

# Fällning av fosfor i sjöar

Sten-Åke Carlsson, Vattenresurs, Tjusta, 19793 Bro  
sac@vrab.se, 08-58480770

## Metoden

Fällning av fosfor som restaureringsmetod utvecklades i Sverige under 1960 och 70-talet. Man använde då metoden med väl låga doser och i sjöar som dominerades av extern belastning. Metoden gav då inget hållbart resultat. I USA togs metoden upp i slutet av 70-talet och har sedan dess använts där som restaureringsmetod i ett antal sjöar med gott resultat.



Det amerikanska Naturvårdsverket, US EPA, har i sin manual om sjörestaurering, bedömt metoden som kostnadseffektiv med kort- och långsiktigt bra resultat och med liten risk för negativ påverkan. Restaureringsmetoden blir här, i en totalbedömning, den mest effektiva för övergödda sjöar. Den amerikanska metoden är "brutal". Här sprids aluminiumsulfat från ytan vilket gör att hela vattenmassans biologi påverkas. Man doserar så att man sänker pH till 6-6,5.

I Sverige användes metoden igen i Lejondalssjön. Här utvecklade Vattenresurs en precisionsteknik med en "mjuk" behandlingsmetod där endast bottenvattnet behandlas med liten förändring av pH. Här ville man undvika kontakten med ytvattnet och strandområdena. Metoden har också använts i Bagarsjön i Nacka och Flaten i Skarpnäck.

Den metod som utvecklats i samband med behandlingen av Lejondalssjön faller med aluminiumklorid avsedd för dricksvattenrening. Här förändrades pH som mest 0,3 pH-enheter.

I Lejondalssjön behandlades endast de bottenar med syrebrist under delar av året dvs större djup än 10 m eller 1/3 av sjöns yta. Lejondalssjön är reservvattentäkt, har mycket högt rekreativt och naturvärde samt ett rikt kräftbestånd. Den sk Covermetoden skiljer sig från fällningen av bottenvattnet och sediment. Covermetoden bygger på att skapa en passiv barriär mellan förorenat sediment och vattenmassan medan fällning av bottenvattnet är en kemisk aktiv bindning av fosfor i vattenmassan och sedimentet.

## Naturens kemi

Jordskorpan består till mycket stor del av kisel och aluminium. Aluminium utgör ca 8%. Även järn och kalcium är vanliga mineral. Därför finns dessa sk jordartsmetaller i mycket stor andel i jord, vatten och sediment. De löser sig i vatten och transporteras därför från land via yt- eller grundvattnet till vattendragen och lagras slutligen i sedimenten. De utgör här viktiga komponenter och är en förutsättning för våra naturliga vattens kvalitet.

I alla vatten fälls fosfor naturligt av jordartsmetaller som järn, mangan, aluminium och kalcium. Kopplingen till järn/mangan släpper vid syrebrist och då binds ofta järn till sulfid som är en mycket svårlöslig förening. Därför blir det brist på fosforbindande metaller och fosforhalten ökar i vattnet. Kalcium kräver extremt höga pH för att kunna fälla fosfor effektivt. Aluminium binds hårt till fosfor och går inte i lösning vid syrgasbrist därför lämpar sig aluminium för behandling av bottenvattnet med syrgasbrist.

## Aluminiums kemi

Aluminium har många förekomstformer i vatten. I sur miljö (pH <5,5) är aluminium löst som  $Al^{3+}$ jon. Vid högre pH (upp till pH 9-10) är aluminium bunden i olika komplex med t ex fosfor, som hydroxider mm. Vid mycket höga pH är aluminium löst som jon.

I försurade sjöar är därför aluminium alltid löst. I icke försurade vatten finns endast mycket låga halter fri aluminium eftersom den binds upp i olika komplex.  $Al^{3+}$ -jonen är toxisk i sur miljö men inte när pH är större än pH 5,5 och aluminium är bunden till hydroxidkomplex. Detta är en momentan reaktion. Det är på detta sätt flocken bildas vid tillsats av aluminium i vatten.

Ett mycket nära hushållskemiskt exempel på detta är aluminiumkastrullen. Koka sylt som är sur så blir kastrullen blank. Det skyddande oxidskiktet löser sig. Koka vatten och ingen förändring sker i kastrullen.

