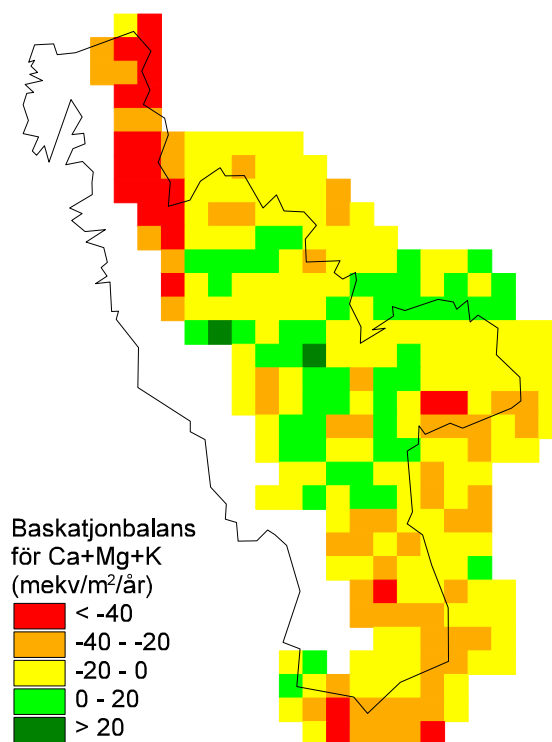




rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Kritisk belastning och baskatjonbalanser för skogsmark i Halland



Cecilia Akselsson och Olle Westling
B1577
April 2004

Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Box 470 86, 402 58 Göteborg	Projekttitel/Project title Kritisk belastning och baskatjonbalanser för skogsmark i Halland
Telefonnr/Telephone 031-7256200	Uppdragsgivare/Client Länsstyrelsen i Halland
Rapportförfattare/author Cecilia Akselsson och Olle Westling	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Kritisk belastning och baskatjonbalanser för skogsmark i Halland	
Sammanfattning/Summary Halland tillhör de mest försurningsdrabbade länen i Sverige på grund av de senaste decenniernas höga deposition av svavel och kväve. I denna studie presenteras underlag för regional uppföljning av miljömål med avseende på kritisk belastning för försurning samt baskatjonbalanser i skogsmark. Baskatjonbalanser i skogsmark för kalcium, magnesium och kalium beräknades med hjälp av massbalansberäkningar där tillförseln av baskatjoner sker genom deposition och vittring, medan bortförslenn sker genom utlakning, skörd samt upplagring i växande skog. Beräkningarna visar på en negativ kalciumbalans i Hallands skogar; den genomsnittliga förlusten är 25 mekv per m ² och år. Magnesium- och kaliumbalanserna är däremot positiva i större delen av länet. Sammantaget innebär det negativa nettoförluster av baskatjoner (summan av kalcium, magnesium och kalium) på 76% av skogsmarken i Halland. Kritisk belastning och överskridande beräknades med PROFILE. Beräkningar gjordes både för 1990 och 1998 års förhållanden (deposition och skogsbruk). Beräkningarna visar på ett överskridande av den kritiska belastningen i hela Halland 1990 med ett genomsnitt på 73 mekv per m ² och år. Motsvarande genomsnitt 1998 beräknades till 20 mekv per m ² och år och på 11 % av skogsarealen underskreds den kritiska belastningen. Överskridandet är minst i de centrala delarna, vilket främst beror på en mer gynnsam mineralogi. Den kraftiga minskningen av försurningsbelastningen har lett till att markförsurningen bromsats kraftigt. Ett överskridande omkring noll i de centrala delarna av länet indikerar att markförsurningstrenden brutits helt. Utrymmet för återhämtning i marken är dock troligtvis begränsat. Med minskande svavelnedfall blir markens reaktion på ett högt kvävenedfall helt avgörande för försurningsutvecklingen i skogsmark i Halland.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren/Keywords Kritisk belastning, överskridande, försurning, skogsmark, massbalans, baskatjon, kalcium, Ca, magnesium, Mg, kalium, K, miljömål, Halland	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B1577	
Beställningsadress för rapporten /Ordering address e-post: publikationsservice@ivl.se Hemsida: www.ivl.se Fax: 08-598 563 90 Brev: IVL, Publikationsservice, Box 210 60, S-100 31 Stockholm	

Innehåll

Sammanfattning	4
Förord.....	5
Försurningsproblemet i Halland	6
Förändringar av försurningssituationen i framtiden.....	7
Kartläggning av tillståndet i Halland	8
Baskatjonbalanser och ytvattenförsurning.....	11
Vad kan beräkningarna visa?	11
Baskatjonbalanser i skogsmark i Halland	11
Kritisk belastning för försurning av skogsmark.....	15
Vad kan beräkningarna visa?	15
Kritisk belastning och överskridande i Halland	16
Slutsatser	22
Referenser	23
Bilaga 1	24

Sammanfattning

Halland tillhör de mest försurningsdrabbade länen i Sverige på grund av de senaste decenniernas höga deposition av svavel och kväve. Inom det regionala miljöarbetet för att förbättra tillståndet används miljökvalitetsmålet ”Bara naturlig försurning” samt fem regionala, mer specificerade delmål. I denna studie presenteras underlag för regional uppföljning med avseende på kritisk belastning för försurning samt baskatjonbalanser i skogsmark. Beräkningarna har gjorts i upplösningen 5*5 km, anpassad för regionala ändamål.

Baskatjonbalanser i skogsmark för kalcium, magnesium och kalium beräknades med hjälp av massbalansberäkningar där tillförseln av baskatjoner sker genom deposition och vittring, medan bortförseln sker genom utlakning, skörd samt upplagring i växande skog. Beräkningarna gjordes för den översta metern, förutom i norra delen med grundare jorddjup, där 0,5 m användes.

Beräkningarna visar på en negativ kalciumbalans i Hallands skogar; den genomsnittliga förlusten är 25 mekv per m² och år. Magnesium- och kaliumbalanserna är däremot positiva i större delen av länet (i genomsnitt 7 respektive 6 mekv per m² och år). Den negativa kalciumbalansen innebär nettoförluster av baskatjoner (summan av kalcium, magnesium och kalium) på 76% av skogsmarken i Halland.

Kritisk belastning och överskridande beräknades med PROFILE. Beräkningarna gjordes för översta halvmeter, motsvarande rotzonen, och BC/Al=1 (kvoten mellan baskatjoner och aluminium) användes som kemiskt kriterium. Beräkningar gjordes både för 1990 och 1998 års förhållanden (deposition och skogsbruk).

Beräkningarna visar på ett överskridande av den kritiska belastningen i hela Halland 1990 med ett genomsnitt på 73 mekv per m² och år. Motsvarande genomsnitt 1998 beräknades till 20 mekv per m² och år och på 11 % av skogsarealen underskreds den kritiska belastningen. Överskridandet är minst i de centrala delarna, vilket främst beror på en mer gynnsam mineralogi. Det kemiska kriteriet ANC=20 uekv/l, som är anpassat till ytvatten, ger betydligt lägre kritisk belastning än kriteriet BC/Al=1.

Den kraftiga minskningen av försurningsbelastningen har lett till att markförsurningen bromsats kraftigt. Ett överskridande omkring noll i de centrala delarna av länet indikerar att markförsurningstrenden brutits helt. Utrymmet för återhämtning i marken är dock troligtvis begränsat. Ett ökat uttag av skogsbränslen kan ytterligare begränsa återhämtningen. Med minskande svavelnedfall blir markens reaktion på ett högt kvävenedfall helt avgörande för försurningsutvecklingen i skogsmark i Halland.

Förord

Denna studie har utförts av IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Länsstyrelsen i Hallands län. Arbetet har utförts samordnat med forskningsprogrammet ASTA (International and National Abatement Strategies for Transboundary Air Pollution) som arbetar med underlag för nationella och europeiska åtgärdsstrategier för regionala luftföroreningsproblem som försurning, övergödning, partikelhalter i luft och marknära ozon. Mer information om ASTA finns på <http://asta.ivl.se/>. Resultaten av studien har redovisats och diskuterats under arbetets gång med Länsstyrelsen och Skogsvårdsstyrelsen i södra Götaland. Rapporten har utarbetats av Cecilia Akselsson, Lunds Universitet, samt Olle Westling, IVL.

Försurningsproblemet i Halland

Försurning av mark och vatten har länge varit ett allvarligt miljöproblem i Halland. Problemet har i första hand orsakats av det höga nedfallet av försurande svavel- och kväveföreningar under många decennier. Kombinationen av hög nederbörd och försurningskänsliga marker gör att länet tillhör de värst drabbade områdena i landet. Utsläppen av försurande luftföroreningar som påverkar Sverige kommer från stora delar av Europa och målen för miljötillståndet i landet har utvecklats inom arbetet med miljökvalitetsmål. Det nationella miljökvalitetsmålet ”Bara naturlig försurning” är formulerat enligt följande: ”De försurande effekterna av nedfall och markanvändning ska underskrida gränsen för vad mark och vatten tål. Nedfallet av försurande ämnen ska heller inte öka korrosionshastigheten i tekniska material eller kulturföremål och byggnader.”

Miljökvalitetsmålet innebär enligt riksdagens beslut att:

- Depositionen av försurande ämnen inte överskrider den kritiska belastningen för mark och vatten.
- Onaturlig försurning av marken motverkas så att den naturgivna produktionsförmågan, arkeologiska föremål och den biologiska mångfalden bevaras.
- Markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten motverkas genom att skogsbruket anpassas till växtplatsens försurningskänslighet.

