



Nr C 231
Januari 2017

Samband mellan halter i mossa och deposition av metaller, kväve och svavel

På uppdrag av Naturvårdsverket

Gunilla Pihl Karlsson, Helena Danielsson, Per Erik Karlsson och Ingvar Wängberg

Författare: Gunilla Pihl Karlsson, Helena Danielsson, Per Erik Karlsson, Ingvar Wängberg, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Medel från: Naturvårdsverket

Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson & Helena Danielsson

Rapportnummer C 231

ISBN 978-91-88319-47-0

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2017**

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

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

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

Förord

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet AB genomfört en studie av möjligheten att hitta eventuella samband mellan halter i mossor och deposition av metaller, kväve och svavel. För kväve och svavel har även utretts om mossor skulle kunna fungera som indikator för atmosfäriskt nedfall av dessa ämnen i Sverige.

Data avseende metaller i mossor, från de nationella mossundersökningarna som startade i Sverige 1975 och som har genomförts vart 5:e år sedan dess, har använts, med en komplettering med några mossprover 2015 insamlade i närheten av mätstationen för tungmetaller i nederbörd. Halter av kväve och svavel i mossor, insamlad 2015, har analyserats i denna undersökning. Dessutom har depositionsdata från den nationella miljöövervakningen, som finansieras av Naturvårdsverket, samt data från Krondroppsnetet, finansierat av olika luftvårdsförbund, länsstyrelser och företag, använts.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Syfte	6
Bakgrund	6
Metodbeskrivning.....	7
Halt i mossa.....	7
Deposition.....	7
Använda provpunkter	8
Regressionsanalys.....	9
Resultat	9
Metaller	10
Litteraturstudie – metallhalt i mossa som ett mått på atmosfäriskt nedfall av metaller	10
Metallhalt i mossa och metalldeposition	10
Samband mellan halt och deposition.....	11
Svavel (S).....	16
Litteraturstudie – svavelhalt i mossa som ett mått på atmosfäriskt nedfall av svavel	16
Svavelhalt i mossa och svaveldeposition	17
Samband svavelhalt i mossa och svaveldeposition.....	17
Kväve (N).....	19
Litteraturstudie – kvävehalt i mossa som ett mått på atmosfäriskt nedfall av kväve	19
Kvävehalt i mossa och kvävedeposition.....	22
Samband kvävehalt i mossa och kvävedeposition	23
Diskussion och slutsatser	24
Referenser.....	24
Bilaga I.....	27

Sammanfattning

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet AB genomfört en studie om möjligheten att finna samband mellan halter i mossor och deposition av metaller, svavel och kväve.

I undersökningen har data från tidigare undersökningar av koncentrationer av metaller i mossor utnyttjats tillsammans med nygjorda analyser av svavel och kväveinnehåll på mossor insamlade under 2015. Dessutom har depositionsdata använts från den nationella miljöövervakningen som finansieras av Naturvårdsverket samt data från Krondroppsnätet finansierad av olika Luftvårdsförbund, Länsstyrelser och företag. Nedfallsmätningarna av metaller genomförs årligen på ett relativt begränsat antal platser över Sverige. Uppskattningen av metalldepositionen via mossprover ger en betydligt mer geografiskt detaljerad bild av depositionen av dessa metaller och möjliggör kartläggning av platser med lokal påverkan i en betydligt högre grad än vad enbart nedfallsmätningarna möjliggör.

Det finns statistiskt säkerställda samband mellan halter i mossor och det atmosfäriska nedfallet av motsvarande ämnen vid eller i närheten av platsen där mossan samlats in för vissa av metallerna samt för svavel och kväve.

För metallerna bly, arsenik, vanadin och koppar erhöles starka statistiskt signifikanta samband mellan halt i mossor och deposition. Dessa samband har använts vidare för att skapa detaljerade kartor över metalldepositionen över Sverige för perioden 2012-2014.

I några fall (krom och nickel) är sambanden mellan nedfall och halt i mossor asymptotiska, vilket visar att det finns ett mättnadsfenomen vad gäller halten i mossor vid höga värden på nedfall. Dessa samband har därför inte utnyttjats vidare i denna studie trots ett statistiskt säkerställt samband mellan halt i mossor samt deposition fanns även för dessa metaller.

Spridningen kring regressionslinjerna för andra metaller (zink och kadmium) samt för svavel är betydande och en förutsägelse av nedfallet utifrån halt i mossor i dessa fall bör användas med försiktighet samt åtföljas av ett osäkerhetsintervall.

Vad gäller relationerna mellan kvävenedfall och motsvarande halt i mossor fanns ett relativt linjärt samband i nedfallsintervallet 0 – 20 kg N/ha/år, vilket är det intervall som är aktuellt för Sverige. Sambandet är starkt och spridningen relativt låg, varför detta samband bör kunna användas vidare för depositionsuppskattningar.

Vad gäller möjliga artefakter, förefaller det inte som att mängden nederbörd spelar någon roll för sambanden mellan nedfall och halt i mossor. Detta är en fördel, eftersom nederbördsmängderna förväntas förändras över Sverige som ett resultat av klimatförändringarna. Hur en temperaturförändring kan påverka sambandet mellan nedfall och halt i mossor kan vi inte avgöra utifrån tillgängligt datamaterial.

Det är en intressant möjlighet att göra en rekonstruktion av det historiska kvävenedfallet över Sverige, baserat på herbarieexemplar av mossor, motsvarande vad som tidigare gjorts för Storbritannien.

Syfte

Syftet med denna studie var att undersöka eventuella samband mellan halter i mossa och deposition av metaller, kväve och svavel. För kväve och svavel utreds även om halter i mossa kan fungera som indikator för atmosfäriskt nedfall av kväve och svavel i Sverige.

Nedfallsmätningarna av metaller genomförs årligen på ett relativt begränsat antal platser över Sverige. Uppskattningen av metalldepositionen via mossprover ger en betydligt mer geografiskt detaljerad bild av depositionen av dessa metaller och möjliggör kartläggning av platser med lokal påverkan i en betydligt högre grad än vad enbart nedfallsmätningarna möjliggör.

Studien genomförs i tre delar:

1. Undersöka eventuellt samband mellan halt av metaller i mossa och metalldeposition.
2. Undersöka om mossa fungerar som indikator för nedfall av kväve och svavel i Sverige
3. Undersöka om det finns ett eventuellt samband mellan halter av kväve och svavel i mossa och kväve- och svaveldeposition.

Bakgrund

Redan under slutet av 1960-talet utvecklades i Sverige en ny och enkel metodik för 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.

Idén att storskaligt använda mossor som bioindikator för belastningen av metaller utvecklades i Sverige under 1970-talet (Rühling och Skärby, 1979). De nationella undersökningar som baseras på metoden har i Sverige utförts vart femte år sedan 1975, och sedan 1990 har motsvarande studier genomförts i många andra europeiska länder, inom Luftkonventionen (CLRTAP), också med fem års intervall. Sedan 2010 års mossundersökning har huvudansvaret för utförandet legat hos IVL Svenska Miljöinstitutet och senaste rapporten från 2015 års mossundersökning finns tillgänglig på IVL:s hemsida (Danielsson & Pihl Karlsson, 2016)

Även om tungmetallhalten i mossor inte är någon absolut kvantitativ bestämning av metalldepositionen finns tidigare studier som med hjälp av statistiska modeller försöker uppskatta storleken på deposition av tungmetaller, svavel och kväve från koncentrationer i mossprover. Halter av olika ämnen i mossa har använts länge för att kvalitativt indikera geografiska skillnader i atmosfäriskt nedfall (Berg m.fl., 1995). Mossdata används inom Luftkonventionen (ICP Vegetation) till att beskriva situationen i Europa vad gäller belastningen i miljön av tungmetaller.

Geografiskt detaljerade uppskattningar av metalldeposition saknas i dagsläget i Sverige. Om starka samband erhålls mellan metallhalt i mossa och storleken på metalldeposition, möjliggörs en detaljerad beskrivning av metalldepositionen över Sverige.

Om resultaten blir tillfredsställande kan metoden att skapa en detaljerad beskrivning av metall-, svavel och kvävedepositionen användas vid kommande mossundersökningar samt även appliceras på sparade prover från tidigare mossundersökningar. Det sistnämnda kan även möjliggöra en trendanalys av historiskt nedfall över Sverige.

Metodbeskrivning

Halt i mossa

I denna studie har mossprover som insamlats och använts inom den nationella undersökningen 2015 (Danielsson & Pihl Karlsson, 2016) använts för att söka eventuella samband mellan halt av svavel, kväve och metaller i mossa och deposition av motsvarande ämnen.

Antalet mossprover, från 2015, som analyserats med avseende på halt av svavel och kväve var 48 stycken. Av dessa har 41 använts i analysen av sambanden eftersom det för sju prover ej fanns depositions­mätningar för samtliga år 2012-2014.

Kväveanalyserna har gjorts med Kjeldahl-metodik. Kjeldahl-N inkluderar alla former av reducerat kväve (reducerat kväve består främst av ammoniumkväve och organiskt kväve). Då mossorna i huvudsak innehåller reducerat kväve kan dessa analysresultat jämföras med totaldepositionen och våtdepositionen av alla former av oorganiskt kväve.

För undersökandet av samband mellan halter av metaller i mossa och i deposition har, förutom 2015 års insamlade prover, även mossprover insamlade under mossundersökningarna 1990-2010 använts. Detta för att få tillräckligt många mossprover att jämföra med depositions­mätningarna. Mossprover som insamlats inom den nationella mossundersökningen, i ett öppet område i anslutning till skogsbestånd, inom 2 mils radie från mätlokaler, där deposition av metaller mätts, har identifierats och medelvärdesbildats per insamlingsår och mätstation.

Eftersom analysutbytet av arsenik var lågt vid 2010 års mossundersökning har dessa data inte använts i förliggande studie. Inte heller har samband mellan halt i mossa och deposition av kvicksilver undersökts då det kan finnas risk för att mossprover innan 2010 års undersökning torkats vid för hög temperatur vilket kan ha orsakat att kvicksilver avgått från mossproverna innan analys. För mer information se Danielsson och Pihl Karlsson, 2016.

Deposition

Deposition av olika ämnen sker med två olika processer; våtdeposition med ämnen löst i nederbörden och torrdeposition genom att ämnen i gas- och partikelform adsorberas till olika ytor. Våtdepositionen mäts vanligen i nederbörden till öppet fält, men denna typ av mätning inkluderar även en liten fraktion av torrdeposition till mätutrustningen ("bulkdeposition"). Torrdeposition mäts som skillnaden mellan nedfall som krondropp (nederbörd som passerat genom träd­kronorna) och våtdeposition, vilket fungerar tillfredsställande för svavel, men inte för kväve, eftersom en del kväve tas upp direkt i träd­kronorna. Därför måste kompletterande mätningar användas för att beräkna torrdepositionen av kväve. För tungmetaller mäts inte torrdeposition. För mätningarna på öppet fält har i rapporten generellt begreppet våtdeposition använts istället för bulkdeposition.

