

Totaldeposition av kväve till skog



Per Erik Karlsson
Sofie Hellsten

Martin Ferm
Cecilia Akselsson

Hans Hultberg
Gunilla Pihl Karlsson

B1952

Rapporten godkänd
2011-09-20



John Munthe
Forskningschef

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 21060 100 31 Stockholm	Projekttitel Totaldeposition av kväve till skog.
Telefonnr 08-598 563 00	Anslagsgivare för projektet Naturvårdsverket Avtal nr 501 0912
Rapportförfattare Per Erik Karlsson, Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson	
Rapporttitel och undertitel Totaldeposition av kväve till skog	
Sammanfattning <p>Nedfallet av kväve från luften mäts dels i nederbörden på öppet fält och dels som krondropp inne i skogen. Krondroppet skall i teorin ge en bättre uppskattning av det samlade kvävenedfallet till skogen, eftersom krondroppet i princip inkluderar både våt- och torrdeposition. För ämnen som t. ex. kväve och baskatjoner (kalium, magnesium och calcium) kompliceras uppskattningen av en intern-cirkulation inom träd-kronorna, vilket inkluderar både upptag och läckage. I dagsläget finns därför ingen bra metod för att beräkna den samlade depositionen av kväve till skogen i Sverige utifrån empiriska mätningar.</p> <p>Torrdepositionen av olika ämnen kan uppskattas genom användandet av surrogatytor, t ex strängprovtagare av teflon, placerade under tak. Natrium används som en biologiskt inert markör för depositionen till skogen. Torrdepositionen av ett specifikt ämne beräknas som kvoten av koncentrationen av ämnet i provet från strängprovtagaren, dividerat med koncentrationen av natrium i strängprovet och multiplicerat med nettokrondroppet för natrium till skogen vid provplatsen. Nettokrondroppet beräknas som nedfallet i krondropp subtraherat med nedfallet på öppet fält.</p> <p>Med hjälp av strängprovtagare samt nedfallsmätningar på öppet fält och i krondropp beräknades den partikelbundna torrdepositionen av sulfat, nitrat och ammonium för 12 platser i landet för perioder om 4-7 år. Parallellt beräknades våtdepositionen av dessa ämnen med hjälp av öppet fält mätningar.</p> <p>Det samlade nedfallet av oorganiskt kväve beräknades till mellan 10 och 16 kg N/ha/år för de västra delarna av Götaland, 5-7 kg N/ha/år för mellersta och östra Götaland samt för Svealand och 1-2 kg N/ha/år för Norrland. Andelen torrdeposition av totala depositionen av oorganiskt kväve varierade mellan 15 och 33 % för Götaland, 8-19 % för Svealand och 2 till 13 % för Norrland.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Kväve, deposition, krondropp, skog, strängprovtagare, Sverige	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B1952	
Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se, e-post: publicationservice@ivl.se, fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Sammanfattning

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet AB föreslagit metodförbättringar för att beräkna det totala nedfallet av kväve till den svenska skogen utifrån mätningar av krondropp och nederbörd i kombination med mätningar med strängprovtagare.

Nedfall av kväve mäts i nederbörd på öppet fält och som krondropp inne i skogen under trädkronorna. Nedfall av kväve till skogen sker via nederbörden (våtdeposition) samt via torrdeposition av partiklar och gasformigt kväve till trädkronorna. Torrdeposition adsorberas till bladens och barrrens utsidor och sköljs ner till marken när det regnar. En annan del av torrdepositionen tas upp i trädkronorna, antingen genom upptag till det inre av blad och barr eller som ett upptag till de alger och svampar (epifyter) som lever på utsidan av blad och barr. Det kväve som tas upp sköljs inte av till marken när det regnar och når därför inte provtagarna för krondropp.

Krondropp skall i teorin ge en bättre uppskattning av det samlade kvävenedfallet till skogen, eftersom krondroppet i princip inkluderar både våtdeposition och den del av torrdepositionen som beror av adsorption. Mätningarna på öppet fält inkluderar i huvudsak endast våtdeposition. Vad gäller interncirkulerande ämnen som tas upp och avges från trädkronorna, såsom kväve och baskatjoner, kompliceras dock krondroppsmätningarna av de problem som beskrivits ovan.

Nedfall av kväve i nederbörden på öppet fält och i krondropp mäts vid ett stort antal platser i Sverige inom Krondroppsnätet. Kvoten mellan årligt nedfall av nitrat via krondropp och på öppet fält analyserades baserat på medelvärden över två olika femårsperioder, 1997-2001 respektive 2004-2008. Analysen visade att nitratnedfallet via krondropp i de flesta fall var avsevärt lägre jämfört med nitratnedfallet på öppet fält. Dessutom minskade andelen nitratnedfall via krondropp jämfört med på öppet fält kraftigt från söder mot norr. Vid de nordligaste lokalerna hade nästan allt nitrat tagits upp direkt till trädkronorna. En förklaring skulle kunna vara att torrdepositionen av nitrat vid sydliga lokaler var tillräckligt hög för att balansera upptaget av nitrat direkt till trädkronorna. Det uppmätta nitratnedfallet blev därmed i stort detsamma på öppet fält och i krondropp. Vid nordliga lokaler var torrdepositionen av kväve låg och förmådde inte balansera direktupptaget i trädkronorna. Det uppmätta nedfallet via krondropp blev därmed avsevärt lägre jämfört med nedfallet på öppet fält.

Torrdepositionen av olika ämnen kan uppskattas genom användandet av olika surrogatytor, t ex strängprovtagare av teflon placerade under tak, med en metod som utvecklades av Martin Ferm och Hans Hultberg vid IVL under 1990-talet. Vid den månatliga provtagningen spolades strängarna med avjoniserat vatten och den kemiska sammansättningen av provet analyserades. Principerna för att använda strängprovtagare för att beräkna torrdeposition ligger i att använda depositionen av natrium (Na^+) som en biologiskt inert markör för torrdepositionen. Torrdepositionen av ett specifikt ämne beräknas som kvoten av koncentrationen av ämnet i provet från strängprovtagaren, dividerat med koncentrationen av Na^+ i strängprovet och multiplicerat med nettokrondroppet för Na^+ till skogen vid provplatsen. Nettokrondroppet av Na^+ utgör ett mått på torrdepositionen av Na^+ . Nettokrondroppet av Na^+ i sin tur beräknas som

nedfallet i kronddropp subtraherat med nedfallet på öppet fält. Det grundläggande antagandet ligger i att kvoterna mellan torrdepositionen av ett visst ämne och torrdepositionen av Na^+ är desamma för teflontrådarna som för träd Kronorna. Med denna metod beräknas endast den torrdeposition som sker via partiklar, ej torrdeposition av gasformiga ämnen. En förutsättning för att metoden skall fungera är att nedfallet av partikelbundet Na^+ är tillräckligt högt. En analys visade att metoden var tillämplig vid alla platser och årstider, möjligen med undantag av vintertid längst i norr, där snön kan ligga kvar länge på träden och därför orsakar en tidsförskjutning av nedfallet i jämförelse med öppet fält. Detta medför i praktiken sannolikt inget problem eftersom torrdepositionen generellt är låg i norr.

Med hjälp av strängprovtagare samt nedfallsmätningar på öppet fält och i kronddropp beräknades den partikelbundna torrdepositionen av sulfat, nitrat och ammonium för ett antal platser i landet för i de flesta fall perioden 2003-2007. Parallellt beräknades våtdepositionen av dessa ämnen med hjälp av öppet fält mätningar, korrigerade utifrån ett uppskattat värde för bidraget av torrdeposition till uppsamlarnas trattar.

Tabell S1. En sammanfattning av beräknade årliga depositioner av kväve till skogen vid olika platser i Sverige. Platserna är ordnade från söder till norr. Nedfallet uttrycks som kg kväve per hektar och år. Nedfallet är uppdelat i torr- och våtdeposition samt summerat torr + våt. Torrdepositionens procentuella andel av totala depositionen visas också. Depositionerna är medelvärden för perioder om 4 – 7 år.

kg N/ ha/ år	Long	Lat	NO ₃ -N			NH ₄ -N				Oorganiskt-N (NO ₃ +NH ₄)				
			Torr	Våt	Tot	Torr % av tot	Torr	Våt	Tot	Torr % av tot	Torr	Våt	Tot	Torr % av tot
Västra Torup	13.51	56.14	1.1	4.3	5.4	21	0.4	4.4	4.8	8	1.5	8.7	10.2	15
Timrilt	13.16	56.77	3.9	5.1	9.0	43	1.3	5.6	6.9	19	5.2	10.8	15.9	33
Rockneby	16.32	56.86	1.0	2.2	3.2	31	0.5	1.9	2.4	22	1.5	4.1	5.7	27
Fagerhult	15.35	57.51	0.6	2.2	2.8	20	0.3	2.4	2.8	12	0.9	4.7	5.6	16
Hensbacka	11.74	58.44	2.6	4.5	7.1	37	0.7	4.8	5.5	12	3.3	9.3	12.6	26
Edeby	16.98	58.95	0.5	1.9	2.4	20	0.2	1.9	2.1	9	0.7	3.8	4.5	15
Kindla	14.90	59.75	0.7	2.5	3.2	21	0.4	2.0	2.4	17	1.1	4.5	5.6	19
Blåbärskullen	12.91	59.82	0.2	3.0	3.2	7	0.3	3.1	3.4	9	0.5	6.1	6.7	8
Storulvsjön	16.34	62.28	0.1	1.3	1.3	4	0.1	1.0	1.0	7	0.1	2.2	2.4	5
Gammtratten	18.10	63.85	0.1	1.1	1.2	9	0.2	0.9	1.1	17	0.3	2.0	2.3	13
Högbränna	18.11	65.41	0.0	0.6	0.6	2	0.1	0.3	0.4	16	0.1	1.0	1.1	8
Myrberg	20.63	66.07	0.0	1.0	1.0	0	0.0	0.7	0.7	5	0.0	1.7	1.7	2

Mätdata som användes inom studien kom från 10 mätlokaler inom Krondroppsnätet. För att ytterligare öka den geografiska täckningen användes även data från två mätlokaler inom nätverket ”Integrerad miljöövervakning” (IM). Beräkningarna baserades på månadsvisa mätningar på öppet fält, av krondropp samt av den kemiska sammansättningen av proverna från strängprovtagningarna. Beräkningar gjordes av medelvärden för månadsvisa koncentrationer och nedfall för den analyserade perioden, med månaderna uppdelade efter årstid. Med kännedom av fördelningen av antalet månader mellan olika årstider för de olika platserna beräknades sedan den årsvisa depositionen. Dessa värden är att betrakta som medelvärden för den analyserade perioden, vilken i de flesta fall utgjordes av en femårsperiod 2003-2007. Resultaten redovisas i Tabell S1.

Det samlade nedfallet av oorganiskt kväve beräknades med den framtagna metoden till mellan 10 och 16 kg N/ ha/ år för de västra delarna av Götaland, 5-7 kg N/ha/ år för mellersta och östra Götaland samt för Svealand och 1-2 kg N/ha/ år för Norrland. Andelen torrdeposition av totala depositionen av oorganiskt kväve varierade mellan 15 och 33 % för Götaland, 8-19% för Svealand och 2 till 13 % för Norrland.

De geografiska variationerna för nedfallet av kväve över landet analyserades genom att nedfallet avsattes i ett diagram mot summan av latitud och longitud. Detta blir ett geografiskt index med ökande värden mot nordost. Resultatet blev en mycket stark korrelation mellan det totala nedfallet (våt- + torrdeposition) av nitrat, ammonium samt totalkväve mot summan av latitud och longitud, med R^2 värden 0.87 – 0.89. Den geografiska variationen för kvävenedfall över landet sammanföll med den för nedfall av sulfat. Likaså fanns en negativ korrelation mellan andelen torrdeposition och latitud för nitrat och sulfat, d.v.s. att andelen minskade mot norr. Detta var inte fallet för ammonium. Andelen torrdeposition för ammonium var konstant över landet.

Det skall påpekas att den vidareutvecklade metoden bygger på antagandet att kvoterna mellan torrdepositionen av ett visst ämne och torrdepositionen av Na^+ är desamma för teflontrådarna som för trädskronorna. Detta behöver utvärderas vidare. Dessutom inkluderas inte upptaget av gasformigt kväve till trädskronorna i beräkningarna. Inte heller nedfallet av organiskt kväve. Detta gör att det samlade kvävenedfallet till skogen som beräknades i denna studie troligen utgör en underskattning. Denna underskattning är dock sannolikt relativt liten.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
1 Inledning.....	5
2 Bakgrund.....	5
3 Syfte.....	7
4 Datakällor.....	7
5 Nedfall av kväve i krondropp och på öppet fält.....	9
6 En förbättrad metod för uppskattning av den partikelbundna torrdepositionen till skog.....	13
6.1 Historik.....	13
6.2 Metodbeskrivning.....	14
6.3 Tillvägagång.....	15
6.4 Förutsättningar för att använda metoden vid olika platser.....	17
6.4.1 Nettokrondropp av natrium.....	17
6.4.2 Koncentrationen av olika ämnen i proven från strängprovtagarna.....	18
7 Beräknad torr- och våtdeposition.....	21
8 Relationen mellan nedfall i krondropp och beräknad totaldeposition.....	27
9 En jämförelse med SMHI´s modellberäknade kvävedeposition.....	30
10 Begränsningar av resultaten.....	31
11 Kartering av det totala nedfallet av kväve till Sveriges skogar.....	31
12 Ytterligare behov av forskning och utveckling.....	33
13 Tack.....	35
14 Referenser.....	35

1 Inledning

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet tagit fram en förbättrad metod för att beräkna det totala nedfallet av kväve till den svenska skogen.

Det är problematiskt att beräkna det samlade kvävenedfallet till skogsekosystemen utifrån nedfallsmätningar av kväve på öppet fält och i krondropp. Uppskattningarna av det samlade kvävenedfall kompliceras i huvudsak av att en betydande del kväve tas upp direkt i trädkronorna och därmed inte når krondropsprovtagarna. Man har därför inte tidigare kunnat beräkna det totala kvävenedfallet till skog i Sverige utifrån mätningar, vilket i sin tur har medfört osäkerhet om hur och med vilken hastighet som kväve lagras upp i svensk skogsmark.

