

Totaldeposition av baskatjoner till skog

Krondroppsnätet



Per Erik Karlsson
Sofie Hellsten

Martin Ferm
Cecilia Akselsson*
Karin Hansen

Hans Hultberg
Gunilla Pihl Karlsson

B2058

*Lunds Universitet

Rapporten godkänd
2013-04-03

A handwritten signature in blue ink that reads "John Munthe". The signature is fluid and cursive, written in a professional style.

John Munthe
Forskningschef

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 21060 100 31 Stockholm	Projekttitel Totaldeposition av baskatjoner till skog.
Telefonnr 08-598 563 00	Anslagsgivare för projektet Naturvårdsverket Avtal nr 211 1132
Rapportförfattare Per Erik Karlsson, Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson, Karin Hansen.	
Rapporttitel och undertitel Totaldeposition av baskatjoner till skog	
Sammanfattning <p>Det atmosfäriska nedfallet av baskatjoner mäts dels i nederbörden på öppet fält och dels som krondropp inne i skogen. Krondroppet skall i teorin ge en uppskattning av det samlade nedfallet till skogen, eftersom krondroppet i princip inkluderar både våt- och torrdeposition. För ämnen som t. ex. kväve och de flesta baskatjoner (kalium, magnesium och calcium) kompliceras uppskattningen av en intern-cirkulation inom trädkronorna, vilket involverar både upptag och läckage.</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 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, korrigerat för en viss torrdeposition till provtagningstrattarna.</p> <p>Med hjälp av strängprovtagare samt nedfallsmätningar på öppet fält och i krondropp beräknades den partikelbundna torrdepositionen av baskatjoner för 12 platser i landet under en period av 8 år. Parallellt beräknades våtdepositionen av dessa ämnen med hjälp av öppet fält mätningar.</p> <p>Det samlade nedfallet av baskatjoner (exkl. natrium) beräknades till 400-900 ekv/ha/år för sydvästra delarna av Götaland, 200-300 ekv/ha/år för mellersta och östra Götaland samt för Svealand och 80-130 ekv/ha/år för Norrland. Andelen torrdeposition av totala depositionen av baskatjoner varierade mellan 30-70 % för sydvästra Götaland, 15-50 % för övriga Götaland och Svealand samt 5-25 % för Norrland.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Baskatjoner, deposition, krondropp, nederbörd, skog, strängprovtagare, Sverige	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B2058	
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 vidareutvecklat en empirisk metod för att uppskatta det totala nedfallet av baskatjoner till den svenska skogen utifrån mätningar av krondropp och nederbörd i kombination med mätningar med strängprovtagare och trattar under tak.

Nedfall av baskatjoner mäts i nederbörd på öppet fält och som krondropp inne i skogen under trädkronorna. Nedfall av baskatjoner till skogen sker löst i nederbörden (våtdeposition) samt via torrdeposition av partiklar till trädkronorna. Vid torrdeposition avsätts gaser och partiklar till bladens och barrens utsidor och sköljs ner till marken med nederbörden. En viss del av depositionen kan dock tas upp direkt i trädkronorna, antingen genom klyvöppningarna 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. De baskatjoner som tas upp passerar inte trädkronorna ner till marken när det regnar och når därför inte provtagarna för krondropp. Vidare kan baskatjoner läcka ut från blad och barr och detta läckage kan sköljas ner i provtagarna för krondropp. Detta läckage kan således medföra en överskattning av nedfallet. Sammantaget kompliceras beräkningar av det samlade nedfallet av betydelsefulla ämnen såsom kväve och baskatjoner av denna interncirkulation inom trädkronorna.

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 av med avjoniserat vatten och den kemiska sammansättningen av provet analyserades. Natrium (Na^+) används som en biologiskt inert markör för torrdepositionen. Torrdepositionen av ett specifikt ämne beräknas som 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^+ används som ett mått på torrdepositionen av Na^+ och beräknas som nedfallet i krondropp subtraherat med nedfallet på öppet fält. Metoden bygger på antagandet att kvoterna mellan torrdepositionen av ett visst ämne och torrdepositionen av Na^+ är desamma för teflontrådarna som för trädkronorna. 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 stort för att kunna kvantifieras korrekt.

Det finns några metodproblem som måste korrigeras för. Det första gäller att korrekt beräkna våtdepositionen av olika ämnen. Trattar till nederbördssamlarna på öppet fält samlar även upp en del torrdeposition (s.k. ”bulkprov”, våt + torrdeposition) och denna torrdeposition måste subtraheras för att uppnå korrekta skattningar av våtdepositionen. Genom att utnyttja en flerårig mätserie med provsamlare placerade under tak, kunde korrektionsfaktorer beräknas för olika ämnen, för olika intervall av bulkdeposition (hög/låg) samt för olika årstider (sommar-/vinterhalvår).

Med hjälp av strängprovtagare samt korrigerade nedfallsmätningar på öppet fält och i krondropp beräknades den partikelbundna torrdepositionen av baskatjoner till granskog för

ett antal platser i landet för perioden 2001-2008. Parallellt beräknades våtdepositionen av dessa ämnen med hjälp av korrigerade mätningar på öppet fält.

Mätdata som användes inom studien kom från 11 mätlokaler inom Krondroppsnätet. För att ytterligare öka den geografiska täckningen användes även data från tre mätlokaler inom nätverket "Integrerad miljöövervakning" (IM). Av dessa mätserier var dock två för korta för att användas vid slutliga beräkningar av depositionen. Beräkningarna baserades på månadsvisa mätningar. Beräkningar gjordes utifrån medelvärden för månadsvisa koncentrationer och nedfall för den analyserade perioden, med månaderna uppdelade på sommar och vinterhalvår. Utifrån dessa månadsvisa medelvärden för de olika platserna beräknades sedan den årsvisa depositionen. Dessa värden är att betrakta som medelvärden för den analyserade perioden 2001-2008. Resultaten redovisas i Tabell S1.

Utifrån den metodik som använts i studien beräknades det samlade nedfallet av baskatjoner till 400-900 ekv/ha/år för sydvästra delarna av Götaland, 200-300 ekv/ha/år för mellersta och östra Götaland samt för Svealand och 80-130 ekv/ha/år för Norrland. Andelen torrdeposition av totala depositionen av baskatjoner varierade mellan 30-70 % för sydvästra Götaland, 15-50 % för övriga Götaland och Svealand samt 5-25 % för Norrland.

Den metodik som använts inom studien behöver utvärderas ytterligare. En preliminär analys visade att kvoterna mellan koncentrationerna av de olika baskatjonerna till natrium var högre i skölvattnet från mätningarna av tratt under tak, jämfört med skölvattnet från strängprovtagarna. Även om skillnaderna i utformningen av dessa både surrogatytor är extrem, indikerar detta att utformningen av surrogatytorna kan påverka de beräknade värdena för torrdepositionen. En annan jämförelse gjordes med den metodik som används inom ICP Forest för att uppskatta nedfallet av baskatjoner till skog, den s.k. "Canopy Budget Model", CBM. CBM-metoden resulterade i ungefär samma värden för totaldepositionen av baskatjoner, jämfört med den metod som användes i innevarande studie. Detta är preliminära jämförelser som måste följas upp med ytterligare studier. Båda dessa jämförelser tyder dock på att metoden med strängprovtagare i varje fall inte överskattar torrdepositionen av baskatjoner.

Tabell S1. En sammanfattning av beräknade årliga depositioner av baskatjoner till skogen vid olika platser i Sverige, baserat på metoden med strängprovtagare i kombination med nettokrondropp för natrium. Platserna är ordnade från söder till norr. Nedfallet uttrycks som kg per hektar och år, förutom det summerade nedfallet av baskatjoner som uttrycks som ekvivalenter per hektar och år. Nedfallet är uppdelat i torr- och våtdeposition samt summerat torr + våt. Torrdepositionens procentuella andel av totala depositionen visas också. Värdena utgör representativa medelvärden för perioden 2001-2008.

	Long	Lat	Ca ²⁺ kg/ha/år				Mg ²⁺ kg/ha/år			
			Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	0.8	2.6	3.4	23	0.7	1.8	2.5	28
Timrilt	131640	564637	3.3	2.6	5.9	56	4.9	1.3	6.2	78
Gårdsjön	123000	584000	2.0	1.6	3.6	55	3.3	1.8	5.1	65
Hensbacka	117380	582614	1.5	2.2	3.7	41	2.2	2.3	4.4	49
Blåbärskullen	129100	594916	0.2	1.7	1.8	9	0.1	0.7	0.8	13
Fagerhult	153460	573041	0.5	2.5	3.0	16	0.2	0.7	0.9	24
Rockneby	163210	565121	1.0	1.2	2.2	46	0.4	0.4	0.8	52
Edeby	169840	585707	0.4	1.4	1.8	21	0.2	0.4	0.6	28
Storulvsjön	163410	621647	0.1	1.2	1.3	10	0.0	0.3	0.4	13
Gammtratten	180600	635100	0.2	0.7	0.9	18	0.1	0.2	0.2	22
Högbränna	181070	652419	0.1	0.9	0.9	8	0.1	0.3	0.3	16
Myrberg	206290	660356	0.0	0.9	0.9	2	0.0	0.2	0.2	3
			K ⁺ kg/ha/år				Na ⁺ kg/ha/år			
			Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	0.9	1.6	2.5	37	8.6	12.0	20.6	42
Timrilt	131640	564637	2.6	1.3	3.8	67	36.8	10.3	47.1	78
Gårdsjön	123000	584000	1.9	1.0	3.0	65	32.5	12.3	44.8	73
Hensbacka	117380	582614	1.3	1.3	2.6	52	17.8	17.2	35.0	51
Blåbärskullen	129100	594916	0.8	1.4	2.1	36	3.2	3.7	6.9	47
Fagerhult	153460	573041	0.9	2.7	3.6	25	2.1	2.9	5.0	42
Rockneby	163210	565121	1.1	0.7	1.8	60	3.5	1.6	5.0	69
Edeby	169840	585707	0.8	0.9	1.7	46	1.9	1.8	3.7	52
Storulvsjön	163410	621647	0.4	0.8	1.2	34	0.6	1.0	1.7	38
Gammtratten	180600	635100	0.3	0.3	0.6	44	0.6	0.8	1.4	41
Högbränna	181070	652419	0.2	0.6	0.8	27	0.1	0.7	0.9	13
Myrberg	206290	660356	0.2	0.7	0.8	19	0.1	0.7	0.8	16

Tab.S1, forts

	Long	Lat	Baskatjoner (Ca+Mg+K)		ekv/ha/år	
			Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	122	319	441	28
Timrilt	131640	564637	635	273	908	70
Gårdsjön	123000	584000	426	257	683	62
Hensbacka	117380	582614	293	331	623	47
Blåbärskullen	129100	594916	35	173	209	17
Fagerhult	153460	573041	63	250	313	20
Rockneby	163210	565121	111	108	220	51
Edeby	169840	585707	53	131	184	29
Storulvsjön	163410	621647	21	109	130	16
Gammtratten	180600	635100	19	59	78	24
Högbränna	181070	652419	14	82	95	14
Myrberg	206290	660356	6	83	88	6

Motsvarande resultat som i Tabell S1, där bidraget från havssalt frändragits, redovisas i Bilaga 1.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
1 Inledning.....	8
2 Bakgrund.....	8
2.1 Nedfallet av baskatjoner till skogen	8
2.2 Processer av betydelse för torrdepositionen av baskatjoner.....	9
2.3 Emissioner av baskatjoner.....	10
2.4 Tidigare använd metodik för att uppskatta torrdepositionen av baskatjoner	11
2.5 En metod för uppskattning av torrdeposition till skog	11
3 Syfte.....	12
4 Datakällor	12
5 Nedfall av baskatjoner i kron dropp och på öppet fält.....	14
6 En metod för uppskattning av den partikelbundna torrdepositionen till skog.....	16
6.1 Metodik.....	16
6.1.1 Strängprovtagare.....	16
6.1.2 Korrigering för torrdeposition till öppet-fält provtagare	17
6.1.3 Korrigering för advektion från kringliggande skog.....	21
6.2 Tillvägagång för att beräkna totaldepositionen av baskatjoner till skog.....	24
6.2.1 Granskning, kvalitetskontroll och urval av data	24
7 Resultat.....	26
7.1 Nettokron dropp av natrium.....	26
7.2 En jämförelse mellan parallella mätningar av torrdepositionen av natrium	27
7.3 Koncentrationen av olika ämnen i proven från strängprovtagarna	30
7.4 Beräknad våt- och torrdeposition.....	31
7.4.1 Variation över året.....	31
7.4.2 Årlig deposition under perioden 2001-2008.....	35
7.4.3 Medelvärden under perioden.....	37
7.5 Geografisk variation i årlig deposition.....	41
8 Kartor över det totala nedfallet av baskatjoner till Sveriges skogar	47
9 En jämförelse med andra beräkningsmetoder.....	51
10 Diskussion om användning och begränsningar vad gäller resultaten	52
11 Ytterligare behov av forskning och utveckling.....	54
12 Tack	54
13 Referenser.....	55
14 Bilaga 1.....	57

1 Inledning

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet tagit fram en förbättrad metod för att uppskatta det samlade nedfallet av baskatjoner till den svenska skogen, vilket inkluderar såväl våt- som torrdeposition.

Det är problematiskt att beräkna det samlade nedfallet av baskatjoner till skogsekosystemen utifrån nedfallsmätningar på öppet fält och i krondropp. Uppskattningarna av det samlade nedfallet kompliceras av att baskatjonerna kan tas upp till och läcka ut från trädkronorna. Man har därför tidigare haft svårigheter med att beräkna det totala nedfallet till skog i Sverige utifrån empiriska mätningar, vilket i sin tur har medfört osäkerheter bl. a. kring i vad mån nedfallet av baskatjoner kan kompensera för förlusterna av baskatjoner i samband med uttaget av biomassa från svensk skogsmark.

Inom projektet har en förbättrad metod tagits fram för att uppskatta det totala nedfallet av baskatjoner till skogen, 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 Krondropps nätet, www.krondroppsnetet.ivl.se.

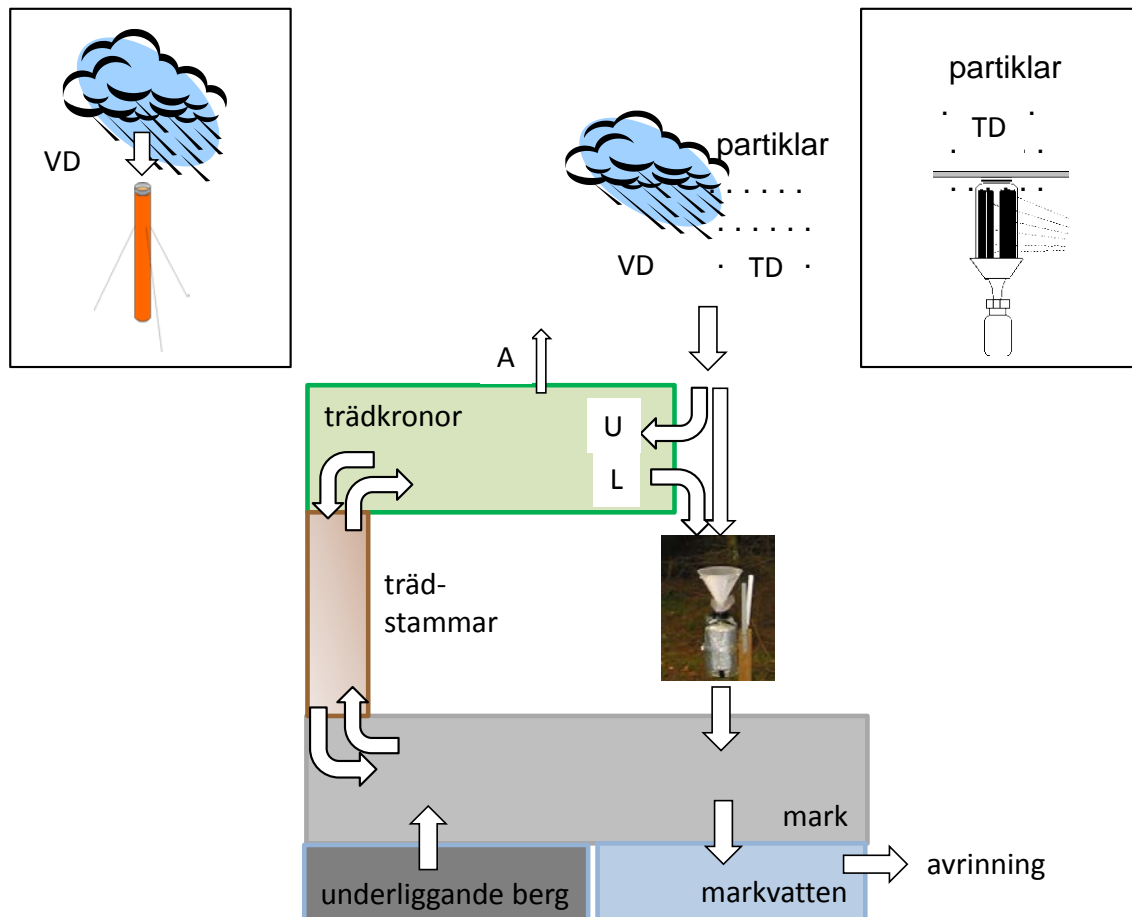
2 Bakgrund

2.1 Nedfallet av baskatjoner till skogen

Nedfallet av baskatjoner utgör en betydelsefull faktor när det gäller att bedöma om baskatjonerna räcker till för att kompensera den bortförel som sker i samband med uttag av biomassa från de svenska skogsekosystemen (Westling & Lövblad, 2004, Akselsson m.fl., 2007). Mycket tyder på att det framtida uttaget av biomassa från den svenska skogen kommer att öka. Nedfallet av baskatjoner till skogen utgör dessutom en betydelsefull faktor vad gäller att neutralisera det sura nedfallet och därmed för att bedöma denna kritiska belastning för försurning av de svenska skogarna.

Det samlade nedfallet av baskatjoner till skog involverar flera olika processer (Figur 1). En del av nedfallet till skogen sker via nederbörden (våtdeposition, VD), en annan del sker som en avsättning av gaser och partiklar till trädkronorna (torrdeposition, TD). En del av torrdepositionen 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. De baskatjoner som fastläggs direkt i trädkronorna når inte provtagarna för krondropp, och medför därmed en underskattning av nedfallet via krondropp. Det kan slutligen finnas en re-emission av ämnen i gasfas, dvs en avgång till atmosfären (A). Det som uppmäts som krondropp kan således sammanfattas som:

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



Figur 1. En illustration av de flöden och processer som är av betydelse vid mätning av deposition i kronddropp. Överst till vänster illustreras nederbördsprovtagningen över öppet fält som egentligen avser att representera nedfallet via nederbörden till skogsbeståndet. Överst till höger illustreras provtagning av torrdeposition med strängprovtagare under tak.

2.2 Processer av betydelse för torrdepositionen av baskatjoner

Torrdeposition kan definieras som en transport av gasformiga och partikelbundna ämnen från atmosfären till olika ytor som sker oberoende av nederbörd (Seinfeld & Pandis, 2006). Det är dock viktigt att påpeka att torrdeposition sker även när det regnar.

Torrdepositionen beror av koncentrationen av ämnen i luften multiplicerat med en faktor, den s.k. depositionshastigheten, v_d . Torrdepositionen av partiklar till skogsekosystemen beror av flera faktorer såsom vindstyrka, turbulens, ytans skrovlighet samt partiklarnas aerodynamiska diameter (Ruijgrok m. fl. 1997). Depositionshastighetens beroende av

partikelstorleken förefaller vara mindre vad gäller deposition till skog, jämfört med deposition till annan växtlighet (Pryor m. fl., 2008).

Torrdepositionen kan beskrivas i tre steg (Seinfeld & Pandis, 2006). Det första steget är en aerodynamisk transport genom luftlagret närmast marken. Nästa steg är en transport genom det tunna skikt av stationär luft som finns närmast ytan, det s.k. kvasi-laminära gränsskiktet. Det sista steget är upptaget till själva ytan.

Transporten genom det kvasi-laminära gränsskiktet kan ske genom diffusion och impaktion (gaser och partiklar) och/eller sedimentation (endast partiklar). Transporten genom gränsskiktet till en yta kan ske genom olika processer (Seinfeld & Pandis, 2006, Petroff m. fl., 2008) såsom s.k. interception, när partiklarna kolliderar med en yta som befinner sig i en luftström. En annan viktig process är s.k. impaktion, när luften är turbulent ”svänger” luftströmmarna ganska abrupt och partiklarnas rörelseenergi kan då medföra att de ”slungas” mot en yta som egentligen ligger utanför luftströmmen. Sedimentation kan också bidra till upptaget till ytor, i synnerhet för större partiklar. Mycket små, sub-mikrometer partiklar kan transporteras till ytor genom diffusion.

Partikel-depositionen är mycket hög till smala trådformade ytor, såsom barr. Torrdepositionen har ett minimum i partikelstorleksintervallet 0,1 – 1 µm. Där finner man bl.a. sot och ammoniumsulfat som kan långdistanstransporteras mellan länder (Slinn 1982). Kalium brukar återfinnas i partiklar som är större än dessa så kallade ”accumulation mode” partiklar. Havssaltpartiklarna är ännu större än kaliumpartiklarna och kalciumpartiklarna brukar vara störst av baskatjonerna (Ruijgrok m. fl., 1997, Staelens m. fl., 2007).

2.3 Emissioner av baskatjoner

Emissioner av baskatjoner kan ha både antropogent och naturligt ursprung (Westling, Lövblad, 2004). Natrium och magnesium kommer huvudsakligen från havssalt medan merparten av kalium och kalcium kommer från antropogena aktiviteter (Törseth m. fl. 1999). Också ”naturliga” emissioner påverkas av mänsklig aktivitet i samband med förändrad markanvändning etc. Partiklar innehållande baskatjoner emitteras i samband med förbränning av kol och ved samt i samband med olika industriella processer. Sannolikt emitteras baskatjoner i huvudsak i form av relativt grova partiklar, >30 µm (Lövsblad, 1987).

Mycket tyder på att nedfallet av baskatjoner över Europa har minskat under de senaste decennierna (Lövsblad, 1984, 1987, Hedin m. fl., 1994, Westling & Lövsblad, 2004). Dessa resultat är dock osäkra eftersom mätplatser har flyttats etc.

För Storbritannien har man beräknat att förbränning från fasta industriella anläggningar bidrar stort till emissionerna av kalcium (DEFRA, 200x). Man beräknar att emissionerna av kalcium har mer än halverats sedan 1990. Vad gäller magnesium beräknar man de största emissionerna från brytning av dolomit. Magnesiumemissionerna har minskat ännu mer än kalcium. När det gäller kalium beräknar man de största emissionerna från stålindustrin, följt av kolförbränning och fyrverkerier.