Våtdepositionen av metaller är beräknad med hjälp av halt i nederbörd från mätlokalerna och nederbördsmängd från SMHI:s Luftweb. För depositionen av metaller har medelårsdepositionen beräknats för de tre år som föregick mossprovtagningarna t.ex. har för mossprovtagningen 2000 medeldepositionen för olika metaller under perioden 1997-1999 beräknats.

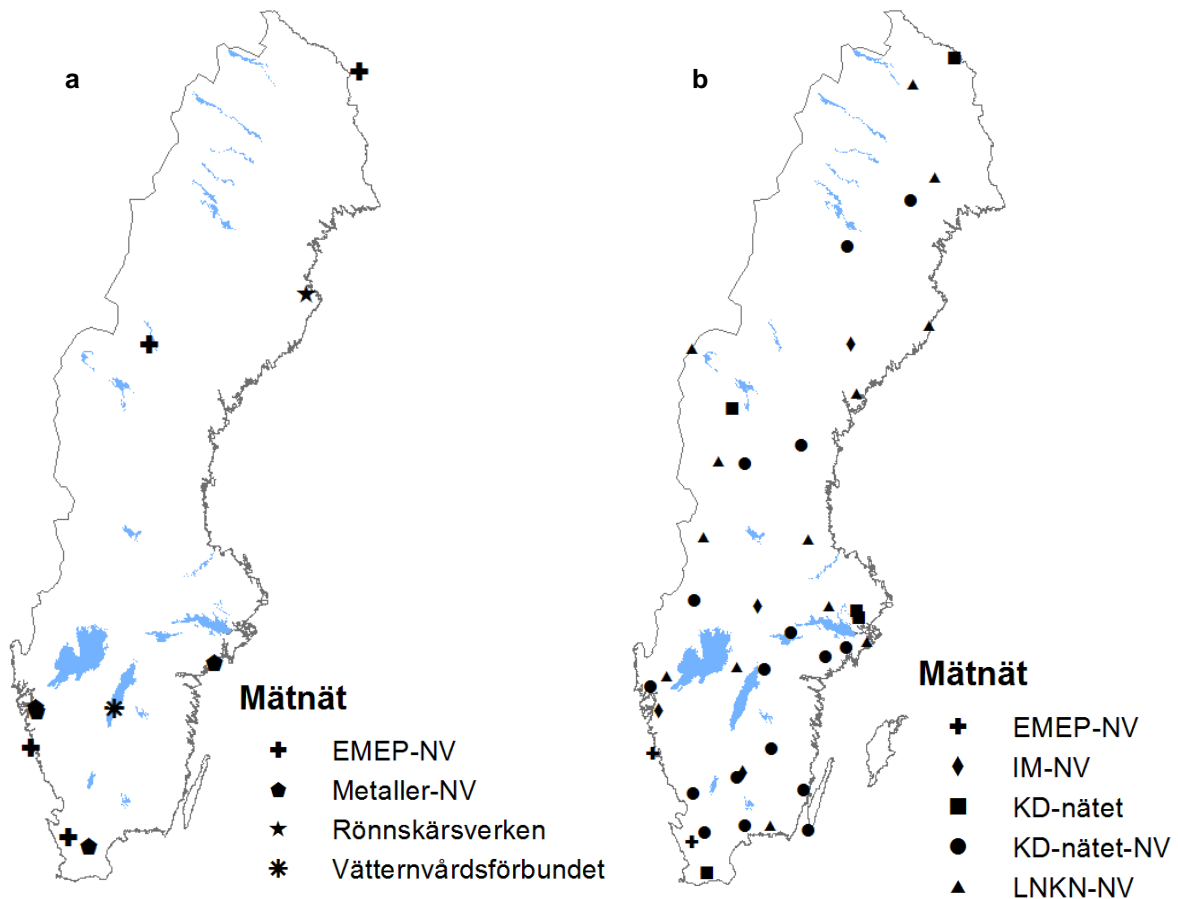
Våtdepositionen av svavel är beräknad från öppet fältnätningar inom Luft och nederbördskemiska nätet, EMEP, IM och Krondroppsnetet och totaldeposition av svavel är beräknad från krondroppsmätningarna inom Krondroppsnetet. I rapporten används våtdepositionen av svavel över öppet fält samt totaldepositionen av svavel via krondropp i jämförelserna med svavelhalt i mossa. Medeldepositionen för 2012 – 2014 har använts för svavelberäkningarna.

Våtdepositionen av kväve är beräknad från öppet fältnätningar inom Luft och nederbördskemiska nätet, EMEP, IM och Krondroppsnetet och totaldeposition av kväve är beräknad med en funktion från strängprovtagnings- och krondroppsmätningarna inom Krondroppsnetet med en metod som finns beskriven i Pihl Karlsson m.fl. 2016 (sid. 29). I rapporten används våtdepositionen av kväve över öppet fält samt totaldepositionen av kväve i jämförelserna med kvävehalt i mossa. Medeldepositionen för 2012 – 2014 har använts för kväveberäkningarna.

Använda provpunkter

De mätstationer för metalldeposition över öppet fält som använts för att undersöka sambandet mellan halt i mossa samt metalldeposition visas i Figur 1a och motsvarande stationer för depositions- och krondroppsmätningar av svavel och kväve över öppet fält visas i Figur 1b. För totaldepositionen av svavel har krondroppsmätningar använts, vilka är de stationer i Figur 1b som ingår i KD-nätet, KD-nätet-NV samt tre av de fyra stationer som ingår i IM-NV.

De kartor som presenteras i rapporten är gjorda med hjälp av dataprogrammet ArcMap 10.3.1. Interpolerade kartor är gjorda med IDW-teknik (IDW = Inverse Distance Weighted).



Figur 1. Kartan till vänster (a) visar mätstationer för metaller och kartan till höger (b) visar mätstationer för svavel och kväve i öppet fält som använts tillsammans med mossprover insamlade inom de nationella undersökningarna.

Regressionsanalys

För att undersöka om det finns samband mellan halt av svavel, kväve och metaller i mossa och motsvarande i deposition har regressionsanalys använts. Sambanden har testats med statistikprogrammet STATGRAPHICS Plus for Windows 3.1. För respektive ämne har den regressionslinje som ger den högsta förklaringsgraden använts. Vid förklaringsgrader mindre än $p=0,05$ anses en statistiskt signifikant korrelation finnas mellan halt i mossa och i deposition.

Resultat

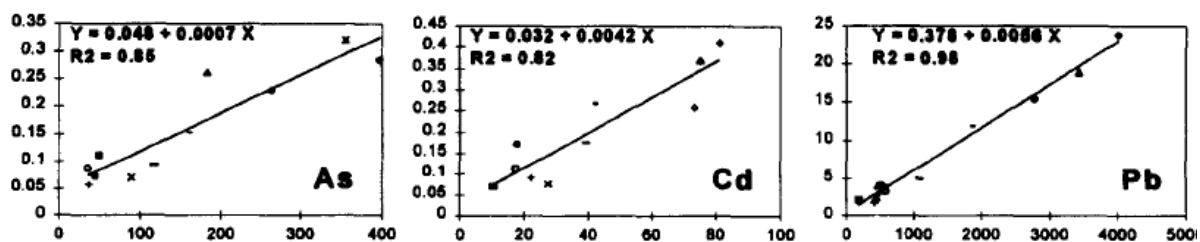
Resultatredovisningen har delats in i tre avsnitt där det första gäller olika metaller, det andra gäller svavel och det tredje kväve. I resultatredovisningen presenteras först en allmän kunskapssammanställning från olika tidigare studier i litteraturen om sambandet mellan halt i mossa samt nedfall via nederbörden. Därefter presenteras vilka halter i mossa och vilken deposition som använts i denna studie i tabell- och/eller kartform. Slutligen redovisas resultat av eventuellt funna samband mellan halt i mossa och deposition.

Metaller

Litteraturstudie – metallhalt i mossa som ett mått på atmosfäriskt nedfall av metaller

Halter av olika ämnen i mossa har använts under lång tid för att kvalitativt indikera geografiska skillnader i atmosfäriskt nedfall (Berg m.fl., 1995). Koncentrationerna av sju olika tungmetaller jämfördes mellan mossa och barr från gran och enbuske vid 22 olika platser i Litauen (Ceburnis & Steiness, 2000). Man fann en korrelation mellan halterna i mossa och barr för arsenik, vanadin och mangan, men inte för bly, kadmium, krom och zink. Halterna var dock avsevärt högre i mossa jämfört med i barr.

Berg and Steiness (1997) jämförde halter av tungmetaller i mossa med uppmätt våtdeposition (bulk) vid 13 platser i Norge. Mossproverna samlades in från öppna platser vid ett tillfälle, i juli 1995, inom 1 km radie från platserna för mätningarna av nederbörds kemi. Nederbörds kemi användes för perioden: juli 1993 - juli 1995. Man fann statistiskt säkerställda korrelationer för ett stort antal ämnen (Figur 2). Dock uteslöts i denna studie en del prover, bl.a. p.g.a. trolig torrdeposition samt påverkan från havssalt.



Figur 2. Ett exempel på korrelation mellan halter i husmossa (*Pleurozium schreberi*) (y-axeln, ug/g, en provtagning juli 1995) och uppmätt våt- (bulk) deposition (x-axeln, $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{år}$, medel 1993-1995) av arsenik, kadmium och bly. Från Berg and Steiness (1997).

Det fanns indikationer på att mossornas upptag av bly är mycket effektivt. I studien från Berg och Steinnes (1997) studerades även effektiviteten när det gäller mossornas upptag av olika metaller genom en jämförelse med upptagseffektiviteten för bly. Andra metaller som togs upp effektivt var kadmium och molybden, medan t ex arsenik och magnesium inte togs upp lika effektivt (i relation till våtdepositionen). Även Holy m.fl., (2009) fann en stark korrelation mellan halter i mossa och total deposition modellerad av EMEP för Cd and Pb.

Metallhalt i mossa och metalldeposition

Nedan, i Tabell 1, visas för vilka år och metaller som halten i mossa använts i denna studie. Detaljerade data över halt i mossa samt deposition för olika metaller visas i Bilaga I. Medelvärde av den årsvisa depositionen för de olika metallerna har använts för de tre föregående åren före mossprovtagningen. För t.ex. 2015 har medelvärde för den årliga metalldepositionen för åren 2012, 2013 och 2014 använts.

