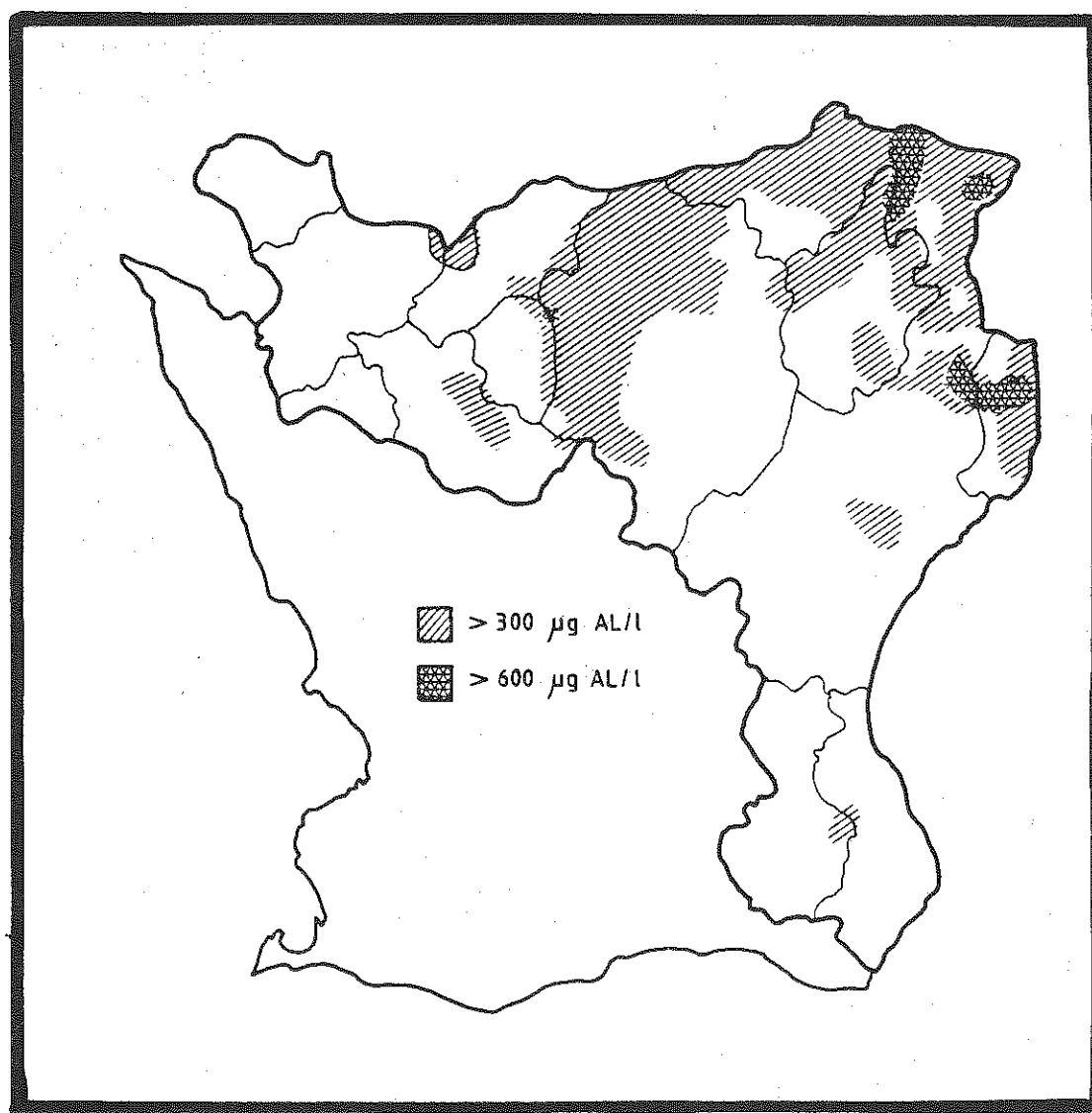


ALUMINIUM

En inventering under februari-mars
1985 i Kristianstad läns sjöar.



Länsstyrelsen i Kristianstads län
291 86 Kristianstad
Tel. 044/137 000

Naturvårdsenheten
Februari 1988

Omslagsbilden: Områden i Kristianstad län där sjöarna
vintern 1985 uppvisade klart förhöjda
koncentrationer av aluminium.

Tryck: Länsstyrelsen i Kristianstad

Upplaga: 100 ex.

