

Regionala aspekter på miljöstörningar

Biträdande professor Svante Odén

Dr. Svante Odén er biträdande professor ved Institutionen för markvetenskap, Avdelingen för marklära, Lantbruks-högskolan, Uppsala.

Etter foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene 13. februar 1969 i Oslo.

Med detta föredrag vill jag peka på och genom exempel belysa de dimensioner som förändringarna i vår miljö fått. Vad som förr inträffade inom begränsade regioner, har nu antagit globala mått. Det är ju välkänt att bristen på vatten är framträdande överallt på jorden och att tillgången på odlingsbar mark krymper allt mer, samtidigt som behoven bara ökar. Den kraftiga ökningen av produktionen t. ex. i Nordamerika har redan medfört ett betydande uttag av resurskapitalet i form av grundvatten, växtnäringssämnen och humus. Olägenheterna med avseende på en varaktig produktion har också visat sig.

Eftersom vi lever i nuet har vi svårt att uppleva tidsskalan i dessa förlopp. En sammanställning av fakta pekar emellertid på en våldsam acceleration och snabbt stigande trender av vitt skilda sakförhållanden. Obegränsad handlingsfrihet och ekonomisk kortsynthet förstör på sikt livsbetingelserna för kommande

generationer. Det jag i detta sammanhang vill fästa uppmärksamheten på är följdverkningarna av den mycket omfattande och ofta okontrollerade exploateringen av naturresurserna. I den samhällliga och privatekonomiska kalkylen beaktar man inte i tillräcklig grad de dolda kostnader, som den industriella produktionen och den kemiska alternativteknologien för med sig. Räkningen för dessa dolda kostnadsposter måste emellertid en gång betalas, vare sig det blir i denna generation eller nästa. Ju längre vi väntar desto dyrare kommer det att bli.

Forna tiders miljöproblem i form av jorderosion, försaltade marker och vattenbrist har vi sålunda tagit i arv och förstorat — icke löst. Men vi har dessutom ökat belastningen på naturkapitalet ytterligare genom en serie mer eller mindre allvarliga miljöföroreningsproblem. En lista för Europa omfattar bl. a. följande: Atmosfärskemiska störningar med försurning och eutrofiering som följd, förbrukning och nedsmutsning av Europas sötvattentillgångar, eutrofiering av Östersjöns vatten med svavelvätebildning som följd, kom-

munala utsläpp i de danska sunden med åtföljande syreminskning av Kattegatts vatten samt därtill en långsam biocindanrikning i vatten och jordar i Skandinavien. Vi har tydligen alltför länge levat i den tron att späder vi bara tillräckligt, så blir vi av med alla föroreningar, och därför har vi byggt tunnlar, horisontellt och vertikalt. Detta har i själva verket skapat svärbemänstrade regionala förhållanden med oklar ansvarsfördelning. När det gäller regioner av Europas storlek är det ju inte heller möjligt med saneringsprogram, endast elimination vid källan kan ge resultat.

Atmosfärskemiska förhållanden.

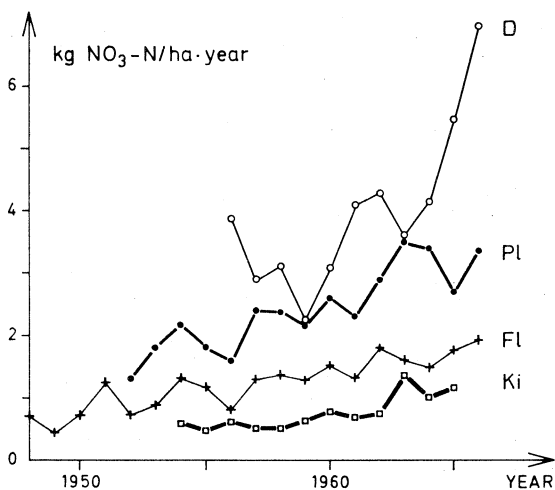
Luften och nederbörden innehåller naturligen en mängd olika salter och gasformiga ämnen, som har sitt ursprung från jordytan. Det mesta kommer från havet men även landområdena bidrar särskilt med vinderoderat stoft. Dessa ämnen befinner sig i ett ständigt kretslopp (cyclic salts); de faller ut över landområdena och återbördas till haven genom floderna. Är nederbördsmängden för liten kan salterna anrikas och saltöknar bildas.

De naturliga bakgrundsbetingelserna är numera överlagrade inom stora delar av jordklotet med av människan orsakade emissioner. Koldioxid, svaveldioxid och stoft bortgår vid förbränningen av fossila bränslen, olika industriprocesser tillför lufthavet ett mycket stort antal främmande ämnen och från skogs- och lantbruket sker «läckage» av

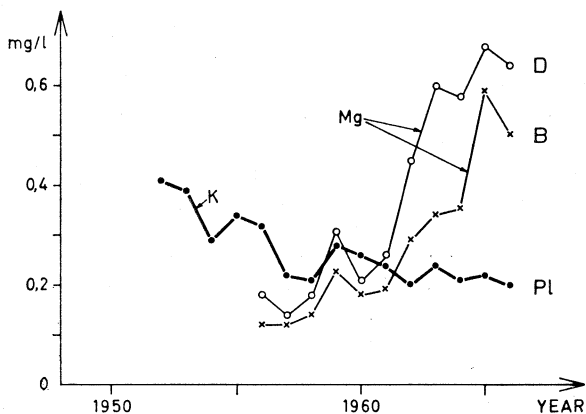
bl. a. bundet kväve och biocider. Genom luftens omblandning homogeniseras alla dessa utsläpp, sprides med vindarna och faller ut på kortare eller längre avstånd från källan. Eftersom många utsläppsprodukter är skadliga kan därmed regional skadeverkan uppstå. *Tron på att lufthavet skall kunna fungera som avstjälningsplats för industriella eller urbana avfallsprodukter bör betraktas som en myt.*

Vi har haft möjligheter att följa utvecklingen inom Europa genom ett atmosfärskemiskt stationsnät, som upprättades i början av 1950-talet. Alla västeuropeiska länder norr om Italien deltog i uppbyggandet av detta nät. Norge har haft upp till 12 stationer. Även Sovjetunionen och Östeuropa har upprättat egna stationsnät, varför man nu kan undersöka förhållandena inom en stor och hårt industrialiserad region.

Det samlade datamaterialet är i viss omfattning bearbetat och utvärderat bl. a. med hänsyn till förändringar i tiden, till det areala utfallet, till klimatiska förhållanden och till speciellt mänskliga aktiviteter. Fig. 1 ger exempel på trender för några ämnen. Det översta diagrammet visar hur nedfallet av nitratkväve har ökat med tiden. Det naturliga bakgrundsvärdet ligger på omkring 0,5 kg per ha och år. Sverige mottar nu mellan 2 och 3 kg. Denna ökning är direkt beroende av lantbrukets användning av handelsgödselmedel. Man finner faktiskt, att den areala kartan över användningen av handelsgödselmedel inom Europa är helt kongruent med bilden över



Figur 1. Det översta diagrammet visar trenderna i nedfallsmängderna av nitratkväve för några stationer i det atmosfärskemiska nätet. Det undre anger årsmedelkoncentrationen av kalium och magnesium. Dourbes och Botrange (Belgien), Kiruna (N. Sverige), Flahult (S. Sverige) och Plöninge (V. Sverige).



det atmosfäriska nedfallet. Spridningscentrum sammanfaller således med centrum för källflödet. Utspridningen sker inom ett område av åtskilliga hundra mils radie.

