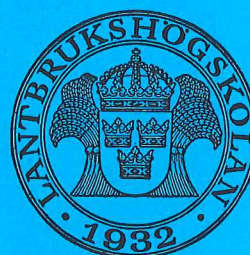


Lantbrukshögskolan
UPPSALA

RAPPORTER FRÅN
AVDELNINGEN FÖR
VÄXTNÄRINGSLÄRA



Nr 90

1975

*Janne Ericsson, Gösta Berglund och
Jan Persson*

Kalktillstånd, kalk och kalkning

ISBN 91-7088-313-0

KALKTILLSTÅND, KALK OCH KALKNING

Janne Ericsson, Gösta Berglund och Jan Persson

- o Markkolloiderna är övervägande negativt laddade och binder utbytbart positiva joner (katjoner). Kalcium och väte dominerar, men dessutom förekommer magnesium, kalium, natrium m.fl.
- o Om kalciumjonerna upptar ca 70 procent av jordens förmåga att binda katjoner, anses kalktillståndet vara tillfredsställande för fastmarksjord (pH-värdet ca 6,5). Sand- och mojordar bör dock ha något lägre kalciummättnadsgrad (pH-värde ca 6).
- o På organogena jordar anses kalktillståndet tillfredsställande om pH-värdet är 6 eller högre, eller om nettokalkmängden är minst 6 ton (CaO) per ha.
- o Tillfredsställande kalciummättnad resp. lämpligt pH-värde stimulerar en rad kemiska, biologiska och fysikaliska faktorer, vilka samverkar till att skapa en godartad rotmiljö för växterna.
- o Vid kalkning i syfte att höja pH-värdet i en sur jord till lämplig nivå (6 - 7) har kalkstensmjöl och osläckt kalk samma verkan, räknat per kg CaO.
- o Vid kalkning av lerjord i strukturförbättrande syfte bör osläckt kalk användas.

KALKTILLSTÅND, KALK OCH KALKNING

INLEDNING

Kalk har använts som jordförbättringsmedel i många länder sedan århundraden tillbaka. I äldre lantbrukslitteratur i vårt land omnämns kalk och mörgel som viktiga jordförbättringsmedel. Linné uppmanade allmogen under sin skånska resa på 1740-talet att mörgla jorden. "Men ingen må dock tro," sade han, "att mörgeln är gödsel, utan mörgelns egenskap är endast att göra en tjänlig jordmån för växter".

Även om man i äldre tider hade klart för sig att kalkning ofta ökade jordarnas produktionsförmåga, så hade man inte lika klart för sig hur kalken verkade och vilka jordar som behövde kalkas. Man kalkade "på måfå" och fick ibland negativa effekter.

Numera känner vi betydligt bättre till kalkens verkan i jorden, men fortfarande finns många obesvarade frågor.

En stor del av vårt lands jordar är i behov av kalk. Kalkanvändningen uppgår till ungefär hälften av behovet för närvarande.

KALKTILLSTÅND

MARKKOLLOIDERNA HAR SYRAEGENSKAPER

Markpartiklarna (ler- och humuskolloiderna) har övervägande elektriskt negativ laddning och omger sig med en svärm av positiva joner (katjoner). Kalcium och väte dominerar, men dessutom förekommer magnesium, kalium, natrium m fl. Dessa joner är utbytbar bundna vid markpartiklarnas ytor.

Man kan också säga att markkolloiden har syraegenskaper. Syrans negativa jon (anjon) är den negativt laddade kolloiden, som binder vätejoner vid sin yta. Vätejonerna kan mer eller mindre bytas ut mot metalljoner. Om vätejonerna helt ersätts med metalljoner, kan kolloiden liknas vid ett neutralsalt. Kolloiderna kan också binda anjoner, men i våra jordar har denna förmåga underordnad betydelse.

Den katjonbindande förmågan (utbyteskapaciteten) är helt naturligt större hos kolloidrika jordar, dvs lerjordar och mullrika jordar, än hos kolloidfattiga jordar, t ex mullfattiga sand- och mojordar. Till de kolloidrika jordarna krävs därför större kalkmängder för att höja kalciummättnaden resp. (pH-värdet) till en viss nivå. Humuskolloidernas katjonbindande förmåga är speciellt betydelsefull på sand- och mojordar, där mineralsubstansens jonbindande förmåga är mycket ringa. Den katjonbindande förmågan ökar med stigande pH-värde (Wiklander, 1963, 1968).

Det är proportionerna mellan väte- och kalciumjoner vid kolloidytorna som bestämmer kalktillståndet i våra jordar. Kalktillståndet anges vanligen med pH-värdet, dvs vätejonkoncentrationen. Det är i första hand vätejonkoncentrationen i markvätskan som anges. Men jonkoncentrationen i markvätskan är beroende av jonkoncentrationen vid kolloidytorna, och därför blir pH-värdet ett indirekt mått även på surhetsgraden i kolloidernas jonsvärmar. Stigande pH-värde innebär ökad kalciummättnad, fallande pH-värde minskad kalciummättnad (ökad surhetsgrad).

Vid tillförsel av kalk förtränger kalkens kalciumjoner vätejoner (och aluminiumjoner) från kolloidytorna ut i markvätskan och intar deras plats.

Det kan synas likgiltigt, om det är kalciumjoner eller andra metalljoner (t ex kalium- och natriumjoner) som förtränger vätejonerna från kolloidytorna. Till skillnad från kalium- och natriumjoner har emellertid kalciumjoner (och magnesiumjoner) en god förträngande förmåga redan vid måttlig koncentration i markvätskan. Dessutom har de en avladdande och utflockande effekt på kolloiderna, vilket befrämjar uppbyggnaden av aggregatstruktur på lerjordarna. Kalium- och natriumjoner har istället en nedbrytande effekt på jordaggregaten. För att dessa joner skall ha en effektiv utflockningseffekt måste koncentrationen i markvätskan vara så hög, att växterna skulle kunna ta skada.

Kalciumföreningarna är dessutom prismässigt att föredra.

För att öka kalciummättnaden räcker det emellertid inte att tillföra kalciumjoner i vilka föreningar som helst. Det måste vara sådana föreningar, som genom sin närvaro i marken leder till att vätejoner inte bara förträngs utan också uppfångas och oskadliggörs, så att vätejonkoncentrationen minskar. Våra kalkningsmedel uppfyller detta villkor. Det är kalkens negativa joner, hydroxid- och karbonatjoner, som med vätejoner bildar vatten och kolsyra. Andra kalciumföreningar, t ex kalciumsulfat (gips) som ingår i vissa handelsgödselmedel höjer däremot inte pH-värdet. De vätejoner, som förträngs av gipsens kalcium, bildar nämligen tillsammans med sulfatjonerna svavelsyra, som till skillnad från kolsyra är en stark syra.

PH-VÄRDET OCH VÄTEJONKONCENTRATIONEN

Sambandet mellan vätejonkoncentration och pH-värde är inte rätlinjigt, vilket framgår av figur 1.

För sambandet gäller

$$(\text{H}^+) = 10^{-\text{pH}} \text{ eller}$$

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

där (H^+) är vätejonkoncentrationen i antalet gramjoner per liter (1 gramjon väte = ca 1 gram). Vid pH 6 är sålunda vätejonkoncentrationen 10 ggr högre än vid pH 7. Vid pH 5 är den 10 ggr högre än vid pH 6, och vid pH 4 10 ggr högre än vid pH 5.