2.4 Tidigare använd metodik för att uppskatta torrdepositionen av baskatjoner

Den enklaste metoden för att uppskatta torrdepositionen av baskatjoner till skog bygger på förhållandet mellan det uppmätta värdet för Na^+ till öppet fält (våtdepositionen) och motsvarande värde för kron dropp (våt + torrdeposition), (Ulrich, 1983). Denna metod är baserad på antagandet att andelen torrdeposition är lika stor för de övriga baskatjonerna (Ca^{2+} , Mg^{2+} och K^+) som för Na^+ . Metoden kallas ”Canopy Budget Model” (CBM) och används bl a inom Luftkonventionen LRTAP, ICP Forest, där den används för att beräkna totaldepositionen av baskatjoner till skog (EC-UNECE, 2001).

En annan metod bygger på en ”Canopy Exchange Model” (CEM), där kron droppsdata, tillsammans med mätningar på öppet fält används för att uppskatta torrdepositionen av baskatjoner till skog (Westling m.fl., 1995). Beräkningen inkluderar alla viktiga huvudjoner, och baseras på jonbalansberäkningar och antaganden om hur olika joner cirkulerar i träd kronan. I modellberäkningen antas SO_4^{2-} och Na^+ i kron droppsmätningarna härstamma enbart från deposition, medan övriga joner antas modifieras i kron dropp, p.g.a. processer i träd kronan. Denna metod behandlas inte mer i denna rapport.

Törseth m. fl. (1999) använde sig av en kombination av mätningar av lufthalter av baskatjoner i kombination med antagna depositionshastigheter för att beräkna torrdepositionen av baskatjoner till olika platser i Norge.

Sammantaget involverar ovan beskrivna beräkningar en rad antaganden, som i huvudsak har utvärderats utifrån förhållanden med mycket hög luftföroreningsbelastning, såsom i Nederländerna och Danmark. Det behöver utvärderas om dessa metoder är tillämpliga för svenska förhållanden. Vi jämför därför resultaten från våra beräkningar baserat på strängprovtagare inom innevarande studie med resultaten från ICP Forests tidigare publicerade beräkningar.

2.5 En metod för uppskattning av torrdeposition till skog

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

Principerna för att använda strängprovtagare för att beräkna torrdeposition ligger i att använda depositionen av Na^+ som en biologiskt inert markör för torrdepositionen till träd kronorna. 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 nettokron droppet för Na^+ till skogen vid provplatsen. Nettokron droppet av Na^+ utgör ett mått på torrdepositionen av Na^+ . Metoden beskrivs vidare i kapitel 6.

Metoden med nettokrondropp för natrium i kombination med strängprovtagare har tidigare testats vid 11 mätlokaler inom Krondropps nätet 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.

3 Syfte

Syftet med denna studie var att beräkna den totala depositionen av baskatjoner till svensk skog utifrån en förbättrad empirisk metod. Vi avsåg att göra en yttäckande beräkning av nedfallet till skogen i Sverige genom att:

- Utveckla en förbättrad metodik för att beräkna total deposition till skog.
- Göra beräkningar av total deposition till skog för så många olika lokaler som möjligt och över en så lång tidsperiod som möjligt.
- Göra beräkningar av nedfallet av baskatjoner till skogen över Sverige representativt för 2000-talet.

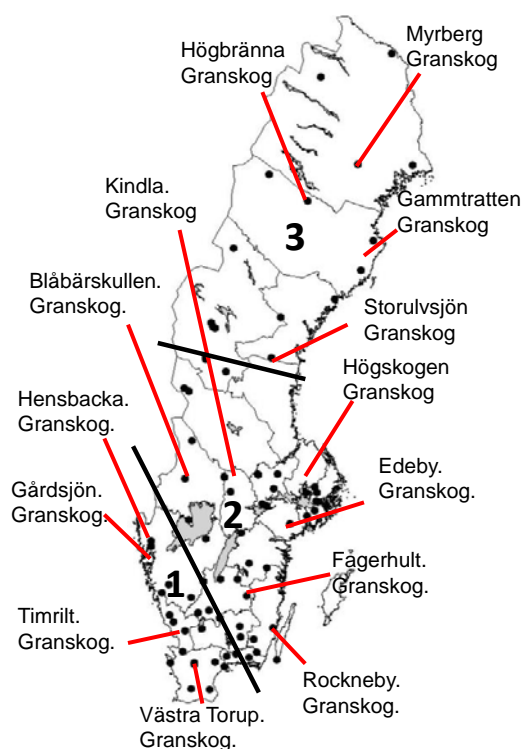
4 Datakällor

Mätdata som används inom studien härrör från 11 lokaler inom Krondropps nätet, med en relativt god geografisk täckning från söder till norr (Figur 2 & Tabell 1). Krondropps nätet (www.krondroppsnetet.ivl.se) drivs sedan 1985 på uppdrag av främst luftvårdsförbund och länsstyrelser av IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Även Naturvårdsverket finansierar en del mätningar inom Krondropps nätet, främst på öppet fält. Deposition av luftföroreningar mäts månadsvis, dels på öppet fält, dels som krondropp i skogen. I denna studie används enbart mätningar för platser och perioder där parallella mätningar av nederbördsprovtagning på öppet fält, krondroppsmätningar samt mätningar med strängprovtagare fanns tillgängligt. Alla krondroppsytter som används i denna studie är bevuxna med granskog.

För att ytterligare öka den geografiska täckningen används även data från tre mätlokaler inom nätverket ”Integrerad Miljöövervakning” (IM), som verkar under konventionen om långväga transporterade luftföroreningar, LRTAP, Gårdsjön, Kindla samt Gammtratten.

Tabell 1. Information om de 14 lokaler som används i studien. Trädslaget är i samtliga fall gran.

Lokal	Län	Mät nätverk	Long	Lat	Använd mätperiod
Västra Torup	Skåne	Krondropps nätet	13.51	56.14	2001-2008
Timrilt	Halland	Krondropps nätet	13.16	56.77	2001-2008
Rockneby	Kalmar	Krondropps nätet	16.32	56.86	2001-2008
Fagerhult	Jönköping	Krondropps nätet	15.35	57.51	2001-2008
Hensbacka	V Götaland	Krondropps nätet	11.74	58.44	2001-2008
Gårdsjön	V Götaland	IM	12.30	58.40	2001-2008
Edeby	Södermanland	Krondropps nätet	16.98	58.95	2001-2008
Kindla	Örebro	IM	14.90	59.75	2004-2008
Blåbärskullen	Värmland	Krondropps nätet	12.91	59.82	2001-2008
Högskogen	Uppsala	Krondropps nätet	17.22	60.01	2001-2003
Storulvsjön	Västernorrland	Krondropps nätet	16.34	62.28	2001-2008
Gammtratten	Västerbotten	IM	18.10	63.85	2001-2008
Högbränna	Västerbotten	Krondropps nätet	18.11	65.41	2001-2008
Myrberg	Norrbottn	Krondropps nätet	20.63	66.07	2001-2007



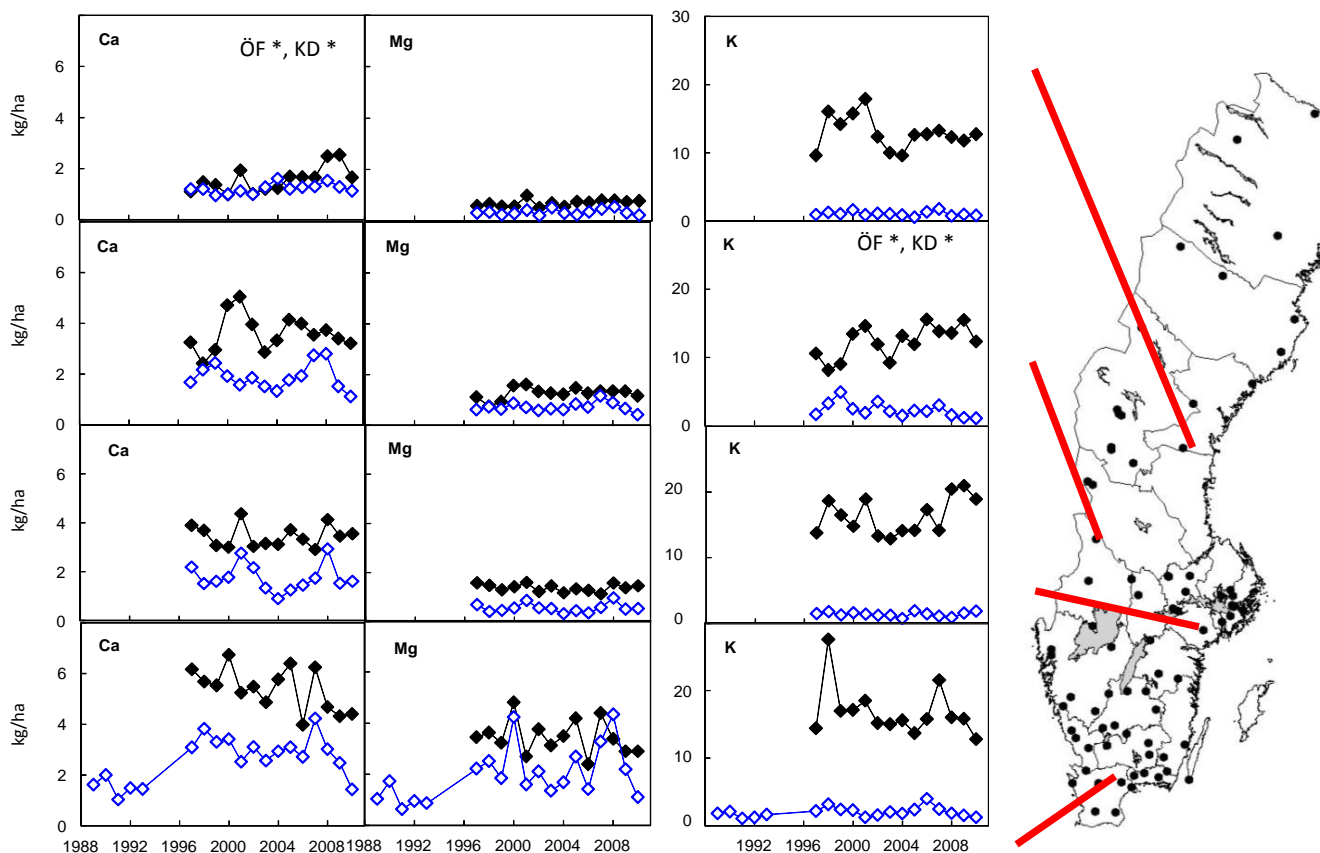
Figur 2. Lokaler som används i denna studie. Uppdelning av mätplatserna i zoner indikeras med skiljelinjer som tjocka svarta streck, och numrering med svarta siffror.

Zon 1 omfattar Skåne och västkusten, zon 3 omfattar Norrland och zon 2 omfattar resterande delar av Sverige.

5 Nedfall av baskatjoner i krondropp och på öppet fält

I Figur 3 visas årsvisa värden för nedfallet av baskatjoner via krondropp och över öppet fält vid fyra platser inom Krondroppsnätet. För alla baskatjoner och vid alla lokaler är nedfallet till marken via krondroppet genomgående större jämfört med bulkdepositionen på öppet fält, i många fall många gånger större. För Ca^{2+} och Mg^{2+} är nedfallet via krondropp i storleksordningen dubbelt så stort jämfört med öppet fält, med undantag av Ca^{2+} vid den nordligaste lokalen Storulvsjön. Vad gäller K^+ är nedfallet via krondropp många gånger större. Sammantaget tyder dessa jämförelser på ett betydande läckage av baskatjoner, i synnerhet K^+ , från träd Kronorna. Detta stämmer väl överens med vad som rapporterats från tidigare studier (t ex Adriaenssens m. fl., 2012). En alternativ förklaring skulle vara att torrdepositionen av dessa ämnen till skogen skulle vara mycket hög.

Skillnaden i nedfallet av baskatjoner mellan krondropp och på öppet fält tyder på ett betydande läckage av baskatjoner från träd Kronorna, alternativt en mycket hög torrdeposition.



Figur 3. Årligt nedfall av Ca^{2+} , Mg^{2+} och K^+ (kg/ha/år) vid Västra Torup (nederst), Edeby (näst nederst), Blåbärskullen (näst överst) samt Storulvsjön (överst). Positionerna för de olika platserna indikeras med röda streck. Nedfallet har uppmätts på öppet fält (ÖF, öppna blå symboler) och i kron dropp (KD, svarta symboler). Resultaten visas summerade för hydrologiskt år (1 okt – 30 sept). Statistiskt säkerställda förändringar över tid indikeras med stjärna invid beteckningen ÖF respektive KD.

● Kron dropp
 ◆ Öppet fält

6 En metod för uppskattning av den partikelbundna torrdepositionen till skog

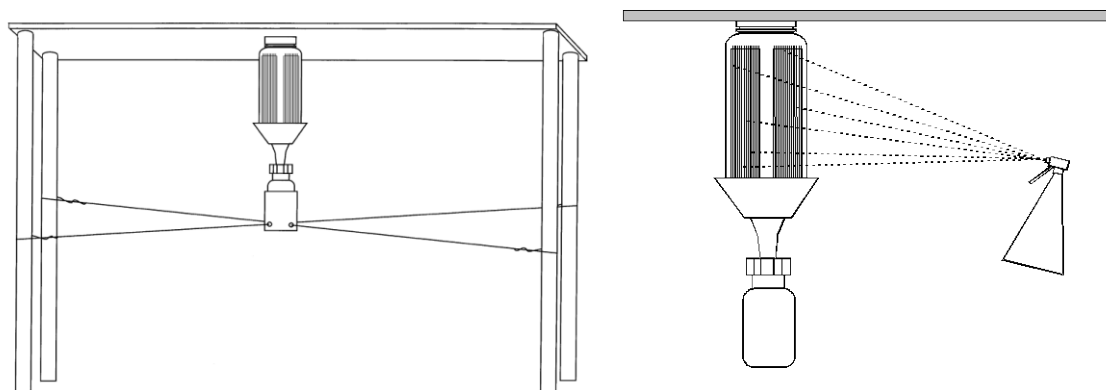
6.1 Metodik

6.1.1 Strängprovtagare

Utvecklingen av en alternativ metod för att beräkna den partikelbundna torrdepositionen av olika ämnen till skogsekosystem har beskrivits ovan (se kap 2.5). Metoden baseras på nettokrondroppet till skog för natrium, Na^+ , samt depositionen av olika ämnen till teflontrådar uppsatta under ett tak, s.k. strängprovtagare (Ferm & Hultberg, 1995, 1999).

Torrdeposition av olika ämnen uppskattas genom användandet av strängprovtagare gjorda av teflon (Figur 4).

Teflonsträngarna tvättas av en gång i månaden genom att de sprayas med avjoniserat vatten. Munstycket ställs in så att en fin dimma bildas. Vintertid tas hela provtagaren och sprayas inomhus. Vattnet samlas upp och skickas för analys.



Figur 4. En illustration av mätutrustningen med strängprovtagare under tak. Illustrationen uppe till vänster är hämtad från Ferm & Hultberg (1999).



6.1.2 Korrigering för torrdeposition till öppet-fält provtagare

Det är viktigt att nettokrondroppet av Na^+ är korrekt uppskattad eftersom det är en central parameter för metoden. Provtagarna för bulkdeposition på öppet fält har visat sig samla in även en viss mängd torrdeposition. Baserat på mätningar i trattar under tak har denna torrdeposition i medeltal beräknats till mellan 10 och 30 % för flertalet ämnen (som % av våtdeposition) (Persson m.fl., 2004, Hellsten & Westling, 2006). Torrdepositionen till bulkprovtagarnas trattar medför att våtdepositionen kan överskattas och nettokrondroppet därmed underskattas.

Inom denna studie har metodiken för att korrigera för torrdepositionen till öppet fält provtagarna förfinats ytterligare genom den procedur som beskrivs nedan.

Under perioden april 2001 – december 2004 genomfördes ett projekt med målsättningen att kvantifiera andelen torrdeposition till provtagarna som används på öppet fält. Projektet gick under namnen ”Tratt Under Tak” (TUT, Figur 5). Vid 11 provytor inom krondroppsnetet fördelade över landet (Tabell 1) mättes parallellt, månadsvis året runt nedfall på öppet fält (ÖF) samt till en identisk tratt placerad under tak (Figur 5). I likhet med strängprovtagarna tvättas tratten en gång i månaden genom att spraya avjoniserat vatten. Vattnet samlas upp och skickas in för analys. I tratten finns en innertratt som förhindrar skräp, t.ex. löv och insekter, att falla ned i dunken. I dunken finns en plastpåse som byts vid varje provtagningstillfälle. För att få en jämförbarhet sköljdes även tratten på bulkprovtagaren på öppet fält vid varje provtagningstillfälle och sköljvattnet ingick i provet. Nederbördsmängden korrigerades för volymen sköljvatten.

För varje månad under de perioder som ingick i innevarande studie beräknades en korrektionsfaktor, F_{torr} , för torrdepositionen till tratt enligt nedan.

$$F_{\text{torr}} = 1 - (\text{TUT}/\text{ÖF}).$$

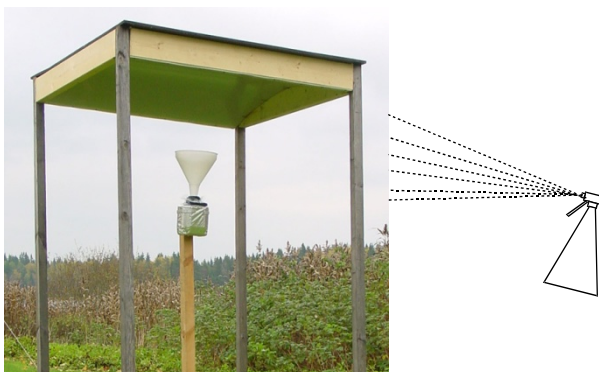
ÖF; månadsvis deposition till provtagare på öppet fält (g/ ha/ mån)

TUT; månadsvis deposition till provtagare under tak (g/ ha/ mån)

Detta blir således den faktor som man skall multiplicera bulkdepositionen med för att få våtdepositionen. Vid $F_{\text{torr}} = 1.0$ består allt nedfall till provsamlaren av våtdeposition; vid $F_{\text{torr}} = 0.0$ består allt nedfall till provsamlaren av torrdeposition.

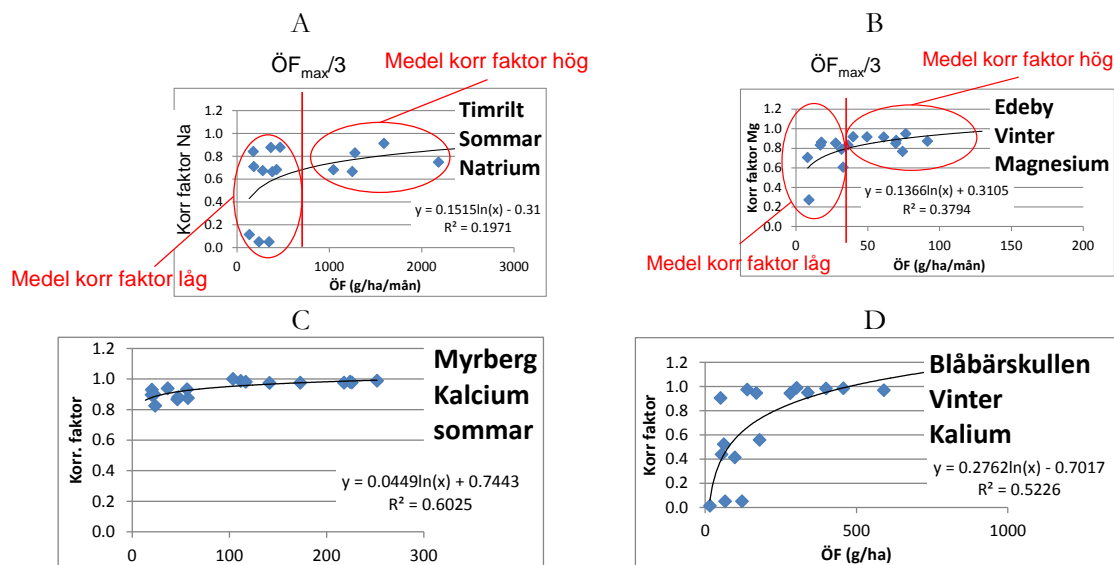
Ett urval av månadsvisa data gjordes för analysen utifrån principerna nedan.

- Månader där ÖF provvolym understeg 5 mm uteslöts för att minimera mätfel beroende på små nederbördsmängder.
- Alla negativa värden för F_{torr} har ersatts med värdet 0.05, för att indikera att nedfallet denna månad huvudsakligen, men inte endast, skett som torrdeposition, detta eftersom det faktiskt fanns en uppmätt nederbörd för dessa tillfällen.
- Om ansatta värden till 0.05 ensamma bidrar alltför starkt till trendlinjen har dessa tillfällen istället strukits.
- Sommar och vinterhalvår har analyserats separat men värden för helår ges även.



Figur 5. En illustration av mätutrustningen med tratt under tak (TUT).

I Figur 6 visas fyra exempel där månadsvisa beräknade korrektionsfaktorer, F_{torr} , för natrium vid Timrilt i Hallands län, för magnesium vid Edeby, i Södermanlands län, för kalcium vid Myrberg i Norrbottens län samt för kalium vid Blåbärskullen i Värmlands län har plottats mot bulkdepositionen på öppet fält för motsvarande månad. Det framträdde ett relativt tydligt mönster med värden för F_{torr} nära 1.0 vid höga värden på bulkdepositionen. Vid låga värden på bulkdepositionen var värdena på F_{torr} avsevärt lägre, även om spridningen var stor.



Figur 6. Fyra exempel där månadsvisa beräknade korrektionsfaktorer för natrium sommarhalvår vid Timrilt i Hallands län (A), för magnesium vinterhalvår vid Edeby, i Södermanlands län (B), för kalcium sommarhalvår vid Myrberg, Morrbottens län (C) samt kalium vintertid vid Blåbärskullen i Värmlands län. I figurerna A och B indikeras hur korrektionsfaktorerna medelvärdesbildades för högt respektive lågt depositionsintervall på öppet fält.

Korrektionsfaktor, F_{torr} , = $1 - (\text{TUT}/\text{ÖF})$.

ÖF; månadsvis deposition till provtagare på öppet fält (g/ ha/ mån)

TUT; månadsvis deposition till provtagare under tak (g/ ha/ mån)

Det finns en logik i att korrigeringen för torrdeposition till tratten blir större vid de tillfällen då nedfallet till öppet fält är litet. Man kan anta att torrdepositionen till trattarna är relativt konstant medan nedfallet med nederbörden varierar kraftigt mellan olika månader beroende på vädersituationen. Detta medför givetvis att andelen torrdeposition till trattarna i förhållande till den sanna våtdepositionen blir större för månader med lite nederbörd.

Baserat på ovanstående analys, användes separata korrektionsfaktorer för när depositionen på öppet fält var större respektive mindre än en tredjedel av det maximala nedfallet på öppet fält ($\text{ÖF}_{\text{max}}/3$) vid respektive plats för den tid som mätvärden finns tillgängliga. Dessutom beräknades separata värden för F_{torr} för sommar respektive vinterhalvår (Tabell 2).