Eftersom kväve är en minifaktor för växtproduktionen på många naturliga jordar, kan vi förvänta oss en

positiv produktionsbiologisk effekt av detta förhållande. Saken är emellertid ännu inte undersökt. Men även sjöar och vattendrag får en ökad kvävetillgång på detta sätt. Produktionen av plankton och högre växter bör därmed öka. Det är ganska sannolikt, att den eutrofiering som på-

talats i många vattensystem till en del kan återföras på bl. a. denna atmosfärskemiska faktor.

De nedre kurvorna i fig. 1 ger exempel på kraftiga förändringar hos ämnen, som nära sammanhänger med industriell aktivitet. Magnesium visar en stark positiv trend. Detta ämne avgår med rökgaserna från bl. a. metallindustrin. Nederbördens halter visar en fyrdubbling på tio år över Belgien. Men vi finner också negativa trender som exempelvis K-halterna vid Plönninge på svenska västkusten.

Tolkningen av den typ av data-material som här diskuterats är långt ifrån enkel. Klimatiska fluktuationer påverkar nämligen utvecklingsförloppet och eftersom dessa synes variera med en period på c:a 10 år är det nödvändigt med långa tidsserier. Det är emellertid under alla omständigheter uppenbart att lufthavet påverkas regionalt av mera lokalt förekommande utsläpp. Summan av alla lokala utsläpp har nu lett till att hela Europa är insvept i en föroreningskupol som endast temporärt ventileras bort vid kraftiga vindar. Tyvärr sker den ventilationen oftast i riktning mot Skandinavien. Det mest drastiska exemplet på denna spridningseffekt finner vi i luftens och nederbördens försurning över Skandinavien.

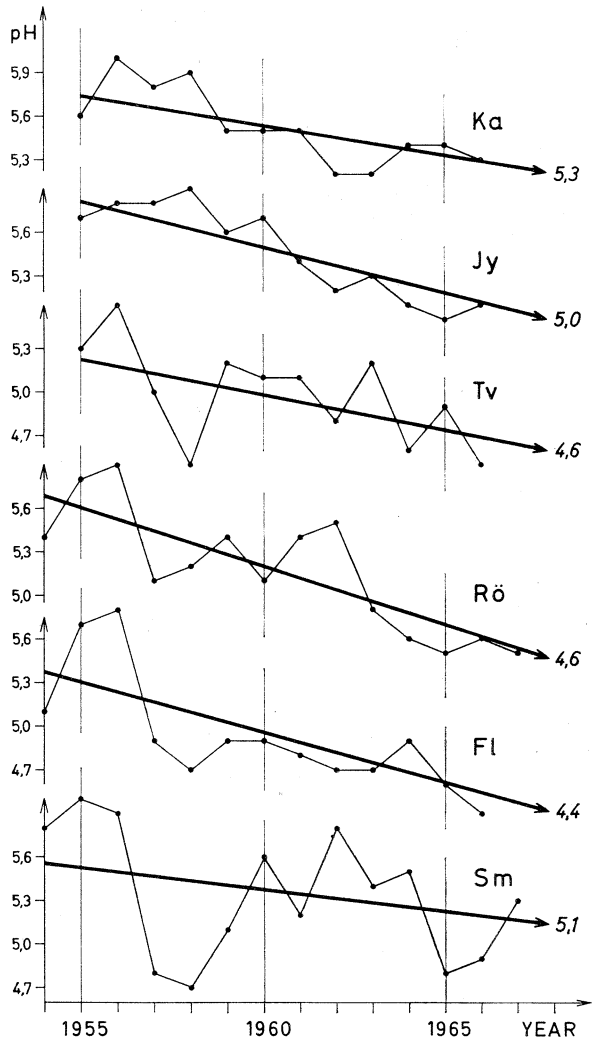
Nederbördens försurning.

Nederbördens och luftens surhet beror på balansen mellan tillförda syror och baser. Det naturliga pH-värdet hos ett nederbördsprov ligger kan. Det är också det pH-värde man

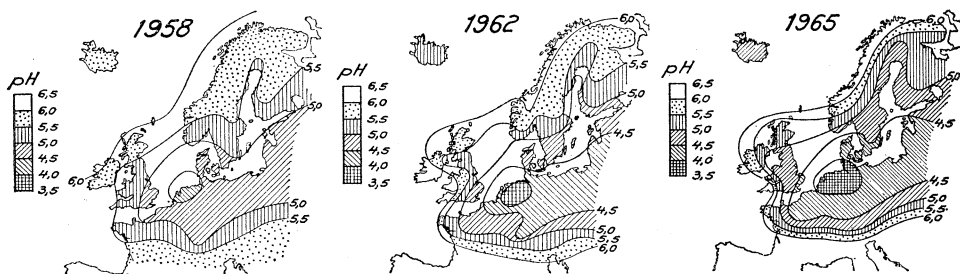
på 6,1 på grund av kolsyrans inverkan vid Europas randområden. Inom de centrala delarna tillföres emellertid atmosfären mer syror än baser, även om förhållandet givetvis lokalt kan vara det omvända. Atmosfären försuras. Tidsförloppet i denna process framgår av fig. 2. pH-värdena varierar visserligen från år till år men den negativa trenden är ändock fullt tydlig. Situationen är i stort sett densamma för alla stationer i Europa; endast hastigheten varmed försurningen sker varierar. I Norge har stationerna längs Oslofjordens dalgång (As, Kise, Trysil) viast den största pH-sänkningen. 1957 var medelvärdet för dessa stationer 5,3; tio år senare hade det sjunkit till 4,7, d.v.s. årsmedelnederbörden hade blivit fyra gånger surare.

Nordvästra delen av Skandinavien ligger emellertid ganska skyddad. I försurningens centrala delar (Holland, Belgien, Nordtyskland) har utvecklingen blivit mer drastisk. Årsmedelnederbörden överstiger sällan pH och surheten har ökat 10—20 gånger på femton år.

Under kortare perioder kan nederbördens syraöverskott vara väsentligt större. Vid Lista har man observerat dagsregn med pH 3,8 och vid svenska västkusten har pH-värden omkring 3 uppmätts ett flertal gånger. Även om syramängden inte kan vara stor vid sådana dagsregn kan emellertid koncentrationsskador uppstå på känsliga biologiska system, t. ex. renbetesmarker, svagt buffrade vattensystem eller människans andningsvägar.