Regionala delmål har antagits för Hallands län:

1. År 2010 ska högst 5 % av antalet sjöar och högst 15 % av sträckan rinnande vatten i länet vara drabbade av försurning som orsakats av människan.
2. År 2010 ska surhetstillståndet i högst 30 % av skogsmarken i Halland klassas som högt eller mycket högt enligt bedömningsgrunderna för miljökvalitet i skogslandskapet (klass 4 och 5). Arealandelen i klass 5 ska samtidigt halveras (från 8 till 4 % av arealen).
3. År 2010 har utsläppen i Halland av svaveldioxid till luft minskat med 25 % från 1995 års nivå
4. Senast år 2010 ska utsläppen i Halland av kväveoxider till luft ha minskat med minst 55 % från 1995 års nivå.
5. Nedfallet av svavel och kväve ska inte överskrida den kritiska belastningen.

Målet i punkt 5 ovan kräver beräkningar av kritisk belastning och överskridande specifikt för Halland för att kunna följas upp. Sådana beräkningar kan, tillsammans med massbalanser för baskatjoner, användas som underlag för att bedöma möjligheterna till den återhämtning i mark och vatten som beskrivs i punkterna 1 och 2. Beräkningar av överskridande av kritisk belastning utförs på nationell nivå enligt

metoder beskrivna i Warfvinge & Sverdrup (1995), men upplösningen är inte tillräcklig för att beskriva variationer inom ett till ytan litet län som Halland.

Nedfallet av kväve och svavel i Halland uppgick år 2001 till i genomsnitt 16 respektive 7 kg per hektar enligt resultat från nationell och regional miljöövervakning. Den kritiska belastningen ("vad naturen tål") brukar för södra Sverige i genomsnitt anges till 5 kg per hektar för kväve och 3 kg per hektar för svavel. Kvävenedfallet är då ungefär tre gånger större än "vad naturen tål" (kritisk belastning), och svavelnedfallet, trots de minskningar som skett, är fortfarande mer än dubbelt så stort som den kritiska belastningen. Det finns dock en betydande variation inom länet i nedfall, försurningskänslighet och skogsbruk som med mer ingående beräkningar kan beskrivas med syfte att förbättra underlaget för uppföljning av miljömålen. Denna studie redovisar beräkningar som kan visa var i länet de kvardröjande problemen med försurning är som störst.

Förändringar av försurningssituationen i framtiden

Nedfallet av försurande ämnen nådde sitt maximum i början av 1980-talet. Kvävenedfallet ligger fortfarande kvar på ungefär samma nivå, men nedfallet av svavel har minskat kraftigt. Den totala minskningen av försurningstrycket är inte tillräcklig, men har ändå lett till en viss återhämtning i våra sjöar. Efter hand som nedfallet minskar kommer markanvändningens bidrag till försurningen att få allt större betydelse. Anpassningar av skogsbruket kan därför bli ett nödvändigt komplement till de utsläpps begränsande åtgärderna.

Av nedfallet i Halland kommer merparten från utländska källor. För svavel utgjorde denna andel så mycket som 95 % år 2001. Den egna andelen är något större när det gäller kväve och uppgår till 9 % för nitratkväve och 22 % för ammoniakkväve. Luftvårdskonventionen (CLRTAP) och EU har angivit nödvändiga utsläppsminskningar av försurande ämnen baserat på kritisk belastning och kostnadseffektivitet i alla delar av Europa. Om utsläppsminskningarna genomförs kan försurningen av sjöar och vattendrag enligt Naturvårdsverkets bedömning komma att minska så att delmål för sjöar och vattendrag uppnås i Sverige som helhet. Den kritiska belastningen kommer dock att fortsätta att överskridas i delar av Halland. I vissa områden har markförsurningen dessutom gått så långt att en återhämtning på naturlig väg inte kan förväntas inom överskådlig tid, ens när den kritiska belastningen underskrids. I Halland kommer försurningsskador således att uppträda inom stora områden även efter år 2010. För närvarande är tillståndet att 48 % av länets skogsmark har hög eller mycket hög surhet enligt en utvärdering av data från ståndortskarteringen klassade enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Strand, 2004).

Kartläggning av tillståndet i Halland

Syfte med en kartläggning

Syftet med denna studie är att ta fram ett underlag för bedömning av nuvarande deposition av försurande luftföroreningar i Halland i relation till kritisk belastning för försurning och massbalanser av baskatjoner i skogsmark. De båda beräkningarna beskriver skogsmarkens känslighet för försurning och den nuvarande påverkan av surt nedfall. För att beskriva situationen har två yttäckande beräkningar med olika inriktning genomförts:

- Beräkning av baskatjonbalanser i Halland som underlag för bedömning av hur nuvarande markstatus kan påverka främst försurningen av ytvatten.
- Beräkning av kritisk belastning och överskridande i Halland enligt nuvarande deposition (1998) och skogsbruk (uttag av grenar och toppar), samt med 1990 års deposition och skogsbruk (inget uttag av grenar och toppar), för att få en bild av försurningsläget idag och hur det har ändrats de senaste tio åren med minskad deposition av framför allt svavel.

Kartlagt område och dataunderlag

Kartläggningen omfattar ett område som täcker skogsmark i Hallands län (figur 1) samt en bit av angränsande län för att få bättre överblick över gradienterna vid gränserna. Kartläggningen baseras på punkter i Halland med markgeokemisk provtagning (figur 2). Provtagningsnätet har god täckning i merparten av Hallands skogar, förutom i norra delen där det är glest, vilket innebär ökad osäkerhet i detta område.

Inom Mistra-programmet ASTA (International and National Abatement Strategies for Transboundary Air Pollution) pågår utvecklingsarbetet med en nationell geografisk databas uppbyggd av rutor på 5*5 km, som innehåller skogliga parametrar, markanvändning, deposition och hydrologi. Med denna är det möjligt att beräkna baskatjonbalanser såväl som kritisk belastning och överskridande med en upplösning som är anpassad till att beskriva regionala skillnader inom ett län.

Skogliga parametrar, t ex volym stående skog och tillväxt är interpolerat från Riksskogstaxeringens data. Informationen om markanvändningen är baserad på en satellitbildstolkning (Mahlander, m. fl., 2004) där skogen är indelad i barrskog, lövskog, blandskog och kalhygge. Detta kombineras med information från Riksskogstaxeringen om andel av tall och gran i barrskog, björk och övrigt löv i lövskog samt barr och löv i blandskog, i olika delar av Sverige. I den geografiska databasen finns därmed information om andel gran, tall, björk, övrigt löv samt blandskog i rutorna. Deposition av SO₄-S, NO₃-N, NH₄-N, Ca, Mg, K och Na är

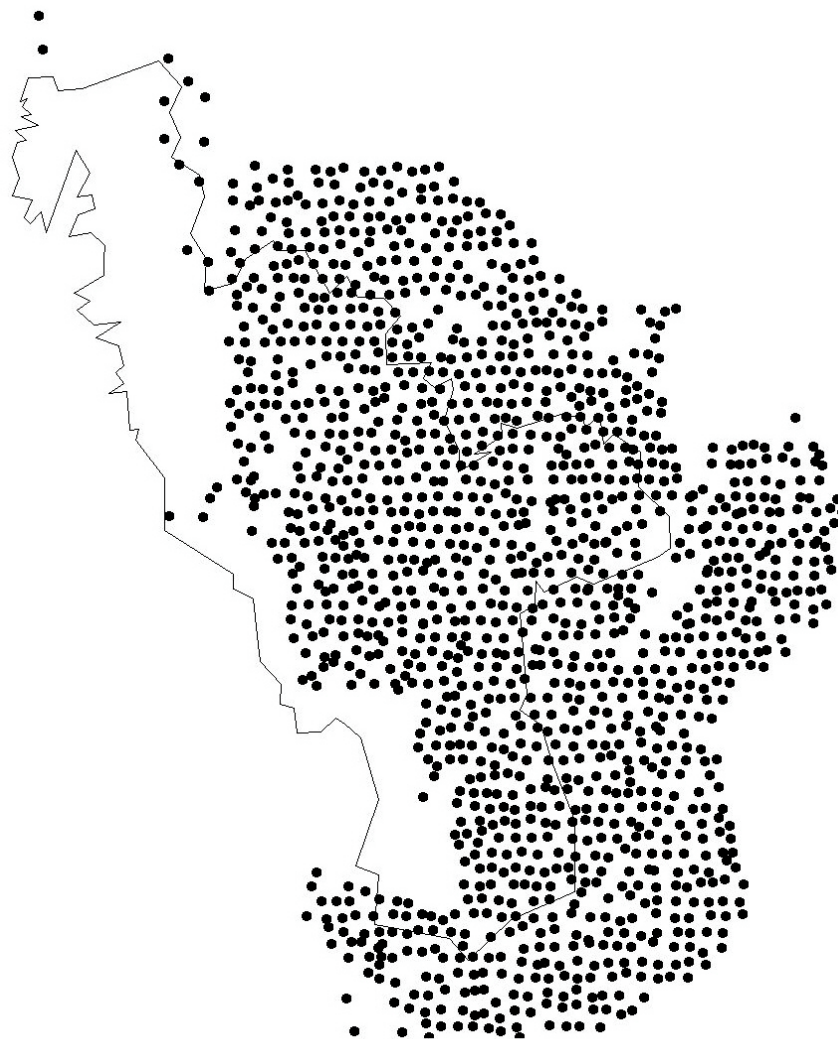
hämtad från SMHIs MATCH-modell (Langner m. fl., 1996). Nederbörd och avrinning baseras på SMHIs långtidsvärden i Sverige (1961-1990).

Det kartlagda området innanför Hallands gränser täcks av 162 rutor i den geografiska databasen. Det dataunderlag som krävs för beräkningar av baskatjonbalanser och kritisk belastning är till stor del överlappande. PROFILE-modellen användes för beräkning av kritisk belastning och överskridande, samt för beräkning av vittring som ingår som en post i baskatjonbalansen. En mer utförlig beskrivning ges i bilaga 1.