År: 1988

ALUMINIUM

- En inventering under februari-mars
1985 i Kristianstads läns sjöar. -

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	1
INLEDNING.....	2
MATERIAL OCH METODER	
Provtagning.....	2
Analyser.....	2
Arstidsvariationer.....	3
Statistiska analyser.....	3
RESULTAT	
Analysjämförelse.....	3
Kalkning.....	3
Kommuner.....	4
Vattendrag.....	4
Försurning.....	4
Vattenfärg.....	5
Sjöyta.....	5
Tillrinningsområde.....	5
Höjd över havet.....	6
Vattendjup vid provtagningspunkten...	6
Arstidsvariationer.....	6
DISKUSSION	
Analyser.....	7
Bakgrundskoncentrationer.....	7
Kommuner.....	7
Vattendragssystem.....	8
Icke-sura sjöar.....	8
Sura sjöar.....	9
Arstidsvariationer.....	11
LITTERATURREFERENSER.....	12
TABELLER.....	14
FIGURER.....	25

SAMMANFATTNING

Totala aluminiumkoncentrationer bestämdes i 138 sjöar under februari-mars 1985. Bakgrundskoncentrationen uppmättes till 85 $\mu\text{g Al/l}$.

Tjugofyra av sjöarna är påverkade av kalk. Kalkning leder till en reduktion av aluminiumkoncentrationen förutsatt att pH stiger till mer än 6.

Sjöarna i Bromölla, Östra Göinge och Osby kommuner har högre aluminiumkoncentration än sjöarna i övriga kommuner. Lägst värden finns i sjöarna i Ängelholms och Simrishamns kommuner.

Sura sjöar i Skräbeån och i Helgeåns huvudfåra har högre aluminiumkoncentration än sura sjöar i övriga vattendrag.

Aluminiumkoncentrationen relateras till pH, vattenfärg, sjöyta, tillrinningsyta:sjöyta, höjd över havet och vattendjup vid provtagningspunkten. Oberoende av variabel så har sura sjöar ($\text{pH} < 6$) alltid högre aluminiumkoncentration än icke-sura sjöar ($\text{pH} > 6$).

Aluminium i icke-sura sjöar ökar signifikant om vattendjupet vid provtagningspunkten understiger fyra meter.

Sura sjöar uppträder först på 50 m:s höjd över havet. Den variation som registreras bedöms vara slumpmässig.

Aluminium i icke-sura sjöar är högre när förhållandet tillrinningsyta:sjöyta är större än 30. För sura sjöar sker motsvarande ökning när faktorn överstiger 10.

Aluminium varierar slumpmässigt med sjöyta, när sjöytan $< 1 \text{ km}^2$, oberoende av om sjön är sur eller ej.

Aluminium ökar redan i pH-intervallet 6.01-6.50. Högst koncentration förekommer vid lägst pH.

Vattenfärg och pH är de två faktorer som förklarar mest av variationen i aluminiumkoncentration. Aluminium i icke-sura sjöar ökar sigmoidalt med ökande vattenfärg. I sura, klara sjöar förekommer höga värden. Aluminium sjunker sedan med ökad vattenfärg och får en lägsta koncentration vid 100-150 mg Pt/l . Därefter ökar aluminium med ökad vattenfärg. När vattenfärgen stiger från 100-150 mg Pt/l så ökar aluminium med en hastighet som är likartad för både icke-sura och sura sjöar.

INLEDNING.

Aluminium är ett av de vanligaste grundämnena i jordskorpan (Kihlström, 1986). I samband med sur nederbörd lakas metallen ur mineraler och jordarter (Monitor, 1986). Sjöar i försurningsdrabbade områden får därför förhöjda koncentrationer av aluminium (Dickson, 1978). I sura vatten ökar dessutom giftverkan av aluminium på växter och djur (Schofield, 1976; Muniz och Leivestad, 1980; Driscoll, 1980; Hörnström et al., 1984; Johannesen och Skogheim, 1985). Starka indicier tyder på att även människan kan påverkas negativt av aluminium (Elinder och Brusewitz, 1982; Ganrot, 1986). Det är därför av största vikt att känna och följa aluminiumkoncentrationerna i försurade sötvtatten.

Målsättningen med denna undersökning är att redovisa det regionala mönstret av aluminium i länets sjöar, att urskilja områden med sjöar med förhöjda aluminiumkoncentrationer samt att relatera förväntade koncentrationsökningar till omgivningsfaktorer.

MATERIAL OCH METODER.

Provtagning

Proven togs under perioden februari-mars 1985 parallellt med proven i den rikstäckande försurningsundersökningen. Vattenprov togs med hjälp av en 1.5 l Ruttnerhämtare 2 m under isen. Ett vattendjup >4 m vid provpunkten eftersträvades. Där detta djup ej hittades togs provet på halva avståndet från isens underkant till sedimentet.