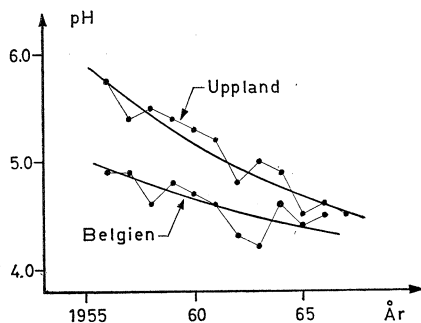
Figur 2. Förändringarna i årsmedelmederbördens pH-värde för perioden 1955—1967. Samtliga stationer registrerar en ökad försurning. Observera den av klimatiska orsaker betingade samvariationen mellan Rö, Fl och Sm fram till 1960. Kauhava, Jyväskylä och Tvärminne (Finland), Röbäcksdalen (N. Sverige), Flahult och Smedby (S. Sverige).



Figur 3. Kartorna visar fördelningen av årsnederbördens pH-värden inom Europa. Man noterar försurningen mot norr och den stabila situationen från Alperna och söder ut.

Figur 3 visar pH-värdenas areala fördelning för Europa åren 1958, 1962 och 1965. Det föreligger som synes ett försurningscentrum över Holland och Belgien som förstärkes för varje år men också utbreddes i sidled. pH-klassen 4,0—4,5 utgjorde endast en liten fläck 1958 men sju år senare omfattade den större delen av centrala och östra Europa samt södra deln av Sverige. Den med hänsyn till markeffekt eller biologisk påverkan helt oskadliga pH-klassen 5,5—6,0 täckte stora delar av Skandinavien 1958, men 1965 fanns endast ett ringa område kvar.

Det förefaller av de areala kartorna som om den sura luften och nederbörden främst utbreder sig mot norr. Detta sammanhänger med de meteorologiska förhållandena bl. a. den under senare år uppmärksammade förändringen i lågtrycksbanorna. Deras tidigare huvudriktning mot Skandinavien från väster till öster har vridits mot söder till norr. Europas luftföroreningar ventileras därmed mot norr och nordost och bl. a. Skandinavien blir ett mottagarområde.



Figur 4. Nederbördens pH-värden följer samma mönster inom stora delar av Europa. Diagrammet visar en jämförelse mellan Belgien (försurningscentrum) och Uppland i mellersta Sverige. Värdena är tagna från de enskilda årens pH-kartor över Europa.

Från figur 4 kan vi se hur förhållandena i Uppland i mellersta Sverige ur surhetssynpunkt börjar närma sig situationen i Belgien. Åtgärder mot emissioner inom det egna landet kan därför endast få lokal och begränsad effekt; det nuvarande tillståndet kan endast hävas genom en europeisk konvention.

Det kommer att bli mycket intressant att studera effekten av de ensidigt svenska åtgärderna av en begränsning av de svavelrika eldningsolja. Minskas därvid inte försurningen och svavelnedfallet föreligger ju ett mycket starkt argument för åtgärder på det internationella planet.

Luftens försurning.

De pH-förändringar som nederbörden uppvisar i tid och rum föreligger naturligtvis också i luften eftersom luftens partiklar och gasformiga ämnen fungerar som kondensationskärnor vid nederbördsbildningen. De ämnen som har eller kommer att få en försurande effekt är främst svaveldioxid, svavelväte, svavelsyra och saltsyra. De förekommer svävande i luften som mycket små hygroskopiska droppar. Av figur 5 framgår den inverkan som luft har vid månadsvis genombubbling i destillerat vatten. Från september t. o. m. maj övervägar de sura komponenterna och vattenprovet får ett pH-värde omkring 4,0 eller lägre. Årsrytmen i luftens aciditet återkommer som synes år efter år. Det framkommer också en negativ trend i överensstämmelse med de nederbördskemiska förhållandena.

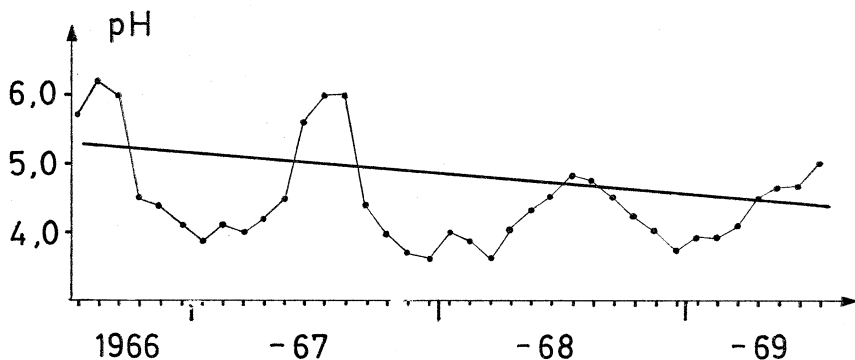
Från de marknära luftskikten sker en ständig utfiltrering av gaser och partiklar. Av fysikaliska skäl har föremål med stor yta och finförgrenad struktur en stark filtrations-effekt. Alla typer av vegetation renar därför luften och man är också igång med att utnyttja denna effekt i form av biologiska skärmar runt

industriplatser. Barrträd torde genom sin byggnad vara särskilt effektiva men därmed följer också, att barrträden blir särskilt känsliga mot skadliga luftföroreningar. Det är också känt att barrskogarna i vissa områden i Tjeckoslovakien helt har dött ut genom SO₂-skador.

Det vore i detta sammanhang av stort intresse att undersöka om den svampsjukdom (*Crumenula*), som angripit stora delar av den mellansvenska tallskogen under åren 1968 och 1969 kan sättas i samband med ökade SO₂-halter i luften. Barrträdens normala motståndskraft kan nämligen ha blivit undergrävd av denna påverkan.

Adsorptionen på basrika örter och gräs torde knappast kunna medföra några skador. Vid sidan om cellsaftens buffrande förmåga finns det också en inbyggd metabolisk «skyddsmekanism». När svaveldioxiden diffunderar in genom klyvöppningarna och löses till svaveltrioxid sker en metabolisk omvandling till svavelväte, som utsöndras till atmosfären. Basfattig vegetation såsom lavar och mossor måste emellertid vara mycket känslig och det är inte osannolikt, att skadorna på renbeteslaven i Norge orsakas av svaveldioxid.

Adsorption av svavelväte och svaveldioxid ur luften styrs även av kemiska faktorer. Adsorptionen ökar med stigande pH-värde hos adsorbenten. Basiska jordar kommer därför att vara starka adsorbenter för dessa gaser och förhållandet blir än mer markerat för kalkrik sandsten eller murade ytor, vars pH-värde ligger



Figur 5. Kurvan visar årsrytmen i pH-värdena hos destillerat vatten, som genombubblats med luft under en månad. Den grova linjen anger luftförsurningens negativa trend. Mätningarna har utförts 8 km från Uppsala.