Som framgår av exemplen i Figur 6 ovan var spridningen i korrektionsfaktorerna mycket stor för månader när värdet för nedfallet på öppet fält var lågt. För månader då nedfallet på öppet fält var stort var dock spridningen relativt liten. Korrektionsfaktorn får givetvis störst betydelse för summeringen av den årliga våtdepositionen för de månader när nedfallet på öppet fält var stort.

De värden som visas i Tabell 2 användes vid de fortsatta beräkningarna inom innevarande studie. Det finns emellertid ett värde i att generalisera resultaten i Tabell 2 så att de kan användas för korrigeringar även av mätningar som görs vid andra platser. Därför redovisas som medelvärden, uppdelat i tre geografiska zoner (Tabell 3). Zon 1 omfattar Skåne och västkusten, zon 3 Norrland och zon 2 övriga delar av Sverige, se Figur 2.

Värdena anges dels uppdelat i sommar/vinter och hög/låg, enligt ovan, dels som ett medelvärde för alla tillgängliga månadsvisa mätningar under perioden. Det är i det sistnämnda fallet viktigt att påpeka att dessa årliga värden gäller under de förutsättningar som varit under respektive mätplatser under mätperioden med dess fördelning mellan månader med hög respektive låg deposition till öppet fält.

Tabell 2. Faktorer som har använts för att korrigera månadsvisa värden för deposition på öppet fält till våtdeposition, för olika ämnen och för vinter respektive sommarhalvår. För varje månad beräknades en korrektionsfaktor, F_{torr} , för torrdepositionen till tratt enligt följande:

$$F_{\text{torr}} = 1 - (\text{TUT} / \text{ÖF}).$$

ÖF; månadsvis deposition till provtagare på öppet fält (g/ ha/ mån)

TUT; månadsvis deposition till provtagare under tak (g/ ha/ mån)

Hög, $\text{ÖF} > \text{ÖF}_{\text{max}}/3$; Låg, $\text{ÖF} < \text{ÖF}_{\text{max}}/3$.

Dettas medför att vid $F_{\text{torr}} = 1.0$ består allt nedfall till provsamlaren av våtdeposition; vid $F_{\text{torr}} = 0.0$ består allt nedfall till provsamlaren av torrdeposition

Värdena har markerats med olika färger baserad på s.k. "Conditional formatting" i MicroSoft EXCEL.

		V Torup	Tim- rilt	Rock- neby	Fager- hult	Hens- backa	Ede- by	Hög- skogen	Blåbär- skullen	Stor- ulvsjön	Hög- bränna	Myr- berg
Korr- faktor Ca	vinter hög	0.91	0.91	0.88	0.94	0.78	0.88	0.94	0.97	0.98	0.86	0.94
	vinter låg	0.89	0.54	0.79	0.86	0.91	0.75	0.84	0.83	0.84	0.88	0.86
	sommar hög	0.89	0.76	0.86	0.92	0.77	0.92	0.94	0.99	0.95	0.94	0.98
	sommar låg	0.79	0.71	0.85	0.83	0.73	0.84	0.86	0.89	0.83	0.93	0.89
Korr- faktor Mg	vinter hög	0.86	0.87	0.86	0.87	0.76	0.84	0.90	0.92	0.89	0.88	0.91
	vinter låg	0.86	0.60	0.71	0.87	0.87	0.70	0.83	0.87	0.81	0.89	0.78
	sommar hög	0.89	0.84	0.87	0.92	0.75	0.91	0.94	0.94	0.95	0.95	0.94
	sommar låg	0.82	0.72	0.76	0.78	0.57	0.81	0.84	0.75	0.86	0.87	0.88
Korr- faktor Na	vinter hög	0.83	0.79	0.83	0.83	0.77	0.84	0.83	0.86	0.82	0.82	0.82
	vinter låg	0.82	0.41	0.51	0.72	0.81	0.72	0.57	0.74	0.32	0.69	0.39
	sommar hög	0.85	0.77	0.81	0.86	0.68	0.91	0.88	0.94	0.84	0.98	0.81
	sommar låg	0.63	0.55	0.64	0.61	0.59	0.78	0.73	0.78	0.74	0.82	0.68
Korr- faktor K	vinter hög	0.87	0.88	0.94	0.85	0.69	0.83	0.84	0.97	0.93	0.98	0.85
	vinter låg	0.85	0.69	0.69	0.68	0.83	0.76	0.71	0.49	0.66	0.69	0.84
	sommar hög	0.62	0.87	0.84	0.81	0.61	0.72	0.67	0.94	0.74	0.59	0.78
	sommar låg	0.54	0.54	0.57	0.72	0.60	0.72	0.67	0.76	0.71	0.71	0.79

Tabell 3. Faktorer som har använts för att korrigera månadsvisa värden för deposition på öppet fält till våtdeposition, för olika ämnen och för olika årstider samt helår, uppdelat i tre geografiska zoner. Zon 1 omfattar Skåne och västkusten, zon 3 Norrland och zon 2 övriga delar av Sverige, se Figur 2.

	Zon 1	Zon 2	Zon 3
Ca_vinter hög	0.87	0.92	0.93
Ca_vinter låg	0.78	0.81	0.86
Ca_sommar hög	0.81	0.92	0.96
Ca_sommar låg	0.74	0.85	0.89
Ca, hela året, alla	0.78	0.87	0.90
Mg_vinter hög	0.83	0.87	0.89
Mg_vinter låg	0.78	0.79	0.83
Mg_sommar hög	0.83	0.91	0.95
Mg_sommar låg	0.70	0.78	0.87
Mg, hela året, alla	0.76	0.85	0.89
Na_vinter hög	0.80	0.84	0.82
Na_vinter låg	0.68	0.67	0.46
Na_sommar hög	0.77	0.88	0.87
Na_sommar låg	0.59	0.71	0.74
Na, hela året, alla	0.69	0.78	0.76
K_vinter hög	0.82	0.90	0.92
K_vinter låg	0.79	0.65	0.73
K_sommar hög	0.70	0.83	0.71
K_sommar låg	0.56	0.69	0.74
K, hela året, alla	0.72	0.72	0.71

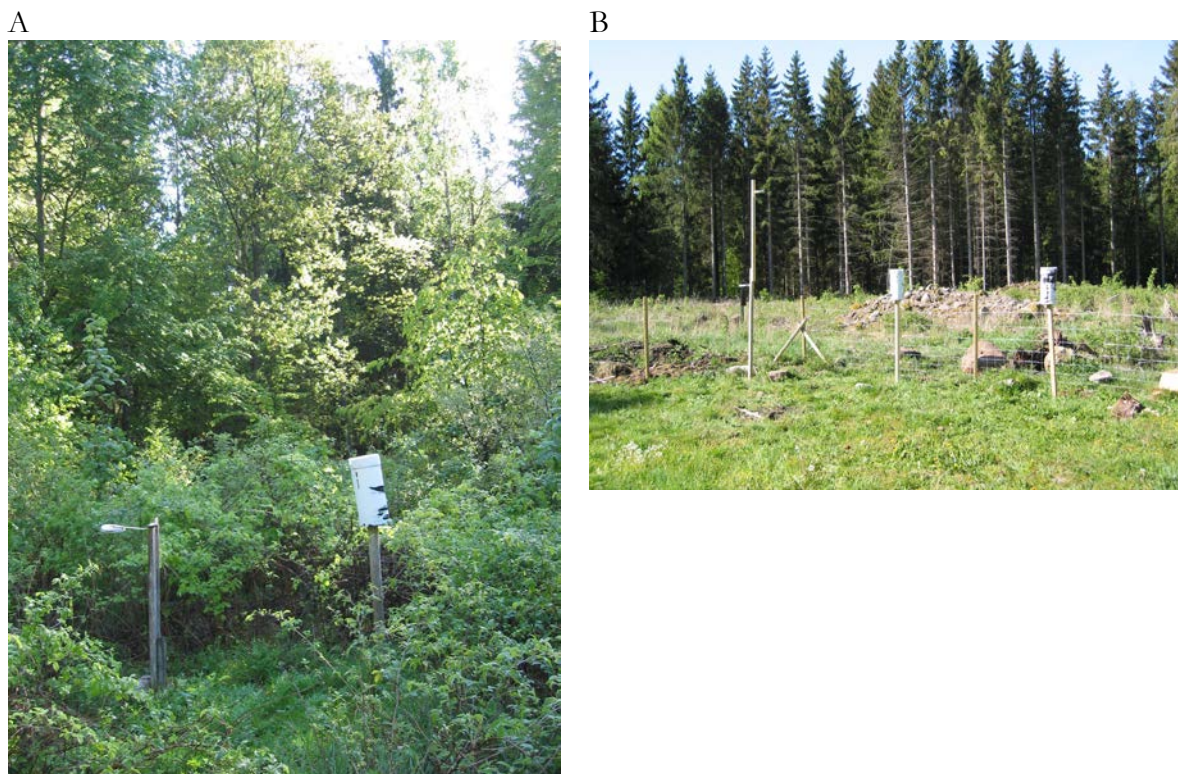
6.1.3 Korrigering för advektion från kringliggande skog

För flera av baskatjonerna föreligger en betydande interncirkulation inom skogsekosystemen, beroende framför allt på ett läckage ut från trädtopparna (Adriaenssens m. fl., 2012). I synnerhet är interncirkulationen för K^+ mycket hög. Om advektion (transport i horisontal-led, motsats till konvektion, transport i vertikal-led) på ett betydande sätt bidrar till nedfallet som uppmäts med provsamlarna på öppet fält, genererar detta en artefakt eftersom detta blir en interncirkulation av baskatjoner inom den närmaste omgivningen.

Blåsiga dagar kan turbulenta vindar transportera ämnen från närliggande skogsbryn till en provtagare på öppet fält om avståndet är för litet mellan provtagaren och skogsbrynet. Denna interncirkulation bidrar inte till att öka mängden tillgängliga baskatjoner inom ett trädbestånd eller inom ett avrinningsområde. Det finns ett regelverk att vinkeln mellan en linje horisontellt från övre delen av provtagarens tratt till närmaste trädtoppar skall överstiga 30°. vilket motsvarar att avståndet till närmsta träd ska vara två gånger höjden på trädet (ICP Forests manual). Med tiden växer sig närliggande skog högre vilket kan medföra att vinkeln med tiden inte uppfyller kraven.

För att analysera betydelsen av advektion för eventuellt bidrag från kringliggande skog till mätningarna av bulkdeposition på öppet fält utnyttjades mätdata från en mätplats inom Luft och Nederbördskemiska Nätet, Sannen i Blekinge län. Sannen ligger beläget norr om

Ronneby. Provsamlaren flyttades i maj 2009 ca 200 m till ett öppet fält (Figur 7), på grund av att skogen runt mätplatsen vuxit sig hög.



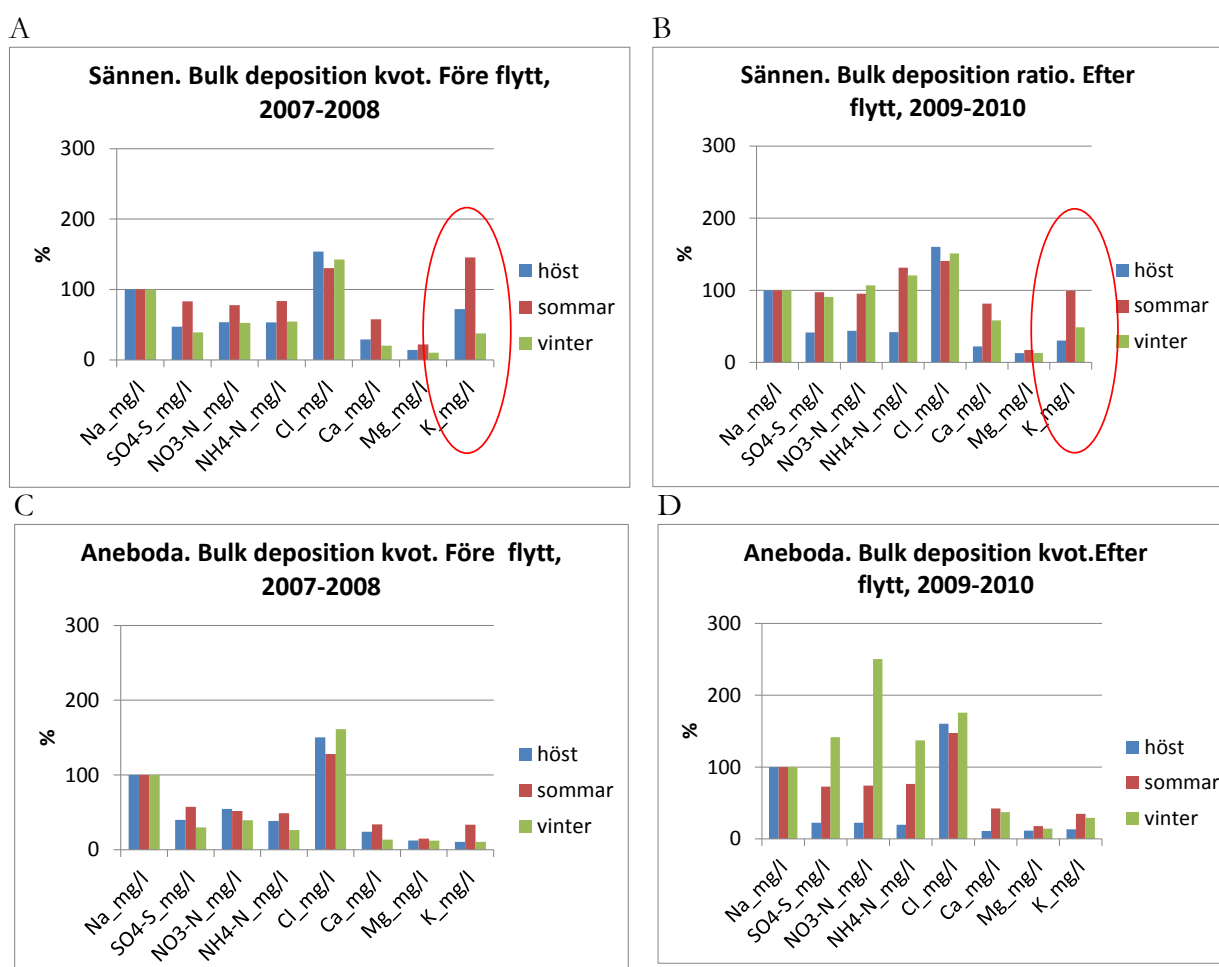
Figur 7. Fotografier av mätplatser vid Sännen, inom Luft och Nederbördskemiska Nätet, i Blekinge län, före (A) och efter flytten av mätningarna till en ny plats på ett öppet fält.

Koncentrationerna av olika ämnen i nederbörden provtaget månadsvis på öppet fält vid Sännen jämfördes för två olika tidsperioder; före flytten av provtagaren vid Sännen (jan 2007-dec 2008) samt efter flytten av provtagaren vid Sännen (juni 2009 – dec 2010) (Figur 8). Koncentrationerna av olika ämnen jämfördes med koncentrationen av natrium (Na) och uttrycktes som procent. Analyserna gjordes månadsvis, separat för höst (sep-nov), sommar (jun-aug) och vinter (dec-feb). Detta innebar att varje kategori värden bestod av sex replikat (2 år, tre månader inom varje årstid). Vårmanaderna analyseras ej eftersom flytten skedde under våren.

För att eliminera skillnader mellan åren som inte berodde av flytten gjordes motsvarande analys för nederbörden provtaget månadsvis på öppet fält vid Aneboda, belägen ca 20 km norr om Växjö. Denna mätplats inom nätverket Integrerad Miljöövervakning (IM) ligger belägen på en stor mosse och påverkas sannolikt inte i någon betydande utsträckning av omkringliggande skog.

Analysen av nederbördskemin vid Sännen före och efter flytten tydde på att koncentrationen av kalium, jämfört med natrium, var något högre före flytten för sommar och höstmånaderna, jämfört med efter flytten. Före flytten var kvoten K/Na 1.5 för sommarmånaderna jämfört med 1.0 efter flytten. För vårmånaderna var motsvarande

värden 0.7 respektive 0.3. För vintermånaderna ökade däremot kvoten något, 0.38 före flytt, 0.49 efter. Motsvarande förändringar i kvoterna mellan K/Na framgick inte för Aneboda, förutom möjligen ökningen vintertid. Kvoterna K/Na var genomgående mycket lägre vid Aneboda jämfört med Sännen. Vad gäller kvoten Ca/Na sommar- och vintertid vid Sännen ökade den efter flytten, från 0.58 till 0.82 (sommar) respektive från 0.20 till 0.58 (vinter). Vid Aneboda var motsvarande ökning sommartid mycket liten, från 0.34 till 0.42, men större vintertid från 0.13 till 0.37 vintertid. Vintern 2009/2010 var mycket snörik. Det är således lite svårt att avgöra vad som påverkade förändringen i kvoten Ca/Na vid Sännen, flytten eller vädret. Helt klart förändrades kvoterna K/Na och Ca/Na vid Sännen i olika riktningar före och efter flytten.



Figur 8. En jämförelse av koncentrationerna av olika ämnen i nederbörden provtaget på öppet fält vid två olika platser; Sännen i Blekinge län och Aneboda i Kronobergs län. Jämförelserna görs för två olika tidsperioder; före flytten av provtagaren vid Sännen (jan 2007-dec 2008) samt efter flytten av provtagaren vid Sännen (juni 2009 – dec 2010). Koncentrationerna av olika ämnen jämförs med koncentrationen av natrium (Na) och uttrycks som %. Analyserna görs månadsvis, separat för höst (sep-nov), sommar (jun-aug) och vinter (dec-feb). Vårmanaderna analyseras ej.

Jämförelser gjordes även av mängden kalium i bulkdepositionen vid flera olika mätplatser runt om i landet, med olika avstånd till närmaste skogsbryn (data visas ej). Inga konsistenta

resultat erhöles vad gäller korrelationer mellan mängd kaliumdeposition och avstånd till närmaste skogsbyn.

Det fanns tecken på att flytten av mätplats vid Sännen till en mer öppen mätplats medförde att kvoten K/Na i nederbörden minskade, vilket skulle kunna tolkas som att omgivande trädbestånd bidragit med kalium till nederbördsprovet i större utsträckning vid den gamla mätplatsen. Andra jämförelser mellan mätplatser med olika avstånd till närmaste skogsbyn gav dock inga konsistenta resultat vad gäller kaliumdeposition och möjlig påverkan genom advektion.

Vi kan därför i nuläget inte dra några kvantitativa slutsatser vad gäller avstånd till närmaste skogsbyn och påverkan på bulkdepositions mätningen på öppet fält genom advektion.

6.2 Tillvägagång för att beräkna totaldepositionen av baskatjoner till skog

6.2.1 Granskning, kvalitetskontroll och urval av data

Metoden med att beräkna depositionen av baskatjoner bygger i princip på fyra typer av parallella mätningar:

1. Krondroppsmätningar
2. Mätningar på öppet fält
3. Sköljprov från strängprovtagare under tak på öppet fält
4. Sköljprov från tratt under tak på öppet fält

Mätningar med tratt under tak bedrevs endast under en del av perioden, nämligen 2001-2004.

Inom Krondroppsnetet tillämpas principen att saknade eller felaktiga värden ersätt med uppskattade värden. Denna uppskattning görs främst utifrån provtagning vid närbelägna platser. Principen med att uppskatta saknade värden bidrar till att möjliggöra beräkningar av en årlig summerad deposition. Om man som i denna studie använder sig av skillnader och kvoter mellan olika mätningar kan emellertid ett uppskattat värde från en annan plats medföra stora felkällor. Därför har vi uteslutit månadsvisa mättillfällen där något av ovanstående mätyper 1-3 har inkluderat ett uppskattat värde. Beräkningarna av andelen torrdeposition till trattarna som används för öppet fält-mätningarna har bedrivits separat för att generera en faktor för kompensation, specifik för varje plats, som används för hela mätperioden. Därför kan det tolereras att mätningar för tratt under tak saknas en viss månad.

Efter preliminära beräkningar av månadsvis deposition av olika ämnen har ytterligare en granskning gjorts. Information om väderläget månadsvis har inhämtats från SMHI:s publicering Väder och Vatten. Information från provtagarna beträffande problem kring

provtagningarna har beaktats. I synnerhet uppstod stora logistiska problem i samband med stormen Gudrun i januari 2005 och data för denna och närmast påföljande månader saknas i stor utsträckning för södra och västra Götaland.

Metoden som används i studien bygger i stor utsträckning på en korrekt uppskattning av nettokrondroppet för Na^+ , dvs att nedfallet en viss månad skall vara större i krondroppet jämfört med den korrigerade våtdepositionen mätt på öppet fält. I några fall för vissa månader har detta inte varit fallet, utan det uppskattade nedfallet av Na^+ som våtdeposition har varit större än nedfallet som krondropp. Detta medför att det beräknade nettokrondroppet blir negativt, något som metoden inte kan hantera. Det är väl känt (t ex Persson m. fl., 2004) att metoden med att använda s.k. snösäckar vintertid kan medföra en kraftig överskattning av den provtagna nederbörds mängden under blåsiga förhållanden när nederbörden kommer som regn. Detta förklarar sannolikt en stor del av tillfällena med negativt nettokrondropp av Na^+ , men det finns också andra tillfällen där det saknas förklaringar. I några fall ligger provtagarna för krondropp och till öppet fält med några kilometers mellanrum, vilket kan ge upphov till lokala skillnader i den nederbörds- respektive krondroppsmängd som uppmätts vissa månader.

Ett visst negativt nettokrondropp med ett lågt absolutvärde jämfört med övriga beräknade värden för platsen har accepterats, eftersom det kan bero på generella osäkerheter i mätmetoderna. Ett kraftigt negativt nettokrondropp av Na^+ kan dock inte accepteras och därför har några månader uteslutits från analysen av denna anledning.

Som redan angetts ovan har månader där det varit problem med något mätvärde då uteslutits i sin helhet, förutom vad gäller mätningen med tratt under tak. Ett undantag för detta har varit om det varit problem med mätningar av ett enskilt ämne av Ca^{2+} , Mg^{2+} eller K^+ . Då har endast detta ämne uteslutits. Ovan beskrivna procedur medför att månadsvärden inte rakt av kan summeras till årliga värden. Istället har månadsvisa medelvärden beräknats separat för vinter- och sommarhalvår och årliga värden har sedan beräknats utifrån antagandet om 6 sommar- respektive vintermånader.

För de flesta mätplatser, förutom Kindla och Högs kogen, finns månadsvisa mätdata för 8-årsperioden 2001-2008. Detta innebär 48 månadsvisa värden för varje mätytp och ämne per plats. Efter slutgranskning återstod i genomsnitt (exkl Kindla och Högs kogen) 92 % av månadsvärdena för Na^+ sommartid och 84 % av månadsvärdena för Na^+ vintertid. För övriga ämnen var det något lägre. Sämst var datatillgången för Timrilt vintertid, 71 %. Timrilt var kraftigt påverkat av stormen Gudrun.

7 Resultat

Torrdepositionen av partikelbundet Na^+ har en central betydelse för beräkningarna. Därför görs inledningsvis ett antal analyser av torrdepositionen av Na^+ till olika receptorer.