Tabell 1. Översikt över vilka år där halt i mossor samt metalldeposition använts i denna studie. Data över deposition och medelhalt i mossor visas i Bilaga I. Se karta Figur 1a

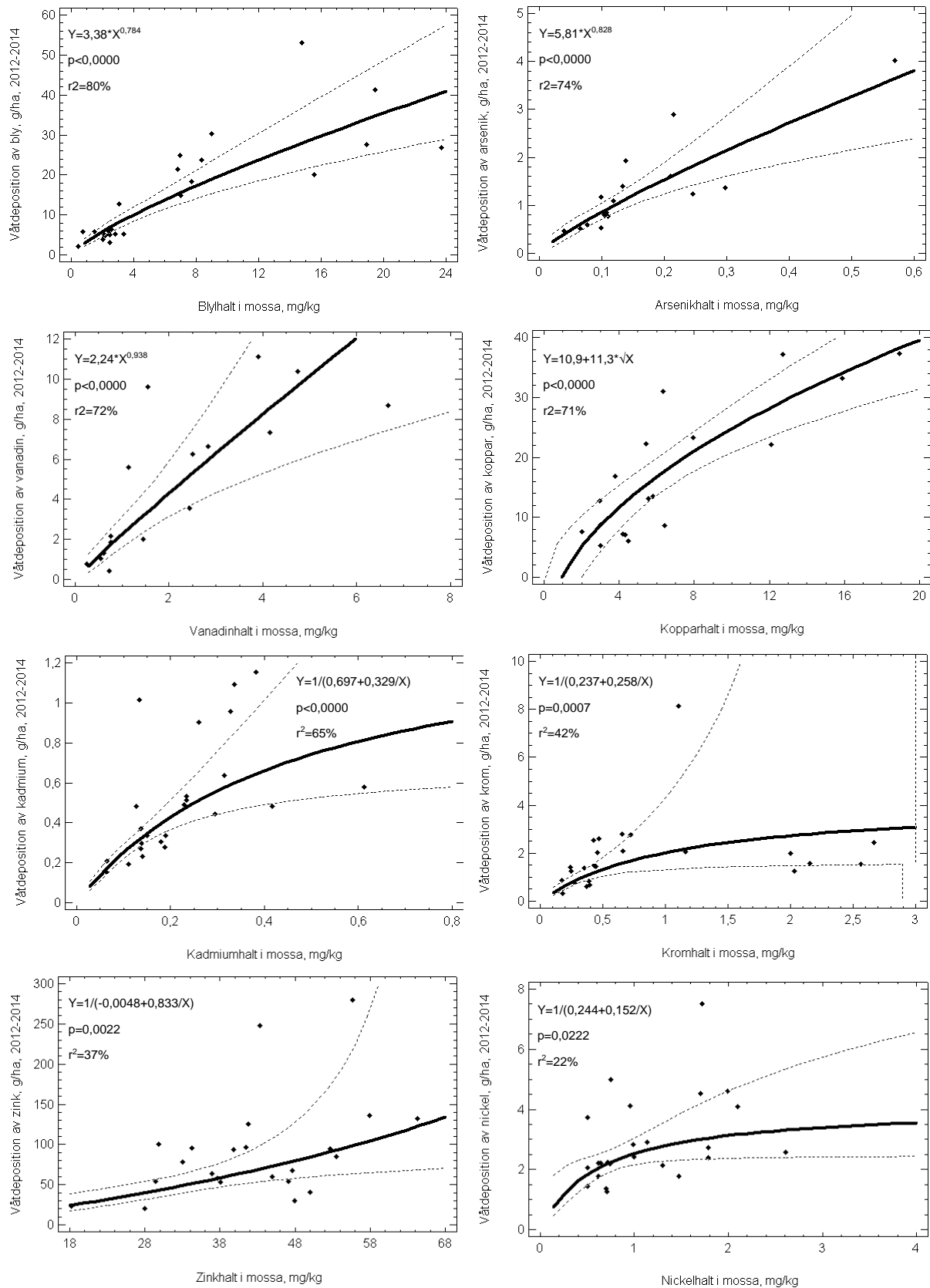
Lokal	År	Arsenik, (As)	Kadmium, (Cd)	Kobolt, (Co)	Krom, (Cr)	Koppar, (Cu)	Järn, (Fe)	Nickel, (Ni)	Bly, P(b)	Vanadin, (V)	Zink, (Zn)
Arup	1990		x		x	x	x	x	x	x	x
	2000	x	x		x			x	x	x	x
	2010		x	x	x	x		x	x	x	x
Aspvreten	1990		x		x	x	x	x	x	x	
	2000	x	x		x			x	x	x	x
Bredkålen	1995	x	x		x		x	x	x	x	x
	2000	x	x		x			x	x	x	x
	2015	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Gårdsjön	2000	x	x		x			x	x	x	x
	2010		x	x	x	x		x	x	x	x
Holmsvattnet	1995		x		x	x	x	x	x		x
	2005	x	x		x	x	x	x	x		x
	2010		x	x	x	x	x	x	x		x
	2015	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Pallas	2005	x	x		x	x	x	x	x	x	x
	2015	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Råö	2015	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Svartedalen	1990		x		x	x	x	x	x	x	x
	1995	x	x		x		x	x	x	x	x
Vavihill	2015	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Visingsö	2000	x	x		x	x	x	x	x		x
	2005	x	x		x	x	x	x	x		x
	2010		x	x	x	x	x	x	x		x
	2015	x	x	x	x	x	x	x	x		x

Samband mellan halt och deposition

För att utreda om nederbördsmängderna eller koncentrationerna av metallerna i nederbörden hade störst betydelse för funna samband mellan metallhalt i mossor och uppmätt deposition gjordes en statistisk analys med multipel regression för parametrarna metallhalt i mossor, nederbördsmängd och deposition. Resultaten visade att nederbördsmängderna inte hade någon stor betydelse för sambanden. Detta kan troligen förklaras med att ett medelvärde för tre år använts vilket minskade betydelsen av mellanårsvariationer. Då nederbördsmängden ensam inte hade någon statistiskt signifikant betydelse har samband mellan metallhalt i mossor och metalldeposition undersökts. Sambanden som använts är hämtade ur ekvationerna för regressionsanalyserna. Nedan visas vilka samband som erhållits för de olika metallerna.

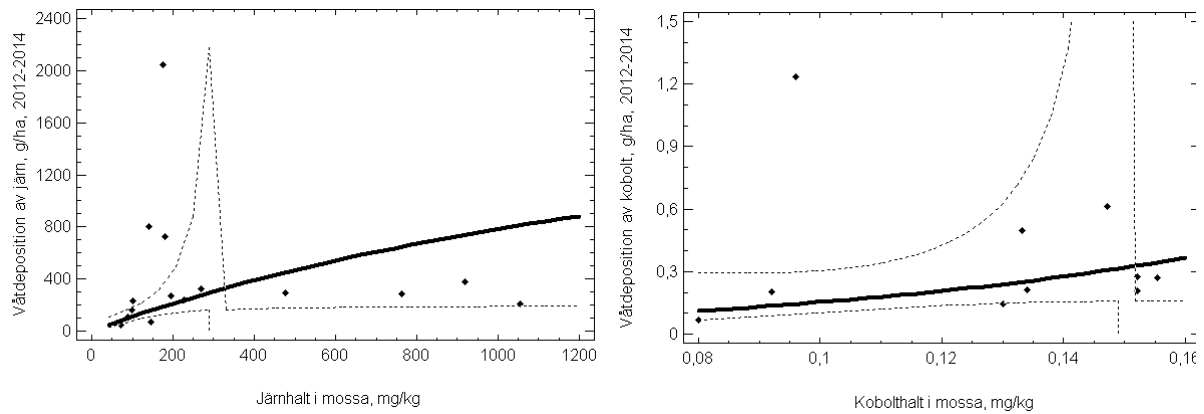
Ett statistiskt signifikant samband fanns mellan halt i mossor och metalldeposition för bly, arsenik, vanadin, koppar, kadmium, krom, zink och nickel, Figur 3. Dock var sambanden för metallerna olika starka. Starkast samband fanns för bly följt av arsenik, vanadin och koppar medan sambandet för kadmium, krom, zink och nickel var betydligt svagare.

Sambanden mellan våtdeposition och halt i mossor var för några metaller asymptotiskt, i synnerhet vad gäller krom och nickel. Det tyder på att halten av dessa ämnen i mossor kan variera betydligt vid ett visst (högt) värde på deposition. Detta skulle kunna innebära ett visst problem, eftersom målsättningen är att förutsäga depositionen utifrån halten i mossor. Det kan vara svårt att fånga in enstaka år med hög deposition. Därför har vi i denna studie inte använt detta samband för dessa ämnen vidare trots att sambandet är statistiskt signifikant säkerställt. Även för kadmium och zink, som har en stor spridning runt regressionslinjen, har vi valt att inte gå vidare med de statistiskt signifikant säkerställda sambanden.



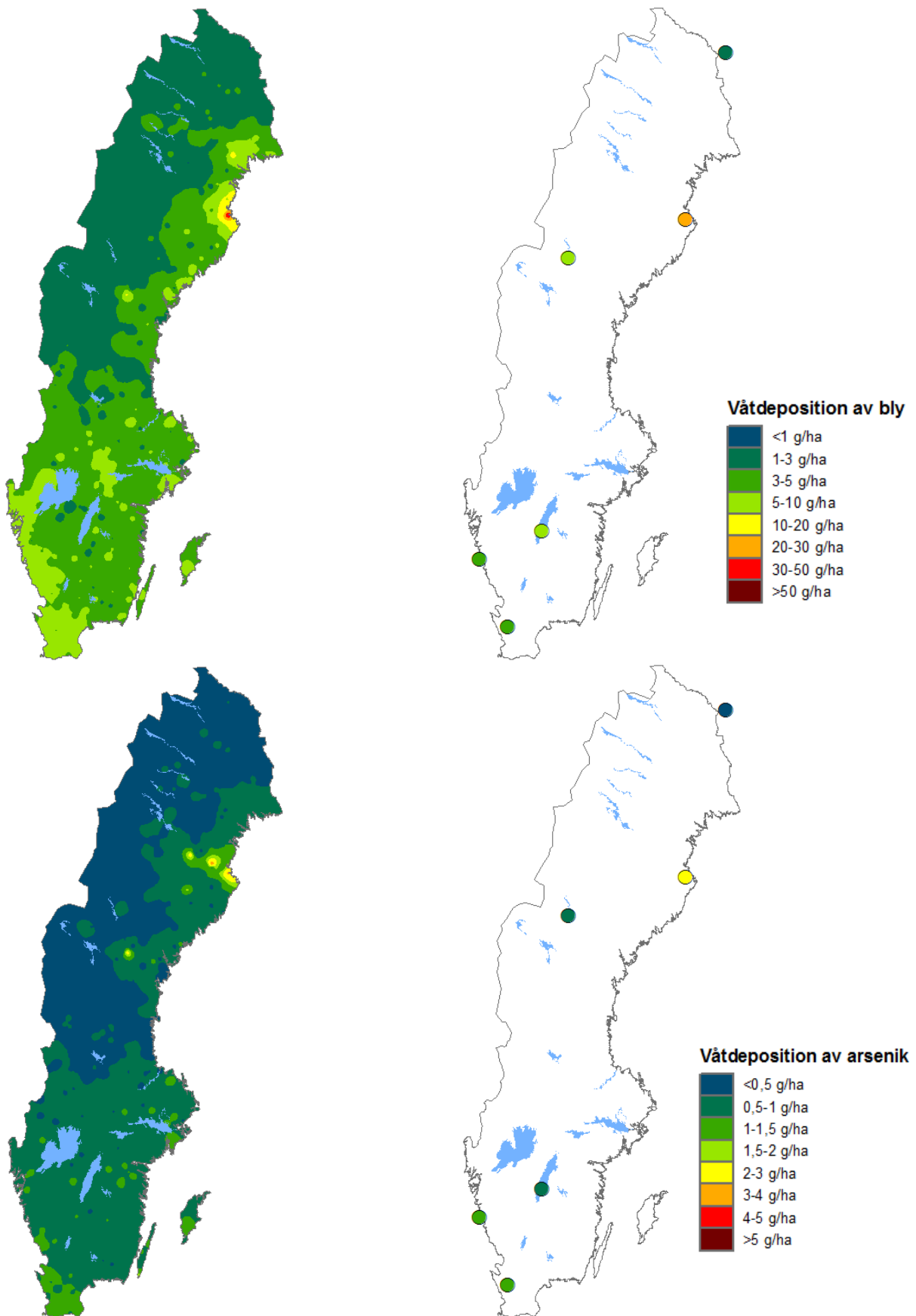
Figur 3. Samband mellan halt i mossa (mg/kg torrsvikt) och våtdeposition (g/ha) av bly, arsenik, vanadin, koppar, kadmium, krom, zink och nickel. Funktioner, p-värde och r^2 från Statgraphics presenteras i figurerna för de olika metallerna. För metalldepositionen av de olika metallerna har medel av den årsvisa depositionen för de tre år som föregick mossaavtagningarna använts i analyserna. Streckade linjer visar 95% konfidensintervall.