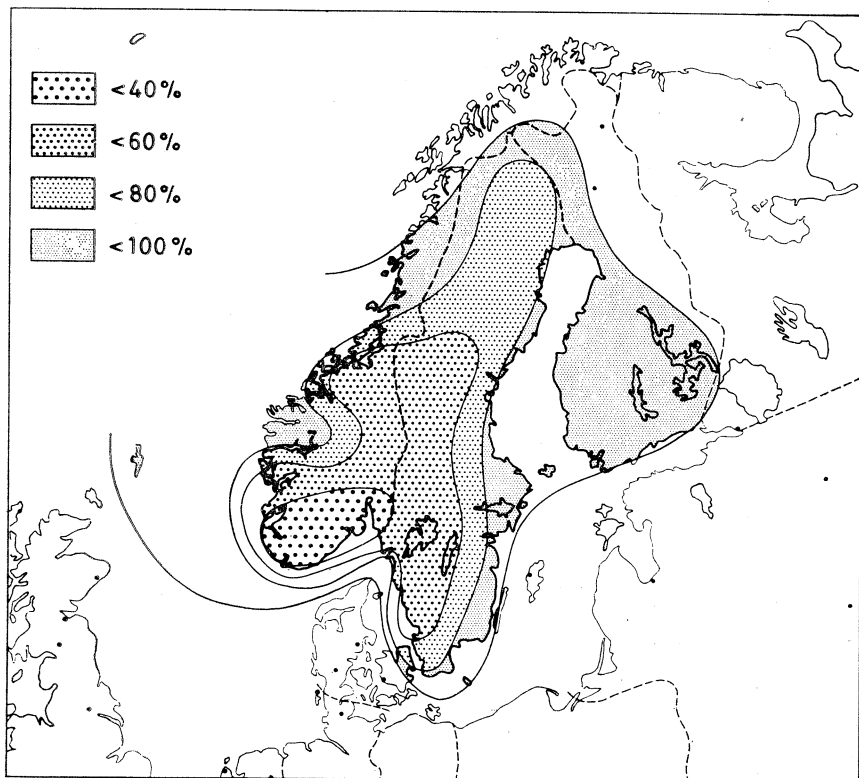
omkring 9,0. Många byggnader i en stad fungerar således som aktiva luftrenare. Följden blir emellertid något oväntad. Det bildas nämligen kalciumsulfat med varierande mängder kristallvatten och när detta salt omkristalliseras sker en kraftig sprängverkan. Murade putsytor sprängs loss och den kalkrika sandstenen vittrar sönder eller t. o. m. flagnar. Från en undersökning vi utfört i Uppsala har det visat sig, att vittringen av husen leder till bildning av kalkdamm. Detta har minskat försurningen av stadens centrala delar, men kostnaderna för fastighetsäger-na har ökat.

Om svavlets roll.

Det är numera allmänt erkänt att svavelutsläppen till atmosfären är en icke önskvärd företeelse. Dess dominerande roll i försurningsproblematiken är också i princip klarlagd även om många väsentliga arbetsuppgif-

ter ännu återstår. Det gäller främst de sura produkternas spridning och räckvidd från olika emissionskällor, deras verkan på mark, vatten och biologiska och tekniska system samt en analys av skadornas ekonomiska konsekvenser. Skadorna är emellertid så uppenbara och på sikt så allvarliga att man i olika länder startat program för nedtrappning av svavelhalten i eldningsolja. Försurnings-trenden kan därför tänkas bli bruten innan skadorna blivit alltför omfattande.

En plottning av svavelnedfallet över Europa visar en med pH-kartorna överensstämmande bild. Utfallet koncentreras kring centrala Europa. De olika industriregionerna framträder ofta mycket tydligt. Stationsnätets täthet medger emellertid inte en detaljerad kartering. Eftersom svavelemissionen är linjärt stigande från år till år skulle man förvänta, att utfallet skulle visa en mycket regelbunden bild med tiden.



Figur 6. Vissa år kan svavelnedfallet inom en större region vara lägre än normalt, andra år tvärtom. Kartan visar utbredningen av «den skandinaviska svaveldepressionen» år 1959. Det lägsta nedfallet inträffade i Sydnorge. Inom Europa i övrigt var svavelvärdena normala eller något förhöjda detta år.

Så är emellertid inte fallet. Vissa år är svavelnedfallet väsentligt större t. ex. 1960 och 1963 medan andra år ger lägre utfall, t. ex. 1961. De meteorologiska betingelserna har således stor betydelse för luftföroreningarnas spridning, koncentration och verkan.

Ett samspel mellan mark och atmosfär äger säkert också rum. Jordarna kan under en följd av år «lad-

das upp» med svavel och detta kan sedan avges under ett efterföljande år med andra hydrologiska förhållanden. Jag har betecknat processen som en klimatisk pump och den skulle alltså leda till pulsatoriska förlopp såväl i markens egenskaper som i de atmosfäriska halterna. Dess mekanism är givetvis ännu inte klarlagd men problemet är under bear-

betning. Ett exempel på verkan av den klimatiska pumpen är de väsentligt lägre utfallsmängder av svavel, som inträffade över Skandinavien åren 1958, 1959 och 1960, vilket framgår av figur 6. Centrum låg norr om Oslo med elliptisk utbredning mot nordöstra Sverige. Svavelkoncentrationerna nedgick i centrum till mindre än 40 % av förväntade värden. Andra områden fick i stället förhöjda värden.

Den klimatiska pumpen i samverkan med periodiska meteorologiska fluktuationer skapar osäkerhet i bestämningen av trendbetonade förlopp och kan dessutom leda till klara felbedömningar av effekten i vidtagna åtgärder. Dessa kanske först kan avläsas efter flera år. Eftersom naturens fluktuationsmönster inte låter sig anpassas till vår tekniska kulturforms utvecklingsprång är det nödvändigt att etablera långsiktiga observationsnät rörande förhållandena i mark, vatten, luft och de biologiske systemen. Vi är på god väg att realisera detta i Skandinavien och därmed skapas förutsättningar för utformning av en organiskt funktionell samhällsstruktur med anpassning till de naturliga förutsättningarna som alternativ till den nuvarande ekonomiskt betingade samhällsstrukturen.

Spridningen i atmosfären.

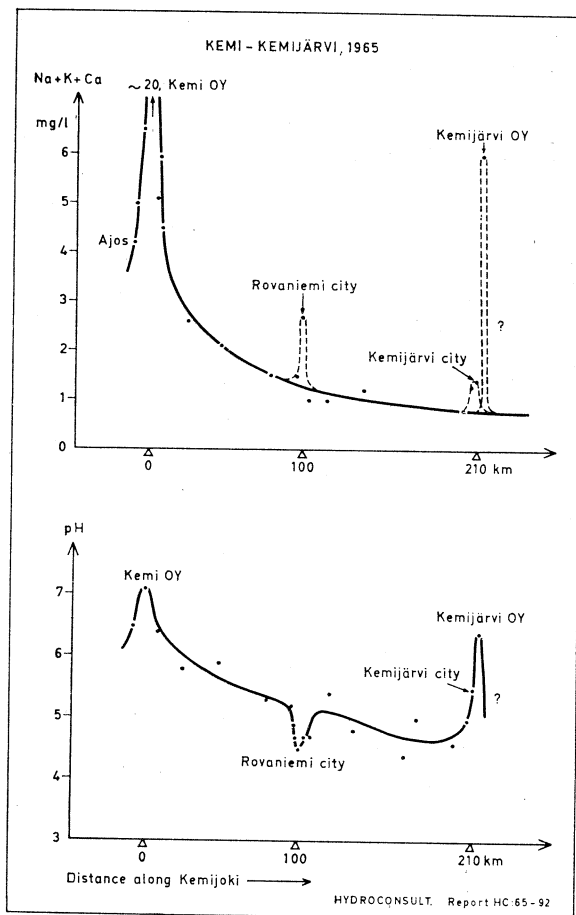
Spridningen av ämnen som tillföres atmosfären är en komplicerad process. Luftmassorna rör sig med olika hastighet på olika höjd över marken och ständigt i olika riktningar. Därtill kommer ett vertikalt luftutbyte