I resultatkartorna presenteras medelvärden för rutorna, för baskatjonbalanser, kritisk belastning och överskridande. Variationen inom varje enskild ruta är inte känd. En ruta med positiv baskatjonbalans och där den kritiska belastningen inte överskrids kan innehålla mindre områden med negativ massbalans och överskridande.



Figur 1. Skogstäckning i Halland (Mahlander m. fl., 2004)



Figur 2. Provpunkter med markgeokemi för beräkning av vittring och kritisk belastning.

Baskatjonbalanser och ytvattenförsurning

Baskatjonerna kalcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K) är viktiga näringsämnen i skogsekosystemet. Vid försurning av skogsmarken byts baskatjonerna som sitter på markens kolloider ut mot väte- och aluminiumjoner, och utlakning sker. Detta leder till en temporär ökning av baskatjoner i avrinnande vatten och ytvatten, men i takt med att andelen baskatjoner på markpartiklarna minskar, minskar även halterna i det avrinnande vattnet, som därmed försuras.

Vad kan beräkningarna visa?

Balansberäkningar av baskatjoner, det vill säga jämförelser mellan tillförsel och bortförsel, visar i vilken riktning markförsurningsutvecklingen går. Skogsmark där bortförseln av baskatjoner är större än tillförseln indikerar en pågående försurning, vilket kan leda till skadliga effekter på mark och vatten. I skogsmark med större eller samma tillförsel som bortförsel är risken för ytterligare försurning liten. Beräkningarna av baskatjonbalanser visar bara i vilken riktning utvecklingen går. För att veta den faktiska statusen i marken krävs även att utgångsläget är känt, uttryckt som markkemiska variabler som pH, basmättnadsgrad och utbytbar aluminium.

Balansberäkningar är statiska och resultaten kan därför inte utan vidare extrapoleras till framtiden. Framför allt utlakningen av baskatjoner påverkas av markstatusen och förändras därmed med tiden. Balansberäkningarna ger dock information om i vilken utsträckning de regionala miljömålen kan nås med nuvarande skogsbruk och deposition av luftföroreningar.

Tillförsel av baskatjoner sker i form av deposition och vittring, medan utlakning, uttag via skörd och ökande biomassa står för förlusterna, vilket ger:

Baskatjonbalans = Deposition+Vittring-Utlakning-Upptag (skörd+ökande biomassa)

Ökande biomassa avser en pågående ökning av virkesförrådet med inlagring av baskatjoner i trädbiomassa som inte avverkas, vilket för närvarande sker i större delen av Sverige. För beräkning av vittring till baskatjonbalansen användes ett uppskattat jorddjup som påverkar ytvatten (1 m, utom i norra Halland med tunna jordtäckan där jorddjupet 0,5 m användes).

Baskatjonbalanser i skogsmark i Halland

Tabell 1 visar den nuvarande genomsnittliga balansen för baskatjoner i skogsmark i Halland. Beräkningarna omfattar kalcium, magnesium och kalium, som är viktiga näringsämnen för skogsträden. Natrium, som huvudsakligen kommer från nedfall av havssalt i kustnära områden, ingår inte i beräkningarna. Den största posten är utlakning enligt beräkningarna. Sannolikt är det den mest osäkra posten, på grund av bristfälligt underlag för att beskriva variationen mellan olika delar av Halland.

Samtidigt kan konstateras att utlakningen av baskatjoner troligen inte kan vara mindre, om den genomsnittliga vattenkvaliteten skall vara acceptabel med avseende på försurning med dagens tillförsel av aciditet (Westling m. fl., 1997). Beräkningarna visar även att det bara är kalcium som uppvisar nettoförluster i genomsnitt för hela Halland. Nettoförlusterna av kalcium är så stora att det leder till en genomsnittlig förlust även om alla baskatjoner summeras (tabell 1).

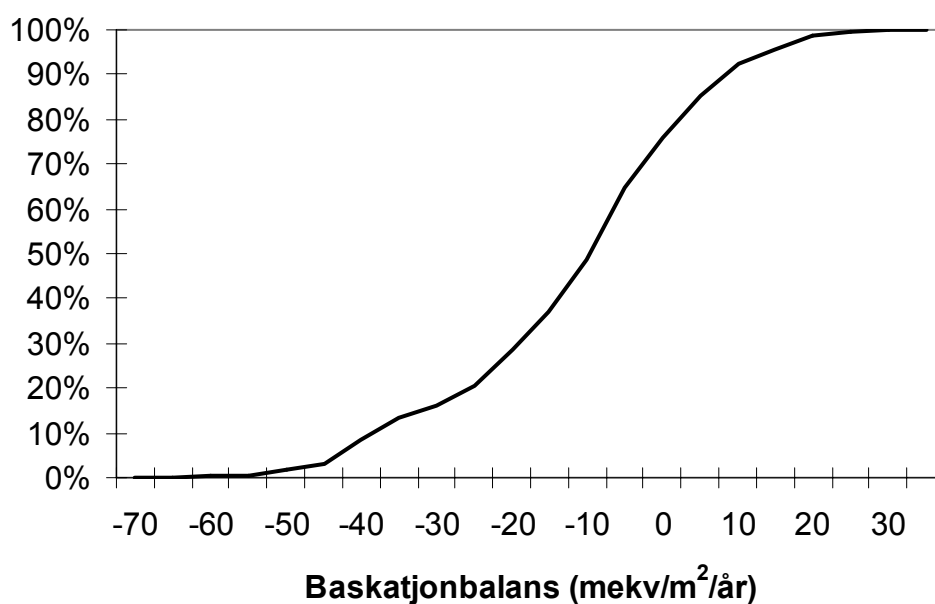
Resultaten i tabell 1 baseras på massbalanser i 162 rutor som täcker Halland (rutor som har inslag av skog). Det är endast en mindre del av rutorna (24 %) som har positiv balans när alla baskatjoner summeras (tabell 2; figur 3). Kalcium uppvisar nettoförluster i alla rutor, enligt beräkningarna. Den genomsnittliga förlusten på 25 mekv per m² och år motsvarar 5 kg per ha och år.

Tabell 1. Medelvärden för de fem posterna, samt nettobalans av baskatjoner i Halland (mekv per m² och år) med deposition från 1998 och nuvarande skogsbruk.

Baskatjon	Deposition	Vittring	Skörd	Inlagring träd	Utlakning	Balans
Ca	16	37	22	7	48	-25
Mg	27	22	6	2	35	7
K	7	13	6	2	6	6
Ca+Mg+K	50	72	34	11	90	-12

Tabell 2. Andel av antalet rutor med positiv baskatjonbalans med deposition från 1998 och nuvarande skogsbruk.

Baskatjon	Andel (%)
Ca	0
Mg	79
K	88
Totalt	24

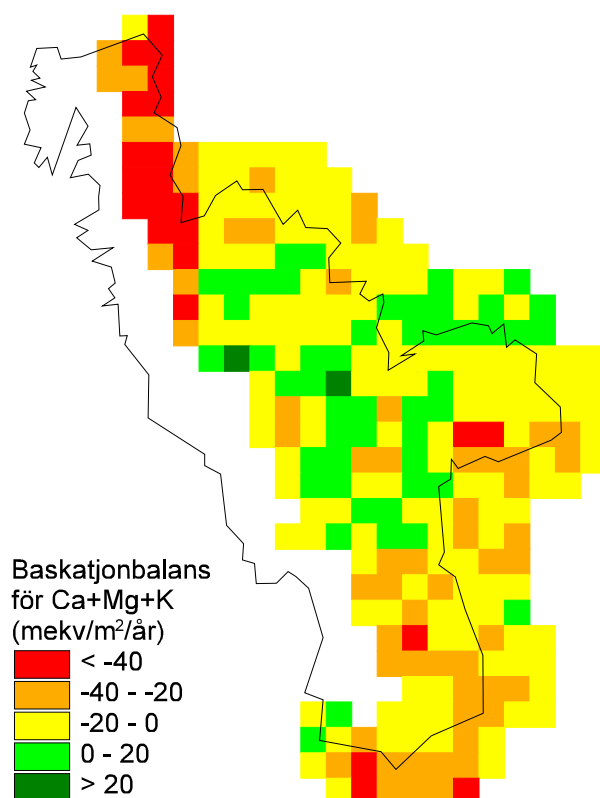


Figur 3. Kumulativ fördelning av baskatjonbalansen (Ca+Mg+K) i Halland.

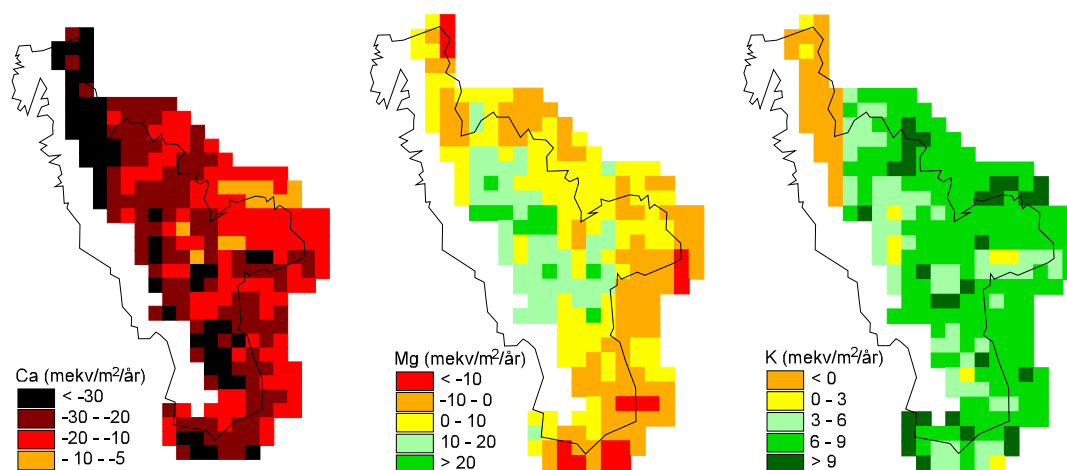
Resultaten indikerar att det i nuläget inte finns något utrymme för en minskning av försurningsgraden i huvuddelen av länets skogsmark. Nettoförlusten är inte obetydlig, men sannolikt inte heller tillräckligt stor för att påtagligt bidra till en ytterligare markförsurning. Det är troligt att kvardröjande effekter av tidigare högt nedfall av svavel bidrar till att ge förhöjda förluster av baskatjoner under ytterligare 5-15 år framåt (Munthe m. fl., 2002).

