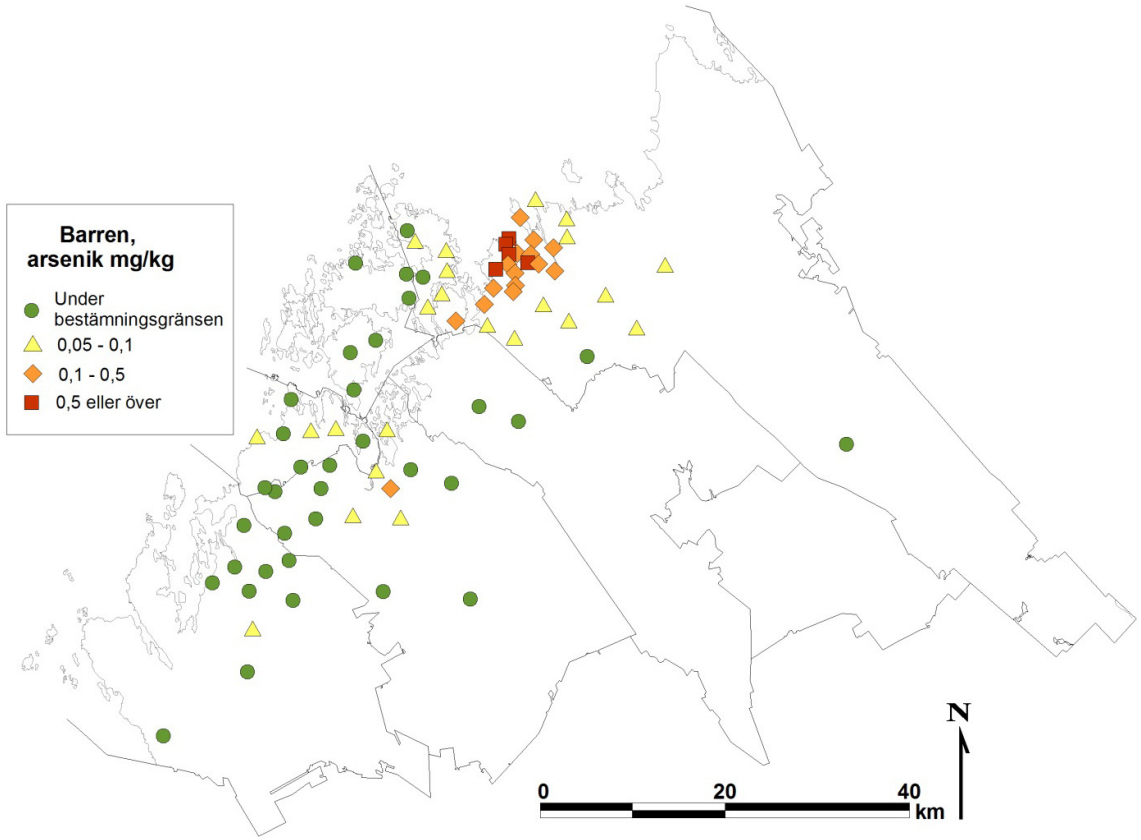
Förhöjda halter av **kväve** observerades i omgivningen av industriutsläppskällor bl.a. i Karleby och Kaustby, men även i närheten av pälsfarmer och djurskydd i Nykarleby-Jakobstad-Pedersöre samt i norra delen av Karleby på tidigare Lochteås område. De genomsnittliga kvävehalterna i barren såväl inom hela uppföljningsområdet som per kommun låg något under barrens optimala kvävehalter. Halter som tyder på kvävebrist (halt under 1,2 % av torrsubstansen, se tabell 13, s. 25) observerades på 16 ytor, som fanns i Karleby och Kronoby.

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 och Nykarleby. Förhöjda halter av *kadmium* observerades förutom i Yxpila även i Kaustby i närheten av Adven Abs kraftverk och Findest Protein Oy. 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 Lochteå skjutområde. Lätt förhöjda halter av *järn* observerades även i övriga områden i närheten av industriverksamheter. De genomsnittliga halterna av *järn* i tallbarren var i förhållande till trädens näringshushållning på en tillräcklig nivå. Lätt förhöjda halter av *kvicksilver* observerades också i det övriga uppföljningsområdet. De verkade bero på lokala industriverksamheter. Halterna av **koppar** var förhöjda i synnerhet i Karleby, men de högsta enskilda kopparhalterna observerades på provytorna i norra delen av Pedersöre. Halterna av **vanadin** var förhöjda i området Karleby centrum-Yxpila. Den högsta enskilda halten observerades i Jakobstad i närheten av industri och energiproduktionsanläggningar. Halten av *zink* i barr var på alla provytor på en tillräcklig nivå i förhållande till näringshushållningen.

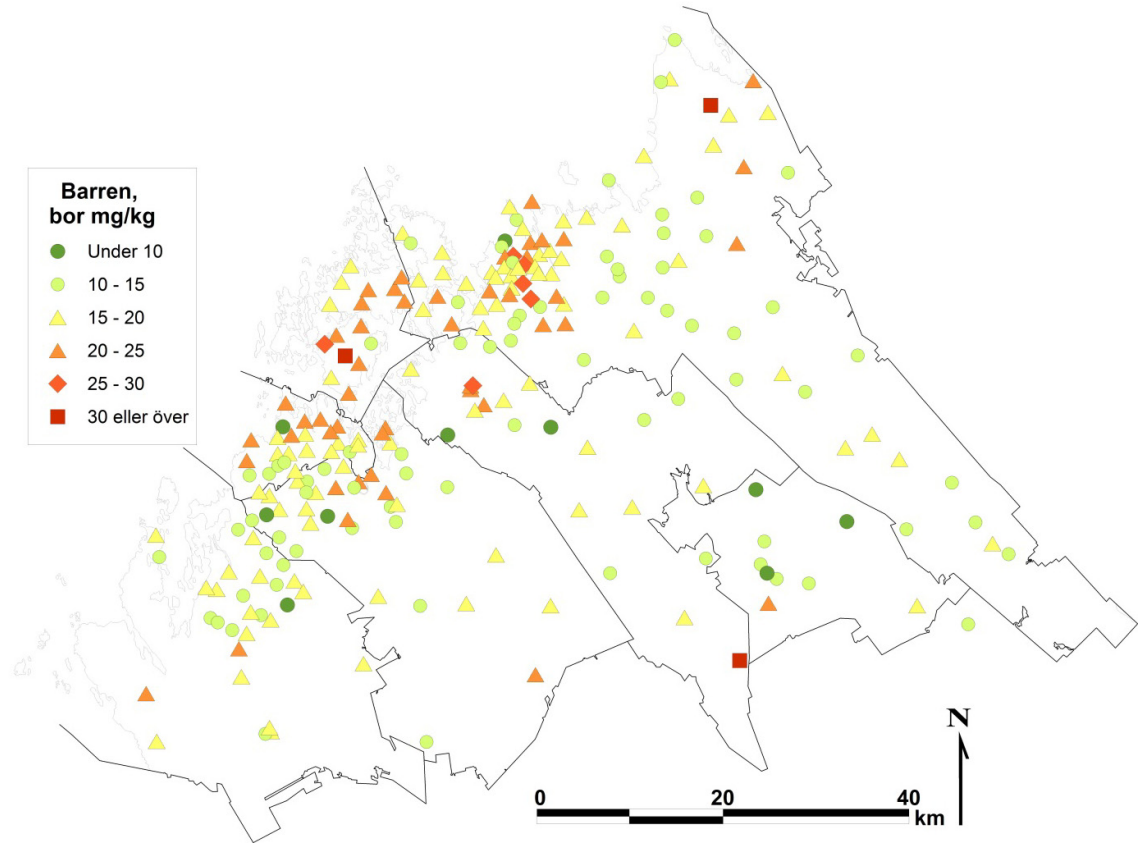
Halterna av **bor**, **kalcium**, **kalium**, **magnesium** och **fosfor** verkade primärt ge uttryck för växtplatsförhållandena hellre än utsläpp av föroreningar. De högsta medelvärdena av dessa grundämnen samt materialets högsta halter (förutom kalium) observerades på provytorna i Larsmo. Dessutom observerades i synnerhet i kustområdena rikligt med högre halter av dessa grundämnen än på det övriga området. Halterna av kalium, bor och magnesium i barr var tillräckliga i uppföljningsområdet, förutom på några ytor. Tydlig fosforbrist observerades på 17 provytor och kalciumbrist på 16 provytor. Dessa ytor fanns spridda i hela uppföljningsområdet. Halterna av **mangan** var förhöjda i synnerhet vid Karlebys kust, i de södra delarna av Karleby och i före detta Ullava-Kelviå området. På 7 ytor var manganhalterna låga i förhållande till trädens näringshushållning. Dessa ytor fanns i huvudsak i kustområdet.

Tabell 21. Medelvärdena av barrens grundämneshalter, minimi- och maximivärdena i hela området och per kommun.

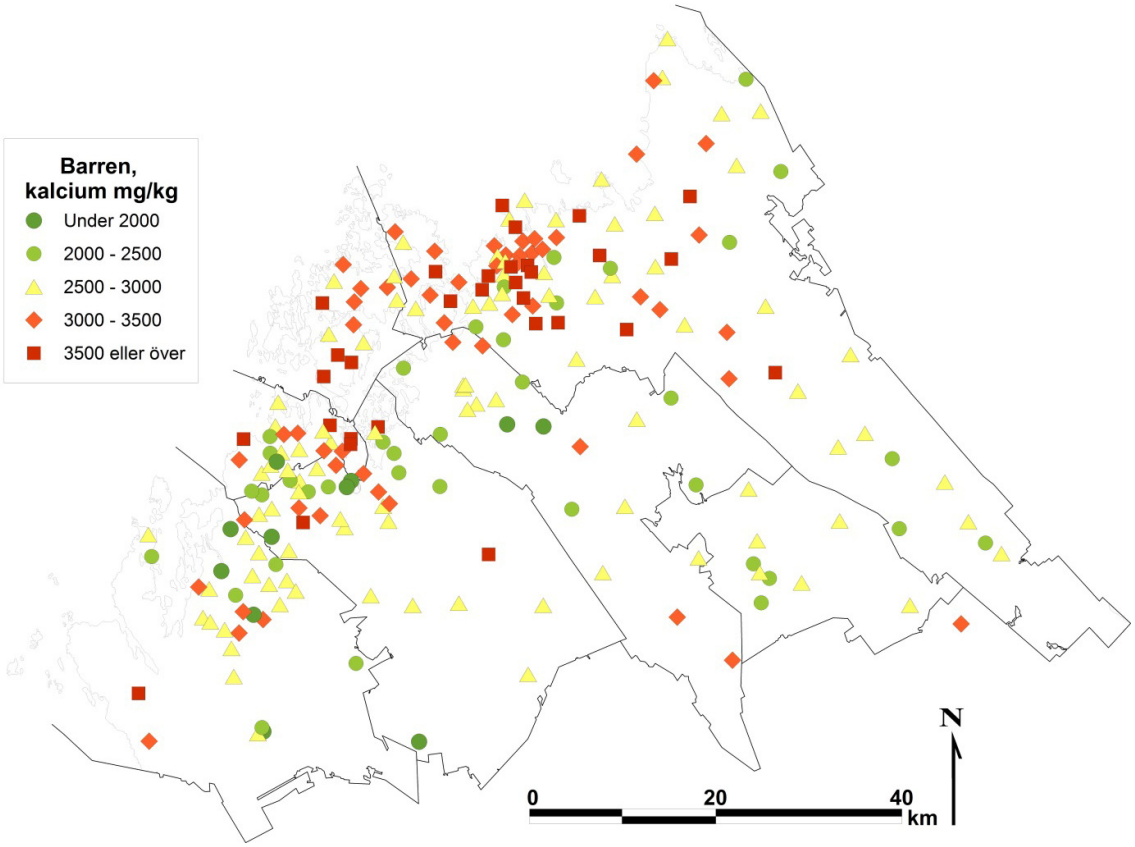
grundämne	värde	Hela	Kaustby	Karleby	Kronoby	Larsmo	Pedersöre	Jakobstad	Nykarleby
As mg/kg	medeltal	0,12		**0,22**	< 0,05	< 0,05	0,04	0,04	0,03
	minimum	< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	maximum	1		**1**	< 0,05	< 0,05	0,13	0,06	0,05
B mg/kg	medeltal	16,3	11,7	16,5	16,6	**20,9**	15,5	16,9	15,0
	minimum	4	4	6,6	5	14	8,5	7,6	8,2
	maximum	36	22	31	**36**	31	23	23	23
Ca mg/kg	medeltal	2881	2580	3036	2557	**3406**	2642	3080	2587
	minimum	1500	2000	2000	1500	2600	1700	1900	1800
	maximum	5200	3000	4400	3400	**5200**	3800	4500	3700
Cd mg/kg	medeltal	0,13	0,10	**0,21**	0,09	0,10	0,07	0,09	0,06
	minimum	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	maximum	2,6	0,54	**2,6**	0,29	0,17	0,17	0,17	0,11
Co mg/kg	medeltal	1,6		**2,9**	0,43	0,43	0,28	0,25	0,13
	minimum	0,08		0,34	0,32	0,33	0,16	0,14	0,08
	maximum	15		**15**	0,53	0,59	0,52	0,47	0,21
Cr mg/kg	medeltal	0,16	0,11	**0,20**	0,13	0,14	0,13	0,12	0,12
	minimum	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06
	maximum	0,75	0,14	**0,75**	0,19	0,24	0,51	0,23	0,6
Cu mg/kg	medeltal	3,2	2,4	**3,6**	2,9	2,8	3,5	2,8	2,9
	minimum	1,1	1,1	2,2	2,2	2,1	2,3	2,3	2,2
	maximum	18	3,1	9,5	4,4	3,4	**18**	3,2	5,8
Fe mg/kg	medeltal	94	57	**137**	78	57	65	71	57
	minimum	32	36	32	38	42	37	39	43
	maximum	690	95	**690**	210	80	97	170	85
Hg mg/kg	medeltal	0,03		**0,04**	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	minimum	0,02		0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
	maximum	0,1		**0,1**	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
K mg/kg	medeltal	5499	5350	5534	5478	**5813**	5345	5556	5433
	minimum	3900	4400	4100	4600	4800	4000	4200	3900
	maximum	7600	5900	**7600**	7000	6700	6500	7000	7000
Mg mg/kg	medeltal	783	745	788	800	**910**	757	752	753
	minimum	390	520	390	610	710	520	410	610
	maximum	1100	930	1000	1000	**1100**	1000	1000	1000
Mn mg/kg	medeltal	388	410	**413**	407	405	367	330	349
	minimum	110	230	140	120	200	110	120	140
	maximum	880	560	**880**	700	660	860	510	600
N %	medeltal	1,40	1,42	1,39	1,35	1,34	1,42	**1,44**	**1,44**
	minimum	1,1	1,23	1,1	1,11	1,17	1,22	1,25	1,19
	maximum	1,98	1,88	**1,98**	1,76	1,64	1,72	1,66	1,72
Ni mg/kg	medeltal	0,94	0,52	**1,52**	0,62	0,56	0,54	0,55	0,52
	minimum	0,09	0,27	0,13	0,36	0,42	0,27	0,31	0,09
	maximum	7,7	0,89	**7,7**	1,1	0,85	1	1	2,2
P mg/kg	medeltal	1355	1320	1355	1313	**1413**	1374	1384	1323
	minimum	990	1200	990	1100	1200	1100	1000	1100
	maximum	1900	1500	1800	1600	**1900**	1600	1600	1600
S mg/kg	medeltal	947	929	971	918	**973**	925	948	914
	minimum	710	820	710	760	870	760	810	770
	maximum	1400	1200	**1400**	1200	1200	1100	1100	1100
V mg/kg	medeltal	0,13		0,15	0,09	0,10	0,12	**0,17**	0,09
	minimum	0,067		0,081	0,087	0,08	0,074	0,071	0,067
	maximum	0,64		0,33	0,1	0,13	0,2	**0,64**	0,16
Zn mg/kg	medeltal	49	36	**59**	43	49	39	43	39
	minimum	24	29	26	25	26	28	25	24
	maximum	240	42	**240**	72	73	56	59	62



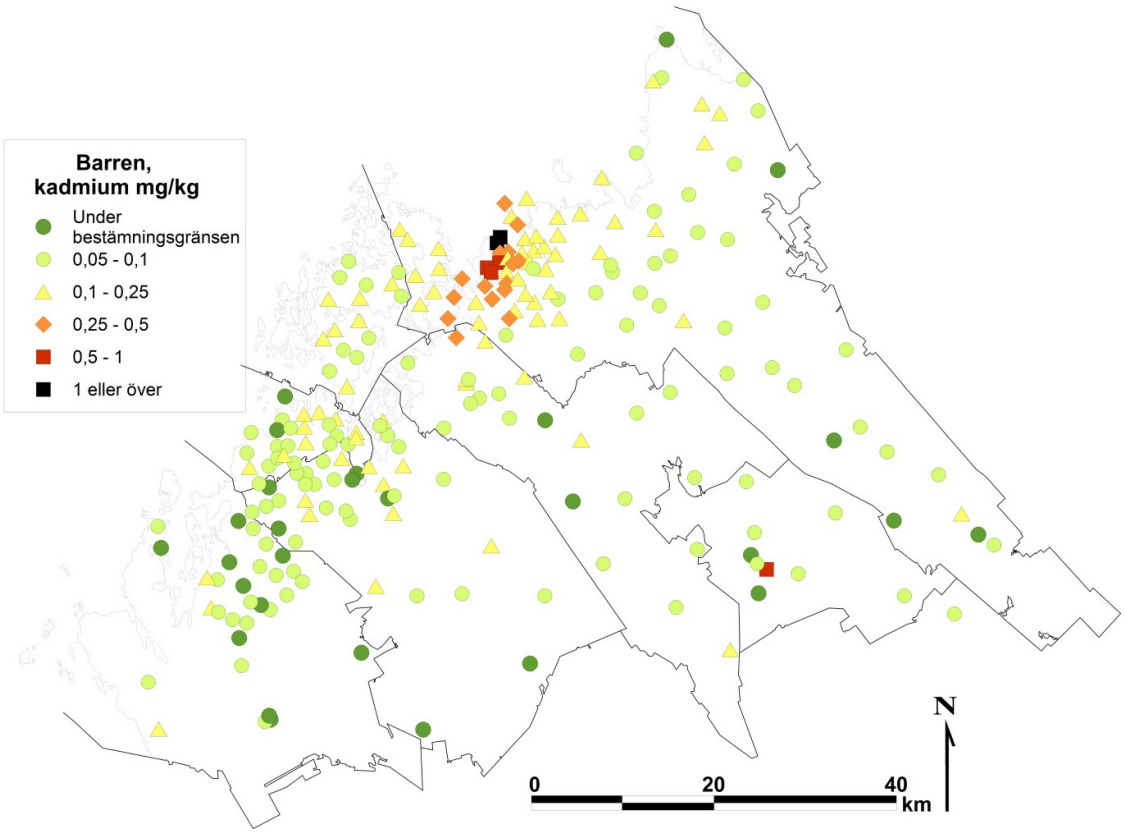
Figur 33. Tallbarrens, andra årgången, arsenikhalter på provytorna 2012 (As mg/kg).



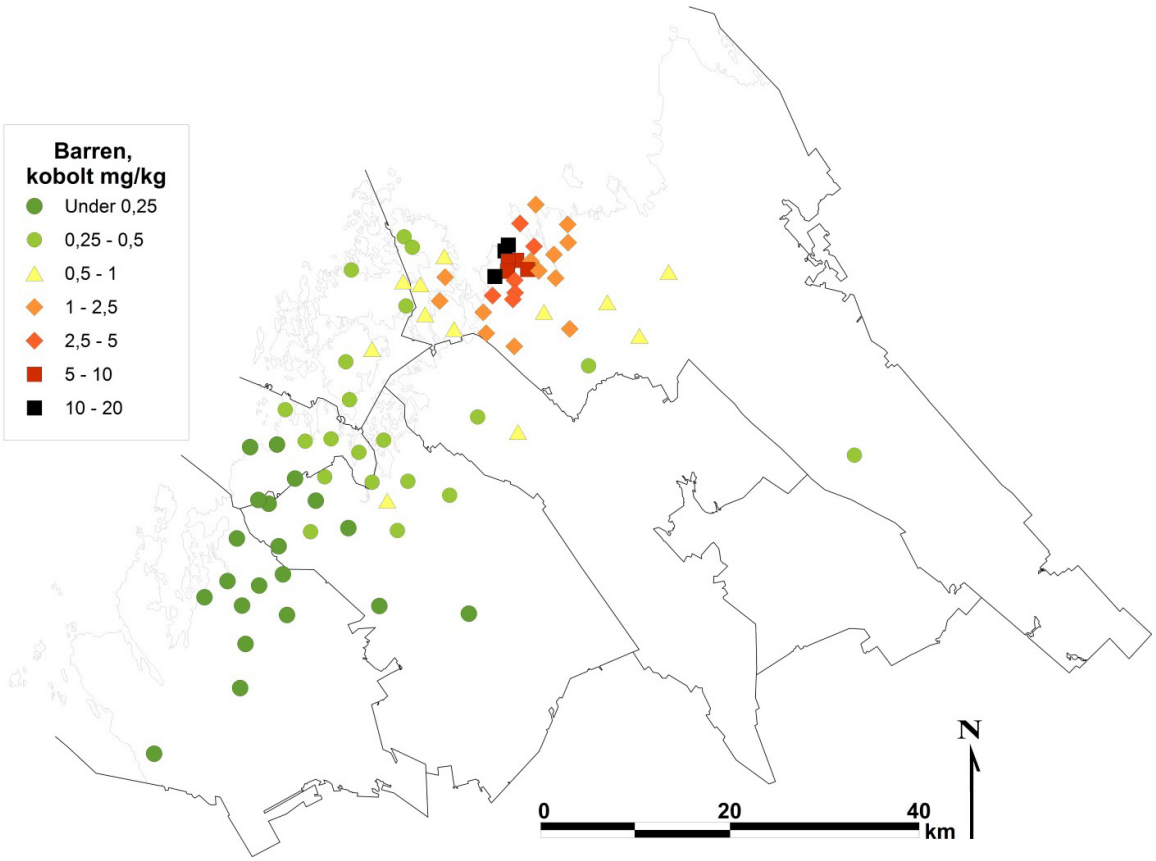
Figur 34. Tallbarrens, andra årgången, borhalter på provytorna 2012 (B mg/kg).



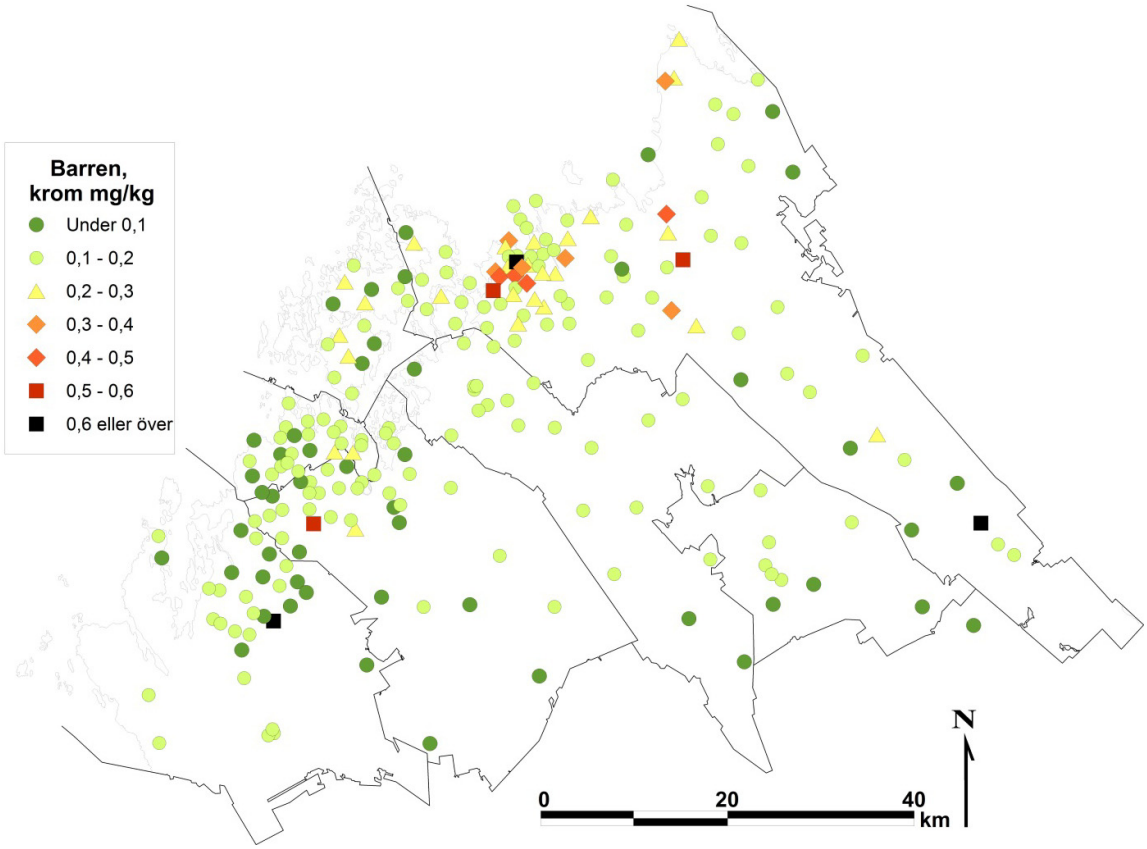
Figur 35. Tallbarrens, andra årgången, kalciumhalter på provytorna 2012 (Ca mg/kg).



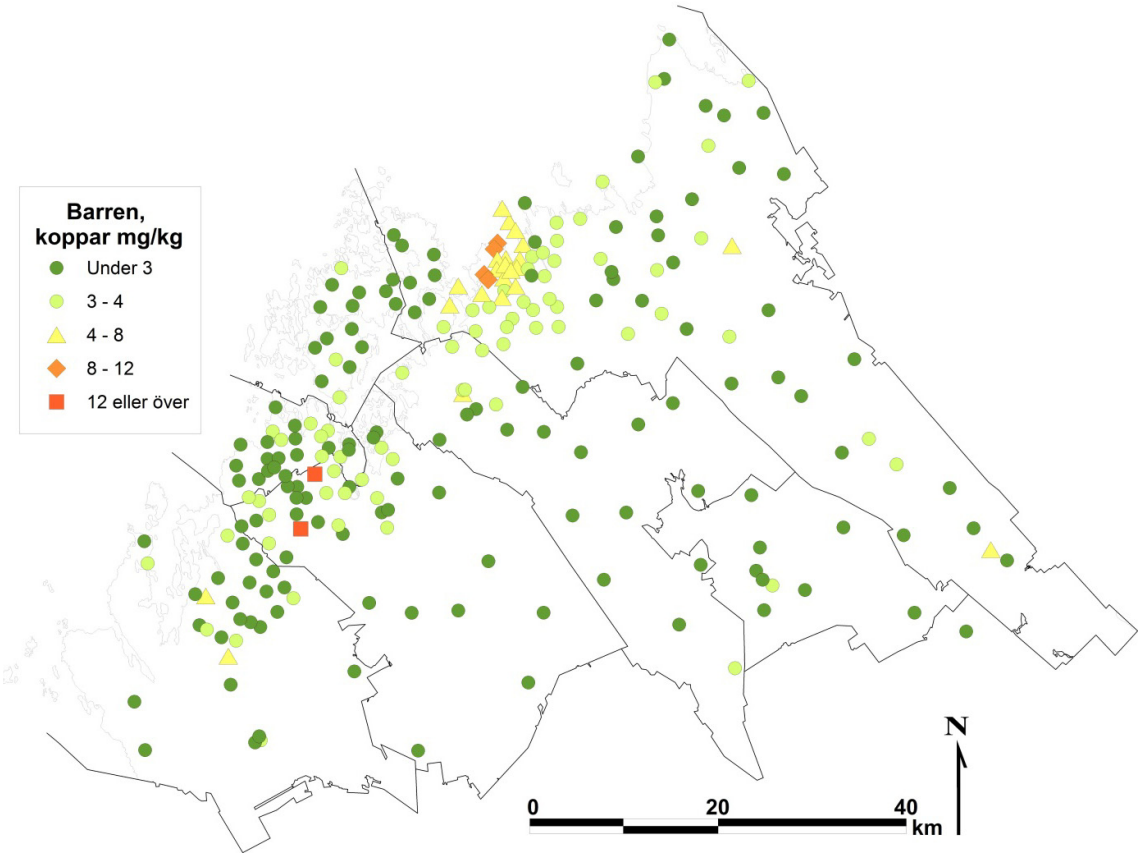
Figur 36. Tallbarrens, andra årgången, kadmiumhalter på provytorna 2012 (Cd mg/kg).



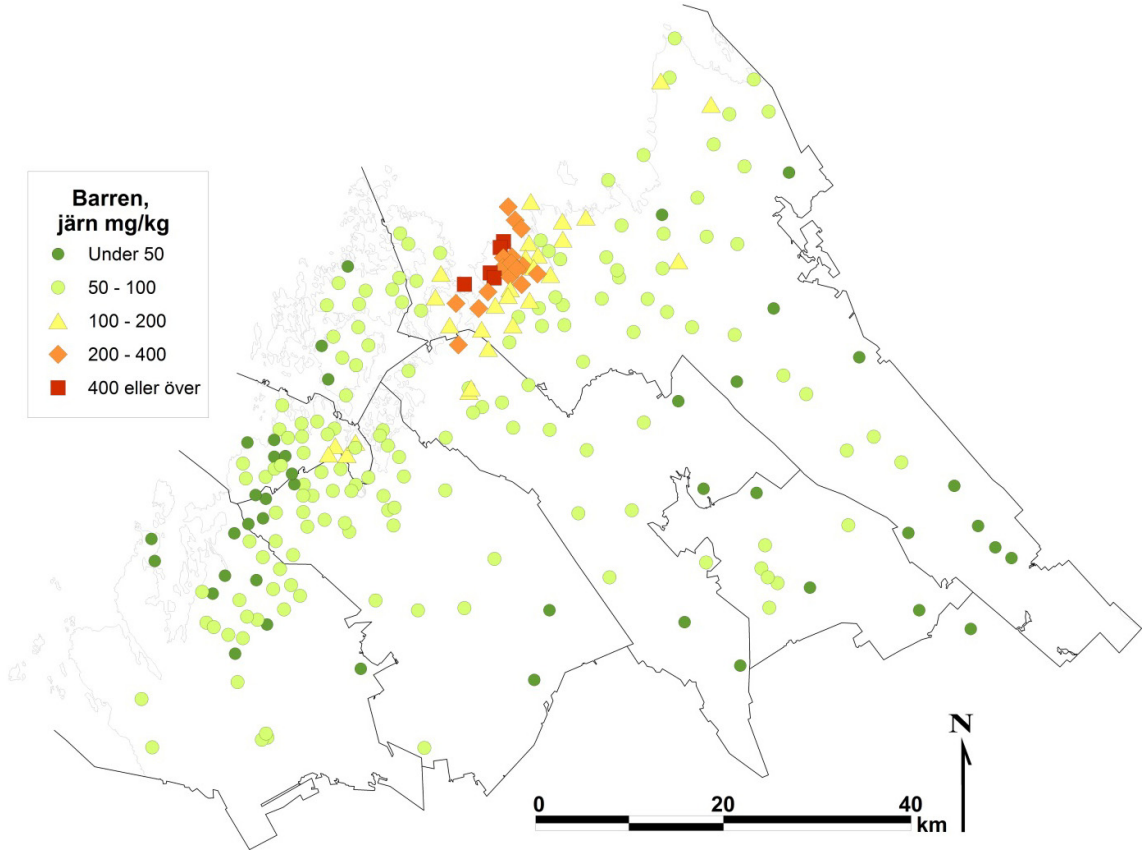
Figur 37. Tallbarrens, andra årgången, kobolthalter på provytorna 2012 (Co mg/kg).



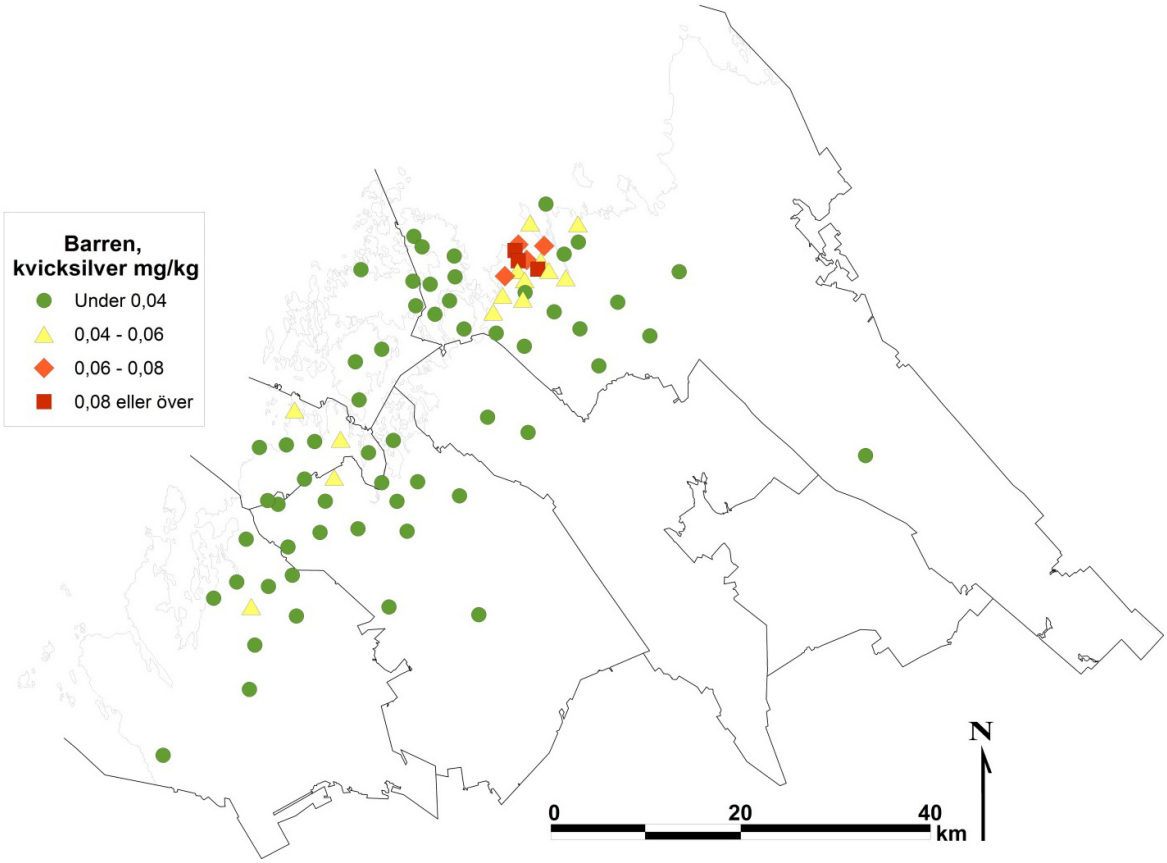
Figur 38. Tallbarrens, andra årgången, kromhalter på provytorna 2012 (Cr mg/kg).



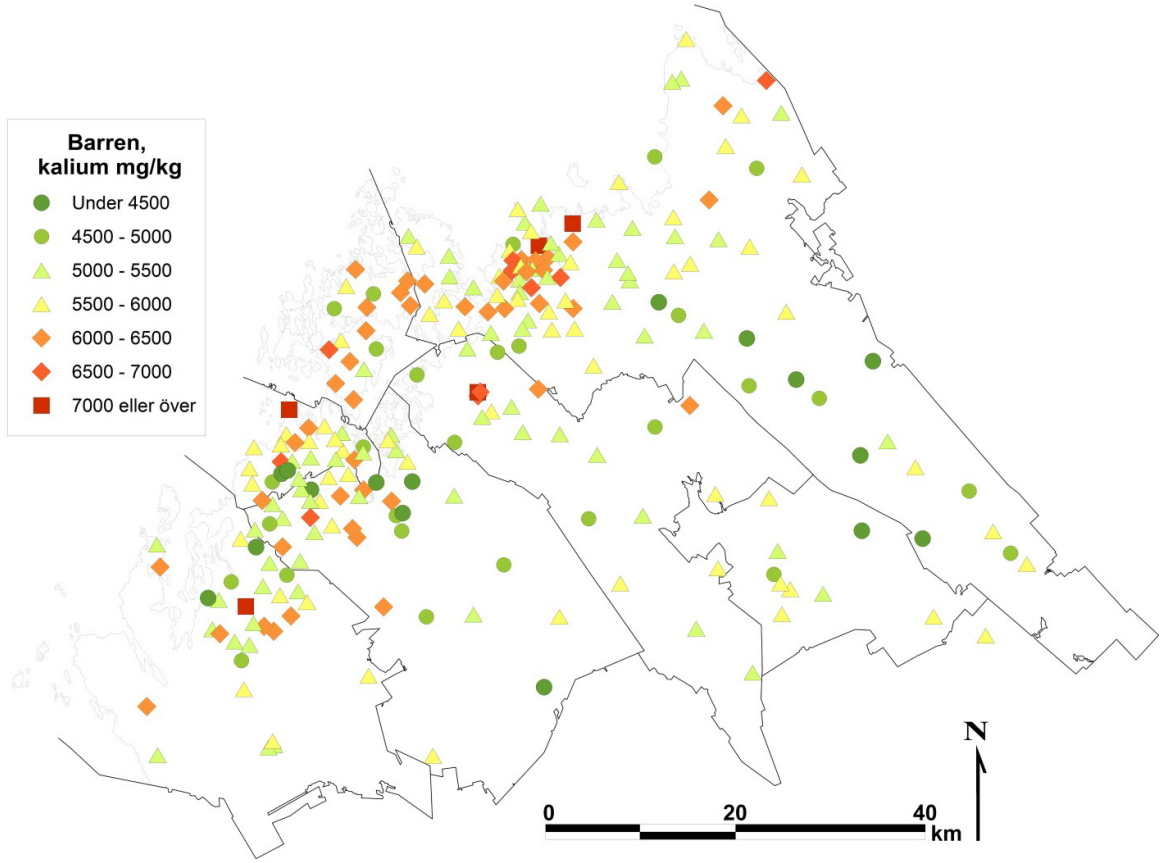
Figur 39. Tallbarrens, andra årgången, kopparhalter på provytorna 2012 (Cu mg/kg).



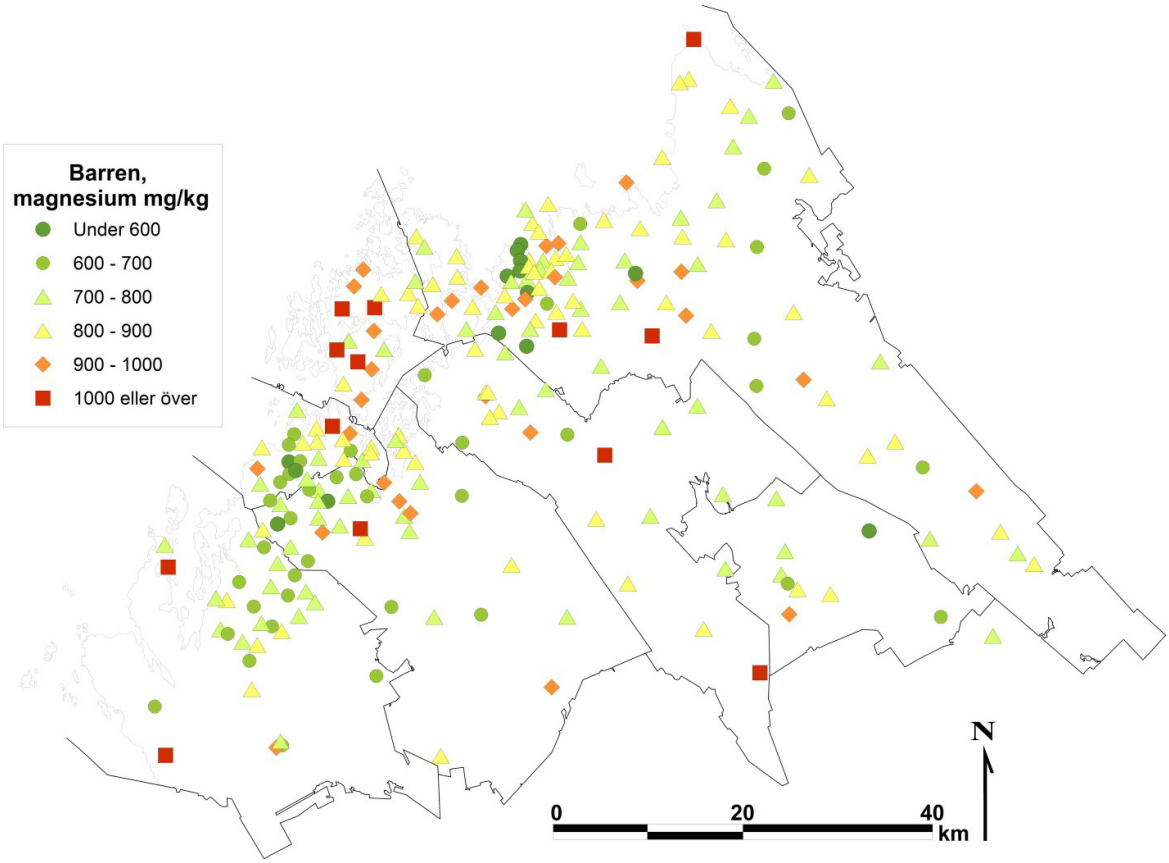
Figur 40. Tallbarrens, andra årgången, järnhalter på provytorna 2012 (Fe mg/kg).



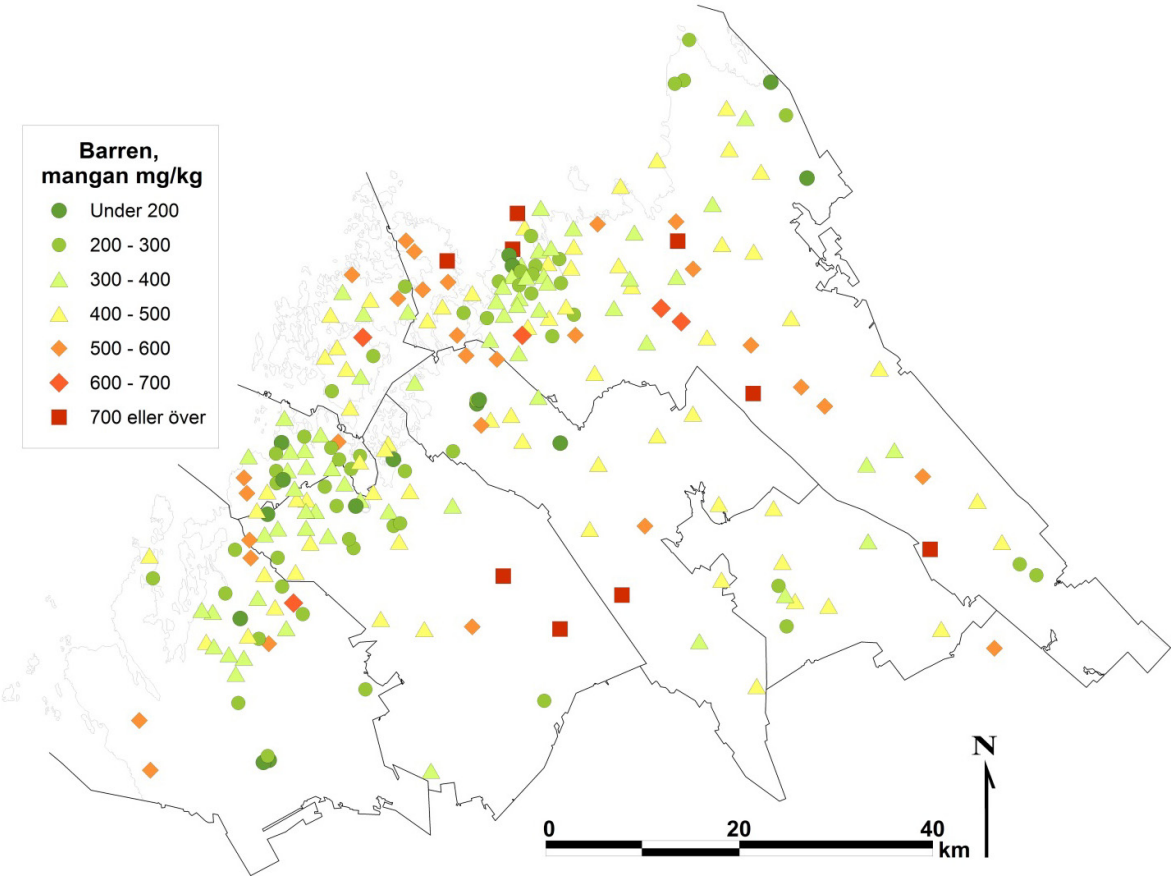
Figur 41. Tallbarrens, andra årgången, kvicksilverhalter på provytorna 2012 (Hg mg/kg).



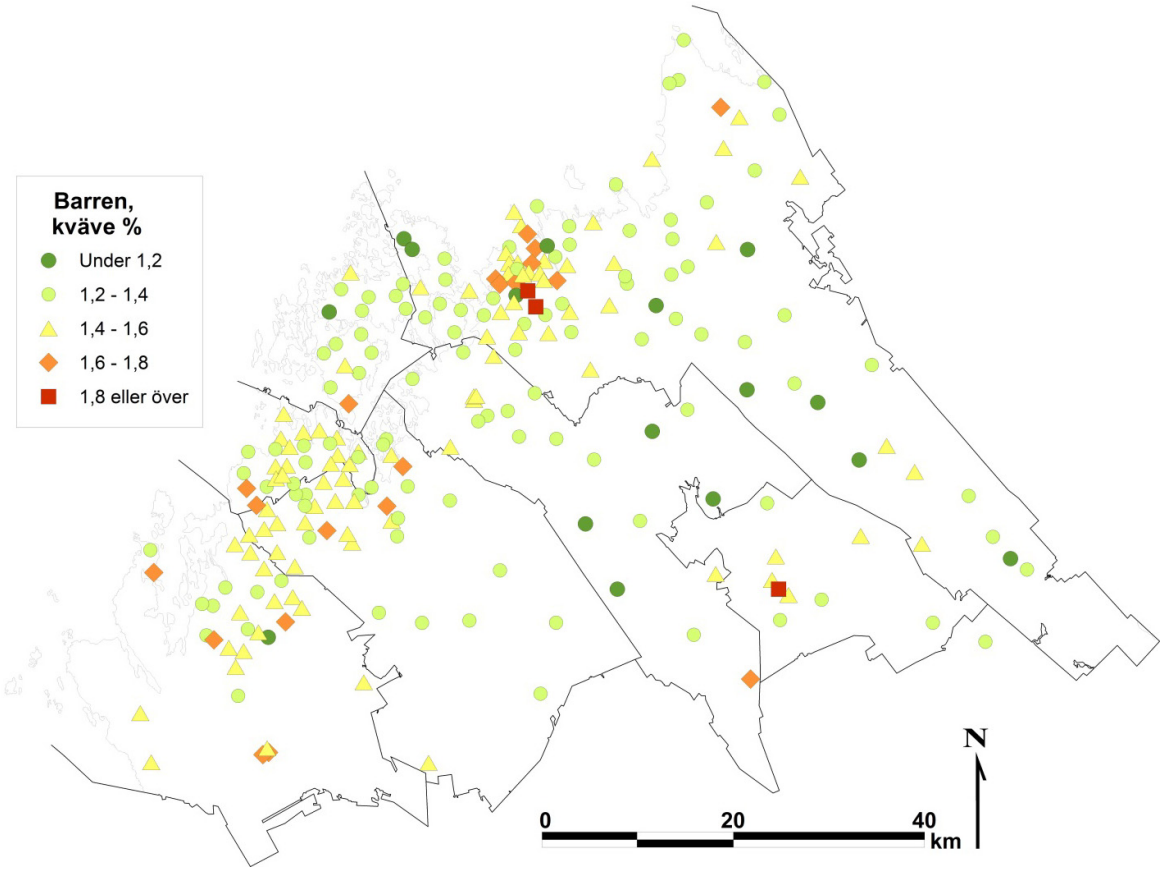
Figur 42. Tallbarrens, andra årgången, kaliumhalter på provytorna 2012 (K mg/kg).



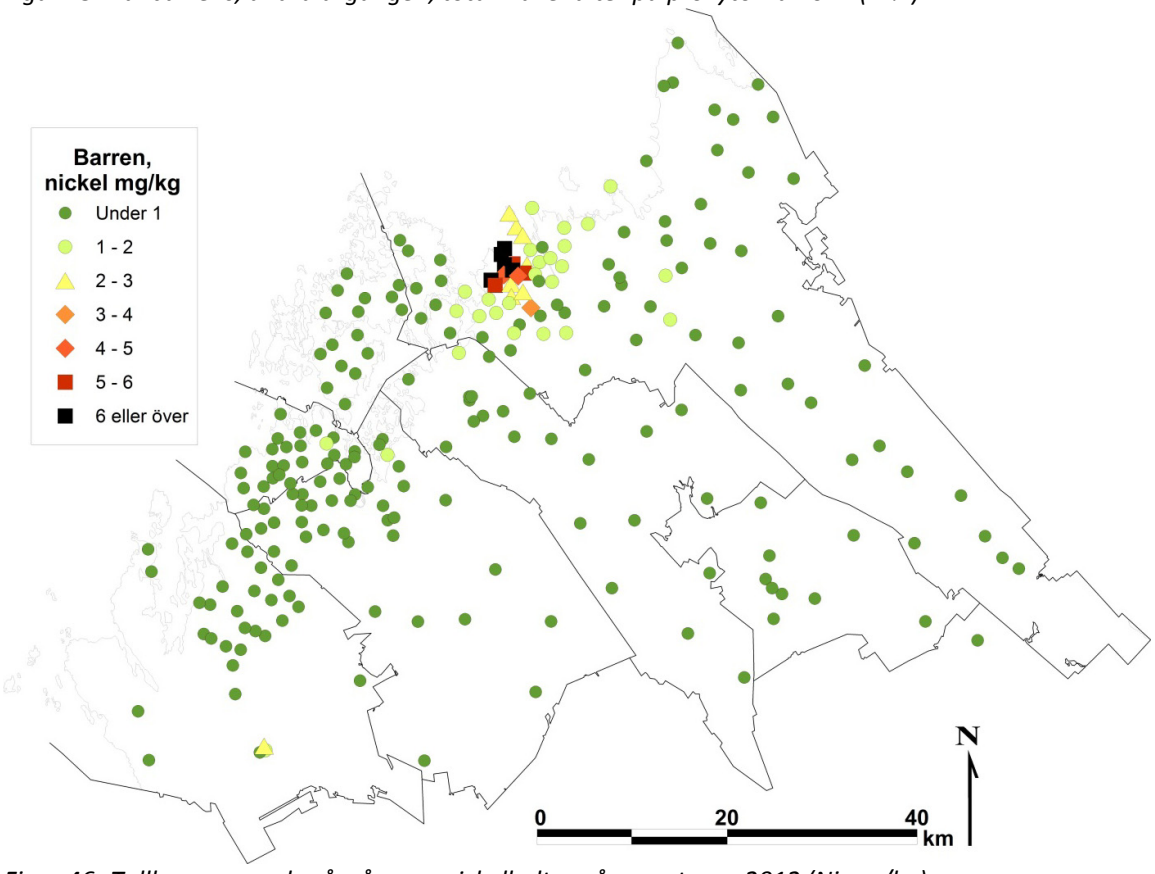
Figur 43. Tallbarrens, andra årgången, magnesiumhalter på provytorna 2012 (Mg mg/kg).



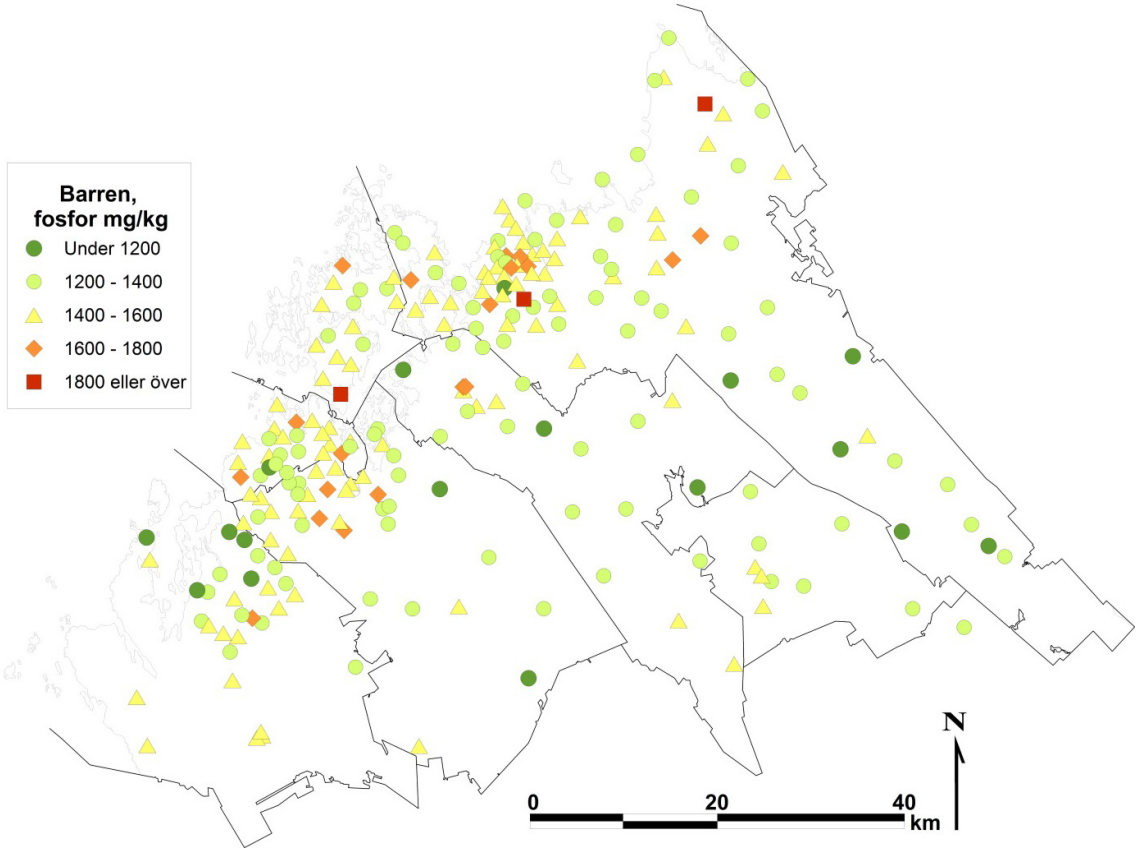
Figur 44. Tallbarrens, andra årgången, manganhalter på provytorna 2012 (Mn mg/kg).