Övergödda sjöar har ett pH och en alkalinitet som oftast är likvärdigt med Lejondalssjön. Sjön är alltså väl buffrad och har stor motståndskraft mot pH-förändringar. Aluminiums förekomstformer illustreras med figuren intill.

### Aluminium i sediment

Aluminium är som tidigare nämnts en av de vanligaste metallerna i jordskorpan, i mark och i sediment. Erfarenhet från övergödda sjöar är att halten är 2-3% av torrsubstanshalten i sedimentet. Det innebär att sjöns ytsediment (0-10 cm) idag innehåller 10-15 ton aluminium. En behandling med 25-50 g  $Al/m^2$  ger ett tillskott på drygt 0,5-1 ton.

### Miljökonsekvenser

Hur kan man i USA bedöma en metod där man sänker pH till 6-6,5 och fäller genom hela vattenmassan, att ha liten risk för negativ påverkan? Den momentana bildningen av olika aluminiumkomplex gör att det aldrig finns så höga aluminiumhalter att det finns risk för påverkan. I USA har ett antal forskare följt upp påverkan. Det finns studier på växt- och djurplankton, bottenfauna och fisk. Kort sammanfattat kan man konstatera att man får en tillfällig påverkan på växt- och djurplankton som "medfälls" då flocken sedimenterar.

Bottenfaunan klarar den förändrade miljön - larverna nyttjar flocken för att bygga gångar. Fisk finns det få studier kring men där har vi erfarenheter från försurade vatten i Sverige. Generellt är de förändringar man redovisar den positiva utveckling av sjöns växt- och djurliv som man vill åstadkomma med restaureringen.

Från svensk forskning finns studier kring aluminium och fisk i sura vatten. Här ser man toxiska effekter men inte vid högre pH. Den samlade erfarenheten från den amerikanska forskningen och försurningsforskningen i Sverige visar att man måste iaktta försiktighet med aluminium i vatten så att pH inte understiger pH 6 och inte överstiger pH 9, för att inte åstadkomma negativa effekter i vattenmiljön.

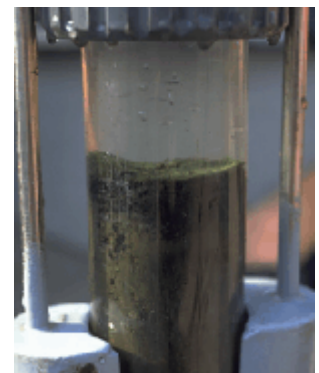
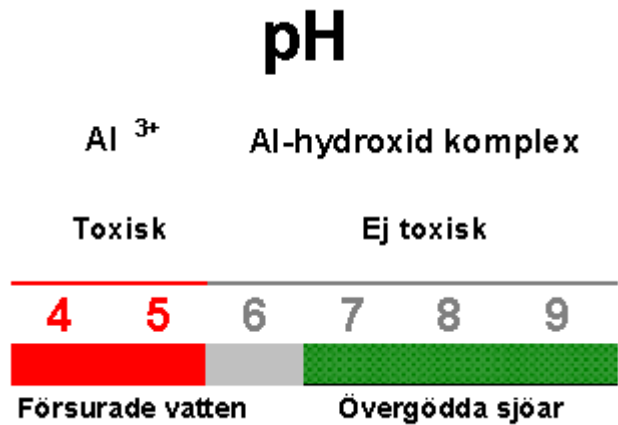
Risken för kräftor och fiskbeståndet i sjön är liten då dessa normalt inte uppehåller sig i de områden som påverkas av fällningen. Åtgärden torde snarare skapa ett större siktdjup och därigenom en ökad utbredning av djupbottenvegetation som borde gynna kräft- och fiskbeståndet i sjön. Så har varit fallet i de sjöar som behandlats hittills.

En vanlig fråga: Vad sker om försurningen trots allt drabbar området och sjön? Tillförseln av aluminium från omgivande mark kommer att öka. Utlakningen från sedimenten kommer att öka. Den genom restaureringen tillförda mängden aluminium är försumbar i det sammanhanget.