Den regionala variationen av baskatjonbalansen framgår av figur 4. När alla baskatjonerna summeras noteras att de största nettoförlusterna förekommer i norra Halland, med tunna jordtäckan, samt i södra delen av länet där nedfallet av försurande luftföroreningar är som störst. I de centrala delarna av länet återfinns områden med ett mindre överskott på baskatjoner enligt beräkningarna. Det beror i första hand på förekomst av jordar med högre vittringshastighet än i andra områden i länet.

Balanser för de enskilda baskatjonerna visas i figur 5. För kalcium beräknades nettoförluster över hela länet. Variationerna mellan rutorna orsakas främst av skillnader i vittringshastighet samt utlakning som generellt ökar något mot kusten enligt beräkningarna. Magnesium uppvisar en delvis annorlunda bild där massbalansen påverkas av tillförseln av magnesium via nedfallet av havssalt i en stor del av den kustnära zonen. Massbalansen för kalium varierar relativt lite i länet.



Figur 4. Baskatjonbalans i Halland med deposition från 1998 och nuvarande skogsbruk, beräknad på jorddjupet 1 m med undantag av norra Halland med tunna jordtäcknen (0,5 m).



Figur 5. Baskatjonbalanser i Halland med deposition från 1998 och nuvarande skogsbruk, uppdelat på kalcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K). Balanserna är beräknade på jorddjupet 1 m med undantag av norra Halland med tunna jordtäcknen (0,5 m).

Kritisk belastning för försurning av skogsmark

Kritisk belastning är ett väletablerat begrepp inom luftvårdsarbetet som rör gränsöverskridande luftföroreningar och markförsurning i Europa. Kritisk belastning definieras som den högsta deposition av försurande ämnen som inte kommer att orsaka kemiska förändringar som leder till skadliga effekter på ekosystemets uppbyggnad och funktion på lång sikt. Sverige rapporterar årligen in beräkningsresultat av kritisk belastning och överskridande av kritisk belastning till konventionen CLRTAP (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution), i en upplösning på 50*50 km. Denna upplösning passar bra i ett Europeiskt perspektiv, men för mer regionala studier, som kartläggning av Halland, krävs högre upplösning och mer detaljerade data.

Vad kan beräkningarna visa?

Beräkningar av kritisk belastning och överskridande ger ett mått på om den nuvarande situationen, med den aktuella depositionen och skogsbruket, är uthållig för träden. Kvoten mellan baskatjoner och aluminium (BC/Al) i marklösningen används som kemiskt kriterium och den kritiska gränsen som brukar användas är 1. En kvot under 1 anses medföra ökad risk för skador på träden på sikt. Denna studie har även jämfört resultaten för kritisk belastning med ett annat kemiskt kriterium än BC/Al kvot som mer relaterar till kvalitén på ytvatten, att ANC (Acid Neutralising Capacity) i avrinnande vatten (från 1 m i marken) inte får understiga 20 uekv/l. Denna nivå på syrabuffrande förmåga bör upprätthållas i avrinningen till rinnande vatten och sjöar för att undvika biologiska försurningsskador.

Den biogeokemiska modellen PROFILE användes för att beräkna den kritiska belastningen och överskridandet. PROFILE är en så kallad ”steady state” modell vilket innebär att den räknar ut vilken markvattenkemi som ställer in sig vid en specifik syrabelastning. Vid beräkning av kritisk belastning räknar modellen ”baklänges”, det vill säga den räknar ut vilken syrabelastning som motsvarar ”den kritiska gränsen” $BC/Al=1$, eller annat kemiskt kriterium. Om den faktiska belastningen är högre än så innebär det ett överskridande av den kritiska belastningen.

Ett resultat som visar överskridande av kritisk belastning indikerar att det finns risk för skador på skogsekosystemet på sikt, men det säger inget om när detta kommer att ske. Resultaten pekar på i vilken riktning utvecklingen går, mot ökad markförsurning eller mot ett tillstånd där risken för försurning är liten. För att bedöma hur fort förändringarna sker över tiden krävs beräkningar med dynamiska modeller som behöver ett större dataunderlag än beräkningarna av kritisk belastning.

Genom att i denna studie både beräkna kritisk belastning och överskridande med nuvarande deposition (1998) och med den högre depositionen som var 1990, går det att få ytterligare information om försurningsutvecklingen.

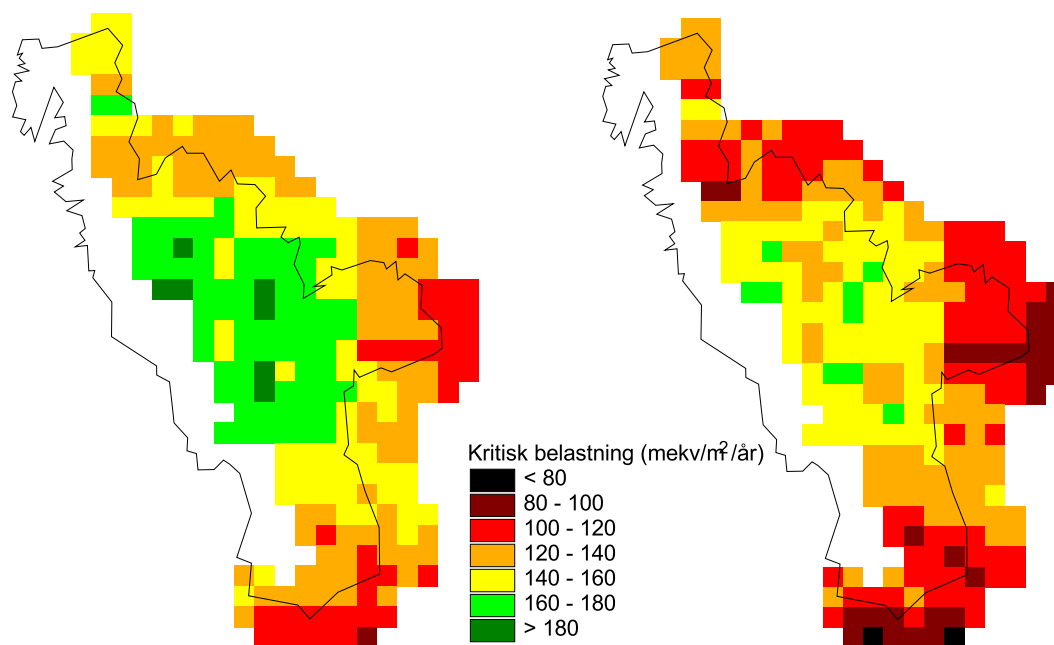
Kritisk belastning och överskridande i Halland

Beräkningar baserade på kvoten mellan baskatjoner och aluminium

Den kritiska belastningen för aciditet visas i figur 6. Beräkningarna är inriktade på effekter i rotzonen och rotdjupet har satts till 0,5 m. Kartorna visar mängden aciditet som i genomsnitt kan tillföras rutorna långsiktigt utan att marklösningen försuras så mycket att markvattnet 50 cm ner i marken får en kvot mellan baskatjoner och aluminium som understiger 1. Kartan till vänster visar kritisk belastning med de förutsättningar som rådde 1990. Det är framför allt skogsbrukets intensitet (endast stamuttag) som bidrar till skillnaden mot den högra kartan som är baserad på skogsbruket i slutet av 1990-talet (även uttag av grenar och toppar, GROT). Skillnaden mellan kartorna indikerar att skogsmarken känslighet för aciditetstillskott i viss mån beror på markanvändningen, även om markegenskaperna har störst betydelse.

Den genomsnittliga kritiska belastningen för länet beräknades till 154 mekv per m² och år med förhållandena 1990, respektive 135 mekv per m² och år 1998. Det innebär att med det uttag av GROT som nu beräknas ske i Halland (Stefan Andersson muntl. medd.) sjunker den genomsnittliga kritiska belastningen med ca 20 mekv per m² och år, jämfört med enbart konventionellt uttag av stamved.