Generellt redovisas resultaten först som medelvärden för månadsvisa mätningar, separat för sommar och vinterhalvår. Detta utgör alltså medelvärden för alla månadsvärden under perioden 2001-2008, uppdelat på två perioder april t o m september och oktober t o m mars. I vissa fall redovisas resultaten som månadsvisa medelvärden för respektive månad på året, återigen baserat på alla månader under 2001-2008. Dessa månadsvisa medelvärden används sedan för att beräkna årsvisa värden genom att summera 6 st sommarvärden med 6 st vintervärden för respektive år. Slutligen beräknas ett medelvärde för årlig deposition över hela perioden 2001-2006, baserat på ett medelvärde för alla sommar- respektive vintervärden under hela perioden, summerat som 6 st sommarvärden och 6 st vintervärden.

Slutresultatet bör betraktas som ett årligt värde representativt för hela den analyserade perioden 2001-2008.

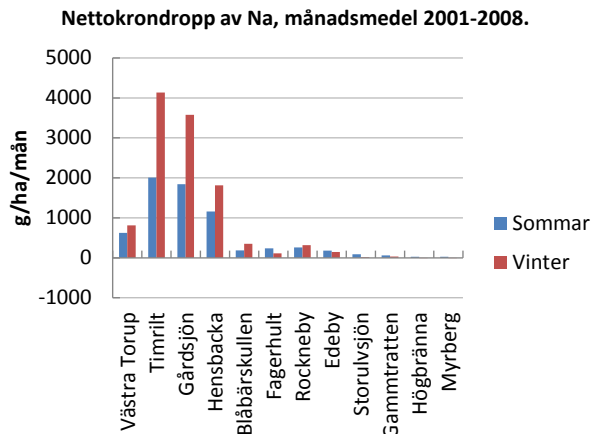
7.1 Nettokrondropp av natrium

Det månadsvisa nettokrondroppet av Na^+ till granskog vid olika platser runt om i Sverige visas i Figur 9 som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår för hela den analyserade perioden 2001-2008. Eftersom skillnaderna var stora mellan olika år, se nedan, visas inte data för Kindla och Högsbogen, eftersom mätningarna vid dessa platser bedrevs under avsevärt kortare perioder, jämfört med övriga platser. I Figur 9 är platserna ordnade från vänster till höger i relation till geografisk position från sydväst mot nordost.

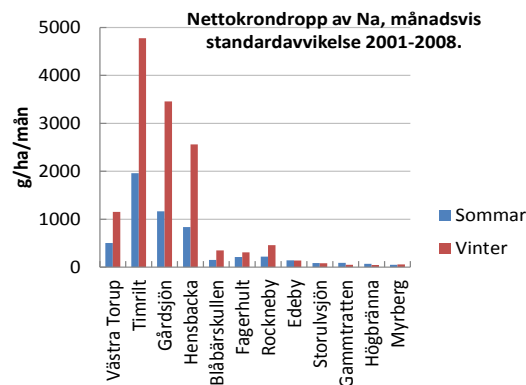
Nettokrondroppet av Na^+ är avsevärt högre vid platserna i sydvästra Sverige och avtar kraftigt mot nordost, såväl sommar- som vintertid (Figur 9A). Värdena är generellt högre vintertid. De högsta värdena för nettokrondroppet av Na^+ beräknades för Timrilt och Gårdsjön vintertid, 3-4 kg $\text{Na ha}^{-1} \text{mån}^{-1}$. Nettokrondroppet av Na^+ var relativt högt även vid Västra Torup i Skåne. För övriga platser beräknades avsevärt lägre värden. Standardavvikelseerna för de månadsvisa nettokrondroppen räknat separat för sommar- och vinterhalvår var ungefär lika stora som medelvärdena (Figur 9B). För en 8-års period var varje medelvärde baserat på ca 40 månadsvisa värden (48 * ca 0.8).

Platser med högt nettokrondropp av Na^+ var således belägna antingen i Skåne eller längs västkusten.

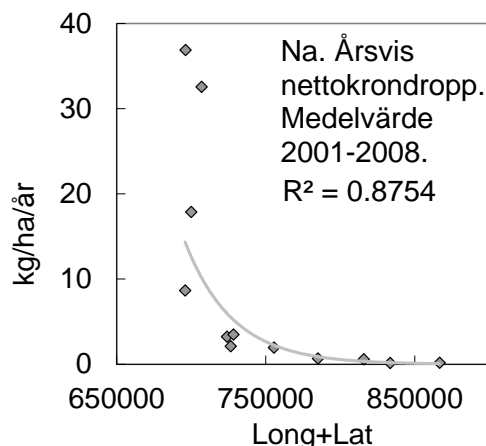
A. Medelvärde månadsvis, 2001-2008, uppdelat sommar- och vinterhalvår.



B. Standardavvikelse månadsvis, 2001-2008, uppdelat sommar- och vinterhalvår.



C. Summerat årsvis nettokrondropp för Na⁺, baserat på 6 sommar- och 6 vintermånadsvärden



Figur 9. Medelvärden (A) och standardavvikelse (B) för månadsvis nettokrondropp (krondropp – våtdeposition) av Na⁺ för olika mätplatser inom Krondropsnätet, beräknat från månadsvisa mätningar 2001-2008, uppdelat på sommar- och vinterhalvår. Dessutom visas beräknade årsvisa värden för nettokrondropp av Na⁺ för olika platser plottat mot ett geografiskt index bestående av summan av latitud och longitud (C). Detta index ökar från sydväst mot nordost. Mätplatserna är ordnade från väster till höger i relation till geografisk position från sydväst mot nordost. De tre högsta värdena gäller platser på västkusten (Timrilt, Gårdsjön, Hensbacka). För en 8-års period var varje medelvärde baserat på ca 40 månadsvisa värden.

Det årsvisa nettokrondroppet som medelvärde över perioden 2001-2008 visade en mycket stark korrelation med ett geografiskt index som bestod av summan av latitud och longitud (Figur 9C). Detta index ökar från sydväst mot nordost.

7.2 En jämförelse mellan parallella mätningar av torrdepositionen av natrium

I princip finns det under perioden 2001-2004 tre olika, parallella mätningar av torrdepositionen av Na⁺. Nettokrondroppet av Na⁺ ger ett kvantitativt mått på torrdepositionen av Na⁺ till granbeståndet vid platsen. Sköljprovet från strängprovtagnarna ger ett kvalitativt mått på torrdepositionen av Na⁺ till teflonsträngarna. Eftersom denna provtagning inte är avsedd att vara kvantitativ vad gäller depositions-mängd används endast värden för koncentrationer vad gäller denna form av mätningar. Slutligen ger sköljprovet från trattarna under tak (TUT) ett kvantitativt mått på torrdepositionen av Na⁺ till trattarna.

Med reservationen för att strängprovet inte är helt kvantitativt relaterat till depositionen, på grund av att volymen sköljvatten varierat något mellan provtagningsstillfällena, kan det vara av intresse att jämföra dessa olika mätningar både geografiskt och temporalt. I Figur 10 visas samtida månadsvisa mätningar av nettokrondropp av Na^+ och koncentrationen av Na^+ i strängprovet, respektive samtida månadsvisa mätningar av nettokrondropp av Na^+ och torrdepositionen av Na^+ till TUT. Det framgår att korrelationerna mellan dessa olika mätningar generellt är svag eller obefintlig. Det var således en oväntat dålig korrelation mellan dessa mätningar när de analyseras månadsvis.

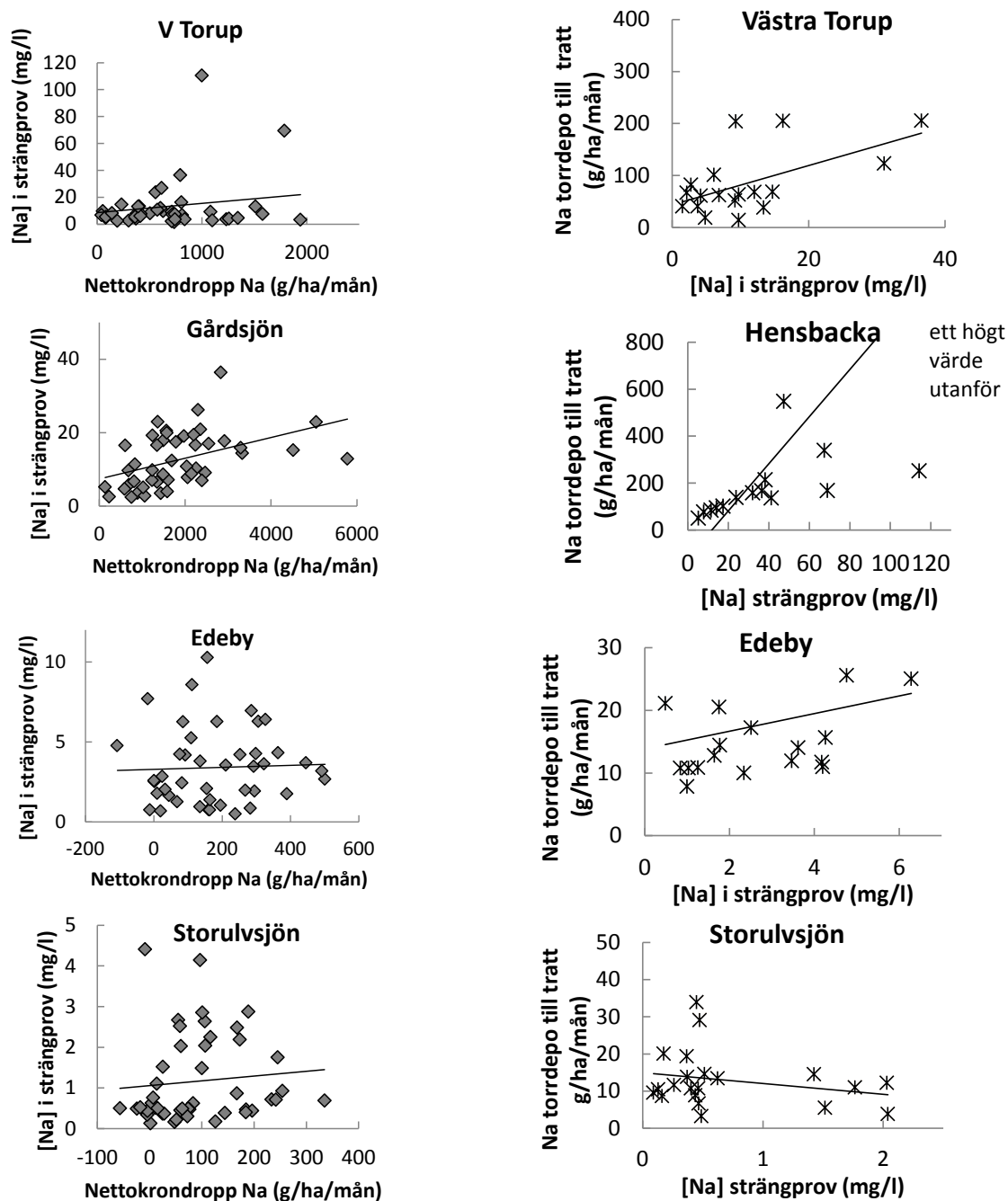
I Figur 11 visas en geografisk jämförelse av sambandet mellan koncentrationerna av natrium i proven från strängprovtagarna och nettokrondroppet av natrium vid olika mätplatser som medelvärden från månadsvisa mätningar under perioden 2001-2008, uppdelat i sommar- och vinterhalvår. I detta fall är det en relativt god korrelation mellan de olika mätyperna, även om fördelningen av mätvärden i x-led inte är idealiskt för regressionsanalys.

Slutsatserna blir att det var en relativt dålig korrelation mellan de olika mätyperna för torrdeposition av Na^+ vad gäller samtida månadsvisa mätningar vid respektive plats, men en god geografisk korrelation när man jämför medelvärden av mätningar över olika platser.

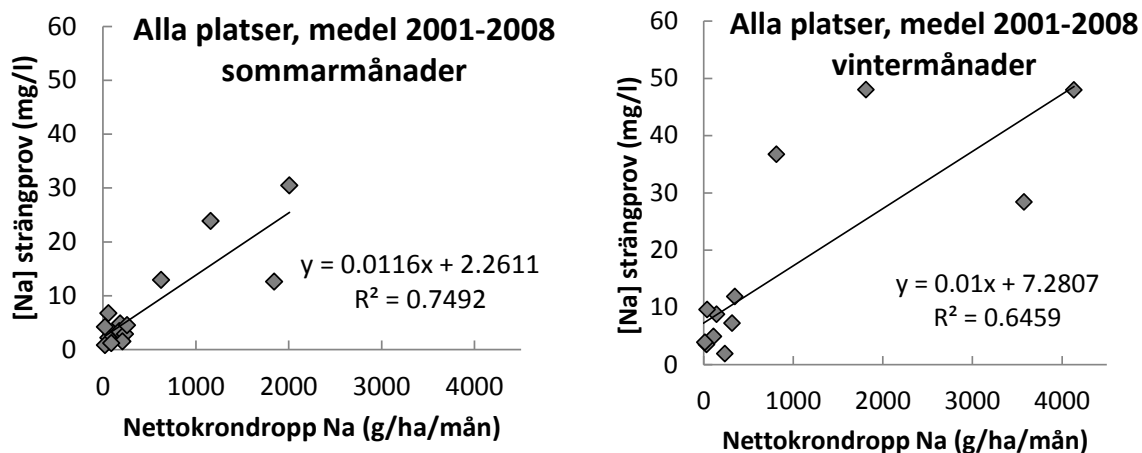
Det kan finnas flera skäl till att de olika mätyperna inte korrelerar vad gäller samtida mätningar. Det viktigaste skälet är sannolikt att sköljningen av teflonsträngarna inte var avsedd att resultera i ett kvantitativt korrekt prov. Volymerna sköljvatten varierar upp mot $\pm 30\%$ mellan provtagningsstillfällena och det finns ingen garanti för att allt sköljvatten hamnat i tratten nedanför. Ytterligare skäl som kan förklara bristen på korrelation kan vara:

- Avsaknad av nederbörd en viss månad gör att torrdepositionen mätt som nettokrondropp för denna månad kommer att bidra till nästa månads nettokrondropp och därför ge ett för högt värde nästa månad. Strängprovtagarna och trattarna under tak spolades av varje månad.
- Ett snöfall i slutet av månaden kan göra att snön blir kvar på träden och inte når uppsamlaren för krondropp, vilket gör att nettokrondroppet blir för lågt första månaden och för högt nästkommande månad. Vad gäller mätningarna på öppet fält kommer snöfallet alltid att mätas upp för rätt månad.

Största delen av dessa fel kommer att elimineras när data aggregeras och slås ihop till årsvärden. Därför drar vi slutsatsen att mätningarna och beräkningarna av nettokrondropp fungerar i stort sett bra, vad gäller att ge underlag för beräkningarna av torrdepositionen av olika ämnen. Vad gäller sköljproverna från strängprovtagarna är det kvoterna mellan koncentrationer av olika ämnen som används i beräkningarna. Vi ser inte heller några problem med dessa mätningar.



Figur 10. En jämförelse av olika månadsvisa värden för torrdeposition av Na mätt med olika metoder. Vänstra kolumnen visar sambandet mellan koncentrationerna av natrium i proven från strängprovtagarna och nettokrondroppet av natrium vid olika mätplatser under perioden 2001-2008, endast månader under sommarhalvår. En punkt representerar en månadsmätning. Högra kolumnen visar sambandet mellan koncentrationerna av natrium i proven från strängprovtagarna och torr-depositionen av natrium till tratt under tak (TUT) vid olika mätplatser under perioden 2001-2004, endast månader under sommarhalvår. En punkt representerar en månadsmätning. Observera att för Hensbacka ligger ett högt värde utanför y-axelns område. Trendlinjer visas baserade på linjär regression. Värdet för R^2 ligger för alla trendlinjer <0.5 och för de flesta avsevärt lägre. Vid Gårdsjön fanns inga mätningar för tratt under tak.



Figur 11. En geografisk jämförelse av sambandet mellan koncentrationerna av natrium i proven från strängprovtagarna och nettokrondroppet av natrium vid olika mätplatser som medelvärden från månadsvisa mätningar under perioden 2001-2008, uppdelat i sommar- och vinterhalvår. En punkt representerar en plats.

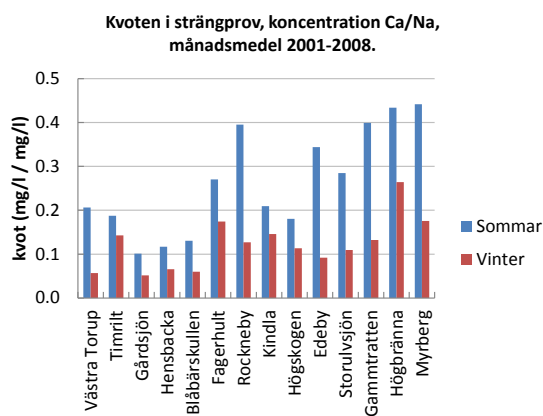
7.3 Koncentrationen av olika ämnen i proven från strängprovtagarna

Kvoterna mellan olika ämnen och Na^+ i proverna från strängprovtagarna är den andra viktiga parametern som används i beräkningarna av torrdepositionen, tillsammans med nettokrondroppet för natrium. Kvoterna mellan olika ämnen och Na^+ i proverna från strängprovtagarna vid olika platser i Sverige visas i Figur 12.

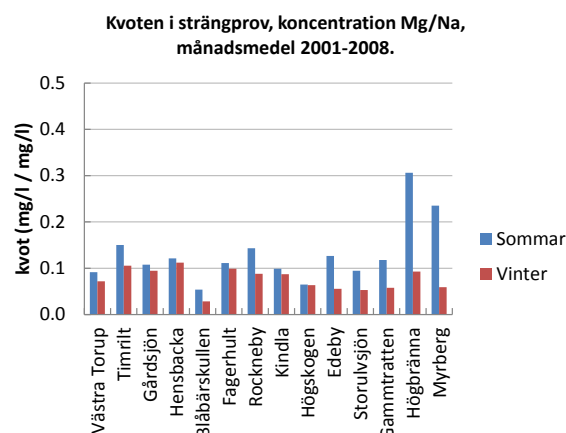
Kvoterna $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ var lägre vintertid än sommartid i synnerhet i norra Sverige. Generellt ökade kvoterna $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ från sydväst mot nordost, dock med en del undantag. Kvoterna K^+/Na^+ uppvisade samma mönster som $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ men ännu mera utpräglade, i synnerhet vintertid. I mellersta och norra Sverige ökade kvoterna K^+/Na^+ till upp mot 0.3 – 0.4, som en följd av att halterna av Na^+ i strängproven minskade mycket snabbare mot norr jämfört med halterna av K^+ . Strängprovtagarna var placerade under tak på öppet fält, så de borde inte vara påverkade av den stora interncirkulationen av K^+ som sker inom granbestånden, men en viss påverkan kan inte helt uteslutas.

Kvoterna $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ uppvisade betydligt mindre variation jämfört med kvoterna $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ och K^+/Na^+ . Detta är sannolikt en följd av att Mg^{2+} , liksom Na^+ , är starkt knutet till förekomsten och påverkan från havssalt.

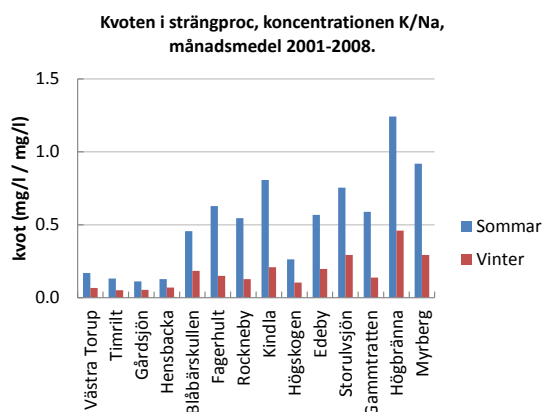
Kvot Ca/Na



Kvot Mg/Na



Kvot K/Na



Figur 12. Kvoterna mellan koncentrationer av respektive ämnen i provet från strängprovtagarna i relation till motsvarande koncentrationer av Na⁺ för olika mätplatser. Kvoterna är baserade på koncentrationer med enheten mg av ämnet per liter för de olika ämnena (Ca, Mg eller K) och beräknade från månadsvisa mätningar 2001-2008, uppdelat i sommar- och vinterhalvår. Dataserierna för Kindla och Högskogen är avsevärt kortare än övriga. Mätplatserna är ordnade från väster till höger i relation till geografisk position från sydväst mot nordost. Kvoterna mellan de olika ämnena och Na⁺ i havsvatten (mg/l / mg/l) är för Ca 0.04, för Mg 0.12 samt för K 0.04.

7.4 Beräknad våt- och torrdeposition

Nedan presenteras månadsvisa nedfall av olika ämnen som medelvärden över alla år. Därefter görs månadsvisa medelvärden för respektive sommar- och vinter halvår. Genom att summera sex värden för sommarhalvår respektive vinterhalvår beräknas den årliga torr- och våtdepositionen vid respektive plats. Slutligen görs medelvärden för årligt nedfall under perioden 2001-2008

7.4.1 Variation över året

Månadsvisa medelvärden för hela mätperioden uppdelat på årets månader visas för våtdepositionen i Figur 13 och för torrdepositionen i Figur 14 separat för varje mätplats. Medelvärdena gäller således t ex alla januarimånader under perioden, alla februarimånader etc. Våtdepositionen är beräknad från bulkmätningar på öppet fält, korrigerat för torrdepositionen till insamlingstrattarna. Torrdepositionen är beräknad utifrån nettokrondroppet för natrium multiplicerat med kvoterna för respektive ämne till natrium.