Ca 100 ml prov överfördes till pretarerade, syralakade (HNO₃) polyetenflaskor med en volym av 250 ml. Före provtagning sköljdes flaskorna med provvattnet. Proven fixerades omedelbart med 1 ml koncentrerad HNO₃ (p.a.) till pH ca 1 (Wright och Skogheim, 1983). De förvarades i rumstemperatur under ett år före analys.

Analys

Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, IVL, analyserade proven. Efter ultraljudsbehandling och syrauppslutning analyserades proven med atomabsorptionsspektrofotometri och grafitugnsteknik. Totalkoncentrationer av aluminium erhöles på detta sätt. Enligt uppgift var detektionsgränsen (3 ggr standardavvikelsen, S, för 10 blankprov) 20 ug Al/l och känsligheten (0.0044 AU, absorbance units) 7.7 ug Al/l.

Övriga analyser; pH, alkalinitet, vattenfärg, elektrolytisk ledningsförmåga, kalcium och magnesium, följder

svensk standard. Dvs. för pH, SS 02 81 22; alkalinitet, SS 02 81 39; elektrolytisk ledningsförmåga, SIS 02 81 23; vattenfärg, SIS 02 81 24; summa (Ca+Mg), SS 02 81 21 och Ca, SIS 02 81 19 (Ekedahl, 1982).

En sjö beviljas statsbidrag till kalkning när ... "pH under vinterhalvåret, från oktober till före snösmältningen, understiger 6.0 eller alkaliniteten (buffertförmågan) understiger 0.05 mekv/l." (Fiskeristyrelsen, 1982). Enligt detta betraktelsesätt kan sjöar med ett pH mindre än 6 kan anses som sura. Följaktligen är sjöar med ett pH större än 6 icke-sura. Detta bildar utgångspunkten för indelningen av resultaten i sura och icke-sura sjöar.

Arstidsvariationer

SNV:s analysdata för länets sju referenssjöar utvärderades för åren 1983-87. Avsikten var att få en uppfattning om hur aluminiumkoncentrationerna varierar under året.

Statistiska analyser

Om inte annat anges så har följande två tester använts, "approximate test of equality of means when the variances are heterogeneous" och "test of equality of the means of two samples whose variances are assumed to be unequal" (Sokal och Rohlf, 1969). Dessa kommer i det följande att refereras till som test 1 respektive 2. Skillnader accepteras på $P < 0.05$ -nivån.

RESULTAT.

Vintern 1985 bestämdes aluminiumkoncentrationen i sjövattnen från 138 av länets ca 270 sjöar. Sjöarnas vattenkvalitet framgår av tabell 1.

Analysjämförelse

Vattenprov från de sju referenssjöarna analyserades, förutom av IVL även av statens naturvårdsverk, SNV. En jämförelse redovisas i fig. 1. Sambandet visar med ett undantag, Liasjön, på en god överensstämmelse, riktnings- och determinationskoefficienten är båda nära 1. IVL:s analysvärden är emellertid konstant 51 ug Al/l högre än SNV:s värden.

Kalkning

Tjugofyra av de 138 sjöarna har kalkats eller är påverkade av kalkningar uppströms (tabell 2). Lyckas

kalkningen ($\text{pH} > 6$) så reduceras ($P < 0.02$, test 2) aluminium. Misslyckas kalkningen ($\text{pH} < 6$) så reduceras (test 2) aluminium ej relativt okalkade sjöar. En lyckad kalkning resulterar i aluminiumkoncentrationer som ej signifikant avviker (test 2) från icke-sura sjöars.

Kalkade sjöar särbehandlas ej vidare eftersom de ej signifikant skiljer sig från okalkade då hänsyn tages till syrabelastningen (test 2, tabell 2).

Kommuner

Medel- och medianvärden av aluminium i respektive kommuns sjöar redovisas i tabell 3. Högst medelvärde, 683 ug Al/l, uppmättes i Bromölla kommun. Sjöarna i Bromölla, Östra Göinge och Osby kommun har, i förhållande till övriga kommuner, högre aluminiumkoncentrationer ($P < 0.05$, Student-Newman-Keuls test). Beaktas istället medianvärdet så har sjöarna i Bromölla och Östra Göinge kommuner lika höga värden, 520 ug Al/l. Lägst medelvärde, 198 ug Al/l, har Simrishamns kommun medan lägst medianvärde, 130 ug Al/l, förekommer i Ängelholms kommun.

