



Jordklotet är drygt 4 miljarder år gammalt. Berggrunden kring Gårdsjön, som består av granit och gnejs, är 1,7 miljarder år. Tanken svindlar! Istiden är inte mer än 12.000 år avlägsen. Jordtäcket i skogen är alltså mycket ungt i ett geologiskt perspektiv. Det är dessutom mycket tunt och har svag buffertförmåga. Det är därför som de senaste decenniernas luftföroreningar av svavel haft så negativa effekter på mark, vatten och skogsekosystem runt Gårdsjön. Det gäller också tusentals liknande sjöar i Sverige och i många andra länder på norra halvklotet. Under en försvinnande liten del av jordens historia, mindre än 100 år, har de ekologiska systemen, grundvattnet och sjöarna drastiskt bytt skepnad under trycket från försurningen.

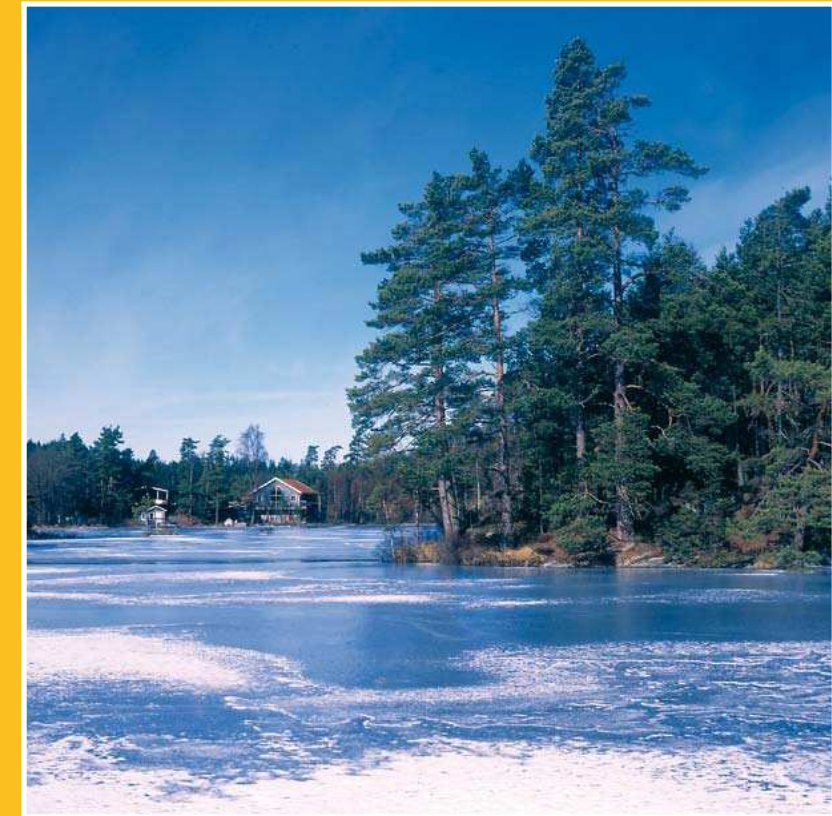
Sedan slutet på 1980-talet minskar luftföroreningarna i Europa kraftigt. Det är därför inte bara under forskningsområdet "Taket" i Gårdsjön som återhämtningen har börjat, utan också i mark, vattendrag och sjöar över stora delar av de försurade områdena i Skandinavien.

Trots alla goda nyheter är faran inte över. Fortfarande är kvävenedfallet alltför stort, liksom halterna av marknära ozon. Dessutom fortsätter utsläppen av svavel att öka i utvecklingsländer som t.ex. Kina och Indien.

I den här skriften kan du läsa om 35 års forskning kring luftföroreningars effekter på ekosystemen runt Gårdsjön. Här får du också en kortfattad och lättillgänglig inblick i några av de viktigaste miljöproblemen som rör sjöar och skogsekosystem.

Välkomna till Gårdsjön!

Luftföroreningar, miljö och framtid



35 års forskning om skog, mark och vatten

Hans Hultberg, Svante Hultengren & Håkan Pleijel (red.)

Luftföroreningar, miljö och framtid

Luftföroreningar, miljö och framtid

35 års forskning om skog, mark och vatten

Hans Hultberg, Svante Hultengren och Håkan Pleijel (red.)

2:a upplagan

Denna bok bör citeras: Hultberg, H., Hultengren, S. & Pleijel, H. (red.) 2006: *Luftföroreningar, miljö och framtid. 35 års forskning om skog, mark och vatten.* Gårdsjöstiftelsen och Naturcentrum AB.

Författare: Hans Hultberg, IVL Svenska Miljöinstitutet AB/Chalmers Tekniska Högskola. • Markförsurning • Grundvatten • Kalkning av skogsmark motverkar försurning • Skogsbruk, kvicksilver och fisk • Integrerad miljöövervakning • Takprojektet • Luftföroreningar och försurning • Skogsskador.
Peringe Grennfelt, IVL Svenska Miljöinstitutet AB. • Forskningsprogrammet ASTA.
Hans Oscarsson, Länsstyrelsen i Västra Götaland. • Det blir bättre och bättre...
Jonas Stenström, Naturcentrum AB. • Fågellivet kring Gårdsjön.
Håkan Pleijel, Göteborgs Universitet. • Ozon, en reaktiv och farlig luftförorening • Luftföroreningar, försurning och framtid.
Britt-Inger Henriksson, Aquaekologerna. • Växter och djur i försurade sjöar.
Christer Kalén, Skogsstyrelsen. • Återföring av aska till skogsmark
Svante Hultengren, Naturcentrum AB. • Välkomna till Gårdsjön • Hällmarker, granskog och blötmyrar • Lavar och luftföroreningar • Integrerad miljöövervakning • Grundvatten.

Teknisk redaktion, layout and produktion: Svante Hultengren, Naturcentrum AB.

Fotografier: Lena Ehrenström (21), Hans Hultberg (18, 20, 33, 34, 43), Thomas Liebig (12 mitten höger, samt höger längst ner), Håkan Pleijel (20 nederst, 35 nederst, 50, 51 nederst), Jonas Stenström (7 nederst till höger, 36 överst), Christer Kalén (30, 31) and Svante Hultengren (övriga fotografier).

Illustrationer: Martin Holmer (14, 22 vitmossa), Nils Forshed (11, 13, 29), Carina Lindqvist (kartan på sidan 4) and Svante Hultengren (övriga illustrationer).

Tryckningsinformation: Andra svenska upplagan. 3 000 exemplar tryckta av Palmeblads Tryckeri AB, Göteborg, 2006.

Boken kan beställas från: Naturcentrum AB, C.W. Borgs väg 4, 444 31 Stenungsund, telefon: 0046-303-69455,
eller via e-mail: ncab@naturcentrum.se

ISBN 91-85221-10-4

Boken har tryckts med ekonomiskt stöd från Västra Götalandsregionen, Gårdsjöstiftelsen, Hensbackastiftelsen, Naturcentrum AB, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Länsstyrelsen i Västra Götaland, Vattenmyndigheten Västerhavet, Skogssällskapet, Rec Ash, EU-life, Skogsstyrelsen och Stenungsunds kommun.

© Gårdsjöstiftelsen och Naturcentrum AB 2006

IVL

VÄSTRA
GÖTALANDSREGIONEN

gårdsjö
stiftelsen

Skogsstyrelsen
NATIONAL BOARD OF FORESTRY

Skogssällskapet

VATTENMYNDIGHETEN
Västerhavet

LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALAND

Life

RecAsh

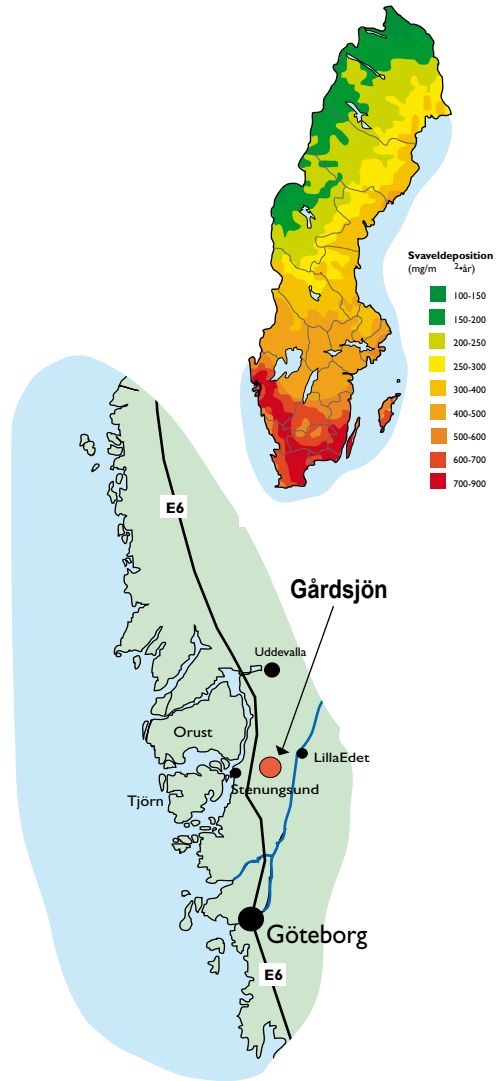
Stenungsunds
kommun

NATURCENTRUM AB

Innehållsförteckning

Välkomna till Gårdsjön	6
Hällmarker, granskog och blötmyrar	9
Fågellivet kring Gårdsjön	14
Luftföroreningar och försurning	15
Försurning av sjöar och vattendrag	17
Växter och djur i försurade sjöar	21
Det blir bättre och bättre...	23
Markförsurning	26
Kalkning av skogsmark motverkar försurning	28
Återföring av aska till skogsmark	30
Grundvatten	32
Skogsskador	35
Lavar och luftföroreningar	36
Integrerad miljöövervakning	39
Skogsbruk, metylkvicksilver och fisk	43
Takprojektet	45
Forskningsprogrammet ASTA	47
Ozon, en reaktiv och farlig luftförorening	50
Luftföroreningar, försurning och framtid	51
Litteratur och hemsidor	54

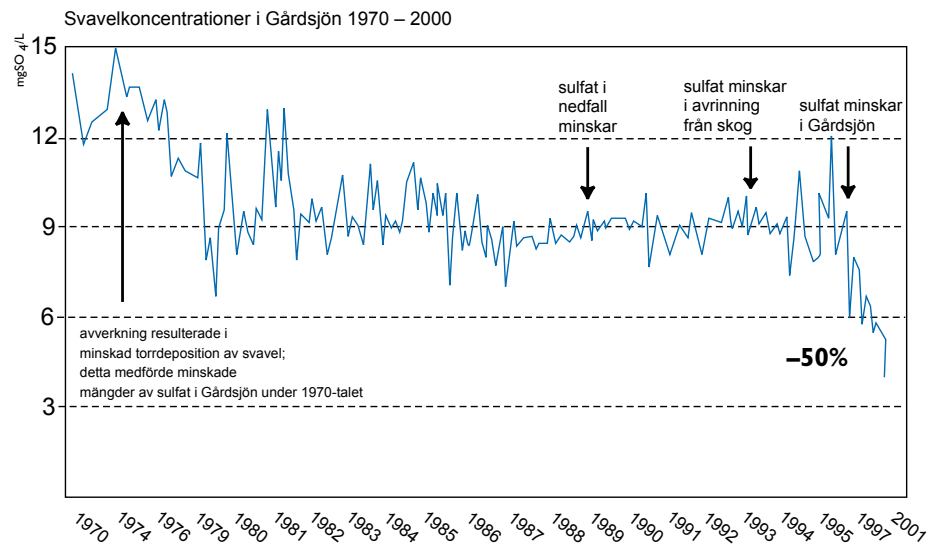
Välkomna till Gårdsjön



Gårdsjön är en ca 32 ha stor klarvattensjö, belägen i de näringfattiga moränmarkerna ca 1 mil öster om Stenungsund och ingår i Anråseåns vattensystem. Berggrunden består av svårvittrad gnejs och granit. Det omgivande skogsområdet kallas Svartedalen och sträcker sig några mil åt söder. På 1960-talet drabbades områdets sjöar och vattendrag av en omfattande fiskdöd. Orsaken var svavelnedfall och försurning.

Forskningen kring Gårdsjön

I och kring Gårdsjön bedrivs världsunik forskning om luftföroreningar och deras effekter på vatten, växt- och djurliv. Många forskare är eller har varit verksamma i projekt kring och i sjön. Resultatet har blivit en rik skörd av vetenskapliga skrifter och viktiga böcker om försurning. Många av resultaten från forskningen är banbrytande och har bidragit till att klarlägga sambanden mellan surt regn och effekter på vatten, mark och ekosystem. Resultaten utgör underlag när politiker, från lokal till global nivå, skall fatta beslut om hur försurning och andra luftvårdsproblem skall motverkas.



Gårdsjön ligger ca 5 mil norr om Göteborg. Kör E6 norrut, ta av mot Ucklum vid Stora Höga. Kör ytterligare 9 km norrut till Ucklum. Tag av mot Västerlanda i Ucklum. Efter ca 4 km avfart till höger mot Gårdsjön. Välkomna!



Naturstig

Med syftet att sprida kunskaper om Gårdsjöns olika forskningsprojekt och natur, invigdes år 2000 en naturstig med informationsskyltar. Skyltarna berättar om experiment och ekosystem kring Gårdsjön. Stigen har blivit ett välbesökt utflyktsmål för såväl skolor som söndagsflanörer. Stigen börjar strax öster om parkeringsplatsen. Det finns flera alternativ, bl.a. en längre rundvandring runt hela sjön (ca 6 km) och en promenad till "Taket" och tillbaka (ca 4 km).

Naturstig (vänster).

Gårdsjöstugoma ligger vid den norra delen av Gårdsjön (höger).



Taket (nederst till vänster) var tidigare en stor attraktion för besökare. Numera är plasttaket borttaget.

Sjösystemet är väl lämpat för kanotpaddling.



Hällmarker, granskogar och blötmyrar

Hällmarker – näringsfattiga men artrika

Vid en hastig anblick förefaller hällmarkerna, med sina glesa tallar, sitt tunna jordtäckte och enstaka ljungtuvor, vara ganska magra. Naturtypen är motsatsen till prunkande slätterängar och frodig lövskog. Att det saknas lövskog och örter beror på att marken är näringsfattig och att det tunna jordtäcktet lätt torkar ut. Trots sitt karga yttre finns det många organismer som lever här.

Titta lite närmare

På de karga bergytorna växer bl a olika lavar. Lavar växer långsamt. En renlav växer till exempel bara en halv centimeter om året och behöver bara små mängder näring och vatten. De har anpassat sig till att leva i torra och fattiga delar av naturen. På berghällarna växer de i stort sett utan konkurrens från andra växter. Allra ”magrast” är de nakna berghällarna. Nakenheten är en illusion. I själva verket täcks hällytorna av en mosaik av olika skorp- och bladlavar. Det finns flera hundra olika lavar som lever på näringsfattiga bergytor. Lavarna bidrar till att vittra sönder och bryta ner berget.

Mera jord – flera växter

Där det samlats lite vittringsjord, gärna i fuktiga svackor, kan gröna växter etablera sig. Här och var växer gröna mosskuddar. Kuddarna utgörs av kvastmossor och nickmossor. Stora, ljus mattgröna tuvor är falsk vitmossa. Där mossorna börjar täcka stora ytor är ofta jordskiktet lite tjockare. Snart etablerar sig de första blomväxterna och gräsen. Bergglim, fårsvingel och ljung är vanliga i denna miljö. Här och var kan tallplantor gro och växa upp till ett glest trädskikt.

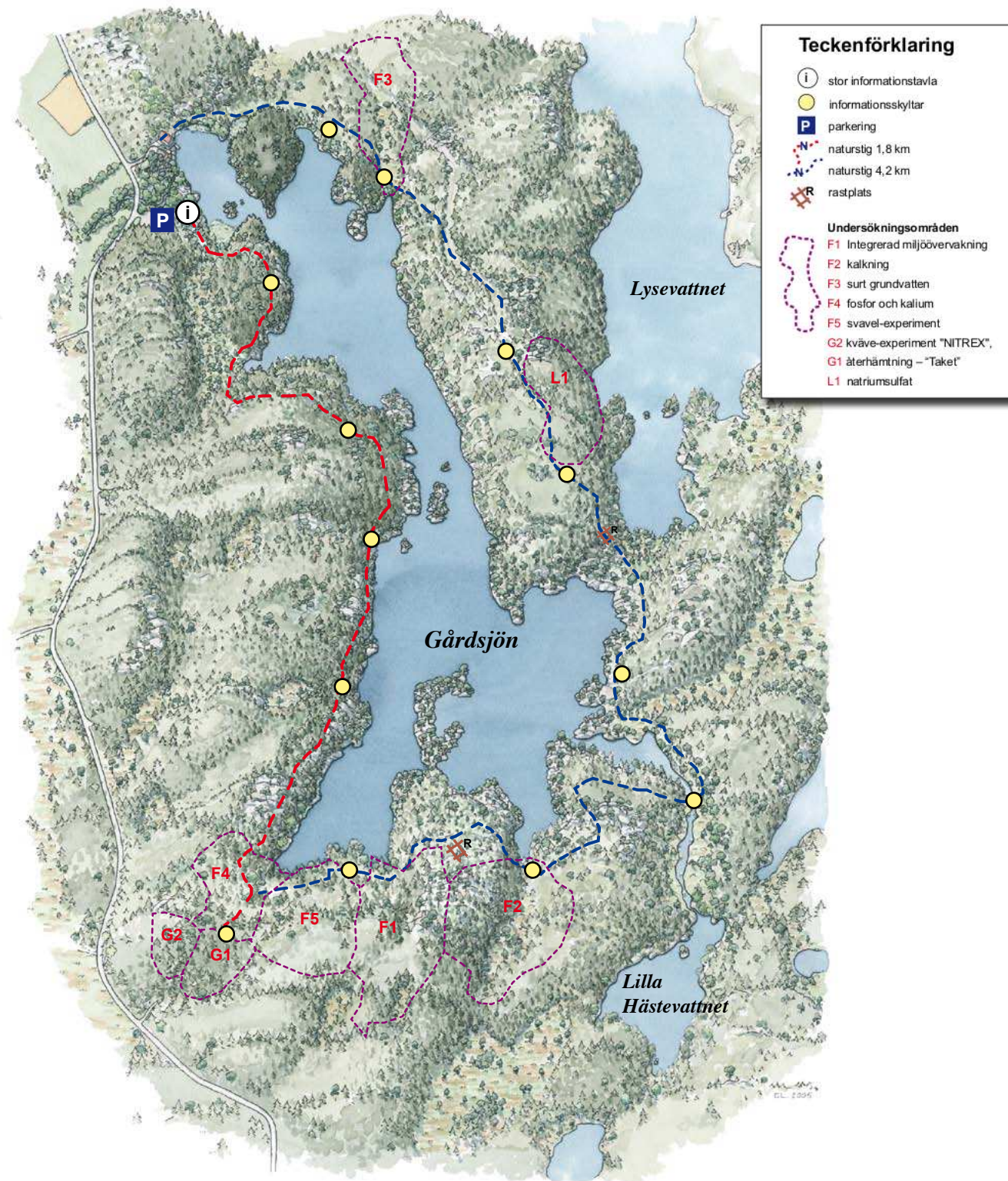
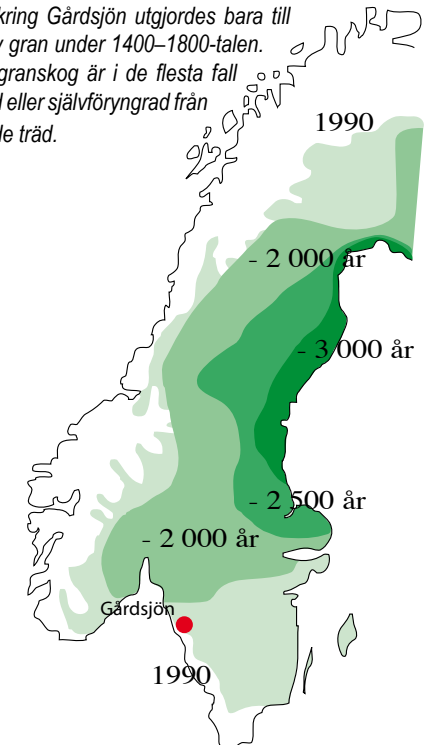
För hundra år sedan var landskapet mer öppet

Vid början av 1800-talet var stora delar av Svartedalen ett trädfrött, hårt betat hedlandskap. Får och enstaka nötkreatur betade vidsträckt utmarker. Ibland, när ljungtäcktet blev tjockt och vedartat, brändes hedarna. Det vi ser idag är en långt gången igenväxning av det en gång öppna landskapet. Ännu längre tillbaka i tiden, för mer än tusen år sedan, var området täckt med lövskog dominerad av ek. Granen, som är det vanligaste trädslaget i dagens landskap, trängde in i Sverige från nordost för drygt 3.000 år sedan. Granen kom till västra och södra Sverige i ganska sen tid.