mellan marken och de högre luftlagren. Ämnen som tillföres atmosfären på olika höjd över marken kommer därför att utspädas och spridas på olika sätt. De flesta föroreningsprodukterna reagerar också i atmosfären kemiskt, fotokemiskt eller fysikaliskt och de olika reaktionsförloppen beror även på höjden. Fotokemiska reaktioner är sålunda svagast vid markytan medan nederbördsbildningens fysikaliska processer avtar i de högre luftlagren. Ett ämnes uppehållstid i atmosfären är därför icke konstant utan varierar inom vida gränser som funktion av de yttre betingelserna (tid, höjd, kemiska förhållanden).

Produkten av ett ämnes uppehållstid i atmosfären och vindhastighet ger ämnets transportsträcka från emissionskällan. Beräkningar av luftföroreningarnas spridning måste således baseras på många antaganden och därmed leda till osäkra eller rent av godtyckliga resultat. Det har från berörda parter framhållits, att spridningen av försurande produkter från Centraleuropa till Skandinavien skulle vara teoretiskt omöjligt p.g.a. avstånd, uppehållstider etc. Sådana beräkningar kan enligt min uppfattning med vår nuvarande kunskap endast vara mycket godtyckliga. Ett korrekt svar kan endast ges efter experimentella undersökningar.

Spridningen av luftföroreningar, som införes i de marknära luftskiktet, blir mer begränsade än om de införes på högre höjd. Ett par års undersökningar av förhållandena vintertid kring Uppsala stad har visat, att endast 1 % av emitterad mängd

Figur 7. Den övre kurvan anger förändringen av snöns halter av baser från Kemi industriområde till Kemijärvi. Baser-na sprids till ett avstånd på minst 150 km. Den undre kurvan återger snöns pH-värde. Industrier-na tillför i detta fall mer baser än syror. För Rovaniemi stad är det omvänt.

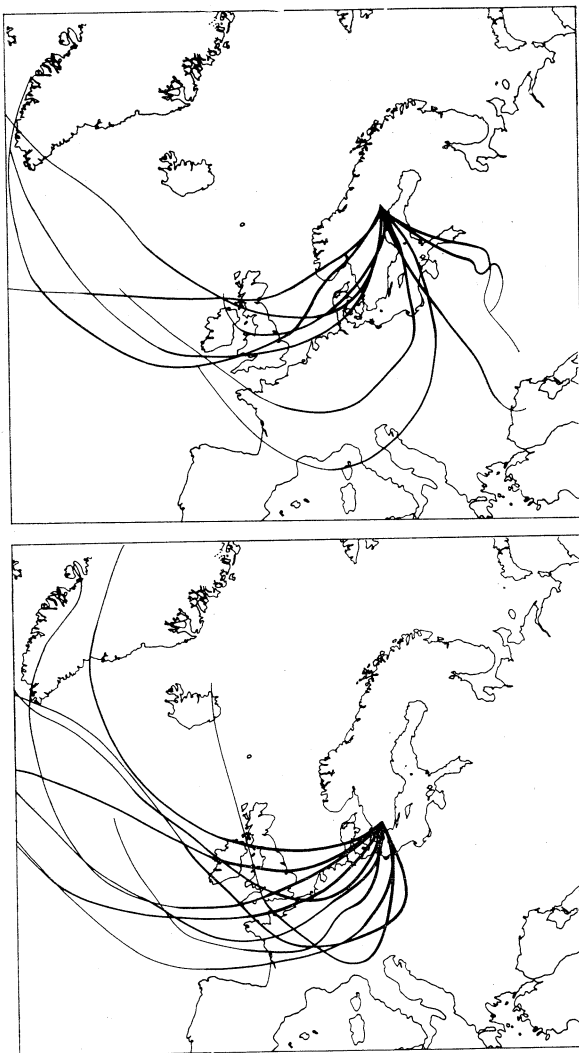


svaveldioxid utfaller inom en radie av 10 km. Halva mängden utfaller inom 100 km radie. Trots att utsläppen i detta fall sker på låg höjd blir spridningsavståndet ganska stort. Vid kraftigare luftturbulens såsom på sommaren ökar spridningsavståndet avsevärt.

Ett exempel på spridningen av

några baser från ett koncentrerat industriområde (Kemi OY) med höga skorstenar återges i fig. 7. Undersökningen baseras på en snökartering längs sträckan Kemi stad—Rovaniemi—Kemijärvi stad i Finland. Landsbygden i detta område är gles befolkad, varför de lokala källorna längs undersökningssträckan är obe-

Figur 8. De krokiga linjerna anger luftmassornas varierande banor till södra resp. norra Sverige för varje dygn med mer allmänt regn över Skandinavien. De tio nederbördstillfällena omfattar c:a 90 % av den totala nederbördsmängden under perioden oktober—november 1961. Luftens ventilation från Centraleuropa mot Skandinavien är mycket tydlig.



tydliga. Som framgår av kurvan föreligger ett exponentiellt avklingande av halterna. Askrester från industrins förbränning sprides således

ett par hundra kilometer. Transportsträckorna sommartid och i den förhärskande vindriktningen måste vara långt större. Nedfallshalterna i sprid-

ningsområdets ytterområde blir givetvis mycket små, men genom samverkan mellan spridningscirkelarna från flera källor kan utfallsmängderna höjas avsevärt. Detta illustreras av förhållandena över Belgien, vars försurningscentrum måste vara resultatet av samverkan från de engelska, nordfranska och tyska industriområdena.

Den faktiska transporten av luftföroreningarna för bedömning av det geografiska sambandet kan fastställas genom samtidiga studier av luftmassornas väg över källområden och utfallsmängderna av olika ämnen. En sådan studie omfattande varje dagsregn under fem månader har utförts åren 1961—62.