Vattendragssystem

Det är ingen skillnad i medelvärde mellan de olika vattendragens icke-sura sjöar (test 1, tabell 4). Det viktade medelvärdet för dessa blir är 246 ug Al/l ($S=140$ ug/l, $n=81$).

En skillnad ($P < 0.05$, test 1) föreligger emellertid mellan medelvärden i sura sjöar (tabell 4). Helgeåns och Skräbeåns sjöar har högre ($P < 0.02$, test 2) koncentrationer, viktat medelvärde 594 ug Al/l ($S=310$ ug Al/l), än Almaåns, Rönneåns och Stensåns sjöar, viktat medelvärde 403 ug Al/l ($S=99$ ug Al/l). Oberoende av vattendragssystem så har sura sjöar en högre aluminiumkoncentration ($P < 0.001$, test 2) än icke-sura sjöar.

Försurning

Medelvärdet av aluminium har beräknats för sjöar i pH-intervaller om 0.25 pH-enheter (tabell 5). En analys visar att medelvärdena för de sura sjöarna skiljer sig åt ($P < 0.01$, test 1). Medelvärdet för sjöar i pH-intervallet 4.51-5.00 är högre ($P < 0.01$, t-test) än vid högre pH. Däremot så är det ingen skillnad i intervallen 5.01-5.50 och 5.50-6.00. Det viktade medelvärdet för dessa är 476 ug Al/l ($S=198$ ug/l, $n=46$).

Det är också en klar skillnad ($P < 0.005$, test 1) mellan medelvärden för icke-sura sjöar (tabell 5). Skillnaden

beror på att sjöar i pH-intervallet 6.01-6.50 har högre ($P < 0.005$, test 2) aluminiumkoncentration än sjöar med högre pH-värden. Aluminiumkoncentrationen i pH-intervallet 6.01-6.50 är emellertid klart lägre ($P < 0.001$, test 2) än i de sura sjöarna. Medelvärdena för sjöar i pH-intervallen 6.51-7.00 - 8.01-8.50 skiljer sig däremot ej åt (test 1). Det viktade medelvärdet för dessa är 130 ug Al/l ($S=136$ ug Al/l, $n=31$).

Vattenfärg

I tabell 6 redovisas medelvärde av aluminium i färgintervall. Signifikanta skillnader mellan sura och icke-sura sjöar kan endast påvisas (test 2) då vattenfärgen är < 100 mg Pt/l.

Aluminium i icke-sura sjöar ökar när vattenfärgen ökar ($P < 0.001$, test 1, fig. 2).

Sura sjöar uppvisar klara koncentrationsskillnader av aluminium ($P < 0.001$, test 1, tabell 6 och fig 2). Högst koncentration finns i mycket klara sjöar, < 25 mg Pt/l (fig. 2). Koncentrationen sjunker sedan till ett lägsta värde i färgintervallet 100-150 mg Pt/l, varefter den ökar med ökad vattenfärg. Ökningstakten tycks likartad för sura och icke-sura sjöar (fig. 2). Ökningen sker emellertid på en konstant högre koncentrationsnivå i sura sjöar, ca 100-150 ug Al/l högre.

Sjöyta

Sura sjöar med en sjöyta mindre än 0.06 km² har klart högre ($P < 0.05$, test 2) aluminiumkoncentrationer än icke-sura sjöar med samma sjöyta (tabell 7). Skillnaden är mer markant ju mindre sjöytan är. För sjöar med sjöytor större än 0.06 km² är underlaget ej tillräckligt för en säker bedömning.

Medelvärden av aluminium i icke-sura sjöar skiljer sig klart ($P < 0.001$, test 1) från varandra, liksom de i sura sjöar ($P < 0.005$, test 1). I bägge fallen är variationen emellertid slumpmässig och därför beroende av andra faktorer än sjöytan (tabell 7).

Tillrinningsområde

Vattendjupet är okänt i de flesta sjöarna. Därför har förhållandet mellan ytorna av tillrinningsområde och sjö, F , använts för att grovt beskriva sjöns omsättningshastighet. I tabell 8 har medelvärdet av aluminiumkoncentrationen beräknats för intervall om 10 enheter av F .

Endast i intervallet 10-30 har sura sjöar högre (test 2) koncentration aluminium än icke-sura sjöar (tabell 8).

En kontroll av icke-sura sjöar visar att koncentrationerna av aluminium är högre ($P < 0.001$, test 2) för sjöar med en faktor > 30 , 323 ug/l (S, 101 ug/l $n=33$, viktade värden), än för sjöar med en faktor < 30 , 178 ug/l (S, 141 ug /l $n=43$).

