



**Nr C 204**  
Augusti 2016

## Metaller i mossa 2015

Helena Danielsson och Gunilla Pihl Karlsson



I samarbete med Riksskogstaxeringen vid Sveriges  
Lantbruksuniversitet samt Naturhistoriska Riksmuseet

**Författare** Helena Danielsson (IVL) och Gunilla Pihl Karlsson (IVL)

**Medel från** Naturvårdsverket

**Fotograf** Gunilla Pihl Karlsson

**Rapportnummer** C 204

**ISBN** 978-91-88319-07-4

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

**© IVL Svenska Miljöinstitutet 2016**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem



## Förord

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet AB utfört mätningar av koncentrationer av metaller i mossa insamlade över hela Sverige under 2015. Idén att storskaligt använda mossor som bioindikator för mätningar av metaller utvecklades i Sverige under 1970-talet (Rühling och Skärby, 1979). De nationella mossundersökningarna startade i Sverige 1975 och har genomförts vart 5:e år sedan dess. Sedan 1990 bedrivs motsvarande studier inom det europeiska samarbetet inom Luftkonventionen (ICP Vegetation). Metoden med att använda mossor som bioindikator för metaller ger en god bild av nedfallet över Sverige och andra länder.

I 2015 års uppdrag har Riksskogstaxeringen vid Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, (provtagning) samt Naturhistoriska Riksmuseet (provberedning) medverkat som underkonsulter.

## Innehållsförteckning

1.	Syfte.....	11
2.	Bakgrund .....	11
3.	Metaller i mossa - internationellt deltagande inom ICP Vegetation .....	12
4.	Metodbeskrivning .....	13
4.1	Provtagning .....	13
4.2	Provhantering .....	14
4.3	Metallanalyser .....	15
4.4	Statistisk datahantering.....	15
4.4.1	Variansanalys.....	15
4.4.2	Mann-Kendall .....	15
4.4.3	Signifikansnivåer.....	16
4.5	Provpunkter och regionindelning.....	16
5.	Resultat.....	17
5.1	Arsenik (As).....	18
5.1.1	2015.....	18
5.1.2	Jämförelse mot tidigare år .....	20
5.2	Bly (Pb).....	24
5.2.1	2015.....	24
5.2.2	Jämförelse mot tidigare år .....	26
5.3	Järn (Fe) .....	30
5.3.1	2015.....	30
5.3.2	Jämförelse mot tidigare år .....	32
5.4	Kadmium (Cd).....	35
5.4.1	2015.....	35
5.4.2	Jämförelse mot tidigare år .....	37
5.5	Koppar (Cu).....	41
5.5.1	2015.....	41
5.5.2	Jämförelse mot tidigare år .....	43
5.6	Krom (Cr) .....	47
5.6.1	2015.....	47
5.6.2	Jämförelse mot tidigare år .....	49
5.7	Kvicksilver (Hg) .....	53
5.7.1	2015.....	53
5.7.2	Jämförelse mot tidigare år .....	55
5.8	Nickel (Ni) .....	58

5.8.1	2015.....	58
5.8.2	Jämförelse mot tidigare år .....	60
5.9	Vanadin (V).....	64
5.9.1	2015.....	64
5.9.2	Jämförelse mot tidigare år .....	66
5.10	Zink (Zn).....	69
5.10.1	2015.....	69
5.10.2	Jämförelse mot tidigare år .....	71
5.11	Aluminium .....	75
5.11.1	2015.....	75
5.11.2	Jämförelse mot tidigare år .....	77
5.12	Kobolt .....	79
5.12.1	2015.....	79
5.12.2	Jämförelse mot tidigare år .....	81
5.13	Mangan.....	83
5.13.1	2015.....	83
5.13.2	Jämförelse mot tidigare år .....	85
5.14	Molybden .....	87
5.14.1	2015.....	87
5.14.2	Jämförelse mot tidigare år .....	89
6.	Diskussion och slutsatser .....	91
7.	Nytt 2015 och på gång 2016 .....	92
7.1	POPs i mossa.....	92
7.2	Samband mellan koncentration i mossa och deposition.....	93
7.3	Lokala och regionala förtätningar.....	93
8.	Referenser .....	93
Bilaga I. Medelvärden och Standard Error för samtliga metaller och regioner, 2015 .....		98
Bilaga II. Antal analyserade mossprover per region, år och metall, 1975-2015 .....		99
Bilaga III. Trendanalys för samtliga metaller, regioner och perioder.....		101
Bilaga IV. Medelvärden av metallkoncentrationer i biotaprover.....		107
Bilaga V. Emissioner av metaller i Sverige och i Europa.....		108
Bilaga VI. Beskrivning av trendanalys med Mann-Kendall -metodik .....		112

# Sammanfattning

Inom ramen för den nationella miljöövervakningen, Programområde Luft, vid Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet AB utfört mätningar av koncentrationer av metaller i mossor insamlade över hela Sverige under 2015.

Resultaten från 2015 års undersökning visar att metoden att använda mossor för att mäta belastning av olika metaller i Sverige har, för merparten av metallerna, fortsatt fungerat mycket väl. Då mossor nästan uteslutande tar upp metaller från luften ger metoden en god bild av nedfallet. Lokala skillnader kan spåras och ge information om såväl lokala utsläppskällor som långväga utsläpp. Ett undantag är mangan (Mn) där koncentrationerna i mossan sannolikt inte avspeglar atmosfärisk deposition. Av de mossprover som insamlats inom den nationella undersökningen 2015 har 611 prover analyserats med avseende på koncentrationer av arsenik (As), bly (Pb), järn (Fe), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), vanadin (V), zink (Zn), aluminium (Al), kobolt (Co), mangan (Mn) och molybden (Mo).

## Resultat 2015

En generell syd-nordlig gradient kan ses för de flesta av de analyserade metallerna, med de högsta koncentrationerna i södra och sydvästra Sverige. Koncentrationen av arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, zink och kobolt var lägre i prover från fjälltrakterna och från norra Sveriges inland jämfört med norra Sveriges kustland och övriga delar av landet. Lokalt förhöjda metallkoncentrationer, på grund av emissioner från lokala utsläppskällor, bryter dock ibland detta generella mönster. Exempel på detta är något förhöjda koncentrationer av arsenik, bly, kadmium och koppar i Västerbottens läns kusttrakter, förhöjd koncentration av krom i Norrbottens läns kusttrakter nära Finland samt något förhöjda koncentrationer av järn och vanadin i malmfälten i Norrbottens län.

I Jämtlands län insamlades under 2015 ett mossprov med förhöjda koncentrationer av de flesta analyserade metallerna. Någon förklaring till de förhöjda koncentrationerna i detta mossprov har ännu inte hittats.

## Jämförelse mot tidigare år

För bly, kadmium, kvicksilver, nickel, vanadin, aluminium och kobolt visade variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige var lägre 2015 jämfört med 2010. För arsenik, koppar och krom visade variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige 2015 var högre jämfört med 2010. Att medelkoncentrationen av arsenik var högre 2015 jämfört med 2010 kan troligen förklaras med att rapporteringsgränsen för arsenik var betydligt högre 2010 jämfört med 2015. För järn, zink och molybden fanns ingen signifikant förändring av medelkoncentrationen i mossor för Sverige som helhet vid 2015 års undersökning jämfört med 2010.

## Trendanalys

De metaller som har ingått i trendanalyserna var arsenik, bly, järn, kadmium, koppar, krom, nickel, vanadin och zink. De tidsperioder som studerats var 1975-2015, 1990-2015 samt 2000-2015. För arsenik och järn skilde sig studerade tidsperioder från ovan nämnda, eftersom dessa metaller inte analyserats vid samtliga provtagningstillfällen.

Under de senaste 40 åren, mellan 1975 och 2015, har metallkoncentrationen i mossor i Sverige minskat signifikant för samtliga metaller som ingått i trendanalysen. Den största minskningen har noterats för bly följt av vanadin, krom, nickel, arsenik, kadmium, koppar och zink. Den enda metall för vilken ingen signifikant minskning kunde ses för den senaste 40-årsperioden var för krom i mossprover insamlade i norra Sveriges kustland. För samtliga övriga regionala områden och för alla övriga metaller fanns en statistiskt signifikant minskning under tidsperioden.

Koncentrationer av järn i mossa analyserades för första gången 1985. Under de senaste 30 åren minskade koncentrationen av järn i mossa för Sverige som helhet och för samtliga enskilda regionala områden.

För Sverige som helhet har metallkoncentrationen i mossa inte minskat i samma utsträckning under den senaste 25-årsperioden (1990-2015) som för perioden 1975-2015. Endast bly, kadmium, nickel och vanadin visade på en statistiskt signifikant minskning som medelvärde Sverige som helhet under perioden 1990-2015. För övriga metaller fanns det i några fall statistiskt signifikant minskande metallkoncentrationer för vissa regioner. Koncentrationen av järn i norra Sveriges kustland, koncentrationen av arsenik i fjälltrakterna samt koncentrationen av krom i fjälltrakterna och norra Sveriges inland har minskat sedan 1990. För alla övriga metaller i de olika regionerna fanns ingen statistisk signifikant minskning mellan 1990 och 2015.

Under de senaste 15 åren (2000-2015) har det inte skett någon statistiskt signifikant förändring avseende koncentrationen i mossa för någon av de undersökta metallerna i någon region eller för Sverige som helhet.



## Summary

Within the Swedish Environmental Protection Agency's environmental monitoring program, "Programområde Luft", IVL Swedish Environmental Research Institute has conducted measurements of concentrations of metals in mosses collected throughout Sweden in 2015.

The results from the 2015 survey showed that the method of using mosses for measuring the load of different metals in Sweden have, for most metals, worked very well. Since the mosses almost exclusively take up the metals from the air, the method gives a good picture of the deposition. An exception was manganese (Mn), where the concentration in the moss samples not reflected the atmospheric deposition. Of the moss samples collected in the national survey in 2015, 611 samples was analyzed for the concentrations of arsenic (As), lead (Pb), iron (Fe), cadmium (Cd), copper (Cu), chromium (Cr), mercury (Hg), nickel (Ni), vanadium (V), zinc (Zn), aluminum (Al), cobalt (Co), manganese (Mn), and molybdenum (Mo).

## Results 2015

A general south-north gradient was seen for most of the analyzed metals, with the highest concentrations in southern and southwestern parts of Sweden. The concentration of arsenic, lead, cadmium, copper, chromium, mercury, zinc, and cobalt was lower in samples from the inland and mountain area in northern Sweden compared to the coastal area in northern Sweden as well as to other parts of the country. Locally elevated metal concentrations, due to emissions from local sources, interrupted however sometimes this general pattern. Examples are somewhat elevated concentrations of arsenic, lead, cadmium and copper in the coastal areas of the county of Västerbotten, elevated concentration of chromium in the coastal areas close to Finland in the county of Norrbotten and slightly elevated concentrations of iron and vanadium in the ore fields of Norrbotten.

In the county of Jämtland one moss sample collected in 2015 showed elevated concentrations of most of the analyzed metals. No explanation for the elevated concentrations in the moss samples has yet been found.

## Comparison with previous years

For lead, cadmium, mercury, nickel, vanadium, aluminum and cobalt the variance analysis showed that the average concentrations in mosses for the whole of Sweden were lower in 2015 compared to 2010. For arsenic, copper and chromium the variance analysis showed that the average concentrations in mosses for the whole of Sweden were higher in 2015 compared with the 2010 survey. The reason for the higher arsenic concentration in 2015 compared to 2010 could probably be explained by the fact that the limit of quantification for arsenic was higher in 2010 compared to 2015. For iron, zinc and molybdenum no significant change were found for the average concentrations in the 2015 survey compared to 2010.

## Trend analysis

The metals included in the trend analyzes are arsenic, lead, iron, cadmium, copper, chromium, nickel, vanadium and zinc. The time periods studied were 1975-2015, 1990-2015 and 2000-2015. For arsenic and iron the studied periods differs from the ones mentioned above. This was because these metals were not analyzed at all sampling occasions.

During the last 40 years, between 1975 and 2015, the metal concentration in mosses in Sweden decreased significantly for all the metals in the trend analyze. The largest reduction of metal concentrations was found for lead followed by vanadium, chromium, nickel, arsenic, cadmium, copper and zinc. The only metal, for which no significant decrease in concentration could be seen for the last 40-year period, was for chromium in moss samples collected in the northern coastal area of Sweden. For all other regional areas and for all other metals, statistically significant reductions were observed for the time period.

The concentration of iron in mosses was analyzed for the first time in 1985 and for the past 30 years, the concentration of iron in moss samples has declined throughout Sweden. The iron concentration has also decreased in all individual regional areas during the period.

The metal concentrations in mosses for Sweden as a whole, have not declined to the same extent in the recent 25-year period (1990-2015) compared to the period 1975-2015. Only lead, cadmium, nickel and vanadium showed, for the period 1990-2015, statistically significant reductions in the average metal concentrations. For other metals there were in some cases statistically significant decreasing metal concentrations in certain regions. The concentration of iron in the coastline of northern Sweden, the concentration of arsenic in the mountain regions and the concentrations of chromium in the inland and mountain regions in northern Sweden have decreased since 1990. For all other areas and metals there were no statistically significant decrease between 1990 and 2015.

During the last 15 years (2000-2015), there has been no statistically significant change in respect of the concentration in mosses for any of the investigated metals in any region or for Sweden as a whole.

# 1. Syfte

Syftet med metallmätningarna i mossor är bl.a. att:

- följa upp och utvärdera tillståndet i miljön av tungmetaller över Sverige;
- kvalitativt och kvantitativt karakterisera det regionala bakgrundsnedfallet av metaller;
- påvisa mer betydande föroreningskällor och den geografiska utsträckningen av de påverkade områdena;
- följa upp tidigare nedfallsmätningar och följa förändringar över tiden genom trendberäkningar;
- presentera mätningarna på ett lättillgängligt sätt i form av illustrativa kartor;
- följa upp resultatet av emissionsbegränsande åtgärder;
- delta i och rapportera till det europeiska samarbetet inom Luftkonventionen (ICP Vegetation).

Undersökningen 2015 har, liksom tidigare års undersökningar, finansierats av Naturvårdsverket.

# 2. Bakgrund

Redan under slutet av 1960-talet utvecklades i Sverige en ny och enkel metod att mäta belastningen av tungmetaller i miljön. Metoden är baserad på användning av mattbildande mossor som indikatorer för tungmetaller beroende på denna växtgrupps speciella egenskap att nästan uteslutande få sin näring från atmosfären (Rühling & Tyler, 1968; Tyler, 1971). De täta mattor som väggmossa (*Pleurozium schreberi*), husmossa (*Hylocomium splendens*) och andra mattbildande mossor formar visade sig vara effektiva "fällor" för metaller i luftburna partiklar och i nederbörd.

Undersökningar baserade på metoden har i Sverige utförts vart femte år sedan 1975, och sedan 1990 har motsvarande studier genomförts i många andra europeiska länder, också med fem års intervall. Det europeiska arbetet bedrivs inom ICP vegetationen enligt konventionen om långväga gränsöverskridande luftföroreningar (CLRTAP).

Metoden med att använda mattbildande mossor som bioindikator för metaller ger en god bild av trender för nedfallet över Sverige och över andra länder. Lokala skillnader kan också spåras och ge information om såväl lokala utsläppskällor som långväga transporterade utsläpp. Mätningar av metaller i mossor används i många länder i Europa för att följa upp nationella miljömål och det europeiska CLRTAP-avtalet om minskade utsläpp av metaller. Även om tungmetallkoncentrationen i mossor inte ger någon absolut kvantitativ mätning av metalldepositionen finns studier som med hjälp av regressionsmodeller försöker uppskatta deposition av tungmetaller från metallkoncentrationer i mossprover (Berg och Steinnes, 1997; Berg m. fl., 2003).

Liksom tidigare år är 2015 års svenska provtagning av metaller i mossor en viktig del av den övergripande europeiska undersökningen inom Luftkonventionens ICP Vegetation och de svenska resultaten kommer även att rapporteras tillsammans med övriga europeiska deltagarländers resultat.

Flertalet metaller ingår i livsnödvändiga funktioner för levande varelser, men trots detta är många metaller skadliga för växter, djur och människor om de uppträder i alltför höga koncentrationer. Flera av metallerna kan lagras i levande vävnad och bli kvar där under mycket lång tid. Emissioner av metaller till luft härrör ofta från mänsklig aktivitet som till exempel metallurgisk industri, sjöfart, väg- och järnvägstrafik samt förbränning av fossila bränslen och avfall. Metallerna arsenik, bly, kadmium, koppar, krom och zink förekommer som sulfider i kol och anrikas vid förbränning i flygaska. Flygaskan kan, om rening saknas, spridas över stora avstånd. Nickel är förknippad med förbränning av olja, men förekommer också i kol. Kolförbränning är troligtvis den största källan till metaller i atmosfären (Bradl, 2005).

### 3. Metaller i mossor - internationellt deltagande inom ICP Vegetation

Som tidigare nämnts startade de svenska nationella metallmätningarna med mossor i mitten av 1970-talet (Rühling & Skärby, 1979). På 1980-talet startade ett nordiskt nätverk för att mäta tungmetallbelastning med mattbildande mossor. Sverige initierade även de första mätningarna på europeisk skala vilken utfördes 1990/91. Mätningarna har fortsatt med fem års intervall med ett ökande antal medlemsländer (Buse m. fl., 2003; Rühling, 1994; Rühling och Steinnes, 1998). Under 2001 övergick ansvaret att koordinera mossundersökningarna från Nordiska ministerrådet (NMR) till ICP Vegetation. ICP Vegetation rapporterar till Working Group of Effects (WGE) inom Luftkonventionen "Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLTRAP)". Vid mossundersökningarna 2010/11 deltog 25 länder.

Resultaten från de europeiska undersökningarna av metallkoncentrationer i mossor används för att ge uppföljningsunderlag till Århusprotokollet för metaller från 1998. De metaller som mäts internationellt är: aluminium, arsenik, kadmium, krom, koppar, järn, bly, kvicksilver, nickel, vanadin, antimon och zink. Mossor kan användas effektivt och billigt för att övervaka utvecklingen av metallbelastningen. De huvudsakliga målen med mossundersökningarna inom ICP Vegetation är att identifiera förorenade områden, producera europakartor som visar variationen av metallbelastningen över Europa och att öka kunskapen om långväga transport av luftföroreningar av metaller.

Mellan 1990 och 2010 minskade metallkoncentrationen i mossor i Europa för majoriteten av undersökta metaller. Mest minskade metallkoncentrationerna i mossor för bly (77 %) följt av vanadin (55 %), kadmium (51 %), krom (43 %), zink (34 %), nickel (33 %), järn (27 %), arsenik (21 %, sedan 1995), kvicksilver (14 %, sedan 1995) och koppar (11 %). Utöver dessa allmänna europeiska trender, observerades land- och regionspecifika tidsmässiga trender, inklusive ökning av metallkoncentrationer. (Harmens m. fl., 2015).

Tidsmässiga trender för koncentration av kadmium, bly och kvicksilver i mossor stämmer väl överens med de trender som ses för emissioner och deposition (mätta eller modellerade) (Ilyin m.fl. 2014; Travnikov m.fl., 2012).

I allmänhet observerades de lägsta koncentrationerna i norra Europa och de högsta koncentrationerna i sydöstra Europa vilket gav en tydlig gradient över Europa från nordväst mot sydöst. (Harmens m. fl. 2013; 2015). Det fanns dock högre koncentrationer av tungmetaller i mossor i närheten av lokala källor. Förutom den generella minskningen i Europa av olika tungmetaller fanns även lands- och regionspecifika trender för olika metaller (Harmens m. fl. 2013; 2015).

Trots framgången med införandet av olika reningstekniker i stora delar av Europa behövs ytterligare åtgärder i (syd-)östra Europa för att minska de relativt höga emissionerna av tungmetaller som fortfarande förekommer där (Harmens m. fl. 2013; 2015).

Framtida möjligheter för ICP Vegetations mossundersökningar är bland annat att närmare analysera den rumsliga variationen av metallkoncentrationer i mossor över Europa. Detta till exempel för att identifiera vilken roll användning av olika mossarter, analystekniker och provtagning vid olika väderleksförhållanden spelar för den samlade europeiska analysen. En annan viktig möjlighet för framtiden kan vara att fastställa hur resultaten av mossundersökningarna kan användas i bedömningen av effekter av metaller på ekosystem och senare identifiering av ekosystem som riskerar påverkas negativt av metallföroreningar. Detta kan ge värdefull information till konventionsarbetet inom CLRTAP. Eftersom ekosystem och människors hälsa i Europa även framöver antas utsättas för negativa effekter av metaller är det viktigt att mossundersökningarna fortsätter att övervaka trender. (Harmens m. fl., 2008)

## 4. Metodbeskrivning

För att möjliggöra jämförelser mellan olika länders mossundersökningar inom Luftkonventionen (CLRTAP) har den internationella manualen för provtagning, provhantering och analys följts.

### 4.1 Provtagning

Insamling av mossprover 2015 har till övervägande del skötts av Riksskogstaxeringen inom Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). 22 kompletterande prover i Sydsverige har insamlats av annan personal. För provtagning har följande varit styrande:

- provtagningsytan skall ligga minst 300 m från riks- eller länsväg och samlad bebyggelse (tre eller flera hus för permanent boende med tomterna gränsande mot varandra);
- provtagningsytan skall ligga minst 100 m från annan regelbundet trafikerad väg och hus för permanent boende;

- i första hand insamlas väggmossa (*Pleurozium schreberi*), i andra hand husmossa (*Hylocomium splendens*). Provet skall bestå av antingen enbart väggmossa eller enbart husmossa;
- vid provtagning tas delprov från fem till tio punkter. Punkterna skall ha ett inbördes avstånd av fem till tio meter. Finns inte fem provpunkter inom ytan får provet tas från färre punkter, dock minst tre;
- proverna tas i normalt slutet skog (undvik under eller i kanten av täta grankronor)
- mängden mossa skall totalt vara ca två liter;
- plasthandskar skall användas vid provtagning;
- rökning är inte tillåten under provinsamlingen eller vid annan hantering av mossproverna;
- provet märks med mossart, antal delprover, provtagningsdatum, provtagare, koordinater, topografi (sluttning eller plan mark);

Proverna har skickats in från provtagarna minst en gång per vecka och har från provtagningsstillfället till insändning förvarats svalt.

Provtagningen påbörjades i april och avslutades i oktober 2015. Totalt har 1047 mossprover insamlats inom den nationella undersökningen varav 611 prover har analyserats.

## 4.2 Provhantering

Inkomna prover till IVL Svenska Miljöinstitutet AB har bokförts och lagts i frys inför sändning till Naturhistoriska Riksmuseet.

I första hand har prover av väggmossa (*Pleurozium schreberi*) valts för rensning och analys. Avgörande för vilka prover som har valts ut för analys har varit att i möjligaste mån välja prover som tagits på samma platser som under närmast föregående provtagningar (2005 och 2010) samt att få en så heltäckande bild som möjligt av bakgrundsbelastningen av aktuella metaller i hela landet.

Miljögiftsgruppen vid Naturhistoriska Riksmuseet har rensat och torkat proverna för analys. Mossproverna har rensats så att de två till tre senaste årens tillväxt har tillvaratagits. Detta motsvarar tillväxt för åren 2012-2014. Eftersom kvicksilver är en flyktig metall har mossproverna torkats i rumstemperatur för att inte äventyra analysen av kvicksilver.

Av de utvalda och preparerade mossproverna har minst 1 g skickats till analys. Återstående mossmaterial bevaras i en provbank vid Naturhistoriska Riksmuseet.

Samtliga analysresultat har innan kvalitetsgranskning och dataanalys korrigerats till att motsvara resultat efter torkning vid 40 grader i enlighet med instruktioner i manualen från ICP Vegetation (2015).

## 4.3 Metallanalyser

Mossmaterialet som insamlats inom den nationella undersökningen 2015, har analyserats med avseende på koncentrationer av arsenik (As), bly (Pb), järn (Fe), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), vanadin (V), zink (Zn), aluminium (Al), kobolt (Co), mangan (Mn) och molybden (Mo).

Samtliga metallanalyser har gjorts med ICP-MS, efter uppslutning med salpetersyra och väteperoxid ( $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ) i slutna teflonkärl i mikrovågsugn. Vid varje uppslutningsomgång (12 prover) och analys har ett av två tillgängliga referensmaterial uppslutits och analyserats. Referensmaterialen M2 och M3 används av samtliga deltagare inom ICP Vegetation och har beställts från Naturresursinstitutet Luke i Finland.

Analyserna av 2015 års mossprover utförts av IVL Svenska Miljöinstitutet i Göteborg. Vid 2010 års undersökning analyserades proverna av ALS Scandinavia AB i Luleå. Innan 2010 analyserades mossproverna av Ekologiska institutionen, Lunds universitet.

## 4.4 Statistisk datahantering

Då koncentrationerna i analyserade mossprover varit under respektive års och metalls rapporteringsgräns har halva rapporteringsgränsen ansatts för de statistiska analyserna. Detta kan medföra både över- och underskattning av enskilda resultat.

### 4.4.1 Variansanalys

För analyser av eventuella skillnader av medelkoncentrationer av analyserade metaller, mellan år och mellan de definierade regionerna i Sverige, har variansanalys (ANOVA) använts. Detta är en statistisk metod som används för att undersöka skillnader i medelvärde mellan två eller fler grupper. Analysen har utförts med hjälp av statistikprogrammet STATGRAPHICS Plus for Windows 3.1.

### 4.4.2 Mann-Kendall

Mann-Kendall är en utvärderingsmetod för att påvisa signifikanta linjära trender (Mann, 1945). Förenklat kan man säga att metoden jämför alla värden parvis och summerar hur ofta det senare värdet är större respektive mindre än det tidigare värdet. Detta gör att eventuella kraftigt avvikande värden inte påverkar resultatet i någon större utsträckning. Saknade värden är inte heller något problem. Allt detta gör Mann-Kendall till en robust metod. Mann-Kendall är i allmänhet mindre känslig än linjär regression, vilket innebär att det kan vara svårare att få statistisk signifikans för en trend. Mann-Kendall kan användas på så små dataset som fyra värden. En mer detaljerad beskrivning ges i Bilaga VI.

### 4.4.3 Signifikansnivåer

Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05$  = \* signifikans;  $p < 0,01$  = \*\* signifikans;  $p < 0,001$  = \*\*\* signifikans.

## 4.5 Provpunkter och regionindelning

Deposition i Sverige av lufttransporterade ämnen påverkas till stor del av intransport från andra länder. För den statistiska analysen av metallinnehållet i mossproverna har därför Sverige indelats i sex olika regioner som förväntas representera olika depositionsbelastning. Indelningen baseras på Kindbom m.fl. (2001).

Antalet provpunkter som ligger till grund för analysen av 2015 års resultat presenteras i Tabell 1 och provpunkternas lägen under 2015 presenteras i Figur 1. I samma figur ses även den regionindelning som använts för samtliga år. Samtliga kartor som presenteras i resultatdelen är gjorda med hjälp av dataprogrammet ArcMap 10.3.1. Kartorna beskriver metallbelastningen i Sverige och är gjorda med IDW-teknik (IDW = Inverse Distance Weighted).

Medelkoncentrationer samt Standard Error per region och metall för 2015 presenteras i Bilaga I.

**Tabell 1. Totalt antal analyserade mossprover per region, 2015.**

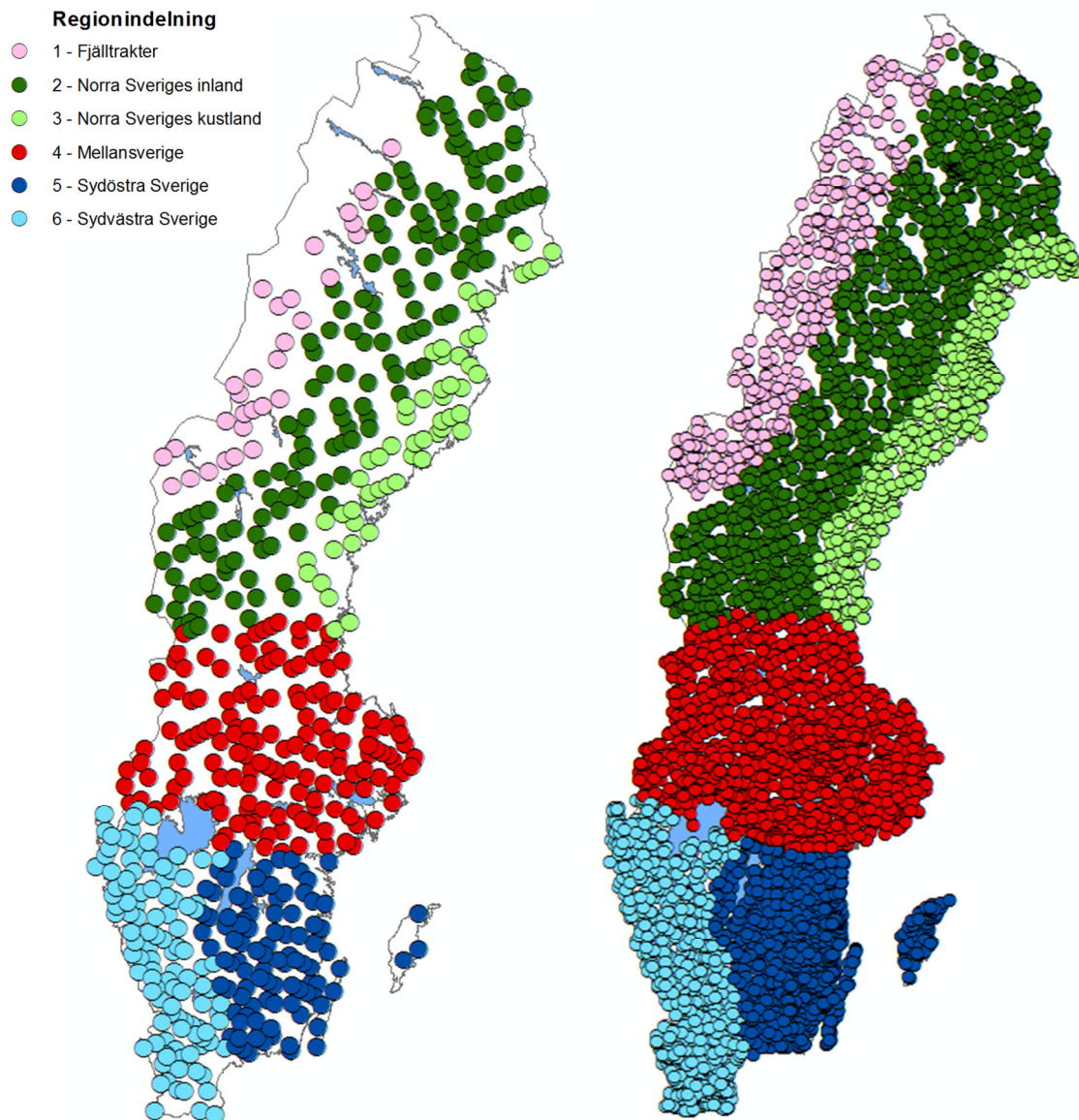
Region	Antal analyserade mossprover, 2015
1 Fjälltrakter	31
2 Norra Sveriges inland	162
3 Norra Sveriges kustland	55
4 Mellansverige	153
5 Sydöstra Sverige	99
6 Sydvästra Sverige	111
Hela Sverige	611

Antalet prover som helhet samt per region har varierat genom åren (Tabell 2). Även vilka metaller som analyserats har varierat. Detaljerade data över antal prov per region, år och metall, finns i Tabell II- 1 i Bilaga II.

**Tabell 2. Tabell över antal mossprover per region och år. OBS, antalet årliga prover kan variera mellan metaller för tidiga år. Se Bilaga II för detaljerade uppgifter.**

Region	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
1 Fjälltrakter	42	84	90	76	31	22	25	41
2 Norra Sveriges inland	180	215	194	172	175	103	122	136
3 Norra Sveriges kustland	76	72	86	70	61	33	51	60
4 Mellansverige	180	223	213	186	187	98	135	153
5 Sydöstra Sverige	93	105	119	104	114	61	81	103
6 Sydvästra Sverige	89	117	135	105	139	79	116	109
Hela Sverige	660	816	837	713	707	396	530	602





Figur 1. Provplatsernas lägen 2015 (vänster) samt regionindelning (höger) (baserad på samtliga insamlade mossprover 1975-2015).

## 5. Resultat

I resultatredovisningen presenteras för varje metall först allmän information om metallen (källor, användningsområden, eventuell toxicitet, förekomst i biota-, luft- eller nederbördsprover). Därefter redovisas resultat av jämförelser mellan medelkoncentrationer i de olika regionerna samt jämförelse mot tidigare års koncentrationer. För de metaller där emissionsuppgifter finns tillgängliga från CLRTAP jämförs trender för metallkoncentrationer i mossa med emissionsuppgifter för Sverige och EU 15. Slutligen görs trendanalyser av metallkoncentrationerna för olika tidsintervall.

## 5.1 Arsenik (As)

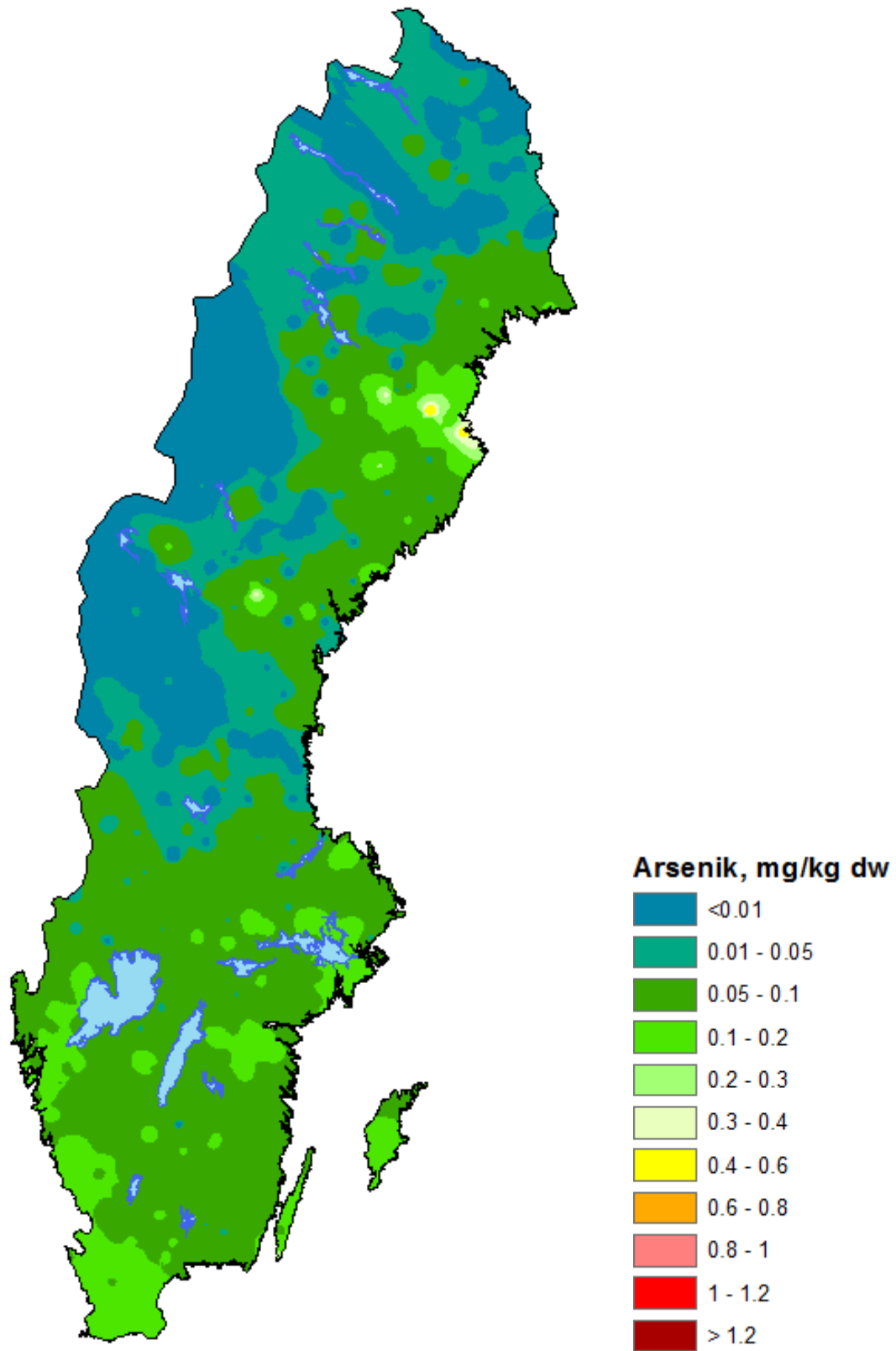
Arsenik (As) är en halvmetall som finns i oorganisk form i mineral. Antropogena källor till arsenikemissioner till luft är gruvdrift, smältverk och användning av arsenikinnehållande bekämpningsmedel inom jordbruket (Cullen & Reimer, 1989). Emissioner av arsenik erhålls även via förbränning av kol. Vid brytningen av vissa malmer, som innehåller arsenikkis (FeAsS), kan en lokal spridning av arsenik ske. Arsenik används som avfärgningsämne för glas och emalj och vid tillverkning av specialglas och blykristall samt vid metallurgistudier. Används även som cytostatika mot leukemi. Tidigare har arsenik också använts som träskyddsmedel (Kemikalieinspektionen, 2013). Arsenik kan även spridas till miljön via långväga atmosfärisk transport (Sternbeck och Carlsson, 2004). Bland naturliga källor till arsenik i atmosfären kan nämnas vulkanutbrott och vinderosion av bergarter och jordar.

I människor absorberas arsenik via magtarmkanalen, lungorna och huden. Exponering för luftburna arsenikföreningar kan skada slemhinnorna i luftvägarna och även ge hudskador. Långvarig yrkesmässig exponering för arsenik kan ge hudförändringar som kan leda till hudcancer. Det finns också en ökad risk för lungcancer hos yrkesmässigt arsenikexponerade. Arsenik kan också störa benmärgens blodbildning. Oorganiska arsenikföreningar kan ge akuta förgiftningar. Djurförsök har visat att arsenik har fosterskadande effekter och det finns misstankar om att kvinnor kan drabbas av reproduktionsstörningar och fostermisbildningar vid exponering av arsenik (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16).

Arsenik förekommer i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har uppmätts i nederbördsprover och luftprover vid svenska bakgrundsstationer (NVs luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se); Sjöberg m. fl., 2014).

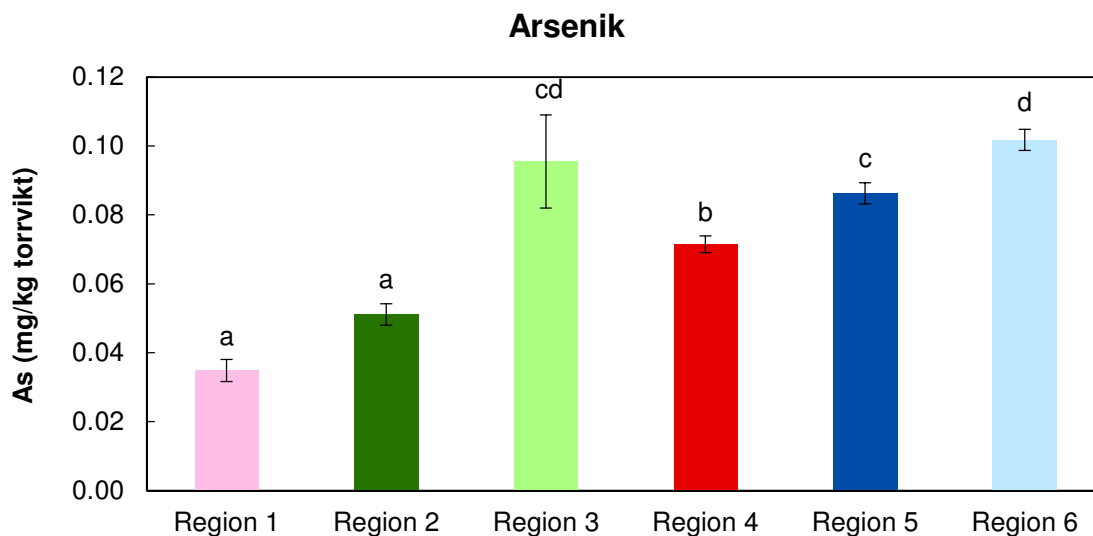
### 5.1.1 2015

I Figur 2 visas arsenikkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är belastningen av arsenik låg (< 0,1 mg/kg torrsvikt) i större delen av Sverige. Två mossprover med koncentrationer över 0,4 mg/kg torrsvikt är insamlade i Västerbottens kustland (0,59 respektive 0,49 mg/kg torrsvikt). Ytterligare ett antal prover med koncentrationer över 0,2 mg/kg torrsvikt är insamlade varav tre i Västerbottens län (0,33, 0,33 respektive 0,21 mg/kg torrsvikt), ett i Jämtlands län (0,33 mg/kg torrsvikt), ett i Kalmar län och ett i Skåne län (0,21 mg/kg torrsvikt) och ett i Uppsala län (0,20 mg/kg torrsvikt).



