



Skogsskador till följd av våtmarkskalkning

Omfattning och orsaker



Länsstyrelsen
Västerbottens län

Meddelande 6 ◦2004

Skogsskador till följd av våtmarkskalkning

Omfattning och orsaker

Otilia Johansson

Ansvarig funktion:
Text och foton:
Tryck:

Miljöanalys
Otilia Johansson
Länsstyrelsens tryckeri

ISSN 0348-0291

Omslagsbild:

Tall med död topp, ett typisk symptom på borbrist. Foto: Johan Ahlström.

Förord

Kalkningen av vattendrag expanderade kraftigt i slutet på 1980-talet och i början på 1990-talet. Våtmarkskalkning visade sig vara den effektivaste metoden för att höja pH-värdet i försurade vattendrag och blev snabbt den mest använda metoden. Redan i detta skede var vegetationsskador på myrarna en välkänd bieffekt. Främst drabbades vitmossan som i det närmaste utrotades inom spridningsområdena. Kunskapen kring urvalet av lämpliga kalkningsobjekt var tyvärr underutvecklad genom stora delar av expansionsfasen, vilket innebar att såväl olämpliga som onödigt stora områden kom att kalkas.

Under 1990-talet skedde en successiv kunskapsuppbyggnad avseende urval av lämpliga spridningsytor och beräkning av arealdoser. Samtidigt ökade också medvetenheten avseende behovet att minimera de negativa effekterna på vegetationen och för att minska olägenheterna för jägare och det rörliga friluftslivet. Övergång från kalkmjöl till granulerad kalk var ett mycket viktigt steg. Västerbotten var föregångslän och genomförde övergången redan 1997. I och med användandet av granuler så undveks påverkan på kantzonerna runt de kalkade våtmarkerna. Dessutom reducerades olägenheterna för jägare och bärplockare till ett minimum.

Hösten 2000 kontaktades Länsstyrelsen av en markägare som berättade att det fanns skadade tallar på och i anslutning till Jämmerdalsmyran, som är en kalkad våtmark i Umeå kommun. En utredning initierades i form av ett examensarbete som utfördes av Otilia Johansson, student på Mark- och miljöprogrammet vid Skogshögskolan (SLU) i Umeå.Handledare för utredningen var Peter Högberg som är professor vid institutionen för skogsekologi på SLU i Umeå. Utredningen visade att de skadade träden led av borbrist. Bristen på bor var en effekt av den pH-höjning som kalken åstadkommit i marken.

Under hösten 2002 genomförde Länsstyrelsen en länsomfattande inventering av skogsskador i anslutning till kalkade våtmarker. Inventeringen genomfördes av Otilia Johansson. I föreliggande rapport redovisas resultaten. Resultaten ska utgöra underlag dels för åtgärder som syftar till att minimera skadorna och dels för de påbörjade diskussionerna om ekonomisk kompensation till drabbade markägare.

Johan Ahlström

Innehållsförteckning

Förord.....	3
Innehållsförteckning.....	5
1. Inledning.....	7
1.1 Kalkning.....	7
Våtmarkskalkning.....	7
Skogsskador och näringsbrist.....	7
Borbrist.....	8
1.2 Kalkningens effekt på skogen.....	9
Borbrist efter kalkning.....	10
1.3 Borbehandling.....	10
2. Material och metoder.....	11
2.1 Skadeomfattning.....	11
Besökta ytor.....	11
2.2 Visuell bedömning.....	12
Skadeklasser.....	12
2.3 Barrprover.....	12
Provtagning.....	13
Barranalys.....	13
Ämneshalter.....	13
3. Resultat och diskussion.....	15
3.1 Skadeomfattning.....	15
Skadeklasser.....	15
Geografisk skillnad.....	16
3.2 Barranalyser.....	17
3.3 Borhalter och skadegrad kommunvis.....	17
Bjurholm.....	17
Nordmaling.....	18
Robertsfors.....	19
Skellefteå.....	19
Umeå.....	20
Åsele.....	22
Dorotea.....	23
Storuman.....	24
Vilhelmina.....	25
3.4 Träd utan synliga skador.....	25
3.5 Naturlig variation av borhalter.....	25
3.6 Samband med kalkfrekvens, kalkmängd och skadegrad.....	26
3.7 Är problemet accelererande?.....	28
3.8 Slutsatser av barranalys och skadeomfattning.....	29
3.9 Borbehandling.....	29
4. Litteraturlista.....	31

Bilaga 1. Analyserade ämnen förutom bor.

1. Inledning

I anslutning till en våtmarkskalkad myr fyra mil norr om Umeå uppmärksammade en markägare tallar med döda toppskott och ett antal heldöda tallar. Orsaken till skadornas uppkomst visade sig sannolikt bero på borbrist (Johansson 2002). Borbrist beror i sin tur på det höga pH-värde som uppstår i marken efter kalkning. Till följd av detta har en större inventering av kalkade våtmarker genomförts i Västerbottens län. Syftet med inventeringen var att utreda hur vanligt förekommande det är med skadade träd efter våtmarkskalkning och vad detta beror på. Denna rapport innehåller resultaten från den inventeringen samt de första resultaten från ett försök med borgödsling av skadade tallar.

1.1 Kalkning

Kalkning är en av de åtgärder som används för att uppnå de nationella miljömålen "Bara naturlig försurning" och "Levande sjöar och vattendrag". I Västerbottens län är vattendragen i kustområdet mest försurningspåverkade. Totalt ingår ca 1 600 km vattendrag och 458 sjöar i kalkningsprogrammet för Västerbotten. Det generella motivet med kalkning är att återställa naturliga pH-värden och ge ett temporärt skydd mot försurning så att den ursprungliga faunan kan bestå eller återkolonisera. Vid kalkning av vattendrag tillämpas olika metoder: våtmarkskalkning, källsjökalkning och doseringskalkning. Denna undersökning behandlar områden som är påverkade av våtmarkskalkning. Teoretiskt skulle även sjökalkning som genomförs med helikopter kunna ge upphov till liknande skogsskador i anslutning till kalkade sjöar.

Våtmarkskalkning

Områdena som våtmarkskalkas är främst myrområden men även en del bäckzoner. Vid kalkningens begynnelse spreds höga kalkgivor över stora områden. Idag koncentreras kalkningen mer till öppna kärr och kalkning av bäckzoner används mycket sparsamt. Vid urvalet av ytor väljs i första hand sådana områden som redan är mänskligt påverkade t.ex. av dikning. Våtmarker med höga och mycket höga naturvärden samt våtmarker inom naturreservat undantas alltid från kalkning. Med hjälp av helikopter sprids kalken ut över våtmarken. När tillrinningen av nederbördsvattnet tilltar, vid kraftiga regn eller under snösmältningen, ökar genomströmningen av vatten i marken och således även uttransporten av kalk till vattendraget. Detta innebär att våtmarken fungerar som en naturlig kalkdoserare som portionerar ut kalk i proportion till vattenflödet.

Vindavdrift kan göra att kalk oavsiktligt hamnar utanför det planerade området. För att öka precisionen och minska damningen används från och med 1997 endast granulerad kalk. Vid nykalkning av våtmarker genomförs en grundkalkning på 20-30 ton/ha för att neutralisera den upplagrade syran. Därefter sker omkalkning varje eller vartannat år. Kalkdosen beror av vattenströmningen genom den kalkade våtmarken, större givor läggs på marker med hög vattengenomströmning. På myrmarker har kalkning visat sig förändra artsammansättningen; vitmossor och levermossor försvinner och lämnar öppna ytor som delvis koloniserats av bladmossor och halvgräs (Aronsson 1990, Rafstedt 2000).

Skogsskador och näringsbrist

Skador har i alla tider drabbat skogen, t.ex. genom väderleksskador, skador av djur- och svampangrepp. Vid normala förhållanden är det främst träd och delar av träd, som av en eller annan anledning har blivit försvagade som drabbas. Skadorna kan ha en rad olika orsaker och

ofta är det flera faktorer som samspelar. Många skador på träd börjar med att trädet utsätts för någon typ av stress, t.ex. brist på vatten eller något näringsämne. Detta sänker trädets motståndskraft vilket gör det lättare för skadegörare som svampar och insekter att angripa. Ospecifika symptom såsom barrförluster kan vara ett resultat av vad som sker i marken och rotsystemet. Relationen mellan näringsämnena kan variera avsevärt i såväl marken som trädet, men trädet försöker reglera sitt näringsinnehåll både vid upptagningen via rötter och via barren och dessutom vid transportererna mellan de enskilda cellerna.

Växterna tar främst upp de näringsämnena som är lösta i markvätskan. Grundläggande för försörjningen av mineralnäringsämnena är markens kemiska och fysikaliska egenskaper. Vissa marker är rika på näringsämnena medan det råder brist på näringsämnena på andra lokaler. Förekomst och tillgänglighet av olika växtnäringsämnena skiljer sig mycket mellan fastmark och torvmark. På fastmarker sker kontinuerlig tillförsel av växtnäring genom mineraljordens vittring. I torvmarker saknas denna näringstillförsel. Torvmarker utmärks därför av liten tillgång på mineralnäringsämnena, främst fosfor, kalium och bor (Lundmark 1988). Låga halter av makronäringsämnena¹ eller en obalans mellan dessa leder ofta till att tillväxten hos trädet försvagas. Brist på mikronäringsämnena² orsakar tillväxtstörningar t.ex. barrförlust, krokiga toppskott, oregelbunden grentillväxt eller döda toppskott. Klimatet spelar en viktig roll för hur träden påverkas. Effekter av brist på järn, mangan och zink förvärras ofta vid kallt och blött väder medan borbrist vanligen accentueras vid torrt och soligt väder. För en mer utförlig beskrivning av skador orsakade av brist eller överskott på näringsämnena förutom bor hänvisas till bilaga 1.

Borbrist



Skadorna som uppmärksammades på den våtmarkskalkade myren yttrade sig som döda toppskott på tallarna (Johansson 2002). Barrbortfallet började i trädens absoluta topp och hade hos de olika individerna varierad spridning nedåt. De skadade tallarna uppvisade ganska varierande skadegrad. På vissa individer fanns endast en antydning till färgförändringar på barren i trädens topp, medan andra träd var döda eller döende.

Bild 1, Död topp på tall som har borbrist

Bor är ett mikronäringsämne och livsviktigt för trädet även om det bara behövs i små mängder. Bor har en viktig funktion för aktiviteten i växtens tillväxtvävnader, kambium och meristem. Det är oftast växande organ som drabbas först vid borbrist. Detta beror på att borbristen leder till en försämrad celltillväxt och celledelning. Vid begynnande stadier av borbrist finns inga visuella skador men med hjälp av mikroskop syns skador i barr som

¹ Makronäringsämne (huvudnäringsämnena) – kväve, fosfor, svavel, kalium, kalcium och magnesium

² Mikronäringsämne (spårämnena) – järn, mangan, koppar, zink, bor och molybden

oregelbunden cellstorlek och trasiga cellväggar. Undersökningar har visat att otillräcklig borttillgång hämmar rot- och skotttillväxt även om det inte finns några synliga skador (Stone 1990). Vid halt under 5 ppm B minskade stamtillväxten med minskad borhalt.

Raitio (1983) har delat in skadorna i 4 olika skadegrader:

1. Normala träd med möjligen enbart fysiologiska symptom (inga synliga symptom).
2. Utseendemässigt normala träd men med mikroskopiskt synliga symptom.
3. Träd med synliga tillväxtstörningar
4. Heldöda träd

Den skadebild som uppmärksammats vid de våtmarkskalkade myrarna med döda toppar och helt döda träd tyder på en extrem borbrist där skadorna har nått grad 3 och 4. De träd som stod bredvid de skadade träden hade även de låga borhalter och det är möjligt att de ligger inom skadegrad 1-2. Bristen på bor kan i samverkan med andra faktorer ge en mångfald av skador. Brist sänker köldtåligheten hos tall och gör träden mer känsliga för angrepp av gremeniella (Dietrichson 1968 i Kurkela 1983). Borbrist kan resultera i dålig vattenhushållning samt ökad känslighet mot frost och insektsangrepp (Kolari 1983). Borbristen gör träden mer känsliga för torka, speciellt på ytor som normalt har högt vattenstånd. Ett försök med granplantor visade att plantor med låga borhalter stängde klyvöppningarna långsammare vid torka och därmed klarade sig sämre (Möttönen 2001).

Trots stor förlust av vitalitet kan skadade träd behålla återhämtningsförmåga något tag. Vanligtvis kan träden återgå till sitt normala tillstånd om de återfår tillgängligheten på bor efter att ha haft brist på bor under några år. Tillväxtstörningar beroende på borbrist är både genotypiskt och artberoende. En del träd överlever och fortsätter att växa vid låga borkoncentrationer medan andra närstående träd är döda eller döende pga. borbrist (Rerkasem och Jamjod 1997). Vid gödsling av myrmarker i Finland har skogsskador uppkommit ca 8-10 år efter gödsling (Kurkela 1983). Detta visar på att de finns en viss fördröjning i tiden innan skador uppkommer.

1.2 Kalkningens effekt på skogen

Det är allmänt känt att skog som växer på kalkrik berggrund är bördig. Det är därmed lätt att koppla ihop kalk och bördighet och tro att det skulle vara positivt för trädutväxten att tillsätta kalk. Ren kalksten är dock ogynnsam ur växtnäringssynpunkt då den tillför ett ensidigt kalciumtillskott och begränsat med andra näringsämnen. Att kalkberggrund anses vara bördig beror på att kalkstenarna är "orena" dvs. uppbyggda av fler ämnen än kalciumkarbonat. Kalkstenen är mycket lättvittrad vilket medför att dessa ämnen lätt kommer växterna tillgodo. Den höga vittringsförmågan medför även finkorniga jordar. Finkornigheten gynnar den vattenhållande förmågan och underlättar den kemiska vittringen vilket i allmänhet resulterar i en god tillgång på växtnäringsämnen.

Att enbart tillsätta kalciumkarbonat på mark på en sur berggrund eller torvmark ger inte samma effekt. Kalkmedlet tillför kalciumjoner samt neutraliserade substans i form av karbonater, vilket leder till en pH-höjning. Kalcium är ett viktigt näringsämne som träden har stort behov av och tar upp stora mängder av. Det förekommer dock vanligtvis i tillräckliga mängder i marken och är sällan något ämne som träden har brist på. Det som är intressant är att det ökade pH värdet förändrar tillgängligheten till andra näringsämnen. Det är idag väl

dokumenterat att höga pH-värden och kalkning försämrar tillgängligheten på mikronäringsämnen bor, kobolt, mangan, nickel och zink. Det enda kända mikronäringsämne som blir mer tillgängligt vid pH över sex är molybden. Kalkning kan minska utlakning av näringsämnen genom att de flesta ämnen binds hårdare vid högre pH.