Gårdsjön i vinterskrud.

Granen vandrade in från öster för drygt 3.000 år sedan och trängde successivt undan lövskogen. I området kring Gårdsjön var granen mindre vanlig ända fram till för ett par hundra år sedan. Skogen kring Gårdsjön utgjordes bara till ca 5% av gran under 1400–1800-talen. Dagens granskog är i de flesta fall planterad eller självföryngrad från planterade träd.

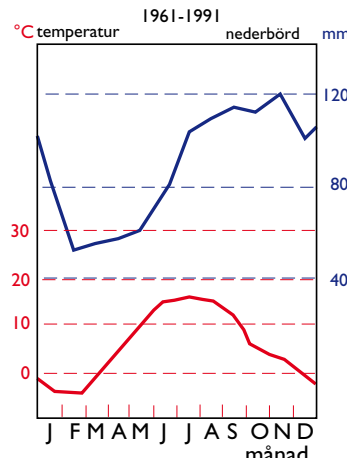




Klockljud Erica tetralix (ovan) och myrlilja Narthecium ossifragum (nedan).



Pollendiagrammen till höger avslöjar gamla tiders gårdsjönatur. Forskarna har tagit prover från olika djup i Gårdsjöns bottensediment. Pollen från olika trädslag har sedan identifierats och då framträder en bild av hur vegetationen förändrats genom tiderna. I diagrammet visas mängden pollen från olika trädslag på olika djup i Gårdsjöns bottensediment.

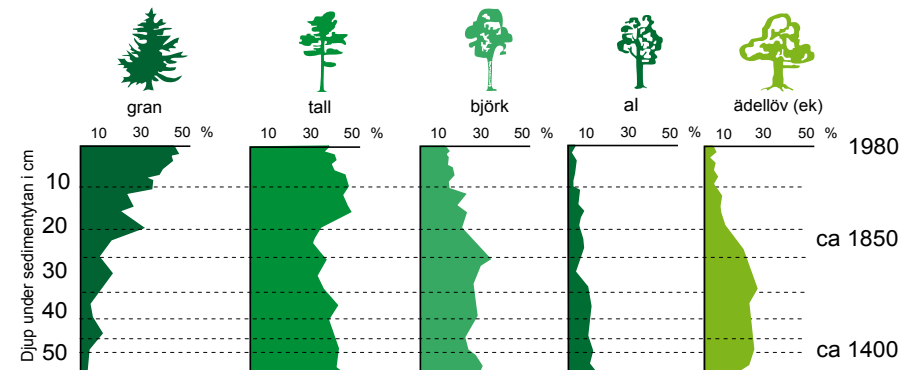


Gårdsjön har ett oceaniskt klimat med hög nederbörd och milda vintrar. Nederbörden är ca 1.100 mm per år, vilket är avsevärt mer än vid kusten några mil västerut. Att det regnar mer beror på att fuktiga luftmassor från havet pressas upp över bergen, vilket i sin tur leder till att fukten i luften kyls av, kondenseras och faller ut som regn. Detta fenomen kallas orografisk nederbörd efter grekiskans "oros" som betyder berg. De stora och sura nederbördsmängderna har gjort området till ett av de mest försurade i Europa.

Oceaniska växter

Växter som gynnas eller är beroende av ett mildt, fuktigt och havsnära klimat kallas ibland "oceaniska". Kring Gårdsjön finns flera sådana arter, t.ex. klockljud och myrlilja. Båda förekommer helst i kärr och blöta myrar. Klockljuden är nära släkt med vanlig ljud men har större och lätt upplåsta blommor. En tredje oceanisk, mycket mer ovanlig växt är hedjohannesörten. Den växer, som namnet antyder, på hedar. Hedjohannesörten förekommer kring Gårdsjön som en kvarleva från den tid då området täcktes av öppna, betade hedmarker. Hedjohannesörten finns på listan över arter som är utrotningshotade i Sverige.

Bland lavarna finns också flera värme- och fuktighetskrävande arter, typiska för Västkustens ljumma, humida klimat. På slät bark av hassel, rönn och al i fuktiga kärrmarker påträffas havstulpanlav och skriftlav. Den förstnämnda har fruktkroppar (apothecier) som liknar havstulpaner. Skriftlavens fruktkroppar ser ut som små skrivtecken.



Myrar, mossar och kärr

Myr är ett samlingsnamn för mossar, kärr och blandmyrar. Mossarna är stora ris- och vitmossklädda våtmarker som får sin vattenförsörjning enbart från nederbörden. Kärren däremot tar emot mer eller mindre näringsrikt vatten från omgivande marker. Kärren delas in i fattiga, intermediära och rika kärr beroende på tillgången på mineralämnen, främst kalk, i tillrinnande vatten. Kring Gårdsjön finns enbart fattigkärr. Kring många mossar finns en ring av kärr. Denna brukar kallas lagg eller laggkärr. I laggkärren är floran ofta rikare än på själva mossen. I Gårdsjöområdet finns gott om små myrar med en mosse i mitten, omgärdad av laggkärr.

Hur bildas en myr?

På botten av sjöar avlagras allehanda lämningar av växter, djur, jord och sten. Allt eftersom tiden går fylls sjön upp av sediment. När den blir tillräckligt grund etablerar sig vitmossor. Snart har sjön bildat ett kärr som i nederbördsrika områden med näringsfattig och sur mark utvecklas till mossar.

Liv och död i torven

Vitmossor växer i toppen, men dör i basen. De döda delarna av vitmossan bygger upp mossen. Det döda växtmaterialet i mossen brukar kallas torv. Det är mycket näringsfattigt på en mosse och den enda näring som når högmossan kommer via regn och snö. Nedfall av kväve har under senare år medfört att växtligheten på många mossar förändrats, bl.a. ökar tillväxten hos de små "martallarna".

Kärrmarker

Utmed bäcken mot Lilla Hästevattnet, söder om Gårdsjön, finns en blandning av kärr- och mossvegetation. Här finns flera olika vitmossor, bladvass, tranbär, rosling, pors och myrlilja. Den vackert gula myrliljan blommar på sensommaren till hösten och är vanlig bara i sydvästra Sverige och i västra Jämtland. Myrliljans vetenskapliga namn är *Narthecium ossifragum* vilket betyder "den som ger benskörhet hos getter". I östra Sverige växer istället skvattram på myrarna vilken saknas hos oss.



Orren är de stora mossarnas obestridda härskare. Tidiga vårmorgnar ljuder ortupparnas spellåten. Orrspelet är naturens eget tomerspel och ortupparna är riddarna. Den som vinner får honomas gunst som pris. Efter orrspelet och parningen flyttar orramna åter in i skogen och förblir nästan osynliga resten av året.



En typisk, granskogsklädd sluttning söder om Gårdsjön. Vitmossor *Sphagnum* spp. och stor kvastmossa *Dicranum majus* färgar marken grön. De fuktiga skogarna är också mycket goda svampmarker (nedan).



Några andra typiska arter i Gårdsjöns omgivning är gammelgranslav *Lecanactis abietina* (överst) och orkidén knärot *Goodyera repens*. Hedjohannesört *Hypericum pulchrum* (nedan), är en hotad art i Sverige.



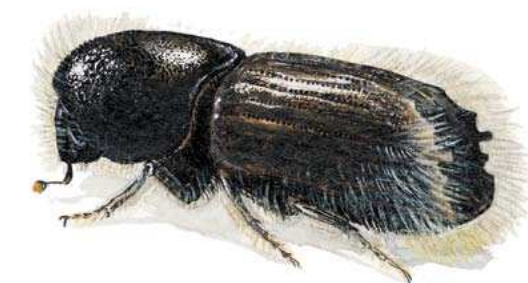
Svampar

En karaktärsart för Gårdsjöns fuktiga och näringsfattiga marker är trattkantarellen, vars mörkt bruna, ganska svårupptäckta fruktkroppar visar sig på hösten, från september fram till den första frosten. Man tror att trattkantarellen har ökat som en följd av markförsurningen. En annan svamp som ökat i markerna kring Gårdsjön är den kalkgynnade lökspindelskivlingen. Detta beror på att marken i ett försöksområde (F2) har kalkats. En viktig del av forskningen kring sjön har som syfte att studera och analysera de förändringar i växt- och djurlivet som följer olika typer av påverkan t.ex. försurning eller kalkning.

Insektslivet

Insekterna är både Sveriges och världens mest artrika organismgrupp med flera miljoner kända arter i världen och drygt 30.000 i Sverige. De som du kanske mest lägger märke till kring Gårdsjön är myggor, flugor och trollsländor. Men kanske stöter du på en tordyvel på någon skogsstig, eller den vackra makaonfjärilen, vars larver lever på flockblommiga växter, t.ex. kärnsilja, i kärren. En annan insekt som du kan se spåren av är granbarkborren. De utglesade och ibland helt döda granarna vid Gårdsjöns västra strand orsakades av granbarkborrens angrepp 1998. Bland annat blev ett stort antal granar i "takområdet" angripna. För att inte skada taket eller riskera stambrott lyftes de angripna granarna bort med en kranbil.

Trattkantarellen är en karaktärsart för de blöta, näringsfattiga markerna kring Gårdsjön. Det finns teorier om att trattkantareller blivit vanligare på grund av försurningen.



Granbarkborren angriper gran och orsakar ibland trädod. Den nedre bilden visar angripna och dödade granar som lyfts ut ur "takområdet".



Fågellivet kring Gårdsjön



Fiskgjusen – en tillfällig gäst i Gårdsjön.



Tjädern under flykt.

Artfattigt men individrikt

Fågellivet kring Gårdsjön är individrikt men ganska artfattigt. Ett trettiotal arter häckar i markerna kring sjön. Nötskrikan är en av de mest framträdande arterna under sommaren – vacker men högljudd. Nötskrikan har en viktig funktion att fylla då den samlar och sprider ekollon som sedan kan gro till nya ekar. I april spelar orrar på myrarna och tjädern i högt belägna hällmarks-tallskogar. I Gårdsjöområdet finns också flera rovfåglar t.ex. fiskgjuse och ett flertal olika ugglor. Tidigt på våren kan man höra visslingarna från den lilla sparvugglan. Trots sin litenhet är den en riktig tuffing. Om du härmar honom lite för intensivt ser han dig som en farlig konkurrent och attackerar. Rätt som det är har ugglan ryckt av dig mössan.

Tjädern – signalerar skog med höga naturvärden

Att det finns tjädern i skogarna runt Gårdsjön kan ses som ett tecken på att den biologiska mångfalden är stor. Ofta finns det andra sällsynta arter i sådana skogar. Man säger att tjädern är en signalart – den signalerar att skogen har höga naturvärden. Tjädern föredrar äldre skogar med inslag av små, öppna gläntor och småkärr. I tjäderskogen finns det gott om blåbär som är fåglarnas basföda under sommaren. Tjädern äter både blåbärsris, blad, blomskott och bär. Under vintern blir det kärvar. Tjäderns strategi för att klara födotillgången kan då sammanfattas med ett ord – ”tallbarrskalas”! För att klara sönderdelningen av den fiberrika tallbarrskosten äter tjäderna också gruskorn. I den gamla naturskogen hittas lämpligt ”maggrus” under rotvärtor av gran. I kulturpåverkade skogar får skogsvägar fungera som grusdepåer.

Meståg – gängbildning för överlevnad

Under höst och vinter drar större och mindre flockar av småfåglar genom skogen runt Gårdsjön. I dessa ”meståg” slår sig talltitor, tofsmesar, svartmesar, kungsfåglar och trädkrypare ihop. Detta flockbeteende ökar fåglarnas chanser till överlevnad under vintern. Fåglarna genomsöker trädens kronor på jakt efter spindlar och annan lämplig föda. Man har funnit att arterna söker efter föda på olika ställen i trädskronan. Varje art har sin egen ekologiska nisch. Längst ute på grenarna håller de lättaste fåglarna kungsfåglarna och svartmesarna till. Grenarnas mellersta delar är tofsmesarnas område och längst in letar talltitorna. Stammen genomsöks av trädkryparen, som klättrar i en spiral från roten till toppen av trädet. Denna arbetsfördelning mellan arterna har en logisk förklaring. Konkurrensen mellan arterna blir liten och födotillgången kan utnyttjas så effektivt som möjligt.

Luftföroreningar och försurning

Med försurning menas att vatten i olika former, t.ex. snö, regn, bäckar, sjöar och grundvatten, blivit surare. Det finns olika orsaker till försurning, men viktigast är utsläpp av luftföroreningar, framförallt svaveldioxid, som bildar försurande ämnen. Svaveldioxid bildas vid förbränning av olja och kol. Även kväveoxider, som till stor del kommer från trafiken, bidrar till det sura nedfallet. Svaveldioxiden ger svavelsyra, kväveoxider bildar salpetersyra. De båda syrorna kan, tillsammans med ammoniak från jordbruket, också ge andra skadliga föreningar. Surt regn bildas och faller ner på mark och sjöar. Det angriper och löser ut metaller, skadar växtlighet, dödar smådjur och fiskyngel m.m.

Uppskattningsvis ca 14.000 sjöar, var femte svensk sjö, är mer eller mindre allvarligt försurade. Kalkning som motverkar försurning genomförs idag i ca 7.500 sjöar.

Basketjoner (kalcium, magnesium och kalium) i mark och vatten motverkar försurning. Kontinuerlig tillförsel av försurande ämnen förbrukar emellertid basketjoner vilket resulterar i ökad surhetsgrad och minskad motståndskraft.



Kväveföreningar från trafik, ammoniak från jordbruket och...

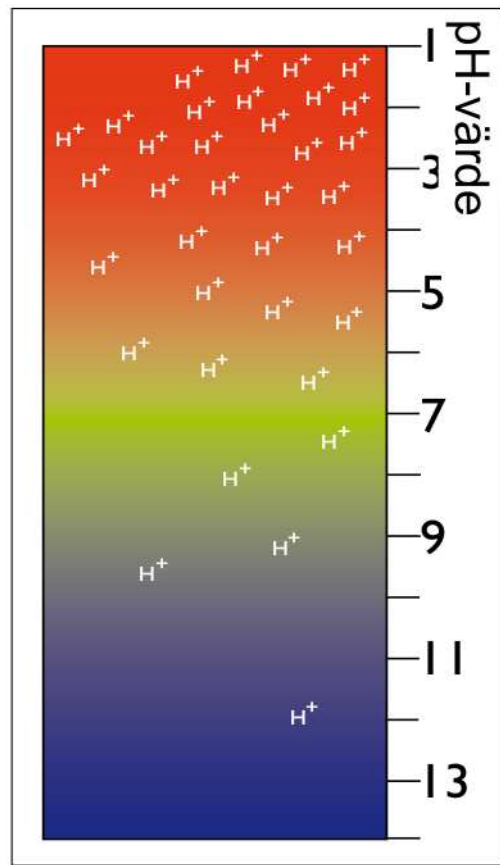


...svaveldioxid från förbränning av kol och olja...



...bildar surt regn som försurar vatten och mark.





ph-skalan

pH-värdet beskriver vattnets innehåll av vätejoner (H^+) och anger graden av surhet. Ju lägre pH-värde desto surare (mer vätejoner). I den logaritmiska pH-skalan ändras halten vätejoner 10 gånger för varje steg. Vatten med pH 5 innehåller 10 ggr så mycket vätejoner som vid pH 6. Om pH-värdet i en sjö sjunker från neutralt pH 7 till pH 4 så betyder det att vattnet blivit $10 \times 10 \times 10 = 1.000$ ggr surare. När pH-värdet faller under 5,5 dör fiskyngel och reproduktionsförmågan minskar hos fiskar som lax, öring, elritsa och mört. Vid pH 4,5 försvinner successivt gädda och abborre. Om detta värde underskrids blir sjön i stort sett fisktom. Enstaka insektsarter, bl.a. buksimmare, kan däremot förekomma i stor mängd.

Sjön – en spegel av sitt avrinningsområde

I mark och vatten finns processer som motverkar försurningen. Ämnen som bromsar pH-sänkningen kallas buffrande. I en sjö bestäms buffertförmågan främst av tillgången på vätekarbonatjoner. Dessa kommer från vittring av mineral i marken i sjöns tillrinningsområde. Tjocka, finkorninga jordar med lättvittrade mineral (t.ex. kalk) ger sjön rikligt med vätekarbonat. Den blir då okänslig för försurning. I Svartedalen är jordarna tunna, ganska grovkorniga och fattiga på lättvittrade mineral. Sjöarna är därför försurningskänsliga. I försurningskänsliga marker håller inte vittringen av mineral jämna steg med tillförseln av vätejoner. Då faller pH. På sin väg genom markprofilen, ner till grundvattnet, och vidare ut i sjön, tar det sura vattnet med sig baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium). Marken blir allt näringsfattigare. När det blir riktigt surt börjar aluminiumföreningar lösas upp i marken. Aluminium är skadligt för fisken och troligen också för växtarter. När aluminium går i lösning sjunker inte pH så mycket mer, men ekosystemet är då svårt försurningsskadat.

Miljön är som känsligast om våren

Snötäcke och tjälad mark samlar på sig en stor mängd försurande ämnen, vilka släpps loss när vårsolen smälter snön och vårregnet sköljer genom marken. Den viktiga vårfloden blir en giftstöt för växter och djur istället för ett livselixir.

Lösningen – mindre användning av fossila bränslen

Egentligen finns det bara en väg ut ur försurningseländet. Lösningen är att dramatiskt minska eller upphöra med användningen av fossila bränslen; kol och olja. Då skulle flera andra allvarliga miljöproblem lösas på köpet. T.ex. skulle det marknära ozonet minska liksom koldioxidhalten i atmosfären.

Kritisk belastning

Om nedfallet av svavel och kväve minskar under den kritiska belastningen skulle vattendragen och de växter och djur som lever där återhämta sig. Forskningen i Gårdsjön har som en av sina viktigaste uppgifter att utreda hur detta kan ske.

Försurning av sjöar och vattendrag

Försurning av sjöar

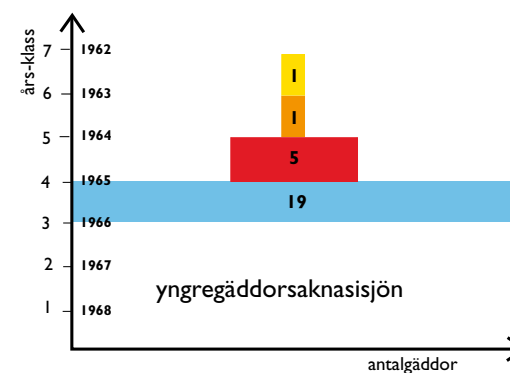
Under 1960- och 70-talen observerades de första försurningseffekterna i sjöarna i Svartedalsområdet liksom i stora delar av sydvästra Sverige. Känsliga fiskarter som mört, röding och elritsa försvann helt och bestånd av flodpärlmussla, lax och havsöring skadades allvarligt. Det fanns ett tydligt samband mellan de snabba förändringarna och de låga pH-värdena. Orsakerna till de låga pH-värdena var det ökade nedfallet av försurande ämnen i form av svavel och kväve. Redan 1969/70 genomfördes vattenprovtagning och provfisken i Gårdsjön. Resultatet var nedslående – enbart 1,5 abborrar per hektar (ha) och totalt tre gäddor i hela sjön noterades, jämfört med flera tusen fiskar per ha i en normal skogssjö.