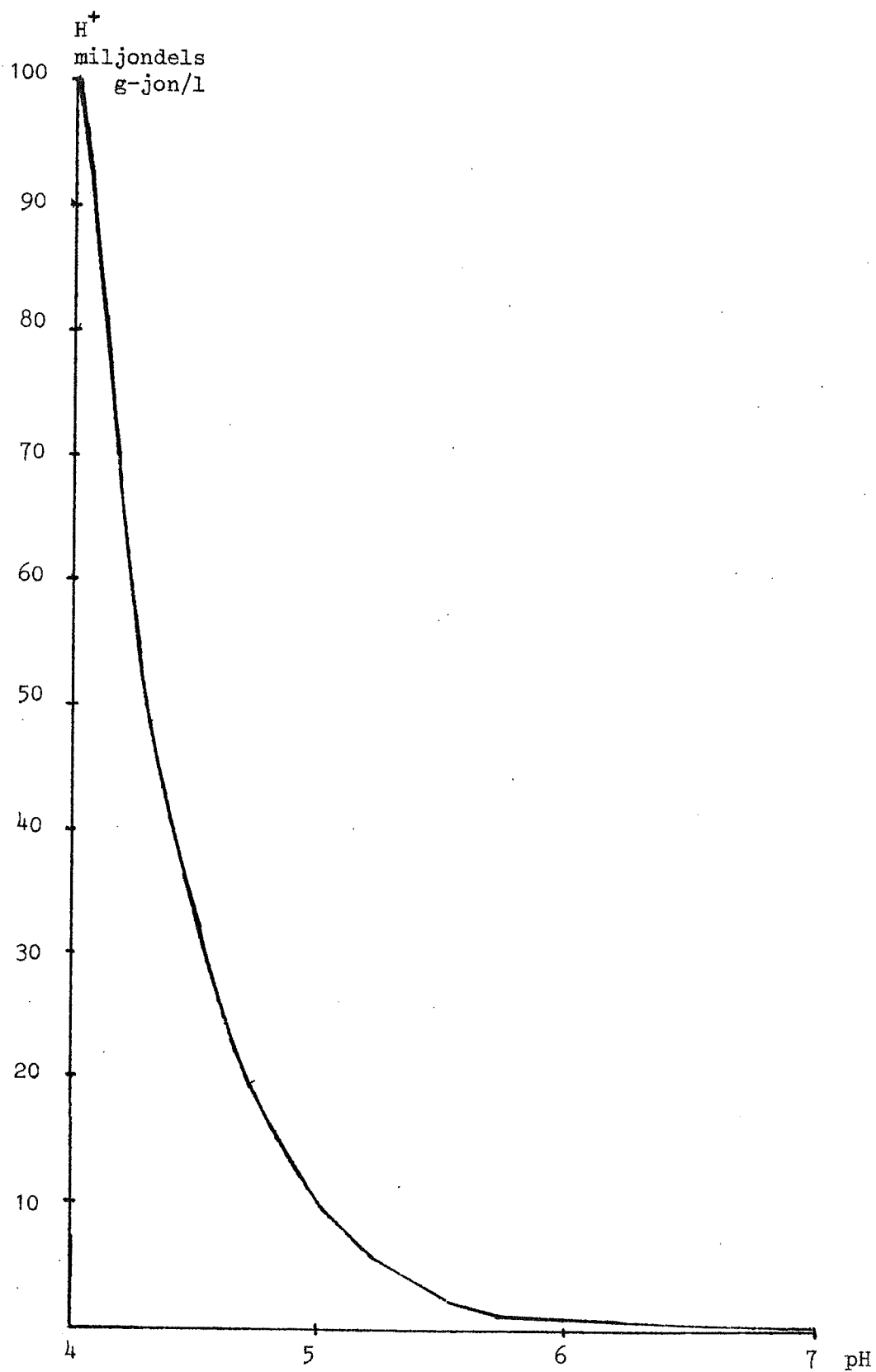
Figur 2 ger ett exempel på kalciummättnad av en vätemättad jord.

De två olika neutralisationskurvorna beskriver samma sak, nämligen hur mängden tillförd kalk påverkar surhetsgraden. I det övre diagrammet uttrycks surhetsgraden med pH-värdet som skalenhet. I det nedre anges istället surhetsgraden med vätejonkoncentrationen (gramjoner per l) som skalenhet.

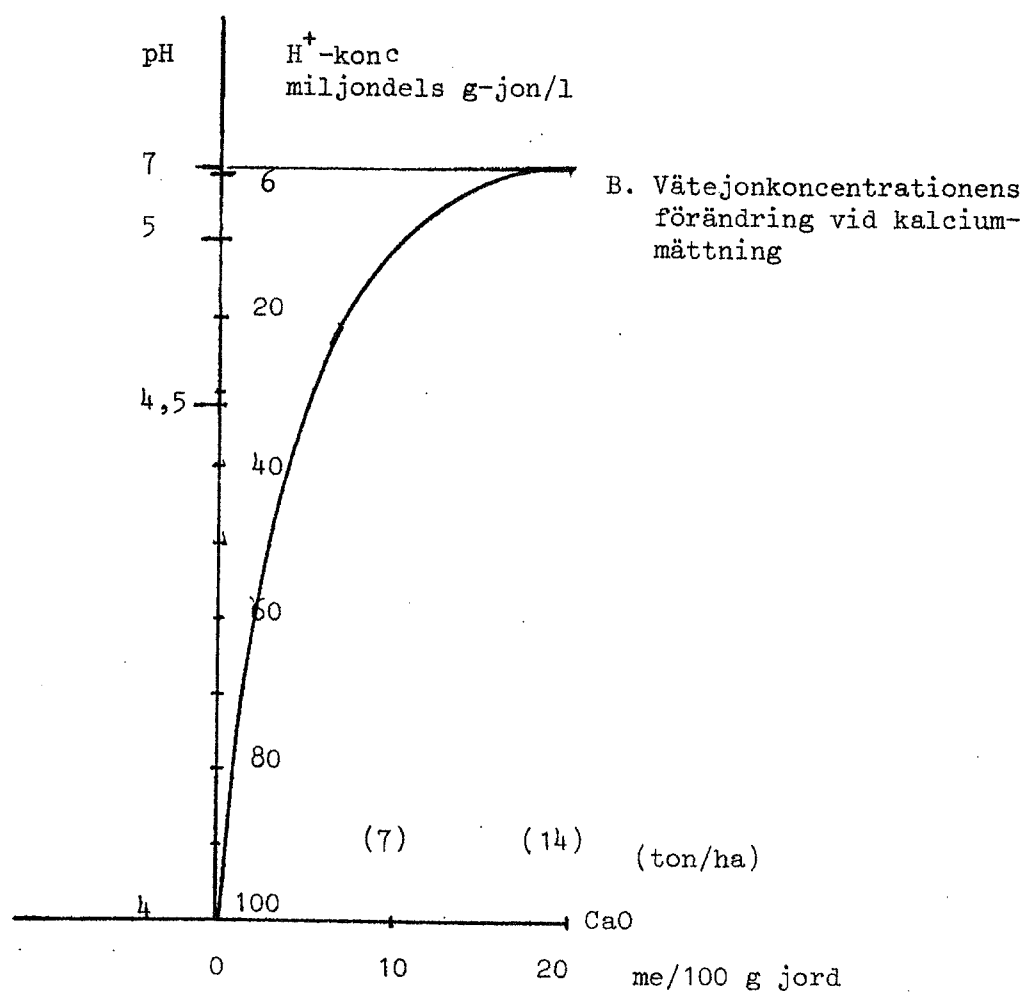
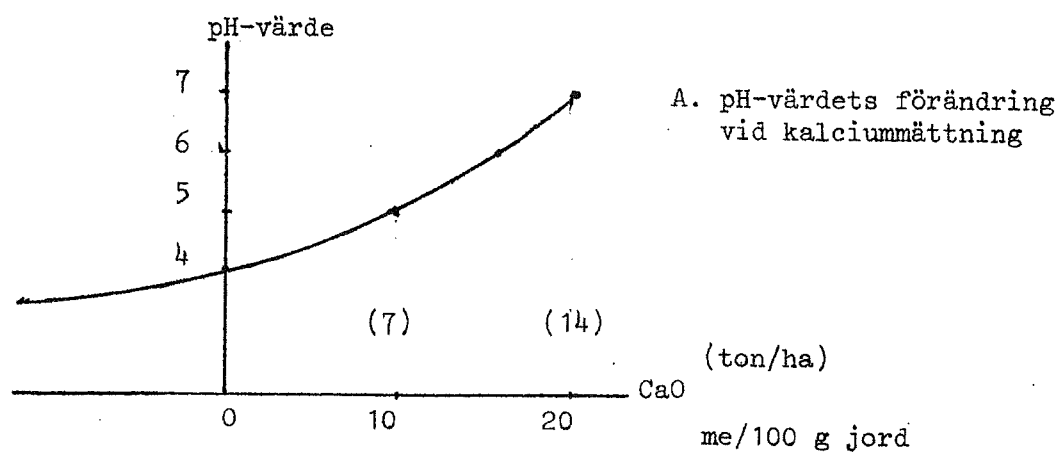
VAD ÄR LÄMPLIGT KALKTILLSTÅND?