Inom projektet har en förbättrad metod för att uppskatta det totala nedfallet av kväve till skogen tagits fram, baserat på mätningar av torrdeposition med s.k. strängprovtagare. Större delen av de data som används i denna studie har tagits fram inom ramen för Krondropsnätet, www.krondropsnätet.ivl.se.

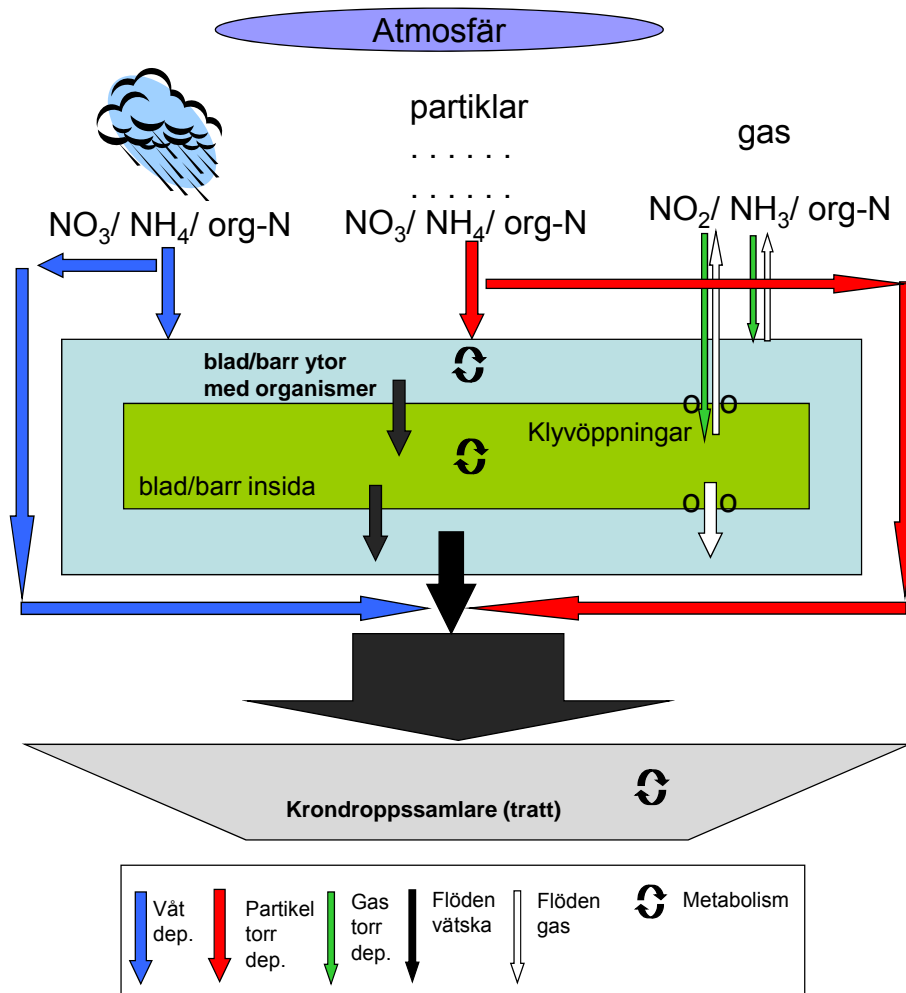
2 Bakgrund

Nedfallet av kväve utgör ett betydelsefullt, kvarvarande luftproblem i Sverige. Kvävenedfallet kan påverka sammansättningen av skogens undervegetation och gynna vissa arter på bekostnad av andra t.ex. kan förekomsten av olika gräsarter gynnas medan bl a förekomsten av blåbär minskar (Nordin m.fl., 2005). Ett annat problem är att tillförseln av kväve med nedfall till skogsekosystemen i många fall troligen är större än bortförandet av kväve i samband med avverkning. Detta kan medföra att kväve med tiden lagras upp i skogsmarken (Akselsson m.fl., 2010). Förr eller senare kommer kväve att läcka ut till vattendragen, främst i form av nitrat (NO_3^-), eftersom skogsmarken till slut blir mättad med kväve.

Det samlade nedfallet av kväve till skog involverar många olika processer. En del av nedfallet till skogen sker via nederbörden (våtdeposition, VD), en annan del sker via adsorption av kväve i gas- och partikelform till trädkronorna (torrdeposition, TD). En del av det adsorberade kvävet sköljs med nederbörden till marken som krondropp (KD) som definieras som nederbörd som har passerat genom trädkronorna (Parker, 1983, Ferm, 1993). Vissa ämnen utsöndras från blad och barr (L, Läckage) och sköljs till marken med krondroppet. En del kan tas upp direkt i trädkronorna (U, Upptag), antingen till epifyter, d.v.s. de organismer som växer på utsidan av blad och barr, eller till bladens och barrrens inre. Kväve i gasform, såsom NO_2 och NH_3 , kan tas upp till bladen/barrens inre via klyvöppningarna samt i vätskeform genom bladens yttre skikt, den s.k. kutikulan. Det kväve som fastläggs direkt i trädkronorna når inte provtagarna för krondropp, och medför därmed en underskattning av nedfallet via krondropp.

I vissa fall kan oorganiskt kväve från nedfallet omvandlas till organiskt kväve, t.ex. av de epifyter som lever på ytan av blad och barr. Vidare kan en utsöndring av olika kväveformer, inklusive organiskt kväve, ske från bladen/barren vilket sedan följer med nederbörden ner till marken och krondropsprovtagarna och medför således en överskattning av nedfallet via krondropp. De olika kväveformerna kan även omvandlas i provtagaren under tiden

provtagning sker, vilket man försöker att undvika genom att täcka provtagarna med aluminiumfolie och hålla dem kalla och mörka. Slutligen kan flödet av kväve i gasform mellan atmosfären och växtligheten vara dubbelriktade, d.v.s. kväve i gasform kan också avgå från skogsekosystemen till atmosfären. Processerna illustreras i Figur 1.



Figur 1. En illustration av de flöden och processer som är av betydelse vid mätning av deposition i kronddropp. Den gröna volymen illustrerar bladens och barrns insida. Den ljusblå volymen illustrerar biosfären på utsidan av blad och barr. Den grå volymen illustrerar provtagarna för kronddropp.

Depositionen uppmätt som kronddropp (KD) är summan av torr- (TD) och våtdeposition (VD) plus vad som utsöndras ifrån blad och barr (läckage, L), minus vad som tas upp direkt i blad och barr samt av de organismer som lever på barrnen (upptag, U), minus avgång till atmosfären (A) (Ferm, 1993).

$$KD = TD + VD - U + L - A$$

Inom Luftkonventionen LRTAP, ICP Forest, har man föreslagit en metod för att beräkna totaldepositionen av kväve till skog (EC-UNECE, 2001). Metoden bygger på antagandet att upptaget av de positiva jonerna NH_4^+ och H^+ till trädkronorna sker genom ett utbyte med baskationerna Ca^{2+} , Mg^{2+} samt K^+ . De sistnämnda jonerna läcker ut från trädkronorna i samma utsträckning som NH_4^+ och H^+ tas upp. Beräkningarna måste korrigeras för utbytet av svaga organiska syror. För att komma åt NH_4^+ upptaget till trädkronorna av måste man beräkna upptaget av H^+ , vilket inkluderar antaganden om effektiviteten i utbytet av H^+ i relation till utbytet av NH_4^+ . Antaganden måste även göras om utbytet av svaga organiska syror, vilket utgår från beräkningar som involverar pH, atmosfärens CO_2 halt samt koncentrationer av organiska syror beräknade från uppmätta halter av lösta organiska ämnen (DOC). Trädkronornas utbyte av baskationer beräknas under antagandet att relationen mellan nedfall som krondropp och på öppet fält är densamma för dessa baskationer som för natrium. Detta antagande gäller inte alltid, i synnerhet inte i kustnära områden. Trädkronornas upptag/läckage av NO_3^- beräknas därefter baserat på ovanstående beräkningar för NH_4^+ . Återigen behöver ett antagande göras beträffande effektiviteten i utbytet av NO_3^- till trädkronorna, jämfört med motsvarande för NH_4^+ .

Sammantaget involverar ovan beskrivna beräkningar en lång rad antal antaganden, som i huvudsak har utvärderats utifrån förhållanden med mycket hög luftföroreningsbelastning, såsom i Nederländerna och Danmark. Vi har därför gjort bedömningen att ovan beskrivna metodik inte är direkt tillämplig för svenska förhållanden. Vi jämför dock resultaten från våra beräkningar inom innevarande studie med resultaten från ICP Forests beräkningar i kapitel 11 nedan.

3 Syfte

Syftet med studien var att beräkna den totala kvävedeposition till svensk skog utifrån en förbättrad metod. Vi avsåg att göra en yttäckande beräkning av kvävenedfallet till skogen i Sverige genom att:

- Utarbeta en förbättrad metodik för att beräkna total kvävedeposition till skog
- Göra beräkningar av total deposition av kväve till skog för så många olika lokaler som möjligt och över en så lång tidsperiod som möjligt
- Göra yttäckande beräkningar av kvävenedfallet till skogen över Sverige.

4 Datakällor

Mätdata som används härrör från 10 lokaler inom Krondroppsnetet, med en geografisk täckning från söder till norr (Figur 2 & Tabell 1). Krondroppsnetet drivs sedan 1985 på uppdrag av främst luftvårdsförbund och länsstyrelser av IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Även Naturvårdsverket finansierar en del mätningar inom Krondroppsnetet, främst på öppet fält. Verksamheten utgörs av länsbaserade undersökningar, med regional upplösning, av luftföroreningar och dess effekter med avseende bland annat på försurning, övergödning

och marknära ozon. Resultaten redovisas årligen i rapporter samt på Krondroppsnetzets webbplats, www.krondroppsnetet.ivl.se.

Deposition av luftföroreningar mäts månadsvis, dels på öppet fält, dels som krondropp i skogen. Mätningar på öppet fält gjordes vid 24 lokaler 2008/09, medan krondroppsmätningar gjordes vid 62 lokaler. I denna studie används enbart en del av dessa mätningar.

För att ytterligare öka den geografiska täckningen används även data från två mätlokaler inom nätverket "Integrerad Miljöövervakning" (IM), som verkar under konventionen om långväga transporterade luftföroreningar, LRTAP.

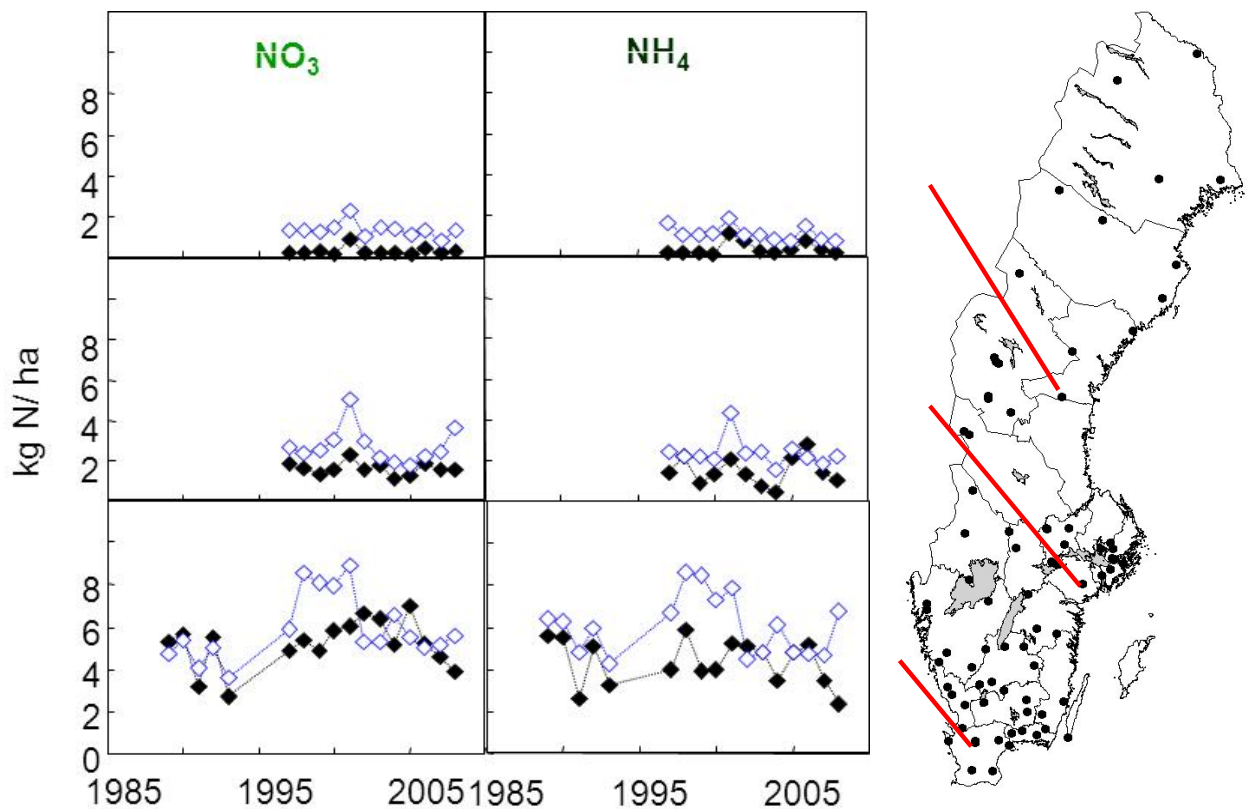
I den detaljerade resultatredovisningen visas data för tre lokaler inom Krondroppsnetzets Västra Torup i Skåne län, Edeby i Södermanlands län samt Storulvsjön i Västernorrlands län. Dessa lokaler illustrerar variationen i resultaten som beror på olika geografisk placering, klimatförutsättningar, föroreningsnivåer etc. Samma resultat finns även framtaget för de övriga tio lokalerna men redovisas inte av utrymmesskäl. I de slutliga beräkningarna av årliga depositioner används dock data från alla 12 lokalerna.