Figur 2. Arsenikkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

Den statistiska analysen av arsenikkoncentrationerna i mossproverna från 2015 visas i Figur 3. Sydvästra Sverige (Region 6) har den högsta medelkoncentrationen av arsenik med 0,10 mg/kg torrsvikt tätt följd av norra Sveriges kustland (Region 3) med 0,095 mg/kg torrsvikt. Medelkoncentration i sydvästra Sverige är signifikant högre än motsvarande medelkoncentration i fjälltrakterna (Region 1), norra Sveriges inland (Region 2), Mellansverige (Region 4) och sydöstra Sverige (Region 5). De allra lägsta arsenikkoncentrationerna finns i fjälltrakterna och norra Sveriges inland, 0,035 respektive 0,051 mg/kg torrsvikt. Medelkoncentrationerna i fjälltrakterna och i norra Sveriges inland är signifikant lägre än koncentrationerna i övriga delar av Sverige.

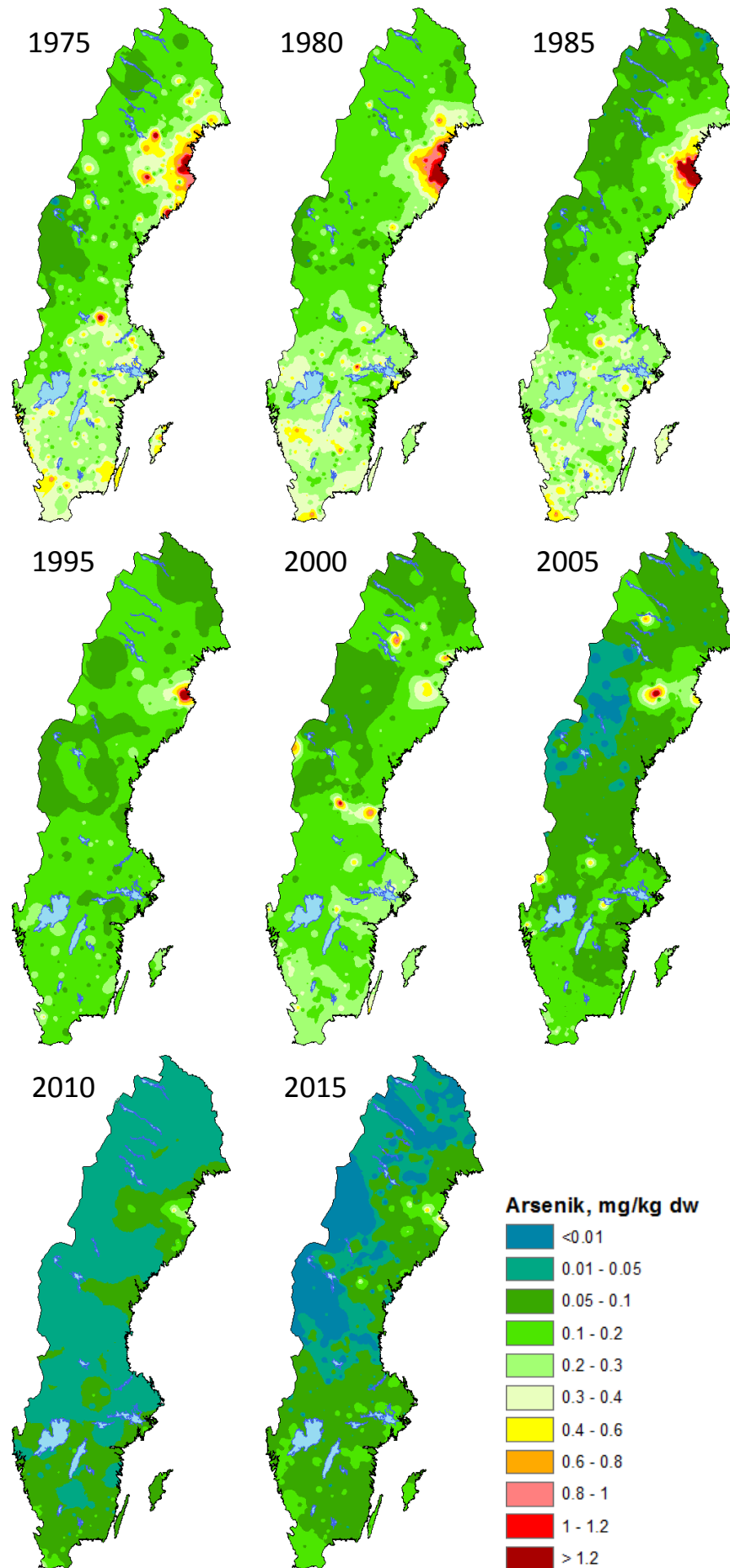


Figur 3. Medelkoncentrationer av arsenik i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c, d) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av arsenik inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

### 5.1.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 4 visar koncentration av arsenik i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den minskning som kontinuerligt skett sedan 1975 då de nationella mätningarna startade. I figuren ser det ut som om arsenikkoncentrationerna ökat mellan 2010 och 2015 i vissa regioner. Detta kan troligen förklaras med att rapporteringsgränsen för arsenik var betydligt högre 2010 jämfört med 2015. Detta diskuteras vidare i kapitel 5.1.2.1.

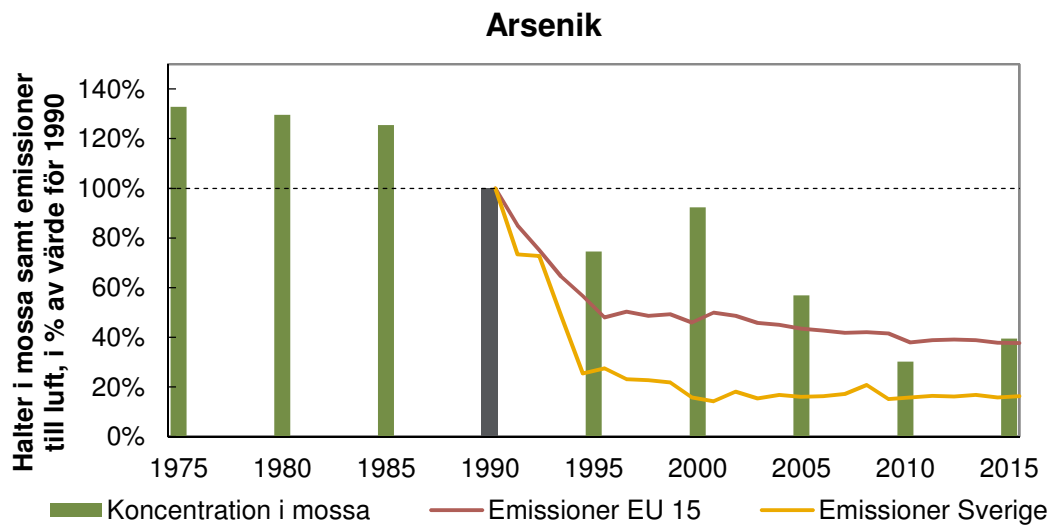
Under 2015 hade tio prover koncentrationer på eller över 0,2 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 1,6 % av det totala antalet prover. För 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 5,3 %, 28 % respektive 52 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 0,25 mg/kg torrsvikt, för 2000 0,17 mg/kg torrsvikt, för 2005 0,11 mg/kg torrsvikt och för 2015 0,074 mg/kg torrsvikt.



Figur 4. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av arsenik i mossa, 1975-2015.

Arsenikkoncentrationerna i mossor för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 5. Koncentrationen i mossor och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att arsenikkoncentration i mossor minskat i samstämmighet med den europeiska emissionsminskningen. I figuren syns även att emissionsminskningen av arsenik i Sverige varit kraftigare jämfört med EU15.

Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 5. Medelkoncentration av arsenik i mossor sedan 1975 för Sverige samt emissioner av arsenik till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossor och emissioner till luft visas som procent av 1990 års värde.

#### 5.1.2.1 2015 vs. 2010

I Tabell 3 redovisas medelkoncentrationer för arsenik i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA och i norra Sveriges inland (Region 2) och norra Sveriges kustland (Region 3) finns ingen statistiskt signifikant förändring mellan åren. I fjälltrakterna (Region 1) var arsenikkoncentrationen lägre 2015 jämfört med 2010 medan den för alla övriga regioner samt för Sverige som helhet var högre 2015 jämfört med 2010.

Att arsenikkoncentrationerna tycks öka kan, som tidigare nämnts, dock bero på att rapporteringsgränsen för arsenik var betydligt högre 2010 (0,08 mg/kg) jämfört med 2015 (0,015 mg/kg). Av totalt analyserade mossprover 2010 var koncentrationerna under rapporteringsgräns i över 90 % av mossproverna. Detta innebär att för 2010 hade över 90 % av mossproverna ansatta koncentrationer på 0,04 mg/kg. I undersökningen 2015 hade endast ungefär 20 % av mossproverna en verklig koncentration av arsenik under 0,04 mg/kg. Därför kan det förefalla som att koncentrationerna av arsenik i insamlade mossprover har stigit från 2010 till 2015.

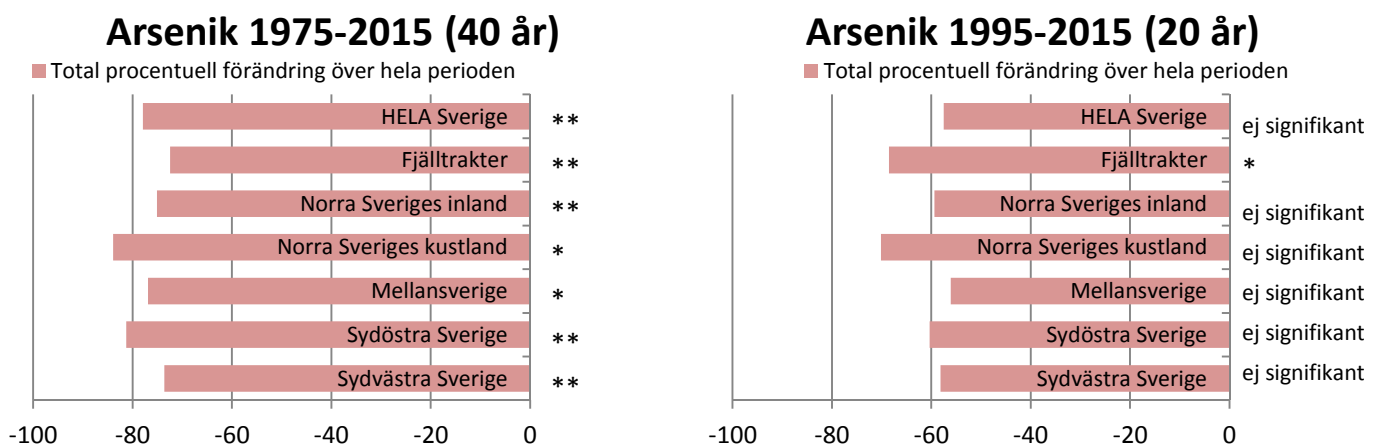
**Tabell 3. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för arsenik för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.**

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,047	0,035	***	minskning
2	0,050	0,051	ej signifikant	-
3	0,077	0,095	ej signifikant	-
4	0,051	0,071	***	ökning
5	0,059	0,086	***	ökning
6	0,064	0,102	***	ökning
<b>Hela Sverige</b>	0,057	0,074	***	ökning

### 5.1.2.2 Trendanalys

Under de senaste 40 åren (1975-2015) har arsenikkoncentrationen i mossa minskat signifikant för Sverige som helhet samt för samtliga regioner. Motsvarande analys för perioden 1995-2015 (mossprover från 1990 analyserades inte med avseende på arsenik) visar på en statistiskt signifikant minskning endast för fjälltrakterna (Region 1). För övriga regioner och för Sverige som helhet finns inga statistiskt signifikanta skillnader för perioden 1995-2015. (Figur 6). Inte heller ses några statistiskt signifikanta skillnader för perioden 2000-2015. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.

Under de senaste 40 åren (1975-2015) har arsenikkoncentrationen i mossa minskat signifikant för Sverige som helhet samt för samtliga regioner. Motsvarande analys för perioden 1995-2015 (mossprover från 1990 analyserades inte med avseende på arsenik) visar på en statistiskt signifikant minskning endast för fjälltrakterna (Region 1). För övriga regioner och för Sverige som helhet finns inga statistiskt signifikanta skillnader för perioden 1995-2015. Inte heller erhålls några statistiskt signifikanta skillnader för perioden 2000-2015. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



**Figur 6. Trendanalys för arsenik i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1995-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .**

## 5.2 Bly (Pb)

Bly är en metall som har använts i över tusen år och som är giftig i de flesta av sina kemiska former (Eisler, 1988). Bly används bland annat i färgpigment, plast, kristall, blymantlad kabel, elektronik och hagelammunition. Denna användning har dock minskat i Sverige.

Bly har en lång uppehållstid i marken (Klaminder m. fl., 2006) och detta leder till att effekter i miljön kan ses i decennier efter att emissionerna och depositionen av bly har minskat (Berglund m. fl., 2008; 2010). Källor som gruvbrytning, anrikning och smältning av blymineral och användning av organiska blyföreningar i motorbränsle har gett en ökad mängd bly i vår miljö. Bly förekommer i atmosfären bundet till partiklar och tillförs ekosystemet med torr- och våtdeposition. Långväga atmosfärisk transport har en stor betydelse för metallens förekomst i miljön men spridning av bly till miljön sker även genom diffusa utsläpp från varor i samhället.

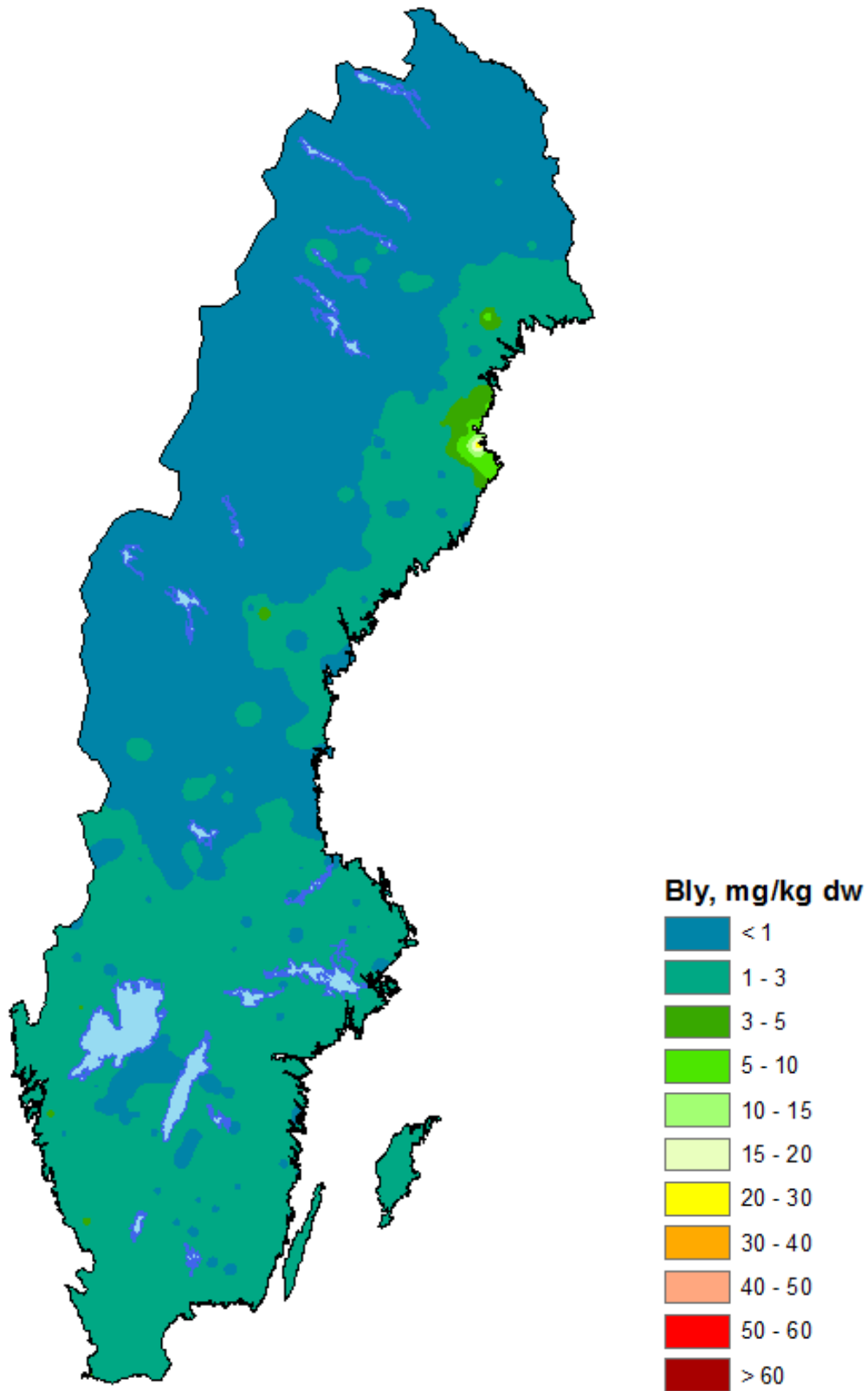
Upptaget av bly till kroppen sker främst via födan men även via inandningsluften (WHO, 2007). Det är främst hos yrkesgrupper som arbetar med blyframställning och smältning av bly samt vid svetsning och annan bearbetning av blyklädda och blymönjemålade metallföremål som en kraftig blyexponering förekommer. Bly kan ge neurologiska skador, skador på skelettet och påverkar även hemoglobinsyntesen samt kan vid långvarig exponering ge anemi. Unga individer är känsligare för blyexponering än vuxna eftersom upptaget via mag-tarmkanalen är högre och blod-hjärnbarriären är mer genomsläpplig för bly hos unga. Dessutom passerar bly placentabarriären och utsöndras med bröstmjolk. Därför räknas foster och spädbarn till de extra känsliga individerna (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16; WHO, 2007).

Bly förekommer i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har uppmätts i nederbördsprover och luftprover vid svenska bakgrundsstationer (NVs luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se); Sjöberg m. fl., 2014).

### 5.2.1 2015

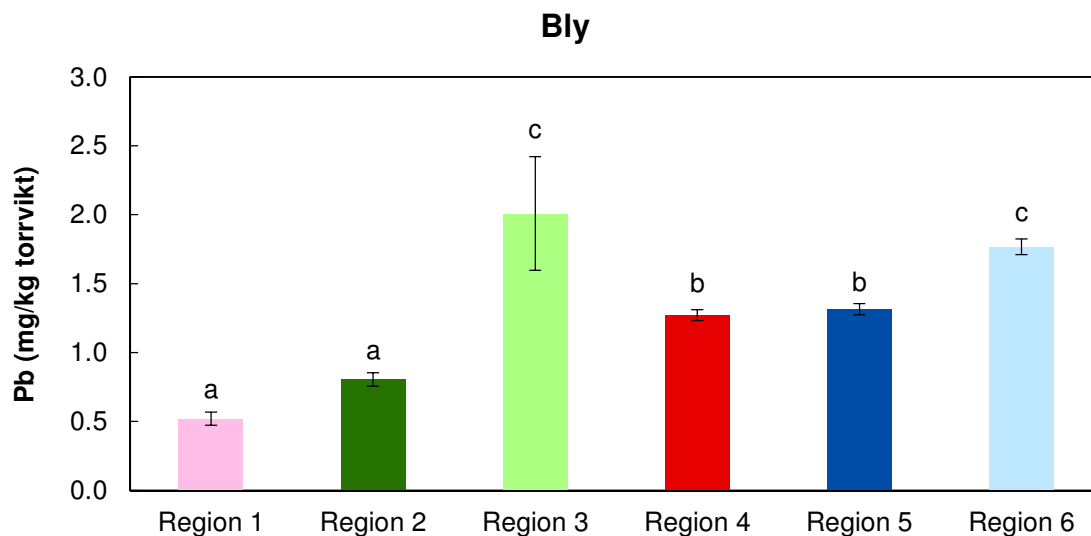
I Figur 7 visas blykoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är belastningen av bly låg i större delen av Sverige. Koncentrationerna av bly är lägst i fjälltrakterna och i norra Sveriges inland. De högsta koncentrationerna finns i Västerbottens och Norrbottens kustland. Den högsta koncentrationen (22 mg/kg torrsvikt) uppmättes i ett mossprov insamlat i kusttrakterna i Västerbottens län. Ytterligare tre prover med koncentrationer över 5 mg/kg torrsvikt är insamlade i Västerbottens kusttrakter (8,9 respektive 5,1 mg/kg torrsvikt) och i Norrbottens läns inland (6,1 mg/kg torrsvikt).





Figur 7. Blykoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

I Figur 8 visas den statistiska analysen av blykoncentrationerna i mossproverna från 2015. Blykoncentrationerna i fjälltrakterna (Region 1) och norra Sveriges inland (Region 2) var signifikant lägre (0,52 respektive 0,81 mg/kg torrsvikt) jämfört med övriga delar av Sverige. Medelkoncentrationerna (2,0 mg/kg torrsvikt) i norra Sveriges kusttrakter (Region 3) och i sydvästra Sverige (1,8 mg/kg torrsvikt) (Region 6) är signifikant högre än i övriga regioner. Mellansverige (Region 4) och Sydöstra Sverige (Region 5) har signifikant högre medelkoncentrationer (~1,3 mg/kg torrsvikt) än i fjälltrakterna och norra Sveriges inland och lägre medelkoncentrationer än i norra Sveriges kusttrakter och i sydvästra Sverige.

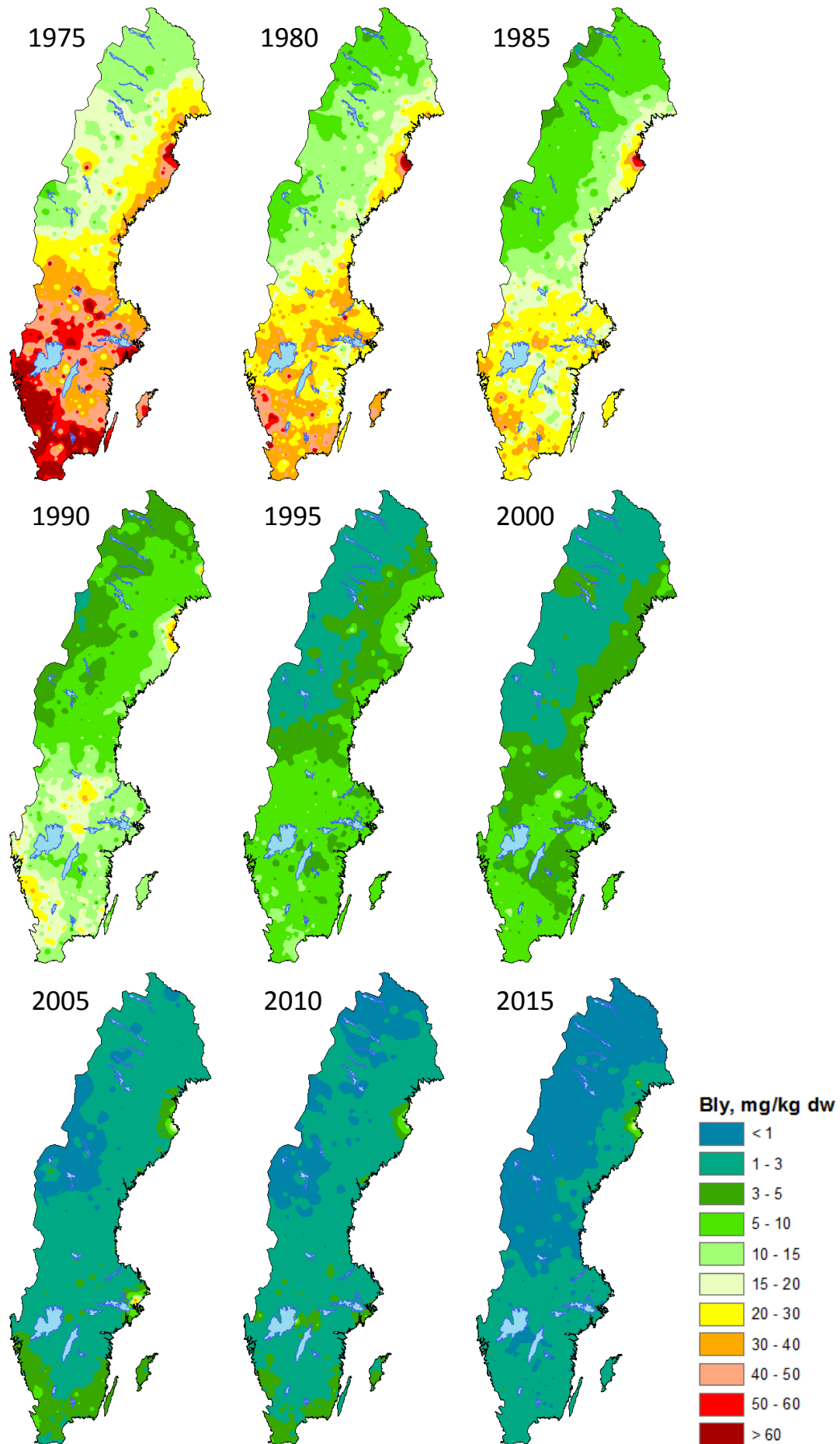


Figur 8. Medelkoncentrationer av bly i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av bly inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

## 5.2.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 9 visar koncentration av bly i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den kraftiga minskning som kontinuerligt skett sedan 1975 då de nationella mätningarna startade. Blytillsats i bensin förbjöds i mitten av 1990-talet, vilket är en förklaring till att minskningen varit så stor.

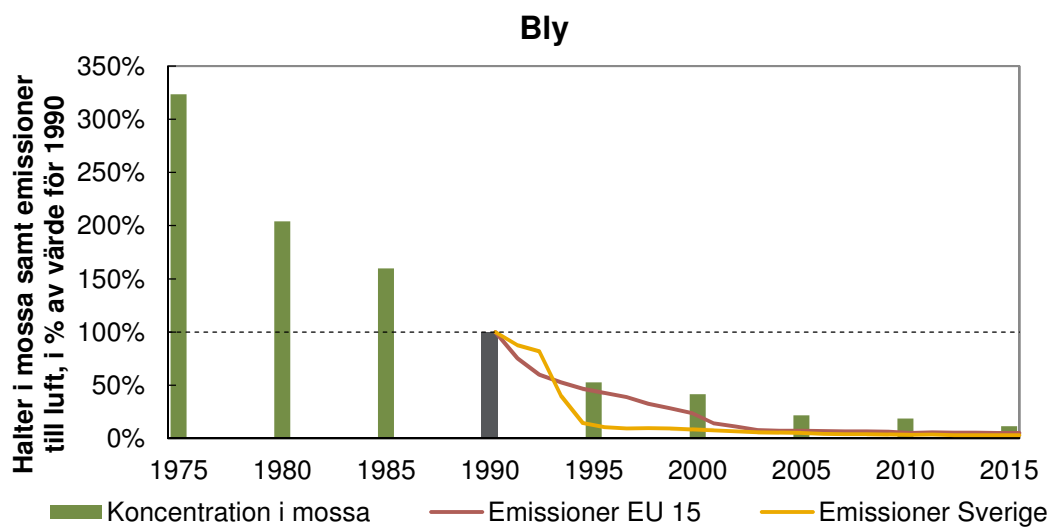
Under 2015 hade fyra prover koncentrationer på eller över 5 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 0,7 % av det totala antalet prover. För 2010, 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 2,0 %, 4,3 %, 38 % respektive 100 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 36 mg/kg torrsvikt, för 2000 4,6 mg/kg torrsvikt, för 2005 2,4 mg/kg torrsvikt, för 2010 2,1 mg/kg torrsvikt och för 2015 1,3 mg/kg torrsvikt.



Figur 9. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av bly i mossa, 1975-2015.

Blykoncentrationerna i mossor för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 10. Koncentrationen i mossor och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att blykoncentration i mossor minskat i samstämmighet med den europeiska emissionsminskningen. I figuren syns även att emissionsminskningen av bly i Sverige varit kraftigare jämfört med EU15 främst under perioden från början av 1990-talet till början av 2000-talet.

Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 10 Medelkoncentration av bly i mossor sedan 1975 för Sverige samt emissioner av bly till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossor och emissioner till luft visas som procent av 1990 års värde.

#### 5.2.2.1 2015 vs. 2010

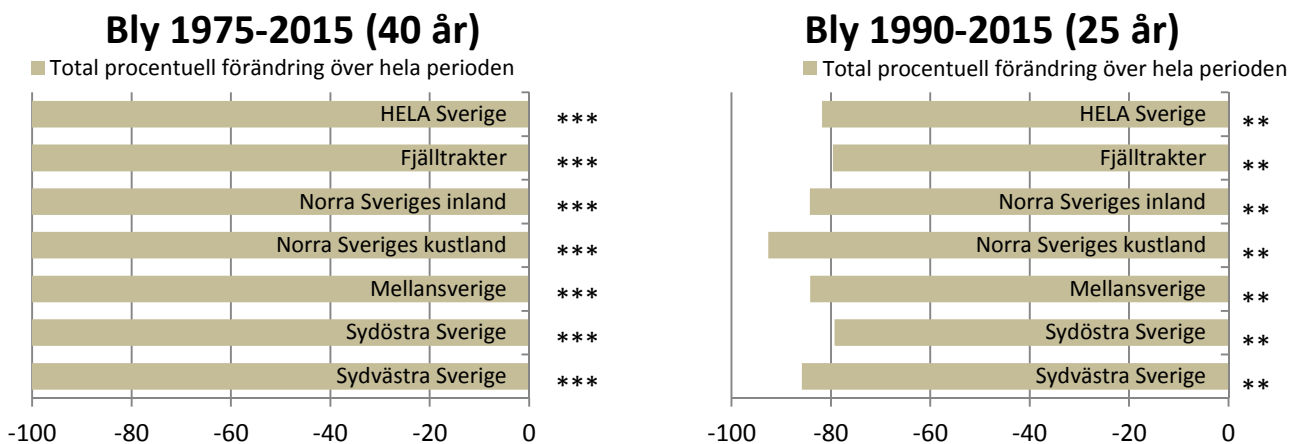
I Tabell 4 redovisas medelkoncentrationer för bly i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA och i norra Sveriges kustland (Region 3) finns ingen statistiskt signifikant förändring mellan åren. I Sverige som helhet samt för alla övriga regioner var blykoncentrationen i mossor lägre 2015 jämfört med 2010.

**Tabell 4. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för bly för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.**

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	1,0	0,52	***	minskning
2	1,1	0,81	***	minskning
3	2,6	2,0	ej signifikant	-
4	2,3	1,3	***	minskning
5	2,5	1,3	***	minskning
6	2,7	1,8	***	minskning
<b>Hela Sverige</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>***</b>	<b>minskning</b>

### 5.2.2.2 Trendanalys

Under de senaste 40 åren ses signifikant minskande blykoncentrationer i mossa för Sverige som helhet samt för samtliga regioner. Även resultaten för trendanalys, som omfattar de senaste 25 åren, 1990-2015, visar på signifikant minskande blykoncentrationer i mossa i samtliga regioner och i Sverige som helhet. Som tidigare nämnts förbjöds tillsatsen av bly till bensin i mitten av 1990-talet, vilket är en förklaring till att minskningen varit så stor även under perioden 1990-2015. (Figur 11). Trendanalysen för perioden 2000-2015 visar inte på några signifikanta skillnader. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



**Figur 11. Trendanalys för bly i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .**

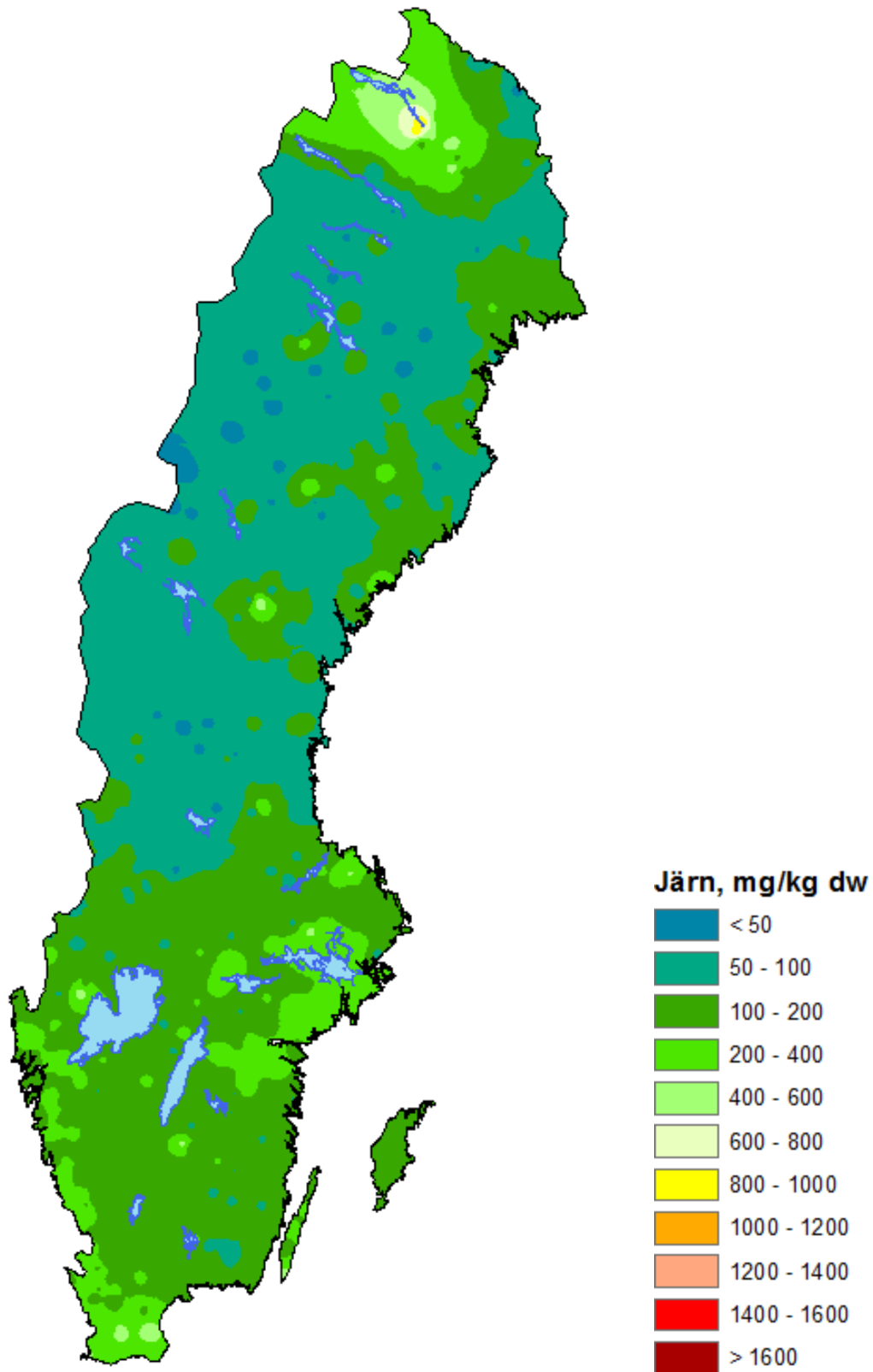
## 5.3 Järn (Fe)

Järn har magnetiska egenskaper och är en vanligt förekommande metall i jordskorpan. Ofta finns järn som mineralerna magnetit eller hematit.

Att järn förekommer i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) är föga förvånande då järn är ett essentiellt näringsämne för de flesta organismer. Alltför höga koncentrationer kan dock ha skadliga effekter. Järntag över 20-30 mg/kg/dag kan ge förgiftningssymptom som magsmärtor, kräkningar, m.m. (Suchara m. fl., 2007).

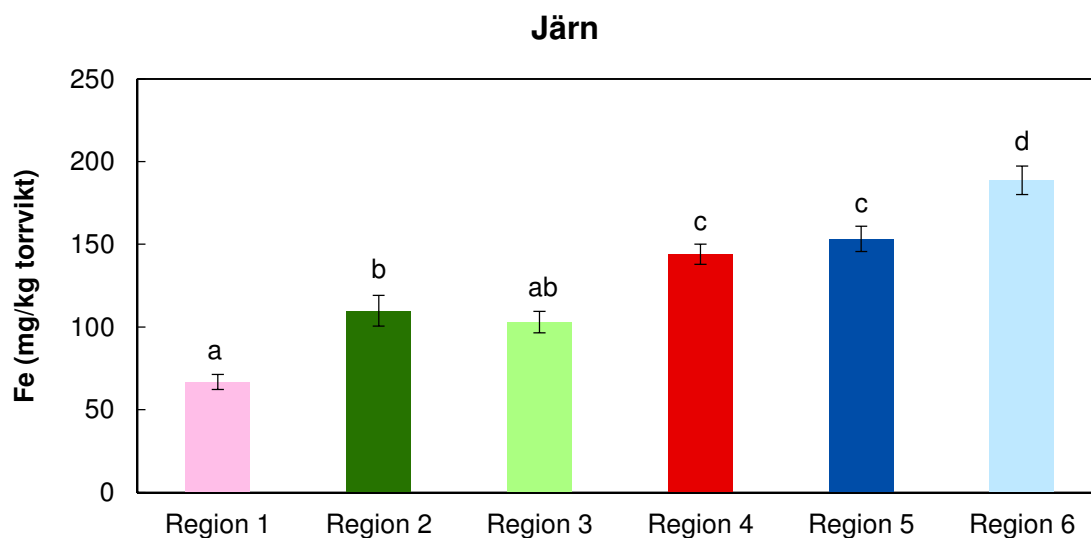
### 5.3.1 2015

I Figur 12 visas järnkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Analyserna av järnkoncentrationer i insamlade mossprover visar att den högsta belastningen inte överraskande finns i malmfälten i Norrbottens län där den högsta uppmätta koncentrationen är 940 mg/kg torrsvikt. Ytterligare 15 prover med koncentration över 400 mg/kg torrsvikt har samlats in, varav tre i Norrbottens län (ett prov med koncentrationen 890 mg/kg torrsvikt och två prover med koncentrationen 510 mg/kg torrsvikt). Resterande prover insamlades i Jämtlands län (570 mg/kg torrsvikt), Skåne län (540, 530, 440 respektive 410 mg/kg torrsvikt), Kalmar län (530 mg/kg torrsvikt), Västra Götalands län (520 och 400 mg/kg torrsvikt), Uppsala län (470 respektive 420 mg/kg torrsvikt), Jönköpings län (460 mg/kg torrsvikt) och i Östergötlands län (400 mg/kg torrsvikt).



Figur 12. Järnkonzentrationer i mossprover insamlade 2015.

I Figur 13 visas den statistiska analysen av järnkonzentrationerna i mossproverna från 2015. Den allra lägsta medelkoncentrationen (67 mg/kg torrsvikt) av järn i mossprover från 2015 finns i fjälltrakterna (Region 1) där koncentrationen är signifikant lägre jämfört med samtliga övriga regioner förutom norra Sveriges kustland (103 mg/kg torrsvikt) (Region 3). Medelkoncentrationerna i Mellansverige (Region 4) och i sydöstra Sverige (Region 5) ligger på samma nivå (144 respektive 154 mg/kg torrsvikt) och är signifikant högre än medelkoncentrationerna i fjälltrakterna, norra Sveriges inland (110 mg/kg torrsvikt) (Region 2) och i norra Sveriges kustland. Den högsta medelkoncentrationen uppmättes i sydvästra Sverige (Region 6) med 189 mg/kg torrsvikt. Detta värde är signifikant högre än övriga fem regioners medelkoncentrationer.