För järn och kobolt erhölls inget statistiskt signifikant samband, Figur 4.

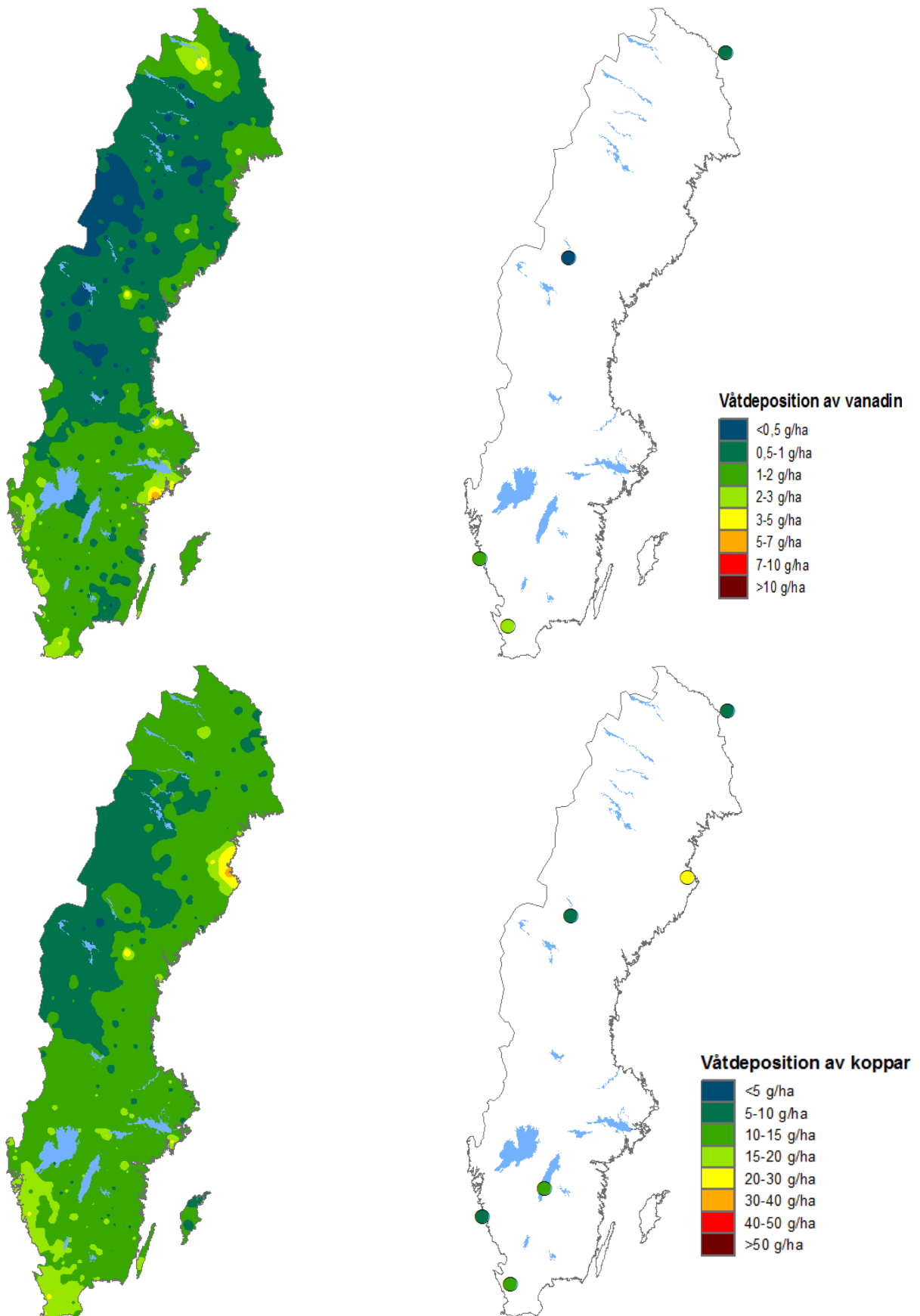


Figur 4. Samband mellan halt i mossa och våtdeposition av järn och kobolt. Inget statistiskt signifikant samband erhöles med Statgraphics varför inga funktioner finns med. För metalldepositionen av de olika metallerna har medel av den årsvisa depositionen för de tre år som föregick mossaövtagningarna använts i analyserna. Streckade linjer visar 95% konfidensintervall.

Då det statistiska sambandet mellan halt i mossa och deposition var starkt och spridningen relativt liten för bly, arsenik, vanadin och koppar har vi använt dessa samband för att producera depositionskartor för dessa metaller. Kartorna baserades på samtliga mossaövtagningar från undersökningen 2015, Figur 5 och Figur 6, och ger en mer detaljerad bild över medelmetalldepositionen i Sverige för dessa metaller för perioden 2012-2014. Nedfallsmätningarna av metaller genomförs årligen på ett relativt begränsat antal platser över Sverige. Uppskattningen av metalldepositionen via mossaövtagningar ger en betydligt mer geografiskt detaljerad bild av metalldepositionen för dessa metaller och möjliggör kartläggning av platser med lokal påverkan i en betydligt högre grad än vad enbart nedfallsmätningarna möjliggör.



Figur 5. Karta över våtdepositionen som ett medelvärde för perioden 2012-2014 för bly utifrån mossprover (ovan t.v.) och nederbördsmätningar (ovan t.h.) samt motsvarande kartor för arsenik (nedan t.v.) respektive nedan t.h.



Figur 6. Karta över våtdepositionen som ett medelvärde för perioden 2012-2014 för vanadin utifrån mossprover (ovan t.v.) och nederbördsräkningar (ovan t.h.) samt motsvarande kartor för koppar (nedan t.v.) respektive nedan t.h.

Svavel (S)

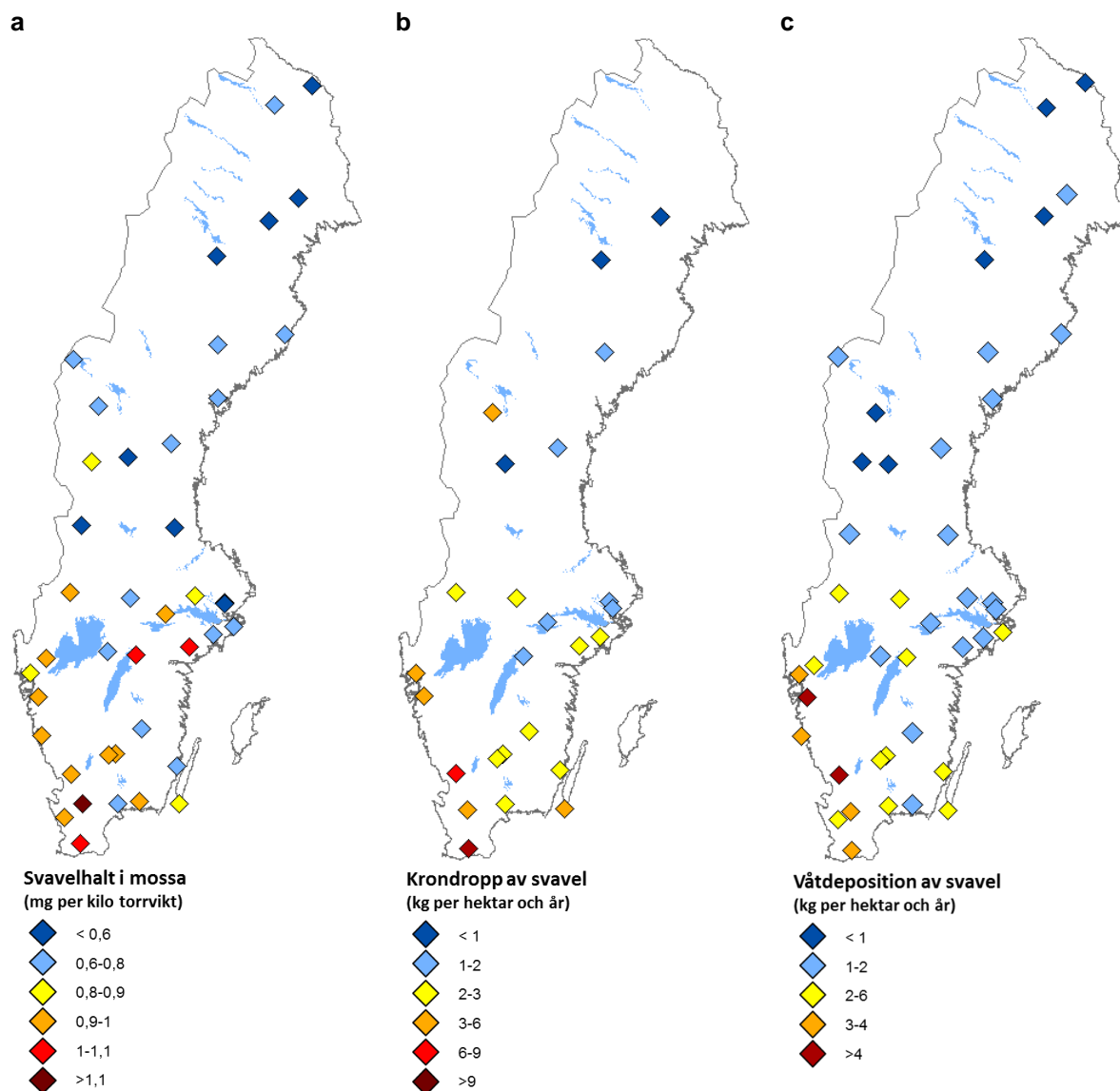
Litteraturstudie – svavelhalt i mossa som ett mått på atmosfäriskt nedfall av svavel

Korrelationen mellan halter av svavel i mossa och svavelnedfall har undersökts i ett antal studier. I många studier har man haft avsevärda problem med att använda svavelhalter i mossor för att kvantitativt beräkna svaveldeposition, vilket har testats framförallt i Kina (Liu m. fl., 2009; Xiao m. fl., 2010). Utifrån isotopanalyser har beräkningar visat att i urbana områden står antropogent svavel för ca 50 % av det totala svavlet i mossorna och i rurala områden är det endast 35 % av det totala svavlet i mossorna som har antropogent ursprung (Liu m. fl., 2011). En studie i Slovenien visade inte på något samband mellan svavelnedfall och svavelhalter i bergklomossa (*Hypnum cupressiforme*) (Skudnik m. fl., 2014).

