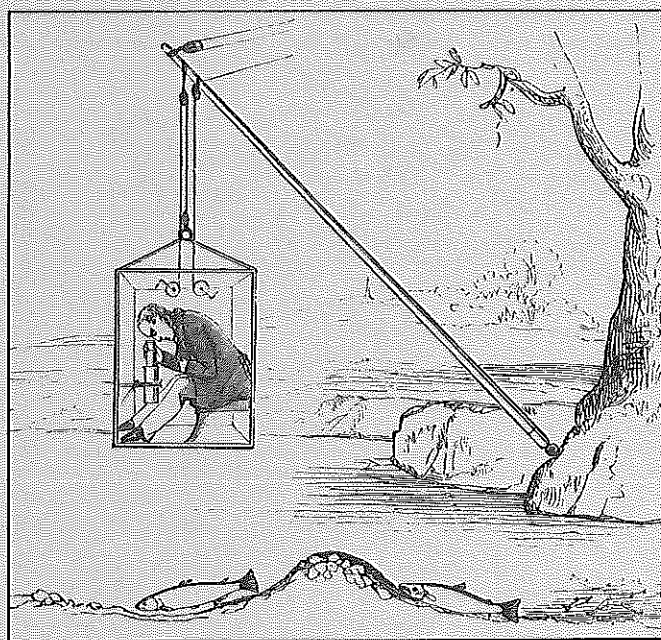


Information från

SÖTVATTENS- LABORATORIET Drottningholm



OLOF LESSMARK

**Markkalkning som metod för att
motverka försurning av sjöar och
vattendrag**

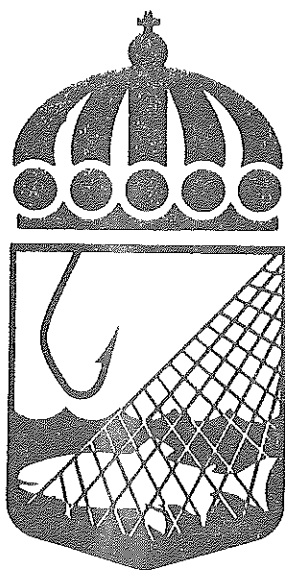
Författare:

Olof Lessmark

Fiskeristyrelsen

Box 2565

403 17 GÖTEBORG



FISKERIVERKET

ISSN 0346-7007

MARKKALKNING SOM METOD FÖR ATT MOTVERKA FÖRSURNING AV SJÖAR
OCH VATTENDRAG - RESULTAT FRÅN FISKERISTYRELSENS FÖRSÖKSVERK-
SAMHET MED STATS BIDRAG TILL KALKNING

Olof Lessmark

SAMMANFATTNING	1
INLEDNING	2
MATERIAL OCH METODER	2
<u>Definition av markkalkning</u>	4
<u>Utvärderingsmaterial</u>	4
<u>Åtgärd/effekt</u>	5
RESULTAT	5
<u>Mängd spridd kalk, spridningsutrustning, kalksorter, marktyper</u>	5
<u>Projekt med enbart markkalkning</u>	6
Öxasjön (P-län)	6
Abborrtjärnsbäcken (O-län)	7
Hultbren (G-län)	7
Helgeån på sträckan Möckeln-Delary (G-län)	8
Stråken (G-län)	8
Madkroken (G-län)	9
Södrasjö och Holmasjö (G-län)	9
Getesjön (G-län)	9
Unnen-Sandsjöområdet (G-län)	10
Vänneåprojektet (G-län)	14
Åker- och ängsmarkskalkning	14
Skogsmarkskalkning (Boasjön)	16
Myrkalkning (Ljungsjön)	17
Taskeå (O-län)	17
Buvallsjön (X-län)	18
<u>Projekt med övervägande markkalkning (>50%)</u>	19
Femlingen (G-län)	19
Tolken (P-län)	19
Fegen (P-län)	21
Skälsjöarna (W-län)	21
Degerträsket (AC-län)	22

<u>Övriga projekt</u>	26
Innaren (G-län)	26
Stensjöprojektet (AB-län)	27
Stöcksjön (AC-län)	28
Högvadsån (N-län)	29
Bråvattenbäcken och Nordbäcken (O-län)	29
Gullbergs revirs kortfiskeområde (E-län)	31
DISKUSSION	33
LITTERATUR	37
ENGLISH SUMMARY: GROUND LIMING AS A METHOD OF MITIGATING ACIDIFICATION OF SURFACE WATERS	38

SAMMANFATTNING

Under Fiskeristyrelsens försöksverksamhet med ytvattenkalkning åren 1977-82 genomfördes huvudsakligen kalkning direkt i vatt-
net, men i flera projekt genomfördes även kalkning av omgivande
marker. Av de ca 207 000 ton kalk som spreds under försöksverk-
samheten lades 26% på mark; fördelat på åker och äng 14%, skogs-
mark 8%, våtmark 3% och annan mark 2%. Spridningsmetoder och
kalkfraktioner redovisas kortfattat i rapporten. I 52 sjöar
eller vattendrag har effekterna av markkalkning kunnat utvärde-
ras med avseende på effekter på ytvattenkemi (främst pH, alkali-
nitet, kalciumhalt).

I 59% av de fall där markkalkningens effekt kunnat bedömas före-
låg en positiv effekt på pH, men effekten var ofta kortvarig.
Endast i 6% av objekten lyckades man under mer än 1 år uppnå det
uppsatta målet att hålla pH över 6 och alkaliniteten över 0.05
mekv/l. I de fall en positiv effekt erhöles har kalkgivan
varit 0.03-3 ton/ha avrinningsområde och 0.2-30% av området har
kalkats. De stora skillnaderna i utfall berodde på skillnader i
vattenkvalitet, hydrologi och marktyp. När kalkningen skett på
sk utströmningsområden har i några projekt 20-30% av kalken
kommit ytvattnet tillgodo under 3-5 år efter kalkning. Markkalk-
ningens effekt på metalläckage har kunnat studeras i fyra fall.
I två fall, kalkning av våtmark och mossområden, minskade alumi-
niumutflödet från marken, medan ingen effekt erhöles i två fall
där skogsmark respektive alunjord kalkades.

För att snabbt erhålla positiva effekter i ytvatten skall kalken
placeras på utströmningsområden, medan kalkning av torra morän-
jordar samt åker och äng ger liten direkt effekt. Markkalkning
på utströmningsområden med doser av 2-50 ton/ha kalkat avrinnings-
område rekommenderas. Det är viktigt att söka upp utströmningsområ-
den så att så stor del som möjligt (minst 50%) av avrinningsområdets
vatten kommer i kontakt med kalken. Markkalkningar kräver omfat-
tande förarbeten men är rätt genomförda en ekologiskt riktig
metod då utläckage av giftiga metaller från marken hindras.

INLEDNING

Försurning av ytvatten, och de allvarliga skador detta orsakar på fiskbestånd, medförde att Fiskeristyrelsen fick i uppdrag av regeringen att under perioden 1977-82 bedriva försöksverksamhet med statsbidrag för kalkning av sjöar och vattendrag. Totalt har drygt 400 projekt beviljats statsbidrag under denna period, med sammanlagt ca 65 miljoner kronor, vilket resulterat i att drygt 1 000 sjöar kalkats. Verksamheten har haft stark lokal förankring och en strävan har varit att över hela landet skapa lokalt engagemang för att ge erfarenheter vad gäller planering, administrering och genomförande av kalkning. Flera olika kalkningsmetoder har utvecklats och prövats beträffande kalkningsmedel, spridningsområden för kalk och utrustning för spridning. Detta har lett till en successiv utveckling och förbättring av metoder. Kalken har huvudsakligen (60%) spridits direkt i sjöar och vattendrag. Inom många projekt har markkalkning skett. Målsättningen har varit att neutralisera den sura nederbörden innan den når vattendragen och att erhålla en jämnare och mer långtidsverkande effekt i vattnen. Syftet med denna rapport är att redogöra för de effekter som markkalkning haft på vattenkvalitet och att utvärdera markkalkningens lämplighet som metod för att motverka försurning av sjöar och vattendrag. En sammanställning och utvärdering av olika kalkningsmetoder som prövats inom försöksverksamheten har tidigare redovisats i Information från Sötvattenslaboratoriet 4, 1981.

MATERIAL OCH METODER

Statsbidrag till kalkning har beviljats enskilda personer, fiskevårdsföreningar, kommuner, fritidsfiskeorganisationer m m. Ansökningar om bidrag som inkommit till Fiskeristyrelsen har remitterats till en referensgrupp och därefter rangordnats efter angelägenhetsgrad. Den stora mängden ansökningar i förhållande till tillgängliga medel har gjort att endast de mest angelägna projekten kunnat beviljas bidrag.

Biologiska skador av försurning börjar uppträda när pH sjunker under 6. Över denna gräns kan inga biologiska störningar förvän-

tas. Därför har endast försöksverksamhet avseende vatten med pH lägre än 6 och/eller alkalinitet lägre än 0.05 mekv/l beviljats bidrag. Målsättningen med kalkningen har varit att öka vattnets pH till över 6 och höja alkaliniteten till mer än 0.1 mekv/l.

Statsbidrag har som regel utgått med 75% av de totala kostnaderna för kalkningåtgärderna och resterande 25% har finansierats av bidragstagarna själva i form av egen arbets- eller penninginsats eller en kombination av dessa. En del projekt som bedömts vara av riksintresse har fått statsbidrag, täckande 100% av de totala kostnaderna.

Till varje enskilt projekt har varit knutet ett 5-årigt uppföljningsprogram av varierande omfattning. Resultat och erfarenheter har kontinuerligt inrapporterats till Fiskeristyrelsen. I varje enskilt projekt har ingått ett vattenkemiskt uppföljningsprogram omfattande mätning av pH, alkalinitet, ledningsförmåga och vattenfärg två gånger per år under en 5-årsperiod efter kalkningen. Mer omfattande vattenkemiska och biologiska undersökningar har gjorts i ett mindre antal projekt. Övriga uppgifter som inrapporterats från projekten har varit specificering av kostnader för inköp, transport och spridning av kalk, administration, uppföljningsverksamhet samt uppgifter om använda kalkningsmedel och var, när och hur dessa spridits.

Varje projekt har haft en lokal huvudman som ansvarat för kalkningens genomförande, uppföljning och rapportering till Fiskeristyrelsen.

Några direktiv angående val av kalkningsmedel eller -metod har inte varit knutna till kalkningsbidragen. Individuella kalkningsplaner för de olika projekten har vanligtvis utarbetats av bidragstagarna själva. Efter remiss till en referensgrupp med representanter från Sötvattenslaboratoriet, Statens Naturvårdsverk, fiskevattenägare och sportfiskare har synpunkter på kalkningsplaner lämnats till bidragstagarna. Det har dock inte varit någon central styrning av hur kalkning skulle ske utan policyn har varit att stimulera ett stort lokalt engagemang och spelrum i val av kalkningsmetoder och medel. Detta har resulterat i att

bidragstagarnas egna idéer haft stort inflytande på kalkningsåtgärder inom försöksverksamheten, och en rad olika kalkningsmedel och metoder har prövats.

Definition av markkalkning

Med markkalkning menas i denna rapport att kalkningsmedlen sprids på någon typ av markområden, t ex jordbruksmark, skogsmark, myrar och mossar, kärr, bäck- och åslänter och inte direkt i vatten. En del markområden sätts tidvis under vatten och i vissa fall råder inte någon klar gräns vad som bör hänföras till markkalkning eller kalkning i vatten. I denna rapport inkluderas dock inom begreppet markkalkning även kalkning på sådana områden som tidvis kan sättas under vatten.

Utvärderingsmaterial

Underlaget för denna rapport är uppgifter från olika projekt inom försöksverksamheten som inrapporterats till Fiskeristyrelsen. Av de projekt där markkalkning har skett har för genomgång och analys utvalts 35 projekt där huvuddelen av kalken spridits på mark och ca 15 andra projekt där den separata effekten av markkalkning bedömts kunna utvärderas. Sammanlagt har således drygt 50 projekt utvalts för bearbetning och analys.

Inom flera av dessa projekt har markkalkning tillämpats i en kombination med andra kalkningsmetoder som sjö-, bäck- och dose-rarkalkning. Det har i dessa projekt ofta varit omöjligt att utvärdera de separata effekterna av markkalkning, vid sidan av andra åtgärder, och en mer genomarbetad utvärdering har därför endast gjorts i de fall där den separata effekten av markkalkning kunnat bestämmas. Inom flera projekt där en kombination av olika kalkningsmetoder använts, har dock effekten av markkalkning kunnat bestämmas för separata delavrinningsområden till bäckar eller mindre sjöar, där endast markkalkning förekommit. Effekterna av markkalkning har kunnat utvärderas i sammanlagt 52 olika sjöar och vattendrag. Ofta har flera separata utvärderingar gjorts för flera vattendrag inom samma kalkningsprojekt.

Atgärd/effekt

Kalkningsinsatsernas omfattning har kvantifierats som:

- mängd spridd kalk
- omfattning (areal) av kalkade ytor
- kalkmängd per ytenhet av kalkade områden.

Kvalitativa karakteristika för kalkningsinsatserna har varit:

- angivande av vilken typ av mark kalken spridits på
- spridningsutrustning
- kalksort.

Effekterna i vatten har mätts som:

- pH
- alkalinitetsförändring
- kalciumhaltförändring
- andel av spridd kalk som tillförts vattnet inom en viss tid.

RESULTAT

Mängd spridd kalk, spridningsutrustning, kalksorter, marktyper

Av 207 284 ton kalkningsmedel som spridits inom försöksverksamhetens ramar har 26% lagts på mark; fördelat på åker och äng 14%, skogsmark 8%, våtmark 3% och annan mark 2%. (Procenttalen avrundade.)

Kalken har huvudsakligen spridits med centrifugalspridare och genom utblåsning från trycktank (Tabell 1). Inom jordbruket befintlig utrustning har använts i stor utsträckning.

Kalkstensmjöl och kalkkross samt industrirestprodukter som mesakalk från cellulosaindustri och slaggkalk från järn- och stålverk är de kalkningsmedel som använts. Av dessa har kalkstenskross 0-3 mm varit dominerande på åker- och skogsmark och utgjort 59% av kalkmedlen (Tabell 2). På våtmark har kalkstensmjöl 0-0.5 mm varit vanligast.

Tabell 1. Mängd kalkningsmedel (ton) som spritts under försöksperioden fördelat på marktyp och spridningsutrustning.

