



Kloridhalter i gran utmed en depositions- gradient för havssalter



Fredrik Munter

Handledare: Erik Karlton

Examensarbete vid institutionen för skoglig marklära, SLU

Uppsala, 2002

Nr 3

**Kloridhalter i gran utmed en depositions-
gradient för havssalter**

**Chloride content in Norway spruce along a
deposition gradient for sea-salt**

Fredrik Munter

FÖRORD

Detta examensarbete har utförts vid institutionen för skoglig marklära, SLU i ämnet Skogshushållning och omfattar 20 poäng på D-nivå. Arbetet har utförts inom ramen för projektet Kretsloppsanpassad massafabrik (KAM) som finansieras av den Miljöstrategiska forskningsstiftelsen (MISTRA). Projektet är också en del i institutionens forskning som syftar till att bättre klarlägga olika elementflöden i skogslandskapet.

Uppsala i januari, 2002

Erik Karlton, handledare

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	3
Innehållsförteckning	5
Inledning	7
Kloriddeposition	7
Deposition till skogsmiljö	7
Klorid i trädet	8
Klorid i massaindustrin	9
Syfte	9
Material & metoder	9
Provtagning	9
Preparering och analys	10
Databehandling	11
Resultat	12
Kloridhalter	12
Korrelation mellan provytornas kloridhalt och kloriddeposition	13
Korrelation mellan provytornas kloridhalt och nederbörd i form av krondropp	13
Korrelation mellan provträdens kloridhalt i respektive fraktion	13
Totalmängder per träd	13
Totalmängder per hektar	14
Kloridupptag per år	15
Kloridbortförsel genom avverkning	15
Övriga faktorer	16
Diskussion	16
Slutsatser	18
Tack	18
Referenser	18
Bilaga 1 – Beräknad årsdeposition av klorid i Sverige 1996	20

SAMMANFATTNING. Kunskapen om halten av klorid och dess rörelsemönster i träden är bristfällig. Ökad kunskap vore önskvärt för att effektivt bemöta de problem som ämnet orsakar i massabruken. Syftet med detta arbete har varit att undersöka och beskriva kloridhalten i sydsvensk gran (*Picea abies* L. Karst.) och dess olika trädfraktioner. Målet har också varit att skapa en modell för att kunna förutsäga kloridhalten utifrån ett antal mätbara ståndortsfaktorer. Prover hämtades från 8 provytor som låg placerade längs en depositionsgradient för havssalter, från västkusten nära Halmstad, upp på småländska höglandet. Påverkan på kloridhalten från variabler såsom kloriddeposition, nederbördsmängd, ståndortsindex och ålder undersöktes. Resultatet visade att i medeltal innehåller granen inom provområdet 28,6 mg Cl/kg torrsubstans (TS) i veden och att de övriga fraktionerna (bark, grenar, och toppar) har 10-40 ggr högre halter. Vidare visades att kloridhalten inte har något samband mot mängden deponerad klorid. Istället fanns en viss korrelation mot mängden nederbörd som krondropp. Trenderna och sambanden mellan de olika faktorerna och kloridhalten var dock så svaga att det inte går att förutsäga kloridhalten med hjälp av dessa.

Sökord: gran, biomassa, klorid, havssalt, deposition, Sverige

SUMMARY. The knowledge of the chloride content and its fluxes and patterns in trees is insufficient. Increased knowledge would be desirable, one of many reasons is to be able to more efficiently meet the problems that the substance causes in the pulp industry. The purpose of this study was to examine and describe the chloride concentration of Norwegian spruce (*Picea abies* L. Karst.) in the south of Sweden. Furthermore the aim was to be able to predict chloride concentration from readily measurable site factors. Samples were collected from 8 plots situated along a sea salt deposition gradient, from the Swedish west coast to the highlands of Småland. Influence by variables such as chloride deposition, amount of precipitation, site index, and age were examined. The results showed that the mean chloride concentration in Norwegian spruce within the study area was 28,6 mg Cl/kg dry weight substance in the wood fraction and 10-40 times higher in the remaining fractions (bark, branches and needles). The chloride concentration showed no relation to the amount of deposited chloride. Instead there was a correlation between concentration and amount of precipitation, measured as throughfall. The trends and patterns between the different variables were not significant enough to be able to calculate the concentration of chloride on the basis of the site factors.

Keywords: *Picea abies*, biomass, chlorides, marine deposition, Sweden

INLEDNING

Kloriddeposition

Den klorid som deponeras över land i Sverige härstammar nästan uteslutande från havet. Man använder därför ibland klorid för att beräkna depositionen av andra marina ämnen då man känner kvoten mellan klorid och dessa ämnen i havsvatten (Gustafsson & Hallgren Larsson, 2000). Antropogena källor som kan tillföra klorid är vägsalt och industriutsläpp (och på vissa håll i världen, närvaron av saltfält). Dessa kan dominera depositionen på platser belägna > 60 mil från havet (Kreutzer *m.fl.*, 1998). Transporten från hav till land kan huvudsakligen ske genom tre olika mekanismer.

- Våtdeposition, d.v.s. tillförseln av lösta ämnen (i form av joner eller molekylära föreningar) direkt med nederbörd.
- Torrdeposition, direkt avsättning av partiklar (t.ex. salter) eller gaser på vegetation, mark eller vatten.
- Molndeponering, tillförsel med små, svävande vattendroppar som moln eller dimma, förekommer framförallt i hav eller bergsområden (Barnes *m.fl.*, 1997).

I ett försök i Holland (Speulder Forest) stod molndeponeringen för < 1 % av den totala kloriddepositionen (Draaijers *m.fl.*, 1997).

Havsaltsaerosoler produceras till havs och vid kustområden. Små droppar av havsvatten fångas upp av vinden och kan, beroende på meteorologiska förhållanden och vindar, deponeras på land. De lite större dropparna, framförallt från brytande vågor, deponeras inom ett par hundra meter från kustlinjen. Höga vindhastigheter kan öka avståndet. Lättare, mindre droppar kan transporteras ett par km upp i troposfären och färdas ansevärt avstånd innan de deponeras (Gustafsson, 1997). Dessa droppar är atmosfärens huvudkälla av kondensationskärnor varför stora mängder klorid deponeras som våtdeposition. Under torra förhållanden ökar betydelsen av torrdeposition (Gustafsson & Hallgren Larsson, 2000).

Mätning av depositionen kan ske på öppet fält eller i skogsmark. På öppet fält utgörs depositionen till största delen av våtdeposition även om torrdepositionen kan ha viss påverkan. För uppskattning av torrdeposition måste beräkningarna ta hänsyn till miljön i depositionssamlarens omedelbara närhet, t. ex. lokalens exponering mot vind och nederbörd, vegetation och säsong. De torrdeponerade partiklarna sköljs av från vegeta-

tionsstrukturen med nederbörd och mäts i krondroppet (Gustafsson & Hallgren Larsson, 2000). Torrdepositions-mätningar är i regel avsevärt mer osäkra än mätningar av våtdeposition.

Mängden av deponerade marina ämnen är starkt beroende av avstånd till havet, nederbörd och vindar. Koncentrationen av klorid minskar exponentiellt med avståndet till havet (Kreutzer *m.fl.*, 1998). I Sverige bestäms kloriddepositionen huvudsakligen av det rådande vädersystemet där lågtryck som bildas över Nordatlanten förs in över Sverige med sydvästliga och västliga vindar. Extrema väderhändelser kan spela en stor roll för den totala depositionen under ett år. Ett exempel är den storm som 1993 låg bakom 60 % av den totala depositionen av klorid det året. Säsongsvariationen över året är stor. Under perioden oktober 1989 till september 1995 deponerades den största andelen, 40-50 %, av kloriden under årets första kvartal följt av fjärde kvartalet då 20-30 % deponerades (Gustafsson & Hallgren Larsson, 2000). Frekvensen av oväder med vindhastigheter över 21 m/s har ökat kraftigt sedan 1960-talet, vilket innebär att även depositionen av klorid bör ha ökat sedan dess. Betydelsen av höga vindhastigheter och extrem väderlek avtar med ökat avstånd till havet (Gustafsson, 1997). För beräknad deponerad kloridmängd över hela Sverige 1996, se bilaga 1.

Deposition till skogsmiljö

I Gårdsjön, ett försöksområde i sydvästra Sverige, beläget knappt 20 km från havet, är klorid och natrium de dominerande jonerna i det passerande flödet igenom skogsmarken. Större delen av totaldepositionen utgörs av torrdeposition. I försöksområdet, som har en hög kloriddeposition, totalt 96 kg/ha och år i krondroppet över en tioårsperiod 1979-1990 (Hultberg & Grennfelt, 1991), utgjorde under de hydrologiska åren 1979/1980 och 1980/1981 torrdepositionen 69-79 % av den totala kloriddepositionen (Hultberg, 1985).