Detaljerad information om de 12 mätlokalerna ges i Tabell 1 samt i Figur 2.

Tabell 1. Information om de 12 lokaler som används i studien. Trädslaget är i samtliga fall gran.

Lokal	Län	Mättnätverk	Long	Lat	Använd mätperiod
Västra Torup	Skåne	Krondroppsnetzets	13.51	56.14	2002-2007
Timrilt	Halland	Krondroppsnetzets	13.16	56.77	2001-2007, exkl 2005
Rockneby	Kalmar	Krondroppsnetzets	16.32	56.86	2003-2007
Fagerhult	Jönköping	Krondroppsnetzets	15.35	57.51	2001-2007, exkl 2005
Hensbacka	V Götaland	Krondroppsnetzets	11.74	58.44	2003-2007
Edeby	Södermanland	Krondroppsnetzets	16.98	58.95	2003-2007
Kindla	Örebro	IM	14.90	59.75	2005-2008
Blåbärskullen	Värmland	Krondroppsnetzets	12.91	59.82	2003-2007
Storulvsjön	Västernorrland	Krondroppsnetzets	16.34	62.28	2003-2007
Gammtratten	Västerbotten	IM	18.10	63.85	2002-2008
Högbränna	Västerbotten	Krondroppsnetzets	18.11	65.41	2003-2007
Myrberg	Norrbottn	Krondroppsnetzets	20.63	66.07	2003-2007

Om kväve inte tas upp direkt i trädkronorna förväntas nedfallet vara större i krondropp än på öppet fält, eftersom krondroppet inkluderar både torr- och våtdeposition. Så är inte fallet (Figur 3). Vid mätningar av deposition av oorganiskt kväve på öppet fält och i krondropp uppmäts oftast en högre deposition på öppet fält än i krondropp. Detta beror framförallt på ett direktupptag, alternativt omvandling av kväve till trädkronorna, vilket beskrivits ovan. I norra Sverige kan det nedfall av oorganiskt kväve som uppmäts i krondropp i många fall nära sig noll.



Figur 3. Årligt nedfall av NO_3^- och NH_4^+ (kg N/ha/år) vid Västra Torup (nederst), Edeby (mitten) samt Storulvsjön (överst). Nedfallet har uppmätts på öppet fält (öppna blå symboler) och i krondropp (svarta symboler). Resultaten visas summerade för hydrologiskt år (1 okt – 30 sept).

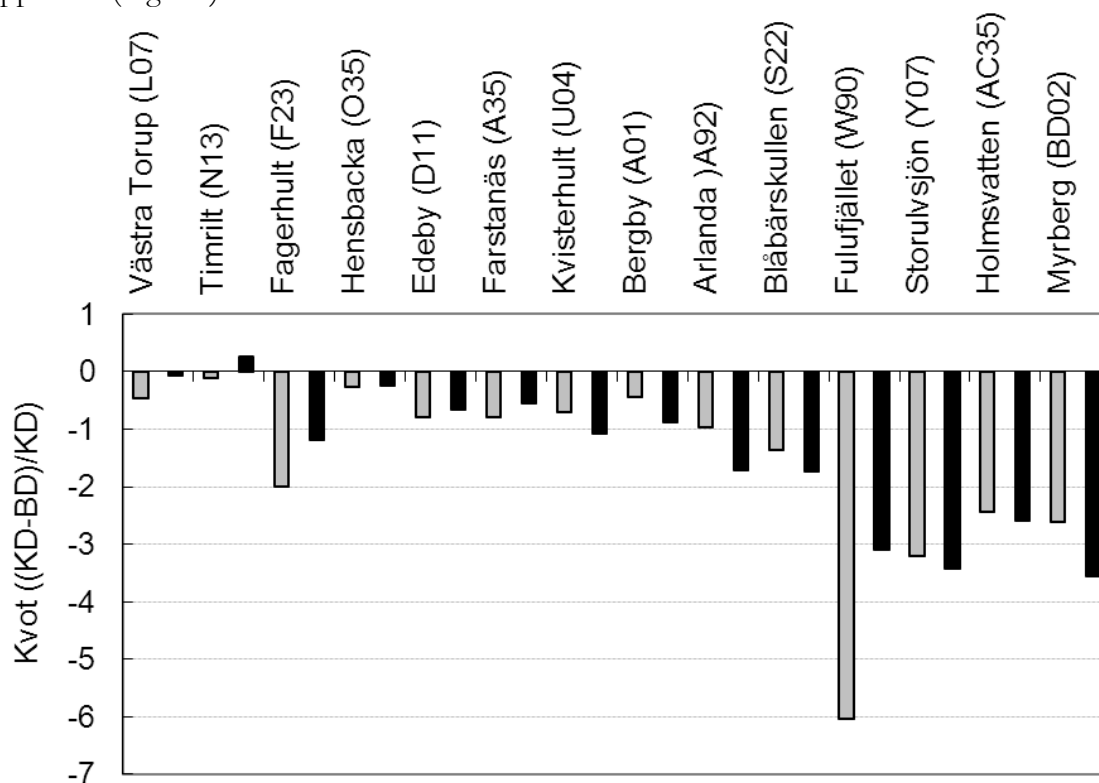
◆ Kronddropp
◆ Öppet fält

Relationen mellan nedfall av NO_3^- i krondropp och på öppet fält som medelvärden över två olika femårsperioder, 1997-2001 respektive 2004-2008, beräknades för de lokaler som har kompletta mätningar för dessa perioder. Skillnaden mellan nedfallet av NO_3^- i krondropp och på öppet fält kan beräknas som en kvot:

$$\text{KD-BD}/\text{KD}$$

där KD betecknar nedfallet i krondropp och BD (bulkdeposition) nedfallet över öppet fält.

Resultatet blir en kvot där minustecken visar att nedfallet i krontropp är mindre än det på öppet fält (Figur 4).

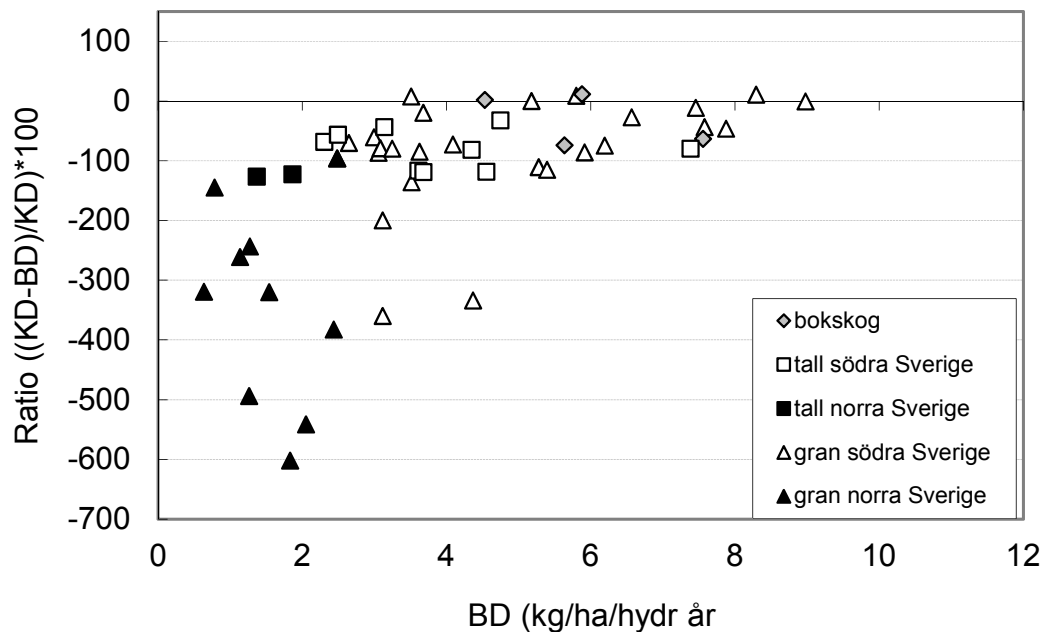


Figur 4. Kvot mellan nedfallet av NO_3^- i krontropp med nedfallet som bulkdeposition på öppet fält. Skillnaden har beräknats med formeln $(\text{KD}-\text{BD})/\text{KD}$, där KD betecknar nedfallet av NO_3^- i krontropp och BD nedfallet av NO_3^- på öppet fält (består i huvudsak av våtdeposition, men även med en liten andel torrdeposition). Resultatet blir en procentuell skillnad där minustecken visar att nedfallet i krontropp är mindre än det på öppet fält. Ett värde noll visar att KD och BD är lika stora. Ett värde -1 visar att BD är dubbelt så stort som KD, ett värde -2 att BD är tre gånger så stort som KD osv. Beräkningarna utgår från medelvärden för det årsvisa nedfallet av NO_3^- (hydr. år 1 okt – 30 sept) för två olika femårsperioder, 1997-2001 och 2004-2008. Endast mätplatser där det finns data för alla år och för både KD och BD är medtagna. Grå stapel visar perioden 1997-2001, svart stapel visar 2004-2008. Mätplatserna är ordnade från söder till norr. För positioner för de olika mätplatserna, se Figur 2.

Relationen mellan NO_3^- i KD och BD var relativt lika mellan perioderna 1997-2001 och 2004-2008, med avsevärt högre nedfall i BD. Skillnaden mellan KD och BD ökar kraftigt från söder mot norr (Figur 4). Vid de nordligaste lokalerna är kvävenedfallet via krontropp väldigt lågt, nästan allt kväve har tagits upp direkt till trädkronorna.

En jämförelse av kvoten för nedfallet av nitrat mellan krontropp respektive nederbörd över öppet fält med det absoluta värdet för nitratnedfallet över öppet fält visas i Figur 5. Jämförelsen utgår från årsvisa medelvärden för perioden 1997-2001. Vidare indikeras trädslag samt om mätlokalen ligger i norra eller södra Sverige, definierat med en gräns vid Transtrandsberget (S 23) i Värmland, som räknas till norra delen.

Jämförelsen utgår från årsvisa medelvärden för perioden 1997-2001. Vidare indikeras trädslag samt om mätlokalen ligger i norra eller södra Sverige, definierat med en gräns vid Transtrandsberget (S 23) i Värmland, som räknas till norra delen.



Figur 5. En jämförelse mellan nedfallet av nitrat i krondropp (KD) respektive nederbörd över öppet fält (BD), plottat mot det absoluta värdet för nedfallet av nitrat på öppet fält. Jämförelsen utgår från årsvisa medelvärden (hydr. år) för perioden 1997-2001. Vidare indikeras trädslag samt om mätlokalen ligger i norra eller södra Sverige, definierat med en gräns vid Transtrandsberget (S 23) som räknas till norra delen. Skillnaden beräknas med formeln $(KD-BD)/KD$. KD betecknar nedfallet i krondropp och ÖF nedfallet över öppet fält. Kvoten anger en skillnad där minustecken visar att nedfallet i krondropp är mindre än det över öppet fält. Ett värde noll visar att KD och BD är lika stora. Ett värde -1 visar att BD är dubbelt så stort som KD, ett värde -2 att BD är tre gånger så stort som KD osv.

Analysen i Figur 4 visade på en tydlig relation mellan nedfallet i krondropp, som andel av öppet fält, och den absoluta nivån på NO_3^- nedfallet på öppet fält.

Utifrån detta resultat, samt antagandet att torrdeposition följer samma gradient som våtdeposition, kan följande hypoteser formuleras;

- Vid sydliga lokaler är torrdeposition av NO_3^- tillräckligt hög för att balansera upptag av NO_3^- direkt i trädkronorna och nedfallet blir därför i stort detsamma över öppet fält som i krondropp.
- Vid nordliga lokaler blir torrdepositionen allt mindre och förmår inte längre balansera direktupptaget i trädkronorna. Det uppmätta nedfallet via krondropp blir då avsevärt lägre jämfört med nedfallet över öppet fält.

Det lägre nedfallet i norra Sverige beror eventuellt inte enbart på lägre lufthalter utan även på att träden är täckta av snö, som ger en slätare yta och därmed reducerad torrdeposition av NO_3 .

Det är troligt att samma processer som beskrivits för nitrat även gäller för ammonium. Motsvarande mätningar av ammonium kompliceras emellertid av att ammonium kan omvandlas till organiskt kväve i trädskronorna.

Skillnaden i nedfallet av nitrat mellan krondropp och på öppet fält har varit relativt konstant mellan perioderna 1997-2001 och 2004-2008.

Den relativa skillnaden i nedfallet av nitrat mellan krondropp och på öppet fält ökar från söder mot norr.

Den relativa skillnaden i nedfallet av nitrat mellan krondropp och på öppet fält blir större ju lägre nitratnedfallet är på öppet fält.

Vid ett högt kvävenedfall balanserar torrdepositionen sannolikt upptaget av kväve i trädskronorna. Vid en lägre torrdeposition tas en större andel kväve upp i trädskronorna.

6 En förbättrad metod för uppskattning av den partikelbundna torrdepositionen till skog

6.1 Historik

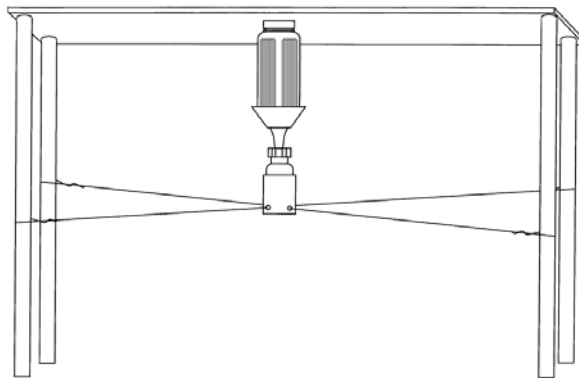
Martin Ferm och Hans Hultberg vid IVL tog under 1990-talet fram en ny metod för att beräkna den partikelbundna torrdepositionen av olika ämnen till skogsekosystem, baserat på nettokrondroppet till skog för Na^+ samt depositionen av olika ämnen till teflontrådar uppsatta under ett tak, s.k. strängprovtagare (Ferm & Hultberg, 1995, 1999).