Metod	Åker och äng	Skogs- mark	Våt- mark	Annan mark	Totalt
För hand	1 430	1 110	160	640	3 340
Centrifugalspridare	22 360	4 100	370	0	26 830
Dumpning	0	0	750	190	940
Skopa	0	3 290	0	0	3 290
Trycktank	2 490	4 980	3 320	830	11 620
Övrigt	2 960	2 070	300	2 960	8 290
Totalt	29 240	15 550	4 900	4 620	54 310

Tabell 2. Användning av olika kalkningsmedel på olika marktyper uttryckt i ton kalkmedel.

Kalksort	Åker och äng	Skogs- mark	Våt- mark	Annan mark
Kalkstensmjöl 0-0.2 mm	2 600	1 734	1 489	71
" 0-0.5 mm	1 173	4 004	3 220	1 241
" 0-1 mm	505	1 333	290	0
Kalkkross <3 mm	24 371	8 141	30	0
" >3 mm	344	457	118	0
Mesakalk	720	0	121	2 866
Slaggkalk		158		
Totalt	29 712	15 827	5 268	4 178

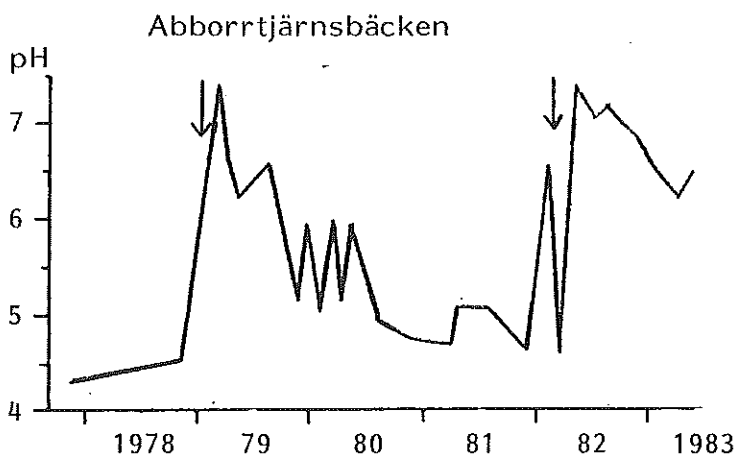
Projekt med enbart markkalkning

Öxasjön (P-län)

Inom det 150 ha stora tillrinningsområdet för en bäck, som rinner till Öxasjön, kalkades i december 1979 med 80 ton 0-0.2 mm kalkstensmjöl på 5 ha skogsmark, vilket motsvarar 3% av hela tillrinningsområdet. Kalken spreds 0-200 m från sjön. Utslaget på hela avrinningsområdet var kalkdosen ca 0.5 ton/ha. Under en femårsperiod före kalkningen var pH i bäcken 4.1-4.2 och under en fyraårsperiod efter kalkningen 3.5-4.9.

Abborrtjärnsbäcken (O-län)

Inom Anråseåprojektet (vid Stenungsund) kalkades våtmarksområden längs Abborrtjärnsbäcken med 100 ton kalkstensmjöl 0-0.5 mm i februari 1979. Bäckens avrinningsområde uppströms den punkt där vattenkemiska och biologiska effekterna studerats är ca 200 ha. Utslaget på hela avrinningsområdet motsvarade kalkningen en dos på 0.5 ton/ha. Strax efter kalkningen steg pH till över 7 (Figur 1), men redan samma höst kom den första surstöten i samband med högvattenflöde och pH sjönk till ca 5. Kalkningen hade således kortvarig effekt och återförsurning skedde inom ett år. pH låg kring 5 tills en ny kalkning från helikopter skedde längs bäcken i mars 1982 med 105 ton kalk. pH steg då tillfälligtvis till över 7 för att därefter sjunka, varför en förnyad kalkning gjordes hösten 1983.

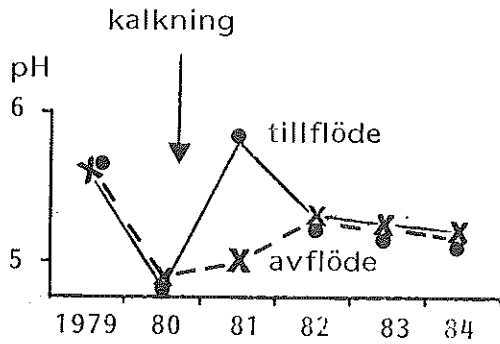


Figur 1.

pH i Abborrtjärnsbäcken före och efter markkalkning kring bäcken. Pilar anger kalkningstillfällena.

Hultbren (G-län)

Av sjön Hultbrens ca 4 400 ha stora avrinningsområde kalkades 180 ha (4%) under perioden maj 1978 till juni 1980 med 139 ton kalkstensmjöl 0-3 mm. Medelgivan på kalkade områden var 0.8 ton/ha och utslaget på hela avrinningsområdet var dosen 0.03 ton/ha. Den största delen av kalken (89%) spreds i juni 1980. Kalken spreds på skogsmark (50%), åker och äng (35%) och övrig mark (15%). Kalkningens effekt på sjön har varit liten (Figur 2).



Figur 2.

pH i Hultbrens till- och avflöde under april-maj före och efter kalkning på mark med en dos motsvarande 0.03 ton/ha, utslaget på hela avrinningsområdet.

Helgeån på sträckan Möckeln-Delary (G-län)

Inom Helgeåns avrinningsområde på den ca 15 km långa sträckan mellan sjön Möckeln och Delary kalkades under tiden december 1978 till januari 1980 med 396 ton kalk. Kalkningsinsatserna var fördelade på 235 ton kalksten 0-3 mm på 68 ha jordbruksmark, 75 ton kalksten i bäckar och 61 ton kalkmesa på mark runt bäckar.

Under året före kalkningen var pH nedströms kalkningsinsatsen 5.3-6.1 och alkaliniteten i medeltal 0.019 mekv/l. Från det kalkningen startade och två år framåt varierade pH mellan 5.1-6.2 och alkaliniteten var i medeltal 0.058 mekv/l.

Uppströms kalkningsinsatserna var under motsvarande perioder pH 5.5-6.1 respektive 5.1-6.2 och alkaliniteten 0.031 respektive 0.081. Alkalinitetshöjningen i Helgeån efter kalkningen kan således härledas till högre alkalinitet uppströms kalkningsområdet efter kalkningen. Någon effekt av kalkningsinsatsen kan därför inte fastställas.

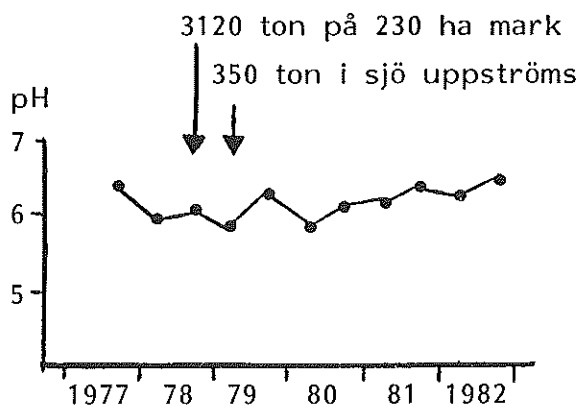
Inom tillrinningsområdet för en bäck som rinner ut i Helgeån kalkades jordbruksmark motsvarande 2% av tillrinningsområdet med 5 ton/ha. pH var lägre än 5 såväl före som efter kalkningen.

Stråken (G-län)

På 75 ha åkermark inom avrinningsområdet till den ca 820 ha stora sjön Stråken kalkades med 600 ton 0-5 mm kalksten. Under tre år före kalkningen var pH 6.0-6.5 och under fyra år efter kalkningen 5.5-6.8. Alkaliniteten var 0.01-0.12. Kalkningsinsatsen har inte haft någon påvisbar effekt i sjön.

Madkroken (G-län)

Av Madkrokens ca 24 400 ha stora avrinningsområde kalkades 230 ha (1%) med 3 120 ton kalkstensmjöl 0-3 mm under 1978-79. Mängden motsvarade en dos på 0.13 ton/ha utslaget på hela tillrinningsområdet. Under våren 1979 kalkades dessutom med 350 ton kalk direkt i den uppströms belägna Boskvarnasjön samt dess strandzon och bäckar. Den separata effekten av markkalkningen på vattenkvalitén i Madkroken kan därför inte bestämmas. Den sammanlagda effekten av kalkningen har dock varit liten (Figur 3) och markkalkning kan bedömas ha haft obetydlig effekt.



Figur 3.

pH i Madkroken före och efter kalkning.

Södrasjö och Holmasjö (G-län)

På Södrasjöns 500 ha stora avrinningsområde spreds 180 ton kalk 0-3 mm på 16 ha skogsmark (3% av avrinningsområdet) i en bård runt sjön vintern 1979. pH steg från 5.2 före till 6.3 ett år efter kalkningen och alkaliniteten var då 0.2 mekv/l. Efter ytterligare ett år hade pH sjunkit till under 5.

Holmasjö är belägen nedströms Södrasjö. Inklusiv markkalkningen runt Södrasjö spreds 420 ton kalk på ca 29 ha av Holmasjöns 1 000 ha stora avrinningsområde, motsvarande en kalkgiva på 0.42 ton/ha för hela avrinningsområdet. Under tre år efter kalkningen var pH 5.2-6.1.

Getesjön (G-län)

På ca 25% av sjöns avrinningsområde spreds 8 ton kalk/ha på skogs- och kärrmark och 4 ton/ha på åkermark. Utslaget på hela

sjöns avrinningsområde var givan 1.2 ton/ha. pH steg efter kalkningen från 5.0 till 5.4-5.5 men sjönk efter tre år till 5.2.

Unnen-Sandsjöområdet (G-län)

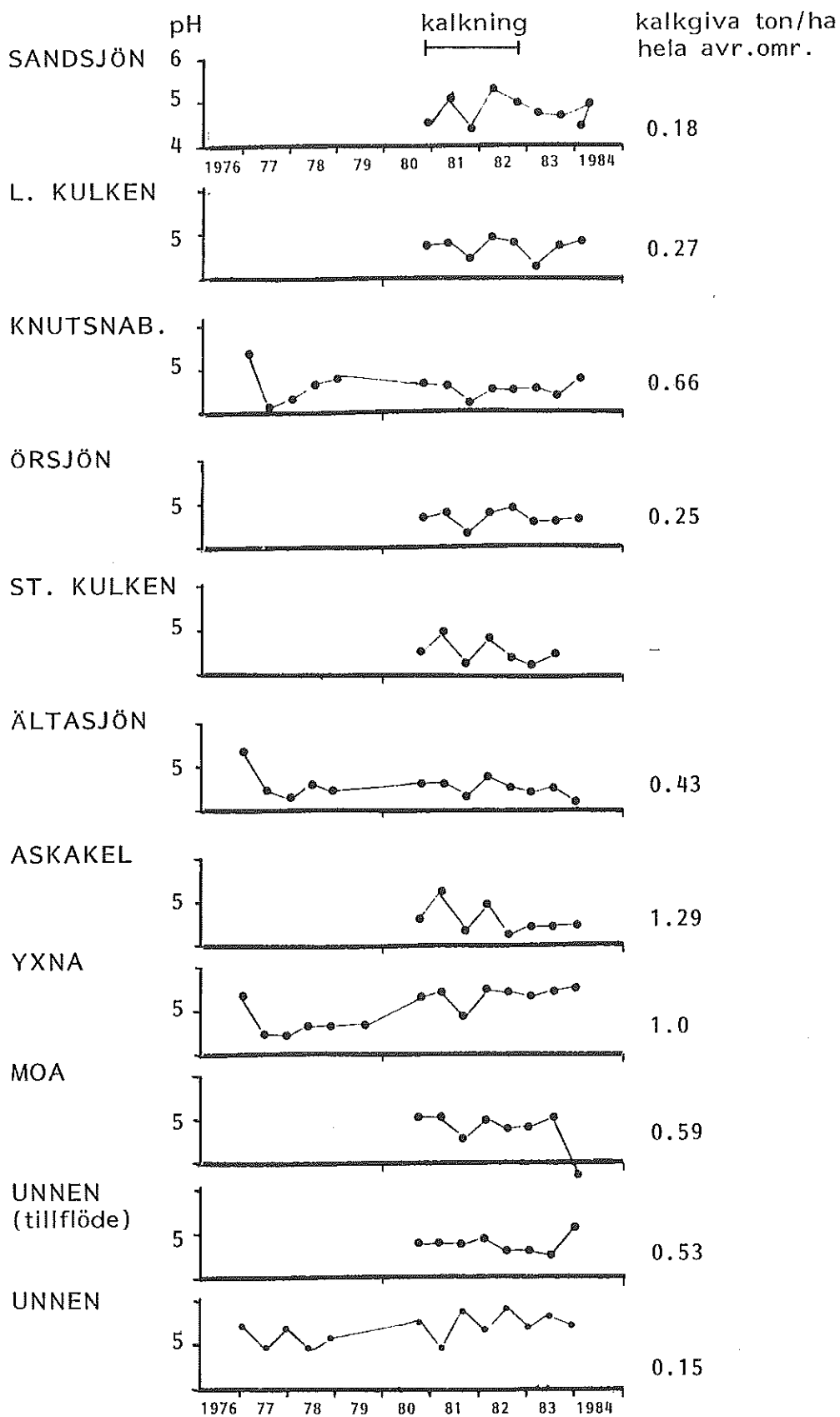
Inom Unnens tillrinningsområde kalkades mark runt tillflödet Lidhultsån och kring sjöar inom dess vattensystem. Av sjöarna inom Lidhultsåns vattensystem är Sandsjön, Knutsnabben, Askakalsjön, Yxnasjön och Moasjön källsjöar, medan Lilla Kulken, Örsjön, Stora Kulken och Ältasjön även påverkas av kalkning runt uppströms belägna vatten (Figur 4).

På Sandsjöns 700 ha stora avrinningsområde spreds 126 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.18 ton/ha beräknat på hela avrinningsområdet. pH har under en fyraårsperiod efteråt varierat mellan 4.5-5.4. Vattenkemiska data före kalkningen föreligger inte.

På Knutsnabbens 760 ha stora avrinningsområde spreds 367 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.66 ton/ha beräknat på hela avrinningsområdet. pH var under en treårsperiod före kalkningen 4.1-5.4 och under en fyraårsperiod efteråt 4.3-4.9. Kalkningen har därför inte givit önskvärd effekt.

På Askakalsjöns 290 ha stora avrinningsområde spreds 372 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 1.29 ton/ha beräknat på hela avrinningsområdet. pH var under en fyraårsperiod efter kalkningen 4.3-5.3 och önskvärd effekt har ej uppnåtts. Vattenkemiska data från tiden före kalkningen föreligger inte.

På Yxnasjöns 400 ha stora avrinningsområde spreds 402 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 1 ton/ha beräknat på hela avrinningsområdet. Under en tvåårsperiod före kalkningen var pH 4.5-4.7 och under en fyraårsperiod efteråt ca 0.8 enheter högre, pH 4.9-5.6. Kalkningen har haft en liten men otillräcklig effekt.