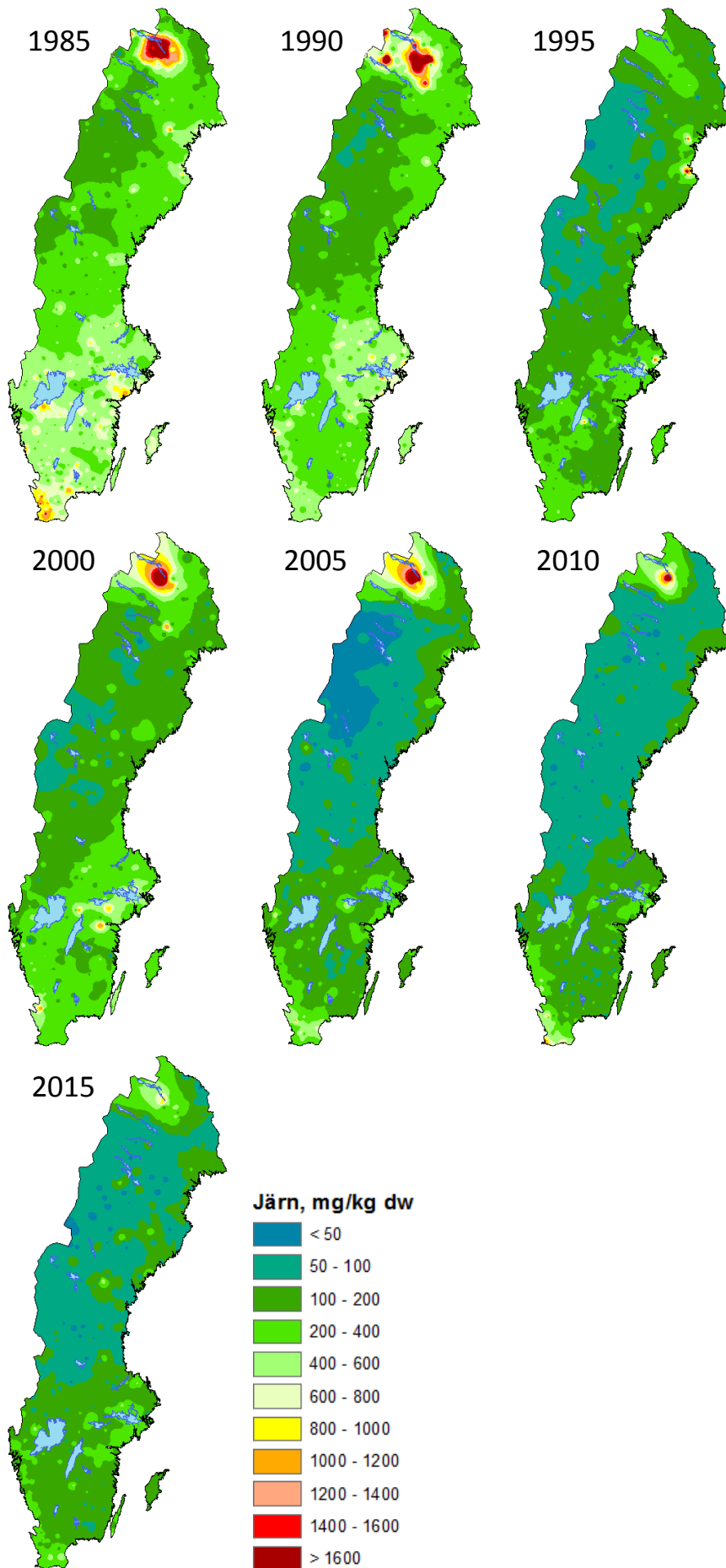
Figur 13. Medelkoncentrationer av järn i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c, d) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av järn inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

### 5.3.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 14 visar koncentrationen av järn i mossa mellan 1985 och 2015. I figuren syns tydligt den minskning som skett sedan 1985 då de nationella mätningarna av järn startade. För 1995 ses inte så tydligt som för övriga år den påverkan som järnmalmsbrytningen i malmfälten har på omkringliggande miljö. För samtliga regioner förutom i norra Sveriges kusttrakter är medelkoncentrationerna lägre i mossprover från 1995 än i prover från 2000. Detta kan indikera att utbytet av järn i 1995 års analyser varit något lågt.

Under 2015 hade 16 prover koncentrationer på eller över 400 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 2,6 % av det totala antalet prover. För 2010, 2005, 2000 och 1980 var motsvarande värden 2,7 %, 4,7 %, 7,6 % respektive 60 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1980 503 mg/kg torrsvikt, för 2000 230 mg/kg torrsvikt, för 2005 159 mg/kg torrsvikt, för 2010 135 mg/kg torrsvikt och för 2015 137 mg/kg torrsvikt.





Figur 14. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av järn i mossor, 1985-2015.

### 5.3.2.1 2015 vs. 2010

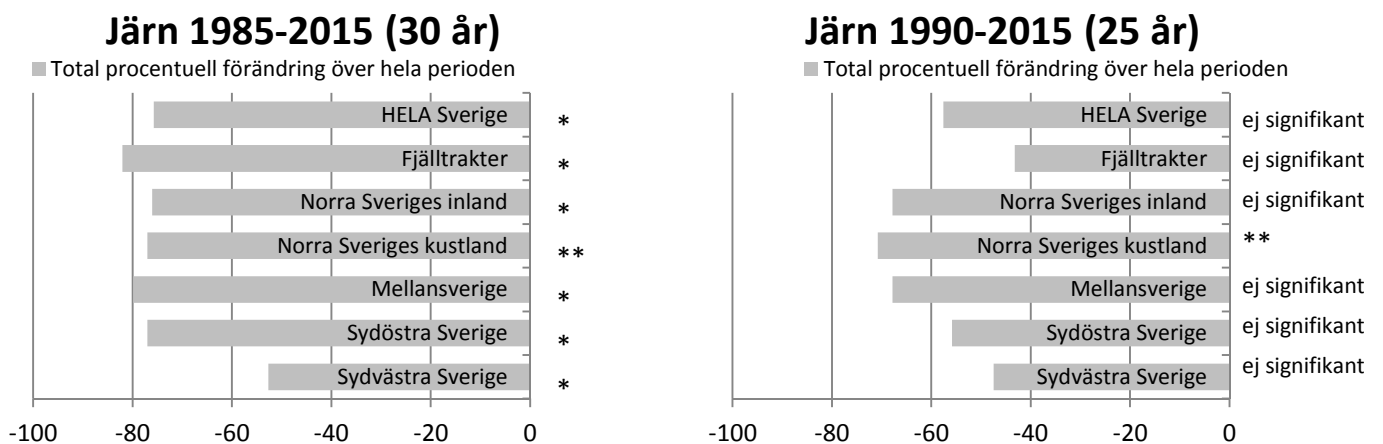
I Tabell 5 redovisas medelkoncentrationer för järn i mossa uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA. I sydvästra Sverige (Region 6) var järnkoncentrationen 2015 lägre jämfört med 2010 medan den i sydöstra Sverige (Region 5) var högre 2015 jämfört med 2010. För övriga regioner samt för Sverige som helhet fanns ingen statistiskt signifikant förändring mellan 2015 och 2010.

**Tabell 5. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för järn för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.**

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	75	67	ej signifikant	-
2	98	110	ej signifikant	-
3	106	103	ej signifikant	-
4	128	144	ej signifikant	-
5	134	153	*	ökning
6	229	189	*	minskning
<b>Hela Sverige</b>	135	137	ej signifikant	-

### 5.3.2.2 Trendanalys

Under de senaste 30 åren (järn mättes första gången 1985) har järnkoncentrationerna minskat signifikant för Sverige som helhet samt för alla regioner. Under de senaste 25 åren minskade järnkoncentrationen i mossa signifikant endast i regionen norra Sveriges kustland. (Figur 15). Trendanalysen för perioden 2000-2015 visar inte på några signifikanta förändringar av järnkoncentrationen i mossa. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



**Figur 15. Trendanalys för järn i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .**

## 5.4 Kadmium (Cd)

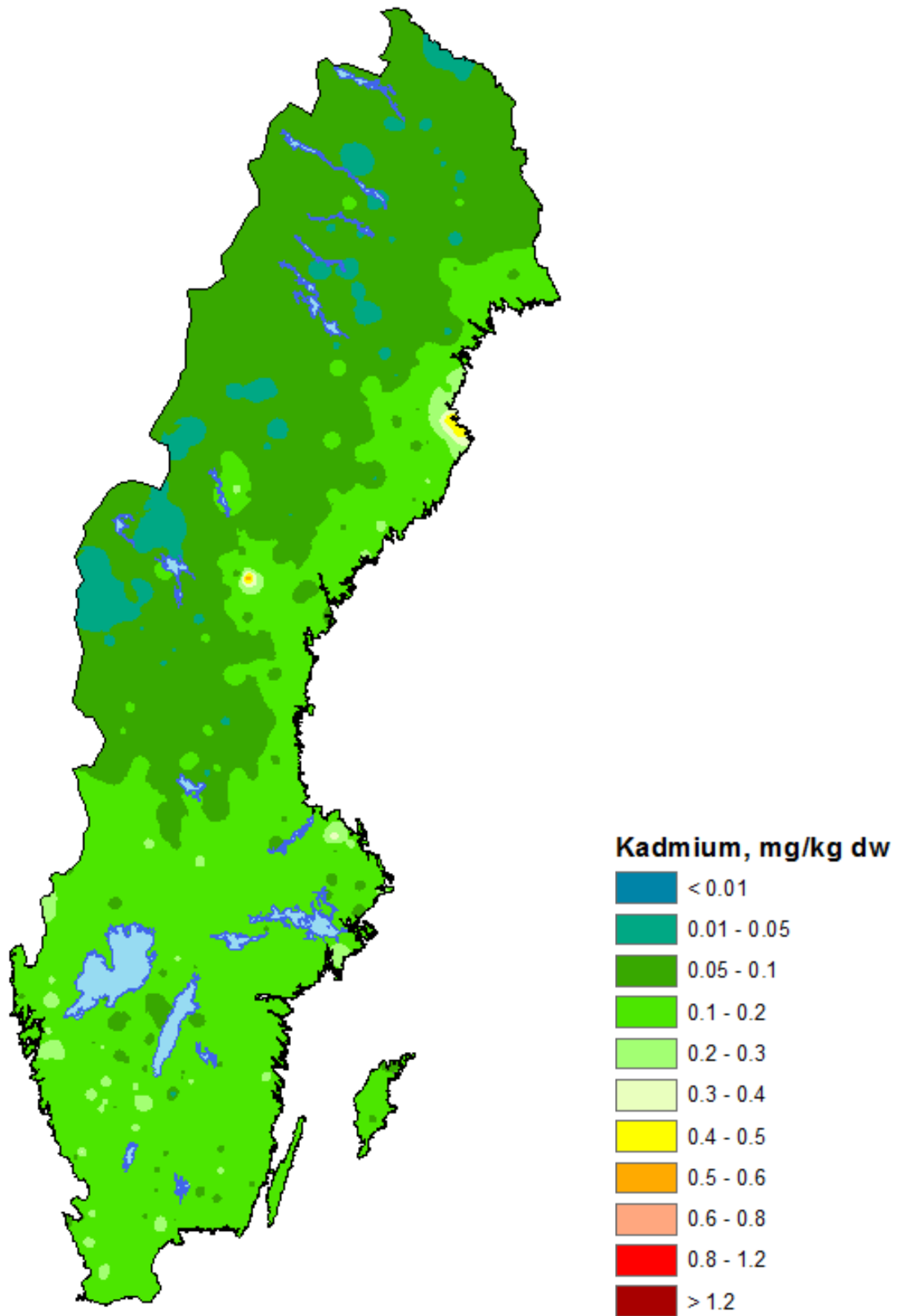
Kadmium är en mycket giftig metall som i naturen främst finns i zinkmalmer. De antropogena kadmiumkällorna till atmosfären innefattar bland annat metallproduktion, förbränning av fossila bränslen samt avfallsförbränning (Suchara m. fl., 2007; Nriagu, 1989). Kadmium finns även som förorening i fosfatgödselmedel vilket har lett till att kadmium spridits till våra åkerjordar. Kadmium har använts som ytbeläggning på plåt (kadmiering, analogt med galvanisering med zink) och som legeringsmetall. Kadmiumföreningar har även använts som pigment i röda och gula målarfärger, plaster och keramiska glasyrer. Fortfarande används kadmium i batterier. Kadmium förekommer bunden till partiklar i luften och tillförs ekosystemet med torr- och våtdeposition. Långdistanstransport och deposition bidrar också till spridningen av kadmium i den svenska miljön (Sternbeck och Carlsson, 2004). Vulkaner, vinderosion och skogsbränder anses vara de viktigaste naturliga källorna (Suchara m. fl., 2007).

Kadmium visar starka likheter med mikronäringsämnet zink och kan ersätta zink i många biologiska system. Allmänheten exponeras för kadmium huvudsakligen via födan och via tobaksrök. Kadmium finns i spannmålsprodukter då dessa tar upp metallen från åkerjordarna. Lever, njure, ostron, musslor och vissa vildväxande champinjonarter har speciellt höga kadmiumkoncentrationer. Akut eller kronisk exponering av kadmium kan ge skador i luftvägar, orsaka lungcancer, påverka njurfunktionen samt leda till benskörhet (Peralta-Videa, 2009; Suchara m. fl., 2007; WHO, 2007; Järup, 1998). På senare år förekommer en diskussion om att även de låga kadmiumexponeringar som förekommer i Sverige kan vara en bidragande orsak till osteoporos (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16; Karolinska Institutet, [www.ki.se](http://www.ki.se), 2016-08-05). En studie från Kemikalieinspektionen visar att det ekonomiska värdet av osteoporos orsakat av kadmium kostar det svenska samhället drygt fyra miljarder om året (Kemikalieinspektionen, 2012). Den viktigaste exponeringsvägen är för människor intag via födan (> 90 % av det totala intaget för icke-rökare) (WHO, 2007).

I Sverige förekommer kadmium i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV). Kadmium finns även i nederbörds- och luftprover vid svenska bakgrundsstationer (NVs luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se); Sjöberg m. fl., 2014).

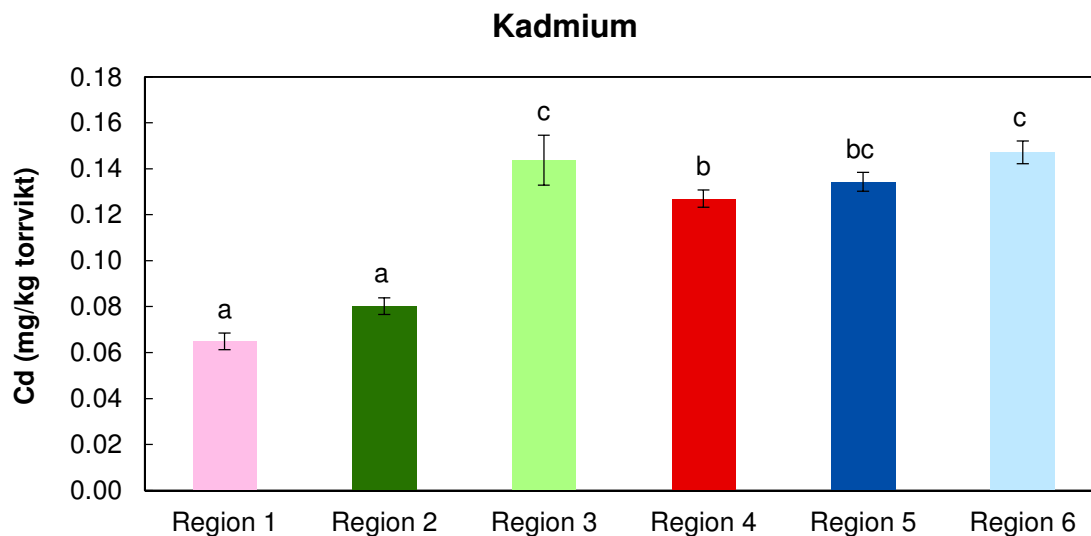
### 5.4.1 2015

I Figur 16 visas kadmiumkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 från hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av kadmium lägst i fjälltrakterna och i norra Sveriges inland, oftast med koncentrationer under 0,1 mg/kg torrsvikt. Totalt har insamlats sex prover med koncentrationer över 0,3 mg/kg torrsvikt. Provet med den högsta koncentrationen är insamlat i Jämtlands län (1,1 mg/kg torrsvikt). Övriga prover är insamlade i kustnära områden i Västerbottens län (0,44, 0,37 respektive 0,35 mg/kg torrsvikt), i Uppsala län (0,73 mg/kg torrsvikt) och i Hallands län (0,37 mg/kg torrsvikt).



Figur 16. Kadmiumkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

Den statistiska analysen av kadmiumkoncentrationerna i mossproverna från 2015 visas i Figur 17. Resultaten visar att fjälltrakterna (Region 1) och norra Sveriges inland (Region 2) har signifikant lägre medelkoncentrationer av kadmium jämfört med samtliga övriga regioner (0,065 respektive 0,080 mg/kg torrsvikt). Norra Sveriges kustland (Region 3) och sydvästra Sverige (Region 6) har de högsta medelkoncentrationerna (0,14 respektive 0,15 mg/kg torrsvikt) och skiljer sig signifikant, förutom mot fjälltrakterna och norra Sveriges inland, även mot Mellansverige (0,13 mg/kg torrsvikt) (Region 4). Även medelkoncentrationen av kadmium i prover från sydöstra Sverige (Region 5) var ungefär 0,13 mg/kg torrsvikt.

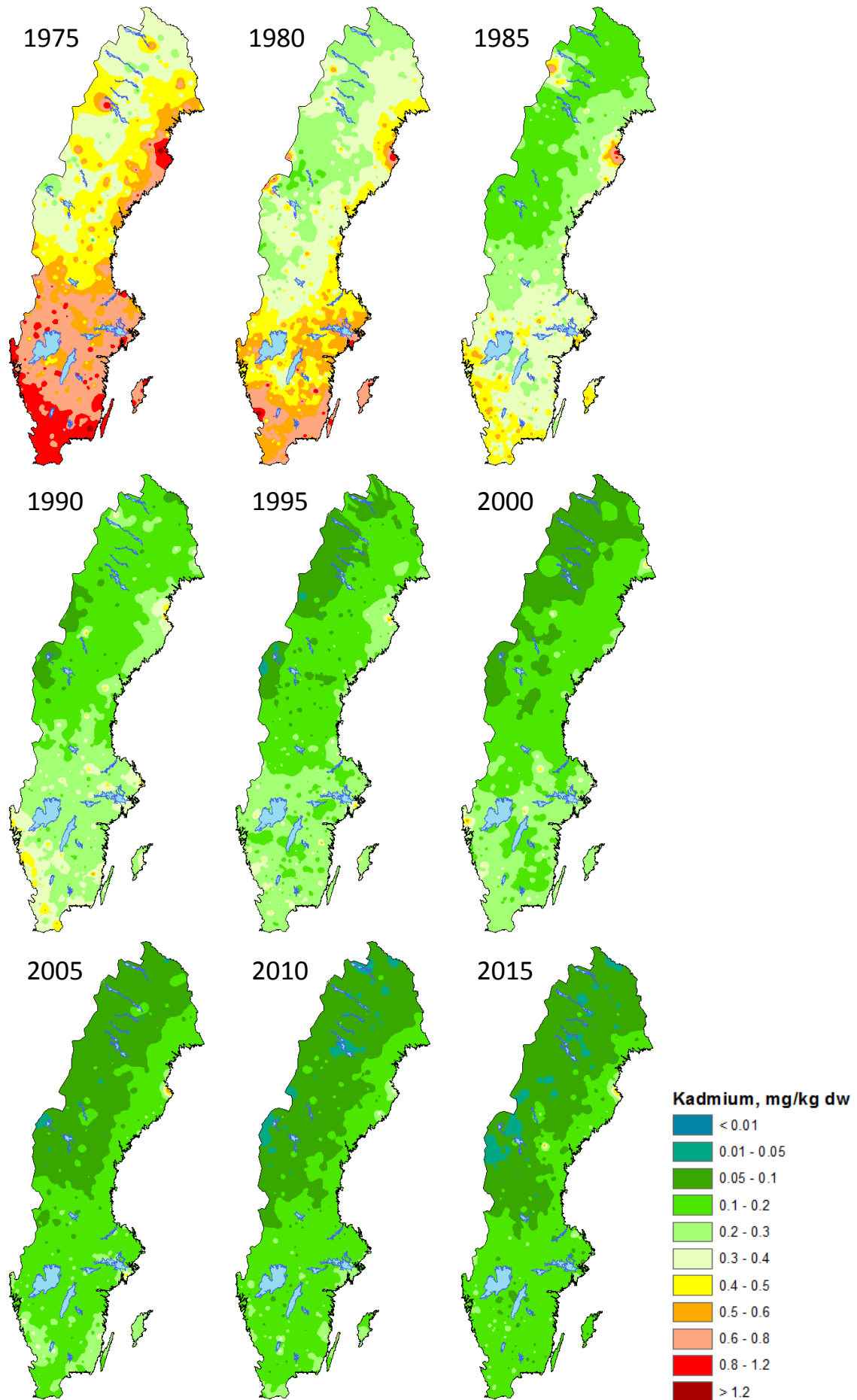


Figur 17. Medelkoncentrationer av kadmium i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av kadmium inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

## 5.4.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 18 visar koncentration av kadmium i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den kraftiga minskning som kontinuerligt skett sedan 1975 då de nationella mätningarna startade. Minskningen som kan ses beror främst på bättre reningsutrustning hos metallsmältverk och stålverk men också på att det i Sverige i mitten av 1990-talet infördes en skatt på kadmium i konstgödsel. Denna skatt avskaffades dock 1 januari 2010.

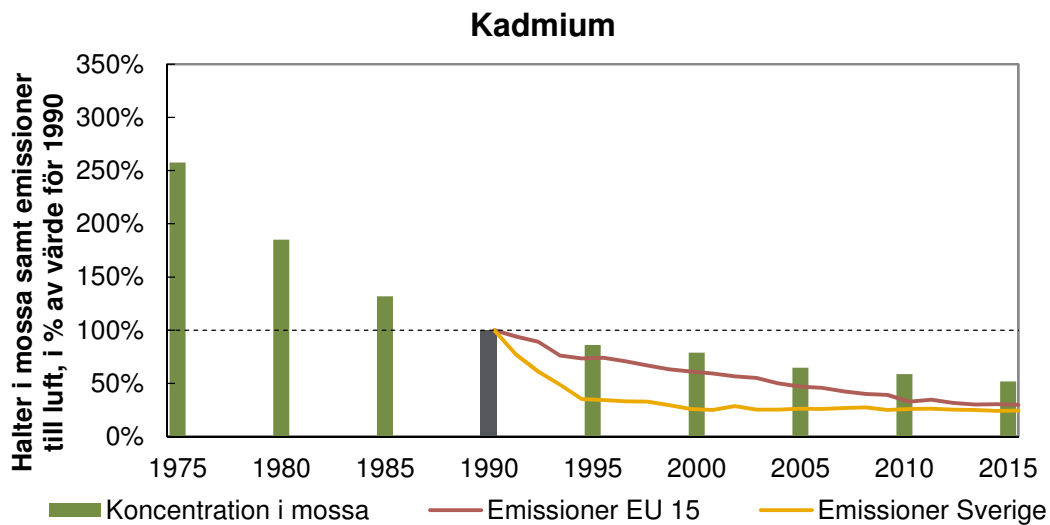
Under 2015 hade sex prover koncentrationer på eller över 0,3 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 1,0 % av det totala antalet prover. För 2010, 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 1,7 %, 2,8 %, 7,3 % respektive 96 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 0,59 mg/kg torrsvikt, för 2000 0,18 mg/kg torrsvikt, för 2005 0,15 mg/kg torrsvikt, för 2010 0,13 mg/kg torrsvikt och för 2015 0,12 mg/kg torrsvikt.



Figur 18. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av kadmium i mossa, 1975-2015.

Kadmiumkoncentrationerna i mossa för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 19. Koncentrationen i mossa och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att kadmiumkoncentrationen i mossa minskat något mindre jämfört med den europeiska emissionsminskningen. I figuren syns även att emissionsminskningen av kadmium i Sverige varit kraftigare jämfört med EU15.

Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 19 Medelkoncentration av kadmium i mossa sedan 1975 för Sverige samt emissioner av kadmium till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossa och emissioner till luft visas som procent av 1990 års värde.

#### 5.4.2.1 2015 vs. 2010

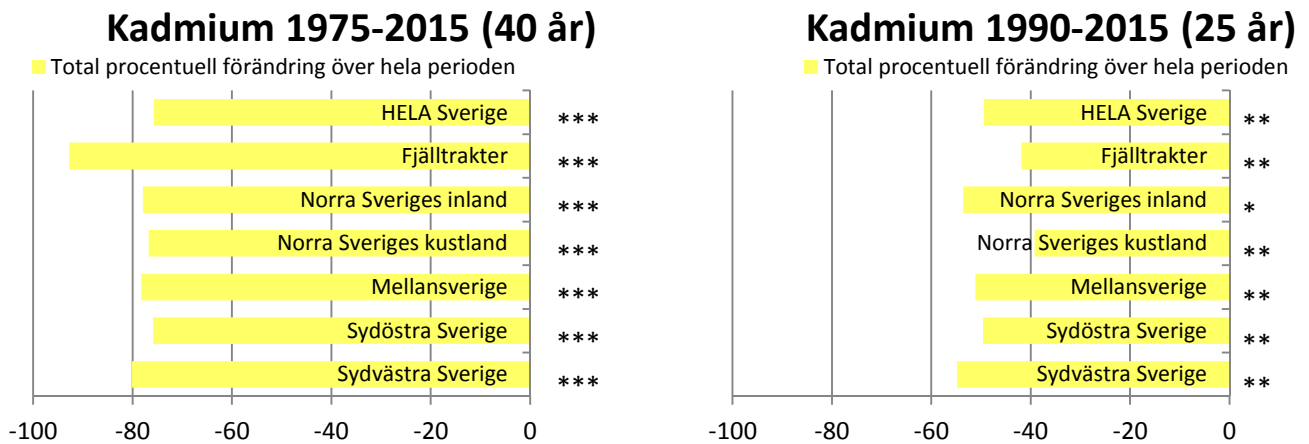
I Tabell 6 redovisas medelkoncentrationer för kadmium i mossa uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA och i fjälltrakterna (Region 1), norra Sveriges inland (Region 2) och norra Sveriges kustland (Region 3) finns ingen statistiskt signifikant förändring. Kadmiumkoncentrationerna var lägre 2015 jämfört med 2010 för alla övriga regioner samt för Sverige som helhet.

Tabell 6. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för kadmium för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,071	0,065	ej signifikant	-
2	0,079	0,080	ej signifikant	-
3	0,15	0,14	ej signifikant	-
4	0,15	0,13	***	minskning
5	0,17	0,13	***	minskning
6	0,16	0,15	*	minskning
Hela Sverige	0,13	0,12	***	minskning

### 5.4.2.2 Trendanalys

Under de senaste 40 åren (1975-2015) har kadmiumkoncentrationerna minskat signifikant i mossa, såväl för Sverige som helhet som i samtliga regioner. Även under de senaste 25 åren, 1990-2015, minskade kadmiumkoncentrationen i mossa signifikant i samtliga regioner. (Figur 20). För perioden 2000-2015 finns ingen statistiskt signifikant förändring. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



Figur 20. Trendanalys för kadmium i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .



## 5.5 Koppar (Cu)

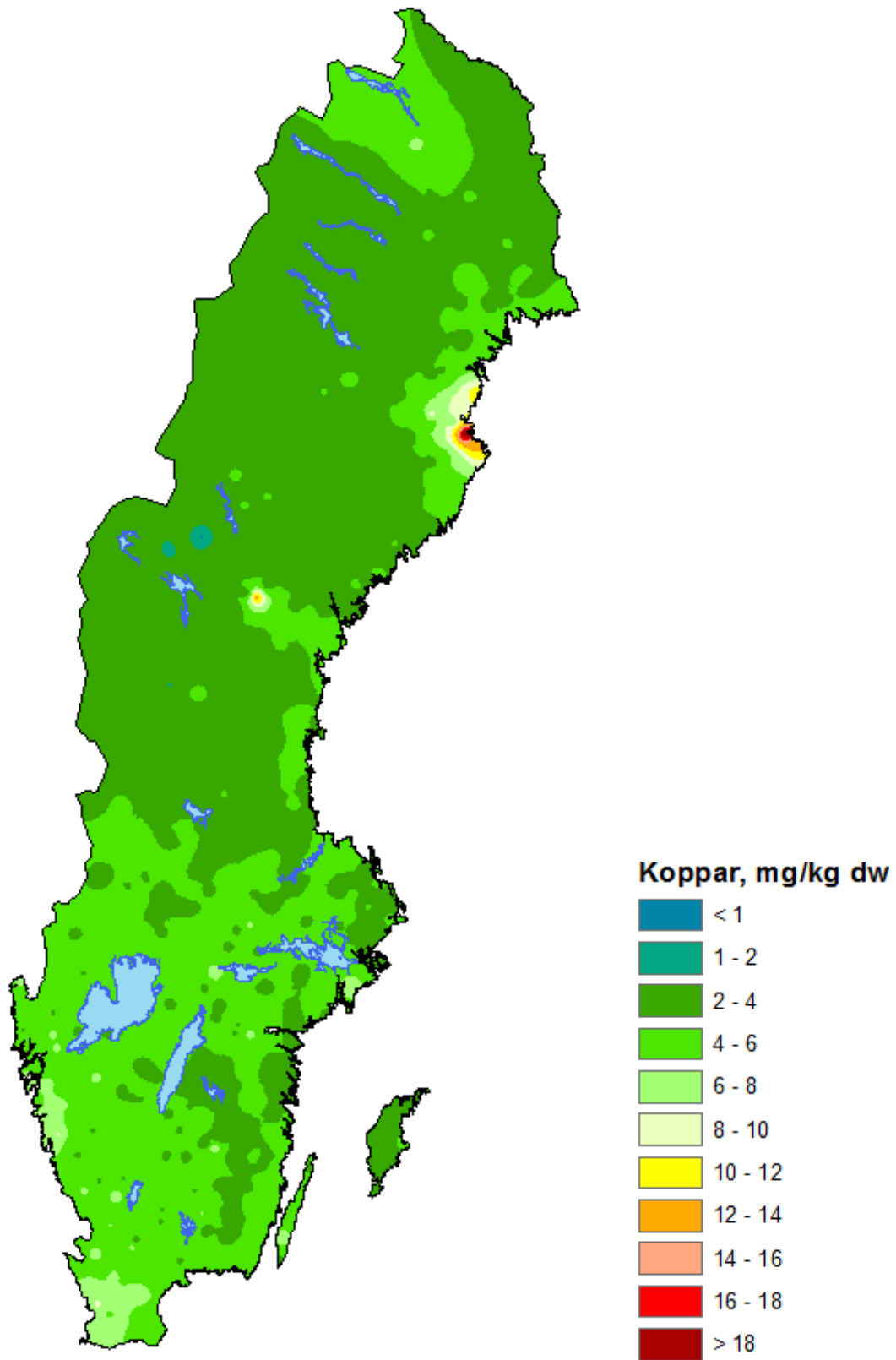
Koppar har god elektrisk och termisk ledningsförmåga. Metallsmältverk och förbränning av fossila bränslen har traditionellt varit de största antropogena källorna till kopparemissioner till luft men under senare år har emissioner av koppar från vägtrafik blivit en allt viktigare källa. Hulskotte m.fl. (2006) menar att kopparemissioner från bromsarna på vägtrafikfordon är en viktig källa till diffusa kopparemissioner till luft. Även Johansson m.fl. (2009) kommer till slutsatsen att slitage av bromsar och bromsbelägg är en viktig källa till höga kopparemissioner i stadsmiljö. Gruvdrift och anrikning av koppar leder till damning av kopparhaltiga partiklar. I atmosfären binds koppar till partiklar och tillförs ekosystemen via våt- och torrdeposition.

Koppar fungerar som spårämne hos växter och djur, men är giftig i större doser. I höga koncentrationer är koppar irriterande för magslemhinnan efter oralt intag. Kopparsulfat kan användas som kräkmedel (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16).

Koppar förekommer frekvent i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har detekterats i nederbördsprover och luftprover vid svenska bakgrundsstationer (NV luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)).

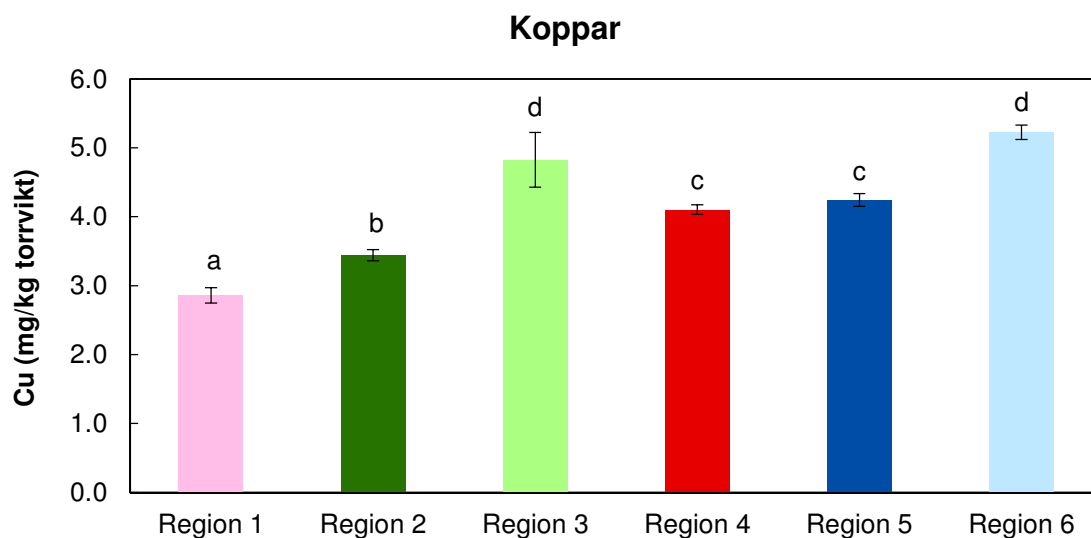
### 5.5.1 2015

I Figur 21 visas kopparkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av koppar allra högst i prover insamlade vid Västerbottens läns kusttrakter och ett prov med en koncentration på 21 mg/kg torrsvikt är insamlat där. Ytterligare åtta prover med koncentration över 8 mg/kg torrsvikt insamlades under 2015. Fyra av dessa var från Västerbottens län (13, 12, 8,5 respektive 8,1 mg/kg torrsvikt), ett från Jämtlands län (13 mg/kg torrsvikt), två från Skåne län (8,6 och 8,1 mg/kg torrsvikt) och ett från Hallands län (8,2 mg/kg torrsvikt).



Figur 21. Kopparkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

Den statistiska analysen av kopparkoncentrationerna i mossproverna från 2015 visas i Figur 22. Resultaten visar att fjälltrakterna (Region 1) har den signifikant lägsta medelkoncentrationen av koppar jämfört med samtliga övriga regioner (2,9 mg/kg torrsvikt). Norra Sveriges inland (Region 2) har högre medelkoncentration (3,4 mg/kg torrsvikt) jämfört med fjälltrakterna (Region 1) och lägre än övriga regioner. Medelkoncentrationerna i Mellansverige (Region 4) och sydöstra Sverige (Region 5) (4,1 respektive 4,2 mg/kg torrsvikt) är signifikant högre jämfört med fjälltrakterna och norra Sveriges inland men lägre än norra Sveriges kusttrakter (Region 3) och sydvästra Sverige (Region 6). Medelkoncentrationen av koppar i mossprover från norra Sveriges kustland och sydvästra Sverige är 4,8 respektive 5,2 mg/kg torrsvikt, vilket är signifikant högre än övriga regioner.

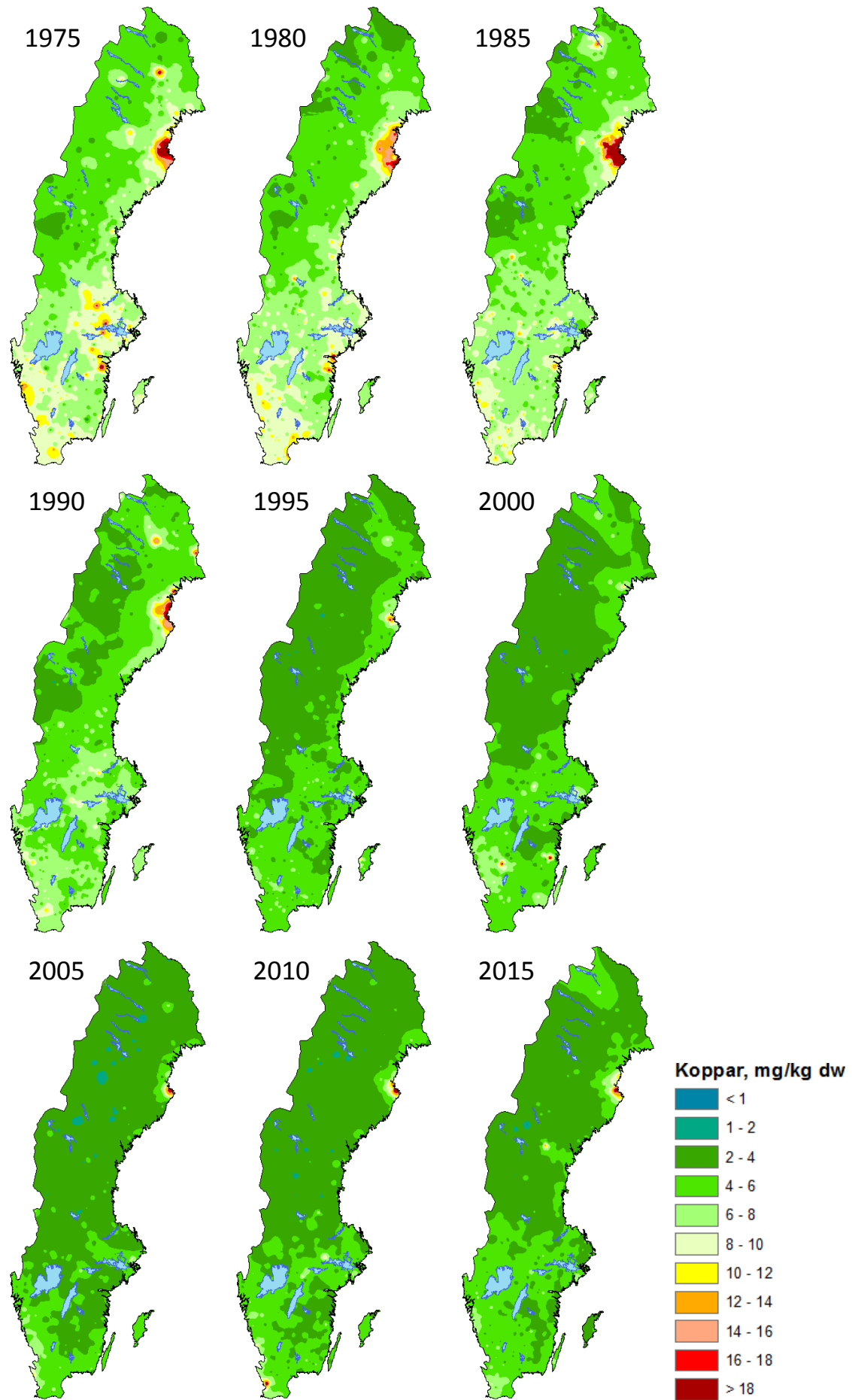


Figur 22. Medelkoncentrationer av koppar i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c, d) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av koppar inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

## 5.5.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 23 visar koncentration av koppar i mossor mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den minskning som skett sedan 1975 då de nationella mätningarna startade. I figuren syns även tydligt fortsatt förhöjda koncentrationer av koppar i mossprover insamlade i Västerbottens läns kustland. Bortsett från förhöjda kopparkoncentrationer i mossprover i Västerbottens kusttrakter ses en ganska tydlig syd-nordlig gradient över landet med de lägsta koncentrationerna i fjälltrakterna och norra Sveriges inland.