Det säkraste måttet på kalkbehovet erhåller man genom att bestämma jordens basutbyteskapacitet och basmättnadsgrad eller genom att titrera jorden till önskat pH-värde.

Om kalciumjonerna upptar ca 70 procent av jordens katjonbindande förmåga (katjonutbyteskapacitet vid pH 7), anses kalktillståndet vara tillfredsställande för fastmarksjord (Jansson, 1968). Övriga metalljoner (magnesium, kalium m fl) bör då uppta 10-15 procent av utbyteskapaciteten, vätejonerna 15-20 procent och pH-värdet är 6-6,5. Lerjordarnas struktur gynnas dock av en högre kalciummättnadsgrad, särskilt om den överstiger 100 procent (pH högre än 7).



Figur 1. Sambandet mellan pH-värde och vätejonkoncentration.



Figur 2. Exempel på kalciummättning av vätemättad jord.

Sand- och mojordar bör ha något lägre kalciummättnadsgrad än lerjordar. De bör ha ett pH-värde på ca 6. Vid högre pH-värde uppträder ofta manganbrist på de lätta jordarna, vilket är mindre vanligt på de styva jordarna.

På organogena jordar anses kalktillståndet tillfredsställande om pH-värdet är 6 eller högre, eller om nettokalkmängden uppgår till minst 6 ton uttryckt som CaO per ha. Nettokalkmängden anger skillnaden mellan den totala kalciummängden i jorden och den mängd, som beräknas åtgå för att neutralisera den svavelsyra, som kan bildas av jordens svavel. ($\text{CaO} = \text{Ca} \times 1,4$).

På de starkt svavelhaltiga jordarna kan emellertid nettokalkmängden ge en missvisande bild av kalkbehovet. Vi har m a o inte löst kalkningsproblemen på dessa jordar. De har under många år inte tillskrivits någon större betydelse i svenskt jordbruk och har följaktligen blivit styvmoderligt behandlade i forsknings- och försöksverksamheten. På samma sätt förhåller det sig med de svavelhaltiga mineraljordarna, gyttjelerorna. Det finns i vårt land betydande arealer av jordar med gyttjeinslag, och problemen väntar på sin lösning.

KALKEN HAR MÅNGSIDIG VERKAN

Det är en rad kemiska, biologiska och fysikaliska faktorer, som vid förbättring av kalktillståndet i en kemiskt sur jord samverkar till att skapa en godartad rotmiljö för växterna. Den primära effekten är en ökad kalciummättnad och ett högre pH-värde. Härigenom påverkas sekundärt en rad processer.

Den biologiska verksamheten i jorden stimuleras. Nedbrytningen av organiskt material genom mikroorganismers medverkan gynnas. Därigenom mineraliseras en del växtnäringsämnen, som är bundna i den organiska substansen, främst kväve men även fosfor och svavel. Därmed ställs dessa växtnäringsämnen till växternas förfogande.

En stor del av den effekt man får de första åren efter kalkning kan ofta hänföras till en sådan kväveeffekt. Sedan mikrobiotet och mullhalten inställt sig i ett nytt jämviktsläge avtar denna omställningseffekt (Jansson, 1968).

Det organiska materialet ger med tiden värdefulla restsustanser (humusämnen) som har god förmåga att utbytbart binda katjoner och god vattenhållande förmåga. I kemiskt sura jordar intar svamparna en dominerande ställning bland de naturliga organismerna. De gynnar bildningen av en sämre typ av humus (råhumus).

Men kalkning har också andra verkningar på kortare och längre sikt. Samtidigt som vätejonkoncentrationen minskar (pH-värdet sigr), minskar också koncentrationen av vissa andra katjoner såsom aluminium, mangan, järn, beroende på att lösligheten hos dessa ämnens oxider minskar (Wiklander, 1963 a). Detta leder till att konkurrensen om de jonbindande kolloidytorna minskar och adsorptionen av andra katjoner, främst magnesium- och kaliumjoner, underlättas.

Samtidigt ökar dock förträngningen av dessa joner vid stigande kalciummättnad (Nilsson, 1974).

Genom att allt svagare sura grupper i kolloidkomplexen blir aktiverade och neutraliserade vid stigande pH-värde, så ökar vätejonernas förträngande förmåga. Nyttillkommande vätejoner (de som växtrötterna lämnar i utbyte vid näringsupptagningen, och de som bildas genom mikrobverksamhet eller tillförs via nederbörd) förtränger således "löst bundna" metallkatjoner. Dessa blir därigenom mer växttillgängliga men också mer benägna för utlakning (Wiklander, 1963 a).

Fosfor blir mera tillgänglig för växterna om kalktillståndet förbättras. I kemiskt sura jordar uppträder järn och aluminium i reaktionsbenägen, löslig form. Fosfor reagerar då med dessa metaller under bildning av mycket svårslösliga järn- och aluminiumfosfater och blir därmed mycket svårtillgänglig för växterna.

Extremt låga pH-värden kan även leda till aluminium- och manganförgiftning hos grödan.

Lerjordarnas struktur gynnas av ett gott kalktillstånd. Genom en livlig biologisk verksamhet bildas organiska produkter, som bakar samman jordpartiklarna, så att en gynnsam aggregatstruktur uppstår. Kalken påverkar också direkt aggregatbildningen genom en ökad kalciummättnad.

Överdriven kalkning medför en del nackdelar, speciellt på lätta jordar.

Manganets tillgänglighet minskar sålunda vid stigande pH-värde. Detta sker dels kemiskt, dels genom mikroorganismers medverkan. Manganbrist uppträder främst på lätta jordar men kan förekomma också på lerjordar. Ofta visar sig bristen först några år efter kalkning.

Risken för borbrist ökar också vid stigande pH-värde, åtminstone på kort sikt. På längre sikt gynnas däremot borförsörjningen av högt pH-värde genom att utlakningen motverkas.

Även för andra mikronäringsämnen (t ex koppar, järn och zink) minskar tillgängligheten vid stigande pH-värde. För molybden ökar dock tillgängligheten.

KALKNINGSMEDEL (KALK)

Kalciumföreningar (och magnesiumföreningar), som efter inblandning i jorden höjer kalciummättnadsgraden (och därmed pH-värdet) kan sägas vara kalkningsmedel. Ibland förväxlas kalk med kalcium. Kalcium ingår som beståndsdel i kalk och är ett viktigt näringsämne, som dock tillförs jorden även på andra vägar, t ex i många handelsgödselmedel. Huvuduppgiften för det kalcium som ingår i kalkningsmedlen är att förtränga vätet från kolloidytorna, så att vätet kan bindas av kalkens anjon.