Kalk kan även öka nedbrytningen av organiskt material, vilket frigör näringsämnen. Det har i studier visats att mykorrhizan påverkas negativt av kalkning (Letho 1994, Erland och Söderström 1991). Svampar som bildar ektomykorrhiza förekommer ofta med hög artrikedom i sura miljöer. Det blir även färre rotspetsar. Det är omöjligt att säga något generellt om huruvida kalkning är positivt eller negativt för trädutväxten. Olika studier visar olika resultat. I vissa försök har tillväxten ökat och i andra har den minskat efter kalkning. Förklaringen därtill är de naturliga förutsättningarna och att tillväxten begränsas av olika faktorer på olika platser. Det har förekommit skogsskador efter kalkning på försöksytor belägna i norra Sverige (Själlarimsheden och Häggsjöleden, Norrbottens län samt Norrliden, Västerbottens län) och i mellersta Sverige (Lövnäs och Bleckstugan, Dalarnas län). Även i Finland har skador noterats efter kalkning. Skadebilden i samtliga fall har varit träd med döda toppar och barranalyser har visat på borbrist.

Borbrist efter kalkning

Högt pH gör att bor adsorberas till markpartiklar och blir otillgängligt för växter. Jämvikten $B(OH)_3$ (borsyra) + $H_2O \rightarrow B(OH)_4^-$ (borat) + H^+ förskjuts åt höger med ökande pH. Boratet binds till OH-grupperna på markpartiklarna. Enligt Brady och Weil (1999) är bor bundet som hårdast mellan pH 7 och 9. Därför är tillgängligheten för växterna lägst i detta pH-intervall. Brady och Weil skriver vidare att detta kan vara en möjlig förklaring till den kalkinducerade borbristen som uppstått hos växter när pH-värdet i marken höjts. Ökningen av boratjonhalten är alltså förklaringen till att mer bor binds i marken vid högre pH.

1.3 Borbehandling

När borbrist upptäcktes på kvävegödslade tallar i Norrliden åtgärdades det genom att bor spreds ut som gödsel på marken. Träden överlevde och nya toppar växte ut. Dagens kvävegödslingspreparat innehåller 0,2% bor som en säkerhetsåtgärd för att minska risken för borbrist. Att sprida ut borgödsel på marken på den kalkade våtmarken skulle förmodligen inte komma tallarna till godo på kort sikt då pH-värdet i marken fortfarande är högt och det tillförda boret till stor del skulle bindas upp i marken. En barrbesprutning från luften skulle däremot kunna leda till ett snabbt upptag och ge tallarna en chans att återhämta sig. Bladbesprutning med bor har länge använts för *prunus* (aprikos), *malus* (äpple) och *pyrus* (päron) med goda resultat. I New Brunswick (Kanada) har svartgran som drabbats av borbrist besprutats med borslösning. Detta ökade borhalten i barren och ökade även barrbiomassan (White och Karuse, 2001).

Det är viktigt att tillsätta rätt mängd bor då gränsen mellan brist och förgiftning är liten. Det har gjorts försök att bestämma den exakta mängden bor träden behöver men det är svårt då det skiljer från art till art och mellan olika tider på året. Braekke (1977) beräknade att medelupptaget för bor i en högproduktiv tallskog upp till 45 år inte är mer än 40 g/ha och år. I en 100 årig tallskog i Finland var behovet av bor 45 g/ha och år (Helmisaari, 1995). Behovet är troligen störst under perioden för skotttillväxt. I gödslingsstudier kom Braekke (1983) fram till att optimala gödslingsgivor ligger mellan 1,5-2 kg bor/ha och att detta var tillräckligt för att ge 20 års god tillväxt. Braekke (1983) fann skador redan vid doser på 4,5 kg bor/ha och

rekommenderar att inte ge högre doser än 2,5 kg bor/ha. I Finland har det gjorts försök med givor på 1,5 kg bor/ha efter kalkning. Detta fördubblade antalet rotspetsar i de översta 10 mm av humuslagret. Dessutom ökade mängden mykorrhiza till följd av borgödslingen (Lehto 1994).



Borbehandlingen genomfördes under en dag i augusti (2002) då det inte förelåg någon risk för regn. För att komma ovanför tallkronorna och därigenom bespruta barren användes helikopter. Till gödslingen användes 20 liter flytande borklösning innehållande 150 g bor/liter. Totalt 3 kg bor spreds över ca 1,5 hektar, dvs. 2 kg bor per hektar. I borklösningen tillsattes även vätnedlet Aminosol³. Borklösning och Aminosol blandades ut med vatten i en stor spridningsbehållare innan det spreds ut över tallarna. Vattnets togs från ett okalkat vattendrag (Mickelsträsket).

Bild 2. Behandling med flytande bor.

2. Material och metoder

2.1 Skadeomfattning

Det enklaste sättet att få en uppfattning om skadornas omfattning är att visuellt bedöma trädkronornas utseende i kombination med barranalyser (Silfverberg 1983).

Besökta ytor

Områdena utvaldes slumpmässigt. Av praktiska skäl valdes om möjligt områden som låg nära väg. 67 kalkade ytor besöktes. Dessa var spridda över Västerbottens län och hade olika kalkninghistorik. Våtmarkskalkningen är koncentrerad till länets östra del och därför låg huvuddelen av de besökta ytorna vid kusten. På 27 av ytorna gjordes barrprovtagningar. Även 13 stycken referensytorna besöktes och barrprovtagning gjordes på samtliga av dessa. Referensytorna valdes utifrån de kriterierna att de skulle ha ungefär samma geografiska läge som de besökta våtmarkerna men inte ingå i något kalkningsprojekt.

³ Aminosol består av naturliga aminosyror. Det tillsätts för att få barren att lättare ta upp boret genom vaxskiktet

2.2 Visuell bedömning

Antalet träd med visuella skador bedömdes. Bedömningen utgick från skogsstyrelsens bedömningsgrunder. En checklista användes med parametrar som toppvitalitet, barrfärg, barrförlust etc. Antalet träd med toppskador räknades. Skador räknades på både tall och gran. För att trädet skulle medräknas krävdes en tydlig barrförlust i toppen eller heldöd topp. Helt döda träd räknades inte då det är omöjligt att fastställa vad de dött av. Torrtopp orsakad av törskateangrepp* medräknades inte då de förekommer allmänt även på okalkade våtmarker.

* Törskateangrepp



Den kanske vanligaste orsaken till torrtopp är törskatesvampens angrepp. Törskateangrepp kännetecknas av en skarp gräns mellan den skadade toppen och den friska underdelen. På stammen finns ofta ett kådindränkt mörkt sår. Törskateangrepp drabbar främst äldre träd och är allmänt förekommande i äldre bestånd.

Bild 3, Tall angripen av törskatesvamp

Skadeklasser

Områdena delades in i olika skadeklasser beroende på antalet träd med synliga skador. En gräns på minst fem toppskadade träd sattes för att området skulle klassas som skadat. Detta beroende på att det nästan alltid, även på referensmyrarna återfanns något enstaka toppskadat träd och detta inte behöver tyda på en onaturlig störning. Antalet skadade träd viktades inte mot spridningsområdets storlek eftersom det i praktiken är omöjligt att avgränsa det påverkade området. Dels kan området ha kalkats i flera omgångar på olika spridningsytor och dels innebär det tidigare bruket av kalkmjöl att det egentliga influensområdet kan sträcka sig långt utanför den tänkta spridningsytan. De besökta områdena delades in i fyra skadeklasser beroende på antalet skadade träd: inga skadade träd (en toleransnivå på 1-4 toppskadade träd användes då enstaka träd kan vara skadade utan att det behöver tyda på onaturlig störning), 5-10 träd med toppskador, 11-25 träd med toppskador och över 25 träd med toppskador. På en del myrar observerades ett flertal heldöda träd. Dessa träd medräknades inte eftersom eventuell borbrist inte kan fastställas på döda träd.

2.3 Barrprover

Barrens näringsstatus är det mest använda måttet på barrträdets näringstillstånd. För att undersöka trädens näringsupptag studeras näringsförhållandena i barren med hjälp av kemiska analyser. Märkbar brist uppträder ofta först i barren och därför är näringstillståndet i barren en god indikation på hela trädets näringstillstånd. Det finns även ett stort referensmaterial att jämföra datamaterialet med. Onormalt höga eller låga halter visar på någon form av störning.

Provtagning

Fem skadade träd provtogs på varje provtagningsområde. På sju kalkade områden provtogs även fem träd utan synliga skador. På referensmyrarna valdes träd som växte på motsvarande område och såg ut att kunna lida av någon form av näringsbrist. Provtagningen genomfördes under oktober - december 2002. Med hjälp av en stångsax klipptes kvistar ned från träden. På varje yta valdes träd som ansågs representativa. På dessa klipptes tre kvistar loss och årsbarren analyserades. Proverna på de skadade träden togs på till synes oskadade kvistar i anslutning till de skadade partierna på träden. På de till synes



Bild 4, Provtagning av tallbarr med hjälp av stångsax

oskadade träden togs prover på kvistar från motsvarande grenvarv som på de skadade träden. Inga träd med en höjd under tre meter provtogs. På den borbehandlade ytan provtogs fem av de tidigare provtagna tallarna (Johansson 2002) för att undersöka hur borhalten påverkats av borgödslingen. Detta genomfördes under november, dvs. 3 månader efter behandlingen.

Barranalys

Årsbarren torkades och maldes. Därefter analyserades de med ICP/MS-DRC⁴ efter en öppen våtuppslutning med HNO₃ + HClO₄. Bor analyserades i samtliga prover. Totalt analyserades bor på 250 prover från 27 kalkade och 13 okalkade våtmarker. På 35 prov analyserades förutom bor även: aluminium, fosfor, kalcium, kalium, koppar, järn, magnesium, mangan, molybden och natrium. Dessa prov härrörde från skadade tallar på sex olika kalkade myrar runt om i Västerbotten (Nordmaling-Torsbäcken, Skellefteå-Vadbäcken, Storuman-Gunnarbäcken, Umeå södra-Idebäcken, Umeå norra-Gärssjöbäcken, Åsele-Råtjärn) och från referenstillar på en okalkad myr utanför Botsmark.

Ämneshalter

Värdena från de kalkade ytorna jämfördes med värdena på referensytorna samt med kända gränsvärden (tabell 1). En variansanalys (envägs Anova) gjordes följt av Tukey's post hoc test för borhaltenerna och ett tvåsidigt Dunett's post hoc test på de övriga ämnena för att se ifall värdena i barren hos de skadade träden skiljde sig från referensvärdena ($p < 0.05$). För detta användes statistikprogrammet SPSS.

⁴ Inductively Coupled Plasma---Mass Spectrometry

Tabell 1. Gränsvärden samt önskvärda nivåer för näringshalter i barr (ppm). Näringsvärden under gränsvärdena visar på stark brist (från Braekke 1994). Värdena gäller för både tall och granbarr.

Makronäringsämnen	Gränsvärden för brist	Önskvärda nivåer
Kalium	3000-4100	5000-7000
Kalcium	1000-2100	>3100
Magnesium	300-700	>700
Fosfor	800-1200	>1400-1800
Svavel	1000-1500	>2200

Mikronäringsämnen	Gränsvärden för brist	Önskvärda nivåer
Bor	4-5	8-25
Järn	27-30	-
Mangan	7	80-500
Zink	5	>25
Koppar	1,9-3	>3
Molybden	0,02	-

3. Resultat och diskussion

Tall var det dominerande trädslaget på de besökta ytorna. I fjällkommunerna övervägde dock gran. I kustlandet fanns gran framförallt vid bäckzoner. Skador observerades på både tall och gran. Skadorna förekom på både unga och gamla träd. Graden av skador varierade från små barrförluster i toppen via de typiska toppskadorna till heldöda träd. Huvuddelen av de skadade träden återfanns i kantzonen mellan myr och skogsmark.

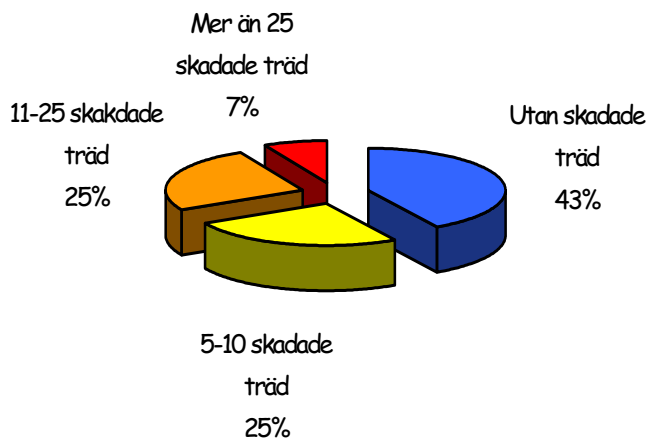


Bild 5, Tall och gran med toppskador. Torsbäcken, Nordmalings kommun

3.1 Skadeomfattning

Skadeklasser

Totalt besöktes 70 kalkade ytor. 43% av ytorna klassades som utan synliga skador, hälften av ytorna hamnade inom klasserna 5-10 och 11-25 och 7% hade över 25 toppskadade träd (figur 1). På de 7 % som hade över 25 skadade träd fanns det ytor med uppemot 100 skadade träd. I och med att heldöda träd inte medräknats kan skadefrekvensen vara något underskattad ifall träden påverkats och dött på grund av kalkningen.