Gårdsjöprojektet startar med mätningar

För att i detalj studera försurningsprocessen och undersöka hur sjöar återhämtar sig efter kalkning, startades Gårdsjöprojektet 1978, med ett stort antal forskare från hela landet. Idag är forskningen inriktad på att klargöra vad som händer i hela skogsekosystemet (luft, mark, skog och vatten) när nedfallet från atmosfären ökar eller minskar. I sjöarna Gårdsjön och Stora Hästevatten pågår fortfarande mätningar av vattnets sammansättning. Det finns mätserier som löper 30 år tillbaka i tiden. Mätningarna av luftnedfall och avrinning (avrinningsområde F1 med äldre granskog) startade 1978. Härifrån kommer några av världens längsta mätdataserier från försurade skogsekosystem.

Försurningen och Svartedalens fiskfauna

I Gårdsjön har försurningen slagit ut de naturliga fiskbestånden av abborre, gädda, mört och ål. Abborre är en vanlig svensk sötvattensfisk som tål ganska surt vatten men försvinner när pH-värdet underskrider 4,5. Mörten är känsligare. Redan vid pH lägre än 5,5 minskar kläckningen av mörten rom. Abborrens rom, som abborrhonan ofta fäster i en gren av ett träd som fallit i vattnet, är normalt genomskinlig, men vitnar i surt vatten och ynglen dör inuti romkornen. I många sjöar med surt vatten har abborren skador på främre delen av ryggraden genom att flera kotor växer samman och fisken får en puckelrygg. Skadan uppkommer i samband med att ynglen kläcks och försöker ta sig ur romkornet – skalet på romkornet blir hårt i surt vatten. Sådana skador var vanliga i Svartedalens cirka 50 sjöar och döda, vita romsträngar hittades i flertalet av sjöarna. Mörten, som fanns i mer än hälften av sjöarna under 50-talet, försvann under 1960-talet och det sista mörtenbeståndet som dog ut fanns i Ålevatten fram till 1972 då även detta bestånd försvann.



Antalet gäddor i varje årsklass jämte kläckningsår i Mörtvatten hösten 1969.

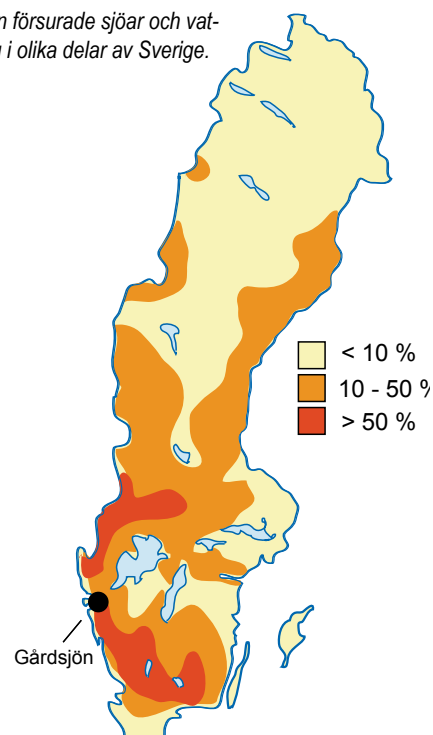
Sjöar	Datum	pH	SO_4^{2-} mg/l
Mörtvatten	1969-10-02	4,6	-
Mörtvatten	1969-10-25	4,6	8,48
Kroksjön	1969-10-02	4,8	-
St.Äggdalsjön	1969-10-02	4,8	10,5
St.Äggdalsjön	1962-11-21	5,8	-
St.Nöjevatten	1969-11-26	5,8	13,6
St.Nöjevatten	1962-11-21	5,9	-
Timmervatten	1969-11-26	4,8	10,3
Timmervatten	1962-11-21	5,9	-
Timmervatten	1969-11-26	4,6	11,2
Mörtvatten	1962-11-21	5,9	-
Mörtvatten	1969-11-26	4,6	12,7
St.Örevatten	1960mars	5,0	-
St.Örevatten	1965-03-25	4,5	-
Härsevatten	1969-11-26	4,5	9,7

Resultat av mätningar av pH och sulfat i sjöar i Svartedalsområdet under 1960-talet. Sjöar med pH-värden lägre än 5 är starkt försurade. Resultaten tyder på att en kraftig pH-sänkning skedde under detta decennium.



När fiskynglet har gulsäck är det särskilt känsligt för olika vattenföroreningar.

Andelen försurade sjöar och vattendrag i olika delar av Sverige.



Öringar och lax från Rördalsån (till höger). Fiskarna längst upp (öring och lax) har levt två somrar i vattendraget och skall vandra ut i havet under vintern eller våren. De små fiskarna har tillbringat en sommar i sötvatten. Bilden är tagen under tidig höst.

Utslagning i Anröseån

I Anröseåns olika delar fanns tidigare rikligt med elritsa, stationär öring och havsöring. Elritsan är mycket känslig för surt vatten och försvann från de flesta delarna av vattensystemet under 1960-talet. Havsöringen, som hade ett av sina största bestånd i Västsverige i Anröseån, minskade med 80–90% under 1970-talet. De största effekterna uppstod i samband med surstötter under höstregn och vid snösmältningen om våren. Det var surstötterna som slog ut flodpärlmusslan som dog i tusental i början av 1970-talet.

Oorganiskt aluminium, en orsak till fiskdöd

Idag har vi lärt oss att det inte bara är surt sjövattnet och surstötter som orsakar fiskdöd. När de tunna jordarna i skogsmarken försurats kraftigt så att pH-värdet i marken sjunker under 5,0 börjar aluminium i oorganisk form lakas ut från markprofilen och hamnar i vattendrag och sjöar. Oorganiskt aluminium angriper fiskens gälar så att dessa inte kan ta upp syrgas från vattnet. Fisken dör av kvävning. Giftigt aluminium fortsätter att lakas ut ur de försurade skogsmarkerna trots att svavelnedfallet har minskat mycket kraftigt. Det är främst i samband med stora vattenflöden, t.ex. under vår och höst, samt efter torrsomrar, som mycket aluminium kommer ut i vattendragen. Dessa ”svavelpulser” uppstår som en effekt av att torrsomrarna medför en lägre grundvattennivå i skogs- och våtmarker. Då kan syrgas tränga ner i jorden och oxidera reducerat svavel till svavelsyra, som i sin tur lakar ut extra mycket oorganiskt aluminium. Salt som tillförs marken i samband med stormar till havs och stora nitratläckage efter skogsavverkningar medför också surstötter med höga halter av giftigt, organiskt aluminium.

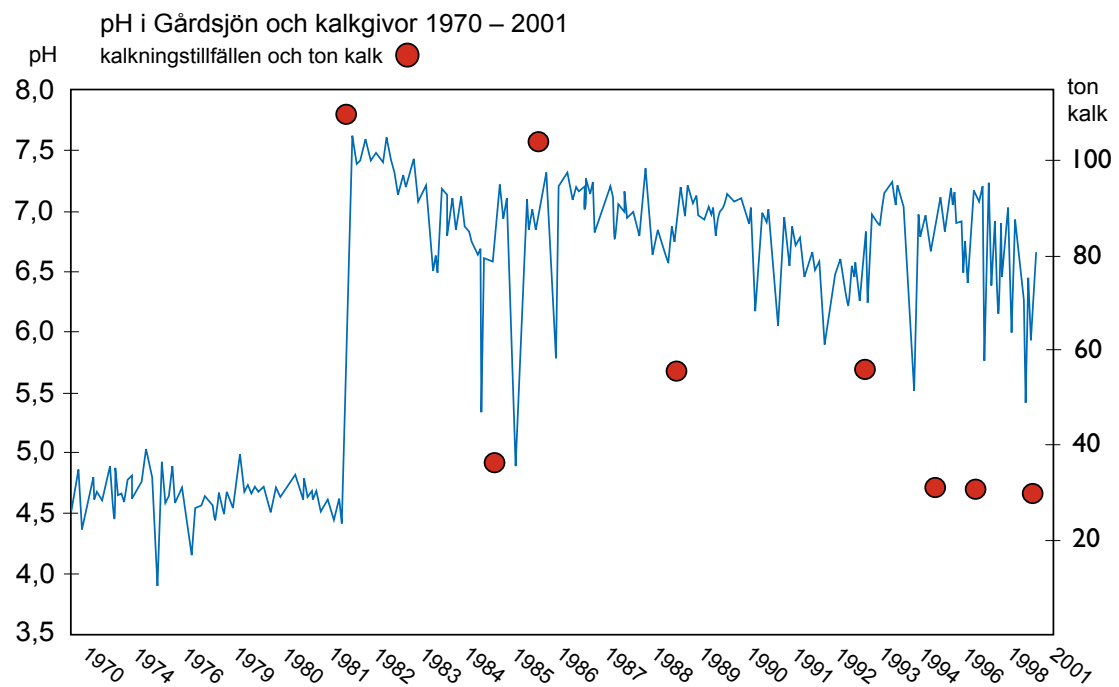


Sjökalkning ger snabb återhämtning

Efter att kalkningen startade i Anröseåns vattensystem och i Svartedalens sjöar har havsöringsbeståndet ökat med mer än 500% och abborre och gädda har åter lyckats reproducera sig. Mört har planterats in och sedan spritt sig i nästan hela vattensystemet. Så länge kalkningarna fortsätter kan vi ha kvar ett vitalt fiskbestånd och ett bra sportfiske. Rödingen fanns tidigare i St. Holmevatten i Jörlanda men dog ut av försurning redan under 1950-talet. Den har planterats in (Vätternröding) i sjön efter kalkning och kan nu fortplanta sig så att vi återigen har ett rödingbestånd i en bohuslänsk sjö. Kalkningen av sjöar och vattendrag i sydvästra Sverige måste sannolikt fortsätta under många år. Främst för att motverka skador av att försurat skogsavrinningsvatten med giftigt oorganiskt aluminium fortsätter att rinna ut i ytvattnet trots att svavelnedfallet har minskat med 70% sedan början av 1990-talet.

Engångskalkning räcker inte

Sedan 1982 har Gårdsjön kalkats regelbundet och effekterna har studerats noggrant. Kalkning av sjöar och våtmarker medför en mycket snabb pH-höjning och en minskning av giftigt, oorganiskt aluminium. Detta leder till att växter, smådjur och fisk ganska snabbt kan återhämta sig. Kalkningen måste dock upprepas regelbundet med något eller några års intervall för att de positiva effekterna skall bestå.



Regnbåge har planterats in i många av sjöarna i Svartedalen. Kalkning är då en förutsättning för att de skall överleva.



Växter och djur i en försurad sjö



När fiender, t.ex. fiskar, försvinner från försurade sjöar ökar buksimmaren *Glaenocoris propinqua* ibland mycket kraftigt. Den är en försurningsgynnad art.

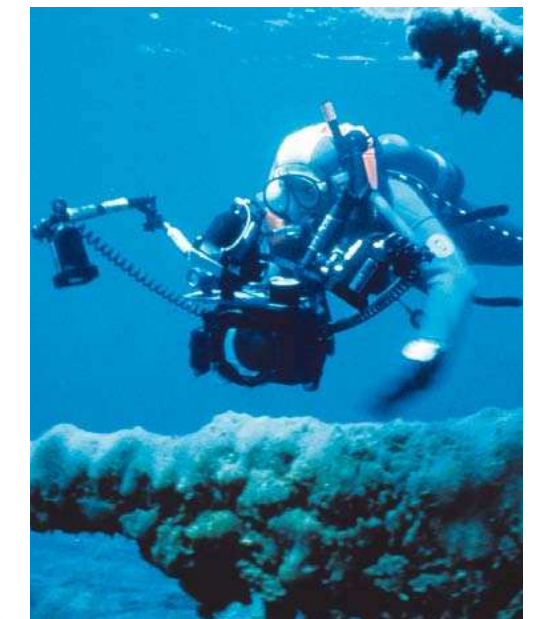
Abiotiska och biotiska faktorer

Miljöfaktorer delas in i abiotiska och biotiska. Abiotiska är sådana som inte är biologiska. pH, aluminium- och kalkhalt är viktiga abiotiska faktorer med koppling till försurning. Olika arter har olika toleransområden för en viss miljöfaktor. När sjön försuras kommer pH-värdet och aluminium-halterna att ligga utanför toleransområdet för många organismer, som då försvinner. När man kalkar stiger pH-värdet medan Al sjunker. Då finns det åter abiotiska förutsättningar för de arter som tidigare dött ut. Ibland kommer de tillbaka av sig själva. Det gäller t.ex. insekter som kan flyga. I andra fall kan människan återinplantera dem.

Biotiska faktorer är sådana som direkt orsakas av närvaron av en annan organism. Konkurrens mellan arter är ett bra exempel. Predation, att en organism äter en annan, är ett annat. Försurningen, främst det faktum att fisken till stor del försvinner, leder till stora biotiska förändringar i sjön. Vid kalkning kan situationen återgå till läget innan försurningen och fiskpopulationer kan återhämta sig. På nästa sida finns några exempel på abiotiska och biotiska förhållanden i försurade sjöar.

Trollsländelarver – berättar om sjöns ekologi

I strandkanten på sjöar kan det hända att det finns gott om en sorts gulgrön-bruna trollsländelarver som har tre långsgående ränder på magen. Det är då kärrtrollsländor och i så fall kan man omedelbart säga att det finns lite eller ingen fisk i sjön. Kärrtrollsländans larver har nämligen ett beteende som gör att de inte kan leva ihop med fisk. De är aktiva dygnet runt och går omkring långa sträckor även i dagsljus. De är därför väldigt lättupptäckta byten för fisk och finns bara i mer eller mindre fiskfria miljöer. Andra trollsländearter, som kan leva ihop med fisk, har larver som gömmer sig i bottenmaterialet på dagen när fisken är aktiv. De går bara omkring och letar mat på natten i skydd av mörkret och förflyttar sig endast kortare sträckor. Vill du ha fiskelycka ska du alltså undvika sjöar med gott om kärrtrollsländelarver!



En svårt försurningskadad sjö med kristallklart vatten.

Minskat nedfall men långsam återhämtning

Under 1990-talet har nedfallet av svavel minskat med ca 70% och skadorna av försurningen har minskat. I Stora Hästevatten, som ligger uppströms Gårdsjön, har forskarna under många år följt den försurade sjöns ekosystem genom studier av vattenkemi och artsammansättning hos växter, plankton och bottenlevande djur.

Minskningen av svavelnedfallet har medfört en liten pH-ökning under senare år, men förändringarna i vattenkemin går långsamt. Här finns fortfarande mattor av vitmossa och försurningståliga arter av plankton. Lägre djur dominerar fortfarande, men efter mer än 20 år har en försurningskänslig sötvattensgråsugga *Asellus aquaticus* återkommit till sjön. Orsaken till den långsamma återhämtningen i Gårdsjöområdet är det tidigare stora nedfallet av svavel. Detta har medfört att stora mängder av baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium) urlakats och att hela markprofilen domineras av vätejoner (H^+) och aluminium. Markens ”försurningsminne” är alltså fortfarande starkt, vilket medför att återhämtningen från försurningskadorna i sjöarna går långsamt.

Kalkspridning i rinnande vatten.

Kalkspridning i Gårdsjön.



Kalkspridning i ytvatten sedan mitten av 1970-talet. Som mest spreds ca 250 000 ton kalkstenspulver per år i svenska sjöar och vattendrag. Kalkningen måste fortsätta ända tills utsläppen nått under kritiska gränser och markens svavelförråd tömts.



Försurad sjö

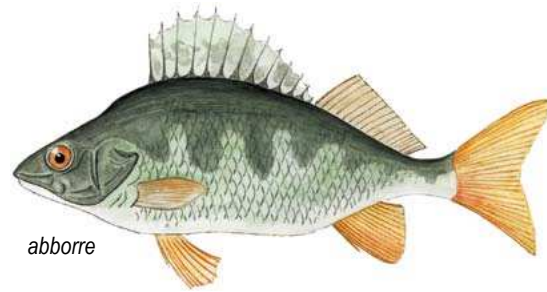
I surt vatten med lågt pH (4-5,5) dör fiskens ägg och yngel. Sjön blir med tiden fisktom, även om enstaka vuxna fiskar kan finnas kvar ganska länge.

Vissa dagsländelarver dör av surt vatten. Kräftor, snäckor och musslor får problem med att bilda skal och dör ut.

Trollsländelarver, skalbaggar och andra större småkryp är populär mat för fisk. När fisken försvunnit ökar dessa bytesdjur i antal. Vissa arter finns i stort sett bara i fisklösa vatten.

Vitmossa växer bättre i surt vatten, främst p.g.a. stor tillgång på koldioxid. Sura sjöar blir dessutom klarare p.g.a. förändringar i kemi och planktonsammansättning. I en klar sjö når ljuset längre ner i vattnet och vitmossan, som behöver ljus för sin fotosyntes, kan breda ut sig i stora mattor på botten. Vitmossan fungerar också som skyddande barnkammare för många småkryp.

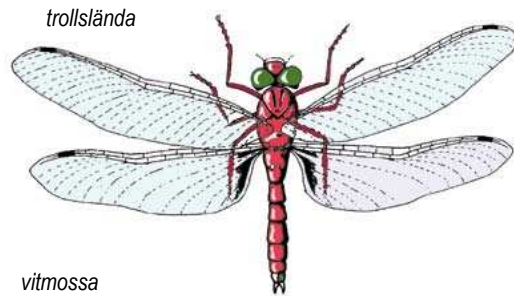
Knipan uppehåller sig gärna i sura sjöar. Den gillar stora vatteninsekter precis som fisken. Sura sjöar utan fiskkonkurrens gynnar knipan. Den fiskätande storlommen försvinner däremot.



abborre



larv av fjädermygga



trollslända



vitmossa



virvelbagge



knipa



storlom

Kalkad sjö

Högre pH (6-7) gör att fiskens ägg utvecklas normalt och fiskbeståndet kan finnas kvar och återhämta sig.

Alla dagsländelarver mår bra i vatten med relativt högt pH. Kräftor, snäckor och musslor har inga problem att bilda skal.

Större småkryp uppfattas av fisken som "stora läckerbitar" och äts därför med förtjusning. Bara ett fåtal exemplar lyckas gömma sig för fisken och överlever.

Här trivs vitmossan inte lika bra och finns oftast bara i mindre partier längs strandkanten.

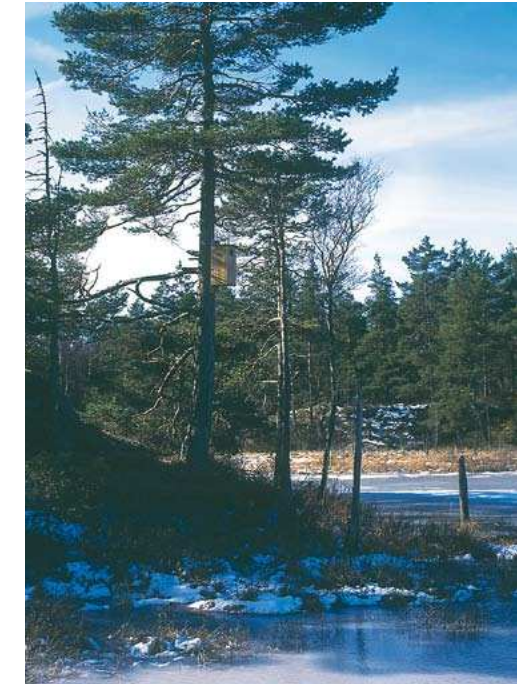
Olika vattenväxter som gäddnate och hårslinga återkommer ofta efter kalkning. Kransalger *Nitella*, som har förts in av kanadagås, återetablerar sig på botten av kalkade sjöar.