Kalkningsmedlen kan kemiskt indelas i två huvudgrupper, nämligen kalciumkarbonat (kalkstensmjöl) och kalciumoxid (osläckt kalk), som vid släckning övergår i kalciumhydroxid (släckt kalk).

Kalciumoxid respektive hydroxid kallas vanligen "fri kalk" inom tekniken. Motsvarande benämning på kalciumkarbonat är kolsyrabunden kalk. Kalkverkan i marknadsvaran osläckt kalk anger inte bara innehåll av oxid utan även innehåll av karbonat och eventuellt andra syraneutraliserande ämnen omräknat i CaO. Osläckt kalk är mer energikrävande än kalkstensmjöl vid framställningen och blir därför troligen betydligt dyrare. Tabell 1 ger en översikt över kalkningsmedlen inkl. kalkhaltiga avfallsprodukter från olika industrier. CaO-värdet anger den syraneutraliserande förmågan uttryckt i kg kalciumoxid (CaO) per 100 kg kalkningsmedel. För en del av produkterna är andelen fri kalk angiven.

KALCIUMKARBONAT, CaCO_3

Kalciumkarbonat kan geologiskt indelas i urkalk, silurkalk och kritkalk. I finmalet tillstånd (kalkstensmjöl) anses dessa ha samma verkan per kg CaO.

Tabell 1. Kalkningsmedel och deras kalkverkan.

Kalkningsmedel	Syraneutraliserande förmåga i % CaO c:a	Fri kalk i % CaO c:a
Kalkstensmjöl (kalciumpkarbonat)	45-52	0
Osläckt kalk (kalciumpoxid)	70-90	70-90
Släckt kalk (kalciumphydroxid)	55-70	55-70
Dolomitkalk (kalciumpmagnesium- karbonat)	50	0
Filterkalk (biprodukt från cementfabriker, inneh. kalium)		
Hälleekis	40-50	20
Rättvik	40-50	10
Slamkalk (biprodukt från råsockerfabriker)	20-25	
Kalkmesa (biprodukt från tillv. av trämassa enl. sulfatmetoden)	30	
Bashaltig slagg från järn-, stål- och smältverk		
T-kalk (6 % Mg)	60	
K-kalk	55-60	20
Avesta slagg (finkr.)	50	15
Thomasfosfat	40	15-20

Om man övergår till grövre fraktioner (finkrossad kalksten) för att underlätta spridningen och framför allt för att så långt möjligt undvika besvärande "kalkrök", kan man möjligen vänta sig, att den "mjukare" kalken, t ex kritkalk, har snabbare verkan än de övriga. Persson (1974 b) har i någon mån belyst frågan. Han har i laboratorieförsök och kärleförsök jämfört kalkstensmjöl, fälld krita och dolomit i olika fraktioner. Han har bestämt dels karbonatets omsättning, dels jordens pH-värde och har även studerat kalkningens effekt på skördens storlek. Tre starkt sura jordar och en måttligt sur har använts. Kalkning har skett till 80 % av jordarnas kalciummättnadsgrad.

Den fällda kritan och kalkstensmjölet löste sig nästan helt inom loppet av en vecka. I mindre sura jordar måste man räkna med längre omsättningstid. Dolomiten löser sig långsammare, även om den är finmald. Efter 24 veckor har dock det mesta av den finmalda fraktionen omsatts. Av de grövre fraktionerna (upp till 1,5 mm) har ungefär hälften omsatts efter 24 veckor. Kalkningens effekt på skördens storlek har varit mycket god på de sura jordarna, och den finaste fraktionen av dolomit har gett lika gott resultat som kalkstensmjöl (i detta försök hade magnesium ringa effekt på skördens storlek). Tills vidare bör man på flertalet jordar inte räkna med full kalkeffekt av de grövre fraktionerna under den första vegetationsperioden. Detta är kanske trots allt av mindre betydelse, eftersom kalken har verkan på längre sikt (se rapport nr 76 från avd för växtnäringslära).

KALCIUMOXID (OSLÄCKT KALK), CaO

Under de första decennierna av 1900-talet användes nästan uteslutande osläckt eller släckt kalk inom jordbruket. Så småningom har kalkstensmjöl fått den större andelen av marknaden.

Tidigare släckte man vanligtvis den brända kalken före användandet genom att tillsätta vatten. Man spred alltså släckt kalk (kalciumhydroxid eller kalkhydrat). Numera sprids inom jordbruket bränd osläckt kalk (släckt kalk används endast för trädgårdsbruk). Den osläckta kalken släcks givetvis i jorden. Så småningom tar den upp kolsyra och övergår i karbonat. Kalken har alltså samma verkan i jorden oavsett den tillförs som bränd eller som släckt kalk.

I litteraturen (särskilt den äldre) påpekas ibland att osläckt och släckt kalk har en speciellt gynnsam inverkan på lerjordarnas struktur. Några försök som tillräckligt belyser denna fråga har man dock inte haft att hänvisa till tidigare. Under de senaste åren har man utfört en del försök vid Lantbrukshögskolan för att studera kalkens struktureffekt. Mer om detta längre fram.

Den syraneutraliserande (pH-höjande) effekten per kg CaO kan anses vara densamma hos osläckt resp släckt kalk som hos kalkstensmjöl - om jordens pH-värde understiger 6. Visserligen har de förstnämnda kalktyperna en något snabbare effekt, men detta torde sakna praktisk betydelse. Vid uppkalkning av en sur jord till ett pH-värde på 6 eller strax över - dvs till det kalktillstånd, som anses lämpligt i flertalet fall från markkemisk och markbiologisk synpunkt - så kan man alltså utgå ifrån att de olika kalktyperna har samma pH-höjande verkan per kg CaO. Vill man däremot kalka upp en lerjord till ett pH-värde över 7 i syfte att förbättra strukturen, bör man använda osläckt kalk. Osläckt kalk är nämligen något löslig, kalkstensmjöl däremot mycket svårlöst vid höga pH-värden. Vid pH-värden över 6 kan kalkstensmjölet ligga oupplost i flera år (Wiklander, 1968).

DE PERMANENTA KALKNINGSFÖRSÖKEN

Kalkningsförsök utfördes i vårt land redan under 1800-talet, och under 1900-talet har sedan ett stort antal försök utförts. Av resultaten kan man utläsa ett klart samband mellan jordens pH-värde och effekten av kalkning. Dessa äldre försök var emellertid inte planlagda så, att de gav kvantitativa besked om kalkbehovet. Man generaliserade kalkgivorna, så att dessa inte svarade mot de enskilda jordarnas behov för att uppnå en viss kalciummättnad. Detta ledde i många fall till felbedömning av kalkningens betydelse. Dessutom var försöken i regel kortvariga (3 å 4 år). De speglade således bara omställningseffekterna men inte kalkens verkan på längre sikt.

En bättre bild av kalkens verkan på längre sikt ger dock de långvariga kalkningsförsöken på lerjord vid Lanna försöksgård i Skaraborgs län (Perman, 1949; Ohlsson, 1971). Det äldsta försöket anlades 1929 övriga under de följande åren fram till 1941. Kalken tillfördes då försöken startades och har fortfarande verkan. Kalkeffekten har förutom i en skördeökning visat sig i att jordens innehåll av lättlöslig fosfor ökat. Mullhalten (5-6 procent) har inte ändrats. Humusens kvalitet synes ha påverkats i gynnsam riktning genom höjning av den katjonbindande förmågan (Wiklander och Koutler-Andersson, 1959) Kalken synes även ha förbättrat jordens struktur (Wiklander, 1963 b)

Under 1960-talet startades vid Lantbrukshögskolan en serie fältförsök, de s k permanenta kalkningsförsöken. I dessa försök har kalkningen utförts med ledning av jordarnas utbyteskapacitet och kalciummättnadsgrad. Kalkgivorna för respektive kalkningsnivåer har sedan beräknats individuellt för varje försöksplats.