Figur 4. pH före och efter kalkning inom olika delar av Unnens vattensystem.

På Moasjöns 180 ha stora avrinningsområde spreds 105 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.59 ton/ha beräknat på hela avrinningsområdet. pH har under en fyraårsperiod efter kalkningen varierat mellan 3.9-5.1 och kalkningen har inte givit önskvärd effekt.

På Lilla Kulkens ca 850 ha stora avrinningsområde spreds sammanlagt 226 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.27 ton/ha beräknat på hela avrinningsområdet. pH har under en fyraårsperiod efter kalkningen varierat mellan 4.4-5.0 och kalkningen har inte givit önskvärd effekt. Vattenkemiska data före kalkningen föreligger inte.

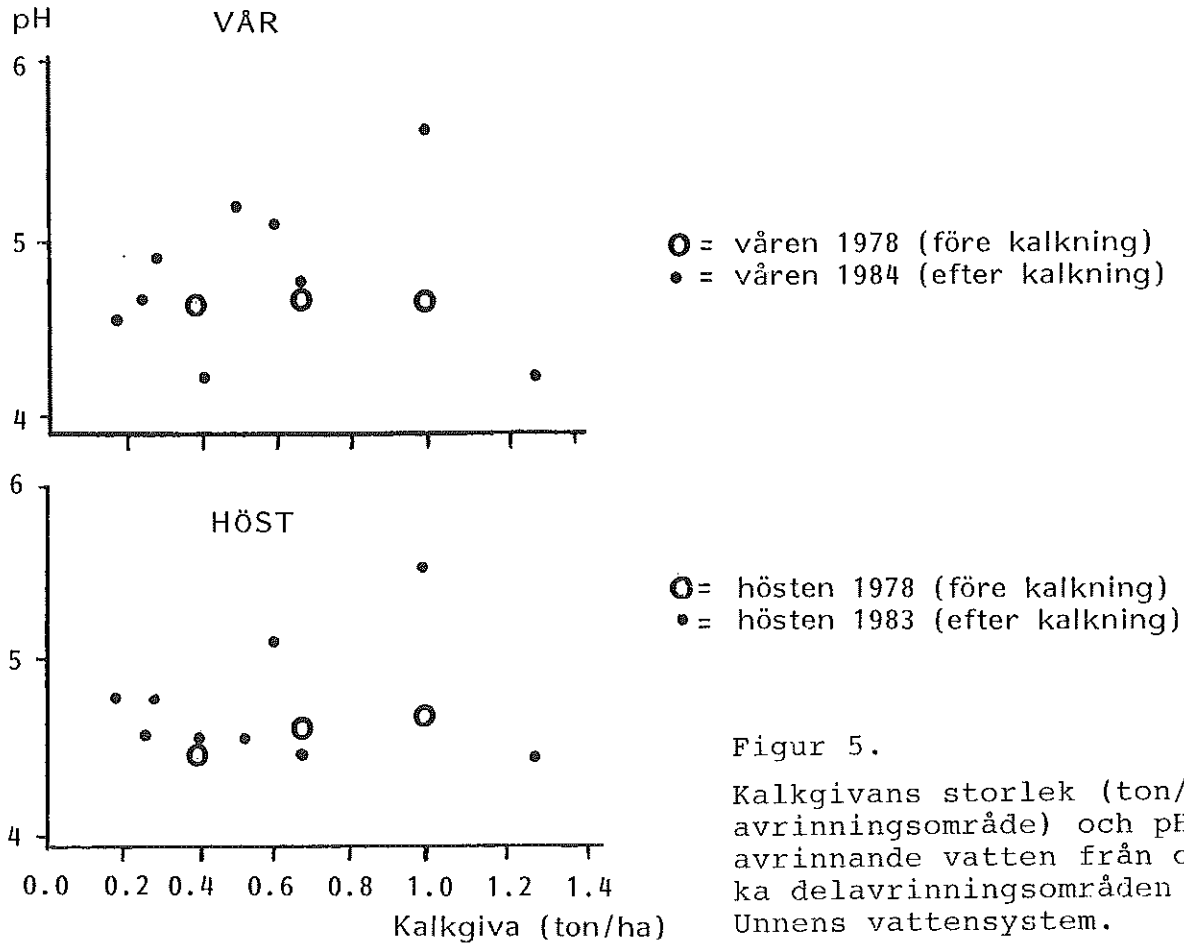
På Örsjöns ca 2 900 ha stora avrinningsområde spreds 713 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.25 ton/ha beräknat på hela avrinningsområdet. pH har under en fyraårsperiod efter kalkningen varit 4.4-4.9 och kalkningen har inte givit önskvärd effekt. Vattenkemiska data före kalkningen föreligger inte.

På Ältasjöns ca 3 600 ha stora avrinningsområde spreds 1 523 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.43 ton/ha utslaget på hela avrinningsområdet. pH var under en treårsperiod före kalkningen 4.4-5.4 och under en fyraårsperiod efter kalkningen 4.3-4.8. Kalkningen har inte givit önskvärd effekt.

Vid Lidhultsåns inflöde i sjön Unnen är åns avrinningsområde ca 5 000 ha och på detta spreds 2 607 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.53 ton/ha utslaget på hela delavrinningsområdet. Vattenkemiska data före kalkningen föreligger inte. Under en fyraårsperiod efter kalkningen var pH 4.1-4.7 och kalkning har inte givit önskvärd effekt.

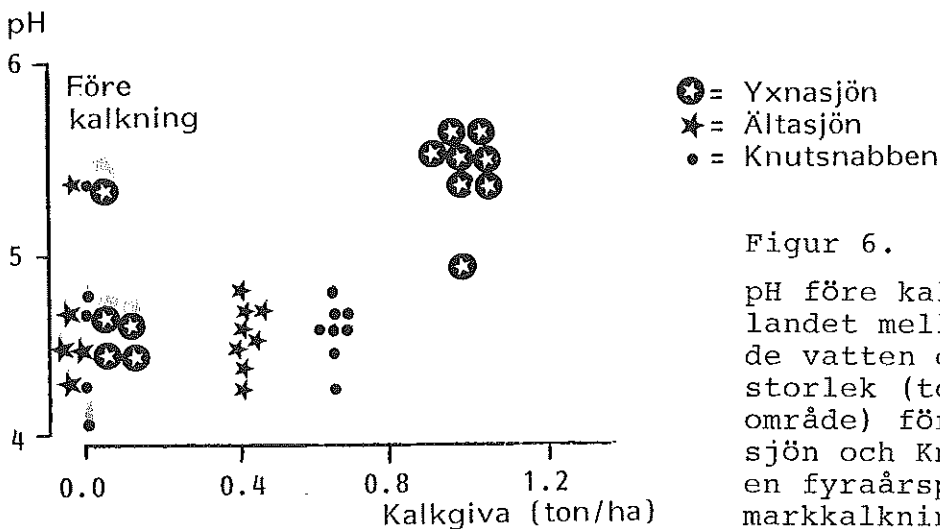
Inom Unnens 21 000 ha stora avrinningsområde spreds sammanlagt 3 022 ton kalk, vilket motsvarar en giva på 0.15 ton/ha utslaget på hela avrinningsområdet. I Unnens avflöde var pH 4.9-5.4 under en tvåårsperiod före kalkningen och 4.9-5.8 under en fyraårsperiod efteråt. Kalkningen har haft en viss effekt men mindre än den önskvärda.

Samband mellan kalkgivans storlek per ytenhet och pH i avrinnande vatten från olika delavrinningsområden inom Unnens vattensystem framgår av Figur 5. Endast på Yxnasjöns avrinningsområde, där givan var 1 ton/ha, utslaget på hela delavrinningsområdet, har kalkningen haft någon påtaglig effekt (Figur 6).



Figur 5.

Kalkgivans storlek (ton/ha avrinningsområde) och pH i avrinnande vatten från olika delavrinningsområden inom Unnens vattensystem.



Figur 6.

pH före kalkning samt förhållandet mellan pH i avrinnande vatten och kalkgivans storlek (ton/ha avrinningsområde) för Yxnasjön, Ältasjön och Knutsnabben under en fyraårsperiod efter markkalkning.

Vänneåprojektet (G-län)

Inom Vänneåns 10 545 ha stora avrinningsområde spreds 9 241 ton kalk under perioden 1978-81; fördelat på åker och betesmark (91%), åkalkning (4%), mosse, kärr (2%) och skog (2%). (Procenttalen avrundade.) Åkalkningen har skett med grovkrossad kalksten, vilket haft en kortvarig och obetydlig effekt. Ingen kalk har spridits i sjöarna med undantag för obetydliga mängder i två små sjöar, vilket inte haft någon betydelse för ån som helhet.

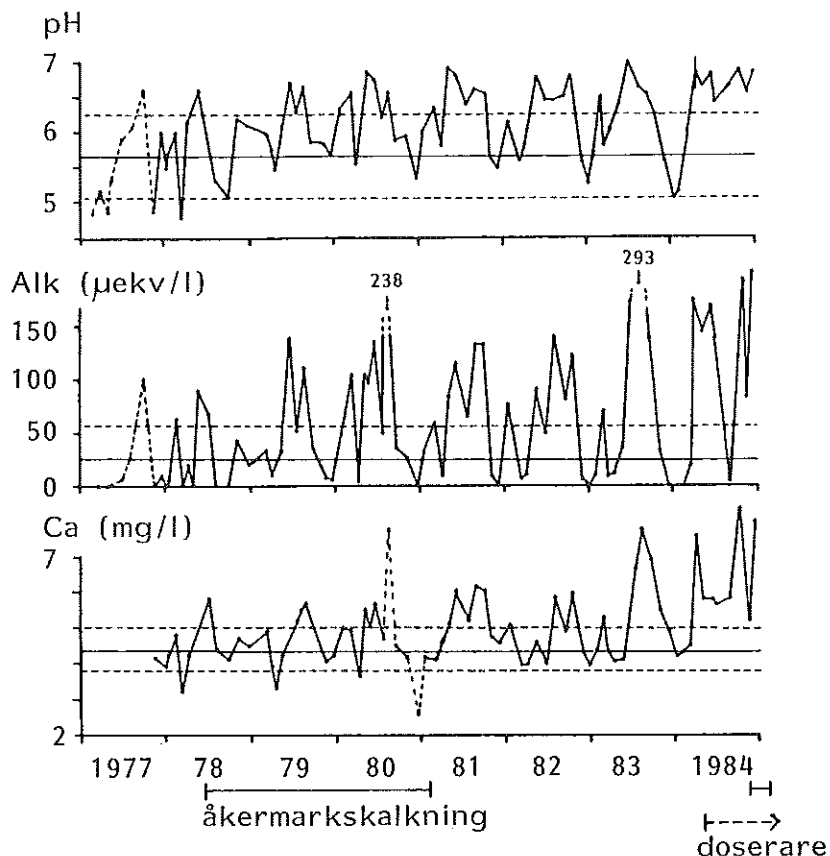
Den största delen av kalken spreds på åker- och ängsmark med målsättningen att få ett långsamt och jämnt utflöde av buffrande ämnen. Inom Vänneåprojektet har specialstudier gjorts av åker-, skogs- och myrmarkskalkning.

Aker- och ängsmarkskalkning

Totalt kalkades 65% (650 ha) av all åker- och ängsmark med jordbrukskalk 0-3 mm. Den genomsnittliga givan på kalkade områden motsvarade 10.9 ton/ha och varierade mellan 5 och 20 ton/ha. Beräknat på hela åns avrinningsområde kalkades 7.5% av all mark med en kalkmängd som motsvarar 0.84 ton/ha för hela avrinningsområdet.

Kalkningen har resulterat i att vid en punkt i Vänneån där summaeffekten av all kalkning kan registreras har pH-medelvärdet stigit till omkring 6.0 från 5.5 (Figur 7). Motsvarande ökning av alkaliniteten har varit från 0.03 till 0.05 mekv/l. Minimivärdena för pH vid högvatten har ökat från 4.8 till mellan 5.0 och 5.5. Även kalciumhalterna har ökat som en följd av kalkningen.

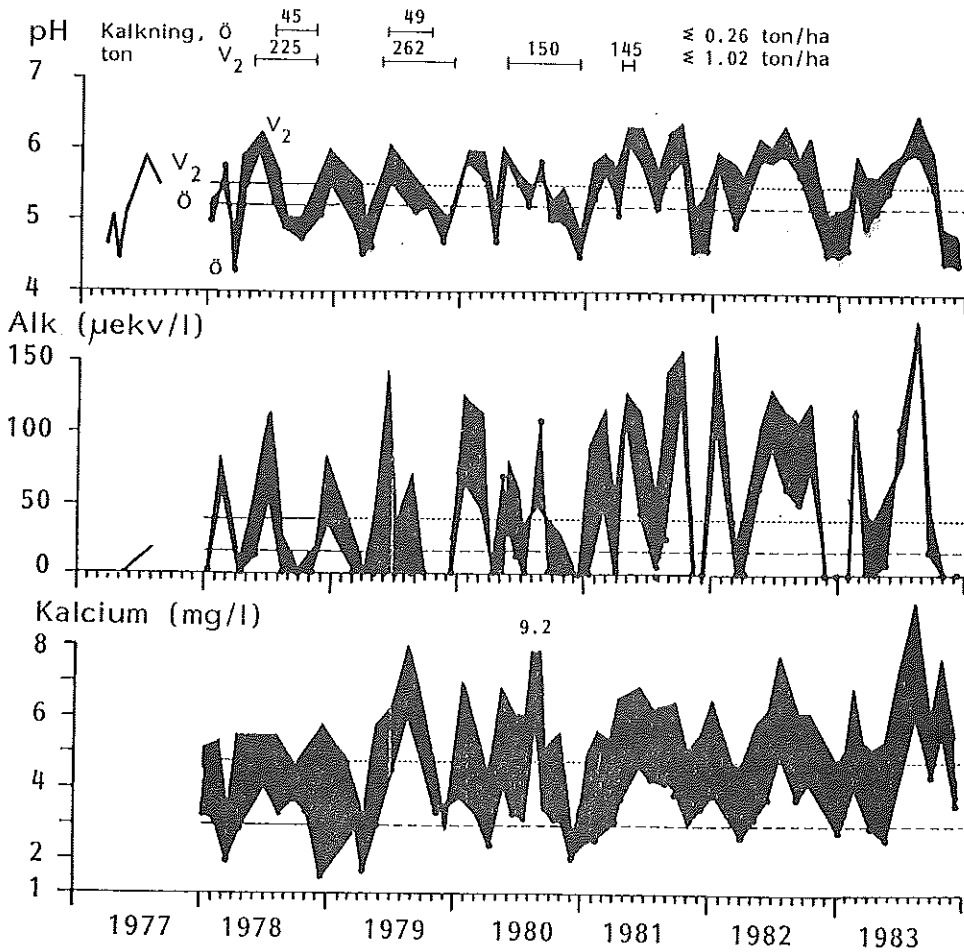
Vid åker- och ängsmarkskalkning har det årliga kalkutnyttjandet, mätt som pH- och alkalinitetshöjning, inom olika områden varierat mellan 1-5% av tillförd kalkdos. Arealförlusterna ökade rätlinjigt med kalkmängden per ytenhet inom intervallet 0-3 ton/ha. Arealförlusterna var högre från nära vattendragen lågt liggande mossjordar än från högre belägna moränjordar. Från dikade mossjordar var de årliga arealförlusterna av tillförd kalk ca dubbelt så stora (2-4% av tillförd kalk) som från moränjordar där



Figur 7. pH, alkalinitet och kalciumhalt vid Vänneåns avflöde under perioden 1977-84 (Andersson & Hamrin 1984).

kalkdosen varit densamma (ca 1 ton/ha utslaget på hela delavrinningsområdet). Arealförlusterna minskade med tiden. Från dikade mossjordar, där arealförlusterna varit som högst, uppgick de årliga arealförlusterna strax efter kalkning till ca 4% av tillförd kalk men sjönk efter två år till ca 2%.