Provytorna 1, 2 och 4 som användes i fältstudierna för detta arbete hade under perioden oktober 1996 till september 1999 ett medelvärde på 58 % av total kloriddeposition som torrdeposition.

För depositionen över skogsmark och framförallt då torrdepositionen är beståndets struktur mycket viktig (t.ex. träslag, höjd och stamtäthet). Barrträd fångar upp en större andel av depositionen än lövträd och granen är det effektivaste av barrträden (Amezaga *m.fl.*, 1997). Skogsområdets exponering mot den förhärskande vindriktningen är viktig men också var man befinner sig i beståndet. Depositionen ökar ut mot kanterna och är

lägst mitt inne i beståndet. Depositionen i krondroppet blir också störst under höga träd i beståndet vilket tyder på att torrdepositionen är större ju högre upp i trädet man kommer vilket kan bero på att där är exponeringen för kraftiga vindar större. När man mäter kloriddeposition har det också stor betydelse hur man placerar provtagarna. Koncentrationen av klorid m.fl. andra ämnen kan vara mångdubbelt högre eller lägre beroende på denna faktor. Ett försök i en dansk granskog visade att koncentrationen av klorid i krondroppet var allra högst närmast trädstammen och mängden krondropp var högst 0,9 meter ut från stammen. Summan var att den totala depositionen som mest var 2,8 gånger högre nära stammen än under kronans perifera delar (Beier *m.fl.*, 1993).

I flera försök där man kvantifierat kloridmängder genom krondroppsmätningar har man upptäckt något högre halter än förväntat då man jämfört mot natrium och deras inbördes kvot i havsvatten. Detta kan ev. förklaras av antropogena källor alternativt ytterligare någon marin källa såsom organiskt bundet Cl i metylklorid eller HCl i gasform. Kunskaperna kring detta är bristfälliga (Hultberg & Grennfelt, 1991; Kreutzer *m.fl.*, 1998). Andra undersökningar har antagit att all deponerad klorid är av marin härstamning (Hultberg, 1985).

Stora mängder deponerat Cl kan i marken bidra till försurningsprocessen då det förflyttar mobiliserat aluminium nedåt i markprofilen. I jordar där de översta markhorisonerna är försurade (pH < 5.0) kan lösta aluminiumjoner (Al^{3+}) bindas som utbytbara joner på markpartiklarna. Vid händelser som orsakar en höjning av jonstyrkan i marklösningen kan aluminiumjonerna desorberas från sina bindningskomplex. Sådana händelser kan vara depositionstoppar, torka eller variationer i salthalten i nederbörden. Om det samtidigt finns oorganiska anjoner från starka syror, såsom klorid, närvarande i tillräckligt stor omfattning kan aluminiumjonerna förflyttas till djupare markhorisoner. Här är pH högre och Al^{3+} reabsorberas i utbyte mot att baskatjoner går i lösning. När jonstyrkan återigen sjunker kan aluminiumjoner från t.ex. silikatvittring eller upplösning av hydroxider på nytt ersätta de katjoner i de översta horisonerna som tidigare skickat ut aluminiumjoner i lösning (Kreutzer *m.fl.*, 1998). Ökade mängder aluminiumjoner bidrar till markens aciditet och kan motverka ökning i pH då de har en förmåga att lösa upp vattenmolekyler och friställa vätejoner genom hydrolys (Brady & Weil, 1996).

I flera arbeten antar man att klorid är ett konservativt element. Detta skulle innebära att kloriden transporteras genom ett skogsbestånd och

skogsmarken utan att det tas upp av biotan eller deltar i kemiska processer i marken (Ferrier *m.fl.* 1990; Hultberg, 1985; Hultberg & Grennfelt, 1991).

Klorid i trädet

Näringsämnen upptas från marken till trädet antingen genom att de följer med i det vattenflöde som skapas av kronans transpiration eller att de genom diffusion rör sig mellan områden med olika jonkoncentration, något som aktivt kan skapas av trädet. Träden har också möjlighet att aktivt utesluta vissa ämnen ur näringsupptaget (Barnes, *m.fl.*, 1997). Ett utbyte av näringsämnen kan också ske genom kronan där vissa ämnen kan tas upp eller läcka genom löv och barr. Kronutbytet kan ske genom diffusion, ett utbyte mellan ett vattenlager som täcker barren och den underliggande apoplasten alternativt som upptag av gaser genom stomata. Försök med douglasgran (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) visade att läcka- get av klorid ur barren var försumbart (Draaijers *m.fl.*, 1997).

Joner passerar genom kutikulan beroende av deras elektrokemiska potential och kutikulans egenskaper. Upptag genom stomata anses inte vara viktigt om inte höga halter av ytreaktiva ämnen finns närvarande. Storleken i upptaget av havssalter beror på depositionen, nederbördsmonster och relativ luftfuktighet. Ett försök med att utsätta granbarr (*Picea abies* L. Karst.) för olika halter av NaCl för att simulera havssaltsdeposition visade att en högre deponerad saltmängd gav ökade halter av Na i barren. När grenarna doppades i en saltlösning på 100 mg/mL NaCl uppmättes en Na halt på 0,73 % av TS. Denna saltkoncentration gav ca 5 g salt/m² bladyta vilket motsvarar de mängder som kan uppnås på de mest depositionsutsatta platserna på svenska västkusten (Hansen *m.fl.*, 1998). Ett liknande försök på peppar- (*Capsicum annum* L. cv. California Wonder), sojaböne- (*Glycine max* L. Merrill cv. Prize) och tomatplanter (*Lycopersicon lycopersicum* L. Karst ex Farw.) mätte upptaget av klorid och natrium i bladen efter att ha utsatts för saltlösning. Även här uppmättes ett starkt samband mellan deposition och upptagen mängd salt där kloriden visade något högre halter i bladen än natrium. Upptaget var också starkt kopplat till luftfuktigheten, det avstannade då fuktigheten sjönk under 60 % för att återupptas då den steg över 80 % (Gratton *m.fl.*, 1981).

Klor är ett av de 17 essentiella grundämnena och med koncentrationer (i växtvävnader) som vanligtvis ligger under 100 mg/kg TS klassificeras det som ett mikronäringsämne. Det är tillgängligt till växterna i sin jonform, klorid Cl. Klor är i trädet

inblandat i osmos och jonbalans samt är troligtvis essentiellt i fotosyntetiska reaktioner. Det pumpas också aktivt in och ut i stomata för att reglera den osmotiska potentialen och därmed stomatas öppning. Klorbrist kan ge symptom såsom vissnande löv med klorotiska och nekrotiska fläckar, bronsfärgade löv och kortare och förtjockade rötter nära rotspetsarna (Raven *m.fl.*, 1999).

Klorid i massaindustrin

Veden som inkommer till massaindustrin innehåller en rad element som i industrin karakteriseras som processfrämmande grundämnen, PFG. Här bland ingår även kloriden. En ökad slutenhet av massaproduktionen leder till en ökad anrikning av PFG i processen vilket orsakar en rad komplikationer. Kloriden ställer till problem då den anrikas i lutcirkulationen. Anrikningen leder till korrosion och igensättningar av sodapannan. För att komma till rätta med dessa problem inrättas processer, s.k. njurar, som stöter bort PFG. För kloridens del är den viktigaste njuren idag uttag av sodapannestoft. Jonbyte och elektrodialys är nya metoder med intressant potential. Genom en ökad kunskap om storleksordningen av PFG i den inkommande veden så kan njurarnas funktion optimeras. Detta leder till en minskad kemikalieanvändning, förbättrad ekonomi och minskad miljöbelastning

Detta arbete är en del i ett pågående forskningsprojekt på Institutionen för Skoglig Marklära vid SLU i Uppsala. Det ingår i det multidisciplinära forskningsprojektet KAM - KretsloppsAnpassad Massafabrik som i sin tur finansieras av MISTRA (Stiftelsen för Miljöstrategisk Forskning) och svensk industri. Visionen för projektet är "ett helt kretsloppsanpassat system för högkvalitativa pappersprodukter som effektivt utnyttjar biomassans energipotential". Under den nuvarande programperioden fokuseras bl.a. på frågeställningarna: Mineralbalanser i systemet skog - process - fasta biprodukter - alternativ användning och återföring till skog.

Detta arbete ingår som en del i studierna av dessa frågeställningar och dess betydelse för mängderna av PFG.

Syfte

Syftet med detta arbete har varit att undersöka och beskriva hur koncentrationen av klorid (Cl) i olika trädkomponenter varierar längs en deposi-

tionsgradient för havssalter. Med kunskapen om dessa värden har den totala mängden inbundet klorid i skogsbestånden undersökts. Dessutom har halterna av 35 andra näringsämnen analyserats för att undersöka ev. samband mot kloridhalten.