FÖRSÖKSPLAN

I försöken prövas två mullräämnesnivåer, tre kalkningsnivåer och tre växtnäringsnivåer.

Mullräämnesnivåer:

- A. Skörderesterna återföres
- B. Skörderesterna bortföres

Kalkningsnivåer:

- I. Utan kalk
- II. Uppkalkning motsvarande 70 % av Ca-utbyteskapaciteten och underhåll av denna nivå.
- III. Uppkalkning motsvarande något mer än 100 % av Ca-utbyteskapaciteten och underhåll av denna nivå

Växtnäringsnivåer:

- 1. 30 kg/ha N. Halvt underhåll av P och K
- 2. 60 kg/ha N. Helt underhåll av P och K
- 3. 120 kg/ha N. Dubbelt underhåll av P och K

Till stråsäd med vallinsådd ges 20, 40 och 80 kg/ha N.

Kalken har tillförts som kalkstensmjöl.

Försöken är avsedda att ligga under en lång följd av år. De är sju till antalet och fördelade över hela landet från Umeå i norr till Hörby i söder. Försöksplatserna representerar olika kalktillstånd och även olika jordarter.

Följaktligen krävs olika kalkmängder på de olika försöksplatserna för att uppnå önskad kalciummättnadsgrad.

I slutet av 1940-talet startades ett par kärlförsök, som fortfarande pågår och som är föregångare till de permanenta kalkningsförsöken. De utförs enligt liknande principer som dessa (Jansson, 1968).

I kärlförsöken kunde man direkt konstatera en tydlig skördeökning efter kalkning. Klart högre skörd erhöles vid den större kalkgivan (kalciummättnadsgrad = 100 procent) än vid den lägre (kalciummättnadsgrad = 70 procent) under en femårsperiod. Så småningom blev istället skörden lägre vid den högsta kalciummättnaden. Orsaken var manganbrist (trots mangan gödsling).

De första permanenta försöken startades 1962 och det sista 1968. Resultaten, som hittills speglar omställningseffekterna, kan ännu inte lämna något slutligt besked om kalkens långtidsverkan. Resultaten ger dock en god belysning av kalkeffekten de första 5 å 10 åren efter kalkning på jordar med olika utgångsläge beträffande kalktillståndet. Samtliga jordar har ett pH-värde under 6 i okalkat tillstånd. De största kalkeffekterna har erhållits vid Eckerud där kalktillståndet var mycket dåligt före kalkning. Men även på de övriga platserna har kalkeffekten varit uppenbar. Skördeökningen var under de första åren i genomsnitt för alla försök och växtnäringens nivåer störst för den största kalkgivan (Persson, 1970). Skillnaden i skördeutbyte mellan denna och den mindre kalkgivan var dock liten och tenderar under de senaste åren att svänga till den mindre givans fördel. Den högre kalkgivan är därför knappast ekonomisk. Resultaten varierar dock mellan år och grödor.

Skördeökningen för kalkning avtar med ökad gödsling, vilket bl a beror på att mineraliseringen av kväve efter kalkning får mindre betydelse vid ökad kvävegödsling. Jordens innehåll av fosfor (P-AL) ökar med kalkningen, och bortförseln av fosfor ökar också. Manganhalten i halmen sjunker kraftigt med ökad kalkgiva (Persson, 1974 a).

Resultaten från kärlförsök och fältförsök överensstämmer alltså väl. Omställningen till ett nytt jämviktsläge i jorden går dock snabbare i kärll än under fältförhållanden.

I de här omtalade försöken har inte utförts några strukturstudier. I vad mån den högre kalciummättnaden förbättrat strukturen på lerjordarna (med eventuell betydelse för skörderesultaten) framgår därför inte av försöken. Som kalkningsmedel har endast använts kalkstensmjöl.

KALKENS STRUKTUREFFEKT

Av olika anledningar har lerjordarnas strukturproblem tilldragit sig allt större intresse under senare år.

Kalkning kan förbättra dessa jordars struktur och medverka till att bevara en god struktur. Speciellt visar sig struktureffekten vid uppkalkning till ett pH-värde över 7, dvs till en kalciummättnad av 100 procent eller mer.

I det år 1929 anlagda kalkningsförsöket vid Lanna har en del strukturstudier utförts (Wiklander, 1963 b). Den största kalkgivan, 12 ton (CaO) per ha som släckt kalk vid anläggningen, höjde pH-värdet från 5,5 till 7,5. Vid aggregatanalys 1957 visade sig denna kalkgiva fortfarande ha en tydligt påvisbar effekt på jordens struktur.

Dessutom har Wiklander i lysimeterförsök påvisat en tydlig struktureffekt ett år efter kalkning med kalkstensmjöl. Försöksjorden var en mellanlera med pH 5, som kalkades upp till pH över 7. Wiklander betonar, att kalkning av

kemiskt sura jordar påverkar strukturen i gynnsam riktning, men att kalkens effekt i detta avseende synes variera år från år på grund av skiftande väderleksbetingelser och olika grad av frostsprängning.

I sydligare länder, där frosten inte luckrar lerjordarna som hos oss, har kalkens struktureffekt måhända stor betydelse. Uppkalkning till pH-värden över 7 rekommenderas ofta.

För att belysa struktureffekten under svenska förhållanden har en del undersökningar utförts vid avd för lantbrukets hydroteknik vid Lantbrukshögskolan sedan mitten av 1960-talet. Försöken är helt inriktade på att belysa kalkens struktureffekt på lerjordar och är utförda dels som laboratorieförsök, dels som fältförsök. Nyligen har dessutom startats en del fältförsök i samarbete mellan avdelningarna för lantbrukets hydroteknik och växt-näringslära. Dessa försök är avsedda att mer allsidigt belysa den osläckta kalkens och kalkstensmjölets verkan, dvs både från markfysikalisk och mark-kemisk synpunkt.

STRUKTURBEFRÄMJANDE PROCESSER

Kalken har dels en indirekt, biologiskt betingad struktureffekt och dels en direkt kemisk-fysikalisk struktureffekt. Den biologiska struktureffekten beror främst på att mikrobverksamheten stimuleras av ett gott kalktillstånd. Förutsättningen är dock en fortlöpande tillförsel av omsättbar organisk substans. Vid omsättningen av denna bildas mellanprodukter (slemsubstanser) som bakar samman jordpartiklarna till aggregat. Restsubstanserna (humusämnen) fungerar också som bindmedel vid aggregatbildningen, förutom att de har god vattenhållande förmåga samt god förmåga att utbytbart binda katjoner. Daggmaskarna har genom sitt grävande en välgörande effekt på lerjordarnas struktur. De trivs bäst i jordar med gott kalktillstånd.

Den kemisk-fysikaliska struktureffekten anses bero på följande processer (Berglund, 1971):

Kalciummättnings
Cementerings och
Murbruksbildning (karbonatbildning)

Om kalciummättnaden är låg kan det vattenskikt, som omger den enskilda lerpartikeln, vara ganska mäktigt, och partiklarna som i regel är skivformade, kan lätt förskjutas i förhållande till varandra. Vattnet fungerar som "smörjmedel", leran verkar smetig. Genom att uppta och avge vatten har leran stor benägenhet att svälla och krympa. Vid ökad kalciummättnad minskar vattenskiktets mäktighet och avståndet mellan partiklarna. Kalciumjonerna verkar utflockande och kan genom "bryggbildning" binda samman partiklarna till aggregat. Smetigheten försvinner, leran blir gryning. Särskilt i alkalisk miljö är aggregatbildningen påtaglig.