Knipan har svårt att konkurrera med fisk om de gemensamma bytesdjuren och väljer helst fiskfria sjöar. Storlom har återkommit till flera kalkade sjöar.

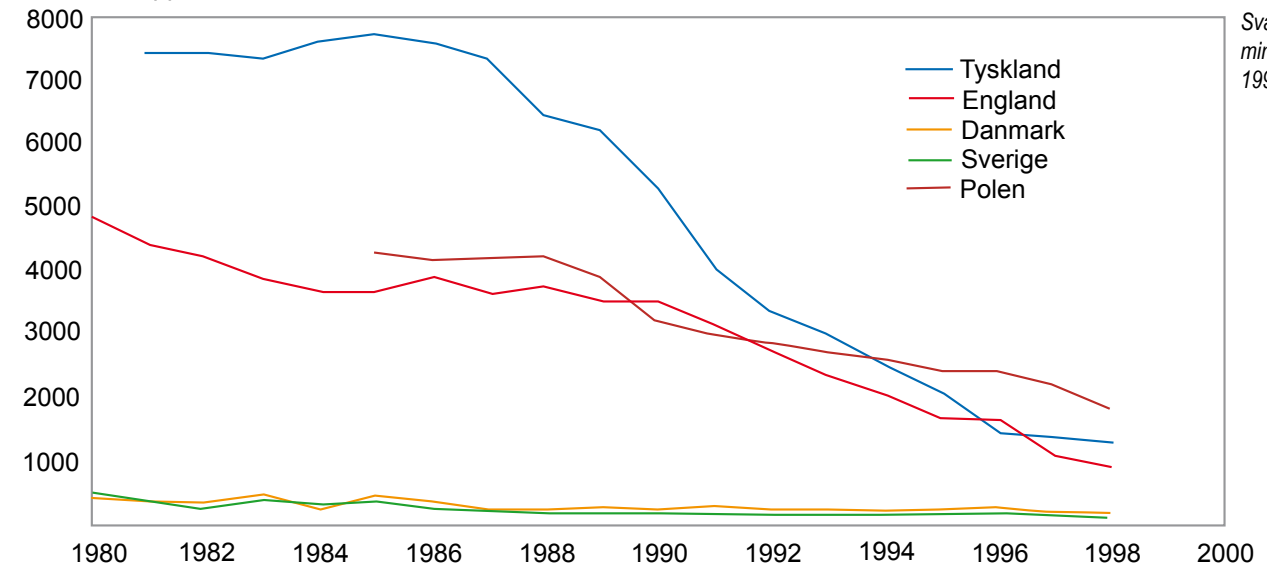
Det blir bättre och bättre...

Man hör fortfarande många människor uttala sig negativt om miljöutvecklingen – och visst finns det många miljöproblem att oroa sig för. Men tittar man ett par tre decennier bakåt i tiden, så slås man också av att saker och ting faktiskt också blivit bättre! Stora miljöproblem som övergödning av sjöar och vattendrag, metallföroreningar och försurning av mark och vatten hör till dom. Vi som minns hur det kunde se ut i sjöar och vattendrag innan reningsverkens tid på 70-talet och miljöskyddslagens tillkomst 1969 har en stark bild av död fisk, extrema algbloomingar och rykande skorstenar. Mycket lite av detta syns idag – i alla fall inom vårt län, Västra Götaland.

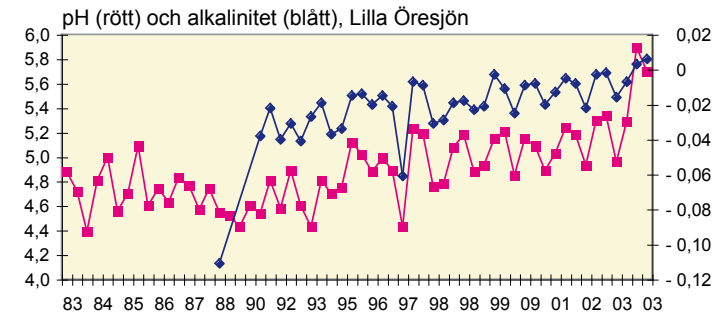
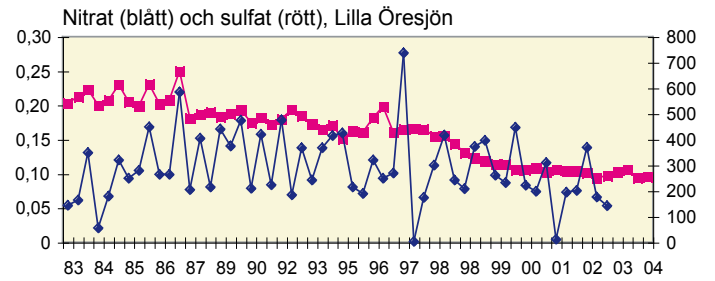
Inte lika synlig för ögat är den förändring av vattenkvaliteten som pågår i våra sjöar till följd av allt mindre luftnedfall av försurande ämnen. I vindriktningen innanför Stenungsund ligger Svartedalen och andra skogsområden som under många decennier fått ta emot mycket surt nedfall från såväl svenska som utländska källor. I detta område är jordtäckningen tunn och bergarterna har en mycket liten buffrande förmåga. Resultatet har blivit att sjöar och vattendrag sedan länge varit så försurade att det inte funnits möjlighet för fisk att överleva utan åtgärder. I många fall har kalkning varit den enda metod som funnits tillgänglig för att hjälpligt hålla liv i fiskfaunan och möjliggöra ett fritidsfiske.



svavelutsläpp i tusental ton



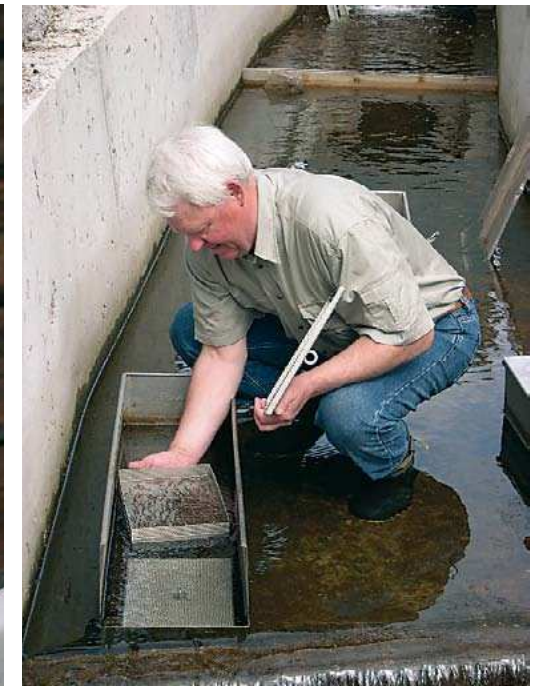
Svavelutsläppen har minskat kraftigt sedan 1990-talets början.



Men förändringens vindar har bokstavligen blåst över västkustens försurningsdrabbade vatten. Under 90-talet har utsläppsminskningarna av främst svavel varit omfattande i England, Tyskland och Polen, d.v.s. de länder betyder mest för nedfallet av sura ämnen på Västkusten. Detta tillsammans med stora ansträngningar från regionala industrier som t.ex. länets raffinaderier har gjort att svavelnedfallet på västkusten har minskat. Detta kan tydligt avläsas i det nät av internationella och regionala nederbördsstationer som finns i Västra Götalands län. Här har svavelnedfallet minskat med så mycket som 60–70% på de kustnära mätstationerna.

I Västra Götaland finns 15 referenssjöar, d.v.s. sjöar där man inte får kalka eller göra andra ingrepp som påverkar vattenkvaliteten. Flera av dessa sjöar var starkt försurade redan då mätningarna startade i mitten på 1980-talet. I Lilla Öresjön, på gränsen mellan Halland och Västra Götaland, har den ”magiska” gränsen mellan sur och icke sur passerats, och den har alltså återfått sin ursprungliga alkalinitet, d.v.s. buffertförmåga! Svavelinnehållet har minskat, pH och alkalinitet har ökat. I figuren till vänster syns hur innehållet av svavel har minskat och pH-värdet har ökat för att i slutet göra ett kraftigt hopp i Lilla Öresjön, det är just där som försurningsgränsen passerats. Om detta tillstånd håller i sig så får fisk och andra djur och växter möjlighet att etablera sig igen. Utvecklingen går i samma riktning i en grannsjö till Gårdsjön, Härsvatten. Denna har dock ännu en bit kvar tills den når egen alkalinitet. Det verkar också som om de biologiska effekterna börjar visa sig! Klorofyllhalterna, d.v.s. växtplanktonmängden verkar öka, och troligen som ett resultat av detta minskar siktdjupet.

Man kan anta att utvecklingen är likadan i flertalet försurade sjöar och då inställer sig frågan om det snart är dags att sluta kalka? Svaret är tyvärr nej! Även om flera av de andra referenssjöarna visar på samma utveckling och förhållandet antagligen går åt samma håll också i sjöar som kalkas, måste kalkningen fortsätta i många år ännu. De flesta sjöar startar från en mycket sämre nivå än Lilla Öresjön och det kan tyvärr dröja decennier innan flertalet sjöar nått samma tillstånd som Lilla Öresjön. Men det viktiga kvarstår – visst blir det bättre – om än i långsam takt.



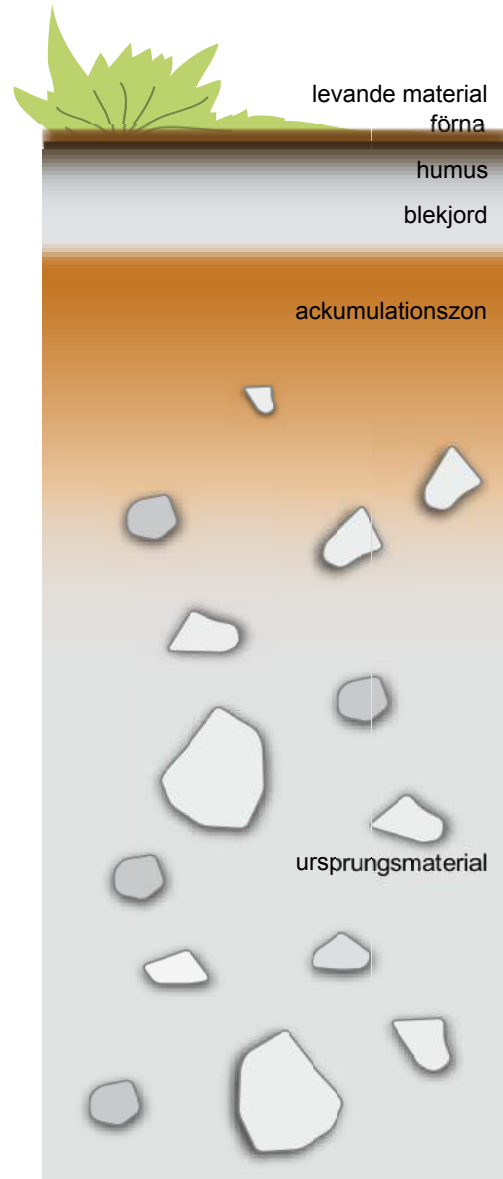
Öring från Gårdsjön som kramas på sin rom (till vänster). Gårdsjöns egen öringkläckningsstation (ovan) och sex månader gamla öringyngel (nederst till höger).



Fjällröding, som tidigare fanns i många västsvenska sjöar, har återintroducerats i Gårdsjön (vänster).



Markförsurning



Kalkfattiga, svårvittrade jordarter

Berggrunden kring Gårdsjön är ca 1,7 miljarder år gammal och består mest av granit och gnejs. Den senaste istiden slipade ner berggrunden och lämnade kvar ett tunt lager av morän i sänkor i terrängen. Stora delar av marken består fortfarande, tiotusen år efter att isen dragit sig tillbaka, av kalt berg med lavar eller med ett tunt lager jord. Jordtäcket medeldjup i de avrinningsområden som omger Gårdsjön är endast 0,4 – 0,7 meter och jordmånen utgörs i de flesta fall av podsoler eller mossjordar med sand eller finsand. Moränerna i området härrör från lokala, svårvittrade bergarter vilket gjort marken fattig på baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium) och andra näringsämnen.

Naturlig försurning

Sedan mitten av 1800-talet har granen ökat starkt på bekostnad av ek, björk och al. De sistnämnda trädslagen tillsammans med tall dominerade tidigare skogen i denna del av Sverige. Granens ökning under de senaste 100 åren har medfört en ökad försurning av markens övre skikt. Denna biologiska markförsurning orsakas av att barrträden producerar humussyror som lakas ut från nedfallna barr, kottar och grenar. Humussyrorna stannar kvar i markens övre skikt och medverkar därför oftast inte direkt till att försura sjöar och vattendrag.

Luftburen försurning

Svavel tillförs skogsmarken genom regn och torrt nedfall (gasen svaveldioxid och sulfatpartiklar). En stor del av nedfallet fångas upp och ansamlas i träd-kronorna och faller som krondropp till marken. Därför är svavelnedfallet i en äldre granskog dubbelt så stort som över en öppen yta. Sulfatjoner (svavelsyra) kan till skillnad från humussyrorna följa med vattnet och transporteras ned genom markprofilen. I Gårdsjön har nedfallet av svavel pågått i över 100 år, men större delen av nedfallet har skett under de senaste 50 åren. När svavelsyran transporteras genom marken fastnar vätejoner (H^+) och byts ut mot kalcium, magnesium och kalium som förloras med det avrinnande vattnet. När marken försurats transporteras även aluminium, mangan och tungmetaller som kadmium och zink till grundvattnet och ut i sjövattnet. Halterna av kvicksilver och metylkvicksilver i avrinningen är mest beroende av mängden humussyror och påverkas därför inte direkt av svavelnedfallet.

Brist på fosfor hämmar fiskproduktionen

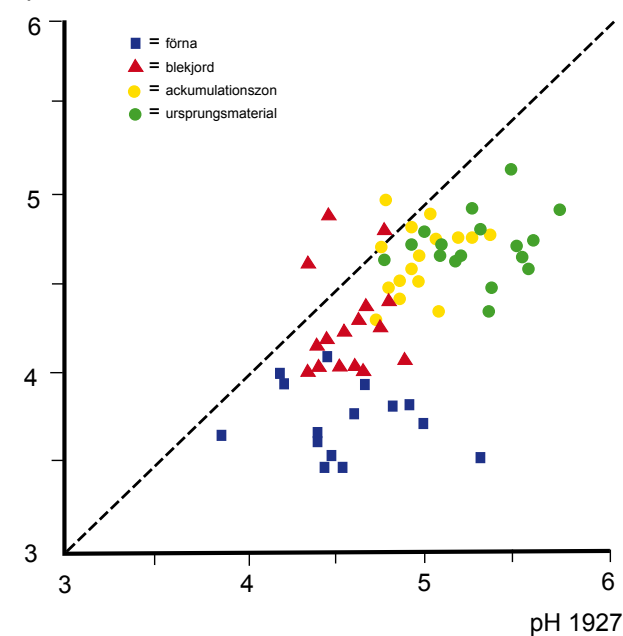
Stora områden i södra Sverige med svårvittrad berggrund och tunna jordar har försurats, tömts på baskatjoner och domineras nu av oorganiskt giftigt aluminium som läcker ut i vattendragen. Aluminium kan också binda upp fosfor i marken. Detta medför att starkt försurade skogsmarker fungerar som ett filter för fosfor. Eftersom fosfor är ett bristnärsämne i näringsfattiga skogssjöar blir sjön allt mer utarmad. Detta innebär att sjöarna inte ens på lång sikt kan få samma produktion av fisk och andra organismer som för 50–100 år sedan.

Markens minne

En del av svavlet har bundits i marken. Det kan fortsätta att läcka ut även efter att nedfallet från atmosfären minskar. Beräkningar visar att "svavelminnet" gör att svavel kan läcka ut under mer än 20 år även om tillförseln från nedfallet upphör. Markens minne av förlusten av kalcium, magnesium och kalium, det s.k. "baskatjonminnet", medför att återhämtningen av sjöarnas försurning tar lång tid. Uppskattningar visar att det kan ta 100 år, innan pH-värdet åter är i nivå med vad sjön hade före försurning. I mellersta och norra Sverige, där skogsmarken i mindre grad försurats av svavelnedfallet, har inte något "svavelminne" eller "baskatjonminne" skapats. Detta medför att återhämtningen går mycket snabbare vid minskat svavelnedfall.



pH 1983



C. O. Tamm fann sin fars forskningsanteckningar om markförsurning på vinden. Mätningarna från 1927 upprepades med samma metod 1983. pH-värdet hade sjunkit i hela markprofilen med upp till en enhet. Punkter under den heldragna linjen visar försurningspåverkad jord.

Kalkning av skogsmark motverkar försurning



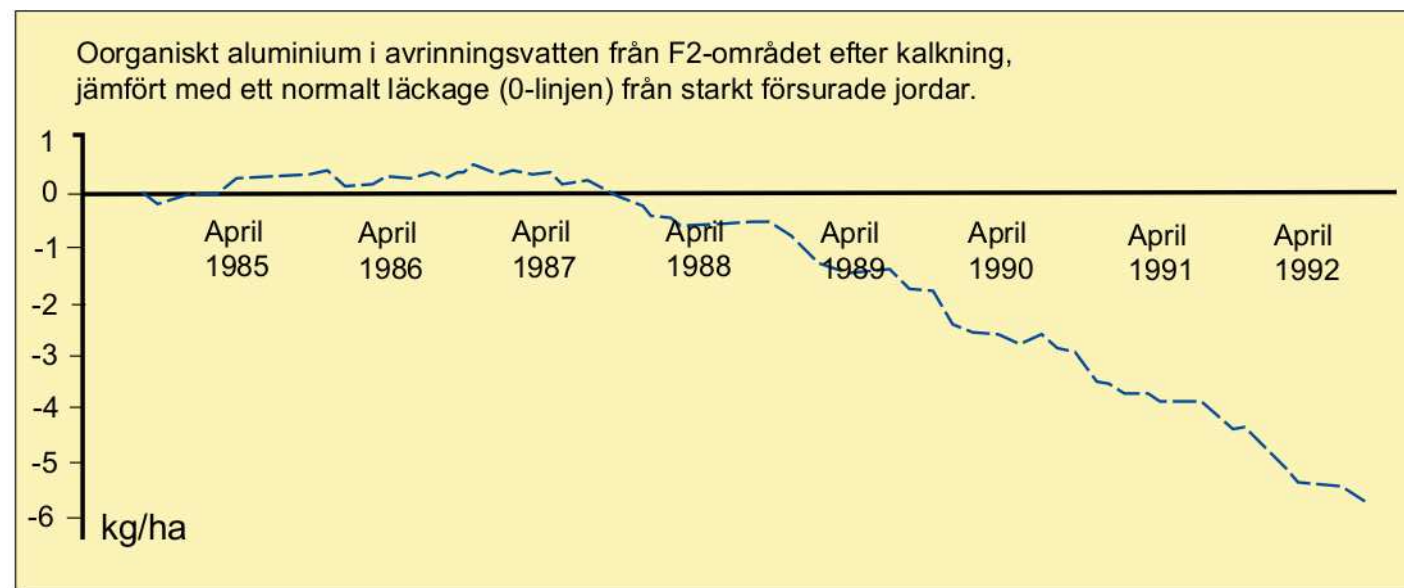
Försurad mark åtgärdas med kalk

Försurningen av skogsmark är ett stort miljöproblem – träden mår sämre och giftigt, oorganiskt aluminium läcker ut till sjöar och vattendrag. Därför har man gjort försök med skogsmarkskalkning för se om detta kan fungera som åtgärd mot försurat avrinningsvatten och som skydd mot ytterligare markförsurning.

Ett helt avrinningsområde kalkades för hand

Ett av försöksområdena i Gårdsjön, avrinningsområde F2, markkalkades för hand med 1,5 ton dolomitmjöl (mald marmorkalk) per hektar av forskare i maj 1984. Under 1986 kalkades halva området med ytterligare 4,5 ton per hektar. Resultaten från de vetenskapliga försöken i Gårdsjön är mycket pålitliga eftersom man kunnat göra jämförelser med ett identiskt, mycket närliggande och av kalk helt opåverkat område (F1, nationellt och internationellt övervakningsområde för luftföroreningar).