En specialstudie av åkermarkskalkning gjordes inom ett område (Balkerydsområdet) där 24% av det totala avrinningsområdet utgörs av odlad mark. Av denna kalkades 83% med i medeltal 11.2 ton/ha under perioden 1978-81. Av detta delavrinningsområde har således 20% kalkats med 11.2 ton/ha. Delar av området brukades intensivt med regelbunden kalkning (ca 70 kg/ha och år) även före försöksverksamhetens start. pH, alkalinitet och kalcium har genomgående varit högre nedströms än uppströms det kalkade området (Figur 8). Trots kalkning har dock surstötter förekommit regelbundet vid högvattenflöde med pH-sänkning till ca 5.1 1981 och 1982 och till 4.9 1983.



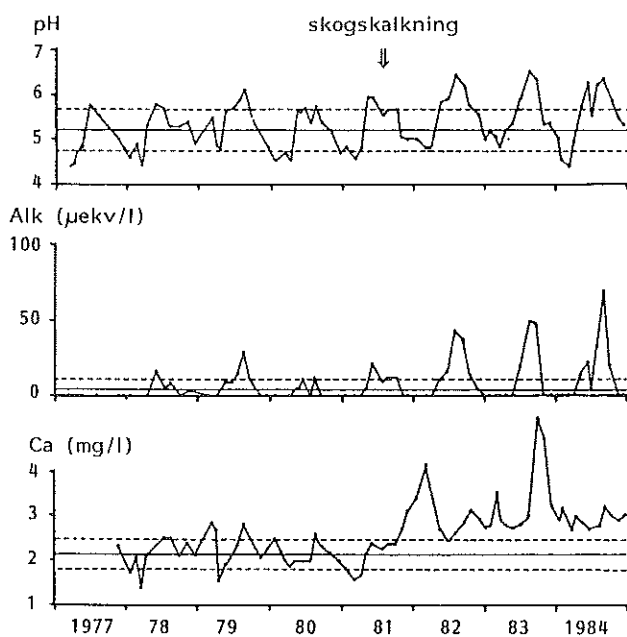
Figur 8. pH, alkalinitet och kalciumhalt uppströms (Ö, —●—) resp nedströms (V₂, —) Balkerydsområdet (åkermarkskalkning). Kalkningsperioder och mängd tillförd kalk angivna upptill. Medelvärden för 1978 har markerats (—) och förlängts (-----) för efterföljande år för att underlätta jämförelser (Andersson & Hamrin 1984).

Skogsmarkskalkning (Boasjön)

Skogskalkning med 20 ton/ha utfördes på 10% av Boasjöns avrinningsområde under 1981. Kalken spreds på sluttande marker omkring sjön. Transporten av kalcium till vattnet ökade och halterna steg från 2 till ca 3 mg/l och vätejontransporten minskade (Figur 9). pH ökade från i medeltal 5.2 till 5.7 som en följd av kalkningen, men var tillfälligtvis lägre. Alkaliniteten ökade som en följd av kalkningen från i medeltal 0.005-0.010 till 0.020-0.030 mekv/l men sjönk under vintern ned till 0.000 mekv/l. De årliga kalkförlusterna till vattnet var högst 1%.

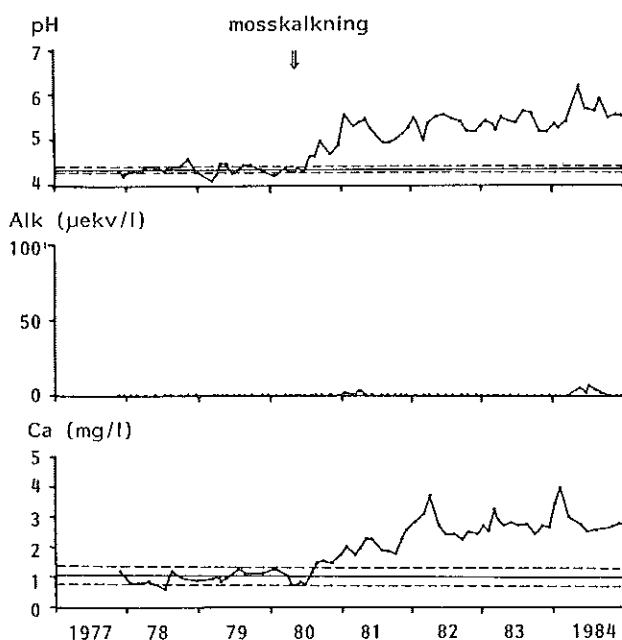
Myrkalkning (Ljungsjön)

Myrkalkning med 20 ton/ha på 25% av avrinningsområdet gjordes under våren 1981 på en högmosse med den centralt belägna rest-sjön Ljungsjön. Ingen kalkning av sjön ägde rum. pH-värdet före kalkningen varierade mellan 4.3 och 4.5 och steg i samband med flödesperioden under hösten och vintern efter kalkningen till mellan 5.0 och 5.5 (Figur 10). Därefter har pH sjunkit till som lägst 5.0 under torrperioden och snabbt ökat till ca 5.5 under flödesperioden. De årliga arealförlusterna av kalcium har ökat och vätejoner har minskat kontinuerligt under perioden om än i mycket långsam takt. Under 1984 har minimivärdet för pH ökat till 5.5 och maximivärdet till 6.1. De årliga kalkförlusterna till vattnet var högst 1%. Öring som inplanterats i den tidigare fisktomma sjön har visat god överlevnad och tillväxt.



Figur 9.

pH, alkalinitet och kalciumhalt i Boasjön (kalkning 2 ton/ha tillrinningsområde) under 1977-84 (Andersson & Hamrin 1984).



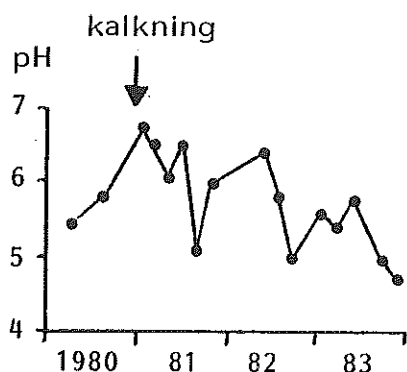
Figur 10.

pH, alkalinitet och kalciumhalt i Ljungsjön (kalkning 5 ton/ha tillrinningsområde) under 1977-84 (Andersson & Hamrin 1984).

Taskeå (O-län)

Inom projektet kalkades från helikopter delar av tillrinningsområdet till en mindre bäck med 0-1 mm kalkstensmjöl i december 1980. På våtmark och på mark i nära anslutning till bäcken

spreds 40 ton kalk på 3.7 ha vilket motsvarar 1% av hela avrinningsområdet på ca 230 ha. Dosen på kalkade områden varierade och var 10 ton/ha på vissa områden och 20 ton/ha på andra. Utslaget på hela avrinningsområdet motsvarade kalkgivan en dos på 0.15 ton/ha. Strax efter kalkningen steg pH från under 6 till 6.7 (Figur 11), men redan följande höst kom den första surstöten och pH sjönk till 5.0, vilket var ett lägre värde än det som uppmätts före kalkningen. Under tre år efter kalkningen sjönk pH till under 5. Kalkningen har haft en kortvarig effekt under mindre än ett år.

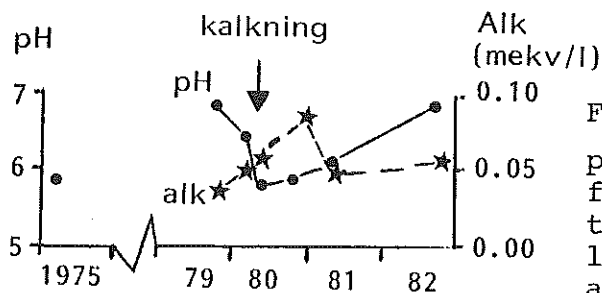


Figur 11.

pH i biflöde till Taskeån (norr om Kråkeröd) före och efter kalkning med 10-20 ton/ha längs bäcken. Ca 1% av totala nederbördsområdet kalkat.

Buvallsjön (X-län)

Runt Buvallsjön spreds 113 ton kalkstensmjöl, 0-0.5 mm, i april 1980 på 14.2 ha av det 880 ha stora avrinningsområdet. Kalken spreds längs stränder av sjöar och bäckar. Insatsen har inte haft någon påvisbar effekt på vattenkvaliten i sjön (Figur 12).



Figur 12.

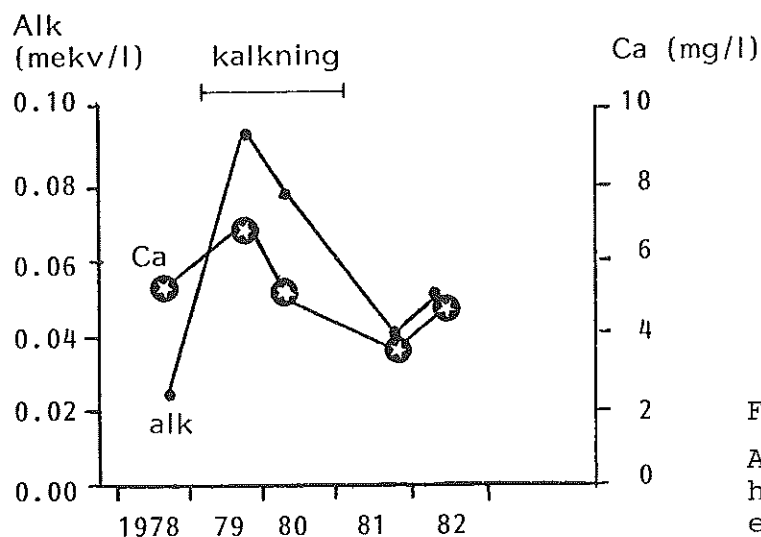
pH och alkalinitet i Buvallsjön före och efter kalkning med 113 ton kalkstensmjöl på 14.2 ha mark längs bäck och sjöstränder. Totala avrinningsområdet 880 ha.

Projekt med övervägande markkalkning (>50%)

Femlingen (G-län)

Sjön Femlingen kalkades under tiden februari 1979 till mars 1980 med 2 619 ton kalk. Kalkningsinsatserna var fördelade med 213 ton 0-1 mm på 3.2 ha strandzon, 84 ton 0-1 samt 0-3 mm på 0.24 ha bäckområden och 2 322 ton på 464 ha jordbruksmark, vilket motsvarar en giva på 5 ton/ha. Ca 4% av avrinningsområdet har kalkats.

Analys av vatten har skett i sex tillflöden och vid sex punkter i sjön. Någon separat utvärdering av de olika kalkningsinsatserna kan inte göras, men summaeffekten av dessa kan utvärderas i sjön, som har en teoretisk omsättningstid på 1.25 år. Före kalkningen var pH 6.0-6.1 och alkaliniteten i medeltal 0.026 mekv/l (Figur 13). Under den tid kalken spreds steg alkaliniteten och Ca-halten men avtog under följande år. Två år efter kalkningen var alkaliniteten förhöjd till godtagbar nivå jämfört med före kalkningen.



Figur 13.
Alkalinitet och kalciumhalt i Femlingen före och efter kalkning.

Tolken (P-län)

Inom Tolkens avrinningsområde kan effekten av markkalkning med 0-0.5 mm kalkstensmjöl bestämmas i flera små bäckar med separata avrinningsområden.

Bäck I har ett avrinningsområde på 16 ha av vilket ca 30% kalkades med 10 ton/ha. Kalken spreds i kärrområden och längs bäcken. I augusti före kalkningen var pH 4.2 och i april följande år efter kalkningen 5.3. Hösten efter kalkningen var pH 4.7 och våren tre år efter kalkningen 5.1. Kalkningen har resulterat i en pH-höjning på knappt en enhet till ca 5, vilken effekt består efter ca 3 år.

Bäck II har ett avrinningsområde på ca 300 ha av vilket 6%, bestående av jordbruks- och myrmark, kalkades med 125 ton kalkstensmjöl, 16 ton dolomitkalk och 20 ton kalksten. 40 ton av kalken lades direkt i bäcken, varför den separata effekten av markkalkning ej kan bestämmas. pH i augusti före kalkning var 6.1 och har därefter under en treårsperiod legat inom intervallet 5.6-6.1 utom under en höst, när pH sjönk till 4.0. Kalkningen har inte haft påvisbar effekt och surstötter har inte undvikits.

Bäck III har ett avrinningsområde på 200 ha av vilket 7% kalkades med 5 ton/ha. Dessutom lades 15 ton kalksten direkt i bäcken. I augusti före kalkningen var pH 5.2 och våren efter kalkning 6.0. Följande höst sjönk pH till 5.0 och våren tre år efter kalkningen var pH 6.3 och alkaliniteten 0.035. Kalkningen har haft positiv effekt, men det går ej att avgöra om detta berott på markkalkningen. Surstötter med pH ned till 5.0 har förekommit.

Bäck IV har ett avrinningsområde på 35 ha, av vilket 11% kalkades med 12 ton/ha. Dessutom kalkades direkt i bäcken. I augusti före kalkningen var pH 4.9 och våren efter kalkningen 5.0. Under följande år var pH 4.9-5.7. Kalkningen har haft en kortvarig positiv effekt på pH, som inte kan avgöras om den berott på markkalkning. Surstötter ner till ca 5 har ej kunnat undvikas.