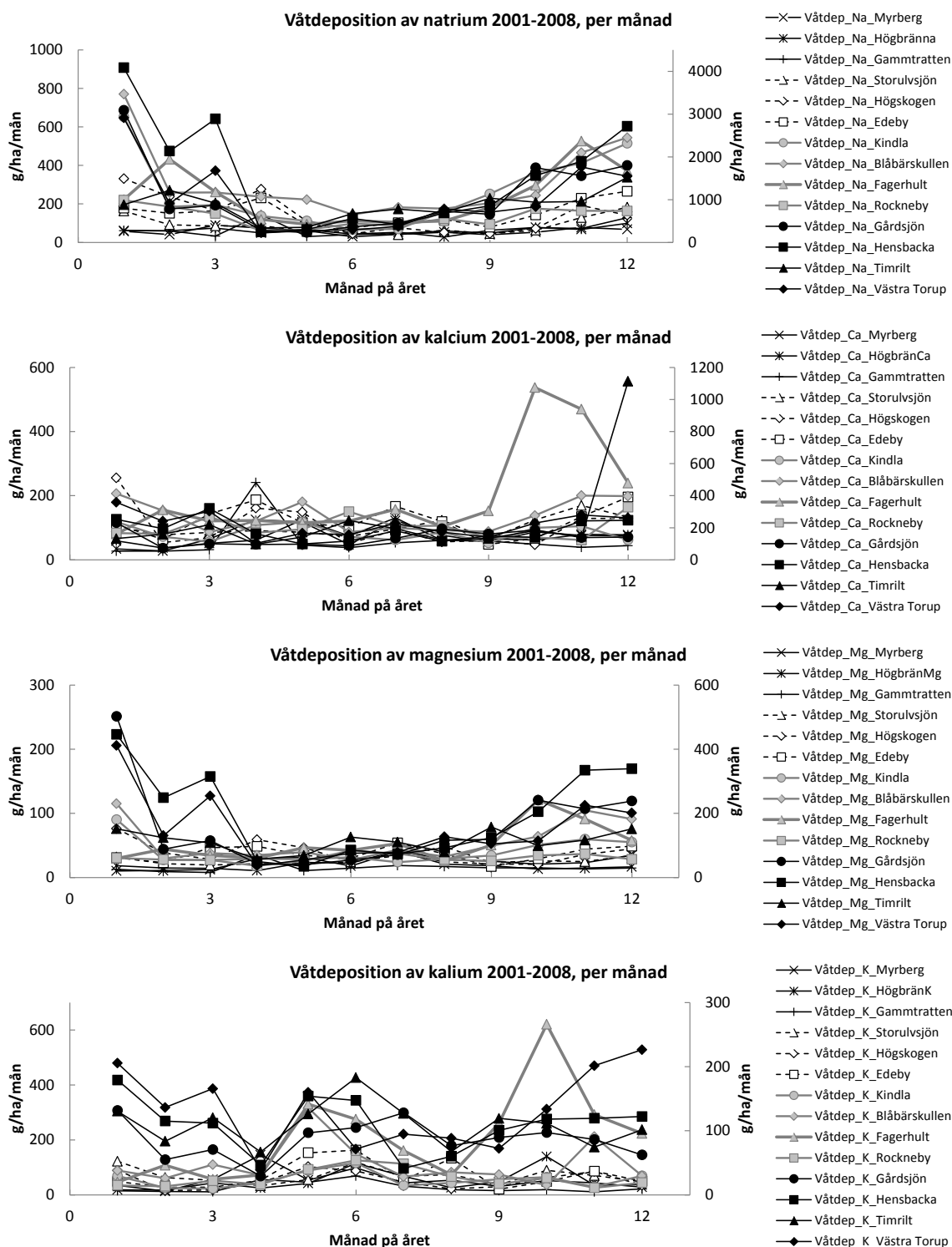
Mätplatser i Skåne och längs västkusten visas med fyllda svarta symboler och dessa platser använder den högra y-axeln. Platser i ett band från Värmland till Kalmar län visas med gråa symboler. Platser från Södermanland och norrut till Västernorrland visas med öppna vita symboler och platser norr där om visas med kryss/stjärnor. Mätplatserna är i legenden ordnade från sydväst längst ner till nordost längst upp.

Våtdepositionen av Na^+ och Mg^{2+} uppvisar en betydande årstidsvariation, i synnerhet i södra Sverige, med höga värden på vintern. Våtdepositionen av Ca^{2+} och K^+ varierar i betydligt mindre omfattning över året. Det finns några höga värden för våtdepositionen av Ca^{2+} för Fagerhult i Jönköpings län för månaderna oktober och november. Detta beror främst på höga värden under 2008. Det fanns ingen uppenbar anledning att utesluta dessa värden.

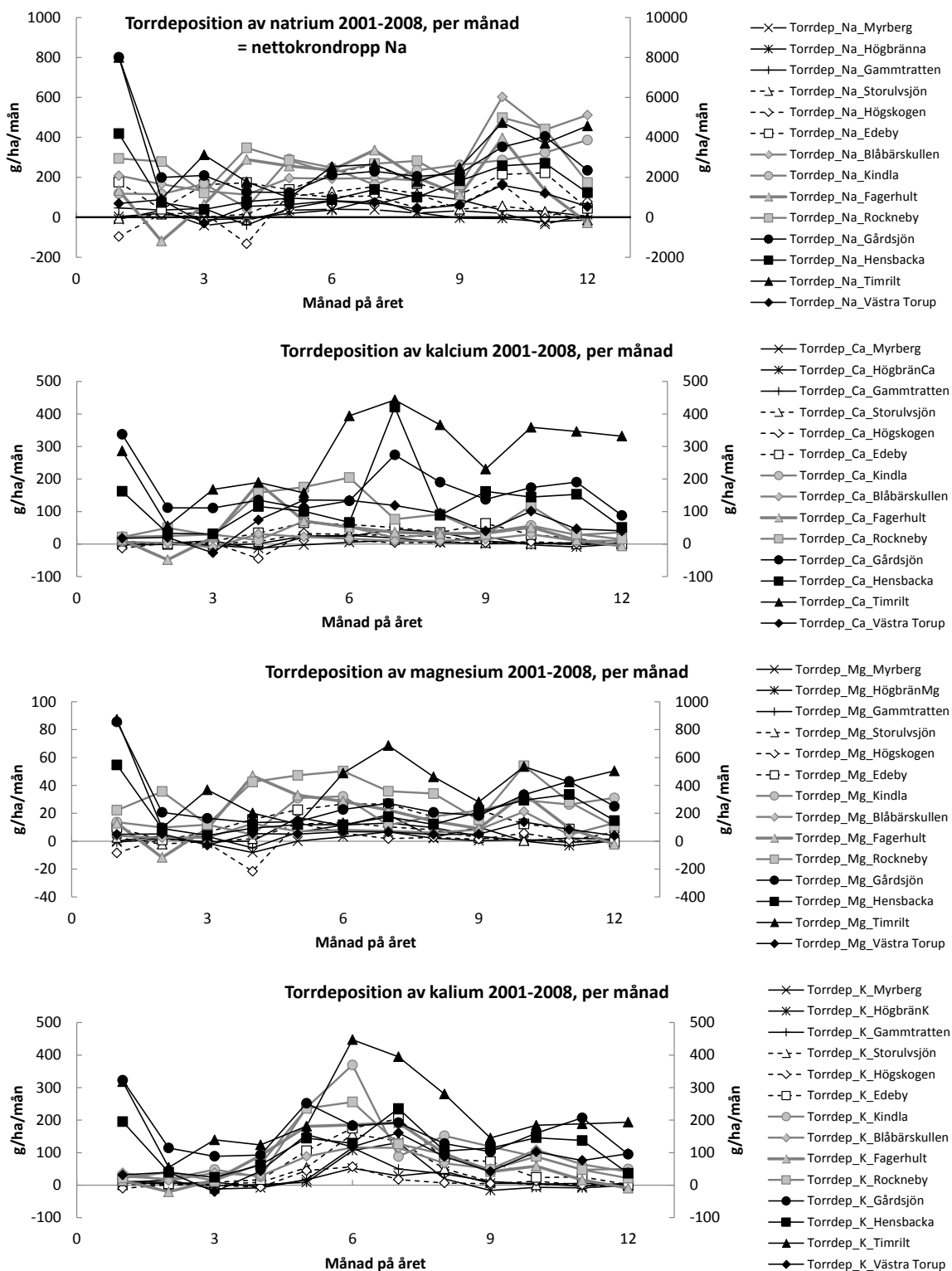
Torrdepositionen uppvisar ett annat mönster över året, jämfört med våtdepositionen. Torrdepositionen av Na^+ (=nettokrondropp Na^+) visar en relativt jämn fördelning över året, dock med höga värden på senhösten förmodligen förknippat med blåsigt väder. Torrdepositionen av Mg^{2+} är också relativt jämnt fördelad över året. Torrdepositionen av Ca^{2+} visar vid vissa platser högre värden sommartid, medan torrdepositionen av K^+ uppvisar vid de flesta platser betydligt högre värden sommartid. I sydväst är dock torrdepositionen av K^+ hög även vintertid.

Torrdepositionen blir vid vissa tillfällen negativ beroende på att det beräknade nettokrondroppet för Na^+ blivit negativt. Detta gäller främst platser i norra Sverige.

Övergripande ligger standardavvikelsen i samma storleksordning som medelvärdena, både för våt- och torrdeposition.



Figur 13. Månadsvisa medelvärden för våtdeposition, 2001-2008, uppdelat på månad på året. Dataserierna för Kindla och Högsbogen är avsevärt kortare än övriga. Svarta fyllda symboler (V Torup, Timrilt, Gårdsjön, Hensbacka) följer den högra y-axeln. I symbolförklaringen är platserna ordnade från nordost mot sydväst.



Figur 14. Månadsvisa medelvärden för torrdeposition, 2001-2008, uppdelat på månad på året. Dataserierna för Kindla och Högskogen är avsevärt kortare än övriga. Svarta fyllda symboler (V Torup, Timrilt, Gårdsjön, Hensbacka) följer den högra y-axeln. I symbolförklaringen är platserna ordnade från nordost mot sydväst.

7.4.2 Årlig deposition under perioden 2001-2008

I det följande (Figur 15) visas årliga värden för deposition av olika ämnen fördelat på torr- och våtdepositionen. Depositionsvärden är beräknade först för varje månad. Därefter beräknas ett medelvärde för månadsvis deposition inom varje år, separat för sommar- och vinterhalvår. Avsikten med dessa analyser var att visa på mellanårsvariationen samt påvisa eventuella trender. En viss reservation måste göras eftersom det kan saknas månadsvisa värden i olika utsträckning för olika år, detta på grund av att vissa månader uteslutits i kvalitetsgranskningen.

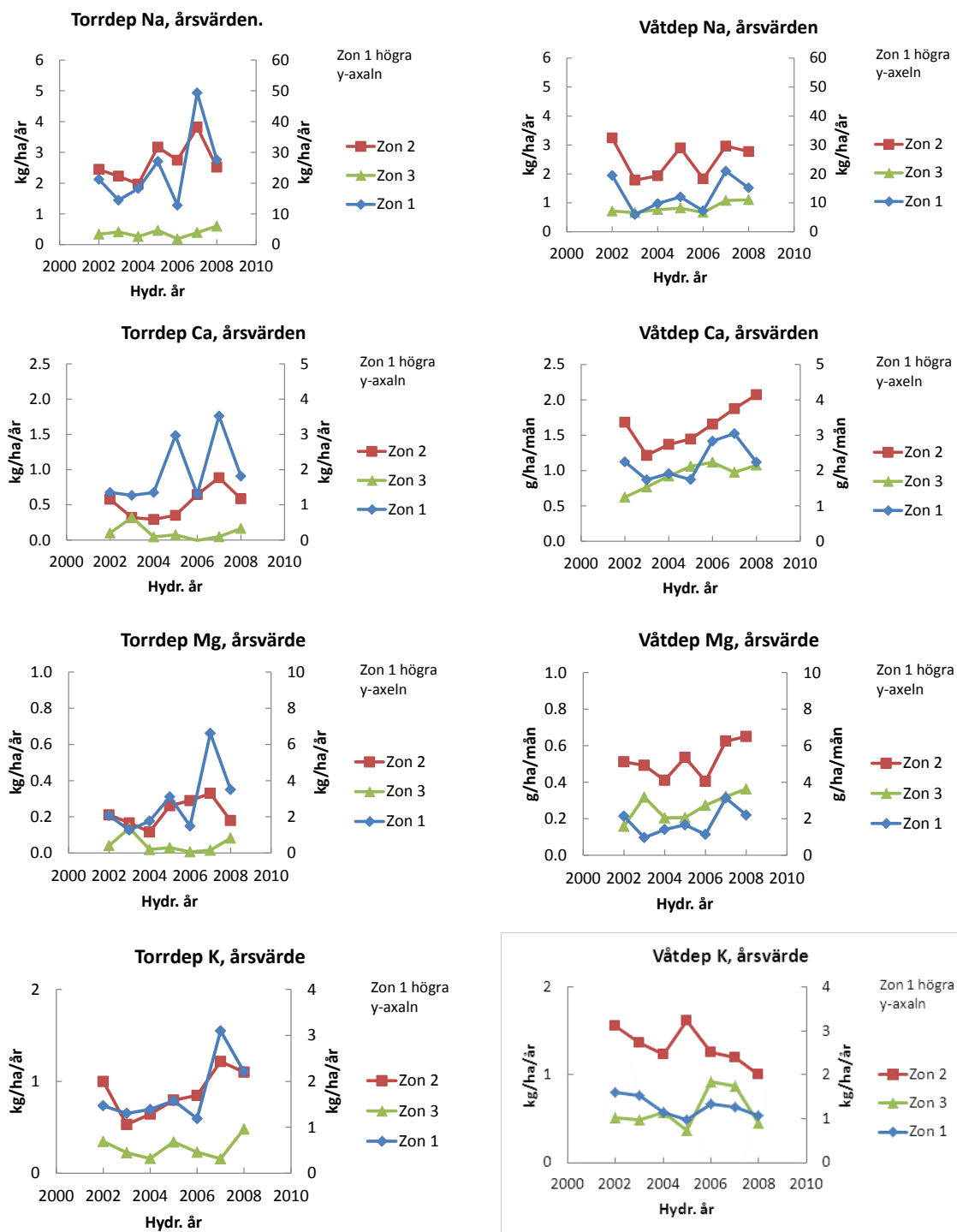
Medelvärdena är beräknade för mätplatserna fördelade på tre olika zoner, enligt Figur 2 ovan. Zon 1 omfattar i huvudsak platser i Skåne och längs västkusten. Zon 3 omfattar platser i Norrland. Zon 2 omfattar övriga platser.

Som nämnts ovan har emissionerna av baskatjoner minskat betydligt de senaste decennierna, både i Sverige och i övriga Europa. Det är därför intressant att analysera om det finns några trender vad gäller nedfallet över Sverige. En 8-års period är dock för kort för att möjliggöra en bedömning av trender vad gäller torr- respektive våtdeposition inom de tre zonerna. Depositionen beror starkt av vädersituationen under året. Dessutom är standardavvikelserna för medelvärden av de månadsvisa nedfallet uppdelat på sommar- och vinterhalvår i samma storleksordning som medelvärdena. Dock är antalet replikat bakom varje medelvärde relativt högt, för zon 1 och zon 3 t ex blir antalet replikat ca 20, för zon 2 ännu högre.

Det är viktigt att observera att på grund av praktiska och logistiska skäl ingår i huvudsak inte den betydande deposition som sannolikt uppkom i samband med stormen Gudrun 2005. Däremot ingår sannolikt till stor del den deposition som orsakades av stormen Per 2007.

Det framgår i Figur 15 att skillnaderna i deposition mellan zon 1 och övriga två zoner är avsevärt större för Na^+ och Mg^{2+} , jämfört med Ca^{2+} och K^+ . Torrdepositionen har genomgående en större betydelse i zon 1 jämfört med övriga två zoner. I zon tre har torrdepositionen en mycket liten betydelse för alla baskatjonerna, förutom K^+ .

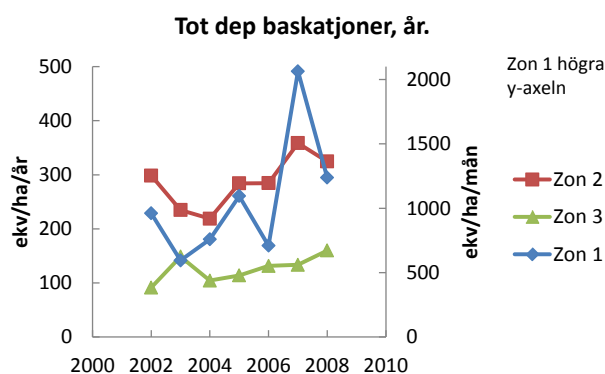
På grund av att den analyserade perioden är relativt kort och att det finns en betydande mellanårsvariation samt att nedfallet i samband med stormen Gudrun inte ingår, kan vi inte dra några slutsatser vad gäller trender för depositionen av baskatjoner under perioden 2001-2008.



Figur 15. Årsvisa värden för torr- och våtdeposition av baskatjoner, beräknade från månadsvisa medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår. Medelvärdena är gjorda för mätplatserna fördelade på tre olika zoner, enligt Figur 2. Zon 1 omfattar platser på västkusten och i Skåne, zon 2 övriga platser i Götaland och Svealand och zon 3 platser i Norrland. Värden för zon 1 följer den högra y-axeln medan värden för zon 2 och 3 följer den vänstra y-axeln. År anges som hydrologiskt år.

Utifrån de data som visas i figurerna ovan beräknades den årliga samlade depositionen av baskatjonerna Ca^{2+} , Mg^{2+} och K^+ (Figur 16). Det är komplicerat att beräkna osäkerheterna i dessa värden. Det finns en antydning till att det samlade nedfallet av baskatjoner var högre i slutet av perioden men osäkerheterna är stora. Som nämnts ovan ingår inte depositionen i samband med stormen Gudrun.

Figur 16. Årsvisa värden för depositionen av baskatjoner. Årsvisa medelvärden är gjorda för mätplatserna fördelade på tre olika zoner, enligt Figur 2. Värden för zon 1 följer den högra y-axeln medan värden för zon 2 och 3 följer den vänstra y-axeln. År anges som hydrologiskt år.



7.4.3 Medelvärden under perioden

Utifrån medelvärden för hela den analyserade perioden för torr- respektive våtdeposition på månadsbasis, uppdelat separat på sommar- och vinterhalvår, kunde medelvärden för den årliga depositionen beräknas genom att summera 6 sommarvärden och 6 vintervärden. Dessa resultat presenteras i Tabell 4. Dessa värden representerar således genomsnittliga årliga depositioner representativa för perioden 2001-2008. Det samlade nedfallet av baskatjoner beräknades som $\text{ekv ha}^{-1} \text{år}^{-1}$, genom att dividera det årliga nedfallet uttryckt i $\text{g ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ med molvikten för respektive ämne och multiplicera med dess laddning och sedan summera dessa depositioner.

Motsvarande resultat som i Tabell 4, där bidraget från havssalt frändragits, redovisas i Bilaga 1.

Tabell 4. Den beräknade årliga depositionen av baskatjoner, uppdelad i torr- respektive våtdeposition samt totalt. Värdena utgör representativa medelvärden för perioden 2001-2008.

	Long	Lat	Long+lat	Ca ²⁺ kg/ha/år				Mg ²⁺ kg/ha/år			
				Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	695905	0.8	2.6	3.4	23	0.7	1.8	2.5	28
Timrilt	131640	564637	696277	3.3	2.6	5.9	56	4.9	1.3	6.2	78
Gårdsjön	123000	584000	707000	2.0	1.6	3.6	55	3.3	1.8	5.1	65
Hensbacka	117380	582614	699994	1.5	2.2	3.7	41	2.2	2.3	4.4	49
Blåbärskullen	129100	594916	724016	0.2	1.7	1.8	9	0.1	0.7	0.8	13
Fagerhult	153460	573041	726501	0.5	2.5	3.0	16	0.2	0.7	0.9	24
Rockneby	163210	565121	728331	1.0	1.2	2.2	46	0.4	0.4	0.8	52
Edeby	169840	585707	755547	0.4	1.4	1.8	21	0.2	0.4	0.6	28
Storulvsjön	163410	621647	785057	0.1	1.2	1.3	10	0.0	0.3	0.4	13
Gammtratten	180600	635100	815700	0.2	0.7	0.9	18	0.1	0.2	0.2	22
Högbränna	181070	652419	833489	0.1	0.9	0.9	8	0.1	0.3	0.3	16
Myrberg	206290	660356	866646	0.0	0.9	0.9	2	0.0	0.2	0.2	3
				K ⁺ kg/ha/år				Na ⁺ kg/ha/år			
				Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	695905	0.9	1.6	2.5	37	8.6	12.0	20.6	42
Timrilt	131640	564637	696277	2.6	1.3	3.8	67	36.8	10.3	47.1	78
Gårdsjön	123000	584000	707000	1.9	1.0	3.0	65	32.5	12.3	44.8	73
Hensbacka	117380	582614	699994	1.3	1.3	2.6	52	17.8	17.2	35.0	51
Blåbärskullen	129100	594916	724016	0.8	1.4	2.1	36	3.2	3.7	6.9	47
Fagerhult	153460	573041	726501	0.9	2.7	3.6	25	2.1	2.9	5.0	42
Rockneby	163210	565121	728331	1.1	0.7	1.8	60	3.5	1.6	5.0	69
Edeby	169840	585707	755547	0.8	0.9	1.7	46	1.9	1.8	3.7	52
Storulvsjön	163410	621647	785057	0.4	0.8	1.2	34	0.6	1.0	1.7	38
Gammtratten	180600	635100	815700	0.3	0.3	0.6	44	0.6	0.8	1.4	41
Högbränna	181070	652419	833489	0.2	0.6	0.8	27	0.1	0.7	0.9	13
Myrberg	206290	660356	866646	0.2	0.7	0.8	19	0.1	0.7	0.8	16

Tab.4, forts

	Long	Lat	Long+lat	Baskatjoner Ca+Mg+K		ekv/ha/år	
				Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	695905	122	319	441	28
Timrilt	131640	564637	696277	635	273	908	70
Gårdsjön	123000	584000	707000	426	257	683	62
Hensbacka	117380	582614	699994	293	331	623	47
Blåbärskullen	129100	594916	724016	35	173	209	17
Fagerhult	153460	573041	726501	63	250	313	20
Rockneby	163210	565121	728331	111	108	220	51
Edeby	169840	585707	755547	53	131	184	29
Storulvsjön	163410	621647	785057	21	109	130	16
Gammtratten	180600	635100	815700	19	59	78	24
Högbränna	181070	652419	833489	14	82	95	14
Myrberg	206290	660356	866646	6	83	88	6

Det samlade nedfallet av baskatjoner (exkl natrium) beräknades till 400-900 ekv/ha/år för sydvästra delarna av Götaland, 200-300 ekv/ha/år för mellersta, östra Götaland samt för Svealand och 80-130 ekv/ha/år för Norrland (Tabell 4). Andelen torrdeposition av totala depositionen av baskatjoner varierade mellan 30-70 % för sydvästra Götaland, 15-50 % för Svealand och 5-25 % för Norrland.

Det samlade nedfallet av baskatjoner (inkl natrium) beräknades till 2000-3000 ekv/ha/år för sydvästra delarna av Götaland och 80-130 ekv/ha/år för Norrland (Tabell 5).