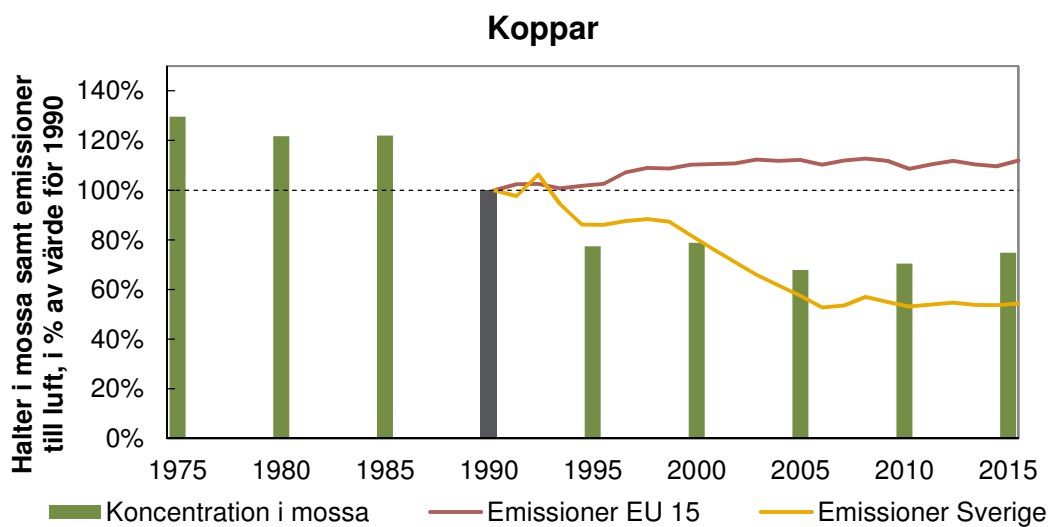
Under 2015 hade nio prover koncentrationer på eller över 8 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 1,5 % av det totala antalet prover. För 2010, 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 1,8 %, 1,3 %, 2,8 % respektive 32 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 7,2 mg/kg torrsvikt, för 2000 4,4 mg/kg torrsvikt, för 2005 3,8 mg/kg torrsvikt, för 2010 3,9 mg/kg torrsvikt och för 2015 4,2 mg/kg torrsvikt.



Figur 23. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av koppar i mossa, 1975-2015.

Kopparkoncentrationerna i mossa för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 24. Koncentrationen i mossa och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att kopparkoncentration i mossan minskat i samstämmighet med den svenska emissionsminskningen. I figuren syns även att emissionerna av koppar i Europa (EU15) har ökat från 1990. Den allra största andelen av de kopparemissioner som rapporteras till CLRTAP motsvarar emissioner från slitage av bromsbelägg.

Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 24. Medelkoncentration av koppar i mossa sedan 1975 för Sverige samt emissioner av koppar till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossa visas som procent av 1990 års värde.

### 5.5.2.1 2015 vs. 2010

I Tabell 7 redovisas medelkoncentrationer för koppar i mossa uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA och i norra Sveriges kustland (Region 3), Mellansverige (Region 4), sydöstra Sverige (Region 5) samt i sydvästra Sverige (Region 6) finns ingen statistiskt signifikant förändring. Däremot var kopparkoncentrationerna högre 2015 jämfört med 2010 i fjälltrakterna (Region 1), norra Sveriges inland (Region 2) samt för Sverige som helhet.

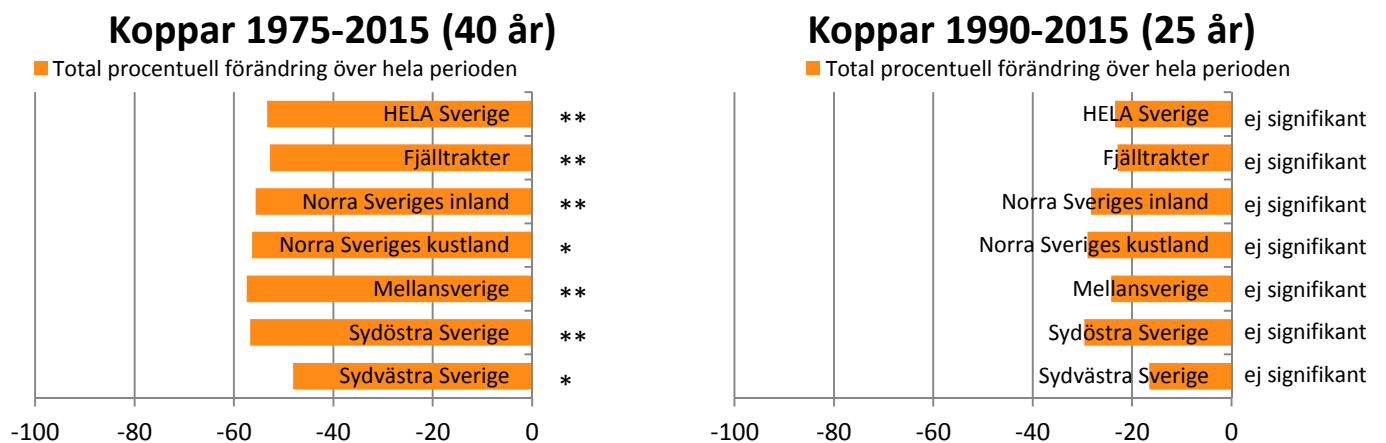
Den starkt signifikanta skillnaden mellan medelvärdena för norra Sveriges inland beror framför allt på hög koncentration av koppar (13 mg/kg torrsvikt) i ett mossprov insamlat i Jämtlands län 2015.

Tabell 7. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för koppar för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	2,5	2,9	*	ökning
2	2,8	3,4	***	ökning
3	4,5	4,8	ej signifikant	-
4	4,0	4,1	ej signifikant	-
5	4,1	4,2	ej signifikant	-
6	5,2	5,2	ej signifikant	-
Hela Sverige	3,9	4,2	**	ökning

### 5.5.2.2 Trendanalys

Under de senaste 40 åren (1975-2015) har kopparkoncentrationerna minskat signifikant i mossa, såväl för Sverige som helhet som i samtliga regioner. Motsvarande analys för perioden 1990-2015 visar ingen statistiskt signifikant förändring. (Figur 25). Inte heller för de senaste 15 åren (2000-2015) erhålls några statistiskt signifikanta förändringar. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



Figur 25. Trendanalys för koppar i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .

## 5.6 Krom (Cr)

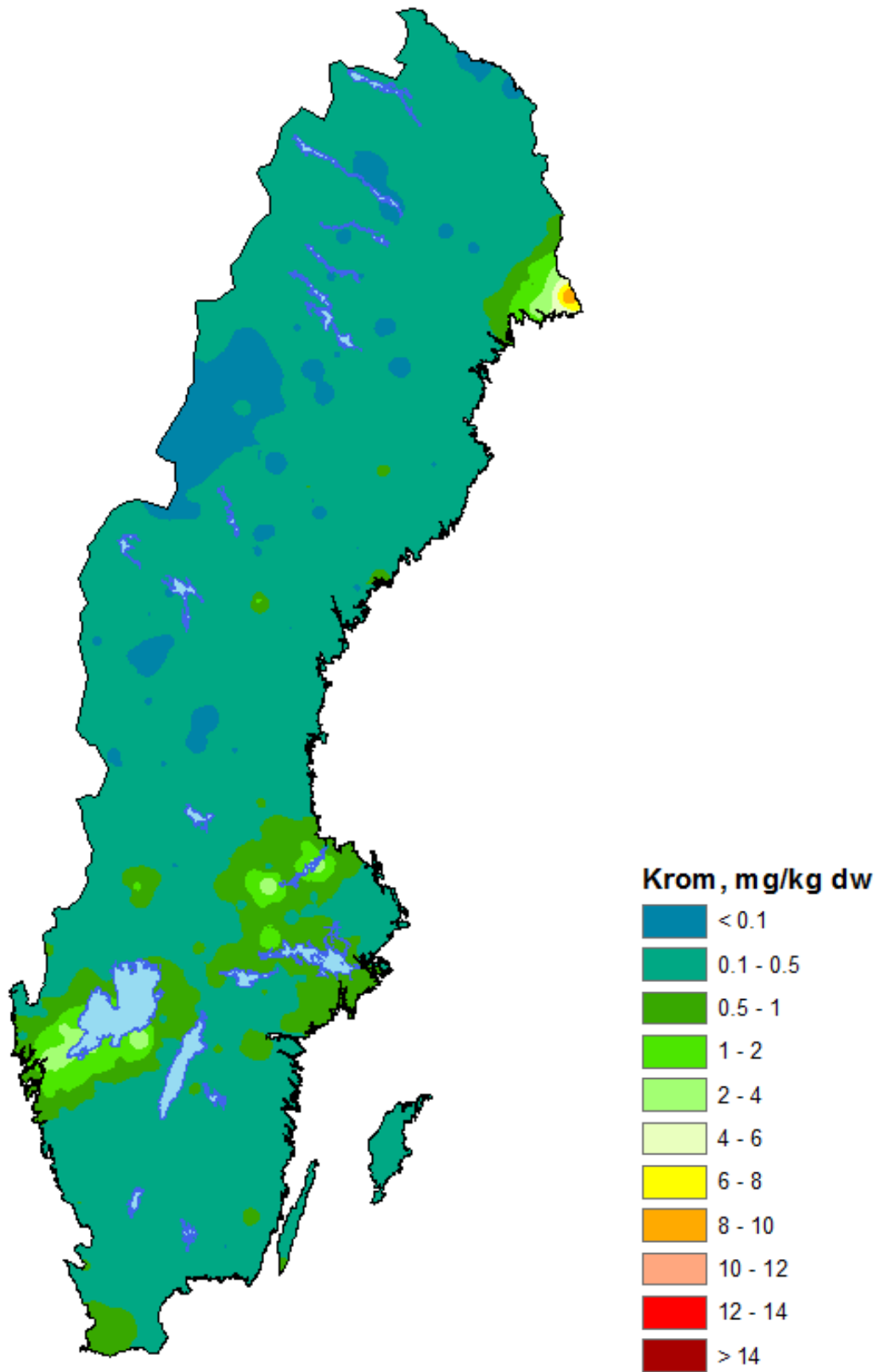
Krom finns i jordskorpan i ganska riklig mängd. Två-, tre- och sexvärt krom är de vanligaste formerna. Krom används t.ex. vid framställning av speciellt hållbara legeringar, till förkromning, för tillverkning av rostskyddsfärger och pigment samt för garvning av läder och för träimpregnering (International Chromium Development Association, 2007). Antropogena källor till emissioner av krom till luft är förbränning av fossila bränslen, brytning och bearbetning av kromrika malmer, metallurgisk och kemisk industri samt garveriverksamhet (Suchara m. fl., 2007; International Chromium Development Association, 2007). I atmosfären binds krom huvudsakligen till partiklar och tillförs ekosystemen med våt- och torrdeposition. Krom kan även tillföras atmosfären via vulkanutbrott.

I låga doser är trevärt krom en essentiell metall som behövs för glukosmetabolismen (International Chromium Development Association, 2007). I för höga doser orsakar trevärt krom skador på lever, njurar och lungor (Zayed och Terry, 2003). Upptaget av trevärt krom i magtarmkanalen är dock mycket litet. Sexvärt krom, den mest giftiga formen, tas upp betydligt bättre och kan också tas upp genom hud och slemhinnor. De sexvärda kromföreningarna är irriterande/etsande på hud och slemhinnor och är också allergent. Det finns även en risk att utveckla lungcancer om man exponeras för sexvärt krom (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16; Peralta-Videa m. fl. 2008).

Krom förekommer frekvent i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har detekterats i luft- och nederbördsprover vid svenska bakgrundsstationer (NV luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)).

### 5.6.1 2015

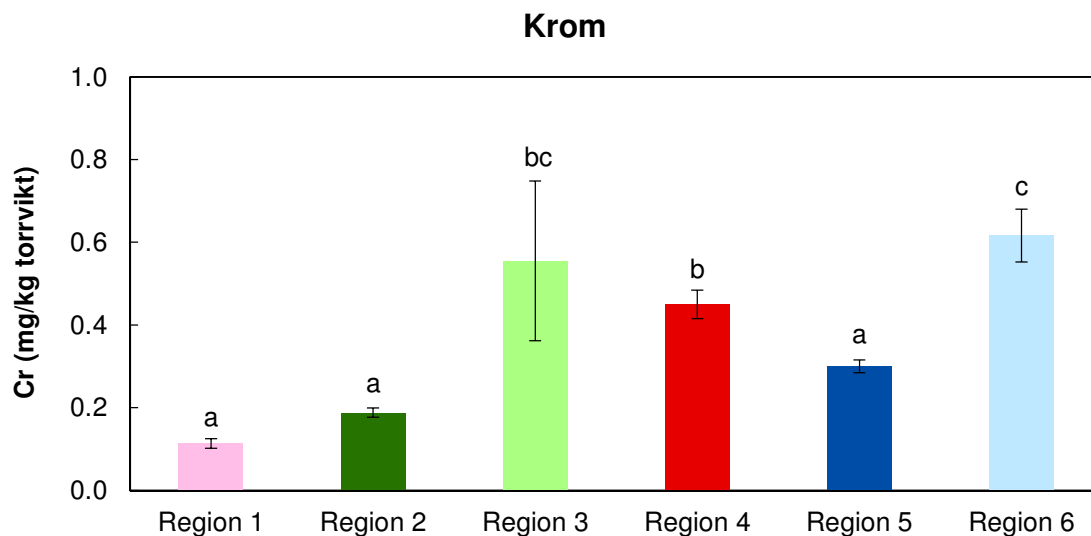
I Figur 26 visas kromkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av krom högst i Norrbottens kustland. Koncentrationerna tycks också något förhöjda i Västra Götalands län, i Dalarnas län och i Uppsala län. Mossprovet med den allra högsta koncentrationen (9,7 mg/kg torrsvikt) kom från Norrbottens kusttrakter vid gränsen mot Finland, där även ytterligare ett prov med hög koncentration (4,8 mg/kg torrsvikt) insamlades. Ytterligare åtta mossprover med koncentrationer över 2 mg/kg torrsvikt insamlades under 2015. Av dessa kom sex prover från Västra Götalands län (3,9, 3,3, 3,1, 2,9, 2,5 respektive 2,2 mg/kg torrsvikt), ett från Dalarnas län (3,8 mg/kg torrsvikt) och ett från Uppsala län (3,1 mg/kg torrsvikt).



Figur 26. Kromkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.



Den statistiska analysen av kromkoncentrationerna i mossproverna från 2015 visas i Figur 27. Resultaten visar att fjälltrakterna (Region 1), norra Sveriges inland (Region 2) och sydöstra Sverige (Region 5) har signifikant lägre medelkoncentrationer av krom jämfört med övriga regioner (0,11, 0,19 respektive 0,30 mg/kg torrsvikt). Medelkoncentrationerna i sydvästra Sverige (Region 6) är den högsta (0,62 mg/kg torrsvikt) och är signifikant högre än samtliga regioner förutom medelkoncentrationen i norra Sveriges kusttrakter (0,56 mg/kg torrsvikt) (Region 3). Medelkoncentrationen i Mellansverige (0,45 mg/kg torrsvikt) (Region 4) är signifikant högre jämfört med fjälltrakterna och norra Sveriges inland samt signifikant lägre än sydvästra Sverige.

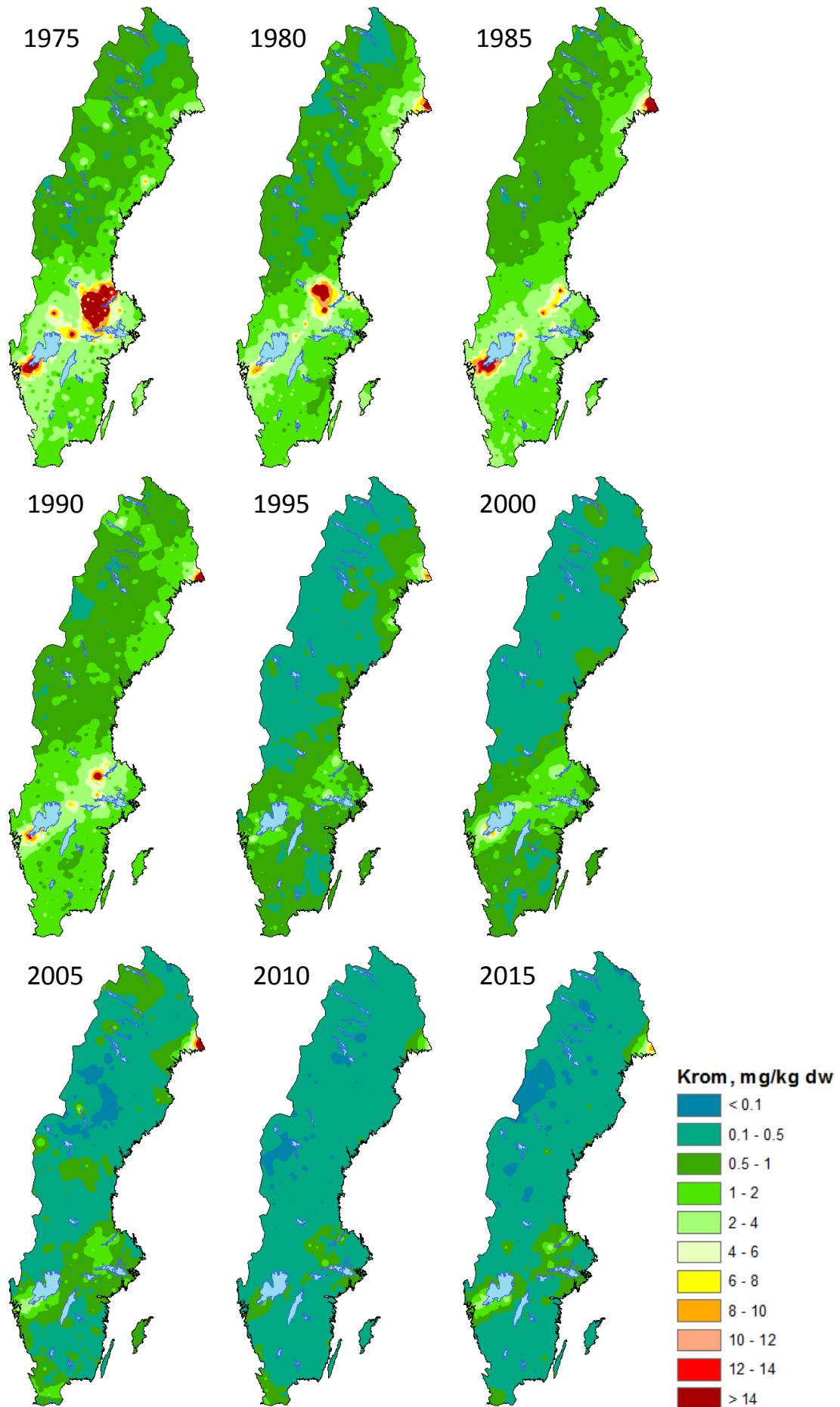


Figur 27. Medelkoncentrationer av krom i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av krom inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

## 5.6.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 28 visar koncentration av krom i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den minskning som skett sedan 1975 då de nationella mätningarna startade. I figuren syns även att den högsta koncentrationen av krom 2015 uppmättes i Norrbottens kustland följt av Västra Götalands län, Dalarnas län samt Uppsala län. Denna bild gäller även för övriga år med den skillnaden att koncentrationerna 2015 är väsentligt lägre jämfört med koncentrationerna under 1970-, 1980- och 1990-talen. Jämfört med 2010 tycks koncentrationerna vara högre 2015. Det är dock värt att nämna att analys av krom i mossprover är förknippat med stor osäkerhet (Steinnes m. fl., 1997). Det finns en risk att utbytet vid 2010 års analys varit alltför lågt och att kromkoncentrationerna generellt är något underskattade.

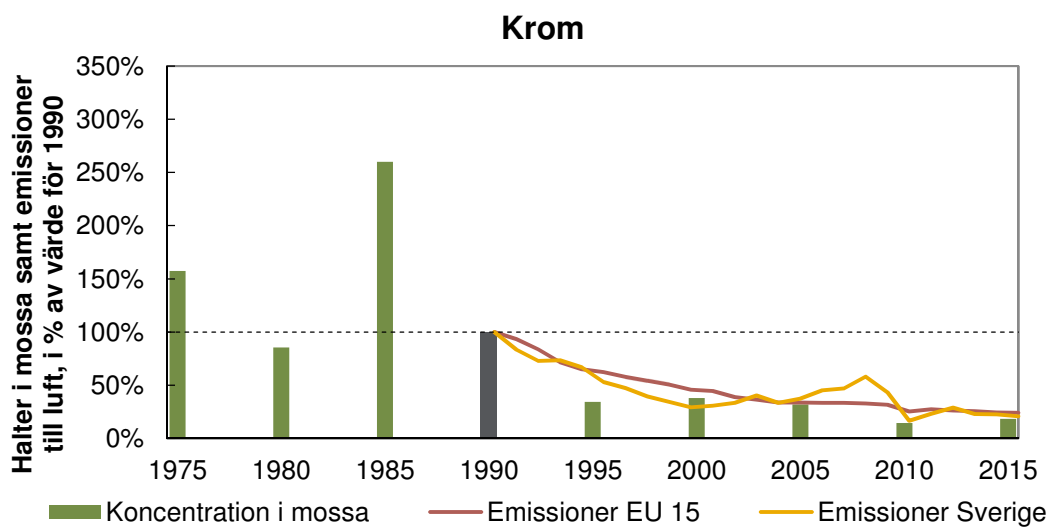
Under 2015 hade tio prover koncentrationer på eller över 2 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 1,6 % av det totala antalet prover. För 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 3,4 %, 5,6 % respektive 37 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 3,2 mg/kg torrsvikt, för 2000 0,78 mg/kg torrsvikt, för 2005 0,66 mg/kg torrsvikt och för 2015 0,38 mg/kg torrsvikt.



Figur 28. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av krom i mossor, 1975-2015.

Kromkoncentrationerna i mossa för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 29. Koncentrationen i mossa och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att kromkoncentrationen i mossa minskat i samstämmighet med den svenska och den europeiska (EU15) emissionsminskningen. Den stora variationen mellan koncentrationer i mossproven 1975, 1980, 1985 och 2010 kan bero på den tidigare nämnda osäkerhet som finns förknippad med analys av krom (Steinnes m. fl., 1997).

Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 29. Medelkoncentration av krom i mossa sedan 1975 för Sverige samt emissioner av krom till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossa visas som procent av 1990 års värde.

### 5.6.2.1 2015 vs. 2010

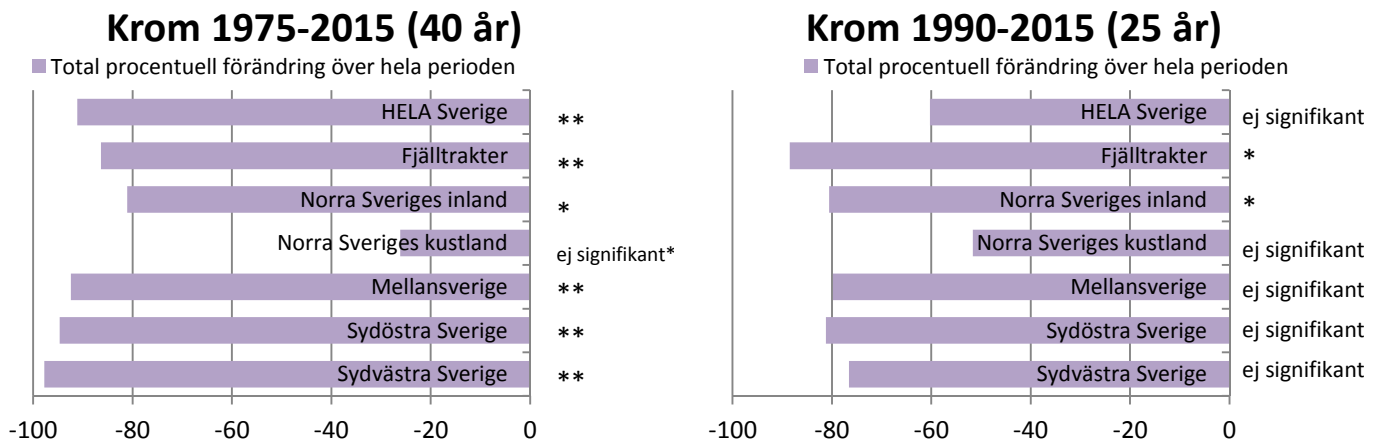
I Tabell 8 redovisas medelkoncentrationer för krom i mossa uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA och i norra Sveriges kustland (Region 3) och i sydöstra Sverige (Region 5) finns ingen statistiskt signifikant förändring. Däremot var kromkoncentrationerna lägre 2015 jämfört med 2010 i fjälltrakterna (Region 1) medan de var högre 2015 jämfört med 2010 i övriga regioner (norra Sveriges inland (Region 2), Mellansverige (Region 4), sydvästra Sverige (Region 6)) samt för Sverige som helhet. Som tidigare nämnts finns en risk att utbytet vid 2010 års analys varit alltför lågt och att kromkoncentrationerna generellt därför är något underskattade.

**Tabell 8. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för krom för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.**

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,15	0,11	*	minskning
2	0,15	0,19	**	ökning
3	0,41	0,56	ej signifikant	-
4	0,34	0,45	*	ökning
5	0,27	0,30	ej signifikant	-
6	0,45	0,62	*	ökning
<b>Hela Sverige</b>	<b>0,30</b>	<b>0,38</b>	<b>**</b>	<b>ökning</b>

### 5.6.2.2 Trendanalys

När det gäller krom visar resultaten från de senaste 40 åren i Figur 30 att kromkoncentrationen i mossa minskar signifikant för Sverige som helhet samt för samtliga regioner i Sverige, förutom vid Norra Sveriges kustland. Motsvarande analys för perioden 1990-2015 visar endast på en signifikant minskning i kromkoncentration i mossa för fjälltrakterna samt norra Sveriges inland. (Figur 30). För perioden 2000-2015 finns ingen statistiskt signifikant förändring. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



**Figur 30. Trendanalys för krom i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .**

## 5.7 Kvikksilver (Hg)

Kvikksilver är en sällsynt metall i jordskorpan och det enda kvikksilverhaltiga mineral av betydelse är cinnober (HgS). Kvikksilver förekommer i flytande form vid rumstemperatur. Metalliskt kvikksilver används i medicinska och vetenskapliga instrument som termometrar, blodtrycksmätare och barometrar. Vid elektrokemisk framställning av klorgas inom kloralkaliindustrin används kvikksilver som elektrod. I denna industri kan exponeringen för kvikksilverånga vara hög. En annan källa till kvikksilveremissioner i Sverige är krematorierna. Kvikksilveremissionerna från krematorierna har minskat genom åren på grund av att antalet krematorier med rökgasrening har ökat (Sveriges kyrkogårds- och krematorieförbund, <http://www.skkf.se>). Även vid utvinning av guld används kvikksilver. I små mängder finns kvikksilver i lysrör, batterier och andra elektroniska komponenter. Den idag största yrkesmässigt kvikksilverexponerade gruppen är tandvårdspersonal (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16). Oorganiskt kvikksilver emitteras framför allt från användning inom klor-alkaliindustrin (Biester m.fl., 2002) och från förbränning av kol (Novoa-Munoz m. fl., 2008). I luft förekommer metallen till övervägande del som metalliskt kvikksilver, men finns även bunden till partiklar och som andra gasformiga föreningar.

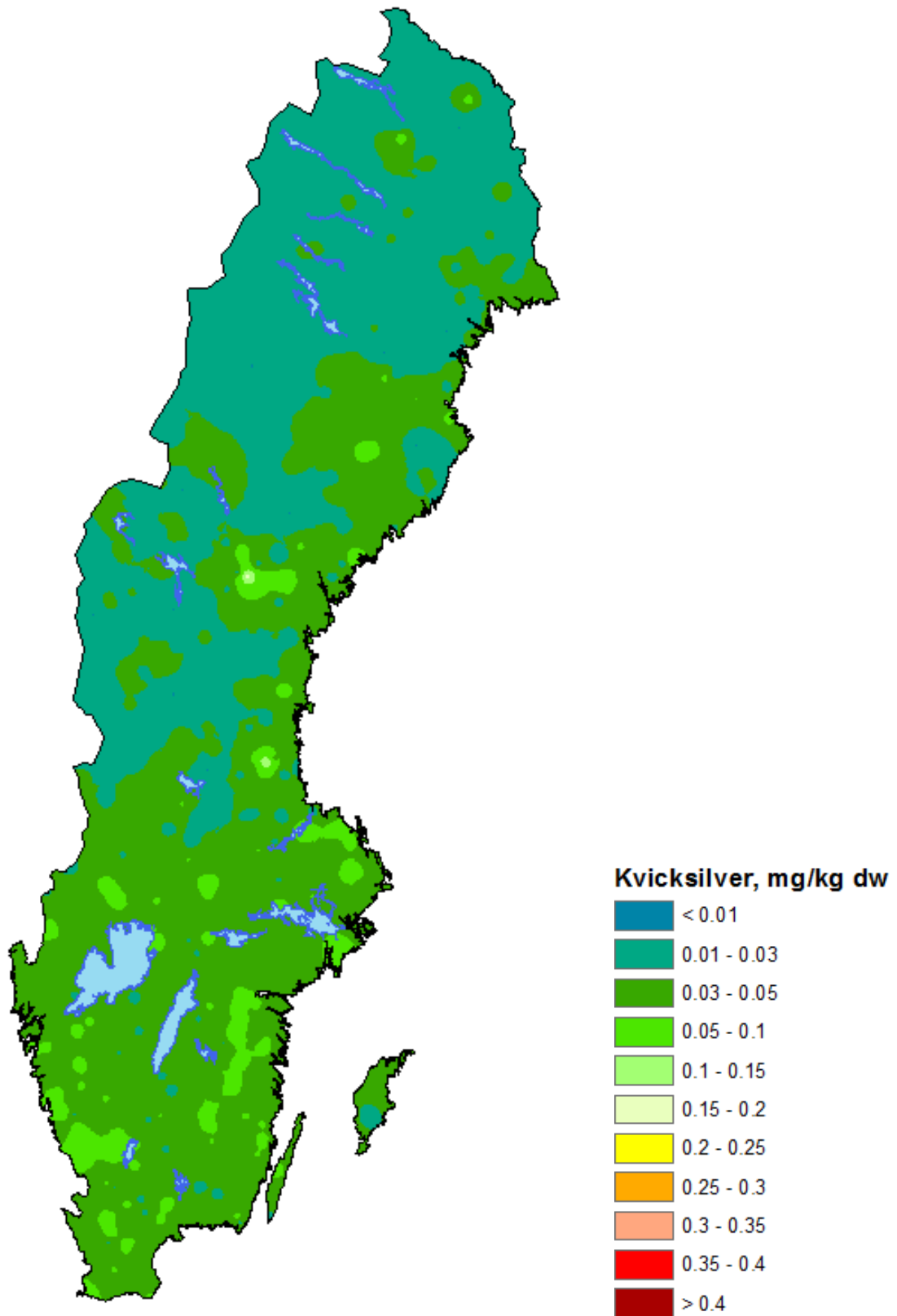
Den atmosfäriska uppehållstiden för metalliskt kvikksilver är ett till två år, vilket gör att långväga transport är en möjlig spridningsväg. Kvikksilver i mark och vatten utgörs mestadels av kvikksilverföreningar bundna till organiskt material (Palm m. fl., 2001). Den långa uppehållstiden i atmosfären gör att kvikksilver kan spridas globalt och belägg finns som visar på ökande koncentrationerna av kvikksilver i fisk och däggdjur i Arktis (WHO, 2007).

Kvikksilver och många av dess föreningar, t.ex. metylkvikksilver, är starkt toxiska för de flesta typer av organismer. Kvikksilver fungerar som en inhibitor för många enzymatiska processer. Utsläppen av oorganiskt kvikksilver till luft kan omvandlas till metylkvikksilver i mark och vatten. Metylkvikksilver bioackumuleras i näringskedjan och människor utsätts främst för metylkvikksilver via fisk i kosten. De organ som främst drabbas vid förhöjd exponering av kvikksilver är njurarna och det centrala nervsystemet (Harmens m. fl., 2008).

Kvikksilver förekommer frekvent i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och detekterbara, förhöjda koncentrationer har påvisats i luft och nederbörd (NVs luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se); Sjöberg m. fl., 2014).

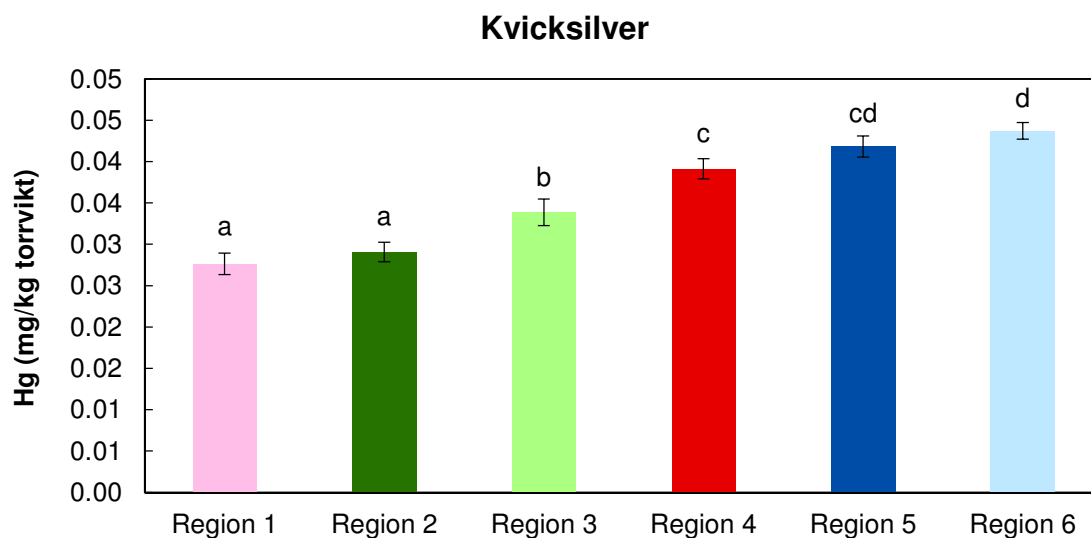
### 5.7.1 2015

I Figur 31 visas kvikksilverkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av kvikksilver något högre i södra Sverige och i östra delarna av norra Sverige och lägre i de västra delarna av norra Sverige. Generellt är kvikksilverkoncentrationerna i mossor i Sverige relativt låga. Endast två mossprover med koncentration över 0,10 mg/kg torrsvikt insamlades 2015. Dessa kommer från Jämtlands län (0,42 mg/kg torrsvikt) och Gävleborgs län (0,15 mg/kg torrsvikt).



Figur 31. Kvicksilverkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

Den statistiska analysen av kvicksilverkoncentrationerna i mossproverna från 2015 visas i Figur 32. Figuren visar väl att det finns en tydlig syd-nordlig gradient med de högsta koncentrationerna i södra Sverige. Resultaten visar att fjälltrakterna (Region 1) och norra Sveriges inland (Region 2) har signifikant lägre medelkoncentrationer av kvicksilver jämfört med samtliga övriga regioner (0,028 respektive 0,029 mg/kg torrsvikt). Norra Sveriges kustland (Region 3) har signifikant högre kvicksilverkoncentrationer jämfört med fjälltrakterna och norra Sveriges inland (0,034 mg/kg torrsvikt). Denna koncentration är signifikant lägre än koncentrationerna i Mellansverige (0,039 mg/kg torrsvikt) (Region 4), sydöstra Sverige (0,042 mg/kg torrsvikt) (Region 5) och sydvästra Sverige (0,044 mg/kg torrsvikt) (Region 6). Koncentrationen i sydvästra Sverige är signifikant högre jämfört med övriga regioner.

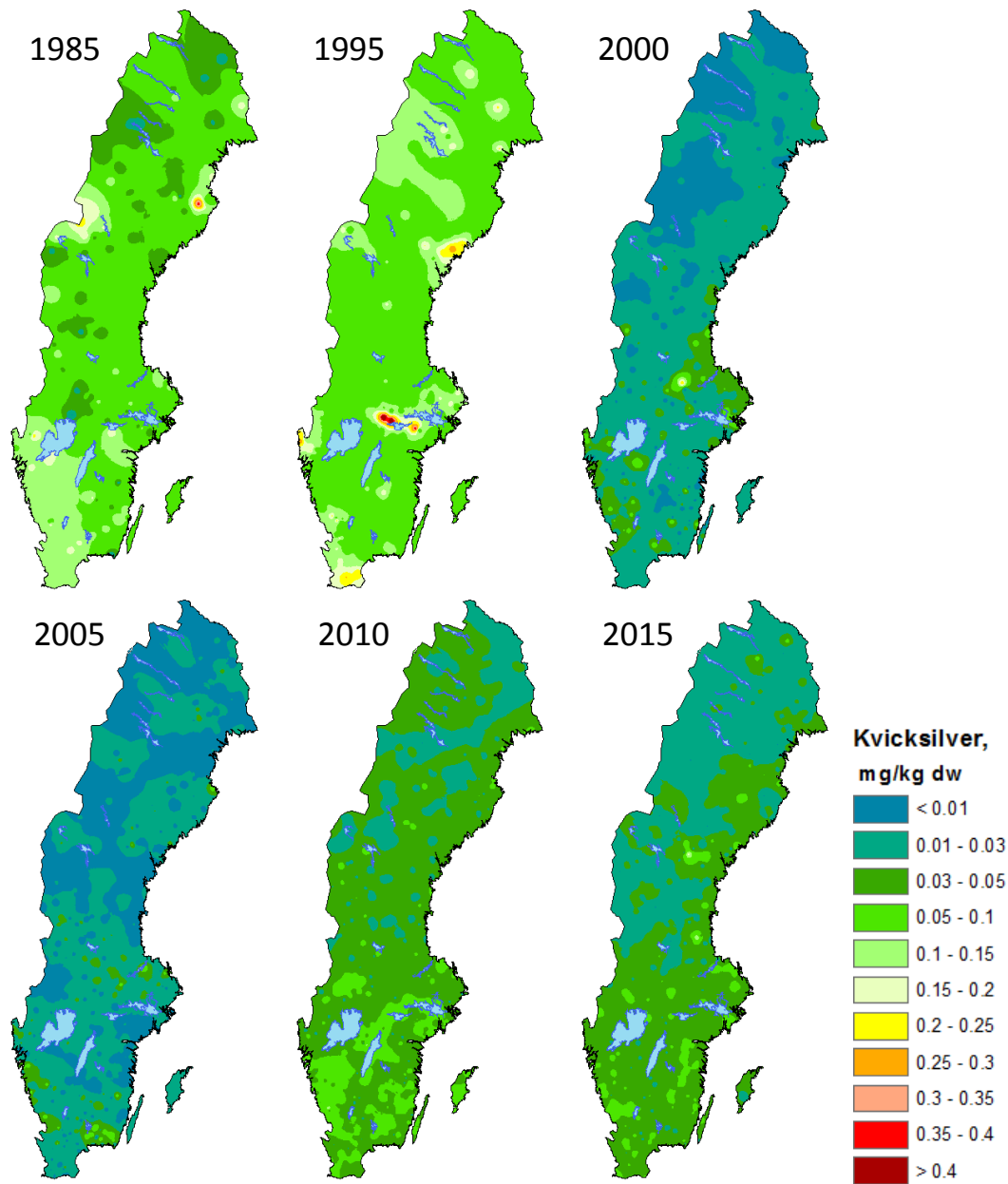


Figur 32. Medelkoncentrationer av kvicksilver i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c, d) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av kvicksilver inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

## 5.7.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 33 visar koncentration av kvicksilver i mossor mellan 1985 och 2015. I figuren syns tydligt den förändring som skett sedan 1985 då de nationella mätningarna av kvicksilver startade. Kartorna antyder att det finns en ökning av koncentrationen av kvicksilver i mossproverna från 2010 och 2015 jämfört med 2000 och 2005. Eftersom kvicksilver är en flyktig metall är det viktigt att mossproverna inte torkas i för hög temperatur. Kartorna indikerar att det finns en risk för att alltför hög temperatur använts under torkningen av mossproverna 2000 och 2005.

Under 2015 hade två prover koncentrationer på eller över 0,1 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 0,3 % av det totala antalet prover. För 2010, 1995 och 1985 var motsvarande värden 0,3 %, 19 % respektive 38 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1985 0,078 mg/kg torrsvikt, för 1995 0,090 mg/kg torrsvikt, för 2010 0,041 mg/kg torrsvikt och för 2015 0,037 mg/kg torrsvikt.