I starkt sura jordar kan aluminiumjonerna - som då kan uppträda i hög koncentration - befrämja en hög aggregatstabilitet (Schachtschabel, 1967). Om en styv lera har pH-värdet 5, kan den vid en liten pH-höjning visa ökad benägenhet för slamning. Detta kommer sig av att den stabiliserande effekten av aluminiumjonerna minskar, medan kalciumjonernas aggregerande verkan når sitt maximum först vid alkalisk reaktion.

Cementerings innebär att kalcium vid tillförsel av bränd eller släckt kalk förenar sig med markens kiselföreningar under bildning av kalciumsilikater. Dessa föreningar är starka bindmedel, som förstärker den effekt som kalciummättningen åstadkommer. Aggregaten blir större och stabilare.

Vid murbruksbildning tar kalciumhydroxid upp kolsyra och övergår till kalciumkarbonat. I samband därmed sker en sammanbakning av lerpartiklarna till aggregat. Processen bidrar liksom cementeringen till att öka aggregatens storlek och stabilitet.

Med strukturbefrämjande processer avser vi i allmänhet sådana processer, som gynnar bildningen av stabila aggregat. Aggregatbildningen i sin tur påverkar positivt brukbarheten och andra fysikaliska egenskaper hos jorden.

I det följande skall nämnas något om resultaten från de försök som utförts vid avd för lantbrukets hydroteknik.

LABORATORIEFÖRSÖK

I undersökningarna har ingått följande kalkningsmedel: bränd kalk, släckt kalk och kalkstensmjöl, i vissa försöksmoment även cement. Mängden tillförd kalk (CaO) är 0, 0,25, 1,0, 5,0 och 10,0 procent av jordvikten. Dessa mängder skulle omräknat på matjordslagret (20 cm) motsvara ungefär 0, 6, 25, 125 och 250 ton CaO per ha. Kalkningsmedlen har prövats på fyra testjor-
dar av olika styvlek och med pH-värden mellan 6 och 7. De effekter som uppnåtts genom behandlingen med de olika kalkningsmedlen har studerats med hjälp av följande tester:

1. Mikroaggregatanalys
2. Bärighetsmätning
3. Brotthållfashet
4. Krympningsmätning
5. Bestämning av volymen, grovporer, finporer och mikroporer
6. Genomsläpplighet för vatten

Genom tillsats av bränd kalk, släckt kalk eller cement har lerans aggregering ändrats - aggregaten har blivit större och stabilare. Vid tillsats av kalkstensmjöl har denna effekt uteblivit, även vid så långa reaktionstider som upp till ett år. Inget av kalkningsmedlen har nämnvärt påverkat aggregeringen på mjälajorden. Förutom aggregatbildningen har man vid de olika testerna kunnat uppmäta andra fysikaliska effekter, då leran behandlats med osläckt eller släckt kalk. Kalkstensmjöl har haft ringa eller ingen verkan (Berglund, 1971).

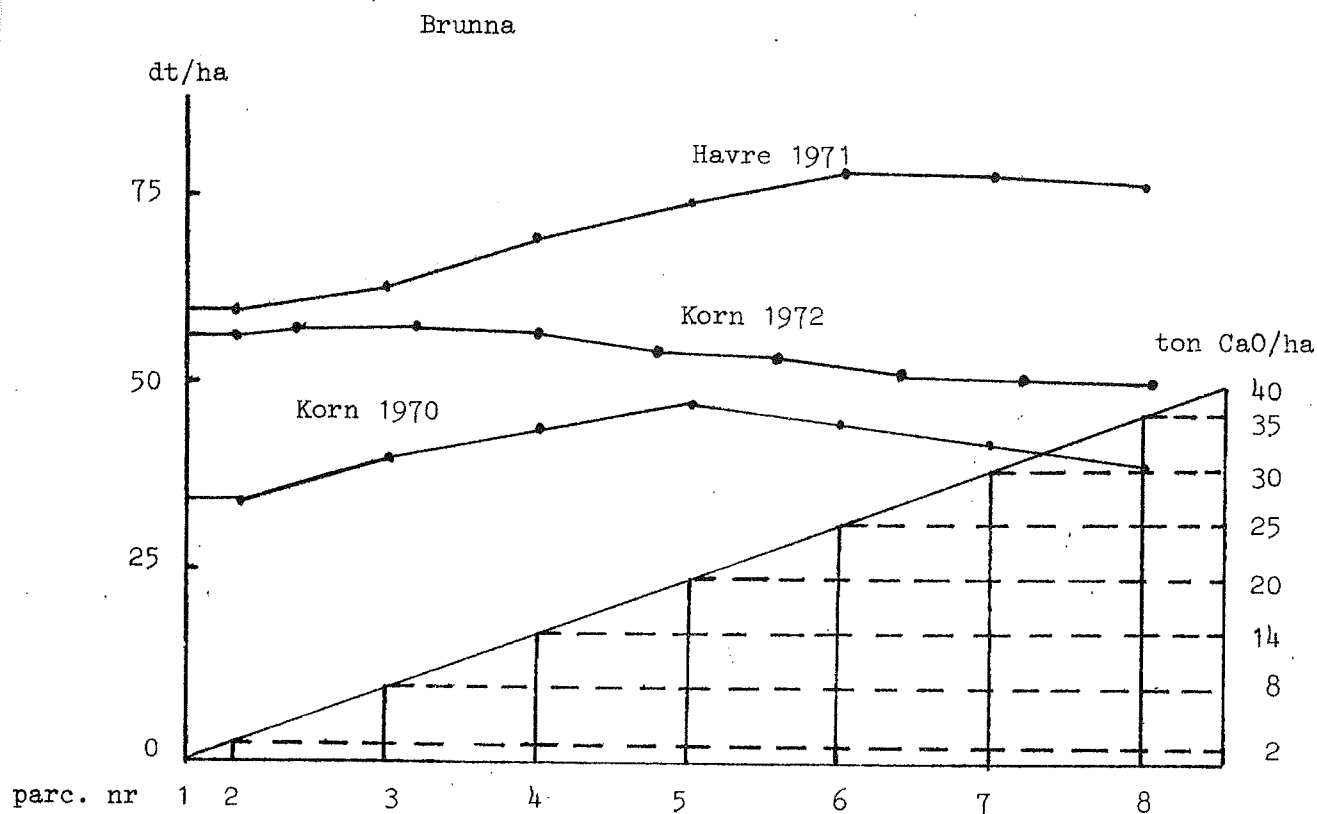
FÄLTFÖRSÖK

I fältförsöken har kalkgivorna varierat mellan 0 och 40 ton CaO per ha. Endast bränd kalk har använts. Kalken har inbrukats väl i matjorden omedelbart efter spridningen - en viktig förutsättning. Av försöksjordarna är de flesta mellanlera - styv lera, men även lättare lerjor-
dar förekommer. Jordarnas pH-värden ligger i regel mellan 6 och 7.

Av resultaten kan bl a sägas följande:

Kalkningen har i regel getten klar skördeökning. Skörden har ökat med kalkningsintensiteten, i några fall upp till de mycket stora kalkgivorna.

Detta kan dock inte enbart vara en struktureffekt, utan givetvis också en omställningseffekt. Mineraliseringen av kväve har kraftigt ökat med kalkningsintensiteten. Det kan dessutom tänkas att struktureffekten påverkat mineraliseringen och även underlättat kväveupptagningen. I vissa fall har liggsäd inträffat (se figur 3).



Figur 3. Diagram över skörderesultat från strukturförsöket vid Brunna i Västmanland. År 1970 förekom liggsäd endast på de starkast kalkade delarna av försöket. 1971 ingen liggsäd. 1972 uppträdde ligg-såden redan vid midsommartid på de starkast kalkade delarna av fältet och bredde sedan ut sig mer och mer. Vid tiden för skörd fanns stående gröda endast på de helt okalkade delarna av försöket.