Det har även konstaterats att svavel har en negativ inverkan på mossornas tillväxt. En granskog i södra Finland behandlades under fyra år med ammoniumsulfat (25 kg N/ha/år och 30 kg S/ha/år). Efter exponeringen hade förekomsten av väggmossa, minskat med 60 % medan förekomsten av vågig kvastmossa (*Dicranum polysetum*) hade minskat med 78 % (Mäkipää 1995).

Svavelhalt i mossa och svaveldeposition

Figur 7 visar svavelhalten i mossprover från 2015, totaldepositionen av svavel som kronddropp och våtdepositionen av svavel som ett medelvärde för perioden 2012-2014.



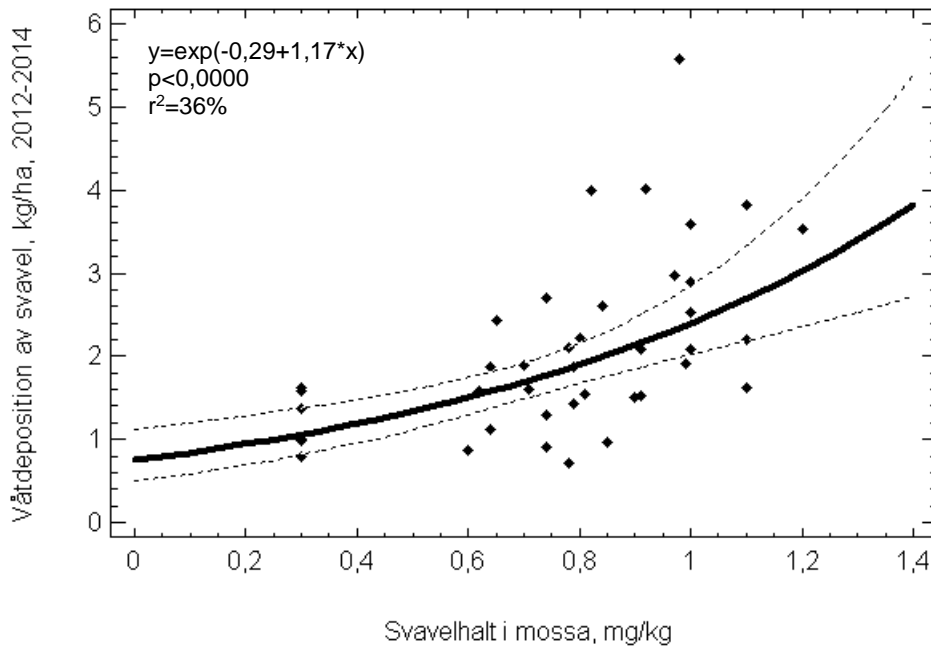
Figur 7. Svavelhalt i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt) (a). Totaldepositionen av svavel som kronddropp som ett medelvärde för perioden 2012-2014 (kg/ha) (b). Våtdepositionen av svavel (bulk) som ett medelvärde för perioden 2012-2014 (kg/ha) (c). Observera att skalorna skiljer sig åt mellan a, b och c.

Samband svavelhalt i mossa och svaveldeposition

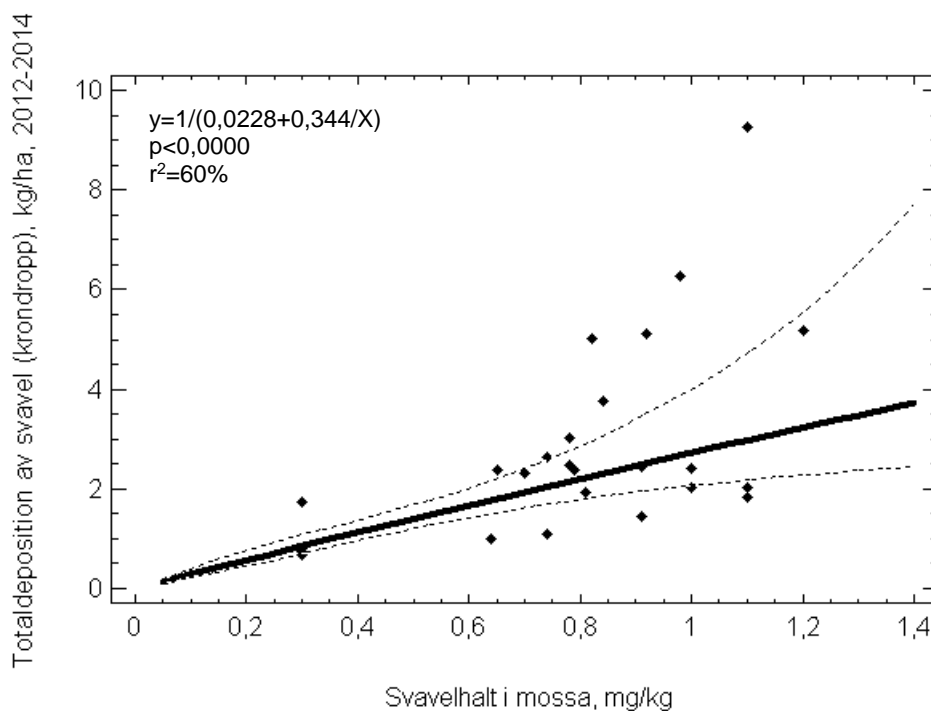
I Figur 8 visas det statistiskt signifikanta samband som erhållits för korrelationen mellan våtdeposition av svavel och svavelhalt i mossprover insamlade 2015. Sambanden som använts är hämtade ur ekvationerna för regressionsanalyserna.

Ett starkare samband erhöles om man istället jämförde svavelhalten i mossa med totaldepositionen av svavel (via kronddropp), Figur 9. Detta resultat erhöles trots att antalet mätpunkter var lägre, eftersom kronddropp inte mäts inom LNKN och EMEP, vid jämförelsen mellan totaldeposition av svavel och halt i mossa.

Det statistiskt signifikanta sambandet mellan svavelhalt i mossa och svaveldepositionen var dock generellt relativt svagt och spridningen mycket stor. Att sambandet mellan svavelhalt i mossa och svaveldeposition var svagt med en stor spridning gör att mossa inte fungerar tillfredsställande som en indikator för nedfall av svavel i Sverige.



Figur 8. Svavelhalt i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt) jämfört med våtdepositionen av svavel (bulk) som ett medelvärde för perioden 2012-2014. Streckade linjer visar 95% konfidensintervall.



Figur 9. Svavelhalt i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt) jämfört med totaldepositionen av svavel via krondropp som ett medelvärde för perioden 2012-2014. Streckade linjer visar 95% konfidensintervall.

Kväve (N)

Litteraturstudie – kvävehalt i mossa som ett mått på atmosfäriskt nedfall av kväve

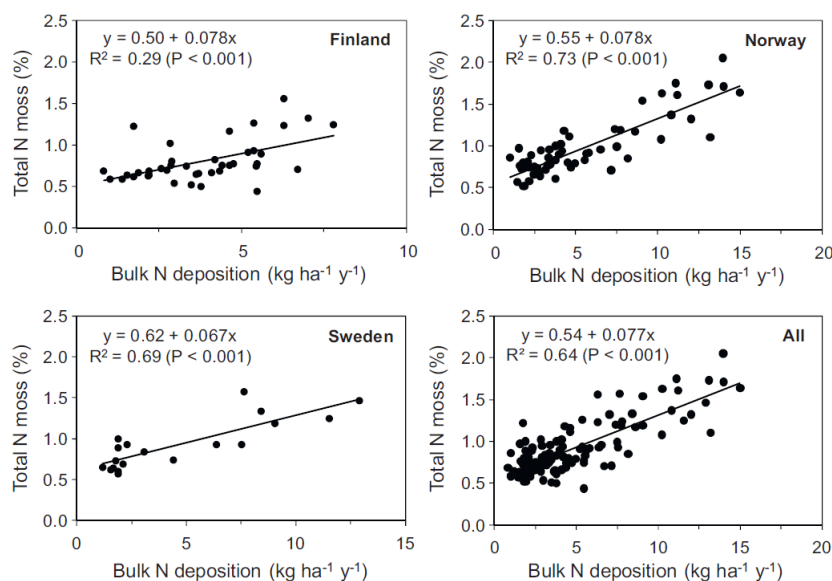
Kvävehalter i mossa i bakgrundsmiljö

Sambandet mellan kvävehalt i mossa och kvävenedfall har studerats i ett antal studier. Kubin (1983) mätte halter av olika ämnen i mossa i en obrukad granskog i norra Finland. För husmossa varierade kvävehalten mellan 0.8 % och 1.3 % beroende på ålder och ekosystem. För väggmossa var kvävehalten runt 0.8 – 0.9 %.

Harmens m.fl. (2011) undersökte sambanden mellan halter av kväve i mossa insamlade 2005/2006 i ett antal olika europeiska länder och det EMEP-modellerade atmosfäriska nedfallet av kväve (2003-2005) i 50*50 km stora rutor där respektive insamlingsplats för mossa var belägen. Man fann ett asymptotiskt förhållande mellan kvävehalten i mossa och kvävenedfallet. Korrelationen mellan kvävehalt i mossa och kvävenedfall var statistiskt säkerställd men spridningen var stor och man fann att kvävemättnaden i mossan startade vid en kvävedeposition på cirka 15 kg kväve per hektar och år. Detta bekräftades i Harmens m.fl. (2014) där man istället för modellerat kvävenedfall använde bulkdepositionen av ammonium och nitrat jämfört med kvävehalten i mossan insamlad i 7 länder (Frankrike, Österrike, Schweiz, Tyskland (Niedersachsen), Spanien, Slovenien och Finland) och fann, även i denna studie, att kvävemättnad i mossan startade runt en kvävedeposition på 15 kg kväve per hektar och år.