Metoden med nettokrondropp för natrium i kombination med strängprovtagare har tidigare testats vid 11 mätlokaler inom Krondropsnätet i södra och mellersta Sverige, med månadsvisa mätningar mellan oktober 1997 och september 1998 (Ferm m. fl., 2000). I denna studie beräknades i vissa fall negativa depositioner vilket antogs bero på svårigheter att mäta nederbörd på öppet fält, samt att snön kan ligga kvar på träden under en längre tid och att nedfall via snö i norra Sverige därför inte sammanföll i tiden vad gäller krondropp och öppet fält mätningar.

6.2 Metodbeskrivning

Nettokrondropp är nedfallet av ett visst ämne i krondropp minus nedfallet på öppet fält för samma ämne. Eftersom krondropp i teorin inkluderar summan av torr- och våtdeposition medan mätningar på öppet fält inkluderar endast våtdeposition (om den korrigeras för torrdeposition till tratten, se nedan), blir differensen dem emellan ett värde på torrdepositionen. Detta förutsätter emellertid att det inte sker någon utväxling av ämnen med trädkronorna. Detta gäller för ämnen som anses biologiskt inerta, såsom Na^+ , Cl^- samt i viss mån SO_4^{2-} .

Torrdeposition av olika ämnen kan uppskattas genom användandet av olika biologiskt inerta surrogatytor t.ex. strängprovtagare gjorda av teflon (Figur 6).



Figur 6. En illustration av mätutrustningen med strängprovtagare under tak. Från Ferm & Hultberg (1999).

. Torrdeposition av ett specifikt ämne beräknas som kvoten av depositionen av ämnet till strängprovtagaren, dividerat med motsvarande värde för Na^+ och multiplicerat med den uppmätta torrdepositionen för Na^+ vid provplatsen där man antar att Na^+ är en biologiskt inert markör (Ferm & Hultberg, 1995).

Det är viktigt att nettokrondroppet av Na^+ är korrekt uppskattad eftersom det är en viktig parameter för metoden. Provtagarna på öppet fält har visat sig samla in även en viss mängd torrdeposition. Mätningar i trattar under tak har visat att denna torrdeposition i medeltal uppgår till 30 % för Na^+ och 10 % för NO_3^- och NH_4^+ (som % av våtdeposition) (Persson m.fl., 2004, Hellsten & Westling, 2006). Därför har provtagningarna på öppet fält genomgående i dessa analyser räknats ned med faktorer som redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Faktorer som har använts för att korrigera månadsvisa värden för deposition på öppet fält till våtdeposition, för olika ämnen och för olika årstider. Beräkningarna grundar sig på studier av trattar uppställda under tak där våtdeposition uteslöts (Hellsten & Westling, 2006). Analyserna har gjorts baserade på månadsvisa data uppdelat årstidsvis utifrån en meteorologisk aspekt så att vinter = dec, jan, feb; vår = mar, apr, maj; sommar = jun, jul, aug och höst = sep., okt, nov. Ett undantag gäller för de månader då vinterutrustning använts som genomgående klassificerats som vinter.

	sommar	höst	vinter	vår
SO4-S				
Götaland	0.94	0.91	0.81	0.89
Svealand	0.95	0.90	0.87	0.94
Norrland	0.97	0.95	0.90	0.97
NO3-N				
Götaland	0.90	0.88	0.77	0.87
Svealand	0.95	0.92	0.85	0.94
Norrland	0.97	0.98	0.92	0.99
NH4-N				
Götaland	0.92	0.91	0.83	0.97
Svealand	0.97	0.90	0.78	0.97
Norrland	0.97	0.96	0.77	0.95
Natrium				
Götaland	0.79	0.79	0.67	0.78
Svealand	0.84	0.82	0.76	0.76
Norrland	0.83	0.91	0.74	0.79

6.3 Tillvägagång

Strängprovtagare har använts vid mätlokalerna parallellt med mätningar av krondropp och öppet fält. Mätningarna har bedrivits månadsvis året om.

Strängprovtagarna bestod av teflonsträngar under ett tak, som spolades av med avjoniserat vatten vid provtagningen en gång i månaden. Teflonsträngarna var ca 0,4 mm i diameter och 13 m långa för varje provtagare (Figur 6). I övrigt hänvisas till beskrivningen i Ferm m. fl. (2000). Mängden avjoniserat vatten som används för att spola av strängarna varierar något mellan olika provtagningstillfällen, men ligger på 150 ml +/- 30 %. Mängden av vatten har ingen direkt inverkan på beräkningarna eftersom det är kvoterna mellan koncentrationer av olika ämnen som används.

I de flesta fall har data under en femårsperiod 2003-2007 använts. I vissa fall har dock andra perioder använts (Tabell 1). Exempelvis har året 2005 uteslutits för två lokaler, Timrilt och Fagerhult, då dessa lokaler påverkades kraftigt av stormen Gudrun. För att minimera variationen i de månadsvisa data har medelvärden över längre tidsperioder, 4-7 år, använts, uppdelade på årstid.

Användandet av vinterutrustning bedöms från plats till plats vilket medför att antalet vår och höstmånader ibland kan bli färre än tre, i synnerhet för norra Sverige. Utifrån analyser som beskrivits ovan (Tabell 2), korrigerades mätningarna för torrdeposition i öppna trakterna på öppet fält för att erhålla ett mer korrekt värde för våtdepositionen.

Beräkningarna för respektive mätlokal gjordes enligt följande:

- Det månadsvisa nettokrondroppet för Na^+ beräknades, utifrån skillnaden mellan medelvärden för hela perioden vad gäller nedfallet av Na^+ i krondropp och i våtdepositionen (d.v.s. det korrigerade värdet för öppet fält), separat för respektive årstid (g/ha/mån).
- Medelvärden för månadsvisa koncentrationer i provet från strängprovtagarna beräknades för respektive ämne som medelvärden för hela perioden, separat för varje årstid (mg/l). Utifrån dessa medelvärden beräknades månadsvisa kvoter mellan medelkoncentrationerna av respektive ämne och koncentrationen av Na^+ , separat för årstid (enhetslös kvot).
- Månadsvisa medelvärden för krondropp respektive korrigerat nedfall på öppet fält beräknades för respektive ämne som medelvärde för perioden, separat för årstid (g/ha/mån).
- Den månadsvisa torrdeposition för respektive ämne, separat för årstid, beräknades utifrån det månadsvisa medelvärdet för nettokrondropp för Na^+ multiplicerat med den månadsvisa kvoten för medelkoncentrationen av ämnet ifråga i strängprovet och medelkoncentrationen av Na^+ i strängprovet (g/ha/mån).
- Den månadsvisa våtdeposition för respektive ämne beräknades utifrån de korrigerade månadsvisa mätningarna på öppet fält, som medelvärde för perioden, separat för årstid (g/ha/mån).
- De årsvisa torr- respektive våtdepositioner för respektive ämne beräknades som medelvärden för perioden, utifrån den beräknade månadsvisa torr- respektive våtdepositionen multiplicerat med medelvärdet för antalet månader inom respektive årstid (antalet månader kontrollerades så att det alltid summerades till 12) (kg/ha/år).
- De årsvisa medelvärdena för torr- respektive våtdeposition summerades till en total medeldeposition för perioden (kg/ha/år).

Ovanstående procedur förhindrade i stort sett uppkomsten av negativa värden för nettokrondropp av Na^+ och således negativa värden för torrdepositionen, vilket varit problem vid tidigare studier (Ferm m.fl., 2000). Nackdelen var att det inte gick att studera någon mellanårsvariation för torr- och våtdepositioner av de olika ämnena. Resultaten

måste således ses som medeldepositionen av respektive ämne över en flerårsperiod. Övriga metodproblem diskuteras under respektive avsnitt nedan.

6.4 Förutsättningar för att använda metoden vid olika platser

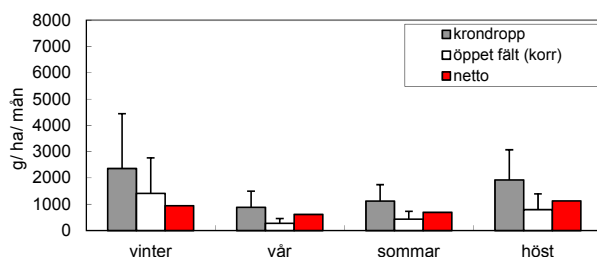
Nettokrondroppet (nedfall i krondropp minus nedfall på öppet fält) av Na^+ används som en uppskattning av torrdepositionen av Na^+ . Vidare används kvoten mellan torrdepositionen av Na^+ och torrdepositionen av ämnet man är intresserad av till strängprovtagarna för att beräkna torrdepositionen av det intressanta ämnet till skogen. Depositionen av partikelbundet Na^+ är således av central betydelse för dessa beräkningar och det är viktigt att den är tillräckligt hög.

6.4.1 Nettokrondropp av natrium

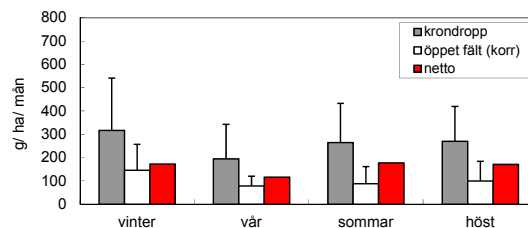
Nedfallet av Na^+ vid Västra Torup var avsevärt högre jämfört med övriga lokaler (Figur 7). Nedfallet av Na^+ var högre i krondropp jämfört med på öppet fält för alla årstider vid Västra Torup och vid Edeby, vilket resulterade i ett tydligt nettokrondropp av Na^+ , som då är ett mått på torrdepositionen av Na^+ vid dessa lokaler. Vid Storulvsjön resulterar mätningarna inte i ett nettokrondropp för Na^+ under vintermånaderna. Detta gällde även flera andra lokaler i Norrland (data visas ej). Detta kan bero på att snön ligger kvar på träden och inte når provsamlarna för krondropp varje månad, så som den gör på öppet fält. Övriga årstider beräknas dock ett tydligt nettokrondropp för Na^+ även för de norrländska lokalerna. Nedfallande snö från träden borde resultera i ett ökat nettokrondropp av Na^+ under våren. Tvärtom kan torrdeposition av Na^+ till snöbeklädda träd vara låg. Detta kräver ytterligare analyser.

Den eventuella tidsförskjutningen under snöperioder av nettokrondropp av Na^+ kan medföra problem eftersom strängprovtagarna spolas av och provtas varje månad. Detta innebär att strängprovtagarna ger ett värde för en viss månad. Detta värde jämförs sedan med ett värde för nettokrondropp av Na^+ som eventuellt inte är korrekt för denna månad därför att en del av snön i skogen faller ner påföljande månader. Detta kan således resultera i en underskattning av torrdeposition av Na^+ , och därför även andra ämnen, för aktuell månad och en överskattning påföljande månader. Detta potentiella problem har vi i viss mån minimerat genom att använda medelvärden för månader under olika årstider. Vidare kommer resultaten av de beräkningar som görs i denna studie sannolikt att användas på årsbasis, vilket ytterligare reducerar denna felkälla, förutsatt att koncentrationerna i strängproverna inte varierar allt för mycket mellan olika årstider.

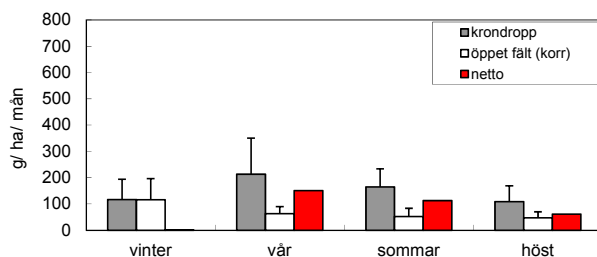
Västra Torup, Skåne



Edeby, Södermanland



Storulvsjön, Västernorrlands län



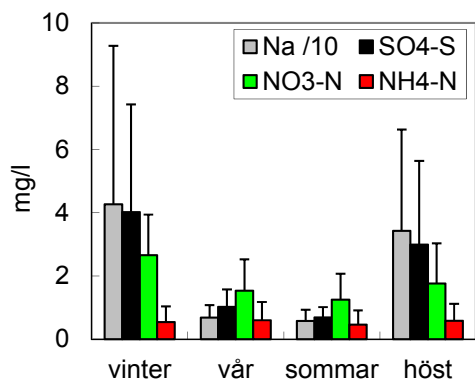
Figur 7. Medelvärden för månadsvis nedfall av Na^+ via kron dropp (grå stapel) och på öppet fält (korrigerad för torrdeposition, vit stapel) för tre mätplatser inom Kron droppsnätet, beräknat från månadsvisa mätningar 2003-2007, uppdelat i olika årstider. Standardavvikelsen för de månader som ingår i respektive årstid visas även. Skillnaden mellan nedfall i kron dropp och korrigerat nedfall på öppet fält, d.v.s. nettokron droppet för Na^+ , visas som röd stapel. Lägg märke till att det skiljer en faktor 10 vad gäller skala på y-axeln mellan Västra Torup och övriga platser.

6.4.2 Koncentrationen av olika ämnen i proven från strängprovtagarna

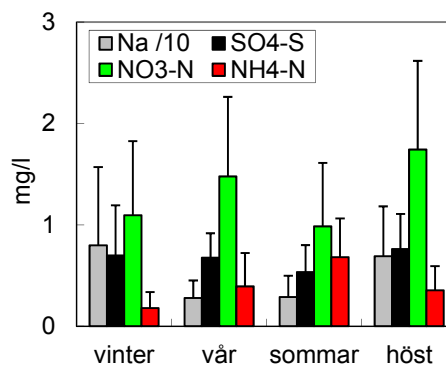
Som nämnts tidigare kan volymen som används vid avspolning av strängprovtagarna variera med upp till 30 %. Det framgår dock att torrdeposition av olika ämnen är avsevärt större i södra jämfört med norra Sverige (Figur 8). Koncentrationen av Na^+ i proven varierar med mer än en faktor 20 mellan södra och norra Sverige. Även koncentrationerna av SO_4^{2-} och NO_3^- är en faktor 10-20 högre i södra jämfört med norra Sverige. Det är annorlunda med koncentrationerna av NH_4^+ . Vid Storulvsjön är de en faktor 5 lägre än i södra Sverige och i Myrberg i Norrbotten är det förvånansvärt höga koncentrationer i strängprovet sommar och höst (data visas ej). Variationen mellan olika provtagningstillfällen är dock mycket stor.