Kalkningen har påverkat strukturen på de styvare lerorna, men ej på de lättare. På några av de styva jordarna har effekten varit relativt liten. I vissa fall har, speciellt vid de högsta kalkgivorna, strukturförbättringen varit synbar för blotta ögat (bättre grynighet, mindre krympning). Även vid mindre kalkgivor har man ibland konstaterat en viss struktureffekt. Den har då visat sig i ett minskat dragmotstånd (figur 4).

Effekterna framträder tydligast om jorden är uttorkad. Vidare har jordarnas upptorkningsgrad vid kalkens inbrukning stor betydelse. Om jorden är våt och ältas, blir struktureffekten sämre än om jorden reder sig väl (detta kan vara en av orsakerna till att struktureffekten uteblivit eller varit obetydlig på vissa jordar).

VAD SÄGER STRUKTURFÖRSÖKEN?

Vid ökad kalkgiva ökar kalciummättnaden (resp. pH-värdet) och därmed kalciumjonernas utflockande och aggregerande effekt.

Vid de stora mängder kalk som tillförts speciellt i laboratorieförsöken stiger pH-värdet snabbt över 7. De övriga strukturbefrämjande processerna, cement- och murbruksreaktionerna, äger rum i alkalisk miljö. Med stora givor osläckt eller släckt kalk kan man tillfälligt höja pH-värdet i en jord till över 12. Med kalkstensmjöl kan pH-värdet drivas upp till högst 8 och lösligheten för kalkstensmjölet är obetydlig redan vid pH under 7. Här ligger en stor del av förklaringen till den tydliga effekt, som konstaterades vid stora givor av osläckt och släckt kalk och till den ringa effekten av kalkstensmjöl vid de olika testerna i laboratorieförsöken.

I fältförsöken har endast osläckt kalk använts. De tydliga struktureffekter, som kunnat konstateras vid de stora kalkgivorna, bör kunna få samma förklaring som i laboratorieförsöken.

De struktureffekter, som visat sig även vid förhållandevis små kalkgivor, 3-5 ton (CaO) per ha, får ses mot den bakgrund, att försöksjordarna genomgående har pH-värden mellan 6 och 7, i vissa fall t o m över 7. De har m a o vad man på växtnäringsmässiga grunder brukar kalla ett gott kalktillstånd. Man kan då med relativt små kalkmängder åstadkomma en alkalisk miljö, som gynnar aggregatbildningen. Gamla erfarenheter av att kalk gynnar strukturen kan förmodligen förklaras på samma sätt. Det är också helt naturligt, att osläckt eller släckt kalk i dessa pH-lägen har snabbare och effektivare verkan än kalkstensmjöl, som är mycket svårlöst.

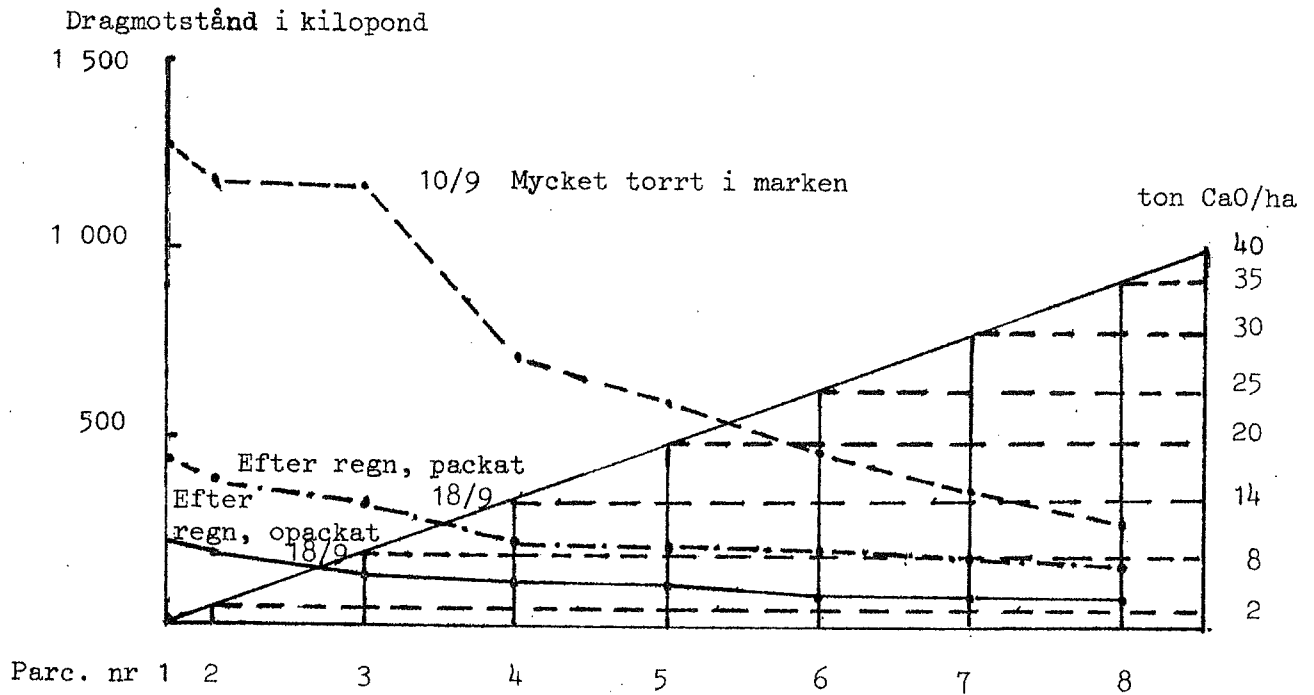
Lerjordar med låga pH-värden (under 6), som av flera anledningar behöver en uppkalkning, ingår alltså inte i dessa försök. Vill man åstadkomma en påtaglig strukturförbättring genom kalkning på sådana jordar, bör även dessa troligen uppkalkas till pH över 7 för att de strukturbefrämjande processerna skall kunna verka. Givetvis krävs betydligt större kalkmängder i sådana fall, och osläckt eller släckt kalk har den snabbaste och bästa effekten.

Däremot är det tveksamt, om den osläckta respektive släckta kalken har någon bättre struktureffekt än kalkstensmjöl på lerjordar med låga pH-värden, om de kalkas upp till pH-värden mellan 6 och 7 (dvs till en kalciummättnad under 100 procent). Den pH-höjande effekten torde här vara densamma för kalkstensmjöl som för osläckt och släckt kalk. Därmed bör också kalciumjonens utflockande och aggregerande verkan vara densamma. Cement- och murbrukseffekterna torde sakna betydelse, eftersom dessa förutsätter en alkalisk miljö.

Det finns alltså vissa skäl, som talar för att osläckt eller släckt kalk inte har någon bättre struktureffekt än kalkstensmjöl vid pH-värden under 7 (efter kalkning).

Brunna

Dragkraftsmätning 1970



Figur 4. Av diagrammet framgår att strukturens inverkan på jordens hållfästhet lättast registreras under torra förhållanden. Efter regn blir skillnaderna i dragmotstånd små. Dragmotståndet registreras på så sätt att en bill kopplad till en fjädervåg köres fram i marken på 15 cm:s djup, varvid det totala motståndet i kilopond mot billen registreras.

Vi bör dock beakta att mekanismen vid lerjordarnas strukturuppbyggnad inte är helt klarlagd. Frågan om de olika kalktypernas struktureffekt på kemiskt sura lerjordar får därför lämnas öppen, så länge som vi saknar försök på sådana jordar.