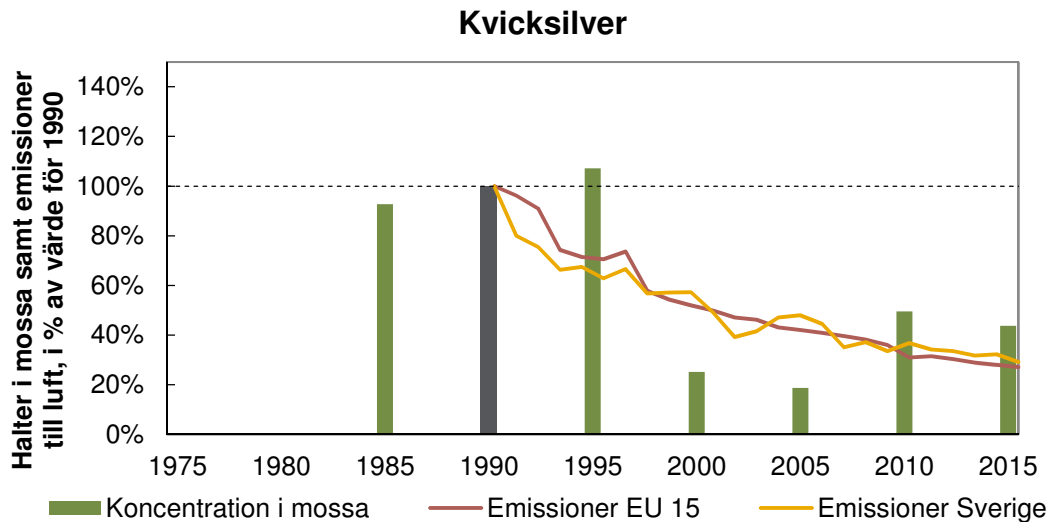


Figur 33. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av kvicksilver i mossa, 1975-2015.

Kvicksilverkoncentrationerna i mossa för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 34. Koncentrationen i mossa och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att kvicksilverkoncentrationen i mossa inte riktigt minskat i samstämmighet med den svenska och den europeiska (EU15) emissionsminskningen av kvicksilver. Att samstämmigheten mellan koncentrationen i mossa samt emissioner av kvicksilver inte stämmer så bra för 2000 och 2005 beror sannolikt på, som tidigare nämnts, att mossan torkats vid för hög temperatur under dessa år.



Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 34. Medelkoncentration av kvicksilver i mossor sedan 1975 för Sverige samt emissioner av kvicksilver till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossor visas som procent av 1990 års värde. Kvicksilver analyserades inte 1990 utan värdet som visas är interpolerat.

#### 5.7.2.1 2015 vs. 2010

I Tabell 9 redovisas medelkoncentrationer för kvicksilver i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA och i Mellansverige (Region 4) fanns ingen statistiskt signifikant förändring. Däremot var kvicksilverkoncentrationerna lägre 2015 jämfört med 2010 i alla övriga regioner samt även i Sverige som helhet.

Tabell 9. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för kvicksilver för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,031	0,028	*	minskning
2	0,032	0,029	*	minskning
3	0,039	0,034	*	minskning
4	0,042	0,039	ej signifikant	-
5	0,048	0,042	**	minskning
6	0,050	0,044	**	minskning
<b>Hela Sverige</b>	0,041	0,037	***	minskning

#### 5.7.2.2 Trendanalys

Ingen trendanalys har gjorts för kvicksilver då proverna troligen inte för samtliga år torkats i rumstemperatur.

## 5.8 Nickel (Ni)

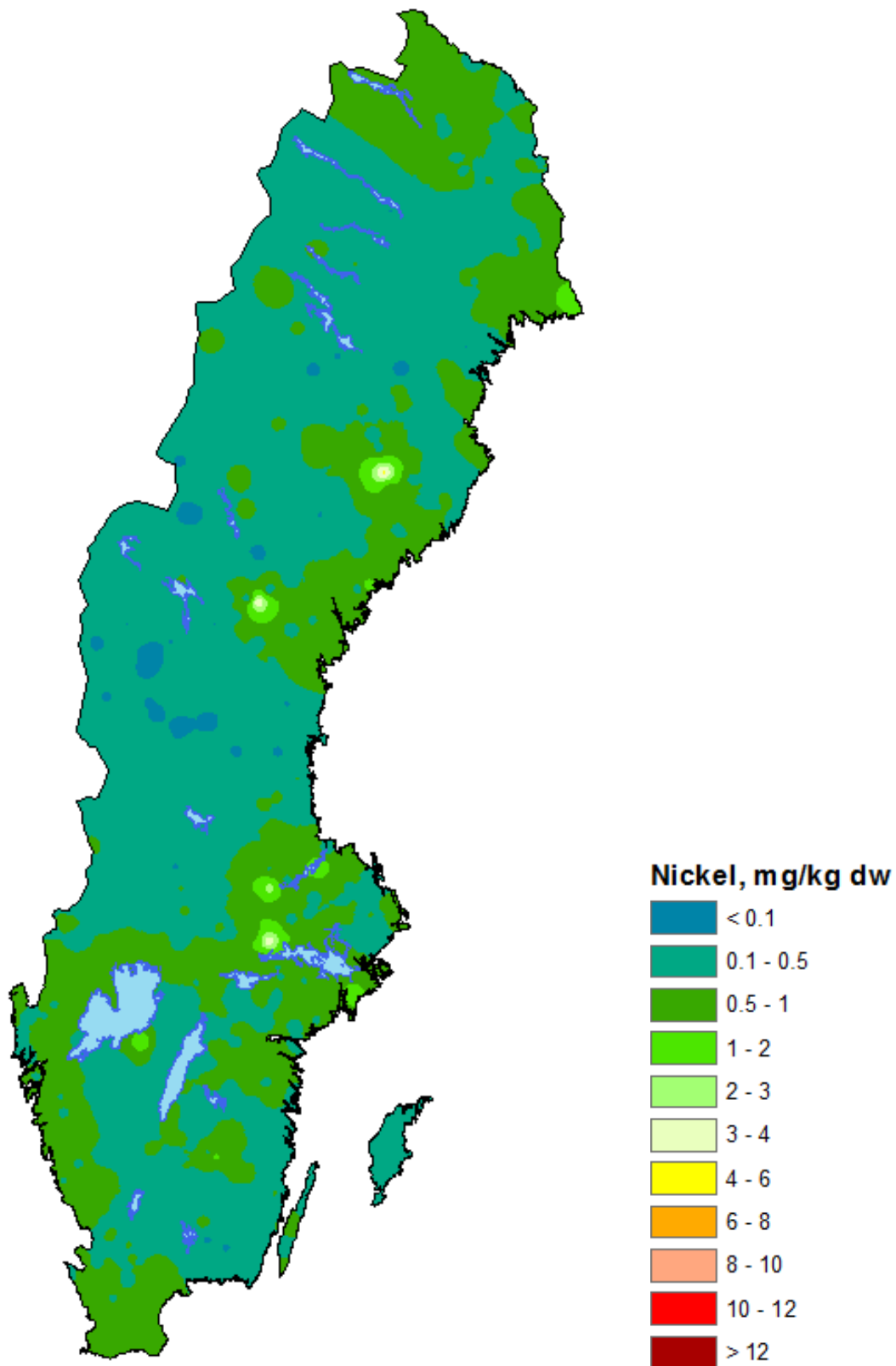
Nickel är en relativt vanlig metall i jordskorpan. Det huvudsakliga användningsområdet är som metallytbehandlingsmedel p.g.a. dess motståndskraft mot korrosion. Metallen används även i nickel-kadmiumbatterier (Palm m.fl., 2005). Nickel används även ofta i legeringar. Viktiga källor för emissioner av nickel till luft är petroleumindustrin, järn- och stålindustrin främst vid framställningen av rostfritt stål, förbränning av fossila bränslen (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16). De flesta nickelföreningar förekommer i atmosfären bundna till partiklar och tillförs ekosystemet med torr- och våtdeposition.

Nickel är ett viktigt spårämne för många organismer men kan i högre koncentrationer vara giftigt. Det är måttligt toxiskt för däggdjur, men det kan framkalla allergiska reaktioner hos människor. Nickelföreningar och förmodligen också metalliskt nickel är cancerframkallande för människor (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16).

Nickel har detekterats i ytvatten provtagna med passiva provtagare i förhöjda koncentrationer i södra Sverige jämfört med norra (SWECO VIAK, 2007) och förekommer i biotaprover (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV). Nickel har detekterats i nederbördsprover och luftprover vid svenska bakgrundsstationer (NVs luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se); Sjöberg m. fl., 2014).

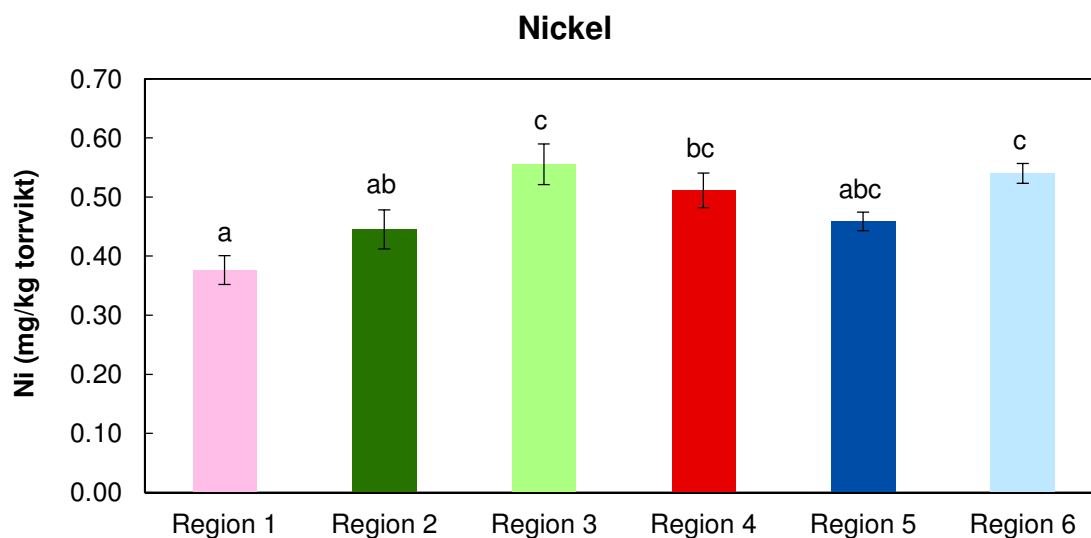
### 5.8.1 2015

I Figur 35 visas nickelkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren varierar nickelkoncentrationerna ganska lite över landet som helhet men det finns områden med något högre koncentrationer spridda över Sverige. Den högsta koncentrationen återfanns i ett mossprov insamlat i Västerbottens inland (4,1 mg/kg torrsvikt). Ytterligare tre prover med koncentration över 2 mg/kg torrsvikt är insamlade i Jämtlands län (3,7 mg/kg torrsvikt), i Västmanlands län (3,6 mg/kg torrsvikt) och i Dalarnas län (2,4 mg/kg torrsvikt). Ungefär 63 % av mossprover insamlade under 2015 hade koncentration av nickel under 0,5 mg/kg torrsvikt.



Figur 35. Nickelkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

Den statistiska analysen av nickelkoncentrationerna i mossproverna från 2015 visas i Figur 36. Medelkoncentrationen för nickel för fjälltrakterna (0,38 mg/kg torrsvikt) (Region 1) är den lägsta och signifikant lägre än medelvärdena för Mellansverige (0,51 mg/kg torrsvikt) (Region 4), norra Sveriges kusttrakter (0,56 mg/kg torrsvikt) (Region 3), och sydvästra Sverige (0,54 mg/kg torrsvikt) (Region 6). De två sistnämnda är signifikant högre än samtliga regioner förutom Mellansverige (Region 4). Medelkoncentrationen i sydöstra Sverige (0,46 mg/kg torrsvikt) (Region 5) är inte signifikant skild från någon av regionerna. Medelkoncentrationen i norra Sveriges inland (Region 2) var 0,45 mg/kg torrsvikt.

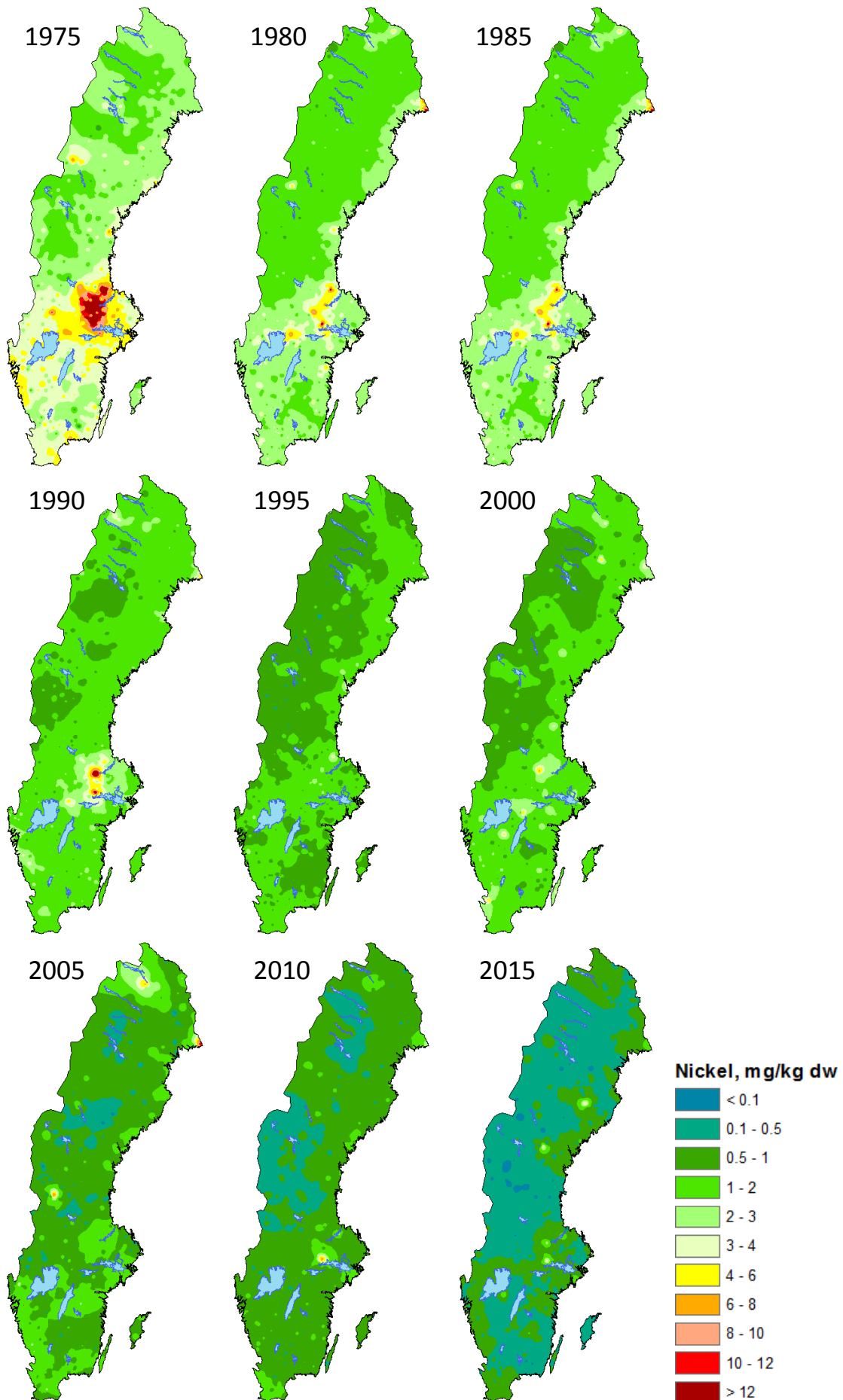


Figur 36. Medelkoncentrationer av nickel i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av nickel inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

## 5.8.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 37 visar koncentration av nickel i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den kontinuerliga minskning som skett sedan 1975 då de nationella mätningarna startade. Som tidigare nämnts var 63 % av proverna insamlade 2015 under 0,5 mg/kg torrsvikt. Motsvarande uppgift för 2010 och 2005 var 21 % respektive 17 %. Norra Sveriges inland har generellt den lägsta belastningen samtliga år.

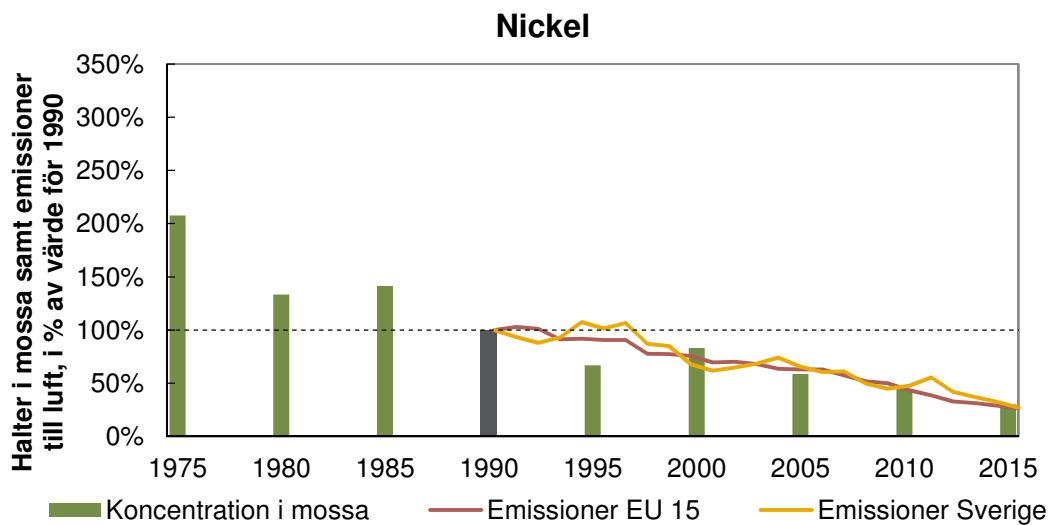
Under 2015 hade fyra prover koncentrationer på eller över 2 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 0,7 % av det totala antalet prover. För 2010, 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 0,7 %, 2,6 %, 12 % respektive 79 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 3,3 mg/kg torrsvikt, för 2000 1,3 mg/kg torrsvikt, för 2005 0,94 mg/kg torrsvikt för 2010 0,72 mg/kg torrsvikt och för 2015 0,49 mg/kg torrsvikt.



Figur 37. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av nickel i mossa, 1975-2015.

Nickelkoncentrationerna i mossor för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 38. Koncentrationen i mossor och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att nickelkoncentration i mossor minskat i samstämmighet med den svenska och den europeiska (EU15) emissionsminskningen.

Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 38. Medelkoncentration av nickel i mossor sedan 1975 för Sverige samt emissioner av nickel till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossor visas som procent av 1990 års värde.

### 5.8.2.1 2015 vs. 2010

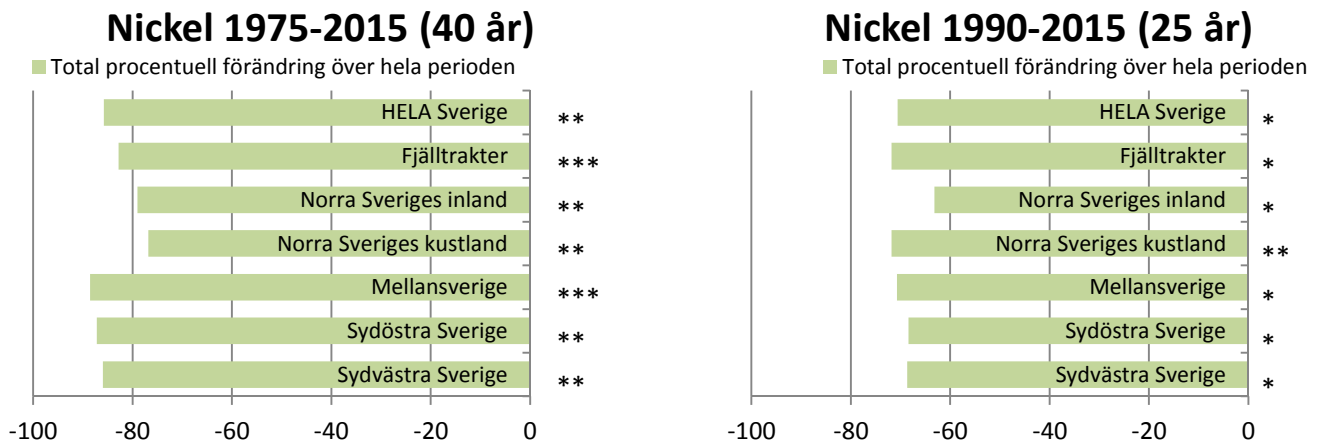
I Tabell 10 redovisas medelkoncentrationer för nickel i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA och i samtliga regioner samt för Sverige som helhet så var nickelkoncentrationerna lägre 2015 jämfört med 2010.

Tabell 10. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för nickel för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,55	0,38	***	minskning
2	0,57	0,45	**	minskning
3	0,89	0,56	***	minskning
4	0,76	0,51	***	minskning
5	0,72	0,46	***	minskning
6	0,81	0,54	***	minskning
Hela Sverige	0,72	0,49	***	minskning

### 5.8.2.2 Trendanalys

Under de senaste 40 åren har nickelkoncentrationerna i mossa minskat signifikant för Sverige som helhet samt för samtliga regioner. Motsvarande analys för perioden 1990-2015 visar även den att nickelkoncentrationen i mossa minskat signifikant för samtliga regioner samt för Sverige som helhet. (Figur 39). Däremot visar analysen för perioden 2000-2015 inte på några statistiskt signifikanta skillnader. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



Figur 39. Trendanalys för nickel i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 samt 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .

## 5.9 Vanadin (V)

Vanadin är ett sällsynt, mjukt metalliskt grundämne som inte förekommer i ren form i naturen (Suchara m. fl., 2007). Vanadin används främst i hårda legeringar till exempel tillsammans med krom. Vanadin emitteras främst från förbränning av olja och kol samt från oljeraffinaderier. Diffusa emissioner kan härstamma från vägbaneslitage då bitumen kan innehålla betydande mängder vanadin (Johansson m.fl., 2009).

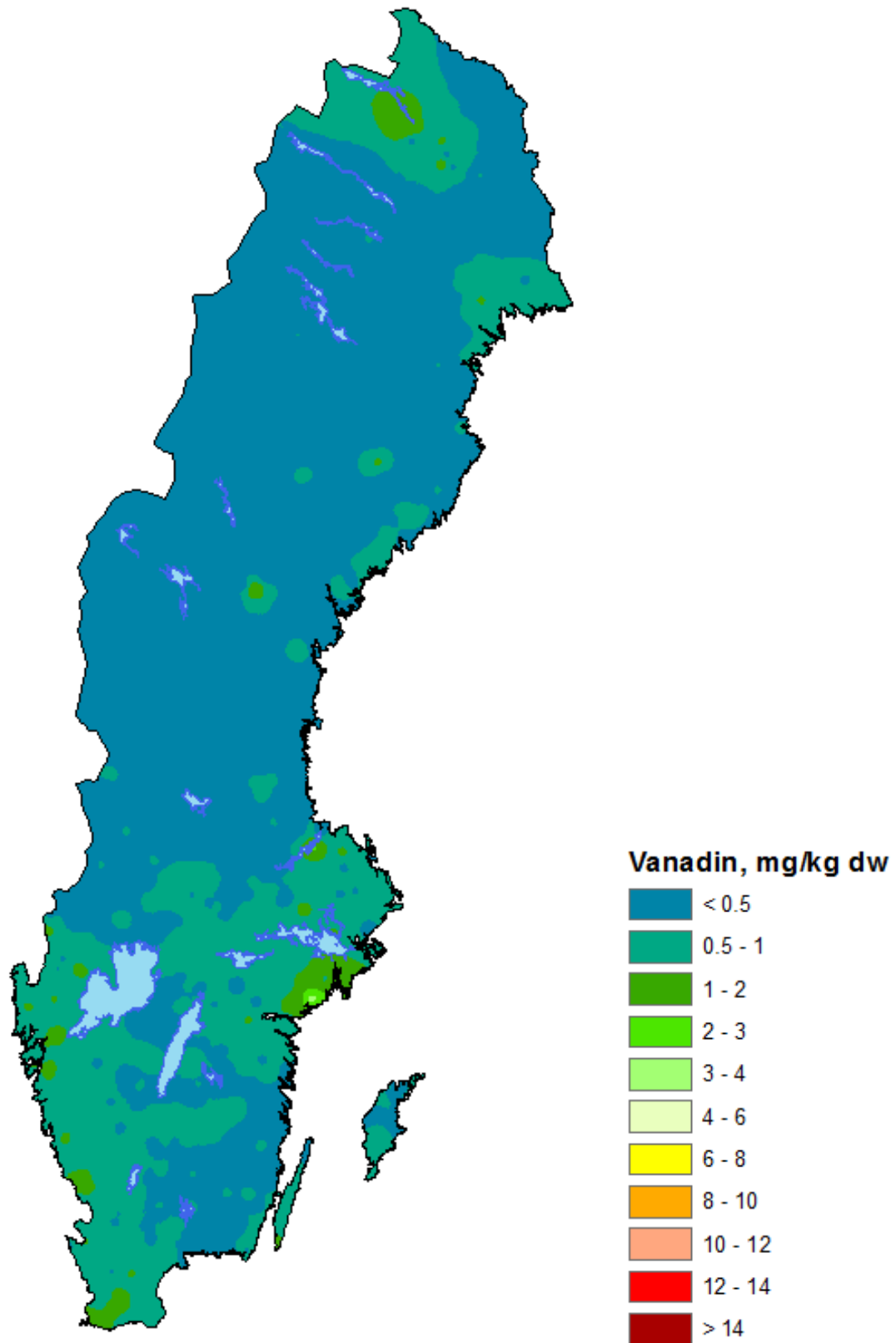
Vanadin är en viktig beståndsdel i vissa enzymer, särskilt vanadinnitrogenas används av vissa kvävefixerande mikroorganismer. Vanadin binds hårt till jordpartiklar och tas därför inte upp lätt av växter (Harmens m. fl., 2008). Yrkesmässig exponering för vanadin kan verka irriterande på luftvägarna. Man har observerat snuva, men också effekter på de nedre luftvägarna såsom hosta, lungblödning och lunginflammation (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammuppsala.se](http://www.ammuppsala.se), 2016-08-16).

Vanadin har i Sverige också uppmätts i lever, muskel och njure hos däggdjur (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har detekterats i luft- och nederbördsprover vid svenska bakgrundsstationer (NV luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)).

### 5.9.1 2015

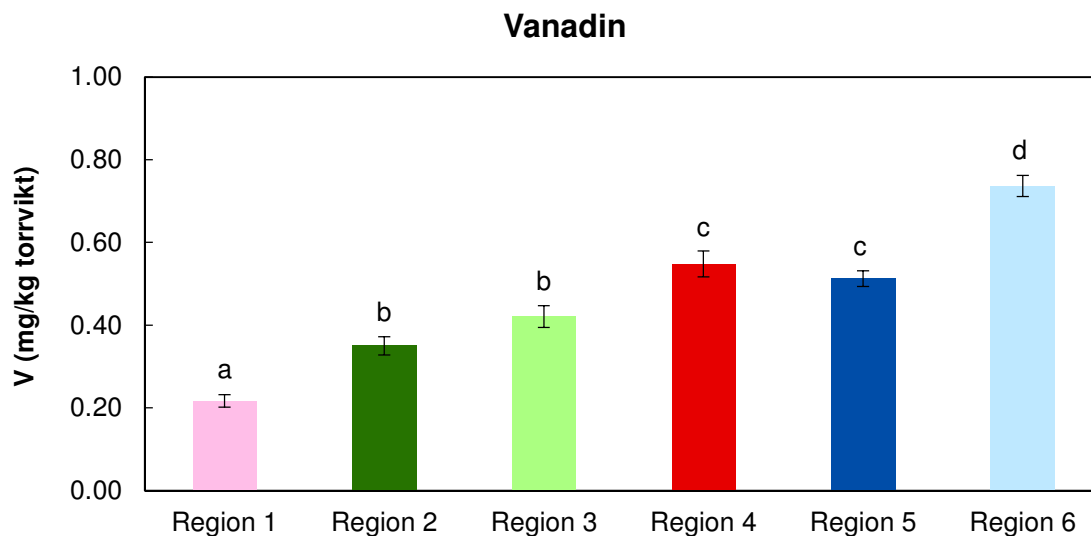
I Figur 40 visas vanadinkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av vanadin under 2015 låga och endast tre mossprover visar högre koncentrationer än 2 mg/kg torrsvikt. Mossprovet med den högsta koncentrationen (3,3 mg/kg torrsvikt) är insamlat i Södermanlands län. Ytterligare ett prov med koncentration över 2 mg/kg är insamlat i samma län (2,5 mg/kg torrsvikt) och det tredje provet kommer från Uppsala län (2,2 mg/kg torrsvikt).





Figur 40. Vanadinkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

I Figur 41 visas den statistiska analysen av vanadinkoncentrationerna i mossproverna från 2015. Precis som för kvicksilver är den syd-nordliga gradienten tydlig. Medelkoncentrationen av vanadin i mossa är signifikant lägre i fjälltrakterna (Region 1) (0,22 mg/kg torrsvikt) än samtliga övriga regioner. Mossproverna i norra Sveriges inland (Region 2) och norra Sveriges kusttrakter (Region 3) har medelkoncentrationer i mossproverna på 0,35 respektive 0,42 mg/kg torrsvikt. Dessa medelkoncentrationer är högre än i fjälltrakterna men signifikant lägre än medelkoncentrationen i Mellansverige (0,55 mg/kg torrsvikt) (Region 4), i sydöstra Sverige (0,55 mg/kg torrsvikt) (Region 5) och i sydvästra Sverige (0,74 mg/kg torrsvikt) (Region 6). Medelkoncentrationen i sydvästra Sverige är signifikant högre än samtliga övriga regioner.

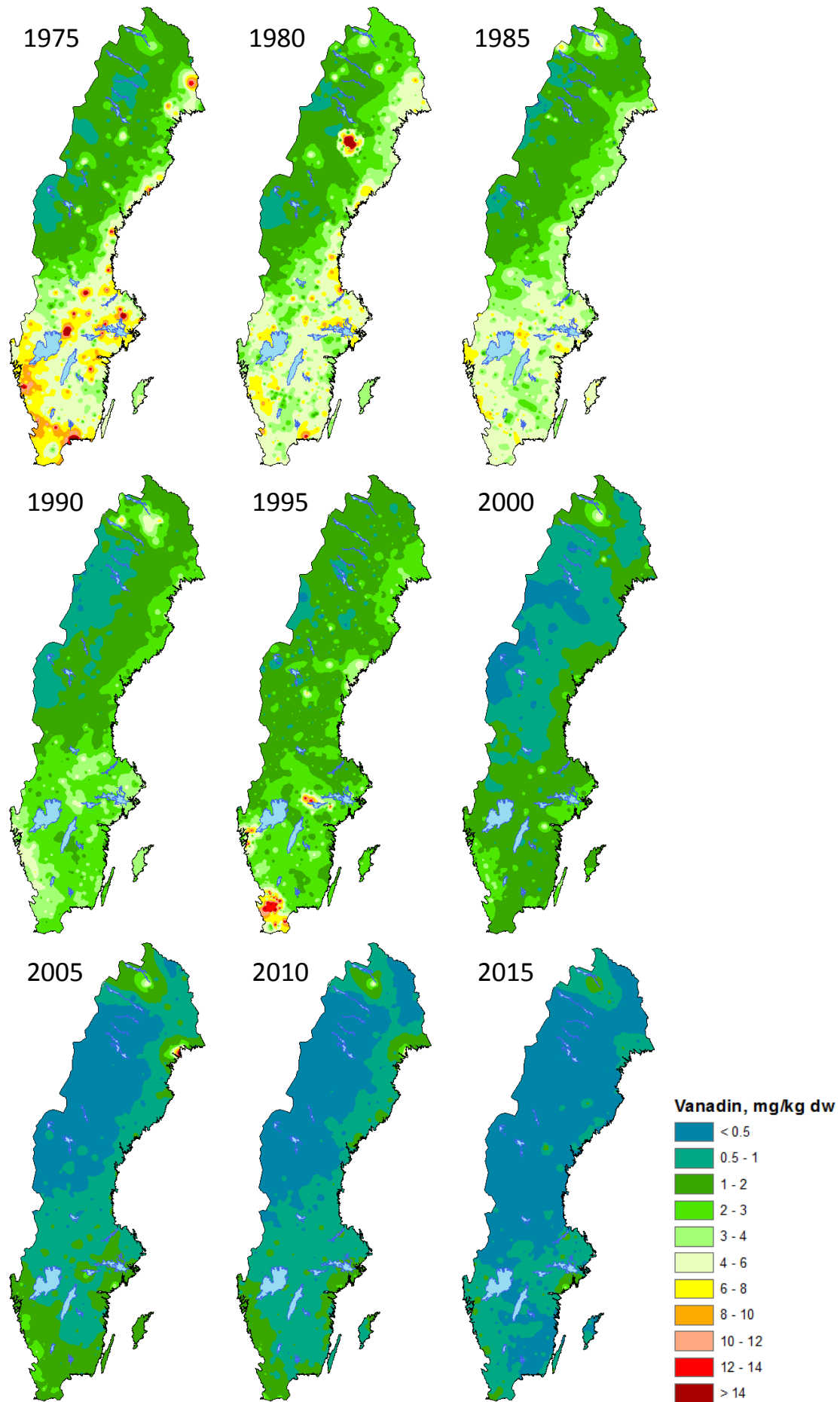


Figur 41. Medelkoncentrationer av vanadin i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c, d) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av vanadin inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

## 5.9.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 42 visar koncentration av vanadin i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den kraftiga minskning som kontinuerligt skett sedan 1975 då de nationella mätningarna startade. Koncentrationerna har varit högst i landets södra delar vilket mest tydligt kan ses för de tidiga åren. Runt malmfälten i Norrbottens inland syns något förhöjda koncentrationer.

Under 2015 hade tre prover koncentrationer på eller över 2 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 0,5 % av det totala antalet prover. För 2010, 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 2,3 %, 5,3 %, 17 % respektive 69 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 4,1 mg/kg torrsvikt, för 2000 1,3 mg/kg torrsvikt, för 2005 1,0 mg/kg torrsvikt, för 2010 0,79 mg/kg torrsvikt och för 2015 0,50 mg/kg torrsvikt.



Figur 42. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av vanadin i mossa, 1975-2015.

### 5.9.2.1 2015 vs. 2010

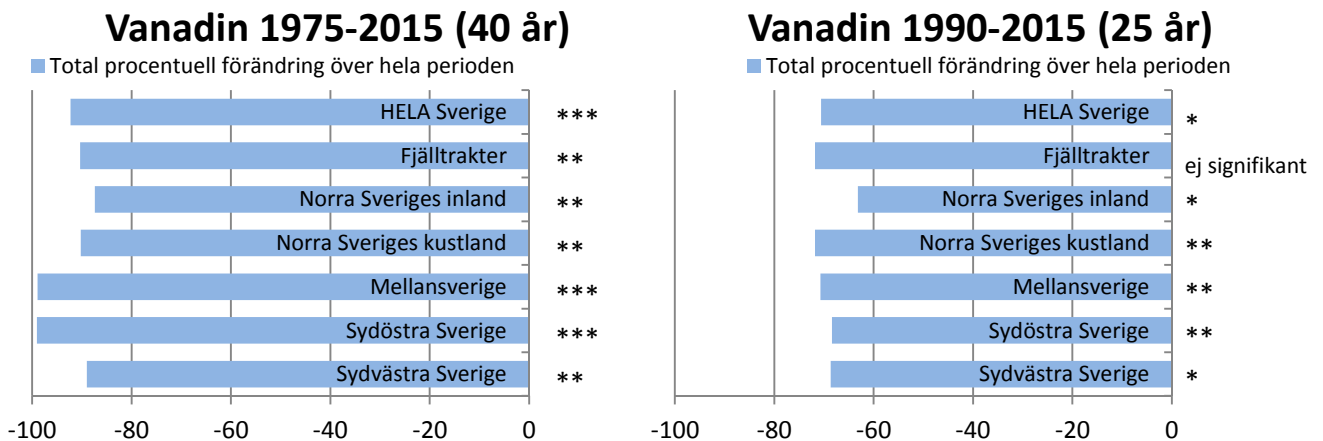
I Tabell 11 redovisas medelkoncentrationer för vanadin i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA. I Sverige som helhet samt för alla övriga regioner var vanadinkoncentrationen i mossor lägre 2015 jämfört med 2010.

**Tabell 11. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för vanadin för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.**

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,32	0,22	***	minskning
2	0,46	0,35	**	minskning
3	1,0	0,42	***	minskning
4	0,80	0,55	***	minskning
5	0,87	0,51	***	minskning
6	1,2	0,74	***	minskning
<b>Hela Sverige</b>	<b>0,79</b>	<b>0,50</b>	<b>***</b>	<b>minskning</b>

### 5.9.2.2 Trendanalys

Under de senaste 40 åren ses signifikant minskande vanadinkoncentrationer i mossor för Sverige som helhet och för samtliga regioner. Även resultaten för trendanalys som omfattar de senaste 25 åren, 1990-2015, visar på signifikant minskande vanadinkoncentrationer i mossor för Sverige som helhet samt för samtliga regioner förutom i fjälltrakterna där ingen förändring erhållits. (Figur 43). Trendanalysen för perioden 2000-2015 visar inte på några signifikanta förändringar. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



**Figur 43. Trendanalys för vanadin i mossor uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .**

## 5.10 Zink (Zn)

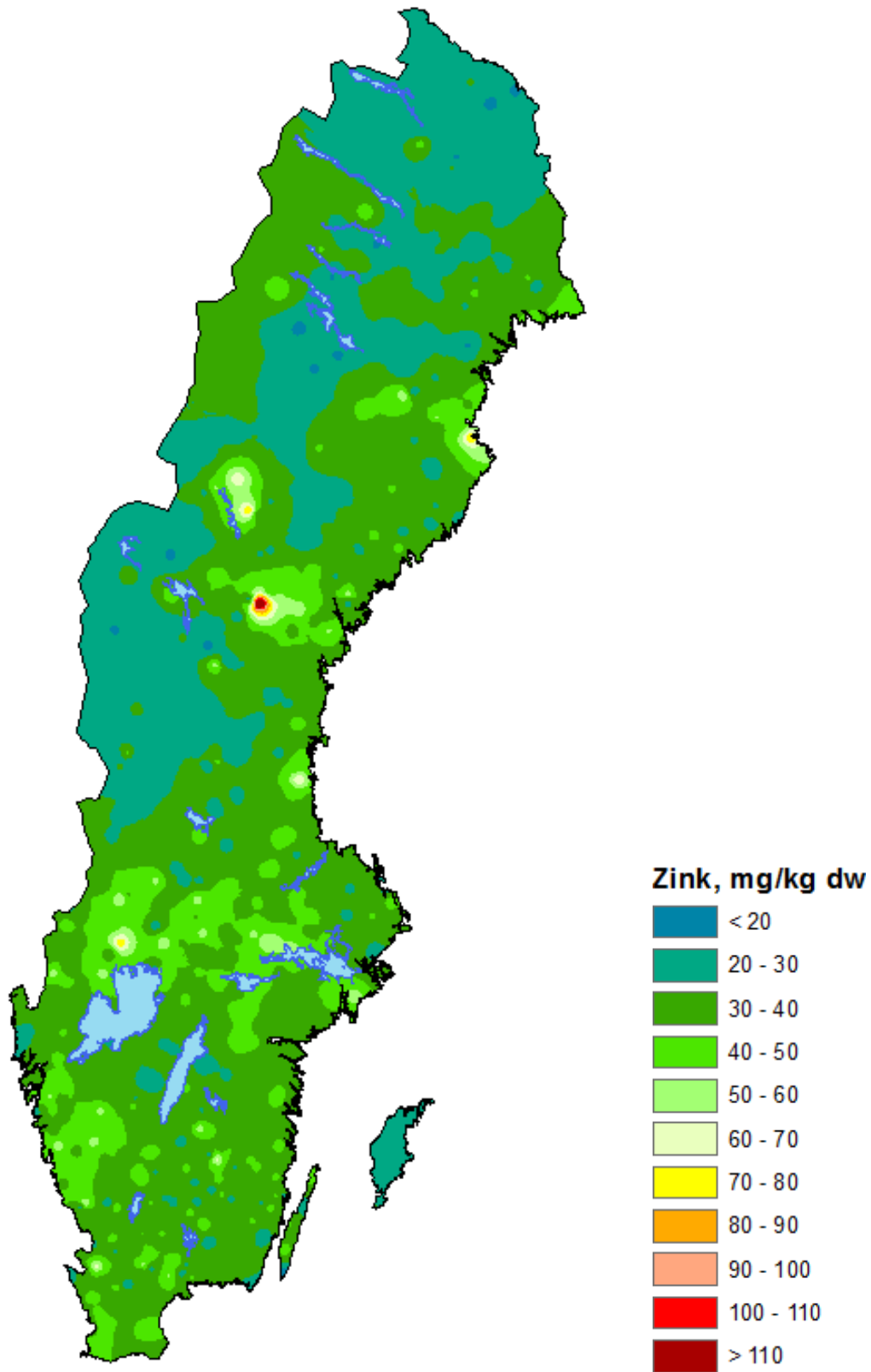
Zink förekommer inte i ren form i naturen men finns bunden i många mineraler. Zink används bland annat som korrosionsskydd (förzinkning och galvanisering), vid produktion av mässing och brons, i andra legeringar samt även vid produktion av gummi, däck, kosmetika, pigment och bekämpningsmedel. Antropogena källor till luft är zinksmältverk, kemiska industrier, kol- samt avfallsförbränningsanläggningar (Suchara m. fl., 2007). Zink emitteras även diffust från transportsektorn på grund av däckslitage (Johansson m. fl., 2009). I atmosfären förekommer zink bundet till partiklar och tillförs ekosystemen med torr- och våtdeposition. Både punktkällor och diffusa utsläpp samt långväga atmosfärisk transport utgör viktiga spridningsvägar (Sternbeck och Carlsson, 2004).