Bäck V har ett avrinningsområde på ca 100 ha, av vilket 2% kalkades med 15 ton/ha. Kalk spreds även direkt i bäcken. pH steg strax efter kalkningen från 4.2 till 6.2 men sjönk till 4.0 på hösten ett och ett halvt år efter kalkningen.

Bäck VI har ett avrinningsområde på ca 100 ha, av vilket 6%, bestående av myrmark och bäck med omgivning, kalkades med 8 ton/ha. I augusti före kalkningen var pH 4.1 och våren efter kalkningen 6.5 och alkaliniteten 0.16 mekv/l. Under den följande delen av en treårsperiod efter kalkning var pH 4.3-4.8. Kalkningen har haft en kortvarig positiv effekt på vattenkvalitén, vilken dock ej kan avgöras om den beror på markkalkningen. Surstötter under pH 5 har inte undvikits med markkalkningen.

Bäck VII har ett avrinningsområde på 40 ha. I bäcken och på närliggande mark har 45 ton kalkstensmjöl 0-0.5 mm spridits på 30% av bäcksträckan. pH var i augusti före kalkningen 4.2 och på vår och höst under en följande treårsperiod 4.3-4.6.

Fegen (P-län)

Under tiden september 1980 till april 1981 kalkades ca 2% av Fegens 17 000 ha stora avrinningsområde med 3 215 ton kalkstensmjöl 0-0.2 mm. Insatsen var fördelad på åker- och betesmark (55%), strandzoner (20.5%), bäckar med omgivning (18%), diken med omgivning (5%) samt sjöar och sankområden (1.5%). (Procenttalen avrundade.) Någon mätbar effekt av kalkningen har inte kunnat registreras i sjön och pH har varierat 5.4-6.6.

Skälsjöarna (W-län)

Kalkningen genomfördes i november 1977 på mark inom Västra och Östra Skälsjöns 290 ha stora avrinningsområde. Västra Skälsjön avrinner till Östra Skälsjön. Totalt spreds 68 ton kalksten 0-0.5 mm fördelat på 12.5 ha, dvs 5.5 ton/ha på 4% av avrinningsområdet. Kalken spreds i ett 25 m brett bälte från vattenbrynet runt Västra och Östra Skälsjön. Dessutom kalkades över utströmningsområden längs en tilllopps bäck till Västra Skälsjön och längs bäckar som rinner till Östra Skälsjön.

I Västra Skälsjön hade kalkningen ringa effekt på pH, alkalinitet eller Ca+Mg-halt (Figur 14). I Östra Skälsjön ökade pH från 5.3-5.6 till 5.7-6.1 och alkaliniteten från 0-0.01 till 0.01-0.02.

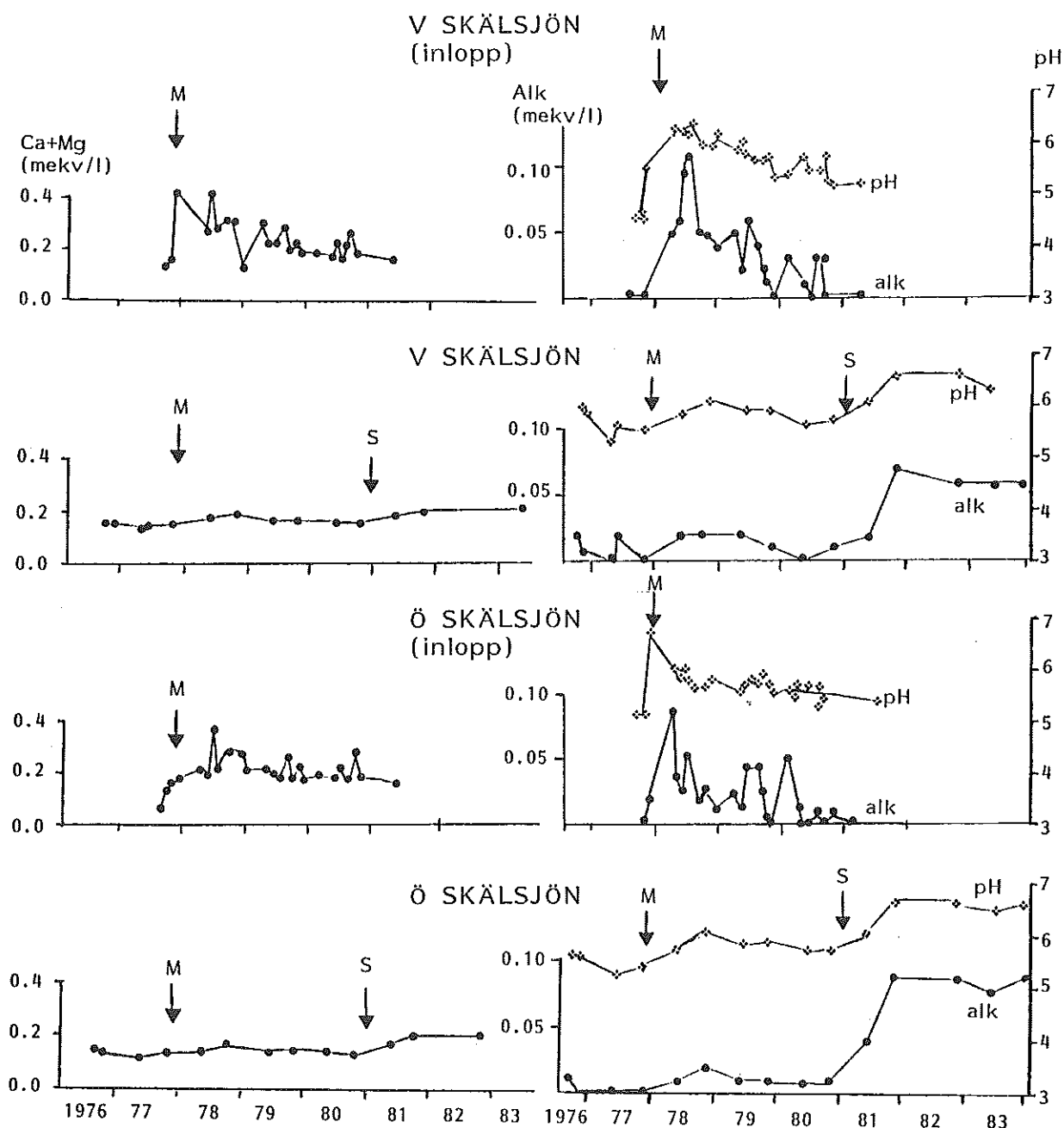
Längs en tilloppsbäck till Västra Skälsjön spreds 8 ton kalk på 1.5 ha utströmningsområden av det 28 ha stora delavrinningsområdet. Strax efter kalkning skedde mer än en fördubbling av totalhalten Ca+Mg (Figur 14). Samtidigt steg pH från under 5 till över 6 och alkaliniteten ökade från 0 till 0.11 mekv/l som högst. Under en följande treårsperiod sjönk pH, alkalinitet och Ca+Mg-halterna. Ca 3 år efter kalkningen var alkaliniteten återigen 0, men pH var ca 0.7 enheter högre än före kalkningen. Markkalkningen hade således 3 år efteråt en bestående, svag effekt. Kalkutflödet från marken till vattnet, beräknat som Ca+Mg ökning, uppgick året efter kalkningen till 10% av den utspridda kalken. Under de följande tre åren avtog utflödet och motsvarande värden för dessa år var 4.8, 3.6 och 0.6%.

I en tilloppsbäck till Östra Skälsjön med ett avrinningsområde på 28 ha kalkades 1 ha med totalt 11 ton kalk. I bäcken ökade pH, alkalinitet och Ca+Mg-halt strax efter kalkning (Figur 14). Efter 3 år var alkaliniteten nere i 0 mekv/l liksom före kalkningen. pH var dock ca 0.5 enheter högre än före kalkningen. Kalkutflödet från marken till vattnet, beräknat som Ca+Mg-ökning, uppgick under de tre åren efter kalkningen till 4.3, 3.5 respektive 3.5%.

Ca tre år efter markkalkningen spreds en lika stor mängd av samma typ kalk på Västra och Östra Skälsjöns is. Avsikten med den andra spridningen var att jämföra effekten av en sjö- och markkalkning. Efter sjökalkningen steg alkaliniteten och var tre år efteråt 0.06 respektive 0.09 mekv/l i de båda sjöarna.

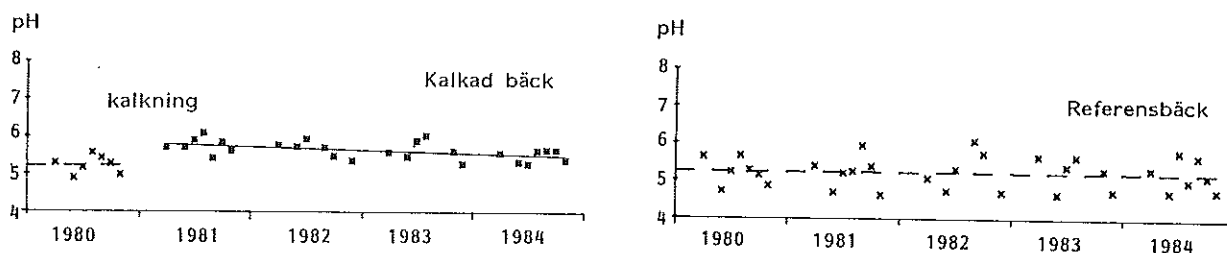
Degerträsket (AC-län)

Inom detta projekt kalkades 43% av det 70 ha stora avrinningsområdet till en mindre bäck med 150 ton kalkstensmjöl 0-0.5 mm. Det kalkade området bestod huvudsakligen av skogsmark och givan var 5 ton/ha. Vattenkvaliten i bäcken bestämdes 6-7 gånger årligen under ett år före och fyra år efter kalkningen. Vid samma tillfällen har vatten analyserats från en referensbäck, belägen ett par km från den kalkade bäcken.



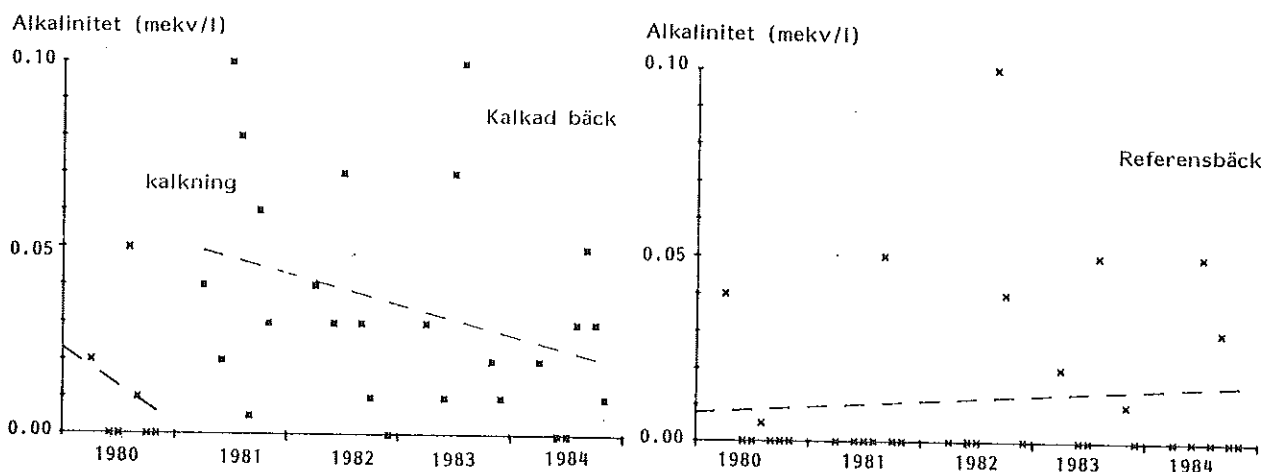
Figur 14. Kalcium + magnesium-halter, pH och alkalinitet i Västra och Östra Skälsjöarna samt i tillflöden. Vertikala pilar anger när kalkning skett. Markkalkning (M) skedde i november 1977 med 68 ton 0-0.5 mm kalkstensmjöl inom sjöarnas avrinningsområde och direkt kalkning i sjöarna (S) skedde i mars 1981 genom spridning på isen av samma mängd och typ av kalk som vid markkalkningen.

I den kalkade bäcken var pH högre under en fyraårsperiod efter kalkningen (5.3-6.1) än under året före (4.9-5.6) (Figur 15). Året före kalkningen var pH i medeltal detsamma (5.2) i bägge bäckarna. Kalkningen resulterade i att under fyraårsperioden efter kalkningen var pH ca 0.5 enheter högre i den kalkade än i referensbäcken.



Figur 15. pH i tillopps bäck till Degerträsket före och efter markkalkning samt i okalkad referensbäck. Heldragen linje = linjär regression, signifikant (Spearman rank korr.) Streckad linje = linjär regression, ej signifikant (Spearman rank korr.).

Kalkningen har haft en positiv effekt på alkaliniteten. Vid 18 av 26 mätillfällen var alkaliniteten 0 i referensbäcken medan motsvarande frekvens för kalkad bäck var 3 av 26 (Figur 16).



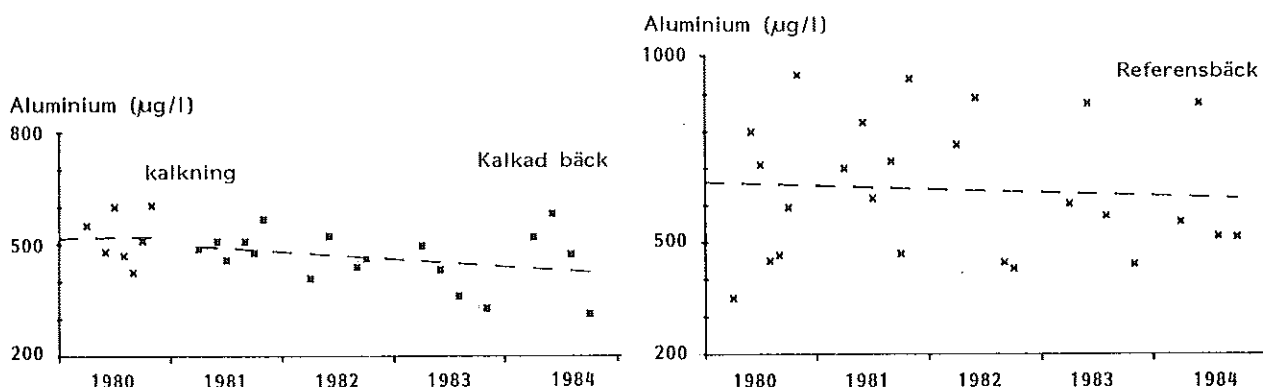
Figur 16. Alkalinitet i tillopps bäck till Degerträsket före och efter markkalkning samt i okalkad referensbäck. Streckad linje = linjär regression, ej signifikant (Spearman rank korr.).