MATERIAL & METODER

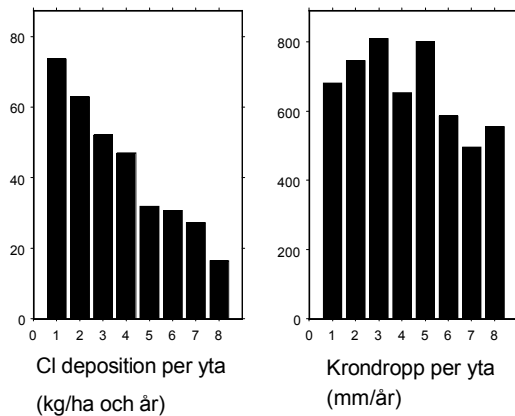
Provtagning

För att studera effekten av havssaltsdepositionen på innehållet av näringsämnen i gran så valdes åtta provtytor i sydvästra Sverige längs en gradient med ökande deposition av klorid. Dessa provtytor låg i anslutning till etablerade mätstationer för nederbörds kemi. Härigenom är den årliga nederbörds mängden och dess sammansättning känd för varje provyta. Trädbeståndet på provtytorna utgörs huvudsakligen av gran (*Picea abies* L. Karst.) där medelåldern på bestånden ligger mellan 46 och 83 år. De flesta provtytorna ingår som en del i ett riksomfattande nät av stationer för miljöövervakning. Ansvarig för dessa ytor är den lokala skogsvårdsstyrelsen. (Undantaget är yta 3 i Skoga-



Figur 1. Provtornas geografiska belägenhet.

by som tillhör SLU's försökspark Tönnersjöheden). De kemiska analyserna av nederbörden har utförts av kontrakterade företag (KM Lab för tytorna i Hallands län och IVL för tytorna i Kronobergs län). För data om provtytorna se vidare i Tabell 1.



Figur 2. Provytornas kloriddeposition respektive kronddropp per hektar och år. Yta 1 närmast.

Provtagningen skedde under en veckas tid i november 2000. På varje provlokal etablerades en provyta med 10 meters radie. Inom ytan uppmättes diametern i brösthöjd för alla träd. Totalhöjden uppmättes för fem slumpvis utvalda träd och dessutom för de träd som användes till provtagning. Vidare valdes tre representativa träd inne i beståndet ut, dessa behövde inte vara placerade inom provytan. De fick inte vara skadade eller i uppenbart dålig kondition. Träden fälldes och kvistades, grön krongräns bestämdes och den gröna kronan delades in i tre delar. Allt fällnings- och delningsarbete utfördes med motorsåg. Ur varje tredjedel valdes sedan en representativ gren ut. De tre grenproverna, inkl. barr för varje träd förpackades och provbehandlades tillsammans.

Stamproverna bestod av trissor som sågades till ca 5 centimeters tjocklek. Dessa togs kring 10, 30, 50, 70 och 90 % av trädets totalhöjd (Figur 3). Varje trissa förpackades separat och likaså trissor från varje träd. För varje stamtrissa antecknades dess höjd över stubben samt dess diameter.



Figur 3. Utsågade trissor.

För varje träd uppmättes också stubbens höjd och diameter.

Preparering och analys

Biomassaproverna har preparerats vid SLU's försökspark i Jädraås. Där har de torkats, barren separerades från grenarna och barken ifrån stamtrissorerna. Därefter maldes proverna. Trissorernas tjocklek samt bredd både på och under bark mättes. Barken och veden vägdes både före och efter torkning.

Kloriden extraherades med en svagt sur nitratlösning (7.1 mM HNO₃/NaNO₃) lösning. Ett (1) gram finmald biomassa skakades tillsammans med 15 ml nitratlösning över natten. Därefter filtrera-

Tabell 1. Fältdata för respektive provyta. H.ö.H. = höjd över havet, SI = ståndortsindex. Siffrorna under trädslagsblandning symboliserar andelen av olika trädslag, 10xx = 100 % gran 0% tall och björk, 910 = 90 % gran, 10 % tall och 0 % björk. Koordinaterna anges som X och Y-koordinater i svenska rikets nät

Ytnr/namn	Ålder (år)	H.ö.h (m)	SI	Avst. t. hav (km)	Cl. dep (kg cl/ha och år)	Kronddropp p (mm/år)	Trädslagsbl.	X-koord.	Y-koord.
1 / Fastarp	72	140	G30	8	73,7	682	10xx	131720	629570
2 / Borgared	70	90	G30	14	63,0	747	10xx	131215	631755
3 / Skogaby	46	95	G30	17	52,1	865	10xx	134065	627221
4 / Olshult	70	160	G30	49	47,0	654	10xx	135220	632245
5 / Fälleshult	68	140	G34	36	32,0	802	10xx	136026	627202
6 / Angelstad	67	140	G32	67	30,7	587	10xx	137405	630285
7/Tagel	83	150	G28	108	27,3	497	910	141330	632695
8/Asa-Oxafällan	48	245	G28	132	16,6	555	10xx	143735	633610

des den genom ett Sartorius Minisart 0,2 μm . sprutfilter, kontrollerat för att inte orsaka läckage av klorid. Biomassaproven för ved och bark utgjordes av en blandning av prov från de olika höjderna i trädet för att erhålla genomsnittsvärden för trädets hela stamlängd. Varje trissa fick den proportion i provet som den stamdel den representerade har i trädet. Detta beräknades utifrån trissans volym för ved och för provernas vikt för bark. Den filtrerade lösningen analyserades med avseende på klorid i en Dionex 4500i jonkromatograf med en Dionex AG4 guardkolonn och en AS4 separationskolonn för anjoner. Före analysen späddes proverna med nitratlösningen (barrproverna 40 ggr, gren och barkprover 20 ggr) för att nå en bättre separation mellan klorid- och acetat-topp. För vedproverna omöjliggjordes denna analys av att acetat hade en högre och Cl en väsentligt lägre koncentration här än i de andra proven. Dessa prover fick istället analyseras med hjälp av Flow Injection Analysis (FIA). Här användes en Tecator FIAstar 5020 Analyser där provet tillsätts en bärarlösning bestående av destillerat vatten, järnthiocyanat ($\text{Hg}(\text{SCN})_2$) och järnnitrat ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$). I den efterföljande reaktionen bildas ett kloridkomplex som analyseras fotometriskt vid 463 nm. För beräkning av totalmängden barr och grenar på träden användes Marklunds biomassafunktioner, funktion G-17 respektive G-13 (Marklund, 1988).

De olika biomassafraktionerna analyserades också med avseende på kol, kväve och svavel genom torrförbränning med en LECO CNS-1000 elementaranalysator.

Analysen av övriga näringsämnen sköttes av SGAB Analytica i Luleå dit proverna skickades. Även här blandades proverna från olika trädhöjder för att få genomsnittsvärden. Av kostnadsskäl analyserades enbart ett träd per provyta, vilket av

de tre träden som skulle användas slumpades. Från detta träd skickades också bark och grenprover för analys. Vid totalhaltsanalysen som utfördes hos SGAB bestäms den totala halten av olika element i biomassan genom fullständig upplösning av provet, i detta fall i litiummetaborat (LiBO_2) (Verbreek *m.fl.*, 1982). 0,200 gram prov smältes med 1,20 gram LiBO_2 under 20 minuter vid 1000°C . Smältan löstes i 100 ml 5 % HNO_3 och analyserades med en ICP emissionsspektrometer. Följande element analyserades: Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Mn, Ti, P, Cr, Ba, Sr, Zr och Y.

Databehandling

Resultaten från kloridanalysen analyserades och behandlades i statistikprogrammet Axum 6.0. The Unscrambler 7.5, ett program för multivariabel analys och regressioner, användes för att få en överblick av trender och samband mellan de variabler som erhållits från de kemiska analyserna och mätningar på provytorna.

För beräkning av totalupptag av klorid under en omloppstid användes ett hypotetiskt homogent granbestånd som antogs vara beläget i sydvästra Sverige med liknande förutsättningar som provbestånden, (Tabell 2). Värdena på beståndsparametrarna är medelvärden från provbestånden. Skötselmodellen hämtades ur en gallringsmall för södra Sverige (Skogsstyrelsen, 1998). Därifrån beräknades också uttagen volym, totalt och uppdelat på ved respektive bark. Modellen förutsätter föryngringsavverkning vid 83 års totalålder. Barr och grenar utelämnades då de i normalfallet blir kvar i beståndet. I de fall där flisning är aktuellt tillkommer ett stort kloridupptag i dessa fraktioner. Kloriddepositionen antogs vara 42,8 kg Cl/ha och år och kloridhalten för ved och bark 28,4 resp. 490 g Cl/kg TS vilket är medelvärden för provbestånden.