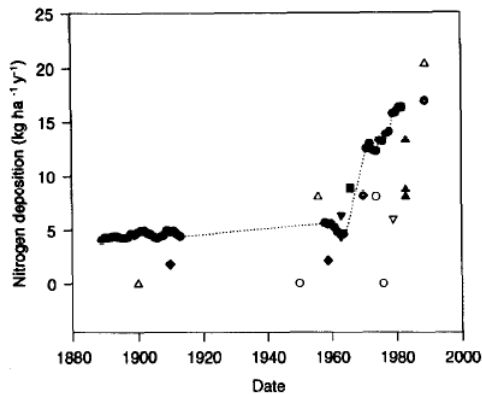
I Harmens m.fl. (2011) visades även en analys av sambanden mellan uppmätt våtdeposition av kväve och kvävehalter i mossprover från Sverige, Norge och Finland (Harmens m.fl., 2011, Figur 10). Då kvävenedfallet är lägre i de nordiska länderna, jämfört med stora delar av kontinentala Europa, kan det förväntas ett starkare samband mellan kvävehalt i mossa och kvävenedfall. Så visade sig även vara fallet, och man fann relativt starka, statistiskt säkerställda, samband mellan kvävehalt i mossa och uppmätt bulkdeposition av kväve vid närliggande platser.

H. Harmens et al. / Environmental Pollution 159 (2011) 2852–2860



Figur 10. Samband mellan kvävehalter i mossa och den uppmätta våtdepositionen (bulk) i närheten av där mossan samlats in. Data från Sverige, Norge och Finland. För Norge användes totalt 60 mossprover insamlade under 1977, 1990 och 2000 från 20 mätplatser. För Finland användes totalt 40 mossprover insamlade under 1990 och 2000 från 20 mätplatser. För Sverige användes totalt 20 mossprover insamlade 2000 från 20 mätplatser. Från Harmens m.fl., 2011).

Pitcairn m.fl. (1995) undersökte brittiska herbariesamlingar av mossa och fann ett samband mellan kvävehalt i mossa och beräknat kvävenedfall. Utifrån halter av kväve i herbarieexemplar av mossa rekonstruerade Pitcairn m.fl. (1995) en tidsserie för ett generellt kvävenedfall för Storbritannien sedan 1880, Figur 11.



Figur 11. Beräknat kvävenedfall till olika platser i Storbritannien beräknat utifrån halter av kväve i herbarieexemplar av mossa. Pitcairn m.fl. (1995).

Pitcairn m.fl. (2006) undersökte relationen mellan kvävehalter i mossa och kvävedeposition för olika typer av kvävenedfall, antingen i närheten av starka punktkällor eller i bakgrundsområden med relativt lågt kvävenedfall. Några slutsatser som kan dras utifrån deras studie var;

- att kvävehalter i mossor fungerar mycket bra för att kvantifiera kvävenedfall i närheten av starka punktkällor, där torrdeposition av ammoniak dominerar;
- att kvävehalter i mossor även fungerar bra i områden där våtdeposition av kväve dominerar, men sambanden är svagare;
- att för områden med mycket våtdeposition av kväve är halten kväve i nederbörden viktigare än depositionen,
- att i bakgrundsområden med mycket nederbörd spelar episoder med höga koncentrationer av kväve i nederbörden störst roll för kväveinnehållet i mossa.

Solga m. fl., 2005 mätte kvävehalter i vägg- och pösmossa vid olika platser i Nordrhein-Westfalen i västra Tyskland. Mossorna insamlades i närheten av mätplatser för kvävedeposition och fann statistiskt säkerställda samband mellan kvävehalt i mossa och kvävenedfall (bulkdeposition) för båda arterna av mossa.

Eneroth, 2016 genomförde en studie i Stockholms län 2015 där inget statistiskt signifikant samband erhöles mellan modellerad kvävedepositionen och en, utifrån uppgifter i litteraturen och kvävehalt i mossa, beräknad kvävedeposition. I studien redovisades inget regressions samband för halt i mossa och deposition varför en jämförelse med denna studie ej kan göras.

Kvävefixering i mossa

Uppskattningar av kvävenedfall utifrån halter av kväve i mossa kompliceras av att cyanobakterier i nära samspel med mossa kan fixera kvävgas. Kvävefixeringen i mossa minskade kraftigt när man experimentellt exponerade väggmossa för förhöjd kvävetillgång i boreala skogar. I en tallskog vid Svartberget NV om Umeå, räckte det med ett årligt kvävetillskott på 6 kg N/ha/år för att minska kvävefixeringen hos väggmossa (Gundale m.fl., 2011).

Halterna av kväve i mossa blir dock högre efter experimentell kväveexponering. Forsum m.fl. (2006) fann att ammoniumgödsling av fem olika mossarter i boreala skogar ökade kvävehalten i mossan medan gödsling med nitrat endast ökade biomassaproduktionen.

Rousk m fl. (2013) undersökte hur N-fixering i mossa påverkades av näringsförhållandena i marken i norra Sverige. Man drog slutsatsen att husmossa tog upp en viss andel kväve från marken, men att kväve från deposition samt N-fixering var tillräckligt för att förse mossan med kväve.

I norra Sverige, med ett kvävenedfall runt 2 kg N/ha/år, beräknades den samlade biologiska kvävefixeringen för husmossa och väggmossa till 1-2 kg N/ha/år (Gundale m.fl., 2011), med högre fixering för husmossa, och med högre värden för ostörda, jämfört med störda, ekosystem (Lagerström m. fl., 2007). I boreala skogar i Kanada beräknade att det sker en kvävefixering för väggmossa på 0.2 kg N/ha/år (Markham 2009).

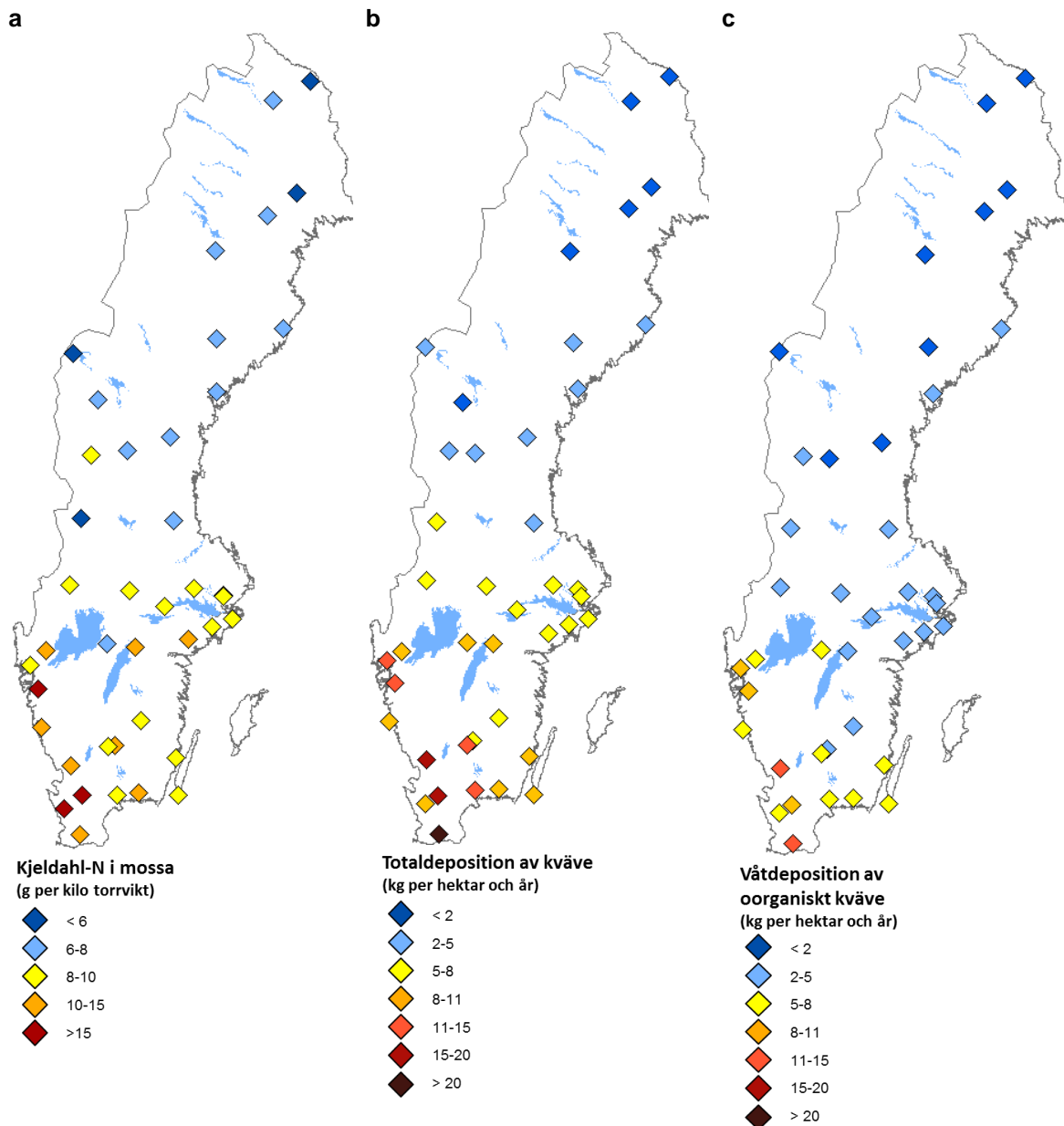
I Tabell 2 nedan sammanfattas beräknade riktningskoefficienter, vad gäller relationen mellan kvävehalter i mossa och kvävedeposition, för ett antal publicerade studier. Studierna har utförts i huvudsak i bakgrundsmiljö och riktningskoefficienten är beräknad vid kvävedeposition i intervallet 0-15 kg N/ha/år. Ur tabellen syns att resultaten från innevarande studie ligger i linje med övriga studier från litteraturen.

Tabell 2. Beräknade riktningskoefficienter vad gäller relationen mellan kvävehalter i mossa och kvävedeposition, för ett antal publicerade studier samt innevarande studie. Enheter: % N torrsvikt och kg N per hektar och år.