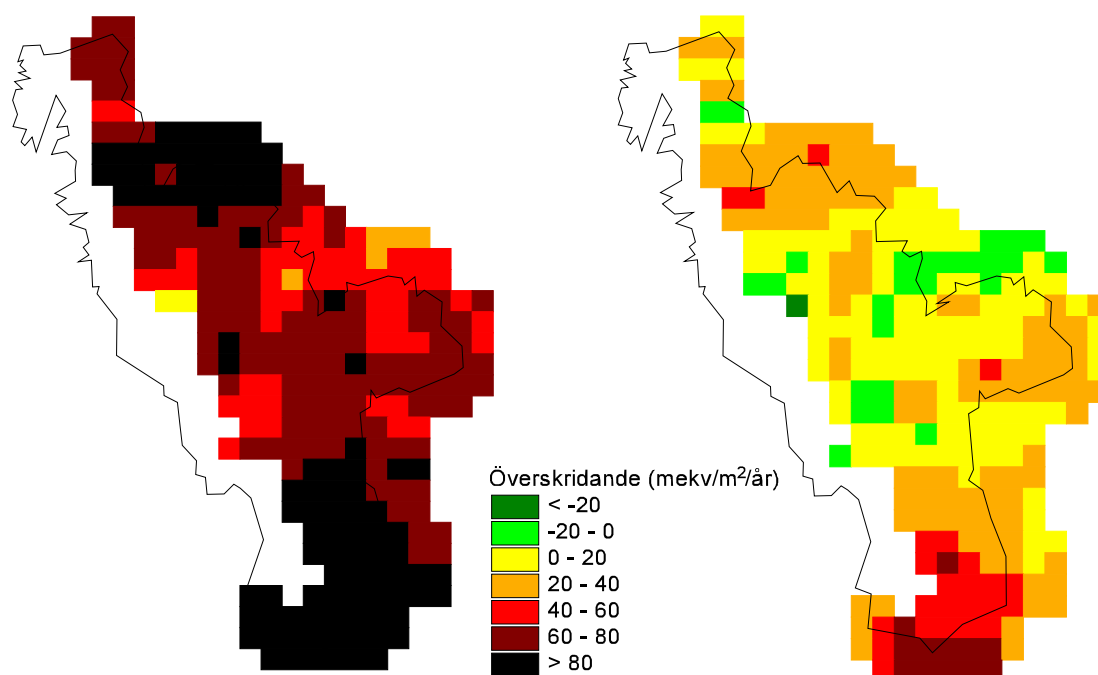
1990 (Dubblerad svaveldeposition; inget GROT-uttag) 1998 (1998 års deposition och GROT-uttag)



Figur 6. Kritisk belastning baserat på förhållandena 1990 respektive 1998. Kemiskt kriterium är $BC/Al = 1$ och rotdjupet är 0,5 m.

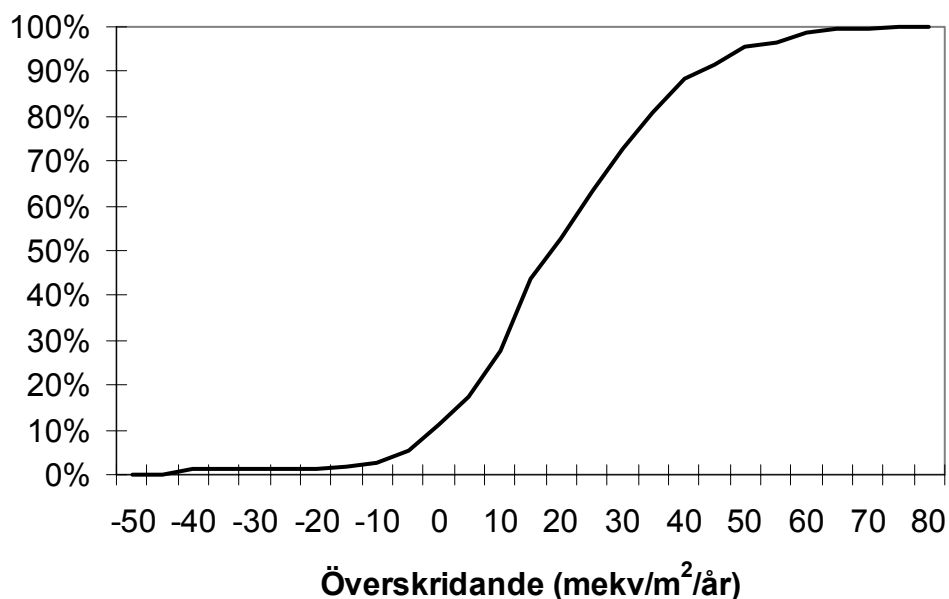
Beräkningarna visar att den största motståndskraften mot försurning finns i länets centrala delar där framför allt vittringen är högre än i andra delar. Låg kritisk belastning beror främst på kombinationen av svag vittring i marken och hög skogsproduktion (hög skörd).

1990 (Dubblerad svaveldeposition; inget GROT-uttag) 1998 (1998 års deposition och GROT-uttag)



Figur 7. Överskridande av kritisk belastning 1990 och 1998. Kemiskt kriterium är $BC/AI = 1$ och jorddjupet är 0,5 m.

Överskridande av kritisk belastning med depositionen av svavel och kväve, samt aktuell markanvändning, 1990 respektive 1998 visas i figur 7. Värdet i respektive ruta visar ett medelvärde som kan ha en avsevärd variation inom rutan. Deposition och skogsbruk 1990 innebär ett kraftigt överskridande i nästan hela länet. De centrala delarna av länet uppvisar något lägre överskridande på grund av högre vittringshastighet, jämfört med övriga delar. Situationen 1998 är kraftigt förändrad enligt beräkningarna, men huvuddelen av rutorna (89 %) har fortfarande ett överskridande (figur 8). Stora områden, framför allt i de centrala delarna av länet, har dock ett överskridande som var litet, ofta nära noll. De största överskridandena noteras i södra delen av länet, framför allt på grund av högre deposition än övriga i Halland.



Figur 8. Kumulativ fördelning av överskridandet av den kritisk belastningen i Halland.

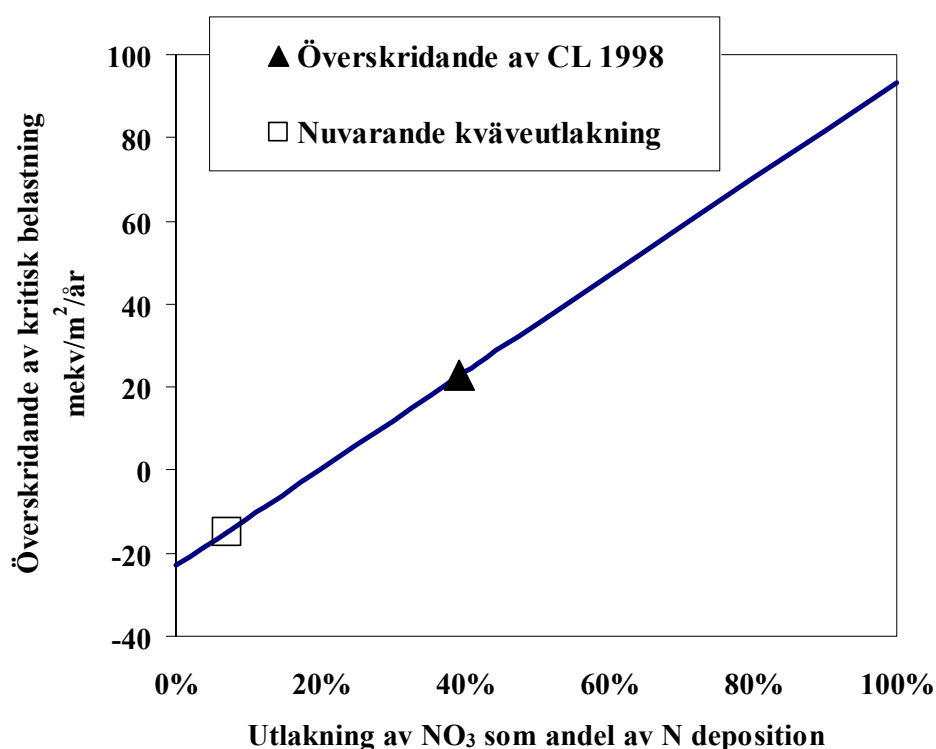
Överskridandet var i genomsnitt 73 mekv per m² och år 1990. Det kan jämföras med beräknat värde 1998 på 20 mekv per m² och år som var avsevärt lägre trots att skogsbruket blivit mer intensivt under 1990-talet. Minskningen av främst svaveldepositionen har påverkat förändringen mest. Det kan även noteras att värdet för överskridande 1998 (20 mekv per m² och år) är i samma storleksordning som den nuvarande genomsnittliga nettoförlusten av baskatjoner på 12 mekv per m² och år enligt massbalansberäkningarna (tabell 1). För dessa två mått används i stort sett samma beräkningsposter.

Kvävet bidrag till överskridande av kritisk belastning

Nedfall av kväve som utnyttjas av vegetationen bidrar inte till försurning även om det faller ner som salpetersyra, utom möjligen indirekt genom att kvävet kan öka skogens tillväxt och biologiska försurning. Nedfallet av kväve i sydvästra Sverige är så högt att det leder till en upplagring, även med hänsyn tagen till att kväve skördas bort när skogen avverkas, samt att en viss naturlig utlakning sker (Akselsson & Westling, manuskript). Trots upplagringen av kväve är utlakningen från skogsmark relativt låg i förhållande till nedfallet även i Halland. Beräkningarna i PROFILE av kritisk belastning använder en gräns för den långsiktigt möjliga upplagringen av kväve. Upplagring utöver det kommer att utlakas som nitrat och bidra till försurning av mark och vatten, och därmed till ytterligare överskridande av kritisk belastning. Detta visas i figur 9 där det genomsnittliga överskridandet av kritisk belastning i Halland avses som funktion av andelen av den nuvarande kvävedepositionen som utlakas.

Beräkningarna bygger på de olika posterna som ingår i beräkningen av kritisk belastning och överskridande med PROFILE.

Triangeln på den diagonala linjen visar resultatet av beräkning av kritisk belastning och överskridande med PROFILE. Den indikerar att en stor del av kvävednedfallet (39 %) kommer att utlakas på lång sikt, om nedfallet fortsätter att vara lika högt som nu (1998). Det motsvarar en genomsnittlig utlakning på mer än 7 kg per ha och år för skogsmark i Halland, vilket förutom försurningsproblem troligen skulle orsaka allvarliga övergödningssproblem i kustvattnen utanför Halland. Fyrkanten på linjen visar den nuvarande utlakningen av kväve i Halland baserat på mätningar och beräkningar enligt Akselsson m. fl. (manuskript) och indikerar att nuvarande upplagringen är betydligt högre än vad som är möjligt på lång sikt enligt beräkningarna av kritisk belastning. Det gör att det nuvarande bidraget till överskridande av kritisk belastning från utlakning av nitrat är relativt litet, men det riskerar att öka i framtiden om inte kvävednedfallet minskar.