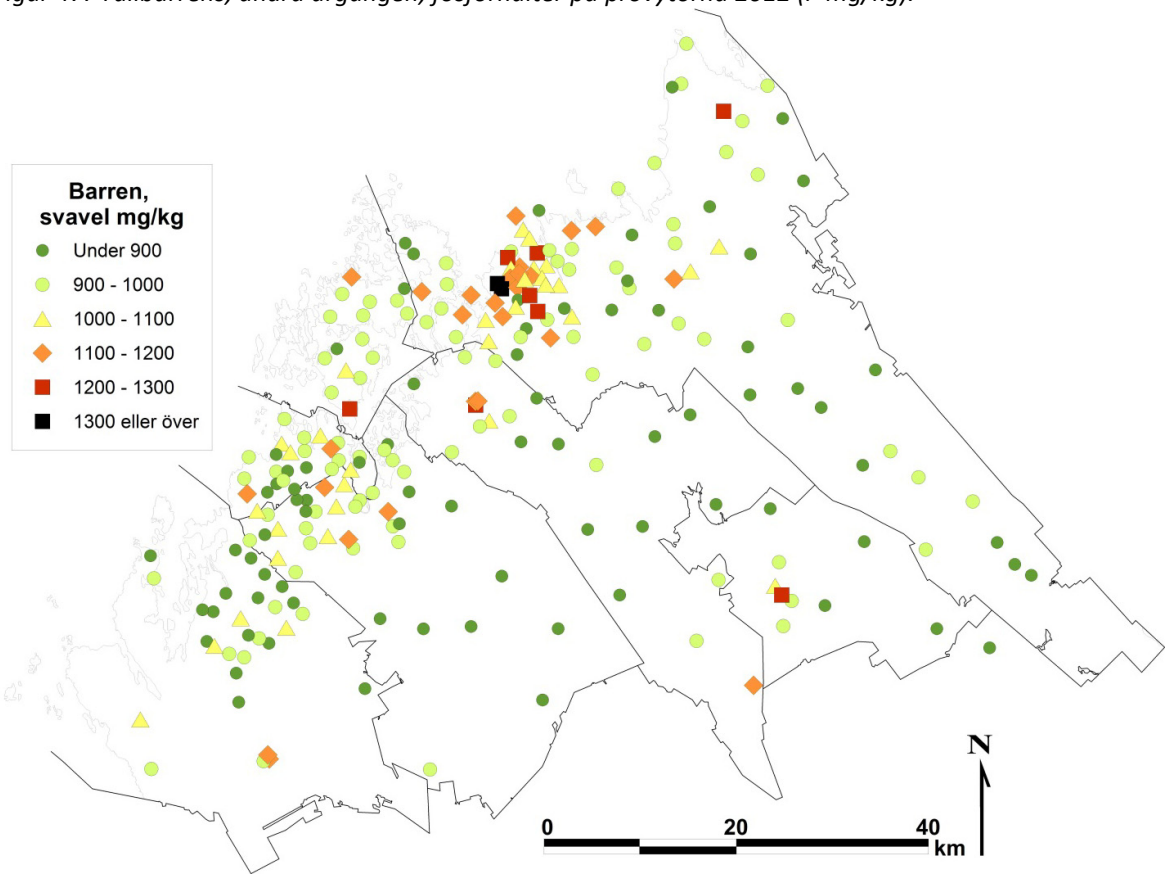
Figur 45. Tallbarrens, andra årgången, totalkvävehalter på provytorna 2012 (N %).



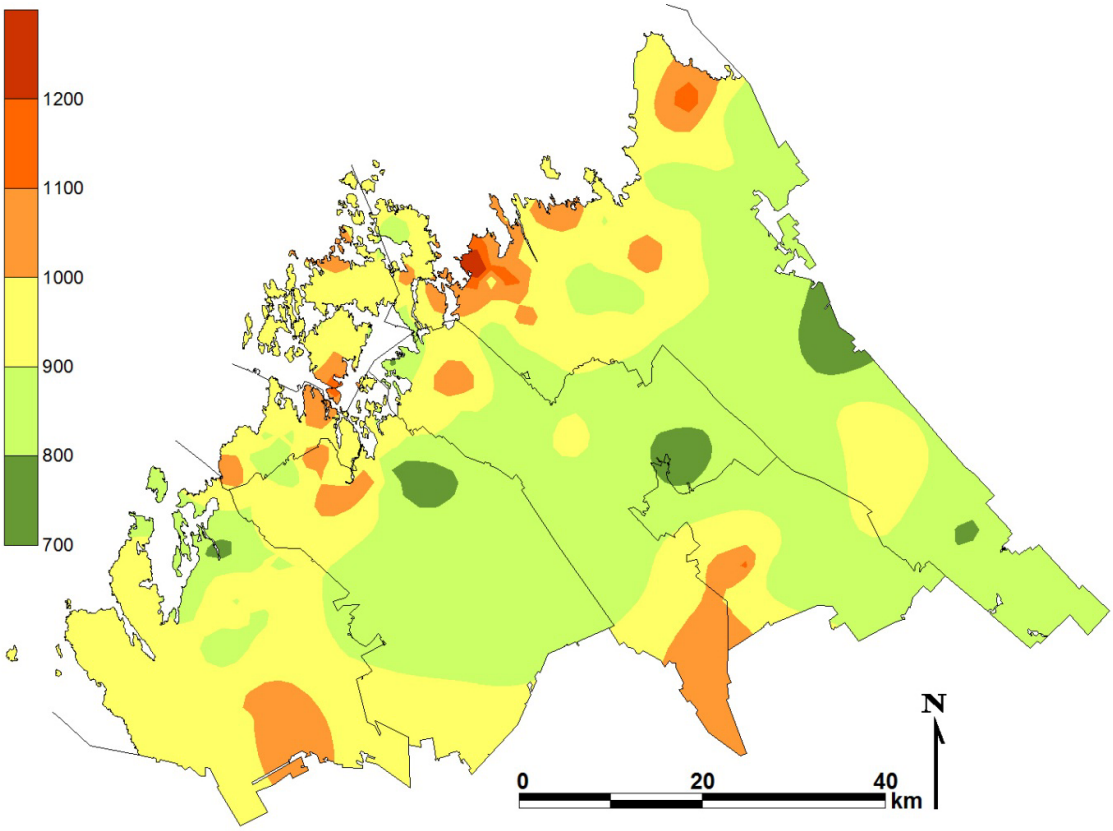
Figur 46. Tallbarrens, andra årgången, nickelhalter på provytorna 2012 (Ni mg/kg).



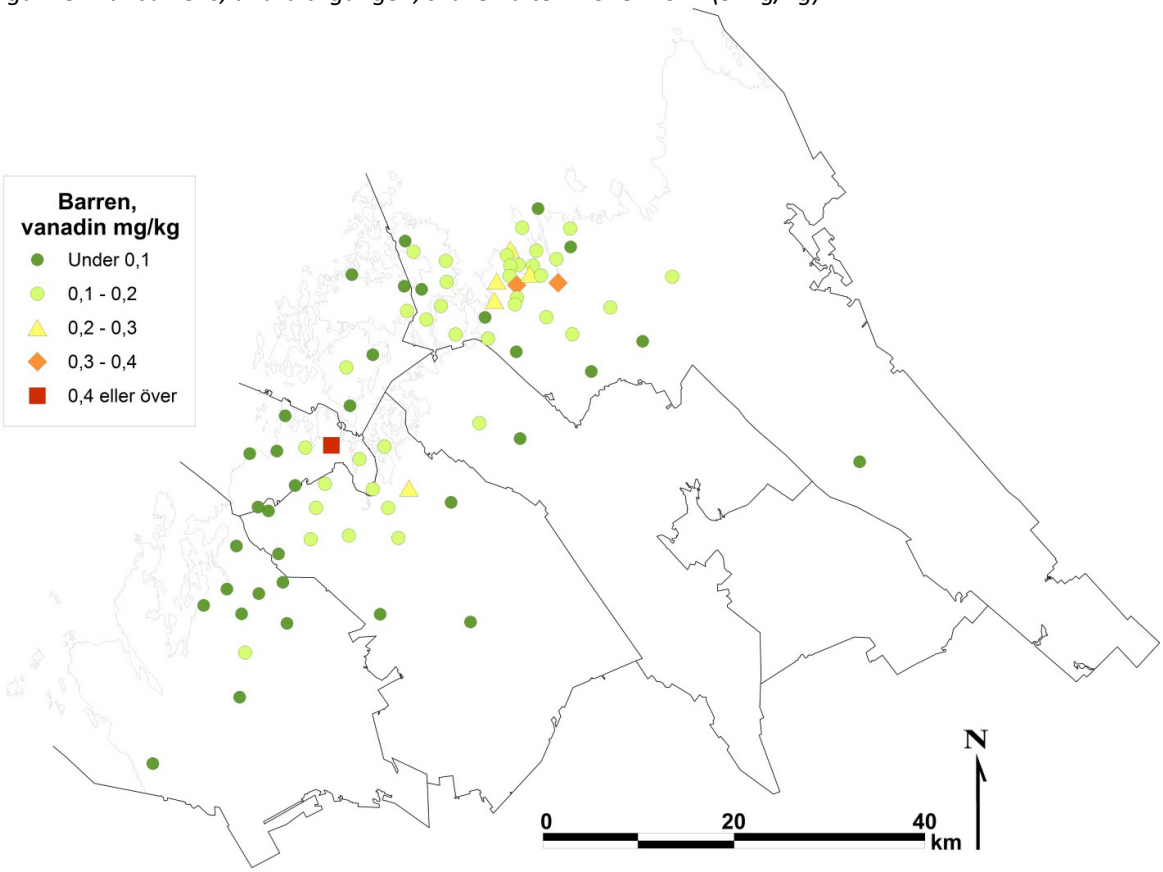
Figur 47. Tallbarrens, andra årgången, fosforhalter på provytorna 2012 (P mg/kg).



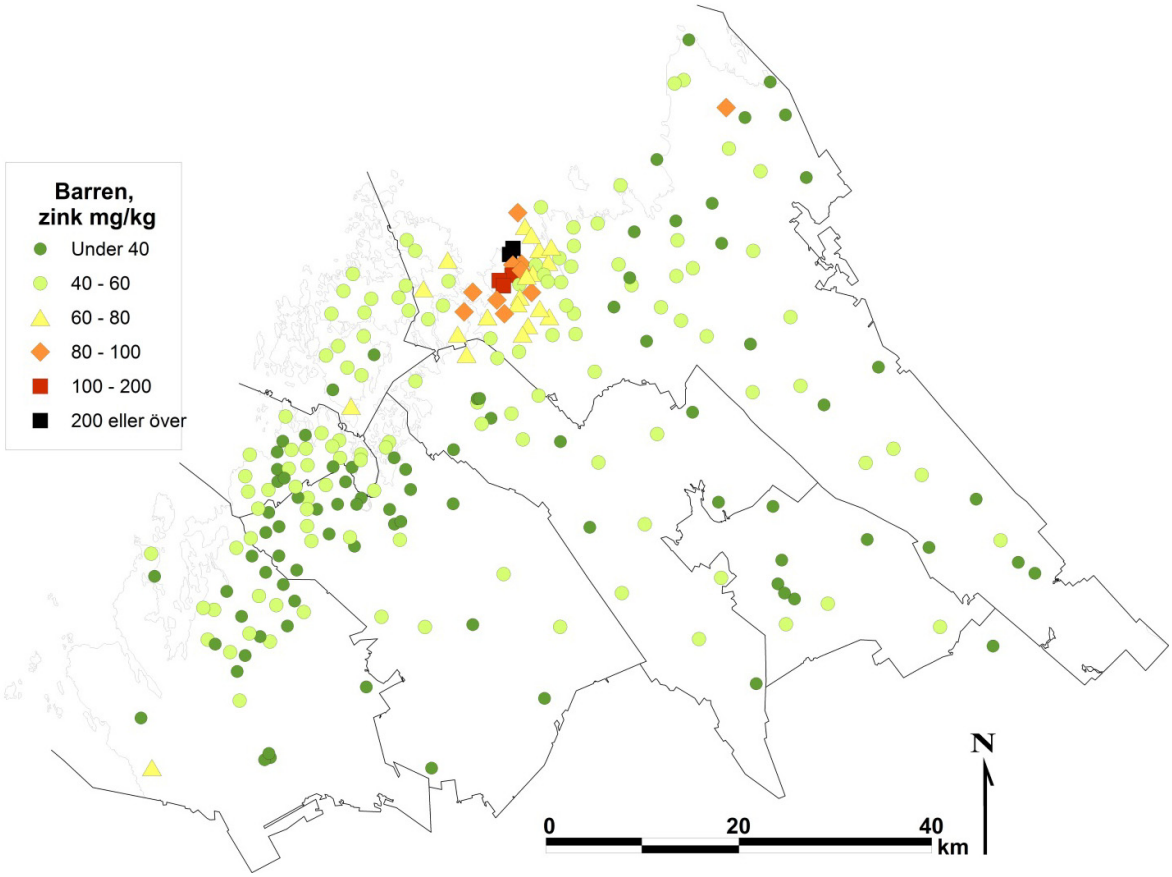
Figur 48. Tallbarrens, andra årgången, svavelhalter på provytorna 2012 (S mg/kg).



Figur 49. Tallbarrens, andra årgången, svavelhalter i zoner 2012 (S mg/kg).



Figur 50. Tallbarrens, andra årgången, vanadinhalter på provytorna 2012 (V mg/kg).



Figur 51. Tallbarrens, andra årgången, zinkhalter på provytorna 2012 (Zn mg/kg).

4.3 Mossornas grundämneshalter

I tabell 22 presenteras mossornas genomsnittliga grundämneshalter och minimi- och maximivärdena både för hela uppföljningsområdet och per kommun. I tabell 23 presenteras halterna av beryllium-, litium-, titan- och antimon i mossan på nio provytor, som fanns i omgivningen av Lochteås skjutbana och planerade nya gruvområden. I figurerna 52–75 presenteras grundämneshalterna på kartor.

I mossornas grundämneshalter observerades i fråga om **arsenik**, **kadmium**, **kobolt**, **koppar**, **bly** och **zink** en klar Karlebycentrerad gradient, där de högsta halterna observerades på ytor nära Yxpila och i Karleby och halter i de övriga uppföljningsområdet var klart lägre än i det här området. Även i halten av **krom** i mossorna framträdde en Karlebycentrerad gradient, även om den högsta enskilda kromhalten visserligen uppmättes i Pedersöre. Enstaka förhöjda kromhalter observerades också i Jakobstad och på en yta nära Kelviå centrum.

Förhöjda halter av **aluminium, järn**, **kvicksilver** och **nickel** observerades förutom på ytor i Karleby centrum också på andra ytor i närheten av industriområden i Jakobstad och Kronoby. Förhöjda aluminiumhalter observerades också i Kelviå och Kaustby. Mossornas halter av **svavel** var förhöjda i centrumområdena i Karleby och Jakobstad. Därtill skiljde sig Findest området, Kronoby industriområde och Jeppoområdet ur mängden på grund av de förhöjda svavelhalterna. De förhöjda halterna av **vanadin** fanns i samma områden som de förhöjda svavelhalterna.

De högsta halterna av **bor** och **kalcium** observerades i Karleby, men medelvärdena var högst i Jakobstad. Halterna av **kalium** och **fosfor** var högre i närheten av kusten än i det övriga området. De högsta halterna av **magnesium** fanns i Karlebys centrumområde och i området Jakobstad-Pedersöre. De högsta halterna av **mangan** fanns i före detta Kelviås och Ullava kommuners område, i de södra delarna av Karleby. De högsta halterna av **natrium** fanns i Karleby; i natriumhalterna kunde man dock inte se någon klar regionalitet.

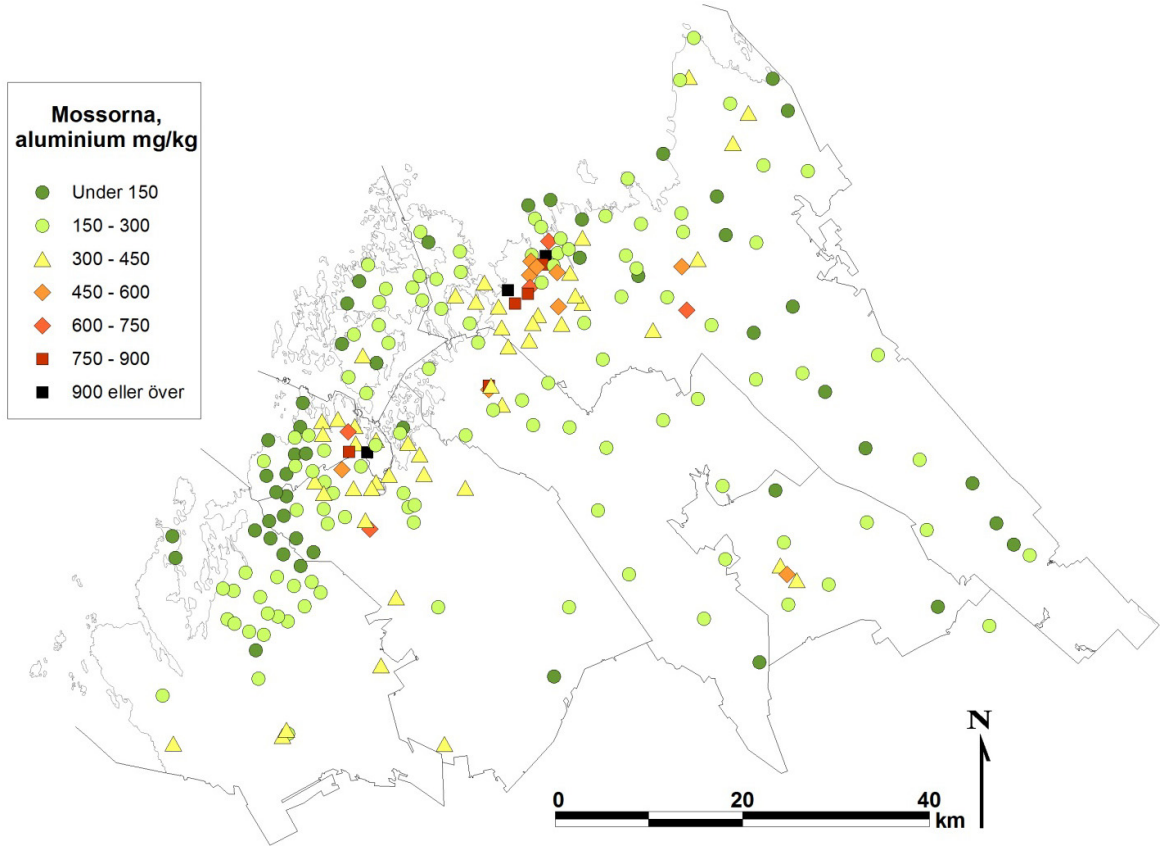
Halterna av antimon undersöktes i närheten av Lochteås skjutbana och på jämförelseområdena i närheten av planerade nya gruvområden i Ullava-Kaustby. Halterna av beryllium, litium och titan undersöktes i närheten av gruvområdena och i Lochteå. Halterna av alla dessa grundämnen var små. De högsta halterna av **titan** fanns i Lochteå (figur 72). Variationen i titanhalterna beror på den naturliga variationen i jordens egenskaper och bakgrundsnedfall. De högsta halterna av **antimon** fanns i Lochteå och tidigare Ullava (figur 73). Halterna av antimon kan vara förhöjda i närheten av skjutbanor, men halterna i Lochteå var inte högre än halterna på andra områdena. Halterna av **beryllium** och **litium** i mossor var under bestämningsgränsen, med andra ord mycket små. Därför presenterades de inte på kartorna. Halterna i mossor uttrycker i allmänhet nedfallet via luften, vilket orsakar liten eller ingen belastning av dessa grundämnen.

Tabell 22. Medelvärden, minimi- och maximivärden för mossornas grundämneshalter i hela området samt per kommun. De högsta värdena anges med fetstil i tabellen.

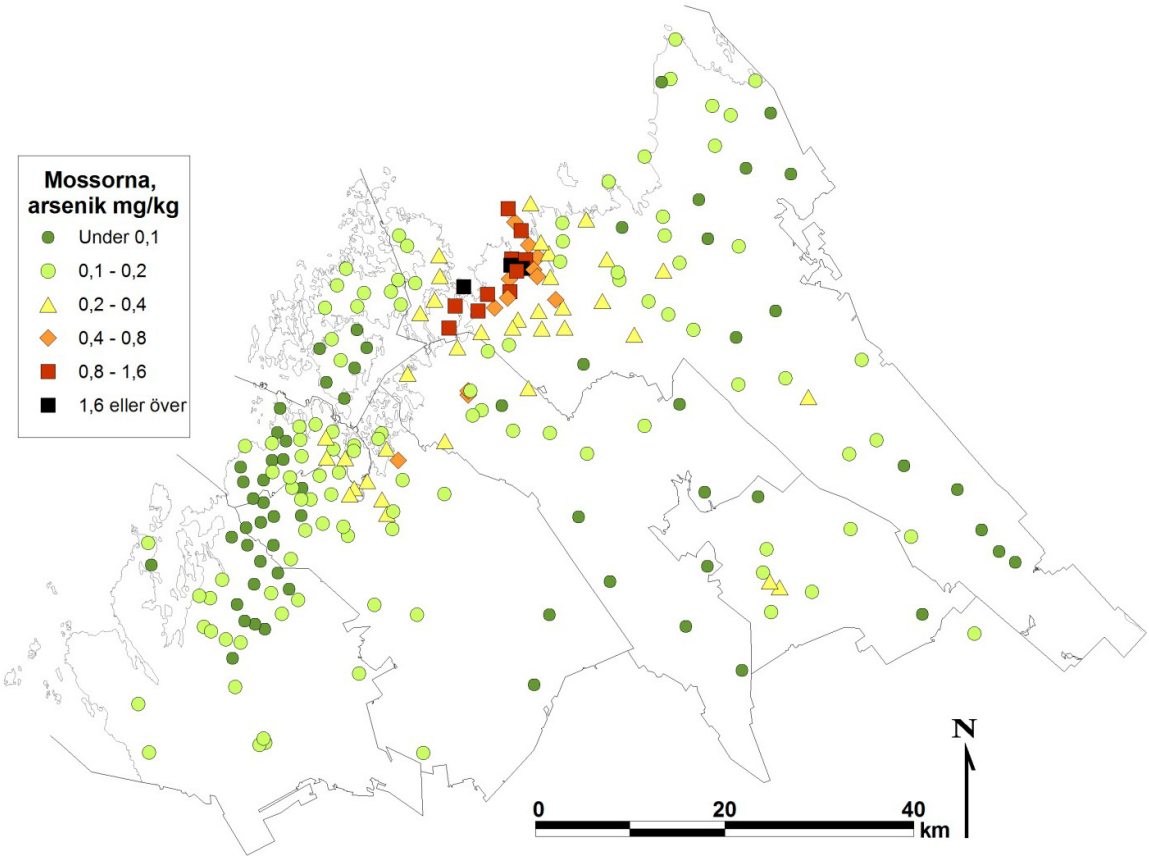
grundämne	värde	Hela	Kaustby	Karleby	Kronoby	Larsmo	Pedersöre	Jakobstad	Nykarleby
Al mg/kg	Medeltal	268	242	**306**	257	180	264	295	208
	Minimum	90	110	93	109	94	100	90	109
	Maximum	1525	474	**1525**	881	301	620	1011	364
As mg/kg	Medeltal	0,23	0,14	**0,39**	0,17	0,11	0,14	0,12	0,11
	Minimum	0,05	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06
	Maximum	2,5	0,28	**2,5**	0,65	0,19	0,4	0,25	0,18
B mg/kg	Medeltal	1,24	0,80	1,28	1,11	1,58	1,28	**1,73**	0,75
	Minimum	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Maximum	5,7	2	**5,7**	4	5,2	3	4	1
Ca mg/kg	Medeltal	2577	2270	2561	2427	2813	2711	**2917**	2273
	Minimum	1300	2000	1600	1700	1500	1300	2000	1600
	Maximum	4500	2700	**4500**	3900	3700	4000	4000	3100
Cd mg/kg	Medeltal	0,24	0,12	**0,38**	0,20	0,16	0,13	0,14	0,11
	Minimum	0,07	0,09	0,08	0,11	0,13	0,08	0,08	0,07
	Maximum	1,6	0,15	**1,6**	0,41	0,23	0,23	0,25	0,16
Co mg/kg	Medeltal	2,88	0,43	**5,65**	1,95	1,94	0,97	1,09	0,46
	Minimum	0,22	0,22	0,28	0,25	1,1	0,36	0,54	0,31
	Maximum	27	0,64	**27**	5,4	3,7	1,9	2,4	0,69
Cr mg/kg	Medeltal	1,09	1,06	**1,23**	0,94	0,82	1,22	1,11	0,79
	Minimum	0,48	0,73	0,62	0,57	0,69	0,55	0,56	0,48
	Maximum	11	1,8	4	2,2	1	**11**	2,9	1,3
Cu mg/kg	Medeltal	6,0	4,1	**8,2**	5,4	4,8	4,7	4,9	3,8
	Minimum	2,7	3,3	2,7	3,1	3,6	3,3	3,1	3,3
	Maximum	57	5	**57**	12	6,6	7,7	9,5	5,2
Fe mg/kg	Medeltal	435	333	**547**	387	251	408	481	269
	Minimum	110	120	140	120	120	130	140	110
	Maximum	2400	710	**2400**	1400	460	870	1800	530
Hg mg/kg	Medeltal	0,05	0,04	**0,07**	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04
	Minimum	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
	Maximum	0,28	0,04	**0,28**	0,24	0,05	0,07	0,07	0,06
K mg/kg	Medeltal	6236	5250	6223	6368	6469	**6561**	6083	6113
	Minimum	2800	4300	3900	4300	4000	2800	4500	3000
	Maximum	10000	6000	**10000**	8600	8400	**10000**	8500	8200
Mg mg/kg	Medeltal	1084	1020	1067	1030	1073	1163	**1187**	1023
	Minimum	520	860	720	680	570	520	710	790
	Maximum	2100	1300	**2100**	1900	1300	2000	1800	1400
Mn mg/kg	Medeltal	302	303	304	303	292	**325**	271	299
	Minimum	98	200	110	180	98	190	140	150
	Maximum	680	420	**680**	430	450	480	390	440
Na mg/kg	Medeltal	82	82	83	72	83	80	82	**88**
	Minimum	43	51	43	52	46	51	47	47
	Maximum	250	120	**250**	130	140	110	140	150
Ni mg/kg	Medeltal	2,1	1,1	**3,4**	1,5	1,2	1,2	1,5	1,3
	Minimum	0,54	0,66	0,54	0,56	0,96	0,58	0,57	0,55
	Maximum	17	2	**17**	3,9	2,2	5,7	6,1	7,9
P mg/kg	Medeltal	1336	1114	1330	1311	1349	**1480**	1443	1179
	Minimum	670	900	820	960	680	670	940	730
	Maximum	2600	1500	**2600**	2400	1800	**2600**	2100	1700
Pb mg/kg	Medeltal	2,6	1,3	**4,3**	2,1	1,5	1,7	1,5	1,3
	Minimum	0,77	1,1	0,9	0,9	1	0,8	0,9	0,9
	Maximum	22	1,7	**22**	6,1	2,3	4	2,8	2,3
S mg/kg	Medeltal	979	915	983	931	868	1016	**1076**	964
	Minimum	480	670	670	730	480	480	830	580
	Maximum	1800	1500	**1800**	1600	1100	1700	1500	1600
V mg/kg	Medeltal	1,1	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	1,5	**1,7**
	Minimum	0,39	0,5	0,42	0,39	0,51	0,39	0,45	0,39
	Maximum	15	2,8	3,7	2,6	1,7	1,8	9,7	**15**
Zn mg/kg	Medeltal	74	38	**117**	58	45	48	50	36
	Minimum	21	25	24	28	21	28	29	23
	Maximum	560	81	**560**	150	62	81	82	55

Tabell 23. Mossans halter av beryllium, litium, titan och antimon på provytorna i Karleby. Resultaten märkta med stjärna ligger under bestämningsgränsen.

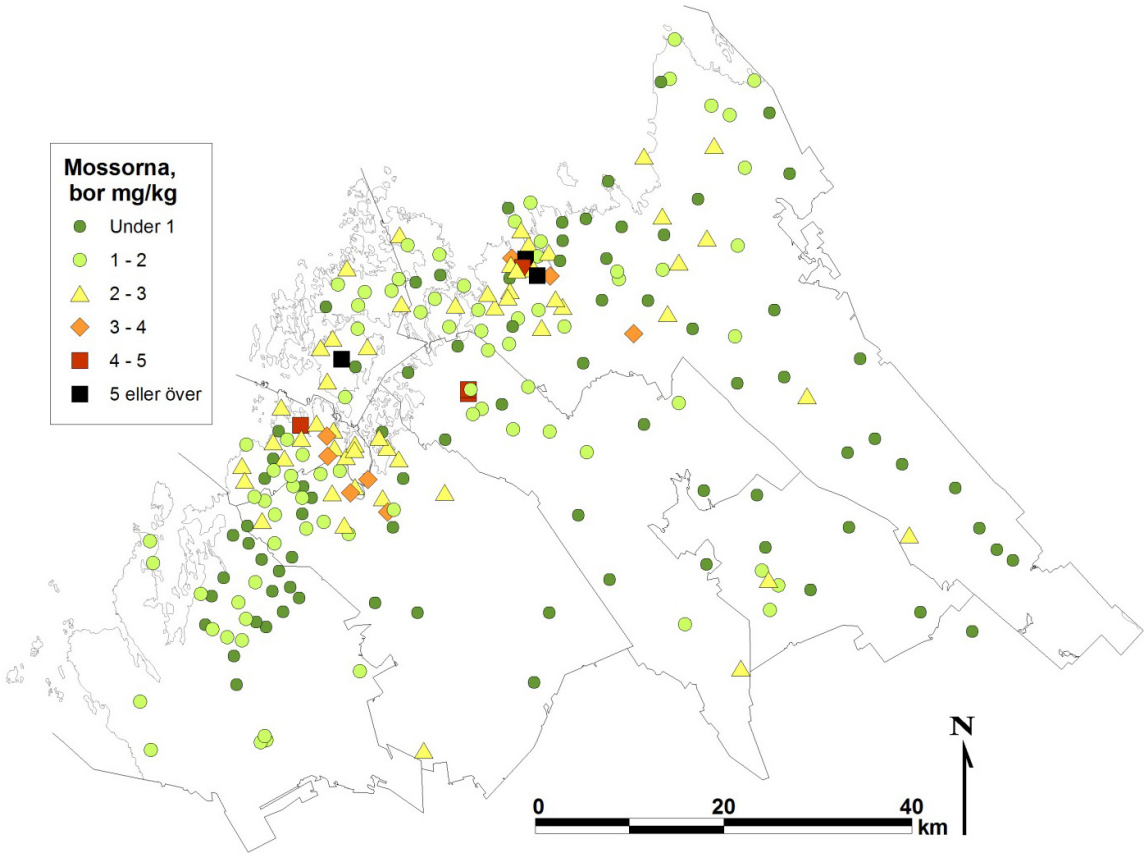
Yta	Be	Li	Ti	Sb
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
6	< 0,05*	< 0,5*	12	< 0,05*
60	< 0,05*	< 0,5*	14	0,08
87	< 0,05*	< 0,5*	17	0,08
88	< 0,05*	< 0,5*	30	< 0,05*
89	< 0,05*	< 0,5*	8	< 0,05*
95	< 0,05*	< 0,5*	23	0,08
96	< 0,05*	< 0,5*	15	0,07
97	< 0,05*	< 0,5*	17	0,06
98	< 0,05*	< 0,5*	13	0,05
medeltal	< 0,05*	< 0,5*	17	0,07



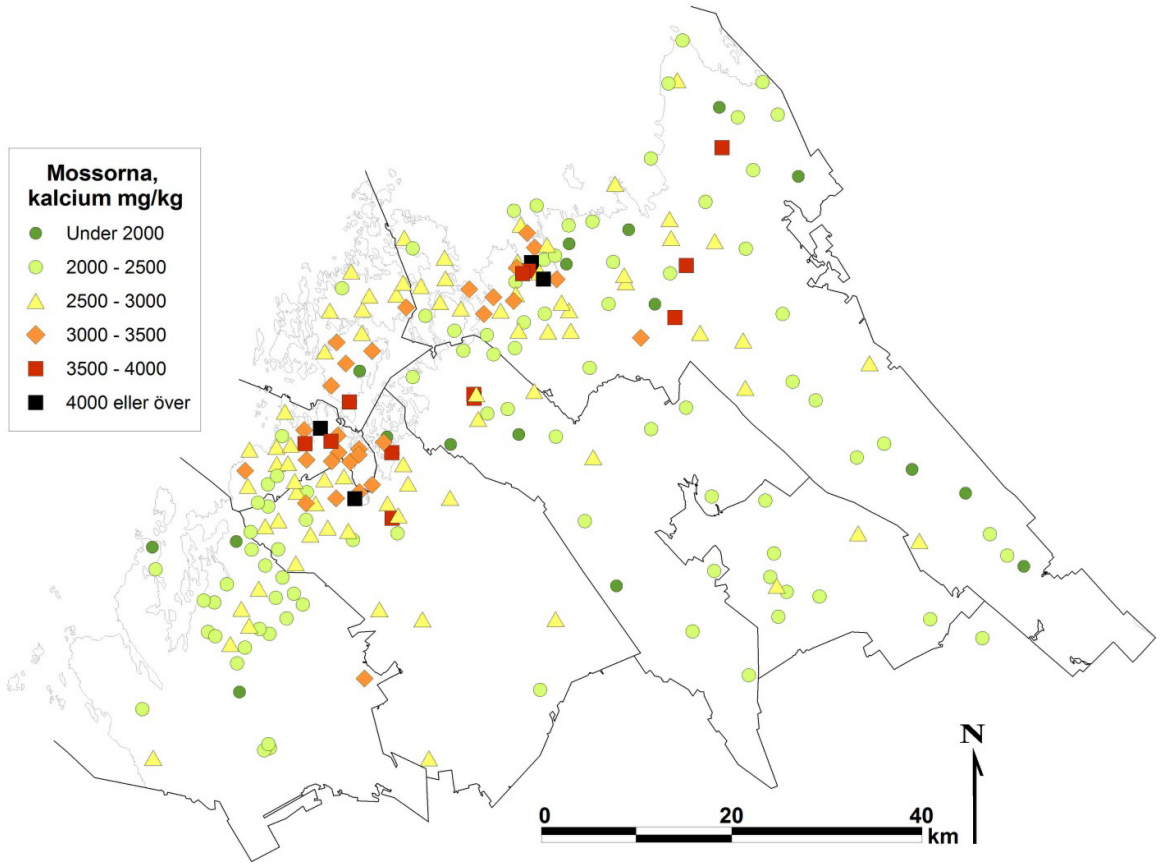
Figur 52. Mossornas aluminiumhalter på provytorna 2012 (Al mg/kg).



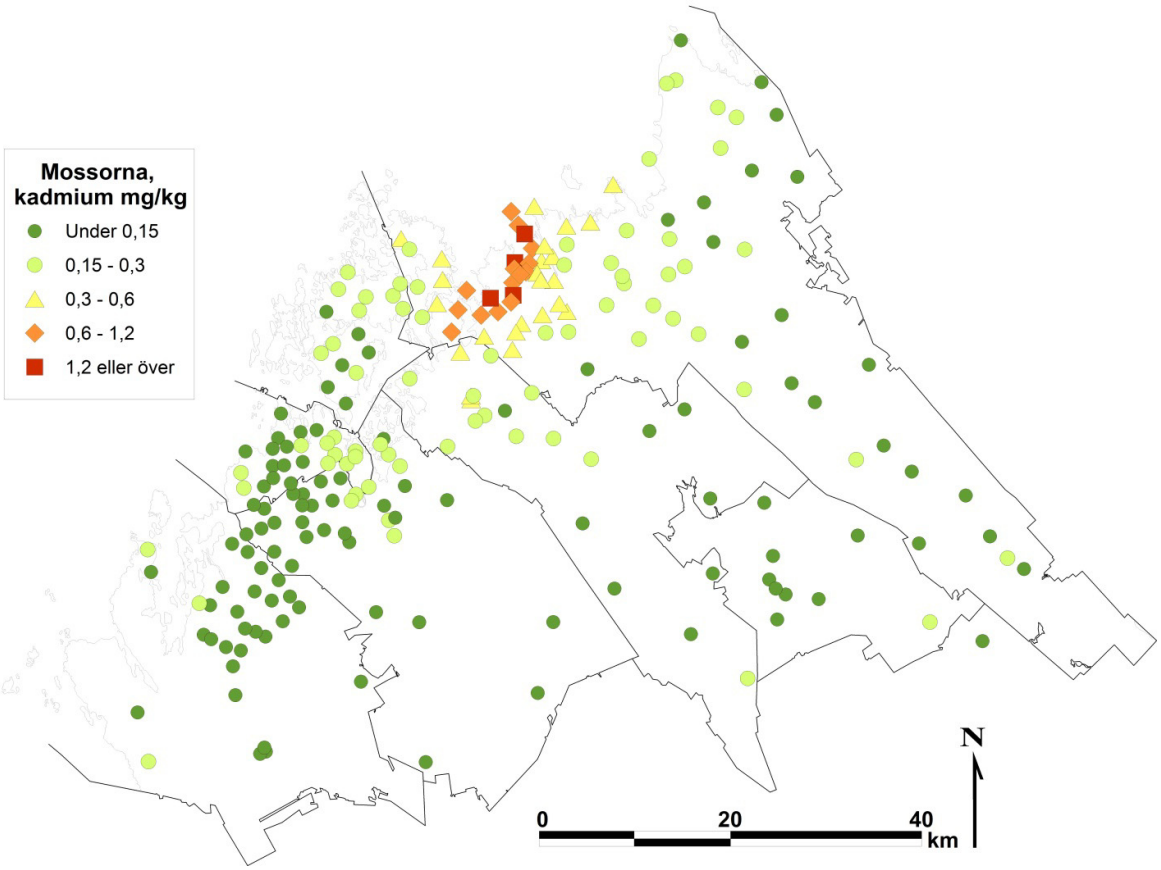
Figur 53. Mossornas arsenikhalter på provytorna 2012 (As mg/kg).



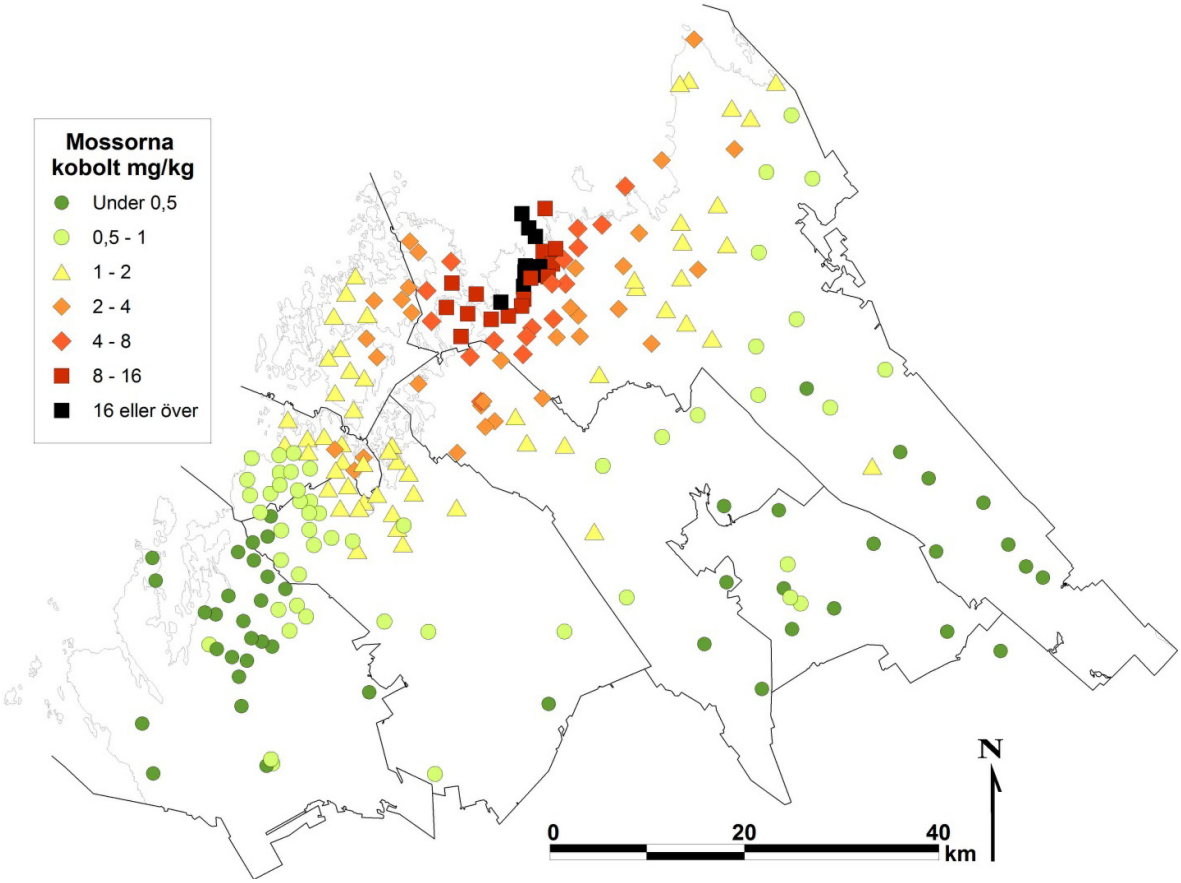
Figur 54. Mossornas borhalter på provytorna 2012 (B mg/kg).



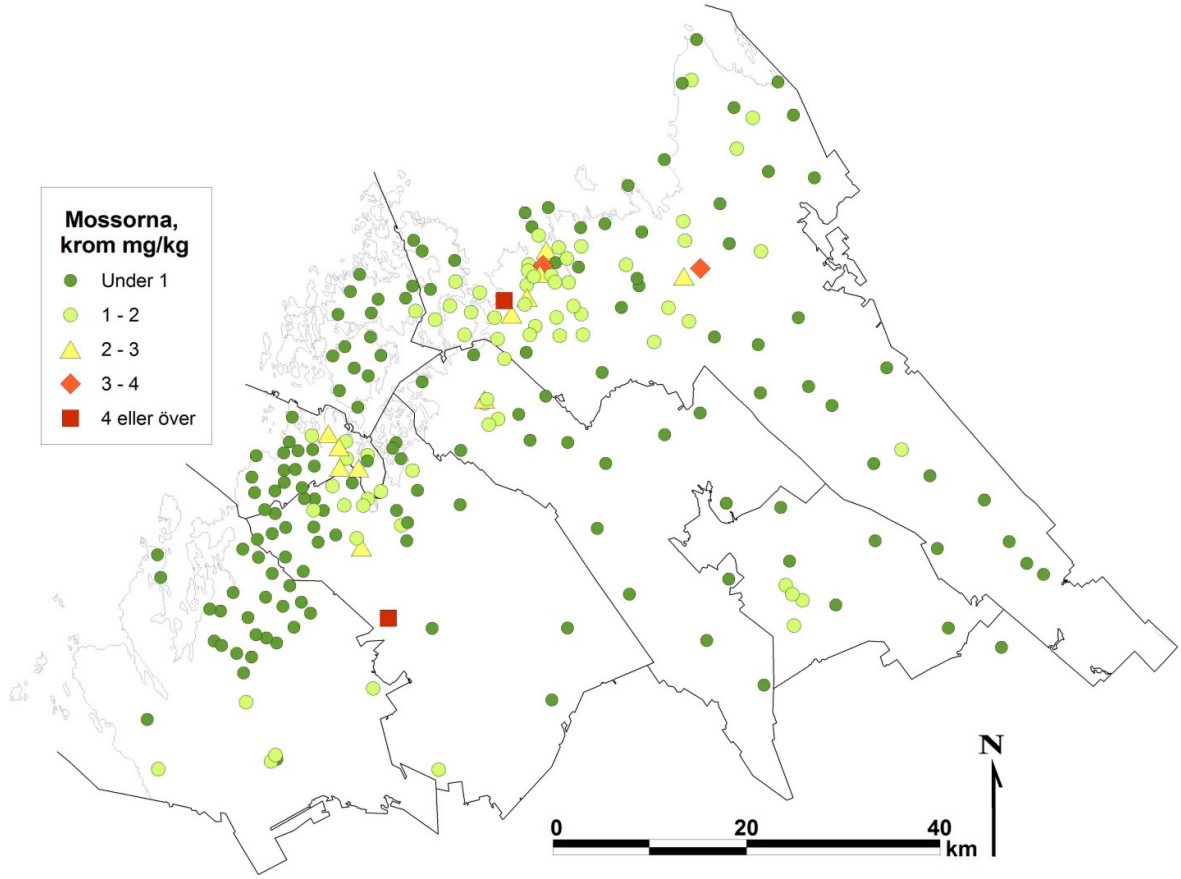
Figur 55. Mossornas kalciumhalter på provytorna 2012 (Ca mg/kg).



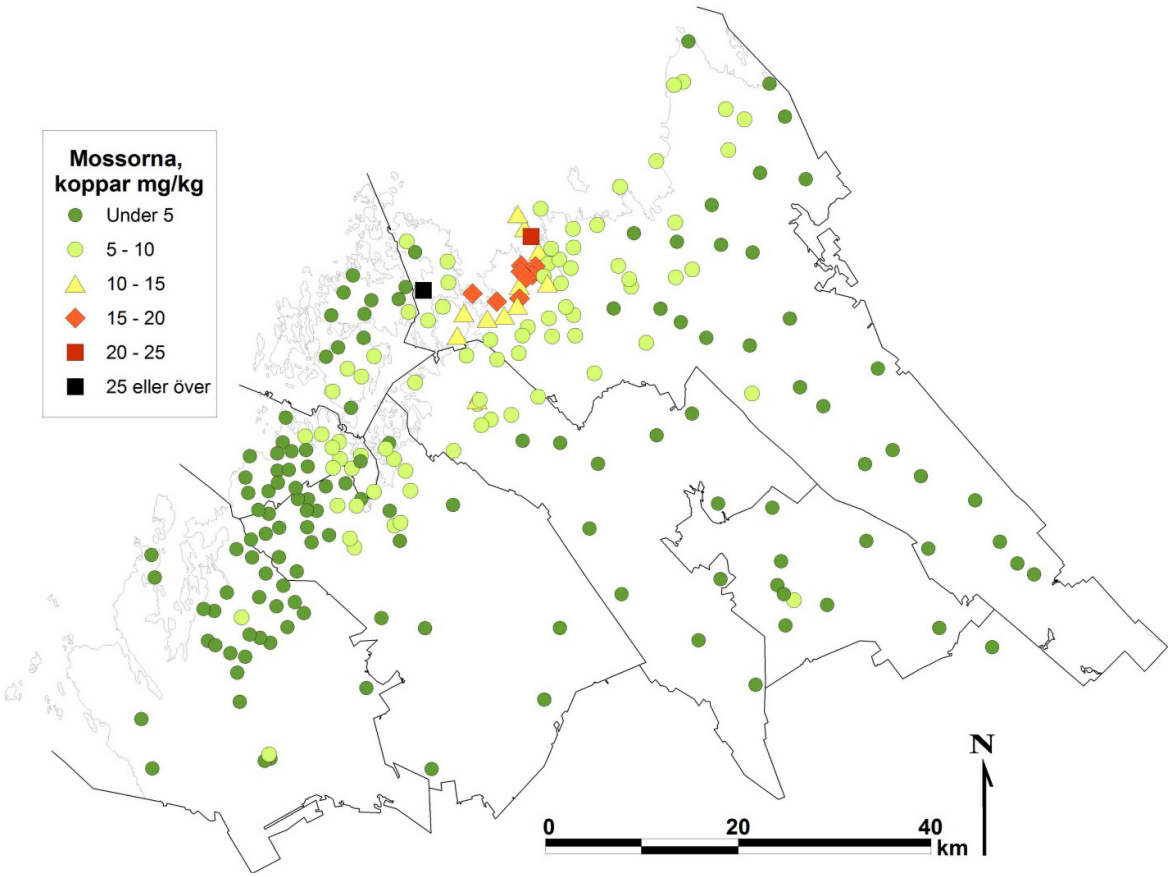
Figur 56. Mossornas kadmiumhalter på provytorna 2012 (Cd mg/kg).



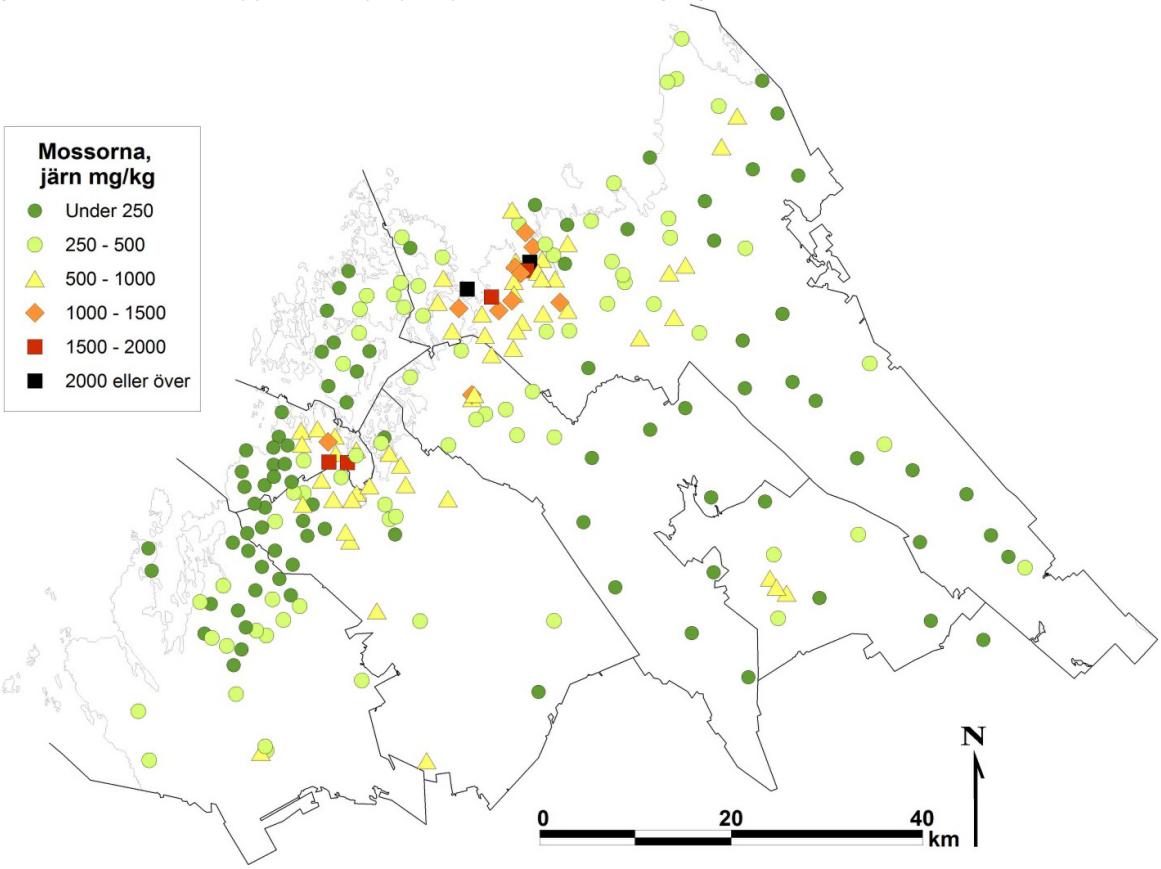
Figur 57. Mossornas kobolthalter på provytorna 2012 (Co mg/kg).