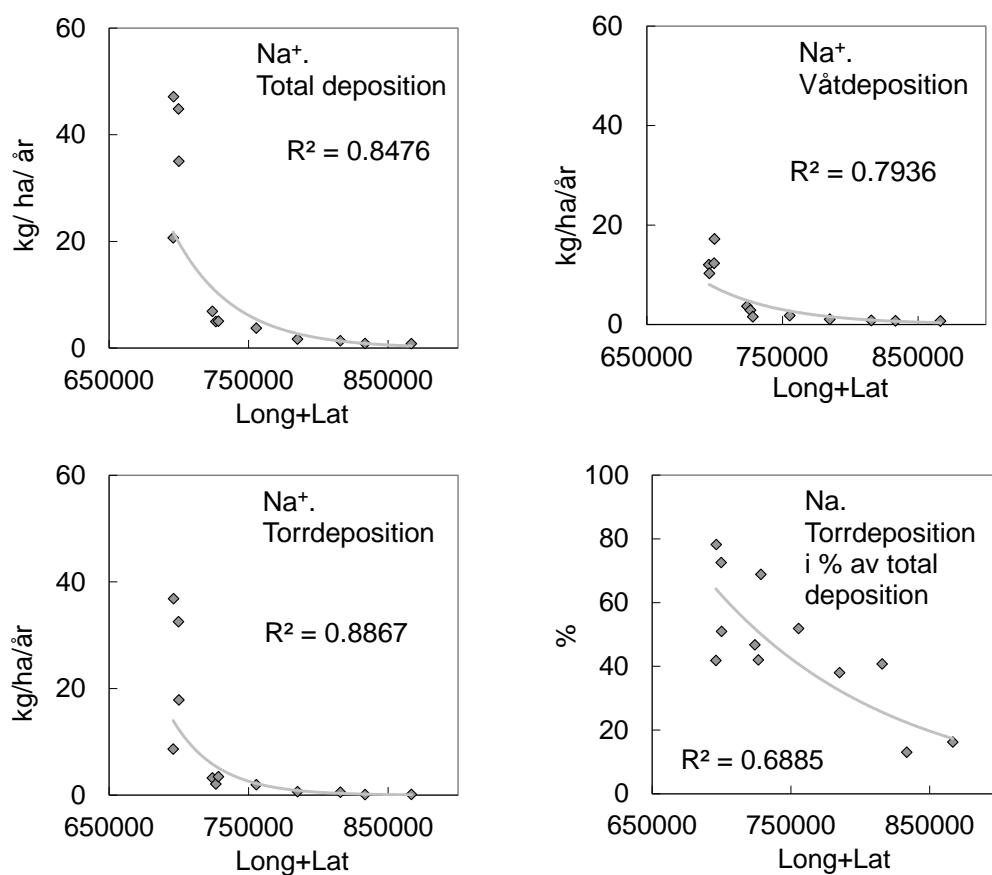
Tabell 5. Den beräknade årliga depositionen av baskatjoner inklusive natrium, uppdelad i torr- respektive våtdeposition samt totalt. Värdena utgör representativa medelvärden för perioden 2001-2008.

	Long	Lat	Long+lat	Baskatjoner Ca+Mg+K+Na		ekv/ha/år	
				Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	695905	499	844	1342	37
Timrilt	131640	564637	696277	2245	722	2966	76
Gårdsjön	123000	584000	707000	1846	795	2641	70
Hensbacka	117380	582614	699994	1072	1082	2153	50
Blåbärskullen	129100	594916	724016	176	333	509	35
Fagerhult	153460	573041	726501	155	376	530	29
Rockneby	163210	565121	728331	263	177	439	60
Edeby	169840	585707	755547	137	209	346	40
Storulvsjön	163410	621647	785057	49	154	203	24
Gammtratten	180600	635100	815700	43	94	137	31
Högbränna	181070	652419	833489	19	114	133	14
Myrberg	206290	660356	866646	11	112	124	9

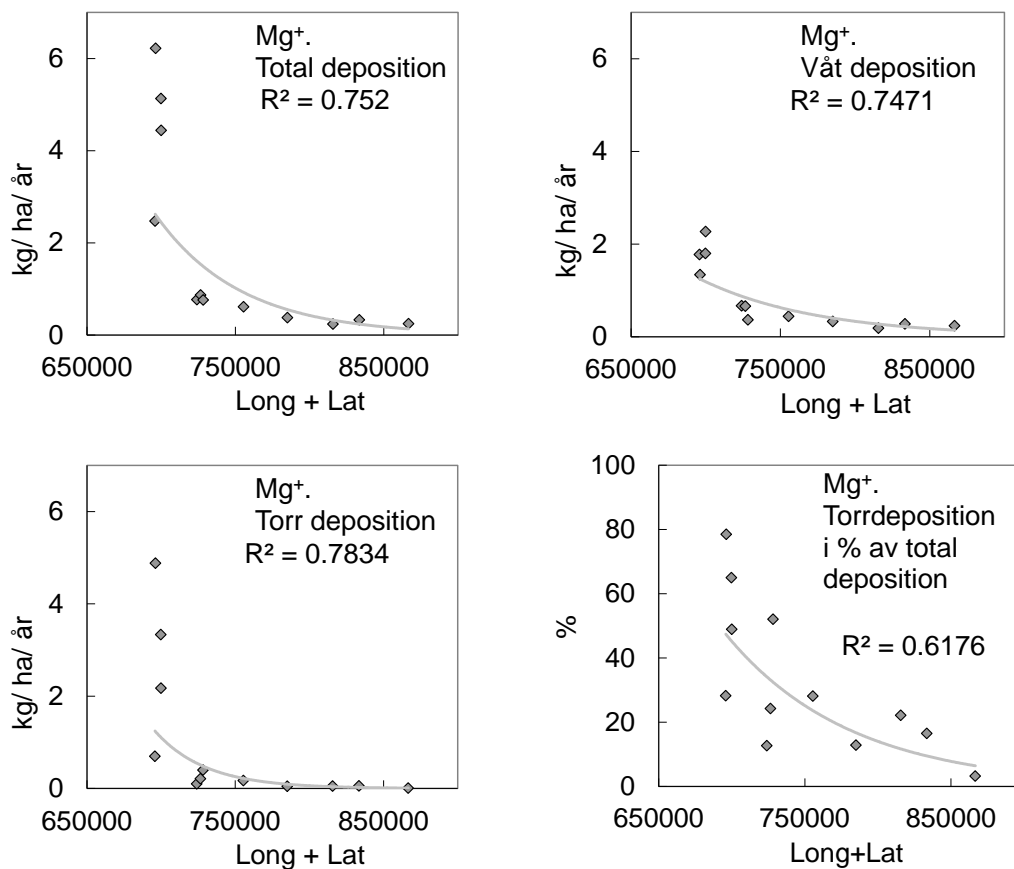
7.5 Geografisk variation i årlig deposition

Det fanns en tydlig negativ korrelation mellan nedfall av baskatjoner, inklusive natrium, och ett geografiskt index beräknat som summan latitud+longitud (Figur 17-22). Detta index ökar från sydväst mot nordost. Likaså fanns en negativ korrelation mellan andelen torrdeposition och latitud+longitud.

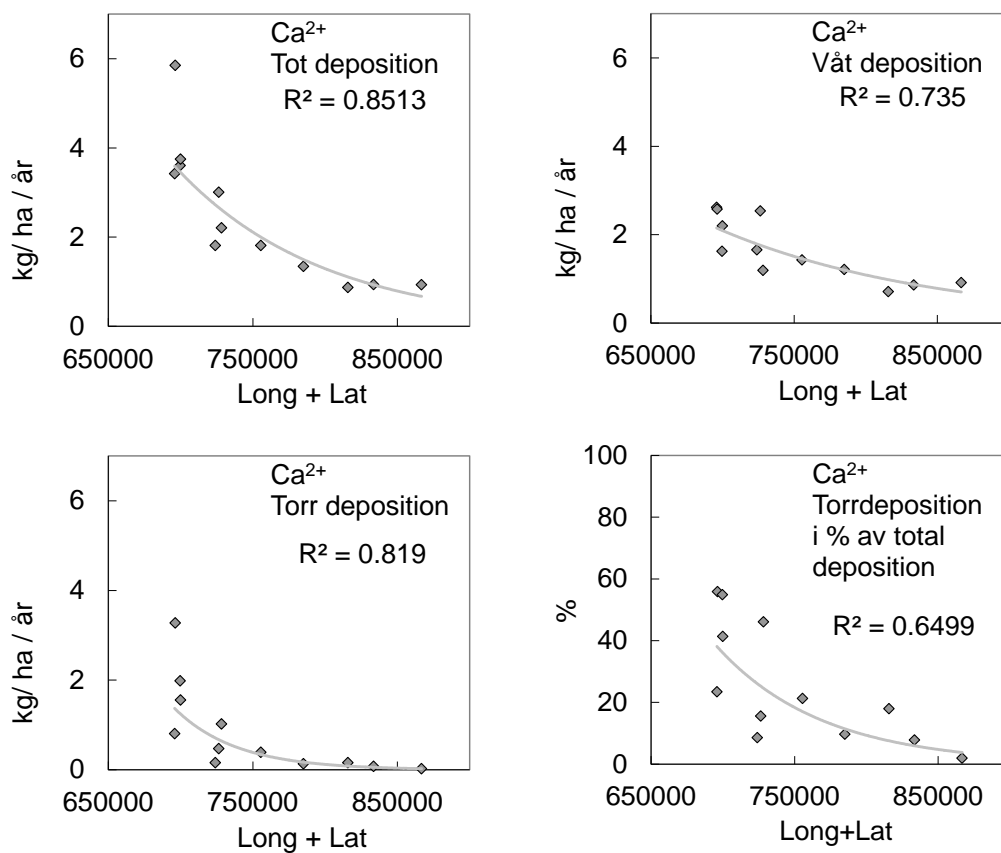
Nedfallet av Na^+ och Mg^{2+} uppvisar en synnerligen skarp geografisk gradient längst i sydväst, med mycket höga värden för platserna längs västkusten samt i Skåne, i synnerhet vad gäller torrdepositionen. Vad gäller Ca^{2+} och K^+ är detta mindre utpräglat.



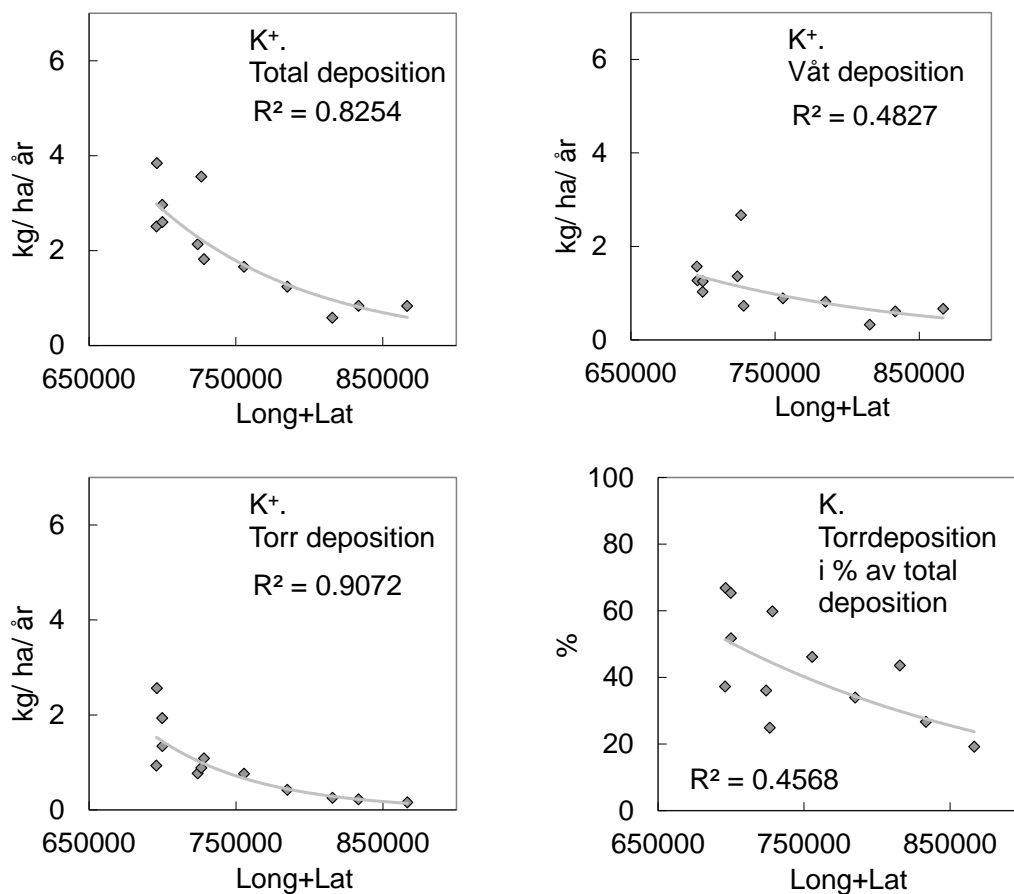
Figur 17. Samband mellan nedfall av Na^+ och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.



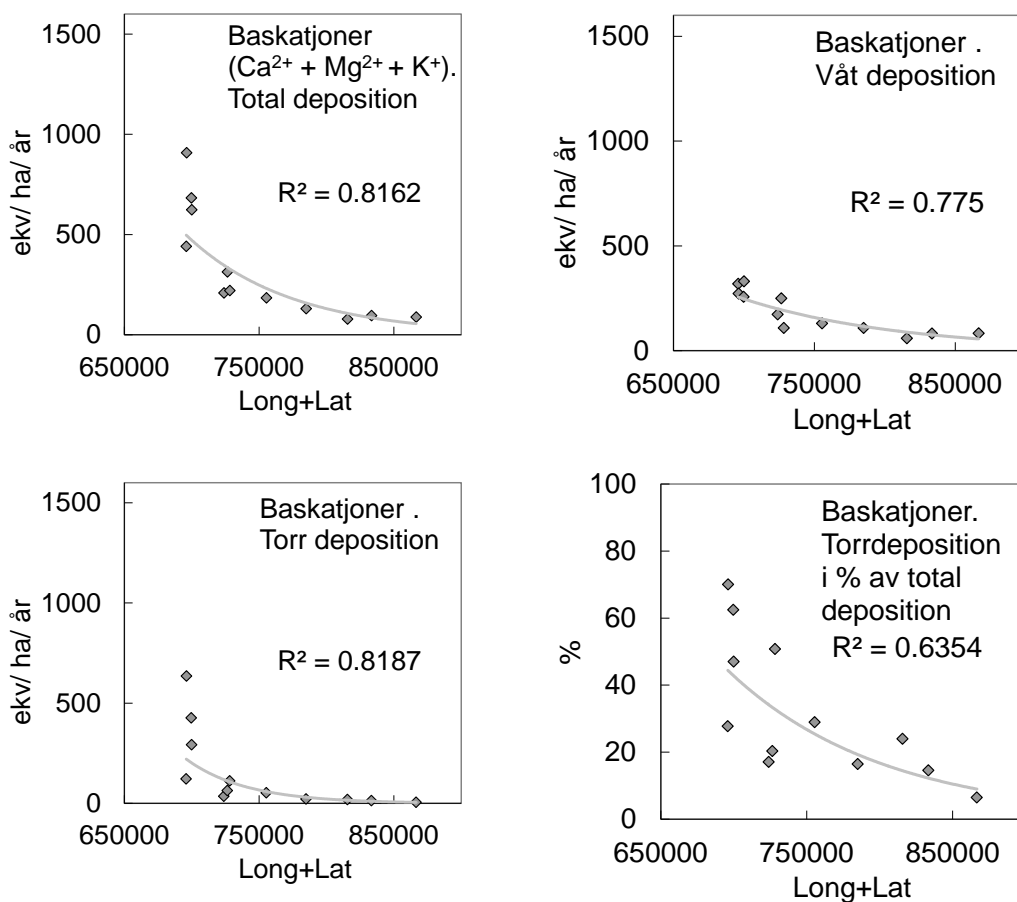
Figur 18. Samband mellan nedfall av Mg²⁺ och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.



Figur 19. Samband mellan nedfall av Ca²⁺ och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.

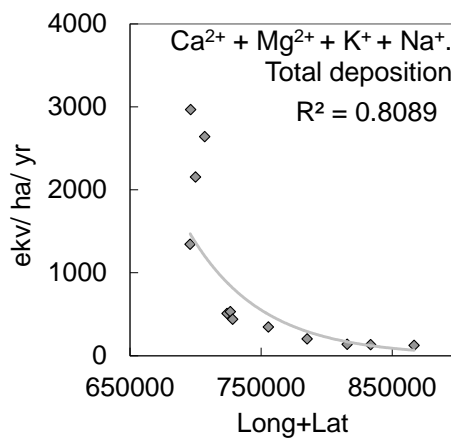


Figur 20. Samband mellan nedfall av K⁺ och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.



Figur 21. Samband mellan det totala nedfallet av baskatjoner (exkl. natrium) och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.

Figur 22. Samband mellan det totala nedfallet av baskatjoner (inkl. natrium) och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.

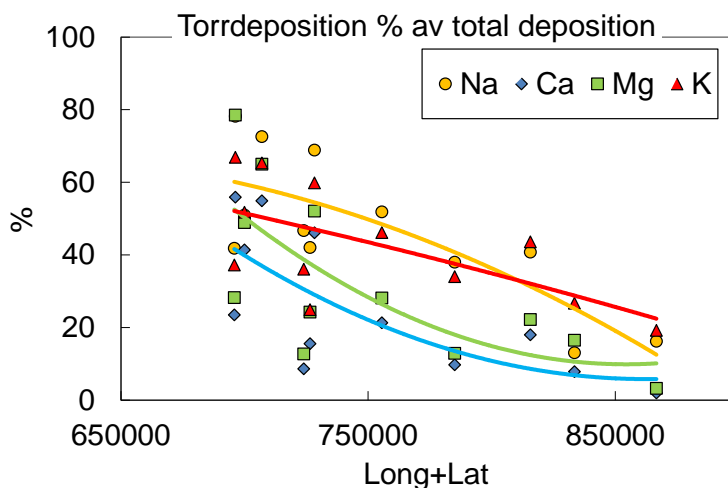


Vad gäller alla baskatjoner, förutom K^+ , är torrdepositionen lika stor eller större än våtdepositionen vid vissa platser längs västkusten (Figur 23). När man rör sig åt nordost minskar torrdepositions andel för alla ämnen. Vad gäller Na^+ och K^+ minskar andelen torrdeposition inte i samma utsträckning som för de andra ämnena.

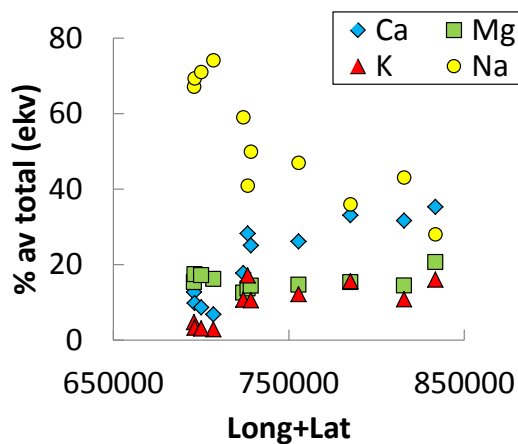
Korrelationen mellan andelen torrdeposition och det geografiska indexet är relativt god för alla ämnen (R^2 0.62 – 0.69, dock K^+ R^2 0.45). Dessa relationer skulle kunna användas för att uppskatta torrdepositionen utifrån uppmätt våtdeposition för vilken plats som helst i Sverige.

Det relativa bidraget från olika ämnen till det totala nedfallet av baskatjoner, inklusive natrium, varierade över landet (Figur 24). Längst i sydväst stod Na^+ för 60-80 %, för att minska till ca 30 % längst i norr. Andelen från Mg^{2+} låg relativt konstant över landet, runt 20%. Även andelen från K^+ var lågt, från mycket lågt längst i sydväst till runt 20 % i norr. Den relativa andelen från Ca^{2+} ökade från ca 10 % i sydväst till ca 30 % i norr.

Figur 23. Det relativa bidraget från torrdepositionen till det totala nedfallet av respektive ämne.

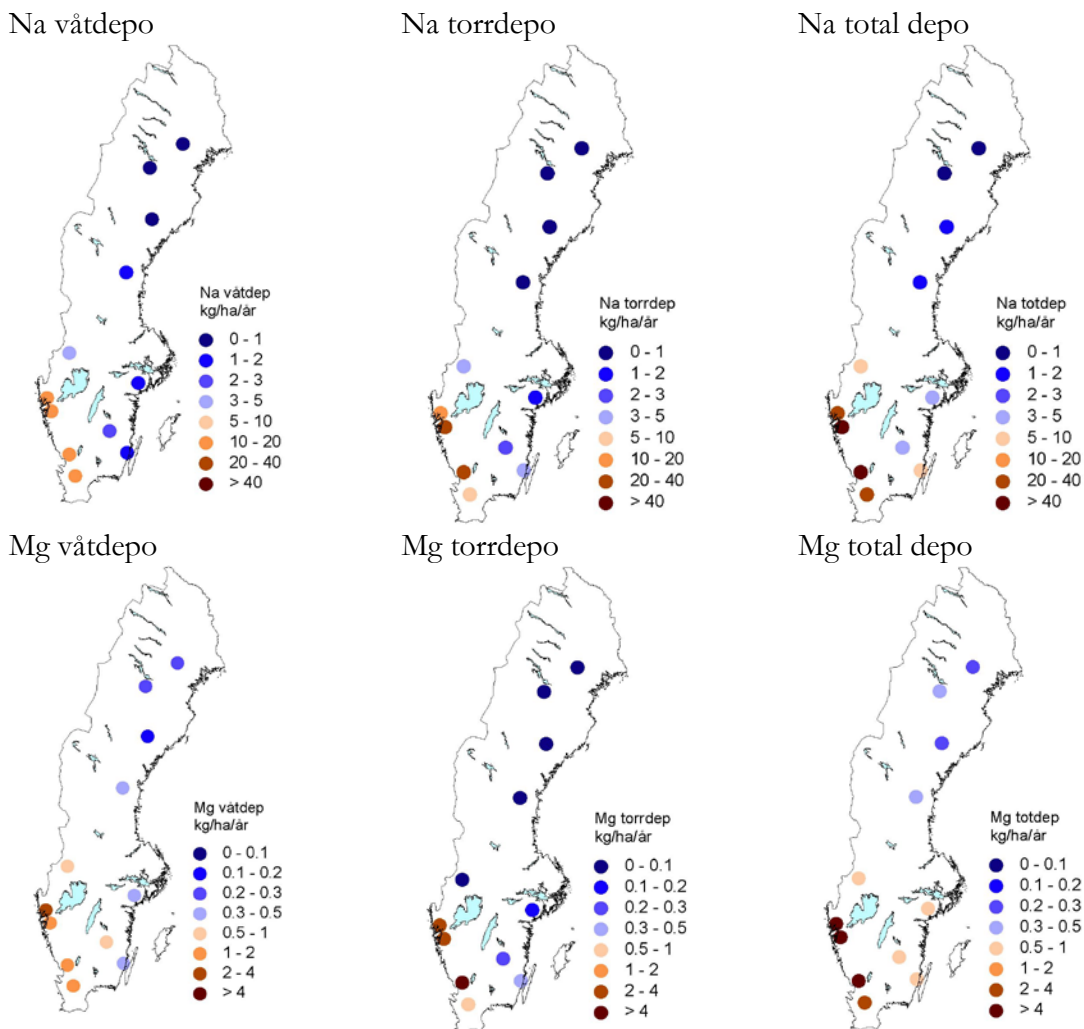


Figur 24. Det relativa bidraget från olika ämnen till det totala nedfallet av baskatjoner, inklusive natrium.