Kalkning av mark i undersökningsområde F2 i Gårdsjön.



Kalkens effekter på mark och vatten

Markens pH har ökat efter kalkningen och kalcium har bundits i de övre marklagren. Under de första tio åren efter kalkningen hade endast ca 3 kg per ha eller ca 1% av den tillförda mängden kalcium transporterats ut med avrinningen. Resterande 99% av mängden kalcium finns kvar i marken. Den starka bindningen av kalcium i markens övre del orsakade i början läckage av en ökad mängd sura joner som vätejoner (H^+) och aluminium till avrinningsvattnet. De sura jonerna läckte ut under de två första åren med den låga dosen kalk.

Under ca 10 år efter markkalkningen ökade svaveltransporten obetydligt utöver vad som tillförts från atmosfären, eller med sammanlagt 3 kg per hektar. Detta motsvarar ca 1% av nedfallet från luft under samma tid. Magnesium, som ingick med en mindre andel i kalken, visade sig vara mycket rörligare i markprofilen än kalcium som binds hårdare till organiskt material. Magnesium har sammanlagt lakats ut med ca 30 kg per ha (ca 10% av tillförd mängd) under de år som gått sedan första kalkningen.

Bara en meter per sekel

Den långsamma nertransporten av kalken i marken (ca 1 cm per år) gör att det tar mycket lång tid innan hela markprofilen och djupare markvatten, grundvatten och avrinning är ”genomkalkade”. Markkalkningen har bl.a. befarats öka mineraliseringen av kväve och svavel i marken. Detta skulle i sin tur kunna medföra ett läckage av nitrat och sulfat till sjöar och vattendrag.



RESULTAT FRÅN F2

- 1 Kväve i form av nitrat och ammonium har inte ökat i avrinningsvattnet efter kalkningarna i Gårdsjön.
- 2 pH-värdet i avrinningen från den kalkade skogsmarken har förändrats mycket lite och är fortsatt mycket lågt.
- 3 Giftigt oorganiskt aluminium har minskat med ca 50–60% liksom mangan under en tioårsperiod.
- 4 Lavar som kom i kontakt med kalken försvann.
- 5 Lövspindelskivling och röksvampar, som hör hemma i kalkrika områden, uppträder numera i stora mängder.

Återföring av aska till skogsmark



Dagens intensiva nyttjande av skogen verkar försurande

Användningen av bibränslen ökat kraftigt i Sverige. Till bibränslen räknas bl.a. avverkningsrester, t.ex. grenar och toppar (även kallat GROT), som blir kvar när stammarna skördas. Dessa rester är ett bra alternativ till fossila bränslen (olja, kol, naturgas) men uttaget från skogen innebär samtidigt en kraftigt ökad bortförel av näring och basverkande ämnen. Bortförslen är faktiskt större än vad vittring och andra naturliga processer normalt kan kompensera för. Resultatet blir att skogsbruket bidrar till försurningen och att tillgången på många viktiga näringsämnen riskerar att minska.



Stabiliserad aska löser sig långsamt och är därför inget hot mot ekosystemet.

Spridning av aska är ett sätt att erhålla en snabb återhämtning av vatten.

Projektet RecAsh är ett EU-finansierat projekt som syftar till att förbättra kunskapen om återföring av aska hos de aktörer som är deltar i verksamheten.

www.recash.info



Skogsbrukets andel av försurningen ökar

När det försurande nedfallet minskar, samtidigt som näringsuttaget från skogsmarken ökar via avverkningar, ändras orsaken till markförsurning. Skogsbrukets bidrag till markförsurning blir då allt större och bedöms i vissa delar av Sverige överstiga den försurning som orsakas av sur nederbörd. Bidraget är emellertid betydligt mindre än den försurning som det sura regnet åstadkom i sydvästra Sverige under 70- och 80-talen. Skogsstyrelsen gör bedömningen att vittring och nedfall av näringsämnen räcker till för att kompensera för uttag av stamved, men om även grenar och kvistar tas ut vid avverkning uppstår ett underskott. Skogsstyrelsen rekommenderar därför att aska återförs där helträdsuttag har skett eller sannolikt kommer att ske.

Askan – del av ett kretslopp

I askan finns den näring (utom kväve) och den basverkan som fanns i bränslet. Genom att återföra den aska som bildas vid förbränning av skogsbränsle kompenseras de näringsförluster och den försurning som uppstått vid ett helträdsuttag. Ett kretslopp skapas, vilket motverkar ett ökat läckage av surt och aluminiumhaltigt vatten till sjöar och vattendrag. I sydvästra Sverige kan vattenkvaliteten i många vattendrag också förbättras vilket innebär en bättre livsmiljö för fiskar och andra vattenlevande organismer.

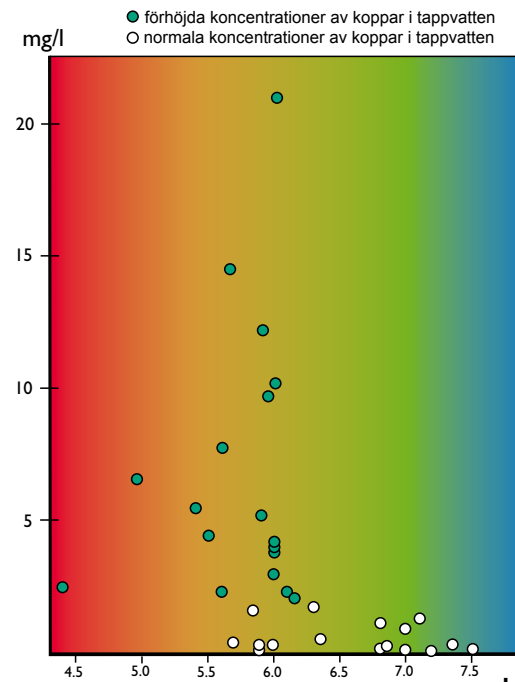
Motåtgärder

Eftersom den naturliga återhämtningen av starkt försurad skogsmark i sydvästra Sverige är mycket långsam förbereds idag ett åtgärdsprogram för att påskynda återhämtningen. Det recept man använder inom Skogsstyrelsen är en engångsbehandling av skogklädd fastmark i hela avrinningsområden (>150 ha). I behandlingen ingår både kalk och aska där kalken finansieras av staten och askan av marknadens aktörer. Syftet är att behandlingen långsamt men uthålligt ska återställa naturliga mark- och vattenkemiska förhållanden så att de arter som försurningen tvingat bort från mark och bäck kan återvända.



Spridning av aska sker främst i skogar med glasa bestånd.

Grundvatten



Koncentrationer av koppar i tappvatten från hushåll där vattnet har stått stilla i rörledningarna över natten.

Tidiga larmsignaler

Efter torrsumrarna 1975 och 1976 uppmärksammades omfattande utfällningar av metallhydroxider av aluminium, mangan och järn på en ca 2 km lång sträcka av Stenunge å i Stenungsunds kommun. Det naturliga fiskbeståndet av öring hade skadats svårt och slagits ut på flera sträckor. Efter undersökningar fann man att orsaken var extrem försurning, med pH i flera fall lägre än 3,5 i åns tillflöde av ytligt grundvatten. De låga pH-värdena orsakades av mycket höga halter av svavelsyra. Torkan och dikning hade sänkt grundvattnet vilket medfört att tidigare lagrat svavel oxiderats i marken och bildat svavelsyra som runnit ut i ån.

Ytligt grundvatten

I ytligt grundvatten vid sjöarna Gårdsjön, Lysevatten och Bredvatten uppmättes 1977 låga pH-värden och högre halter av giftigt oorganiskt aluminium än i de försurade sjöarna. Orsaken var att skogsmarken drabbats av en lika omfattande försurning genom nedfall av svavel från luften som tidigare konstaterats i sjöar och vattendrag.

Inventeringar av brunnsvatten

Inventeringar av försurningsläget i grävda och borrhade brunnar som genomförts i flera län i södra Sverige visade att i delar av Västra Götaland och Halland hade ca 75% av de grävda brunnarna ett pH lägre än 6,0. Borrhade brunnar hade generellt ett högre pH, men i de undersökta länen hade 10–35% av dessa ett pH lägre än 6,0.

Korroderande vattenrör!

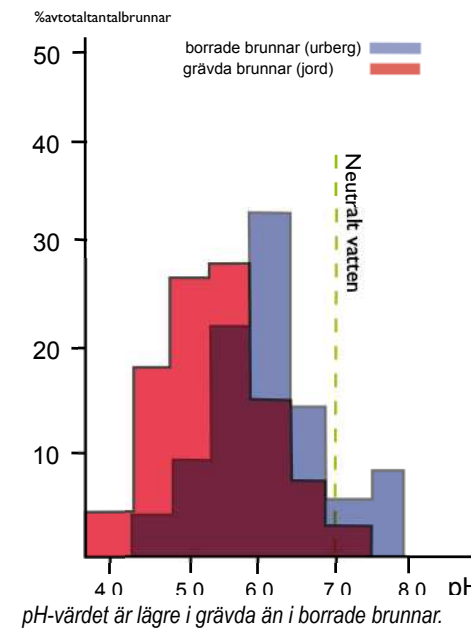
Kopparledningar och andra metallföremål som kommer i kontakt med surt vatten fräts sönder (korroderar) och metaller lakas ut. Problemet med koppar i kranvattnet kan tillfälligt lösas genom att man spolat kraftigt. Man kan också kalka i brunnen eller sätta in kalkfilter. Försurning av grundvatten är ett stort problem som kommer att pågå långt in i framtiden. Kanske kan användning av rostfria vattenledningar lösa en del av problemen.

Forskning om sänkt grundvatten

I avrinningsområde F3 påbörjades under år 2000 ett försök med syftet att utreda vilka effekter sänkt grundvatten har på grundvattenströmmar, grundvattenkvalitet och på växtlighet. I ett centralt placerat och 70 meter djupt hål pumpades djupt grundvatten ut för att sänka grundvattennivån i både berg och våtmark. Vattnet leddes sedan bort från avrinningsområdet. Effekterna följdes i djupt och ytligt grundvatten samt i avrinningen i tre olika våtmarker. Dessutom studerades påverkan på vegetationen. I provtytor studeras mossor, lavar och kärlväxter. Försöken har som syfte att klarlägga dels vad som händer med växtligheten när grundvattennivån sänks, och med vilken hastighet förändringarna sker. Dikningar, dräneringar m.m. är ett mycket allvarligt hot mot den biologiska mångfalden. Projektet genomförs i två avrinningsområden i skog där ett är experimentområde och det andra är referens.

Resultat från grundvattensprojektet

Grundvattennivån minskade med minst fem meter under sommaren 2001 och de ovanför liggande våtmarkerna torrlades. Grundvattensänkningen i våtmarken var som störst under sommaren med en luftning av det organiska



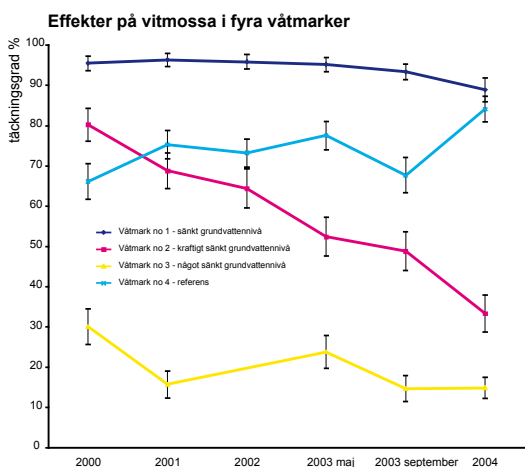
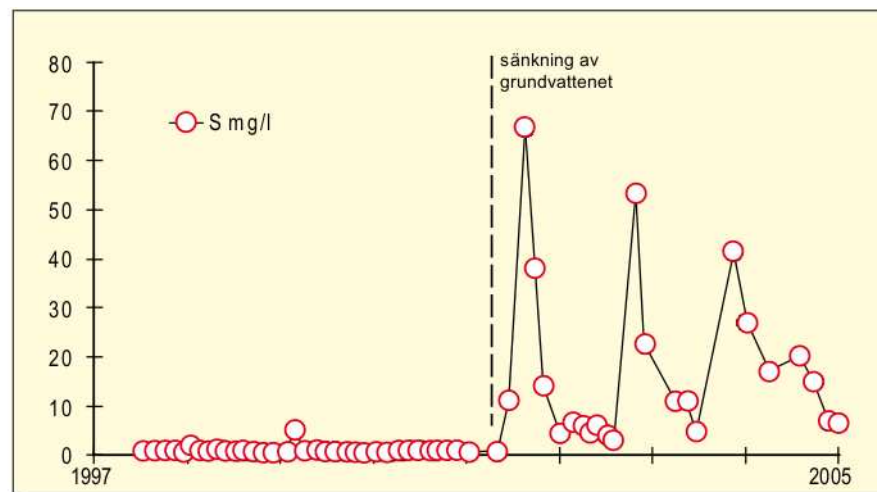


Demonstration av vegetationsövervakningen i grundvattnetsprojektet.

materialet i våtmarken som följd. Inflödet av luft medförde att reducerat svavel oxiderade till vattenlösligt sulfat. Detta gav en sulfatökning i grundvatten. Ökningen av sulfathalten medförde i sin tur en ökad försurning i grund- och ytvatten. Grundvattnet i berg har också påverkats genom att vatten transporterats ned genom sprickor från ovanför marker. Utpumpningen av grundvatten orsakade också en minskning av ytavrinningen med 50% i den bäck som avvattnar området. Genom pumpningen har grundvattenbildningen i berg ökat, vilket medfört att den kemiska sammansättningen i berggrundvattnet förändrats i riktning mot kemin i det ytliga grundvattnet i våtmarken. Berggrundvattnet har fått ökade halter av i vattnet löst organiskt kol (DOC), ökad halt av sulfat men minskade halter av alkalinitet, kalcium och lägre pH.

Torkan i kärren resulterade också i att några växtarter t.ex. vitmossor och sileshår, minskade kraftigt. Andra arter, bl.a. kärreviol, björnmossa och skogsstjärna, ökade däremot.

Efter 4 år stoppades pumpningen av berggrundvatten i april 2005 och återhämtningen av både grundvattennivåer och kemin i grundvatten och avrinnande ytvatten har varit mycket snabb. Redan under hösten 2005 och vintern 2006 hade de flesta negativa kemiska och hydrologiska förändringar som orsakats av pumpningen upphört.



Kärlväxtfloran och mossvegetationen har också påverkats av det sänkta grundvattnet i försöksområdet. I det mest sänkta kärret dog vitmossorna.

Tidsserie som beskriver svavelkoncentrationer i vatten i en yttlig brunn (höger).

Larm om skogsskador

Under 1970-talet uppmärksammades att äldre granar i Gårdsjöområdet hade förlorat stora barrmängder. Samma sak kunde man se i ännu större omfattning i Tyskland, Polen och Tjeckien. Flera förklaringar framlades, bl.a. att svavel- och kvävedeposition orsakade skogsdöd, "Waldsterben". Många svenska och norska forskare hade svårt att tro på dessa teorier trots att liknande skador observerats på äldre granskog i sydvästra Sverige och i södra Norge.

Onaturliga orsaker till skogsskador

I en studie togs markprover för kemisk analys och för att studera trädens finrötter. Det visade sig att hela markprofilen från ytan och ned till djupare lager var mycket starkt försurad. Dessutom var andelen döda finrötter mycket hög och ju större andel döda finrötter desto större var trädets barrförluster. Redan med dessa resultat stod det klart att det fanns ett samband mellan markens försurning, skador på trädens finrötter och barrförluster i trädens kronor.

Naturliga orsaker

Den viktigaste orsaken till skogsskador är bristen på vatten i samband med torrår. Genom att träden är större idag än tidigare kräver de också mer vatten. Därför slår torråren hårdare mot trädens allmänna vitalitet. Försämrade kondition öppnade i sin tur vägen för massangrepp av granbarkborre under åren 1993-1998.

Rinnande stearinljus

Vattenbrist är en indirekt orsak till barrförluster och till omfattande kådläckage. Stamveden krymper i torkan, barken släpper från veden och kåda fyller istället ut skadan. Sprickor och små hål i barken gör att kådan rinner ut på barkens utsida och ner längs stammarna. Redan 1989 observerades sådana läckage av kåda. Skadorna kom att kallas "Hallandssjukan" på grund av att de första rapporterna kom från södra Halland. I Gårdsjöområdet gjordes inga liknande observationer förrän sommaren 1993, efter torråret 1992, då sjukan hade fått en stor omfattning och ca 40% av alla granar hade kådläckage. Att torka är en viktig orsak bekräftades med stor tydlighet 1995. Den extrema torkan under 1994 medförde en kraftig ökning av kådläckagen hos gran. Många granar såg ut som rinnande stearinljus.



Under 1984 genomfördes ett projekt i avrinningsområde F3 där man kunde konstatera att barrförlusterna var mycket omfattande på den äldre granskogen. Ungefär hälften av träden hade förlorat mer än en femtedel av sina barr jämfört med "friska" träd.



Allvarlig skogsdöd i granskog orsakad av mycket kraftig deposition svaveldioxid (SO₂) på barren. Fotografi från Tjeckien.

Lavar och luftföroeningar



Lavinventering kan göras för att övervaka luftkvaliteten!

Lavar tål inte förorenad luft

De grönt färgade stadsträden skiljer sig i väsentlig grad från landsortsträdens ymniga mosaik av olikfärgade lavar. Storstädernas trädstammar har en mycket fattig eller helt spolierad lavflora. Trädstammarna utmed en tungt trafikerad gata i en större tätort har i regel en kraftig, ärggrön algbeläggning (trädgrönealger). Detta beror i första hand på att stadens höga halter av luftföroeningar påverkar trädstammarnas lavflora. Lavarna dör av luftföroeningar och grönalger gynnas av de höga kvävehalterna.

Vad är en lav?

En lav är egentligen ett litet ekosystem bestående av en svamp som i sin tur innehåller gröna alger. Svampen ger skydd och fukt åt algerna och får socker i utbyte. Det framställs av algerna med hjälp av fotosyntesen. Självförsörjningen och samarbetet mellan svamp och alg har gjort lavarna framgångsrika när det gäller att växa på svärbemästrade underlag t.ex. trädbark och sten. I princip är nästan hela jordklotet överdraget med lavar. Men ett hot mot denna mångfald är luftföroeningarna.

Lavar som bioindikatorer

En av de första lavforskarna som noterade att luftföroeningar skadar lavfloran var finländaren William Nylander. Redan på 1860-talet noterade han att det fanns få eller inga lavar i parkerna i Paris vilket han tolkade som en effekt av luftföroeningar, framförallt sot. I början av 1900-talet myntade naturforskaren Rutger Sernander begreppet "lavöken" för att beskriva områden där lavfloran helt slagits ut av föroeningar. På 1960-talet publicerade lavforskaren Erik Skye ett arbete om luftföroeningarnas effekter på lavarna i Stockholm. Han visade att antalet lavar minskade successivt in mot stadens centrum. Därefter har en stor mängd forskning om städernas lavflora, men också om lavfloran kring andra föroreningskällor, som gruvor och smältverk, publicerats. I laboratorieförsök har man också visat sambandet mellan skador på lavar och höga halter av luftföroeningar, framförallt svaveldioxid.

Varierande känslighet

Olika lavar är olika känsliga. Allra känsligast är skägglavar, tagellavar och lunglavar. Har man rikligt med sådana där man bor betyder det att halterna av luftföroeningar är låga och luften är frisk. Å andra sidan finns det lavar som är ganska tåliga mot luftföroeningar. Några av dessa ökar vid förhöjda

föroreningshalter. Ett exempel är stadskantlaven som är riklig i förorenade stadsmiljöer. Genom att studera lavfloras sammansättning på en trädstam kan man göra bedömningar av hur stor påverkan är av luftföroeningar.