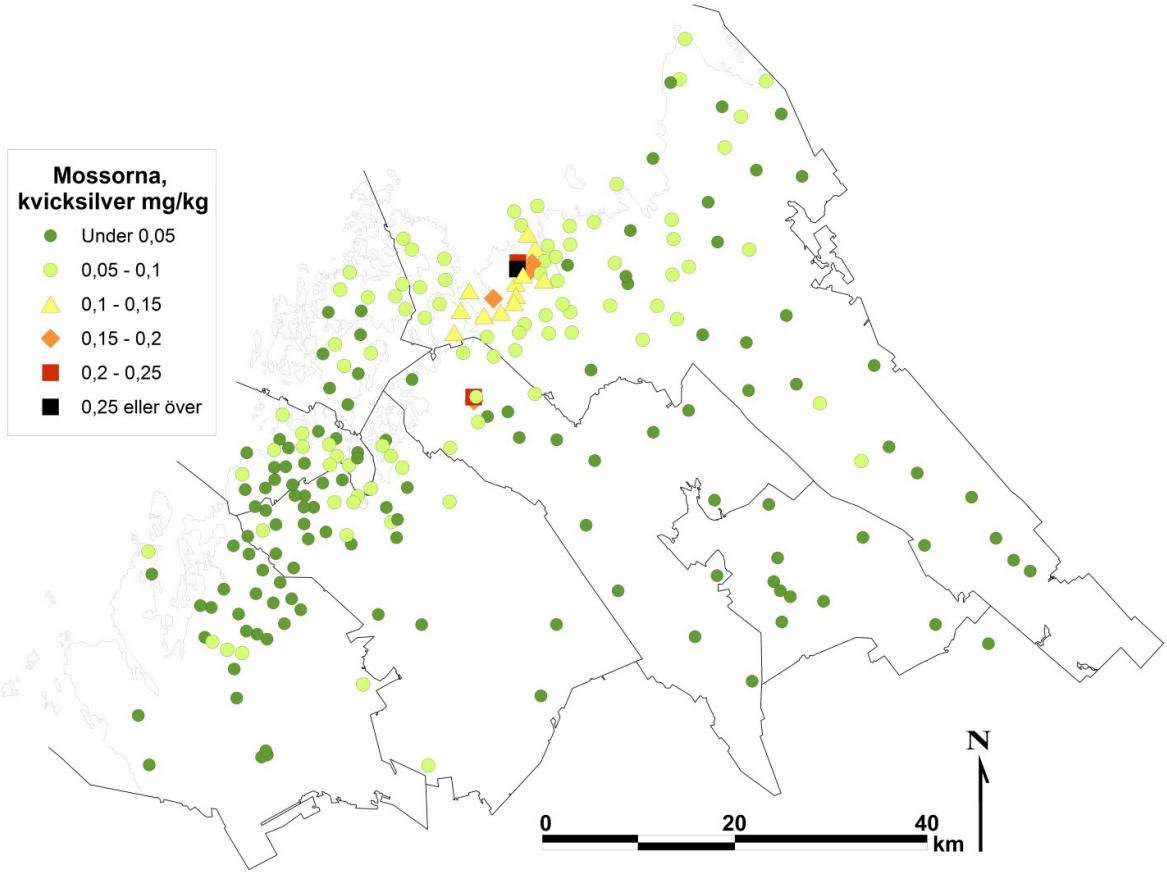
Figur 58. Mossornas kromhalter på provytorna 2012 (Cr mg/kg).



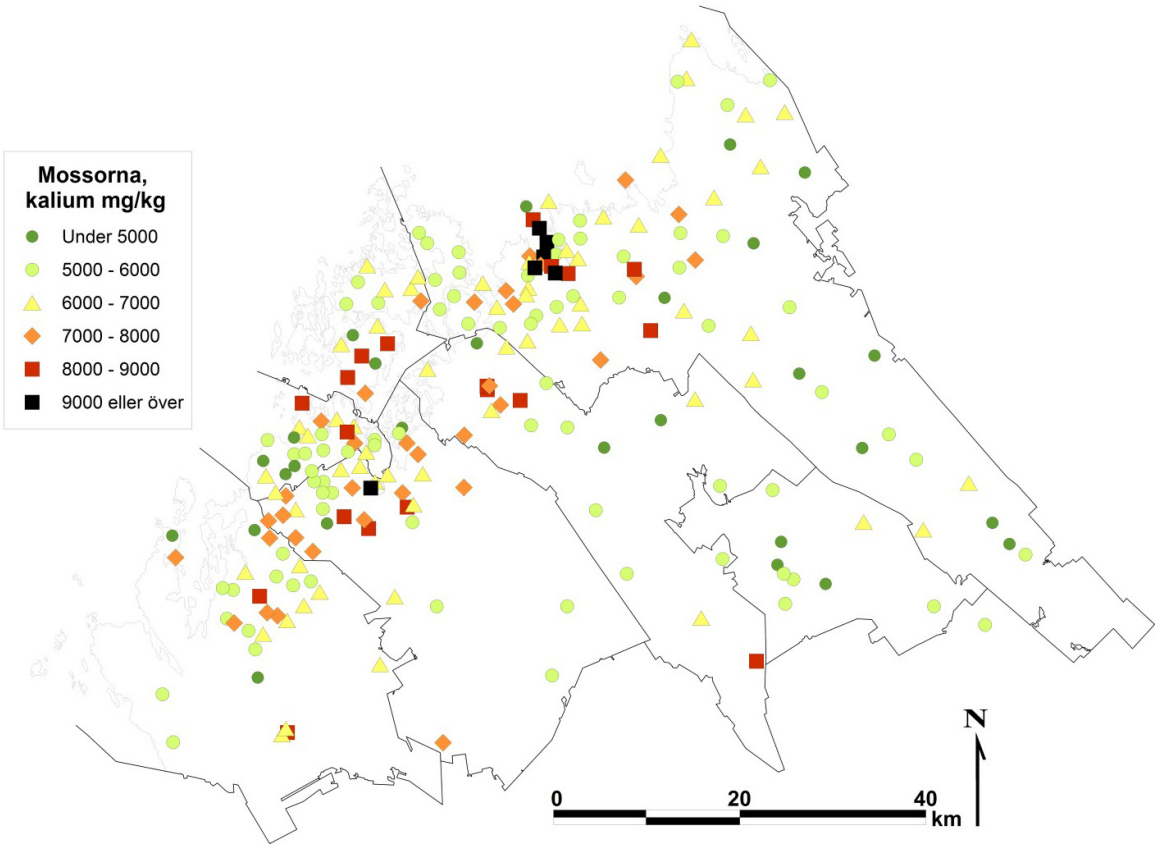
Figur 59. Mossornas kopparhalter på provytorna 2012 (Cu mg/kg).



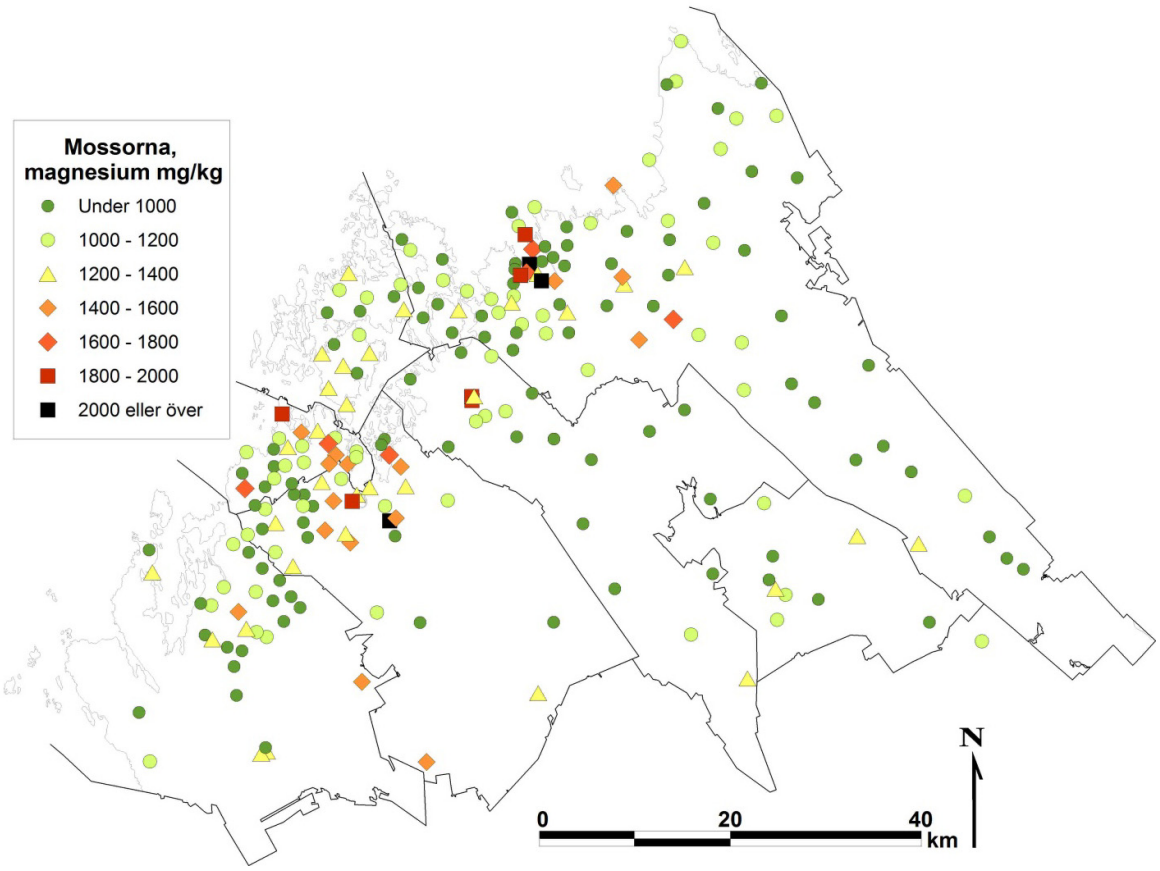
Figur 60. Mossornas järnhalter på provytorna 2012 (Fe mg/kg).



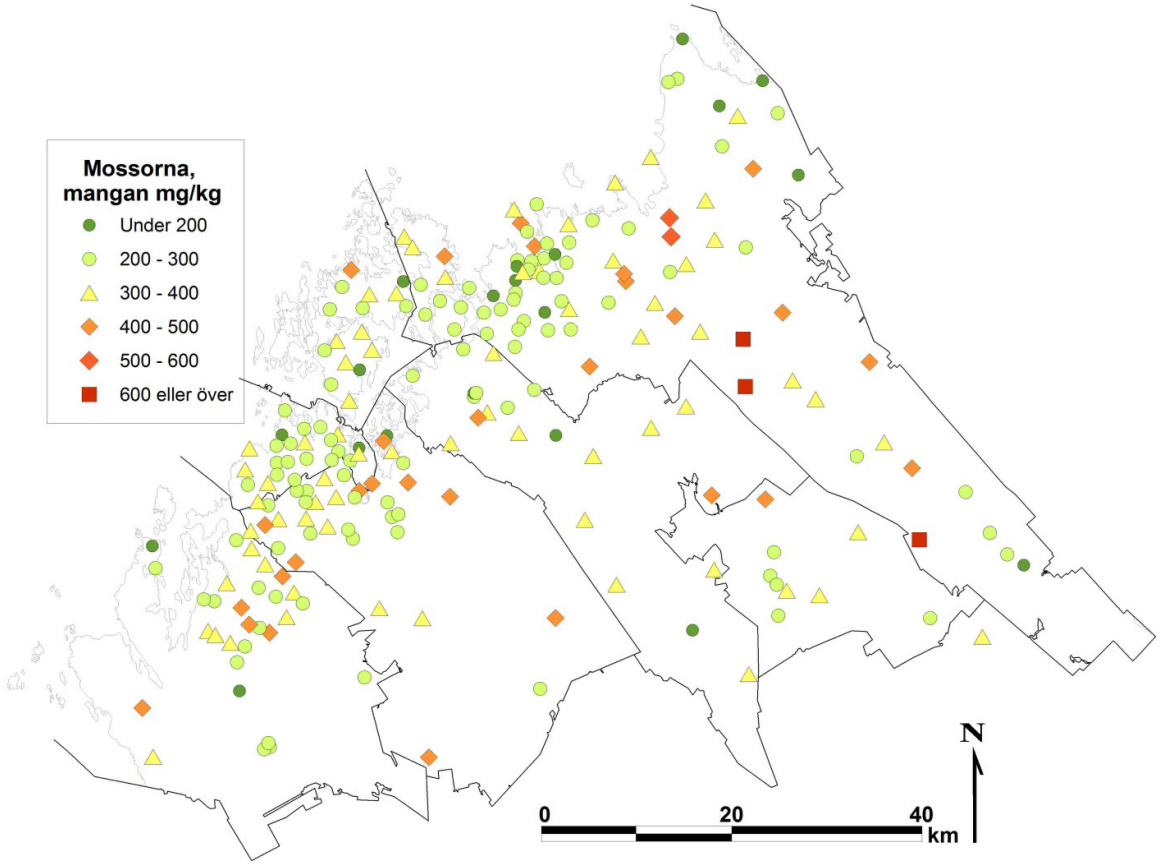
Figur 61. Mossornas kvicksilverhalter på provytorna 2012 (Hg mg/kg).



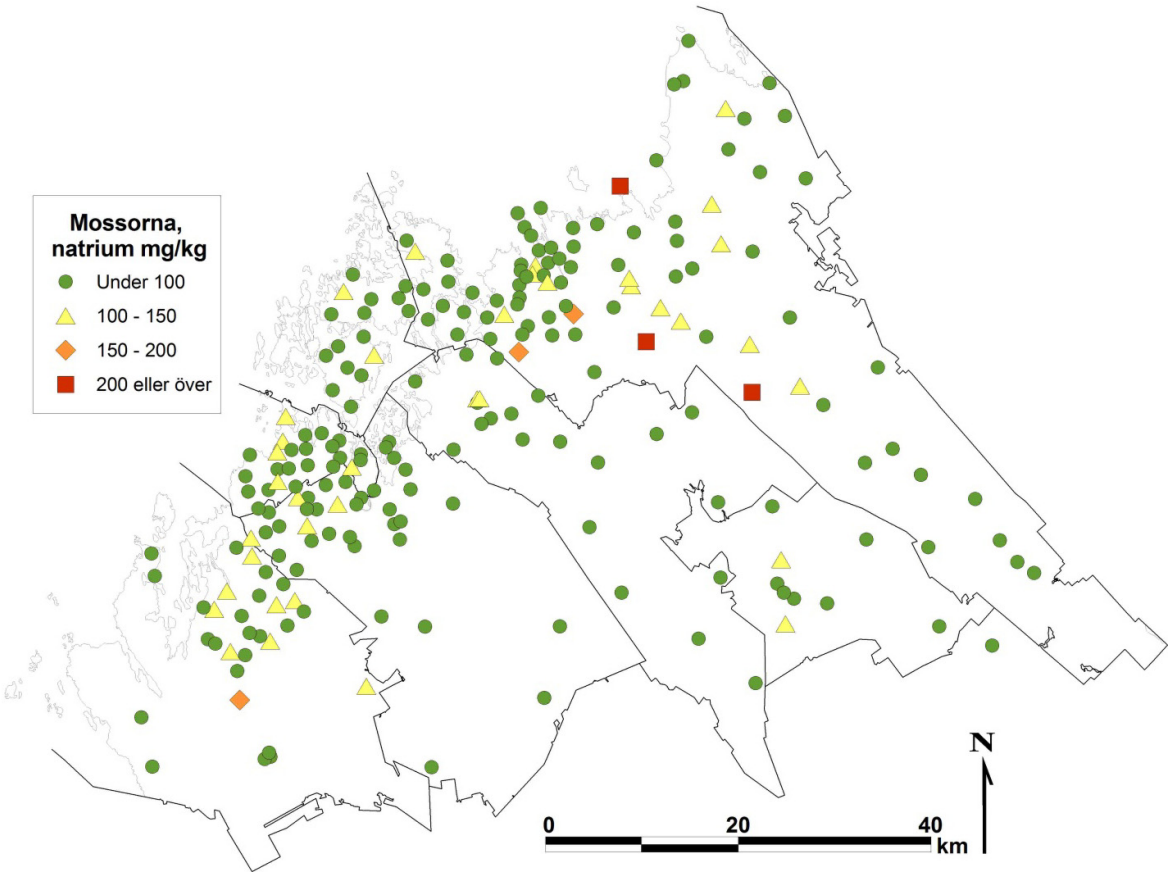
Figur 62. Mossornas kaliumhalter på provytorna 2012 (K mg/kg).



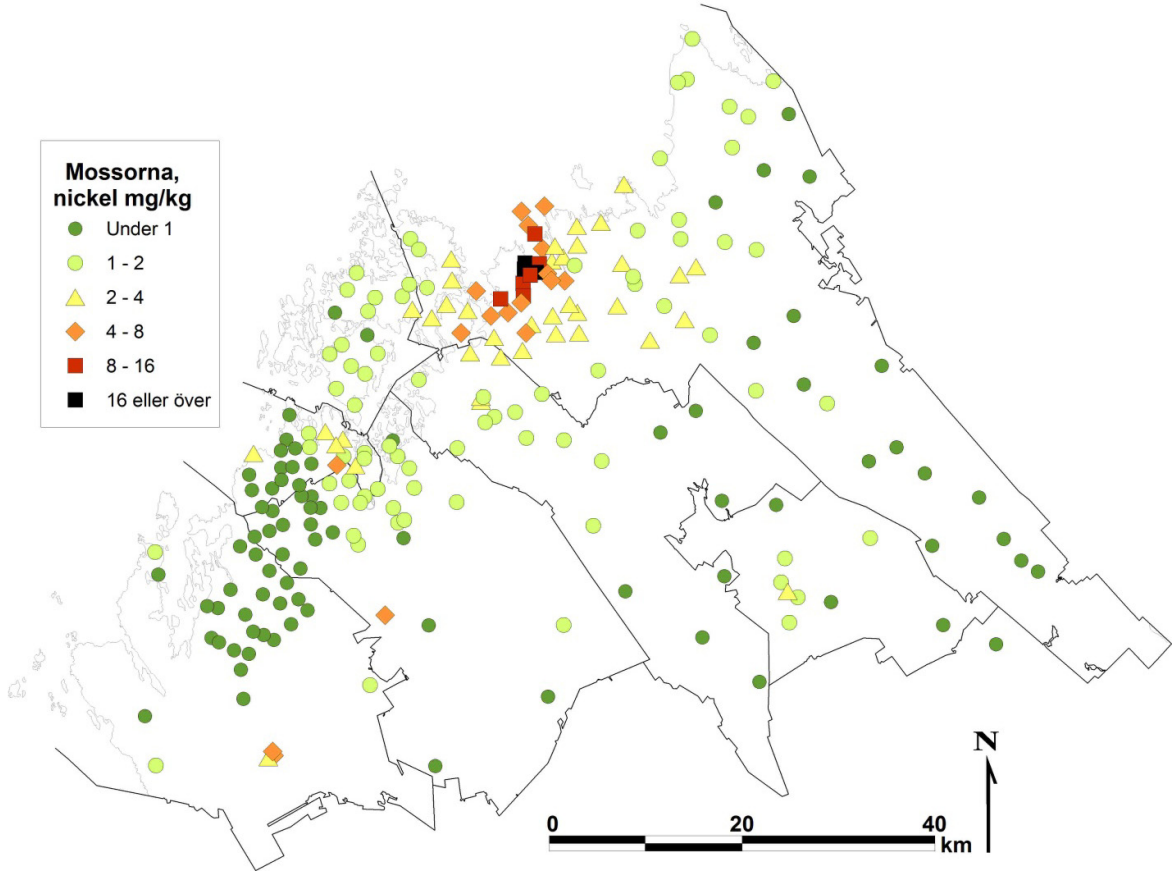
Figur 63. Mossornas magnesiumhalter på provytorna 2012 (Mg mg/kg).



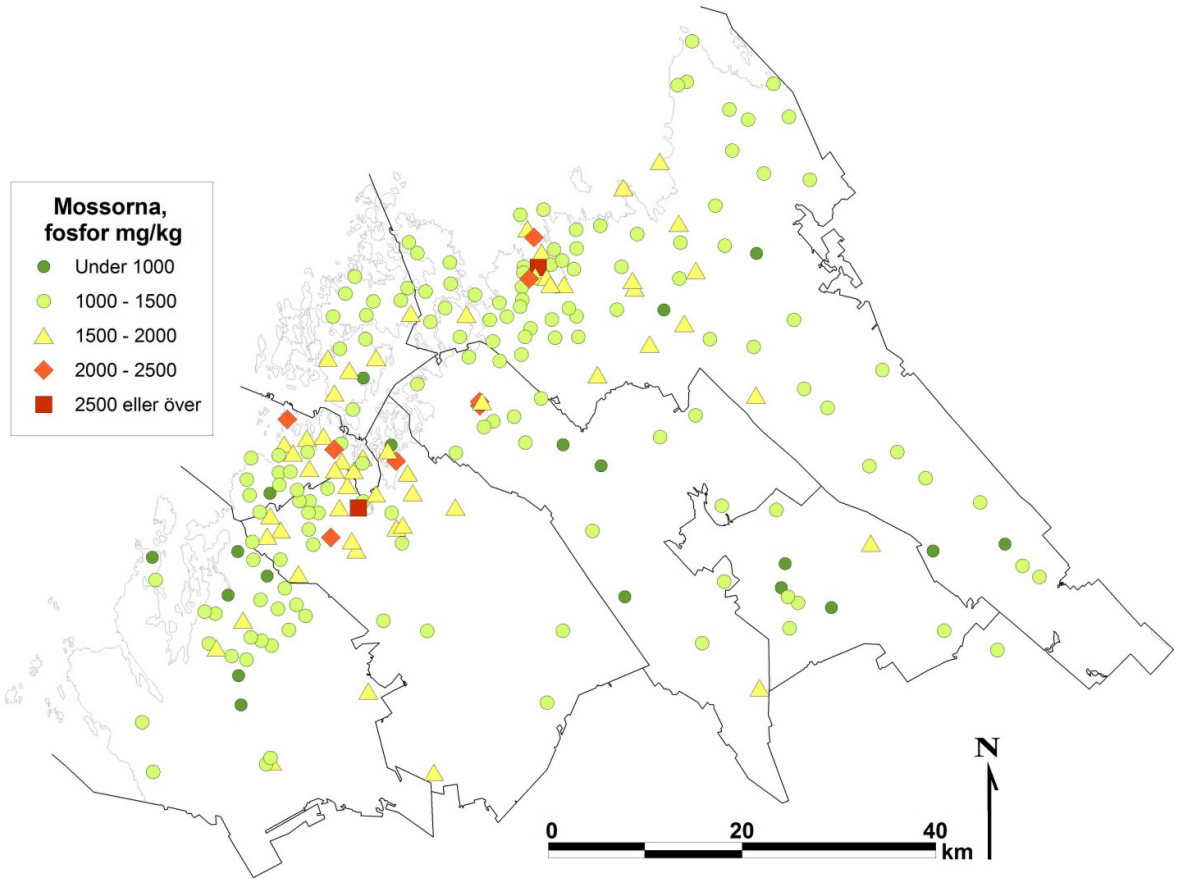
Figur 64. Mossornas manganhalter på provytorna 2012 (Mn mg/kg).



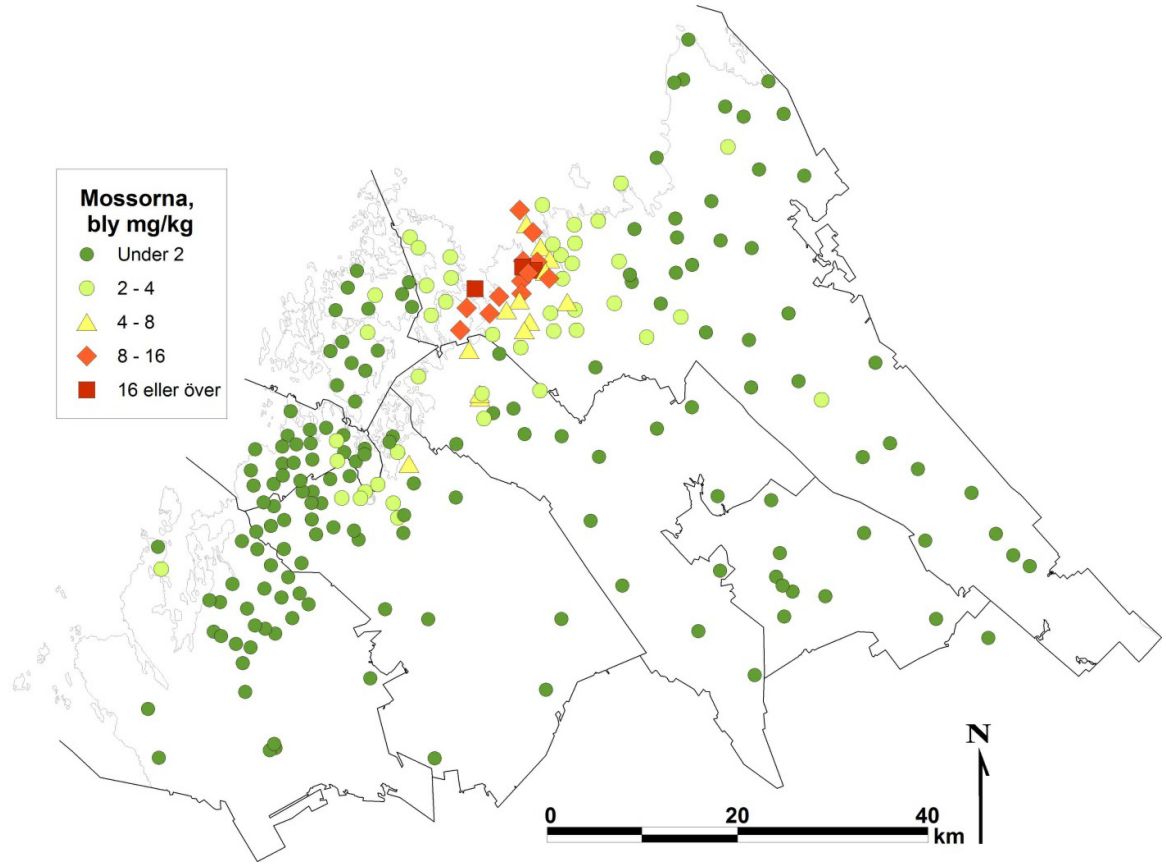
Figur 65. Mossornas natriumhalter på provytorna 2012 (Na mg/kg).



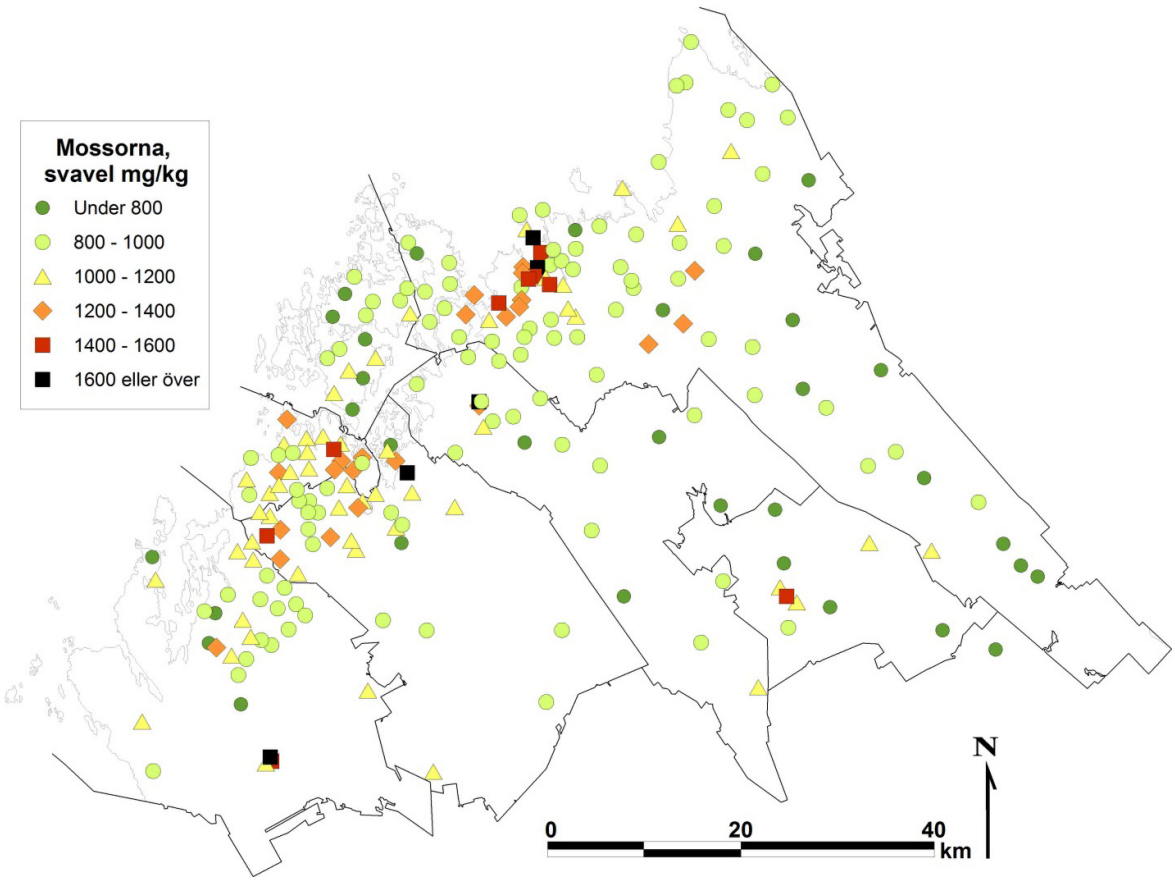
Figur 66. Mossornas nickelhalter på provytorna 2012 (Ni mg/kg).



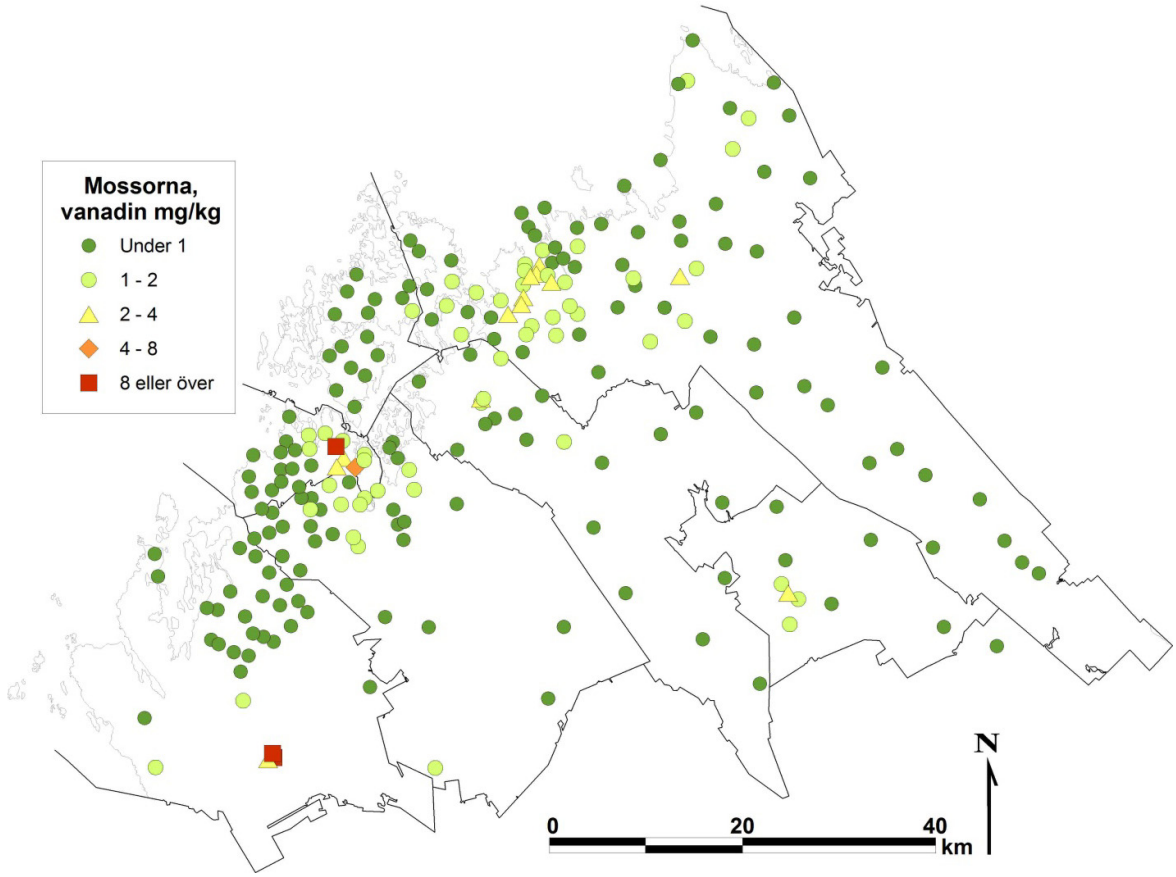
Figur 67. Mossornas fosforhalter på provytorna 2012 (P mg/kg).



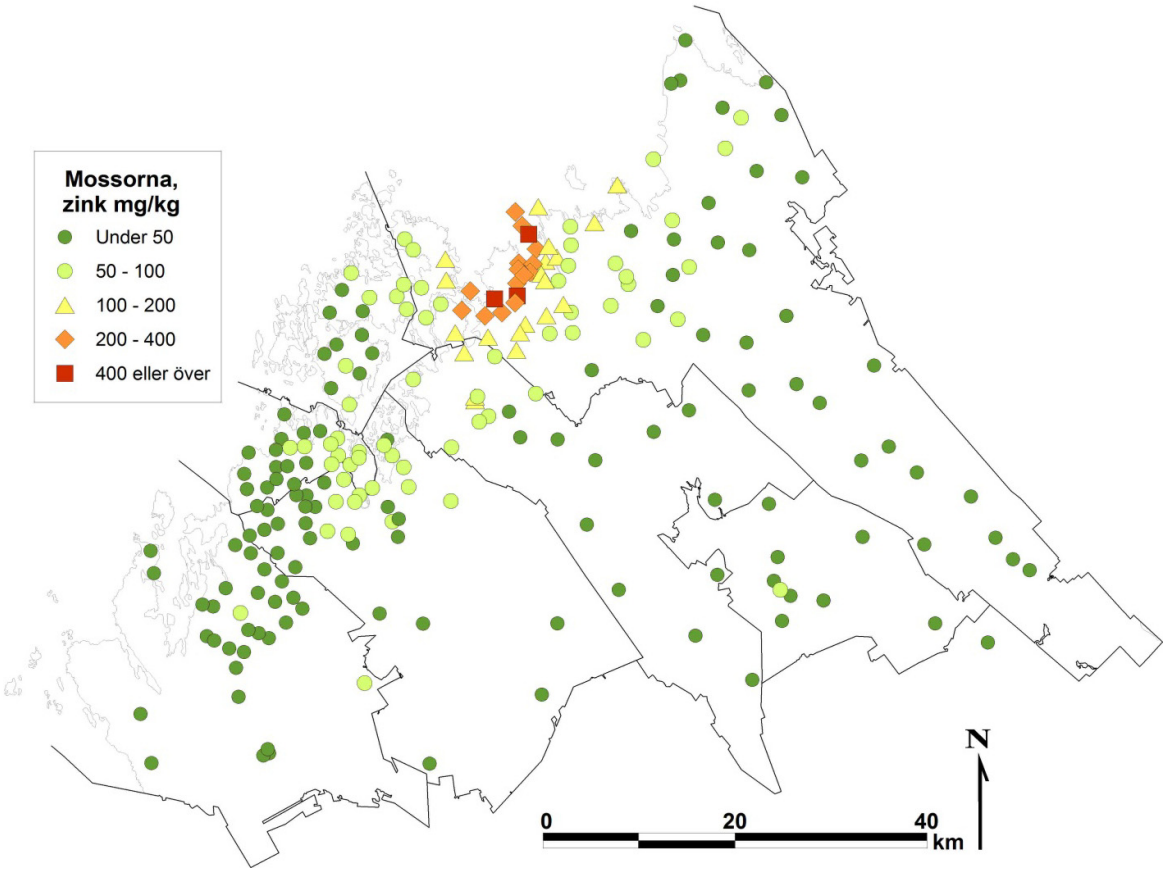
Figur 68. Mossornas blyhalter på provytorna 2012 (Pb mg/kg).



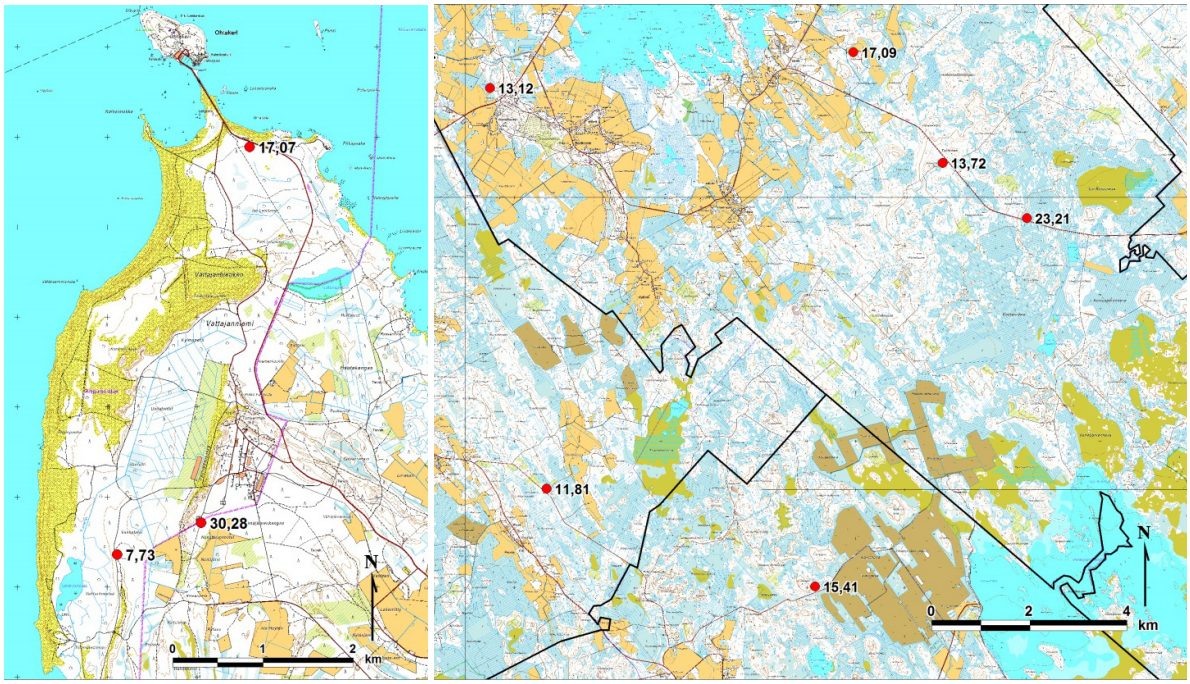
Figur 69. Mossornas svavelhalter på provytorna 2012 (S mg/kg).



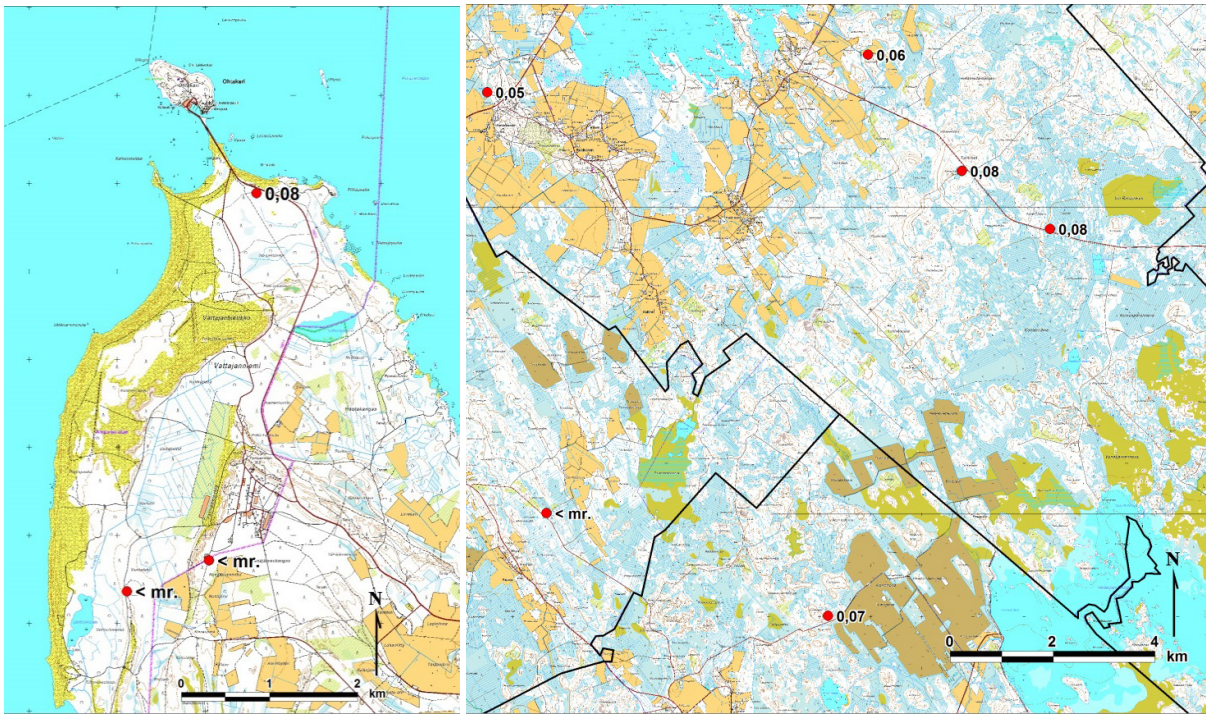
Figur 70. Mossornas vanadinhalter på provytorna 2012 (V mg/kg).



Figur 71. Mossornas zinkhalter på provytorna 2012 (Zn mg/kg).



Figur 72. Mossornas titanhalter på provytorna 2012 (Ti mg/kg). Till vänster ytorna i Lochteå, till höger ytorna i Kaustby-Ullava. Kartunderlagena © MML.



Figur 73. Mossornas antimonhalter på provytorna 2012 (Sb mg/kg). Till vänster ytorna i Lochteå, till höger ytorna i Kaustby-Ullava. Kartunderlagena © MML.

4.4 Humusens grundämneshalter

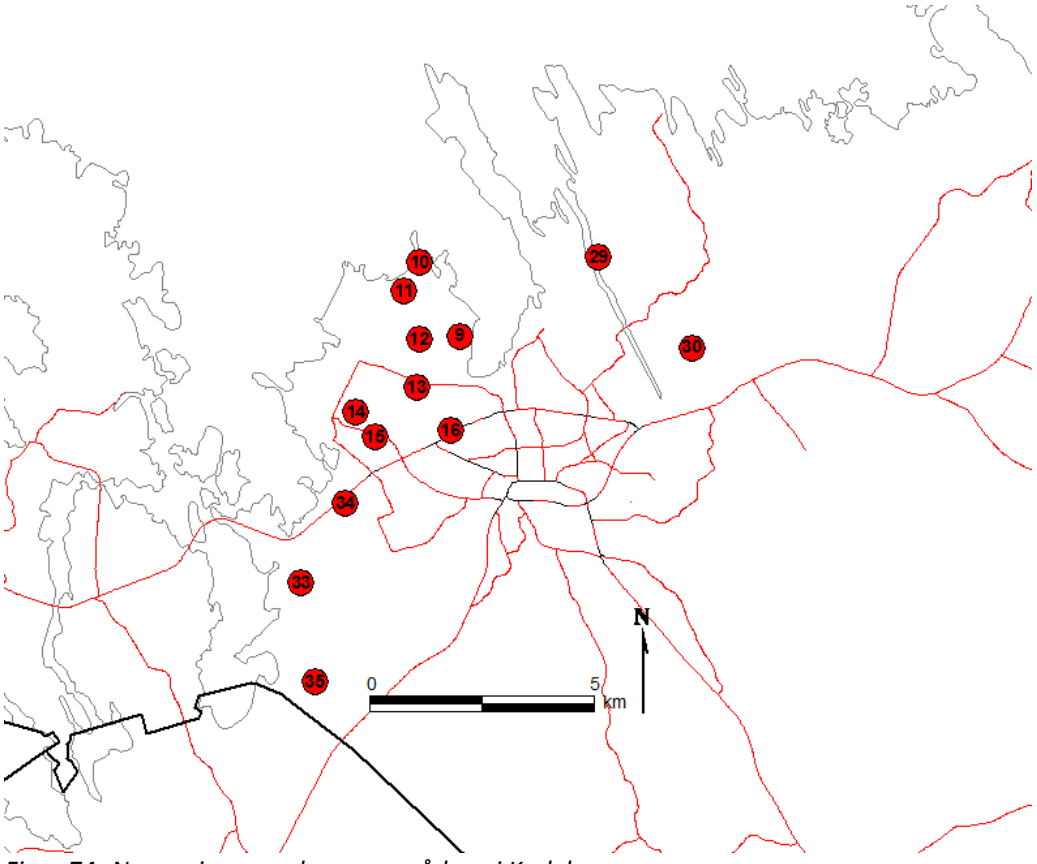
I tabell 24 presenteras humusens grundämneshalter och kemiska egenskaper på provytorna i Karleby, och i tabell 25 presenteras medelvärden per kommun av humusens grundämneshalter och kemiska egenskaper och minimi- och maximivärdena på ytorna i Jakobstad, Larsmo, Pedersöre och Nykarleby. Numreringen på humusprovytorna i Karleby presenteras i figur 74. Värdena för humusens grundämneshalter och kemiska egenskaper presenteras på kartorna i figurerna 75–95.

I tabell 24 är de ytor markerade, där tröskelvärdet för metallhalter i jordmånen enligt PIMA-förordningen (SRF 214/2007) eller det lägre eller högre riktvärdet har överskridits (se tabell 14). Riktvärden användes för arsenik, kvicksilver, kadmium, kobolt, koppar, nickel, zink och vanadin. Tröskelvärdena eller riktvärdena överskreds på ytorna i Yxpila-Karleby centrum (antalet ytor som överskridit värdet inom parentes) arsenik (11), kvicksilver (12), kadmium (11), kobolt (10), koppar (7), nickel (6) och zink (11). De lägre riktvärdena överskreds för kvicksilver (6), kadmium (1), kobolt (5), koppar (6), nickel (4) och zink (10). De högre riktvärdena överskreds för kvicksilver (1), kobolt (1), koppar (2), nickel (3) och zink (8). Medeltalen för de egentliga provytorna överskreds för det högre riktvärdet för zink, för det lägre riktvärdet för koppar och kvicksilver och för tröskelvärdet för arsenik, 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. Halterna av järn och vanadin var högre på ytorna i Yxpila än på bakgrundsytorna. Elledningsförmågan var bättre på ytor nära Yxpila än på bakgrundsytorna. I pH fanns ingen skillnad, och utbytbara sura substanser och kapaciteten för katjonutbyte var något högre på ytorna i Yxpila än på bakgrundsytorna.

Tabell 24. Humusens grundämneshalter (mg/kg) och kemiska egenskaper på provytorna i Karleby. 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	VH meq/100 g	Ef. mS/m	pH	KVK meq/100g
9	23	7,5	1,4	3,6	550	2 200	70	110	400	31	55	6 100	800	14	7,9	13,6	4	25,6
10	43	14	4,2	7,3	320	1 300	56	160	170	94	40	9 100	1 700	11	3,1	12	4,5	14,3
11	55	43	8,6	18	250	880	260	660	110	15	210	28 000	2 700	64	11,8	11,1	3,9	17,7
12	52	22	2,7	7,3	570	1 200	200	290	240	25	160	16 000	1 300	30	11,7	13,8	3,9	21,1
13	52	16	2,6	4,8	480	1 500	100	170	230	25	84	11 000	840	20	7,6	13,9	4	19,7
14	60	41	4,6	9,4	380	1 100	230	450	150	20	180	16 000	1 000	48	11,7	13,4	3,9	20,6
15	58	29	3,3	7,3	520	1 500	160	270	220	35	130	15 000	1 000	29	10,6	14,4	3,9	22,8
16	45	7,3	1,2	2,3	350	1 800	38	78	370	27	35	4 700	310	17	11,1	12,2	3,9	27,5
29	25	4,9	0,6	1,6	730	1 800	18	29	520	92	19	750	48	8,6	12,6	13,8	3,6	31,7
30	32	3,8	0,44	1,2	540	1 100	13	22	550	34	15	3 300	130	7,2	12,2	9,4	4	28,8
33	23	7,8	0,98	2,3	560	1 900	28	50	310	23	23	5 100	350	9	5,6	13,6	3,9	24,0
34	61	11	1,7	3,1	520	1 600	62	99	300	33	45	8 500	640	14	9,5	13,2	3,9	24,9
35	19	5,3	0,75	1,5	480	1 400	15	28	200	24	13	3 200	210	6,5	6,9	12,1	3,8	20,9
medeltal	42	16	2,5	5,4	481	1483	96	186	290	37	78	9750	848	21	9,4	13	3,9	23,0
60 (T1)	160	3,1	0,28	0,43	380	1 300	1,4	9,5	260	25	4,3	4 300	55	10	9,1	8	4	17,0
103 (T2)	7	2,6	0,31	0,35	350	1 900	1	7,2	340	32	2,9	2 600	17	3,9	8,5	11	3,9	21,5



Figur 74. Numreringen av humusområdena i Karleby.

Tabell 25. Humusens grundämneshalter och minimi- och maximivärdena på undersökningsområdena i Jakobstad, Larsmo, Pedersöre och Nykarleby

Grundämne	Värde	Larsmo	Pedersöre	Jakobstad	Nykarleby
Al	medeltal	14,0	19,4	79,5	17,8
	minimum	9	11	21	10
	maximum	19	35	310	27
B	medeltal	3,7	2,5	2,5	2,2
	minimum	2,7	1,4	1,8	1,8
	maximum	4,7	3,6	2,8	2,5
Ca	medeltal	2375	1922	2030	1617
	minimum	1800	1100	780	1400
	maximum	2900	2800	3700	2000
Cd	medeltal	0,41	0,45	0,50	0,34
	minimum	0,25	0,23	0,26	0,26
	maximum	0,59	0,66	0,77	0,41
Cr	medeltal	5,0	3,7	6,3	3,1
	minimum	3,7	2,8	4,4	2,6
	maximum	6,8	4,5	8,5	3,7
Cu	medeltal	11	12	14	8
	minimum	7,2	6,4	10	6,7
	maximum	14	17	20	9,4
Fe	medeltal	2850	1944	5450	1295
	minimum	1700	1600	2000	970
	maximum	4700	2400	18000	1700
K	medeltal	523	681	512	537
	minimum	250	450	410	450
	maximum	670	1000	600	600
Mg	medeltal	358	348	318	318
	minimum	210	230	240	210
	maximum	450	480	390	430
Mn	medeltal	210	149	71	123
	minimum	91	43	34	47
	maximum	340	310	120	230
Ni	medeltal	8,4	5,9	9,4	4,5
	minimum	5,5	3,4	5,7	4
	maximum	11	9,2	16	5,4
P	medeltal	555	570	597	740
	minimum	420	420	380	540
	maximum	790	670	850	840
Pb	medeltal	25,5	28,7	47,3	31,5
	minimum	15	19	31	20
	maximum	30	42	70	36
S	medeltal	1243	1322	1353	1333
	minimum	670	1000	840	1000
	maximum	1900	2000	1800	1700
Zn	medeltal	64	60	53	50
	minimum	37	23	24	37
	maximum	86	100	80	59
pH	medeltal	4,3	3,9	4,0	4,0
	minimum	3,9	3,7	3,8	3,7
	maximum	4,9	4,2	4,3	4,3
mängden	medeltal	5,0	7,9	10,1	8,1
utbytbara	minimum	1,0	5,0	3,8	5,9
	maximum	7,1	10,2	24,4	10,6
Elledningss-	medeltal	13,8	14,4	12,7	12,2
	minimum	12,6	10,8	10,2	10,6
	maximum	15,4	21,4	13,9	14,4
kapaciteten för	medeltal	27,2	31,8	39,0	43,1
katjonutbyte	minimum	23,0	26,3	34,8	39,6
	maximum	29,1	38,2	44,8	48,5

Halten av **aluminium** var klart högre på en yta i Jakobstad än i det övriga området och därför var humusens aluminiumhalt i medeltal högst i Jakobstad. På ytorna i Karleby-Yxpila var aluminiumhalten något högre än på de omgivande ytorna.

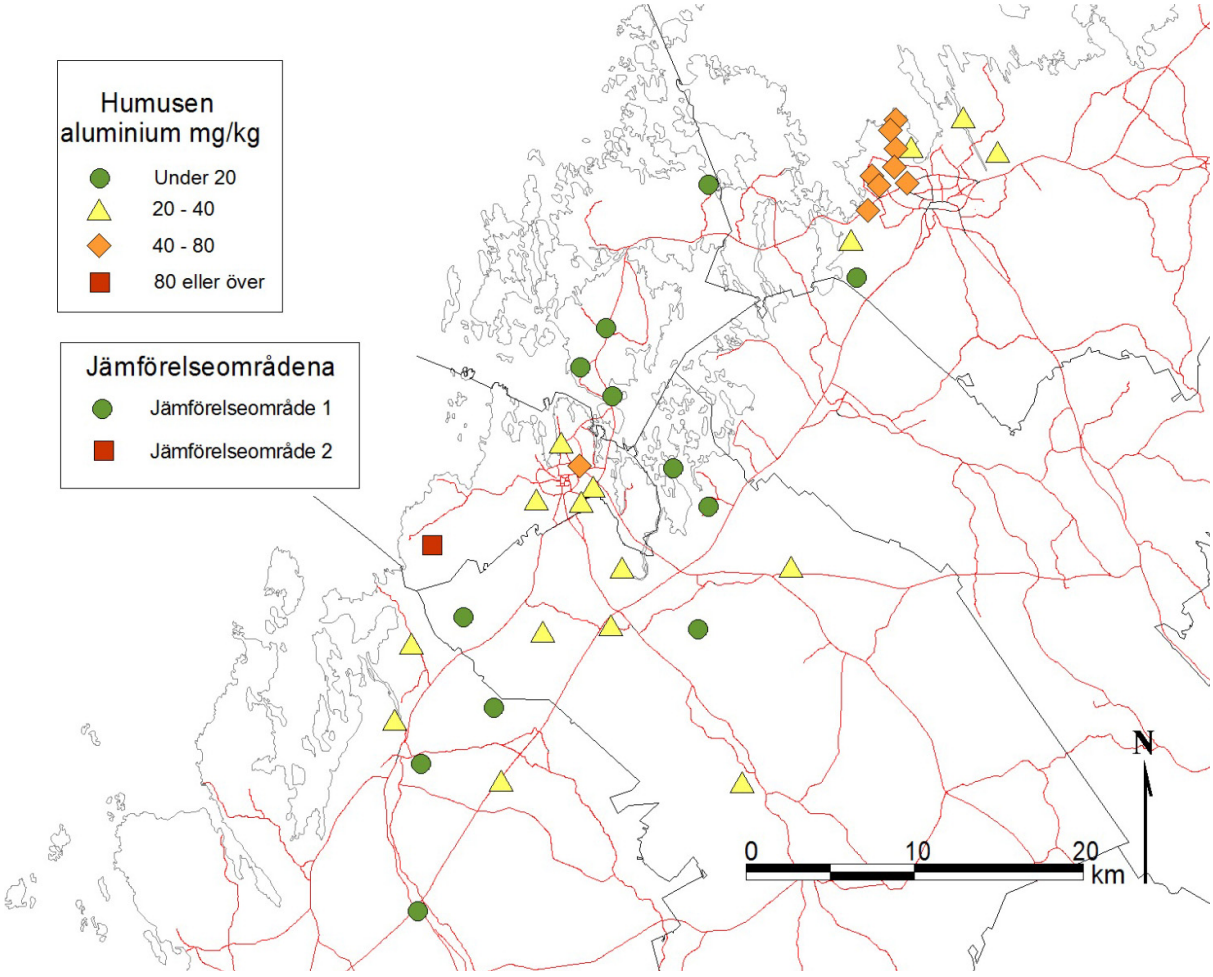
De högsta enskilda halterna och de högsta medelvärdena av **bor** och **kalcium** observerades i Larsmo. Halterna av bor, kalcium, **kalium**, **magnesium**, **mangan**, **svavel** och **fosfor** verkade ge uttryck för jordmånens näringssituation och inte den yttre belastningen.