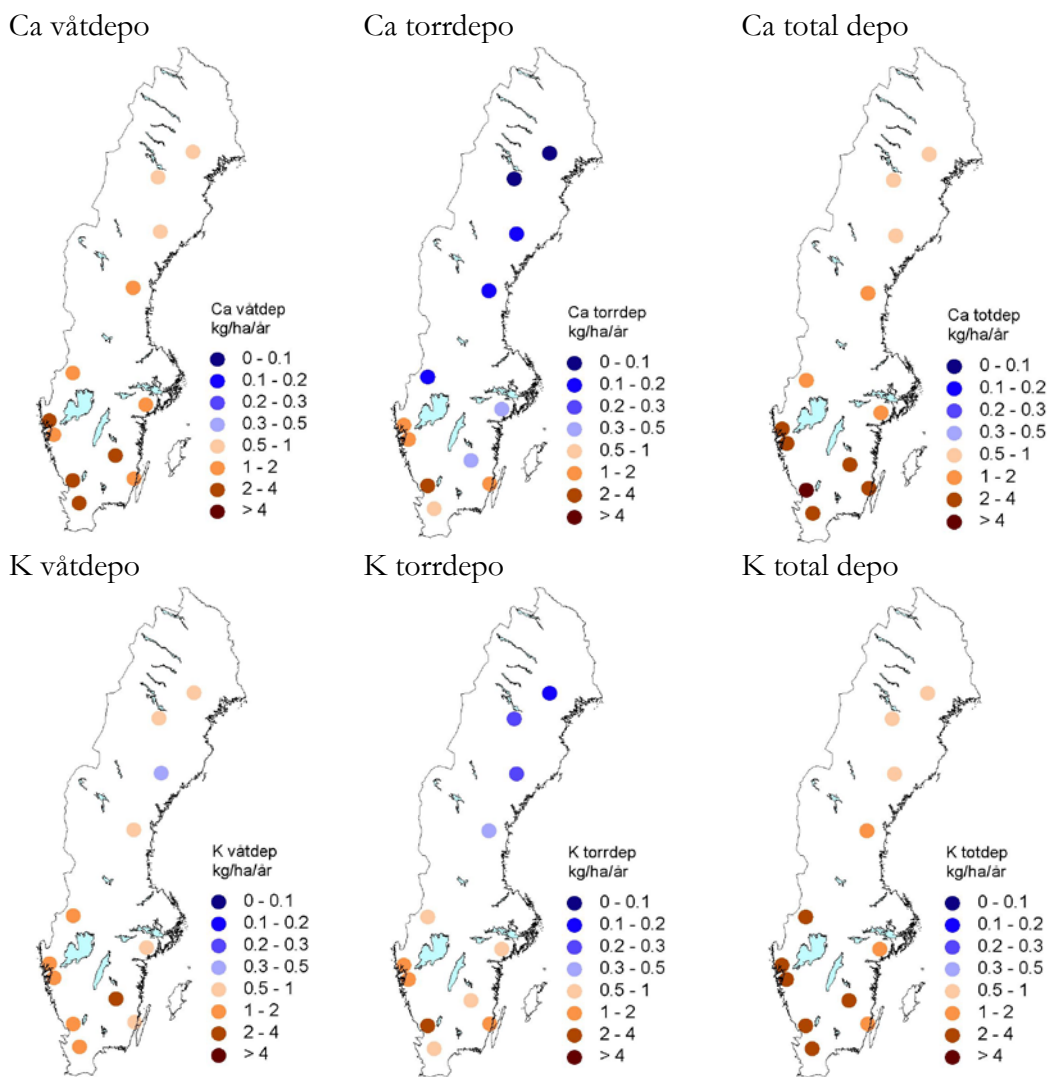


8 Kartor över det totala nedfallet av baskatjoner till Sveriges skogar

Resultaten som presenteras i Tabell 4 visas som kartor i Figurerna 25-28.

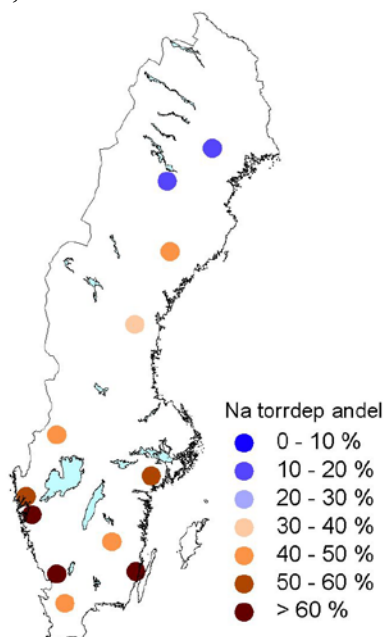


Figur 25. En karta över det årliga nedfallet av Na^+ och Mg^{2+} till barrskog över Sverige, uppdelat på torr-, våt-, och total deposition, beräknat med den metod som tagits fram inom projektet. Enhet kg/ ha/ år. Nedfallet utgör ett medelvärde för årlig deposition över perioden 2001-2008.

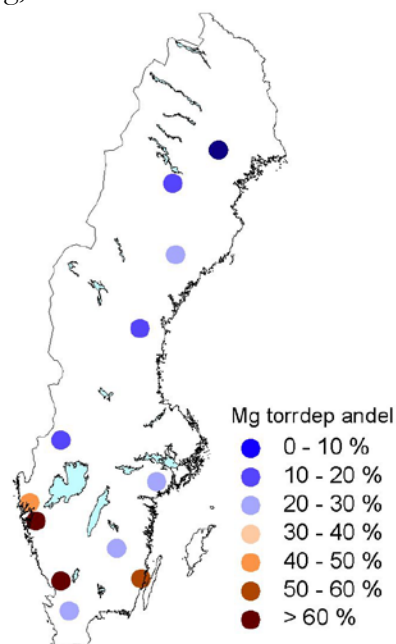


Figur 26. En karta över det årliga nedfallet av Ca²⁺ och K⁺ till barrskog över Sverige, uppdelat på torr-, våt-, och total deposition, beräknat med den metod som tagits fram inom projektet. Enhet kg/ ha/ år. Nedfallet utgör ett medelvärde för årlig deposition över perioden 2001-2008.

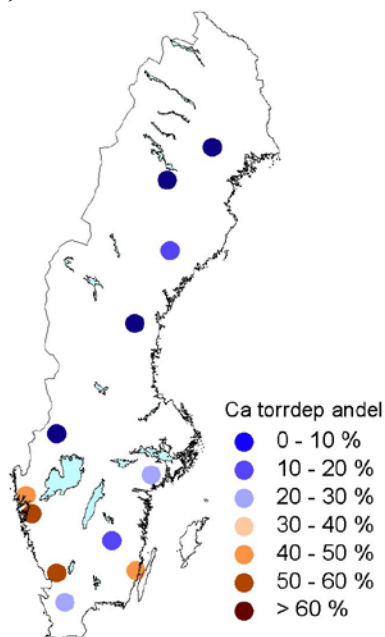
Na, torr vs tot



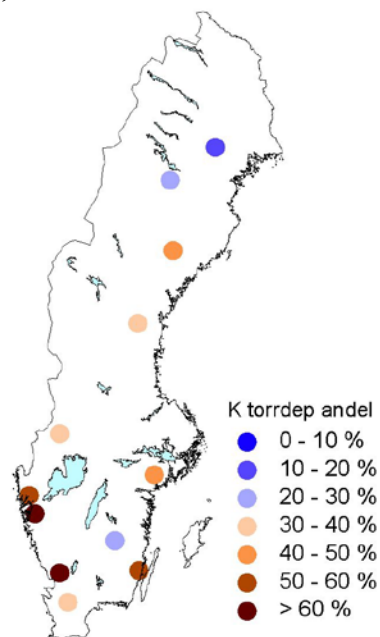
Mg, torr vs tot



Ca, torr vs tot

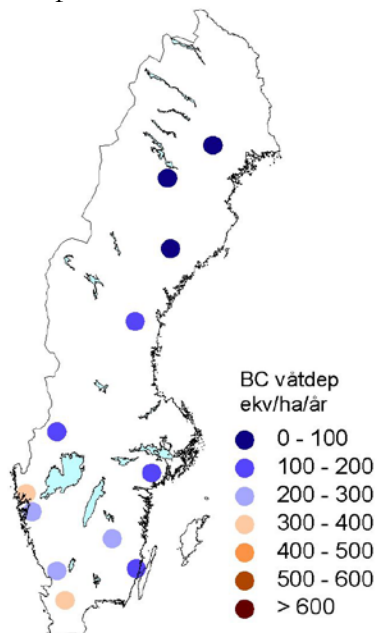


K, torr vs tot

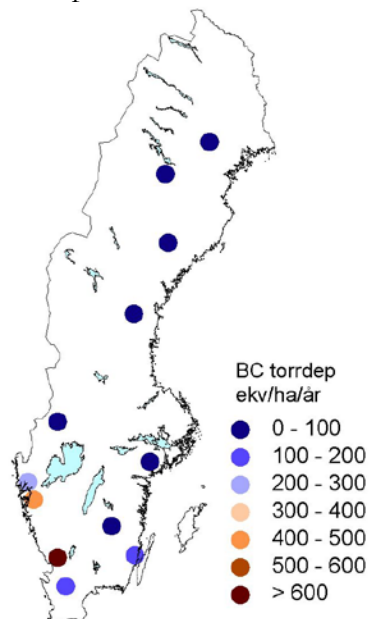


Figur 27. En karta över andelen torrdeposition av det totala årliga nedfallet av olika baskatjoner och Na⁺ till barrskog över Sverige, beräknat med den metod som tagits fram inom projektet. Enhet %. Nedfallet utgör ett medelvärde för årlig deposition över perioden 2001-2008.

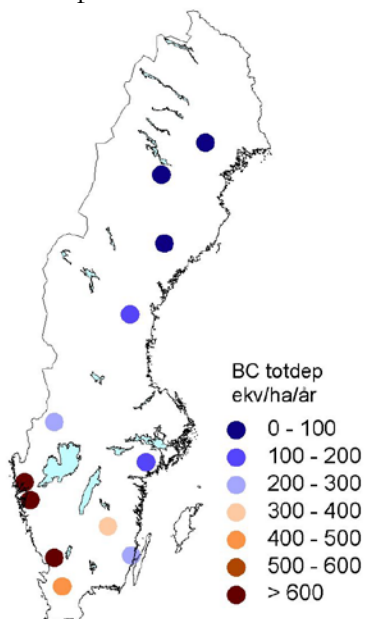
Våt depo



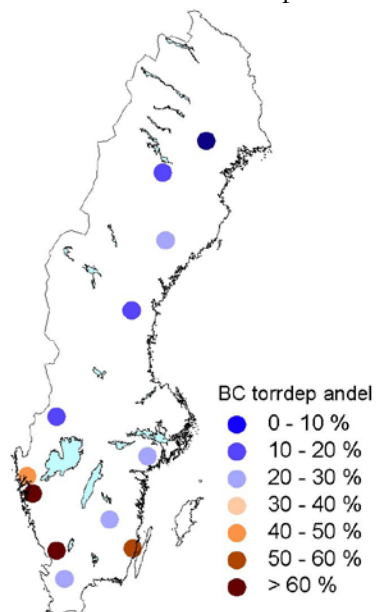
Torr depo



Total depo



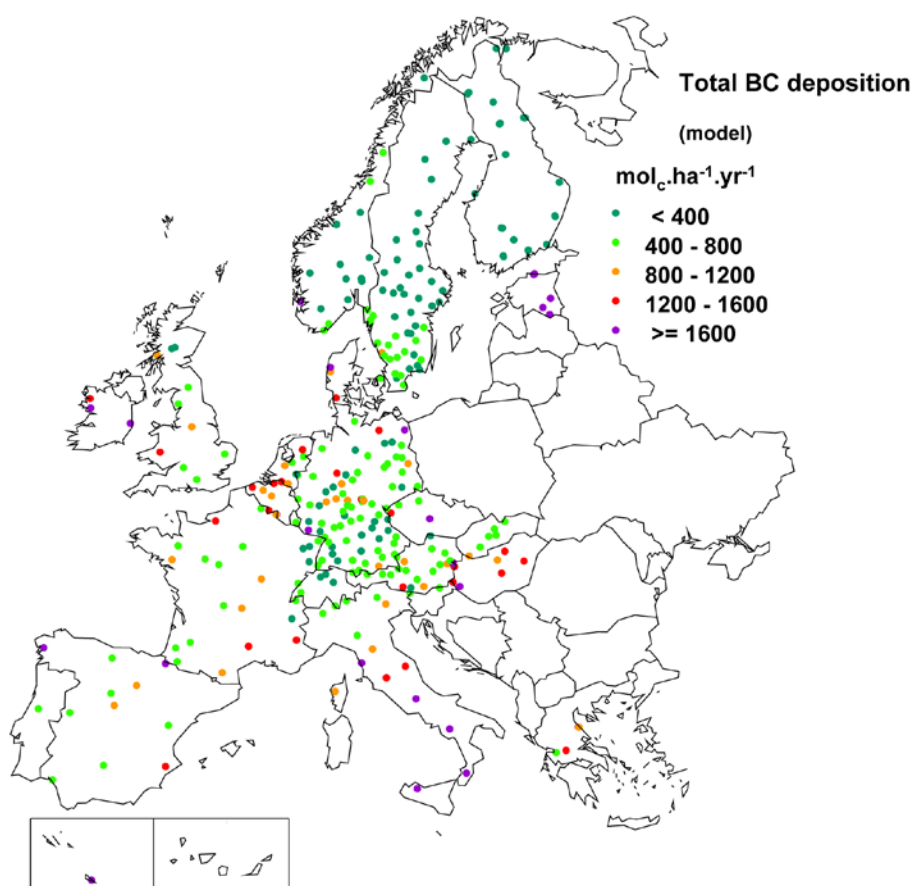
Andelen torr- vs total depo



Figur 28. En karta över den samlade deposition av baskatjoner, exkl natrium, till barrskog över Sverige, uppdelat på torr-, våt-, och total deposition, beräknat med den metod som tagits fram inom projektet. Enhet ekv/ ha/ år. Nedfallet utgör ett medelvärde för årlig deposition över perioden 2001-2008. Dessutom visas andelen torrdeposition av det totala årliga nedfallet (enhet %).

9 En jämförelse med andra beräkningsmetoder

ICP Forest har i sin tekniska rapport från 2001 (EC-UNECE, 2001) publicerat en metod för att beräkna totalt nedfall av baskatjoner till skogen vid olika observationsytor (intensive plots). Metodiken bakom beräkningarna är den s.k. "Canopy Budget Model", (CBM-metoden), som beskrivs i kapitel 2.4 ovan. Resultaten från dessa beräkningar visas i Figur 29.



Figur 29. En karta över det årliga nedfallet av baskatjoner (Ca+Mg+K) till skog över Sverige, hämtat från ICP Forest (EC-UNECE, 2001). I övrigt så hänvisas till ICP Forests tekniska rapport (EC-UNECE, 2001). Enheten $\text{mol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ motsvarar vad gäller baskatjoner $\text{ekv ha}^{-1} \cdot \text{år}^{-1}$, den enhet som används i innevarande studie. Det är oklart för vilka år dessa beräkningar gäller.

Tyvärr är upplösningen i de kartor som publicerats begränsad vad gäller nedfallet av baskatjoner i det låga området. I innevarande studie beräknas ett nedfall av baskatjoner $>400 \text{ ekv ha}^{-1} \cdot \text{år}^{-1}$ endast för platserna i Skåne och längs västkusten, medan ICP Forest beräknar motsvarande nedfall för en större del av södra Sverige (ljusgröna prickar). Den starka geografiska gradienten i nedfallet av baskatjoner från sydväst mot nordost som vi finner i vår studie (Figurerna 17-22) framträder inte i resultaten från ICP Forest (Figur 29).

Det förefaller i övrigt från denna jämförelse som att nedfallet av baskatjoner beräknat med ICP Forests CBM-metod resulterar i ungefär samma nedfall, jämfört med de beräkningar som gjorts i innevarande studie.

Vi har i en första, preliminär analys applicerat CBM-modellen på samma data som har använts ovan för beräkningarna med strängprovtagare (kallas sträng-metoden nedan) i kombination med nettokrondropp för natrium. En skillnad har varit att i CBM-beräkningarna har endast en faktor per plats använts för att konvertera mellan bulk- och våtdeposition, till skillnad mot den mer detaljerade metod som använts ovan. Det visar sig att betydelsen av detta för beräknad våtdeposition var begränsad. Skillnaderna i beräknad våtdeposition som medelvärde över alla år var som mest 40 %, i de flesta fall betydligt mindre. Likaså vad resultaten från beräkningarna av torrdepositionen av natrium relativt lika mellan de två metoderna, detta eftersom det i både fallet grundar sig på nettokrondroppet av natrium (krondropp subtraherat med våtdepositionen). Vad gäller resultaten från beräkningarna av torrdepositionen av Ca^{2+} , Mg^{2+} samt K^{+} , var de avsevärt olika, med högre värden för den torrdeposition som beräknats med CBM-metoden. Vad dessa skillnader beror på får analyseras mer i detalj i framtida studier.

Ruijgrok m. fl., (1997) jämförde modellberäknad baskatjondeposition med den uppmätt med hjälp av konstgjorda grenar i en tallskog i Nederländerna. Man fann här en ganska god överensstämmelse vad gäller baskatjoner.

Dambrine m. fl., (1998) använde plastgranar för att studera torrdepositionen av baskatjoner till ett granbestånd. Man fann att nedfallet av Ca^{2+} och Mg^{2+} var 50 % högre under plastgranarna, jämfört med bulkdeposition på intilliggande öppet fält. Nedfallet av K^{+} var däremot detsamma under plastgranarna som i bulkdepositionen. Genom att jämföra med närstående riktiga granar av samma storlek drog man slutsatsen att det Ca^{2+} och Mg^{2+} som man fann i krondropp under riktiga granar till största delen kom från torrdeposition medan det för K^{+} till största delen kom från läckage från barren.

Beräkningar från Nederländerna visade på att torrdepositionens bidrag till den totala depositionen av olika natrium och baskatjoner var 21% för Na^{+} , 20% för K^{+} , 27% för Mg^{2+} och 25% för Ca^{2+} (Erisman m. fl., 1997).

10 Diskussion om användning och begränsningar vad gäller resultaten

Resultaten från denna studie innebär en förbättrad möjlighet för att beräkna den samlade depositionen av baskatjoner till skogen utifrån empiriska data. Detta kan användas för att validera det nedfall av baskatjoner som kan beräknas med modeller. Samma metod som utgår från strängprovtagare och nettokrondropp av Na^{+} har tidigare visat sig användbar för att beräkna det totala nedfallet av kväve till skogsekosystemen (Karlsson m. fl., 2011).

Storleken på torrdepositionen kan antas vara relaterad till mängden barr/bladyta per markyta, den s.k. "Leaf Area Index", LAI. Resultat från Draaijers m. fl., 1992 visade att

storleken på depositionen rent allmänt kunde knytas till storleken på trädkronorna för Douglasgran i Nederländerna. Vidare var nedfallet större till Douglasgran jämfört med tall och minst för ekskog. Gran i Sverige har allmänt ett högre LAI jämfört med tall och lövskog. De depositionshastigheter som vi beräknat i denna studie för granskog är därför troligen högre än vad som skulle varit fallet för tall- eller lövskog. Vidare har granskog i södra i allmänhet ett högre LAI jämfört med i norr. Detta bidrar till att förklara de högre värden för andelen torrdeposition som beräknas för sydliga platser.

Torrdepositionen beror starkt av skogsekosystemens struktur (Adriaenssens m. fl., 2012). Exempelvis är torrdepositionen sannolikt mycket större till träd i skogsbyn (Hasselrot & Grennfelt, 1987, Ferm, 1993, Pryor m. fl., 2008), detta på grund av en stark turbulens i denna del av skogen. Beräkningarna i denna studie baserar sig på mätningar av krondropp inom Krondroppsnätet. Dessa mätningar är normalt placerade i relativt homogena skogsbestånd, på avstånd från skogsbyn. Detta medför att det nedfall av baskatjoner som gjorts i denna studie i viss mån underskattar nedfallet till den svenska skogen, eftersom skogsbyn är vanligt förekommande.

En ytterligare frågeställning är i vilken mån det nedfall som uppskattats härrör från emissioner från närliggande skogsbestånd. Det står klart att det läcker stora mängder kalium och kalcium från trädkronorna. Om detta läckage från närbelägna skogsbestånd i samma avrinningsområde bidrar till det uppskattade nedfallet av baskatjoner innebär detta att inflödet av baskatjoner till avrinningsområdet inte är så stort som mätningarna indikerar.

Den metod som använts i denna studie, med kvoter mellan olika ämnen och natrium i sköljvattnet från strängprovtagare i kombination med nettokrondroppet av natrium behöver studeras och förfinas ytterligare, se kapitel 11 nedan, innan vi kan med säkerhet bestämma det samlade nedfallet av baskatjoner till skogen i Sverige. I och med denna studie har vi dock tagit ett betydande steg framåt.

Resultaten från denna studie bör i första hand användas som representativa värden för ett årligt nedfall till skogen över en längre period, i första hand för 2000-talet. Ju högre tidsupplösning, ju mer ökar osäkerheterna. Som ovan nämnts har vi varit tvungna att exkludera vissa månadsvisa data från studien, t ex i samband med stormen Gudrun i januari 2005. Detta påverkar beräkningarna för enskilda år. Vi avråder från att använda exakta värden för specifika månader som beräknats i denna studie.

Resultaten från denna studie förbättrar metodiken för att uppskatta torrdeposition av baskatjoner till skogen utifrån empiriska data och därmed ge ett underlag för att validera andra beräkningar av den totala depositionen av baskatjoner.

Resultaten från denna studie bör i första hand användas som representativa värden för ett årligt nedfall till skogen över en längre period.

11 Ytterligare behov av forskning och utveckling

Utformningen av de surrogatytor som används kan spela en viss roll för den torrdeposition som beräknas med den metod som använts i denna studie. Under några år bedrevs parallella provtagningar av sköljvatten från strängprovtagare under tak och från trattar under tak. En preliminär analys visade att kvoterna mellan de olika baskatjonerna till natrium var högre i sköljvattnet från tratt under tak, jämfört med den från strängprovtagarna. Detta kan bero på antingen att torrdepositionen av natrium var lägre till trattarna jämfört med strängprovtagarna eller att torrdepositionen av baskatjonerna var högre till trattarna jämfört med strängarna. Eftersom avsköljningen av trattarna respektive strängarna inte var fullt kvantitativ, kan vi inte avgöra vilket alternativ som var korrekt. Jämförelsen av trattarna jämfört med teflonsträngarna, i perspektiv av formen hos granskott, blir relativt extrem. Det är troligt att teflonsträngarnas form ligger avsevärt närmare granskottens jämfört med trattarna. Dock visar denna preliminära jämförelse att utformningen av surrogatytorna kan ha betydelse och detta måste utforskas vidare i framtida studier.

Det behövs ytterligare tester för att undersöka hur utformningen av surrogatytorna kan påverka beräknade värden för torrdepositionen.

Figur 30. Fotografi av ett granskott.



12 Tack

Vi vill tacka Christer Persson, SMHI, för värdefulla diskussioner under arbetet med denna studie. Tack även till Therese Zetterberg, IVL, som granskade denna rapport och som bidragit med många värdefulla synpunkter.