Zink är ett viktigt spårämne för alla organismer som en beståndsdel av proteiner och är även en signalsubstans. Zink har också betydelse för RNA-syntesen. Vid höga koncentrationer är det måttligt giftiga för växter. Höga zinkintag kan inducera brister av andra metaller som koppar, järn och magnesium (Harmens m. fl., 2008; Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.amm uppsala.se](http://www.amm uppsala.se), 2016-08-16).

Zink förekommer frekvent i biota (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har detekterats i luft- och nederbördsprover vid svenska bakgrundsstationer (NV luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)), samt i urban luft (Sternbeck och Carlsson, 2004).

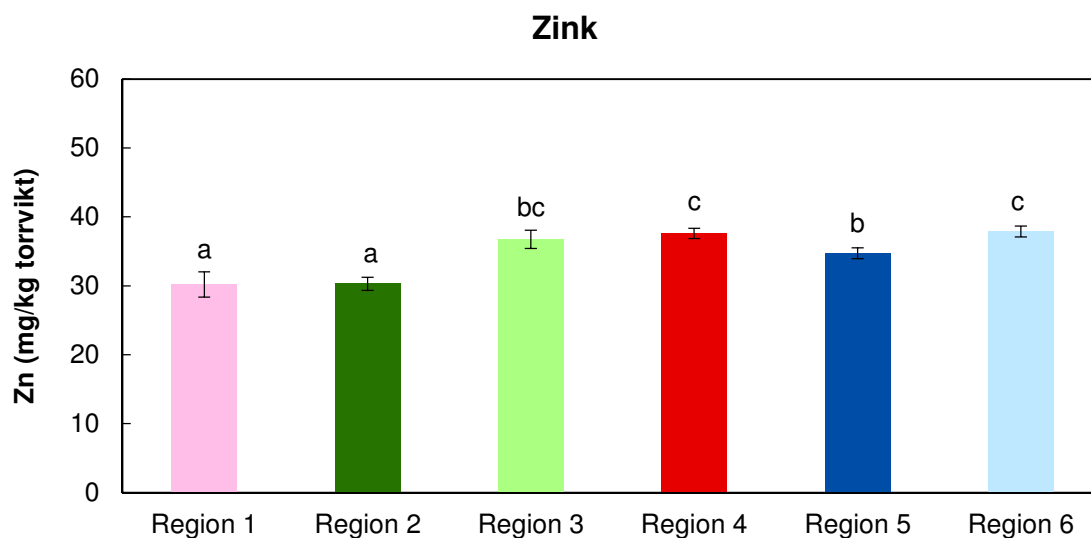
### 5.10.1 2015

I Figur 44 visas zinkkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av zink ganska låga i hela landet men med ett antal prover med något förhöjda koncentrationer. Totalt insamlades under 2015 tio mossprover med koncentration av zink över 60 mg/kg torrsvikt. Den högsta koncentrationen är uppmätt i ett mossprov som samlats in i Jämtlands län (140 mg/kg torrsvikt). Ytterligare två prover över 60 mg/kg är insamlade i Jämtlands län (77 och 66 mg/kg torrsvikt). Två prover kommer från Västerbottens kusttrakter (77 och 60 mg/kg torrsvikt), ett prov är insamlat i Värmlands län (76 mg/kg torrsvikt), ett prov kommer från Gävleborgs län (70 mg/kg torrsvikt), ett prov från Skåne län (63 mg/kg torrsvikt), ett prov från Jönköpings län (63 mg/kg torrsvikt) och ett prov kommer från Västmanlands län (60 mg/kg torrsvikt).



Figur 44. Zinkkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

I Figur 45 visas den statistiska analysen av zinkkoncentrationerna i mossproverna från 2015. Medelkoncentrationen av zink i mossor var signifikant lägre jämfört med övriga regioner i fjälltrakterna (Region 1) och i norra Sveriges inland (Region 2) (30 mg/kg torrsvikt). De högsta medelkoncentrationerna fanns i Mellansverige (Region 4) och i sydvästra Sverige (Region 6) (38 mg/kg torrsvikt). Denna medelkoncentration är signifikant högre än samtliga regioner förutom jämfört med medelkoncentrationer i mossprover från norra Sveriges kusttrakter (Region 3) (37 mg/kg torrsvikt). Medelkoncentrationerna i sydöstra Sverige (Region 5) var 35 mg/kg torrsvikt, vilket är signifikant högre än prover från fjälltrakterna och norra Sveriges inland och signifikant högre än prover från Mellansverige och sydvästra Sverige.

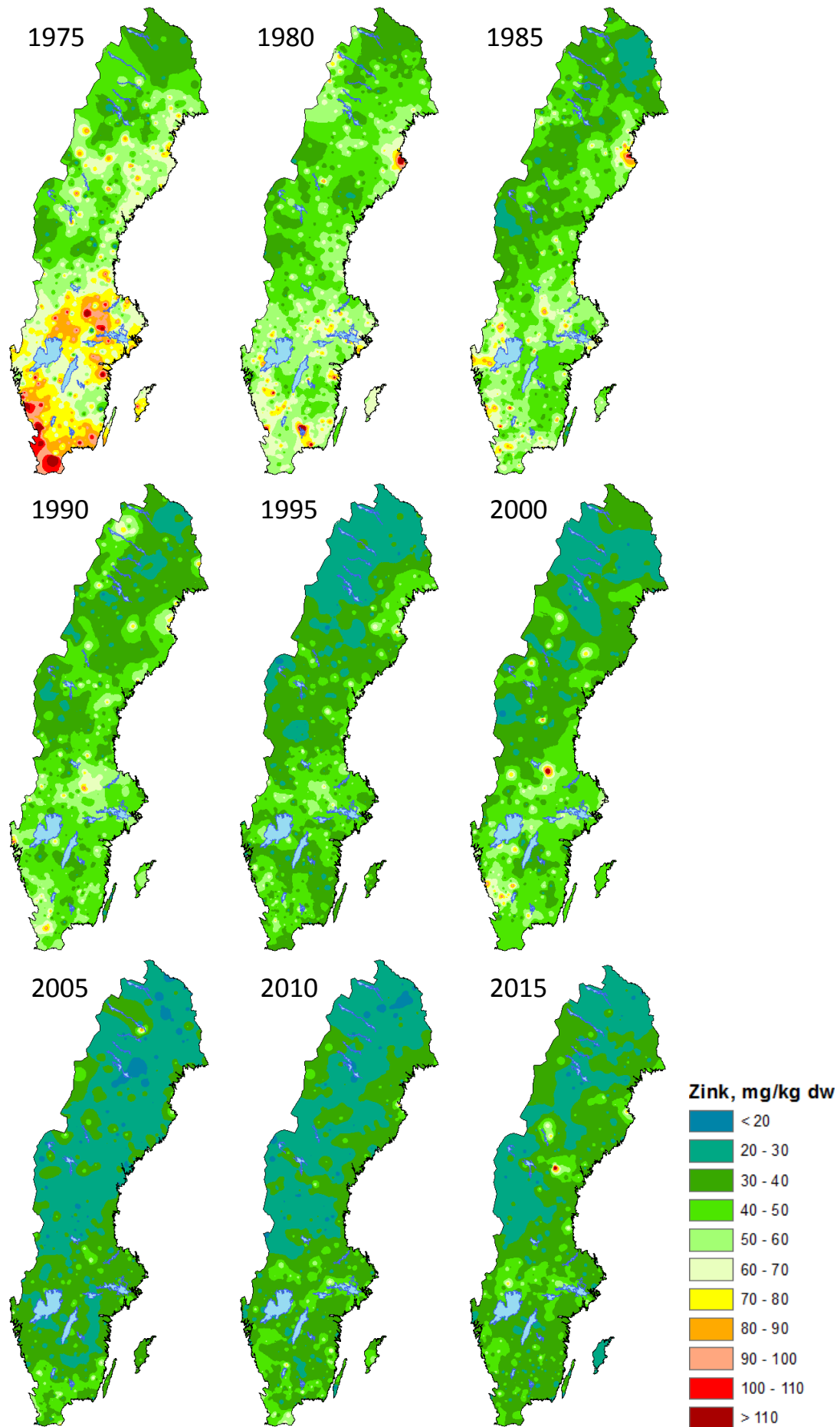


Figur 45. Medelkoncentrationer av zink i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av zink inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

### 5.10.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 45 visar koncentration av zink i mossor mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den minskning som kontinuerligt skett från 1975 då de nationella mätningarna startade fram till år 2005.

Under 2015 hade tio prover koncentrationer på eller över 60 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 1,6 % av det totala antalet prover. För 2010, 2005, 2000 och 1975 var motsvarande värden 2,0 %, 2,3 %, 10 % respektive 54 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 1975 63 mg/kg torrsvikt, för 2000 42 mg/kg torrsvikt, för 2005 32 mg/kg torrsvikt, för 2010 34 mg/kg torrsvikt och för 2015 35 mg/kg torrsvikt.

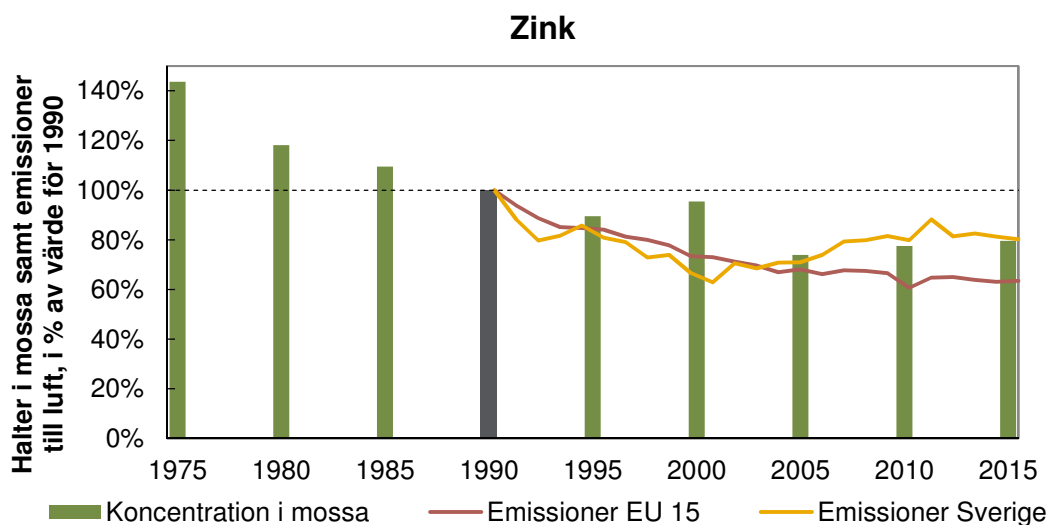


Figur 46. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av zink i mossa, 1975-2015.



Zinkkoncentrationerna i mossor för hela Sverige sedan mätstart visas tillsammans med emissionsdata från Sverige och EU15 sedan 1990 i Figur 47. Koncentrationen i mossor och emissioner till luft visas i procent av motsvarande koncentrationer och emissioner för 1990. Ur figuren kan utläsas att zinkkoncentrationen i mossor minskat i någorlunda samstämmighet med den europeiska och svenska emissionsminskningen.

Samtliga emissionsuppgifterna bygger på rapporterade data till CLRTAP vilka redovisas i Bilaga V.



Figur 47. Medelkoncentration av zink i mossor sedan 1975 för Sverige samt emissioner av zink till luft för Sverige och Europa (EU15) sedan 1990. Koncentration i mossor visas som procent av 1990 års värde.

### 5.10.2.1 2015 vs. 2010

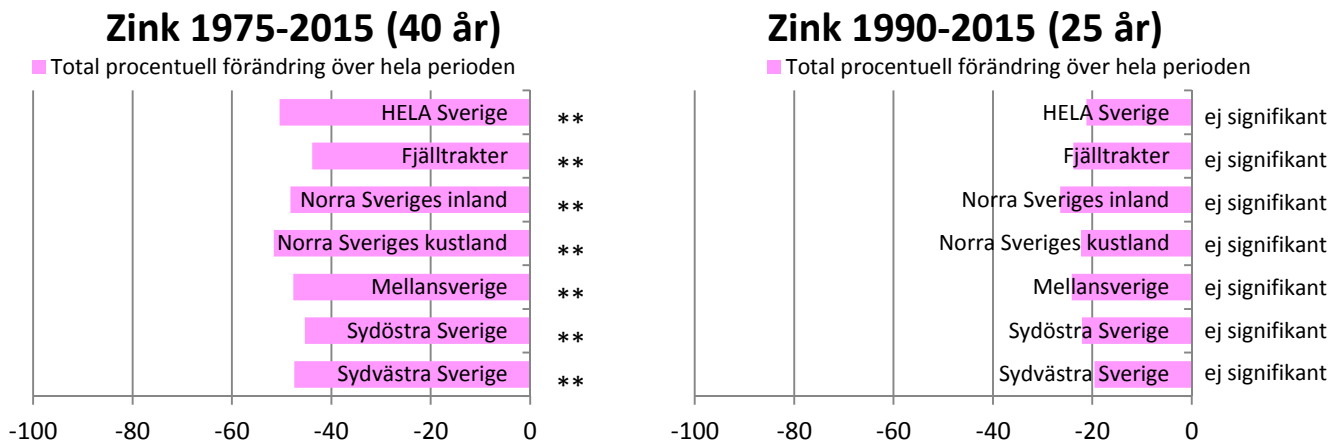
I Tabell 12 redovisas medelkoncentrationer för zink i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 eller 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA. I norra Sveriges inland (Region 2) finns en statistiskt signifikant förhöjning av koncentrationen av zink i mossor mellan 2015 och 2010. För alla övriga regioner samt för Sverige som helhet finns inga statistiskt signifikanta förändringar av zinkkoncentrationen i mossor mellan 2015 och 2010.

Tabell 12. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för zink för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	28	30	ej signifikant	-
2	27	30	**	ökning
3	34	37	ej signifikant	-
4	36	38	ej signifikant	-
5	36	35	ej signifikant	-
6	39	38	ej signifikant	-
Hela Sverige	34	35	ej signifikant	-

### 5.10.2.2 Trendanalys

Under de senaste 40 åren ses signifikant minskande zinkkoncentrationer i mossa för Sverige som helhet och för samtliga regioner. Motsvarande analyser som omfattar de senaste 25 åren, 1990-2015 visar inte på några signifikanta skillnader. (Figur 48). Inte heller för perioden 2000-2015 erhålls några statistiskt signifikanta skillnader. Detaljerade data över resultaten från trendanalyserna presenteras i Bilaga III.



Figur 48. Trendanalys för zink i mossa uppdelat på olika regioner över Sverige för perioderna 1975-2015 och 1990-2015. Total procentuell förändring anges för perioderna. Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$ ;  $p < 0,001 = ***$ .

## 5.11 Aluminium

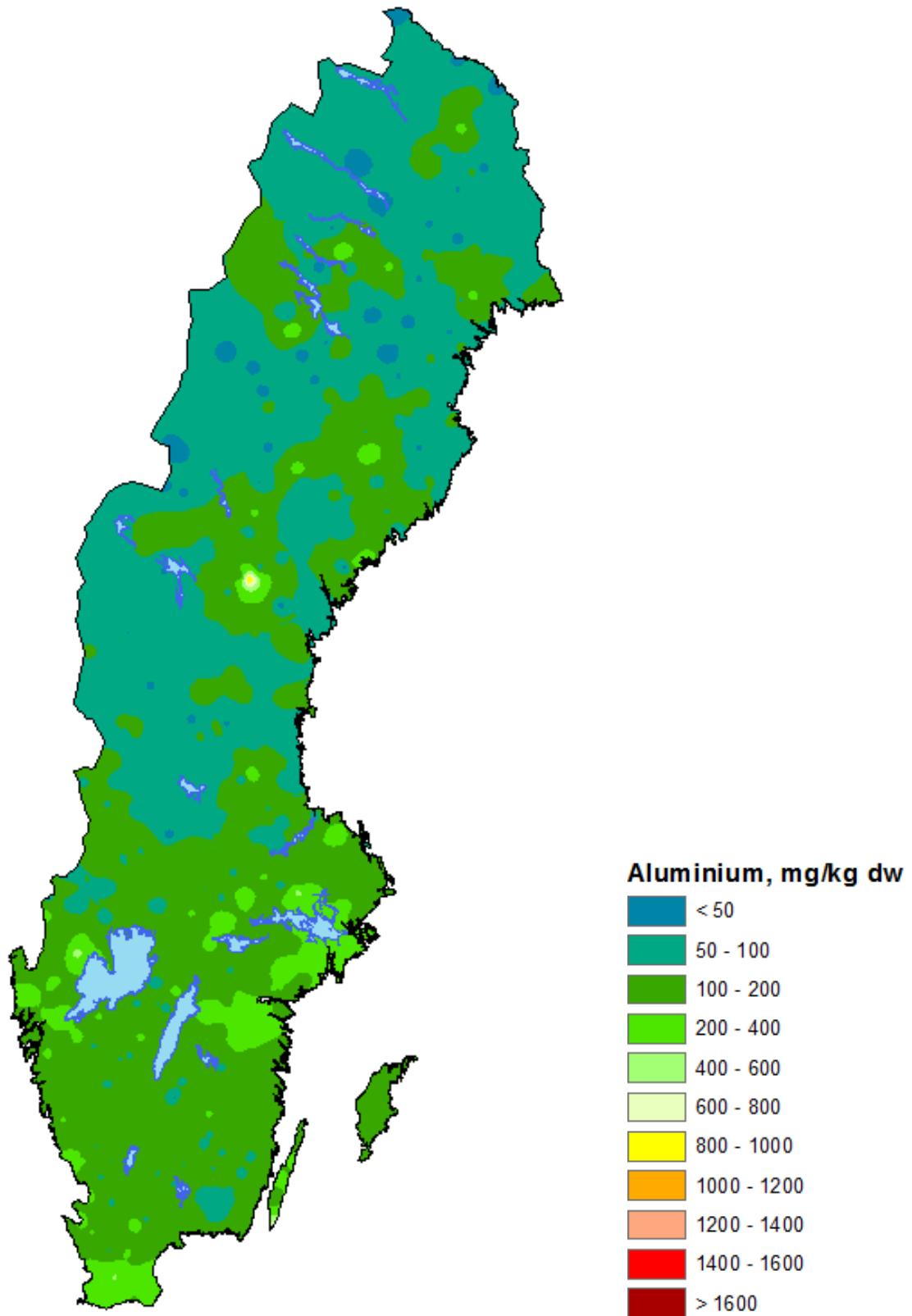
Ungefär 8,3 % av jordskorpans massa består av aluminium i form av kemiska föreningar. Aluminium är näst syre och kisel det vanligaste grundämnet i jordskorpan och därmed det vanligaste metalliska grundämnet där. I naturen finns aluminium endast kemiskt bundet till andra grundämnen. Aluminium har ett brett användningsområde, både som ren metall och i legeringar. Höga luftkoncentrationer kan uppstå vid aluminiumsvetsning och vid framställning av aluminiumpulver.

Aluminium är ingen essentiell metall, varken för växter eller för djur. Aluminiumföreningarnas löslighet ökar kraftigt vid pH under 5,5. Vid dessa låga pH faller aluminium ut på fiskars gälar vilket blockerar respirationen. Aluminium ger också störningar på fåglars häckning då metallen ger äggskalsdefekter.

Aluminium förekommer i lever, muskel och njure hos däggdjur (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV).

### 5.11.1 2015

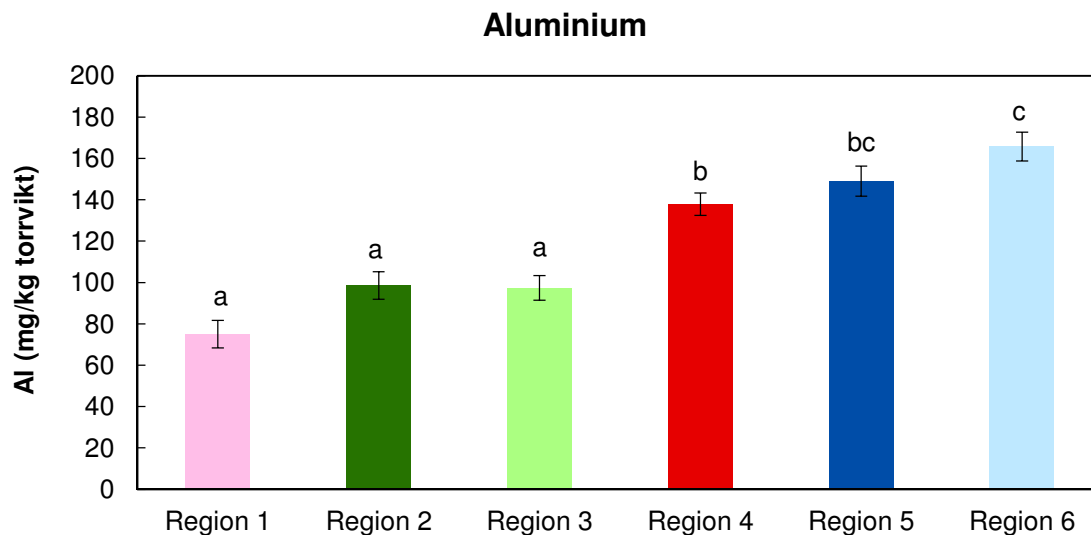
I Figur 49 visas aluminiumkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 från hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av aluminium något högre i de södra delarna av Sverige och avtar mot norr. Under 2015 insamlades endast fem mossprover med koncentrationer över 400 mg/kg torrsvikt. Provet med den högsta koncentrationen är insamlat i Jämtlands län (930 mg/kg torrsvikt). Övriga fyra är insamlade på Öland (610 mg/kg torrsvikt), i Västra Götalands län (490 mg/kg torrsvikt), i Uppsala län (440 mg/kg torrsvikt) och i Skåne län (430 mg/kg torrsvikt).



Figur 49. Aluminiumkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

I Figur 50 visas den statistiska analysen av aluminiumkoncentrationerna i mossproverna från 2015. Precis som för framför allt kvicksilver och nickel syns tydligt att det finns en tydlig syd-nordlig gradient med de högsta koncentrationerna i landets södra Sverige.

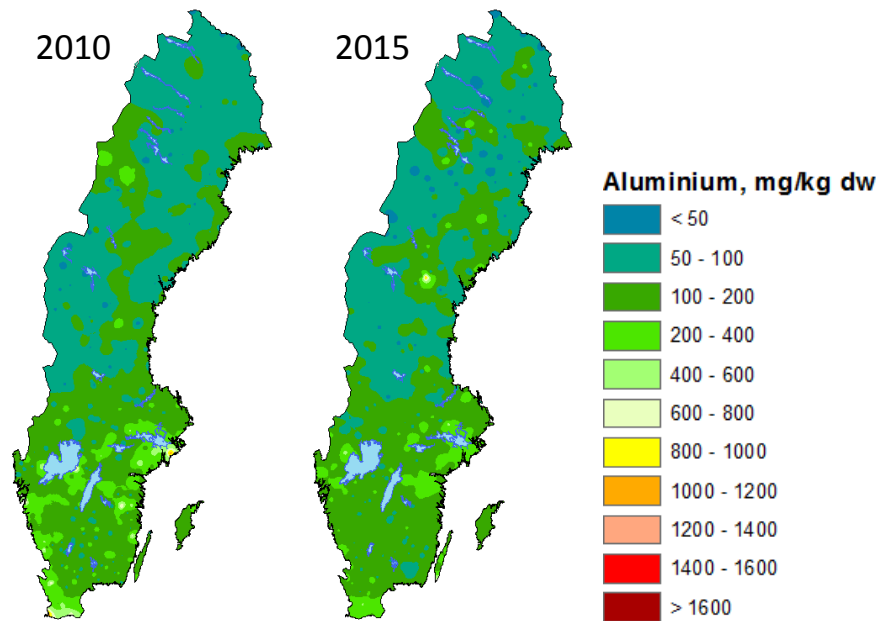
Medelkoncentrationen av aluminium i mossor var lägst i fjälltrakterna (Region 1), i norra Sveriges inland (Region 2) samt norra Sveriges kusttrakter (Region 3) (75, 99 respektive 97 mg/kg torrsvikt). Dessa koncentrationer är signifikant lägre än övriga regioner. Den högsta medelkoncentrationen fanns i sydvästra Sverige (166 mg/kg torrsvikt) (Region 6), vilken är signifikant högre än samtliga regioner förutom sydöstra Sverige (149 mg/kg torrsvikt) (Region 5). Medelkoncentrationen i Mellansverige (Region 4) var 138 mg/kg torrsvikt. Denna koncentration är signifikant lägre än den i sydvästra Sverige och signifikant högre än regionerna i norra Sverige.



Figur 50. Medelkoncentrationer av aluminium i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av zink inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

### 5.11.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 51 visar koncentrationer av aluminium i mossor för 2010 och 2015, det vill säga de år då analys av aluminium gjorts i mossprover. Som tidigare nämnts insamlades 2015 endast fem mossprover med koncentrationer över 400 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 0,8 % av det totala antalet prover. För 2010 hade 3,5 % av analyserade mossprover koncentrationer över 400 mg/kg torrsvikt. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 2010 143 mg/kg torrsvikt och för 2015 128 mg/kg torrsvikt.



Figur 51. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av aluminium i mossor, 2010 och 2015.

#### 5.11.2.1 2015 vs. 2010

I Tabell 13 redovisas medelkoncentrationer för aluminium i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA. I sydvästra Sverige (Region 6) samt för Sverige som helhet är medelkoncentrationen av aluminium i mossor lägre 2015 jämfört med 2010. För alla övriga regioner finns inga statistiskt signifikanta förändringar av zinkkoncentrationen i mossor mellan 2015 och 2010.

Tabell 13. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för aluminium för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	100	75	ej signifikant	-
2	86	99	ej signifikant	-
3	104	97	ej signifikant	-
4	153	138	ej signifikant	-
5	163	149	ej signifikant	-
6	219	166	**	minskning
<b>Hela Sverige</b>	143	127	**	minskning

## 5.12 Kobolt

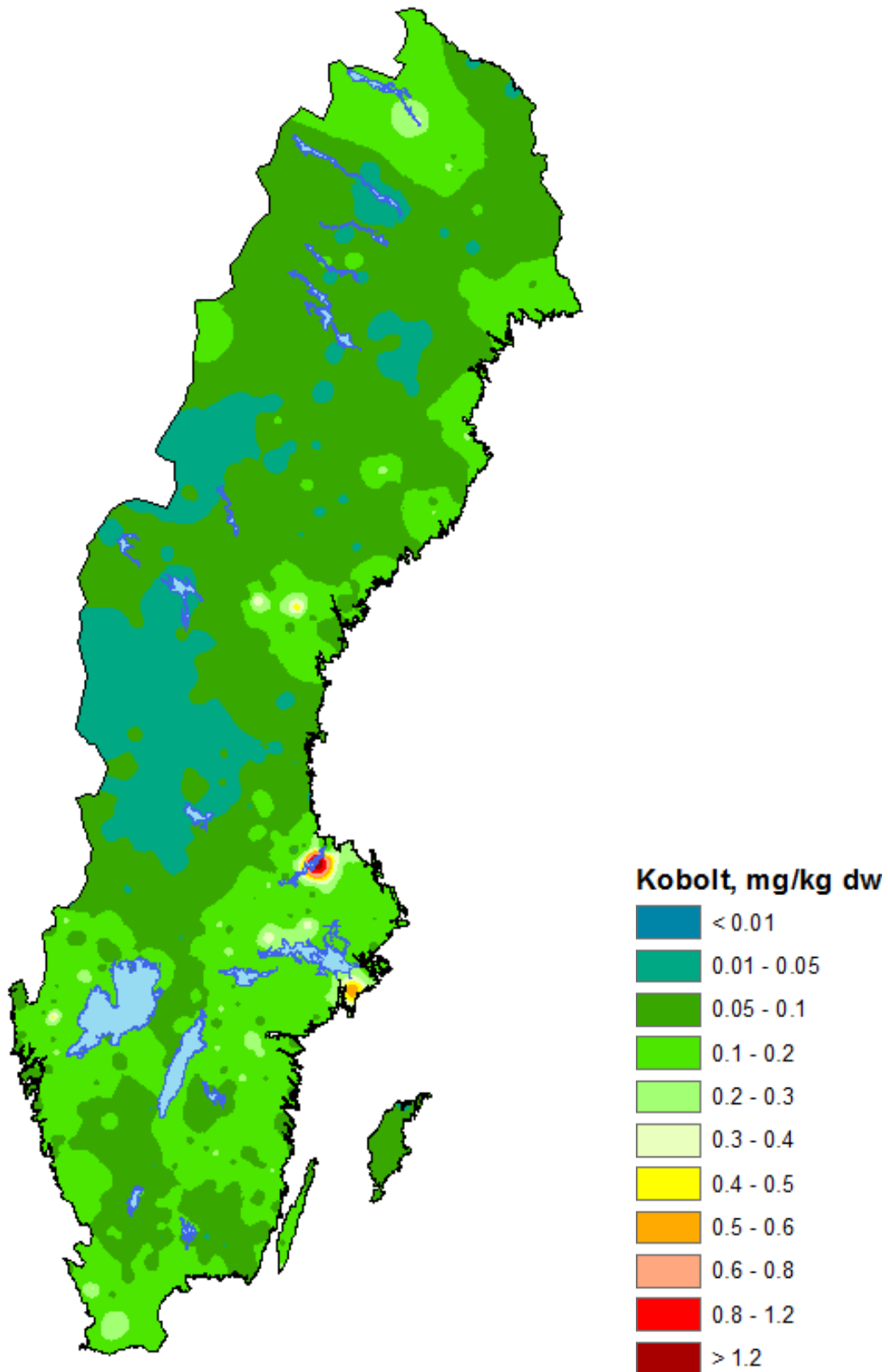
Kobolt sammanförs ibland med nickel och järn under benämningen järnmetallerna. Kobolt har en ganska låg medelkoncentration i jordskorpan, ca 29 g/ton. Den förekommer oftast som två- eller trevärda joner i ett stort antal sulfid- och arsenidmineral, ofta tillsammans med järn, nickel och koppar. Kobolt används framför allt i legeringar men även vid tillverkning av färgpigment och keramiska material. Spridning av kobolt i miljön sker framför allt runt de industrier som framställer och/eller använder kobolt. Viss spridning sker också vid förbränning av fossila bränslen eftersom dessa innehåller kobolt.

För djur är kobolt i fri form essentiellt för vitamin B12-syntesen i tarmfloran. Brist på vitamin B12 kan orsaka fosterskador. Exponering för kobolt kan ge eksem. Om koboltdamm inandas ger detta andningsbesvär. Risk finns också att detta damm kan orsaka lungcancer (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.ammupsala.se](http://www.ammupsala.se), 2016-08-16).

Kobolt förekommer frekvent i biota (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har detekterats i luft- och nederbördsprover vid svenska bakgrundsstationer (NV luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)).

### 5.12.1 2015

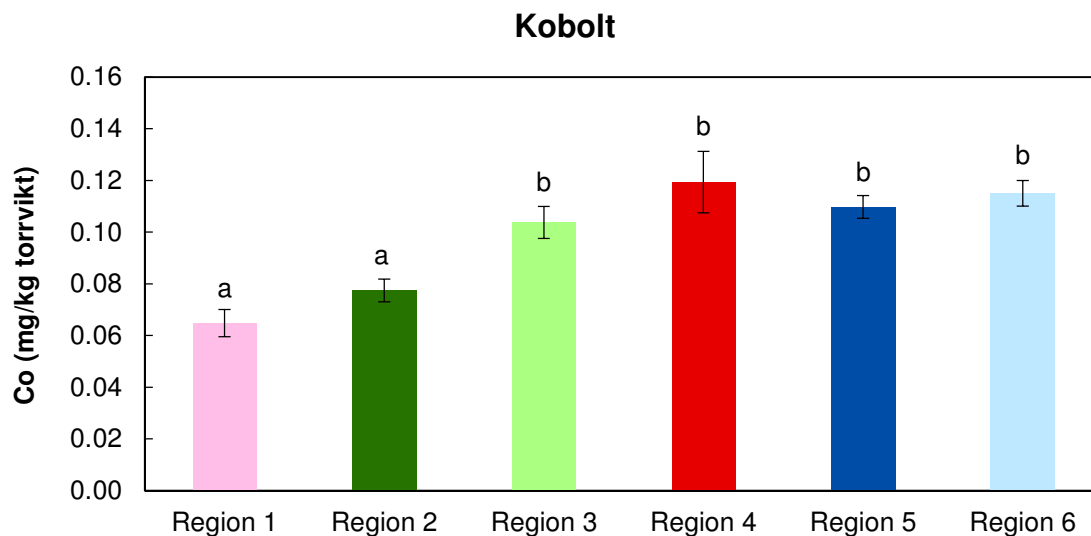
I Figur 52 visas koboltkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren tycks koncentrationerna av kobolt vara ganska låga i Sverige. 2015 hade tio mossprover koncentrationer över 0,30 mg/kg torrsvikt. Provet med den högsta koncentrationen insamlades i Uppsala län (1,7 mg/kg torrsvikt). Ytterligare ett prov är insamlat i Uppsala län (0,36 mg/kg torrsvikt). Övriga åtta mossprover är insamlade i Stockholms län (0,60 mg/kg torrsvikt), i Västernorrlands län (0,44 mg/kg torrsvikt), i Västra Götalands län (0,43 mg/kg torrsvikt), i Jämtlands län (0,39 mg/kg torrsvikt), i Västmanlands län (0,36 mg/kg torrsvikt), i Norrbottens län (0,32 mg/kg torrsvikt), i Skåne län (0,31 mg/kg torrsvikt) och i Värmlands län (0,30 mg/kg torrsvikt).



Figur 52. Koboltkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.



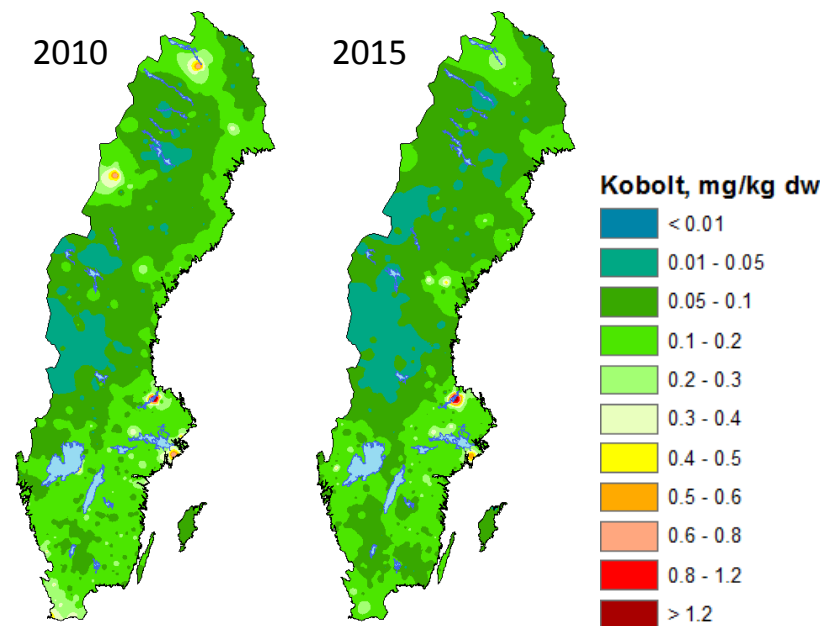
I Figur 53 visas den statistiska analysen av koboltkoncentrationerna i mossproverna från 2015. Medelkoncentrationen av kobolt i mossa var lägst i fjälltrakterna (Region 1) och i norra Sveriges inland (Region 2) (0,065 respektive 0,077 mg/kg torrsvikt), vilket är signifikant lägre än övriga regioners koncentrationer. Inga signifikanta skillnader finns mellan medelkoncentrationerna i norra Sveriges kusttrakter (Region 3, 0,10 mg/kg torrsvikt), Mellansverige (Region 4, 0,12 mg/kg torrsvikt), sydöstra Sverige (Region 5, 0,11 mg/kg torrsvikt) och sydvästra Sverige (0,12 mg/kg torrsvikt).



Figur 53. Medelkoncentrationer av kobolt i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av kobolt inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

### 5.12.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 54 visar koncentration av kobolt i mossa för 2010 och 2015, vilka är de år som kobolt analyserats i mossproverna. Under 2015 insamlades tio mossprover med koncentrationer över 0,30 mg/kg torrsvikt, vilket motsvarar 1,6 % av det totala antalet prover. Under 2010 hade 3,2 % av analyserade mossprover koncentrationer över 0,30 mg/kg torrsvikt. Två prover insamlade 2010 i Kiruna och i Storumans kommuner hade koncentrationer över 0,70 mg/kg torrsvikt, vilket kan urskiljas i kartan. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 2010 0,12 mg/kg torrsvikt och för 2015 0,10 mg/kg torrsvikt.



Figur 54. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av kobolt i mossor, 2010 och 2015.

#### 5.12.2.1 2015 vs. 2010

I Tabell 14 redovisas medelkoncentrationer för kobolt i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA. I norra Sveriges kusttrakter (Region 3), sydvästra Sverige (Region 6) samt för Sverige som helhet är medelkoncentrationen av kobolt i mossor signifikant lägre 2015 jämfört med 2010. För alla övriga regioner finns inga statistiskt signifikanta förändringar av koboltkoncentrationen i mossor mellan 2015 och 2010.

Tabell 14. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för kobolt för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,10	0,065	ej signifikant	-
2	0,082	0,077	ej signifikant	-
3	0,12	0,10	*	minskning
4	0,13	0,12	ej signifikant	-
5	0,12	0,11	ej signifikant	-
6	0,14	0,12	**	minskning
<b>Hela Sverige</b>	0,12	0,10	**	minskning

## 5.13 Mangan

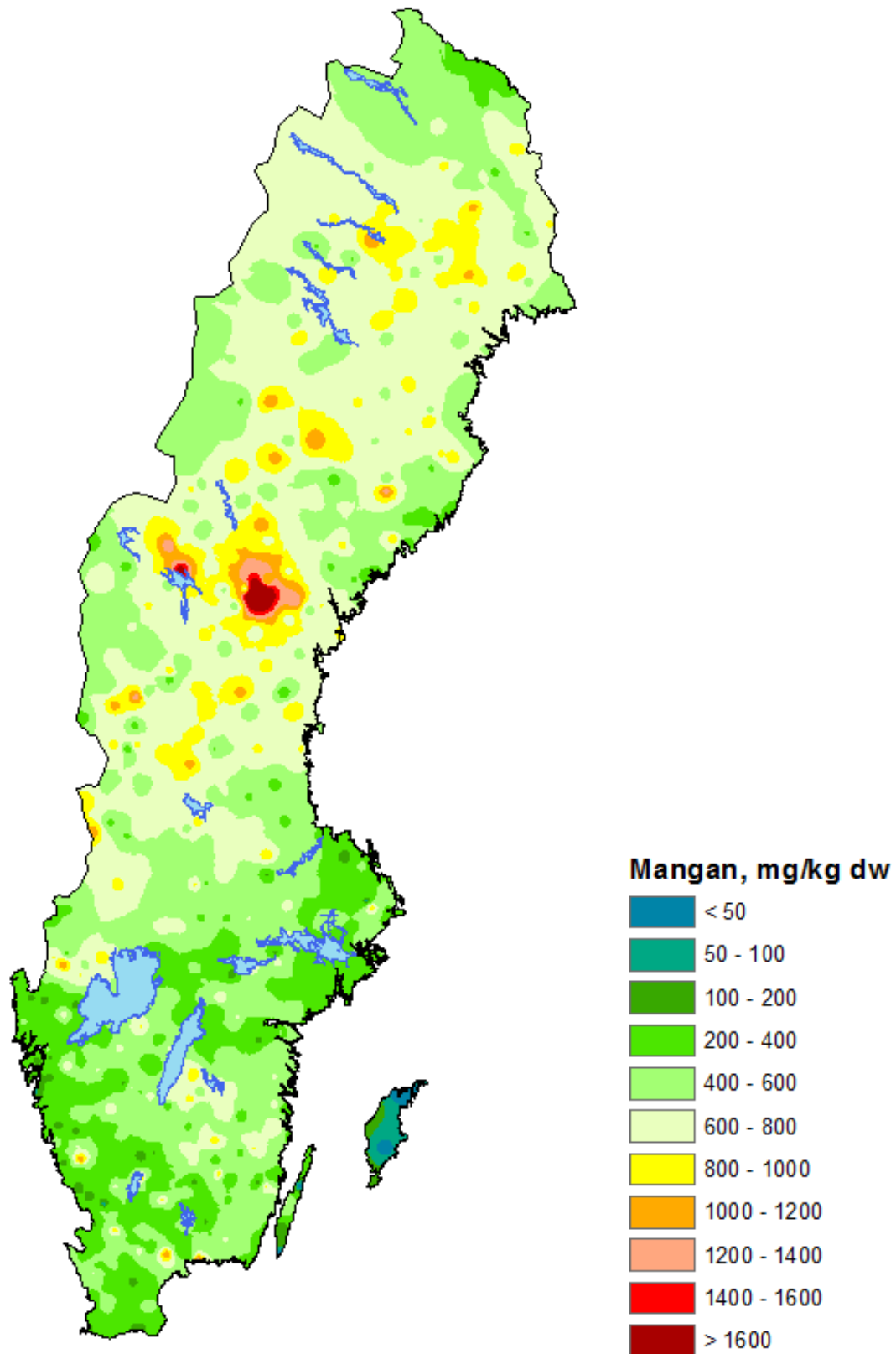
Mangan är det tolfte vanligaste grundämnet i jordskorpan. Medelkoncentrationen är ca 1 060 g/ton, vilket gör mangan till den efter järn och titan vanligaste övergångsmetallen. Det finns ca 250 olika manganmineral. De viktigaste är oxider, hydroxider och karbonater i sedimentära bildningar. Mangan används mest som legeringsmetall till stål.