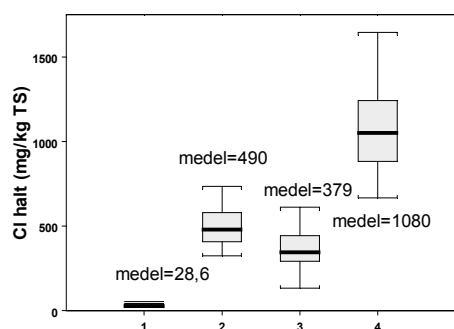
Tabell 2. Teoretisk skötselmodell, (3 gallringar innan föryngringsavverkning) och uttagen volym för ett granbestånd i sydvästra Sverige. Baserad på Skogsstyrelsens gallringsmall för södra Sverige (Skogsstyrelsen, 1998)

	Före gallring	Efter 1:a	Före 2:a	Efter 2:a	Före 3:e	Efter 3:e	Efter Avv.
Volym(m ³ sk/ha)	187	138	270	182	340	240	0
Grundyta	29	21,75	34	23,8	36	27	0
Vid Ålder (bh)		27		38		50	76
Vid öh (m)		14		18,5		22,5	28
Uttag (grundyta)		7,25		10,2		9	41,5
Uttag (% av grundyta)		25%		30%		25%	100%
Uttag (m ³ sk/ha)		49		88		100	460
Summa uttag (m ³ sk/ha)		697		Summa uttag (kg TS/ha)		295,9	
Varav ved (m ³ /ha)		616		Varav ved (ton TS/ha)		264,7	
Varav bark (m ³ /ha)		81		Varav bark (ton TS/ha)		31,2	

RESULTAT

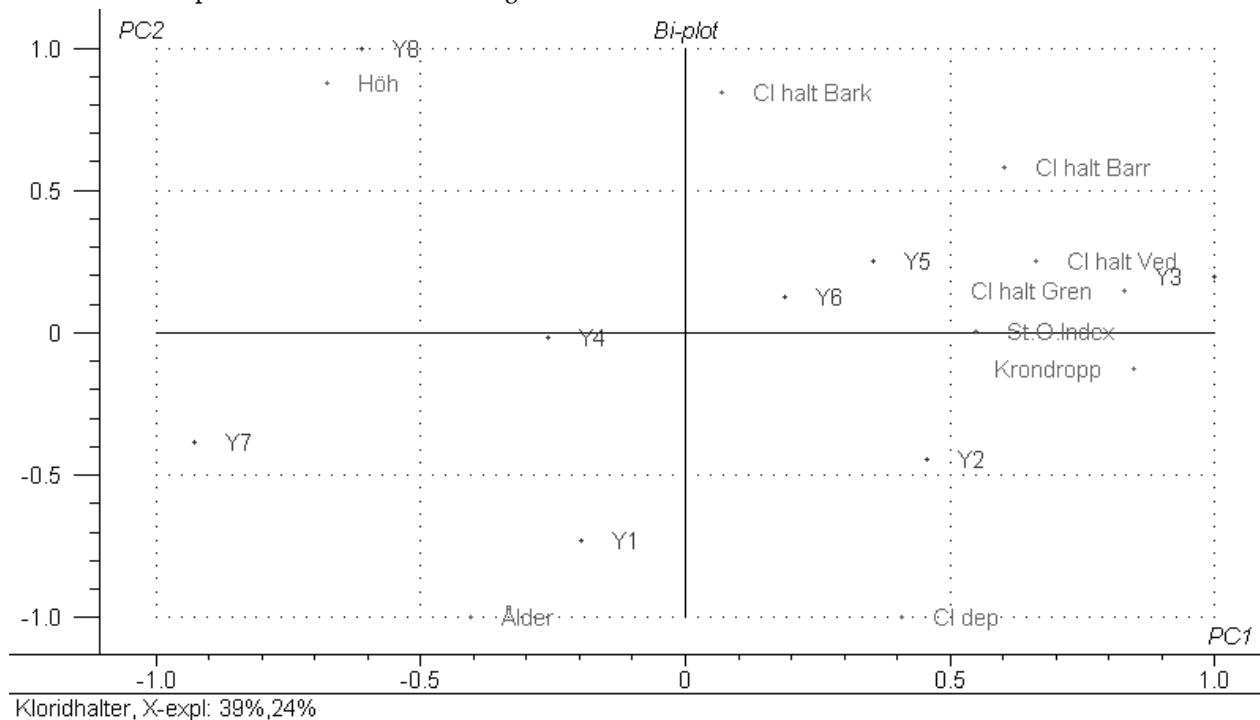
Kloridhalter

Kloridanalysen visade att variationen på kloridhalten var stor mellan fraktionerna, veden hade 10-40 ggr lägre halt än övriga träddelar. Medelvärdena jämfördes med ett t-test, de skiljer sig signifikant mellan fraktionerna och förhåller sig: ved < grenar < bark < barr. Medelvärden och variation



Figur 4. Kloridhalten i respektive fraktion. Fraktion 1=Ved, 2=Bark, 3=Gren, 4=Barr. Den tjocka horisontella linjen i boxen motsvarar provens median. Boxen visar 1:a resp. 3:e kvartilen medan linjerna visar min- och maxvärden.

av kloridhalt i respektive trädfraktion visas i en box-plot i Figur 4. Här ser man också att variationen i kloridhalten över provmaterialet är stor även inom respektive fraktion. Undantaget är



Figur 5. PCA-analys. Översikt av samband mellan de enskilda trädens kloridhalter och övriga bestånds faktorer. De faktorer som ligger nära varandra har en hög samvariation. De faktorer som placerar sig långt ut på x-axeln har störst betydelse för variationen inom proven. Modellen förklarar 63% av variationen inom proven.

veden där halterna visade sig vara någorlunda homogena.

En PCA-analys (Principal Component Analysis) är användbar då data ska analyseras som består av många variabler. Den skapar en modell som identifierar de komponenter som är viktigast för att förklara variationen i datan och därmed vilken information som är viktig, korrelerad, grupperad etc. Den kan presenteras i en graf, (Figur 5), för att göras överskådlig. Den viktigaste komponenten (principal component) för att förklara variationen representeras av x-axeln och variablerna fördelar sig utmed denna motsvarande deras påverkan på denna komponent. Den näst viktigaste komponenten motsvaras av y-axeln.

En PCA-analys med relevant beståndsdata och kloridhalterna i de enskilda trädens olika fraktioner visar att kloriddepositionen inte verkar vara viktig för att förklara variationen i kloridhalt. Då hade provytorna (Y1-Y8) som är valda utifrån stor variation i deposition och avstånd till hav fördelat sig utefter X-axeln med yta 1 (Y1), med högst deposition, längst till höger (Figur 5). Detta avspeglas också i Figur 6a-6d. Däremot ser man att Cl-halterna i de olika trädfractionerna har en relativt hög korrelation mot mängden krondropp (med undantag av barken). Detta syns också i en analys av enbart dessa faktorer, se Figur 7a-7d. Analysmodellen förklarar 63 % av variationen i proven.

Korrelation mellan provytornas kloridhalt och kloriddeposition

Figur 6a-6d visar att korrelationen mellan kloriddeposition och kloridhalt i respektive fraktion är obefintlig eller mycket svag. I veden är variationen i halter mellan och inom de olika provytorna liten med undantag av yta 6 som är avvikande. Även i bark- och barrfraktionen är variationen mellan ytorna relativt låg, däremot blir variationen inom varje provyta större. Grenfraktionen visar en stor variation både inom och mellan provytorna. Ingen av trendlinjerna har en lutning som är signifikant skild från noll.

Korrelation mellan provytornas kloridhalt och nederbörd i form av krondropp

Ett tydligare samband går det att se mellan ytornas nederbörds mängd i form av krondropp och deras kloridhalt (Figur 7a-7d), för ved och barrfraktionen är dock korrelationen fortfarande relativt svag. I vedfraktionen sticker fortfarande yta 6 ut från mängden och bidrar mycket till kurvans lutning genom att både ha högst kloridhalt och krondroppsmängd. Lutningskoefficienterna för

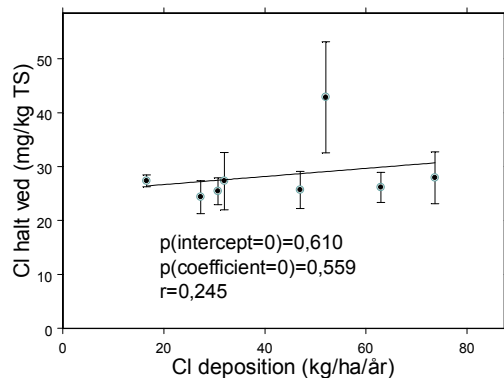
regressionsekvationerna är inte signifikant skilda från noll vid 95 % konfidensintervall även om det för barkfraktionen ligger på gränsen ($p=0,054$).