Avvägning av positiva effekter mot negativa görs ofta i Sverige idag vid sjökalkning då en chockartad förändring inträffar i hela vattenmassan vid kalkningen. Då sjön efter en tid kommer i balans har tillståndet förbättrats radikalt. Andra restaureringsmetoder som sedimentborttagning innebär också en avsevärd påverkan av stora vattenvolymer genom grumling.

Man måste väga påverkan av en åtgärd som sker vid ett tillfälle mot den negativa påverkan syrebristen har varje vinter och sommar och där kanske det t o m bildas svavelväte som är mycket giftigt och slår ut alla organismer.

Slutsatsen blir att de organismer som eventuellt överlevt syrebristen på de djup som skall behandlas riskerar att bli störda i sin livsmiljö. Dessa organismer kommer dock att återkolonisera botten efter behandlingen. Långsiktigt innebär aluminiumtillförseln endast ett marginellt tillskott till de höga halter som redan naturligt finns i sjöns sediment. Långsiktigt finns risk för svavelvätebildning som också utgör ett hot mot sjön. Dessa negativa effekter måste vägas mot den snabba positiva effekten för både naturvärde, rekreativvärde och sjöns övriga växt och djurliv som åtgärden innebär.



Vad händer med sjön vid en behandling? Vid behandlingen kommer växt- och djurplankton att påverkas genom medfällning. Även bottenfaunan kommer att påverkas. Fisk och kräftor påverkas inte av behandlingen. Grunden för detta påstående är att sjön har så gott pH och alkalinitet att den påverkan som blir är av mekanisk karaktär - medfällning.

Efter behandlingen återställs växt- och djurplankton till en ny växtnäringsnivå med en förändrad artsammansättning. Detta är ett av målen med behandlingen.

Genom behandlingen minskar uttransporten av fosfor från sedimenten. Det gör att halterna sjunker i hela vattenmassan.

Tillförseln från omgivningen kommer att vara avgörande för hur länge behandlingen verkar. För att nå ett långsiktigt resultat måste alla externa fosforkällor till största delen vara åtgärdade.

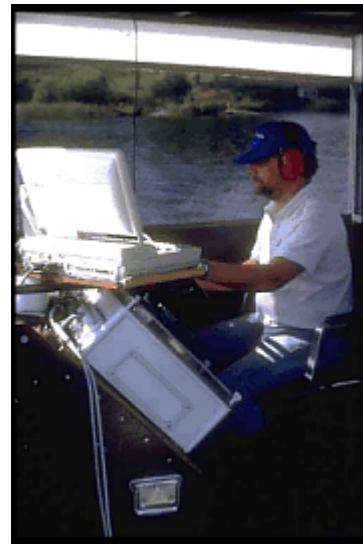
Ett resultat av minskade fosforhalter blir att produktionen av planktonalger minskar. Ett synbart bevis på detta är att siktdjupet ökar.

En minskad produktion innebär också att det blir en minskad belastning av syretärande material på sedimenten. Det innebär att mindre mängd ska brytas ner under vinter och sommar vilket leder till att syreförhållandena i sjön kommer att förbättras. Det kommer dock att ta några år innan sjön får tillbaka syre i bottenvattnet hela sommarperioden men den syrefria perioden och omfattningen kommer att minska avsevärt.

Med förbättrat siktdjup kommer sannolikt undervattens- och flytbladsvegetation som tar näring ur sedimenten att öka. Detta ger föda och tillsammans med förbättrade syrgasförhållanden en mycket god grund för ett kräftbestånd. Det ger också en sjö i ekologisk balans.

En sjös fiskartssammansättning är en bild av sjöns tillstånd. Dåligt siktdjup brukar gynna vitfisk som mört och braxen. Bra siktdjup brukar gynna gädda, abborre och gös. Den behandlade sjöns bestånd av gädda och abborre bör alltså gynnas av förbättrad vattenkvalitet.