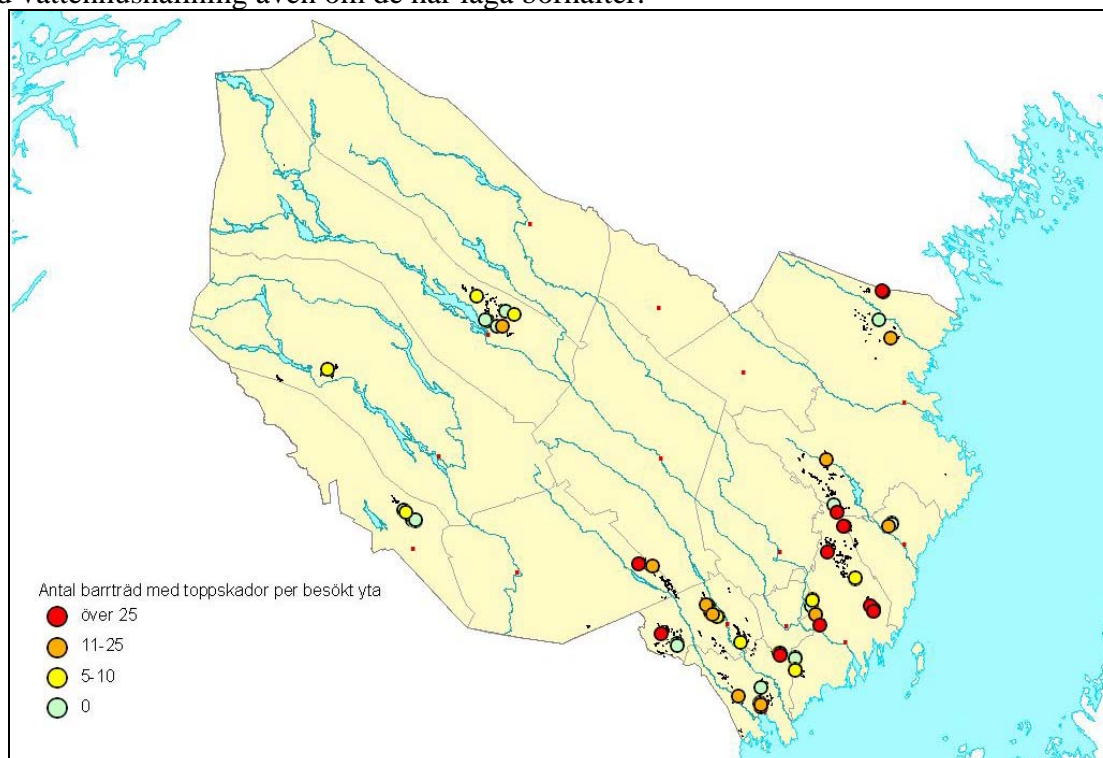
Figur 1, Fördelning av antal skadade träd per besökt spridningsyta.



Bild 6. Heldöda träd, Gunnarbäcken, Storuman

Geografisk skillnad

Det fanns skillnader mellan kust- och fjällkommunerna. Andelen ytor med skadade träd var högre i kusten än i fjällen (figur 2). I kusten uppgick andelen ytor med skadade träd till 70 %. I fjällen var skadefrekvensen lägre. En förklaring kan vara att de kalkade myrarna oftast är större i fjällen, vilket minskar risken att träd i kantzoner blir kalkade. Dessutom var i regel kalkmängderna lägre i fjällen. En annan faktor som kan spela in är klimatet. I fjällvärlden är det ofta inte lika varma och torra somrar och därför kanske träden inte får samma problem med vattenhushållning även om de har låga borhalter.



Figur 2. Undersökta områdena och antalet träd med synliga toppskador.

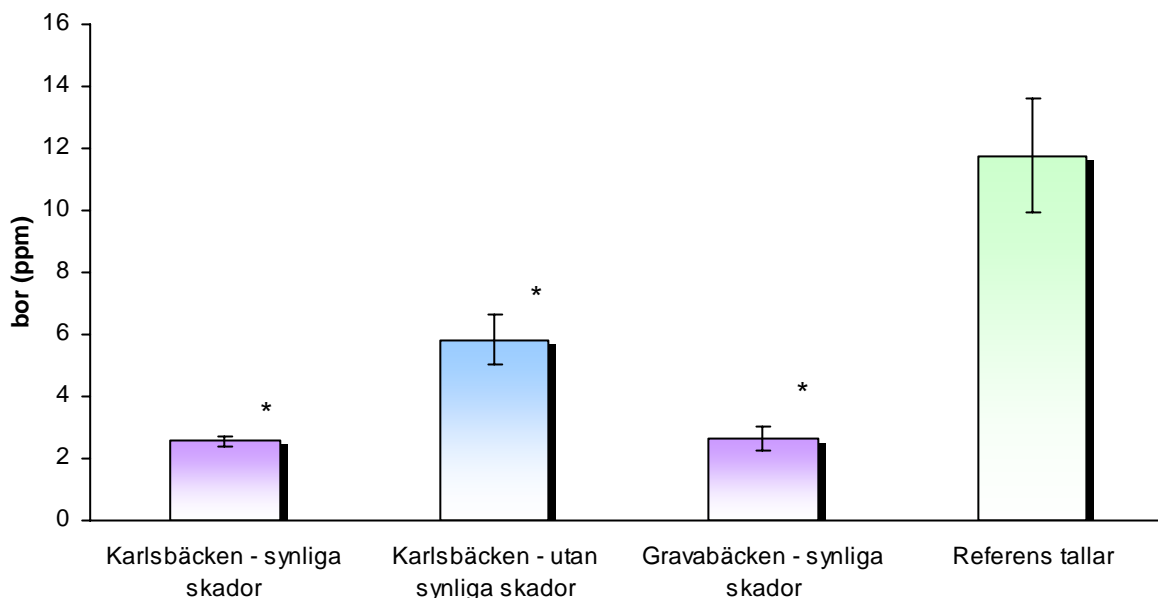
3.2 Barranalyser

Analyser av barrprover visade att de skadade träden led av borbrist. Borhalterna varierade mellan olika områden men i nästan samtliga fall var borhalterna lägre i träden på de kalkade objekten än hos referensträden. Detta gällde även för de träd som inte uppvisade synliga skador. Övriga ämnen uppvisade inga brister eller skillnader mot referensträden som kan förklara skadorna. Manganhalten var lägre hos de skadade träden men inte under bristnivån. Kalciumhalterna var högre hos de skadade träden vilket var väntat då kalcium tillförts men halterna var inte så höga att det var risk för toxicitet. Resultaten från barranalys av övriga ämnen redovisas i Bilaga 1.

3.3 Borhalter och skadegrad kommunvis

Bjurholm

I Bjurholms kommun besöktes kalkade våtmarker inom Karlsbäckens, Gravabäckens, Kälkvattsbäckens och Kvarnbäckens avrinningsområden. Inga synliga skador observerades i Kvarnbäcken. På ytan i Kälkvattsbäcken observerades fem tallar med skador. Området som besöktes i Karlsbäcken hade över 25 skadade tallar. Område låg intill en sjö som sjökalkats. I Gravabäcken besöktes sex områden varav skadade träd återfanns på fyra. Barrprover analyserades från tallar i Karlsbäcken och i Gravbäcken. På ytan i Karlsbäcken togs även prover från tallar utan synliga skador. Borhalterna för träden på de kalkade ytorna låg signifikant under värdena hos tallarna på referensmyren (figur 3). Träden med synliga skador hade borhalter under bristnivån.



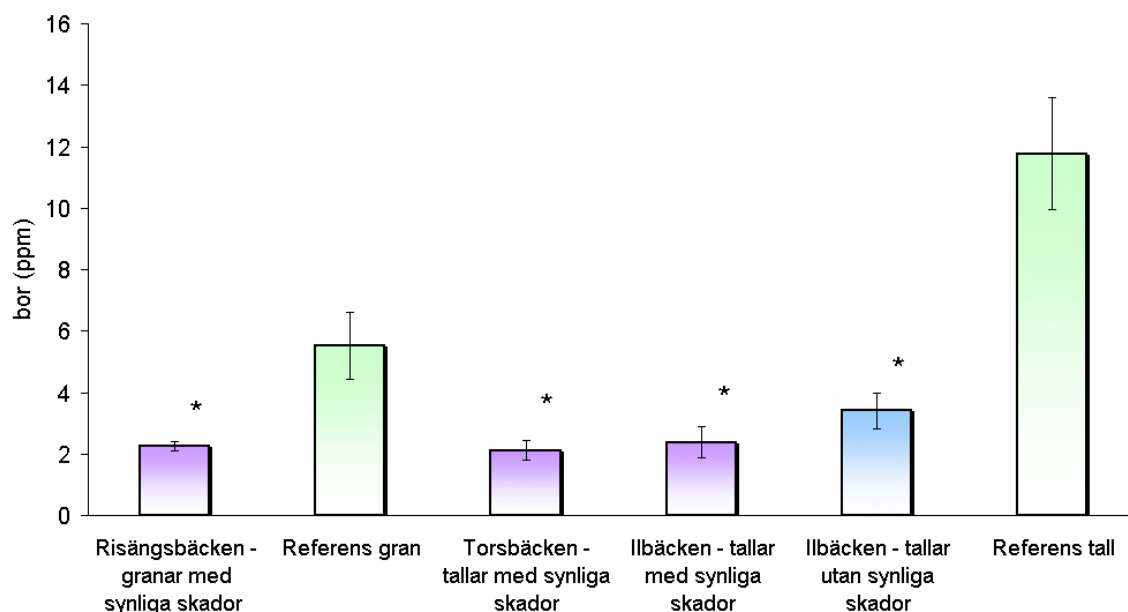
Figur 3. Bjurholms kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).

Nordmaling

Inom Nordmalings kommun besöktes fyra kalkade våtmarker i Torsbäcken, tre inom Ilbäcken, en i Örabäcken samt en bäckzon längs Risängsbäcken. I Torsbäcken hade två av ytorna kalkats sedan 1989 respektive 1993. På bägge dessa ytor observerades skadade tallar. På de andra två ytorna som kalkats sedan 1999 fanns inga skadade träd. Alla tre ytor inom Ilbäcken var kalkade sedan 1992 och skadade tallar återfanns på samtliga av dessa. Ytan som besöktes inom Örabäcken hade enbart kalkats en gång (1991) och där syntes inga skadade tallar. Vid bäckzonen längs Risängsbäcken fanns det många döda träd samt ett antal granar med toppskador. Enligt spridningsplanen skulle en zon på 50 meter kalkas. Skador observerades uppemot 20 meter från bäcken. Barrprover samlades in från granar med toppskador vid Risängsbäcken. Det förelåg signifikanta skillnader mellan borhalterna hos de skadade granarna och referensgranarna (figur 4). Borhalterna på referensgranarna var låga i förhållande till gränsvärdena enligt Braekke. Detta antyder att området har naturligt låg borhalt. Tallproverna insamlades från Torsbäcken och Ilbäcken. I Ilbäcken provtogs även tallar utan synliga skador. Borhalterna för tallarna på de kalkade ytorna var signifikant lägre än värdena hos tallarna på referensmyren. Träden med synliga skador hade borhalter under gränsvärdet för brist.



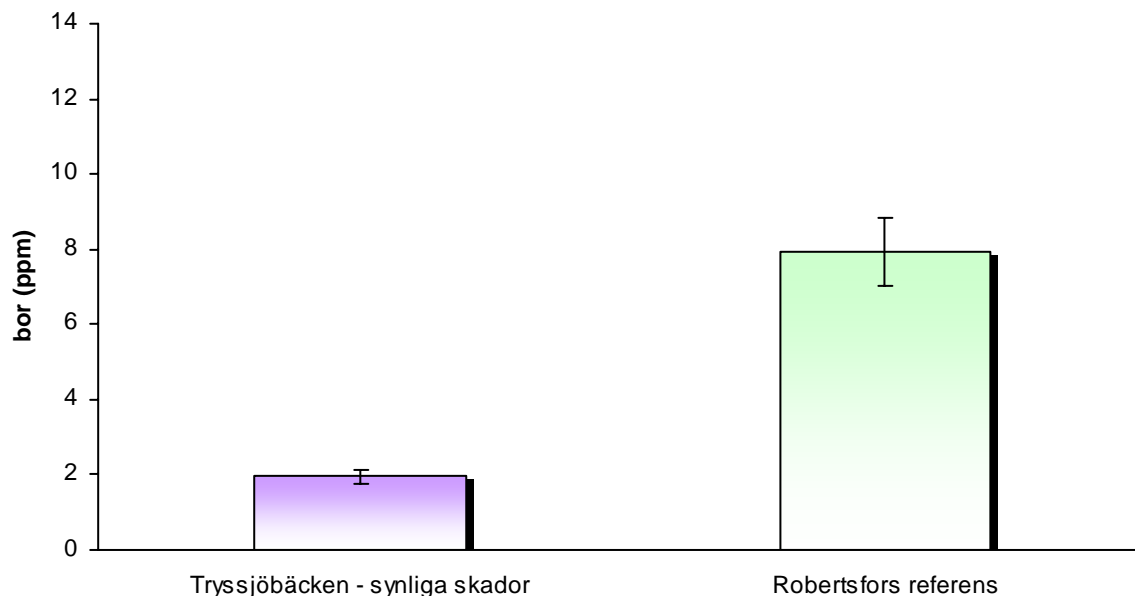
Bild 6. Toppskadad tall, Ilbäcken, Nordmalings kommun



Figur 4. Nordmalings kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).

Robertsfors

Tre ytor besöktes inom Tryssjöbäcken. En som kalkats sedan 1993 (totalt kalkad 9 gånger) och två ytor som kalkats sedan 2000 (totalt kalkade 3 ggr). Ytan som kalkats sedan 1993 hade skadade träd. På de ytor som kalkats 3 gånger återfanns inga skadade träd. De skadade träden provtogs och barranalyserna visade en betydande borbrist (figur 5).



Figur 5. Robertsfors kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).

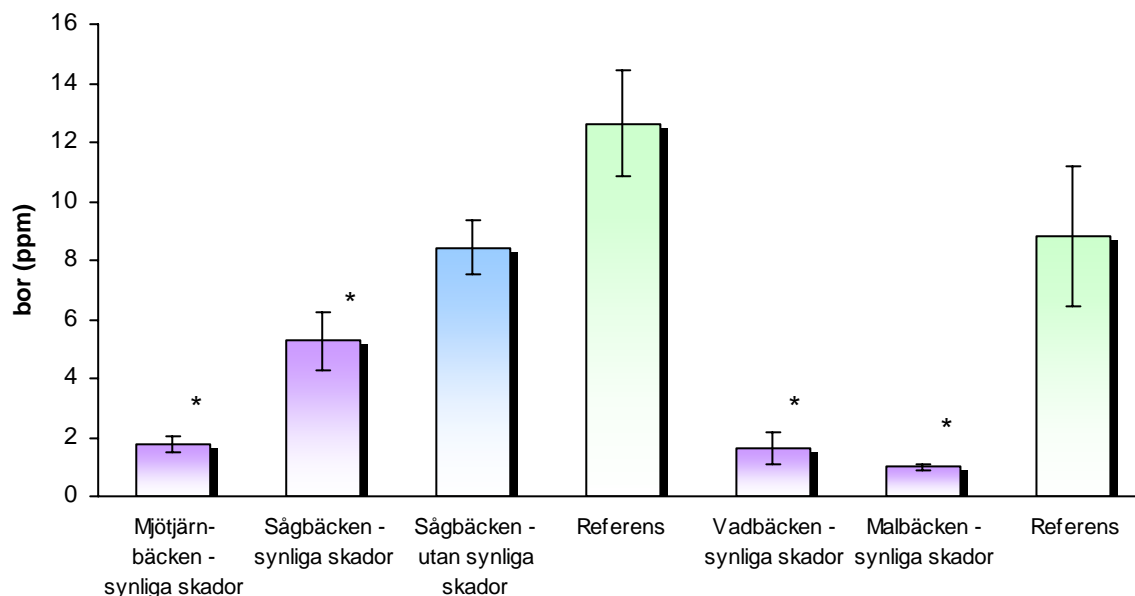
Skellefteå

Inom Skellefteå kommun besöktes våtmarker i Malbäcken, Mjötjärnbäcken, Vadbäcken, Sågbäcken och Tvärån. Inom Malbäcken besöktes två ytor som kalkats sedan 1992. På den ena fanns det minst 25 skadade tallar. På den andra ytan fanns flera heldöda träd och träd som såg sjuka ut fast inga träd med typiska borbristsskadorna observerades. På ytan i Sågbäcken var det ca 20 skadade träd. Även två ytor som bara kalkats en gång besöktes. Den ena låg i



Vadbäcken och hade kalkats med 19 ton/ha. Ytan hade 15 skadade träd. Den andra låg i Tvärån och hade kalkats med 5 ton/ha. Denna uppvisade inga synliga skador. Borhaltarna i barren på de skadade träden i Mjötjärnbäcken, Vadbäcken och Malbäcken låg långt under gränsvärdet för brist (figur 6).