Figur 9. Försurningsbidrag från utlakningen av nitrat. Den diagonala linjen visar överskridande av kritisk belastning (CL) som funktion av den andel av den nuvarande (1998) kvävedepositionen som utlakas som nitrat. Punkterna på linjen visar beräknat överskridande av kritisk belastning på lång sikt om kvävednedfallet är oförändrat (triangel) samt överskridandet med den nuvarande utlakningen av nitrat (fyrkant) i Halland hämtad från beräkningar inom ASTA programmet. Se texten för ytterligare förklaring.

Figuren illustrerar att med minskande svavelnedfall blir markens reaktion på ett högt kvävednedfall helt avgörande för försurningsutvecklingen i skogsmark i Halland. Om

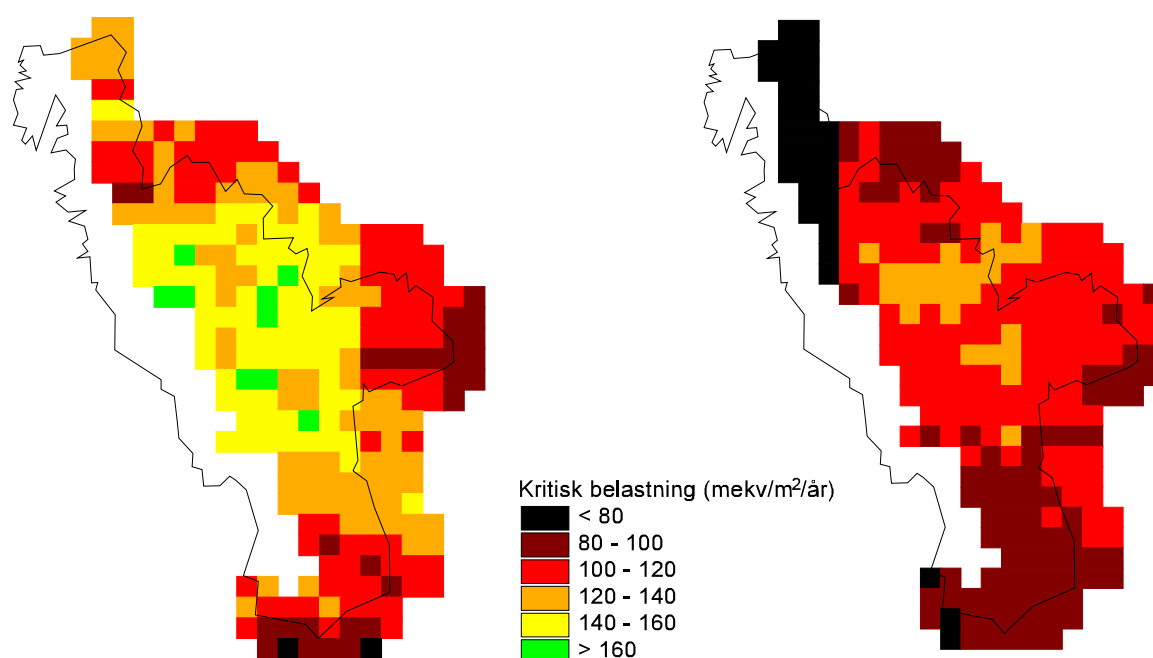
den nuvarande relativt höga upplagringen av kväve kan fortsätta under lång tid blir överskridandet av kritisk belastning litet eller till och med ett underskridande i Halland enligt beräkningarna. Om upplagringen når ett tak som leder till att utlakningen av nitrat ökar kraftigt kan det öka överskridandet av kritisk belastning för aciditet till mycket höga nivåer. Vilken långsiktig upplagringsförmåga av kväve som finns i skogsjordar i Halland och övriga Sverige är oklart. Fortsatt forskning genom experiment och modellberäkningar i Sverige och internationellt kan förhoppningsvis förbättra kunskapsläget.

Kritisk belastning med olika kemiskt kriterium

Beräkningar av kritisk belastning i markens övre skikt (50 cm) med BC/Al kvot som kemiskt kriterium tar sikte på risken för biologiska skador i rotzonen. Det dominerande försurningsproblemet i Sverige är försurning av rinnande vatten och sjöar. Även om BC/Al kvoten är över 1 kan mark- och avrinningsvatten vara relativt surt med negativt ANC.

Kemiskt kriterium: BC/Al=1

Kemiskt kriterium: ANC=20uekv/l



Figur 10. Kritisk belastning baserat på förhållandena 1998. Kemiskt kriterium är BC/Al = 1 och jorddjupet är 0,5 m i kartan till vänster och ANC = 20 uekv/l och jorddjupet 1m (norra Halland 0,5 m) i kartan till höger.

Generellt kan sägas att den kritiska belastningen är lägre för sjöarna än för skogsmarken. Det kan förklaras med den höga depositionen av baskatjoner på västkusten, orsakad av havssaltsnedfall, som påverkar BC/Al kvoten, det kemiska kriteriet för kritisk belastning i skogsmark, men i mindre utsträckning ANC, som är det kemiska kriteriet för kritisk belastning i sjöar.

Vid beräkning av kritisk belastning går det att välja andra kemiska kriterier. En ofta använd nedre halt för ANC i ytvatten för att undvika försurningsskador är 20 uekv/l. Figur 10 visar resultatet för kritisk belastning med detta kriterium (högra kartan) jämfört med BC/Al kvot (vänstra kartan). Vittringen med kriteriet ANC=20 uekv/l är beräknad på hela markprofilen som bedöms påverka avrinnande vatten. Detta markdjup är uppskattat till 1m utom i norra Halland (0,5m), vilket ger ett betydligt högre värde på vittring än det vittringsdjup som BC/Al kvoten beräknas på (0,5 m). Med krav på en genomsnittlig halt av 20 uekv/l ökar känsligheten betydligt till i genomsnitt 100 mekv per m² och år, jämfört med 135 mekv per m² och år baserat på BC/Al kvot, trots att vittringen är betydligt högre i beräkningen med ANC som kemiskt kriterium.

Om ANC-gränsen 20 uekv/l, för avrinningen från skogsmark i rutorna på 5*5 km i Halland, är tillräcklig för att skydda rinnande vatten och sjöar är inte enkelt att bedöma. Jämförelsen med BC/Al kvot utfördes främst för att visa känsligheten för ett annat realistiskt kemiskt kriterium inriktat på vattenkvalitet.

Kritisk belastning och överskridande i sjöar har tidigare beräknats för sjöar i Sverige (Bertills & Lövblad, 2002), baserat på Riksinventeringen 1995. Den kritiska belastningen för Halland angavs då till 59 mekv per m² och år (median för 58 Hallandssjöar).

Slutsatser

- Resultaten av beräkningarna skiljer sig främst från tidigare bedömningar av kritisk belastning genom den högre upplösningen (och i vissa fall nya underlag) av data som använts i beräkningarna. Det gör att skillnader mot tidigare beräkningar kan bero på både den högre upplösningen och förändrat dataunderlag. De nya beräkningarna med upplösningen 5*5 km ger en bild av variationen inom länet som tidigare bedömningar av kritisk belastning inte kunnat ge. Den generella genomsnittliga bilden av kritisk belastning och överskridande med de nya beräkningarna ger en likartad bild som tidigare bedömningar av risken för långsiktiga försurningseffekter, men beräkningarna av baskatjonbalanser ger mer information om det nuvarande tillståndet.
- Beräkningarna av baskatjonbalanser visar att med nuvarande deposition av luftföroreningar och skogsbruk uppvisar 76 % av skogsmarksarealen i Halland nettoförluster (tillförseln är mindre än bortförseln) när kalcium, magnesium och kalium är summerat. Kalcium visar på nettoförluster i hela Halland.
- Den minskade depositionen av försurande ämnen har inneburit att andelen skogsmark med överskridande av kritisk belastning för skogsmark har minskat från 100 % av skogsmarksarealen 1990 till 89 % 1998 enligt beräkningarna. Överskridandet är störst i södra delen av Halland.
- Jämförelsen mellan dagens överskridande av kritisk belastning och överskridandet 1990 visar att försurningsbelastningen minskat kraftigt under det senaste decenniet. Den minskade depositionen av svavel gör att utlakningen av framför allt kalcium minskar, vilket minskar nettoförlusterna från marken. Det minskade överskridandet indikerar att markförsurningen har bromsats. Ett överskridande omkring noll i de centrala delarna av länet tyder på att markförsurningstrenden brutits helt. Utrymmet för återhämtning i marken är dock troligtvis begränsat. Ett ökat uttag av skogsbränslen, som bortför baskatjoner som finns i de avverkningsrester som tas ut, minskar möjligheterna till återhämtning. Denna effekt kan dock motverkas med askåterföring.
- Kritisk belastning i mark med kvoten 1 mellan baskatjoner och aluminium i marklösningen på 50 cm är sannolikt inte tillräckligt för att skydda ytvatten i Hallands län. Med ett annat kemiskt kriterium, att avrinningen i genomsnitt måste ha en syraneutraliserande förmåga (ANC) på 20 uekv per liter, blir den möjliga kritiska belastningen betydligt lägre. Om dessutom återhämtning inkluderas i beräkningarna blir den kritiska belastningen troligtvis ännu lägre. Detta kan ske med hjälp av dynamiska beräkningar av försurningsutveckling.