Mossart	Riktningskoefficient	% N vid 0 N _{dep}	Plats	Referens
<i>P. schreberi</i>	0.014	0.6	Svartberget, SE	Gundale m. fl., 2011
<i>P. Schreberi</i>	0.070	0.6	västra Tyskland	Solga m. fl., 2005
<i>P. Schreberi</i>	0.067	0.6	SE	Harmens m. fl., 2011, SE
<i>P. Schreberi</i>	0.078	0.5	FI	Harmens m. fl., 2011, FI
<i>H. splendens</i>	0.078	0.5	NO	Harmens m. fl., 2011, NO
huvudsak <i>P. schreberi</i>	0.05	0.7	Europa	Harmens m. fl., 2011, European
huvudsak <i>P. schreberi</i>	0.100	0.3	Europa	Harmens et al, 2014
Ett antal arter	0.220	0.6	Storbritannien	Pitcairn m.fl., (1995).
huvudsak <i>P. schreberi</i>	0.05	0.6	Sverige	Denna studie, samband mellan kvävehalt i mossa samt totaldeposition av kväve
huvudsak <i>P. schreberi</i>	0.07	0.6	Sverige	Denna studie, samband mellan kvävehalt i mossa samt våtdeposition av kväve

Kvävehalt i mossor och kvävedeposition

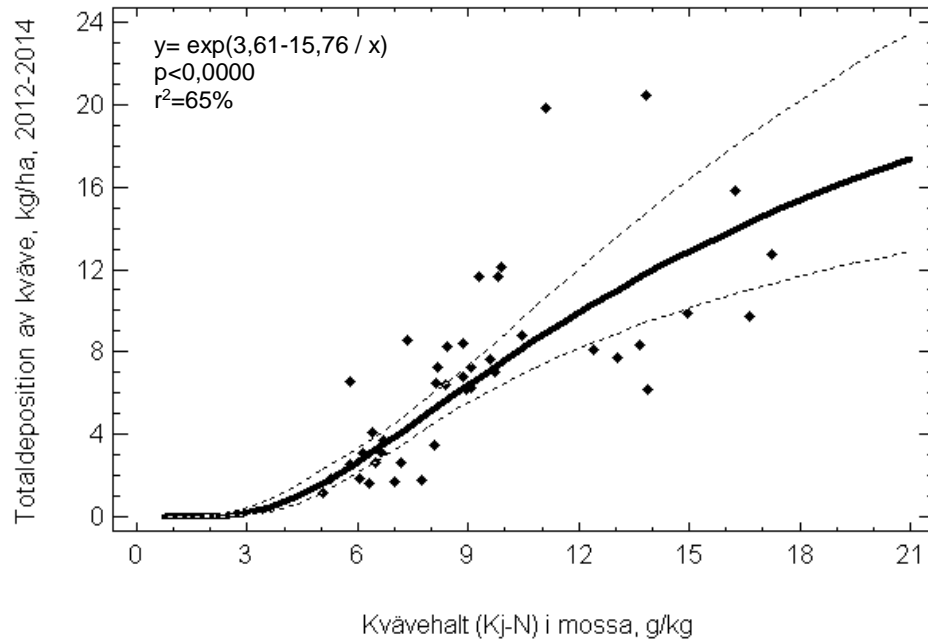
Figur 12 visar kvävehalten i mossprover från 2015, totaldepositionen av oorganiskt kväve (våt+torrdeposition) och våtdepositionen av kväve som ett medelvärde för perioden 2012-2014. Kvävehalten i mossorna är Kjeldahl-N, som inkluderar alla former av reducerat kväve t ex $\text{NH}_4\text{-N}$ och organiskt kväve. Mossorna innehåller i huvudsak endast reducerat kväve (reducerat kväve består av ammoniumkväve och organiskt kväve) och därför kan man jämföra med totaldepositionen samt våtdepositionen.



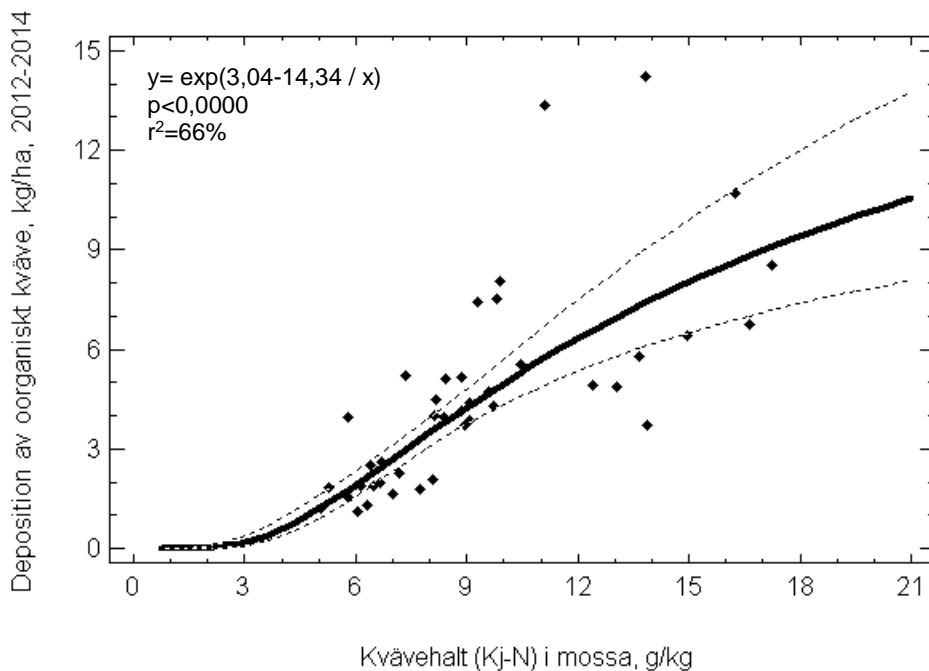
Figur 12. Kvävehalt (Kjeldahl-N) i mossprover från 2015 (mg/kg torrsvikt) (a). Totaldepositionen av kväve, kg/ha och år, som ett medelvärde för perioden 2012-2014. Totaldeposition av kväve är beräknad med en funktion från strängprovtagnings- och krondroppsmätningarna inom Krondroppsnätet med en metod som finns beskriven i Pihl Karlsson m.fl. 2016 (sid. 29) (b). Våtdepositionen (bulk) av oorganiskt kväve, kg/ha och år, som ett medelvärde för perioden 2012-2014 (c).

Samband kvävehalt i mossa och kvävedeposition

Figur 13 visar sambandet mellan totalkväve och kvävehalt i mossa medan Figur 14 visar motsvarande samband för våtdepositionen (bulk) av kväve och kvävehalt i mossa. Sambanden som använts är hämtade ur ekvationerna för regressionsanalyserna. Sambandet mellan kvävehalt i mossa och kvävedeposition är tillräckligt starkt och robust för att mossa skall fungera tillfredsställande som en indikator för nedfall av kväve i Sverige.



Figur 13. Kvävehalt (Kj-N) i mossa i g/kg torrsvikt och totaldepositionen av kväve i kg/ha som ett medelvärde för perioden 2012-2014. Totaldepositionen är beräknad med hjälp av krondropp och strängprovtagare med en metod som finns beskriven på sid 29 i Pihl Karlsson m.fl. 2016. Streckade linjer visar 95% konfidensintervall.



Figur 14. Kvävehalt (Kj-N) i mossa i g/kg torrsvikt och våtdepositionen (bulk) av kväve i kg/ha som ett medelvärde för perioden 2012-2014. Streckade linjer visar 95% konfidensintervall.

Vi visar ingen interpolerad karta av kvävenedfallet beräknat ifrån halt i mossor, motsvarande de för metaller, eftersom att antalet mossprover som analyserats med avseende på kvävehalter inte alls motsvarar det stora antalet mossprover som analyserats för metaller.

Diskussion och slutsatser

Det finns statistiskt säkerställda samband mellan halter i mossor för vissa av metallerna samt för svavel och kväve och det atmosfäriska nedfallet av motsvarande ämnen vid eller i närheten av platsen där mossan samlats in. För metallerna bly, arsenik, vanadin och koppar erhöles starka statistiskt signifikanta samband mellan halter i mossor och deposition. Dessa samband har använts vidare för att skapa detaljerade kartor över metalldepositionen över Sverige för perioden 2012-2014. För att uppskatta sambanden har för svavel och kväve 49 provpunkter använts medan antalet provpunkter för olika metaller har varierat mellan 15-24 provpunkter beroende på metall.

I några fall (krom och nickel) var sambanden mellan nedfall (y-axeln) och halt i mossor (x-axeln) asymptotiskt, vilket visar att det finns ett mättnadsfenomen vad gäller halten i mossor vid höga värden på nedfall. Dessa samband har därför inte utnyttjats vidare i denna studie trots att ett statistiskt säkerställt samband mellan halt i mossor samt deposition fanns även för dessa metaller.

Spridningen kring regressionslinjerna för andra metaller (zink och kadmium) samt för svavel var betydande och en förutsägelse av nedfallet utifrån halt i mossor i dessa fall bör användas med stor försiktighet samt i de fall de används åtföljas av ett osäkerhetsintervall.

Vad gäller relationerna mellan kvävenedfall och motsvarande halt i mossor fanns ett relativt linjärt samband i nedfallsintervallet 0 – 20 kg N/ha/år, vilket är det intervall som är aktuellt för Sverige. Sambandet är starkt och spridningen relativt låg varför detta samband bör kunna användas vidare för depositionsuppskattningar.

Vad gäller möjliga artefakter, förefaller det inte som att mängden nederbörd spelar någon roll för sambanden mellan nedfall och halt i mossor. Detta är en fördel eftersom nederbördsmängderna förväntas förändras över Sverige som ett resultat av klimatförändringarna. Hur en temperaturförändring kan påverka sambandet mellan nedfall och halt i mossor kan vi inte avgöra utifrån tillgängligt datamaterial. En ytterligare möjlighet är att förändrad markanvändning, t ex en förtätning av skogsbestånden, påverkar sambandet, men mossorna är insamlade i ett öppet område i anslutning till skogsbestånden.

Det är en intressant möjlighet att, med hjälp av samma metod som använts i denna studie, göra en rekonstruktion av det historiska kvävenedfallet över Sverige, baserat på herbarieexemplar av mossor, motsvarande vad som gjorts för Storbritannien, (Pitcairn m. fl., 1995)

Referenser

Berg, T., Röyset, O., Steinnes, E. & Vadset, M. 1995. Atmospheric trace element deposition: principal component analysis of ICP-MS data from moss samples. *Environmental Pollution* 88, 67-77.