Mangan är en metall som ingår i många enzymer och är därför essentiell för både växter och djur. Mangan är bland de minst giftiga av spårämnena men mycket hög exponering kan ge svåra neurologiska skador hos människa, med liknande symptom som för Parkinsons sjukdom (Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.amm uppsala.se](http://www.amm uppsala.se), 2016-08-16). Råttor och möss som utfodrats med mat med lågt manganinnehåll har visats sig få foster med skador på skelettet samt på centrala nervsystemet.

Mangan förekommer frekvent i biota (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV) och har detekterats i luft- och nederbördsprover vid svenska bakgrundsstationer (NV luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)).

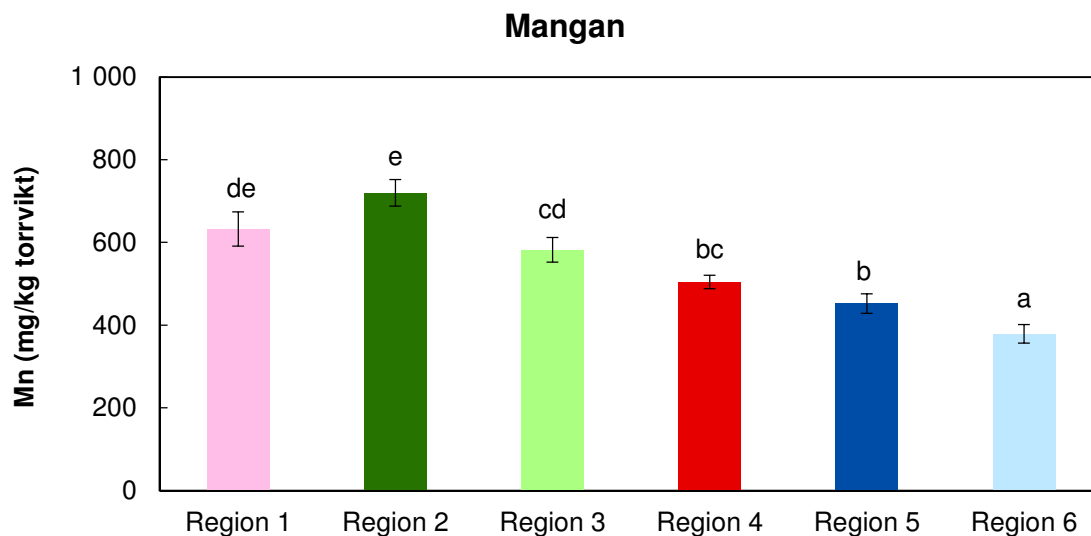
### 5.13.1 2015

I Figur 55 visas mangankoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som framgår av figuren är koncentrationerna av mangan relativt höga med den högsta koncentrationen uppmätt i ett prov från Jämtlands län (4800 mg/kg torrsvikt). För övriga analyserade metaller är den generella bilden att de högsta koncentrationerna uppmätts i landets södra delar och att koncentrationerna är lägre mot norr. För mangan är bilden den omvända med högre koncentrationer mot norr. Totalt har 91 mossprover analyserats 2015 med koncentrationer över 800 mg/kg torrsvikt. Av dessa är mer än hälften insamlade i norra Sveriges inland och fjälltrakter. Som beskrivs i publicerad litteratur förfaller förhållandet mellan koncentrationer av mangan i mossprover och i nederbörd ofta sakna korrelation (Boquete, M.T., 2011; Steinnes, E., 1995; Berg m.fl., 1997; Ross, B., 1990). Anledningen till detta skulle kunna vara att det för mangan finns andra viktigare källor än atmosfärisk deposition som förklarar koncentrationerna i mossan (Boquete, M.T., 2011; Steinnes, E., 1995). Förklaringarna som ges av Steinnes (1995) är att koncentrationen i mossan kan beror på att mangan transporteras från jorden genom rotupptag i högre växter och överförs till mossan genom läckage från levande eller dött material. Lägre koncentrationer i kustområden förklaras förmodligen av katjonbyte på mossytan med havssaltjoner (Steinnes, E., 1995).



Figur 55. Mangankoncentrationer i mossprover insamlade 2015.

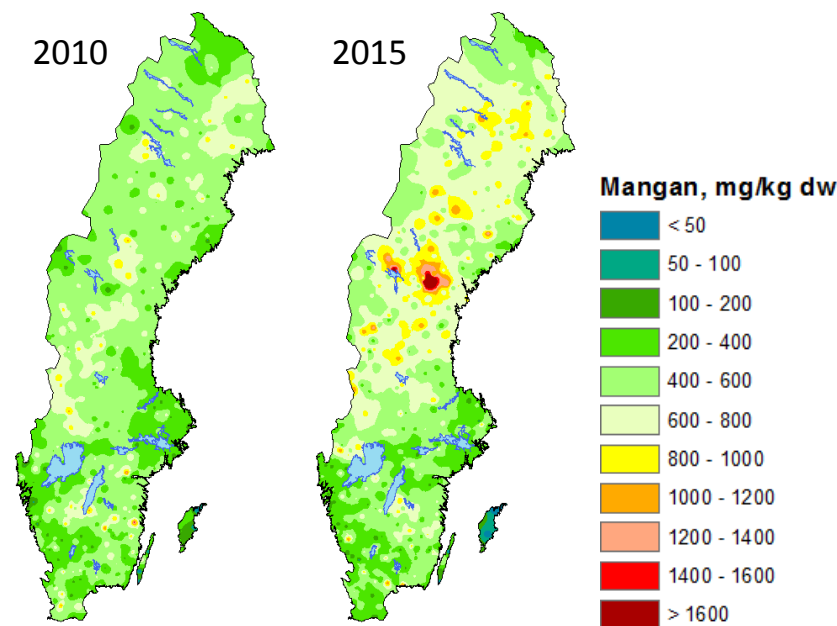
I Figur 56 visas den statistiska analysen av mangankoncentrationerna i mossproverna från 2015. Medelkoncentrationen av mangan i mossa var signifikant lägst i sydvästra Sverige (Region 6) (379 mg/kg torrsvikt). Den högsta medelkoncentrationen (720 mg/kg torrsvikt) fanns i norra Sveriges inland (Region 2). Denna koncentration är signifikant högre än samtliga regioner förutom fjälltrakterna (Region 1, 633 mg/kg torrsvikt). Medelkoncentrationerna var för norra Sveriges kustland (Region 3) 582 mg/kg torrsvikt, för Mellansverige (Region 4) 504 mg/kg torrsvikt och för sydöstra Sverige (Region 5) 452 mg/kg torrsvikt.



Figur 56. Medelkoncentrationer av mangan i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c, d, e) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av zink inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

### 5.13.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 57 visar koncentration av mangan i mossa för 2010 och 2015, för vilka år det har analyserats mangan i mossprover. I figuren syns att mangankoncentrationerna i mossan har ökat mellan de båda mätåren. Andelen mossprover med koncentrationer över 800 mg/kg torrsvikt var 2010 7 %. Motsvarande siffra för 2015 var 15 %. Av dessa mossprover var 2015 56 % insamlade i norra Sveriges inland och fjälltrakter. För 2010 var motsvarande siffra 43 %. Den troliga förklaringen till ökningen från 2010 till 2015 är att utbytet för mangan var lågt 2010. För de båda referensmaterialen som analyserats var utbytet för mangan 2010 ungefär 73 % medan motsvarande värde för 2015 var 98 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var 2010 463 mg/kg torrsvikt och för 2015 545 mg/kg torrsvikt.



Figur 57. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av mangan i mossa, 2010 och 2015.

#### 5.13.2.1 2015 vs. 2010

I Tabell 15 redovisas medelkoncentrationer för mangan i mossa uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA. I sydöstra Sverige (Region 5) samt i sydvästra Sverige (Region 6) finns inga statistiskt signifikanta skillnader av mangankoncentrationen i mossa mellan 2015 och 2010. För alla andra regioner samt för Sverige som helhet är medelkoncentrationen av mangan i mossa högre 2015 jämfört med 2010.

Tabell 15. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för mangan för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	478	633	**	ökning
2	545	720	***	ökning
3	462	582	***	ökning
4	452	504	*	ökning
5	457	452	ej signifikant	-
6	376	379	ej signifikant	-
<b>Hela Sverige</b>	463	544	***	ökning

## 5.14 Molybden

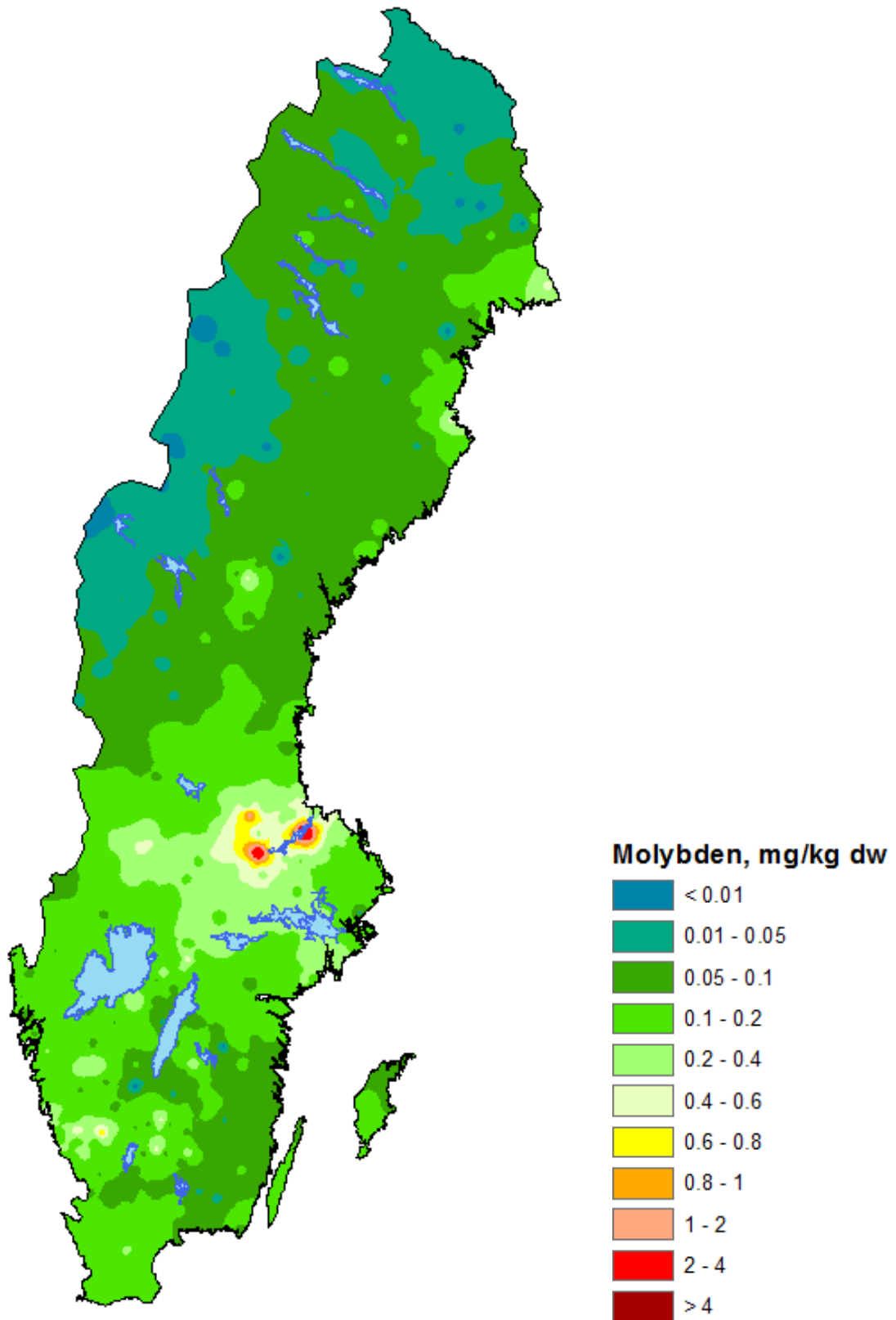
Molybden är ca 100 gånger mer sällsynt än det lättaste elementet i samma grupp i periodiska systemet, krom. Molybden förekommer i mineral som t.ex. molybdenit. Den är en legeringsmetall som bl.a. förbättrar styrkan hos stål. Metallen används också i kärnenergisammanhang, i flygplan och som trådmaterial i elektriska och elektroniska instrument. Molybden förekommer också i fossila bränslen (Suchara m. fl., 2007).

Molybden är en metall som ingår i många enzymer och är därför essentiell för både växter och djur. De viktigaste tecknen på molybdenförgiftning är dålig tillväxt och anemi, anorexi, diarré och pigmentförändringar, led- och bendeformering. Högt intag av molybden kan också påverka centrala nervsystemet. Molybdenbrist kan hämma tillväxten, ge minskad aptit, påverka reproduktionen och även orsaka cancer. (Suchara m. fl., 2007).

Molybden förekommer i biota (NVs biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se), Bilaga IV).

### 5.14.1 2015

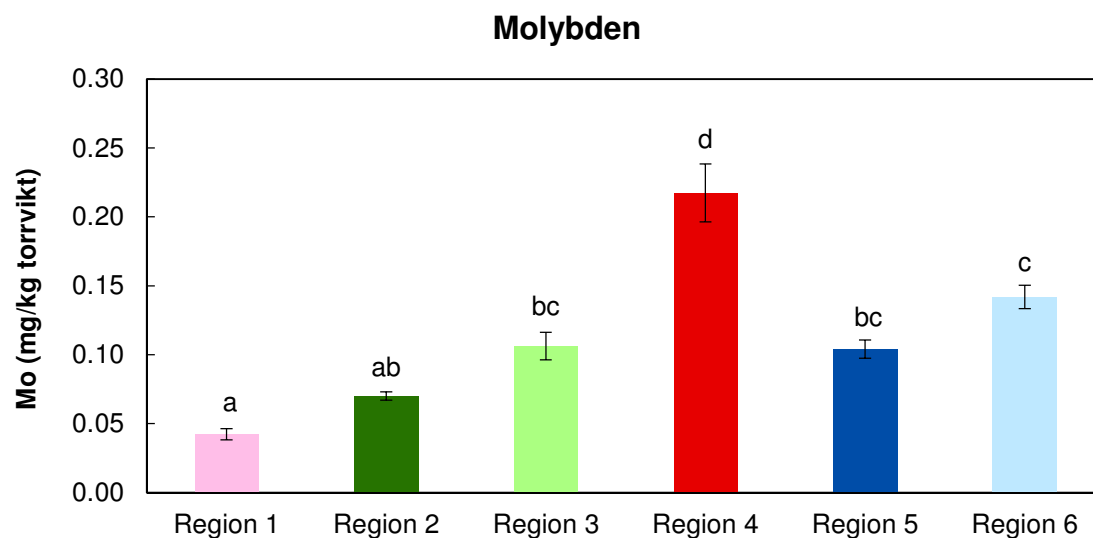
I Figur 58 visas molybdenkoncentrationerna i mossprover insamlade 2015 i hela Sverige. Som för de flesta av de analyserade metallerna finns en syd- nordliga gradienten med de generellt högsta koncentrationerna i söder. Ett undantag är ett område i Mellansverige som har de högsta koncentrationerna av molybden i mossor. Mossprovet med den allra högsta koncentrationen (2,4 mg/kg torrsvikt) är insamlat i Uppsala län. Mossprover med koncentrationer över 0,4 mg/kg torrsvikt är insamlade på ytterligare 17 platser under 2015. Av dessa insamlades fyra prover i Dalarnas län (2,0 mg/kg torrsvikt, 1,1 mg/kg torrsvikt, 0,50 mg/kg torrsvikt respektive 0,44 mg/kg torrsvikt), tre stycken i Jönköpings län (0,69 mg/kg torrsvikt, 0,47 mg/kg torrsvikt respektive 0,44 mg/kg torrsvikt) och två i Hallands län (0,58 mg/kg torrsvikt respektive 0,40 mg/kg torrsvikt). Övriga åtta prover insamlades i Västmanlands län (0,54 mg/kg torrsvikt), Värmlands län (0,50 mg/kg torrsvikt), Örebro län (0,50 mg/kg torrsvikt), Västerbottens län (0,44 mg/kg torrsvikt), Norrbottens län (0,43 mg/kg torrsvikt), Jämtlands län (0,42 mg/kg torrsvikt), Gävleborgs län (0,40 mg/kg torrsvikt) och Västra Götalands län (0,40 mg/kg torrsvikt).



Figur 58. Molybdenkoncentrationer i mossprover insamlade 2015.



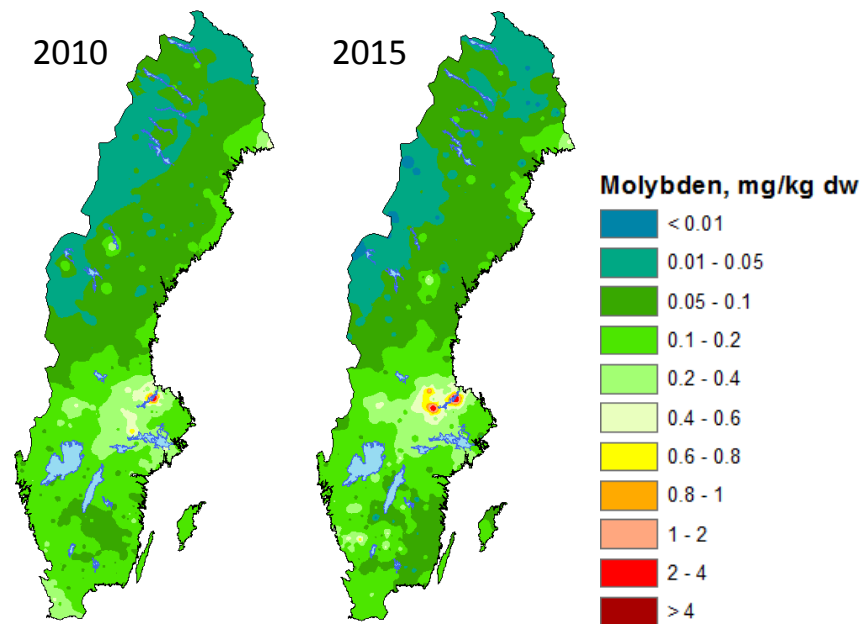
I Figur 59 visas den statistiska analysen av molybdenkoncentrationerna i mossproverna från 2015. Medelkoncentrationen av mangan i mossor var lägst i fjälltrakterna (Region 1) (0,042 mg/kg torrsvikt). Denna koncentration var signifikant lägre än samtliga regioner förutom norra Sveriges inland (Region 2, 0,070 mg/kg torrsvikt). Den signifikant högsta medelkoncentrationen (0,22 mg/kg torrsvikt) fanns i Mellansverige (Region 4). Medelkoncentrationerna var för norra Sveriges kustland (Region 3) 0,11 mg/kg torrsvikt, för sydöstra Sverige (Region 5) 0,10 mg/kg torrsvikt och för sydvästra Sverige (Region 6) 0,14 mg/kg torrsvikt.



Figur 59. Medelkoncentrationer av molybden i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt). Samma bokstäver (a, b, c, d) över staplarna indikerar att regionernas medelkoncentrationer av zink inte är signifikant åtskilda (ANOVA).

### 5.14.2 Jämförelse mot tidigare år

Figur 60 visar koncentration av molybden i mossor för 2010 och 2015, för vilka år det har analyserats mangan i mossprover. I figuren syns att molybdenkoncentrationerna i mossan i Mellansverige ökat något mellan de båda mätåren, dock ej signifikant (se Tabell 16). Precis som för 2015 insamlades under 2010 mossproverna med de högsta koncentrationerna i Mellansverige. Andelen mossprover med koncentrationer över 0,40 mg/kg torrsvikt var 2010 1,7 %. Motsvarande siffra för 2015 var 3,0 %. Medelkoncentrationen för hela Sverige var för både 2010 och 2015 0,13 mg/kg torrsvikt.



Figur 60. Koncentration (mg/kg torrsvikt) av molybden i mossor, 2010 och 2015.

#### 5.14.2.1 2015 vs. 2010

I Tabell 16 redovisas medelkoncentrationer för molybden i mossor uppdelat på region och provtagningsår (2010 och 2015). En statistisk signifikant analys har gjorts med ANOVA. Inte i någon region eller för Sverige som helhet fanns någon statistiskt signifikant skillnad av molybdenkoncentrationen i mossor mellan 2015 och 2010.

Tabell 16. Medelkoncentrationer i mg/kg torrsvikt för molybden för alla regioner samt för hela Sverige, 2010 och 2015. Statistisk analys med envägs ANOVA.

Region	2010	2015	ANOVA	2010 till 2015
1	0,052	0,042	ej signifikant	-
2	0,064	0,070	ej signifikant	-
3	0,12	0,11	ej signifikant	-
4	0,20	0,22	ej signifikant	-
5	0,11	0,10	ej signifikant	-
6	0,14	0,14	ej signifikant	-
Hela Sverige	0,13	0,13	ej signifikant	-

## 6. Diskussion och slutsatser

- Resultaten visar att metoden att använda mossor för att mäta belastning för olika metaller över Sverige har fungerat mycket väl och speglar i hög grad både depositionsgradient och påverkan av lokala utsläppskällor för de flesta av de analyserade metallerna.
- Analys av mangan i mossproverna kan inte användas för att mäta belastningen då koncentrationerna i mossan inte avspeglar den atmosfäriska depositionen.
- En generell syd-nordlig gradient kan ses för arsenik, bly, järn, kadmium, koppar, kvicksilver, nickel, vanadin, zink, aluminium och kobolt i mossproverna från 2015.
- Lokalt förhöjda metallkoncentrationer, på grund av metallemissioner från lokala utsläppskällor, bryter dock ibland det generella mönstret. Exempel på detta är något förhöjda koncentrationer av arsenik, bly, kadmium och koppar i Västerbottens läns kusttrakter, förhöjd koncentration av krom i Norrbottens läns kusttrakter nära Finland samt något förhöjda koncentrationer av järn och vanadin i malmfälten i Norrbottens län.
- I Jämtlands län insamlades under 2015 ett mossprov med förhöjda koncentrationer av de flesta metaller. Någon förklaring till de förhöjda koncentrationerna i detta mossprov har inte hittats.
- För bly, kadmium, kvicksilver, nickel, vanadin, aluminium och kobolt visar variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige var lägre 2015 jämfört med 2010 års undersökning. För arsenik, koppar, krom och mangan visar variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige var 2015 högre jämfört med 2010 års undersökning. Att medelkoncentrationen av arsenik var högre 2015 jämfört med 2010 kan troligen förklaras med att rapporteringsgränsen för arsenik var betydligt högre 2010 jämfört med 2015. För järn, zink och molybden finns ingen signifikant förändring för medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige vid 2015 års undersökning jämfört med 2010.
- Under de senaste 40 åren (1975-2010) visar trendanalysen att metallkoncentrationen i mossor för hela Sverige har minskat signifikant för samtliga undersökta metaller. Mest minskade metallkoncentrationerna i mossor för bly följt av vanadin, krom, nickel, arsenik, kadmium, koppar och zink.
- Den enda metall samt det enda regionala område i Sverige där trendanalysen inte visar på någon signifikant minskning den senaste 40-årsperioden var kromkoncentrationen i mossprover insamlade i norra Sveriges kustland. För samtliga övriga regionala områden och för alla övriga metaller fanns en statistiskt signifikant minskning för tidsperioden.
- Koncentrationer av järn i mossor analyserades för första gången 1985. Under de senaste 30 åren visar trendanalysen att koncentrationen av järn i mossor har minskat signifikant i hela Sverige. Järnkoncentrationen minskade signifikant även i samtliga regionala områden under tidsperioden.

- Under de senaste 25 åren (1990-2015) visar trendanalysen att metallkoncentrationerna i mossor för hela Sverige inte har minskat i samma utsträckning som för perioden 1975-2015. Endast bly, kadmium, nickel och vanadin visar på en statistiskt signifikant minskning som medelvärde för hela Sverige för denna period.
- Trendanalyserna visar att det för arsenik, järn och krom fanns signifikant minskande metallkoncentrationer i mossor i vissa enskilda regioner under de senaste 25 åren (1990-2015).
- Under de senaste 15 åren (2000-2015) visar trendanalyserna att metallkoncentrationen i mossor för hela Sverige inte förändrats statistiskt signifikant för någon av de undersökta metallerna.

## 7. Nytt 2015 och på gång 2016

### 7.1 POPs i mossor

Under 2015 insamlades även mossprover för analys av organiska ämnen (Danielsson m.fl., 2016). Prover samlades in på 83 platser i bakgrundsmiljö. Av dessa har 20 mossprover analyserats med avseende på polycykliska aromatiska kolväten (PAHer), polyklorerade bifenyler (PCBer), vissa klorerade pesticider, polybromerade difenyletrar (PBDEer), hexabromcyklododekan (HBCD), dioxiner och furaner (PCDD/PCDFs), dioxinlika PCBer och perfluorerade ämnen (PFAS).

Signifikant korrelation fanns mellan koncentrationen av PAHer, dioxiner/furaner och dioxinlika PCBer i mossorna och avstånd till närmaste industri samt även till avstånd från den sydligaste punkten i Sverige. Koncentrationen av p,p-DDE i mossor korrelerade signifikant mot avståndet från den sydligaste punkten i Sverige, med de högsta nivåerna i söder. Ingen signifikant korrelation fanns mellan koncentration av p,p-DDE i mossor och avstånd till närmaste industri.

Koncentrationer av PAHer i mossor från provtagningsplatser insamlade i närheten av tre nationella luftövervakningsstationer (Råö, Aspvreten och Pallas) överensstämde med motsvarande koncentrationer i bakgrundsluft, med de högsta koncentrationerna i mossor och luft i söder och de lägsta i norr. Jämförelse mellan profilen för enskilda PAH-komponenter i luft och i mossor visar på en större andel av tyngre PAHer i mossor. Detta tyder på en större andel av partikelbundna PAHer i mossor.

## 7.2 Samband mellan koncentration i mossa och deposition

Under hösten 2016 påbörjas en studie som syftar till att undersöka hur sambandet mellan metallkoncentrationer i mossprover och i deposition ser ut. Mossprover från 2015 insamlade i närheten av mätstationer där metaller i deposition mätts ska nyttjas i studien. Om ett starkt samband erhålls möjliggörs en detaljerad beskrivning av metalldepositionen över Sverige.

Under 2016 ska också kväve och svavel i mossa analyseras. Mossprover från 2015 insamlade i närheten av mätstationer där försurande och övergödande ämnen i deposition mätts ska utnyttjas i studien. Innan ett samband mellan koncentrationer i mossprover och i deposition kan tas fram måste det först utredas om mossa fungerar som indikator för kväve och svavel i Sverige. Om mossa kan användas som indikator för kväve och svavel och om ett samband finns mellan halt i mossa och deposition kan resultaten i framtiden användas för att ge en detaljerad bild av deposition av även kväve och svavel.

Om resultaten blir tillfredsställande kan metoden användas vid kommande mossundersökningar samt även på sparade prover från tidigare mossundersökningar för att möjliggöra trendanalys.

## 7.3 Lokala och regionala förtätningar

I samband med den nationella mossprovtagningen 2015 genomförde ett antal länsstyrelser, luftvårdsförbund, kommuner samt enskilda företag samtidigt en utökad provtagning. Omfattningen på den utökade provtagningen varierade kraftigt, från hela län till närområde till en industri. Under hösten 2016 kommer analys och rapportering av förtättningsundersökningarna att genomföras. Några av rapporterna kommer att finnas tillgängliga på IVL:s webbplats.

## 8. Referenser

Arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala, [www.amm uppsala.se](http://www.amm uppsala.se), 2016-08-16

ArcMap 10.3.1 for Desktop

Berg, T., & Steinnes, E. (1997). Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *Environmental Pollution*, 98(1), 61-71.

Berg, T., Hjellbrekke, A., Rühling, Å., Steinnes, E., Kubin, E., Larsen, M. M., & Piispanen, J. (2003). Absolute deposition maps of heavy metals for the Nordic countries based on moss surveys. Tema Nord 2003:505, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.

- Berglund, Å. M., Klaminder, J., & Nyholm, N. E. I. (2008). Effects of reduced lead deposition on pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) nestlings: tracing exposure routes using stable lead isotopes. *Environmental science & technology*, 43(1), 208-213.
- Berglund, Å. M., Ingvarsson, P. K., Danielsson, H., & Nyholm, N. E. I. (2010). Lead exposure and biological effects in pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca*) before and after the closure of a lead mine in northern Sweden. *Environmental Pollution*, 158(5), 1368-1375.
- Biester, H., Müller, G., & Schöler, H. F. (2002). Binding and mobility of mercury in soils contaminated by emissions from chlor-alkali plants. *Science of the Total Environment*, 284(1), 191-203.
- Boquete, M. T., Fernández, J. A., Aboal, J. R., & Carballeira, A. (2011). Are terrestrial mosses good biomonitors of atmospheric deposition of Mn? *Atmospheric environment*, 45(16), 2704-2710.
- Bradl, H. (Ed.). (2005). *Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation* (Vol. 6). Academic Press.
- Buse, A., Norris, D., Harmens, H., Büker, P., Ashenden, T., & Mills, G. (2003). *Heavy metals in European mosses: 2000/2001 survey*. UNECE ICP Vegetation Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK.
- Cullen, W. R., & Reimer, K. J. (1989). Arsenic speciation in the environment. *Chemical reviews*, 89(4), 713-764.
- Danielsson, H., Hansson, K., Potter, A., Friedrichsen, J., & Brorström-Lundén, E. (2016). *Persistent organic pollutants in Swedish mosses*. IVL Rapport C 188.
- Eisler, R. (1988). *Lead Hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review*. Biological Report 85. Laurel, Maryland: US Fish and Wildlife Service.
- European Environment Agency. (2016). *European Union emission inventory report 1990–2014 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)*. ISSN 1977-8449.
- Harmens, H., & Norris, D., the participants of the moss survey (2008) *Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe (1990–2005)*. Survey data is from the centre for Ecology & Hydrology, United Kingdom, 41.
- Harmens, H., Norris, D., & Mills, G., the participants of the moss survey (2013). *Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe*. NERC/Centre for Ecology & Hydrology.
- Harmens, H., Norris, D.A., Sharps, K., Mills, G., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Cucu-Man, S.-M., Dam, M., De Temmerman, L., Ene, A., Fernández, J.A., Martínez-Abaigar, J., Frontasyeva, M., Godzik, B., Jeran, Z., Lazo, P., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, S.H., Maříková, B., Pihl Karlsson, G., Piispanen, J., Poikolainen, J., Santamaria, J.M., Skudnik, M., Spiric, Z., Stafilov, T., Steinnes, E., Stíhi, C., Suchara, I., Thöni, L., Todoran, R., Yurukova, L. & Zechmeister. H.G. (2015). *Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some “hotspots” remain in 2010*. *Environmental Pollution* 200, 93-104.
- Hulskotte, J. H. J., van der Gon, H. D., Visschedijk, A. J. H., & Schaap, M. (2007). Brake wear from vehicles as an important source of diffuse copper pollution. *Water science and technology*, 56(1), 223-231.

- ICP Vegetation. (2015). <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/MossmonitoringMANUAL-2015-17.07.14.pdf>
- Ilyin, I., Rozovskaya, O., Travnikov, O. Varygina, M. & Aas, W. (2014). Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment. EMEP Status Report 2/2014. Meteorological Synthesizing Centre-East, Moscow, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller.
- International Chromium Development Association, (2007). Health Safety and Environment Guidelines for Chromium. Revision 4 - January 2007.
- Johansson, C., Norman, M., & Burman, L. (2009). Road traffic emission factors for heavy metals. *Atmospheric Environment*, 43(31), 4681-4688.
- Järup, L., Berglund, M., Elinder, C. G., Nordberg, G., & Vanter, M. (1998). Health effects of cadmium exposure—a review of the literature and a risk estimate. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 1-51.
- Karolinska Institutet, [www.ki.se](http://www.ki.se), 2016-08-05
- Kemikalieinspektionen. (2013). Kunnskap och behörig användning av biocider – systemet och dess utvecklingsbehov. [www.kemikalieinspektionen.se](http://www.kemikalieinspektionen.se). ISSN: 0284 -1185.
- Kemikalieinspektionen. (2012). Samhällsekonomisk kostnad för frakturer orsakade av kadmiumintag via maten. [www.kemikalieinspektionen.se](http://www.kemikalieinspektionen.se).
- Kindbom, K., Svensson, A., Sjöberg, K., Pihl Karlsson, G. (2001). Trends in monitoring air concentration and deposition at background monitoring sites i Sweden – major inorganic compounds, heavy metals and ozone. IVL Rapport B 1429.
- Klaminder, J., Bindler, R., Emteryd, O., Appleby, P., & Grip, H. (2006). Estimating the mean residence time of lead in the organic horizon of boreal forest soils using 210-lead, stable lead and a soil chronosequence. *Biogeochemistry*, 78(1), 31-49.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- Naturvårdsverkets biotadatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)
- Naturvårdsverkets luftdatabas, [www.ivl.se](http://www.ivl.se)
- Nóvoa-Muñoz, J. C., Pontevedra-Pombal, X., Martínez-Cortizas, A., & Gayoso, E. G. R. (2008). Mercury accumulation in upland acid forest ecosystems nearby a coal-fired power-plant in Southwest Europe (Galicia, NW Spain). *Science of the Total Environment*, 394(2), 303-312.
- Nriagu, J. O. (1989). A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature*, 338(6210), 47-49.
- Palm, A., Wängberg, I., & Brorström-Lundén, E. (2001). Kvicksilver och organiska miljögifter i Örsersumsviken: Utvärdering av mätresultat. IVL. IVL Rapport B 1433.
- Palm A., Andersson J. & Brorström-Lundén E., (2005). Översiktlig kartläggning av farliga ämnens huvudsakliga spridningsvägar i Sverige. 1. Diffusa källor. SMED rapport.

- Peralta-Videa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G., & Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 41(8), 1665-1677.
- Ross, H. B. (1990). On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 50(1-2), 63-76.
- Rühling, Å., Skärby, L. (1979). Landsomfattande kartering av regionala tungmetallkoncentrationer i mossa. National survey of regional heavy metal concentrations in moss. Statens Naturvårdsverk PM 1191: 1-28.
- Rühling, A., & Tyler, G. (1968). An ecological approach to lead problem. *Botaniska Notiser*, 121(3), 21.
- Rühling, Å. (Ed.). (1994). Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe:—estimation based on moss analysis. *NORD 1994:9*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.
- Rühling, Å., & Steinnes, E. (Eds.). (1998). Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996. *NORD 1998:15*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen
- Sjöberg, K., Brorström-Lundén, E., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Hansson, K., Wängberg, I., Potter, A., Kreuger, J., Lindström, B., Areskoug, H., Alpfjord, H & Andersson, C. (2014). Sakrapport 2013: Data från övervakning inom Programområde Luft tom år 2013. IVL Rapport C 53
- Steinnes, E. (1995). A critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals. *Science of the Total Environment*, 160, 243-249.
- Steinnes, E., Rühling, Å., Lippo, H., & Mäkinen, A. (1997). Reference materials for large-scale metal deposition surveys. *Accreditation and Quality Assurance*, 2(5), 243-249.
- Sternbeck, J., & Carlsson, A. (2004). Långsiktig plan för programområdet utsläpp av Farliga ämnen. SMED rapport.
- Suchara, I., Maňková, B., Sucharová, J., Florek, M., Godzik, B., Rabnec, G., Tuba, Z. & Kapusta, P. (2007). Mapping of main sources of pollutants and their transport in the Visegrad space. Part II: Fifty three elements. *Silva Tarouca Res. Inst. for Landscape and Ornam. Gardening, Průhonice*, 214.
- SWECO VIAK (2007) Nationwide screening of WFD priority substances. SWECO VIAK Screening Report 2007:1.
- Sveriges kyrkogårds- och krematorieförbund, <http://www.skkf.se>
- Travnikov, O., Ilyin, I., Rozovskaya, O., Varygina, M., Aas, W., Uggerud, H. T., Mareckova, K & Wankmueller, R. (2012). Long-term changes of heavy metal transboundary pollution of the environment (1990–2010). *EMEP Status report*, 2, 2012.
- Tyler, G. (1971). Moss analysis—a method for surveying heavy metal deposition. In *International Clean Air Congress. Proceedings*.
- World Health Organization (WHO). (2007). Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. WHO: Copenhagen, Denmark. ISBN: 978-92-890-7179-6.





Zayed, A. M., & Terry, N. (2003). Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant and soil*, 249(1), 139-156.

# Bilaga I. Medelvärden och Standard Error för samtliga metaller och regioner, 2015

Tabell I- 1. Medelvärden (mg/kg torrsvikt) 2015 för samtliga metaller presenterade per region, ± Standard Error (SE).

Region	n	As	SE	Pb	SE	Fe	SE	Cd	SE	Cu	SE	Cr	SE	Hg	SE
1	31	0.035	0.0032	0.52	0.047	67	4.5	0.065	0.0036	2.9	0.11	0.11	0.012	0.028	0.0013
2	162	0.051	0.0031	0.81	0.050	110	9.3	0.080	0.0036	3.4	0.081	0.19	0.011	0.029	0.0012
3	55	0.095	0.014	2.0	0.41	103	6.4	0.14	0.011	4.8	0.398	0.56	0.19	0.034	0.0016
4	153	0.071	0.0024	1.3	0.039	144	6.1	0.13	0.0037	4.1	0.068	0.45	0.035	0.039	0.0012
5	99	0.086	0.0030	1.3	0.041	153	7.6	0.13	0.0041	4.2	0.092	0.30	0.016	0.042	0.0013
6	111	0.10	0.0031	1.8	0.057	189	8.6	0.15	0.0049	5.2	0.11	0.62	0.064	0.044	0.0010

Tabell I- 2. Medelvärden (mg/kg torrsvikt) 2015 för samtliga metaller presenterade per region, ± Standard Error (SE).

Region	n	Ni	SE	V	SE	Zn	SE	Al	SE	Co	SE	Mn	SE	Mo	SE
1	31	0.38	0.025	0.22	0.015	30	1.8	75	6.6	0.065	0.0052	633	41	0.042	0.0041
2	162	0.45	0.033	0.35	0.022	30	0.95	99	6.6	0.077	0.0044	720	32	0.070	0.0030
3	55	0.56	0.034	0.42	0.026	37	1.3	97	5.9	0.10	0.0061	582	30	0.11	0.010
4	153	0.51	0.029	0.55	0.031	38	0.74	138	5.4	0.12	0.012	504	16	0.22	0.021
5	99	0.46	0.016	0.51	0.019	35	0.80	149	7.3	0.11	0.0044	452	24	0.10	0.0066
6	111	0.54	0.017	0.74	0.026	38	0.78	166	6.9	0.12	0.0049	379	22	0.14	0.0084

## Bilaga II. Antal analyserade mossprover per region, år och metall, 1975-2015

Tabell II- 1. Antal analyserade mossprover per region, år och metall.