Luftmassornas väg till dels S Svedige, dels N Sverige framgår av fig. 8. Luftbanorna har som synes ganska stor spridning. Man bör observera, att den nederbördsbildande vinden ofta har nordlig eller nordvästlig riktning i norra Skandinavien. Att Skandinavien är ett mottagarområde för luftburet material och centrala Europa ett leveransområde är fullt tydligt av fig. 8. I den mån luftföroreningarna är giftiga eller har annan väsentlig skadeverkan är situationen likvärdig med en långsamt pågående kemisk krigföring. Situationen har under det sista årtiondet dessutom förvärrats av det förhållandet, att man i England och Europa (likasom också i Sverige) icke tidigare sökt lösa sina föroreningssproblem genom elimination utan bl. a. genom att låta utsläppen ske medelst allt högre skorstenar. Därigenom införes föroreningarna i luftlager som leder till

mer omfattande regional spridning och regional skadeverkan. Lokala förbättringar uppnår man självfallet med denna åtgärd. Följande citat är belysande:

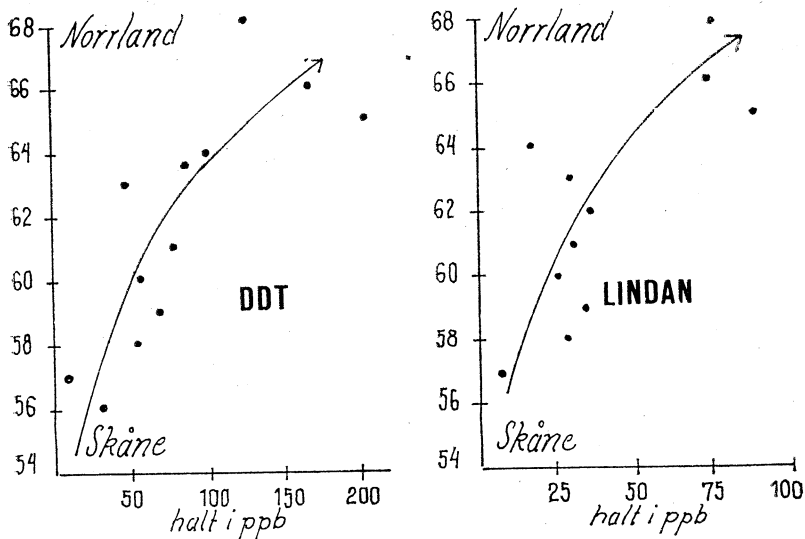
«Ministry of Technology figures show that sulphur dioxide output in Britain increased by 26 per cent between 1952 and 1965. Even so concentrations at ground level have been declining because the very tall chimneys now used disperse and dilute the gas so effectively that power stations in rural areas make only a negligible contribution to mean sulphur dioxide concentrations at crop level.»

(New Scientist, Vol. 36, 1967, p. 225.)

Effekten av olika vindvägar på nederbördens sammansättning framgår av tabellen nedan. Beräkningen är preliminär och anger medelvärdet av 51 dygnsobservationer under oktober—november 1961, d. v. s. samma period som redovisas i fig. 8.

Luftbana till Sverige	pH	Ca mg/l	S mg/l
från Nordsjön över N England	5,2	0,6	0,8
från England över Kattegatt	4,9	0,4	1,1
från England över Centraleuropa . . .	4,7	0,8	2,6
från Europa över V Ryssland	4,6	2,1	3,3

De lägsta pH-värdena finner vi sålunda då den nederbördsbildande luften har passerat över de försurande källområdena i centrala eller östra



Figur 9. Kurvorna visar medelhalten av DDT resp. Lindan från naturliga marker (betesmark och skog) fördelade efter breddgrad. För båda ämnena visar Skåne (56 grader nordlig bredd) lägre halter än Norrland (66 grader nord).

Europa. Som synes av siffrorna ökar även Ca- och S-halterna och differansen mellan baser och syror ger i i detta fall en försurningseffekt. Siffrorna visar, att den nederbörds-kemiska situationen över Sverige i hög grad är avhängig av förhållandena i Europa i övrigt. Sveriges eget bidrag till utfallet av luftföroreningar inom landet i jämförelse med vad som kommer från andra länder kan emellertid inte med säkerhet fastställas genom denna typ av undersökningar. Det är emellertid angeläget att söka fastställa en föroreningsbalans eller transportbudget för olika regioner.

Att Skandinavien är ett mottagar-

område och Centraleuropa (ev. än större region) är ett källområde för luftburna ämnen skall ytterligare belysas med utgångspunkt från DDT. En inventering av halterna i svenska jordar har visat, att totala mängden DDT uppgår till ca 3.000 ton aktiv substans. Den inom landet använda mängden har hittills uppgått till ca 50 ton per år, eller maximalt ca 500 ton totalt. Skillnaden mellan dessa två tal är den mängd DDT, som luftledes måste ha transporterats till Sverige. Med kännedom om DDT's nedbrytningshastighet i jordar kan man beräkna, att den luftburna transporten uppgår till ca 600 ton per år.

Trots att källområdet ligger söder om Sverige och man därför skulle förvänta de största nedfallsmängderna i landets södra delar (fallande koncentrationsgradient mot norr) stiger faktiskt halterna i jordarna mot norr. Förloppet framgår av figur 9. Detta märkliga förhållande kan endast förklaras med att DDT's nedbrytning i jorden eller dess avdunstning till atmosfären hämmas av låg temperatur och lång frostperiod. Här står vi således inför en ny aspekt av den regionala spridningen av naturfrämmande ämnen; en omfördelnings- och anrikningsprocess som kan benämnas global destillation. Det är otänkbart att begränsa eller påverka denna process, endast elimination vid källan kan förhindra fortsatt anrikning mot nordliga breddgrader. Gäller det DDT måste alltså åtgärden bli ett globalt förbud mot massanvändning av produkten ifråga.

Atmosfärskemiska störningar på mark och vatten.

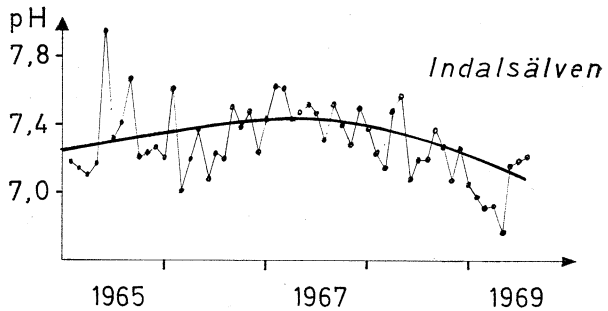
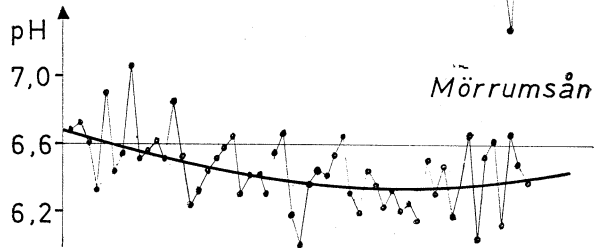
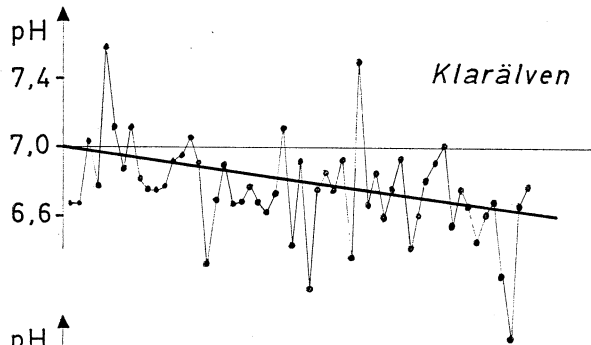
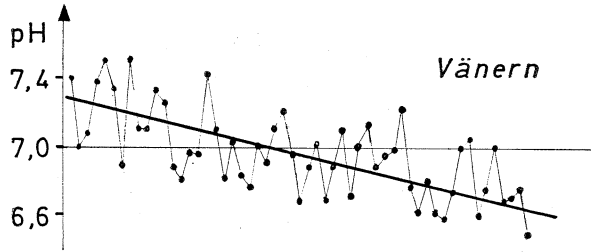
Den sura nederbörden liksom det direkta utfallet av sura produkter från atmosfären kommer förr eller senare att medföra ändrade jonförhållanden och en försurning av mark och vatten. Genom de långtidsmätningar av vattendragens pH och jonsammansättning som pågått i Skandinavien sedan 1961/62 kan en sådan påverkan studeras.