Korrelation mellan provträdens kloridhalt i respektive fraktion

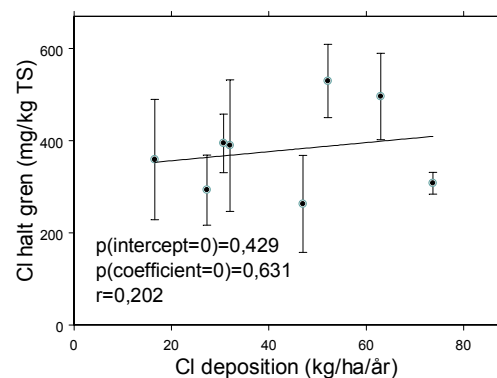
Det är intressant att se hur halterna i de olika biomassadelarna korrelerar mot varandra och huruvida höga halter i en fraktion innebär högre halter även i övriga delar. Det finns ett visst samband mellan grenarna mot bark, ved och barr. Dessutom mellan bark och barr. Däremot är sambandet lägre mellan veden mot bark och barr. Det är dock tydligt att ett ökat kloridupptag i trädet ger en viss effekt i alla biomassadelar (Tabell 3).

Totalmängder per träd

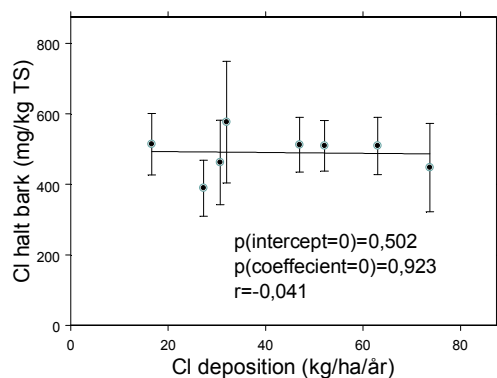
Beräkningen av totalmängden av klorid per träd visade att den största mängden i trädet återfinns i grenar och barr. Det som är avgörande för hur mycket klorid som finns inbundet i trädet är framförallt mängden biomassa (Figur 8) och i synnerhet då mängden grenar och barr. Barren utgör inte någon stor del av biomassan men har



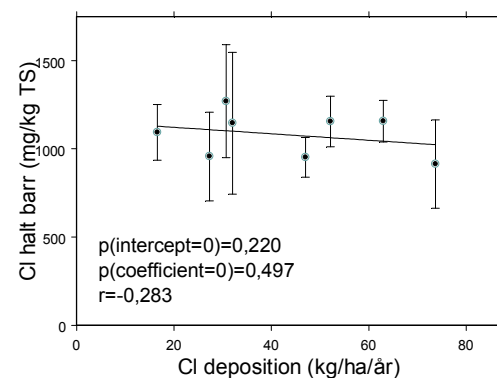
Figur 6a. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i veden och deposition.



Figur 6c. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i grenarna och deposition.

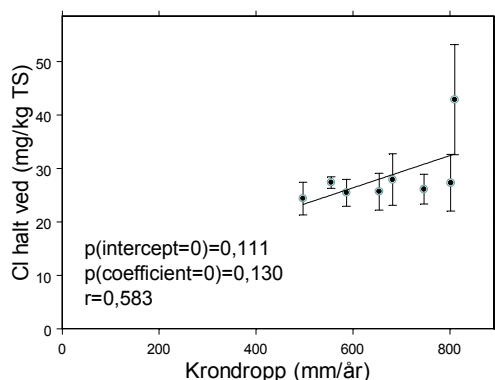


Figur 6b. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i barken och deposition.



Figur 6d. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i barren och deposition.

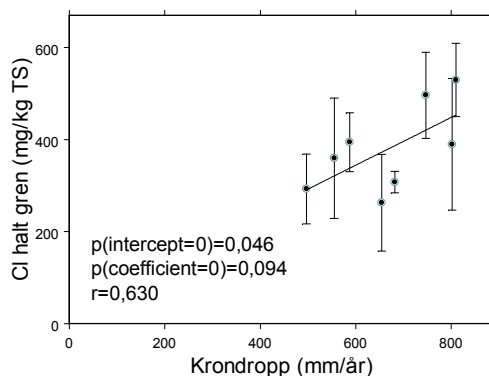
istället höga kloridhalter. Denna halt är visserligen lite lägre hos grenarna men de har å andra sidan en betydande biomassa. Variationen i dessa fraktioner skiljer sig mycket åt mellan provträden och avgör till stor del hur mycket klorid som finns i beståndet. Det ska påpekas att mängden biomassa av grenar och barr inte är de faktiskt uppmätta utan uppskattningar med hjälp av biomassafunktioner.



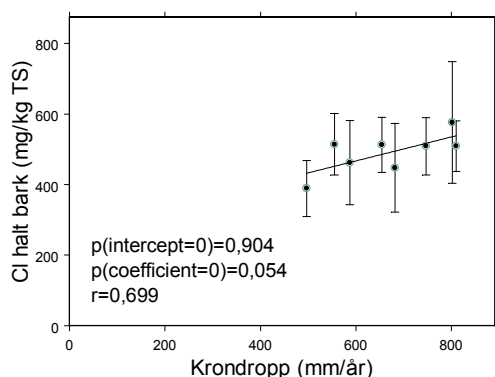
Figur 7a. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i veden och kronddroppsmängd.

per ha av Cl⁻ beräknats. Även här blir naturligt att de största mängderna återfinns i gren- och barrfraktionerna (Tabell 4).

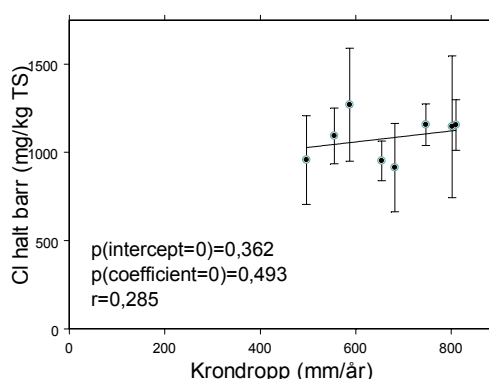
På beståndsnivå följer kloridmängderna inte samma utveckling som i de enskilda träden då man jämför med åldern eftersom beståndets biomassautveckling påverkas genom röjningar och gallringar. De yngre bestånden kompenserar en lägre snittvolym per träd med högre stamtäthet.



Figur 7c. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i grenarna och kronddroppsmängd.



Figur 7b. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i barken och kronddroppsmängd.



Figur 7d. Korrelation mellan provytornas medelkloridhalt i barren och kronddroppsmängd.

Trots att de två fraktioner som har störst betydelse för kloridmängden (grenar och barr) inte visar en lika stark korrelation mellan biomassa och ålder som ved och barr (korrelationen för gren och barr är 0,526 resp. 0,531 motsvarande siffror för ved och bark är 0,767 och 0,744) så blir sambandet mellan de enskilda trädens ålder och total kloridmängd tydligt (Figur 9).

Totalmängder per hektar

Genom att multiplicera mängden klorid i respektive träd med antalet stammar per hektar i de aktuella bestånden har totalmängden i biomassa

Tabell 3. Korrelationer mellan kloridhalten i respektive fraktion

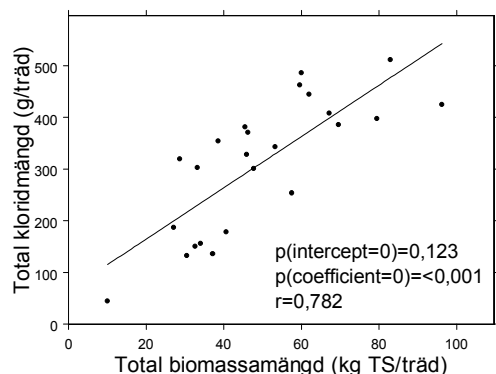
	Ved	Bark	Gren	Barr
Ved	-			
Bark	0,184	-		
Gren	0,587	0,428	-	
Barr	0,265	0,375	0,574	-

Tabell 4. Kloridmängd per hektar i respektive trädfraktion. Baserat på alla provträd (kg/ha)

	Ved	Bark	Grenar	Barr	Totalt
Medel	5,9	7	16,7	14,4	43,3
Min	3,2	5,1	9,4	8,7	28,6
Max	7,4	9,7	27,5	20	61,7

Visserligen finns en trend med ökande mängder bark och ved i de äldre bestånden. Till viss del motverkas dock detta av att mängden barr och grenar istället tenderar att minska med stigande ålder i provbestånden. Summan av detta har för dessa provtytor inneburit att trenden mellan beståndens kloridmängd och ålder är negativ (Figur 10).

Även en PCA-analys med de relevanta variablerna och kloridmängder på beståndsnivå visar att det som är viktigast för förklara variationen i total kloridmängd per hektar är mängden barr och



Figur 8. Korrelation mellan provträdens totala mängd biomassa och totala mängd klorid.