Relationen mellan mängden Na^+ i strängprovet och nettokron droppet för Na^+ kan användas för att beräkna hur stor skogsyta som strängprovtagaren representerar. Den varierar inte så mycket mellan olika tidsperioder. För Gårdsjön beräknades denna skogsyta till ca $0,1 \text{ m}^2$ (Ferm, M., personlig kommunikation)

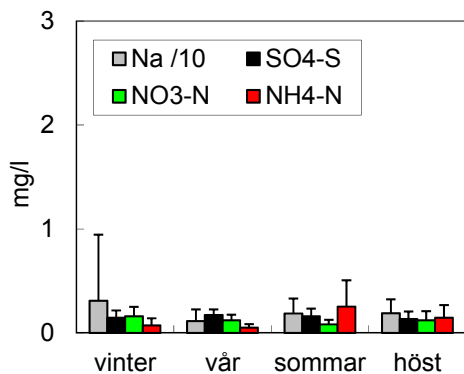
Västra Torup, Skåne



Edeby, Södermanland



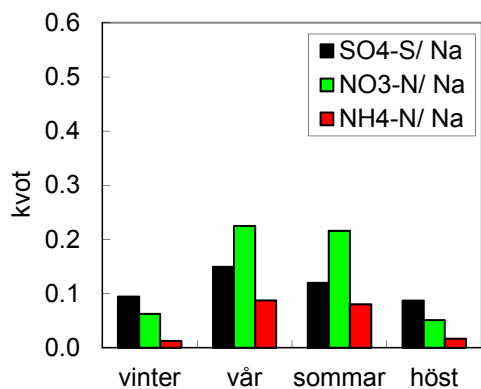
Storulvsjön, Västernorrlands län



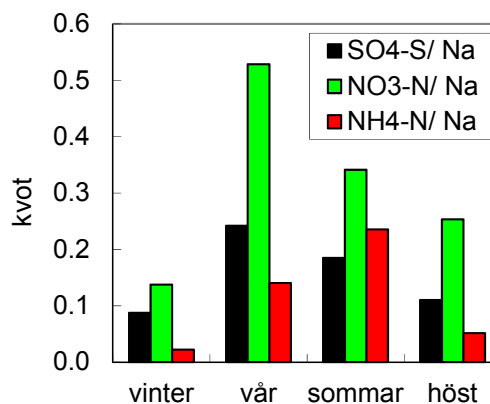
Figur 8. Medelvärden för koncentrationerna av olika ämnen i proven från strängprovtagarna för tre mätplatser inom Krondropps nätet, beräknat från månadsvisa mätningar 2003-2007, uppdelat i olika årstider. Standardavvikelse visas baserat på alla månadsvisa värden inom en årstid. Volymen som använts för avspolning varierar +/-30 % mellan olika provtagningar. Lägga märke till att värdena för Na^+ har dividerats med en faktor 10 och att skalan på y-axeln skiljer mellan olika lokaler.

Kvoterna mellan respektive ämne och Na^+ är ett relativt mått för den partikelbundna torrdeposition till teflonsträngarna. I synnerhet ger det en god jämförelse för det relativa förhållandet mellan torrdepositionen av NO_3 och NH_4 , eftersom dessa koncentrationer är baserade på N. Generellt var kvoterna som högst vid Edeby i Södermanlands län (Figur 9). Detta beror på att luftföroreningsnivåerna är relativt höga medan påslaget från havssalt är litet (Figur 8). Vid Västra Torup i Skåne är kvoterna lägre på grund av den mycket höga depositionen av havssalt. Vid Storulvsjön är både föroreningsnivåerna och förekomsten av havssalt mycket låga.

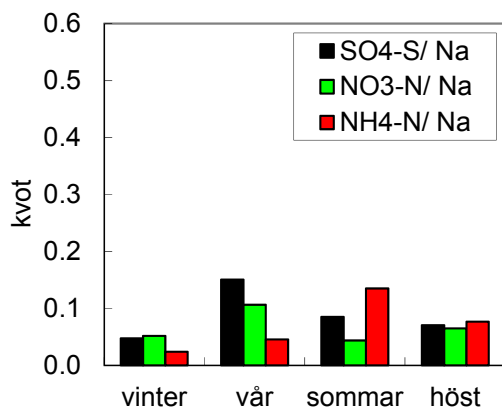
Västra Torup, Skåne



Edeby, Södermanland



Storulvsjön, Västernorrlands län



Figur 9. Kvoterna mellan medelvärden för koncentrationer av respektive ämnen i provet från strängprovtagarna i relation till motsvarande koncentrationer av Na⁺ för tre mätplatser inom Krondroppsnetet. Kvoterna är baserade på koncentrationer med enheten mg av ämnet per liter för de olika ämnena (S, N eller Na) och beräknade från månadsvisa mätningar 2003-2007, uppdelat i olika årstider.

Relationerna mellan de olika kvoterna var relativt lika för Västra Torup och Edeby under vår och sommar, med högst kvoter för NO₃-N, följt av SO₄-S och lägst för NH₄-N. Torrdeposition av NO₃⁻ är genomgående avsevärt högre för Västra Torup och Edeby jämfört med NH₄⁺. För Storulvsjön är torrdeposition av NH₄⁺ avsevärt högre än den för NO₃⁻ under sommartid och i viss mån under hösten. Det finns flera olika indikationer på en relativt sett hög förekomst av NH₄⁺ i norra Sverige. Bland annat har tillfälliga förhöjningar av nedfall av NH₄⁺ i krondropp uppmätts i Jämtlands län. Dessa förhöjda NH₄⁺ förekomster har knutits till storskaliga bränder i Ryssland med angränsande länder (Karlsson m.fl., 2008).

Metoden med att använda nettokrondropp för natrium i kombination med koncentrationkvoter i prover från strängprovtagare är tillämplig vid alla undersökta platser med undantag för vintermånaderna i norra Sverige där det kan finnas problem, beroende på tidsförskjutningar mellan provtagning av krondropp och strängprov.

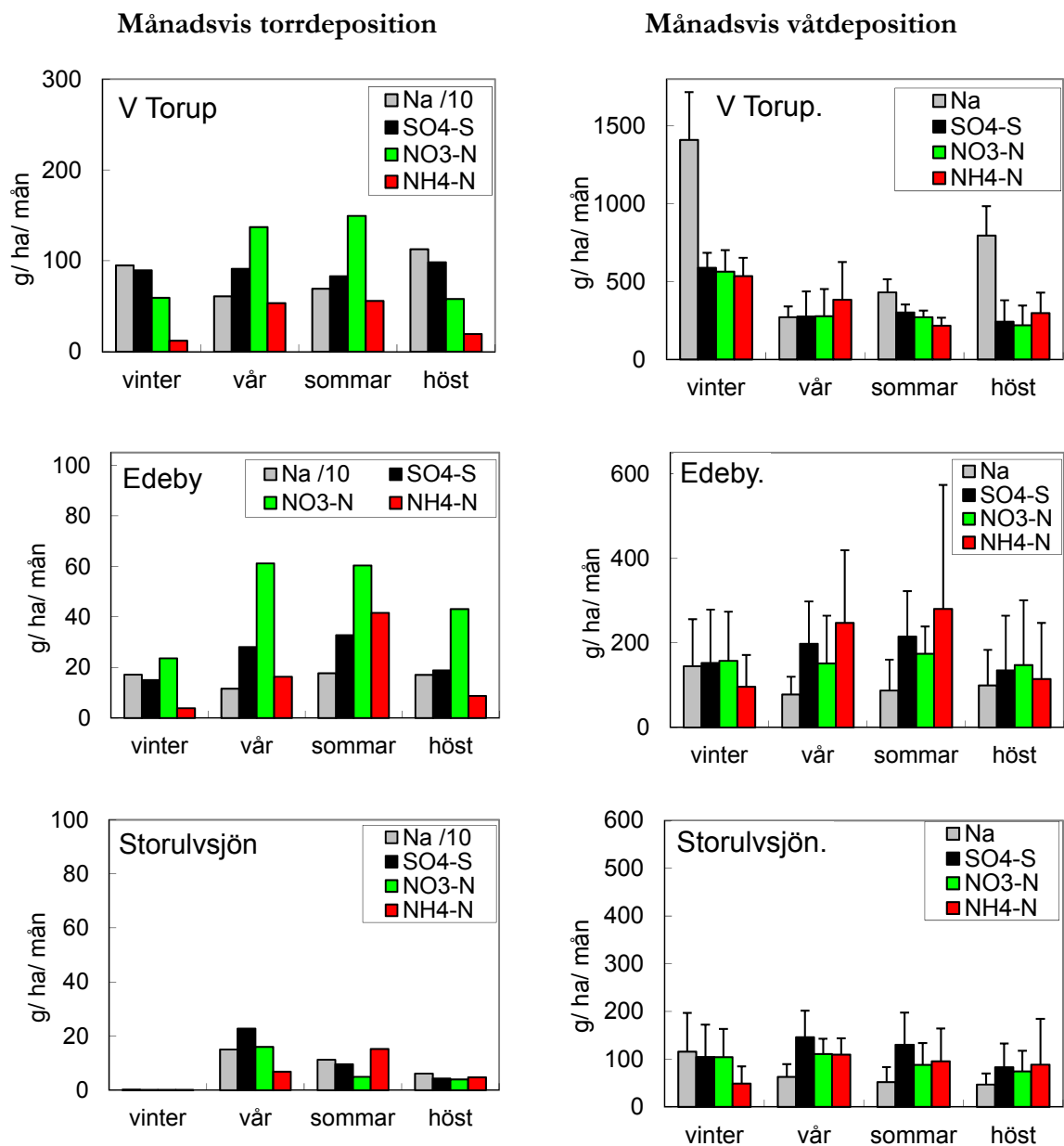
7 Beräknad torr- och våtdeposition

Våtdeposition, som beräknats från öppet fält mätningar korrigerat för torrdeposition till uppsamlingssträttarna, av sulfat ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$), NO_3^- -N och NH_4^+ -N är för alla årstider utom vintern högst vid Västra Torup, följt av Edeby och lägst vid Storulvsjön (Figur 10). Skillnaderna är dock jämförelsevis små. Vintertid ligger dock kvävenedfallet avsevärt högre vid Västra Torup, jämfört med de två andra lokalerna. Våtdepositionen av Na^+ är mycket högre vid Västra Torup, i synnerhet höst och vinter. Våtdepositionen av ammonium är relativt sett förhållandevis hög vid Edeby, men variationen är också stor.

Förhållandet mellan torr- och våtdeposition är relativt lika mellan de olika lokalerna (relationen mellan y-axlarnas skala är densamma för alla lokalerna, men skalan för våtdeposition är 6 gånger större än för torrdeposition). Torrdepositionen ligger i storleksordning 20 % av våtdepositionen. Torrdepositionen är genomgående högre för vår och sommarmånaderna, jämfört med höst och vinter. Den beräknade torrdeposition är högre för NO_3^- -N jämfört med NH_4^+ . Undantaget är NH_4^+ sommartid vid Storulvsjön.

Torrdeposition under vintertid vid Storulvsjön har beräknats till nära noll, vilket är en följd av att nettokrondropp för Na^+ vintertid vid Storulvsjön blev nära noll (Figur 7). Som diskuterats ovan kan detta eventuellt bero på en brist på synkronisering över tiden mellan nettokrondroppet för Na^+ och kvoterna för olika ämnens koncentrationer i proverna från strängprovtagarna. Det kan emellertid även vara så att torrdeposition av Na^+ och andra ämnen till snöbeklädda träd är låg. Den tillgängliga barrytan för torrdeposition bör vara avsevärt lägre för ett träd som är snötäckt. Detta bör undersökas vidare.

Ovan presenteras årstidsvisa medelvärden för månadsvisa nedfall av olika ämnen. Med kännedom om antalet månader inom de olika årstiderna vid respektive plats, kan man beräkna den årliga torr- och våtdepositionen vid respektive plats, för oorganiskt kväve (Tabell 3), samt som jämförelse även för sulfat (Tabell 4). Dessa värden utgör medelvärden för årsvisa depositioner för de analyserade perioderna, i de flesta fall perioden 2003-2007.



Figur 10. Månadsvis medelvärden för torr- och våtdeposition för olika ämnen för tre lokaler inom Krondroppsnätet, beräknat från mätningar under 4-7 år långa perioder, uppdelat på olika årstider. Torrdepositionen visas i den vänstra kolumnen, våtdepositionen i den högra. Standardavvikelser visas för våtdepositionen, baserat på alla månadsvisa värden inom en årstid. Torrdeposition av Na^+ är dividerad med en faktor 10. Skalan på y-axeln är tre gånger högre för Västra Torup jämfört med övriga lokaler.