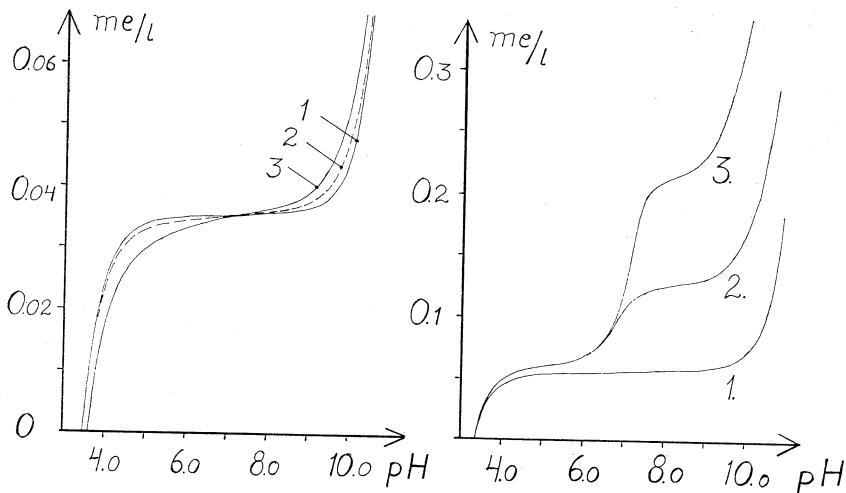
Det visar sig därvid att pH-värdena för praktiskt taget samtliga svenska vattendrag har blivit allt lägre under åren 1965—1969. Förändringarna har varit störst i södra och mellersta Sverige och minst i

närheten av fjällkedjan, d. v. s. inom områden med en positiv, atmosfärisk pH-trend. Det föreligger därför ett tydligt samband såväl i tid som rum mellan nederbördens pH och flodvattens. Fig. 10 ger exempel på pH-värdenas variationer för några vattendrag månad för månad. Den negativa trenden är fullt tydlig för samtliga vattensystem. Vissa fluktuationer förekommer som dels beror på variationer i biologisk aktivitet, dels på det inbördes förhållandet mellan yt- resp. grundvattenavrinning, vattensystemens reservoarkaraktäristik etc. Den direkta orsaken till de krökta förloppen för Mörrumsån och Indalsälven har ej närmare undersökts.

För Vänerens del har pH-sänkningen uppgått till 0,6 enheter på fyra år och för Mörrumsån till 0,3 enheter, d. v. s. dessa vattendrag har blivit 2—4 gånger surare under denna korta tidsperiod. Effekten av ett direkt syratillskott till ett vattensystem är emellertid helt beroende på vattnets jonsammansättning och dess innehåll av buffertsubstanser av organisk art (humus, peptider etc.). Figur 11 ger exempel på buffertkurvor hos vatten som står i jämvikt med luftens kolsyra. En viss syramängd får som synes högst olika pH-effekt beroende på dels vattnets ursprungliga pH dels dess buffertkapacitet kring detta pH-värde. Prover som är över- resp. undermättade med kolsyra får annan buffertkaraktäristik. Kurvorna visar, att alla vattenslag är mest pH-känsliga för små tillsatser av syra inom pH-intervall 6.2—3.8.

Figur 10. pH-värdena i de flesta svenska floder sjunker med tiden. Exemplet i figuren visar dels en rent linjär sänkning, dels ett mer variabelt förlopp.





Figur 11. Kurvorna visar olika vattenslags buffertegenskaper. Vänstra figuren: 1 destillerat vatten, 2 nederbörd, 3 humusfraktionen från en skogssjö. Högra figuren: 1 nederbörd, 2 humusrikt åvatten, 3 bikarbonatrikt åvatten.

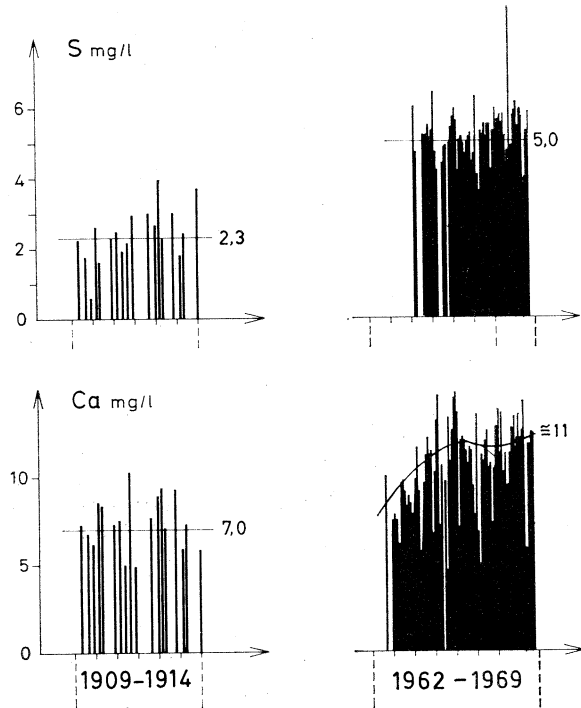
Under sommaren 1965 företogs en synoptisk, vattenkemisk kartering av hela Skandinavien i samverkan med Hydrologiska Byrån i Finland och NIVA i Norge. Sammanlagt provtogs 950 vattendrag. En kartografisk sammanställning av pH-data visar att regionalt homogena områden förekommer, som är surare i jämförelse med omgivningen. Ett sådant område är södra delen av småländska höglandet, andra är delar av Bergslagen, Värmland—Dalarna, de väst- och sydnorska fjällområdena samt Lule och Kalix älvdalar. De försurade områdena inom Skandinavien orsakas dels av tillförseln av sura ämnen från atmosfären, dels av markens basfattigdom men delvis också av nederbördens intensitet. Den biologiska reorptionen av baser torde också ver-

ka försurande. De norska och svenska fjällområdena är därför särskilt känsliga mot fortsatt syrautfall. Dessa vatten har dessutom en mycket låg buffertkapacitet.

Utnyttjar man äldre svenska undersökningar från början på 1900-talet blir förändringarna i tiden mycket intressanta. Figur 12 visar S och Ca koncentrationerna i Ätran på svenska västkusten. S-halterna har ökat från 2,3 till 5,0 mg/l. Ca-värdena å andra sidan har ökat från 7,0 till 11,0. Förändringarna av ekvivalenter syra resp. bas balanserar i stort sett varandra i denna flod.