Halterna av **kadmium**, **koppar**, **järn**, **nickel** och **zink** var i Karleby mångfaldiga jämfört med det övriga området. Förhöjda halter av järn och nickel observerades också i Jakobstad och förhöjd halt av nickel på en yta i Larsmo. Zinkhalterna var, med undantag av Karleby, högre i Larsmo än i det övriga området. Effekten från Karleby kan synas i Larsmo.

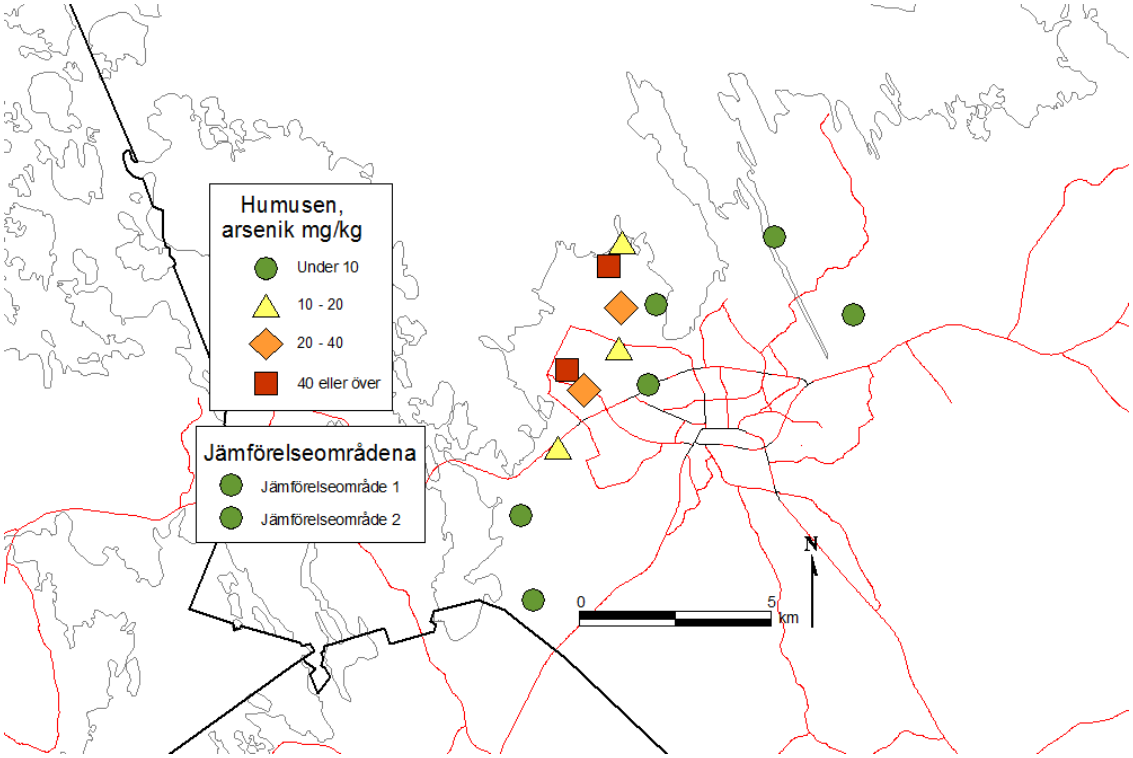
De högsta halterna av **krom** och **bly** observerades på provytorna i Jakobstad. Halterna av krom och bly analyserades inte på provytorna i Karleby.

På ytorna i Jakobstad observerades inga överskridningar av det lägre eller högre riktvärdet för jordmånens metallhalter enligt PIMA-förordningen (SRF 214/2007).

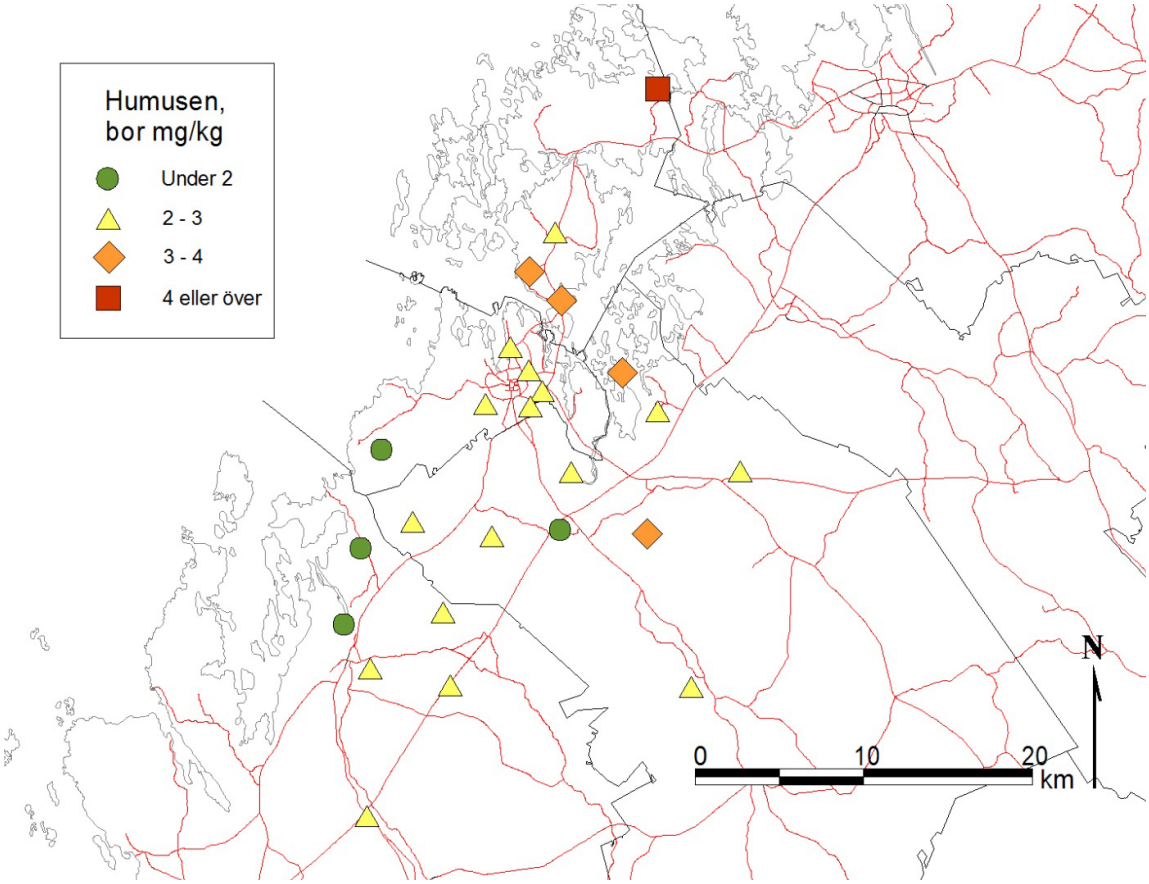
pH var lägst i Pedersöre och Karleby, **mängden utbytbara sura substanser** var störst i Jakobstad. **Elledningsförmågan** var bäst i Jakobstad. **Kapaciteten för katjonutbyte** var störst i Nykarleby och minst i Karleby.



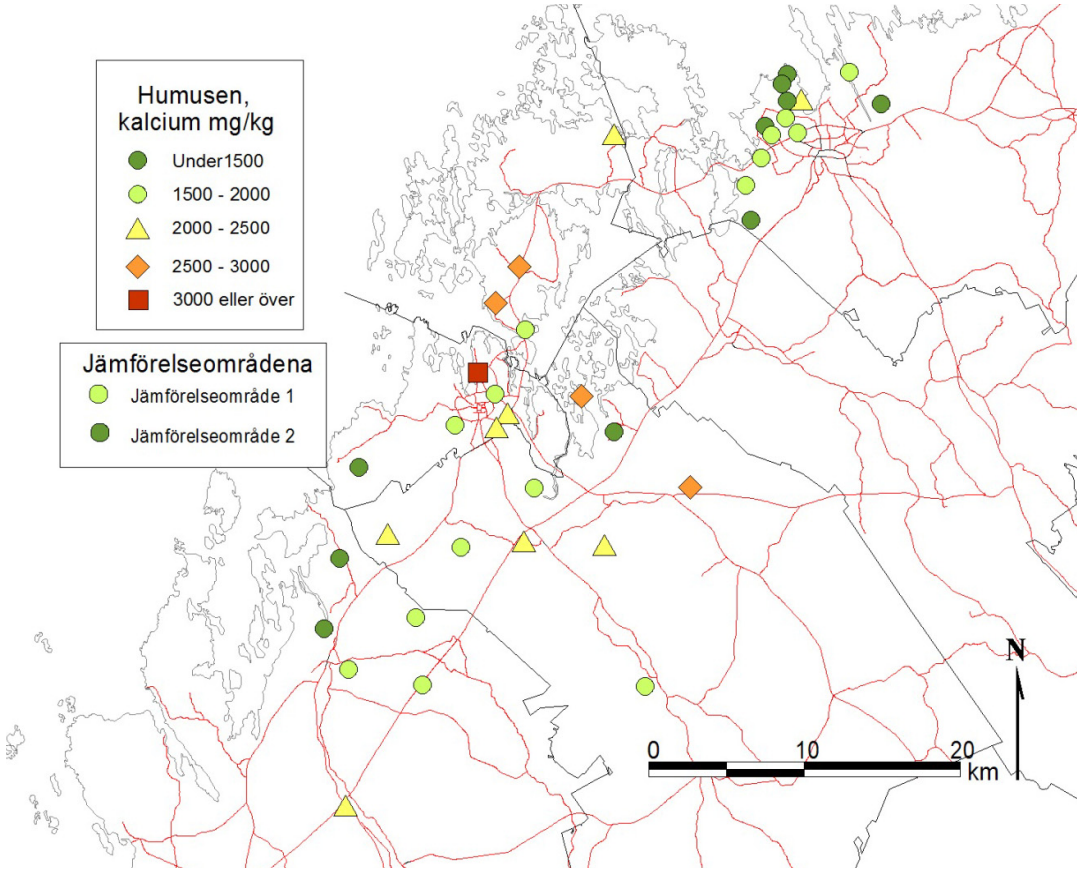
Figur 75. Humusens aluminiumhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



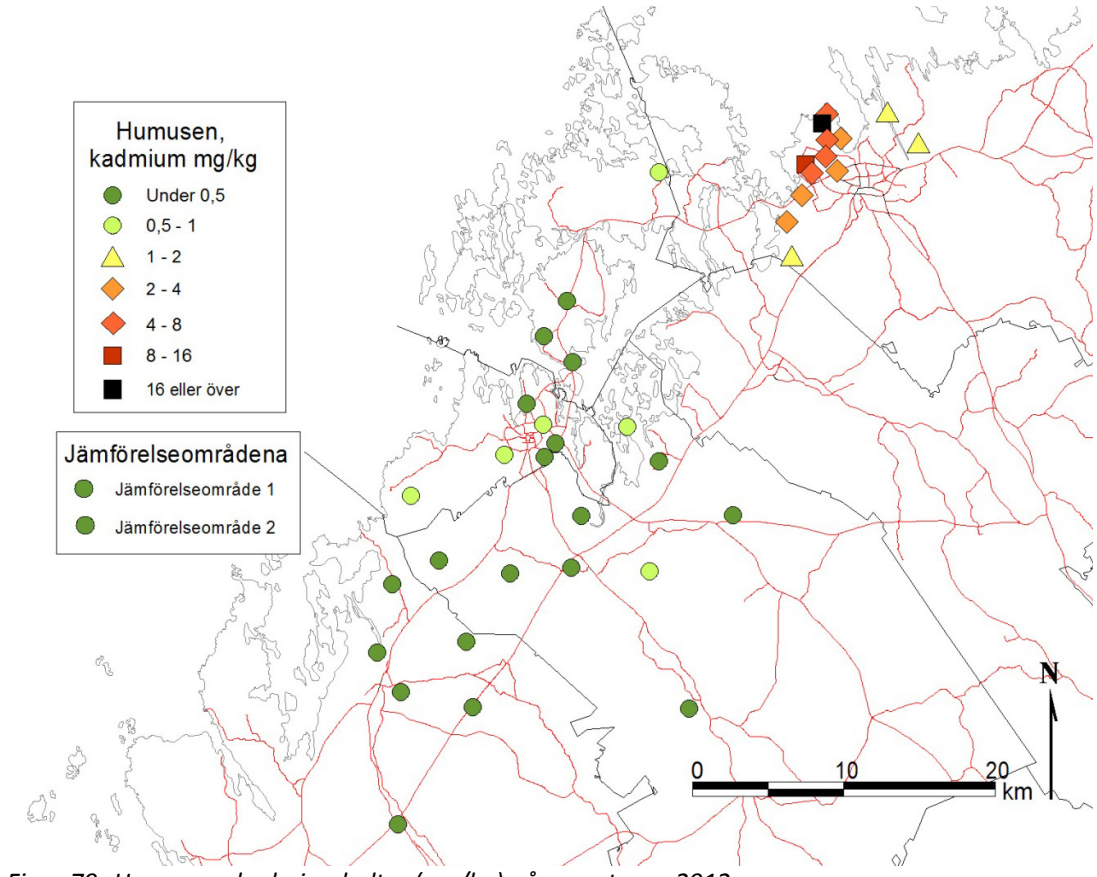
Figur 76. Humusens arsenikhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



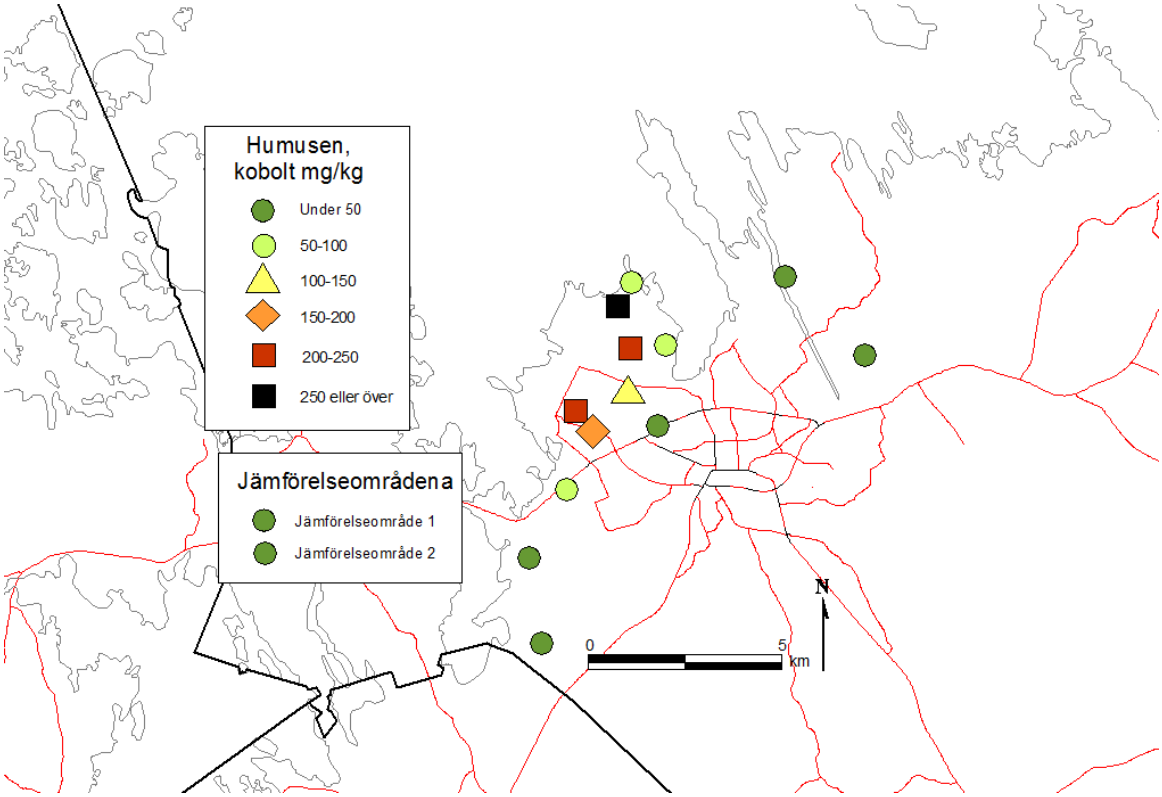
Figur 77. Humusens borhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



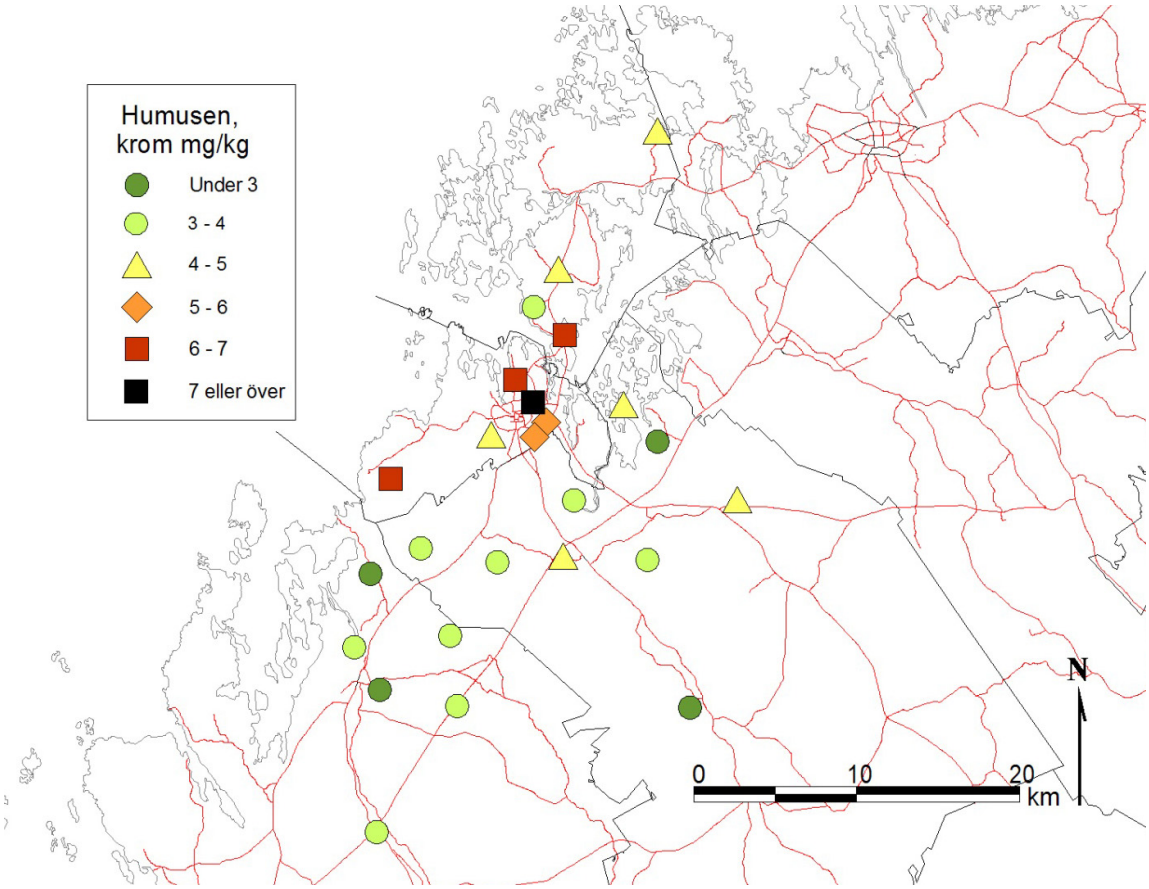
Figur 78. Humusens kalciumhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



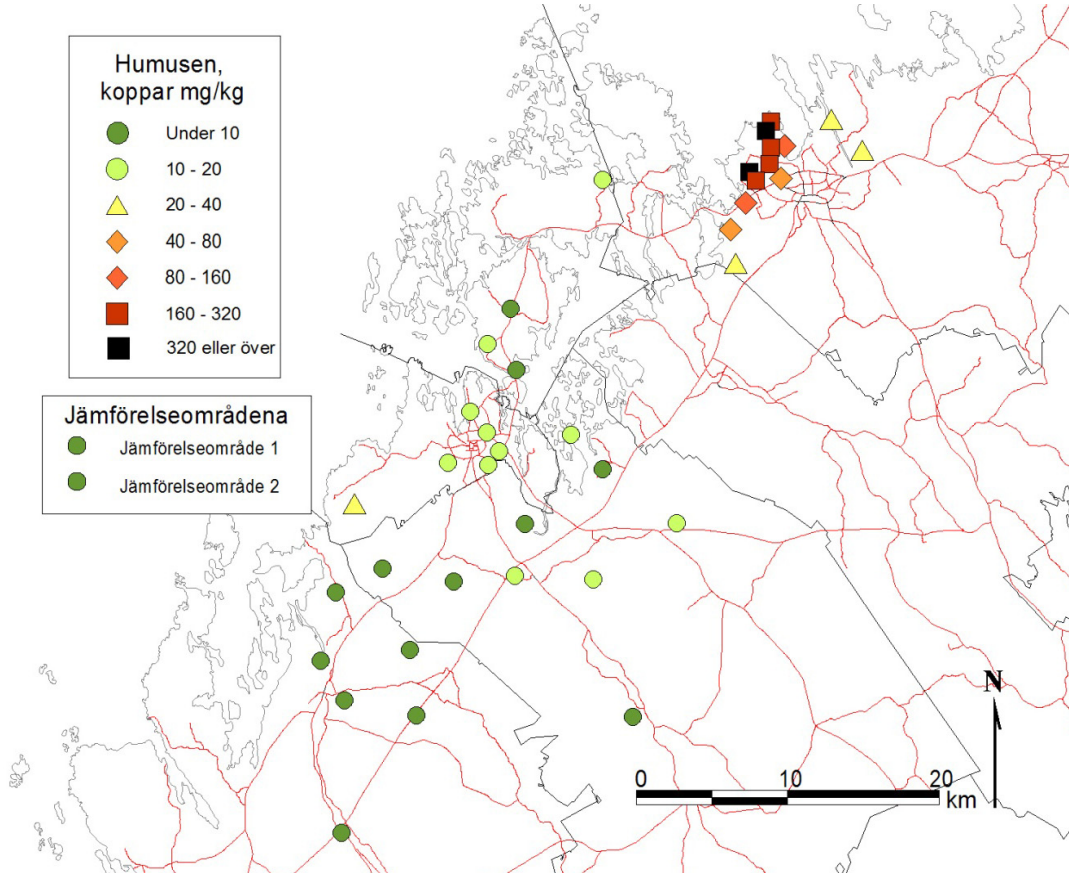
Figur 79. Humusens kadmiumhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



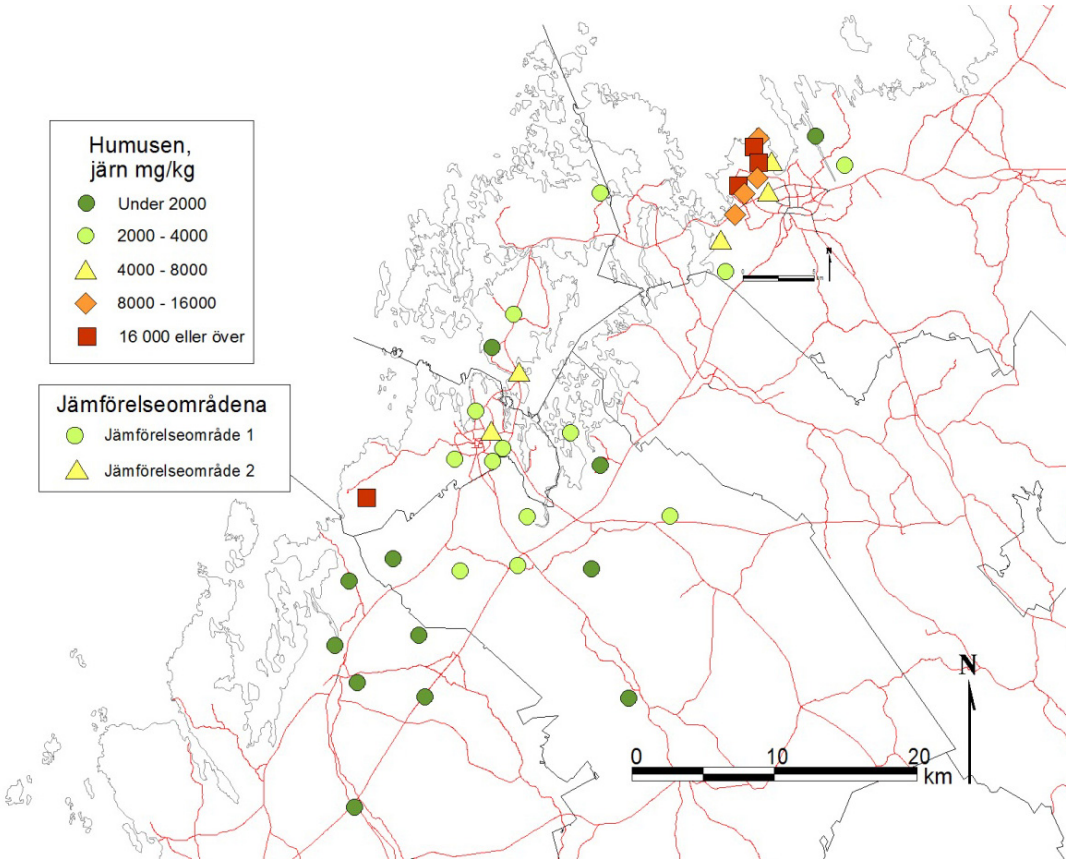
Figur 80. Humusens kobolthalter (mg/kg) på provytorna 2012.



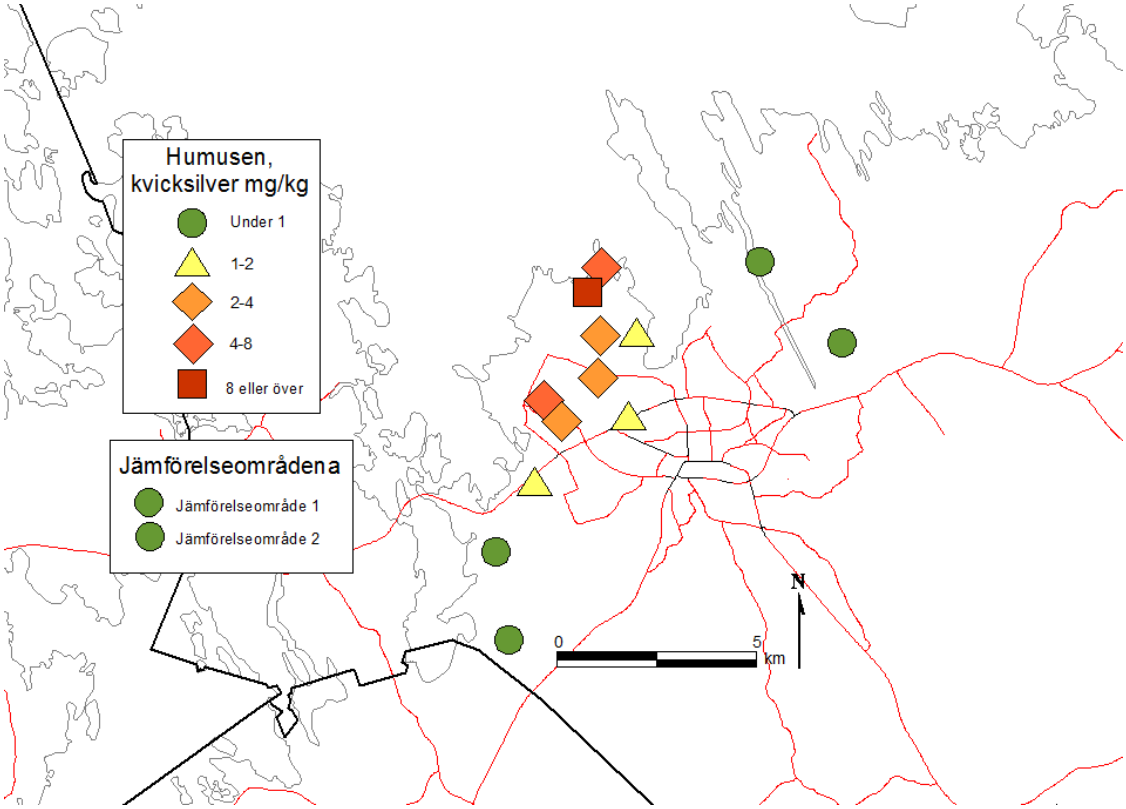
Figur 81. Humusens kromhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



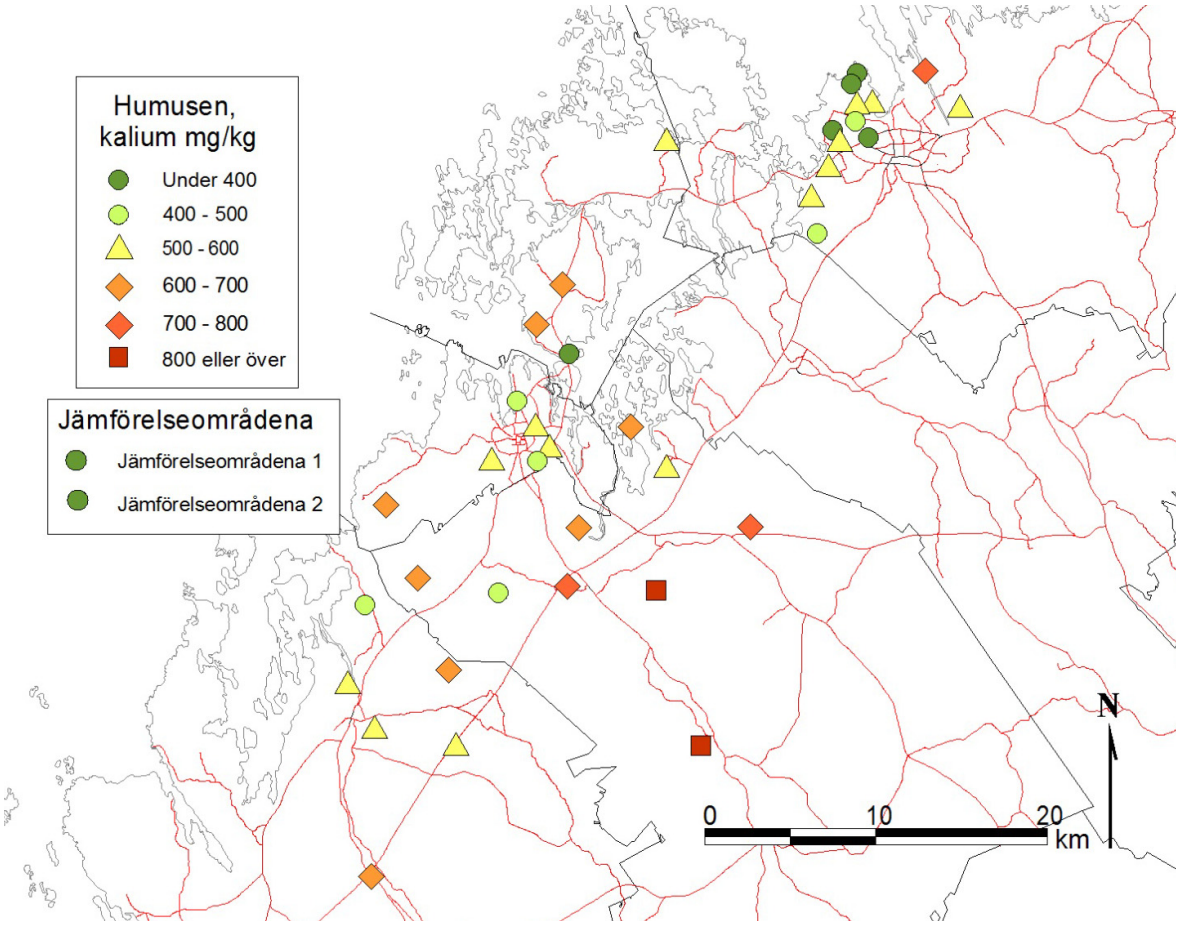
Figur 82. Humusens kopparhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



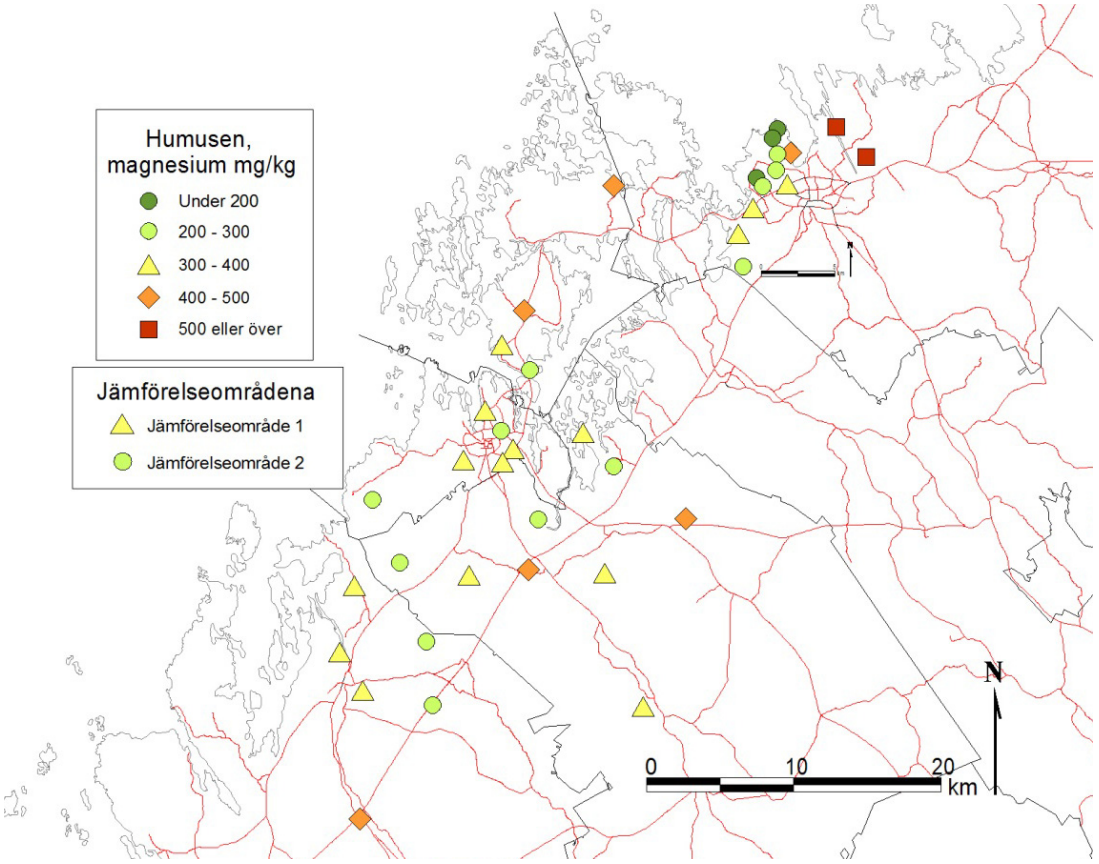
Figur 83. Humusens järnhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



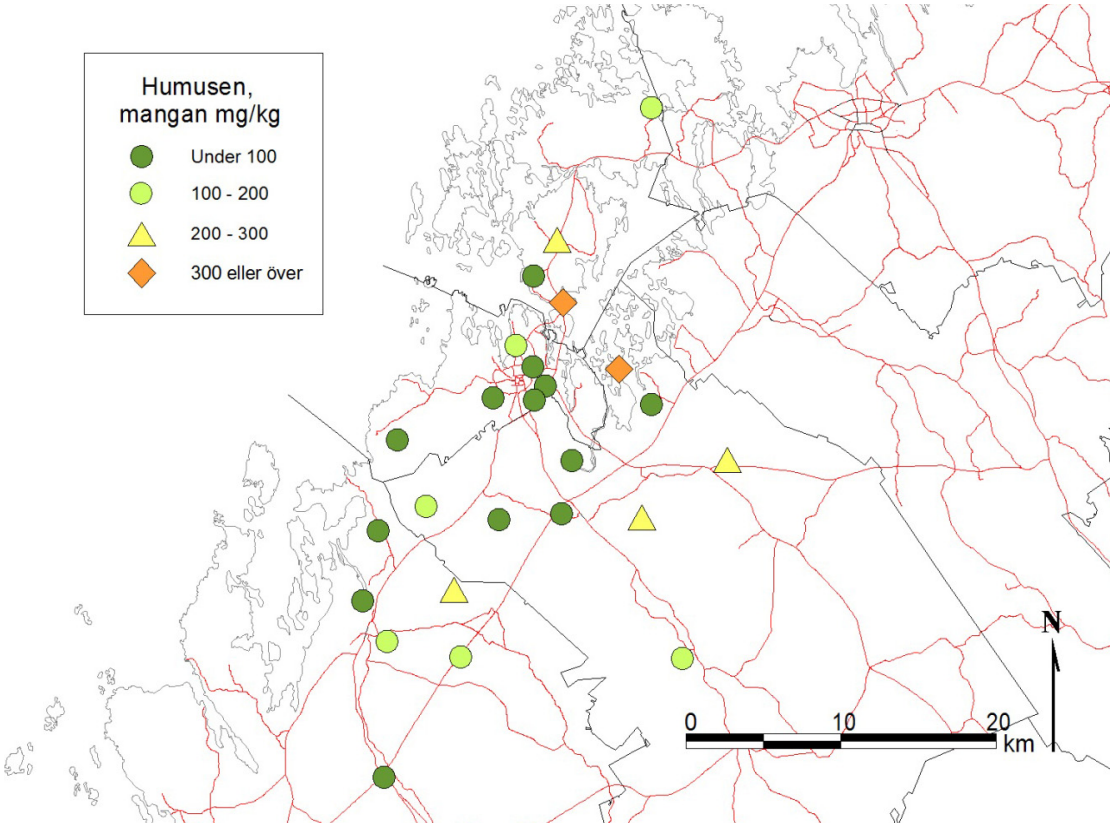
Figur 84. Humusens kvicksilverhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



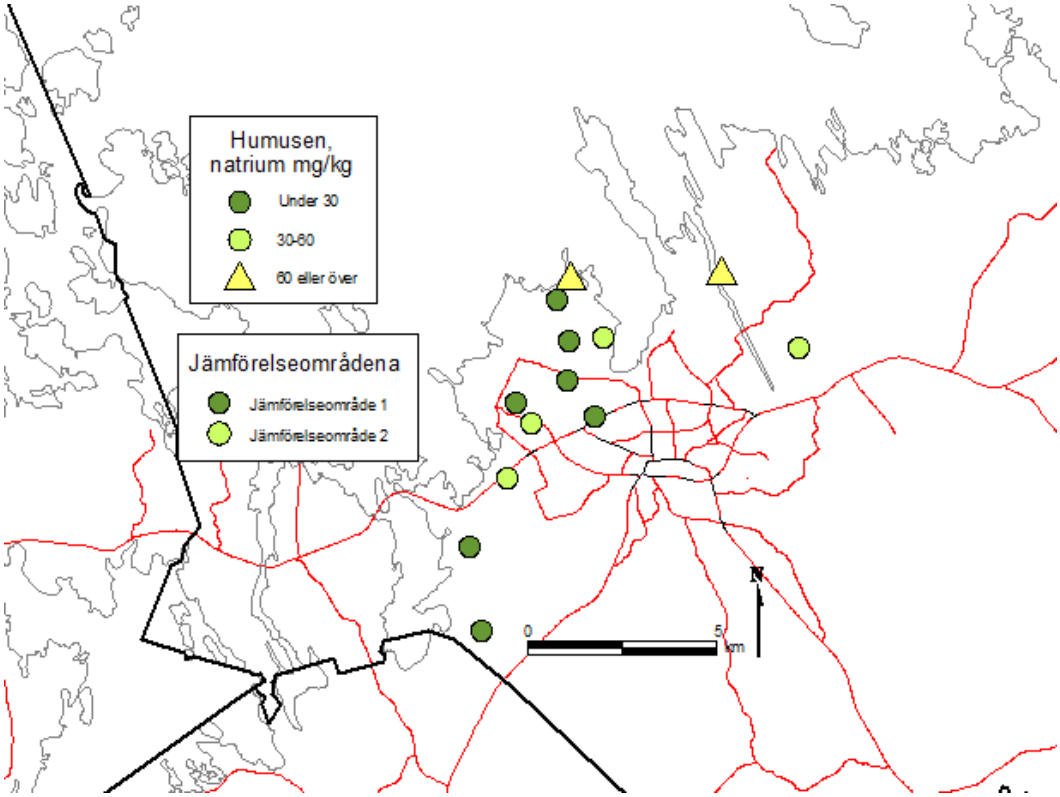
Figur 85. Humusens kaliumhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



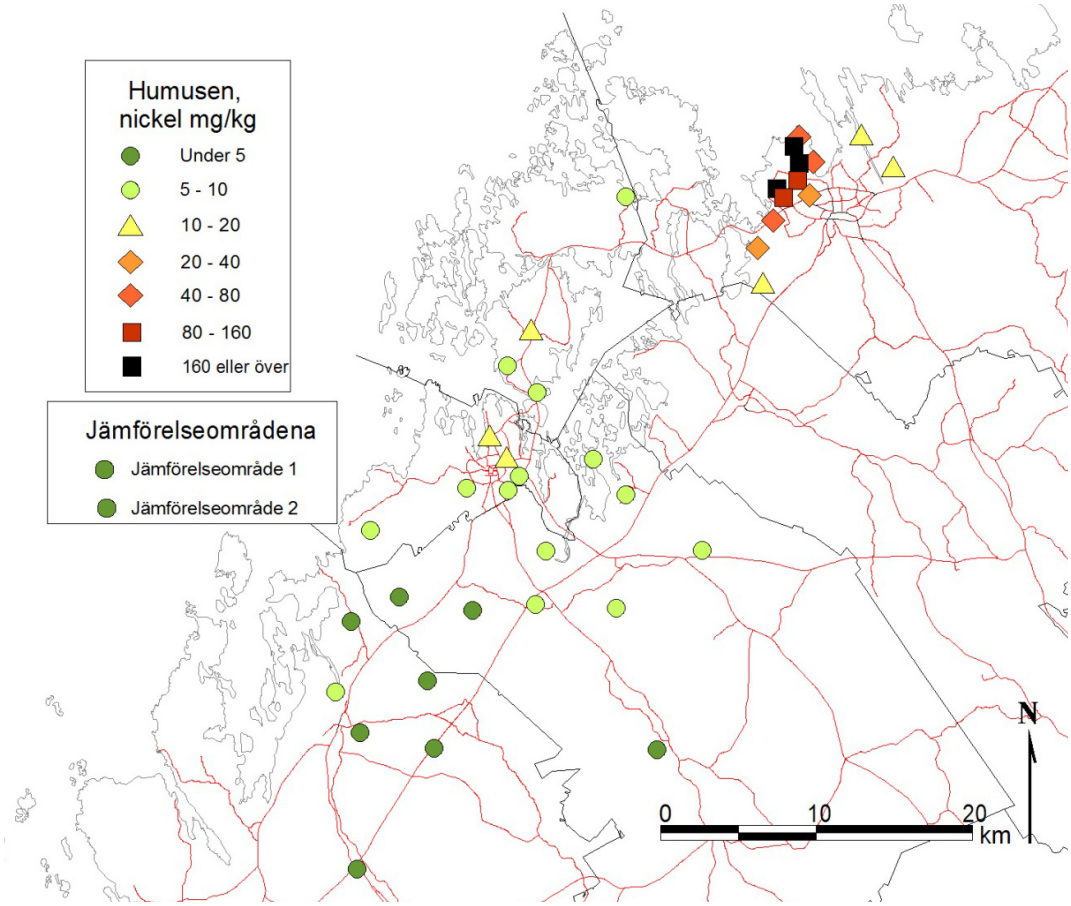
Figur 86. Humusens magnesiumhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



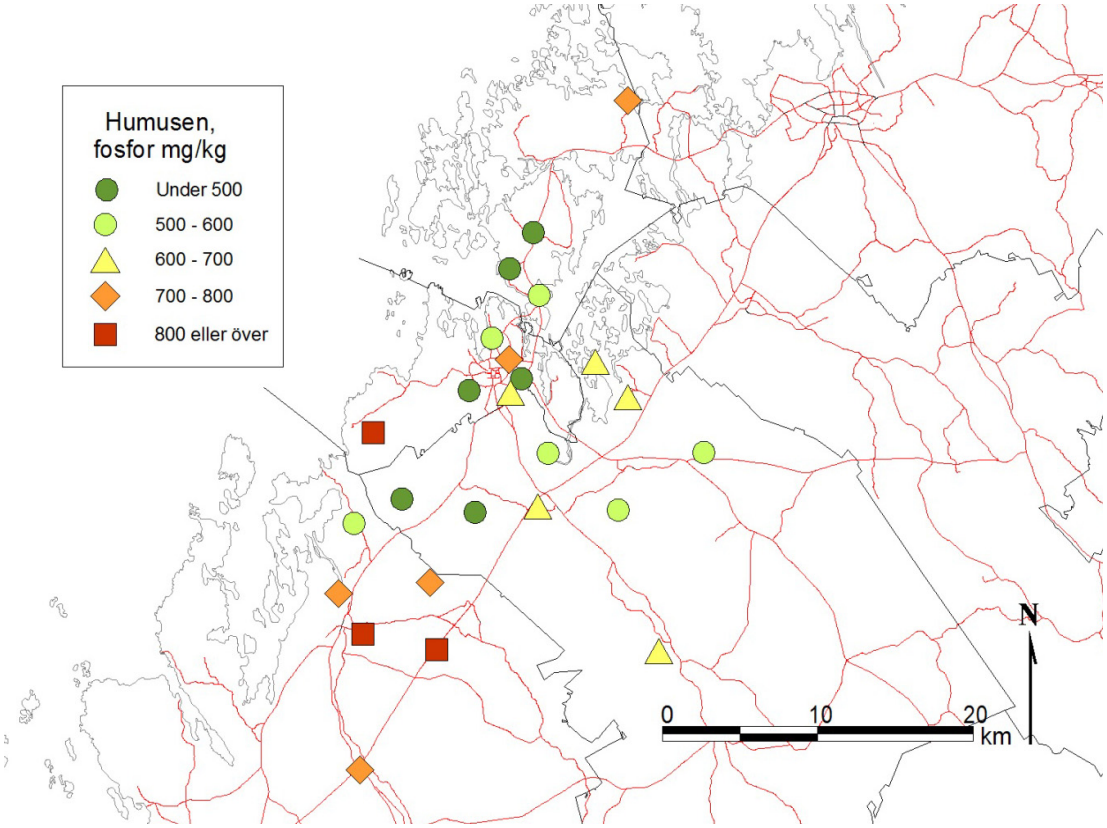
Figur 87. Humusens manganhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



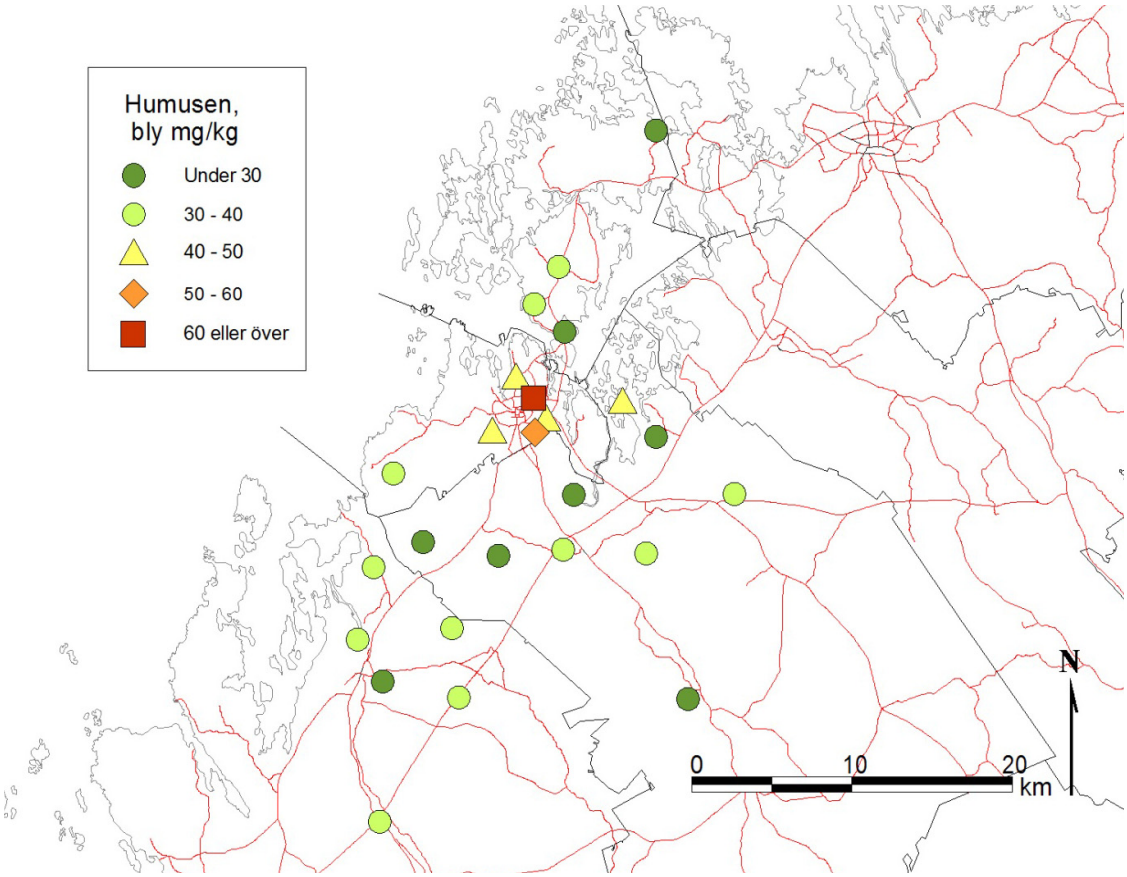
Figur 88. Humusens natriumhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



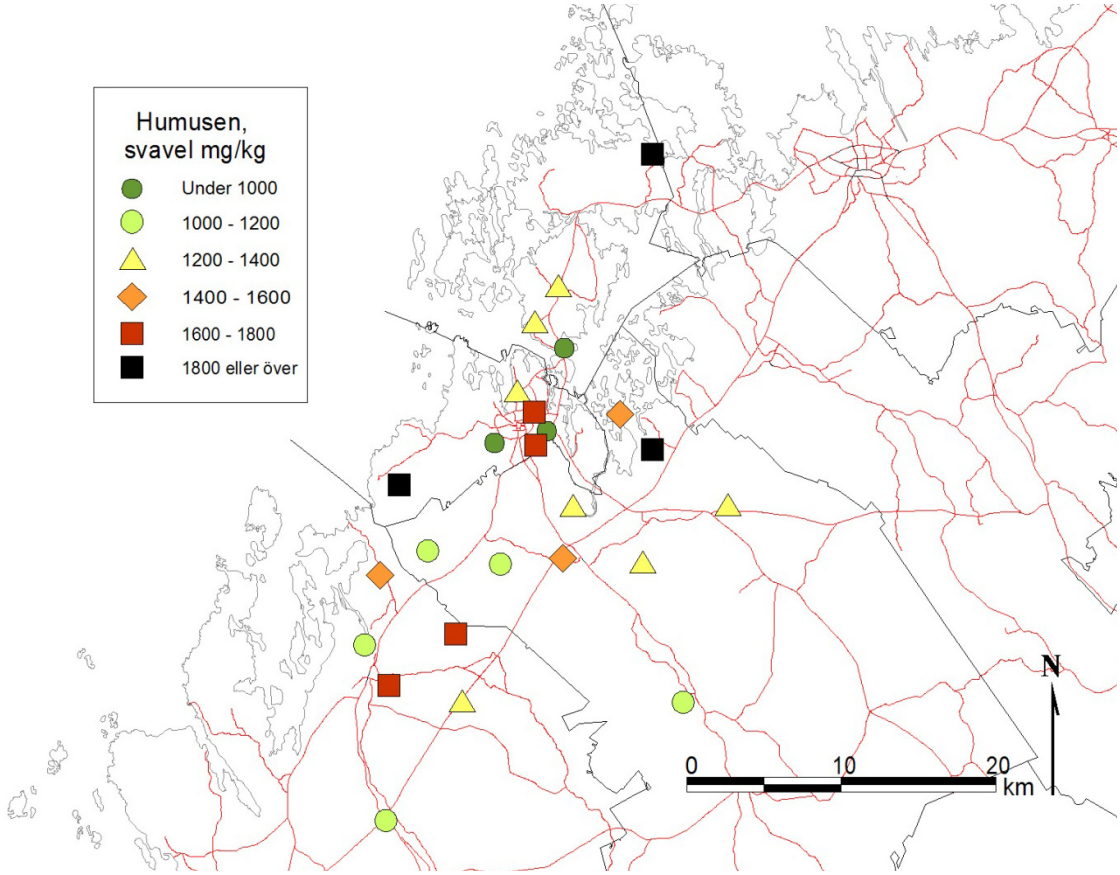
Figur 89. Humusens nickelhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