13 Referenser

- Adriaenssens, S., Hansen, K., Staelens, J., Wuyts, K., De Schrijver, A. Baeten, L., Boeckx, P., Samson, R., Verheyen, K. 2012. Throughfall deposition and canopy exchange processes along a vertical gradient within the canopy of beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Science of the Total Environment* 420, 168–182.
- Akselsson, C., Westling, O., Sverdrup, H., Holmqvist, J., Thelin, G., Uggla, E. et al. 2007. Impact of Harvest Intensity on Long-Term Base Cation Budgets in Swedish Forest Soils. *Water Air Soil Pollut. Focus* 7,201–210.
- Dambrine m. fl., 1998. Use of artificial trees to assess dry deposition in spruce stands. *Atmospheric Environment* 32, 1817-1824.
- DEFRA, 200x. <http://uk-air.defra.gov.uk/reports/empire/naei/annreport/chap7.html>
- Draaijers m. fl., 1992. Research on the impact of forest stand structure on atmospheric deposition. *Environmental Pollution* 75, 243-249.
- 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.
- Erisman m. fl., 1997. Particle deposition to forests – summary of results and application *Atmospheric Environment* 31, 321-332.
- 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.
- Hasselrot, B., Grennfelt, P. 1987. Deposition of air pollutants in a wind-exposed forest edge. *Water, Air & Soil Pollution* 34, 135-143.
- Hedin, L. m. fl., 1994. *Nature* 367, 351-354.
- 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.
- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson. 2011. Totaldeposition av kväve till skog. IVL Rapport B1952.
- Lövblad, G. 1984. Utsläpp till luft och deposition av alkaliska ämnen i Sverige 1950-1980. IVL Rapport B 754.
- Lövblad, G. 1987. Utsläpp till luft av alkali. Rapport B 858.
- Persson, C., Ferm, M., Westling, O. 2004. Förbättrad mätning och beräkning av försurande och övergödande luftföroreningar. Specialprojekt på uppdrag av Naturvårdsverkets miljöövervakningsenhet.

- Petroff, A., Mailliatb, A., Amielha, M., Anselmet. F. 2008. Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part I: Review of present knowledge. *Atmospheric Environment* 42, 3625–3653.
- Pryor, S. C. m. fl. 2008. A review of measurement and modelling results of particle atmosphere–surface exchange. *Tellus* 60B, 42–75
- Ruijgrok et al., 1997. The dry deposition of particles to a forest canopy. *Atmospheric Environment* 31, 399-415.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley 6 Sons.
- Staelens m. fl., 2007. Calculating dry deposition and canopy exchange with the canopy budget model: Review of assumptions and application to two deciduous forests. *Water Air and Soil Pollution* 191, 149-169.
- Törseth, K., Hansen, j.e., Semb, B. 1999. Temporal and spatial variations of airborne Mg, Cl, Na, Ca and K in rural areas of Norway. *Science of the Total Environment* 234, 75-85.
- Ulrich, B. (1983): Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO₂, alkali and earth alkali cations and chloride, pp. 33-45. In: B. Ulrich and J. Pankrath (Eds.): *Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems*, Reidel Publ. Co., Dordrecht, The Netherlands.
- Westling, O., Hultberg, H. & Malm, G. (1995): Total deposition and tree canopy internal circulation of nutrients in a strong acid deposition gradient in Sweden, as reflected by throughfall fluxes, pp 639-647. In: Nilsson, L.O., Hüttl, R.F. & Johansson, U.T. (Eds.): *Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1995.
- Westling, O., Lövblad, G. 2004. Emission, transport, dispersion and effects of base cations in relation to acidification. Report from an UNECE LRTAP workshop in Gothenburg in november 2003. IVL Report 1585.

14 Bilaga 1

Totaldeposition av baskatjoner till skog

IVL Rapport B2058

Per Erik Karlsson, Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson, Karin Hansen.

Depositionen av baskatjoner till skog exklusive bidrag från havssalt.

Inledning

Nedan redovisas resultat från beräkningar av det samlade nedfallet av baskatjoner, inklusive torr- och våtdeposition, till granskog i Sverige, exklusive det bidrag som kommer från havssalt. Först redovisas kort metodiken för beräkningarna. Därefter redovisas årsvisa medelvärden representativa för perioden 2001-2008. Slutligen redovisas resultaten som medelvärden per månad på året. För en detaljerad redovisning av metodik och resultat hänvisas till huvudrapporten, IVL Rapport B2058.

Metodik

Metodiken följer den som används inom EMEP där i första hand natrium används som referens för havssaltsbidrag.

Havssaltets sammansättning

Data till nedanstående tabell är hämtad från Sverdrup, Johnson and Fleming, 1942. The Oceans. Prentice-Hall, Inc. In: Handbook of chemistry and physics, 55th edition 1974-75. Editor: Robert C. Weast. CRC Press, Cleveland, Ohio.

jon	mg/l	andel
Cl ⁻	18980	55.3%
Na ⁺	10561	30.8%
SO ₄ ²⁻	2652	7.7%
Mg ²⁺	1272	3.7%
Ca ²⁺	400	1.2%
K ⁺	380	1.1%
Br ⁻	65	0.2%
Sr ²⁺	13	0.0%
B	4.6	0.0%
Totalt	34328	100%

Beräkning

Korrigeringar görs av de beräknade nedfallet på månadsbasis.

$$D_{\text{ex}} = D - (f * D_{\text{Na}})$$

Där D_{ex} är deposition för ett visst ämne exklusive bidrag från havssalt; D är deposition för ämnet inklusive bidrag från havssalt; f är en korrigeringsfaktor som anges i Tabell 1 nedan; D_{Na} är deposition av natrium för samma månad.

Tabell 1. Korrigeringsfaktorer för omvandling av deposition av kalcium, kalium och magnesium inklusive bidrag från havssalt till motsvarande deposition exklusive bidrag från havssalt, utgåendes från depositionen av natrium enligt

$D_{\text{ex}} = D - (f * D_{\text{Na}})$, där D_{ex} är deposition för ett visst ämne exklusive bidrag från havssalt; D är deposition för ämnet inklusive bidrag från havssalt; f är en korrigeringsfaktor som anges i Tabell 1 nedan; D_{Na} är deposition av natrium för samma månad. korrigeringen gäller deposition med enhet g/ha/mån.

enhet: g/ha/mån

referens: Na⁺

ämne	f
Ca ²⁺	0.0379
K ⁺	0.0360
Mg ²⁺	0.120

Resultat

Några kommentarer till resultaten

Genomgående visar resultaten att nedfallet av magnesium till allra största delen beror av bidraget från havssalt (t ex figur 1). Detta gäller både torr- och våtdeposition. Vid några platser i sydvästra Sverige, med ett stort påslag av havssalt, verkar metoden för att beräkna bidraget från havssalt vad gäller magnesium inte fungera riktigt bra och det blir negativa värden för den beräknade torrdepositionen av magnesium exklusive havssaltbidrag.

Det är genomgående en tydligare geografisk gradient från sydväst mot nordost vad gäller torrdepositionen av baskatjonerna exklusive havssalt jämfört med motsvarande värden för våtdepositionen. Våtdepositionen minskar endast till hälften när man jämför längst i sydväst med längst i nordost.

En jämförelse av torrdepositionen av kalcium respektive kalium visar att torrdepositionen av kalcium minskar mer från sydväst mot nordost än vad torrdepositionen av kalium gör. Längst i norr återstår nästan bara torrdepositionen av kalium. Motsvarande jämförelse av kalcium och kalium vad gäller våtdepositionen visar att längst i söder är depositionen av kalcium större än den för kalium, men denna skillnad minskar mot norr.

Årsvis deposition representativt för perioden 2001-2008

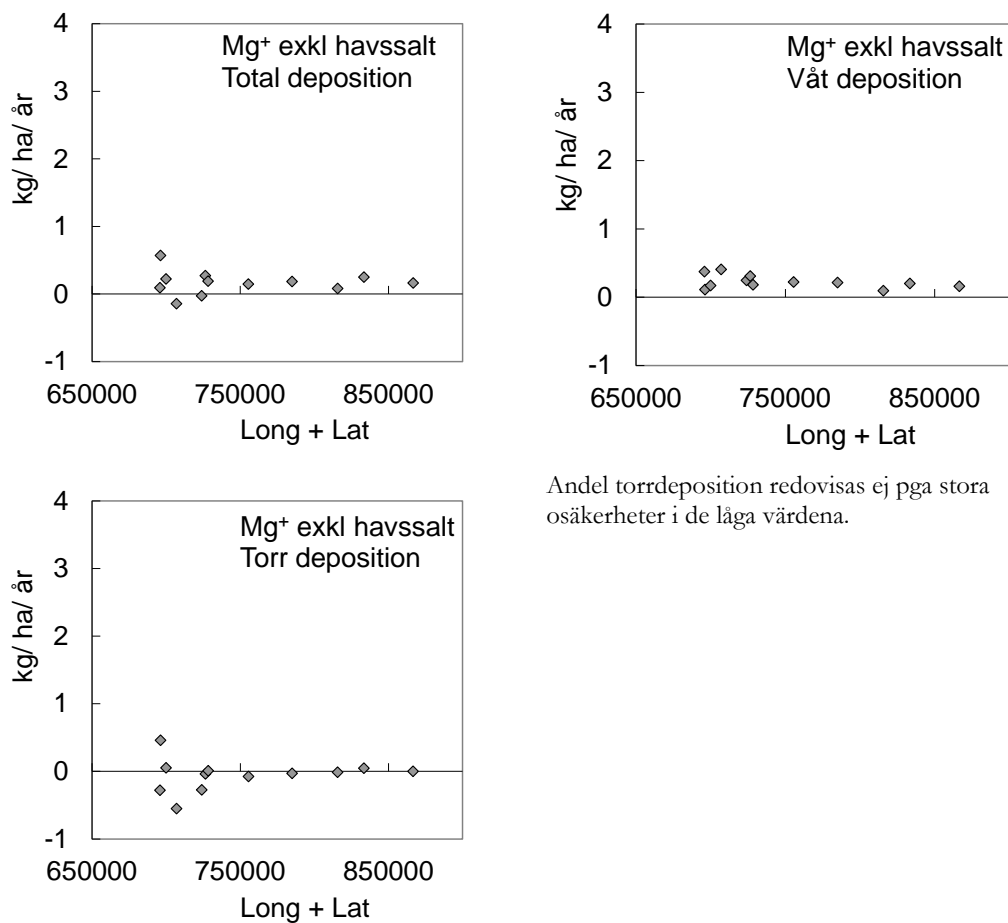
Tabell 2. Den beräknade årliga depositionen av baskatjoner, exklusive bidrag från havssalt, uppdelad i torr- respektive våtdeposition samt totalt. Andelen deposition från torrdeposition anges även. Värdena utgör representativa medelvärden för perioden 2001-2008. BC, kalcium + magnesium + kalium. Subskript "ex" indikerar exklusive bidrag från havssalt.

	Long	Lat	Long+lat	Ca ²⁺ _{ex} kg/ha/år				Mg ²⁺ _{ex} kg/ha/år			
				Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	695905	0.6	2.2	2.8	20	-0.3	0.4	0.1	
Timrilt	131640	564637	696277	1.6	2.1	3.7	43	0.5	0.1	0.6	
Gårdsjön	123000	584000	707000	0.7	1.2	1.9	38	-0.6	0.4	-0.1	
Hensbacka	117380	582614	699994	0.9	1.5	2.4	37	0.1	0.2	0.2	
Blåbärskullen	129100	594916	724016	0.0	1.6	1.6	2	-0.3	0.2	0.0	
Fagerhult	153460	573041	726501	0.4	2.4	2.8	14	0.0	0.3	0.3	
Rockneby	163210	565121	728331	1.0	1.2	2.2	45	0.0	0.2	0.2	
Edeby	169840	585707	755547	0.3	1.4	1.6	17	-0.1	0.2	0.1	
Storulvsjön	163410	621647	785057	0.1	1.2	1.3	8	0.0	0.2	0.2	
Gammtratten	180600	635100	815700	0.1	0.7	0.9	17	0.0	0.1	0.1	
Högbränna	181070	652419	833489	0.1	0.9	0.9	8	0.0	0.2	0.2	
Myrberg	206290	660356	866646	0.0	0.9	0.9	2	0.0	0.2	0.2	

	Long	Lat	Long+lat	K ⁺ _{ex} kg/ha/år				BC _{ex} kg/ha/år			
				Torr	Våt	Total	Torr % av total	Torr	Våt	Total	Torr % av total
Västra Torup	135100	560805	695905	0.7	1.2	1.9	36	22	174	196	11
Timrilt	131640	564637	696277	1.4	0.9	2.3	59	153	139	292	52
Gårdsjön	123000	584000	707000	0.8	0.6	1.4	58	11	109	120	10
Hensbacka	117380	582614	699994	0.7	0.6	1.3	54	65	104	169	38
Blåbärskullen	129100	594916	724016	0.5	1.2	1.7	31	-8	130	123	-6
Fagerhult	153460	573041	726501	0.7	2.5	3.3	23	36	209	245	15
Rockneby	163210	565121	728331	1.0	0.6	1.6	61	75	91	166	45
Edeby	169840	585707	755547	0.7	0.8	1.5	45	25	107	132	19
Storulvsjön	163410	621647	785057	0.4	0.8	1.2	32	12	98	111	11
Gammtratten	180600	635100	815700	0.3	0.3	0.5	46	13	51	63	20
Högbränna	181070	652419	833489	0.2	0.6	0.9	28	14	75	89	15
Myrberg	206290	660356	866646	0.2	0.7	0.8	19	4	74	79	6

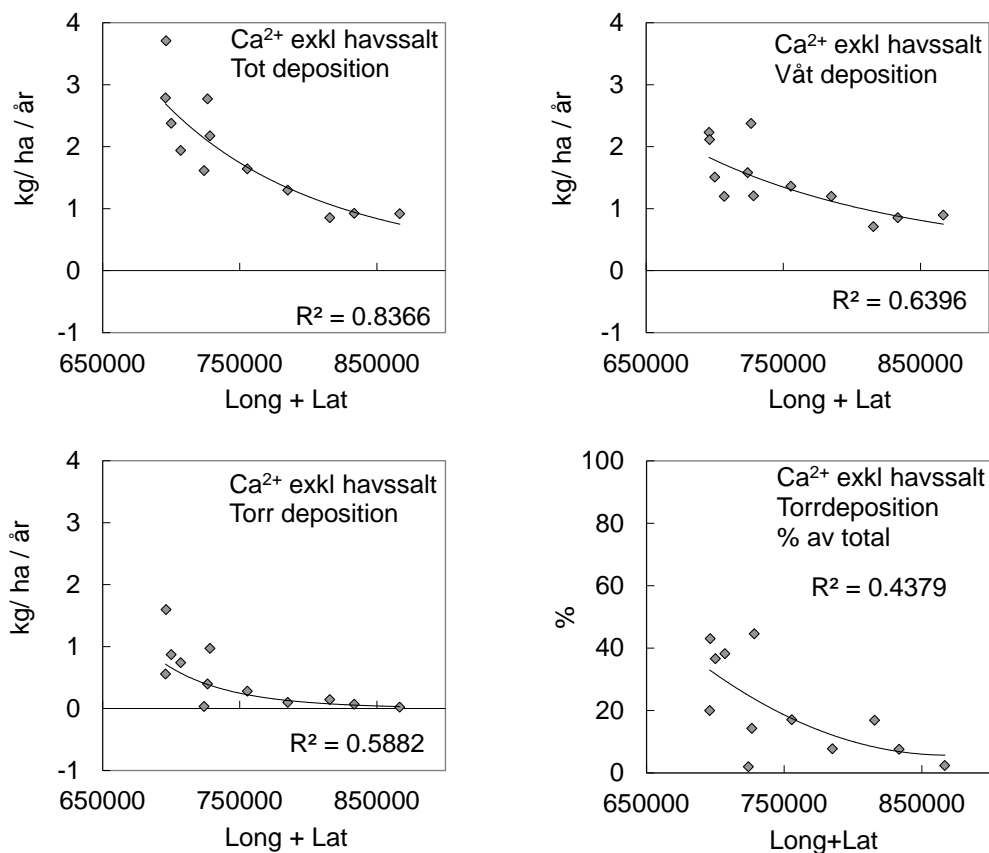
Geografisk variation i årlig deposition

Geografisk variation vad gäller årsvis deposition representativt för perioden 2001-2008 redovisas med hjälp av ett geografiskt index beräknat som summan latitud+longitud. Detta index ökar från sydväst mot nordost.

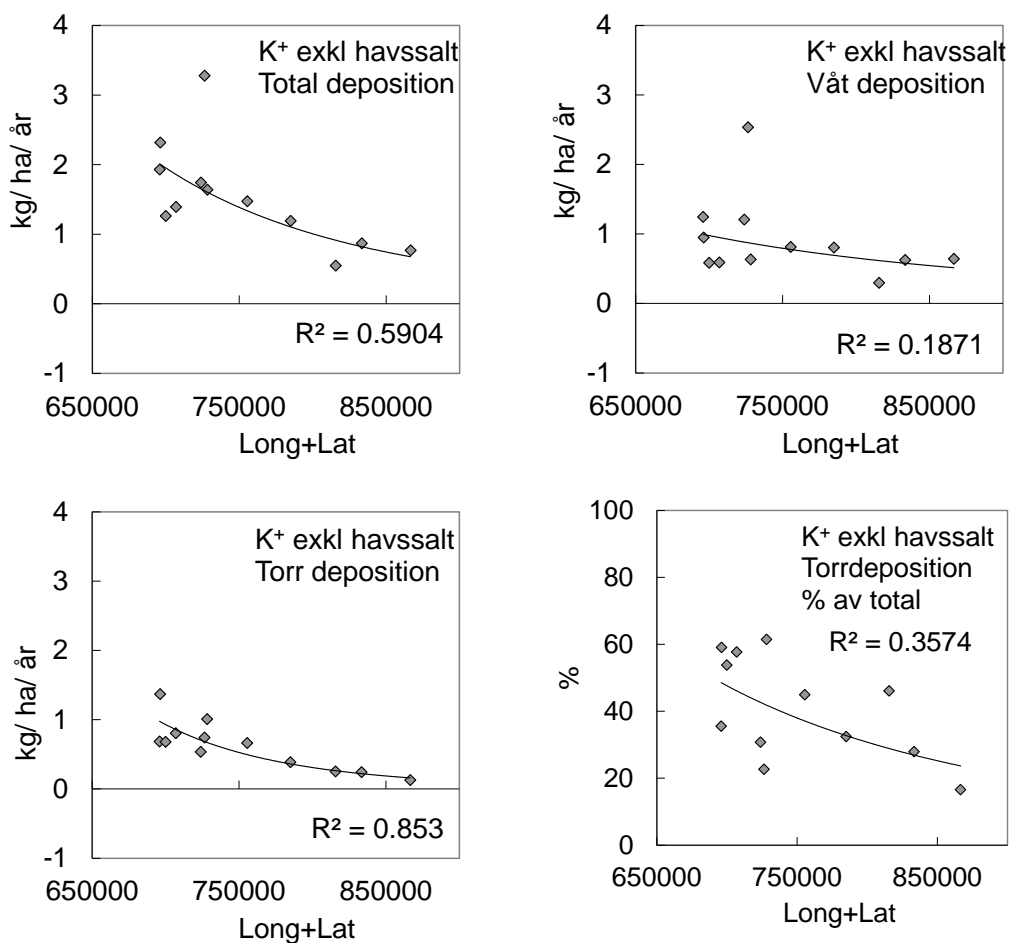


Andel torrdeposition redovisas ej pga stora osäkerheter i de låga värdena.

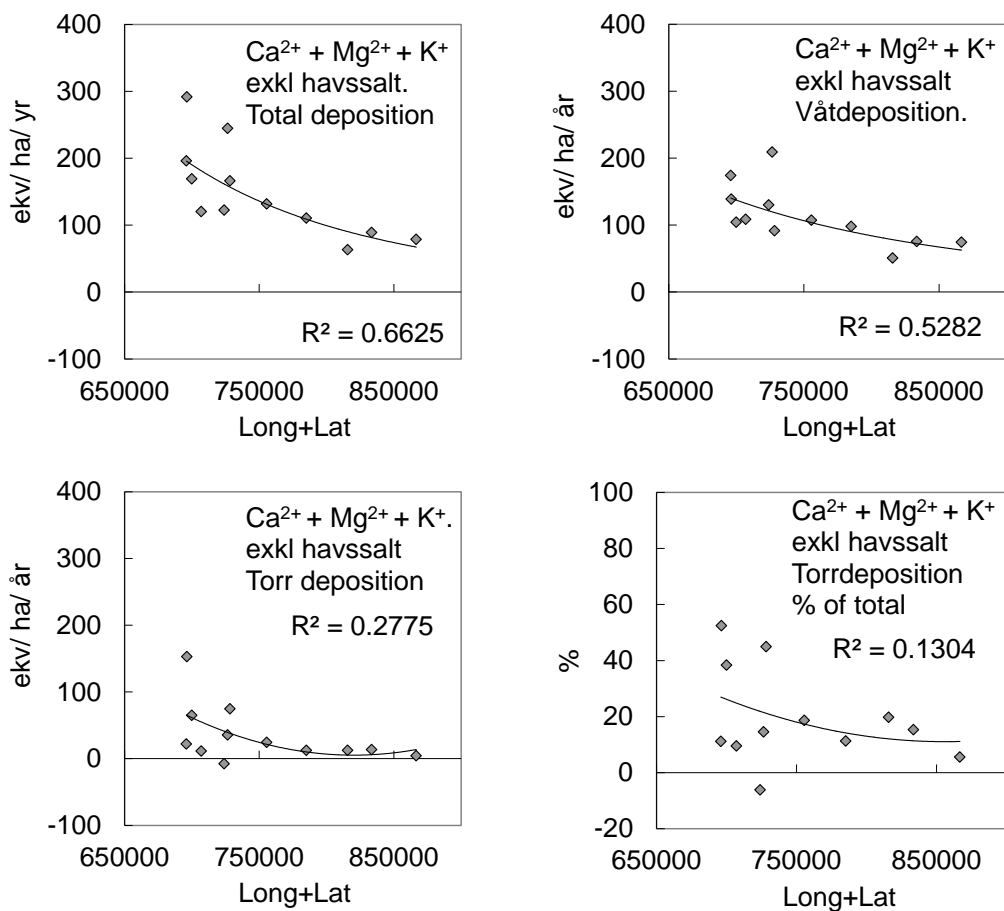
Figur 1. Samband mellan nedfall av Mg^{2+} , exklusive bidrag från havssalt, och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.



Figur 2. Samband mellan nedfall av Ca²⁺, exklusive bidrag från havssalt, och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.



Figur 3. Samband mellan nedfall av K⁺, exklusive bidrag från havssalt, och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.



Figur 4. Samband mellan det totala nedfallet av baskatjoner (Ca + Mg + K), exklusive bidrag från havssalt, och geografisk position för 12 lokaler. Nedfall redovisas som torr-, våt- och total deposition. Position definierades som summan av latitud och longitud, vars värde avtar mot nordost.