Konduktiviteten var efter kalkningen i medeltal 5.5 mS/m i kalkad bäck och i referensbäck 5.3 mS/m.

Ca+Mg-halterna var efter kalkningen inte signifikant olika i kalkad (medelvärde 0.30 mekv/l) och referensbäck (0.29 mekv/l). Efter kalkningen var halterna i medeltal 0.04 mekv/l högre än före kalkningen, skillnaderna var dock ej signifikanta och kalkningen hade inte någon effekt på Ca+Mg-halterna i vattnet.

Aluminiumhalterna var i den kalkade bäcken i medeltal 520 µg/l före och 466 µg/l efter kalkningen (Figur 17). I referensbäcken var halterna genomgående högre, i medeltal 643 µg/l. Efter kalk-

ningen var halterna lägre i kalkad bäck än i referensbäck. Halterna var dock lägre även före kalkningen och kalkningen har inte haft någon påvisbar effekt på aluminiumhalterna i vattnet.

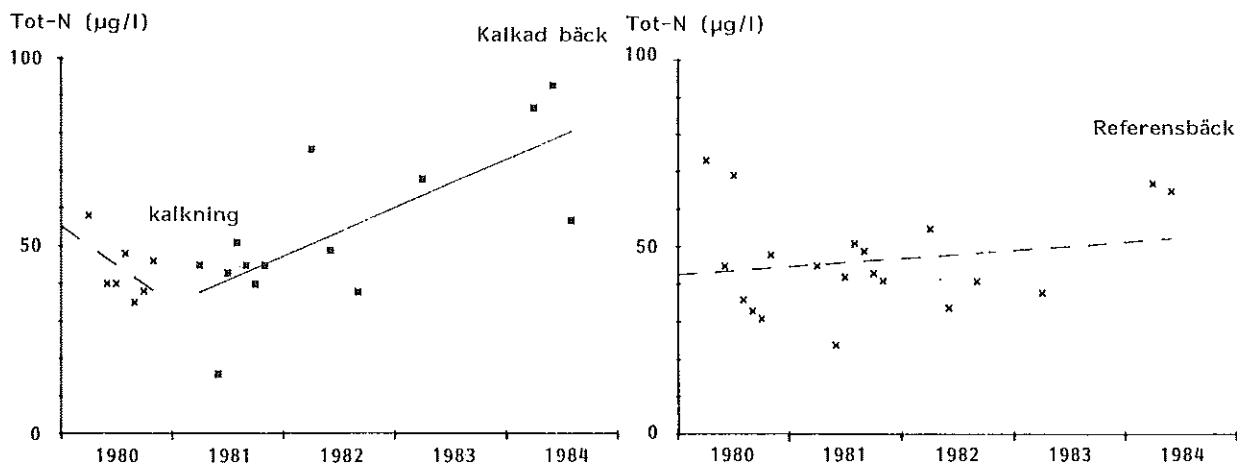


Figur 17. Aluminiumhalt i tillloppsbeck till Degerträsket före och efter markkalkning samt i okalkad referensbeck. Streckad linje = linjär regression, ej signifikant (Spearman rank korr.).

Järnhalterna var i den kalkade bäcken i medeltal 390 µg/l före och 413 µg/l efter kalkningen. I referensbäcken var halterna hela tiden genomgående högre, medelvärde 736 µg/l.

Manganhalterna var i den kalkade bäcken i medeltal 52 µg/l före och 39 µg/l efter kalkningen. I referensbäcken var under hela perioden halten i medeltal 40 µg/l.

Kvävehalten i vattnet från det markkalkade området ökade successivt efter kalkningen (Figur 18) och var det fjärde året efter



Figur 18. Halter av totalkväve i tillloppsbeck till Degerträsket före och efter markkalkning samt i okalkad referensbeck. Streckad linje = linjär regression, ej signifikant (Spearman rank korr.). Heldragen linje = linjär regression, signifikant (Spearman rank korr.).

kalkningen 80% högre än året före kalkningen. Under hela fyraårsperioden var halterna i genomsnitt 23% högre än före kalkningen.

Fosforutflödet påverkades inte av kalkningen och halterna i vattnet från bägge områdena var ca 7 µg/l både före och efter kalkningen.

Övriga projekt

Innaren (G-län)

Inom detta projekt kalkades i november 1979 26 ha åkermark av Kvarnbäckens 320 ha stora avrinningsområde med 85 ton kalk. Utslaget på hela avrinningsområdet var givan 0.27 ton/ha och 8% av avrinningsområdet kalkades med i medeltal 3.3 ton/ha. Effekten av kalkningen har bestämts två gånger per år, vår och höst, vid två punkter i bäcken under 1979-83.

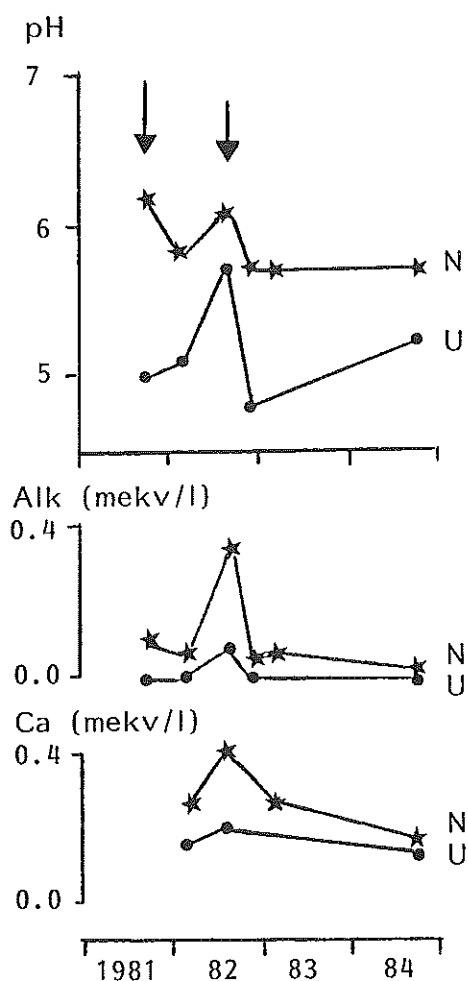
Ovanför den övre referenspunkten har spridits 13 ton av kalken och resten uppströms den nedre provtagningspunkten. Efter kalkningen har pH under våren ökat 0.1-0.2 enheter mellan de båda provtagningspunkterna. pH efter kalkningen har varit 5.0-5.2. Under hösten har pH vid den nedströms belägna provtagningspunkten varierat från 0.6 enheter lägre till 0.3 enheter högre än vid den uppströms belägna provtagningspunkten och pH har varierat mellan 4.5-6.2. Ca-halterna har varit 7-12 mg/l uppströms kalkat område och i genomsnitt 0.8 mg högre nedströms.

På 7% av avrinningsområdet till Feresjön, som avrinner till Innaren, spreds 380 ton kalk på åker och skogsmark. Dessutom kalkades i sjön direkt med 6 g kalk/m³ och i tillflöden med 10 ton. Kalkningen direkt i vattnet gör att eventuella effekter av markkalkningen inte kan bestämmas. Markkalkningen har dock inte kunnat hindra surstötter och pH har legat i intervallet 4.9-5.2 vid 5 av 8 provtagningsstillfällen under en fyraårsperiod efter kalkningen.

Nedströms Feresjön ligger Aresjön. Av dess avrinningsområde kalkades 10% med 890 ton kalk. Utslaget på hela avrinningsområdet var dosen 0.36 ton/ha och doser inom kalkade områden var 3.8 ton/ha. Dessutom spreds 7 g kalk/m³ vatten direkt i sjön och 60 ton i dess tillflöden vilket gör att markkalkningen inte kan utvärderas separat. Under en fyraårsperiod efter kalkningen har pH varierat mellan 5.4-6.5.

Stensjöprojektet (AB-län)

På ett mossområde runt en bäck till Stensjön spreds kalk på ett 1 ha stort område. Uppströms mosskalkningen har bäcken ett avrinningsområde på 450 ha och mosskalkningen motsvarar därför en kalkning av ca 0.2% av detta. I september 1981 spreds 37 ton och ett år senare ytterligare 7.5 ton 0-0.5 mm kalkstensmjöl. Den totala dosen inom kalkat område var ca 45 ton/ha. Utslaget på hela avrinningsområdet motsvarade dosen 0.1 ton/ha.



Bäckens flöde är diffust och går under marken på det kalkade området. Vid låg och normal vattenföring är endast några spridda ca 1 m² stora fria vattenspeglar av bäcken synliga. Vid högvattenflöde översilas mossen och vatten strömmar ut över kalkade ytor. Vattenflödet sker långsamt över ett 10-15 m brett område. Mossvegetationen består huvudsakligen av vitmossa med spridda starr- och bladvassbestånd.

Effekten av kalkningen har bestämts genom analys av vatten strax uppströms och nedströms kalkat område. Kalkningen har haft en god effekt på bäckens vatten (Figur 19).

Figur 19.

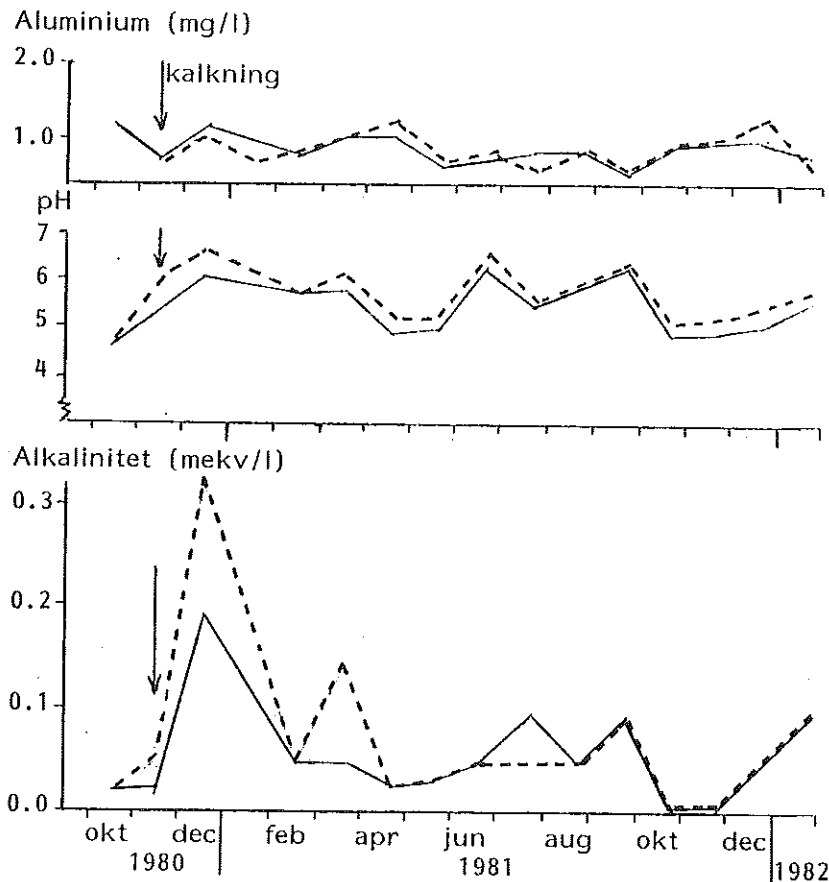
pH, alkalinitet och kalciumhalt i en bäck till Stensjön uppströms (U) och nedströms (N) en kalkad mosse. Pilar anger kalkning.

Beräknat på alkalinitetstillskottet har under året närmast efter kalkning 7% av spridd kalk lösts och tillförts vattnet och under följande två år vardera ca 5%.

Den relativt stora utlösningen av kalken beror på att kalken kommer i direkt kontakt med vattnet som långsamt flyter genom området. Detta visar att en stor punktinsats på ett litet område kan ge god effekt på vattenkvalitén.

Stöcksjön (AC-län)

För att förbättra vattenkvalitén i den sura Stöcksjön spreds 155 ton kalkstensmjöl 0-0.5 mm på en 1 km lång och ca 60 m bred sträcka längs tilloppsbacken. Marken var vid spridningen tjälad. Det kalkade området bestod av sura svavelrika jordar (alunjordar) och målsättningen med kalkningen var att neutralisera det sura vattenutflödet från dessa.



Figur 20. Aluminiumhalt, pH och alkalinitet i tilloppsback till Stöcksjön uppströms (heldragen linje) och nedströms (streckad linje) markkalkat område.

Vattenprover har tagits i bäcken före och efter kalkningen. Vid den nedre provtagningspunkten har bäcken ett avrinningsområde på 2 100 ha. Av detta har 0.3% (6 ha) kalkats med en kalkdos på 24 ton/ha. Kalkningen har haft obetydlig effekt på pH, alkalinitet eller aluminiumhalter (Figur 20).