Rekreativvärde vintertid kommer inte att förändras. Ett bra siktdjup, ökande bestånd av kräftor, gädda och abborre ger dock ett väsentligt ökat rekreativvärde sommartid för både bad och fiske. En sjö i balans har också ett högt värde som landskapselement i bebyggelse



## Referenser

Björklund, I., Haux, C., Hogstrand, C., Unger, M. och Öhrn, T. 1985. Bioackumulering i organ och förändringar av jonbalans hos öring vid påverkan av aluminium vid olika pH, humushalt och vattentemperatur. Naturvårdsverket, Rapport 3046.

Cooke, G. D., Welch, E. B., Spencer, S. P. och Newroth, P. R. 1986. Lake and Reservoir Restoration. Butterworths, Boston.

Dickson, W. 1983. Liming toxicity to fish. Vatten 39:400-404.

Garrison, P.J. och Knauer, D.R. 1984. Long term evaluation of three alum treated lakes. Lake and reservoir management, EPA 440/5-84 -001, 513-517.

Gelin, C. och Ripl, W. 1978. Nutrient decrease and response of various phytoplankton size fractions following the restoration of Lake Trummen, Sweden. Arch.-Hydrobiol., vol 81, nr. 3, s. 339-367.

Hannerz, C. 1978. Data om sjörestaurering. Rapport från Jordbruksdepartementet, Ds Jo 1978:4

Henriksen, A. Rosseland, B.O. och Skogheim, O.K. 1984. Episodic changes in pH and aluminum-speciation kill fish in Norwegian salmon river. Vatten 40:255-260.

Håkansson, L och Jansson, M. 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin.

James, W. F., Barko, J.W. och Taylor, W. D. 1991. Effects of alum treatment on phosphorus dynamics in a north-temperate reservoir. Hydrobiologia, vol. 215, nr. 3, s. 231-241.

Kennedy, R.H. och Cooke, D.G. 1982. Control of phosphorus with aluminum sulfate. Dose determination and application techniques. Water Res Bull. 18:389-395

Lamb, D. S. och Bailey, G. C. 1981. Acute and chronic effects of alum to midge larvae (Diptera: Chironomidae). Bulletin of environmental contamination and toxicology, vol. 27, nr. 1, s 59-67. Lamb, D. S. och Bailey, G. C. 1983. Effects of aluminum sulfate to midge larvae (Diptera: Chironomidae) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Lake-Restoration-Protetction- and Management, s. 307-312. (Abstract)



- Lingdell, P-E. och Engblom E. 1985. Hur påverkar reningsverk med olika fällningskemikalier bottenfaunan. Statens naturvårdsverk SNV PM 1798.
- Mires, J. M., Soltero, R.A. och Keizur, G. R. 1981. Changes in the zooplankton community of Medical Lake, WA, subsequent to its restoration by a whole-lake alum treatment and the establishment of a trout fishery. *Journal of Freshwater Ecology*, vol.1, nr. 2, s.167-178.
- Narf R.P. 1990. Interactions of Chironomidae and Chaoboridae (Diptera) with aluminium sulfhite treated lakes. *Lake and Reservoir Management*, vol. 6, nr. 1, s.33-42.
- Petterson, K. och Wallsten, M. 1990. Sjörestaurering i Sverige - Metoder och resultat. Naturvårdsverket Rapport 3817.
- Pekkala, C. M. och Koopman, B. 1987. Effect of toxicants on algal sinking rates. *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 36, nr. 1-2, s. 155-162.
- Ramamoorthy, S. 1988. Effect of pH speciation and toxicity of aluminium to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciencies*, vol. 45. nr. 4, s. 634-642.
- Schumaker, R. J., Funk, W. K och Moore, B.C. 1993. Zooplankton responses to aluminium sulfate treatment of Neman Lake, Washington. *Journal of Freshwater Ecology*, vol. 8, nr. 4, s. 375-387.
- Skogheim, O.K. och Wright, R.F. 1983. Aluminum speciation at the interface of an acid stream and limed lake. *Vatten* 39:301-304.
- Smeltzer, E. 1990. A successful alum/aluminate treatment of Lake Moray, Vermont. *Lake and Reservoir Management*, vol. 6, nr. 1, s. 9-19.
- Upplands-Bro kommun. 1972-2002. Sjöprovtagningsprogrammet - årliga rapporter
- US Environmental Protection Agency. 1990. The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, EPA-440/4-90-006