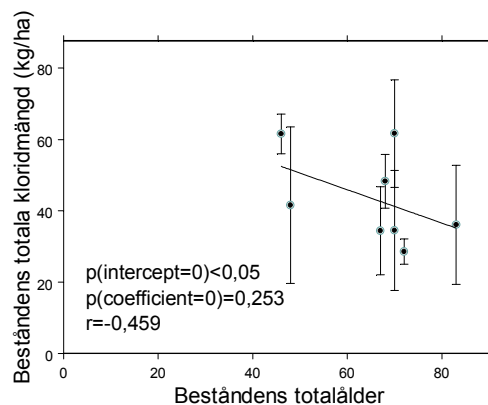
grenar (särskilt grenar, variationen i klorid- och grenmängd sammanfaller helt) (Figur 11). Veden visar, som förväntat, ett större samband mot den totala biomassan och det gör också barken. Dessa är dock positivt korrelerade mot kloridmängden, liksom mängden kron dropp och i viss mån ståndortsindex. Höjd över havet visar istället en negativ korrelation medan ålder, deposition och träd/ha inte har någon större betydelse i denna analys. I Figur 11 finns även de åtta provtytorna (Y1-Y8) med, dessa är valda för sin variation i kloriddeposition och avstånd till havet. Om dessa variabler hade varit viktiga för att förklara variationen i modellen så skulle ytorna fördela sig längs med X-axeln i nummerordning efter ökande kloriddeposition med yta 1 (Y1) längst till vänster, så är dock

inte fallet. Modellen förklarar 75 % av variationen i bestånden.

Kloridupptag per år

Med hjälp av trädens och beståndens ålder samt kunskap om hur mycket klorid som finns inbundet i deras biomassa kan beräkningar av ungefärligt medelupptag per år utföras. Tabell 5 visar det genomsnittliga kloridupptaget per år för provträden fram till tidpunkten för provtagning.

Den stående volymen i beståndet kommer att påverkas i hög grad av hur det har skötts och även volymens fördelning i respektive fraktion. Dessutom tas en stor del av biomassan ut i gallringar under årens lopp, detta försvårar möjligheten att beräkna hur mycket klorid som tagits upp totalt i beståndet. De siffror som redovisas i Tabell 6 är därför med all sannolikhet en underskattning av de verkliga värdena eftersom kloriden i den uttagna volymen i gallringar inte finns med. Det verkliga upptaget kan, i vissa bestånd och under vissa år, med all säkerhet överstiga det största beräknade procentuella upptaget.



Figur 9. Korrelation mellan provträdens totalålder och totala kloridmängd.

Kloridbortförel genom avverkning

Bortförslens av klorid per hektar under en omloppstid (83 år) ur vårt fingerade bestånd blir: totalt 22,8 kg varav veden står för 7,5 kg och barken för 15,3 kg. Beroende på var i provområdet som beståndet är placerat så har mellan 1378 och 6117 kg klorid deponerats per hektar (under förutsättning att medelvärdena för depositionen är konstanta över tiden). Därmed har 0,37 – 1,65 % av deponerad klorid bundits i och förts ut med biomassan. Omkring den tredubbla mängden Cl har under årens lopp funnits i grenar och barr

Tabell 5. Provrädens medelupptag av klorid per träd och år

	Upptag g/träd och år
Provytornas intervall	0,2-1,4
Medel	0,75

men detta återförs till marken då dessa dör i samband med avverkning.

Övriga faktorer

PCA användes för att visa på samvariation mellan element i de olika trädfraktionerna och kloriddepositionen i respektive fraktion. Den förklarade variationen var relativt låg i dessa PCA modeller (54-58 % för bark, gren och ved fraktionerna samt 67 % för mineraljorden). Svaga samvariationer som indikerades i PCA-analysen var att:

- Kloridhalten i grenarna samvarierade positivt med totalhalten för Si, Ti, Fe, Al i barr samt med totalhalten för Na och Mo i ved. Kloridhalten i grenarna samvarierade negativt med Ba och Mn i barr.
- Kloridhalten i barr samvarierade positivt med Ca i barren.
- Kloridhalten i ved visade positiv samvariation mot Zr, Ni, Fe, V, Si, Pb, Sc, Ti, och Cu i grenarna
- Inte för någon fraktion visade variablerna något tecken på att fördela sig efter provytornas klo-

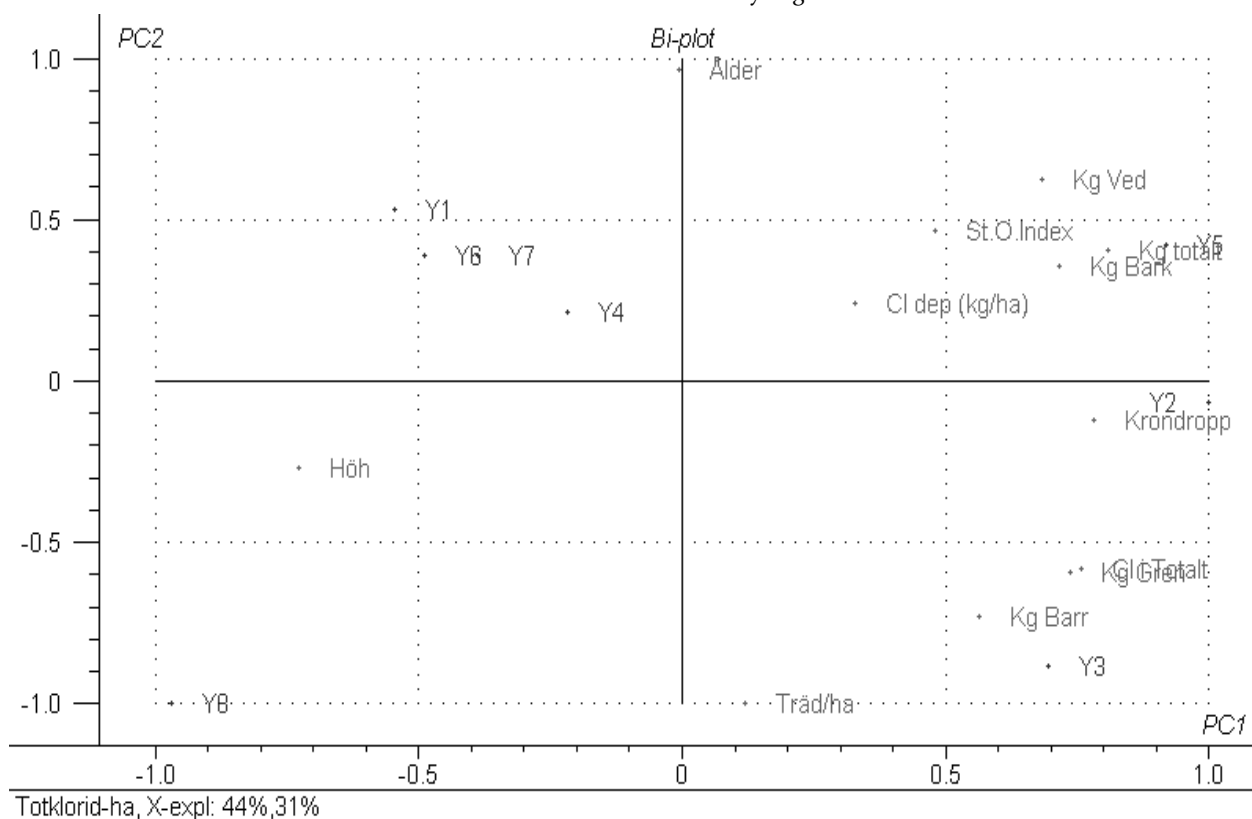
Tabell 6: Provytornas kloridupptag per hektar och år, totalt och som andel av depositionen

	Upptag kg Cl/ha och år	Upptagen andel av dep./år
Provytornas intervall	0,40-1,34	0,54-5,22%
Medel	0,7	2,03%

riddeposition eller avstånd till havet. Några ämnen uteslöts ur modellen då deras värden för flera träd låg under detektionsgränsen.

DISKUSSION

Variationen i kloridhalt är stor över provmaterialet. Skillnaden i halter mellan fraktionerna är stora där ved har lägst och barr högst halter. Detta stämmer överens med vad man kan förvänta sig eftersom det är i barren som kloriden fyller en funktion som essentiellt element. Veden däremot har generellt låga halter av de flesta näringsämnen. Skillnaderna i halter mellan de olika trädfraktionerna är statistiskt säkerställda. Spridningen i kloridhalt är stor både mellan provträd och mellan provytor. Endast veden visar på relativt låg variation inom och mellan provytorna. Kloridhalten visar inga eller mycket svaga korrelationer med den totala depositionen av klorid. Däremot finns tydliga korrelationer mellan kloridhalterna i



Figur 11. PCA-analys. Översikt av samband mellan den totala kloridmängden per hektar och övriga faktorer på beståndsnivå. Modellen förklarar 75 % av variationen.

ved, bark och grenar med krondroppsmängden. Det verkar därför som nederbördsmängden har betydelse för kloridupptaget även om det inte innebär högre mängder deponerad klorid. Detta skulle kunna tyda på att träden har en förmåga att antingen undvika att ta upp kloriden i trädet alternativt göra sig av med överskottet. Det kan vara så att en ökad nederbördsmängd innebär ett ökat vattenupptag i trädet. Om kloridupptaget är passivt så skulle det kunna förklara de högre kloridhalterna genom att en större mängd klorid "slinker med" igenom transportsystemet. Den lägre korrelationen mellan krondropp och kloridhalt i barr är svår att förklara, men tyder på att kloriden antingen inte tas upp genom barren alternativt snabbt allokeras därifrån.