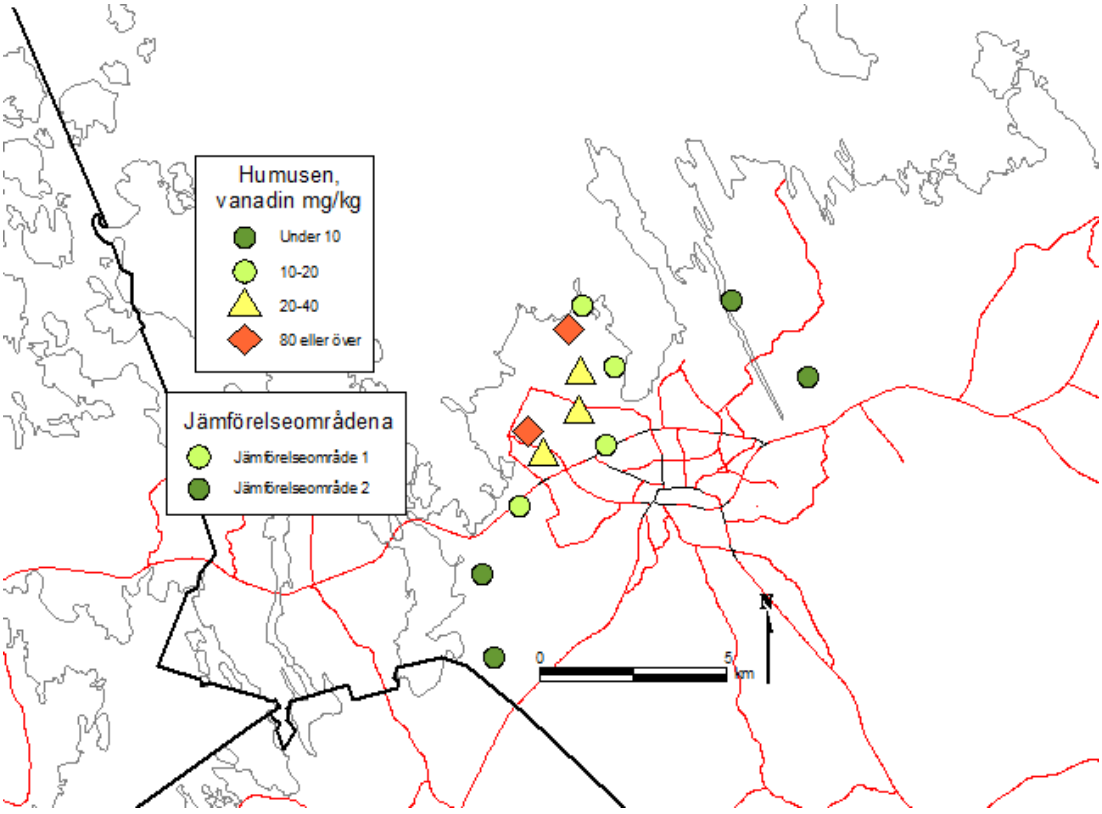
Figur 90. Humusens fosforhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



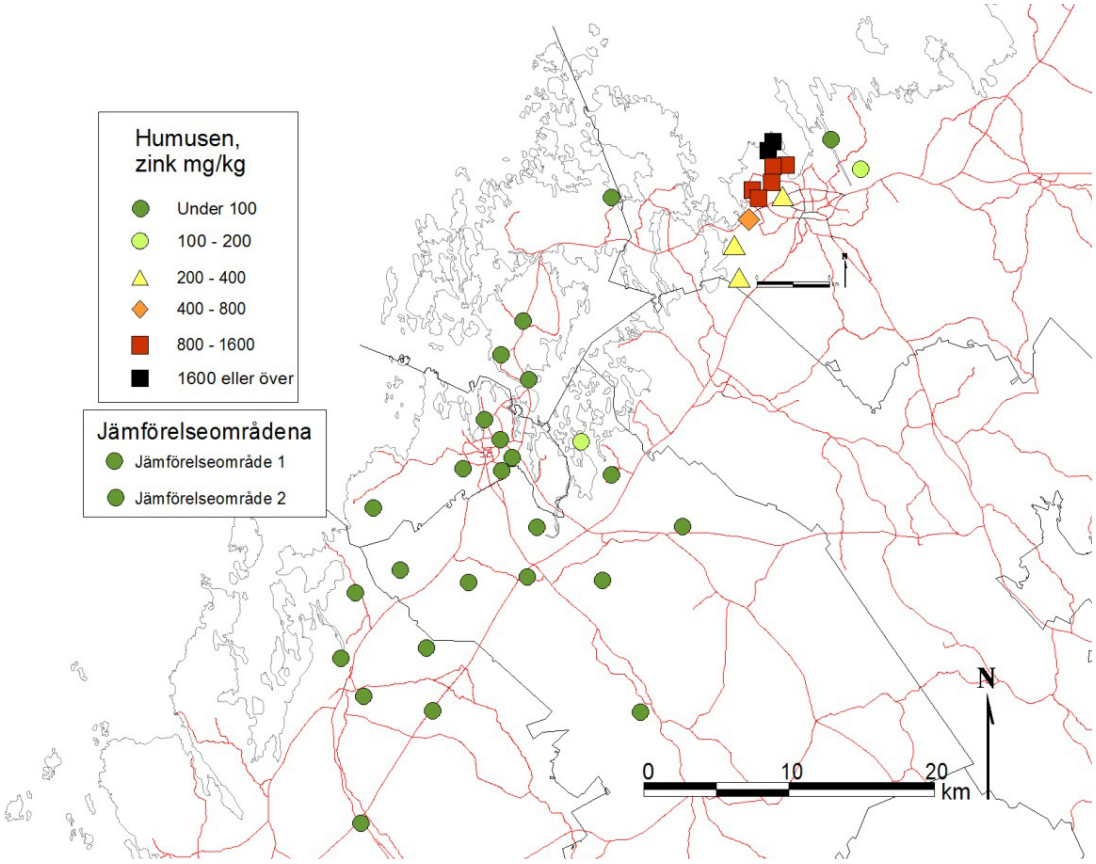
Figur 91. Humusens blyhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



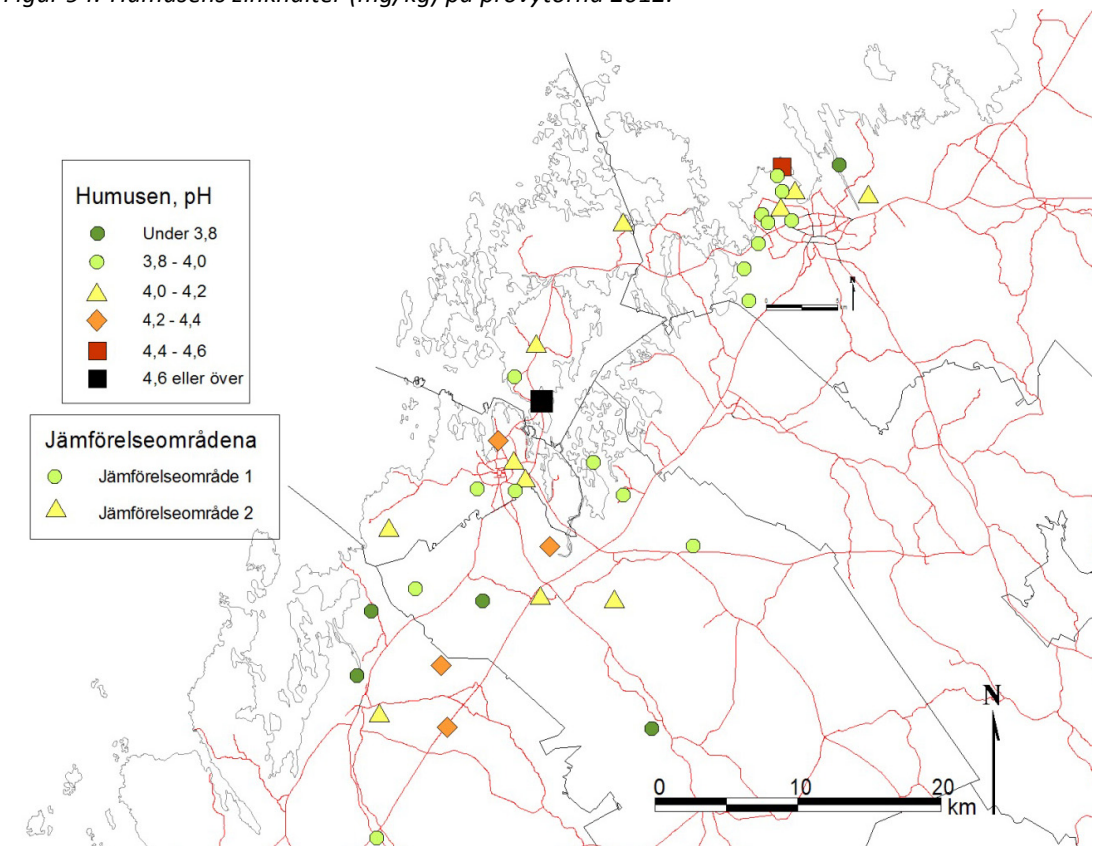
Figur 92. Humusens svavelhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



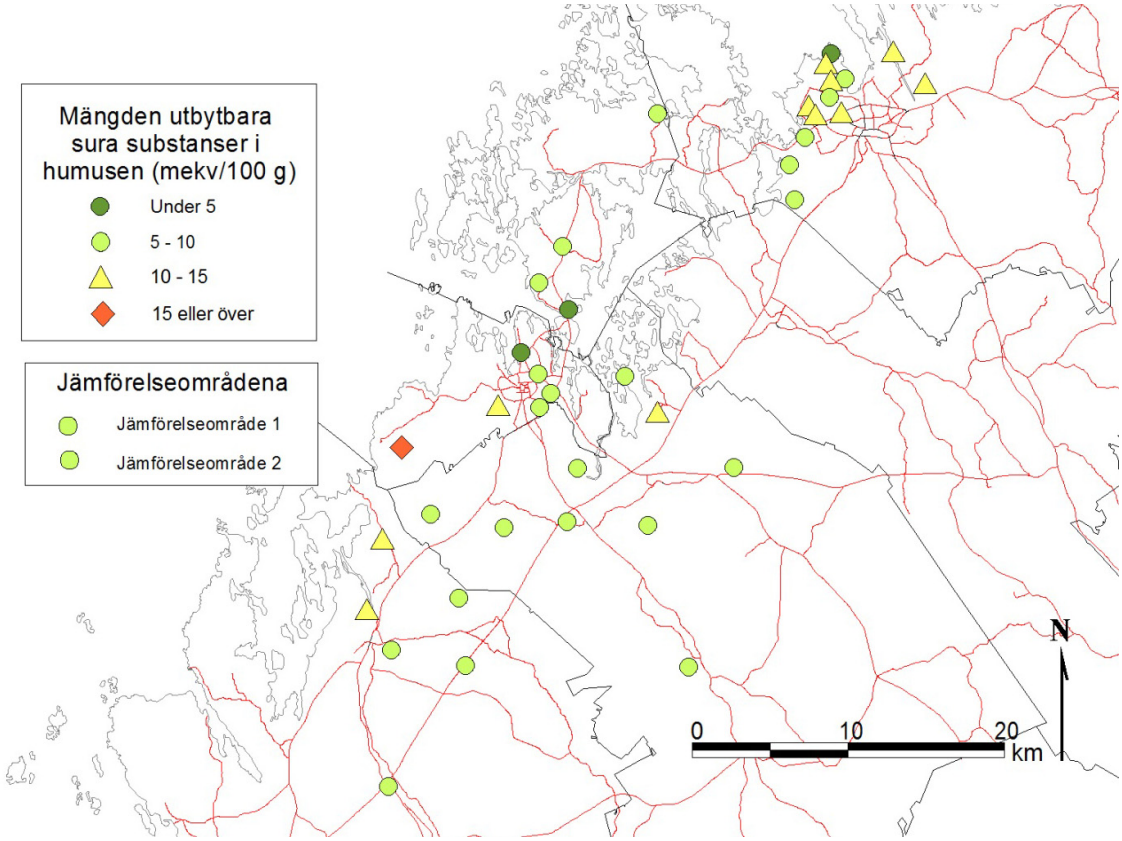
Figur 93. Humusens vanadinhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



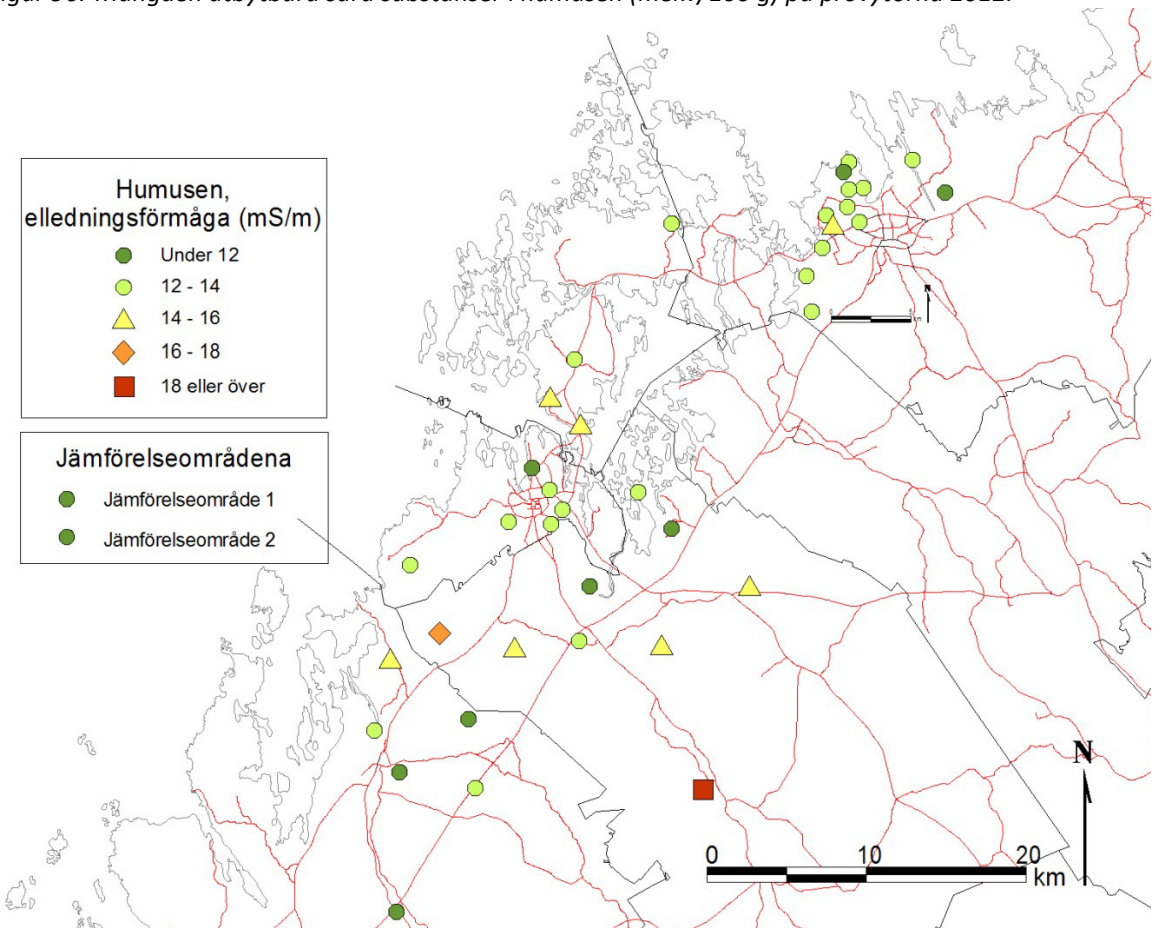
Figur 94. Humusens zinkhalter (mg/kg) på provytorna 2012.



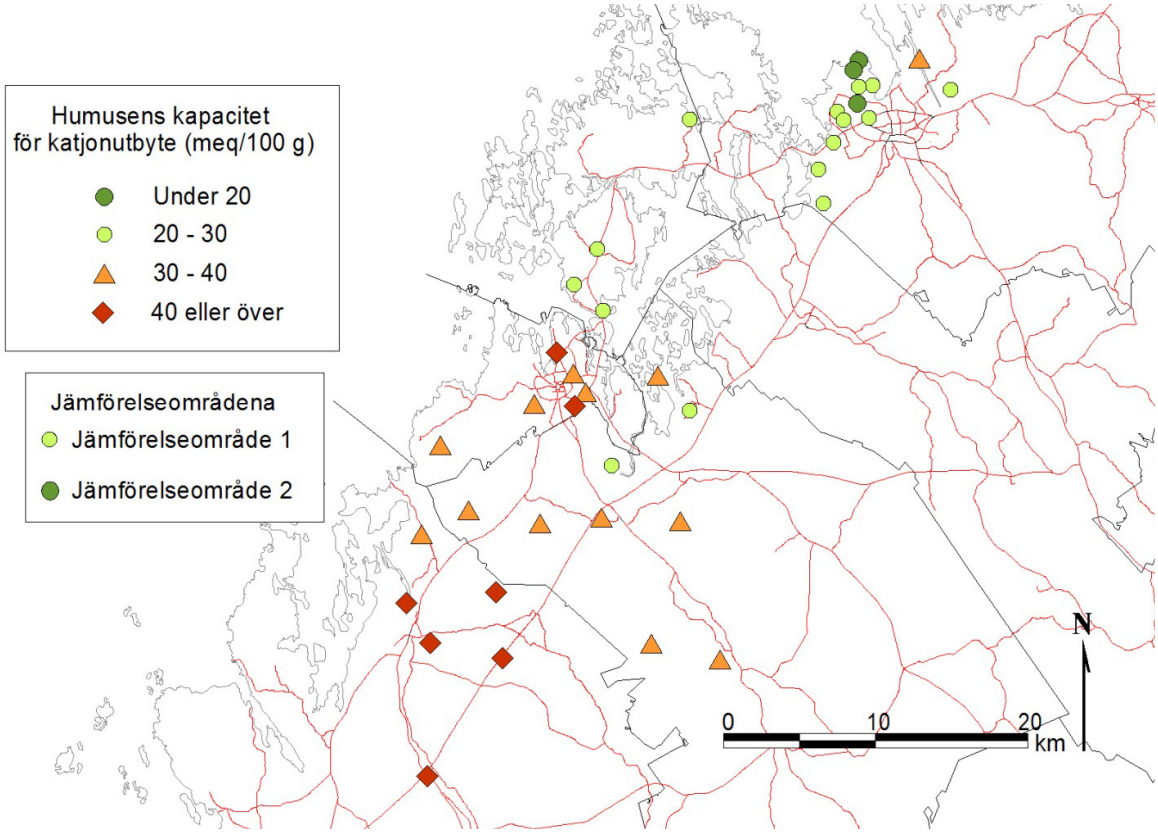
Figur 95. Humusens pH på provytorna 2012.



Figur 96. Mängden utbytbara sura substanser i humusen (mekv/100 g) på provytorna 2012.



Figur 97. Humusens elledningsförmåga (mS/m) på provytorna 2012.



Figur 98. Humusens kapacitet för katjonutbyte (meq/100 g) på provytorna 2012.

5. Granskning av resultaten

I det här kapitlet granskas resultaten, de faktorer som påverkat resultaten och samvariationen mellan resultaten med hjälp av statistiska metoder. I kapitel 5.1 granskas bakgrundsvariablernas inverkan, i kapitel 5.2 samvariationen mellan grundämneshalterna för barr och mossa och i kapitel 5.3 korrelationerna mellan humusvariablerna.

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 och b). Nedan 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, som visar om skillnaderna mellan de olika klassernas varianser är statistiskt signifikant. De granskade klassvariablerna var skogens lämplighet, skogstyp, utvecklingsklass, placering inom en buffertzon på 1, 2 och 5 km från en tillståndspliktig utsläppskälla samt den närmaste utsläppskällans och den närmaste tillståndspliktiga utsläppskällans verksamhetsområden. De tillståndspliktiga utsläppskällorna presenteras i figur 5 i kapitel 2.2.1, medan alla utsläppskällor som granskades presenteras i figur 4. Testresultaten presenteras i tabell 26.

Tabell 26. Relevansnivå (p) för Kruskal-Wallis variansanalys 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	Utvecklings-klass	Lämplighet	buffertzon 1 km	buffertzon 2 km	buffertzon 5 km	Närmaste utsläppskällans verksamhetsområde	Närmaste tillståndspliktiga utsläppskällans verksamhetsområde
IAP	0,000***	0,176	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,409
Artantal/yta	0,000***	0,067	0,000***	0,000***	0,001**	0,000***	0,000***	0,404
Artantal/träd	0,000***	0,257	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,446
Blåslavens skadeklass	0,000***	0,375	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,003**	0,000***
Allmän skadeklass	0,000***	0,001**	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,001**
Algens utbredning	0,000***	0,021*	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,283	0,014*
Blåslavens täckning	0,29*	0,337	0,571	0,094	0,12	0,239	0,000***	0,000***
Tagellavarnas täckning	0,107	0,502	0,28*	0,118	0,067	0,042*	0,081	0,020*

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 växtplatser 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. 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.

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 (provytan ligger inom en buffertzon på 2 km, $X^2 = 38{,}472$, df = 4, $p < 0{,}001$). 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. Utvecklingsklassen hade en statistiskt signifikant inverkan på den allmänna skadeklassen och algens utbredning. Alg förekom mer allmänt i uppväxta skogar än i mogna skogar, och den allmänna skadeklassen var också högre i uppväxta 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 lämpligheten IAP-indexet, artantalet, skadeklasserna, algens utbredning och tagellavarnas täckning. IAP-indexet och artantalet var större i skogar som till sin lämplighet klassificerats som goda än i skogar som klassificerats som måttliga eller dåliga, medan skadeklasserna var lägre i skogar som till sin lämplighet klassificerats som goda än i de övriga skogarna. Algens utbredning var mindre och tagellavarnas täckning var större i skogar som klassificerats som goda än i andra skogar. 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 (provytan ligger inom en buffertzon på 2 km från en tillståndspliktig utsläppskälla, $X^2 = 9{,}872$, df = 2, $p < 0{,}05$).

Placeringen av provytan inom en buffertzon på 1, 2 eller 5 km från en tillståndspliktig utsläppskälla påverkade IAP-indexet, artantalet, skadorna och algens utbredning i alla klasser. Inom buffertzonen på 5 km påverkades också tagellavarnas täckning. Provytorna presenteras i tabell 27, klassificerade enligt om de ligger inom buffertzonen för en tillståndspliktig utsläppskälla. När provytan placerades inom en buffertzon försämrades IAP-indexet på alla avstånd, artantalet sjönk, skadeklassen höjdes och förekomsten av alg ökade.

En statistiskt signifikant korrelation finns mellan den närmaste utsläppskällans verksamhetsområde och IAP-indexet, artantalet, skadorna och blåslavens täckning. Lavindikatorerna presenteras i tabell 28, enligt den närmaste utsläppskällans verksamhetsområde. På grund av det ringa antalet observationer har tillverkning av livsmedel och foder, kemisk industri och skogsindustri samt hamnar slagits ihop i klassen "industriområden och annan verksamhet". Granskningen visade att lavvariablerna allra tydligast påverkades av energiproduktion, miljötjänster (behandling av avloppsvatten, avstjälpningsplatser och jordavstjälpningsplatser), metallindustri och pälsdjursfarmar. När den närmaste utsläppskällan till provytan var någon av de ovan nämnda, var provytans artsammansättning mera utarmad, skadorna större och blåslavens täckning mindre än inom området i genomsnitt. Lavindikatorerna i närheten av skjutbanor, djurstall (nöt, svin), anläggningar som orsakar VOC-utsläpp, anläggningar med verksamhet med anknytning till hantering av jordmaterial (produktion av mineralprodukter, stenbrytning, krossanläggningar, asfaltsanläggningar, kalkstensmalning) och områden för torvutvinning var däremot på samma nivå som, eller bättre än, inom området i genomsnitt. 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. Sannolikt var det på grund av gruppens heterogenitet som lavvariablerna inte avvek från medelvärdet för provytan. När man granskade endast **provytornas avstånd från den närmaste tillståndspliktiga anläggningen**, och grupperade observationerna efter verksamhetsområde, lade man märke till att de provytor där den närmaste tillståndspliktiga anläggningen hörde till den kemiska industrin eller skogsindustrin uppvisade sämre lavindikatorer än i de övriga grupperna.

Tabell 27. Lavindikatorer för de enskilda provytorna, klassificerade efter om provytan ligger i närheten av en tillståndspliktig anläggning, på 1, 2 eller 5 km avstånd från anläggningen. Nej = provytan ligger längre bort än granskningsavståndet, ja = provytan ligger inom granskningsavståndet.

		1 km buffertzon		2 km buffertzon		5 km buffertzon	
		nej	ja	nej	ja	nej	ja
	N	222	16	204	34	151	87
IAP-index	Minimum	0	0	0,5	0	0,5	0
	Maximum	4,28	2,23	4,28	3,21	4,28	3,96
	Medelvärde	2,12	1,38	2,17	1,50	2,25	1,76
Artantal/yta	Minimum	0	0	2	0	2	0
	Maximum	9	6	9	9	9	9
	Medelvärde	5,33	3,63	5,39	4,15	5,58	4,57
Artantal/träd	Minimum	0	0	1	0	1	0
	Maximum	8	4	8	6	8	7
	Medelvärde	3,98	2,68	4,06	2,88	4,21	3,34
Blåslavens skadeklass	Minimum	1	2,2	1	1,5	1	1,1
	Maximum	5	5	5	5	5	5
	Medelvärde	2,19	3,22	2,13	3,00	2,11	2,51
Allmän skadeklass	Minimum	1,1	3,2	1,1	2,4	1,3	1,1
	Maximum	5	5	4,7	5	4,7	5
	Medelvärde	3,17	4,04	3,13	3,83	3,07	3,51
Algens utbredning	Minimum	0	1	0	0	0	0
	Maximum	5	5	5	5	5	5
	Medelvärde	2,85	4,69	2,75	4,29	2,45	3,87
Blåslavens täckning	Minimum	0	0	0	0	0	0
	Maximum	75	22	75	28	75	57
	Medelvärde	10,8	6,5	11,0	7,7	9,9	11,5
Tagellavarnas täckning	Minimum	0	0	0	0	0	0
	Maximum	4	0	4	0	3	4
	Medelvärde	0,1	0	0,1	0,01	0,11	0,06

Tabell 28. Lavindikatorerna klassificerade efter den närmaste utsläppskällans verksamhetsområde.

		Skjut-bana	Djur-stall	Energiproduktion	VOC	Miljötjänster	Metall-industri	Jordmaterial-hantering	Industri-områden och annan verksamhet	Pälsdjurs-farm	Torv-produktion
	N	11	48	10	27	21	6	19	37	52	7
IAP-index	Minimum	1,02	0,59	0,6	0,52	0	1,09	1,3	0,89	0	2,19
	Maximum	3,33	3,75	2,73	3,61	3,79	1,96	3,1	3,96	3,56	4,28
	Medelvärde	2,23	2,30	1,69	2,41	1,76	1,58	2,02	2,08	1,81	2,86
Artantal/yta	Minimum	3	2	2	2	0	3	3	3	0	5
	Maximum	8	9	7	8	9	6	8	9	9	9
	Medelvärde	5,55	5,65	4,1	5,74	4,67	4,5	5,68	5,35	4,58	6,29
Artantal/träd	Minimum	2	1	1	1	0	2	3	2	0	4
	Maximum	6	7	5	6	7	4	6	7	6	8
	Medelvärde	4,15	4,3	3,24	4,44	3,33	3,07	3,81	3,89	3,45	5,29
Blåslavens skadeklass	Minimum	1,2	1,1	1,5	1,3	1,2	1,9	1,1	1,1	1	1
	Maximum	5	5	4,4	5	5	3,3	2,6	3,6	5	2,1
	Medelvärde	2,03	2,19	2,7	1,92	2,46	2,62	2,0	2,17	2,58	1,5
Allmän skadeklass	Minimum	1,4	1,3	2	1,5	1,5	2,7	1,1	1,2	1,8	1,9
	Maximum	4,5	4,5	5	4,5	5	4	4	4	5	3,2
	Medelvärde	3,1	3,0	3,7	2,8	3,5	3,7	3,3	3,1	3,6	2,6
Algens utbredning	Minimum	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0
	Maximum	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Medelvärde	1,55	2,67	4,1	2,78	2,86	4,5	2,89	3,27	3,25	2
Blåslavens täckning	Minimum	0	0	0	0	0	1	0	0	0	11
	Maximum	75	58	22	33	52	6	40	57	38	48
	Medelvärde	23	8	7	11	10	4	15	13	7	19
Tagellavarnas täckning	Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Maximum	2	3	0	3	0	0	0	4	1	0
	Medelvärde	0,24	0,13	0	0,2	0,03	0	0	0,12	0,02	0,03

5.1.2 Regressionsanalyser

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. Resultaten presenteras i tabellerna 29–35. I tabell 36 finns ett sammandrag av resultaten av regressionsanalyserna.

Tabell 29. 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-indexet (r^2 = 39 %)	B	Medelfel	Beta	Teststorhet	Signifikans
Konstant	2,445	0,473		5,165	0,000***
Ålder	0,008	0,002	0,217	3,649	0,000***
Längd	-0,028	0,015	-0,121	-1,853	0,065
Diameter	-0,016	0,013	-0,074	-1,265	0,207
Bottenyta	-0,011	0,008	-0,08	-1,268	0,206
Avstånd till närmaste djurstall	-0,048	0,02	-0,147	-2,359	0,019*
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	0,04	0,008	0,373	4,882	0,000***
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-0,015	0,014	-0,131	-1,126	0,261
Avstånd till närmaste industrianläggning	0,027	0,019	0,169	1,482	0,14
Avstånd till närmaste pälsfarm	0,066	0,015	0,339	4,494	0,000***
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-0,011	0,005	-0,151	-2,109	0,036*
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	0,003	0,012	0,022	0,215	0,83
Avstånd till närmaste miljötjänster	-0,012	0,011	-0,076	-1,032	0,303

Tabell 30. 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 (***). De nästan signifikanta nivåerna (p < 0,1) är kursiverade.

Artantal/provyta (r2 = 36 %)	**B**	**Medelfel**	**Beta**	**Teststorhet**	**Signifikans**
Konstant	5,212	1,14		4,572	0,000***
Ålder	0,021	0,005	0,257	4,2	0,000***
Längd	-0,055	0,037	-0,101	-1,506	0,133
Diameter	-0,028	0,031	-0,055	-0,916	0,361
Bottenyta	-0,016	0,02	-0,053	-0,811	0,418
Avstånd till närmaste djurstall	-0,107	0,049	-0,141	-2,198	0,029*
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	0,088	0,02	0,353	4,495	0,000***
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-0,056	0,033	-0,205	-1,712	*0,088*
Avstånd till närmaste industrianläggning	0,089	0,045	0,234	1,992	0,048*
Avstånd till närmaste pälsfarm	0,141	0,035	0,308	3,975	0,000***
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-0,025	0,013	-0,141	-1,908	*0,058*
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	0,017	0,03	0,059	0,565	0,573
Avstånd till närmaste miljötjänster	-0,045	0,028	-0,125	-1,637	0,103

Tabell 31. 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 (r2 = 23 %)	**B**	**Medelfel**	**Beta**	**Teststorhet**	**Signifikans**
Konstant	2,674	0,641		4,174	0,000***
Ålder	0	0,003	-0,003	-0,041	0,968
Längd	-0,01	0,021	-0,037	-0,501	0,617
Diameter	-0,003	0,017	-0,012	-0,179	0,858
Bottenyta	0,027	0,011	0,173	2,413	0,017*
Avstånd till närmaste djurstall	-0,009	0,027	-0,023	-0,323	0,747
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	-0,041	0,011	-0,32	-3,713	0,000***
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	0,015	0,018	0,106	0,808	0,42
Avstånd till närmaste industrianläggning	-0,031	0,025	-0,16	-1,239	0,217
Avstånd till närmaste pälsfarm	-0,048	0,02	-0,205	-2,413	0,017*
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-0,004	0,007	-0,046	-0,573	0,568
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	0,008	0,017	0,056	0,493	0,623
Avstånd till närmaste miljötjänster	0,01	0,015	0,056	0,667	0,506

Tabell 32. 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 = 34 %)	**B**	**Medelfel**	**Beta**	**Teststorhet**	**Signifikans**
Konstant	3,085	0,54		5,709	0,000***
Ålder	-0,01	0,002	-0,247	-4,1	0,000***
Längd	0,027	0,017	0,101	1,526	0,128
Diameter	0,017	0,015	0,07	1,179	0,240
Bottenyta	0,02	0,01	0,135	2,093	0,037*
Avstånd till närmaste djurstall	0,024	0,023	0,066	1,042	0,299
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	-0,043	0,009	-0,363	-4,679	0,000***
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	0,025	0,016	0,189	1,599	0,111
Avstånd till närmaste industrianläggning	-0,027	0,021	-0,15	-1,295	0,197
Avstånd till närmaste pälsfarm	-0,07	0,017	-0,32	-4,181	0,000***
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	0,005	0,006	0,062	0,844	0,400
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	-0,001	0,014	-0,011	-0,103	0,918
Avstånd till närmaste miljötjänster	0,013	0,013	0,073	0,967	0,335

Tabell 33. 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 = 29 %)	**B**	**Medelfel**	**Beta**	**Teststorhet**	**Signifikans**
Konstant	2,709	1,398		1,937	0,054
Ålder	-0,014	0,006	-0,144	-2,24	0,026*
Längd	0,048	0,045	0,076	1,071	0,285
Diameter	-0,011	0,038	-0,019	-0,299	0,765
Bottenyta	0,094	0,025	0,259	3,772	0,000***
Avstånd till närmaste djurstall	-0,027	0,06	-0,03	-0,442	0,659
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	-0,087	0,024	-0,3	-3,631	0,000***
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	0,039	0,04	0,122	0,972	0,332
Avstånd till närmaste industrianläggning	-0,095	0,055	-0,215	-1,74	0,083
Avstånd till närmaste pälsfarm	-0,03	0,043	-0,056	-0,684	0,494
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-0,003	0,016	-0,013	-0,172	0,863
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	-0,004	0,036	-0,011	-0,101	0,919
Avstånd till närmaste miljötjänster	0,037	0,034	0,088	1,097	0,274

Tabell 34. 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 = 24 %)	**B**	**Medelfel**	**Beta**	**Teststorhet**	**Signifikans**
Konstant	1,254	7,821		0,16	0,873
Ålder	-0,138	0,034	-0,265	-3,993	0,000***
Längd	-0,144	0,252	-0,042	-0,571	0,568
Diameter	0,354	0,213	0,109	1,664	*0,098*
Bottenyta	0,149	0,139	0,076	1,075	0,284
Avstånd till närmaste djurstall	1,154	0,335	0,24	3,441	0,001**
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	0,24	0,134	0,153	1,792	*0,074*
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-0,166	0,225	-0,096	-0,738	0,462
Avstånd till närmaste industrianläggning	0,176	0,306	0,073	0,575	0,566
Avstånd till närmaste pälsfarm	0,154	0,243	0,053	0,633	0,528
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	0,197	0,088	0,179	2,23	0,027*
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	0,147	0,204	0,082	0,722	0,471
Avstånd till närmaste miljötjänster	-0,464	0,189	-0,203	-2,455	0,015*

Tabell 35. 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 = 23 %)	**B**	**Medelfel**	**Beta**	**Teststorhet**	**Signifikans**
Konstant	0,641	0,309		2,078	0,039*
Ålder	-8,90E-06	0,001	0	-0,007	0,995
Längd	-0,019	0,01	-0,156	-1,958	*0,051*
Diameter	-0,009	0,008	-0,077	-1,073	0,284
Bottenyta	-0,001	0,005	-0,02	-0,262	0,793
Avstånd till närmaste djurstall	-0,024	0,013	-0,135	-1,78	*0,077*
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	0,01	0,005	0,175	1,875	*0,062*
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial	-0,005	0,009	-0,076	-0,537	0,592
Avstånd till närmaste industrianläggning	-0,007	0,012	-0,08	-0,573	0,567
Avstånd till närmaste pälsfarm	0,025	0,01	0,237	2,572	*0,011*
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	0,001	0,003	0,032	0,368	0,713
Avstånd till närmaste VOC-anläggning	0,004	0,008	0,058	0,467	0,641
Avstånd till närmaste miljötjänster	9,06E-06	0,007	0	0,001	0,999

Förklaringsgraderna för regressionsmodellen för lavvariabler varierade mellan 23 procent och 39 procent (tabell 35). Blåslavens skadeklass samt blåslavens och 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. Åldern förklarade variationen i sex av lavvariablerna. Artsammansättningen blev allt mer mångsidig och den allmänna skadeklassen blev lägre, utbredningen av alg minskade och blåslavens täckning minskade i äldre skogsbestånd. Längden korrelerade endast med tagellavarnas täckning, men korrelationen var svag liksom för andra variabler som förklarar tagellavarnas täckning. Tagellavar förekom i jämförelsevis liten utsträckning på uppföljningsområdet, så endast ofullständiga slutsatser kan dras på grund av det begränsade materialet. När trädbeståndets bottenyta utökades, blev också blåslavens skadeklass och den allmänna skadeklassen högre, och utbredningen av alg ökade. Bottenytan beskriver provytans skuggighet, som för sid del försämrar lavarnas levnadsförhållanden.

Bland avståndsvariablerna var det energiproduktionsanläggningarna och pälsfarmarna som tydligast försämrade lavindikatorerna. När avståndet till dessa ökade blev lavfloran allt mer mångsidig och blåslavens skadeklass och den allmänna skadeklassen blev lägre. Närheten till industrianläggningar verkade minska artantalet något och öka algutbredningen. Korrelationen var svag, sannolikt på grund av gruppens heterogenitet; i klassen ingick både små och stora anläggningar, som inte inverkar lika mycket på lavfloran. Djurstallar och områden för torvutvinning verkade ha en motsatt effekt: ju närmare dessa en provyta låg, desto mer mångsidig var lavfloran och desto mindre var skadorna. 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 utvinning, behandling och förädling av jordmaterial och mineraler samt verksamhet som orsakar VOC-utsläpp och lavflorans sammansättning och kondition var svag.

Tabell 36. 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. De nästan signifikanta nivåerna (p < 0,1) står inom parentes.

	IAP	Art-antal	Blåslavens skadeklass	Allmän skadeklass	Algens utbred-ning	Blås-lavens täckning	Tagellavarnas täckning
Förklaringsgrad	39 %	36 %	23 %	34 %	29 %	24 %	23 %
Ålder	+++	+++		---	-	---	
Längd							(-)
Diameter						(+)	
Bottenyta			+	+	+++		
Avstånd till närmaste djurstall	-	-				++	(-)
Avstånd till närmaste energiproduktionsanläggning	+++	+++	---	---	---	(+)	
Avstånd till närmaste hanteringsanläggning för jordmaterial		(-)					
Avstånd till närmaste industrianläggning		+			(-)		
Avstånd till närmaste pälsfarm	+++	+++	-	---			(+)
Avstånd till närmaste område för torvutvinning	-	(-)				+	
Avstånd till närmaste VOC-anläggning							
Avstånd till närmaste miljötjänster						-	

5.2 Statistisk granskning av grundämneshalterna för barr och mossor

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 tre faktorer, som förklarade sammanlagt 66 procent av variablernas variation. En roterad komponentmatris som utarbetats utifrån faktoranalysen av barrens grundämneshalter presenteras i tabell 37. I tabellen har markerats med fet stil laddningen för den faktor för vilken varje grundämne får sin högsta faktorladdning. I allmänhet betraktas värden över 0,5 som signifikanta faktorladdningar. I figurerna 99–101 presenteras zonkartor, som har utarbetats för varje provyta utifrån de beräknade faktorpoängen.

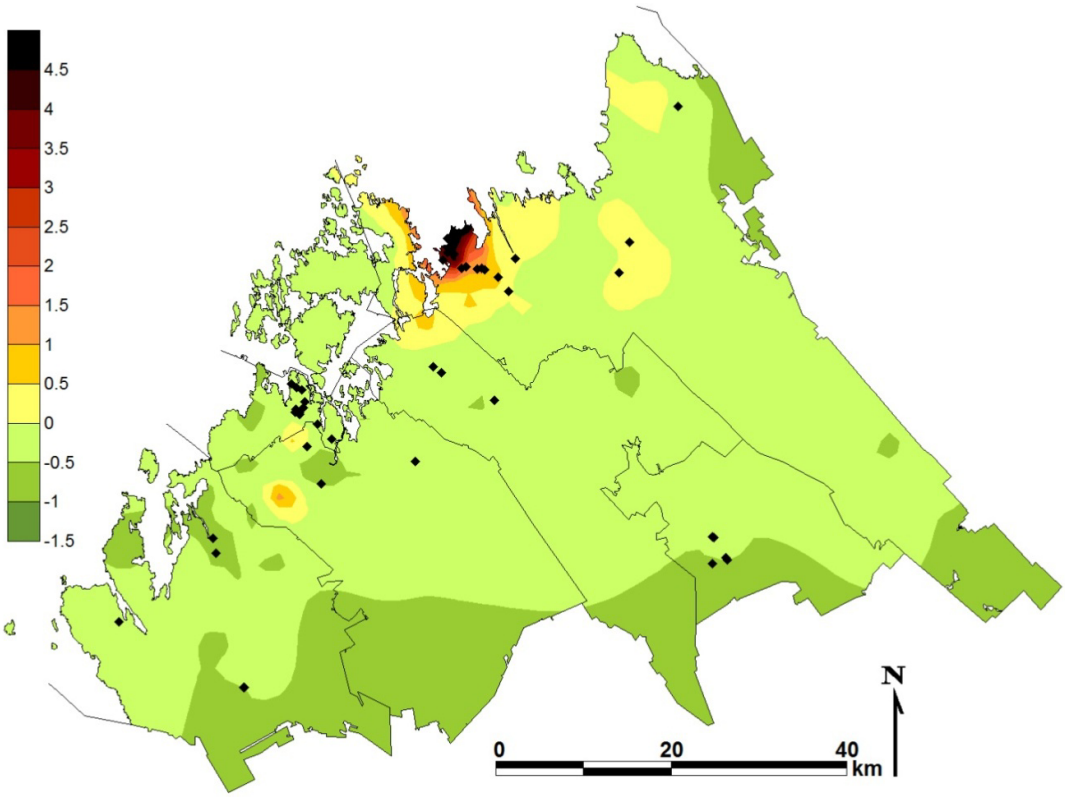
Med den första faktorn fick kadmium, krom, koppar, nickel, järn och zink de högsta laddningarna. Zink (0,93) och järn (0,91) hade de högsta av dessa laddningar, med ett värde över 0,9. Den lägsta laddningen hade krom (0,51). Faktorn beskrev metallutsläppen från industriverksamheten i Yxpila i Karleby. Mindre zoner, där faktorn fick något högre värden än för området i övrigt, var Lochteå, Kelviå, gränsen mellan Jakobstad och Pedersöre samt området sydväst om Bennäs bosättningscentrum i Pedersöre.

Med den andra faktorn fick väte, kalium, fosfor och svavel de högsta laddningarna. Laddningarna varierade inom intervallen 0,71–0,83. I variationen enligt skogstyp för fördelningarna av kväve, fosfor och svavel fanns en statistiskt signifikant skillnad i och med att halterna var högre i frodiga skogstyper än i karga skogstyper. Faktorn beskrev alltså både växtplatsens näringshalt och utsläppen av svavel och kväve. Faktorn fick högre värden än det övriga området i närheten av vissa utsläpp av svavel och kväve, men variationen var inte regelbunden.

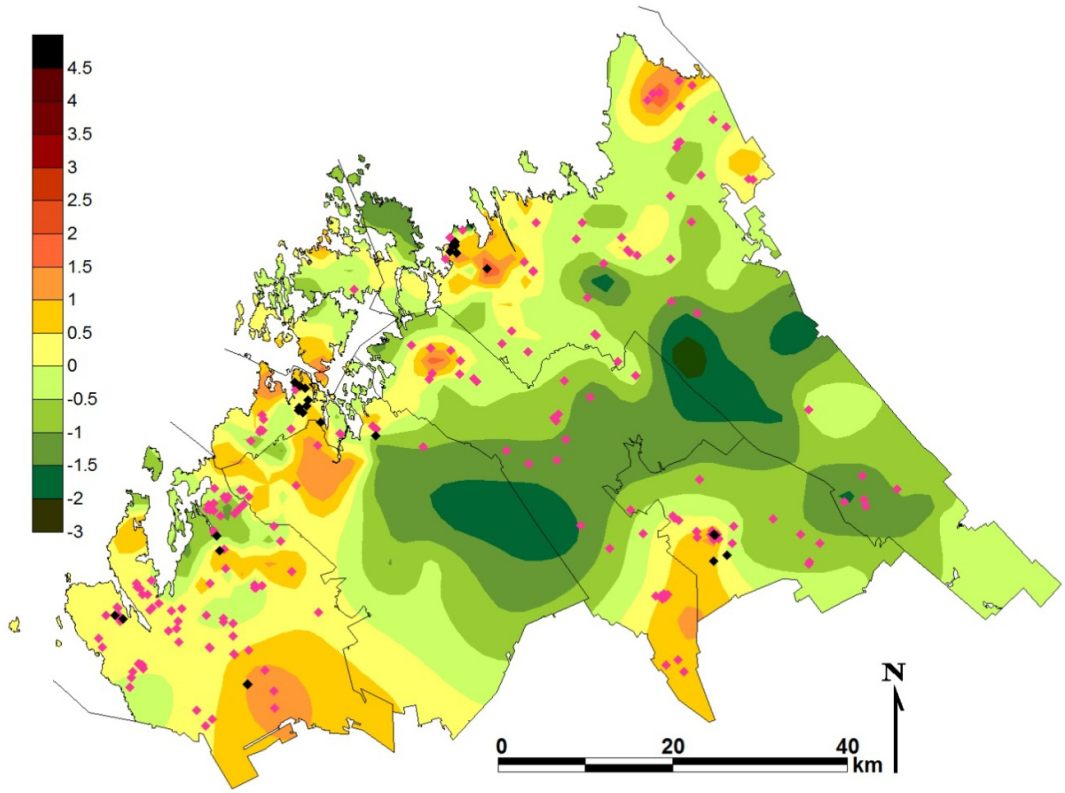
Med den tredje faktorn fick bor, kalcium, magnesium och mangan de högsta laddningarna. Den kraftigaste laddningen hade magnesium (0,77) och den svagaste mangan (0,48). Faktorn fick höga poäng i Jakobstads centrum, Larsmo, Karleby, Kelviå, Lochteå,i de södra delarna av Kronoby och i de östra delarna av Nykarleby. I en del av dessa områden fanns industri- och avfallshanteringsanläggningar eller avloppsreningsverk. Faktorn beskriver alltså å ena sida skogsbeståndets näringshalt och naturliga faktorer, å andra sidan konsekvenserna av människans verksamhet.

Tabell 37. Roterad komponentmatris för faktoranalysen av barrens grundämneshalter. Den faktor med vilken varje grundämne har fått sin högsta laddning är markerad med fet stil.

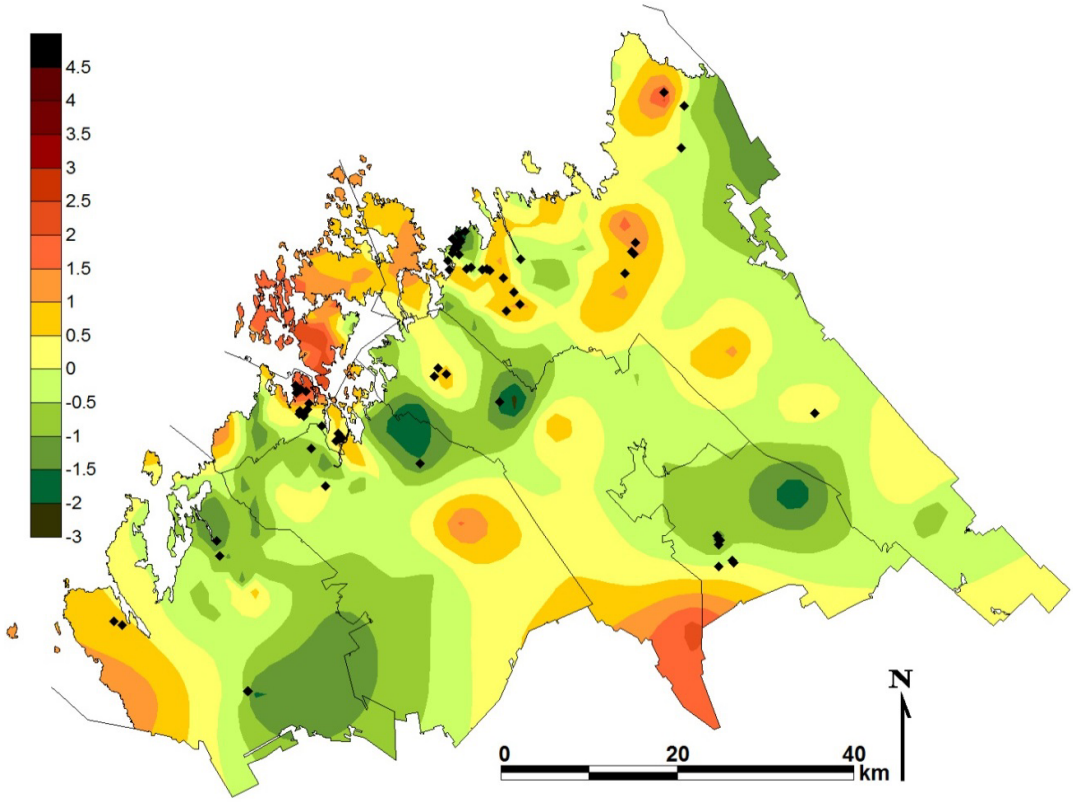
	1	2	3
N	0,111	**0,825**	-0,093
B	0,016	0,307	**0,602**
Cd	**0,879**	-0,036	-0,048
K	0,07	**0,712**	0,16
Ca	0,381	0,025	**0,739**
P	0,08	**0,811**	0,32
Cr	**0,51**	0,065	0,205
Cu	**0,689**	0,165	-0,043
Mg	-0,235	0,068	**0,761**
Mn	0,096	-0,56	**0,481**
Ni	**0,87**	0,194	-0,087
Fe	**0,915**	0,151	-0,01
S	0,466	**0,754**	0,24
Zn	**0,931**	-0,012	0,143
Andel av variationen	32 %	21 %	14 %



Figur 99. Interpolerade faktorpoäng för faktor 1 i faktoranalysen av barrens grundämneshalter. I figuren har industri- och energiproduktionsanläggningar markerats.



Figur 100.Interpolerade faktorpoäng för faktor 2 i faktoranalysen av barrens grundämneshalter. I figuren har utsläppskällor för svavel (svart) och kväve (rött) markerats.



Figur 101. Interpolerade faktorpoäng för faktor 3 i faktoranalysen av barrens grundämneshalter. I figuren har industri- och energiproduktionsanläggningar samt s.k. miljötjänster, såsom avfallshanteringsanläggningar, avstjälpningsplatser och jordavstjälpningsplatser markerats.

5.2.2 Faktoranalys av mossans grundämneshalter

Variationen i mossans grundämneshalter sammanfattades med hjälp av en faktoranalys. I analysen ingick 20 grundämnen som uppmättes i väggmossor. Statistiskt signifikanta korrelationer observerades mellan nästan alla grundämneshalter som uppmättes i mossan. Mossans grundämneshalter sammanslogs med hjälp av faktoranalysen till tre faktorer, som förklarade sammanlagt 72 procent av variablernas variation. En roterad komponentmatris som utarbetats utifrån faktoranalysen av mossans grundämneshalter presenteras i tabell 38. I tabellen har markerats med fet stil laddningen för den faktor för vilken varje grundämne får sin högsta faktorladdning. I allmänhet betraktas värden över 0,5 som signifikanta faktorladdningar. I figurerna 102–104 presenteras zonkartor, som har utarbetats för varje provyta utifrån de beräknade faktorpoängen.