Varför är lavar så känsliga?

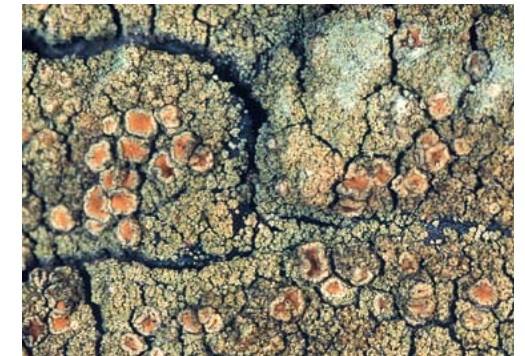
Utbytesprocesserna mellan svamp och alg är känsliga för luftföroeningar, framförallt svaveldioxid. När svaveldioxid och vatten blandas så bildas svavelsyra vilken i sin tur angriper algen. Algen dör så småningom och utan alg kan inte heller svampdelen leva vidare. Hela laven dör! Lavar växer långsamt och många arter blir mycket gamla och utsätts därför under sin levnad för en långvarig exponering och ackumulering av olika föroeningar. En annan viktig förklaring till lavarnas känslighet är att de saknar en skyddande kuticula (hud) vilket i sin tur gör att allehanda oönskade ämnen lätt absorberas och ackumuleras i lavens bål.

Rikare lavflora – ett resultat av bättre luft

Efter decennier av förhöjda föroreningshalter och tillbakagång hos lavarna kommer nu signaler på att såväl luftkvalité som lavflora är på väg att förbättras. Ett omfattande nationellt arbete jämte ett allt större europeiskt engagemang gör att vi nu ser dramatiskt sjunkande föroreningshalter, framför allt av svaveldioxid och sot. Mindre förbrukning av kol och olja i Sverige, och övergång till olja med lägre svavelhalter, har lett till att utsläppen av svaveldioxid minskat från närmare en miljon ton per år på 1970-talet till mindre än 100.000 ton idag d.v.s. en minskning med mer än 90%. Detta gör att vi kan börja hoppas att naturen kan återhämta sig.

Fler tecken på återhämtning

Det finns få undersökningar som jämför den nuvarande situationen med den på 1960-talet, men det finns starka indikationer på att lavfloran har förbättrats. Det är numera lätt att hitta små, nyetablerade lavbålar på parkträd i centrala Stockholm. I samhällen och städer på den föroreningsutsatta svenska västkusten har en återkolonisation och ökning av täckningsgraden hos många av de vanliga lavarna konstaterats, liksom att känsliga lavar ökar mer än tåliga. Iakttagelser i fält visar också att flera extremt känsliga arter, t.ex. lunglav, jättelav, blylav och skrovellav, sprider sig på många lokaler i västkustområdet. Bl.a. kan nämnas att blylav, en av våra allra känsligaste lavar, från att ha varit i stort sett uträknad i början av 1980-talet, nu förekommer på ca 150 platser i Bohuslän, Dalsland och Västergötland.



Den tåliga stadskantlaven *Lecanora conizaeoides*.



Skägglav *Usnea filipendula* är en känslig lav.



Den mycket känsliga lunglaven *Lobaria pulmonaria* har med framgång transplanterats i stadskärnan av Stockholm och Göteborg. Försöket visar att känsliga arter kan återhämta sig om luftföroeningar t.ex. svaveldioxid minskar.

Lavöken!



Rik lavflora!



Tillståndet i miljön

Genom noggrann och enhetlig kartläggning av växter och djur jämte vattnets och luftens sammansättning skapas förutsättningar för framtida jämförelser. I Gårdsjön följs olika ytor från år till år vilket gör att man kan se om, hur och varför förändringar sker. Detta är viktigt för förståelsen av de samband som finns i naturen, men det viktigaste syftet är att studera miljöeffekter av luftföroreningar. Miljöövervakningen vid Gårdsjön ger möjligheter till tidiga varningssignaler om det är något som håller på att gå gale. Den visar också om minskade utsläpp av föroreningar ger positiva effekter i miljön – alltså om det lönar sig att vara miljövänlig. Med stöd av signaler från bl.a. Gårdsjön kan sedan politikerna ta beslut i olika miljöfrågor.

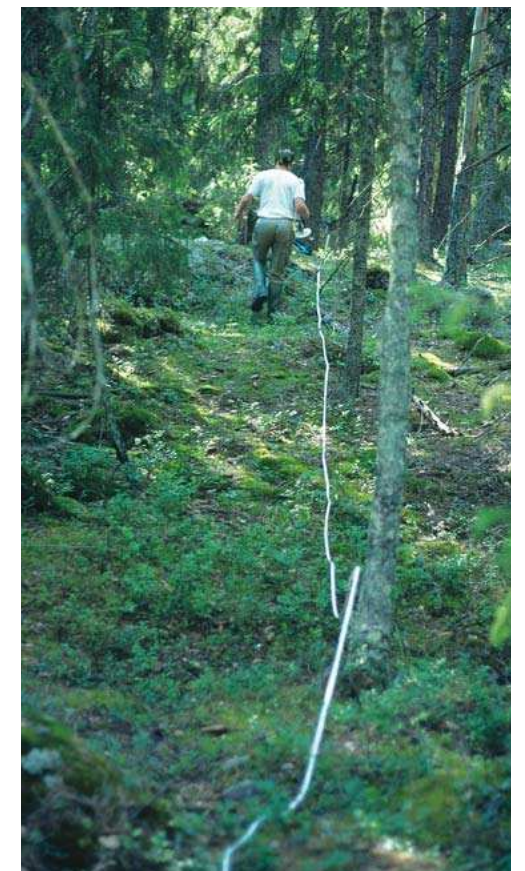
En miljötermometer

I avrinningsområde F1 i Gårdsjön genomförs sedan 1979 en kontinuerlig mätning av nederbörd, halter av föroreningar i luft, deposition på öppet fält och i skog, grundvatten och avrinning. Mätningarna sker inom ett miljöövervakningsprogram som kallas IM (Integrated Monitoring). Arbetet sker inom ramen för den europeiska luftkonventionen (som lyder under FN) i avrinningsområden i mer än 20 länder i Europa och Nordamerika. Avsikten är att följa effekterna av de politiska besluten som fattats inom konventionen om minskningar av de långväga gränsöverskridande luftföroreningarna.

Parallellt med studier av växter och djur analyseras vattnet i den lilla bäcken, skogsmarkens kemiska sammansättning och strukturer, nedbrytningen av barr och annan fallförna m.m. Detta kallas integrerad miljöövervakning och betyder att många olika analyser och observationer utförs på ett enda ställe. Övervakningsytorna kan liknas vid jättelika febertermometrar som ”tar tempen på miljön”.

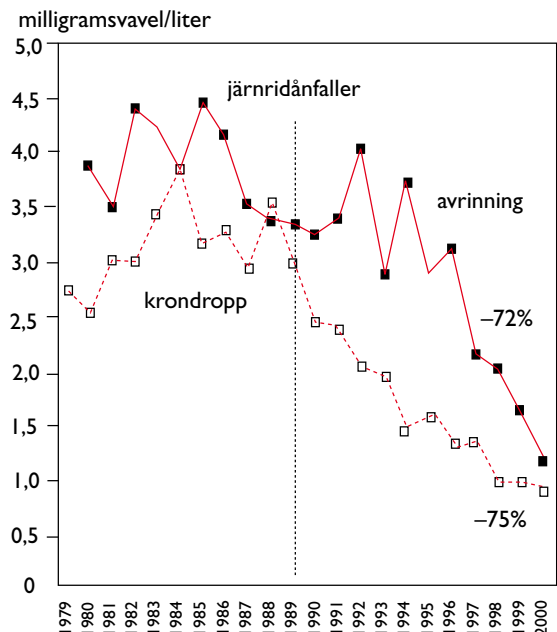
FN står bakom projektet

Miljöövervakningen i Gårdsjön leds av IVL Svenska Miljöinstitutet AB och ingår i övervakningen av effekter under den europeiska luftkonventionen. Övervakningen sker på flera platser i Europa och Sverige deltar med fyra avrinningsområden: Gårdsjön, Aneboda i Småland, Kindlahöjden i Bergslagen och Gammtratten i Västerbotten. Rapportering sker årligen till Naturvårdsverket och luftkonventionen. Det här lilla området har alltså stor betydelse för förståelsen av miljöpåverkan och naturprocesser i hela vår världsdel.

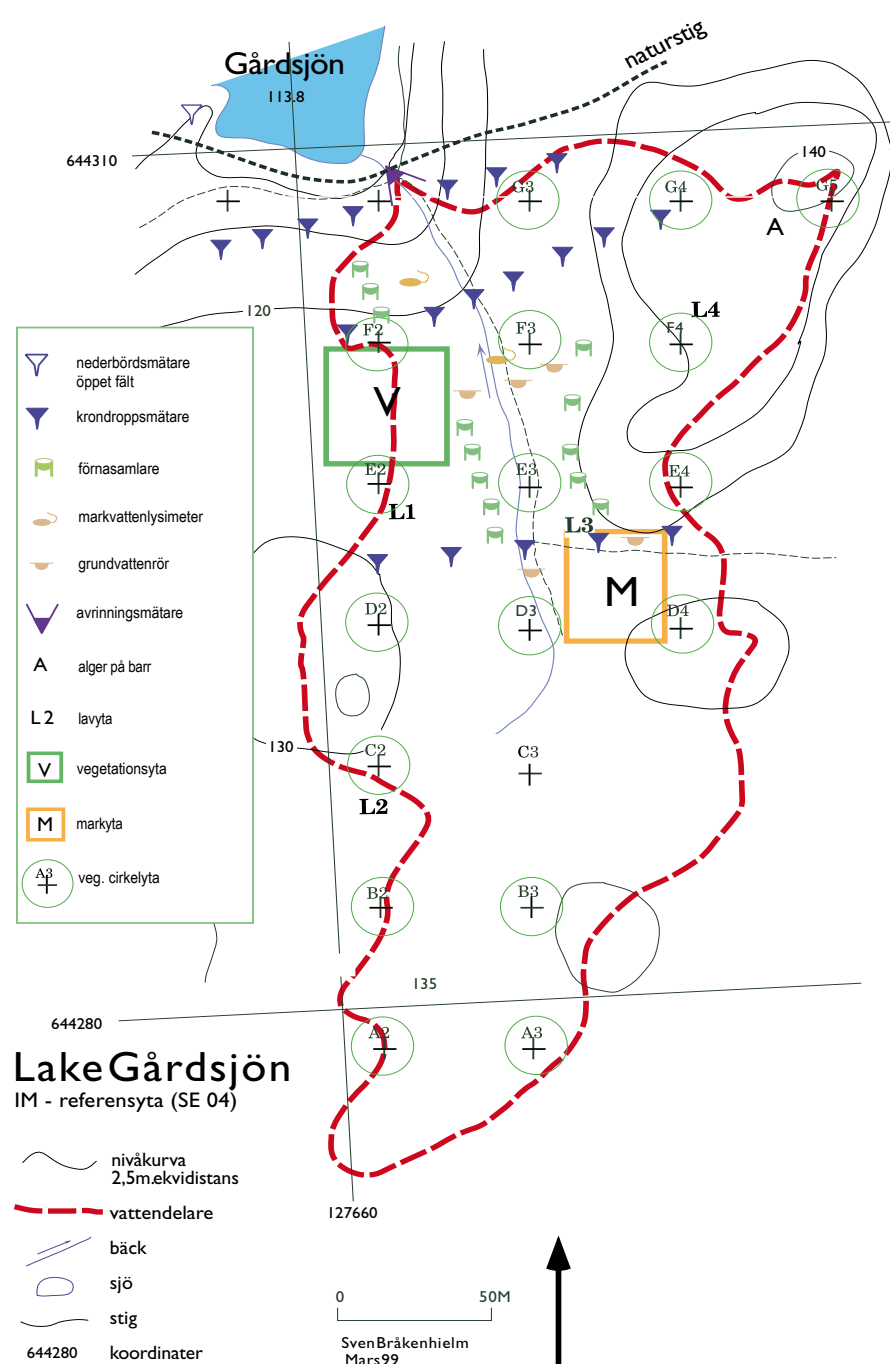




I område F1 mäts och bedöms markkemi, nedbrytning, vattenkvalitet, träd, mossor, lavar och kärlväxter. Observationerna utförs med jämna mellanrum och uppgifterna bearbetas och analyseras.



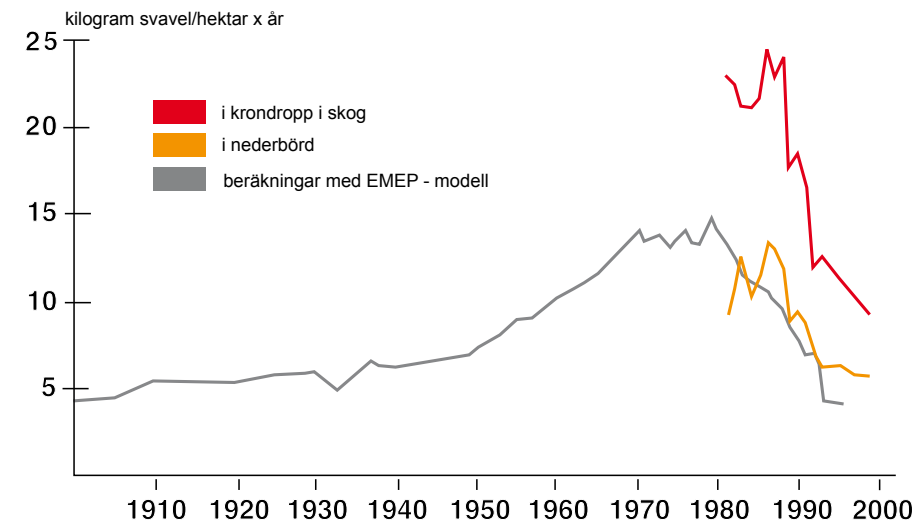
Årlig, vägd medelkoncentration av svavel i krondropp och avrinningsvatten i IM-området F1 i Gårdsjön.



Lake Gårdsjön
IM - referensyta (SE 04)

Svavelnedfallet har pågått i mer än 100 år

Diagrammet visar det årliga svavelnedfallet per hektar (100 x100 meter) under 1900-talet. På 1970-talet tog ett hektar i Svartedalen emot ca 15–25 kilo svavel. Betänk följande! Området Svartedalen är ca 30.000 ha stort och belastades då med 600.000 kg svavel varje år. Under en tioårsperiod blir detta 6 000.000 kg (sex miljoner)! Detta motsvarar ca 1.000 långträdare fullastade med koncentrerad svavelsyra. Inte undra på att sjöarna blivit försurade! Under 1990-talet har svavelmängderna i regn och luft minskat, vilket är mycket glädjande för oss i Sverige.

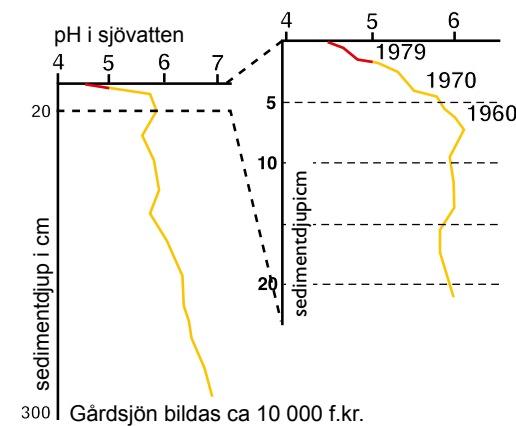


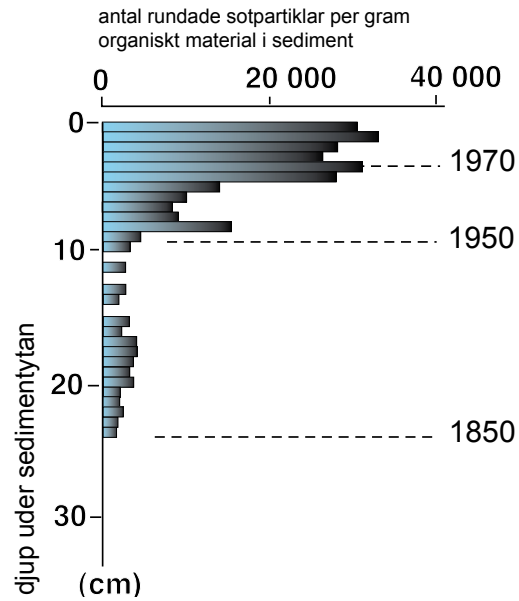
Krondropp. När regnvatten passerar genom trädens kronor i skogen sker ett utbyte av ämnen. Svavel som tidigare fastnat på och i barr och blad sköljs av. Växter kan också denna väg ta upp t.ex. kväve ur regnvattnet. Man brukar kalla regnvattnet under krontaket för krondropp. Krondroppet innehåller därför svavel, både från våt och torr deposition.

40 gånger surare på 20 år

För att kunna utläsa hur pH-värdet i Gårdsjön har förändrats har forskarna tagit prover från sjöns botten sediment. I diagrammet kan du se att pH-värdet pendlat mellan sex och sju under nästan 10.000 år för att sedan rasa ner till ca 4,5 mellan 1960 och 1979. Nästan 40 ggr surare på 20 år. Friskt och opåverkat regn innehåller mest vanligt vatten jämte små mängder mineralämnen t.ex. svavel, natrium och klor. Mineralämnena kommer framförallt från havet.

Rent regnvatten har en naturlig och svag surhet på grund av att det innehåller små mängder kolsyra. Kolsyran bildas genom att luftens koldioxid löser sig i regndropparna. pH-värdet i rent regn ligger kring 5,6 vilket kan jämföras med helt neutralt vatten som har ett pH-värde på 7,0. Det är bara på enstaka platser i världen som regnet idag har pH 5,6. Under andra halvan av 1900-talet har Gårdsjöns regn haft ett pH-värde kring 4,3 och i s.k. krondropp i skogen har pH-värdet ofta underskridit pH 4,0 – ca 70 gånger surare än rent regn.





Bottensedimenten, en krönika över Europas smutsiga luft

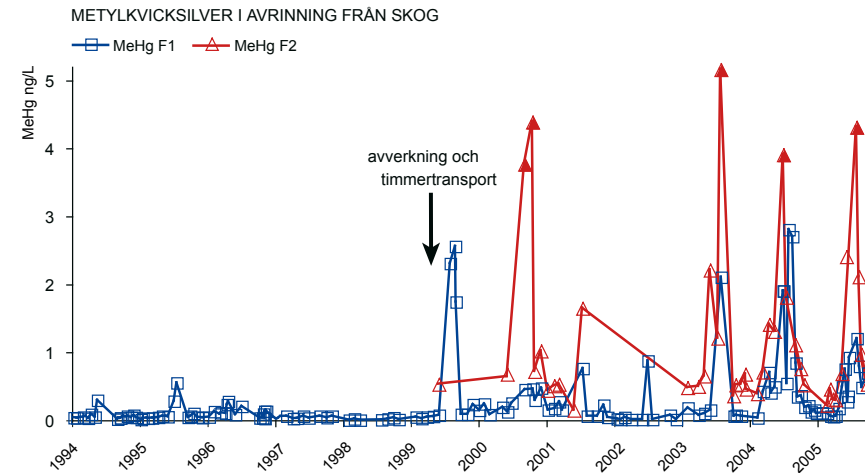
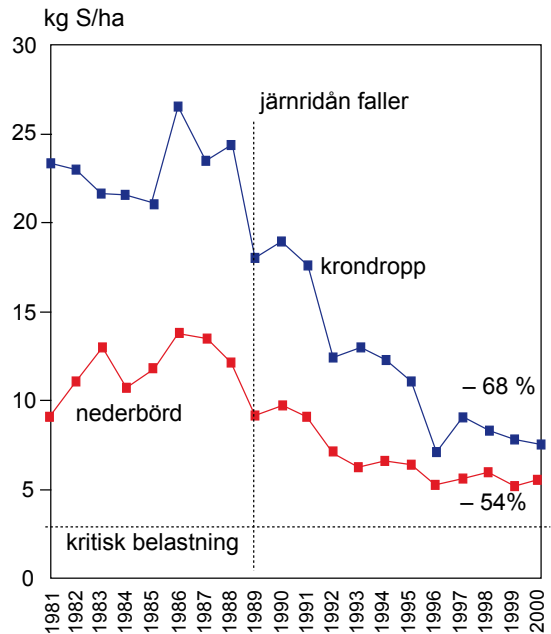
Sot bildas vid förbränning av kol och olja. Antalet sotpartiklar på olika djup i Gårdsjöns bottensediment visar tydligt att ”sot” är en ganska modern företeelse. Först vid mitten av 1800-talet uppträder sot i sedimentet. Dessförinnan fanns det faktiskt inte några större mängder av sot i atmosfären. Under slutet av 1800-talet inleddes industrialiseringen, industrierna behövde energi och det vanligaste bränslet var kol. Kolet förbrändes och stora mängder sot spreds över Europa. Mängden sotpartiklar låg på en konstant nivå fram till ca 1950, då den plötsligt ökade igen. Ökningen sammanföll med efterkrigstidens oljebaserade uppbyggnad av Europa. Vid mitten av 1970-talet var mängden sotpartiklar i luften störst, liksom svavelutsläppen.