Högvadsån (N-län)

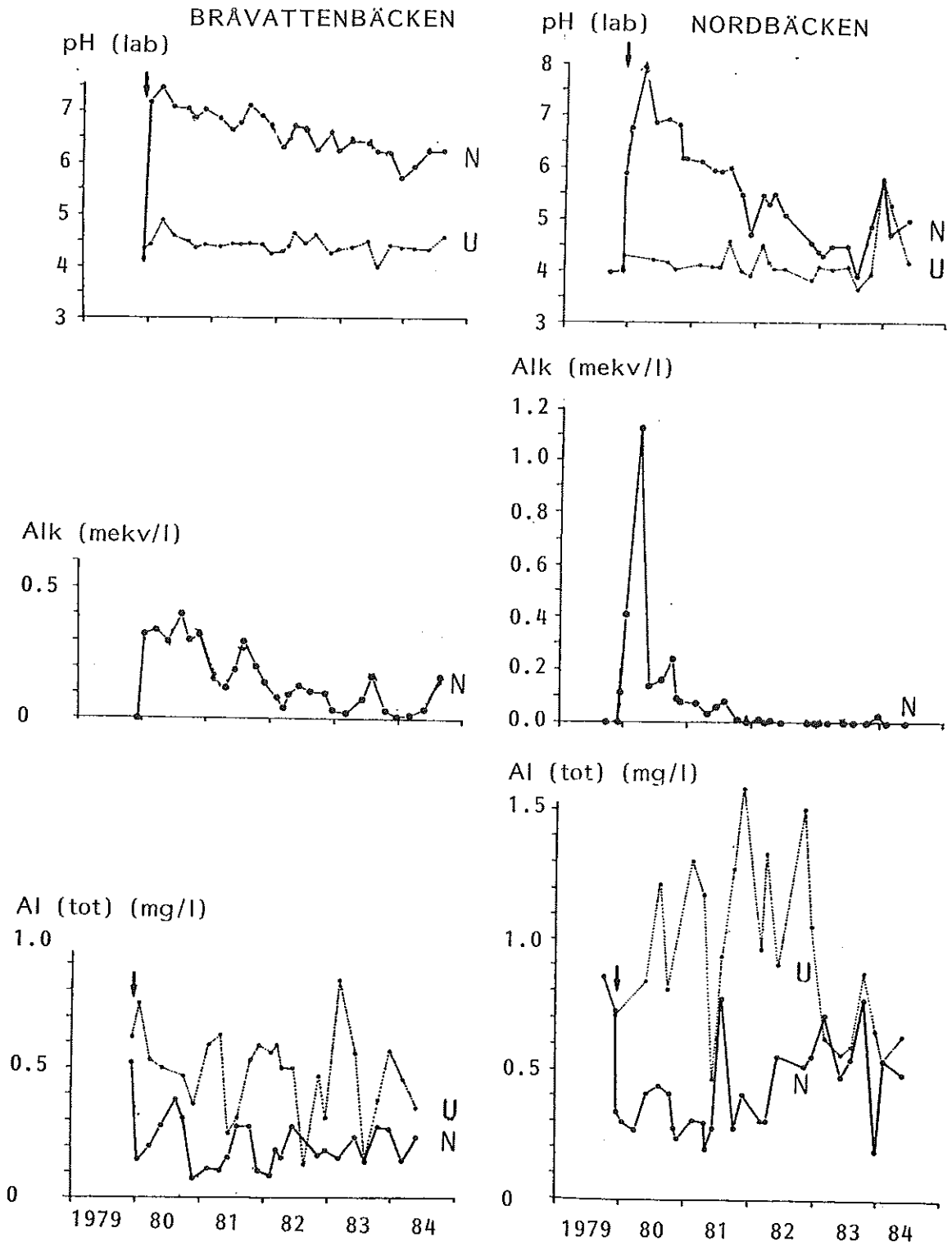
Inom detta projekt har spridits 1 340 ton kalk på jordbruksmark och 1 755 ton på mossmark. Kalkning har skett runt sex sjöar och runt bäckar i Högvadsåns övre del. Samtidigt har kalkning skett direkt i vattnet. Ingen effekt kan konstateras av markkalkningen och pH har i flera av vattnen regelbundet sjunkit till under 5.

Bråvattenbäcken och Nordbäcken (O-län)

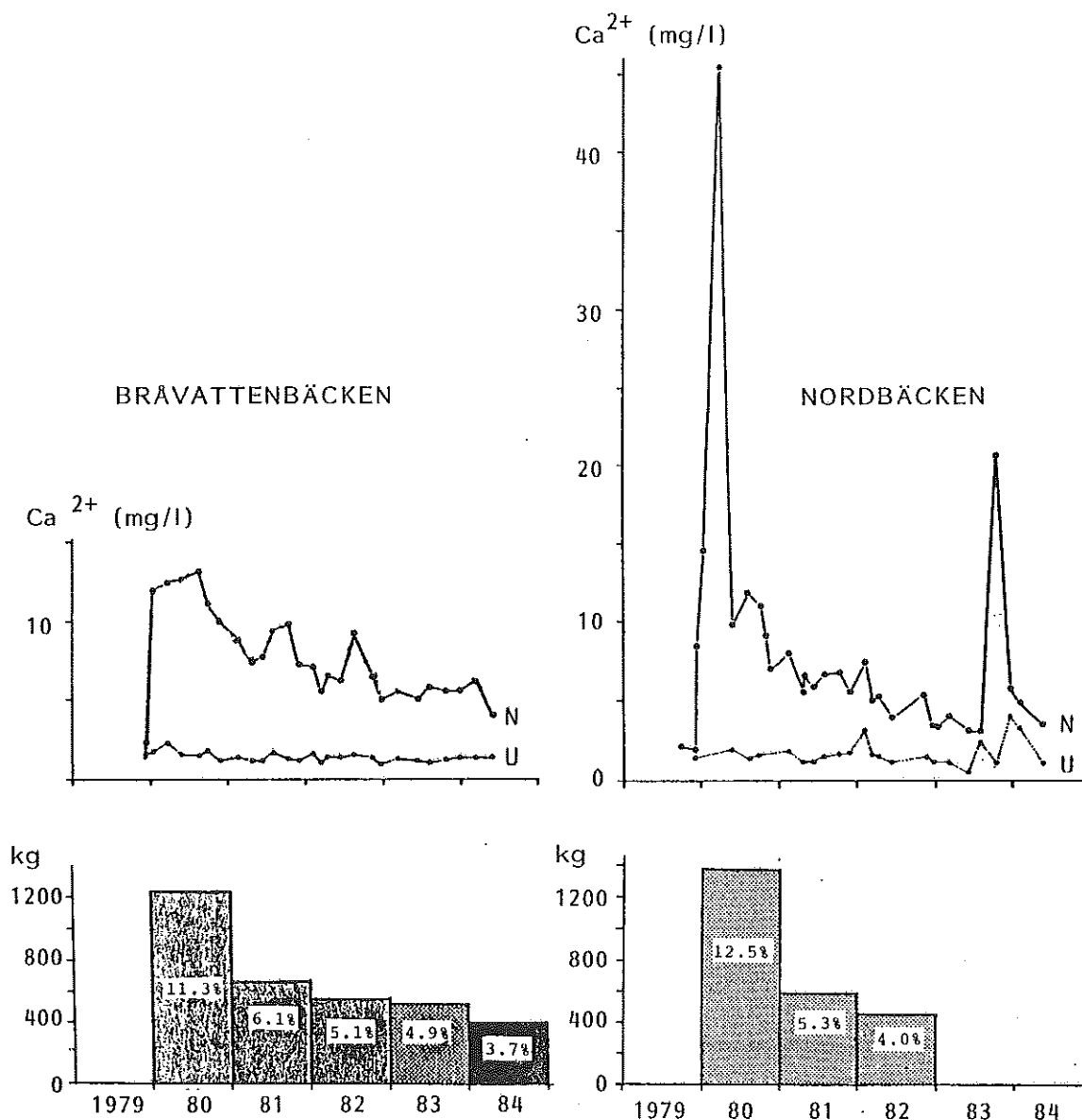
Bråvattenbäcken och Nordbäcken är belägna inom samma område och har liknande avrinningsområde vad gäller storlek och marktyp. Beräknat på Bråvattenbäcken och Nordbäckens hela avrinningsområde kalkades i december 1979 med 1.6 respektive 1.5 ton kalk/ha. Kalken spreds på våtmark, där vattenflödet sker diffust och ej i någon väl avgränsad bäckfåra. Dosen på kalkade områden uppgick till ca 50 ton/ha.

I Bråvattenbäcken är pH-värdet fortfarande fem år efter insatsen på en nivå över 6.0 hela året och vattnet har god buffertförmåga (Figur 21). Totalhalterna av aluminium har sjunkit från ca 0.45 till 0.2 mg/l. Utlösningen och transporten av kalk har ökat kraftigt vid högvattenflöde. Totalt har ca 30% av kalken tillförts vattnet under de fem första åren (Figur 22).

Kalkningseffekten blev kortvarigare i Nordbäcken än Bråvattenbäcken och efter två år sjönk pH till under 5 (Figur 21). Kalkutnyttjandet i Nordbäcken har varit av ungefär samma omfattning som i Bråvattenbäcken, ca 25 respektive 30% av spridd kalk (Figur 22). Den kortvarigare effekten av kalkningen i Nordbäcken än i Bråvattenbäcken har till stor del berott på att uttransporten av kalk var större strax efter kalkningen i Nordbäcken än Bråvattenbäcken. Under denna period var kalcium- och alkalinitetsvärdena ca tre gånger högre i Nord- än Bråvattenbäcken. Kalkningen har i båda bäckarna sänkt aluminiumhalterna (Figur 21).



Figur 21. pH, alkalinitet och aluminiumhalter i Brävattenbäcken och Nordbäcken. Pilen anger kalkning. U=uppströms, N=nedströms markkalkat område (Hasselrot et al. 1985).

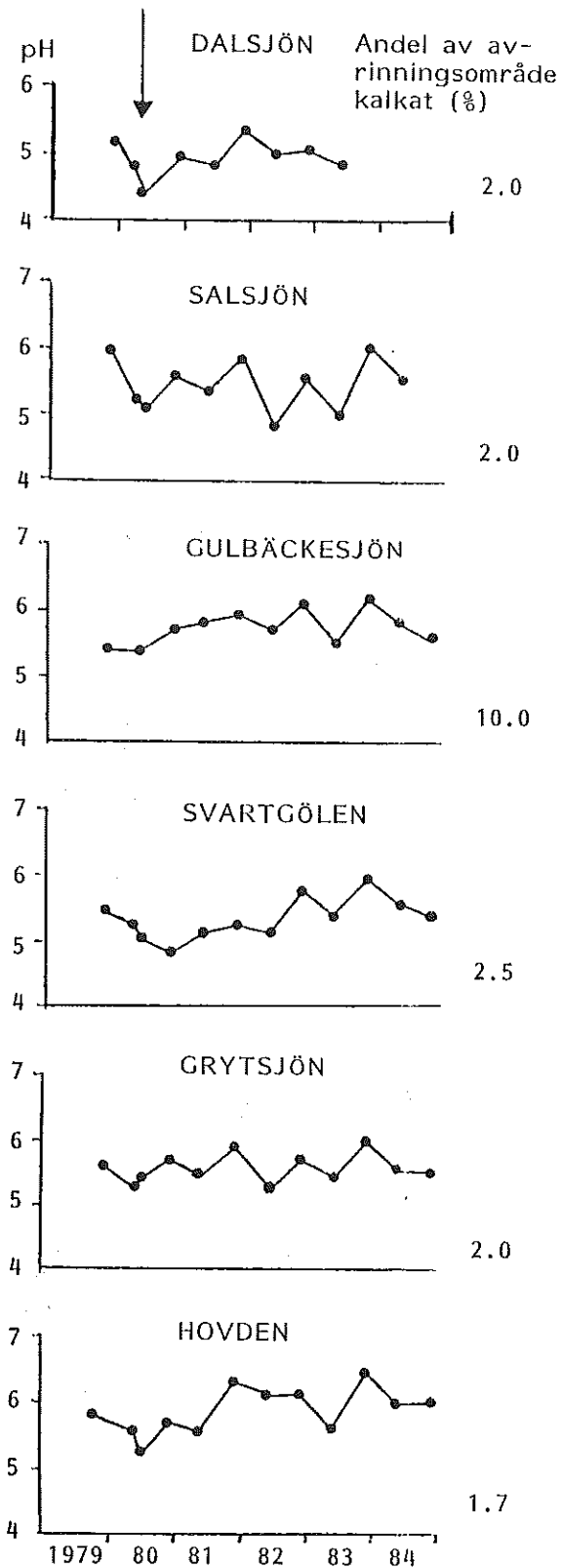


Figur 22. Kalciumhalter i Bråvattenbäcken och Nordbäcken samt kalkutnyttjande mått som kalk som tillförts bäckarna. U=uppströms, N=nedströms markkalkat område (Hasselrot et al. 1985).

Gullbergs revirs kortfiskeområde (E-län)

Inom detta projekt har markkalkning utförts runt sex småsjöar och effekterna på vattenkemi har bestämts. Kalkningen har för samtliga sjöar skett med kalkstensmjöl och dosen på kalkade områden har varit 15 ton/ha.

Grytsjön har en yta på 15 ha. Av det 280 ha stora avrinningsområdet kalkades 2% (5.2 ha) i anslutning till sjön och tillflödesbäckar.



Figur 23.

pH i 6 sjöar inom Gullbergs revir före och efter markkalkning. Pil anger när kalkning gjorts. För samtliga sjöar var kalkgiven 15 ton/ha på kalkade områden.

Svartgölen har en yta på 1.2 ha. Av det 20 ha stora avrinningsområdet kalkades 2.5% (0.5 ha) kring ett tillflöde.

Hovden har en yta på 8.6 ha. Av det 100 ha stora avrinningsområdet kalkades 1.7% (1.7 ha) i anslutning till sjön.

Gulbäckesjön har en yta på 2.6 ha. Av det 60 ha stora avrinningsområdet kalkades 10% (6 ha) i anslutning till sjön och tillflöde.

Salsjön har en yta på 3.0 ha. Av det 40 ha stora avrinningsområdet kalkades 2% (0.2 ha) i anslutning till sjön.

Dalsjön har en yta på 7 ha. Av det 90 ha stora avrinningsområdet kalkades 2% (1.8 ha) kring tillflödesbäckar.

Markkalkningen har haft positiv effekt på vattenkvalitén i tre av sjöarna; Gulbäckesjön, Svartgölen och Hovden (Figur 23). Den största insatsen i förhållande till avrinningsområdets storlek har gjorts i Gulbäckesjön och pH har där stigit från ca 5.5 till ca 6. I två av sjöarna, där 2.5 respektive 1.7% av avrinningsområdena kalkats, har pH ökat med ca 0.5 enheter. I tre av sjöarna, där insatsen varit av samma omfattning och 2% av avrinningsområdena kalkats, har ingen effekt registrerats. Skillnaderna i

effekt mellan de olika sjöarna vid lika stora kalkningsinsatser kan bero på att kalken spridits på olika typer av områden. Det är troligt att där effekt erhållits, har en relativt större del av kalken spridits på våtmark och utströmningsområden.

DISKUSSION

Syftet med kalkning är att undvika biologiska skador till följd av försurning. Vid pH >6 och alkalinitet >0.05 mekv/l bedöms inte biologiska skador ske. Allvarliga skador på fisk och andra organismer kan uppkomma vid surstötter, även om dessa endast varar i några timmar eller dagar. Ett av de viktigaste syftena med kalkning är därför att motverka surstötter och att pH aldrig faller till en nivå där biologiska skador inträffar.

I 59% av de fall där markkalkningens effekt kunnat bestämmas har den haft en positiv effekt på pH (Tabell 3, 4). Där positiv effekt erhållits har denna oftast varit för kortvarig och/eller otillräcklig för att uppfylla de biologiska kraven på vattenkvalité. Endast i 6% av fallen har man med markkalkning lyckats hålla pH över 6 under mer än ett år och i endast 2% av fallen i mer än 3 år.

Om man uppställer kriteriet att undvika de allvarliga biologiska skador som uppkommer vid surstötter, när alkaliniteten är 0 och pH lägre än 5.4-5.5, har i 37% av markkalkningsförsöken denna gräns inte underskridits under en tid av ett år eller mer efter kalkningen. I flera av dessa fall förekom dock inte heller så låga pH före kalkningen.