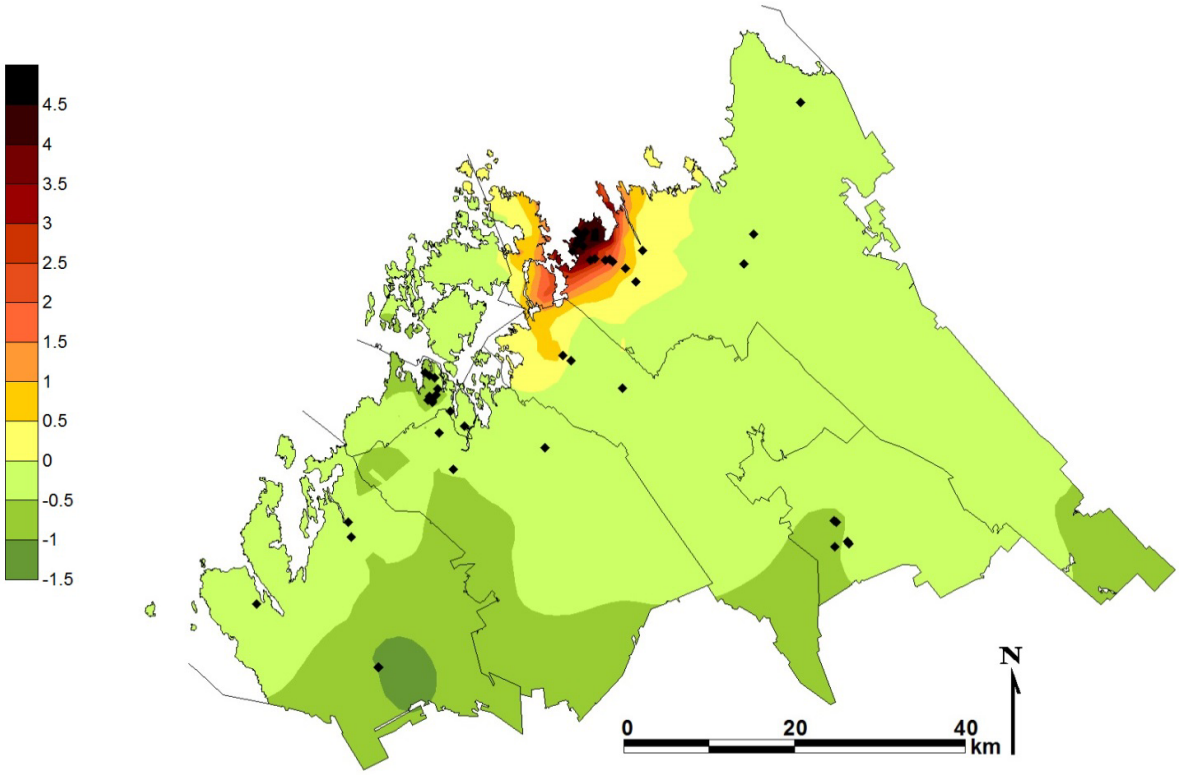
Den första faktorns andel av variablernas variation var 35 procent. Med denna faktor fick arsenik, kvicksilver, kadmium, kobolt, koppar, bly, nickel, järn och zink de högsta laddningarna. Järnets laddning var svagast (0,64); ett värde över 0,9 fick arsenik (0,90), kadmium (0,96), kobolt (0,95), bly (0,95) och zink (0,93). Faktorn beskrev metallutsläppen från industriverksamheten i Yxpila i Karleby.

Den andra faktorns andel av variablernas variation var 23 procent. Med denna faktor fick bor, kalium, kalcium, fosfor, magnesium, mangan, natrium och svavel de högsta laddningarna. De högsta laddningarna fick fosfor och magnesium (0,90). Natrium och mangan fick svaga laddningar (0,28 och 0,41), men av de analyserade faktorerna fick de ändå bland de högsta värdena för denna faktor. Halterna av bor, kalium, kalcium, fosfor, magnesium och svavel uppvisade en statistiskt signifikant variation enligt skogstyp så att högre halter observerades i frodiga skogstyper än i karga skogstyper. I närheten av vissa industrier (t.ex. kring de stora industrianläggningarna i Jakobstad och i Kronoby) var poängen för faktorn högre än i övriga områden, så det är möjligt att faktorn också i viss mån beskriver t.ex. inverkan av svavelutsläpp, men inverkan är inte entydig.

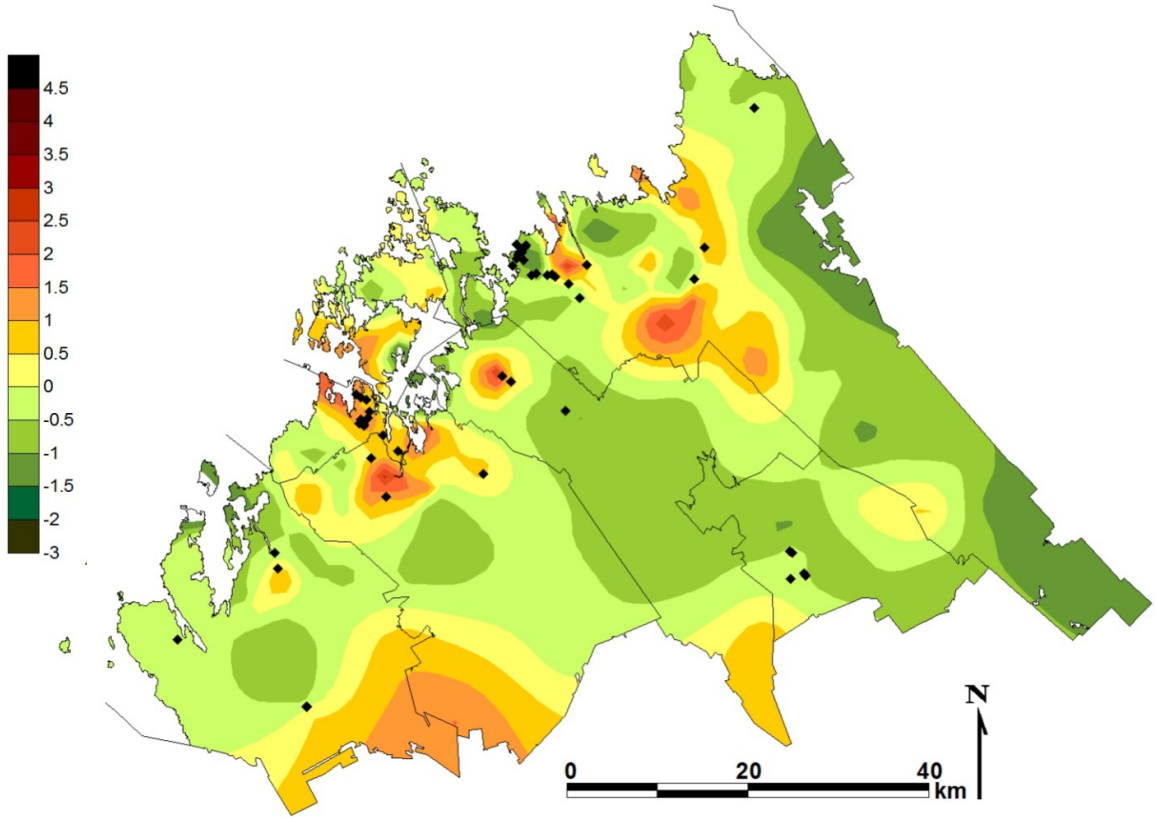
Den tredje faktorn beskrev 12 procent av variablernas variation. Med denna faktor fick vanadin (0,73) den högsta laddningen. Aluminium fick värdet 0,659 och krom 0,62 med denna faktor. Även järnets laddning var signifikant (0,54), även om järnet fick en högre laddning med den första faktorn. Den högsta laddningen med denna faktor uppmättes i området kring Mirkas fabrik och Fortums energiproduktionsanläggning i Nykarleby. I övriga områden där höga laddningar uppmättes med denna faktor var Kelviås centrum, området söder om Karleby, där det finns mycket småindustri, och Lochteå. Faktorn kan anses beskriva utsläpp från (små)industrin.

Tabell 38. Roterad komponentmatris för faktoranalysen av mossans grundämneshalter. Den faktor med vilken varje grundämne har fått sin högsta laddning är markerad med fet stil.

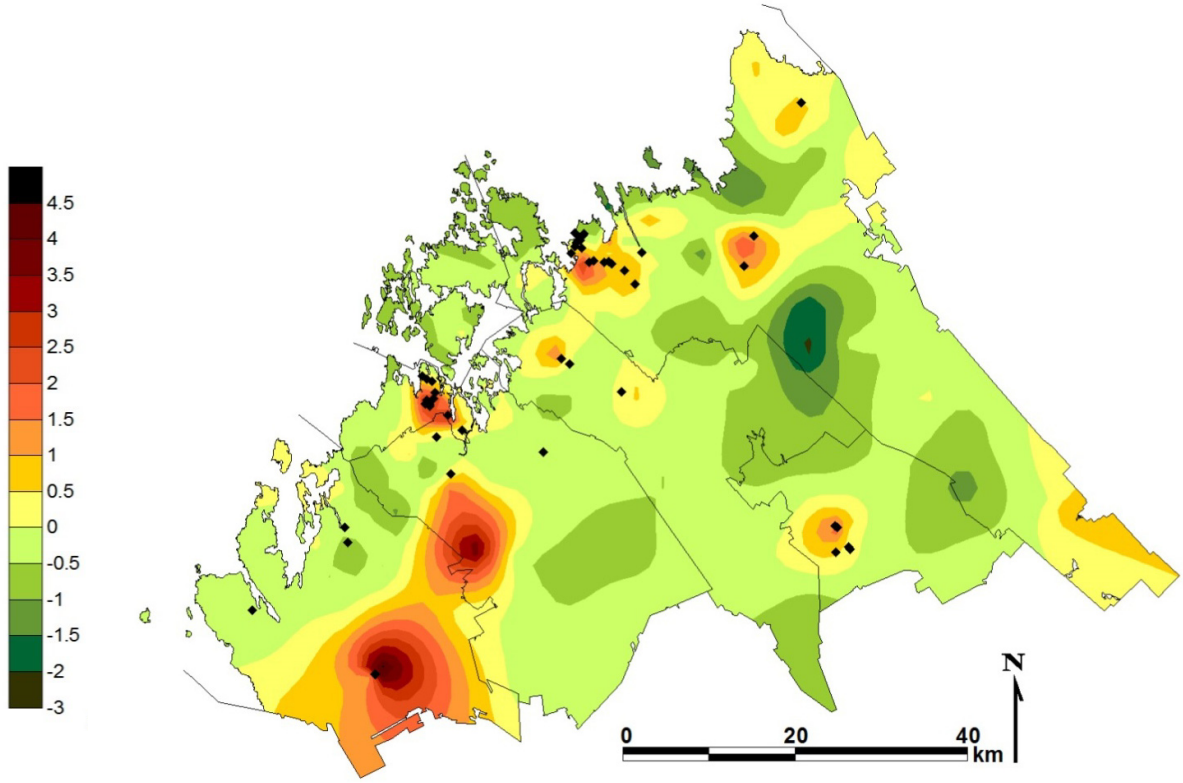
	1	2	3
Al	0,438	0,338	**0,659**
As	**0,898**	0,103	0,148
B	0,266	**0,71**	0,269
Hg	**0,836**	0,259	0,22
Cd	**0,956**	0,063	0,144
K	0,188	**0,847**	-0,002
Ca	0,261	**0,791**	0,167
Co	**0,95**	0,052	0,077
P	0,139	**0,897**	0,097
Cr	0,212	0,148	**0,627**
Cu	**0,705**	0,161	0,092
Pb	**0,944**	0,086	0,119
Mg	0,111	**0,89**	0,171
Mn	-0,182	**0,303**	-0,474
Na	-0,09	**0,408**	-0,064
Ni	**0,84**	0,134	0,331
Fe	**0,638**	0,347	0,539
S	0,359	**0,689**	0,402
Zn	**0,928**	0,136	0,16
V	-0,008	0,167	**0,728**
Andel av variationen	35 %	23 %	12 %



Figur 102. Interpolerade faktorpoäng för faktor 1 i faktoranalysen av mossans grundämneshalter. I figuren har industri- och energiproduktionen markerats.



Figur 103. Interpolerade faktorpoäng för faktor 2 i faktoranalysen av mossans grundämneshalter. I figuren har industri- och energiproduktionen markerats.



Figur 104. Interpolerade faktorpoäng för faktor 3 i faktoranalysen av mossans grundämneshalter. I figuren har industri- och energiproduktionen markerats.

5.3 Korrelationer i humusens grundämneshalter

I tabell 39 presenteras inbördes korrelationer mellan grundämneshalter och kemiska egenskaper som uppmätts i humus. Statistiskt signifikanta, mycket starka korrelationer mellan metallhalterna observerades. Man har observerat att tungmetallbelastningen minskar näringshalten i humusskiktet (se kap. 3.4.3) och även i denna analys observerades statistiskt signifikanta negativa korrelationer mellan tungmetallhalterna och näringshalterna. Mellan magnesium och arsenik, kvicksilver, kobolt, koppar, nickel och järn fanns en negativ korrelation, liksom även mellan kalciumhalten och halterna av arsenik, kvicksilver, nickel och järn, mellan kalium och kvicksilver, nickel och järn samt mellan zink, bor och mangan.

Tabell 39. Inbördes korrelationer mellan variabler som uppmätts i humus. Statistiskt signifikanta korrelationer är markerade med fet stil. us = utbytbara sura substanser, el = elektrisk ledningsförmåga

	el	pH	Al	As	B	Hg	Cd	K	Ca	Co	P
pH	-0,221	1									
Al	-0,079	0,007									
As	0,297	0,021	0,134	1							
B	0,137	0,32	-0,283	.c	1						
Hg	0,152	0,24	0,085	**,903*** **	.c	1					
Cd	-0,053	-0,033	0,121	**,921*** **	0,172	**,989*** **	1				
K	0,244	-0,311	-0,102	-0,362	-0,077	**-,521***	**-,420****	1			
Ca	0,037	0,137	**-,408****	**-,592***	**,516****	**-,596***	**-,408****	0,3	1		
Co	0,356	-0,022	0,111	**,964*** **	.c	**,858*** **	**,904*** **	-0,258	**-,550***	1	
P	-0,236	0,079	0,324	.c	-0,137	.c	0,257	0,037	-0,394	.c	1
Cr	-0,081	**,421***	**,419***	.c	0,162	.c	**,404***	-0,288	0,175	.c	0,004
Cu	-0,036	-0,065	0,129	**,970*** **	0,174	**,952*** **	**,981*** **	**-,403***	**-,396***	**,960*** **	0,221
Pb	-0,19	-0,182	0,056	.c	-0,05	.c	**,468***	0,003	0,249	.c	0,069
Mg	-0,069	-0,278	-0,289	**-,677****	0,113	**-,693****	**-,537*** **	**,550*** **	**,446****	**-,619***	-0,106
Mn	0,092	**,527****	-0,283	.c	**,557****	.c	-0,087	0,106	,410*	.c	-0,034
Na	0,12	0,267	-0,191	-0,268	.c	-0,103	-0,152	0,268	0,153	-0,322	.c
Ni	0,006	-0,097	0,123	**,961*** **	0,278	**,853*** **	**,936*** **	**-,335***	**-,373***	**,999*** **	-0,044
Fe	-0,027	0,027	**,513****	**,935*** **	-0,137	**,936*** **	**,880*** **	**-,387***	**-,483****	**,948*** **	0,288
S	-0,775	-0,98	0,64	.c	-0,975	.c	0,856	0,956	0,056	.c	-0,676
Zn	0,053	-0,021	0,011	**,865****	**,508****	**,916*** **	**,960*** **	-0,126	-0,058	**,964*** **	0,193
V	0,172	-0,073	0,187	**,959*** **	.c	**,901*** **	**,931*** **	-0,406	**-,588***	**,951*** **	.c
us	-0,008	**-,507****	**,701*** **	0,318	**-,533****	0,115	0,188	0,102	**-,567*** **	0,38	0,295

Tabell 39. Fortsättning

	Cr	Cu	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
Cu	**,557****	1									
Pb	**,554****	**,482***	1								
Mg	-0,102	**-,541****	0,174	1							
Mn	0,027	0,021	-0,181	0,023	1						
Na	.c	-0,278	.c	0,289	.c	1					
Ni	**,714*** **	**,971*** **	**,706*** **	**-,502****	0,062	-0,332	1				
Fe	**,553****	**,884*** **	0,045	**-,595****	-0,157	-0,333	**,868*** **	1			
S	-0,98	0,978	0,863	0,948	-0,946	.c	0,987	-0,957	1		
Zn	0,252	**,964*** **	0,179	-0,1	**,561****	-0,319	,952***	**,489****	-0,834	1	
V	.c	**,984*** **	.c	**-,604***	.c	-0,366	,955***	**,944*** **	.c	**,787****	1
us	0,053	0,226	0,017	0,002	**-,609****	-0,227	0,244	**,453****	**,998***	-0,048	0,436

5.4 Sammandrag

En statistisk granskning av resultaten visar att framför allt lavvariablerna synnerligen väl beskriver luftkvalitetens lokala variation. Inverkan av spridda dammutsläpp och VOC-utsläpp på lavarna verkade vara ringa med de halter som förekom på uppföljningsområdet. Tydligast påverkas lavarna av utsläppen av svavel, kväve och partiklar från stora energiproduktionsanläggningar. Även stora industrianläggningar påverkar lavarna, medan mindre industrianläggningar inte har någon klar inverkan. Kväveutsläppen från djurstallar verkar inte ha någon tydlig inverkan på lavvariablerna. Kväveutsläppen från pälsfarmar å sin sida inverkade helt tydligt på lavvariablerna.

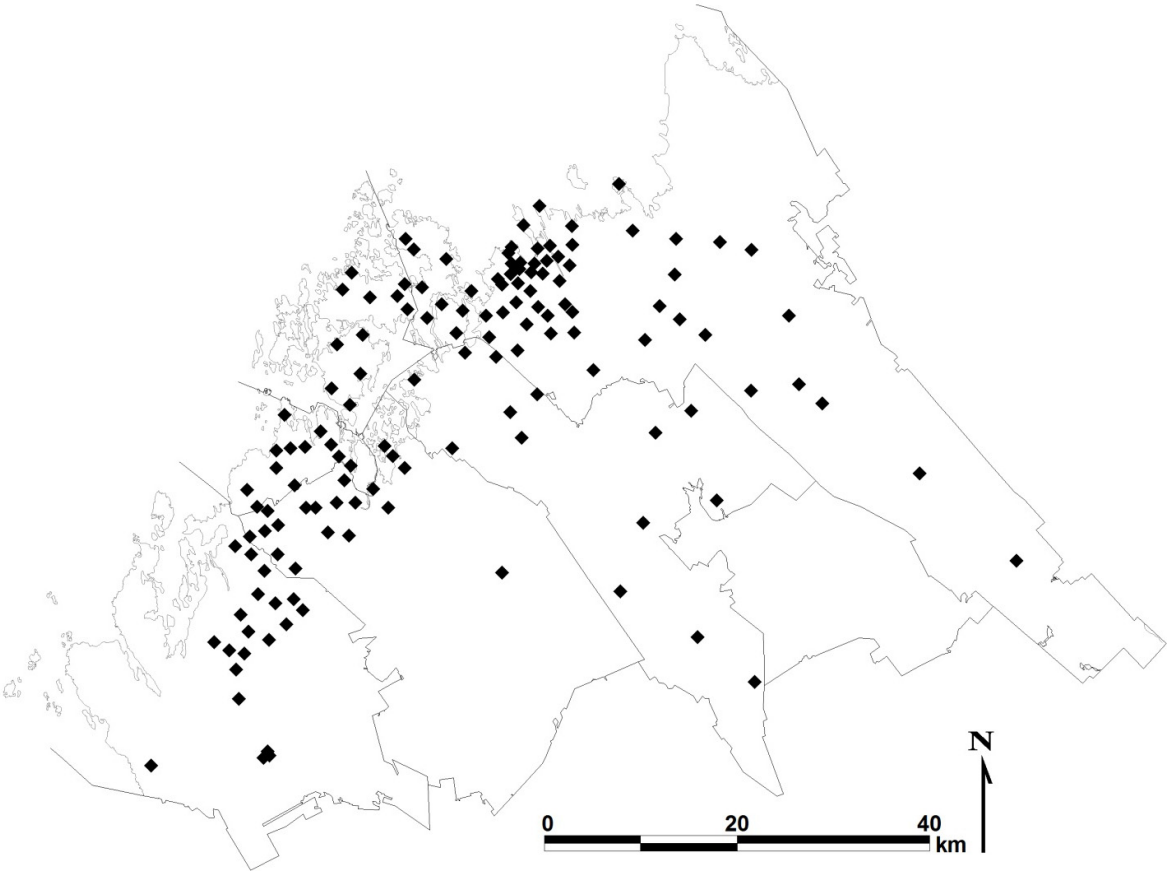
I grundämneshalterna för barr och mossa syntes inverkan av industrin i Yxpila i Karleby tydligast i tungmetallhalterna, som uppvisade en tydlig inbördes korrelation och utgjorde en gemensam faktor i faktoranalysen i båda matriserna. Både för barr och mossor syntes svavelhalterna tydligast i den faktor som bör tolkas som en indikator för näringshalten. 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. Det är möjligt, att på de områden, på vilka det finns inga utsläppskällor men metallhalterna är förhöjda, påverkar förekomsten av alunjordar halterna.

Tungmetallhalterna som uppmättes i humus korrelerade kraftigt sinsemellan. Det är möjligt att tungmetallbelastningen har påverkat näringshalterna i humusskiktet genom att minska dem.

6. Jämförelse

6.1 Jämförelse mellan olika år

I det här kapitlet jämförs resultaten från 2012 med resultaten av bioindikatoruppföljningar från tidigare år. En uppföljning har gjorts med motsvarande metoder tidigare både i Karleby och Jakobstad åren 2006–2007. Tidigare jämförbara resultat finns från Jakobstadsregionen från 2002 och från Karlebyregionen från 2002, 1997 och 1992. För att få en enhetlig jämförelse av regionen jämförs medelvärden från 2000/2002 – 2007 – 2012. I granskningen av kartor ingår för Karlebys del också 1997 och 1992. År 2002 grundades många nya provytor i området, för vilka det inte finns några jämförbara resultat. 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, medan kartframställningarna å sin sida har utarbetats med stöd av observationer från alla provytor som granskats under uppföljningsåret i fråga. I figur 105 visas de provytor som har förblivit oförändrade 2000/2002 – 2007 – 2012.



Figur 105. Provytor som ingår i jämförelsen mellan åren 2000/2002 – 2007 – 2012.

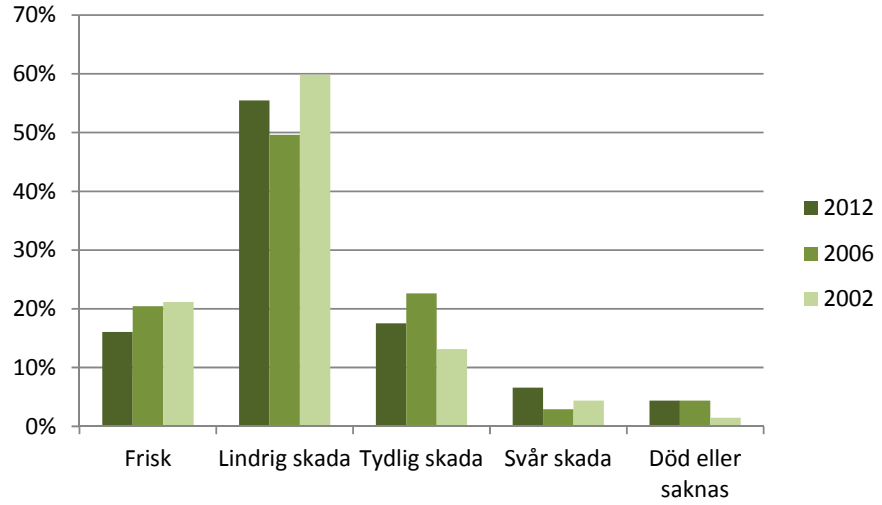
6.1.1 Tallarnas stamlavar

I figurerna 106–108 presenteras fördelningen av provytorna på olika klasser 2012, 2006 och 2002/2000 enligt blåslavens skadeklass, den allmänna skadeklassen (inte 2002/2000) och IAP-indexet. I figur 109 presenteras de undersökta lavarternas förekomstfrekvenser i uppföljningsområdet åren 2000 och 2006. Medelvärden, minimum och maximum värden för de variabler som beskriver tallens stamlavar åren 2012, 2006 och 2002/2000 för hela området och olika kommuner finns i tabell 40. I figurerna 110–115

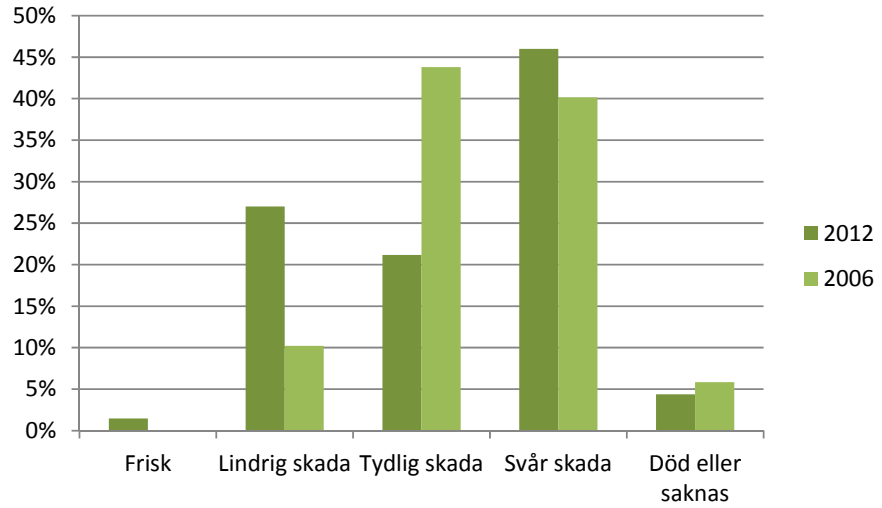
presenteras blåslavens skadeklass, den allmänna skadeklassen, IAP-indexet och artantalets zoner för åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006 och 2012.

År 2012 hade klassen för frisk blåslav i blåslavens skadeklass minskat jämfört med tidigare år och klassen för lindrig skada ökat jämfört med 2006, men var ändå mindre än 2002. Klassen för tydlig skada hade minskat något jämfört med 2006, men var större än 2002. Svåra skador observerades i större utsträckning än under tidigare uppföljningsår. Provytor där blåslaven var död eller saknades fanns i samma utsträckning som 2006, och mer än 2002. (Figur 106.)

Med tanke på den allmänna skadeklassen observerades 2012, i 1 procent av jämförelseområdena, frisk lavflora, medan lavfloran 2006 inte var helt frisk i något av jämförelseområdena. Klassen för lindrig skada hade ökat och klassen för tydlig skada minskat betydligt jämfört med föregående uppföljningsår. Klassen för svår skada hade däremot ökat något. I klassen för död eller saknad art förekom något färre observationer än 2006. (Figur 107.)



Figur 106. Provytor som har förblivit oförändrade klassificerade enligt blåslavens skadeklass åren 2012, 2006 och 2002. N = 137.

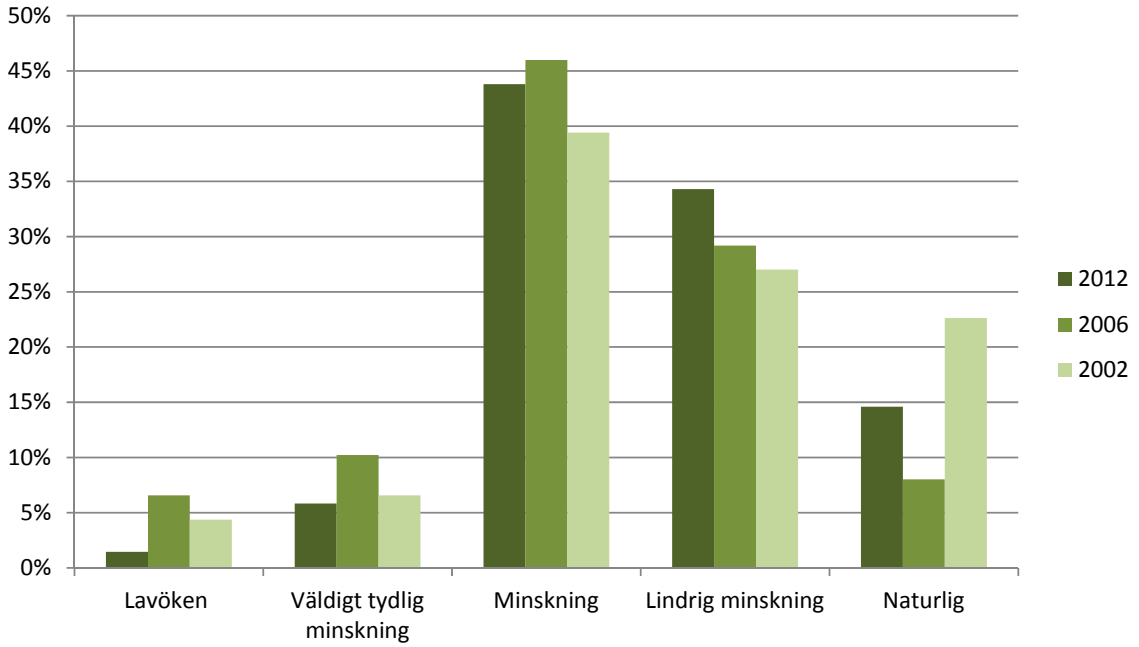


Figur 107. Provytor som har förblivit oförändrade klassificerade enligt den allmänna skadeklassen åren 2012 och 2006. N = 137.

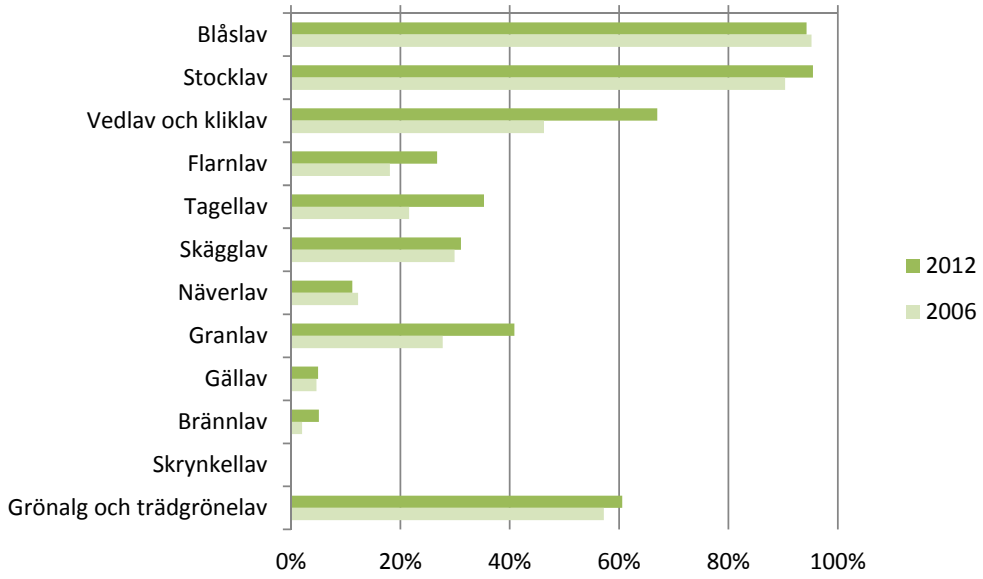
I fördelningen av provytor som klassificerats med stöd av IAP-indexet hade klassen lavöken minskat betydligt jämfört med tidigare uppföljningar, liksom även klassen för tydligt utarmad lavflora, vilken var

lika stor som i uppföljningen från 2002. Klassen för utarmad lavflora var något mindre än 2006, men större än 2002. Klassen för lindrigt utarmad lavflora hade ökat jämfört med båda uppföljningsåren. Klassen för naturlig lavflora var större än 2006, men mindre än 2002. (Figur 108.)

Jämfört med 2006 hade förekomstfrekvensen av stocklav, ved- och klilav, flarnlav, tagellavar och granlav ökat betydligt. Även skägglavar, brämlav och alg förekom i något större utsträckning än 2006. Blåslavens och näverlavens förekomstfrekvens var något mindre än 2006. Skrynkellav observerades inte alls i jämförelseområdena. (Figur 109.)



Figur 108. Provytor som har förblivit oförändrade klassificerade enligt IAP-indexet åren 2012, 2006 och 2002. N = 137.



Figur 109. Lavarternas förekomstfrekvens på provytor som har förblivit oförändrade åren 2012 och 2006. N = 137.

Vid granskning per kommun hade alla variabler som beskriver lavfloran förbättrats i Karleby jämfört med föregående uppföljningsår, men hade ändå inte ökat till samma nivå som 2002. Lavindikatorerna (IAP-indexet och artantalet) hade förbättrats i alla kommuner jämfört med 2006. Lavindikatorerna hade dessutom nått en högre nivå än 2002 med tanke på IAP-indexet i Pedersöre och Jakobstad, samt med tanke på artantalet i Pedersöre. Med undantag av Karleby hade blåslavens skador inte förbättrats i någon av uppföljningskommunerna jämfört med föregående uppföljningsår. Skadorna på blåslaven hade i genomsnitt ökat i jämförelse med de tidigare uppföljningsåren i Pedersöre och Nykarleby. De allmänna skadorna på lavfloran hade ökat i jämförelse med de tidigare uppföljningsåren i Larsmo och Jakobstad. Blåslavens täckning hade ökat i Karleby, Larsmo och Pedersöre. I Kronoby, Jakobstad och Nykarleby låg blåslavens täckning i genomsnitt på samma nivå som 2006, även om den redan tidigare mycket låga täckningsgraden i Nykarleby hade minskat ytterligare. Tagellavarnas täckning å sin sida hade ökat i Karleby, Kronoby och Larsmo. I Pedersöre, Jakobstad och Nykarleby observerades så små mängder tagellavar, att deras täckning var noll. (Tabell 40).

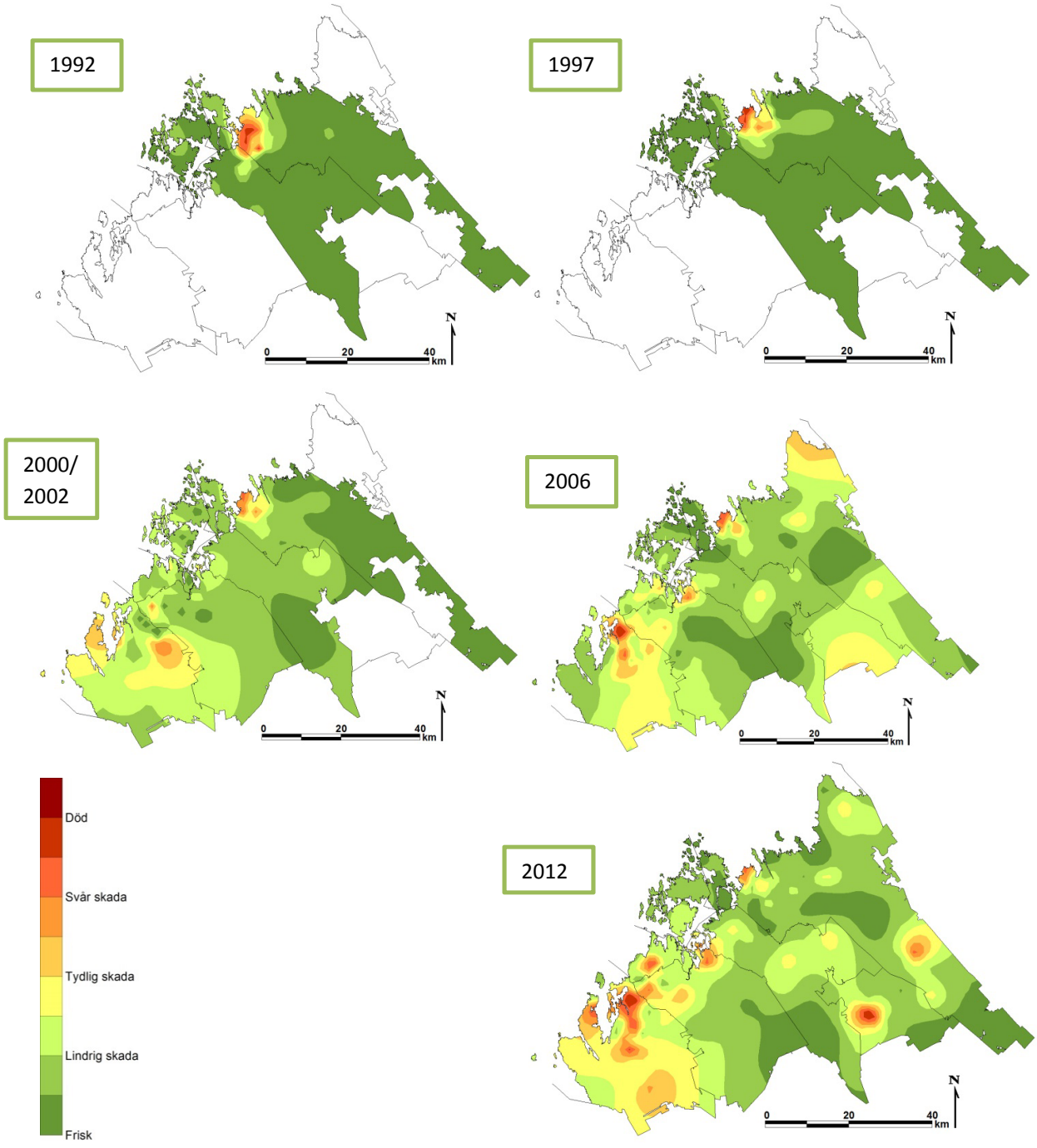
Lavvariablernas regionala fördelning presenteras på zonkartor i figurerna 110–113. Med tanke på zonerna med skador på blåslaven är det beaktansvärt att zonen med skador verkar ha stärkts i regionen Nykarleby–Jakobstad–Pedersöre. I Karleby centrum och i Yxpila industriområde har skadorna på blåslaven i stället minskat under uppföljningsperioden. De friskaste zonerna med blåslav finns fortfarande i de södra delarna av Kronoby–Pedersöre och i bakgrundsområdena i Karleby. Förändringen av zonerna, särskilt i bakgrundsområden såsom Kaustbyregionen, torde i första hand bero på att ytterligare provytor har grundats i dessa områden. (Figur 110.)

På basis av zonerna för den allmänna skadeklassen verkar det som om det i uppföljningsområdet håller 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 finns i södra delen av uppföljningsområdet i Kaustbyregionen, men mellan dessa zoner finns områden med friskare lavflora. (Figur 111.)

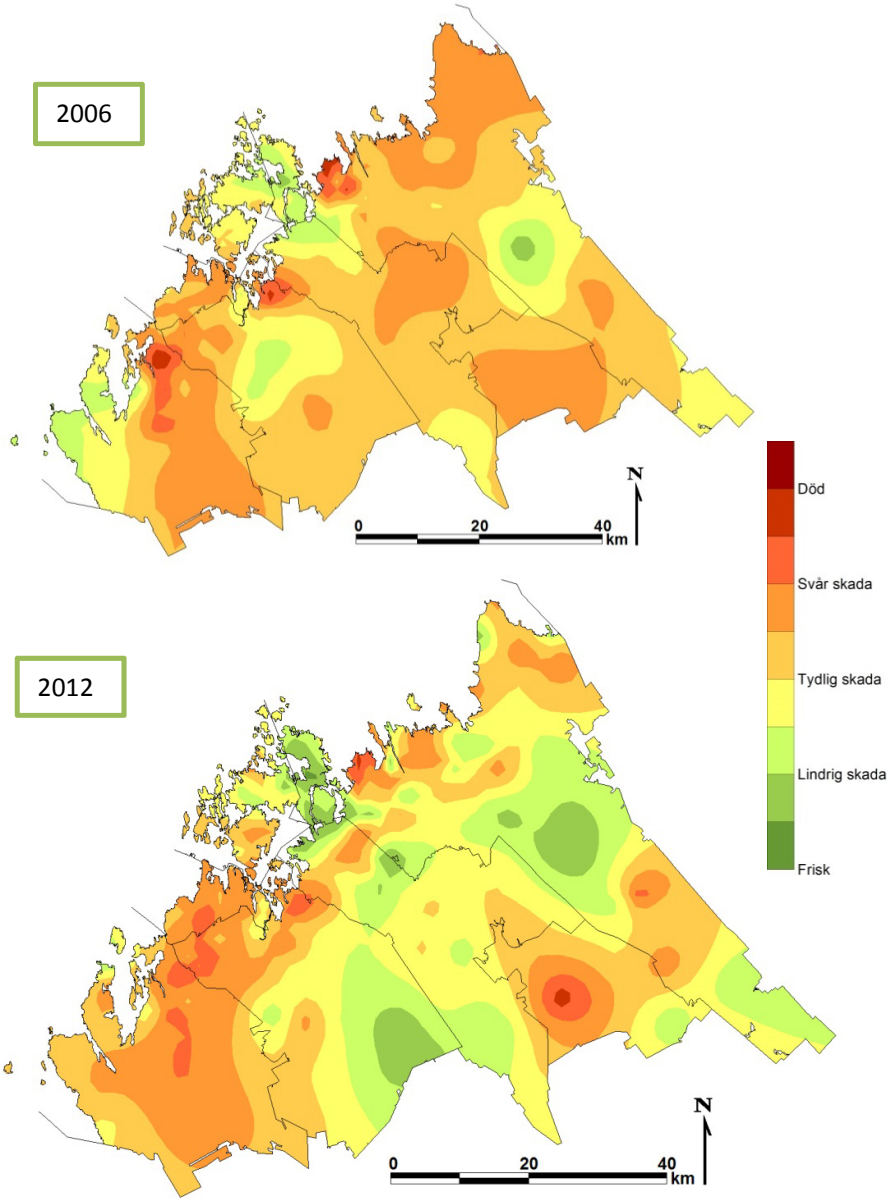
IAP-indexet och artantalet visar på en liknande utveckling som den allmänna skadeklassen: zonen med utarmad lavflora har blivit tydligare och stärkts nära regionen och i Kaustby, men mellan dessa zoner är lavfloran mer naturlig. Även de tydligt utarmade områdena i Nykarleby har minskat märkbart. (Figur 112 och 113.)

Tabell 40. Riktvärden för tallens stamlavar åren 2012, 2006 och 2002 (2000).

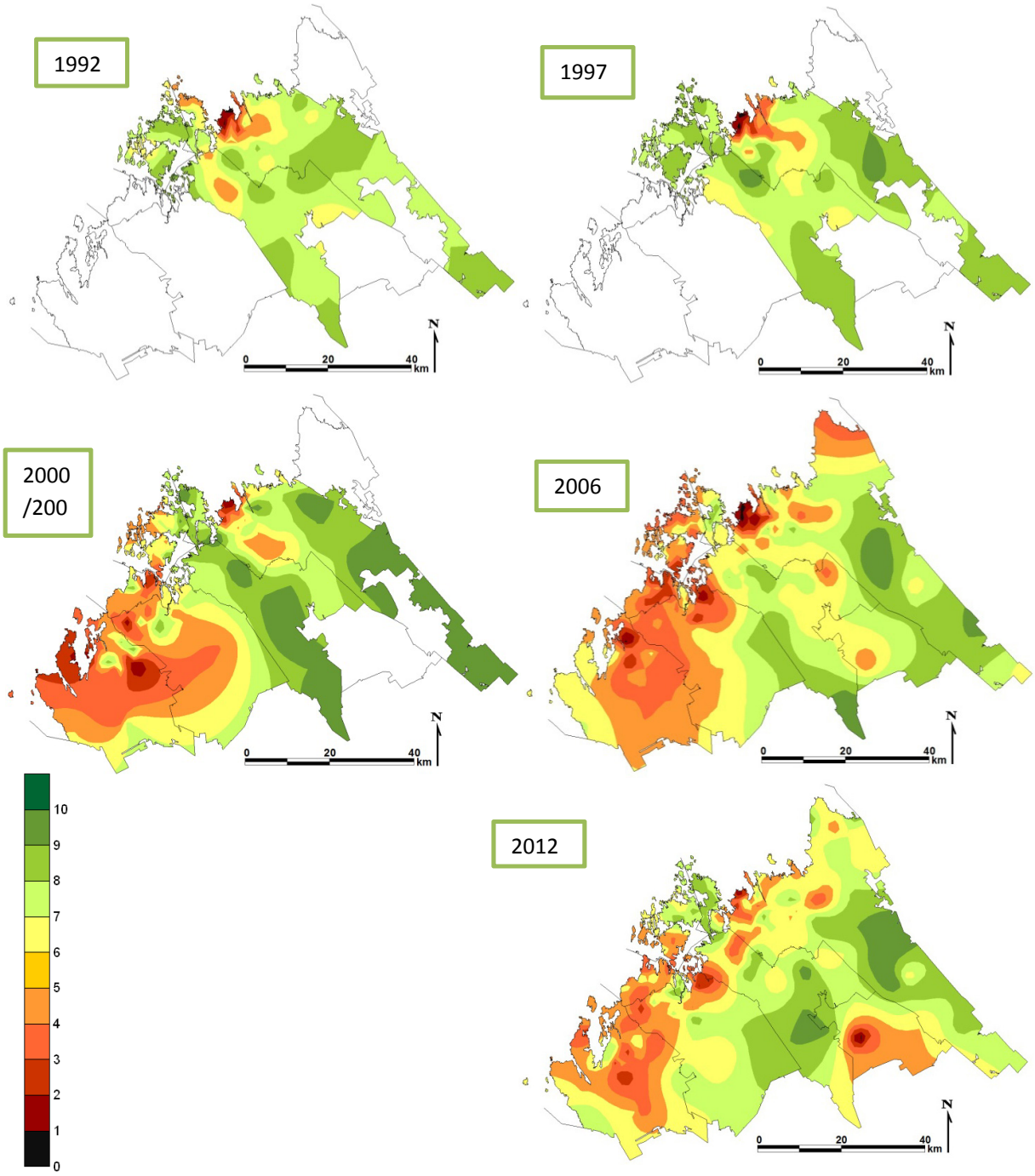
	Kommun	Hela området			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
	År	2012	2006	2002/2000	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2000	2012	2006	2000	2012	2006	2000
	N	137	137	137	61	61	61	14	14	14	11	11	11	19	19	19	12	12	12	20	20	20
Blåslavens skadeklass	Medelvärde	2,2	2,2	2,0	1,9	2,1	2,1	1,8	1,6	1,8	1,8	1,6	1,7	2,6	2,5	2,1	2,4	2,4	2,1	3,2	3,1	2,2
	Minimum	1	1	1	1,1	1	1	1	1,1	1,2	1,5	1,3	1,1	1,4	1,3	1	1,1	1,6	1,8	2	1,9	1
	Maximum	5	5	5	5	5	5	3	2,3	2,5	2,2	2	2	4,9	5	4	4,1	3,4	3	5	5	4
Allmän skadeklass	Medelvärde	3,2	3,4	2,8	2,8	3,3		2,6	3,0		2,9	2,7	2,6	3,6	3,6	2,8	3,8	3,4	3,0	3,9	3,9	2,7
	Minimum	1,2	1,6	1	1,2	1,6		1,3	2		1,6	2,3	2	2,3	2,8	1	3,4	2,6	3	2,9	2,6	1
	Maximum	5	5	4	5	5		4	4		4	3,7	3	4,9	5	4	4	4	3	4,7	5	4
IAP	Medelvärde	2,1	1,7	2,1	2,2	1,9	2,3	2,6	2,4	3,2	2,3	1,7	2,6	1,9	1,4	1,5	1,8	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7
	Minimum	0	0	0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5	1,9	1,3	0,6	1,2	0,1	0,0	0,1	1,1	0,6	0,6	0,5	0,1	0,1
	Maximum	4,3	4,4	4,4	4,3	4,4	4,2	3,5	3,9	4,4	3,3	2,8	3,9	2,7	2,6	2,9	2,8	2,1	2,9	2,8	2,4	3,4
Artantal	Medelvärde	5,2	4,5	5,5	5,5	4,8	5,7	6,5	6,0	7,4	5,7	4,5	6,2	4,8	3,6	4,4	4,6	3,6	4,8	3,9	3,7	4,4
	Minimum	0	0	0	0	0	0	3	3	6	3	2	3	1	0	1	3	2	2	2	1	1
	Maximum	9	9	9	9	9	9	9	8	9	8	7	9	9	7	9	7	6	8	7	6	9
Blåslavens täckning	Medelvärde	11,3	9,0		16,2	11,8		8,7	9,0		15,8	10,8		6,5	5,3		9,6	10,3		1,3	2,6	
	Minimum	0	0		0	0		0,9	0,2		2,4	2,3		0	0		0	0,3		0	0	
	Maximum	58	41		58,4	41,1		21,3	19,8		32,8	23,3		26,6	19,3		19,7	21,8		3,5	9,3	
Tagellavarnas täckning	Medelvärde	0,10	0,04		0,175	0,074		0,114	0,021		0,118	0,018		0	0		0	0		0	0	
	Minimum	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	Maximum	3,9	1		3,9	1		1	0,1		1,1	0,2		0	0		0	0		0	0	



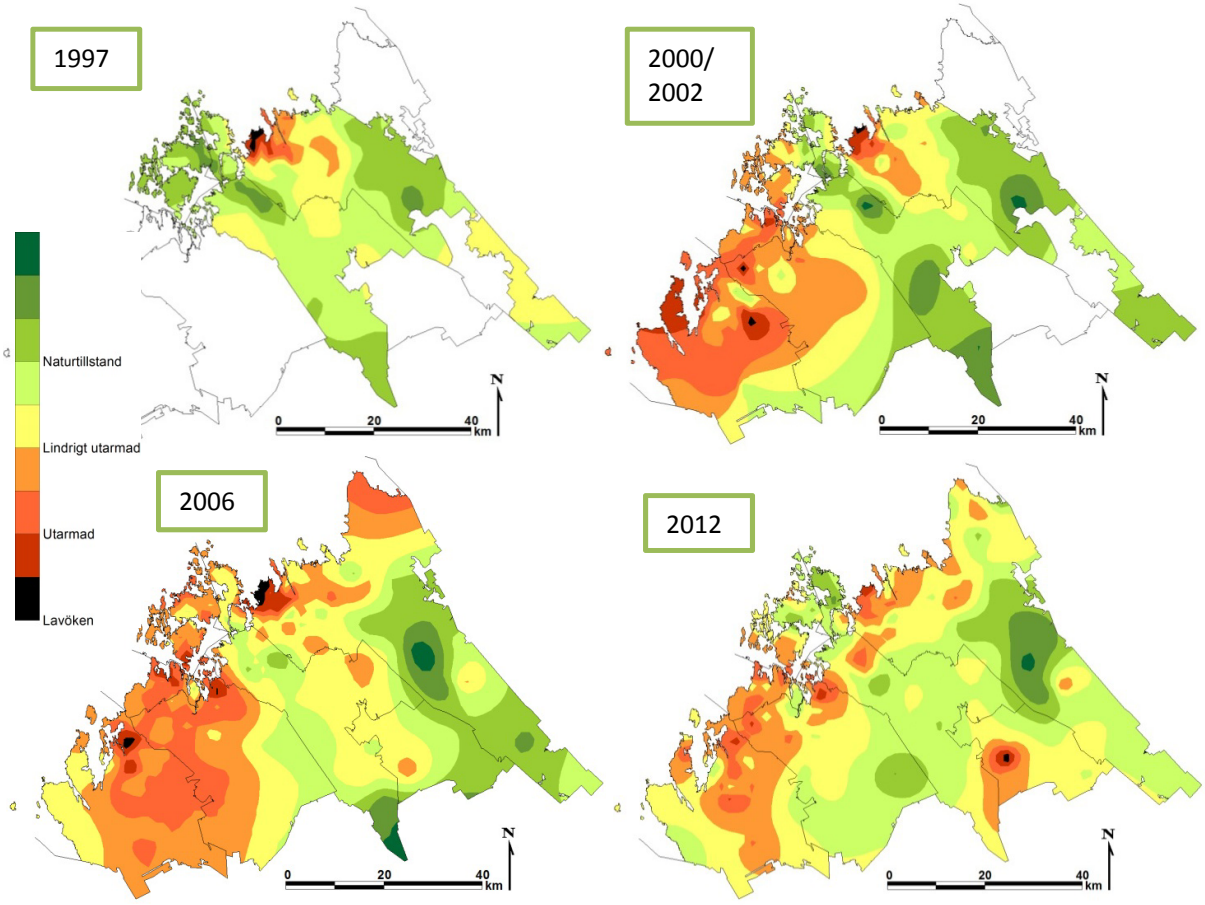
Figur 110. Blåslavens skadeklasser i uppföljningsområdet åren 1992 (Karlebyregionen), 1997 (Karlebyregionen), 2000 (Jakobstad) och 2002 (Karleby), 2006 och 2012.



Figur 111. Den allmänna skadeklassen i uppföljningsområdet åren 2006 och 2012.



Figur 112.Antal lavar som tar skada av luftföroreningar i uppföljningsområdet åren 1992 (Karlebyregionen), 1997 (Karlebyregionen), 2000 (Jakobstad) och 2002 (Karleby), 2006 och 2012.



Figur 113. IAP-indexets zoner i uppföljningsområdet åren 1997 (Karlebyregionen), 2000 (Jakobstad) och 2002 (Karleby), 2006 och 2012.