Det verkar tämligen klart att halterna av klorid i de olika fraktionerna inte styrs av den deponerade mängden klorid. Inga tydliga trender mellan fraktionernas halter och deposition föreligger. Inte heller verkar det som om granarna tar upp klorid genom barren såsom vissa studier har visat på andra trädslag i laboratorium (Gratton *m.fl.*, 1981; Hansen *m.fl.*, 1998).

Det finns ett visst samband mellan de olika fraktionernas kloridhalt. En positiv korrelation förekommer framförallt mellan grenar - ved och grenar - bark, detta torde vara logiskt då grenarna är uppbyggda av ved och bark. Dessutom finns en relativt god korrelation för barren mot grenar och bark. Det finns ett positivt samband även mellan veden mot barren och barken även om det är något svagare. Ett ökat kloridupptag verkar ge viss effekt i trädets alla biomassadelar.

Det som är helt avgörande för mängden klorid per ytenhet är den stående volymen biomassa. Denna variation är mycket större än variationen i kloridhalterna. Framförallt är mängden barr och grenar viktig. Barren har i särklass högst koncentration i sin biomassa och grenarna kombinerar relativt höga halter med en stor volym. Eftersom de enskilda träden får större biomassa med ökande ålder så ökar även mängden klorid i träden. Detta samband visar sig dock inte på beståndsnivå då trädens ökande volym kompenseras av ett lägre stamantal. Snarare är det så att kloridmängden per hektar i biomassan tenderar att minska med stigande ålder. Barren och grenarna klarar inte av att kompensera förlusterna vid gallring med en ökande tillväxt. Även krontaket slutning och den naturliga kvistrensningen har betydelse.

Att klorid skulle vara ett konservativt element som passerar genom ett skogsbestånd och ut i grundvattnet helt opåverkat är inte alltid helt korrekt. Träden tar upp och binder betydande mängder framförallt i tillväxtfasen. I vissa arbeten har man gjort antagandet att den totala mängden klorid i utflödet från ett område är lika stort som

den totala depositionen (Ferrier *m.fl.*, 1990; Hultberg, 1985; Hultberg & Grennfelt, 1991). Utifrån detta antagande har man gjort vidare beräkningar för att uppskatta torrdeposition, tillförsel av andra marina ämnen etc. Eftersom man då inte beaktar upptaget till vegetationen får detta till följd att man riskerar att underskatta den totala depositionen av klorid vilket medför fel även i efterföljande beräkningar. Hur stort felet blir kommer att bero bl.a. på storleksordningen av depositionen på det undersökta området. Eftersom upptaget i träden inte styrs av mängden deponerad klorid kommer felet att bli minst där depositionen är störst. Gennomsnittet för hur stor andel av depositionen som tagits upp varierar alltifrån 0,5-5,2 %. Man ska vara medveten om att detta intervall dessutom är en underskattning och upptaget kan troligtvis vara väsentligt högre eftersom det tillkommer upptag och inbindning i trädets underjordiska delar. I vissa fall kan storleken på felet anses försumbart och i andra som en faktor som ger ett genomgående fel i hela beräkningen. Dessutom har skötselmetoderna i beståndet en stor påverkan. Åtgärder som påverkar trädens tillväxthastighet såsom storlek på grönkronan och stamtäthet kommer att ha betydelse även för kloridupptaget. Exempel på sådana åtgärder är gödsling, gallring, och stamkvistning.

De angivna värdena på kloridupptag är medelvärden över beståndets hela uppväxttid. Variationen är troligtvis stor över de enskilda åren. De största mängderna klorid kommer tas upp under år med en snabb tillväxt av barr och grenar. Exempelvis under åren efter en gallring då kronan utvidgas. Under vissa perioder kan nettoeffekten troligtvis vara negativ, särskilt i mogna bestånd med en pågående kronslutning. Det som talar för detta är trenden att kloridmängderna per hektar minskar med ökande ålder, trots att den totala biomassan ökar. År med ett högt förnafall p.g.a. naturlig kvistrensning eller stora barrförluster beroende på insekts eller svampangrepp skulle kunna ge ett tillskott av klorid från biomassan till marken. Självklart blir detta även fallet efter år med gallringar och avverkningar. Även om man tar ut både stamdelarna och riset från beståndet kommer stora mängder barr att bli kvar. Dessutom kommer även nedbrytningen av stubbar i marken att återföra klorid till marken. Huruvida det finns mekanismer för intern-cirkulation av klorid i trädet och hur dessa fungerar är inte känt.

Under förutsättning att grenar och barren lämnas så kommer under ett bestånds omloppstid i storleksordningen 22,8 kg klorid föras ut ur beståndet. Detta motsvarar 0,37-1,65 % av tillförd klorid (vid de depositions-mängder som råder vid provytorna) genom depositionen beroende på var man befinner sig och hur mycket som deponeras

där. Om man hade lyckats ta ut grenar och barr fullt ut i alla avverkningar skulle uttaget ha varit drygt 3 gånger så stort.

Denna undersökning har gett en bra uppfattning om vilka kloridhalter som förekommer i den sydsvenska skogen. Huruvida klorid tas upp och binds i trädet i andra organiska föreningar är inte känt och ligger utanför ramarna för detta arbete. De förda resonemangen är relevanta för medelålders/mogen granskog i södra Sverige. Bestånden i provytorna representerar bestånd som domineras av skött granskog, ingen provyta är dock anlagd på nedlagd åker. Eftersom variationerna varit så stora även inom provytorna hade det varit önskvärt att undersöka fler träd inom varje bestånd (och gärna fler provytor) för att bättre undersöka sambandet mot andra faktorer. En faktor som kan ge variation i materialet är nederbördsrätternas placering i beståndet. Det har visats i försök (Beier *m.fl.*, 1993) att rätternas placering i beståndet kan ge stora variationer i uppmätt deposition. För att minska denna variation har man i provtagningen använt 10 st. uppsamlingssträttar på slumpade avstånd från varandra.

Depositionen är uppmätt på årsbasis, därigenom visas inte om det föreligger relationer mellan provytornas kloriddeposition och trädens upptag under tillväxtperioden. Mängden deponerad klorid under denna period är troligtvis den väsentliga, den huvudsakliga kloriddepositionen sker dock utanför tillväxtperioden.

Materialet som analyserats med avseende på andra ämnen (fr.a. metaller) är alldeles för litet för att kunna dra några slutsatser. Lite förvånande är det dock att kloriden inte visar någon större samvariation med övriga marina element.

SLUTSATSER

- Den faktor som påverkar kloridhalten i biomassan mest är mängden nederbörd som krondropp. Mängden total deponerad klorid har mycket liten eller ingen betydelse.
- Det finns en korrelation mellan kloridhalten i de olika fraktionerna. Störst är denna för grenar - ved, grenar - bark och grenar - barr.
- För de enskilda träden är mängden biomassa viktigast för den totala mängden klorid i trädet, detta har större betydelse än kloridhalten.
- De största mängderna klorid finns bundet i barr och grenar, totalt ca 3 gånger mer än i ved och bark.
- Den bundna kloridmängden på beståndsnivå tenderar att minska med stigande ålder.
- I ett bestånd tar träden upp 0,5-5,2% av den totala depositionen. Detta är en låg skattning av uttaget.