Tabell 3. Beräknad årlig torr-, våt- samt summerad (torr+våt) deposition till skog av NO_3^- och NH_4^+ för tolv olika lokaler. Årliga värden beräknades utifrån årstidsvisa månadsmedelvärden i kombination med antalet månader inom respektive årstid vid respektive lokal för perioden 2003-2007. Det beräknade årliga nedfallet av oorganiskt kväve, NO_3+NH_4 , redovisas separat samt summerat. Dessutom redovisas torrdepositionens andel av den totala depositionen (våt+torr).

kg N/ ha/ år	Long	Lat	NO ₃ -N				NH ₄ -N				Oorganiskt-N (NO ₃ +NH ₄)			
			Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	13.51	56.14	1.1	4.3	5.4	21	0.4	4.4	4.8	8	1.5	8.7	10.2	15
Timrikt	13.16	56.77	3.9	5.1	9.0	43	1.3	5.6	6.9	19	5.2	10.8	15.9	33
Rockneby	16.32	56.86	1.0	2.2	3.2	31	0.5	1.9	2.4	22	1.5	4.1	5.7	27
Fagerhult	15.35	57.51	0.6	2.2	2.8	20	0.3	2.4	2.8	12	0.9	4.7	5.6	16
Hensbacka	11.74	58.44	2.6	4.5	7.1	37	0.7	4.8	5.5	12	3.3	9.3	12.6	26
Edeby	16.98	58.95	0.5	1.9	2.4	20	0.2	1.9	2.1	9	0.7	3.8	4.5	15
Kindla	14.90	59.75	0.7	2.5	3.2	21	0.4	2.0	2.4	17	1.1	4.5	5.6	19
Blåbärskullen	12.91	59.82	0.2	3.0	3.2	7	0.3	3.1	3.4	9	0.5	6.1	6.7	8
Storulvsjön	16.34	62.28	0.1	1.3	1.3	4	0.1	1.0	1.0	7	0.1	2.2	2.4	5
Gammtratten	18.10	63.85	0.1	1.1	1.2	9	0.2	0.9	1.1	17	0.3	2.0	2.3	13
Högbränna	18.11	65.41	0.0	0.6	0.6	2	0.1	0.3	0.4	16	0.1	1.0	1.1	8
Myrberg	20.63	66.07	0.0	1.0	1.0	0	0.0	0.7	0.7	5	0.0	1.7	1.7	2

Tabell 4. Beräknad årlig torr-, våt- samt summerad (torr+våt) deposition till skog av sulfat för 12 lokaler. Årliga värden beräknades utifrån årstidsvisa månadsmedelvärden i kombination med antalet månader inom respektive årstid vid respektive lokal för perioden 2003-2007. Dessutom redovisas torrdepositionens andel av den totala depositionen (våt+torr).

kg S/ ha/ år	SO ₄ -S					
	Long	Lat	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	13.51	56.14	1.1	4.5	5.6	19
Timrilt	13.16	56.77	3.6	5.2	8.8	41
Rockneby	16.32	56.86	0.5	2.3	2.8	18
Fagerhult	15.35	57.51	0.4	2.9	3.2	12
Hensbacka	11.74	58.44	2.6	5.5	8.1	32
Edeby	16.98	58.95	0.3	2.0	2.3	11
Kindla	14.90	59.75	0.4	2.5	2.9	15
Blåbärskullen	12.91	59.82	0.2	3.2	3.4	7
Storulvsjön	16.34	62.28	0.1	1.5	1.6	5
Gammtratten	18.10	63.85	0.1	1.4	1.6	9
Högbränna	18.11	65.41	0.0	0.8	0.8	4
Myrberg	20.63	66.07	0.0	1.6	1.6	0

Det samlade nedfallet av oorganiskt kväve beräknades till 10-16 kg N/ha/år för västra delarna av Götaland, 5-7 kg N/ha/år för mellersta, östra Götaland samt för Svealand och 1-2 kg N/ha/år för Norrland (Tabell 3). Andelen torrdeposition av totala depositionen av oorganiskt kväve varierade mellan 15-33 % för Götaland, 8-19 % för Svealand och 2-13 % för Norrland.

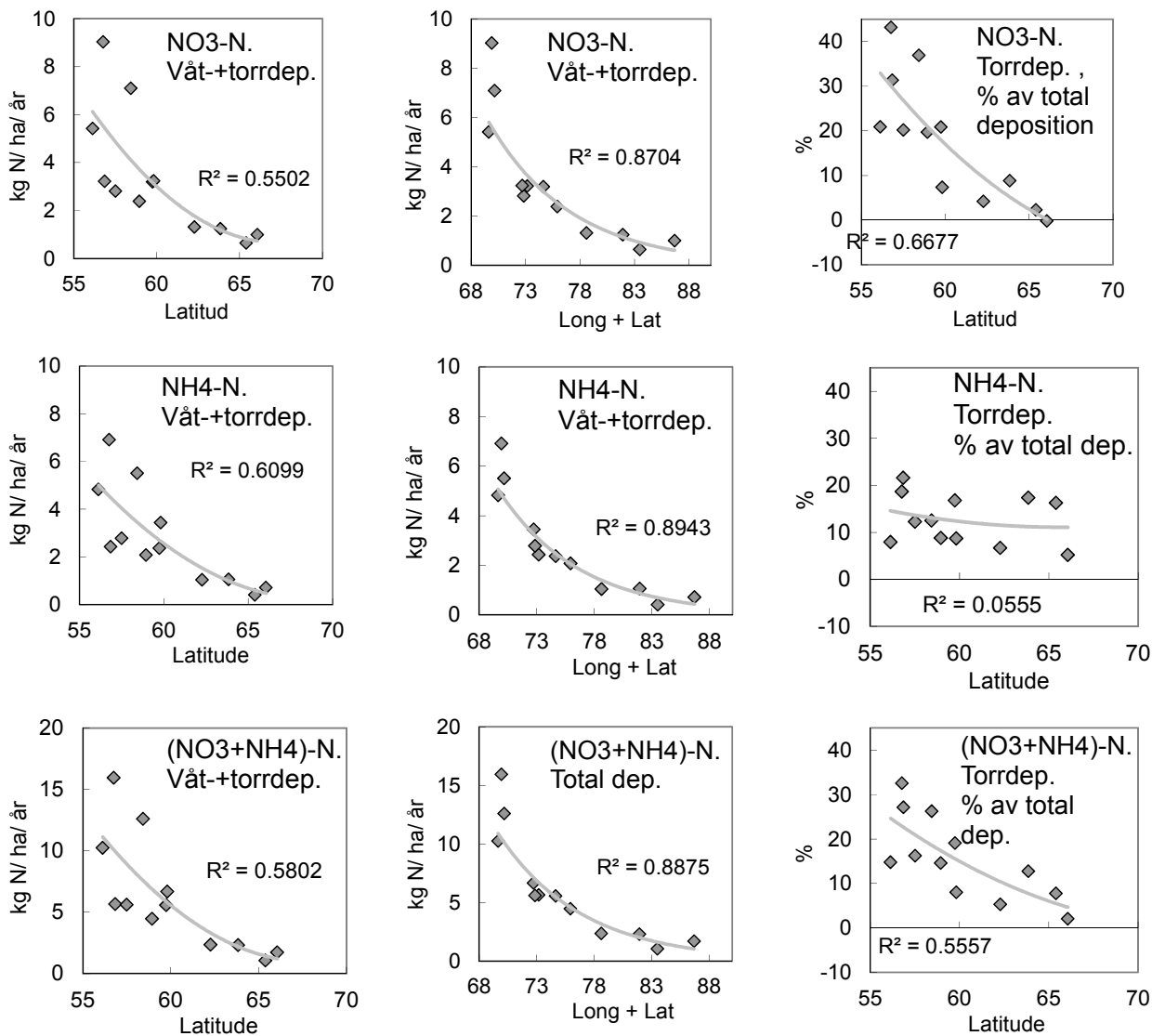
Nedfallet av NO₃⁻-N beräknades till mellan 5 och 9 kg N/ha/år för västra delarna av Götaland, 2-3 kg N/ha/år för mellersta, östra Götaland samt för Svealand och runt 1 kg N/ha/år för Norrland. Andelen torrdeposition av totala depositionen av NO₃⁻-N visade en tydlig geografisk variation, mellan 20-40 % för Götaland, 7-20 % för Svealand och 0-9 % för Norrland.

Vad gäller NH_4^+ -N beräknades det samlade nedfallet till 5-7 kg N/ha/år för västra delarna av Götaland, 2.4-3.2 kg N/ha/år för mellersta, östra Götaland samt för Svealand och 0.4-1.1 kg N/ha/år för Norrland. Andelen torrdeposition av totala depositionen av NH_4^+ -N visade inte någon tydlig geografisk variation, utan var mellan 5-20 % för hela landet.

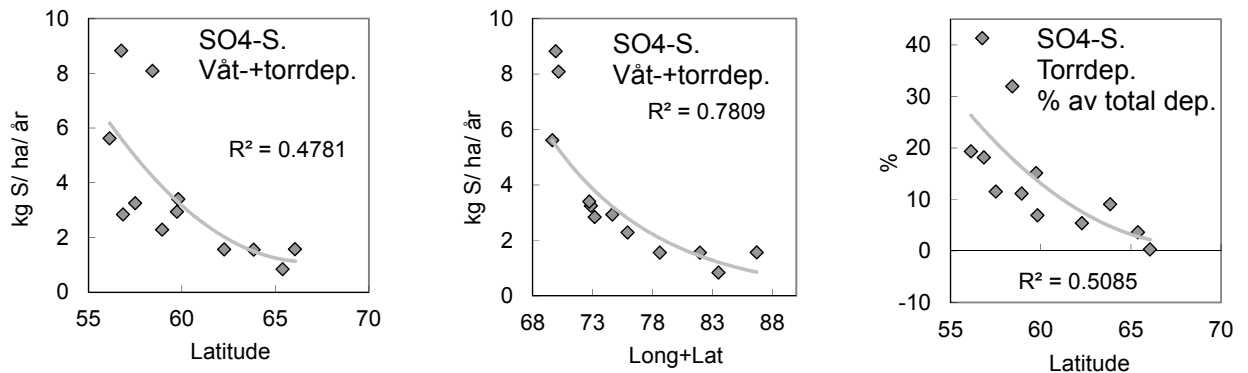
Nedfallet av sulfatsvavel beräknades till närmare 9 kg S/ha/år för sydvästra Sverige och till under 1 kg S/ha/år för norra Sverige (Tabell 4). Det fanns en tydlig gradient från södra till norra Sverige både för samlat nedfall men även för andelen torrdeposition som var högst i södra delarna av landet.

Det fanns en tydlig negativ korrelation mellan nedfall av NO_3^- -N, NH_4^+ -N samt SO_4^{2-} -S och latitud (Figur 11 & 12). Likaså fanns en negativ korrelation mellan andelen torrdeposition och latitud för NO_3^- och sulfat. Däremot fanns inte motsvarande korrelation för andelen torrdeposition för NH_4^+ -N, denna andel var istället relativt konstant över landet från norr till söder.

Det är känt sedan tidigare att luftföroreningsbelastningen inte bara ökar från söder till norr utan att den också varierar från väster till öster. Därför avsattes det samlade nedfallet av de olika kväveformerna samt sulfat mot summan av latitud och longitud för respektive plats. Detta blir ett geografiskt index som ökar mot nordost. Resultatet blev en mycket stark korrelation mellan det totala nedfallet (våt- + torrdeposition) av kväve och svavel mot summan av latitud och longitud (Figur 11 & 12). Den starka korrelationen, med R^2 värden för kväve på 0.87-0.89 var anmärkningsvärd.



Figur 11. Samband mellan kvävenedfall och geografisk position för de 12 lokalerna i Tabell 3 och 4. Position definierades som latitud alternativt summan av latitud och longitud, där sistnämnda blir ett positionsindex var värde avtar mot nordost.

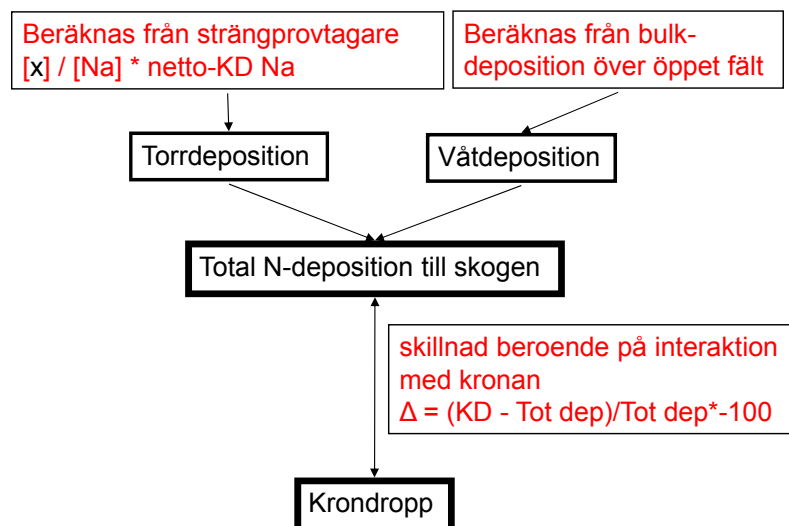


Figur 12. Samband mellan sulfatnedfall och geografisk position för de 12 lokalerna i tabell 3 och 4. Position är definierat som latitud alternativt summan av latitud och longitud där sistnämnda blir ett positionsindex var värde avtar mot nordost.

8 Relationen mellan nedfall i krondropp och beräknad totaldeposition

Andelen av det totala deponerade kvävet som tas upp i trädkronorna,, och därmed inte når uppsamlarna för krondropp kan i teorin, kan beräknas genom att jämföra den totala (våt+torr) depositionen av kväve med nedfallet i krondropp (Figur 13).

Nedfallet av sulfat anses relativt opåverkat av utväxling med trädkronorna och jämförelsen för sulfat ger därför en indikation av hur bra metoden är för att beräkna depositionen rent generellt. En jämförelse av analyserna för NO_3^- och NH_4^+ med dem för SO_4^{2-} -S visar på i vilken utsträckning krondroppsmätningarna berörs av utväxling i trädkronorna.