KALKBEHOV OCH KALKNING

FASTMARKSJORDAR

Fastmarksjordarnas pH-värde bör som regel ligga mellan 6 och 7. På svagt leriga och lerfria jordar bör pH-värdet inte nämnvärt överstiga 6. Manganbrist är vanligare på dessa jordar än på lerjordar som gärna kan ha ett pH-värde på 6,5-7. Mellanleror och styvare leror kan kalkas till ett pH-värde över 7 i vissa fall, nämligen där strukturen behöver förbättras. Manganbrist kan avhjälpas genom besprutning, t ex i samband med ogräsbesprutning. För att bedöma kalkbehovet är det inte tillräckligt att känna till jordens pH-värde. Man måste också ta hänsyn till jordart och mullhalt.

Riktgivor för kalkning anges i tabell 2. Vid kalkning i syfte att höja pH-värdet i kemiskt sura jordar till lämplig nivå (6-7) har kalkstensmjöl och osläckt kalk samma syraneutraliserande verkan, räknat per kg CaO. Priset per kg CaO utspritt bör avgöra, vilket kalkningsmedel man skall välja.

Kalken behöver i detta fall inte nedbrukas omedelbart efter spridning. Den kan spridas oberoende av årstid, då bärigheten är god. Spridning vintertid bör helst ske på frusen barmark. Ett tunt snötäcke kan få förekomma vid spridning på plan mark.

Om man med kalkning på lerjordar speciellt eftersträvar en omedelbarstrukturförbättring, bör man använda osläckt kalk. Där åtgärden övervägs, bör den till att börja med prövas på en liten areal, t ex en del av ett skifte. Om försöken utfaller väl, kan sedan kalkning övervägas på större arealer.

Den rekommenderade kalkgivan är 5-10 ton CaO per ha som osläckt kalk. Kalken måste inarbetas omedelbart och omsorgsfullt när jorden reder sig. Den nämnda givan är avsedd för jordar med pH-värden mellan 6 och 7 före kalkning. Vid lägre pH-värden (under 6) bör man räkna med större kalkgiva för att åstadkomma samma verkan.

För att en påtaglig struktureffekt skall erhållas, bör troligen uppkalkning ske till ett pH-värde betydligt över 7. Ju mer kalk, desto bättre struktureffekt men samtidigt större risk för mangan- och borbrist.

Vid uppkalkning av sura lerjordar till ett pH-värde mellan 6 och 7 har osläckt kalk inte någon påvisadstrukturbefrämjande verkan, som gör den överlägsen kalkstensmjöl under samma betingelser.

ORGANOGENA JORDAR

Riktlinjer för kalkning anges i tabell 3. Organogena jordar med pH-värden 6 eller högre behöver i regel inte kalkas. Ligger värdet under 6 kan nettokalkmängden vara vägledande för bestämning av kalkbehovet.

UNDERHÅLLSKALKNING

Kalktillståndet försämras med tiden. Det är framför allt försurning, dvs syrabildning och syratillförsel, som i samverkan med uttvättning åstadkommer detta. Genom mikrobaktiviteten i marken bildas vid sidan av kolsyra starka syror. Organiska kväveföreningar övergår i salpetersyra och organiska svavel-

Tabell 2. Kalkningsråd för fastmarksjordar

Jordart	pH	Kalkbehov ton (CaO) per ha i pH-höjande syfte, kalkstensmjöl, släckt eller osläckt kalk ¹⁾	för strukturförbättring, endast släckt eller osläckt kalk
Lerjordar	5,5	4-6	
	6,0	2-3	5-10
	6,5	-	5-10
Svagt leriga	5,5	2-3	-
och lerfria jordar	6,0	-	-

1) större kalkgiva på mullrik än på mullfattig jord

Tabell 3. Kalkningsråd för organogena jordar

pH-värde	Nettokalkmängd ton/ha CaO	Kalkbehov
<u>Under 6</u>		
gyttjor och	under 2	särskild bedömning
gyttjejordar	2-3	upp till 4 ton/ha CaO
	4-6	upp till 1-2 ton/ha CaO
Övriga organogena jordar	under 4	2-3 ton/ha CaO
<u>Över 6</u>		
alla organogena jordar		tills vidare ingen kalk

föreningar i svavelsyra. En del av handelsgödselns ammoniumkväve övergår också i salpetersyra, och svavel faller ned från luften och bildar svavelsyra.

Den försurande effekten i urea och flytande ammoniak motsvarar en kalkförlust på ca 1 kg CaO per kg kväve och i de sammansatta gödselmedlen 1-2 kg CaO per kg kväve beroende på andelen ammoniumkväve.

Den ökade användningen av ammoniumhaltiga gödselmedel har med åren ökat syrabildningen i våra jordar, likaså det ökade svavelmedfallet. Den sammanlagda kalkförlusten genom försurning och utlakning kan uppskattas till 100 å 200 kg CaO per ha och år.

Försurningen motverkas genom underhållskalkning. Det kan röra sig om 1 å 2 ton CaO per ha vart 5:e eller 10:e år, eller när pH-värdet tenderar att sjunka. Kalkverkan har också thomasfosfat (40 kg CaO per 100 kg gödsel). Svag kalkverkan (0,5-1 kg CaO per kg kväve) har kalksalpeter och chilesalpeter. Det sistnämnda har dock på grund av sitt natriuminnehåll en negativ effekt på jordens struktur.

Litteratur

- Berglund, G. 1971. Grundförbättring, 2. Kalkens inverkan på jordens struktur.
- Jansson, S.L. 1968. GKS skriftserie, 10. Kalken i 1960-talets jordbruk.
- Nilsson, K.O. 1974. Rapporter från avdelningen för växtnäringslära, 77. Kärnförsök med kalk och stigande givor av kalium.
- Ohlsson, S. 1971. Skaraborgs läns hushållningssällskaps tidskrift, 2. Kalkens långtidsverkan.
- Perman, O. 1949. Jordbruksförsöksanstalten, Lantbrukshögskolan. Särtrycks-serien nr 36. Jordbrukets kalkfråga.
- Persson, J. 1970. Växtnäringsnytt, 4. De permanenta kalkningsförsöken.
- Persson, J. 1974 a. Rapporter från avdelningen för växtnäringslära, 72. De permanenta kalkningsförsöken - en fyraårssammanställning.
- Persson, J. 1974 b. Rapporter från avdelningen för växtnäringslära, 76. Dolomitens kalk- och magnesiumeffekt. En orienterande undersökning.
- Schachtschabel, P. (översättning av Johansson, O.) 1967. Växtnäringsnytt, 2. pH-värdets inflytande på jordens struktur och på omsättningen av gödselphosfor i jorden.
- Wiklander, L. 1963 a. Jord - gröda - Djur. Den odlade markens kemiska egenskaper.
- Wiklander, L. 1963 b. Minnesskrift utgiven av Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien i anslutning till Akademiens 150-årsjubileum 28 jan 1963. Kalkens betydelse för markens struktur.
- Wiklander, L. 1968. Grundförbättring, 3. Om bestämning av markens kalkbehov.
- Wiklander, L. och Koutler-Andersson, E. 1959. Grundförbättring, 1. Kalkens markeffekt III. Kemiska undersökningar av ett långvarigt kalkningsförsök på skifte IV vid Lanna.

Denna serie av stencilerade rapporter utges från avdelningen för växtnäringslära vid Lantbrukshögskolans institution för markvetenskap. Serien utkommer i fri följd och innehåller material, som inte alls eller först i ett senare sammanhang ges ut i tryck. Som exempel kan nämnas preliminära undersökningsresultat och försökssammansättningar, primärmaterial och tabellbilagor till tryckta publikationer samt rapporter, meddelanden o. d., som av olika skäl vänder sig endast till en begränsad grupp av läsare. Serien finns tillgänglig vid avdelningen och kan i mån av tillgång erhållas därifrån.

Adress: Avdelningen för växtnäringslära, Lantbrukshögskolan, 750 07 UPPSALA 7.