Under andra hälften av 1980-talet minskade sot, svavel och metaller som bly och kvicksilver i nedfallet. Vid början av 2000-talet var dessa utsläpp ca 70% lägre än under 1970-talet.

Årligt nedfall av svavel med nederbörd och krondropp i Gårdsjön under 20 år

I diagrammet till vänster kan en intressant sak iakttas. Svavelnedfallet är mycket högre i krondroppet under barrträdens grenverk än i regnet. Detta beror på att ”torra” föroreningar som svaveldioxid och svavelpartiklar fastnar i granarnas barrpäl, för att sedan sköljas ut när regnet kommer. Vattnet under barrträden får därför ett mycket större innehåll av svavel.

En glädjande nyhet är att depositionen minskat sedan mitten av 1980-talet. I regnet är minskningen ca 65% och under barrträden 70%. Trots detta har vi ännu inte nått ner till gränsen för vad naturen tål – den kritiska belastningen. Kan då fisk och andra vattenorganismer, känsliga marklevande djur, lavar och mossor komma tillbaka? Olika forskningsprojekt kring Gårdsjön försöker besvara denna fråga.



Metylkvicksilver ökar

Figuren ovan visar att det under hösten 1999 uppmättes höga koncentrationer av metylkvicksilver (MeHg) i vatten, upp till 2,5 ng/l i avrinningsområde F1. Koncentrationerna var upp till 50 gånger högre än vad som uppmätts tidigare. Figuren visar också att koncentrationerna av metylkvicksilver var ännu högre i avrinningsområde F2, med halter upp till 4,4 ng/l. Under 2003 till 2005 varierade koncentrationen av metylkvicksilver i F2 mellan 0,5 och 5 ng/l eller 10 till 100 gånger högre än åren före 1999. Som framgår av figuren till höger ökade koncentrationen av ”humuskvicksilver” till det dubbla och minskade sedan under åren 2000 till 2005. Icke metylkvicksilver eller ”humuskvicksilver” är här definierat som totalt kvicksilver (Hg) minus MeHg.

Avverkning och timmertransporter

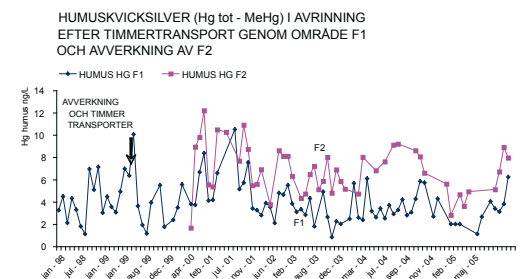
De höga halterna av metylkvicksilver uppmättes efter avverkning av skogen i avrinningsområde F2. Transporten av timmer från F2 gjordes tvärs de övre delarna av avrinningsområde F1. Timmertransporten medförde djupa hjulspår i båda avrinningsområdena.

Skogsmarkens innehåll av kvicksilver

Organiskt material i skogsmark har ackumulerat totalkvicksilver och metylkvicksilver som tillförts genom atmosfäriskt nedfall under lång tid. Markens innehåll av totalkvicksilver är så stort att det måste ha skett en upplagring under flera tusen år av atmosfäriskt nedfall för att förklara förrådet av totalkvicksilver. Markens förråd av metylkvicksilver utgör c:a 1% av det totala förrådet av kvicksilver.



Metylkvicksilver i avrinning från IM-område F1 och F2 ökade efter timmertransport och avverkning.



Humuskvicksilver i avrinning från IM-område F1 efter timmertransport och i det skogsavverkade F2 under 1994 till 2005.

Hydrologi och kvicksilver

De mekaniska skadorna av timmertransporten orsakade omfattande förändringar av hydrologi och markens organiska material. Detta samverkade med ökad vattenlöslighet av metylkvicksilver och medförde en stor uttransport av metylkvicksilver med avrinnande vatten. Den årliga uttransporten av humuskvicksilver påverkades endast i liten grad.

Slutsatser

De höga halterna av metylkvicksilver uppträdde längs hela sluttningen från avrinningsområdets övre delar med fastmark till dalbotten med våtmark i F2. De högsta halterna mättes i de högst belägna delarna av sluttningen. Den troliga orsaken kan bl.a. vara en högre nedbrytning av det organiska materialet efter avverkningen. Timmertransporten orsakade djupa hjulspår i skogsmarken och ytvatten började avrinna i traktorspår nedför sluttningen. Vattnets färg och löst organiskt kol (DOC) ökade samtidigt med ökningen i metylkvicksilver, vilket även observerats i andra studier. Liknande resultat har erhållits i Finland och i Kanada.

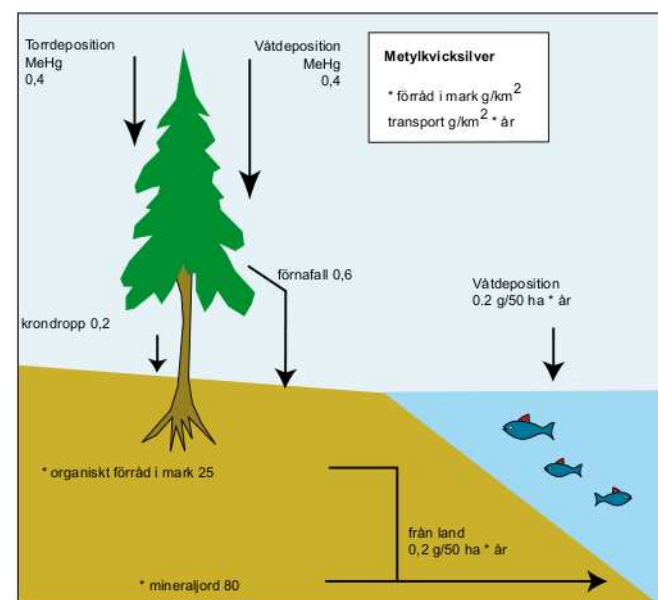
Sverige har sedan mer än 20 år minskat utsläppen av kvicksilver till luft och vatten. Metylkvicksilver i fisk från skogssjöar har emellertid inte minskat på motsvarande sätt. En viktig orsak till detta kan vara det moderna skogsbruket där tunga traktorer används för timmertransport såväl som vid avverkning av skogen. Detta påverkar humuslagret i marken vilket resulterar i ökad uttransport av metylkvicksilver från det organiska materialet. Effekterna på hydrologin i sluttningar i avrinningsområdet i kombination med ökad frigörelse av metylkvicksilver har medfört en flerårig, stor ökning av uttransporterad mängd metylkvicksilver med avrinningsvattnet efter avverkning.

Atmosfäriskt nedfall, markförråd och läckage av metylkvicksilver från ett skogsekosystem till en sjö.

Halter och uttransporterad mängd metylkvicksilver har ökat med 10-100 ggr i avrinning från skogsmark. Mobiliseringen av metylkvicksilver har pågått mer än 7 år efter mekanisk störning genom modernt skogsbruk och avverkning.

En ökad uttransport från skogsmark av metylkvicksilver till sjöar medför ett ökat upptag i fisk. I sjöar nedströms avverkade skogsområden i Kanada ökade bioackumuleringen av metylkvicksilver i hela näringskedjan. Problemen med höga halter metylkvicksilver i fisk i områden med industrialiserat skogsbruk kan vara en orsak till den storskaliga utbredningen med höga halter metylkvicksilver i fisk i Sverige. I dag har 50% av Sveriges ca 80.000 sjöar högre halter i fisk än vad som rekommenderas av FN.

Försök med tillförsel av låga doser selen i sjöar har resulterat i att fiskens halt av metylkvicksilver minskar med ca 50% inom en 3-årsperiod. Försöken har genomförts i både Sverige och Kanada.



"What goes up must come down"

Försurningen av mark och vatten är ett mycket allvarligt problem. De dokumenterade effekterna på växt- och djurlivet är många. En komplicerande faktor är att många föroreningar färdas långt innan de slutligen når marken. Detta betyder att luftföroreningar som släpps ut i ett land faller ner i ett annat. De försurande ämnen som föll ner i Sverige under 1900-talet släpptes ut i bl.a. Danmark, Holland, Belgien, Storbritannien, Tyskland och Polen medan våra svenska föroreningar transporterades främst mot nordöst till Finland, Ryssland och Baltikum. För att minska de försurande utsläppen och deras negativa effekter i miljön – gränsöverskridande problem – har man inom EU och FN tagit beslut om att minska utsläppen av bl.a. svaveldioxid. I Sverige har dessa minskat med ca 80% sedan 1980.

Miljön under taket efterliknade 1800-talet

Om man lyckas med att drastiskt minska utsläppen infinner sig nästa delikata frågeställning, nämligen om vattnet och naturmiljöerna kan återhämta sig? Den frågan kan bara kvalificerad forskning ge tydliga svar på. Taket i Gårdsjön var ett forskningsprojekt som försökte klarlägga om, hur och vilken tid det tar för marken, ytvattnet och grundvattnet att återhämta sig. Taket var med andra ord ett utomhuslaboratorium där man försöker att uttröna om naturen i framtiden kan återhämta sig från försurningens effekter. Eftersom 95% av allt försurat nedfall, i form av svavel och kväve, avleddes från taket och ersattes av rent vatten, kan man säga att förhållandena under taket liknade de som fanns i Europa under första hälften av 1800-talet, före industrialiseringen och innan försurningen.

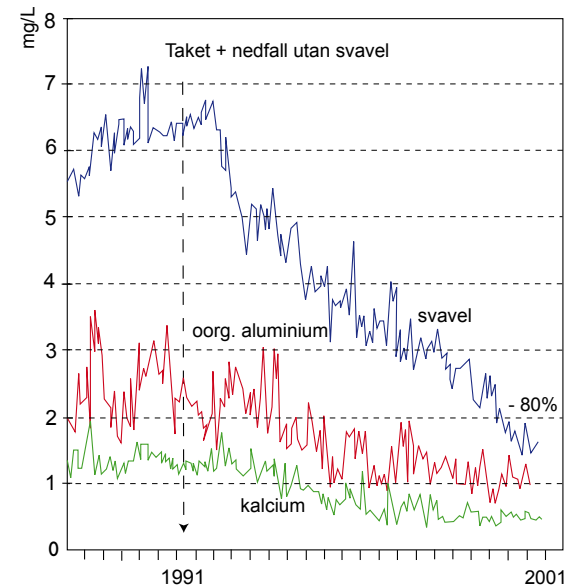
Svar som takprojektet gett

Redan efter fem år kunde man se att den 95%-iga minskningen av försurande ämnen under taket gav effekter. Mängden svavel i avrinnande ytvatten och grundvattnet hade efter tio år (år 2001) minskat med ca 80%, men pH-värdet hade inte stigit i motsvarande grad. Tyvärr har man ännu inte sett någon minskning av mängden kvicksilver i avrinningsvattnet, medan halten av giftigt oorganiskt aluminium och mangan minskat med mer än 70%. Återhämtningen väntas ta lång tid på grund av markens "minne" av försurningen – svavelförrådet är fortfarande stort och förrådet av baskatjoner (främst kalcium) är i stort sett uttömt. Trots de stora förbättringarna har halten av kalcium i avrinnande ytvatten aldrig varit så låg. Växter och djur har aldrig tidigare utsatts för så kalciumfattigt vatten. Kalkningen av sjöar måste därför fortsätta även

Takprojektet försöker att finna svar på:

- om en minskad deposition av försurande ämnen leder till en förbättring av yt- och grundvattnet,
- om minskad försurning leder till minskade koncentrationer av giftigt oorganiskt aluminium i avrinnande yt- och grundvattnet,
- vilka möjligheter fiskbestånden har att leva och föröka sig i försurade sjöar när försurningen minskar,
- vilka förändringar av kvicksilver och metylkvicksilver som sker i avrinnande ytvatten efter minskad deposition,
- om metylkvicksilver i fisk kommer att minska när nedfallet minskar,
- när en förbättring av vattenkvaliteten kan förväntas,
- och sjöarna kommer att få en ökad produktion genom ökad uttransport av bristämnet fosfor från skogsmarken.

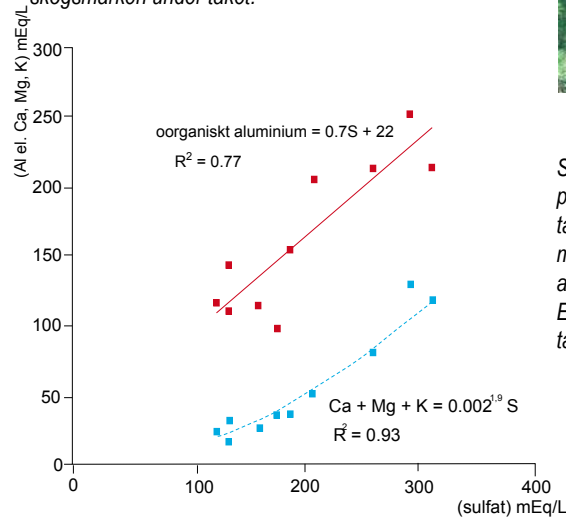




när det försurande nedfallet minskar! Avrinningsvattnet har fått en mörkare färg av humus och både mängden löst organiskt kol och organiskt aluminium (inte giftigt) har ökat. Däremot har bristnärsämnet fosfor minskat i avrinnande vatten vilket i sin tur medför en minskad produktion (oligotrofiering) av sjön. Efter 10 års studier 1991 - 2001, togs plasten bort från "Taket", främst på grund av minskande forskningsanslag. I skogarna utanför taket har svavelnedfallet minskat med ca 70% under 1990-talet vilket gör att en fortsatt provtagning och analys i takområdet kommer att kunna ge mycket värdefulla resultat under kommande års uppföljning.



Diagrammet ovan beskriver utvecklingen inom takområdet. Försurat regn när Gårdsjöområdet, pH-värdet är ungefär 4,0-4,5 och det innehåller förhöjda halter av bl.a. svavel, kvicksilver och kväve. Taket fångade upp, mätte och avledde det sura nedfallet från takområdet. Marken under taket bevattnades istället med renat vatten. I diagrammet kan man se att det skett en kraftig minskning av svavel, aluminium och kalcium i avrinningen från skogsmarken under taket.



Sambanden mellan giftigt, oorganiskt aluminium respektive baskatjoner och svavel i avrinningsvattnet från takexperimentet i Gårdsjön. Om svavel fortsätter att minska kommer dessvärre baskatjonerna att fortsätta att minska. Detta beror på "försurningsminnet" i marken. En positiv effekt är att giftigt aluminium också minskar i takt med svavelminskningen.

Göteborgsprotokollet och EU:s taktidirektiv

Två viktiga politiska processer driver luftvårdsarbetet i Europa: Göteborgsprotokollet som undertecknades 1999 och som trädde i kraft 17 maj 2005 samt EUs taktidirektiv som beslutades 2001. Båda besluten avser begränsning av utsläppen av svaveldioxid, kväveoxider, flyktiga organiska ämnen och ammoniak till 2010.

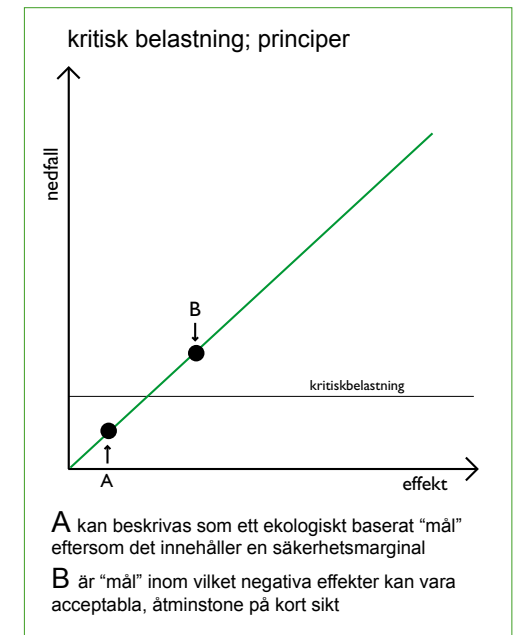
Överenskommelserna är dock inte tillräckliga för att nå de långsiktiga målen, vilka innebär att kritisk belastning inte skall överskridas någonstans i Europa. Inom de känsligaste områdena, vilka inkluderar sydvästra Sverige kommer den kritiska belastningen för försurning att fortsatt överskridas och det kommer således även efter 2010 att finnas områden där återhämtning inte påbörjats.

Sedan 2001 pågår därför förberedelserna för nya beslut, framför allt genom ett initiativ från Europeiska kommissionen kallat Clean Air For Europe (CAFE). Initiativet har nyligen utmynnat i en strategi, i vilken mål och åtgärdsstrategier fram till 2020 presenteras.

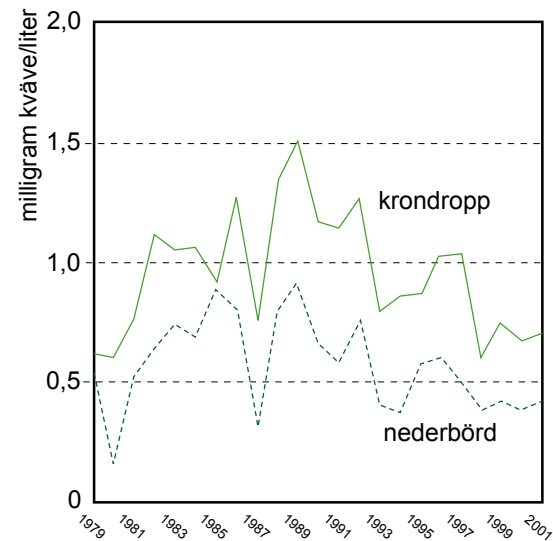
Forskningsprogrammet ASTA

Tiden mellan undertecknandet av Göteborgsprotokollet och då förslag läggs för revisioner av såväl Göteborgsprotokollet och taktidirektivet har utnyttjats av ASTA för att stärka det vetenskapliga underlaget och utveckla nya koncept och verktyg för de kommande förhandlingarna. ASTA-programmet stöds av Mistra och har omfattat en genomsnittlig årlig budget om 10 miljoner kr.

Forskningsprogrammet är uppbyggt kring ett antal nya idéer för att bättre kvantifiera effekter och som kan användas som underlag i de beräkningar som utgör underlag till de kommande åtgärdsstrategierna. Bland annat har konceptet med kritisk belastning för försurning utvecklats till att även inkludera återhämtning av försurad mark och försurade sjöar.



MISTRA är en stiftelse som finansierar och organiserar forskning som syftar till att lösa strategiska miljöproblem. Ett MISTRA-program är framgångsrikt när vetenskapligt högtstående forskning kommit till praktisk användning i företag, i myndigheter eller i olika organisationer. Stiftelsen fördelar ca 250 miljoner kronor per år till miljöforskning. Regeringen utser MISTRAS styrelse och dess ordförande.