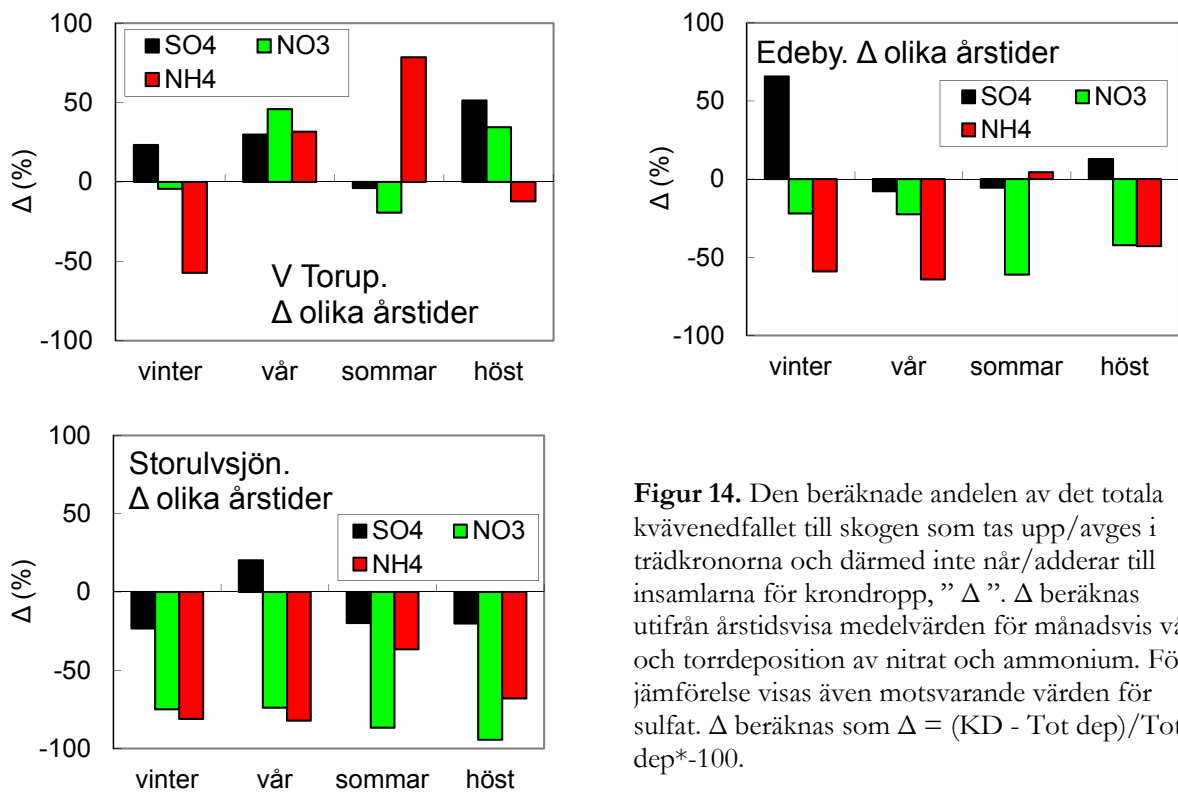


Figur 13. Konceptuell beskrivning av beräkningar av andelen av det totala nedfallet av ett visst ämne, x, som tas upp i trädens kronor, Δ . KD, krondropp; netto-KD, nedfall i krondropp minus nedfall på öppet fält.

Andelen av det totala nedfallet av ett visst ämne som tas upp i alternativt avges från trädens krona kan beräknas som:

$$\Delta = (KD - \text{Tot dep}) / \text{Tot dep} * 100$$

Om Δ är noll är det beräknade totala nedfallet och det nedfall som uppmätts i kronddropp identiskt och inget har tagits upp i kronan. Ett värde av -100 % innebär att det uppmätta kronddroppet varit noll och att allt av ämnet har tagits upp i trädkronorna. Ett värde +100 % innebär att det uppmätta kronddroppet varit dubbelt så högt som det beräknade totala nedfallet, vilket innebär att läckaget av ämnet ut från trädkronorna varit i samma storleksordning som den mängd av ämnet som har fallit ner i form av deposition. Ett värde +50 % innebär att det uppmätta kronddroppet varit 50 % högre än det beräknade nedfallet och att läckaget av ämnen från trädkronorna ligger i storleksordning hälften av nedfallet. Ett värde -50 % innebär att kronddroppet varit 50 % lägre, dvs att hälften av nedfallet har tagits upp i trädkronorna.



Figur 14. Den beräknade andelen av det totala kvävenedfallet till skogen som tas upp/avges i trädkronorna och därmed inte når/adderar till insamlarna för kronddropp, ” Δ ”. Δ beräknas utifrån årstidsvisa medelvärden för månadsvis våt- och torrdeposition av nitrat och ammonium. För jämförelse visas även motsvarande värden för sulfat. Δ beräknas som $\Delta = (KD - \text{Tot dep}) / \text{Tot dep} * 100$.

Δ för NO₃⁻ varierar mellan ca -20 och +50 vid Västra Torup (Figur 14) där de högre värdena syns under vår och höst. Detta skulle kunna bero på att vår nyutvecklade metod underskattar totaldeposition av NO₃⁻ vid Västra Torup för vår och höst, alternativt att det förekommer ett läckage av NO₃⁻ från trädkronorna som hamnar i provtagarna för kronddropp. Även Δ för SO₄²⁻ uppvisar positiva värden för vår och höst samt ytterligare för vinterperioden. Eftersom nedfallet av S anses relativt opåverkat av utväxling av ämnen i

trädkronorna, underskattar vår metod nedfallet för dessa månader. Vid mätningarna på senhösten i södra Sverige finns det problem med att vinterutrustningen, med s.k. snösäckar, vid regn i kombination med hård vind kraftigt överskattar nederbörds-mängderna. Detta får till följd att nedfallet på öppet fält överskattas och att nettokron-droppet av natrium underskattas. Beräkningen av torrdepositionen av olika ämnen påverkas direkt av ett underskattat värde för nettokrondroppet av natrium.

Δ för NH_4^+ för Västra Torup har ett påtagligt negativt värde för vintern och ett kraftigt positivt värde för sommaren. Jämförelsen med S tyder på interaktioner med trädkronorna, så att det sker ett upptag av NH_4^+ vintertid och ett läckage från trädkronorna under sommaren.

För Edeby i Södermanland beräknas negativa värden på ΔNO_3^- för alla årstider (Figur 14). Det är en god överensstämmelse mellan beräknat totalt nedfall och nedfall som krondropp för SO_4^{2-} , för alla årstider utom vintern. En granskning av data för SO_4^{2-} under vintertid gav inga indikationer om fel i beräkningarna, nedfallet av SO_4^{2-} i krondropp ligger genomgående relativt högt jämfört med NO_3^- och NH_4^+ under hela perioden 2003-2007. Om vi bortser från vintertid tyder resultaten på att NO_3^- tas upp på ett betydande sätt i trädkronorna vid Edeby. Detta gäller även NH_4^+ , förutom sommartid. Δ för NH_4^+ har mycket högre värden sommartid jämfört med övriga årstider och jämfört med NO_3^- för alla tre lokaler. Detta skulle kunna tyda på att någon speciell process påverkar mätningarna av NH_4^+ i krondropp sommartid.

För Storulvsjön beräknas värden för ΔNO_3^- och ΔNH_4^+ som genomgående är negativa. Detta indikerar ett betydande upptag av NO_3^- och NH_4^+ under alla årstider. Beräknade värden för ΔSO_4^{2-} vid Storulvsjön ligger relativt nära noll, vilket betyder att beräknad totaldeposition och deposition i krondropp visar en god överensstämmelse.

En jämförelse mellan det beräknade totala nedfallet och det nedfall som uppmäts i krondropp ger varierande resultat för de tre lokalerna i olika delar av landet.

Vid den nordligaste platsen, Storulvsjön, tyder resultaten på att metoden att beräkna torrdeposition från strängprovtagare fungerar bra. Vidare ger analysen en entydig indikation om att upptag av nitrat och ammonium i trädkronorna är en dominerande process under alla årstider.

Även vid Edeby, i Södermanland, tyder analyserna på ett betydande upptag av nitrat och ammonium i trädkronorna. Resultaten för sulfat tyder dock på att resultaten bör analyseras mer ingående för vintertid.

Vid Västra Torup i Skåne verkar den framtagna metoden underskatta det beräknade nedfallet något, förutom sommartid. Analyserna tyder vidare på att ammonium tas upp av trädkronorna under vinter och höst men att ammonium tillförts krondroppet under sommartid, kanske beroende på ett läckage från trädkronorna. Nitrat verkar dock inte påverkas påtagligt av interaktioner med trädkronorna.

9 En jämförelse med SMHI:s modellberäknade kvävedeposition

SMHI modellerar på uppdrag av Naturvårdsverket kvävenedfallet till olika typer av markanvändning inom den svenska miljöövervakningen. Det beräknade nedfallet till barrskog har hämtats från SMHI:s webbplats, för de positioner som är aktuella för de lokaler som har analyserats i denna studie, för perioden 2003-2007. SMHI har uppdaterat sina formuleringar inom MATCH modellen, vilket medför att kvävenedfallet är beräknat med lite olika modellformuleringar för perioden 2003-2005 och 2005-2007. För det överlappande året 2005 har ett medelvärde använts för de två modellversionerna.

Tabell 5. En jämförelse av det årliga kvävenedfallet (NO_3^- och NH_4^+) som beräknats av MATCH modellen med det som tagits fram i innevarande studie, som medelvärde för perioden 2003-2007. Jämförelsen har gjorts i form av en kvot, MATCH metoden/ innevarande metod, där ett värde högre än 1 indikerar att värdet som tagits fram med MATCH är högre än värdet som beräknats i innevarande studie. Kvoter beräknades ej för torrdeposition av NO_3^- i norra Sverige eftersom dessa beräknade värden var mycket låga i innevarande studie.

kg/ ha/ år	Latitud	Torrdepo	Våtdepo	Total deposition	% av totdepo
NO3-N Myrberg	660356		0.89	1.70	
Högbränna	652419		1.26	2.39	
Storulvsjön	621647		1.08	1.89	
Blåbärskullen	594916	5.10	0.77	1.08	4.72
Edeby	585707	4.05	0.99	1.62	2.50
Hensbacka	582614	0.92	0.76	0.81	1.13
Fagerhult	573041	3.66	0.89	1.38	2.66
Rockneby	565121	2.58	1.10	1.54	1.68
Timrilt	564637	1.20	0.71	0.84	1.42
Västra Torup	560805	2.69	0.83	1.18	2.27
NH4-N Myrberg	660356	4.36	1.09	1.28	3.40
Högbränna	652419	2.75	1.99	2.12	1.30
Storulvsjön	621647	5.25	1.01	1.30	4.04
Blåbärskullen	594916	2.17	0.66	0.80	2.70
Edeby	585707	6.27	0.94	1.45	4.32
Hensbacka	582614	2.01	0.74	0.89	2.25
Fagerhult	573041	5.13	1.01	1.44	3.57
Rockneby	565121	2.96	1.41	1.74	1.70
Timrilt	564637	2.62	0.76	0.95	2.75
Västra Torup	560805	5.70	0.92	1.30	4.38

Vi har jämfört beräknade värden av deposition av NO_3^- och NH_4^+ från vår metod med MATCH modellerade värden (Tabell 5). Beräknade värden för våtdeposition stämmer

relativt väl överens. Kvoterna varierar i de flesta fall mellan 0.7 och 1.4 både för NO_3^- och för NH_4^+ , med undantag för NH_4^+ vid Högbränna.

Torrdeposition av NO_3^- och NH_4^+ beräknad med MATCH modellen var mycket högre i förhållande till de värden som beräknats med vår metod. Kvoterna nådde en faktor 4-5 för torrdeposition av NO_3^- i Svealand och en faktor 1-3.5 för Götaland. Bäst var överensstämmelsen för torrdeposition av NO_3^- för Hensbacka och Timrilt på Götalands västkust, där också absolutvärdena för den beräknade torrdepositionen av NO_3^- var som högst (Tabell 2). Torrdeposition av NH_4^+ var en faktor 2-6 högre för MATCH modellen över hela landet.

10 Begränsningar av resultaten

Resultaten från denna studie innebär en förbättrad möjlighet för att beräkna den samlade kvävedepositionen till skogen. Det kvarstår dock några begränsningar:

- Upptaget, men även avgången, av olika former av kväve i gasform, såsom NO_2 och NH_3 , till och från trädskronorna är inte inkluderat i beräkningarna
- Nedfall av organiskt kväve är inte inkluderat
- De felaktigheter som finns vad gäller provtagning av nederbörd på öppet fält med snösäckar är inte korrigerat för

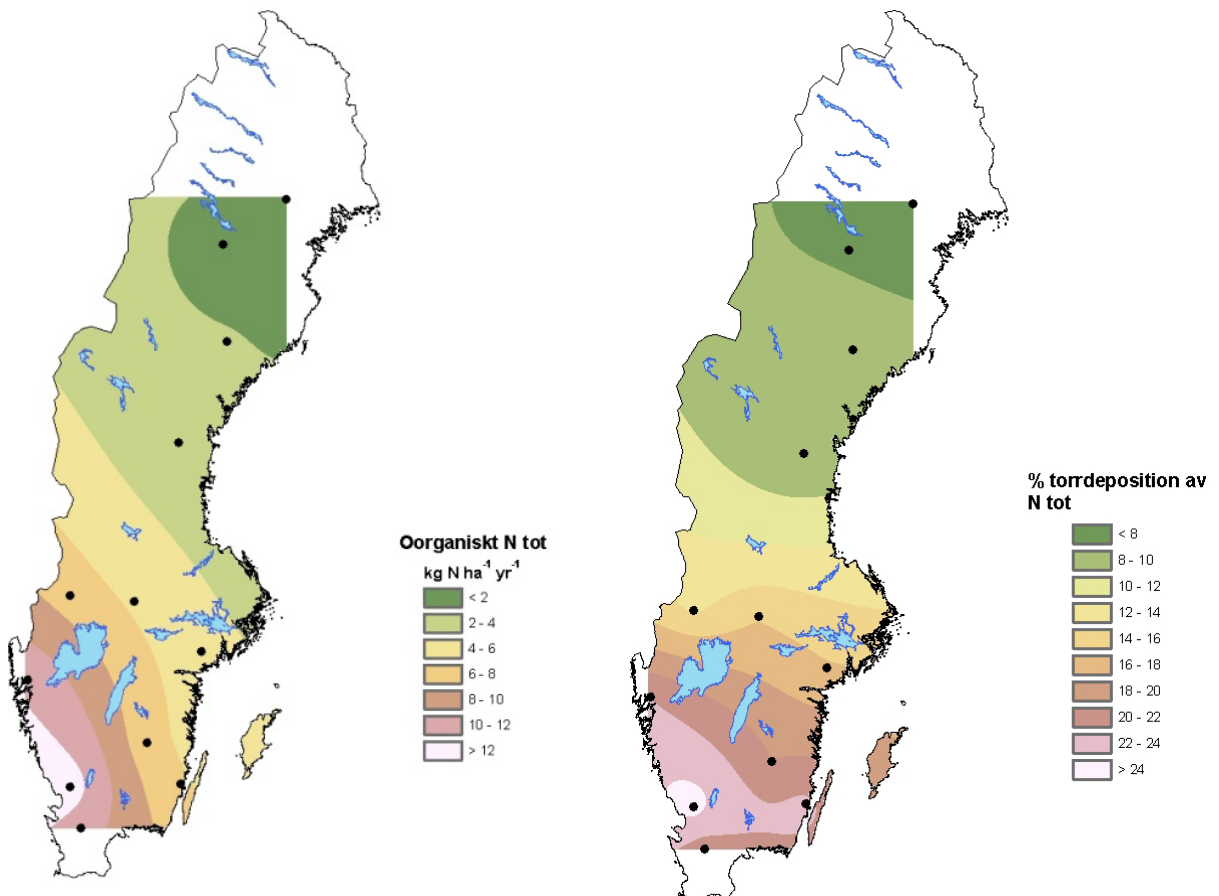
Upptag och avgång av kväve i gasform till och från trädskronorna och även deposition av organiskt kväve har sannolikt mindre betydelse men kan leda till att vi sannolikt underskattar den totala kvävedeposition till den svenska skogen.