Bild 7. Myrtrallar, Mjötjärnbäcken, Skellefteå kommun. Till vänster syns en tall med toppskada och till höger en heldöd tall.



Figur 6. Skellefteå kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skilda från referensvärdena ($p < 0,05$).

Halterna från de synligt skadade träden i Sågbäcken låg precis på gränsen för brist och de utan synliga skador i Sågbäcken låg ovanför bristnivån men under halterna för barren i referensträden. En förklaring till att dessa värden låg så pass högt kan vara att de provtagna träden var väldigt höga och det inte gick att nå ända upp i toppen med stångsaxen. Därför togs proverna en bit nedanför skadan och sannolikt ökar halterna med avståndet från skadan. Ett annat alternativ kan vara att området naturligt har högre borhalter eftersom även referenstillarna låg relativt högt. Därmed skulle träden kunna vara anpassade till högre borhalter.



Bild 8. Höga tallar med toppskador, Sågbäcken, Skellefteå kommun.

Umeå

I norra delen av Umeå kommun besöktes fem våtmarker i Malbäcken, två i Klappmarksbäcken, två i Gravån och en i Gärssjöbäcken. På alla ytor förutom en i Malbäcken

och en i Gravån fanns det skadade träd. Tallbarrsprover insamlades från skadade träd i Malbäcken, Klappmarksbäcken, Gärssjöbäcken och Gravån. Samtliga hade borhalter under gränsvärdet för brist (figur 7). I Gärssjöbäcken provtogs även träd som inte uppvisade skador. Borhalterna i dessa var precis över bristnivån. Borhalterna i referensträden låg betydligt högre och inom önskvärd nivå.

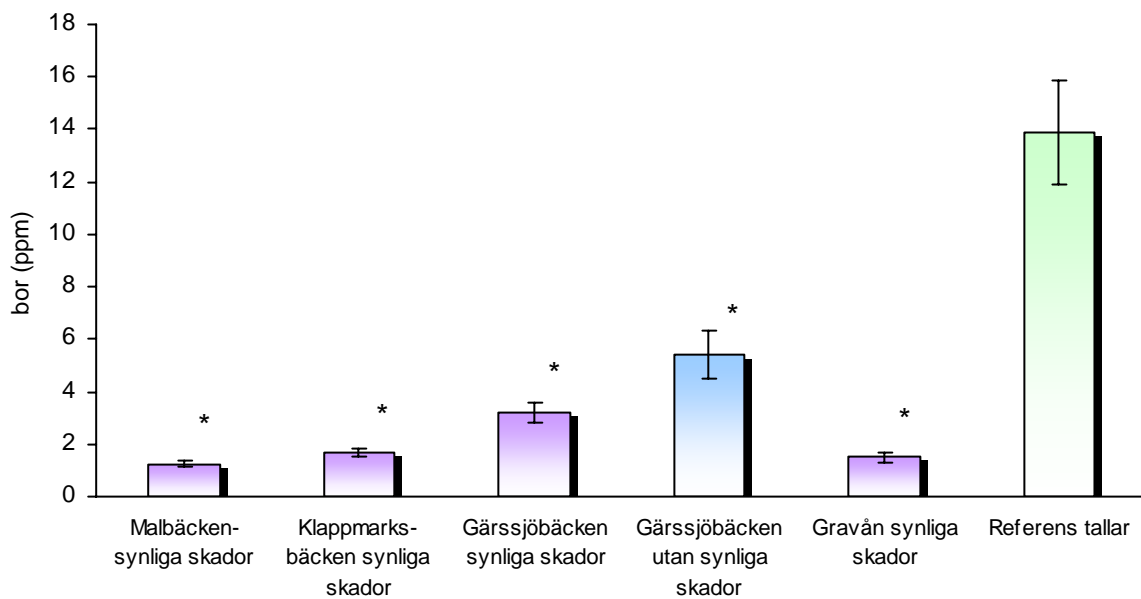
I södra delen av Umeå Kommun besöktes sju ytor i Idebäcken där samtliga hade kalkats under en lägre tid (startår 1992 respektive 1995). På fem av ytorna observerades synliga skador. Fyra ytor i Degerbäcken besöktes. Två av dessa hade kalkats sedan 1992 och uppvisade synliga skador. De andra två ytorna hade kalkats sedan 1999 och visade inga synliga skador. De skadade tallarna i Degerbäcken och Idebäcken hade låga borhalter, långt under gränsen för vad de behöver och starkt signifikant skilda från referensställarna (figur 8).



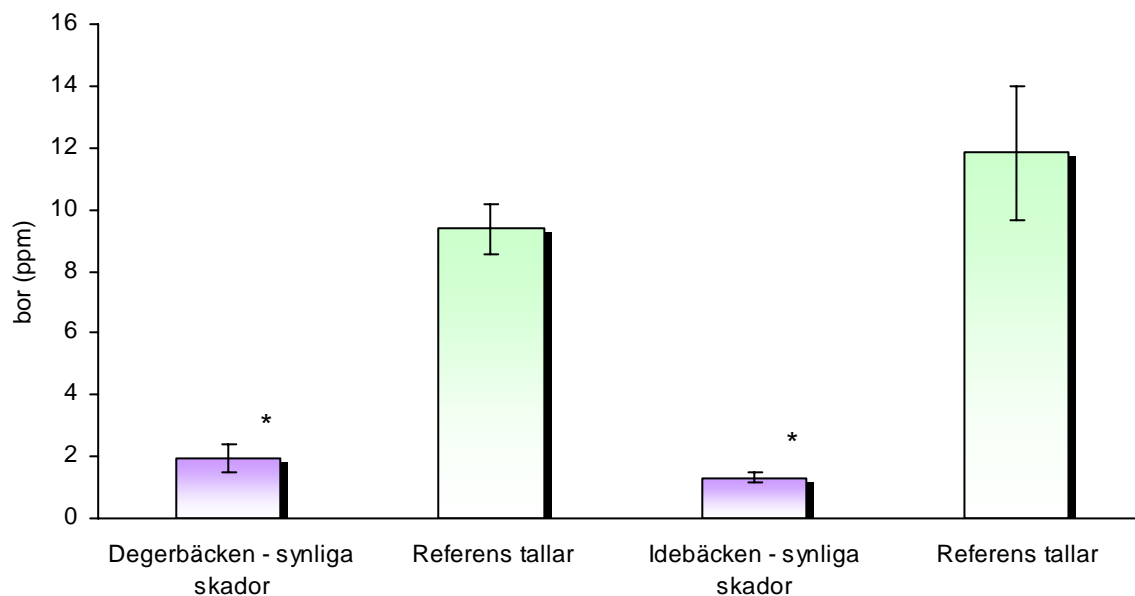
Bild 9. Toppskada på tall (Gravån).



Bild 10. Tall med två döda toppar (Malbäcken).



Figur 7. Umeå Kommun, norra delen. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skilda från referensvärdena ($p < 0,05$).



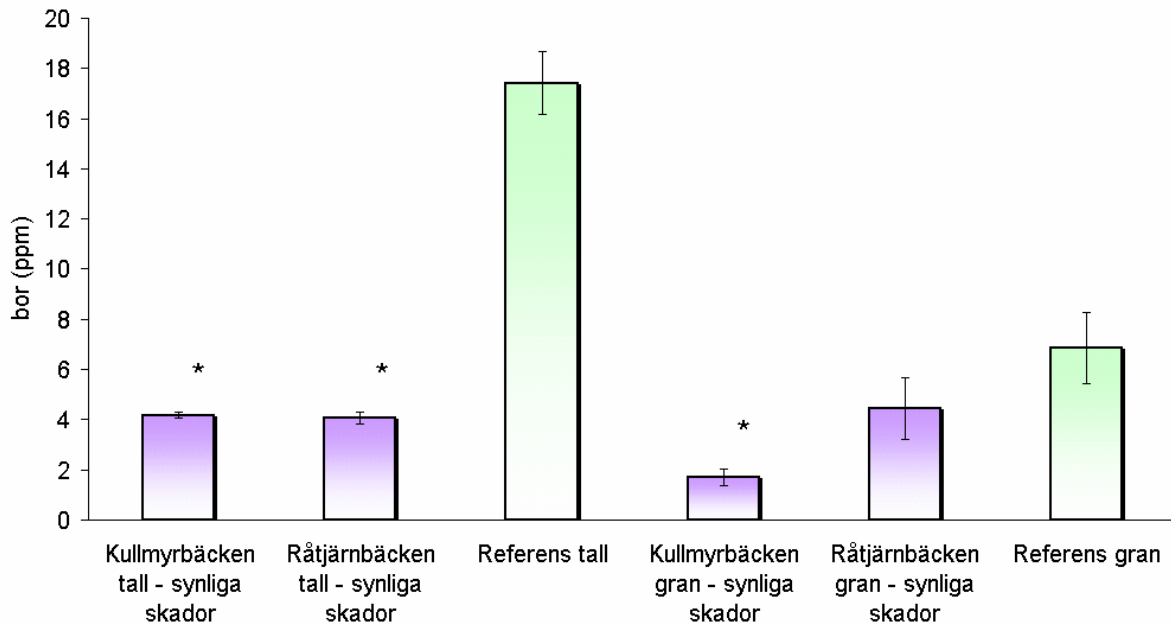
Figur 8. Umeå kommun, södra delen. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).

Åsele

I Åsele kommun besöktes en yta i Kullmyrbäcken och en i Råtjärnbäcken. På bägge ytorna fanns skador både på tall och gran. Barr från skadade tallar och granar insamlades på båda ytorna. Värdena i barren från de skadade träden låg under halterna i referensträdens barr (figur 9). Dock var halterna i barren från granarna i Råtjärnbäcken ej signifikant skilda från referensträdens halter. Borhalterna var ganska höga jämfört med halterna i träden i de övriga kommunerna. Detta gällde både för referensträden och de skadade träden.



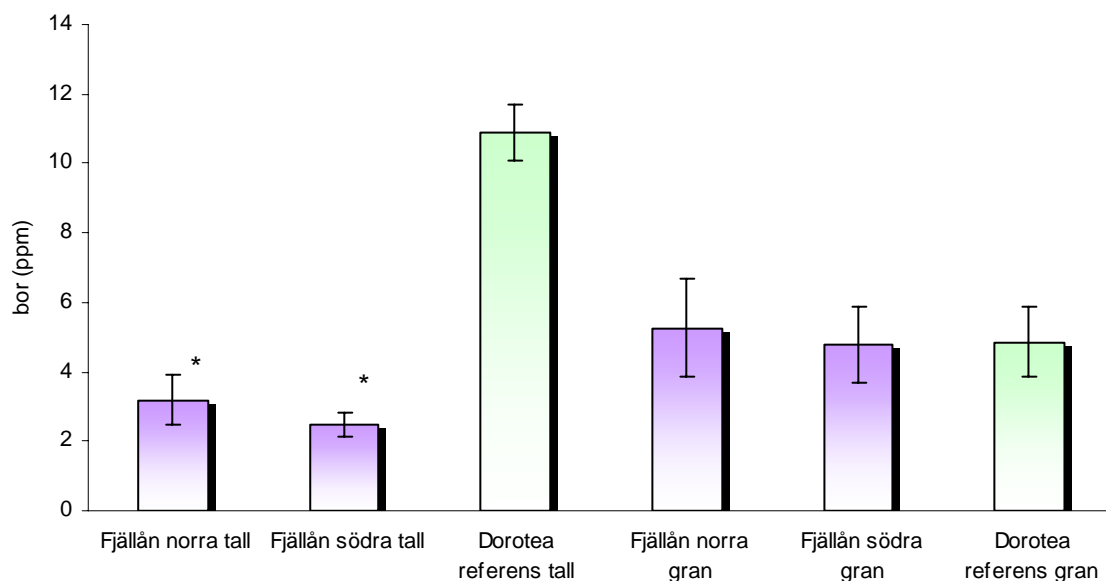
Bild 11. Toppskadade tallar inom Råtjärnbäckens åtgärdsområde. Både de större och de mindre tallarna hade döda toppar.



Figur 9. Åsele kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).

Dorotea

Inom Dorotea kommun besöktes sju kalkade våtmarker. Träden hade inte de typiska döda topparna men såg allmänt hängiga ut med glesa kronor och döda grenar. Höjdläget (ca 450 m.ö.h.) ger ett kärvt klimat med hård vind, kyla och stora snömängder som påverkar trädens utseende. Det fanns generellt ganska ont om tallar på de besökta myrarna. Tallar och granar provtogs på två kalkade ytor. Granarna på de kalkade våtmarkerna uppvisade inga skillnader i borhalt jämfört med referensgranarna (figur 10). Tilläggas kan dock att dessa våtmarker endast var kalkade en gång och med låga kalkgivor (9 respektive 5 ton/ha). För tall var borhalterna signifikant lägre på de kalkade våtmarkerna jämfört med referensen.