Gårdsjön igen

Takprojektet har varit av avgörande betydelse för utvecklingen av dessa modeller genom att man från experimenten fått en direkt uppfattning om hastigheten och dynamiken av återhämtningen i skogsekosystem vid ett minskat nedfall. Takprojektet har stärkt modellernas förmåga att förutse förändringar och resultaten har varit värdefulla för att motivera inkluderingen av återhämtning i åtgärdsstrategierna.

ASTA-programmet avslutas 2006. Under de åtta år som programmet har pågått har det medverkat till att bygga upp en mer solid forskningsgrund för det internationella luftvårdsarbetet och att ta en aktiv roll i att överföra forskningsresultaten till modeller och förståelse som kan användas av beslutsfattare. Detta har skett genom workshops, publicering av resultat och kommunikation av nya resultat. Gårdsjön har genom de olika experimenten tjänat som ett av de bästa sätten att kommunicera komplexa samband och effekter som är kopplade till det sura nedfallet.

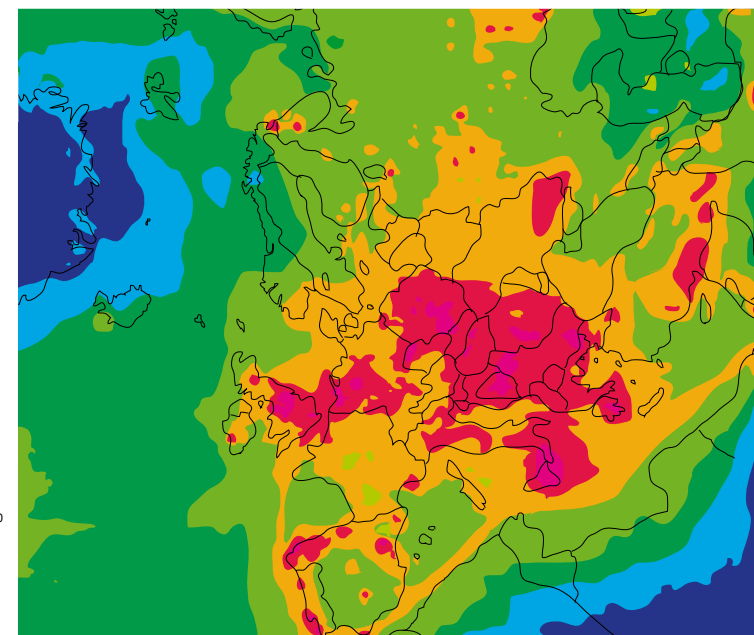


Koncentrationer av kväve i nederbörd och kronddropp under 21 år i Gårdsjön.

Den norra delen av Gårdsjön (t.h). Gårdsjöstugorna syns till vänster i bilden.

ASTA berör också andra frågor kring gränsöverskridande luftföroreningar som:

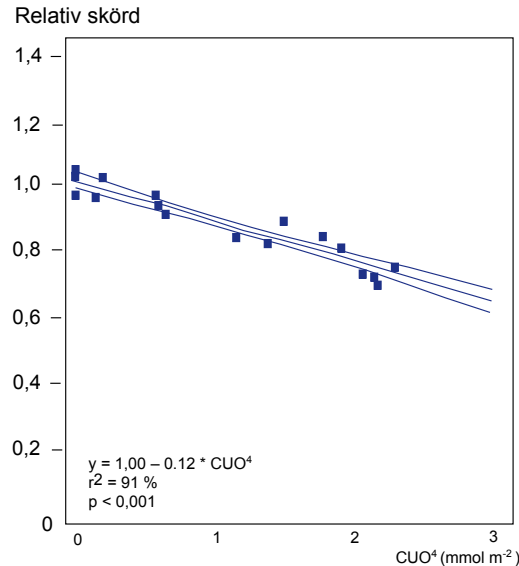
- Effekter i skogsekosystem från förhöjda nedfall av kväve. De projekt som drivits inom detta område har främst inriktats mot förändringar i biodiversitet, förbättringar av underlaget för kritisk belastning för kväve och för att utveckla en dynamisk modell för att beskriva hur ekosystemen förändras till följd av kvävenedfall.
- Ozoneffekter på skog och grödor. ASTA har givit stöd till utvecklingen av mer avancerade metoder för uppskatta ozonets negativa effekter på vegetationen. I de nya metoderna tas hänsyn till bl a variationer i klimat, ljus, relativ fuktighet och vegetationsstruktur. Med de nya metoderna har man visat att vegetationen i norra Europa är mer känslig för ozon än motsvarande vegetation i södra Europa till följd av ett fuktigare klimat i norra Europa, vilket leder till ökat upptag av ozon.
- Karakterisering av bakgrundskoncentrationer av partiklar i Skandinavien. Epidemiologiska studier har visat att partiklar förorsakar omfattande hälsoeffekter och målet med ASTAs partikelprojekt har varit att bygga upp en bättre kvantitativ förståelse av innehåll och ursprung hos långdistanstransporterade partiklar.



Svaveldeposition i Europa 1999



Ozon, en reaktiv och farlig luftförorening



Relativ skörd av vete (1 = ingen ozonpåverkan) i förhållande till det summerade upptaget av ozon CUO₄. Siffran fyra i CUO₄ visar att endast upptaget av ozon över ett visst tröskelvärde räknas med. Data från fältkammarförsök.

Ozonförsök i Östad utanför Göteborg. I speciella fältkammar kan halterna av föroreningar manipuleras. Här kan sedan forskarna bl.a. studera effekter av höjda halter av ozon bl.a. på vete.



Marknära ozon minskar inte

Ifråga om marknära ozon förväntas en viss förbättring, d.v.s. en minskning av halterna. Med utgångspunkt i miljöövervakningen skönjer man ännu ingen tydlig vikande trend, men om Göteborgsprotokollet genomförs kommer ozonbelastningen att börja sjunka. Halterna i stora delar av Europa kommer ändå att vara så höga att de kan orsaka skador på känsliga växter och på människors hälsa. Det finns en viktig skillnad i upptaget av ozon hos människor och växter. Alla människor måste kontinuerligt andas. Därmed får vi även i oss föroreningar som finns i luften. Vid ansträngning, t.ex. om vi spelar fotboll, ökar vårt gasutbyte. Då ökar upptaget av föroreningar. Barn har rent allmänt en hög ämnesomsättning och därför ett stort gasutbyte i förhållande till sin kroppsvikt. Inomhus är halterna av många föroreningar, t.ex. ozon, lägre än ute.

För människor gäller alltså att vi på flera sätt aktivt kan minska vårt upptag av gasformiga, reaktiva föroreningar (stanna inne, låg fysisk aktivitet). Däremot måste vi alla ha en relativt hög grundnivå på gasutbytet. Ozonhalternas nivå är därför viktig för vårt ozonupptag på ett direkt sätt. Riskerna för ozonskador på hälsa blir därför störst i vissa delar av Syd- och Mellaneuropa.

Ozonets effekter på växter

För växter är det annorlunda. De kan inte aktivt flytta sig till en mindre föroreningsexponerad miljö. Å andra sidan varierar deras gasutbyte mycket mer än hos människor. På vintern är det i princip noll hos växter, även vintergröna sådana. Ännu viktigare för att förstå effekterna av ozon på växter är att tänka på att hushållningen med vatten i mycket hög grad styr växternas gasutbyte. Detta sker genom de små porer som finns på bladen, de s.k. klyvöppningarna. Klyvöppningarna kan öppnas och stängas. Om marken eller luften har mycket låg fuktighet är klyvöppningarna nästan alltid helt stängda. Då förlorar växten mycket lite vatten – och får i sig mycket lite av luftens gaser, t.ex. ozon. De torra förhållanden som till stor del råder i södra Europa gör att växterna inte alltid får i sig så mycket av luftens ofta mycket höga ozonhalter.

Kanske är ozoneffekterna på växter störst i de delar av Europa där halter av ozon är förhöjda och där man har ett relativt fuktigt klimat, d.v.s. där marken ofta innehåller relativt gott om vatten och luftfuktigheten är hög. Hit hör de södra delarna av Norden.

Luftföroreningar, försurning och framtid

Göteborgsprotokollet

På många sätt måste man se det europeiska luftvårdssamarbetet som en succé. Särskilt gäller detta svavel. På allvar började detta samarbete redan 1979 när konventionen om långtransporterade, gränsöverskridande luftföroreningar skrevs under av ett stort antal europeiska länder. Via en rad delavtal (s.k. protokoll) nådde man i december 1999 fram till det så kallade Göteborgsprotokollet som omfattar fyra olika föroreningar.

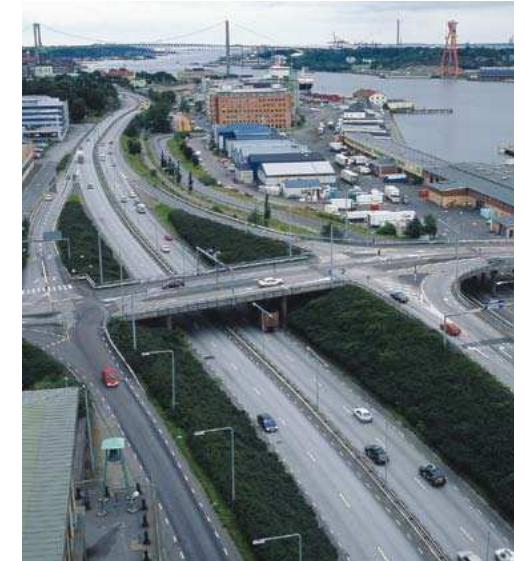
Enligt detta protokoll skall utsläppen av svavel i hela Europa minska med 62% mellan 1990 och 2010. För de 15 EU-länderna är siffran hela 75%. I flera länder, däribland Sverige, hade utsläppen av svavel minskat avsevärt redan under 1980-talet. I förhållande till situationen då det försurande nedfallet var som störst på 1970-talet, blir förbättringen alltså ännu större.

Svavel är den dominerande orsaken till försurning i Europa

Eftersom svavel är den dominerande föroreningen bakom försurningen i de allra flesta områden, innebär Göteborgsprotokollet ett mycket stort steg framåt. Ganska stora områden, även inom Sverige, kommer att glida ut ur försurningens slagskugga och en återhämtning kommer att kunna börja. Men även om protokollet genomförs finns det områden i södra Sverige, möjligen även i nederbördsrika delar av södra fjällkedjan, som är så känsliga för försurning att situationen kanske fortsätter att förvärras. Detta gäller dock relativt begränsade arealer, kanske i storleksordningen 10% av ytan i de mest utsatta områdena.

Återhämtning

Om återhämtningsförloppet detaljer vet vi inte så mycket. Studierna vid Tak-projektet i Gårdsjön tyder på att kvalitén på det utströmmande vattnet förbättras relativt snabbt när det försurande nedfallet minskar kraftigt. När det gäller tillståndet i marken förefaller återhämtningen gå betydligt långsammare. Kanske kommer den att ta åtskilliga decennier eller ännu längre tid, om nu en fullständig återhämtning överhuvudtaget är möjlig i alla områden. Klart är att perioden med svår försurning kommer att finnas kvar som ett kemiskt minnesavtryck i många svenska marker under överskådlig tid.



Göteborgsprotokollet omfattar även utsläpp av flyktiga organiska föreningar och kväveoxider. De förstnämnda är viktiga genom att de i kombination med kväveoxider bildar ozon. Biltrafiken är den största kväveoxidkällan.



Ozonskador på klöver. Skadorna visar sig som ljusa fläckar på bladen.

De nationella miljömålen

"Till nästa generation ska vi kunna lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta. De 15 miljö kvalitets-målen ska leda vägen för vår strävan att åstadkomma en ekologiskt hållbar samhällsutveckling. De har blivit riktmärken för allt svenskt miljöarbete, oavsett var och av vem det bedrivs".

Miljö kvalitetsmålen är:

Begränsad klimatpåverkan
Frisk luft
Bara naturlig försurning
Giftnöj miljö
Skyddande ozonskikt
Säker strålmiljö
Ingen övergödning
Levande sjöar och vattendrag
Grundvatten av god kvalitet
Hav i balans, levande kust och skärgård
Myllrande våtmarker
Levande skogar
Ett rikt odlingslandskap
Storslagen fjällmiljö
God bebyggd miljö
En rik fauna och flora



Det svenska miljömålet är "bara naturlig försurning"

I det pågående svenska miljömålsarbetet har man inom ramen för miljömålet "bara naturlig försurning" satt upp målet att år 2010 skall högst 5% av landets sjöar, respektive 15% av landets rinnande vatten vara utsatt för försurningspåverkan som orsakas av människan. Det kan jämföras med att 1990 bedömdes mer än 15% av landets sjöar och ca en tredjedel av sträckan rinnande vatten (300.000 km) vara påverkad av försurning. I sydvästra Sverige var mer än varannan sjö försurad vid denna tidpunkt. Dessa siffror hade varit ännu högre om inte kalkningsåtgärder gjorts – antalet försurade sjöar hade annars stigit från ca 14.000 till ca 17.000. År 2000 kalkades ca 7.500 sjöar och 11.000 km vattendrag.

Markkalkning

Även markkalkning i större skala diskuteras. År 1999 hade ca 50.000 ha skogsmark försökskalkats. Skogsstyrelsen vill kalka/vitalisera ca 175.000 ha (ca 3% av skogen) i Götaland, främst i de allra mest försurningspåverkade delarna. Vitalisering innebär att man förutom att höja pH även tillför de baskatjoner som till följd av försurningen lakats ut ur marken. Frågan om markkalkning är mer kontroversiell än kalkning av ytvatten. Åtskilliga organismer, bland annat många mossor och lavar, skadas av att få kalk på sig. I sjöar och vattendrag har de negativa bieffekterna av kalkning varit relativt måttliga.

Ammoniak från jordbruket – ett problem

Göteborgsprotokollet omfattade även utsläpp av flyktiga organiska föreningar, kväveoxider och ammoniak. De förstnämnda är viktiga genom att de i kombination med kväveoxider bildar ozon. Organiska ämnen i höga halter vid utsläppskällorna kan också ha viktiga hälsoeffekter, t.ex. bensen i stora tätorter. Den i protokollet utlovade minskningen av flyktiga organiska ämnen i Europa är 45%. För kväveoxiderna är motsvarande siffra 40%. Kväveoxiderna bidrar, förutom till bildningen av marknära ozon, både till försurning och övergödningseffekter av kväve.

Till dessa båda problem bidrar även ammoniak. När det gäller detta ämne, som främst kommer från djurhållning, är den reduktion man kommit fram till i Göteborgsprotokollet endast 18%. I stora delar av de jordbruksintensiva områdena i Europa kommer ammoniakutsläppen att utgöra ett allvarligt miljöproblem. Genom långväga transporter sker även en storskalig spridning av ammonium-kväve över kontinenten. Även på dessa områden finns numera officiella svenska miljömål, främst "Frisk luft" och "Ingen övergödning".

Hälsoeffekter – allt viktigare arbetsfält för luftvården

Mycket tyder på att det blir hälsoeffekterna som kommer att dominera den europeiska luftvårdsdiskussionen de närmaste tio åren. Särskilt är det effekter av "små partiklar" man är oroad för. Dessa kan transporteras långa sträckor och bildas i atmosfären av olika föroreningar, bland annat svavel och kväve. Undersökningar visar alltmer entydigt att de påverkar andningsorganen negativt och kan leda till stor påverkan på människors hälsa, inklusive förkortad livslängd hos vissa grupper.

Även effekter av marknära ozon på människors hälsa är en fråga som värderats högre under senare tid. Särskilt gäller det delar av södra och mellersta Europa där halterna är som högst. Längre förde hälsofrågorna ett undanskynt liv i diskussionen om gränsöverskridande luftföroreningar i Europa, i skuggan av försurning, övergödning och marknära ozons effekter på växter. Kanske blir förhållandet det omvända i framtiden.

Göteborgsprotokollet löser inte alla problem

Tyvärr löser inte Göteborgsprotokollet alla problem, även om det är ett viktigt framsteg. När det gäller eutrofierande effekter av kvävenedfall är problemen fortsatt mycket stora enligt de bedömningar som finns. Eftersom deponerat kväve för närvarande ansamlas i många ekosystem, vilka under tiden förändras biologiskt (ändrad artsammansättning) och kemiskt (ändrad markkemi och kemiskt innehåll i växter), kommer den måttliga minskningen i kvävenedfall i långa stycken endast att innebära att förändringen blir något långsammare men fortsätter i samma riktning som tidigare.



Många tror att hälsoeffekter kommer att dominera luftvårdsdiskussionen de närmaste åren. Särskilt är det effekter av "små partiklar" man är oroad för.

Den viktigaste orsaken till luftföroreningar och försurning är nyttandet av kol och olja. En successiv övergång till alternativa energiformer som vindkraft, biobränslen, olika typer av vattenkraft m.m. är den bästa lösningen.

Tips på hemsidor

<http://www.gardsjon.org>

<http://www.forsumning.nu> (Internationella försurningssekreterariatet)

<http://www.snf.se/verksamhet/forsumning/index.cfm> (Svenska naturskyddsföreningen)

<http://www.naturvardsverket.se> (Naturvårdsverket)

<http://www.unece.org/env/lrtap/> (Konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar)

<http://www.europa.eu.int/comm/environment/air/index.htm> (EU-kommissionens miljödirektorat)

<http://asta.ivl.se> (ASTA-programmet)

Gårdsjöstiftelsen

Gårdsjöstiftelsen är en ideell stiftelse som grundades 1991 av Hensbackastiftelsen, IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Stenungsunds kommun. I styrelsen finns representanter från IVL, länsstyrelsen i Västra Götaland, Skogsstyrelsen, Hensbackastiftelsen, Internationella försurningssekreterariatet, Stenungsunds kommun samt de kemiska industrierna i Stenungsund.

Stiftelsens roll

Gårdsjöstiftelsens syfte är att, med forskningen i Gårdsjön som utgångspunkt, informera om luftföroreningar och försurningseffekter på vatten, skog och mark. Målgrupper är beslutsfattare inom privat och offentlig verksamhet, politiker, miljöexperter, forskare, skolor och allmänhet, både nationellt och internationellt.

Läs mer om försurning och luftföroreningar

Effekter av kvävenedfall på skogsekosystem (2000). Red. Ulla Bertills och Torgny Näsholm. Rapport 5066. Utgiven av Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm. 154 sidor.

Experimental Reversal of Acid Rain Effects. The Gårdsjön Roof Project (1998). H. Hultberg & R. Skeffington. Wiley & Sons. 466 sidor.

Framtidens miljö – allas vårt ansvar (2000). (Miljömålskommitténs slutbetänkande.) Statens offentliga utredningar, SOU 2000:52. Fritzes offentliga publikationer, 106 47 Stockholm. 1339 sidor.

Försurning och kalkning av svenska vatten (1991). Red. Clas Bernes. Monitor 12. Utgiven av Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm. 144 sidor.

Lake Gårdsjön. An acid forest lake and its catchment (1985) F. Anderson & B. Olsson. Ecological Bulletins 37. Stockholm. 336 sidor.

Limning of Lake Gårdsjön. W. Dickson (1988). Swedish Environmental Protection Agency. Report 3426. Solna. 327 sidor.

Luften och miljön (2001). Per Elvingson. Utgiven av Avdelningen för tillämpad miljövetenskap, Göteborgs universitet, Box 464, 405 30 Göteborg. 199 sidor.

Läker tiden alla sår? (2001). Red. Clas Bernes. Monitor 17. Utgiven av Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm.

Marknära ozon – ett hot mot växterna (1999). Red. Håkan Pleijel. Rapport 4969. Utgiven av Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm. 112 sidor.

Naturens återhämtning från försurning (2000). Red. Per Warfvinge och Ulla Bertills. Rapport 5028. Utgiven av Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm. 96 sidor.

Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier (2000). (Miljömålspropositionen). Proposition 2000/01:130. Riksdagens tryckeriexpedition, 100 12 Stockholm. 251 sidor.



**gårdsjö
stiftelsen**