6.1.2 Barrens grundämneshalter

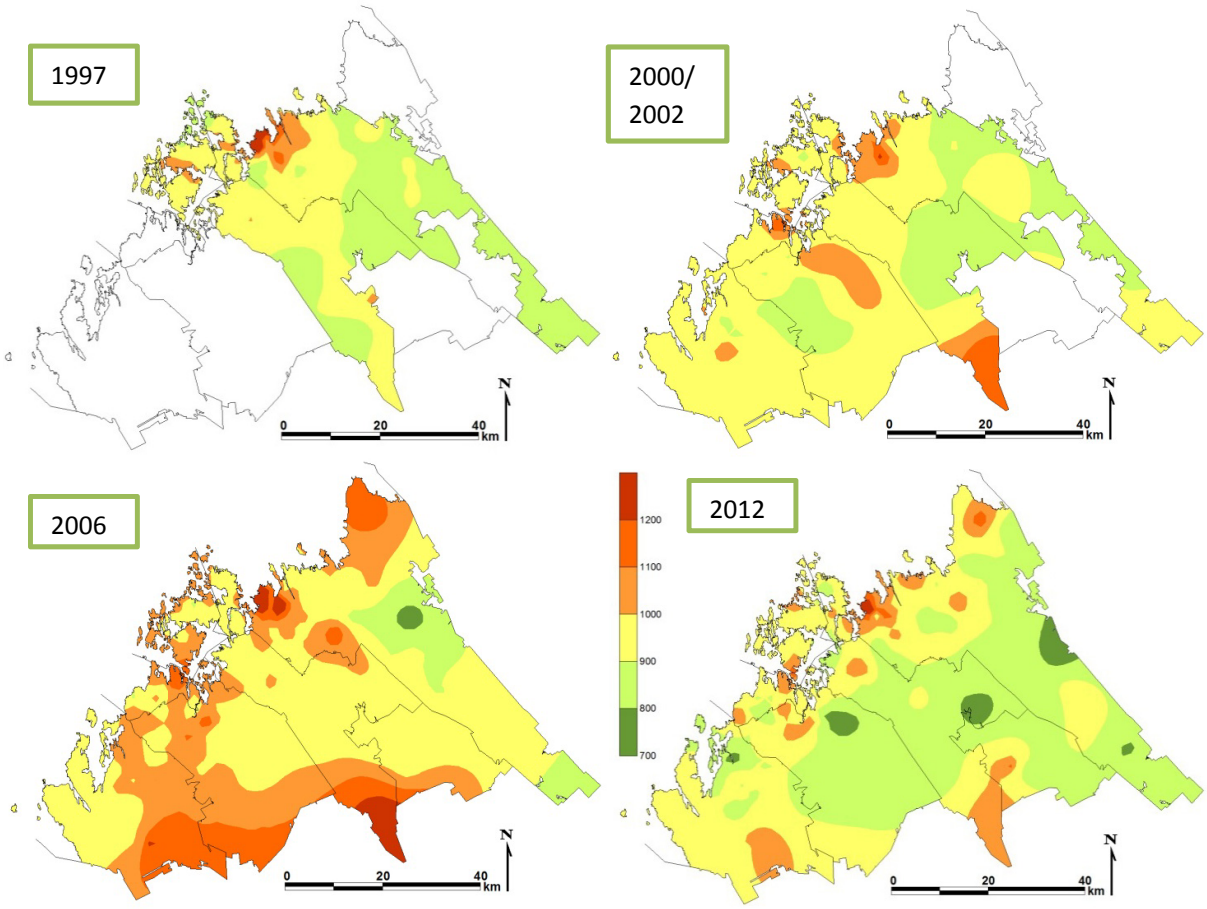
I tabell 41 presenteras medelvärden samt minimum- och maximumvärden för barrens grundämneshalter för hela området och enligt kommun för åren 2012, 2006 och 2002/2000. I jämförelsen ingår de provytor som har förblivit oförändrade och som har analyserats under uppföljningsåren i fråga.

Granskningen av hela området visade att medelvärdena för halterna av kadmium, kobolt, krom, koppar, järn, kalium och nickel hade ökat jämfört med 2006. Halterna av arsenik, bor, kvicksilver och vanadin hade i genomsnitt stannat på samma nivå. Halterna av kalcium, magnesium, mangan, kväve, fosfor, svavel och zink hade i genomsnitt minskat något jämfört med 2006. Med undantag av kalium var de ökade halterna metaller, som huvudsakligen kommer ut i luften från Yxpila industrier i Karleby. Halterna av grundnäringsämnen hade däremot minskat. I Karleby hade metallhalterna ökat mellan 2006 och 2012, med undantag av kvicksilver, vanadin och zink. I Kronoby hade halterna av bor, koppar, järn, nickel och kobolt i genomsnitt ökat. I Larsmo hade halterna av krom, koppar, kalium, magnesium, nickel och kobolt ökat och i Pedersöre hade halterna av arsenik, krom, koppar, järn, magnesium, nickel, kobolt och kvicksilver ökat. I Jakobstad förekom ökade halter av arsenik, bor, krom, koppar, järn, kalium, nickel, kobolt och kvicksilver, och i Nykarleby ökade halter av arsenik, koppar, järn, kalium, nickel, kobolt och vanadin.

De ökade svavelhalterna hade under de olika uppföljningsåren koncentrerats kring Karleby centrum och mindre områden nära kusten, samt i de södra delarna av uppföljningsområdet. Svavelhalterna var genomgående lägre vid uppföljningen 2012 jämfört med 2006. (Figur 114.)

Tabell 41. Barrens grundämneshalter per kommun åren 2012, 2006 och 2002/2000.

	Kommun	Hela området			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
	År	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
	N				61	61	61	14	14	14	11	11	11	19	19	19	12	12	12	20	20	20
As mg/kg	medelvärde	0,06	0,06	0,09	0,13	0,12	0,19	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01		0,02	0,02		0,02	0,02		0,01	0,01	
	minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0	0		0	0	
	maximum	1	2,97	1,74	1	2,97	1,74	0,03	0,03	0,25	0,03	0,07		0,13	0,13		0,06	0,05		0,05	0,03	
B mg/kg	medelvärde	16,7	16,0		17,0	16,1		15,5	13,6		20,0	20,5		15,6	15,8		18,1	17,5		14,5	14,7	
	minimum	5	7,97		6,6	8,68		5	10,13		17,71	16		7,97	8,5		10,61	13		8,95	8,2	
	maximum	36	36,71		29	36,71		36	15,81		25,4	23		22,25	23		21,77	23		19,32	20	
Ca mg/kg	medelvärde	2892	3275		3031	3288		2571	3352		3382	3502		2626	3142		3008	3554		2605	3017	
	minimum	1600	2375		2000	2459		1600	2375		2800	2479		1700	2548		2000	2754		1800	2431,5	
	maximum	5200	5598		4400	5217		3400	3998		5200	5598		3600	3824		4500	4603		3200	4042	
Cd mg/kg	medelvärde	0,16	0,15	0,14	0,26	0,22	0,20	0,10	0,12	0,01	0,10	0,10	0,04	0,07	0,08	0,12	0,08	0,14	0,08	0,06	0,07	0,14
	minimum	0,03	0,03	0	0,03	0,03	0	0,06	0,06	0	0,06	0,03	0	0,03	0,03	0,05	0,03	0,06	0,05	0,03	0,03	0,05
	maximum	2,6	1,55	1,97	2,6	1,55	1,97	0,29	0,33	0,13	0,17	0,18	0,1	0,15	0,17	0,34	0,14	0,7	0,12	0,11	0,11	0,41
Cr mg/kg	medelvärde	0,16	0,14		0,20	0,10		0,12	0,12		0,13	0,07		0,12	0,10		0,12	0,08		0,13	0,36	
	minimum	0,06	0,03		0,07	0,03		0,07	0,03		0,07	0,03		0,09	0,03		0,07	0,03		0,06	0,03	
	maximum	0,75	2,54		0,75	0,46		0,19	0,16		0,22	0,12		0,16	0,75		0,22	0,18		0,6	2,54	
Cu mg/kg	medelvärde	3.3	2,8		3.9	3,4		2,8	2.5		2.8	2.4		3.0	2.5		2.9	2.4		2.9	2.0	
	minimum	2,2	0,04		2,2	1,78		2,2	1,79		2,5	2,03		2,5	2,17		2,3	1,97		2,2	0,04	
	maximum	9,5	13,82		9,5	13,82		3,7	3,17		3,4	3,02		3,4	3,02		3,2	2,87		5,8	2,8	
Fe mg/kg	medelvärde	107	87	154	160	129	335	76	64	79	56	59	48	64	49	46	71	53	54	60	50	45
	minimum	32	34,85	37,4	32	35,67	62	38	46,52	79	43	42,91	41,1	46	34,85	37,4	39	37,22	42,4	43	39,09	38,7
	maximum	690	927	3100	690	927	3100	210	143	79	80	132,5	64,4	94	67,97	58	170	81,49	92,1	85	66,79	58,9
K mg/kg	medelvärde	5604	5529		5657	5591		5300	5383		5864	5346		5447	5764		5942	5469		5460	5357	
	minimum	3900	4190		4300	4190		4600	4766		4800	4884		4400	4627		5400	4537		3900	4205	
	maximum	7600	9767		7600	9767		6400	5992		6300	5765		6400	6980		7000	6292		7000	6583	
Mg mg/kg	medelvärde	783	797		789	796		774	857		886	862		758	750		750	782		759	773	
	minimum	390	425,8		390	425,8		610	672,8		760	719,4		520	625,4		580	610,2		620	673,5	
	maximum	1000	1119		1000	999,4		1000	1075		980	964,6		1000	898,3		1000	1119		1000	890,4	
Mn mg/kg	medelvärde	394	492		416	517		452	629		414	493		351	415		323	433		358	428	
	minimum	110	153		160	153		280	370,8		200	272,8		110	249,7		210	329,3		140	181	
	maximum	880	1981		880	1981		700	1079		660	705,5		860	880,35		500	672,4		600	831,9	
N %	medelvärde	1,42	1.48		1,40	1,45		1,33	1.49		1,36	1,40		1,49	1,54		1,46	1,47		1,47	1,55	
	minimum	1,11	1,14		1,12	1,14		1,11	1,27		1,2	1,21		1,23	1,38		1,32	1,28		1,19	1,31	
	maximum	1,98	1,98		1,98	1,98		1,76	1,86		1,64	1,82		1,72	1,67		1,66	1,64		1,72	1,87	
Ni mg/kg	medelvärde	1.16	0.58		1.89	0.76		0.60	0.48		0.54	0.38		0.59	0.48		0.57	0.39		0.57	0.46	
	minimum	0,09	0,18		0,28	0,2		0,36	0,25		0,42	0,25		0,41	0,27		0,34	0,22		0,09	0,18	
	maximum	7,7	2,9		7,7	2,9		1,1	1,07		0,73	0,61		1	0,81		1	0,89		2,2	1,86	
P mg/kg	medelvärde	1377	1542		1374	1520		1279	1506		1427	1547		1437	1564		1433	1586		1335	1582	
	minimum	1000	1128		1000	1128		1100	1371		1200	1327		1300	1415		1200	1354		1100	1360	
	maximum	1900	1848		1800	1801		1400	1677		1900	1784		1600	1751		1600	1848		1500	1801	
S mg/kg	medelvärde	965	1031	971	995	1041	996	877	1008	926	977	1006	947	963	1023	964	973	1044	978	929	1030	945
	minimum	760	740,5	790	760	740,5	790	760	911,6	820	870	893,7	810	850	903,1	849	870	933,3	874	810	922	844
	maximum	1400	1742	1300	1400	1742	1300	1100	1243	1200	1200	1237	1090	1100	1135	1070	1100	1243	1150	1100	1249	1100
Zn mg/kg	medelvärde	53	56	56	67	69		43	52		49	50		39	41	40	42	47	45	39	45	42
	minimum	24	27,15	27,5	31	27,15		25	33,7		38	36,31		28	28,02	31,4	29	36,63	35,2	24	31,57	27,5
	maximum	240	270,7	320	240	270,7		72	68,25		73	62,68		56	55,15	56,8	50	60,91	56,4	62	59,2	52,1
	N	**56**	**56**		**33**	**33**		**1**	**1**		**2**	**2**		**7**	**7**		**6**	**6**		**7**	**7**	
Co mg/kg	medelvärde	1,97	0,94		3,17	1,48		0,53	0,30		0,46	0,36		0,28	0,20		0,26	0,13		0,13	0,09	
	minimum	0,08	0,06		0,34	0,19		0,53	0,30		0,33	0,34		0,16	0,09		0,14	0,07		0,08	0,06	
	maximum	15,00	7,39		15,00	7,39		0,53	0,30		0,59	0,39		0,52	0,30		0,47	0,20		0,21	0,15	
V mg/kg	medelvärde	0,14	0,15		0,15	0,16		0,09	0,10		0,11	0,10		0,11	0,12		0,18	0,19		0,10	0,09	
	minimum	0,07	0,07		0,08	0,08		0,09	0,10		0,08	0,09		0,08	0,08		0,07	0,08		0,07	0,07	
	maximum	0,64	0,64		0,33	0,52		0,09	0,10		0,13	0,11		0,13	0,16		0,64	0,64		0,16	0,17	
Hg mg/kg	medelvärde	0,04	0,04		0,04	0,04	0,08	0,03	0,03		0,03	0,03		0,03	0,02		0,03	0,02		0,03	0,03	
	minimum	0,02	0,00		0,02	0,02	0,03	0,03	0,03		0,03	0,03		0,02	0,00		0,03	0,02		0,02	0,02	
	maximum	0,10	0,15		0,10	0,15	0,26	0,03	0,03		0,03	0,03		0,03	0,03		0,04	0,03		0,04	0,03	



Figur 114.Zoner av barrens svavelhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1997, 2000–2002, 2006 och 2012.

6.1.3 Mossans grundämneshalter

I tabell 41 presenteras mossans grundämneshalter för hela området och per kommun. Jämfört med 2006 hade halterna av aluminium (***), kalcium (***), krom (***), natrium (***), nickel (*), järn (***) och zink (**) ökat (signifikansen markerad med stjärna inom parentes) inom hela området på ett statistiskt signifikant sätt (parvis t-test). Halterna av bor (***), kvicksilver (***), kadmium (*), kalium (***), fosfor (***), koppar (*), bly (**), magnesium (**), mangan (***), svavel (***) och vanadin (***) hade minskat på ett statistiskt signifikant sätt. Vid jämförelse av resultaten från 2012 med resultaten från 2002, hade halterna av kadmium (**) och kvicksilver (***) minskat på ett statistiskt signifikant sätt i Karleby, medan halterna av aluminium (***) och zink (***) hade ökat.

I fråga om mossans **aluminium**halter kunde resultaten från 2006 jämföras med resultaten från 2012. Kring Yxpila i Karleby och i Jakobstads centrum hade aluminiumhalterna ökat. Högre halter än året innan observerades också i närheten av Ferral Alucast Oy:s produktionsanläggning i Kronoby, Kaustby centrum, Kelviå och i de södra delarna av Nykarleby. De förhöjda halterna kan delvis förklaras med att ytterligare provytor anlagts, särskilt i närheten av de belastade områdena (Kronoby och Kaustby) och i bakgrundsområden (Nykarleby). (Figur 115.)

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 2006 har inga märkbara förändringar observerats i arsenikhalternas zoner. (Figur 116.)

De högsta halterna av **kadmium** observerades i Yxpila 1992, varefter halterna har minskat konsekvent och zonerna med de högsta halterna har blivit mindre. Även zonen med lindrigt förhöjda kadmiumhalter har minskat jämfört med 2006. (Figur 117.)

För **kobolt** finns uppgifter om halterna från 2006 och 2012. De högsta halterna observerades båda åren i Yxpila och halterna minskade när avståndet från Yxpila ökade. Några märkbara förändringar i zonerna har inte observerats mellan åren. (Figur 118.)

För **koppar** fanns information om halterna från 2000/2002, 2006 och 2012. Med undantag av år 2012 observerades de högsta halterna i Yxpila. År 2012 bildades vid gränsen mellan Larsmo och Karleby en till ytan liten zon med klart förhöjd kopparhalt. Före år 2012 hade zonen med lindrigt förhöjd kopparhalt minskat. År 2012 var kopparhalterna i mossor i Jakobstads centrum inte längre så höga som tidigare år. (Figur 119.)

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 120.)

Halterna av **kvicksilver** var som högst år 1997. De högsta halterna fanns i Yxpila, men halterna har minskat märkbart inom hela området under 2000-talet, och år 2012 observerades inga betydande förändringar jämfört med de övriga uppföljningsåren på 2000-talet. Zonerna med lindrigt förhöjda halter har också minskat. (Figur 121.)

Halten av **nickel** har minskat jämfört med uppföljningsåren 2000/2002. År 2006 observerades förhöjda nickelhalter särskilt på provytorna i Jeppo i Nykarleby, men dessa halter minskade i uppföljningen 2012. Nickelhalterna i Yxpila hade ökat märkbart jämfört med 2006. (Figur 122.)

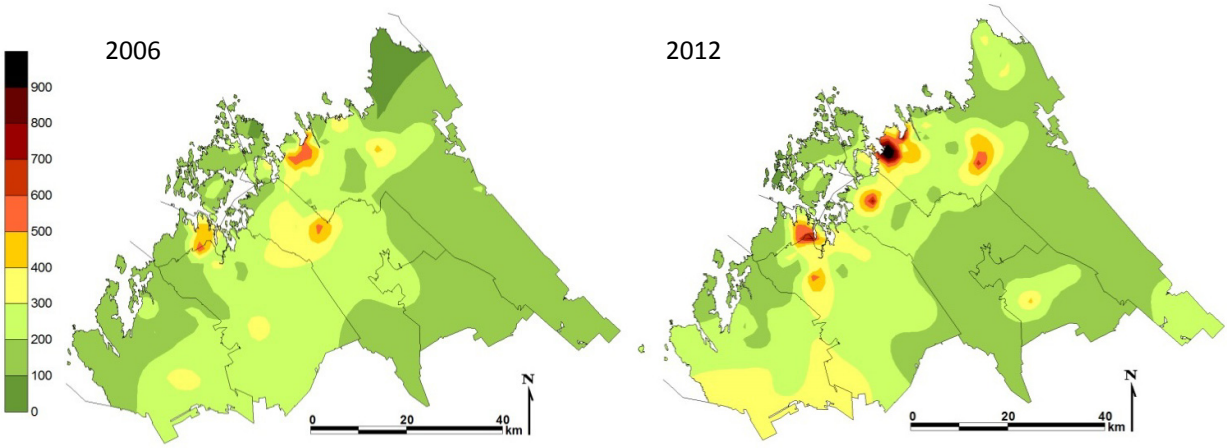
De högsta **zink**halterna har under alla uppföljningsår observerats i Yxpila. Halterna i Yxpila har ändå minskat märkbart från nivån på 1990-talet. År 2012 var halterna i Yxpila något högre än under de tidigare uppföljningsåren på 2000-talet. (Figur 123.)

Tabell 42. Mossornas grundämneshalter (mg/kg) per kommun åren 2012, 2006 och 2002/2000.

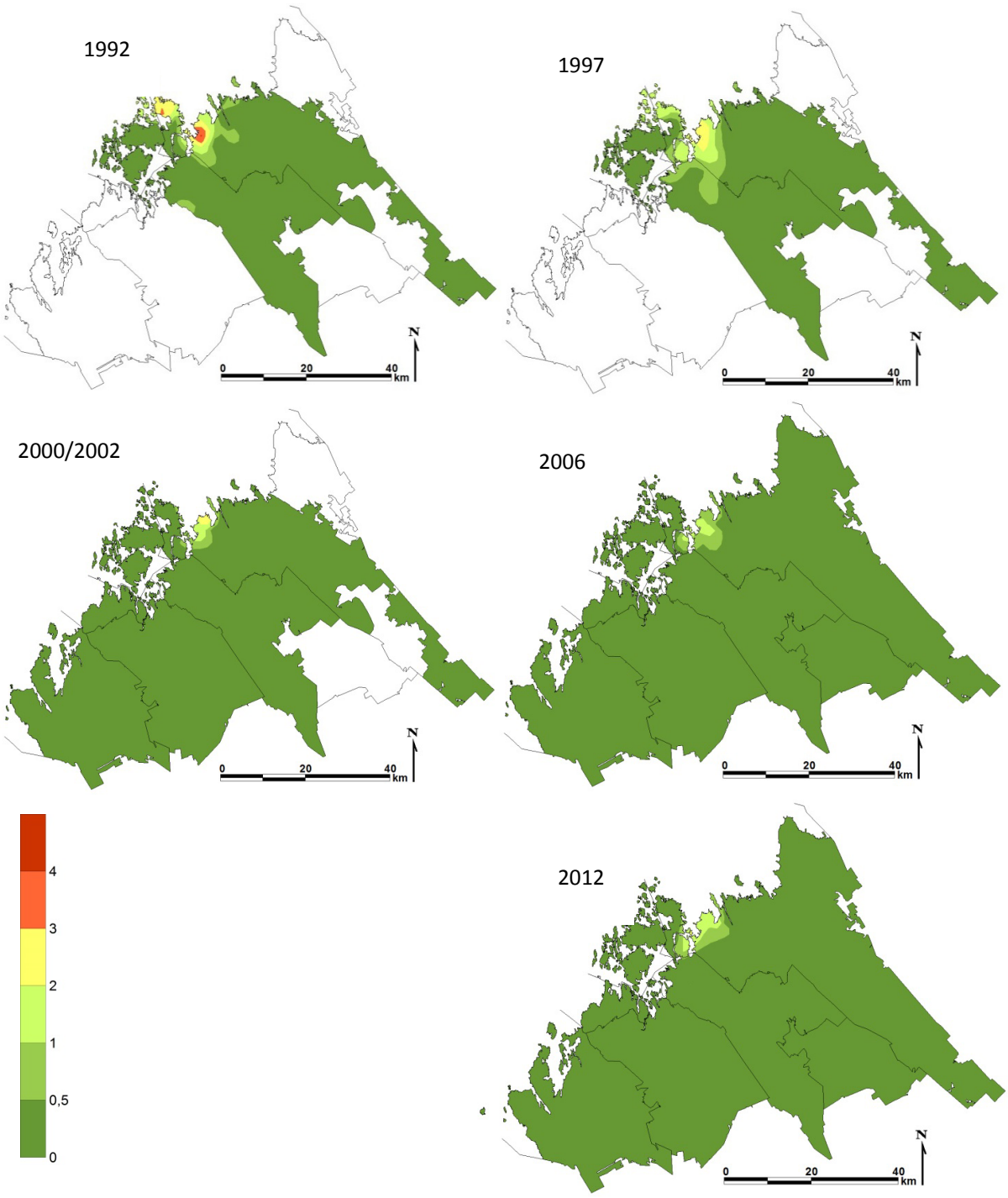
	Kommun	Hela området			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
		2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
	N				51	51	51	13	13	13	11	11	11	18	18	18	12	12	12	20	20	20
Al mg/kg	Medelvärde	271	226		332	257		187	213		177	175		247	201		310	249		214	188	
	Minimum	90	85		93	86		109	110		94	134		107	103		90	85		121	113	
	Maximum	1080	889		1080	889		392	342		275	209		447	495		1011	534		364	377	
As mg/kg	Medelvärde	0,27	0,22	0,38	0,47	0,35	0,42	0,14	0,19	0,25	0,11	0,12		0,16	0,16		0,12	0,12		0,11	0,09	
	Minimum	0,05	0,05	0,25	0,07	0,07	0,25	0,05	0,06	0,25	0,07	0,08		0,05	0,05		0,05	0,05		0,07	0,05	
	Maximum	2,5	1,72	4,4	2,5	1,72	4,4	0,29	0,46	0,25	0,19	0,18		0,4	0,44		0,24	0,21		0,14	0,17	
B mg/kg	Medelvärde	1,3	2,1	2,8	1,38	2,16		0,81	1,67		1,32	2,56		1,53	2,19	2,84	1,71	2,75	2,83	0,75	1,80	2,61
	Minimum	0,5	0,8	1,2	0,5	0,8		0,5	0,9		0,5	1,2		0,5	1,2	1,6	0,5	1	1,7	0,5	1	1,2
	Maximum	5,1	6,6	5,6	5,1	6,6		2	2,4		2	4,5		3	3,8	4,8	3	5,6	3,9	1	2,5	4,4
Ca mg/kg	Medelvärde	2587	2443	2499	2576	2566		2200	2352		2755	2506		2878	2363	2469	3025	2628	2757	2250	2112	2359
	Minimum	1500	1642	1850	1800	1864		1700	2035		1500	2215		2300	1878	2060	2400	1858	2130	1900	1642	1850
	Maximum	4200	4047	3620	4200	4047		2500	2629		3700	2970		4000	3286	3620	4000	3737	3440	2800	2483	3030
Cd mg/kg	Medelvärde	0,26	0,28	0,30	0,43	0,44	0,50	0,18	0,24	0,28	0,16	0,20	0,21	0,13	0,16	0,15	0,14	0,15	0,15	0,11	0,13	0,11
	Minimum	0,07	0,07	0,07	0,08	0,13	0,25	0,11	0,11	0,25	0,13	0,14	0,11	0,08	0,07	0,09	0,09	0,11	0,08	0,07	0,09	0,07
	Maximum	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2	1,4	0,39	0,47	0,69	0,23	0,27	0,25	0,23	0,26	0,22	0,25	0,23	0,22	0,15	0,19	0,19
Co mg/kg	Medelvärde	3,4	3,6		6,63	6,96		1,80	2,42		2,05	2,00		0,99	1,36		1,12	1,06		0,48	0,48	
	Minimum	0,25	0,26		0,34	0,28		0,25	0,3		1,1	1		0,38	0,39		0,54	0,4		0,35	0,26	
	Maximum	27	30		27	30		5,4	8,6		3,7	3,6		1,9	3,1		2,4	2,5		0,69	0,88	
Cr mg/kg	Medelvärde	1,0	0,8	1,0	1,28	0,90		0,76	0,73		0,83	0,51		0,89	0,77	1,09	1,20	0,95	1,06	0,80	0,64	0,86
	Minimum	0,54	0,25	0,32	0,62	0,3		0,57	0,45		0,69	0,3		0,55	0,36	0,33	0,56	0,42	0,44	0,54	0,25	0,32
	Maximum	3,6	3	3,23	3,6	3		1,1	1,1		1	0,76		1,5	1,5	2,85	2,9	1,8	2,12	1,3	2,1	3,23
Cu mg/kg	Medelvärde	6,6	7,7	7,7	9,3	10,6	9,8	4,8	6,9	6,0	4,9	5,2	4,7	4,9	5,8	10,6	5,2	6,2	4,7	3,9	4,8	4,0
	Minimum	2,7	3,7	3	2,7	4	3	3,1	3,8	3,3	4,1	4,3	3,6	3,6	3,7	3,2	3,1	3,9	3,7	3,3	3,7	3,1
	Maximum	57	25	78,5	57	25	28	7,2	16	12	6,6	6,8	6,7	7,7	9	78,5	9,5	11	7,2	5,2	6,1	5,3
Fe mg/kg	Medelvärde	456	344	500	623	435	588	278	312	400	255	232	418	387	275	462	516	347	618	281	251	349
	Minimum	120	107	207	170	130	230	120	158	280	120	167	255	130	127	278	140	107	228	150	130	207
	Maximum	2400	1455	1620	2400	1455	1400	660	539	660	460	305	660	740	782	822	1800	893	1620	530	584	784
Hg mg/kg	Medelvärde	0,06	0,07	0,15	0,08	0,08	0,16	0,04	0,06	0,11	0,04	0,08		0,05	0,07		0,05	0,06		0,04	0,05	
	Minimum	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,06	0,02	0,04		0,03	0,04		0,03	0,04		0,03	0,03	
	Maximum	0,28	0,23	0,42	0,28	0,23	0,42	0,06	0,11	0,28	0,05	0,16		0,07	0,1		0,07	0,11		0,05	0,08	
K mg/kg	Medelvärde	6377	12975	5984	6192	20847		6223	6688		6309	10429		7089	8092	5758	6525	7197	6424	6255	6248	6032
	Minimum	3900	4212	3840	3900	4553		4800	4212		4000	4843		5200	5303	3930	4900	5136	4200	4600	4391	3840
	Maximum	10000	42490	9900	10000	42490		8200	10000		8400	27650		10000	14240	8290	8500	10210	9900	8200	10680	9680
Mg mg/kg	Medelvärde	1083	1150	900	1059	1213		948	1030		1053	1105		1218	1163	891	1281	1260	1001	1011	1015	845
	Minimum	570	802	630	720	838		680	848		570	913		910	921	680	850	846	660	820	802	630
	Maximum	2100	2094	1310	2100	2094		1300	1289		1300	1302		1800	1711	1130	1800	1686	1310	1400	1253	1110
Mn mg/kg	Medelvärde	302	361	289	299	390		308	412		291	340		329	315	260	266	337	282	307	322	307
	Minimum	98	143	132	120	204		190	267		98	232		240	195	132	200	194	185	180	143	162
	Maximum	680	620	596	680	620		410	570		450	483		420	491	470	360	574	478	440	433	472
Na mg/kg	Medelvärde	85	64		89	67		68	53		79	68		84	62		82	72		90	55	
	Minimum	46	32		47	34		52	42		46	44		66	41		47	50		59	32	
	Maximum	250	188		250	188		85	80		140	110		110	86		140	120		150	88	

Tabell 41. Fortsättning

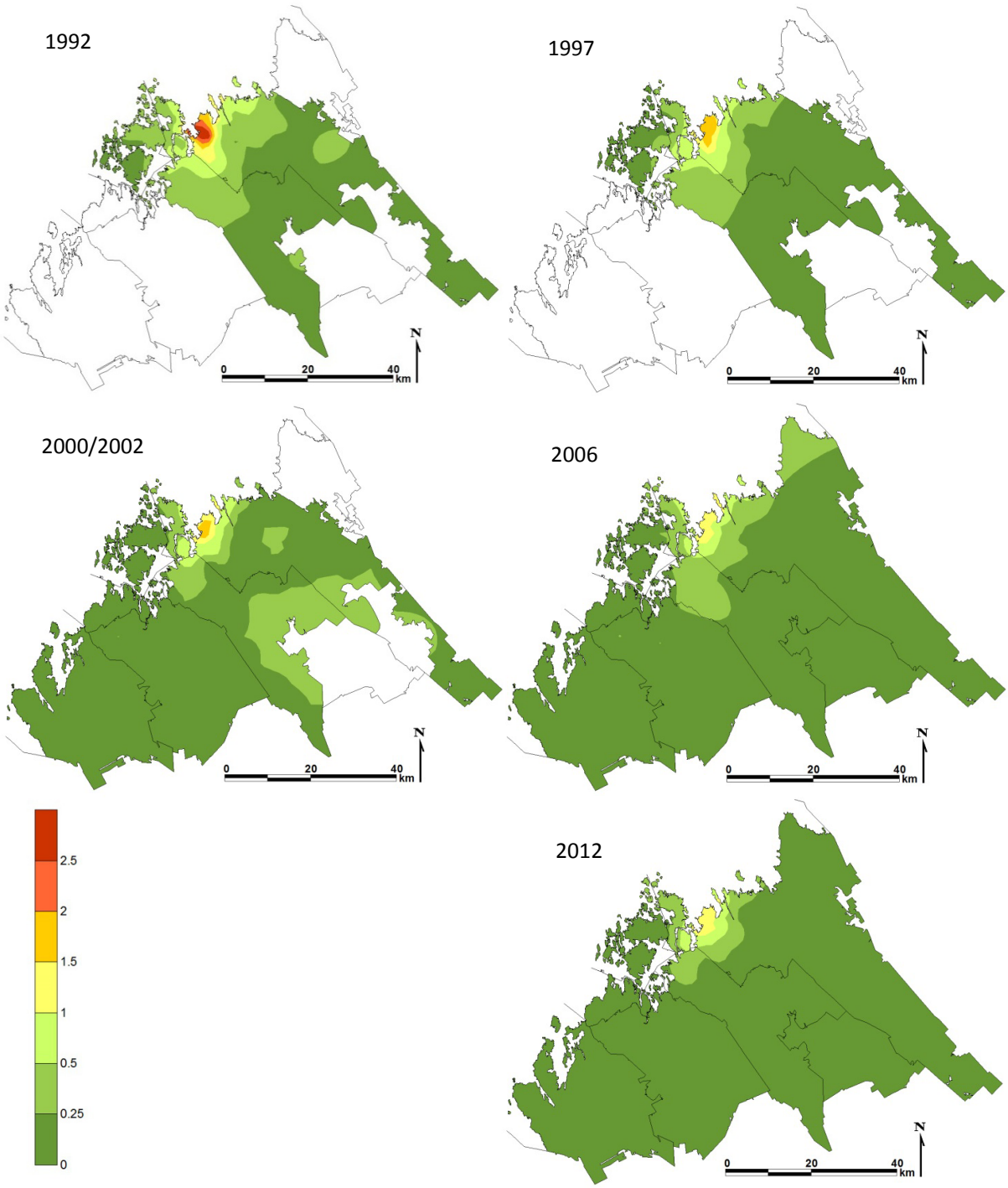
	Kommun	Hela området			Karleby			Kronoby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
		2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
	N				51	51	51	13	13	13	11	11	11	18	18	18	12	12	12	20	20	20
Ni mg/kg	Medelvärde	2,3	1,8	3,8	3,9	1,9	3,5	1,2	1,3	1,8	1,2	1,4	3,4	1,1	1,6	5,2	1,3	2,1	5,4	1,6	2,4	3,9
	Minimum	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,9	1,2	1	0,9	1,7	0,6	0,7	1,7	0,6	0,9	2,6	0,6	0,8	1,7
	Maximum	17	14,1	12,6	17	4,4	7,7	2,3	1,9	3,2	2,2	2,2	5,8	1,6	3,2	11,8	2,3	6,3	12,1	7,9	14,1	12,6
P mg/kg	Medelvärde	1352	1533	1447	1332	1581		1199	1278		1307	1537		1628	1667	1417	1517	1711	1638	1182	1349	1363
	Minimum	680	980	810	820	1083		990	1022		680	1199		1000	1278	1000	1100	1115	1010	910	980	810
	Maximum	2600	2782	2320	2600	2718		1600	1563		1600	1817		2600	2782	2080	2100	2499	2320	1600	1741	2040
Pb mg/kg	Medelvärde	3,0	3,7	3,3	5,0	5,6		1,8	3,2		1,6	2,2		1,8	2,7	3,7	1,4	2,1	3,8	1,3	1,9	2,5
	Minimum	0,77	0,4	1,51	0,95	0,4		0,92	1,3		1,1	1,6		0,77	1,3	2,48	0,98	1,3	2,68	0,87	1,4	1,51
	Maximum	22	30,9	6,9	22,0	30,9		4,2	6,9		2,3	2,8		4,0	5,9	6,1	2,8	3,4	6,4	1,7	2,6	3,7
S mg/kg	Medelvärde	996	1077	1032	992	1081		851	920		835	981		1118	1136	1042	1114	1184	1130	1011	1107	961
	Minimum	480	752	800	720	780		730	752		480	853		810	929	870	910	892	887	790	853	800
	Maximum	1800	1794	1380	1800	1794		1000	1117		1000	1201		1700	1451	1250	1500	1725	1380	1600	1623	1260
V mg/kg	Medelvärde	1,25	2,02		1,1	1,5		0,6	1,2		0,8	1,6		0,8	1,4		2,0	2,6		2,2	4,4	
	Minimum	0,4	0,7		0,4	0,7		0,4	0,7		0,7	1,2		0,4	0,7		0,5	0,7		0,4	0,9	
	Maximum	15	36		3,7	3,4		1,1	1,6		1,7	2,5		1,2	2,5		9,7	11		15	36	
Zn mg/kg	Medelvärde	80	70	71	128	104	104	52	62	54	46	51	51	53	43	49	51	50	51	37	37	39
	Minimum	21	31	31	26	32	31	28	35	35	21	38	38,7	33	32	34,3	39	34	38,6	31	31	31,4
	Maximum	340	321	300	340	321	300	110	111	120	62	93	64	81	55	66,6	76	75	71,1	50	45	54,1



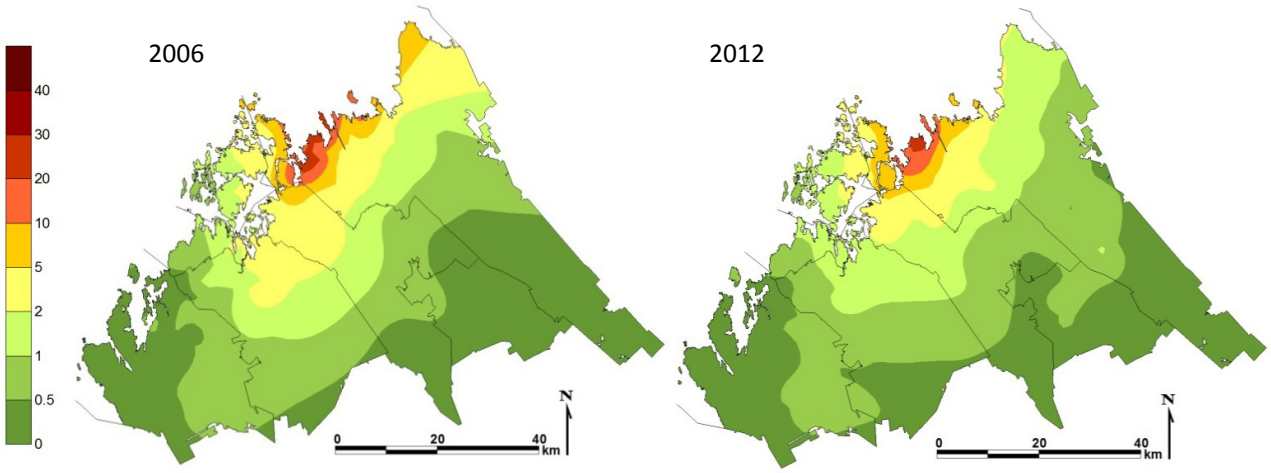
Figur 115. Mossans aluminiumhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 2006 och 2012.



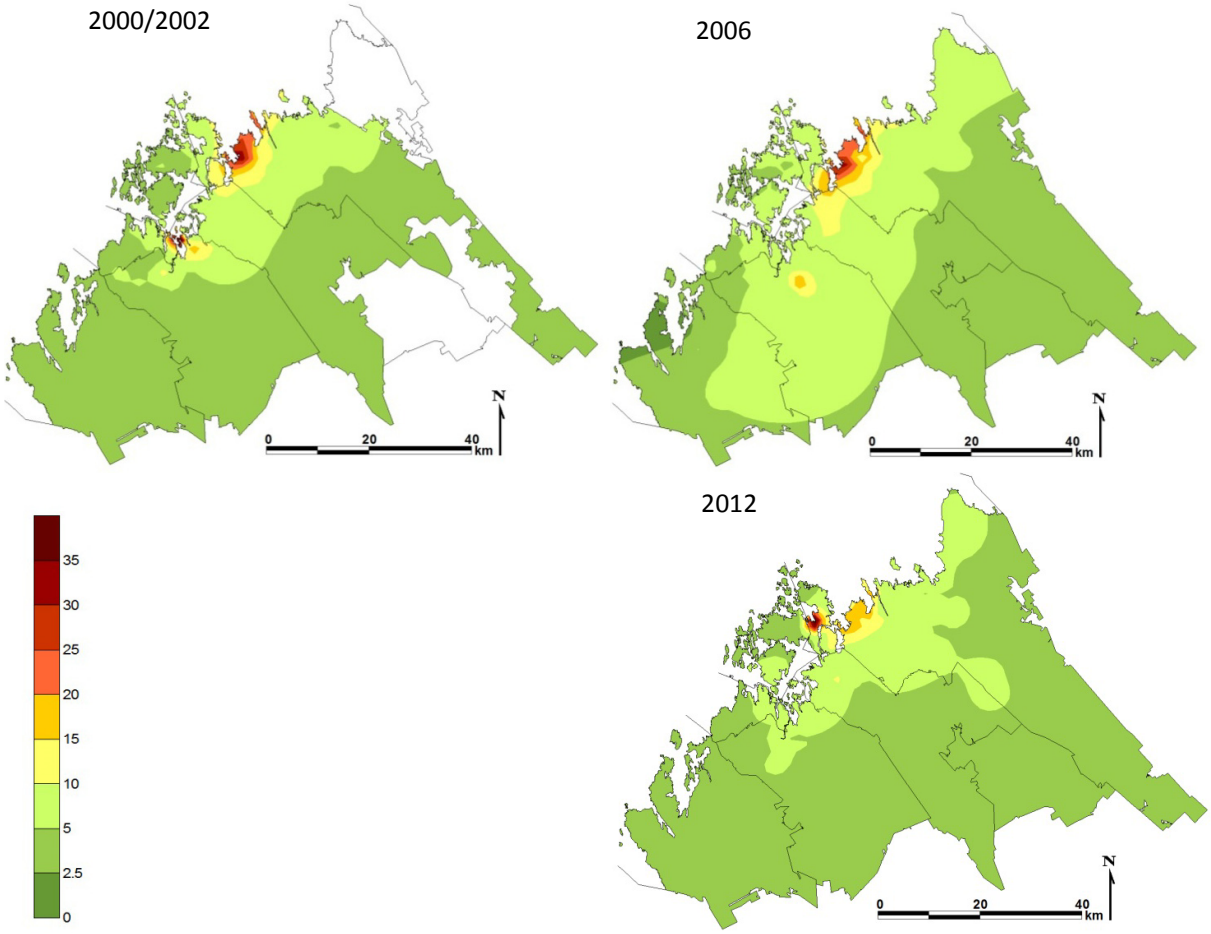
Figur 116.Mossans arsenikhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006 och 2012. Början av skalan är inte enhetlig.



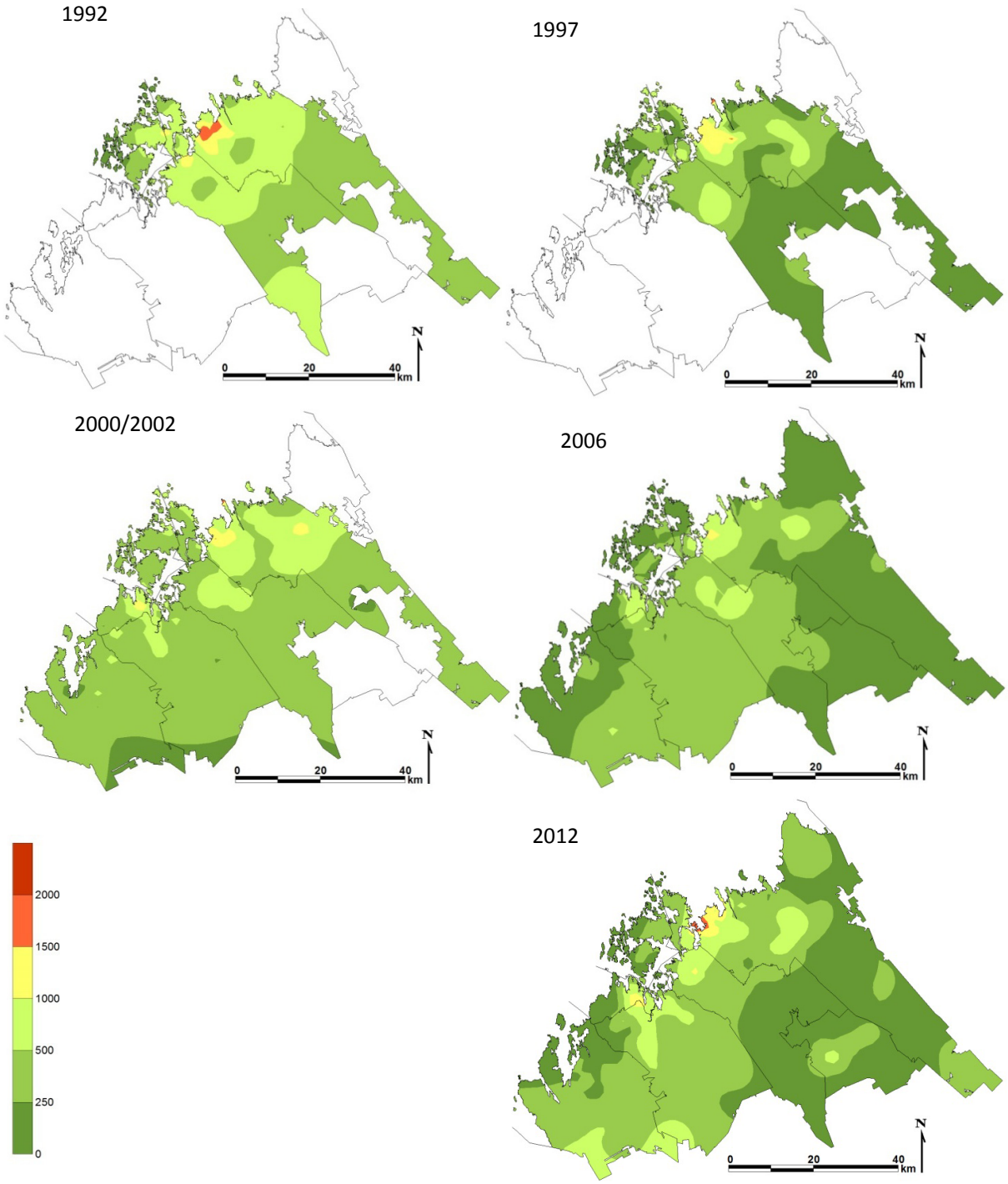
Figur 117. Mossans kadmiumhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006 och 2012. Början av skalan är inte enhetlig.



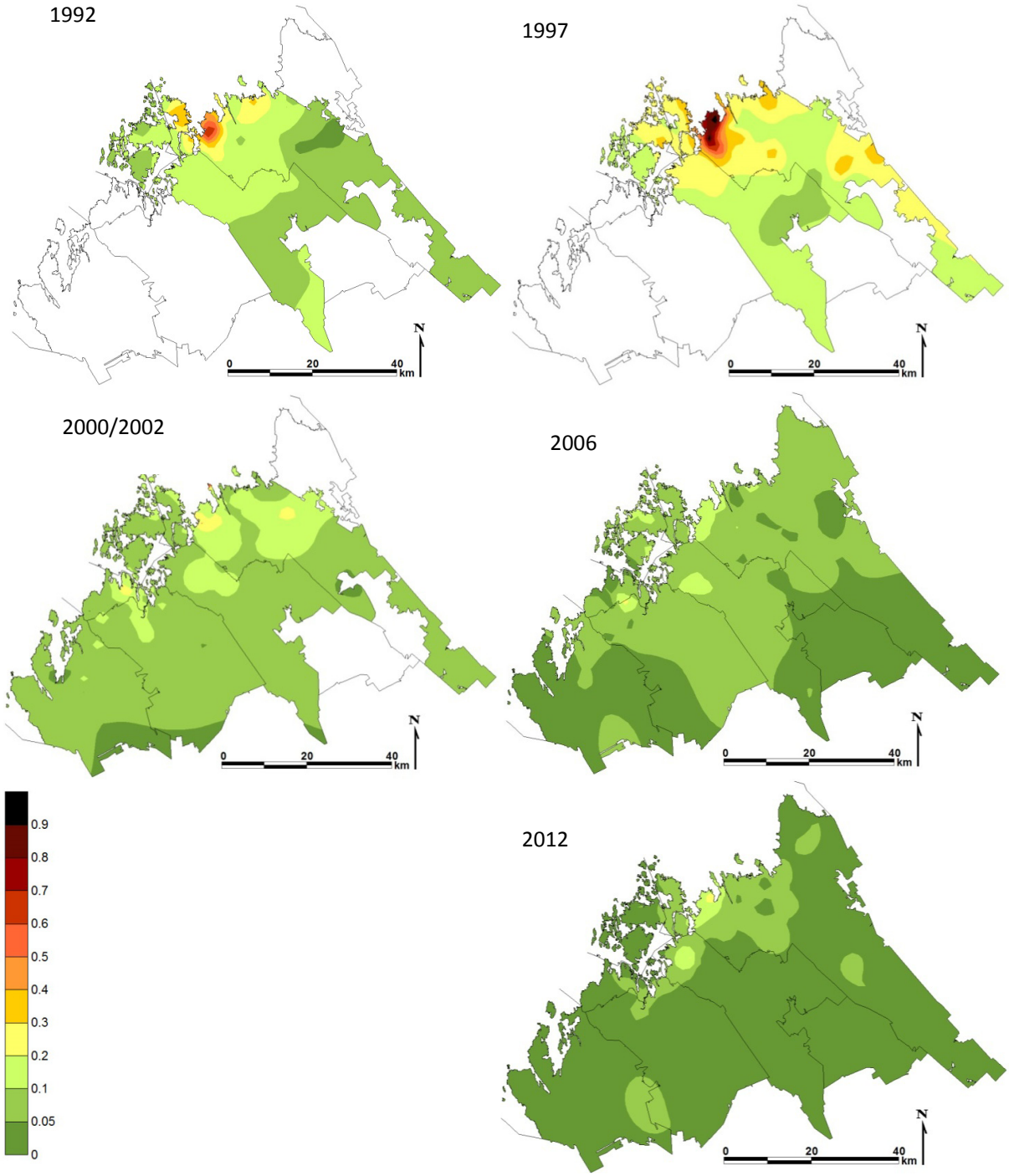
Figur 118. Mossans kobolthalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 2006 och 2012. Början av skalan är inte enhetlig.



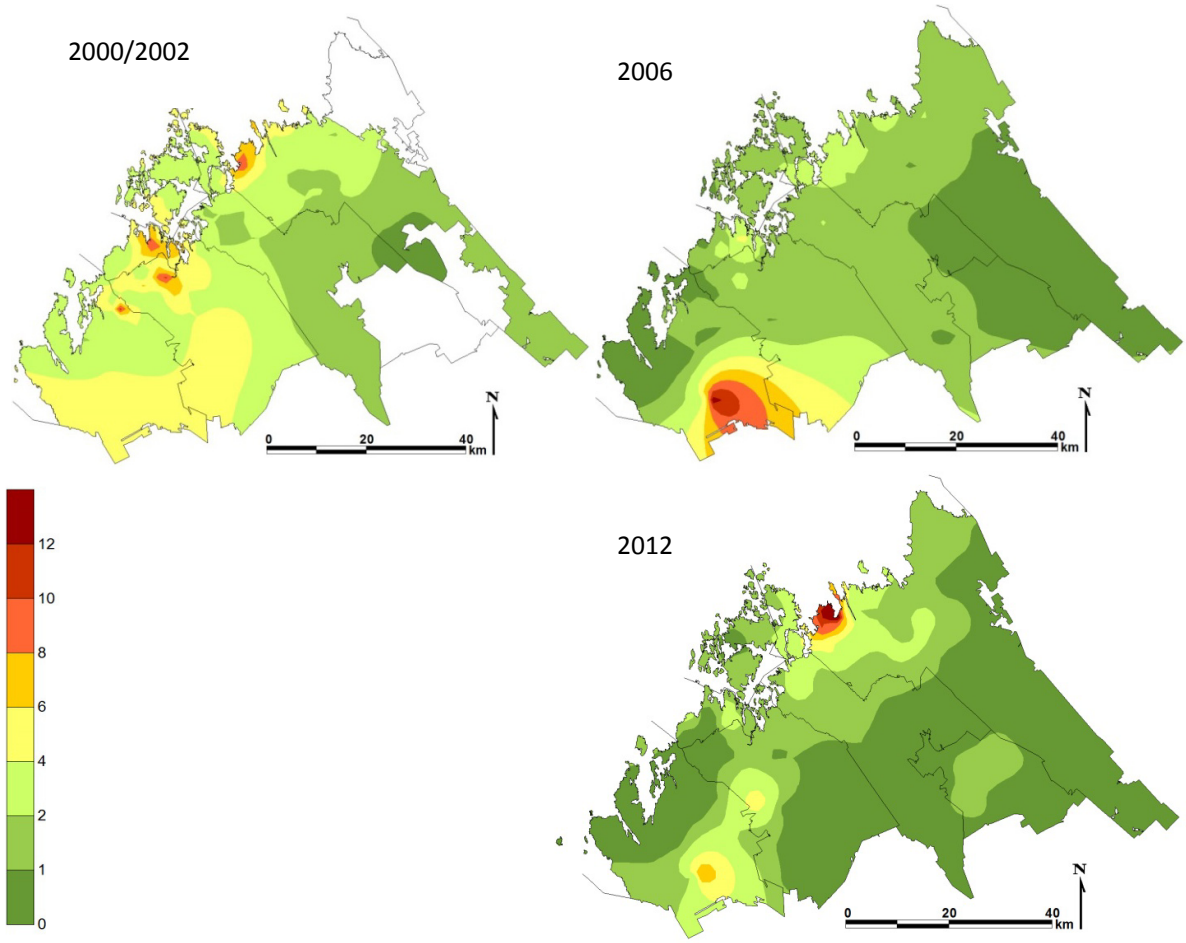
Figur 119. Mossans kopparhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 2000/2002, 2006 och 2012. Början av skalan är inte enhetlig.



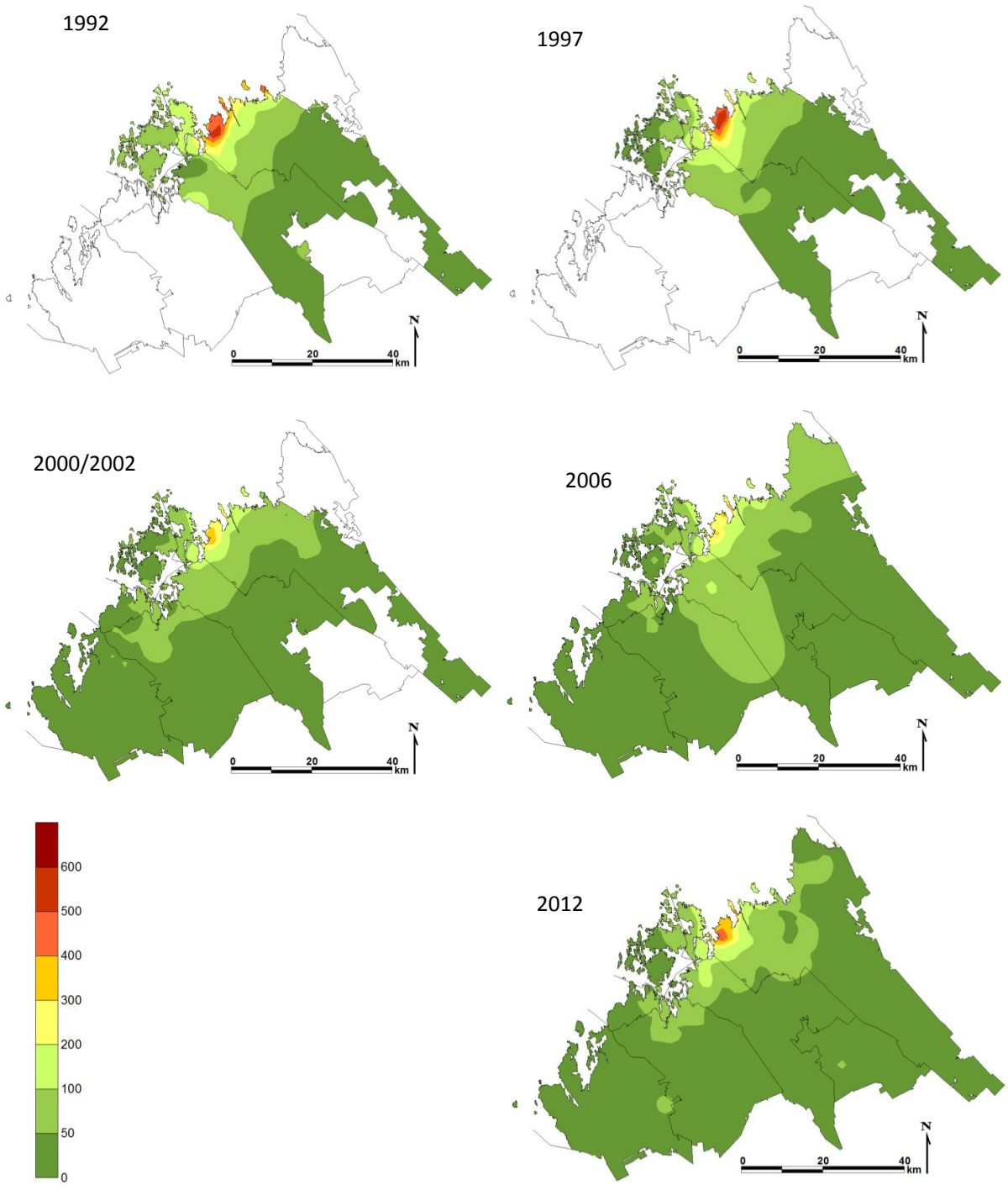
Figur 120. Mossans järnhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006 och 2012. Början av skalan är inte enhetlig.