- Med minskande svavelnedfall blir markens reaktion på ett högt kvävenedfall helt avgörande för försurningsutvecklingen i skogsmark i Halland. Om den nuvarande relativt höga upplagringen av kväve kan fortsätta under lång tid blir överskridandet av kritisk belastning litet eller till och med ett underskridande i Halland enligt beräkningarna. Om upplagringen når ett tak som leder till att utlakningen av nitrat ökar kraftigt kan det öka överskridandet av kritisk belastning för aciditet till mycket höga nivåer. Vilken långsiktig upplagringsförmåga av kväve som finns i skogsjordar i Halland och övriga Sverige är oklart. Fortsatt forskning genom experiment och modellberäkningar i Sverige och internationellt kan förhoppningsvis förbättra kunskapsläget.

Referenser

- Akselsson, C. och Westling, O. Regionalized nitrogen budgets in forest soils for different deposition and forestry scenarios in Sweden. Manuskript.
- Akselsson, C., Westling, O. och Örlander, G. Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. Manuskript.
- Bertills, U. och Lövblad, G. (red.), 2002. Kritisk belastning för svavel och kväve. Naturvårdsverket, Rapport 5174.
- Langner, J., Persson, C., Robertson, L. och Ullerstig, A., 1996. Air Pollution Assessment Study Using the MATCH Modelling System. Application to sulphur and nitrogen compounds over Sweden 1994. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Reports Meteorology and Climatology No. 69, April 1996.
- Mahlander, C., Hellsten, S. och Ekstrand, S., 2004. National land cover mapping for air pollution studies. IVL Swedish Environmental Research Institute, Report B-1499, Stockholm, Sweden.
- Munthe, J., Grennfelt, P., Sverdrup, H. och Sundqvist, G., 2002. New concepts and methods for effect-based strategies on transboundary air pollution. ASTA synthesis report.
- Strand, J (red.), 2004. Hur mår Halland 2004? Meddelande 2004:4 från Länsstyrelsen i Halland.
- Warfvinge, P. och Sverdrup, H., 1995. Critical loads of acidity to Swedish forest soils. Technical Report 5:1995. Department of Chemical Engineering II, Lund University, Lund.
- Westling, Lång, L-O. och Lövblad, G., 1997. Massbalansberäkningar i skogsmark i Göteborgs och Bohus län samt Älvsborgs län. Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, Miljöavdelningen, Rapport 1997:16.

Bilaga 1

Metodbeskrivning

Beräkningar av baskatjonbalans

Beräkningarna av baskatjonbalanser utfördes för Ca, Mg och K separat. Tillförseln av baskatjonerna (deposition och vittring) adderades (som ekvivalenter) och subtraherades därefter med bortförseln (utlakning, skörd och ökande biomassa). Enheten mekv per m² och år användes genomgående i beräkningarna. Beräkningarna av de fem posterna beskrivs i följande avsnitt. I tabell 1 ges en översikt på vilka typer av indata som krävs, samt varifrån data hämtas.

Tabell 1. Indata för beräkning av baskatjonbalans.

Parameter	Källa
Deposition av baskatjoner:	
Ca-, Mg- & K-deposition	SMHI
Vittring av baskatjoner:	
Ca-, Mg- & K-vittring	PROFILE-modellering (se tabell 4)
Utlakning av baskatjoner:	
Avrinning	SMHI
Halter i avrinningsvattnet	Beräknat baserat på data från vattendrag ¹
Skördeuttag av BC:	
Uttag av ved, GROT och barr	Bearbetning av data från Riksskogstaxeringen
Halter i ved, GROT och barr	Från Jacobson & Mattson (1998) samt Egnell m. fl. (1998)
Baskatjoner i ökande biomassa:	
Tillväxt (exkl. avverkningar)	Bearbetning av data från Riksskogstaxeringen
Halter i ved, GROT och barr	Från Jacobson & Mattson (1998) samt Egnell m. fl. (1998)

¹Halter av baskatjoner baserades på förhållanden mellan katjoner i avrinningen från 23 vattendrag i södra Sverige (Löfgren & Westling, 2002). Metodiken beskrivs i kapitlet "Utlakning" i denna bilaga.

Deposition

Deposition (1998) av SO₄-S, NO₃-N, NH₄-N, Ca, Mg, K och Na modellerad med SMHIs MATCH-modell (Langner m. fl., 1996) användes. Depositionen är uppdelad på våtdeposition och torrdeposition i barrskog, lövskog och på öppet fält.

Depositionen i barr- och lövskog användes tillsammans med informationen om andel barrskog och lövskog som finns i databasen, för att beräkna medeldeposition i varje ruta. Cl-depositionen beräknades med hjälp av Na-depositionen och förhållandet mellan Na och Cl i havssalt.

Utlakning

Utlakning av Ca, Mg och K baserades på en beräkning av anjonsumman (som är den samma som katjonsumman i en vattenlösning) samt uppmätta förhållanden mellan katjoner i avrinningen. Na behandlades dock speciellt, eftersom Na-andelen är starkt havssaltsberoende och därför varierar kraftigt med avståndet till havet. Na-utlakningen kopplades därför till Cl-utlakningen.

Utlakning av anjonerna SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ och organiska anjoner beräknades med olika metoder. S-utlakningen antogs vara lika med S-depositionen på lång sikt. Samma typ av antagande gjordes även för Cl-utlakningen, som antogs vara lika med Cl-depositionen, beräknad enligt beskrivning ovan. NO₃⁻-utlakningen beräknades separat för växande skog och hygge varefter ett arealviktat medelvärde för varje ruta beräknades. För växande skog användes typhalter i vattendrag och för hygge användes ett empiriskt samband mellan kvävedeposition och NO₃⁻-halt i markvattnet (Löfgren & Westling, 2002). Avrinningsdata från SMHI användes. Organiska anjoner beräknades som avrinningen multiplicerat med ett typvärde för anjonkoncentrationen, 0.077 mekv/l, baserat på mätvärden av organiskt kol och pH från vattendragen i Löfgren & Westling (2002). Utlakningen av de olika anjonerna summerades till en anjonsumma för utlakningen.

Andelen Na av katjoner i avrinnande vatten varierar kraftigt med avståndet från havet, speciellt nära kusten, eftersom källan i huvudsak är havssalt. Na-koncentrationen beräknades med hjälp av Cl-koncentrationen, eftersom de är nära sammankopplade på grund av att merparten Na och Cl härstammar från havssaltet. För detta användes ett samband (nedan) mellan Na-koncentration och Cl-koncentration, baserat på mätningar från de sydsvenska vattendrag som finns beskrivna i Löfgren & Westling (2002).

$$\text{Na koncentration} = 0.91 * \text{Cl koncentration} + 0.027$$

Medelvärden för koncentrationen av Ca, Mg, K, Al, H och NH₄ från studien av de sydsvenska vattendragen summerades med Na-koncentrationen, beräknad enligt ovan, till en katjonsumma. Ca, Mg och K dividerades var för sig med katjonsumman för att få fram andel av de olika katjonerna av den totala katjonsumman. Andelarna multiplicerades slutligen med den beräknade anjonsumman för utlakning, för att erhålla utlakning av Ca, Mg och K.

Avverkningsförluster av baskatjoner och kväve

Avverkningsförluster av baskatjoner och kväve baseras på tillväxt, trädslagsspecifika kvoter mellan avverkning och tillväxt i Halland (tabell 2), samt halter av baskatjoner och N i olika träddelar och olika trädslag (tabell 3). Tillväxt hämtades från Riksskogstaxeringen. Kvoter mellan avverkning och tillväxt av stamved i Halland kommer från SKA99 (Anon., 2000), medan kvoterna för GROT och barr är uppskattade. Halterna i olika träddelar är medelvärden från undersökningar i landet av näringsämnen i träd (från Jacobson & Mattson (1998) samt Egnell m. fl. (1998)). Tillväxt multiplicerades med kvoten mellan avverkning och tillväxt och baskatjoninnehåll respektive N-innehåll, för varje trädslag, träddel och baskatjon för sig. De resulterande skördeförlusterna per areaenhet multiplicerades med ytan av respektive trädslag i de olika rutorna för att få fram ett värde på Ca-, Mg-, K- och N-förlust för varje ruta.

Tabell 2. Använda kvoter mellan avverkning och tillväxt i Halland.

Trädslag	Avv./Tillv Stam	Avv./Tillv GROT	Avv./Tillv barr
Barr	0.91	0.29	0.09
Löv	0.57	0.29	
Bland	0.84	0.29	0.09

Tabell 3. Halter i träddelar (mg/g) (sammanställt från data i Jacobson & Mattson (1998) samt Egnell m. fl. (1998)).

Ämne	Barrskog			Lövskog	
	stam	grot	barr	Stam	gren
N	1.2	4.5	13.0	1.8	4.5
Ca	1.0	5.3	7.7	1.4	4.4
Mg	0.2	0.8	1.2	0.2	0.5
K	0.5	2.4	5.2	0.7	1.8

Upplagring av baskatjoner i växande skog

För närvarande avverkas inte hela tillväxten i Sverige vilket innebär att det pågår en baskatjonupplagring i den växande skogen. För att beräkna denna upplagring subtraherades tillväxten med den del av tillväxten som avverkas (framtagen enligt beräkningar ovan) och den resterande delen multiplicerades med baskatjoninnehållet i de olika träddelarna (tabell 3).

PROFILE-modellering av vittring och kritisk belastning

Kritisk belastning av aciditet och överskridande beräknades med den biogeokemiska modellen PROFILE (Sverdrup & Warfvinge, 1993). Den är en väldokumenterad och ofta tillämpad modell för beräkning av vittring och kritisk belastning, som hanterar kemisk vittring av mineral, utlakning och ackumulering av lösta ämnen, samt jämviktsreaktioner i marklösningen. Modellen utvecklades under slutet av 1980-talet för att beräkna effekten av försurande luftföroreningar på det långsiktiga tillståndet i mark, och används numera för den årliga internationella inrapporteringen av kritisk belastning till konventionen CLRTAP. PROFILE är process-orienterad och hanterar markprofilen i olika lager med olika egenskaper, för att efterlikna den naturliga stratifieringen i markprofilen.