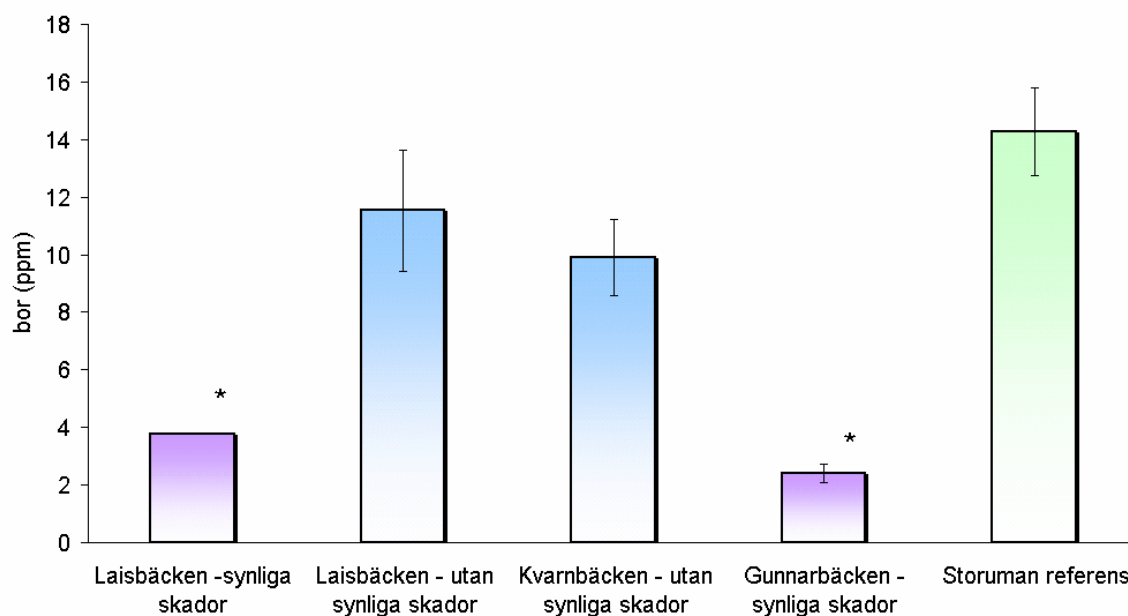
Figur 10. Dorotea kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).



Bild 12. Träden på de kalkade ytorna i Fjällån såg allmänt risiga ut, men hade inte de typiska symptomen av borbrist.

Storumans kommun

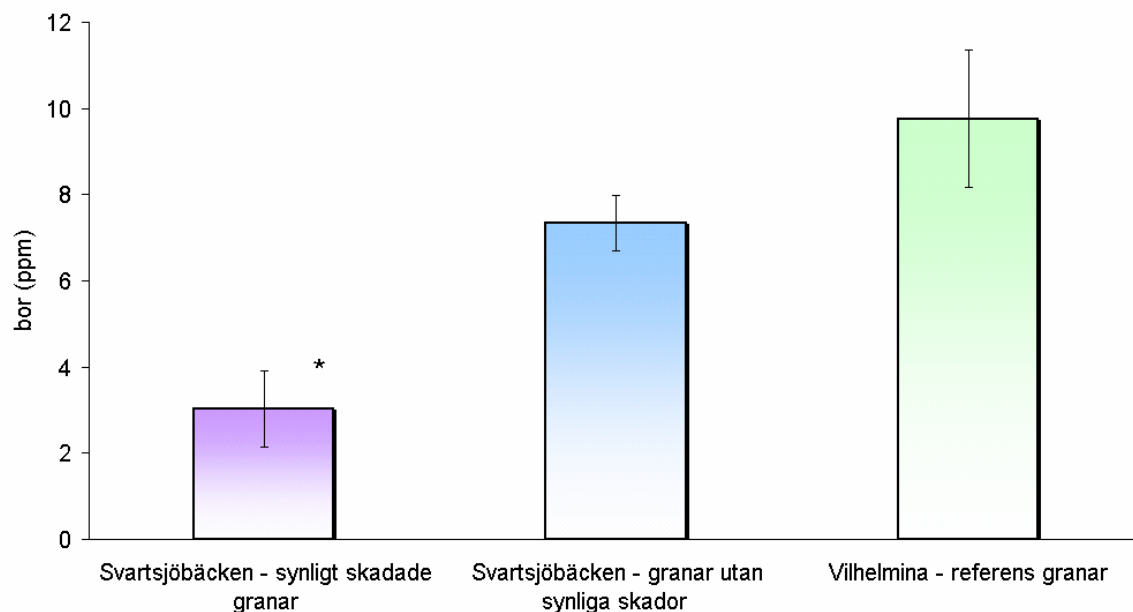
I Storumans kommun besöktes kalkade våtmarker inom Gunnarbäcken, Kvarnbäcken och Laisbäcken. De flesta skadade träden återfanns inom Gunnarbäcken. Dessa marker hade endast kalkats en gång (mellan 1988 och 1992). Vid besöket provtogs tallar med och utan synliga skador. De synligt skadade tallarna hade borhalter under gränsvärden (figur 11). Träden utan synliga skador hade halter inom önskvärda nivåer och var ej skilda från referenstillarna.



Figur 11. Storumans kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).

Vilhelmina

Inom Vilhelmina kommun ligger de kalkade våtmarkerna på hög höjd (ca 500-800 meter över havet). En kalkad våtmark besöktes på de övre delarna av Njakafjäll (Svartsjöbäcken). Skogarna där var inte så hårt påverkade av skogsbruk vilket gjorde att träden hade hög ålder och därför hade en naturligt hög skadefrekvens. Vid besöket observerades granar som såg medfarna och rufsiga ut med glesa kronor både på referensytan och på den kalkade våtmarken. Detta gjorde det svårt att visuellt avgöra om träden var påverkade av kalkningen. Analyser av granbarr visade dock på skillnader i borhalter mellan träden på de besökta ytorna. Borhalterna hos de skadade granarna låg lägre än referensgranarna (figur 12). De granar som stod inom spridningsområdet men var utan synliga skador hade en borhalt som ej var signifikant skild från referensträden.



Figur 12. Vilhelmina kommun. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdena är signifikant skiljda från referensvärdena ($p < 0,05$).

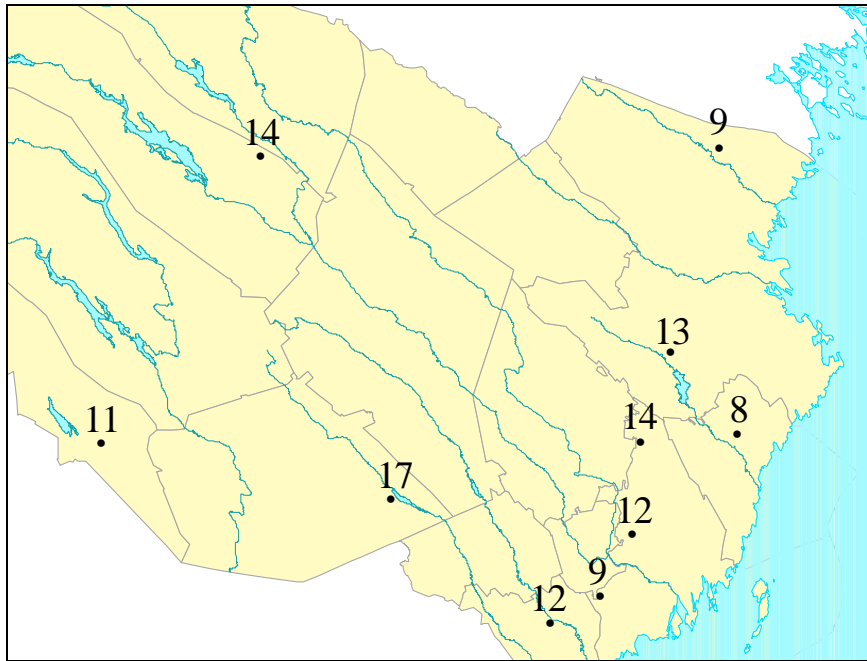
3.4 Träd utan synliga skador

Även träd utan synliga skador uppvisade relativt låga borhalter, ofta under gränsen för brist. Detta tyder på att även dessa har påverkats av kalkningen. Det är känt att otillräcklig borttillgång hämmar rot- och skotttillväxten även om det inte finns synliga skador. Träden kan också bli mer känsliga för torka. Det innebär att även om de lever och ser friska ut nu så kan de få skador under år med torrare klimat. Exakt hur många träd som är påverkade av kalkning är omöjligt att skatta då det beror på hur mycket kalk som hamnat utanför den tänkta spridningsytan. Dessutom behöver inte alla träd få problem vid lägre borttillgång. En del träd överlever och fortsätter att växa vid låga borkoncentrationer, medan andra närstående träd är döda eller döende p.g.a. borbrist. Det beror förstås en del på hur god borttillgängligheten är naturligt just där trädet växer. Men det kan även bero på att det finns en stor individuell variation i trädens förmåga att ta upp och använda bor.

3.5 Naturlig variation av borhalter

Det bor som finns tillgängligt för träden härrör endera från berggrunden eller havet. Borhalten i den skandinaviska berggrunden är naturligt ganska låg. Dessutom förekommer en stor del i

mineralet turmalin som är mycket svårvittrat (Wikner 1983). Från havet tillförs bor via vindarna eller nederbörd. Tillförseln från havet är betydligt högre i södra Sverige och främst längs västkusten. På en mätstation i Stornorrfor (utanför Umeå) har uppmätts 4-8 g bor/ha och år i nederbörd vilket kan jämföras med en station i trollhättan där 15-35 g bor/ha och år uppmätts (Wikner 1983). Västerbotten har därför naturligt låg borhalt. Vid jämförelse av borhalterna i referensträden framträdde stora variationer (figur 13). Åsele kommun låg högst med ett snitt på 17 ppm och de lägsta halterna på 8 ppm återfanns inom Robertsfors kommun. Ytan i Robertsfors kommun uppvisade således en halt som tangerade den önskvärda nivån. Det är svårt att avgöra huruvida detta speglar regionala skillnader eller om det även lokalt skiljer från myr till myr. Flera referensytor behövs för att klargöra detta.



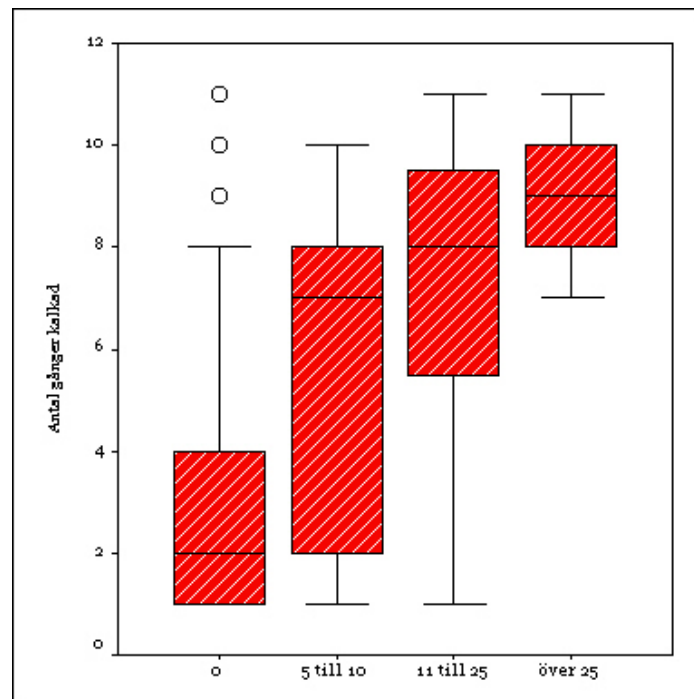
Figur 13. Medelvärden av borhalter i tallbarr tagna på våtmarker som ej kalkats.

3.6 Samband med kalkfrekvens, kalkmängd och skadegrad

Mängden kalk som sprids på marken har betydelse för hur mycket träden påverkas. I normala fall ska inte skogsmark kalkas, men det förekommer kalkning av exempelvis våtmarker som utdikats och beskogsats. Även vid kalkning av bäckzoner kan spridningsytorna innefatta skogsmark. Numera är spridningsplaneringen bättre och i princip ska varken beskogsad våtmark eller bäckzoner utgöra spridningsområden. Däremot förekommer nästan alltid enstaka träd, myrtallar, på de kärrområden som nu kalkas. Dessa är väldigt svåra att undvika vid kalkningen.

Fram till 1997 användes torrt kalkstensmjöl vid kalkning av våtmarker, därefter har enbart granulerad kalk använts. Försök har visat att 30 – 50% av mjölet hamnar utanför avsedd yta på grund av vindavdrift (Svahnberg, 1992). Med granulera kalk är vindavdriften försumbar. Skador på skog kan således förväntas dels på träd inom spridningsytorna och dels i kantzoner i anslutning till spridningsytorna som kalkades före 1997. I det senare fallet är det närmast omöjligt att veta hur mycket kalk som påverkat träden. Det förelåg en signifikant skillnad i skadebild beroende på hur många gånger som ytan kalkats (figur 14). Områden med över 25

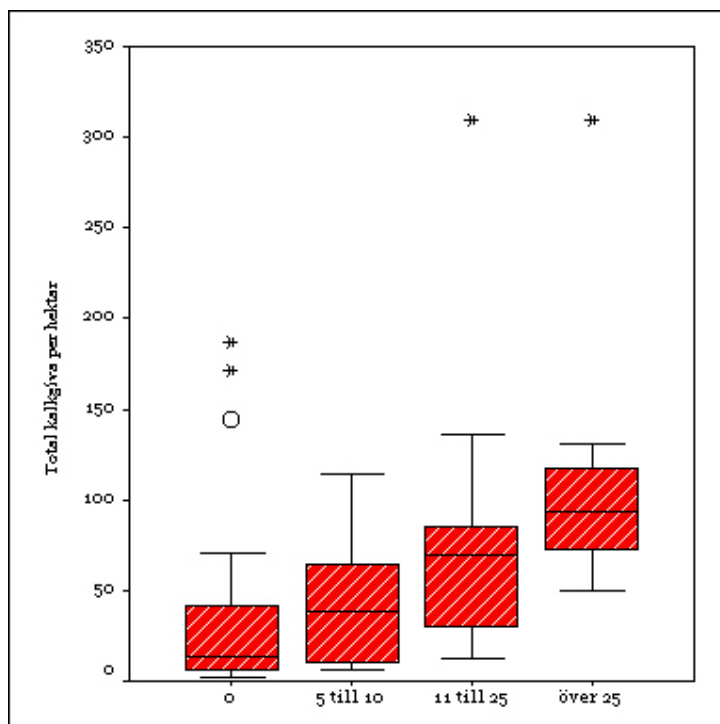
skadade träd hade i genomsnitt kalkats 9 gånger och områden utan skadade träd hade kalkats i genomsnitt 2 gånger. Ju fler gånger ett område kalkas ju fler gånger finns det en risk att kalk hamnar fel. Det fanns dock exempel på ytor med betydande skador som endast kalkats vid ett tillfälle, exempelvis Vadbäcken i Skellefteå.



Figur 14. Skadeklass i förhållande till antalet kalkningstillfällen. Mittlinjen visar medelvärdet, boxen innesluter 25-75% av alla värden och de yttre värdena står för min och maxvärden, extremvärden är markerade med ringar.