- Berg, T. & Steinnes, E. 1997. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute values. *Environmental Pollution* 98, 61-71.
- Ceburnis, D. & Steinnes, E. 2000. Conifer needles as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: comparison with mosses and precipitation, role of the canopy. *Atmospheric Environment* 34, 4265-4271.
- Danielsson H. & Pihl Karlsson, G. 2016. Metaller i mossor. IVL Rapport C 204.
- Enerroth, K. 2016. Kvävedeposition i Stockholms län år 2015. Jämförelse mellan modellerat kvävenedfall och mätningar av kväve i mossor. Östra Sveriges Luftvårdsförbund. LVF 2016:40.
- Forsum, Å., Dahlman, L., Näsholm, T. & Nordin, A. 2006. Nitrogen utilization by *Hylocomium splendens* in a boreal forest fertilization experiment. *Functional Ecology* 2006 20, 421-426.
- Gundale, M., Deluca, T. & Nordin, A. 2011. Bryophytes attenuate anthropogenic nitrogen inputs in boreal forests. *Global Change Biology* 17, 2743-2753.
- Harmens, H., Norris, D.A., Cooper, D.M., Mills, G., Steinnes, E., Kubin, E., Thöni, L., Aboal, J.R., Alber, R., Carballeira, A., Cos, M., De Temmerman, L., Frolova, M., González-Miqueo, L., Jeran, Z., Leblond, S., Liiv, S., Mankovská, B., Pesch, R., Poikolainen, J., Rühling, Å. & Santamaria, J.M., Simonè, P., Schröder, W., Suchara, I., Yurukova, L. & Zechmeister, H.G. 2011. Nitrogen concentrations in mosses indicate the spatial distribution of atmospheric nitrogen deposition in Europe. *Environmental Pollution* 159, 2852-2860.
- Harmens, H., Schnyder, E., Thöni, L., Cooper, D.M., Mills, G., Leblond, S., Mohr, K., Poikolainen, J. & Santamaria, J.M., Skudnik, M., Zechmeister, H.G., Lindroos, A.-J. & Hanus-İllnar, A. 2014. Relationship between site-specific nitrogen concentrations in mosses and measured wet bulk atmospheric nitrogen deposition across Europe. *Environmental Pollution* 194, 50-59.
- Holy, M., Pesch, R., Schröder, W., Harmens, H., Ilyin, I., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Coşkun, M., Dam, M., De Temmerman, L., Fedorets, N., Figueira, R., Frolova, M., Frontasyeva, M., Goltsova, N., Gonzalez Miqueo, L., Grodzińska, K., Jeran, Z., Korzekwa, S., Krmar, M., Kubin, E., Kvietskus, K., Larsen, M., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, S., Maňková, B., Mocanu, R., Piispanen, J., Rühling, Å., Santamaria, J., Steinnes, E., Suchara, I., Thöni, L., Turcsányi, G., Urumov, V., Wolterbeek, B., Yurukova, L. & Zechmeister, H.G. 2009. First thorough identification of factors associated with Cd, Hg and Pb concentrations in mosses sampled in the European Surveys 1990, 1995, 2000 and 2005. *J Atmos Chem* 63:109-124.
- Kubin, E. 1983. Nutrients in the soil, ground vegetation and tree layer in an old spruce forest in northern Finland. *Ann. Bot. Fennici*. 20: 361-390.
- Lagerström, A., Nilsson, M.-C., Zackrisson, O. & Wardle, D.A. 2007. Ecosystem input of nitrogen through biological fixation in feather mosses during ecosystem retrogression. *Functional Ecology* 21, 1027-1033
- Liu, X.-Y., Xiao, H.-Y., Liu, C.-Q., Xiao, H.-W. & Wang, Y.-L. 2009. Assessment of atmospheric sulfur with the epilithic moss *Haplocladium microphyllum*: Evidences from tissue sulfur and d34S analysis. *Environmental Pollution* 157: 2066-2071.

- Liu, X.-Y., Xiao, H.-Y. & Liu, C.-Q. 2011. Physiological and isotopic signals in epilithic mosses for indicating anthropogenic sulfur on the urban–rural scale. *Ecological Indicators* 11: 1245–1250
- Markham, J. 2009. Variation in moss-associated nitrogen fixation in boreal forest stands. *Oecologia* 161:353–359.
- Mäkipää, R. 1995. Sensitivity of forest-floor mosses in boreal forests to nitrogen and sulphur deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 1239-1244.
- Pihl Karlsson G., Cecilia Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. 2016. Tillståndet i skogsmiljön i norra Sverige. Resultat från Krondroppsnätet t.o.m. september 2015. IVL Rapport C 166.
- Pitcairn, C.E.R., Fowler, D. & Grace, J. 1995. Deposition of fixed nitrogen and foliar nitrogen content of bryophytes and *Calluna vulgaris* (L.) hull. *Environmental Pollution* 88: 193-205.
- Pitcairn, C., Fowler, D., Leith, I., Sheppard, L., Tang, S., Sutton, M. & Famulari, D. 2006. Diagnostic indicators of elevated nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 144, 941-950.
- Rousk, K., Rousk, J., Jones, D.L., Zackrisson, O. & DeLuca, T.H. 2013. Feather moss nitrogen acquisition across natural fertility gradients in boreal forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 61, 86–95.
- 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.
- Solga, A., Burkhardt, J., Zechmeister, H.G. & Frahm, J.-P. 2005. Nitrogen content, ¹⁵N natural abundance and biomass of the two pleurocarpous mosses *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. in relation to atmospheric nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 134: 465–473.
- Skudnik, M., Jeran, Z., Bati, F., Simon, P., Lojen, S., Kastelec, D. 2014. Influence of canopy drip on the indicative N, S and d¹⁵N content in moss *Hypnum cupressiforme*. *Environmental Pollution* 190: 27-35.
- Skudnik, M., Jeran, Z., Batic, F., Simoncic, P. & Kastelec, D. 2015. Potential environmental factors that influence the nitrogen concentration and d¹⁵N values in the moss *Hypnum cupressiforme* collected inside and outside canopy drip lines. *Environmental Pollution* 198, 78-85.
- Tyler, G. (1971). Moss analysis-a method for surveying heavy metal deposition. In International Clean Air Congress. Proceedings.
- Xiao, H.-Y., C.-G. Tang, H.-W. Xiao, X.-Y. Liu, and C.-Q. Liu, 2010. Mosses Indicating Atmospheric Nitrogen Deposition and Sources in the Yangtze River Drainage Basin, China, *J. Geophys. Res.*, 115, D14301, doi:10.1029/2009JD012900.

Bilaga I

Tabell BI:1. Medelmetalldeposition (g/ha) för de tre åren som föregick mossprovtagningen.

Lokal	År	As, våtde p.	Cd, våtde p.	Cr, våtde p.	Cu, våtde p.	Fe, våtde p.	Ni, våtde p.	Pb, våtde p.	V, våtde p.	Zn, våtdep.	Co, våtdep.
Arup	1990		1,16	1,6	23	381	4,1	27	10	94	
Arup	2000	1,6	0,63	2,1			2,6	21	6,3	136	
Arup	2010		0,30	2,0	6,0		2,2	5,2	5,6	54	0,21
Aspvreten	1990		0,90	1,2	22	282	2,7	20	7,3		
Aspvreten	2000	1,2	0,51	2,1			1,8	14,8	3,6	100	
Bredkålen	1995	0,51	0,23	1,5		70	1,4	5,3	2,0	30	
Bredkålen	2000	0,59	0,27	1,4			1,3	5,0	1,0	95	
Bredkålen	2015	0,76	0,19	1,4	7,6		2,2	5,8	0,43	59	0,15
Gårdsjön	2000	1,4	0,49	2,0			2,4	18,4	6,6	125	
Gårdsjön	2010		0,34	2,8	13		2,8	6,4	9,6	53	0,21
Holmsvattnet	1995		0,48	2,4	37	210	4,6	53		132	
Holmsvattnet	2005	4,0	0,58	8,1	37	322	7,5	41		279	
Holmsvattnet	2010		0,96	1,3	33	234	5,0	30		247	0,50
Holmsvattnet	2015	2,9	0,44	0,78	22	163	2,2	25		85	0,27
Pallas	2005	0,53	0,21	0,87	8,8	109	2,1	4,9	1,3	23	
Pallas	2015	0,47	0,15	0,32	5,3	48	2,1	2,1	0,78	20	0,069
Råö	2015	1,2	0,34	0,62	8,6		1,4	3,9	1,8	40	0,20
Svartedalen	1990		1,09	1,6	31	292	4,5	28	11	94	
Svartedalen	1995	1,9	0,53	2,8		240	2,9	24	8,7	58	
Vavihill	2015	1,4	1,0	0,66	13		1,8	4,9	2,1	64	0,61
Visingsö	2000	1,1	0,37	2,6	17	722	4,1	13		78	
Visingsö	2005	0,85	0,28	1,5	7,0	805	2,4	6,0		54	
Visingsö	2010		0,48	0,85	7,2	273	2,2	3,0		67	0,27
Visingsö	2015	0,80	0,30	2,5	13	2048	3,7	5,9		97	1,23

Tabell BI:2. Metallhalt i mossor (mg/kg torrsvikt) för olika mätår.

Lokal	År	As, mossa	Cd, mossa	Cr, mossa	Cu, mossa	Fe, mossa	Ni, mossa	Pb, mossa	V, mossa	Zn, mossa	Co, mossa
Arup	1990		0,38	2,6	8,0	919	2,1	24	4,7	53	
Arup	2000	0,21	0,31	1,2			2,6	6,8	2,5	58	
Arup	2010		0,14	0,46	4,5		0,74	3,4	1,1	29	0,13
Aspvreten	1990		0,26	2,0	5,4	763	1,8	16	4,2		
Aspvreten	2000	0,25	0,23	0,66			1,5	7,0	2,4	30	
Bredkålen	1995	0,066	0,14	0,45		146	0,70	2,8	1,4	48	
Bredkålen	2000	0,076	0,14	0,24			0,71	2,5	0,54	34	
Bredkålen	2015	0,11	0,11	0,35	2,0		0,64	0,75	0,73	45	0,13
Gårdsjön	2000	0,30	0,23	2,0			1,8	7,7	2,8	42	
Gårdsjön	2010		0,19	0,65	5,6		1,0	2,6	1,5	38	0,15
Holmsvattnet	1995		0,42	2,7	13	1055	2,0	15		64	
Holmsvattnet	2005	0,57	0,61	1,1	19	268	1,7	19		56	
Holmsvattnet	2010		0,33	0,25	16	100	0,75	9,0		43	0,13
Holmsvattnet	2015	0,21	0,29	0,27	12	99	0,62	7,0		54	0,15
Pallas	2005	0,10	0,06	0,17	3,0	89	1,3	2,1	0,61	18	
Pallas	2015	0,040	0,06	0,18	3,0	71	0,50	0,43	0,25	28	0,080
Råö	2015	0,10	0,15	0,37	6,4		0,50	2,0	0,75	50	0,092
Svartedalen	1990		0,34	2,2	6,3	477	1,7	19	3,9	40	
Svartedalen	1995	0,14	0,23	0,72		227	1,1	8,4	6,7	38	
Vavihill	2015	0,13	0,13	0,40	5,8		0,62	2,2	0,75	37	0,15
Visingsö	2000	0,12	0,14	0,47	3,8	180	1,0	3,0		33	
Visingsö	2005	0,11	0,19	0,44	4,3	140	1,0	2,4		47	
Visingsö	2010		0,13	0,39	4,2	196	0,71	2,5		48	0,16
Visingsö	2015	0,10	0,18	0,43	3,0	175	0,51	1,5		42	0,10