Kritisk belastning beräknades för två scenarier, ett med 1998 års deposition och nuvarande uttag av stamved och GROT och ett med dubbelt så hög svaveldeposition samt inget GROT-uttag, motsvarande förhållandena 1990.

Grunden för beräkningarna av vittring och kritisk belastning är 1397 lokaler i länet och dess närmaste omgivning, med markgeokemisk provtagning från 1 meters djup i morän, som ingår i SGUs nationella markgeokemiska nät. Totalkemisk analys har utförts på jordproverna, och med hjälp av en normeringsmodell har mineralogi beräknats på varje lokal (Akselsson m. fl., i tryck). Mineralogi är en av de viktigaste parametrarna för att beräkna vittring och därmed även kritisk belastning. Andra parametrar som behövs som indata i PROFILE för att modellera på de 1397 punkterna hämtades från andra kartdatabaser (tabell 4). Nedan beskrivs några av dessa mer ingående.

Tabell 4. Indata för beräkning av kritisk belastning och vittring med PROFILE¹

Parameter	Källa
Innehåll av olika mineral	SGU
Specifik yta på mineralkornen	SGU
Markfuktighet	Riksskogstaxeringen
Temperatur	Databas i Warfvinge & Sverdrup 1995
Nederbörd	SMHI (Ingår i geografiska databasen)
Avrinning	SMHI (Ingår i geografiska databasen)
Deposition av S, N, Cl och baskatjoner (1998)	SMHI (Ingår i geografiska databasen)
Skördeuttag av baskatjoner och N	Tillväxt och kvot avverkning/tillväxt (ingår i databas) samt halter i olika träddelar (tabell 3)
Baskatjoner och kväve i förnafall	Bearbetning av data från Riksskogstaxeringen
Lagertjocklekar	Riksskogstaxeringen
Jorddjup/Rotdjup ²	Riksskogstaxeringen, SGU

¹PROFILE kräver fler indata och konstanter än de som finns i tabell 4. Dessa har satts till konstanta värden enligt Warfvinge & Sverdrup (1995). Exempel på andra indata är koldioxidtryck, densitet, koncentration löst organiskt kol i olika lager samt nitrifikationshastighet.

²För beräkning av vittring till baskatjonbalanser användes ett uppskattat jorddjup som påverkar ytvatten (1 m, utom i norra Halland med tunna jordtäckan, 0,5 m), medan rot djupet (0,5 m) användes vid beräkning av kritisk belastning som är inriktat på effekter i rotzonen.

Vittringen blir större ju större mineraltyper det finns som kan vittra. Finkorniga jordar har större ytor än grovkorniga och vittrar därför snabbare. Det saknas bra underlag om kornstorleksfördelning i olika jordar i Sverige. Jordartskartor ger en del användbar information, men mindre än hälften av Halland täcks av jordartskartor och på dessa klassas nästan all morän som ”sandig morän”, den i särklass vanligaste klassen i Sverige. Enbart några mycket små områden klassas som grusig morän. Mot bakgrund av detta gavs hela Halland ett värde på den specifika ytan som motsvarar den vanligaste klassen ”sandig morän” (Warfvinge & Sverdrup, 1995).

Markens fuktighet påverkar också vittringen positivt. Riksskogstaxeringen har på sina ytor klassat fuktigheten enligt ett system med sex klasser, från mycket torrt till blött. Den vanligaste klassen är frisk. Variationen är stor på lokal nivå beroende på topografien, vilket gör att det inte går, och dessutom inte är intressant, att i en regional kartläggning täcka in den. Därför sattes en och samma markfuktighet, motsvarande frisk mark, i hela Halland (Warfvinge & Sverdrup, 1995).

Avverkningsförluster av baskatjoner och kväve beräknades enligt ovan. Vid beräkningen av baskatjonbalanser, samt beräkningen av kritisk belastning 1998,

användes förlusterna både av aktuellt stamuttag och aktuellt GROT- och barruttag. Beräkningen av kritisk belastning 1990 inkluderade enbart stamuttag, eftersom GROT enbart togs ut i liten utsträckning då. Vid en pågående ökning av virkesförrådet, som för närvarande sker i Sverige, blir näringsupptaget i den ökande biomassan (stam, grenar och barr) en bortförsel av baskatjoner i beräkningen av balanser.

Baskatjoner och kväve i förnafall beräknades med hjälp av torrsvikt av grenar och barr på stående biomassa (från Riksskogstaxeringen), andelar av grenar och barr som faller ner för olika trädslag varje år (tabell 5) samt halter i förna (tabell 6). Andel grenar av tall och gran som faller ner per år kommer från Ågren och Hyvönen (2002) och andel grenar från lövskog antogs vara den samma som för tallskog. Andel barr är uträknat genom att anta att granbarr lever i genomsnitt 6 år och tallbarr 3,5 år. Halter i barrförna är hämtade från Berg & McClaugherty (2003) medan halterna i grenförna är sammanställt från Jacobson & Mattson (1998) och Egnell m fl (1998).

Tabell 5. Andelar av grenar och barr som bildar förnafall per år uppskattat enligt ovan.

Barrskog		Lövskog
Grenar	barr	grenar
0.035	0.23	0.05

Tabell 6. Halter i förna (mg/g)

Ämne	Barrskog		Lövskog	
	grenar	barr	grenar	Blad
N	4.7	3.9	6.7	7.7
Ca	5.3	9.4	4.4	11.8
Mg	0.8	0.6	0.5	3.3
K	2.4	0.8	1.8	4.7

Vittringen som användes i baskatjonbalansen beräknades på hela jorddjupet som antogs vara 1 m förutom i norra Halland där det sattes till 0,5 m, baserat på Rikstaxeringens provtagning och jordartskartor som visar på ett tunnare moräntäcke och mer frekvent hållförekomst i norr. Vid beräkning av kritisk belastning användes inte hela jorddjupet utan enbart rotdjupet, som antogs vara 0,5 m.

Den beräknade vittringen har korrigerats för markens innehåll av sten och block. Den genomsnittliga effekten av detta har uppskattats så att vittringen minskas med 20 %. Den lokala och regionala variationen är för närvarande inte möjlig att beskriva, men

arbetet pågår inom Riksskogstaxeringen med att beskriva sten- och blockighet på ett bättre sätt än tidigare (Erik Karlton munt. medd.).

Jordprofilen delades upp i fyra lager vid PROFILE beräkningen. Humuslagret sattes till 10 cm, E-lagret till 2 cm, det tredje lagret till 20 cm och det fjärde till resten. Humus- och E-lagrets tjocklek baserades på Riksskogstaxeringens ytor i Halland.

Utöver parametrarna i tabell 4, finns i PROFILE en stor mängd annan information om kemiska och fysikaliska egenskaper i jorden, till exempel nitrifikationshastighet, koldioxidtryck, densitet och löst organiskt kol. Dessa data samt övriga inställningar, hastighetskoefficienter etc. som krävs i PROFILE sattes enligt Warfvinge & Sverdrup (1995), där PROFILE-beräkningar av kritisk belastning i Sverige i upplösningen 50*50 km utförts.

PROFILE tillämpades på de 1397 lokalerna för att erhålla vittring, kritisk belastning samt överskridande. Resultaten interpolerades med IDW-metoden (inverse Distance Weight) i ESRI ArcView till rutnätet på 5*5 km. I norra Halland är det glest mellan punkterna och interpolering kunde inte göras som i resten av Halland. I denna del gavs vittring och kritisk belastning manuellt värden utifrån närliggande punkter och rutor.

Referenser

Anonymous, 2000. Skogliga konsekvensanalyser 1999. Skogsstyrelsen, Rapport 2:2000. ISSN 1100-0295.

Akselsson, C., Holmqvist, J., Alveteg, M., Kurz, D. & Sverdrup, H. Scaling and mapping regional calculations of soil chemical weathering rates in Sweden. Accepterad för publicering i *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*.

Berg, B. Och McClaugherty, C., 2003. Plant Litter. Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.

Egnell G., Nohrstedt H.-Ö., Weslien J., Westling O. & Örlander G., 1998. Miljökonsekvensbeskrivning av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen Rapport 1:1998.

Jacobson, S. & Mattson, S., 1998. "Snurran" – an Excel program for calculating site nutrient levels in logging residues. The Forestry Research Institute of Sweden, Report No.1, 4 pp.

Langner, J., Persson, C., Robertson, L. & Ullerstig, A., 1996. Air Pollution Assessment Study Using the MATCH Modelling System. Application to sulphur and nitrogen compounds over Sweden 1994. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Reports Meteorology and Climatology No. 69, April 1996.

Löfgren, S. & Westling, O., 2002. Modell för att beräkna kväveförluster från växande skog och hyggen i Sydsverige. Institutionen för Miljöanalys, SLU, Uppsala. Rapport 2002:1.

Sverdrup, H. and Warfvinge, P., 1993. Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model (PROFILE). *Journal of Applied Geochemistry*, 8: 273-283.

Warfvinge, P. och Sverdrup, H., 1995. Critical loads of acidity to Swedish forest soils. Technical Report 5:1995. Department of Chemical Engineering II, Lund University, Lund.

Ågren, G. & Hyvönen, R., 2002. Changes in carbon stores in Swedish forest soils due to increased biomass harvest and increased temperatures analysed with a semi-empirical model. *Forest Ecology and Management* 174: 25-37.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt
IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O.Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 77 80
Fax: +46 472 26 77 90

www.ivl.se