Det verkar som att vissa myrar klarar sig bättre än andra. Det fanns visserligen ett samband mellan antal skadade träd och mängden kalk som tillförts, men det förefaller vara fler faktorer som samspelar (figur 15). Skadorna förekom främst på torrare partier, vilket är logiskt eftersom det är väl dokumenterat att borbrist gör träden mer känsliga för torra. Bortillgängligheten är också naturligt lägre på de torra mosseytorna. Mossar får vatten och näring endast från nederbörden och är således näringsfattiga samtidigt som torra lätt kan uppstå vid torrt och varmt väder.

Vid våtmarkskalkning väljs om möjligt dikade myrar eftersom dessa redan är mänskligt påverkade. Träd som växer på utdikad mark är känsligare för borbrist eftersom torra lätt kan uppstå, därför kan även en liten förändring i bortillgänglighet få stora konsekvenser på dessa områden.



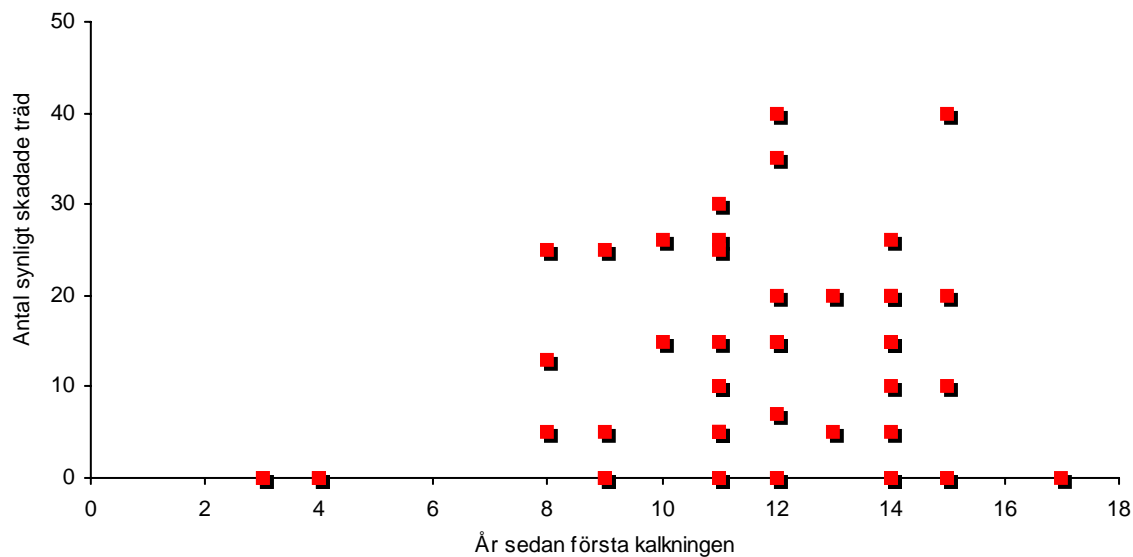
Figur 15. Relationen mellan mängden spridd kalk och antalet skadade träd. Mittlinjen visar medelvärdet, boxen innesluter 25-75 % av alla värden i den skadeklassen och de yttre värdena står för min och maxvärden, cirkeln anger avvikande värde (ligger lägre än 1,5 kvartilavstånd (boxens längd) från boxen) och stjärnor visar på extremt avvikande värden (ligger längre än 3 kvartilavstånd från boxen).

3.7 Är problemet accelererande?

Tiden sedan första kalkning förefaller viktig eftersom det inte förekom några skador på de områden där kalkningen startat efter 1996. De nyaste områdena som uppvisade skador började kalkas 1995, dvs 8 år innan studien (figur 16). Att inga skador syntes på nyare områdena kan dels bero på övergången till granulerat kalk och dels på att det finns en tidsfördröjning innan kalken når rotzonen. Vid gödslingsförsök har skadorna inte uppkommit förrän 8-10 år efter gödningen och det är troligt att det är så även vid kalkning. Det kan vara så att träden har en förmåga att återanvända bor, men att problem uppstår om inte nytt bor tillförs på lite längre sikt.

Kalkens långsamma transport ner i marken torde också ha en avgörande betydelse. Studier vid kalkning av skog på mineraljord har visat att efter 10-15 år är pH förändringen störst i det översta markskiktet (humusskiktet) och endast en måttlig i mineraljorden (ner till 20 cm). Efter längre tid tränger kalken ner djupare i markskiktet och efter 20-30 år har pH-värdet minskat något i humusskiktet och istället ökat längre ner i mineraljorden. Det är svårt att säga på exakt vilket djup borupptaget sker men sannolikt speglas näringsupptaget av rotfördelningen. I huvudsak begränsas rotdjupet av medelgrundvattenytan, vilken kan varieras mycket mellan olika marker. I dikade torvmarker på djup torv brukar rotaktiviteten vara liten under 20-30 cm djup. Sammantaget innebär detta att det kan ta 20-30 år efter första kalkningen innan pH höjts inom hela den zon där näringsupptaget sker. Från och med 2003

kommer fyra kalkade våtmarker att undersökas årligen för att klarlägga den framtida utvecklingen.



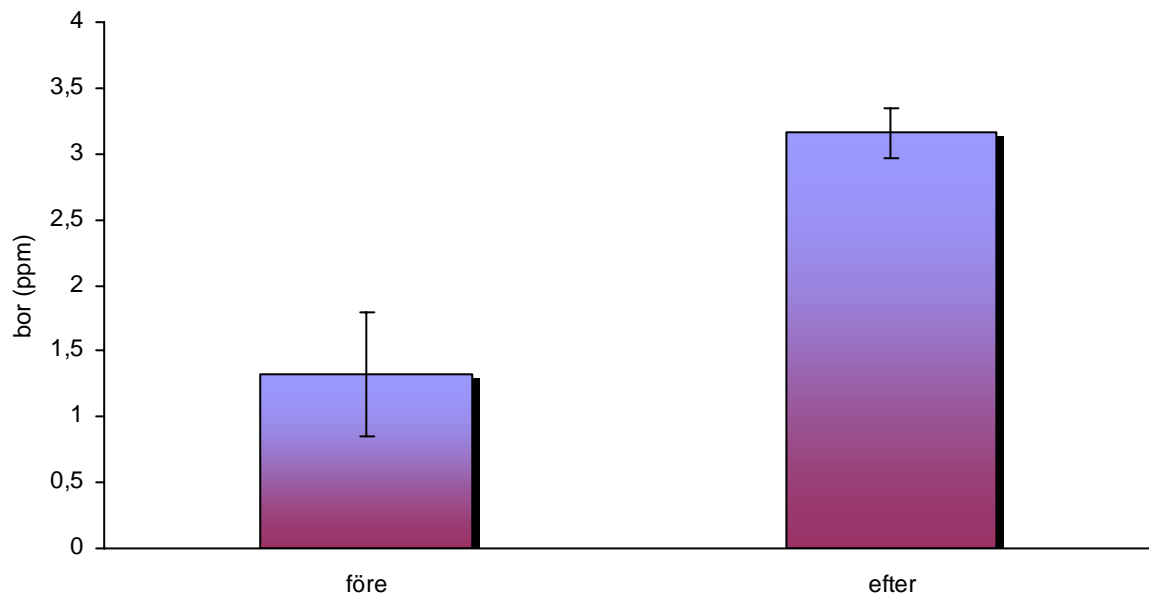
Figur 16. Samband mellan antalet synligt skadade träd och antal år sedan första kalkningen.

3.8 Slutsatser av barranalys och skadeomfattning

Av de analyserade ämnena var bor det enda som de skadade träder hade brist på och således det enda som kunde förklara skadorna. Även skadebilden med döda toppar stämde överens med tidigare observerade borbristskador. Borhalten från de okalkade områdena visade på naturligt låga nivåer, vilket innebär att en liten minskning i tillgänglighet räcker för att brist ska uppstå. Tillgängligheten på bor för växterna styrs till stor del av pH-värdet i marken. Bor är hårdast bundet vid pH-värden mellan 6 och 9. I den här undersökningen genomfördes inga pH mätningar i marken. Det kan dock antas att pH värdet i marken har höjts väsentligt efter kalkningen och att detta har medfört att bor bundits hårdare i marken. Det fanns ett samband mellan skadefrekvens och mängd spridd kalk, antal kalkningstillfällen och tidpunkt sedan första kalkningen. Eftersom dessa faktorer även samvarierade är det omöjligt att avgöra vilken som hade störst betydelse. Kalkningshistoriken räckte dock inte för att förklara hela skademönstret och troligtvis är det flera andra faktorer som spelar in som naturlig borförekomst och stressfaktorer som exempelvis vattenbrist.

3.9 Borbehandling

Borhalten i barren hade fördubblats redan 3 månader efter borbehandlingen (figur 17). Detta antyder att träden hade tagit upp en del av det bor som tillförts. Halterna var dock fortfarande relativt låga. Det finns studier som visar på att tallar har förmåga att translokera bor till de nyaste årsskotten. Sannolikt kommer borhalterna därför att öka efter nästa tillväxtsäsong då träden har haft möjlighet att omfördela det upptagna boret till de nyaste barren. Från och med 2003 kommer effekterna av behandlingen att följas med ett återbesök årligen. Därmed kommer såväl borhalter som eventuell synlig återhämtning att registreras.



Figur 17. Medelvärde och standardavvikelse av borhalter i provtagna tallar på Jämmerdalsmyran före (provtagna december 2001) och efter borbekämpning (provtagna november 2002).

4. Litteraturlista

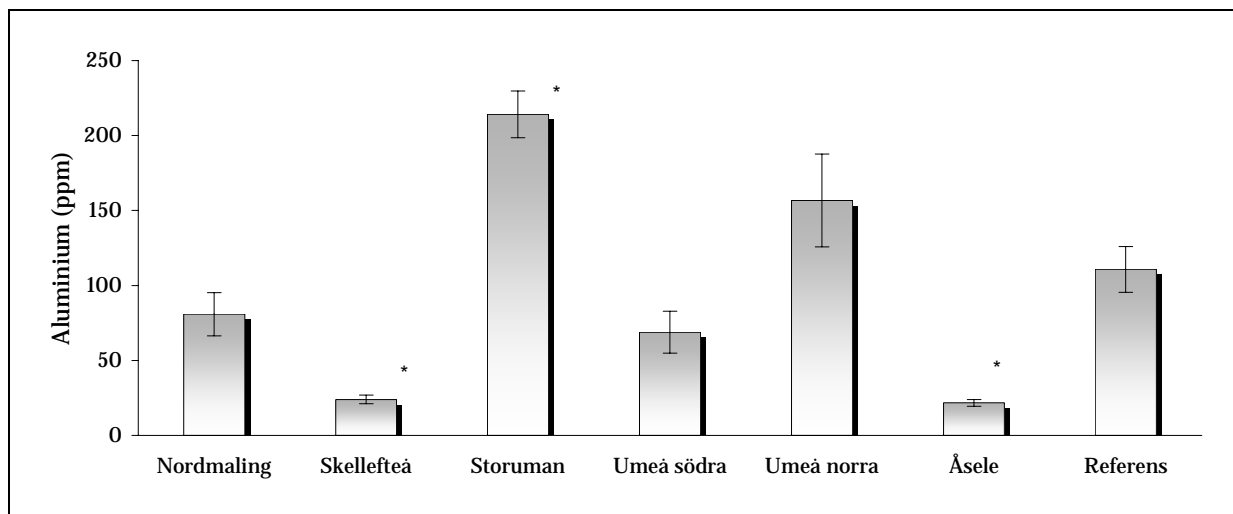
- Andersson F. och Popovic B. 1984. Markkalkning och skogsproduktion. Litteraturöversikt och revision av svenska kalkförsök. Naturvårdsverket Rapport 1792
- Aronsson, J.-A, 1990. Våtmarkskalkning. Förändringar på miljö och vegetation. Naturvårdsverket, rapport 3827
- Brady N.C. och Weil R.R. 1999. Micronutrient Elements. The Nature and Properties of Soils. Kap 15 s. 585-611
- Braekke F.H. 1977. Fertilization for balanced mineral nutrition of forests on nutrient-poor peatland. *Suo* 28: 53-61
- Braekke F.H. 1983. Micronutrients – Prophylactic use and cure of forest growth disturbances. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116 s. 159
- Helmisaari H.S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus Sylvestris* stands in eastern Finland, *Plant and Soil* 168-169 s. 327-336
- Holmen H. 1985. De skogliga våtmarkernas näringsförhållanden, Skog på våtmarker, Rapport Nr. 4 från Skogs- och Jordbrukets Forskningsråd.
- Johansson O. 2002. Har skador på tallkronor något samband med kalkning? Examensarbete, Stencil Nr. 87, Institutionen för skogsekologi, SLU, Umeå
- Kolari 1983. Physiological and biochemical role of micronutrients in growth disturbances of forest trees. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116 s. 39-43
- Kurkela T. 1983. Early observations on die-back of scots pine in the fertilization experiments at kivisuo. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116 s. 10-16
- Letho T. 1994. Effects of soil pH and calcium on mycorrhizas of *Picea abies*. *Plant and Soil* 163: 69-75
- Lipas, E. 1990 Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. Summary: Lime induced boron-deficiency in Norway spruce on mineral soils. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352 s. 4-22
- Lundmark J-E. 1988. Skogsmarkens ekologi-Ståndortsanpassat skogsbruk . D.2. tillämpning
- Möttönen M. Aphalo P.J. och Lehto T. 2001 Role of boron drought resistance in Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. *Tree Physiology* 21, 673-681
- Rafstedt, T. 2000. Kalkning av våtmarker. Uppföljning av växtekologiska effekter. Naturvårdsverket, rapport 5075.