Motsvarande värden från Klarälven återges i figur 13. Även här har S-koncentrationen ökat. Ca-halterna har däremot minskat, vilket tyder på att markens basförråd av

Figur 12. Både svavel- och kalciumhalterna har ökat i Åtran mellan de två undersökningsperioderna. Ökningen är jonbalanserad, vilket visar att syratillskottet neutraliseras av markens basförråd.



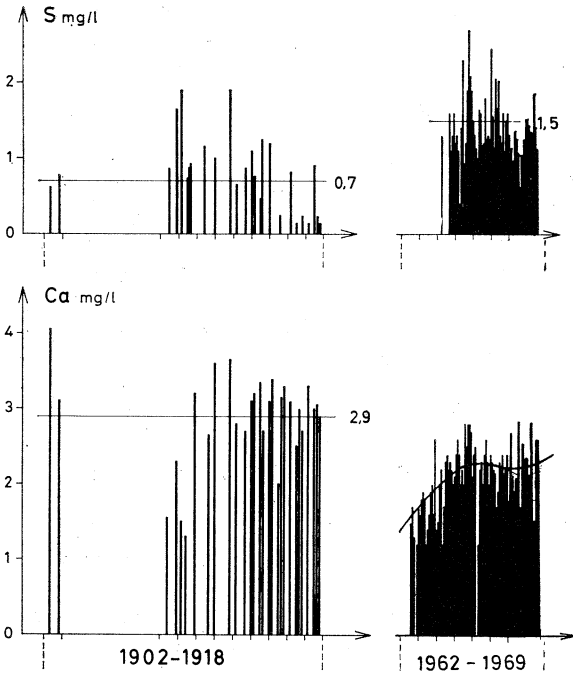
Ca har minskat. För att uppnå jonbalans måste koncentrationen av vätejoner eller andra katjoner öka.

Svavelhalten i samtliga svenska floder har ökat ca 3 ggr från 1915 till 1965. Den absoluta ökningen i södra Sverige är stor, från 7 kg till 22 kg/ha och år. Motsvarande ökning av katjontransporten måste ha inträffat. Detta kan ha påverkat markens bonitet.

Då marken tillföres fria mineral-syror kommer i första hand fria karbonater (kalcit- eller dolomitkristaller) att upplösas. I våra fattigare moränjordar är denna upplösning

genom nederbörd och biologisk aktivitet en naturlig process som dock går mycket långsamt.

I jordar där kalkhalten av geologiska skäl är hög ända upp i ytan, sker även där en upplösning av karbonater. Med tanke på det stora kalkförrådet i sådana jordar kommer emellertid det artificiella syrautfallet icke att få någon märkbar effekt inom rimlig tid. Detta är bl. a. skälet till att stora delar av de central- och östeuropeiska jordbruksområdena är skyddade mot försurningens verkan, eftersom dessa jordar består av karbonatrika avlagringar



Figur 13. I Klarälvens vatten har svavelhalterna ökat medan kalciumhalterna minskat. Markens basförråd synes utarmat och vattnets pH sjunker (jfr. fig. 12). Observera att fluktuationen i kalciumkoncentrationen har samma mönster i Klarälven och Ätran.

från sista istiden, de så kallade lössjordarna.

I jordar som saknar fria karbonater kommer en långsam sänkning av markens pH-värde att ske. En anpassning till nederbördens pH-värde, för närvarande omkring 4,3, kan sålunda förväntas. Tidsskalan för denna anpassningsprocess kan för närvarande inte anges, eftersom den beror på flera markfaktorer, vilka ej undersökts med denna aspekt. Eftersom vätejonen har en hög adsorptionsenergi till markens kolloider kommer övriga adsorberande kationer såsom natrium, kalium, kalcium att förträngas genom jonbyte och urlakas. Den totala mängd kat-

joner, som finns adsorberande till markens kolloider, varierar högst väsentligt med jordart och jordmån. En normal åkerjord ned till 20 cm djup innehåller sålunda kationer i storleksordningen 5.000—40.000 kg/ha. Den nuvarande tillförseln av syror medför en borttransport av dessa kationer. Antager man att all borttransport sker i form av kalcium kommer den att uppgå till c:a 40 kg/ha och år. En division mellan dessa två tal ger den s.k. omsättningstiden, som är ett mått på varaktigheten av markens basförråd gentemot den pågående försurningen. Man finner därvid omsättningstider på 125—1.000 år för våra åkerjordar.

De verkliga tidsmarginalerna är i själva verket längre, eftersom såväl kalkning som vittring ökar förrådet av baser. De flesta åkerjordar har sålunda ett naturligt skydd mot syrapåverkan.

Annorlunda ställer det sig för skogsjordarna. Deras innehåll av absorberade katjoner är på grund av det ursprungliga sura tillståndet i skogsmarkerna ringa och uppgår till 1.200 å 2.000 kg/ha. Man kan då beräkna omsättningstiden för detta basförråd till 30—50 år, d. v. s. en tidsskala som får sin allvarliga innebörd i betraktade av att skogsträden har en omloppstid, som varierar mellan 75 och 125 år. Den nuvarande skogsgenerationen kommer sålunda att känna av en minskande tillgång på kalcium, magnesium och kalium, vilket kan medföra en sämre skogstillväxt. Särskilt i de nederbördsrika inre delarna av Sverige och Norge är risken för basutarming stor. Ganska stora skogsarealer i Norge har redan nu ett lågt basinnehåll. Basmättnadsgraden är faktiskt så låg som 25 %. Resten, dvs. 75 %, av markens jonbindande förmåga består redan av vätejoner.

En viss kompensation mot en ökad urlakning av katjoner av skilda slag sker genom vittring av markmineralen. Förrådet därvidlag är enormt stort. Vittringen är emellertid en långsam process och man vet för närvarande inte i vilken omfattning vittringen kan kompensera urlakningsförlusterna och därmed vidmakthålla en biologiskt acceptabel produktivitet.

Avslutande synpunkter.

Jag har med dessa exempel velat belysa den storskaliga miljöförändringens problematik i huvudsak med utgångspunkt från försurningen av vår miljö, men även den atmosfäriska cirkulationens roll på eutrofieringen av vattendrag, spridningen av biocider osv.

Den starka kopplingen mellan en initierande process och en serie följdverkningar är i föreliggande exempel uppenbar. Konsekvenserna av en sådan koppling kan inte utan vidare överblickas vare sig biologiskt, tekniskt eller ekonomiskt. Situationen har i vissa fall passerat ett av människan kontrollerbart stadium sedan initieringen väl verkställts. För att få en ändring till stånd måste administrativa och tekniska åtgärder rörande vår miljö därför sättas in på ett tidigare stadium än som nu är fallet och baseras på tillförlitligt dataunderlag med beaktande av naturens egna funktioner och tillräckliga skalor i tid och rum. Man får därför hoppas, att samhällets beslutande instanser prioriterar en starkt målinriktad miljöforskning med tyngpunkten förlagd till permanenta observations- och datainsamlingsnät rörande fysikaliska, kemiska och biologiska förhållanden, och att man bygger upp en organisation för syntes och bevisprövning av vetenskaplig information. En framsynt samhällsplanering måste numera bygga på storskalig kartering av tillstånd och trender som även beaktar miljöfaktorerna.