Region	År	As	Pb	Fe	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	V	Zn	Al	Co	Mn	Mo
<b>Fjälltrakter</b>	1975	42	41	-	42	42	42	-	42	42	42	-	-	-	-
	1980	84	84	-	84	84	84	-	84	84	84	-	-	-	-
	1985	90	90	90	90	90	90	19	90	90	90	-	-	-	-
	1990	-	76	76	76	76	76	-	76	76	76	-	-	-	-
	1995	13	31	31	31	31	31	13	31	31	31	-	-	-	-
	2000	22	22	22	22	22	22	21	22	22	22	-	-	-	-
	2005	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	-	-	-	-
	2010	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
	2015	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
<b>Norra Sveriges inland</b>	1975	180	180	-	180	180	180	-	180	179	180	-	-	-	-
	1980	215	215	-	215	215	215	-	215	215	215	-	-	-	-
	1985	194	194	194	194	194	194	60	194	194	194	-	-	-	-
	1990	-	172	172	172	172	172	-	172	172	172	-	-	-	-
	1995	86	175	175	175	175	175	86	175	175	175	-	-	-	-
	2000	103	103	103	103	103	103	98	103	103	103	-	-	-	-
	2005	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	-	-	-	-
	2010	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136
	2015	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162
<b>Norra Sveriges kusttrakter</b>	1975	76	76	-	76	76	76	-	76	76	76	-	-	-	-
	1980	72	72	-	72	72	72	-	72	72	72	-	-	-	-
	1985	86	86	86	86	86	86	14	86	86	86	-	-	-	-
	1990	-	70	70	70	70	70	-	70	70	70	-	-	-	-
	1995	28	61	61	61	61	61	28	61	61	61	-	-	-	-
	2000	33	33	33	33	33	33	32	33	33	33	-	-	-	-
	2005	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	-	-	-	-
	2010	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	2015	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
<b>Mellansverige</b>	1975	180	180	-	180	180	180	-	180	179	180	-	-	-	-
	1980	219	223	1	223	223	223	-	223	223	223	-	-	-	-
	1985	212	213	213	213	213	213	75	213	213	213	-	-	-	-
	1990	-	186	186	186	186	186	-	186	186	186	-	-	-	-
	1995	82	187	187	187	187	187	82	187	187	187	-	-	-	-
	2000	98	98	98	98	98	98	97	98	98	98	-	-	-	-
	2005	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	-	-	-	-
	2010	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153
	2015	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153



Region	År	As	Pb	Fe	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	V	Zn	Al	Co	Mn	Mo	
Sydöstra Sverige	1975	93	93	-	93	93	93	-	93	93	93	-	-	-	-	
	1980	102	105	93	105	105	105	-	105	105	105	-	-	-	-	
	1985	119	119	119	119	119	119	30	119	119	119	-	-	-	-	
	1990	-	104	104	104	104	104	-	104	104	104	-	-	-	-	
	1995	50	114	114	114	114	114	50	114	114	114	-	-	-	-	
	2000	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	-	-	-	-	
	2005	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	-	-	-	-	
	2010	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
	2015	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	Sydvästra Sverige	1975	89	89	-	89	89	89	-	89	89	89	-	-	-	-
1980		115	117	90	117	117	117	-	117	117	117	-	-	-	-	
1985		135	135	135	135	135	135	28	135	135	135	-	-	-	-	
1990		-	105	105	105	105	105	-	105	105	105	-	-	-	-	
1995		60	139	139	139	139	139	60	139	139	139	-	-	-	-	
2000		79	79	79	79	79	79	78	79	79	79	-	-	-	-	
2005		116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	-	-	-	-	
2010		109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
2015		111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111

## Bilaga III. Trendanalys för samtliga metaller, regioner och perioder

Tabell III- 1. Trendanalys för perioden 1975-2015 med Mann-Kendall för samtliga metaller samt regioner. Startår, slutår, antal år (n), p-värde, signifikans, max-värde, min-värde, medianvärde samt total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje).

Grupp	Parameter	Start	Slut	n	p	Signif.	Max	Min	Median	Procentuell förändring
HELA Sverige	Arsenik	1975	2015	8	0.0044	**	0.2	0.1	0.2	-78
Fjälltrakter	Arsenik	1975	2015	8	0.0094	**	0.1	0	0.1	-72
Norra Sveriges inland	Arsenik	1975	2015	8	0.0044	**	0.2	0	0.1	-75
Norra Sveriges kustland	Arsenik	1975	2015	8	0.0187	*	0.5	0.1	0.2	-84
Mellansverige	Arsenik	1975	2015	8	0.0354	*	0.2	0.1	0.2	-77
Sydöstra Sverige	Arsenik	1975	2015	8	0.0094	**	0.3	0.1	0.2	-81
Sydvästra Sverige	Arsenik	1975	2015	8	0.0044	**	0.3	0.1	0.2	-74
HELA Sverige	Bly	1975	2015	9	0.0003	***	36	1.3	5.9	-112
Fjälltrakter	Bly	1975	2015	9	0.0003	***	14.7	0.5	2.3	-108
Norra Sveriges inland	Bly	1975	2015	9	0.0003	***	18.6	0.8	3.3	-112
Norra Sveriges kustland	Bly	1975	2015	9	0.0003	***	32.1	2	6.3	-111
Mellansverige	Bly	1975	2015	9	0.0003	***	41.9	1.3	6.4	-114
Sydöstra Sverige	Bly	1975	2015	9	0.0003	***	46.2	1.3	6.5	-112
Sydvästra Sverige	Bly	1975	2015	9	0.0003	***	61.5	1.8	8.3	-111
HELA Sverige	Järn	1985	2015	7	0.0163	*	420	135	176	-76
Fjälltrakter	Järn	1985	2015	7	0.0355	*	238	58	88	-82
Norra Sveriges inland	Järn	1985	2015	7	0.0355	*	299	98	134	-76
Norra Sveriges kustland	Järn	1985	2015	7	0.0027	**	405	103	173	-77
Mellansverige	Järn	1985	2015	7	0.0355	*	442	128	184	-80
Sydöstra Sverige	Järn	1985	2015	7	0.0355	*	520	134	197	-77
Sydvästra Sverige	Järn	1985	2015	7	0.0355	*	606	189	255	-53
HELA Sverige	Kadmium	1975	2015	9	0.0003	***	0.6	0.1	0.2	-76
Fjälltrakter	Kadmium	1975	2015	9	0.0003	***	0.4	0.1	0.1	-93
Norra Sveriges inland	Kadmium	1975	2015	9	0.0006	***	0.4	0.1	0.1	-78
Norra Sveriges kustland	Kadmium	1975	2015	9	0.0003	***	0.6	0.1	0.2	-77
Mellansverige	Kadmium	1975	2015	9	0.0003	***	0.6	0.1	0.2	-78
Sydöstra Sverige	Kadmium	1975	2015	9	0.0003	***	0.7	0.1	0.2	-76
Sydvästra Sverige	Kadmium	1975	2015	9	0.0003	***	0.8	0.1	0.3	-80

Grupp	Parameter	Start	Slut	n	p	Signif.	Max	Min	Median	Procentuell förändring
<b>HELA Sverige</b>	Koppar	1975	2015	9	0.0091	**	7.2	3.8	4.4	-53
<b>Fjälltrakter</b>	Koppar	1975	2015	9	0.0091	**	4.9	2.5	2.9	-53
<b>Norra Sveriges inland</b>	Koppar	1975	2015	9	0.0091	**	5.5	2.7	3.5	-56
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Koppar	1975	2015	9	0.0476	*	10.5	4	4.9	-56
<b>Mellansverige</b>	Koppar	1975	2015	9	0.0049	**	7.7	3.6	4.5	-57
<b>Sydöstra Sverige</b>	Koppar	1975	2015	9	0.0025	**	7.9	4.1	4.8	-57
<b>Sydvästra Sverige</b>	Koppar	1975	2015	9	0.0165	*	8.8	5.1	5.8	-48
<b>HELA Sverige</b>	Krom	1975	2015	9	0.0091	**	5.4	0.3	0.8	-91
<b>Fjälltrakter</b>	Krom	1975	2015	9	0.0049	**	0.8	0.1	0.4	-86
<b>Norra Sveriges inland</b>	Krom	1975	2015	9	0.0165	*	1	0.2	0.5	-81
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Krom	1975	2015	9	0.0763		36	0.4	1.5	-26
<b>Mellansverige</b>	Krom	1975	2015	9	0.0012	**	7.4	0.3	1.1	-92
<b>Sydöstra Sverige</b>	Krom	1975	2015	9	0.0025	**	2	0.3	0.6	-95
<b>Sydvästra Sverige</b>	Krom	1975	2015	9	0.0049	**	3.7	0.4	1.1	-98
<b>HELA Sverige</b>	Nickel	1975	2015	9	0.0012	**	3.3	0.5	1.3	-86
<b>Fjälltrakter</b>	Nickel	1975	2015	9	0.0006	***	2.1	0.4	0.9	-83
<b>Norra Sveriges inland</b>	Nickel	1975	2015	9	0.0012	**	2.1	0.4	1.1	-79
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Nickel	1975	2015	9	0.0012	**	3.6	0.6	1.4	-77
<b>Mellansverige</b>	Nickel	1975	2015	9	0.0006	***	5.1	0.5	1.5	-89
<b>Sydöstra Sverige</b>	Nickel	1975	2015	9	0.0012	**	3.2	0.5	1.3	-87
<b>Sydvästra Sverige</b>	Nickel	1975	2015	9	0.0012	**	3.6	0.5	1.6	-86
<b>HELA Sverige</b>	Vanadin	1975	2015	9	0.0006	***	4.1	0.5	2.2	-92
<b>Fjälltrakter</b>	Vanadin	1975	2015	9	0.0091	**	1.5	0.2	1.1	-90
<b>Norra Sveriges inland</b>	Vanadin	1975	2015	9	0.0025	**	2.5	0.3	1.4	-87
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Vanadin	1975	2015	9	0.0012	**	4.1	0.4	2.4	-90
<b>Mellansverige</b>	Vanadin	1975	2015	9	0.0003	***	5.2	0.5	2.2	-99
<b>Sydöstra Sverige</b>	Vanadin	1975	2015	9	0.0003	***	5.6	0.5	2.3	-99
<b>Sydvästra Sverige</b>	Vanadin	1975	2015	9	0.0012	**	7.2	0.7	3.3	-89
<b>HELA Sverige</b>	Zink	1975	2015	9	0.0049	**	63	32	42	-50
<b>Fjälltrakter</b>	Zink	1975	2015	9	0.0025	**	49	28	36	-44
<b>Norra Sveriges inland</b>	Zink	1975	2015	9	0.0049	**	47	26	32	-48
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Zink	1975	2015	9	0.0025	**	60	30	43	-52
<b>Mellansverige</b>	Zink	1975	2015	9	0.0049	**	70	32	46	-48
<b>Sydöstra Sverige</b>	Zink	1975	2015	9	0.0012	**	70	35	42	-45
<b>Sydvästra Sverige</b>	Zink	1975	2015	9	0.0025	**	82	38	50	-47

Tabell III- 2. Trendanalys för perioden 1990-2015 (från 1995 för arsenik) med Mann-Kendall för samtliga metaller samt regioner. Startår, slutår, antal år (n), p-värde, signifikans, max-värde, min-värde, medianvärde samt total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje).

Grupp	Parameter	Start	Slut	n	p	Signif.	Max	Min	Median	Procentuell förändring
<b>HELA Sverige</b>	Arsenik	1995	2015	5	0.221		0.2	0.1	0.1	-57
<b>Fjälltrakter</b>	Arsenik	1995	2015	5	0.028	*	0.1	0.0	0.1	-69
<b>Norra Sveriges inland</b>	Arsenik	1995	2015	5	0.221		0.1	0.0	0.1	-59
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Arsenik	1995	2015	5	0.221		0.2	0.1	0.1	-70
<b>Mellansverige</b>	Arsenik	1995	2015	5	0.221		0.2	0.1	0.1	-56
<b>Sydöstra Sverige</b>	Arsenik	1995	2015	5	0.221		0.2	0.1	0.1	-60
<b>Sydvästra Sverige</b>	Arsenik	1995	2015	5	0.221		0.2	0.1	0.1	-58
<b>HELA Sverige</b>	Bly	1990	2015	6	0.009	**	11.1	1.3	3.5	-82
<b>Fjälltrakter</b>	Bly	1990	2015	6	0.009	**	4.4	0.5	1.5	-80
<b>Norra Sveriges inland</b>	Bly	1990	2015	6	0.009	**	6.2	0.8	2.0	-84
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Bly	1990	2015	6	0.009	**	11.3	2.0	3.6	-93
<b>Mellansverige</b>	Bly	1990	2015	6	0.009	**	13.9	1.3	3.9	-84
<b>Sydöstra Sverige</b>	Bly	1990	2015	6	0.009	**	13.0	1.3	4.1	-79
<b>Sydvästra Sverige</b>	Bly	1990	2015	6	0.009	**	17.1	1.8	5.0	-86
<b>HELA Sverige</b>	Järn	1990	2015	6	0.060		318	135	168	-58
<b>Fjälltrakter</b>	Järn	1990	2015	6	0.133		237	58	82	-43
<b>Norra Sveriges inland</b>	Järn	1990	2015	6	0.133		265	98	126	-68
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Järn	1990	2015	6	0.009	**	255	103	149	-71
<b>Mellansverige</b>	Järn	1990	2015	6	0.133		378	128	164	-68
<b>Sydöstra Sverige</b>	Järn	1990	2015	6	0.133		342	134	175	-56
<b>Sydvästra Sverige</b>	Järn	1990	2015	6	0.133		373	189	242	-47
<b>HELA Sverige</b>	Kadmium	1990	2015	6	0.009	**	0.2	0.1	0.2	-49
<b>Fjälltrakter</b>	Kadmium	1990	2015	6	0.009	**	0.1	0.1	0.1	-42
<b>Norra Sveriges inland</b>	Kadmium	1990	2015	6	0.024	*	0.2	0.1	0.1	-54
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Kadmium	1990	2015	6	0.009	**	0.2	0.1	0.2	-39
<b>Mellansverige</b>	Kadmium	1990	2015	6	0.009	**	0.3	0.1	0.2	-51
<b>Sydöstra Sverige</b>	Kadmium	1990	2015	6	0.009	**	0.3	0.1	0.2	-50
<b>Sydvästra Sverige</b>	Kadmium	1990	2015	6	0.009	**	0.3	0.1	0.2	-55
<b>HELA Sverige</b>	Koppar	1990	2015	6	0.260		5.6	3.8	4.2	-23
<b>Fjälltrakter</b>	Koppar	1990	2015	6	0.452		4.1	2.5	2.8	-23
<b>Norra Sveriges inland</b>	Koppar	1990	2015	6	0.260		4.5	2.7	3.4	-28
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Koppar	1990	2015	6	0.452		6.9	4.0	4.7	-29
<b>Mellansverige</b>	Koppar	1990	2015	6	0.260		5.8	3.6	4.2	-24
<b>Sydöstra Sverige</b>	Koppar	1990	2015	6	0.133		5.9	4.1	4.5	-30
<b>Sydvästra Sverige</b>	Koppar	1990	2015	6	0.707		6.6	5.1	5.2	-17

Grupp	Parameter	Start	Slut	n	p	Signif.	Max	Min	Median	Procentuell förändring
<b>HELA Sverige</b>	Krom	1990	2015	6	0.060		2.1	0.3	0.7	-60
<b>Fjälltrakter</b>	Krom	1990	2015	6	0.024	*	0.8	0.1	0.3	-88
<b>Norra Sveriges inland</b>	Krom	1990	2015	6	0.024	*	0.9	0.2	0.4	-81
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Krom	1990	2015	6	0.133		7.4	0.4	0.9	-52
<b>Mellansverige</b>	Krom	1990	2015	6	0.060		2.1	0.3	0.7	-80
<b>Sydöstra Sverige</b>	Krom	1990	2015	6	0.060		1.2	0.3	0.5	-81
<b>Sydvästra Sverige</b>	Krom	1990	2015	6	0.133		2.2	0.4	0.8	-77
<b>HELA Sverige</b>	Nickel	1990	2015	6	0.024	*	1.6	0.5	1.0	-71
<b>Fjälltrakter</b>	Nickel	1990	2015	6	0.024	*	1.2	0.4	0.7	-72
<b>Norra Sveriges inland</b>	Nickel	1990	2015	6	0.024	*	1.2	0.4	0.9	-63
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Nickel	1990	2015	6	0.009	**	2.0	0.6	1.2	-72
<b>Mellansverige</b>	Nickel	1990	2015	6	0.024	*	2.0	0.5	1.0	-71
<b>Sydöstra Sverige</b>	Nickel	1990	2015	6	0.024	*	1.5	0.5	1.0	-68
<b>Sydvästra Sverige</b>	Nickel	1990	2015	6	0.024	*	1.8	0.5	1.1	-69
<b>HELA Sverige</b>	Vanadin	1990	2015	6	0.024	*	2.5	0.5	1.2	-77
<b>Fjälltrakter</b>	Vanadin	1990	2015	6	0.060		1.3	0.2	0.4	-82
<b>Norra Sveriges inland</b>	Vanadin	1990	2015	6	0.024	*	1.7	0.3	0.7	-82
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Vanadin	1990	2015	6	0.009	**	2.4	0.4	1.3	-81
<b>Mellansverige</b>	Vanadin	1990	2015	6	0.009	**	2.6	0.5	1.2	-89
<b>Sydöstra Sverige</b>	Vanadin	1990	2015	6	0.009	**	2.6	0.5	1.3	-83
<b>Sydvästra Sverige</b>	Vanadin	1990	2015	6	0.024	*	4.4	0.7	1.8	-74
<b>HELA Sverige</b>	Zink	1990	2015	6	0.260		44	32	37	-21
<b>Fjälltrakter</b>	Zink	1990	2015	6	0.133		40	28	32	-24
<b>Norra Sveriges inland</b>	Zink	1990	2015	6	0.260		36	26	31	-26
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Zink	1990	2015	6	0.133		43	30	37	-22
<b>Mellansverige</b>	Zink	1990	2015	6	0.260		48	32	40	-24
<b>Sydöstra Sverige</b>	Zink	1990	2015	6	0.060		44	35	38	-22
<b>Sydvästra Sverige</b>	Zink	1990	2015	6	0.133		51	38	41	-20



Tabell III- 3. Trendanalys för perioden 2000-2015 med Mann-Kendall för samtliga metaller samt regioner. Startår, slutår, antal år (n), p-värde, signifikans, max-värde, min-värde, medianvärde samt total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje).

Grupp	Parameter	Start	Slut	n	p	Signif.	Max	Min	Median	Procentuell förändring
HELA Sverige	Arsenik	2000	2015	4	0.308		0.2	0.1	0.1	-75
Fjälltrakter	Arsenik	2000	2015	4	0.089		0.1	0.0	0.1	-72
Norra Sveriges inland	Arsenik	2000	2015	4	0.308		0.1	0.0	0.1	-67
Norra Sveriges kustland	Arsenik	2000	2015	4	0.308		0.2	0.1	0.1	-63
Mellansverige	Arsenik	2000	2015	4	0.308		0.2	0.1	0.1	-78
Sydöstra Sverige	Arsenik	2000	2015	4	0.308		0.2	0.1	0.1	-75
Sydvästra Sverige	Arsenik	2000	2015	4	0.308		0.2	0.1	0.1	-75
HELA Sverige	Bly	2000	2015	4	0.089		4.6	1.3	2.3	-72
Fjälltrakter	Bly	2000	2015	4	0.089		2.0	0.5	1.0	-78
Norra Sveriges inland	Bly	2000	2015	4	0.089		2.6	0.8	1.2	-63
Norra Sveriges kustland	Bly	2000	2015	4	0.089		4.4	2.0	2.7	-53
Mellansverige	Bly	2000	2015	4	0.089		5.4	1.3	2.4	-78
Sydöstra Sverige	Bly	2000	2015	4	0.089		5.2	1.3	2.8	-77
Sydvästra Sverige	Bly	2000	2015	4	0.089		6.7	1.8	3.0	-70
HELA Sverige	Järn	2000	2015	4	0.308		230	135	148	-40
Fjälltrakter	Järn	2000	2015	4	0.734		98	58	71	-32
Norra Sveriges inland	Järn	2000	2015	4	0.308		185	98	122	-51
Norra Sveriges kustland	Järn	2000	2015	4	0.089		173	103	116	-41
Mellansverige	Järn	2000	2015	4	0.734		271	128	140	-37
Sydöstra Sverige	Järn	2000	2015	4	0.734		248	134	150	-33
Sydvästra Sverige	Järn	2000	2015	4	0.089		286	189	242	-33
HELA Sverige	Kadmium	2000	2015	4	0.089		0.2	0.1	0.1	-32
Fjälltrakter	Kadmium	2000	2015	4	0.089		0.1	0.1	0.1	-26
Norra Sveriges inland	Kadmium	2000	2015	4	0.308		0.1	0.1	0.1	-31
Norra Sveriges kustland	Kadmium	2000	2015	4	0.089		0.2	0.1	0.2	-16
Mellansverige	Kadmium	2000	2015	4	0.089		0.2	0.1	0.1	-36
Sydöstra Sverige	Kadmium	2000	2015	4	0.089		0.2	0.1	0.2	-32
Sydvästra Sverige	Kadmium	2000	2015	4	0.089		0.2	0.1	0.2	-36
HELA Sverige	Koppar	2000	2015	4	1.000		4.4	3.8	4.0	3
Fjälltrakter	Koppar	2000	2015	4	0.734		2.9	2.5	2.7	1
Norra Sveriges inland	Koppar	2000	2015	4	0.734		3.4	2.7	3.0	8
Norra Sveriges kustland	Koppar	2000	2015	4	0.308		4.8	4.0	4.4	20
Mellansverige	Koppar	2000	2015	4	1.000		4.5	3.6	4.0	0
Sydöstra Sverige	Koppar	2000	2015	4	1.000		4.8	4.1	4.2	-5
Sydvästra Sverige	Koppar	2000	2015	4	1.000		5.8	5.1	5.2	-5

Grupp	Parameter	Start	Slut	n	p	Signif.	Max	Min	Median	Procentuell förändring
<b>HELA Sverige</b>	Krom	2000	2015	4	0.308		0.8	0.3	0.5	-56
<b>Fjälltrakter</b>	Krom	2000	2015	4	0.308		0.3	0.1	0.2	-59
<b>Norra Sveriges inland</b>	Krom	2000	2015	4	0.308		0.4	0.2	0.2	-61
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Krom	2000	2015	4	0.734		1.7	0.4	0.7	-39
<b>Mellansverige</b>	Krom	2000	2015	4	0.308		1.1	0.3	0.5	-71
<b>Sydöstra Sverige</b>	Krom	2000	2015	4	0.308		0.6	0.3	0.4	-67
<b>Sydvästra Sverige</b>	Krom	2000	2015	4	0.308		1.1	0.4	0.8	-59
<b>HELA Sverige</b>	Nickel	2000	2015	4	0.089		1.3	0.5	0.8	-61
<b>Fjälltrakter</b>	Nickel	2000	2015	4	0.089		0.9	0.4	0.6	-57
<b>Norra Sveriges inland</b>	Nickel	2000	2015	4	0.089		1.1	0.4	0.7	-64
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Nickel	2000	2015	4	0.089		1.4	0.6	1.0	-58
<b>Mellansverige</b>	Nickel	2000	2015	4	0.089		1.5	0.5	0.8	-65
<b>Sydöstra Sverige</b>	Nickel	2000	2015	4	0.089		1.3	0.5	0.8	-65
<b>Sydvästra Sverige</b>	Nickel	2000	2015	4	0.089		1.6	0.5	1.0	-67
<b>HELA Sverige</b>	Vanadin	2000	2015	4	0.089		1.3	0.5	0.9	-63
<b>Fjälltrakter</b>	Vanadin	2000	2015	4	0.308		0.5	0.2	0.3	-55
<b>Norra Sveriges inland</b>	Vanadin	2000	2015	4	0.089		0.8	0.3	0.5	-53
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Vanadin	2000	2015	4	0.089		1.3	0.4	1.1	-55
<b>Mellansverige</b>	Vanadin	2000	2015	4	0.089		1.4	0.5	0.8	-61
<b>Sydöstra Sverige</b>	Vanadin	2000	2015	4	0.089		1.6	0.5	1.0	-68
<b>Sydvästra Sverige</b>	Vanadin	2000	2015	4	0.089		2.0	0.7	1.4	-63
<b>HELA Sverige</b>	Zink	2000	2015	4	1.000		42	32	34	-6
<b>Fjälltrakter</b>	Zink	2000	2015	4	0.734		36	28	30	-16
<b>Norra Sveriges inland</b>	Zink	2000	2015	4	1.000		32	26	29	2
<b>Norra Sveriges kustland</b>	Zink	2000	2015	4	1.000		38	30	36	8
<b>Mellansverige</b>	Zink	2000	2015	4	1.000		46	32	37	-5
<b>Sydöstra Sverige</b>	Zink	2000	2015	4	0.308		42	35	36	-15
<b>Sydvästra Sverige</b>	Zink	2000	2015	4	0.308		51	38	39	-19

## Bilaga IV. Medelvärden av metallkoncentrationer i biotaprover

Tabell IV- 1. Medelvärden av metallkoncentrationer i biotaprover insamlade från 1990 till 2015. Samtliga koncentrationer anges i mg/kg färskvikt. Prover med analyserade koncentrationer under detektionsgräns har för beräkningen satts till halva detektionsgränsen.

Grupp	Organ	As	Pb	Fe	Cd	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Al	Co	Mn	Mo
<b>Däggdjur</b>	Hjärna			18		1.2				12		0.006	0.39	0.033
	Lever		0.099	124	0.47	37	0.017	0.019	2.4	33	1.12	0.10	4.1	0.97
	Muskel		0.020	30	0.018	3.2	0.038	0.024	0.0042	79	0.23	0.011	0.94	
	Njure		0.11	58	2.4	4.5	0.028	0.036	3.1	28	1.10	0.043	3.8	0.35
	Serum			4.0		1.3				1.1				
<b>Fågel</b>	Bröstmuskel		0.051	77	0.034	4.2				25		0.021	0.58	
	Fett		0.081	11	0.025	0.42				3.1		0.0062	0.13	
	Helblod		0.099	574										
	Hjärna		3.5	27	0.017	4.8				9.5		0.0093	0.31	
	Inälvsfett		0.077	2.3		0.43				1.7			0.17	
	Lever		2.6	826	1.5	132		0.047		52		0.090	4.5	0.55
	Muskel		0.030	95	0.023	8.5				20		0.011	0.39	
	Muskelmage			32		0.89				39			0.25	
	Njure		24	220	3.94	7.7		0.261		30		0.081	3.0	0.37
	Träck		162	193	0.12	2.8				12		0.29	17	
	Underhudsfett		0.051	4.2		0.53				1.6			0.070	
	Ägg		0.022	41	0.032	1.3				18		0.0097	0.95	
	<b>Insjöfisk</b>	Helkropp												
Lever		0.22	0.055	264	1.6	7.4	0.43	0.077		80		0.16	1.2	
Muskel		0.10	0.034	12	0.0026	0.17	0.074	0.079		5.9		0.0074		
Njure			0.16	130	0.22	1.1	0.031	0.31		121		0.15	0.60	

## Bilaga V. Emissioner av metaller i Sverige och i Europa

I Tabell V- 1 presenteras de totala emissionerna rapporterade till CLRTAP för Sverige och i Tabell V- 2 visas motsvarande uppgifter summerat för EU 15. Emissionerna av samtliga rapporterade metaller har i Sverige minskat avsevärt från 1990, som mest med 97 % för bly. Den metall som visar minsta minskningen i Sverige är zink som minskat med 20 %. Även för EU 15 är emissionsminskningen mellan 1990 och 2014 störst för bly, 95 %. Till skillnad från i Sverige finns en metall som faktiskt visar på en ökning under perioden, koppar. Den allra största andelen av rapporterade emissioner av koppar står Tyskland för, exempelvis ca 70 % för 2014.

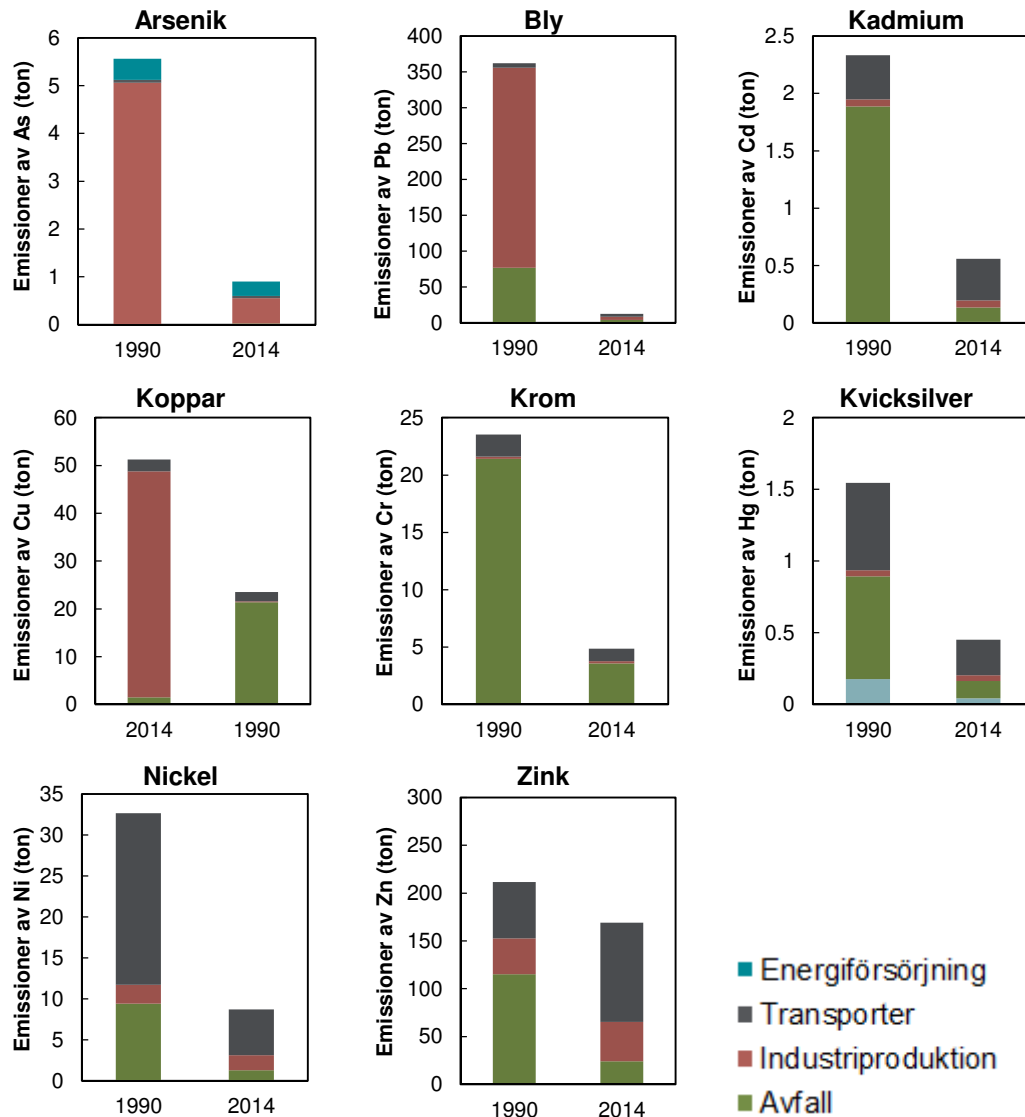
**Tabell V- 1. Rapporterade emissionsdata till CLRTAP (Konventionen om långväga gränsöverskridande luftföroreningar) för Sverige för åren 1990 till 2014, ton.**

År	Arsenik	Kadmium	Krom	Koppar	Kvicksilver	Nickel	Bly	Zink
1990	5.6	2.3	24	100	1.5	33	359	213
1991	4.1	1.8	20	97	1.2	31	315	188
1992	4.0	1.4	17	106	1.2	29	294	170
1993	2.7	1.1	17	94	1.0	30	144	174
1994	1.4	0.83	16	86	1.0	35	53	182
1995	1.5	0.8	13	86	0.97	33	38	172
1996	1.3	0.78	11	87	1.0	35	34	168
1997	1.3	0.77	9.3	88	0.88	29	34	155
1998	1.2	0.69	8.1	87	0.88	28	34	157
1999	0.88	0.61	6.9	82	0.89	22	31	142
2000	0.79	0.59	7.3	76	0.76	20	27	134
2001	1.0	0.67	7.9	71	0.61	21	24	150
2002	0.86	0.59	10	66	0.64	22	21	146
2003	0.93	0.59	7.9	61	0.73	24	20	151
2004	0.89	0.61	8.8	57	0.74	22	18	151
2005	0.91	0.61	11	53	0.69	20	15	157
2006	1.0	0.63	11	53	0.54	20	15	169
2007	1.2	0.64	14	57	0.57	16	15	170
2008	0.84	0.59	10	55	0.52	15	13	174
2009	0.88	0.61	3.9	53	0.57	16	13	170
2010	0.92	0.62	5.5	54	0.53	18	13	188
2011	0.9	0.59	6.8	55	0.52	14	12	173
2012	0.93	0.59	5.4	54	0.49	12	11	176
2013	0.88	0.56	5.3	54	0.5	11	11	173
2014	0.9	0.57	5	54	0.45	8.9	11	171
<b>Förändring 1990-2014 (%)</b>	-84%	-75%	-79%	-46%	-70%	-73%	-97%	-20%

Tabell V- 2. Rapporterade emissionsdata till CLRTAP (Konventionen om långväga gränsöverskridande luftföroreningar) för EU15 för åren 1990 till 2014, ton.

År	Arsenik	Kadmium	Krom	Koppar	Kvicksilver	Nickel	Bly	Zink
1990	255	125	930	2755	142	1587	18757	7673
1991	217	118	869	2822	137	1634	14144	7196
1992	192	111	777	2826	129	1604	11227	6810
1993	164	95	665	2775	106	1447	9894	6527
1994	144	92	604	2803	102	1456	8744	6497
1995	122	92	580	2826	100	1439	8028	6452
1996	128	88	539	2954	105	1440	7310	6230
1997	124	83	504	3001	82	1232	6107	6137
1998	125	79	470	2994	77	1227	5333	5965
1999	117	77	426	3038	74	1200	4498	5634
2000	127	74	414	3046	71	1105	2667	5601
2001	124	71	361	3052	67	1115	2105	5467
2002	117	69	339	3095	66	1082	1473	5343
2003	115	62	314	3081	61	1008	1374	5131
2004	111	59	315	3091	60	998	1352	5230
2005	109	57	310	3039	58	1000	1299	5074
2006	106	53	310	3085	56	915	1270	5200
2007	107	50	306	3105	54	821	1252	5181
2008	106	49	294	3081	51	792	1203	5108
2009	97	41	235	2993	44	690	995	4649
2010	99	43	255	3043	45	610	1080	4973
2011	99	40	245	3080	43	524	1041	4988
2012	99	38	239	3040	41	499	1028	4895
2013	96	38	228	3020	40	460	990	4839
2014	96	38	225	3083	39	423	1000	4873
<b>Förändring 1990-2014 (%)</b>	-62%	-70%	-76%	12%	-73%	-73%	-95%	-36%

De olika källornas andelar av de totala metallutsläppen i Europa har förändrats under de senaste decennierna (European Environment Agency, 2016) och detsamma kan ses gälla för Sverige (Figur 2a-h). Generellt har industrisektorns andel av den totala metallemissionen till luft minskat över tiden både i Europa och i Sverige.



Figur V- 1. Jämförelse mellan rapporterade svenska emissioner till luft 1990 vs. 2014 för sektorerna Energiförsörjning, Transporter, Industriprocesser och Avfall för arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink.

Sveriges officiella utsläppsstatistik som rapporteras till både UNFCCC (Klimatkonventionen) och CLRTAP (Luftvårdskonventionen) fördelas geografiskt över landet i ett rutnät med hjälp av relevant statistik och geografiska data (till exempel punktkällors koordinater, vägnät, betesmark, avverkad skog, befolkningsuppgifter). Dessa geografiskt fördelade emissionsdata är för Sverige bland annat viktigt för regional uppföljning av miljömålen. Statistiken finns på RUS (Regional Utveckling och Samverkan i miljömålssystemet) hemsida ([www.rus.lst.se](http://www.rus.lst.se)) och är tillgänglig på läns- och kommunnivå.

Tabell V- 3 visar summerade emissioner i Sverige för perioden 2012-2014 uppdelat per region. Viktigt att notera är att uppgifterna endast representerar rapporterade emissioner inom Sverige som fördelas geografiskt enligt olika modeller. Emissionsuppgifterna ger därför inte en fullständig bild av metallbelastningen inom de olika regionerna då inte intransporterade mängder av luftburna metaller från andra länder ingår.

**Tabell V- 3. Sammanlagda emissioner per region under perioden 2012-2014 (ton). Kommunvisa data från den nationella emissionsdatabasen (RUS). Då en kommun tillhör två regioner har data lagts i den region som har flest provplatser.**

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5	Region 6
<b>Arsenik</b>	0.0032	0.092	1.5	0.59	0.27	0.31
<b>Bly</b>	0.21	1.7	11	12	5.2	7.4
<b>Kadmium</b>	0.014	0.080	0.37	0.63	0.27	0.36
<b>Koppar</b>	1.5	7.0	15	60	25	53
<b>Krom</b>	0.030	0.57	1.6	5.3	0.88	7.4
<b>Kvicksilver</b>	0.0042	0.075	0.29	0.56	0.22	0.31
<b>Nickel</b>	0.050	3.0	4.7	13	5.4	6.0
<b>Zink</b>	4.0	22	85	205	87	117

## Bilaga VI. Beskrivning av trendanalys med Mann-Kendall -metodik

Mann-Kendall är en icke-parametrisk metod för att signifikant påvisa linjära monotona trender (Mann, 1945). Monoton betyder att trenden inte har något trendbrott. Linjär trend är en trend som ökar eller minskar lika mycket varje tidsenhet, t. ex. varje år. Icke-parametrisk betyder att metoden jämför relativa förhållanden och inte bryr sig om hur stora skillnader det är mellan mätvärdena. Förenklat kan man säga att metoden jämför alla värden parvis och summerar hur ofta det senare värdet är större respektive mindre än det tidigare värdet. Detta gör att eventuella "outliers" inte kommer att påverka resultatet. Metoden klarar även värden under rapporteringsgränsen. Saknade värden är inte heller något problem. Allt detta gör att man kallar metoden "robust". Icke-parametriska metoder kräver inte heller att data är normalfördelade. Mann-Kendall är i allmänhet mindre känslig än vanlig linjär regression, vilket innebär att det kan vara lite svårare att få statistisk signifikans för en trend. Mann-Kendall kan användas på så små dataset som fyra värden (Gilbert, 1987).

I samband med att man räknar Mann-Kendall-statistik brukar man räkna ut något som heter "Sens slope" (Sen, 1968). Sens slope är en uppskattning av trendlinjens lutning, och räknas ut genom att ta medianen av lutningarna mellan alla par av data i tidsserien. Beräkningen är nära släkt med Mann-Kendall, men utförs helt oberoende av Mann-Kendall. Sens slope ger ibland en underskattning av trendens lutning. Det är till och med fullt möjligt att få en signifikant trend och samtidigt "Sens slope" = 0. Detta kan inträffa då det finns många exakt likadana värden i tidsserien, t. ex. många värden under detektionsgränsen och beror på att Sens slope är en medianberäkning.

### Statistiskt verktyg

Beräkningarna av Mann-Kendall, Sens slope, har gjorts med DOS-programmet kendall.exe som utan kostnad tillhandahålls av U.S. Geological Survey<sup>1</sup>. Kendall.exe accepterar bara en lokal och en parameter i taget och blir därför tidsödande att använda för dataset med många lokaler och parametrar. För att komma runt detta har IVL utvecklat ett Excelbaserat program som kan kommunicera med Kendall.exe.

---

<sup>1</sup> <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5275/downloads>



## Referenser

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.

Gilbert, R.O. (1987). *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Rienhold Company, Inc., New York.

Sen, S.T.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63:1379-1389



[Infoga bild/logga]



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm  
Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)