TACK

Jag vill tacka alla som varit mig till hjälp under detta arbete:

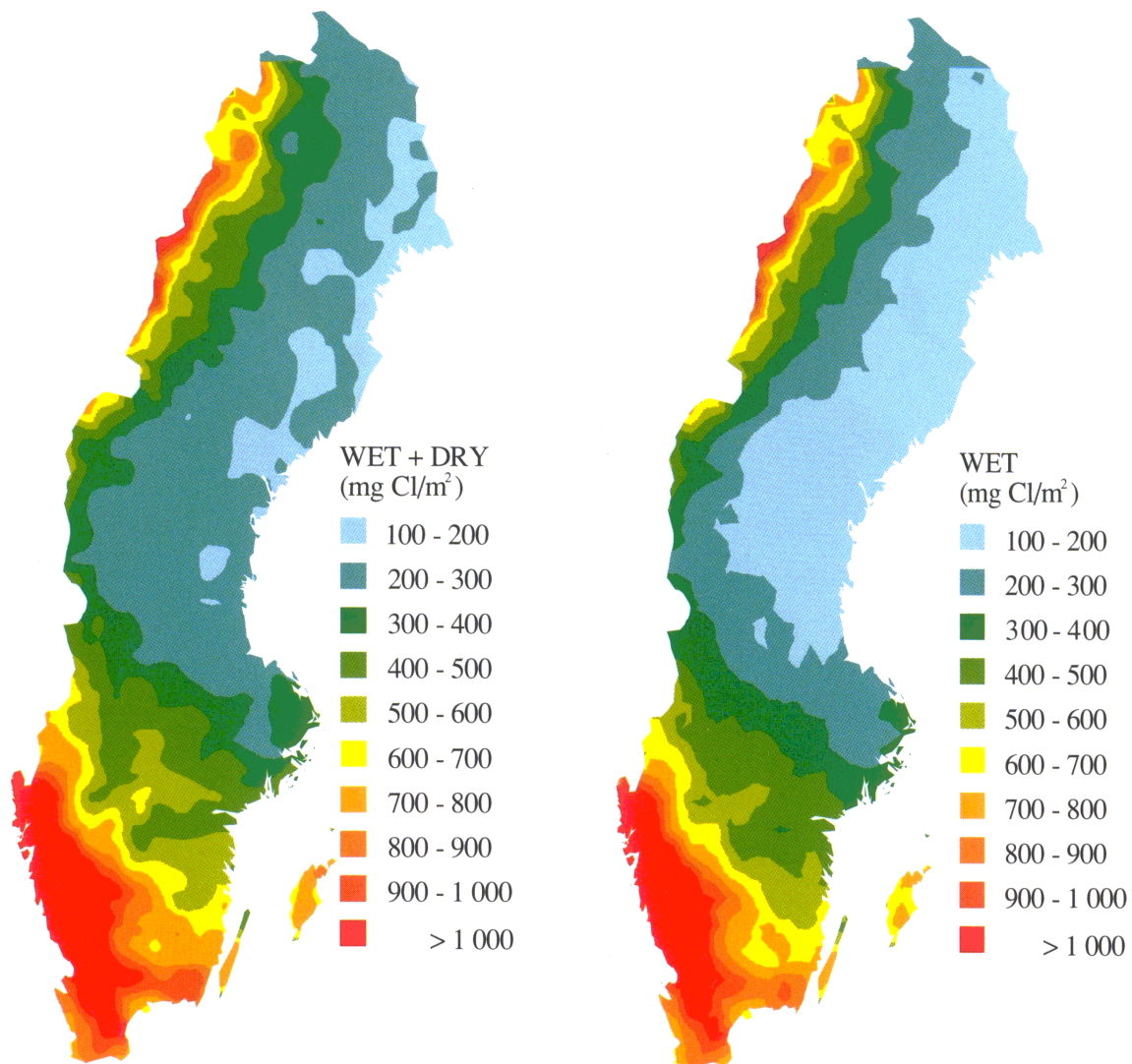
Alla glada människor på Institutionen för skoglig marklära vid SLU i Uppsala, de markägare i Halland och Kronobergs län som ställt upp med provytor och provträd. Olle Westling vid IVL och Ulf Johansson vid Tönnersjöhedens försöks-park som hjälpt mig att hitta rätt provytor. Caroline Rothpfeffer som hjälpte mig med fältarbetet och min handledare Erik Karlton. Ett stort tack till Er alla!

REFERENSER

- Amezaga, I., Gonzales Arias, A., Domingo, M., Echeandia, A. & Onaindia, M. 1997. Atmospheric deposition and canopy interactions for conifer and deciduous forests in northern Spain. *Water, Air, and Soil Pollution* 97, 303-313.
- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R. & Spurr, S.H. 1997. *Forest Ecology*. 4:e upplagan. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 792 sid. ISBN 0-471-30822-6.
- Beier, C., Hansen, K. & Gundersen, P. 1993. Spatial variability of throughfall fluxes in a spruce forest. *Environmental Pollution* 81, 257-267.
- Brady, N.C. & Weil, R.R. 1996. *The Nature and Properties of Soils*. 11:e upplagan. Prentice-Hall International (UK) Limited. London, Storbritannien. 740 sid. ISBN 0-13-243189-0.
- Draaijers, G.P.J., Erisman, J.W., Van Leeuwen, N.F.M., Römer, F.G., Fe Winbol, B.H., Veltkamp, A.C., Vermeulen, A.T. & Wyers, G.P. 1997. The impact of canopy exchange on differences observed between atmospheric deposition and throughfall fluxes. *Atmospheric Environment* 31, 387-397.
- Ferrier, R.C., Jenkins, A., Miller, J.D., Walker, T.A.B. & Anderson, H.A. 1990. Assessment of wet deposition mechanisms in an upland scottish catchment. *Journal of Hydrology* 113, 285-296.
- Gratton, S.R., Maas, E.V. & Ogata, G. 1981. Foliar uptake and injury from saline aerosol. *Journal of Environmental Quality* 10, 406-409.
- Gustafsson, M.E.R. 1997. Raised levels of marine aerosol deposition owing to increased storm frequency; a cause of forest decline in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology* 84, 169-177.
- Gustafsson, M.E.R. & Hallgren Larsson, E. 2000. Spatial and temporal patterns of chloride deposition in southern Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution* 124, 345-369.
- Hansen, J.K., Saxe, H., Røsbild, A., Nørgård Nielsen, C., Simonsen, J.P., Larsen, J.B. & Wellendorf, H. 1998. Decline and physiological response to foliar deposited salt in Norway spruce genotypes: a comparative analysis. *Canadian Journal of Forest Research* 28, 1879-1889.
- Hultberg, H. 1985. Budgets of base cations, chloride, nitrogen, and sulphur in the acid Lake Gårdsjön catchment, SW Sweden. *Ecological Bulletins* 37, 133-157.

- Hultberg, H. & Grennfelt, P. 1991. *Sulphur and seasalt deposition as reflected by throughfall and runoff chemistry in forested catchments*. IVL, Rapport B-1009. Göteborg, Sverige. 18 sid.
- Kreutzer, K., Beier, C., Bredemeier, M., Blanck, K., Cummins, T., Farrell, E.P., Lammersdorf, N., Rasmussen, L., Rothe, A., de Visser, P.H.B., Weis, W., Weiß, T. & Xu, Y.-J. 1998. Atmospheric deposition and soil acidification in five coniferous ecosystems: a comparison of the control plots of the Exman sites. *Forest Ecology and Management* 101, 125-142.
- Lövblad, G., Persson, C. och Roos, E. 2000. *Deposition of base cations in Sweden*. Naturvårdsverket, Rapport 5119. Stockholm, Sverige. 60 sid. ISBN 91-620-5119-9.
- Marklund, L.G. 1988. *Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige*. Institutionen för skogstaxering, Rapport 45. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå, Sverige. 73 sid. ISBN 91-576-3524-2.
- Raven, P.H., Evert, R.F., Eickhorn, S.E. 1999. *Biology of plants*. 6:e upplagan. W.H. Freeman and Company/Worth Publishers. New York, USA. 944 sid. ISBN 1-57259-041-6.
- Skogsstyrelsen, 1998. *Gallringsmallar Södra Sverige*. Skogsstyrelsen. Jönköping, Sverige. 35 sid.
- Verbreek, A.A., Mitchell, M.C. & Ure, A.M. 1982. The analysis of small samples of rock and soil by atomic absorption and emission spectrometry after a lithium metaborate fusion/nitric acid dissolution procedure. *Analytica Chemica Acta* 135, 215-228.

BILAGA 1 - BERÄKNAD ÅRSDEPOSITION AV KLORID I SVERIGE 1996



Källa: (Lövblad *m.fl.*, 2000).

EXAMENSARBETEN UTFÖRDA OCH PUBLICERADE VID
INSTITUTIONEN FÖR SKOGLIG MARKLÄRA, SLU FR O M ÅR 2001

1. Gustafsson, Maria. 2001. Carbon loss after forest drainage of three peatlands in southern Sweden.
2. Isberg, Susanna. 2002. Elementkoncentrationer i gran utmed en markfuktighetsgradient.
3. Munter, Fredrik. 2002. Kloridhalter i gran utmed en depositionsgradient för havssalter.

I denna serie publiceras examensarbeten utförda vid institutionen för skoglig marklära, SLU. Tidigare nummer i serien kan i mån av tillgång beställas från institutionen. De kan också laddas ner från institutionens hemsida: www.sml.slu.se.

Institutionen för skoglig marklära
SLU
Box 7001
750 07 Uppsala
Tel. 018-672212

ISSN 1650-7223
ISBN 91-576-6145-6

Institutionen för skoglig marklära
SLU
Box 7001
750 07 Uppsala