I de fall där markkalkning haft en positiv effekt på vattnet har kalkmängden/ha, utslaget på hela avrinningsområdet, varit 0.03-3 ton/ha och kalken har spridits på 0.2-30% av hela avrinningsområdet. Det går inte att därav generellt avgöra hur stor del av ett avrinningsområde som behöver kalkas eller hur stor dosen på kalkade områden bör vara för att vattenkvaliteten ska förbättras och bli acceptabel (Figur 24). En rad andra kvalitativa faktorer som bl a marktyp, hydrologi samt inte minst vattenkvalitén före kalkningen är avgörande för resultatet av en markkalkning.

Tabell 3. Sammanställning av effekt av markkalkning på vattenkvaliteten inom olika projekt. - anger att ingen effekt kunnat registreras eller att uppställt kriterie ej uppfyllts. + anger positiv effekt eller att uppställt kriterie uppfyllts. 0 anger att utvärdering ej kunnat göras.

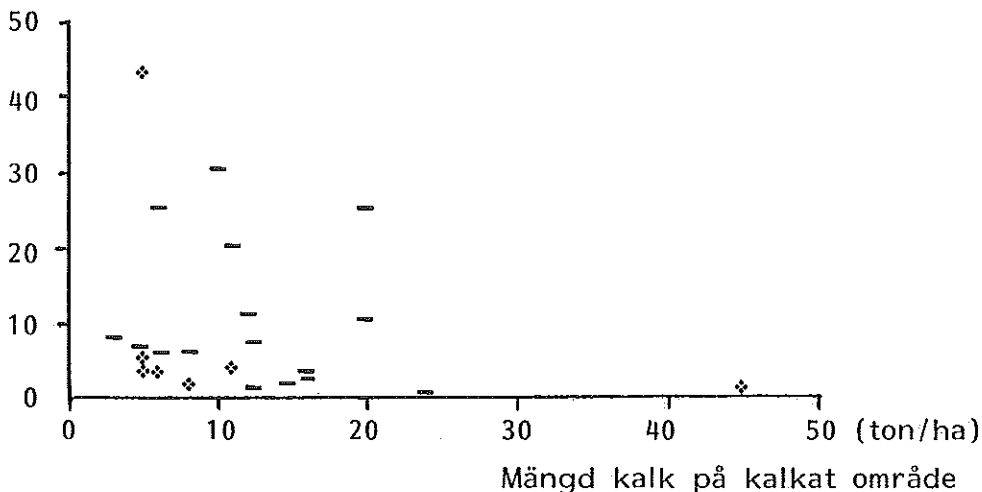
Projekt	Påvisbar positiv effekt av markkalkning på			pH aldrig under 6			alk aldrig under 0,05			alk aldrig under 0,01			ton kalk	dos/ha hela avr.omr	% av avr.omr kalkat	dos kalkat omr ton/ha	Anm
	pH	alk	Al	>1 år	>2 år	>3 år	>1 år	>2 år	>3 år	>1 år	>2 år	>3 år					
Tröskan																	
Bäck I	+	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	3	30	10	
Bäck II	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125	0,5	6	6	Kalk i vatten
Bäck III	?	?	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	0,4	7	5	".."
Bäck IV	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	2,7	11	12	".."
Bäck V	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	0,6	2	15	".."
Bäck VI	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	0,5	6	8	".."
Bäck VII	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	1,1	-	-	".."
Ö. Skälisjön	+	+	0	-	-	-	-	-	-	+	+	+	68	0,2	4	5,5	
Fällöppsb.V.Skälisj.	+	+	0	+	-	-	-	-	-	+	+	-	8	0,3	5	5,3	19% av kalken tillförd bäcken under en 4-årsperiod
".. Ö. "..	+	+	0	-	-	-	-	-	-	+	+	-	11	0,4	4	11	11% av kalken tillförd bäcken under en 3-årsperiod
Degerträsket	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	150	2,1	43	5	
Innaren																	
Kvarnbäcken	+	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	0,27	8	3,3	
Feresjön	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380	0,3	7	4,2	Kalk i vattnet
Aresjön	-	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	890	0,4	10	3,8	".."
Stensjön	+	+	0	-	-	-	+	-	-	+	+	+	45	0,1	0,2	45	
Stöcksjön	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	0,05	0,3	24	
Högvadsån	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3100	-	-	-	
Brävattenbäcken	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	30	1,6	-	50	30% av kalken tillförd vattnet på 5 år
Norråbäcken	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	30	1,5	-	50	25% av kalken tillförd vattnet på 5 år
Gullbergs revir																	
Grytsjön	-	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	78	0,3	2	15	
Svartgöien	+	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	7	0,3	2,5	15	
Hovden	+	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	24	0,2	1,7	15	
Gulbäckesjön	+	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	90	1,5	10	15	
Salsjön	-	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	14	0,3	2	15	
Dalsjön	-	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	27	0,3	2	15	
Värneån	+	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9241	0,84	7,5	5-20	
Bakerydsbäcken	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	20	11,2	
L. Jungsjön	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	25	20	
Buasjön	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	10	20	
Öxasjön	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	0,5	3	16	16 ton/ha på 38 av avr.omr
Abborrtjärnsbäcken	+	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	200	1	-	?	1 ton/ha utslaget på hela avr.omr
Hultbren	+	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	139	0,03	4	0,8	
Helgeån	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	396	-	-	-	
Stråken	-	0	0	-	-	-	-	-	-	+	-	-	600	-	-	8	
Maåroken	?	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	3120	0,13	1	13,5	
Södrasjö	+	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180	0,36	3	16	
Holmesjö	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	420	0,42	3	14	
Jetesjön	+	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1160	1,2	25	4/8	
Sandsjön	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	126	0,18	-	-	
Knutsnabben	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	367	0,66	-	-	
Askakalsjön	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	372	1,29	-	-	
Yxnäsjön	+	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	402	1,0	-	-	
Hoasjön	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	0,59	-	-	
L. Kulken	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	226	0,27	-	-	
Örsjön	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	713	0,25	-	-	
Åltasjön	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1523	0,43	-	-	
Lidhultsån	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2607	0,53	-	-	
Udden	(+)?	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3022	0,15	-	-	
Taskeån	(+)?	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	0,15	1	10-20	
Buvalisjön	-	+	0	-	-	-	-	-	-	+	+	+	113	0,13	2	8	
Fegen	-	0	0	-	-	-	0	-	-	0	-	-	3215	0,2	2	-	
Femlingen	-	+	0	-	-	-	+	+	-	+	+	+	2619	0,2	4	5	1-2% av kalk tillförd sjön per år, troligen kalk i vattnet

Tabell 4. Andel av markkalkade områden där effekt registrerats på pH, alkalinitet och aluminiumhalt i vatten.

	%	n
Positiv effekt på pH	59	39
pH ej under 6 > 1 år	6	52
-"- > 2 år	4	52
-"- > 3 år	2	52
Positiv effekt på alkalinitet	77	22
alk. ej under 0,05 mekv/l > 1 år	10	40
-"- > 2 år	5	40
-"- > 3 år	2	40
alk. ej under 0,01 mekv/l > 1 år	37	27
-"- > 2 år	26	27
-"- > 3 år	19	27
Minskad aluminiumhalt	50	4

Av avgörande betydelse är var kalken placeras. Kalkning av utströmningsområden för vatten och vattendrag ger bäst effekt och kalkning av torr jord- och skogsmark sämst resultat. På dikade mossjordar inom Vänneån flödade ca 4% av den spridda kalken ut till vattnet under det första året efter kalkning, medan motsvarande siffra för torrare moränjordar var ca 1%. Inom Tolkenprojektet kalkades 30% av avrinningsområdet med 10 ton/ha, vilket

Andel av avrinningsområde kalkat (%)



Figur 24. Resultat av 24 olika markkalkningsförsök med olika mängder kalk på kalkade områden och olika andel av vattnets avrinningsområde som kalkats. ♦ anger att alkaliniteten i avrinnande vatten varit ≥ 0.01 mekv/l under minst ett år efter kalkningen; - anger att alkaliniteten någon gång varit < 0.01 mekv/l under året efter kalkningen.

positivt påverkade pH, men alkaliniteten sjönk till 0 inom ett år. Inom Skälsjöprojektet kalkades endast 4% av en bäcks avrinningsområde med 5.5 ton/ha, vilket resulterade i att vattnet hade alkalinitet kvar under mer än tre år efter kalkningen. Inom Stensjöprojektet kalkades 0.2% av avrinningsområdet bestående av mossområde med 45 ton/ha, vilket också medförde att vattnet behöll alkaliniteten under mer än tre år. Vid kalkning av relativt små våtområden, i förhållande till hela avrinningsområden, med kalkdoser i storleken 50 ton/ha har bra effekt på vattenkvalitén erhållits (Bråvattenbäcken och Stensjön). Av spridd kalk har i Bråvattenbäcken 30% kommit vattnet tillgodo under de följande 5 åren.

Detta visar att typen av markområden som kalkas är avgörande för effekten i vattnet. Kalkning bör därför ske med höga doser på våtområden där grundvatten strömmar ut till åar och inte på torrare skogs- och jordbruksmark med moränjordar.

Det är bättre att ge stora kalkgivor på, ur hydrologisk synvinkel, lämpliga områden än att ge små givor över stora områden. Med hydrologiskt lämpliga områden avses då sådana där man vid högvattenflöde har en god genomsilning av vatten.

Med markkalkning eftersträvas också att minska utflödet av metaller till vattnet. I två av de fyra fall där markkalkningens effekt på aluminiumflödet bestämts har detta minskat efter kalkning. Det är i båda fallen vatten där våtmark och mossområden kalkats.

Markkalkning inom Degerträsketprojektet medförde en kraftig ökning av kvävekoncentrationerna i vattnet. Inom Degerträsketprojektet kan inte markkalkning påvisas haft effekt på fosforläckaget, medan inom Vänneåprojektet tecken finns till att kalkning minskar fosforförlusterna.

Om det finns tillräckligt stora och lämpliga våtmarksområden att kalka och om dessa kalkas med tillräckligt stora givor, ger markkalkning bra effekt i vatten. I Västmanland kalkades utströmningsområden längs två små bäckar med 5.5 ton/ha, vilket motsvarar 0.3 ton/ha utslaget på hela avrinningsområdet. pH-vär-

det ökade med ca 1 enhet till ca 6 och låg relativt stabilt under de följande tre åren (Nyberg 1985). Ca 20% av den tillförda kalkmängden beräknas ha kommit vattnet tillgodo under denna tid. På utströmningsområden till Hammarbäcken inom Lofsåns avrinningsområde i Härjedalen kalkades med i medeltal 1.65 ton/ha. Utslaget på hela avrinningsområdet var givan 0.18 ton/ha. Våren före kalkningen var pH 4.5 men har under två år efter kalkningen inte understigit 6 (Nyberg 1985). Samtidigt har metallutflödet till vattnet minskat avsevärt.

Om en markkalkning optimeras genom att med hjälp av vegetation och med kännedom om hydrologi utvälja lämpliga utströmningsområden för vatten, kan enligt detta material markkalkning med doser på 2-50 ton/ha kalkat utströmningsområde vara en lämplig metod för att motverka försurning av ytvatten. I Naturvårdsverkets nya Allmänna Råd för kalkning av sjöar och vattendrag rekommenderas doser om 3-60 ton/ha kalkat utströmningsområde, beroende på var i landet åtgärden sker. Viktigt är att så stor del som möjligt av avrinningsområdets vatten passerar genom kalkade utströmningsområden. Metoden kan bedömas som mer ekologiskt riktig, jämfört med doserarkalkning i rinnande vatten, genom att man hindrar metallutflöde. En ytterligare fördel är att man slipper tillsyn och övervakning. Metoden fungerar under alla klimatförhållanden och effekten i vattnet är i stort sett oberoende av vattenföring. Det kan i vissa fall bli billigare och ibland dyrare jämfört med en kalkspridning direkt i vattnet. Vattnets storlek är här av avgörande roll vilket gör att ett övervägande, då hänsyn tas till kostnaderna, från fall till fall får avgöra vilken metod som är lämpligast.

LITTERATUR

- Andersson, G. & S. Hamrin. 1984. Effekter av markkalkning på vattenkemiska förhållanden i rinnande vatten. Vänneån. Statens Naturvårdsverk SNV PM 1865. 30 p.
- Hasselrot, B., I. Andersson, I. Alenäs & H. Hultberg. 1985. Våtmarkskalkning - en metod att kalka rinnande vattendrag. p. 65-70. Ur Kalkning av sjöar och vattendrag. Informations- och samrådsdagar, Tällberg 13-15 nov 1984. Statens Naturvårdsverk SNV PM 1919.
- Nyberg, P. 1985. Kalkning av våtmarker. p. 26-33. Ur Kalkning av sjöar och vattendrag. Kalkningsmessa i Hagfors 3-5 okt 1985. Naturvårdsverket Rapp. 3167.

ENGLISH SUMMARY: GROUND LIMING AS A METHOD OF MITIGATING
ACIDIFICATION OF SURFACE WATERS

In order to try and protect waters of special value for fisheries or nature conservancy a trial period of liming measures, with government grants, was performed in Sweden during 1976-82. During this period about 450 liming projects were started. The liming was mainly carried out by directly liming surface waters, but in many projects parts of the catchment area were treated by liming the ground. Of 207 000 metric tonnes of lime spread during the trial period 26% were spread on the ground, mainly on agricultural fields and meadows, and only to a lesser extent on wet soils close to surface waters. Liming techniques and fractions used are briefly reported. All in all the effects of ground liming on water chemistry (mainly pH, alkalinity, Ca) were studied in 52 different cases in lakes and streams. In 59% of the cases there was a positive effect on pH of the surface water, but the positive effect was of short duration. In only 6% of the cases the pH was held above 6 and the alkalinity above 0.05 meq/l for more than 1 year. In the cases where there was a positive effect on pH the lime dose differed considerably, from 0.03-3 metric tonnes lime per hectare catchment area, as did the proportion of the catchment area that was treated, from 0.2-30%. The differences between the treatments were due to variation in hydrology, soils and pre-treatment water quality. After liming of wet soils surrounding lakes and streams positive effects on pH were often achieved and after 3 to 5 years approximately 20-30% of the lime had reached the water. In these cases a lowered concentration of aluminium was found in the surface waters, whereas the aluminium concentration was unchanged when liming was performed on dry forest soil. It is recommended that liming be performed on wet soils close to the surface waters, where as much of the catchment drainage water as possible can come in contact with the lime before reaching the surface water. The doses used should be 2-50 tonnes per hectare limed catchment area depending on acid deposition and water quality. Liming of wet soils requires much field work before treatment in order to localize suitable wet soils, but it is recommended as a method since leakage of toxic metals from surrounding areas is restricted.