- Raitio H. 1983. Macro and microscopic symptoms in growth disturbed forest trees. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116 s. 35-39
- Rerkasem B., och Jamjod S., 1997. Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding. *Plant and Soil* 193: 169-180
- Silfverberg 1983. Development of growth disturbance in scots pine. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116 s. 31-35
- Stone E.L.1990. Boron deficiency and excess in forest trees: A review. *Forest Ecology and Management*, 37 s. 49-75
- Svahnberg, A. 1992. Vindavdrift och spridningsjämnhet. *Länstyrelsen I Jönköpings län*, 1992:8.
- White J.B. och Karuse H.H. 2001. Short-term boron deficiency in a black spruce (*Picea Mariana* [Mill.] B.S.P.) *Forest Ecology and Management*, 152s. 323-330
- Wikner B. 1983 Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116 s. 131-141

Bilaga 1; Analyserade ämnen förutom bor

Aluminium

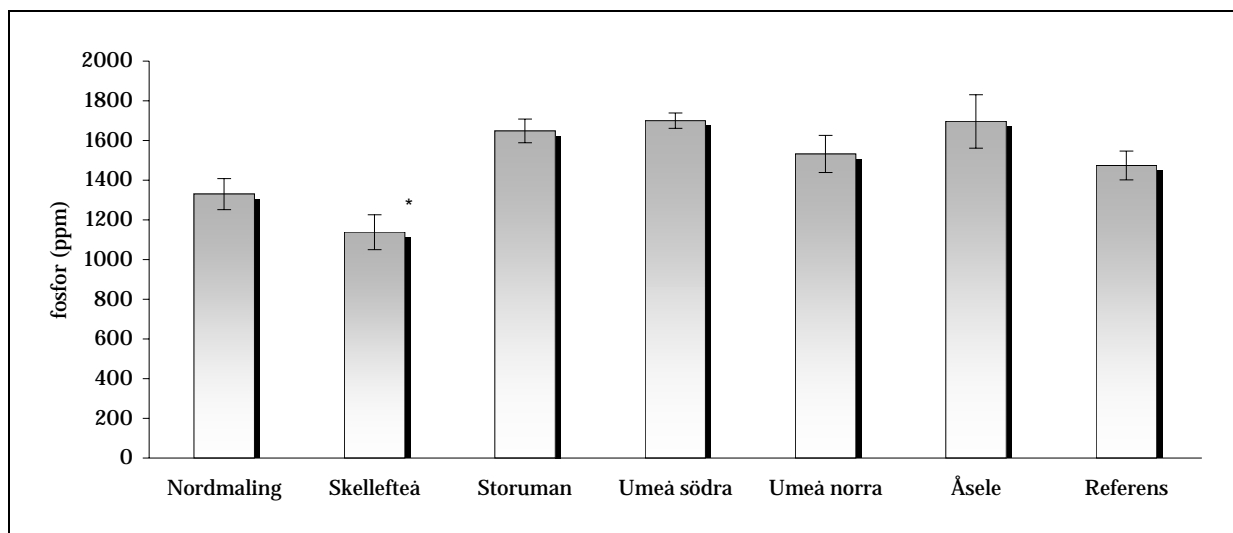
Aluminium räknas inte som något nödvändigt näringsämne för växter. Vissa växter är känsliga för höga halter av aluminium men barrträd tål relativt höga halter. Inom ett pH värde av 5,5 och 8,5 är aluminiumjonerna bundna som svåröslig aluminiumhydroxid. Vid pH värden över och under detta intervall är aluminium löst i markvätskan. Aluminiumhalterna varierade mycket mellan de olika träden (figur 18). Barrn från de skadade träden i Storuman hade signifikant högre aluminiumhalter än referensen medan träden från Skellefteå och Åsele hade signifikant lägre halter. Träden från Umeå och Nordmaling hade halter som ej var signifikant skilda från referensen.



Figur 18. Aluminiumhalter i barr. Staplarna anger medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Fosfor

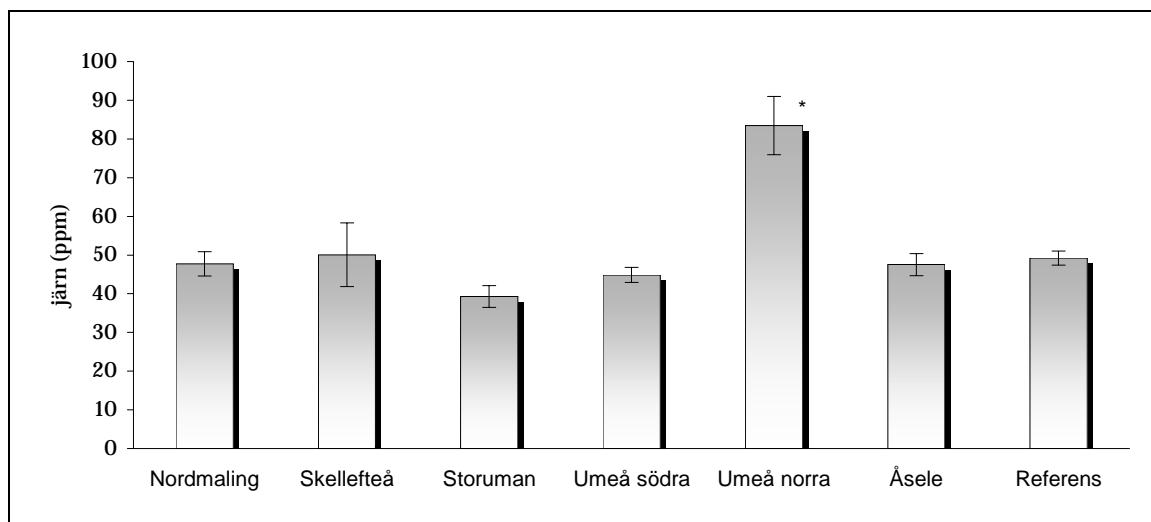
Fosforhalten i barren från Skellefteå låg på gränsen till bristnivån och signifikant under fosforhalten i barren från referensområdet (figur 19). De övriga hade värden inom önskvärda nivåer och var inte skilda från referensen. Vid låga pH-värden ($\text{pH} < 4$) är fosfor hårt bundet till järn och aluminiumfosfater. Vid högre pH-värden ökar lösligheten hos dessa fosfater. Vid höga pH värden ($\text{pH} > 7$) binds fosfor hårt i svårlösliga kalciumföreningar. Vid svag fosforbrist blir barren ofta korta, något glanslösa och mörkgröna. Vid stark fosforbrist blir barrens färg grågrön - blågrå eller brungrön, ibland nästan brun, som så småningom övergår till violett eller rödaktig färg. Missfärgningen utvecklas under vegetationsperioden, först i barrspetsarna och på äldre barr, som får kraftigare missfärgning än yngre barr. Fosforbrist anses leda till för tidig barrfällning men ofta blir barren kvar på trädet och då syns skillnaderna mellan barråtgångarna tydligt. Vid stark fosforbrist ligger barren tryckta intill skottet. Unga tallar kan vid långvarig fosforbrist få tendens till nedböjda toppskott. Unga granar kan få döda grenspetsar, vilket ger en oregelbunden förgrening. På dikade torvmarker är fosforbrist den allmännaste och mest tillväxthämmande faktorn. Hos tallen syns fosforbristen som minskad höjdtillväxt, tunna och krokiga årsskott, korta barr och för tidig barrfällning. Oftast förekommer fosforbrist i glesa plantbestånd på karga torvmarker. Risken för fosforbrist ökar på mossliknande och myrliknande torvmarker.



Figur 19. Fosforhalter i barr från skadade träd i olika delar av länet samt referensträd. Staplarna visar medelvärde med standardavvikelse. * anger att värde är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Järn

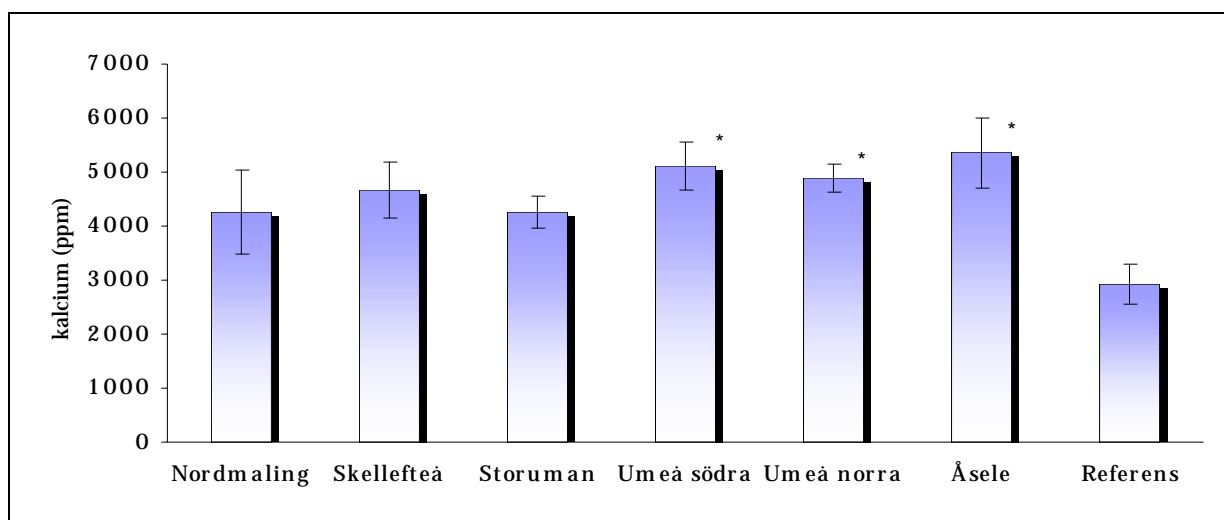
Järnhalterna hos träden i Umeå norra var signifikant högre än referensträden, annars fanns det inga skillnader (figur 20). Samtliga värden låg inom önskvärda nivåer. Symtom på järnbrist är att barren är gulaktiga redan vid framväxten på försommaren. Vid lindrig brist blir tallbarren gulfläckiga - gulstrimmiga. Hos gran blir årsskotten helt gula och styva med bruna barrspetsar.



Figur 20. Järnhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Kalcium

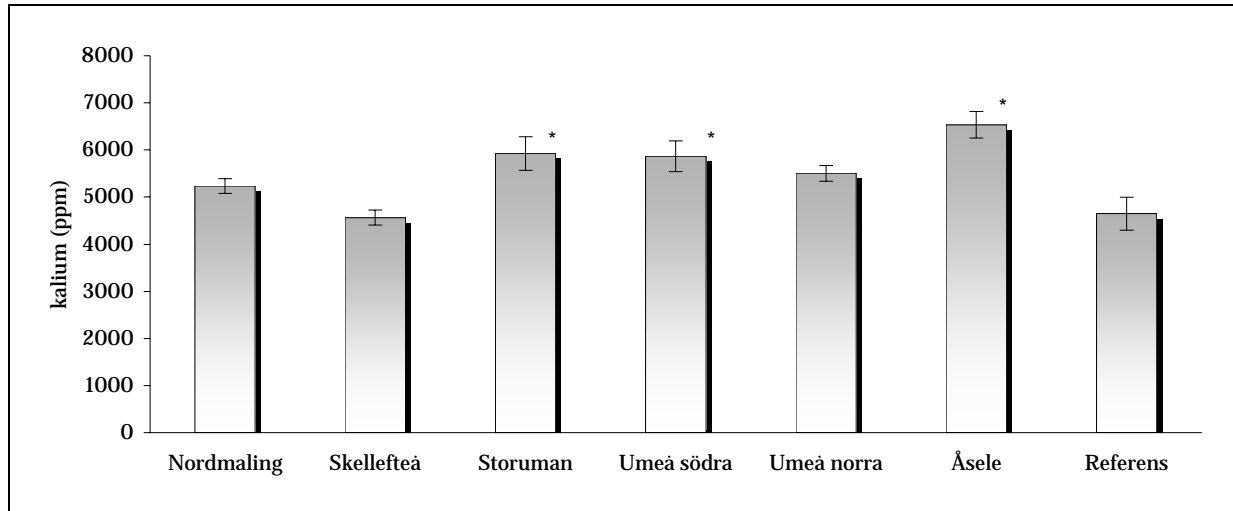
Kalciumhalterna var högre hos de skadade träden (figur 21). Det är rimligt då kalkmedlet till stor del består av kalcium. Alla de skadade träden hade kalciumhalter inom önskvärda nivåer. Kalcium är ett ämne som ingår i flera av markens olika mineral. I växten är dess viktigaste funktion att stabilisera cellmembranen. Eftersom kalcium är ett ganska vanligt ämne i de flesta jordar är det sällan som växterna lider av kalciumbrist.



Figur 21. Kalciumhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Kalium

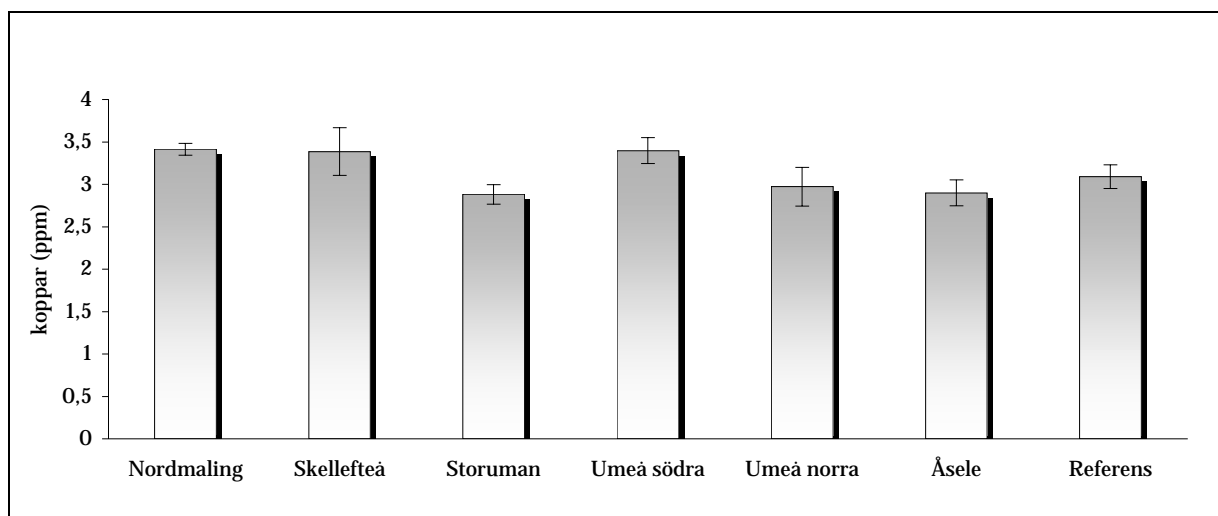
Kalium är ett viktigt näringsämne som reglerar vattenhushållning och transport av näringsämnen. Kalium ökar växternas motståndskraft mot torka samt svamp- och insektsskador. Kaliumbrist leder till att barren och knopparna på toppen av skotten dör och vidare till knopp- och toppbortfall. Även hos gran medför kaliumbrist att barren gulnar. Kaliumhalten var högre hos de skadade träden utom i Skellefteå där de låg på samma nivå som referensträden (figur 22). Samtliga värden var över gränsvärdet för brist.