Resultaten från denna studie förbättrar metodiken för att uppskatta torrdeposition och därmed bestämma den totala depositionen av kväve till skogen. Det återstår dock fortfarande metodförbättringar för att ytterligare förfina beräkningarna. Ännu inkluderas inte upptag av kväve i gasform i trädskronorna eller deposition av organiskt kväve i beräkningen. Avsaknaden av dessa processer i beräkningarna leder sannolikt till en viss underskattning av den totala kvävedepositionen till skogen.

11 Kartering av det totala nedfallet av kväve till Sveriges skogar

Resultaten som presenteras i Tabell 2 och 3 kan omvandlas till ytintegrerade värden för det totala nedfallet av oorganiskt kväve till skogen i Sverige med hjälp av GIS-metoder (Figur 15). Kartan visar ett årligt nedfall av oorganiskt kväve (NO_3^- och NH_4^+), som ett medelvärde över en längre period, 4-7 år. Denna karta skulle kunna användas för att redovisa en indikator för miljö kvalitetsmålen ”Bara naturlig försurning” och ”Ingen övergödning”. Även andelen torrdeposition av den totala depositionen av oorganiskt kväve visas i kartform i Figur 15.

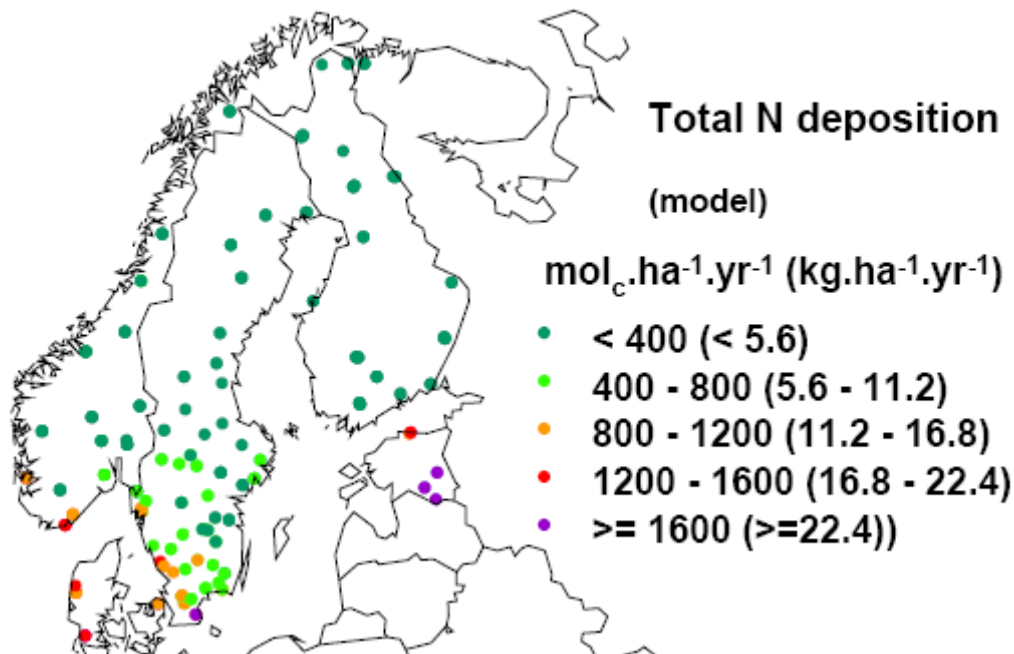
Kartan är framtagen med hjälp av kriging interpolering (ordinary kriging). Kriging är en geostatistisk metod för att interpolera värden. Fördelen med kriging jämfört med andra interpolationsmetoder är att den tar hänsyn till den rumsliga variationen i underlaget, dvs punkter som ligger nära varandra korrelerar (rumsligt), medan punkter som är lokaliserade längre ifrån varandra anses vara statistiskt oberoende av varandra. Således anses kriging ge ett bättre geografiskt interpolationsresultat jämfört med ”vanlig” interpolering (Davis, 1986).



Figur 15. En karta över det årliga nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog över Sverige (vänster), beräknat med den metod som tagits fram inom projektet. Nedfallet utgör ett medelvärde över en längre period, 4-7 år, i de flesta fall perioden 2003-2007. Dessutom visas en karta för hur andelen torrdeposition av den totala depositionen av oorganiskt kväve varierar över landet (höger). Kartorna är ett resultat av en Kriging metod (se text), baserat på beräknade data för 12 platser över landet, vilka illustreras med svarta punkter. Metoden kan endast integrera värden inom det område där det finns numeriska värden. Därför lämnas en stor del av norra Norrland och södra delen av Skåne utanför det område som integreringen täcker.

ICP Forest har i sin tekniska rapport från 2001 (EC-UNECE, 2001) publicerat en karta med beräknat totalt kvävenedfall till skogen vid olika observationsytor (intensive plots). Metodiken bakom beräkningarna ("canopy exchange model") har beskrivits översiktligt i

kapitel 2 ovan. Den geografiska fördelningen hos kvävenedfallet som beräknats av ICP Forest liknar den som beräknats i innevarande studie (Figur 15). ICP Forest anger det högsta nedfallet i Sverige som $>22 \text{ kg N/ha/ år}$, medan innevarande studie beräknar högsta nedfallet till 16 kg N/ha/ år . Den plats där ICP Forest beräknar det högsta kvävenedfallet, Maryd i sydöstra Skåne, finns dock inte med i beräkningarna i innevarande studie. Stora delar av Götaland beräknas av ICP Forest ha ett nedfall mellan 6 och 11 kg N/ha/ år , medan innevarande studie beräknar kvävenedfallet till 8 och 12 kg N/ha/ år . Resultaten är relativt överensstämmande, trots att de beräknats med principiellt skilda metoder. Vi kan således i innevarande studie med relativt enkla beräkningar och antaganden baserade på empiriska mätningar bekräfta mera teoretiskt beräknade värden baserat på en lång rad antaganden inom ICP Forests ”canopy exchange model”, som beskrivits i kapitel 2.



Figur 16. En karta över det årliga nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog över Sverige, hämtat från ICP Forest (EC-UNECE, 2001). De antaganden och beräkningar som ligger bakom dessa värden har beskrivits översiktligt under kapitel 2 ovan. I övrigt så hänvisas till ICP Forests tekniska rapport (EC-UNECE, 2001).

12 Ytterligare behov av forskning och utveckling

Det största kvarvarande problemet vad gäller att uppskatta det totala kvävenedfallet till skogen ligger i att korrekt mäta nederbörds mängder på öppet fält. Det är relativt väl beskrivet att nuvarande utrustning som används inom krondroppsnetet för provtagning vintertid på öppet fält tenderar till att överskatta nederbörden under blåsiga förhållanden (Persson m. fl., 2004). Jämförelser mellan uppmätt månadsvis nederbörd på öppet fält

inom Krondropps nätet med motsvarande värden för närliggande SMHI stationer visar att detta är fallet vid flera tillfällen under vintermånaderna, i synnerhet i Skåne, där nederbörden i de flesta fall kommer som regn även vintertid. Felaktigheter i uppmätta nederbördsmängder påverkar uppskattningarna av kvävedepositionen på två sätt. Dels blir beräkningarna av våtdepositionen fel. Dels blir beräkningarna av nettokrondroppet för natrium fel, vilket direkt påverkar uppskattningen av torrdepositionen av olika ämnen. Det pågår ett arbete inom Krondropps nätet att ersätta nuvarande nederbördsprovtagare med nya som är bättre lämpade (Hellsten m fl., 2010).

Det skulle vara möjligt att i efterhand gå in i Krondropps nätet databas och korrigera uppenbart felaktiga värden för nederbörd på öppet fält, i jämförelse med närliggande SMHI stationer. Emellertid påverkar provtagaren inte enbart den totala nederbördsmängden som uppmäts, utan även vilken droppstorlek som provtas och därmed koncentrationen av olika ämnen i nederbörden. Undersökningar av detta problem pågår. En eventuell korrigering av nederbördsmätningar på öppet fält måste därför vänta till ytterligare kunskap erhållits. Vi bedömer dock att dessa eventuella korrigeringar inte kommer att ha något avgörande inflytande på det beräknade totala kvävedefallet till skogen.

Ett grundläggande antagande, för den metodik som vidareutvecklats i denna studie, är att relationerna för torrdepositionen mellan olika ämnen är densamma för strängprovtagarna som för trädskronorna. Detta rättfärdigas i viss mån genom att både teflontrådarna och barren har hydrofoba ytor. Vidare är luften i skogslandskapet genomgående relativt turbulent, utan de kraftiga skiktningar som kan uppstå över stora öppna fält, vilket gör att strängprovtagarnas placering relativt trädskronorna sannolikt har begränsad betydelse. Det är sannolikt påväxten på blad och barr, de s.k. epifyterna, som har störst betydelse för direktupptaget av kväve i trädskronorna. Det vore därför viktigt att utreda epifyternas metaboliska aktivitet under olika förhållanden. Det var ett överraskande resultat att den beräknade förlusten av kväve till trädskronorna, det som betecknas "Δ" i beräkningarna ovan, var i stort sett lika stor på vintern som på sommaren. Det kunde förväntas att kväveupptaget i trädskronorna beror av epifyternas metabolism och att denna metabolism var lägre under kalla vintermånader jämfört med varma sommarmånader. Troligen är epifyterna lika aktiva och tar upp kväve på vintern som på sommaren. Möjligen är det istället fuktighetsförhållandena som spelar större roll, d.v.s. att det är för torrt på barrytorna sommartid för att tillåta metabolism. Tyvärr är inte, så vitt vi kan finna i litteraturen, epifyterna på blad- och barrytor studerade i någon större utsträckning. Det finns därför ett stort behov av experimentella studier kring kvävet omsättning på bladens och barrrens ytor.

Det vore intressant att i detalj applicera den metodik som föreslagits av ICP Forest (2001) på data från krondropps nätet, att granska de antaganden som ligger till grund för beräkningarna och eventuellt anpassa dessa till svenska förhållanden, samt att slutligen jämföra med data för det totala kvävedefallet som beräknats i innevarande studie. Om detta får framgång skulle beräkningar med ICP Forests modell kunna användas för att analysera tidstrender vad gäller torrdepositionen av kväve till skogen i Sverige.

13 Tack

Vi vill tacka Karin Hansen, IVL, David Simpson, Met.no, samt Christer Persson, SMHI, för värdefulla synpunkter.

14 Referenser

- Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.E., Lundin, L. 2010. Assessing the risk of N leaching across a steep N deposition gradient in Swedish forests using different monitoring and modelling approaches. *Environmental Pollution* 158, 3588-3595.
- Davis, J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- Ferm, M. 1993. Throughfall measurements of nitrogen and sulphur compounds. *Intern. J. Anal. Chem.* 50, 29-43.
- Ferm, M., Hultberg, H. 1995. Method to estimate atmospheric deposition of base cations in coniferous throughfall. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 2229-2234.
- Ferm, M., Hultberg, H. 1999. Dry deposition and internal circulation of nitrogen, sulphur and base cations to a coniferous forest. *Atmospheric Environment* 33, 4421-4430.
- Ferm, M., Westling, O., Hultberg, H. 2000. Atmospheric deposition of base cations, nitrogen and sulphur in coniferous forests in Sweden – a test of a new surrogate surface. *Boreal Environment Research* 5, 197-207.
- Hellsten, S., Westling, O. 2006. Försurande och övergödande nedfall i skog – Delprogram Krondropp inom programområde Luft, Sakrapport 2006 06 01, För Naturvårdsverket, Avtal 211 0411.
- Hellsten, S., Persson, C., Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Karlsson, P.E., Södergren, H. 2010. Förbättrad modellering och mätning av belastningen från luftföroreningar - samverkan mellan Krondroppsnetet och MATCH-modellen. IVL Rapport B 1951.
- EC - UNECE, 2001; De Vries, W., G.J. Reinds, C. van der Salm, G.P.J. Draaijers, A. Bleeker, J.W. Erisman, J. Auée, P. Gundersen, H.L. Kristensen, H. van Dobben, D. de Zwart, J. Derome, J.C.H. Voogd, E.M. Vel. *Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, 2001 Technical Report*. EC, UN/ECE 2001, Brussels, Geneva, 177 pp.
- Karlsson, P-E., Persson, K, Pihl Karlsson, G. 2008. Revidering av Miljöövervakningsprogram för Jämtlands län. För Länsstyrelsen i Jämtlands län. IVL Rapport U 2356.
- Nordin, A., Strengbom, J., Witzell, J., Näsholm, T., Ericsson, L. 2005. Nitrogen deposition and the biodiversity of boreal forests: implications for the nitrogen critical load. *Ambio* 34, 20-24.
- Parker, 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Adv. Ecol. res.* 13, 58-133.
- Persson, C., Ferm, M., Westling, O. 2004. Förbättrad mätning och beräkning av försurande och övergödande luftföroreningar. Specialprojekt på uppdrag av Naturvårdsverkets miljöövervakningsenhet.