Figur 121. Mossans kvicksilverhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006 och 2012. Början av skalan är inte enhetlig.



Figur 122. Mossans nickelhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 2000/2002, 2006 och 2012.

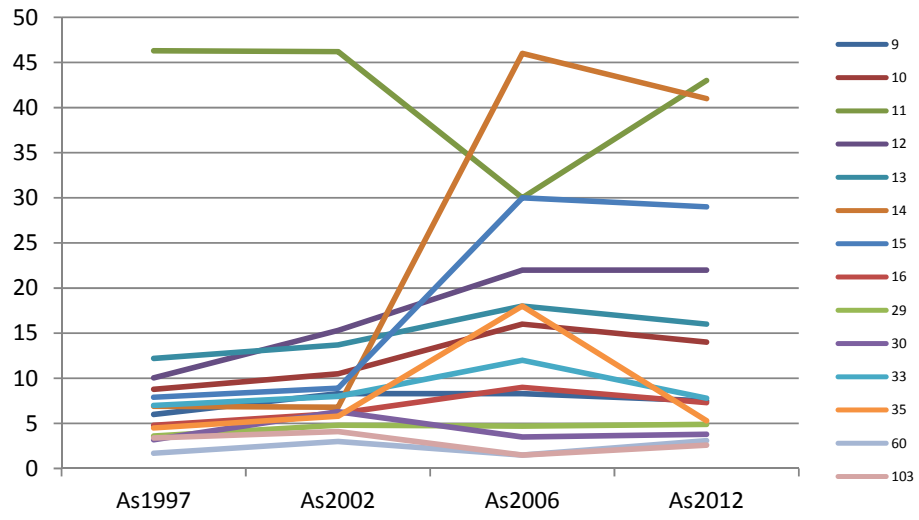


Figur 123. Mossans zinkhalter (mg/kg) i uppföljningsområdet åren 1992, 1997, 2000/2002, 2006 och 2012. Början av skalan är inte enhetlig.

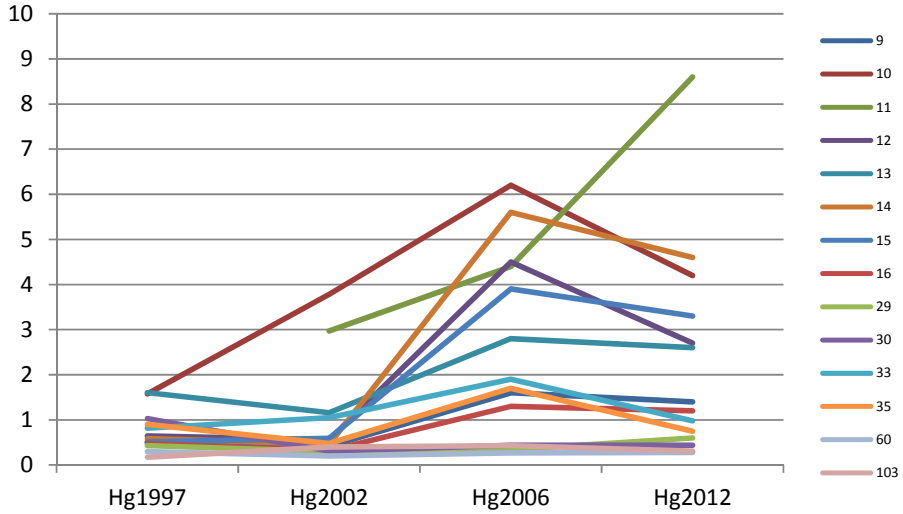
6.1.4 Humusens grundämneshalter

Humusens grundämneshalter åren 2012, 2006 och 2002/2000, fördelade efter kommun och efter provytor och bakgrundsområden i Karleby, presenteras i tabell 43. Jämfört med år 2006 hade kaliumhalten (*) ökat och utbytbara sura substanser (***) minskat på ett statistiskt signifikant sätt i Karlebyregionen. I bakgrundsområdena hade kalciumhalten (*) minskat. I Jakobstad och Nykarleby hade halterna av kalcium (*), magnesium (*), fosfor (*) och svavel minskat (Jakobstad *, Nykarleby **), och i Jakobstad hade också bly- (*) och zinkhalterna (*) minskat och pH ökat (**). I Nykarleby hade utöver ovan nämnda också borhalten (*) minskat.

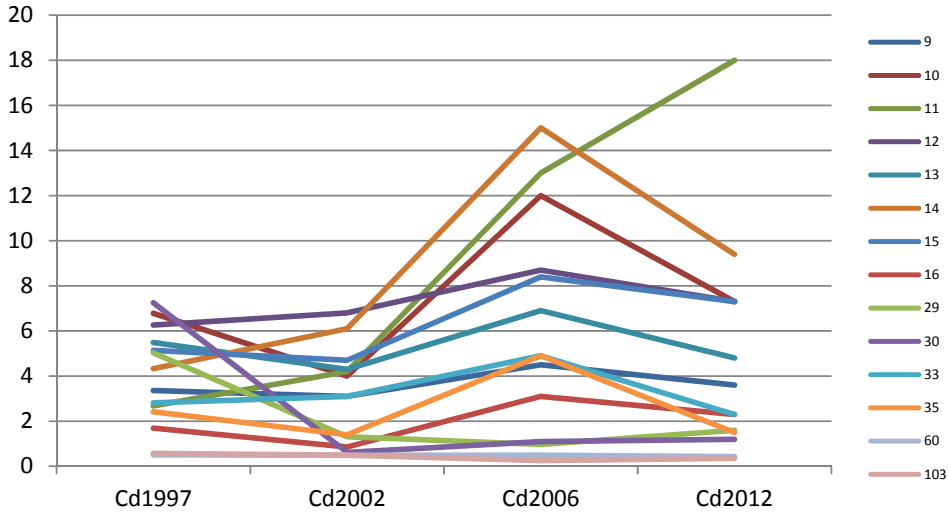
Förändringarna i halterna av olika metaller i humusen på provytor i Karleby åren 1997-2012 visas i figurer 124-133. På det flesta provytor är halterna av arsenik högre än under år 1997, men halterna har i allmänhet sjunkit jämfört med det förra forskningsåret 2006. Dispersionen i halterna av kvicksilver och kadmium har ökat jämfört med år 2006 med undantag av ytan nummer 11. På en del av de ytor där de högsta kobolthalterna har observerats, hade halterna ökat men minskat på de ytor där halterna tidigare varit små. Kopparhalterna har minskat jämfört med det förra forskningsåret 2006 med undantag av yta 11. Magnesiumhalterna visar ingen trend mellan olika forskningsår. Dispersion av nickelhalter har ökat, men halterna har minskat jämfört med år 2006. Också järnhalterna har minskat jämfört med år 2006. Järnhalten på ytan 11 var klart högre än på andra ytor. Zinkhalterna har förblivit på samma nivå, men det finns några små ändringar i halterna. De högsta halterna av vanadin har ökat, men på andra ytor hade halterna en minskande utveckling.



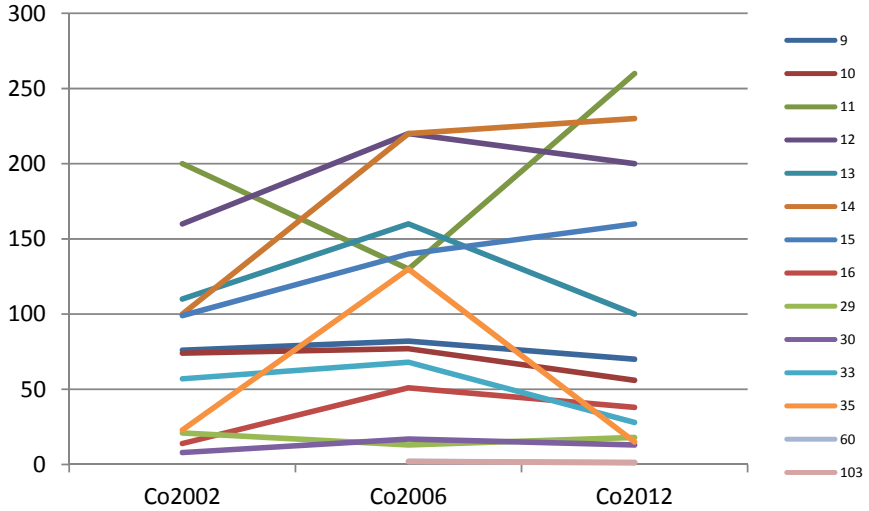
Figur 124. Humusens arsenikhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



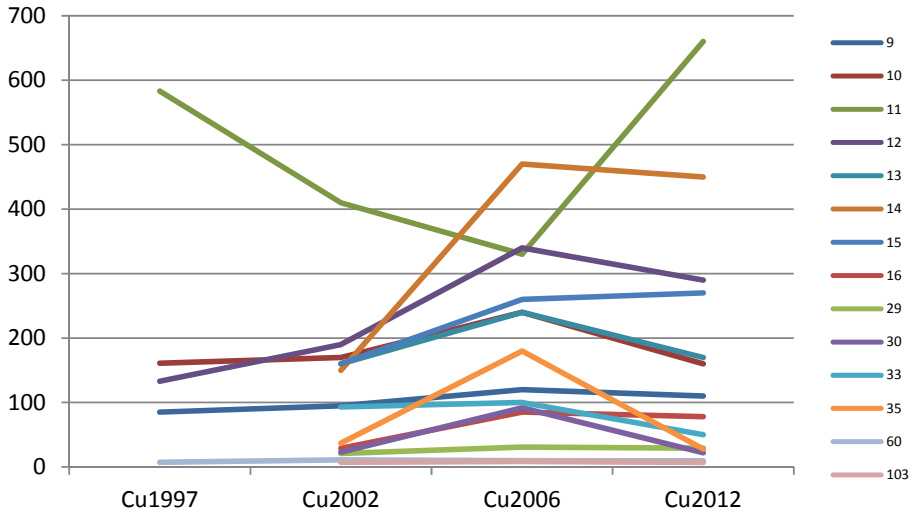
Figur 125. Humusens kvicksilverhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



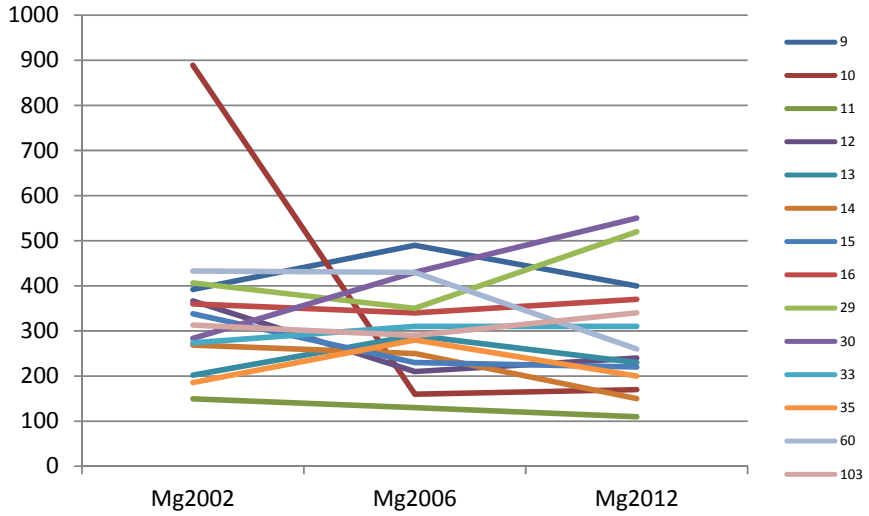
Figur 126. Humusens kadmiumhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



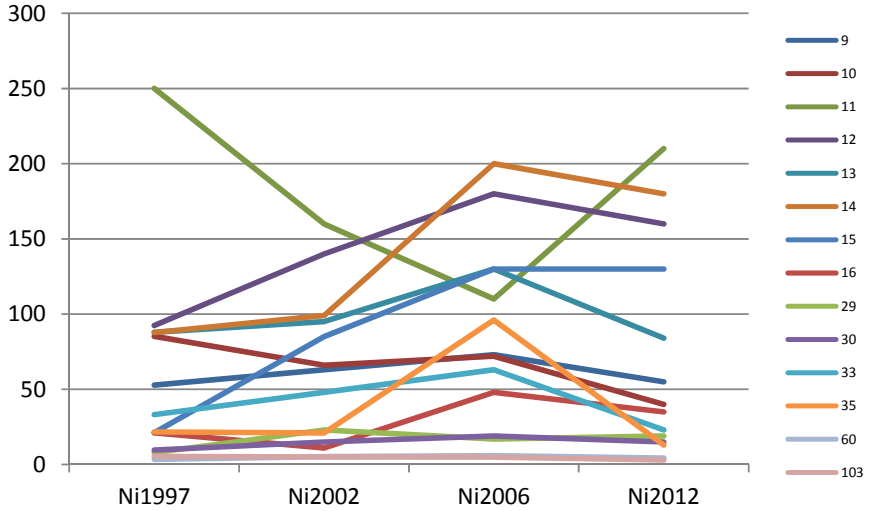
Figur 127. Humusens kobolthalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



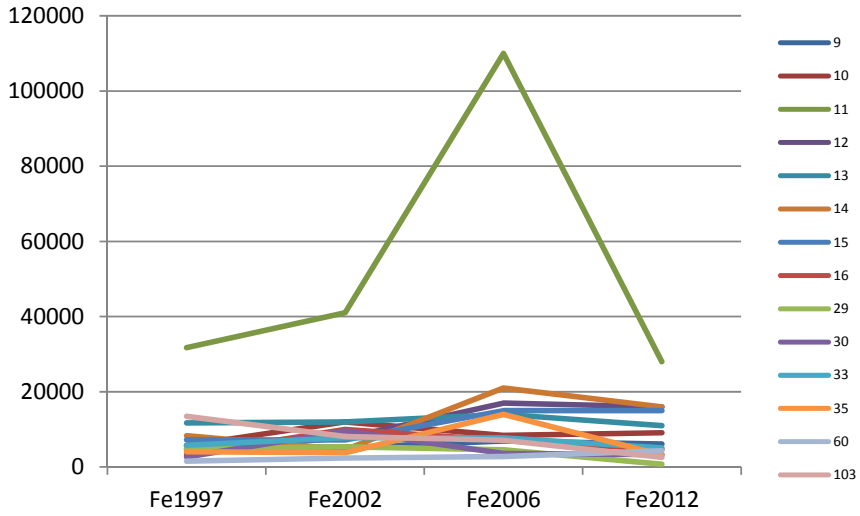
Figur 128. Humusens kopparhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



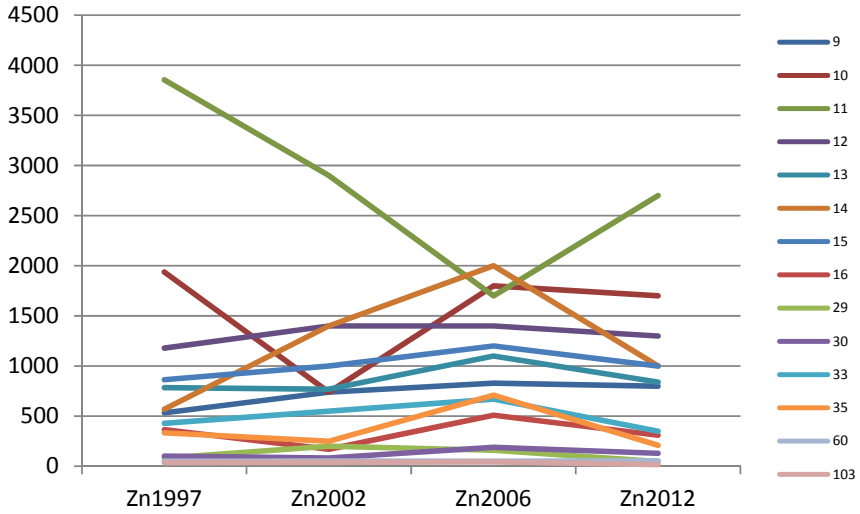
Figur 129. Humusens magnesiumhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



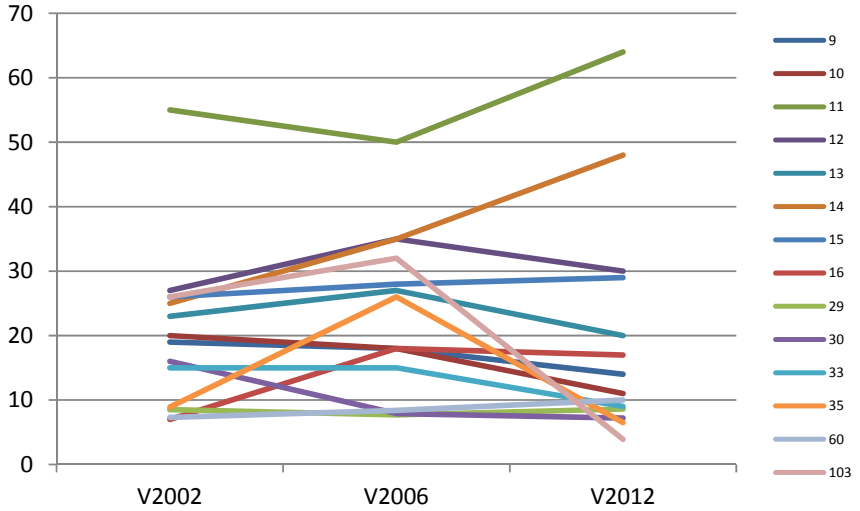
Figur 130. Humusens nickelhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



Figur 131. Humusens järnhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



Figur 132. Humusens zinkhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 1997, 2002, 2006 och 2012.



Figur 133. Humusens vanadinhalter (mg/kg) på provytor i Karleby och på jämförelseprovytor (60 och 103) åren 2002, 2006 och 2012.

Tabell 43. Grundämneshalter (mg/kg) i humus per kommun åren 2012, 2006 och 2002/2000.

		Provytor i Karleby			Bakgrundsområden i Karleby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
		2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
	N	12	12	12	2	2	2	3	0	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4
As mg/kg	Medelvärde	17	18	12	2,85	1,5	3,55												
	Minimum	3,8	3,5	4,8	2,6	1,5	3												
	Maximum	43	46	46	3,1	1,5	4,1												
B mg/kg	Medelvärde							4		5,9	2,4	4,0	3,6	2,4	7,7	8,3	2,2	3,8	1,7
	Minimum							3,6		2,8	1,4	3	2,4	1,8	5	3,9	1,9	3	0,9
	Maximum							4,7		9,2	3,6	6	4,9	2,7	14	14,6	2,5	5	3
Ca mg/kg	Medelvärde	1473	1328	1526	1600	2650	2539	2333		3673	1880	4120	3356	2070	4075	4528	1600	2700	2141
	Minimum	880	500	717	1300	2400	2037	1800		2340	1100	3100	1960	780	1700	3910	1400	2300	683
	Maximum	2200	2600	2554	1900	2900	3040	2900		4660	2800	5000	4270	3700	6200	6160	2000	3300	4310
Cd mg/kg	Medelvärde	5,6	7,0	3,4	0,4	0,4	0,5	0,4		0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,1	0,2
	Minimum	1,2	0,97	0,62	0,35	0,25	0,49	0,25		0,27	0,23	0,25	0,24	0,26	0,25	0,3	0,26	0	0,09
	Maximum	18	15	6,8	0,43	0,5	0,5	0,59		0,48	0,6	0,7	0,58	0,77	1	0,49	0,41	0,25	0,46
Co mg/kg	Medelvärde	99	109	78,5	1,2	2													
	Minimum	13	13	8	1	2													
	Maximum	260	220	200	1,4	2													
Cr mg/kg	Medelvärde							5,1		9,1	3,7	3,4	5,7	7,0	9,0	7,2	2,9	3,8	2,8
	Minimum							3,7		6,3	2,8	2	4,6	5,9	7,8	5,8	2,6	2	0,8
	Maximum							6,8		14,2	4,5	5	8,3	8,5	11	9,4	3,1	6,3	3,9
Cu mg/kg	Medelvärde	193	207	128	8,4	9,3	9,2	11,1		12,1	11,2	13,4	13,8	15,0	17,0	13,2	8,0	8,2	5,0
	Minimum	22	31	21	7,2	8,5	7,3	7,2		9,6	6,4	7,9	8,8	10	15	8,5	6,7	7	2,1
	Maximum	660	470	410	9,5	10	11	14		13,6	16	17	17,7	20	19	17,9	9,4	8,8	9,5
Fe mg/kg	Medelvärde	9854	19108	10525	3450	4950	5250	3000		6133	2020	2260	5420	7050	12300	3705	1218	2900	1363
	Minimum	750	3600	3800	2600	2800	2400	1700		4360	1600	1400	2000	2500	3700	2410	970	1300	492
	Maximum	28000	110000	41000	4300	7100	8100	4700		7780	2400	3600	7960	18000	36000	5500	1500	7300	2080
Hg mg/kg	Medelvärde	2,61	2,89	1,03	0,30	0,35	0,30												
	Minimum	0,44	0,34	0,3	0,28	0,27	0,2												
	Maximum	8,6	6,2	3,78	0,31	0,43	0,4												
K mg/kg	Medelvärde	478	610	436	365	645	547	473		804	626	934	705	513	1233	874	515	985	355
	Minimum	250	340	233	350	630	536	250		739	500	760	570	410	830	659	450	600	179
	Maximum	730	890	688	380	660	559	610		899	710	1200	863	600	1900	1000	600	1600	610
Mg mg/kg	Medelvärde	289	289	343	300	360	373	337		605	334	546	556	295	568	523	325	508	269
	Minimum	110	130	150	260	290	313	210		409	230	450	460	240	340	498	210	350	121
	Maximum	550	490	889	340	430	433	450		927	480	680	672	330	710	547	430	690	443
Mn mg/kg	Medelvärde							197		138	130	111	69	77	82	149	109	88	36
	Minimum							91		55	43	55	30	34	17	66	47	55	21
	Maximum							340		296	310	190	132	120	150	314	180	130	53
Na mg/kg	Medelvärde	37	47	118	29	31	37												
	Minimum	15	25	31	25	26	36												
	Maximum	94	118	900	32	36	37												
Ni mg/kg	Medelvärde	80,3	94,8	68,8	3,6	5,5	5,2	7,5		7,3	6,1	8,7	7,8	10,0	12,6	9,8	4,2	4,8	3,2
	Minimum	13	17	11	2,9	5	5,1	5,5		7,1	3,4	5,3	5,4	5,7	5,4	4,5	4	4	1,5
	Maximum	210	200	160	4,3	5,9	5,3	8,7		7,6	9,2	14	9,5	16	19	15,3	4,4	5,1	5,7

Tabell 43. Fortsättning

		Provytor i Karleby			Bakgrundsområden i Karleby			Larsmo			Pedersöre			Jakobstad			Nykarleby		
		2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002	2012	2006	2002
	N	12	12	12	2	2	2	3	0	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4
P mg/kg	Medelvärde							577		1130	594	976	1186	630	998	964	740	968	527
	Minimum							420		691	490	870	858	380	940	778	540	830	232
	Maximum							790		1390	670	1100	1510	850	1100	1210	840	1200	755
Pb mg/kg	Medelvärde							24		27,5	28	39	40	47	67	96	31	32	21
	Minimum							15		22	19	27	19,2	31	37	34,4	20	23	9,3
	Maximum							30		33,3	42	45	77,1	70	97	231	36	38	32,3
S mg/kg	Medelvärde							1257		1672	1460	2060	2808	1385	2100	1795	1350	2225	1215
	Minimum							670		995	1100	1700	1690	840	2100	1490	1000	1800	418
	Maximum							1900		2150	2000	2500	4320	1800	2100	2100	1700	2500	1920
V mg/kg	Medelvärde	22,0	23,8	20,9	7,0	20,2	16,7												
	Minimum	7	8	7	4	8	7												
	Maximum	64	50	55	10	32	26												
Zn mg/kg	Medelvärde	866	1023	850	36	48	46	69		71	59	80	51	49	81	73	47	59	33
	Minimum	48	160	84	17	44	40	37		38	23	52	23	24	31	54	37	46	11
	Maximum	2700	2000	2900	55	51	52	86		113	100	110	86	73	120	94	55	65	57
utbytbara sura substanser	Medelvärde	9,4	15,1	11,2	8,8	9,8	7,8	4,6			7,9			10,5			8,0		
	Minimum	3,1	8,7	5,1	8,5	8,5	7,3	1			5			3,8			6,2		
	Maximum	12,6	19	16,3	9,1	11	8,4	7,1			10,2			24,4			10,5		
pH	Medelvärde	3,9		3,8	4,0		3,9	4,3			4,0	3,8		4,1	3,8		4,0	3,8	
	Minimum	3,6		3,5	3,9		3,8	3,9			3,9	3,8		4	3,7		3,7	3,6	
	Maximum	4,5		5,2	4		3,9	4,9			4,2	3,9		4,3	4		4,3	4	
kapacitet för katjonutbyte	Medelvärde	23	26	24	19	28	25	27			30			39			44		
	Minimum	14	17	18	17	27	24	23			26			35			40		
	Maximum	32	30	29	22	28	27	29			35			45			48		

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 tabell 44 jämförs resultaten av bioindikatoruppföljningen i Karleby och Jakobstad med resultaten av uppföljningar som utförts på olika håll i Finland med tanke på lavvariablerna. Blåslavens skadeklass var högre i Karleby-Jakobstadsregionen än i jämförelseområdena, och artantalet var lägre än i övriga områden, med undantag av Åbotrakten. 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 44. Blåslavens skadeklass och det trädspecifika artantalet i bioindikatoruppföljningen 2012 i Karleby-Jakobstadsregionen samt i uppföljningar som utförts på olika håll i Finland. Resultaten är tagna ur Lehkonen m.fl. 2012, Lehkonen m.fl. 2011, Huuskonen m.fl. 2010, Huuskonen m.fl. 2009, Laita m.fl. 2008a, Laita m.fl. 2008a-f, Haahla m.fl. 2006a, Haahla m.fl. 2006b.

Område	n	Uppföljningsår	Blåslavens skadeklass	Artantal/träd
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 Barrens grundämneshalter

I tabell 45 jämförs barrens grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsregionen med andra områden i Finland där uppföljningar har gjorts. I tabellen presenteras också jämförelsevärden för barrens grundämneshalter, vilka beskriver skogsbeståndets genomsnittliga näringstillstånd.

Halterna av mangan, magnesium och fosfor låg under de genomsnittliga jämförelsevärdena, medan övriga näringshalter i snitt låg på samma eller högre nivå än jämförelsevärdena. Halterna låg också på en lägre nivå än på andra håll i Finland, med undantag av fosforhalten.

Vid en jämförelse av metallhalterna i barren låg de genomsnittliga kadmium-, krom- och nickelhalterna på en lägre nivå än i Nyland. De genomsnittliga zinkhalterna låg på samma nivå som i de övriga kustregionerna. Medelvärdet för järnhalterna var högre än värdena i jämförelseområdena.

Tabell 45. Barrens grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsregionen och på andra områden. Övriga resultat är tagna ur Reinikainen m.fl. 1998, Brække 1995, Mälkonen 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.

	Karleby-Jakobstad 2012	jämförelse-värde	Pyhäjärvi-regionen 2007	Seinä-joki 2006	Sydöster-botten 2006	Vasa 2006	Nystads-regionen 2006	ICP Forests 2002-05	Åbo 2005	Mellersta Finland 2005	Nyland (tätorter) 2005
B mg/kg	16,3	12,1	15	15,4	16,2	19,3	19	10,3		18,1	20,5
Ca mg/kg	2881	1850–2280	3265	3218	3447	3475	3524	3080	4400	4800	2800
Cd mg/kg	0,13			0,08	0,12	0,12					0,2
Cr mg/kg	0,16			0,13	0,14	0,16	0,095				0,2
Cu mg/kg	3,2	2,6–3,2	3,0	2,2	2,2	2,4	2,6	2,2			3,3
Fe mg/kg	94	46,4	61	68	63	74	58	40			54
K mg/kg	5499	4820–4870	5586	4697	4396	5254	5077	4580	5600	5700	5900
Mg mg/kg	783	990–1070	767	879	892	880	887	890	1000	1000	1200
Mn mg/kg	388	409–555	508	413	604	519	564	667	650		419
N %	1,4	1,23	1,49	1,52	1,51	1,53	1,57	1,17	1,56	1,55	1,36
Ni mg/kg	0,94			0,41	0,52	0,6	0,47				1,7
P mg/kg	1355	1460–1520	1457	1461	1463	1527	1531	1310		1600	1500
S mg/kg	947	940	992	971	1011	1037	1088	860	1100	1110	1079
Zn mg/kg	49	40–46	44	45	49	51	52	48			48

6.2.3 Mossans grundämneshalter

I tabell 46 presenteras medelvärden för mossans grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsregionen och i Skogsforskningsinstitutet Metlas riksomfattande material, samt i Norra Karelen, Pyhäjärviregionen (2007) och Seinäjokiregionen (2012). I tabell 47 presenteras medelvärden för halterna av beryllium, litium, antimon och titan i mossan i Karleby-Jakobstadsregionen samt kring Talvivaara gruvområde (2009), Åbotrakten (2005) och regionen Björneborg-Harjavalta (1996).

De analyserade metallernas genomsnittliga halter var högre i Karleby-Jakobstadsregionen än värdena i Metlas material, med undantag av nickel och vanadin. De genomsnittliga halterna av arsenik, kadmium, bly och zink var högre i regionen än i Norra Karelen och Pyhäjärviregionen samt i Metlas material. Kopparhalterna var i snitt högre i Pyhäjärviregionen än i Karleby och Jakobstad, och järnhalterna låg på samma nivå som i Norra Karelen. Nickel- och vanadinhalterna var i snitt lägre än i de övriga jämförelseområdena. Zinkhalterna var märkbart högre än i jämförelseområdena och i jämförelsematerialet. Kvicksilverhalterna var på samma nivå som i Pyhäjärviregionen. Magnesiumhalterna var lite lägre än i Norra Karelen, medan fosfor och svavel låg på samma nivå. Jämfört med Seinäjokiregionen låg halterna av aluminium, koppar och järn i medeltal på samma nivå i Karleby och Jakobstad. De genomsnittliga halterna av arsenik, krom, magnesium, nickel, fosfor och vanadin var lägre i Karleby-Jakobstadsregionen än i Seinäjoki. Halterna av kadmium, kvicksilver, bly, svavel och zink var däremot högre i Karleby-Jakobstadsregionen än i Seinäjoki.

Halterna av beryllium och lithium var under bestämningsgränsen på alla provytor, och små också i jämförelsematerialet, visserligen var halterna av lithium större i materialet från Syd-Sverige än i Karleby-Jakobstadsnejden. Titanhalterna i mossan var lägre i Karleby-Jakobstadsregionen än i Åbo och regionen Björneborg-Harjavalta, men högre än i materialet från Sydsverige. Antimonhalterna var mindre än i Sydsverige. Jämförelsen med resultaten från Talvivaara försvåras av de höga bestämningsgränserna för grundämnesanalyserna vid Talvivaara.

Tabell 46. Mossans grundämneshalter i Karleby-Jakobstadsregionen och på andra områden. Övriga resultat är tagna ur Skogsforskningsinstitutet 2012, Lehkonen 2011, Huuskonen 2008, Lehtinen och Lepola 2012.

grundämne	Karleby-Jakobstad 2012	Skogsforskningsinstitutet Metla (2010) medelvärde	minimum	maximum	Norra Karelen 2010	Pyhäjärvi-regionen 2007	Seinäjoki-regionen 2012
Al mg/kg	268						285
As mg/kg	0,23	0,11	< 0,10	1,21	0,16		0,38
Cd mg/kg	0,24	0,12	0,03	0,44	0,16	0,2	0,11
Cr mg/kg	1,09	0,97	0,34	14	1,7	0,74	3,56
Cu mg/kg	6,0	5,03	0,74	55	5,2	8,6	5,76
Fe mg/kg	435	243	53	2230	431	282	439
Hg mg/kg	0,05	0,042	0,016	0,119		0,05	0,03
Mg mg/kg	1084				1171		1389
Ni mg/kg	2,1	2,51	0,42	88	2,5	2,4	2,56
P mg/kg	1336				1345		1552
Pb mg/kg	2,6	2,05	0,4	6,6	1,9	2	1,1
S mg/kg	979				922		945
V mg/kg	1,1	1,09	0,32	14,2	1,6	1,6	1,22
Zn mg/kg	74	31	11,5	102	38	43	32

Tabell 47. Halterna av beryllium, litium, antimon och titan i mossan i Karleby-Jakobstadsregionen och i andra områden. Halterna som är markerade med en stjärna låg under bestämningsgränsen. Övriga resultat är tagna ur Majuri 2010, Laita m.fl. 2007, Jussila 1997, Rühling och Tyler 2004.

Område	Be mg/kg	Sb mg/kg	Ti mg/kg	Li mg/kg
Karleby och Jakobstad 2012	< 0,05*	0,07	16,6	< 0,05*
Talvivaara 2009	< 1*	< 4*	< 50*	
Åbotrakten 2006			31,9	
Björneborg-Harjavalta 1996			35,6	
Sydsverige 2000	0,011	0,11	8,5	0,11

6.2.4 Humusens grundämneshalter

I tabell 48 jämförs medelvärdena för humushalterna i Karleby-Jakobstadsregionen med Geologiska forskningscentralen GTK:s resultat från huvudstadsregionen och med hela Finland.

Halterna av arsenik, kadmium, kobolt, koppar, kvicksilver och zink var i Karleby-Jakobstadsregionen i snitt högre än halterna i kranskommunerna i huvudstadsregionen eller i materialet för hela Finland. Krom-, järn-, bly- och vanadinhalterna låg på samma nivå eller var något högre än halterna i de övriga materialen. Med undantag av svavelhalten var näringshalterna lägre än halterna i kranskommunerna i huvudstadsregionen eller i materialet för hela Finland.

Tabell 48. Humusens grundämneshalter och pH i Karleby-Jakobstadsregionen och i kranskommunerna i huvudstadsregionen 2004–2005 (Tarvainen m.fl. 2006) och i hela Finland (Salminen m.fl. 2003).

	Hela området	Huvudstadsregionen 2004–2005	Hela Finland
Al mg/kg	3825	4056	1960
As mg/kg	14,6	2,12	1,3
B mg/kg	2,6	4,51	5
Ca mg/kg	1779	4264	2610
Cd mg/kg	2,03	0,4	0,32
Co mg/kg	83	2,11	1,1
Cr mg/kg	4,4	8,5	3,9
Cu mg/kg	68	10	7,9
Fe mg/kg	5076	5336	2250
Hg mg/kg	2,24	0,2	0,18
K mg/kg	537	1118	927
Mg mg/kg	319	1112	531
Mn mg/kg	134	425	187
Na mg/kg	36	100	50
Ni mg/kg	29,7	7,45	4,6
P mg/kg	615	878	742
Pb mg/kg	33	55	31
S mg/kg	1320	1518	1230
V mg/kg	19,5	15,9	6,9
Zn mg/kg	313	68,4	40,5
pH	4,0	3,5	

7. Slutsatser

Luftkvaliteten i Karlebyregionen har följts upp med hjälp av bioindikatorer sedan 1970-talet, och i Jakobstadsregionen sedan början av 2000-talet. Som bioindikatorer för luftkvaliteten användes tallens stamlavar samt grundämneshalterna och de kemiska egenskaperna hos tallbarr, mossor och humus. År 2012 genomfördes bioindikatoruppföljningen för första gången som en gemensam uppföljning för regionerna. 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 pälsfarmningen luftförorenande utsläpp. Luftföroreningsutsläppen från den lokala industrin och de luftburna föroreningarna har i synnerhet i jämförelse med 1970- och 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 inom 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 bildades främst vid industrin och energiproduktionen i Karleby och Jakobstad. Av utsläpp av kväveoxider och partiklar uppstod den största delen i Jakobstad, och av metallutsläppen i 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, men som helhet har den förblivit på samma nivå från mitten av 1990-talet till år 2011. Industrins andel av kväveoxidutsläppen har ökat. Det har skett en tydlig minskning av partikelutsläppen i området efter år 2001. Metallutsläppen har minskat från 1990-talet till ingången 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 på områden som belastas kraftigare. På områden med diffus belastning var inverkningarna lindriga. Av de undersökta variablerna, demonstrerade lavvariablerna luftföroreningarnas samverkan. Grundämneshalterna i barren, mossor och humusen demonstrerade till en del inverkan av luftföroreningar, till en del naturliga faktorer, för det mesta jordens egenskaper och skogarnas näringstillstånd. Aktiviteter som orsakar belastningen av luftföroreningar var förknippad med variablernas regionala variation, och förändringar i utsläppsmängden syntes i variablernas variation mellan olika forskningsår. Dock kan naturliga faktorer, såsom nederbörd, påverka resultaten genom att endera buffra dem eller förstärka dem, varvid responsen hos bioindikatorarterna inte entydigt följer förändringarna i t.ex. utsläppsmängden.

I genomsnitt kunde *lavfloran* på 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 på en zon som sträckte sig från Jakobstad genom Pedersöres norra delar till Nykarleby. De för lavflorans del mest naturliga områdena fanns i Karleby nära kusten på Öjaområdet, på före detta Kelviå kommuns område, i Kronoby-Pedersöres gränstrakter och på de områden av Kaustby som tidigare hörde till Ullava. Då undersökningsområdet jämförs med andra undersökningar utförda i Finland, är lavarnas egenskaper sämre på grund av den intensiva mänskliga verksamheten med undantag av Åboregionen, där undersökningsområdets storlek och intensiviteten på mänsklig verksamhet motsvarar Karleby-Jakobstadsregionen.

I Karleby uppstår belastningen från industrin i Yxpila, vars effekter på lavfloran dock inte just alls sträcker sig längre än till centrumområdet i Karleby. Det fanns bara en yta med total lavöken i Yxpila. 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 sprider sig till ett bredare område, varpå även effekterna blir proportionellt lindrigare. Dessutom dominerar de sydliga vindarna på 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. Även i närheten av stora industrianläggningar och avloppsreningsverk var floran mer utarmad och skadad än på andra ställen. Utsläppen av VOC-föreningar och torvproduktionsområdena hade ingen inverkan på lavarnas skick. På områdets belastningsnivå kunde effekterna på lavfloran av olika mindre industrianläggningar och -områden samt av övriga djurstall inte med tillgängligt material bevisas statistiskt.

Utsläppstoppen år 2003 för svaveldioxid och till viss del för kväveoxider kan observeras i lavfloran, som fick de sämsta värdena år 2006 av alla år som jämfördes. 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. År 2012 var lavarnas egenskaper huvudsakligen bättre än år 2006, men sämre än år 2002. De regionala skadezonerna täcker ungefär samma områden under olika år, dock på så vis, att blåslavens skador har ökat på Nykarleby-Pedersöres område, och zonen av en mera utarmad lavflora som sträcker sig från Nykarleby ut mot Karlebys kustområde, har blivit tydligare. Å andra sidan är lavfloran i Kronoby och i Karlebys södra delar nästan i naturtillstånd.

Barrens 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 2011, 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 på Yxpilaområdet syns tungmetallbelastningen i halterna i markens humusskikt, mossa och barren, som var kraftigt förhöjda, såsom också i tidigare undersökningar. Bottenskiktets mossor saknades helt på mera kraftigt belastade områden, och tungmetallbelastningen ser ut att ha minskat näringshalten i humusskiktet. 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. Vid jämförande av hela områdets medeltal med medeltalet från undersökningar utförda i andra delar av Finland, var järnhalterna i barren betydligt högre än i jämförelsematerialet och på övriga områden i Finland, hos mossorna var dock bly- och zinkhalterna högre. 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 av undersökningsytor; ett stort antal av provytor sänker medelvärdet hos barren och mossan, medans provytorna för 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. I humusens grundämneshalter har det inte skett statistiskt signifikanta förändringar. Grundämneshalterna i mossorna och barren hade ökat för vissa tungmetaller, och minskat för andra. I Karleby hade zinkhalterna i mossorna ökat, men minskat i barren, medan kadmiumhalterna i mossorna hade minskat och ökat i barren. 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. Vid provytorna närmast Karleby har metallhalternas dispersion på provytorna för humus ökat hos flera metaller jämfört med resultaten från 1990-talet, men halterna har dock huvudsakligen minskat på ytorna jämfört med år 2006 med undantag för en provyta, som ligger i närheten av kusten i den norra delen av Yxpila. Metallhalterna som uppmättes ur mossorna har huvudsakligen minskat jämfört med nivån på 1990-talet.

Inverkan från människans verksamhet kunde tydligt observeras i bioindikatorarterna som undersöktes i Karleby-Jakobstadsregionen. Lavflorans kondition och diversitet försämrades av områdets industriverksamhet, energiproduktion och primärproduktion, främst pälsproduktion; därtill observerades lokala inverkningar bl.a. i avloppsbehandlingsanläggningarnas närmiljö. Intensiviteten av inverkan är klart beroende av utsläppshöjden: utsläpp som sprids från höga skorstenar späds kraftigt ut i luften och förorsakar inte en lika kraftig punktbelastning på ett visst område, som verksamheter med en låg utsläppshöjd, såsom pälsproduktion och avloppsbehandlingsanläggningar. Lavbestånden var i genomsnitt en aning bättre än under den föregående undersökningsomgången år 2006 och tallbarrens svavelhalt var lägre. Mossan metallhalter hade minskat jämfört med nivån under 1990-talet, men på provytorna närmast Yxpila hade metallhalterna som uppmättes i humus ökat på en del provytor jämfört med nivån på 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 halterna av grundämnen på dessa, ligger på samma nivå som hos bakgrundsområden i naturtillstånd.

Litteratur

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 Sjöström, J. (1996). Berg och jord. I boken Raitio, H. (red.) Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen. Kvarkenrådet, Jyväskylä.

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

Södra Österbottens ELY-central 2012. Liikennemääräkartta 1.1.2012. Pohjanmaa, Eteläpohjanmaa ja Keski-Pohjanmaa. Tillgänglig på: http://www.liikennevirasto.fi >Aineistopalvelut > Tilastot > Tietilastot > Liikennemääräkartat.

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

Geologian tutkimuskeskus. 1999. Suomen kallioperä 1:5 000 000.

Geologian tutkimuskeskus. 2007. Geokartta-palvelu. http://geokartta.gtk.fi

Haahla, A. Polojärvi, K., Niskanen, I., Laita, M. & Ellonen, T. 2006a. Keski-Suomen maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2005-2006. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 162. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. 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. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.

Huuskonen, I., Lehkonen, E., Keskitalo, T. & Laita, M. 2010. Uppföljning av bioindikatorer för luftkvalitetet i Nyland och Östra Nyland året 2009 Närings-, trafik- och miljöcentralen i Nylands publikationer 4/2010. Helsingfors, 184 s.

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

Jussila, I. (1997). Porin-Harjavallan ja Pohjois-Satakunnan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 1996-1997. Åbo universitet, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus, Pori. Sykesarja B 12. ISBN 951-29-1075-6.

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

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

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

Mellersta Österbottens förbund. 2008. Keski-Pohjanmaan aluerakenne 2030. 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, R. 2013. Skriftligt meddelande. Karleby stad.

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

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.

Laita, M., Huuskonen I., Keskitalo, T. och Lehkonen, E. 2008a. Bioindikatoruppföljning av luftkvaliteten i Karlebynejden åren 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 169. Jyväskylä universitet.

Laita, M., Huuskonen I., Keskitalo, T. och Lehkonen, E. 2008b. Bioindikatoruppföljning av luftkvaliteten i Jakobstadsnejden åren 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 167. Jyväskylä universitet.

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

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008c. Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 165. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008d. Bioindikatoruppföljning av luftkvaliteten i Sydösterbotten åren 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 166. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008d. Bioindikatoruppföljning av luftkvaliteten i Vasaregionen åren 2006-2007. Miljöforskningsinstitutets meddelanden 168. Miljöforskningsinstitutet vid Jyväskylä universitet.

Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehkonen, E., & Ellonen, T. 2008e. Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 164. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.

Landolt, W., Guecheca, M. och Bucher, J.B. 1989. The spatial distribution of different elements in and on the 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., Nevalainen, S., Poikolainen, J. & Laita, M. 2011. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun biondikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.

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

Lindroos, A-J. och Derome, J. 1998. Laskeuma ja sen vaikutus metsämaahan. I boken Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkelä, H. och 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.

Lyyränen, J., Olhström, M., Moilanen, A. och Jokiniemi, J. 2004. Selvitys raskasmetallipäästöistä Suomen energiantuotannossa. VTT, tutkimusselostus. 81 s. + liitteet 4 s.

Majuri, P. 2010. Talvivaaran alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2009. Pöyry Environment Oy.

Melanen, M., Ekqvist, M., Mukherjee, A.B., Aunela-Tapola, L., Verta, M. och Salmikangas, T. 1999. Utsläpp i luft av tungmetaller i Finland pa˚1990-talet. Finlands miljö 329. Finlands miljöcentral.

Merilä, P. 2007. Needle chemistry on the intensive monitoring plots 1995-2003. I boken Merilä, P., Kilponen, T. och 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. och 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.

Naumov, A.V. och Naumova, M.A. 2010. Modern State of the Lithium Market. Russian Journal of Non-Ferrous Metals 51:324–330.

Nieminen, T., Raitio, H. och 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 vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11. ISSN 0357-5454.
Niskanen, I., Veijola, H. & Ellonen, T. 1996. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1996. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 17.
Niskanen, I., Ellonen, T., och 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 vuonna 2002. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 156.
Partanen, P. och Veijola, H. 1996. Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. YTV, Helsinki. 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.
Poikonen, J. 2004. Mosses, epiphytic lichens and tree bark as biomonitors for air pollutants - specifically for heavy metals in regional surveys. University of Oulu, The Finnish Forest Research Institute. Oulu University Press.
Österbottens förbund. 2006. Regionstrukturplan för Jakobstadsregionen 2030 Basutredning. Vasa.
Polojärvi, K., Niskanen. I., Haahla, A. & Ellonen, T. 2005. Mittaustarkkuus mäntyjen runkojäkälistön ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioiden havainnoinnissa. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 89/2005.
Pyykkönen, P. och Huovari, J. 2012. Skatteintäkter genererade av pälsnäringen. PTT rapporter 238. Pellervo ekonomisk forskning PTT, Helsingfors.
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., och Kärkkäinen, K. 2002. Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Pietarsaaren-Uudenkaarlepyyn alueella vuonna 2000. Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema.
Raitio, H. och 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.
Ranta, E., Rita, H. och Kouki, J. 1989. Biometria. Helsinki, Yliopistopaino, 569 s. ISBN 951-570-032-9.
Rautjärvi, H. och 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. Helsinki.
Reinikainen, A., Veijalainen, H. och Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset - metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688.
Reinikainen, J. 2007. Bestämningsgrunder för markens tröskel- och riktvärden. Finlands miljö 23/2007. Finlands miljöcentral, Helsingfors.
Rühling, Å. och Tyler, G. 2004. Changes in the atmospheric deposition of minor and rare elements between 1975 and 2000 in South Sweden, as measured by moss analysis. Environmental Pollution 131: 417-423.
Saari, H., Pesonen, R. och Alaviippola Birgitta. 2012. Heinolan ilmanlaadun tarkkailu. Mittaustulokset vuodelta 2011. Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun asiantuntijapalvelut 2012. Helsinki.
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. I verket 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.
Finlands miljöcentral. 2012.Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. www.ymparisto.fi/paastotilmaan

Finlands miljöcentral. 2012. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. 27.4.2012. www.ymparisto.fi/paastotilmaan

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. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 163.

Ulrich, B. 1991. Deposition of acid and metal compounds. I verket Merian, E. (red.) Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance. VHC.

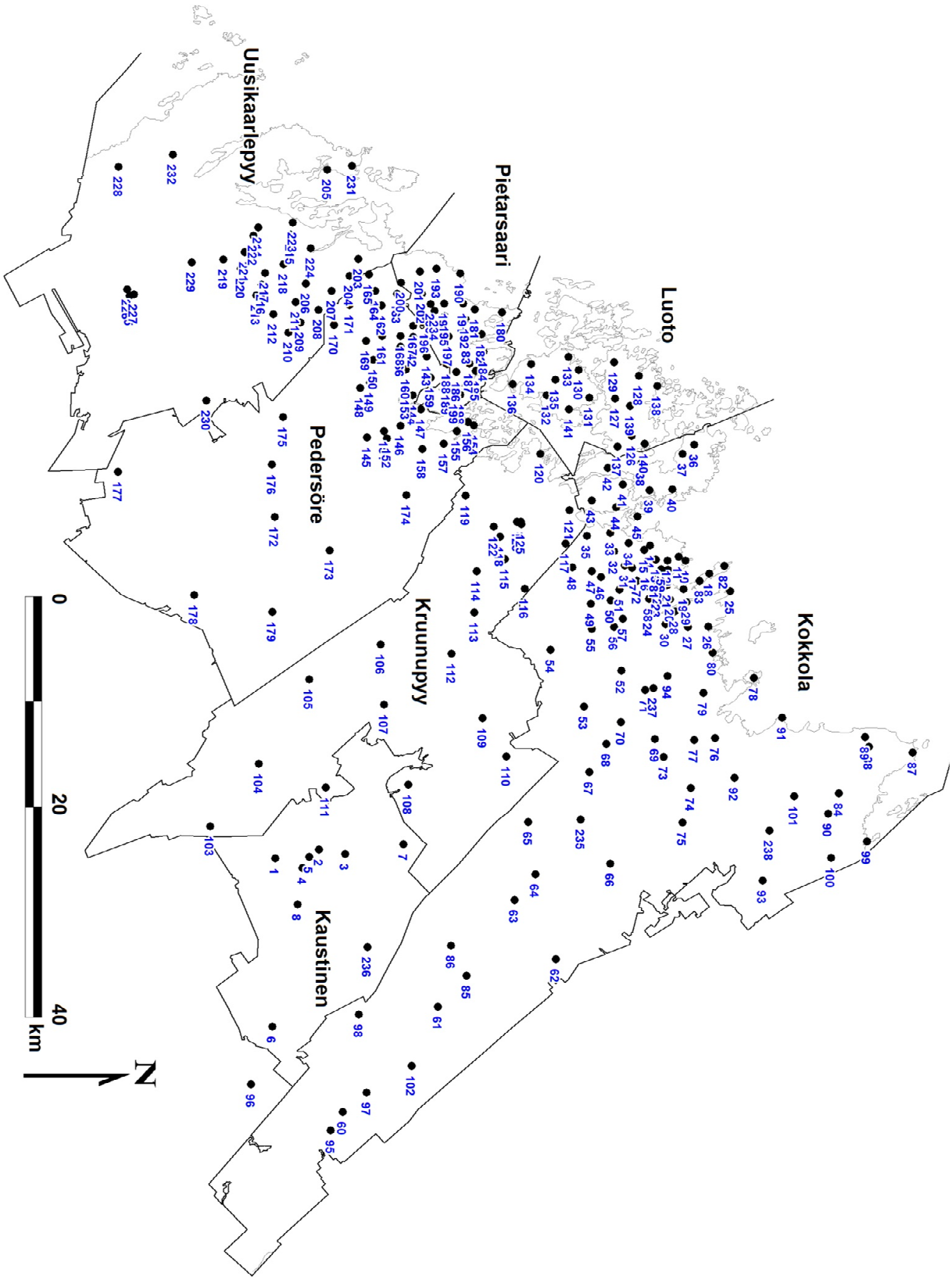
Veijola, H. och Niskanen, I. 1996. Sammaleesta ja humuksesta tutkittavien muuttujien mittaustarkkuuden arviointi. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki. Muistio 1/1998.

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

Värri, E. 2007. Raskasmetallikuormitus Kotkan Energia Oy:n tulevan hyötyvoimalan ympäristössä vuonna 2006 sammalpallomenetelmällä arvioituna. Kotkan ympäristökeskus. Kotkan ympäristökeskus. Lokakuu 2007, 43 s. + liitteet.

Äyräs, M., Niskavaara, H., Bogatyrev, I., Chekuskin, V., Pavlov, V., de Caritat, P., Halleraker, J.H., Finne, T.E., Kashulina, G. och 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.

Bilaga 1. Numrering av provytor.



ISSN 0781-8793
ISBN 978-951-39-5137-5 (uttryckt)
ISBN 978-951-39-5138-2 (webpublikation)

AMBIOTICA

Muuttuvan ympäristömme asiantuntija