Figur 22. Kaliumhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Koppar

Symtom på kopparbrist är krokiga skott och slokande grenar. Kopparbrist ger symptom främst på plantor och unga träd. Grenarnas tillväxt blir oregelbunden och obalanserad. Toppskotten kan bli krokiga och grenarna blir svaga och hängiga, vilket ofta resulterar i mjukt svängande stammar och grenar. Vid kraftig brist får barren bruna spetsar och faller av i förtid. Symptomen är tydligast under varma, torra somrar. För koppar syntes inga signifikanta skillnader jämfört med referenserna och alla värden var inom önskvärda nivåer (figur 23).



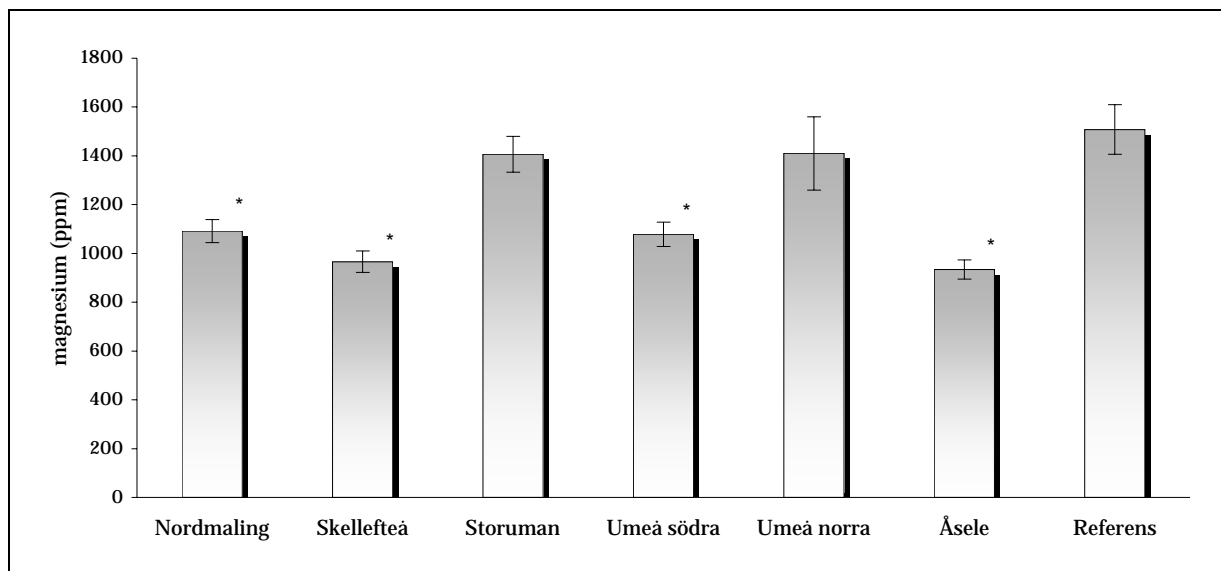
Figur 23. Kopparhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Magnesium

Vid lättare magnesiumbrist erhålls svagt guldfärgade äldre barrspetsar, som ofta är kopplade även till låga kalcium- och kaliumhalter, medan årsbarren normalt är gröna. Kraftig magnesiumbrist ger upphov till nästan helt guldfärgade äldre barr hos gran. Hos tall blir även årsbarren gulaktiga, med döende brunröda barrspetsar. Basen av barren är normalt gröna, med en tydlig gräns mellan det gula och det gröna. Främst syns bristsymptomen hos gran på grenarnas ovansida, medan barr som sitter på grenarnas undersida ser gröna ut. Lättast syns symptomen efter en regnig vegetationsperiod.

Symtom på magnesiumbrist är att klorofyllet minskar. Magnesiumbristen är sällsynt, men har påträffats ställvis i gamla träd på de kargaste momarkerna och särskilt på bara grusytor.

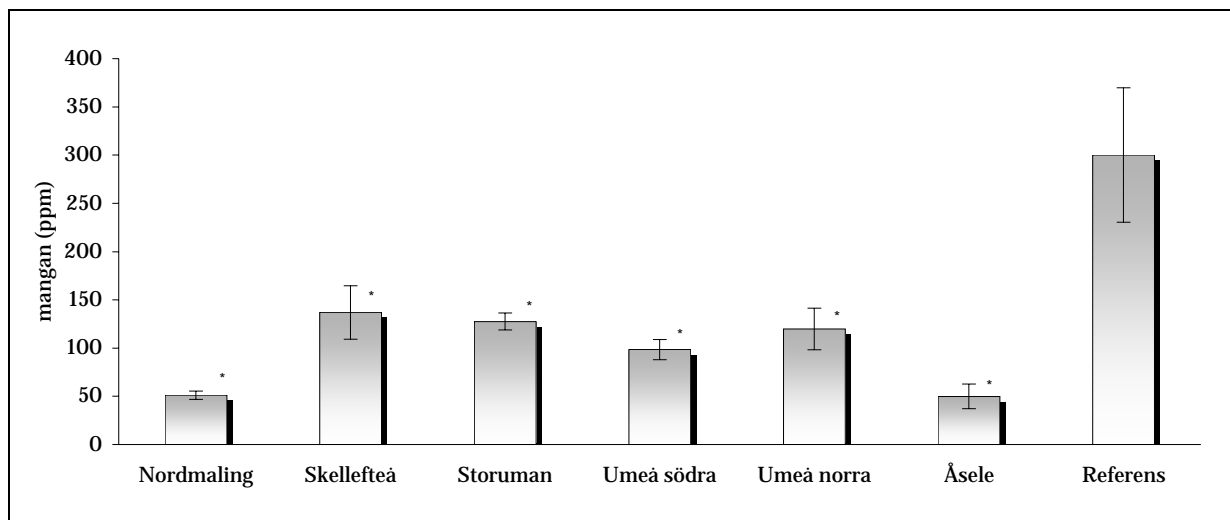
Magnesium är ett för växterna nödvändigt mikronäringsämne som ingår i växternas klorofyll. Magnesiumbrist kan uppträda på sura jordar där magnesium konkurreras ut av aluminium. Magnesiumhalterna i barren från Nordmaling, Skellefteå, Umeå södra samt Åsele låg signifikant under referensvärdet (figur 24). Samtliga magnesiumhalter låg dock inom önskvärda nivåer.



Figur 24. Magnesiumhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Mangan

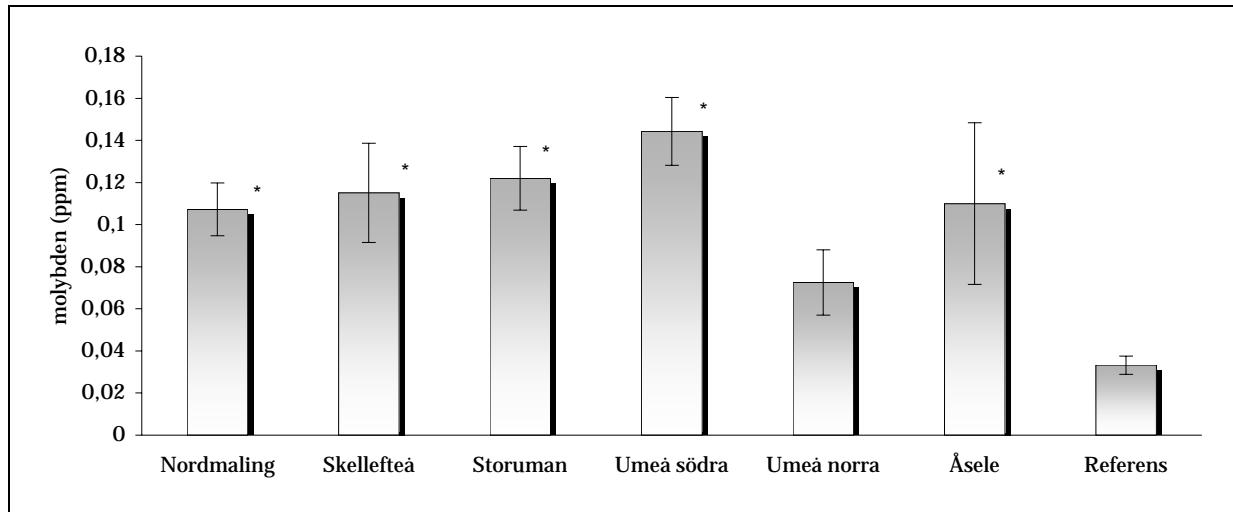
Manganhalterna för barren på de skadade träden låg signifikant under manganhalterna hos referensträden (figur 25). Manganhalterna från Nordmaling och Åsele låg under önskvärd nivå men över gränsvärdet för brist. De övriga låg inom önskvärd nivå. Mangan hydrolyseras vid höga pH-värden och bildar oxider eller hydroxider vilket minskar mangan tillgängligheten för rötterna. Det är väl känt att mangan blir mer svårtillgängligt för växter efter kalkning. Symptom på skador orsakade av manganbrist är att barren är gulaktiga redan vid framväxten på försommaren. Vid lindrig brist blir tallbarren gulfläckiga - gulstrimmiga. Årsskotten hos gran blir helt gula och styva. Detta stämde inte med de skador som observerades, vilket inte heller var förväntat eftersom halterna inte låg under nivån för brist. Dock är mangan ett ämne som minskar kraftigt för träden efter kalkning och det är viktigt att hålla utkik efter den här typen av skador.



Figur 25. Manganhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Molybden

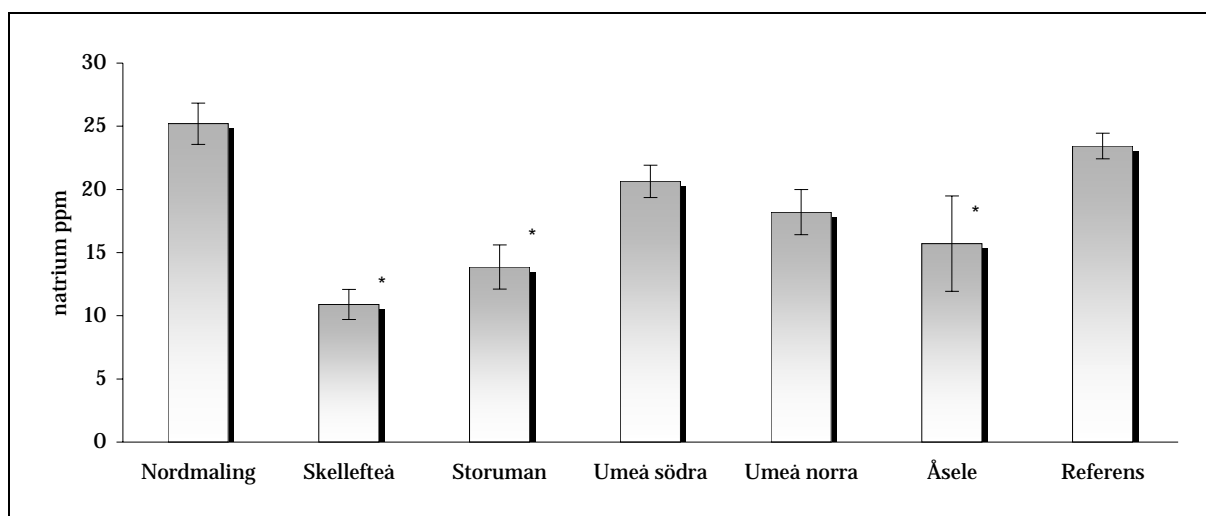
Molybdenhalten var högre hos de kalkade och skadade träden (figur 26). Detta överensstämmer med litteraturen som anger att tillgängligheten på molybden ökar med ökande pH. Lösligheten av molybden kan öka upp till flera tiopotenser vid en höjning av pH från 6,5 till 7,8. Så länge marklösningens pH-värde inte överstiger 6 kan emellertid effekten av kalkning förbli rätt obetydlig (Tyler och Olsson 2000). Jämfört med rekommenderade värden låg molybdenhalterna inom önskvärda nivåer och det är inte troligt att skadorna skulle ha kunnat uppkomma av molybdenöverskott.



Figur 26. Molybdenhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Natrium

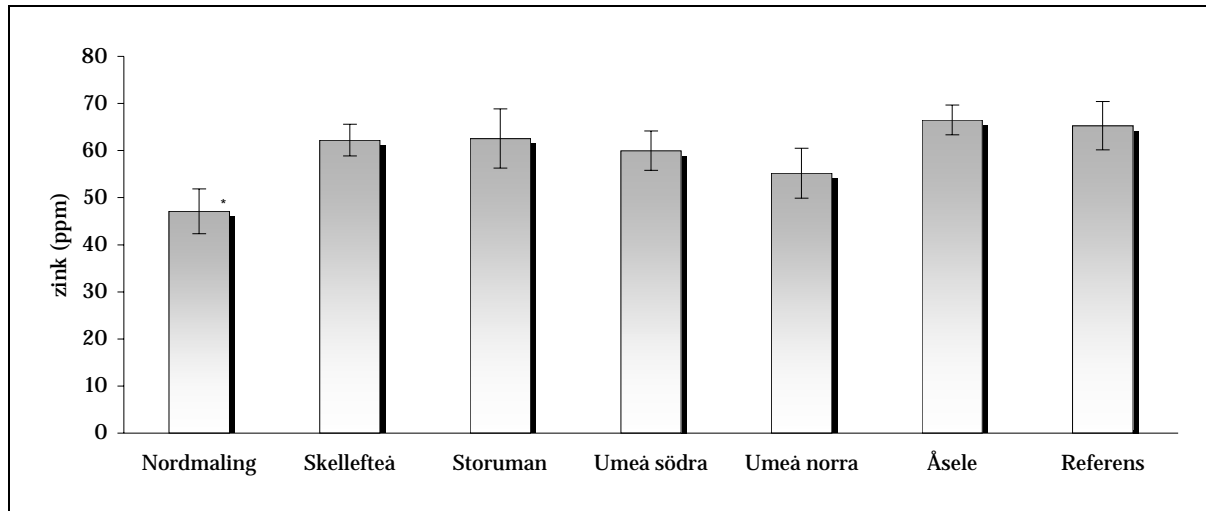
Natriumhalten i barren från Skellefteå, Storuman och Åsele var signifikant lägre än halterna i referensbarren (figur 27). I övrigt var det inga skillnader och samtliga låg inom önskvärda nivåer.



Figur 27. Natriumhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).

Zink

Zink är ett vanligt och nödvändigt mikronäringsämne. Det används i olika enzymer och brist på zink leder hos barrträd till att skotten blir kortare vilket medför barrförtätningar. Halterna av zink ligger vanligtvis mellan 10 och 100 ppm hos växter. Zinkhalten i barren från Nordmaling var signifikant lägre än halterna i referensbarren (figur 28). I övrigt var det inga skillnader och samtliga halter låg inom önskvärda nivåer.



Figur 28. Zinkhalter i barr. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse. * anger att värdet är signifikant skilt från referensträdens värden ($p < 0.05$).