Medelvärdena för sura sjöar är ej skilda åt (test 1) då faktorn är > 10 . Viktat medelvärde för dessa sjöar är 484 ug Al/l (S, 290 ug Al/l $n=53$). Sjöar med en faktor < 10 har ett lägre ($P < 0.05$, test 2) medelvärde.

Höjd över havet

Sjöarna ligger spridda på höjder från havets nivå (0.7 m) upp till 163 m. Sura sjöar uppträder först i höjdivtervallet 50-75 m (tabell 9). I alla intervaller utom det högsta är aluminiumkoncentrationen högre (test 2) i sura sjöar än i icke-sura (tabell 9).

Aluminium i icke-sura sjöar ökar från lägsta till högsta höjdivtervall (tabell 9). Det föreligger dock ingen signifikant skillnad mellan medelvärden för dessa sjöar (test 1). Det viktade medelvärdet för icke-sura sjöar är 245 ug Al/l (S=141, $n=81$).

Det är en klar skillnad ($P < 0.001$, test 1) i aluminiumkoncentration mellan sura sjöar i olika höjdivtervall (tabell 9). Det finns emellertid inget samband med höjden över havet utan variationen beror av andra faktorer.

Sjödjup vid provtagningspunkten

De icke-sura sjöar där sjödjupet vid provtagningspunkten är större än fyra meter har lägre (test 2) koncentrationer av aluminium än sjöar med ett djup mindre än fyra meter vid provtagningspunkten (tabell 10). Detta gäller ej (test 2) för sura sjöar.

Arstidsvariationer

I två av sjöarna är medelvärdet av aluminium högst under vintern och i fem under våren (tabell 11). Lägst medelvärden uppträder i en sjö, Fåglasjön, under våren (!), i fyra sjöar under sommaren och i två under hösten.

DISKUSSION

Analys

Det är en god överensstämmelse mellan IVL:s och SNV:s analysresultat, trots skillnader i metodik, atomabsorption respektive kolorimetri. Två faktorer stör emellertid bilden.

För det första så är IVL:s resultat för Liasjön ca 2 ggr högre än SNV:s. SNV:s metodik medför att organiskt, hårt bunden aluminium ej registreras (muntl. medd. Lena Lindvall). Dvs. SNV mäter den reaktiva delen av aluminium (Wright och Skogheim, 1983). Denna del innefattar inte polymert, kolloidalt och organiskt hårt bundna aluminiumföreningar, till skillnad mot totalaluminium (Driscoll et al., 1980). Eftersom Liasjön har en extremt hög vattenfärg, 400 mg Pt/l, har sjövattnet en stor kapacitet för att binda aluminium i organiska föreningar (Backes och Tipping, 1987).

För det andra är IVL:s resultat konstant 51 ug Al/l högre än SNV:s. Orsaken till detta är ej helt klar. Sannolikt bidrager ett antal faktorer till att IVL:s värden är högre. Förutom den ovan nämnda så kan t.ex. även skillnader i lagringstid (1 år/1 mån), -kärl (polyetylen/polypropan), -temperatur (20 C/4 C) m.fl. bidra till att skillnaden uppstår.

Bakgrundskoncentration

Borg (1984) fann att bakgrundskoncentrationen av aluminium i oligotrofa, sydsvenska källsjöar opåverkade av mänsklig aktivitet och med $\text{pH} > 6$ 1980 var 69 ug/l ($S=29$, $n=7$, neutronaktiveringsanalys). Medelvärde för ultraoligotrofa sjöar i sydvästra Finland med ett $\text{pH} > 6$ var 80 ug Al/l ($S=49$, $n=11$; Pätilä, 1986).

I denna undersökning ingår nio sjöar som har ett sjödjup vid provtagningspunkten som är större än fyra meter och som svarar upp mot kriterierna i Borgs undersökning. I dessa sjöar är medelvärdet av aluminium 85 ug/l ($S=35$). Här föreligger med andra ord en god överensstämmelse med Borgs och Pätiläs resultat.

Kommuner

De kommuner som har många försumningsdrabbade sjöar har också följdriktigt höga aluminiumkoncentrationer i sina sjöar (tabell 3, Collvin, 1986). Situationen är med andra ord värst i området vid Ryssberget, längs Blekinge gränsen, och i norr på sydsidan av Småländska höglandet

värden som uppmätts i Ängelholms och Örkelljunga kommuner är förvånande. Sannolikt beror de på att sjöarna endast i mindre utsträckning är sura (Collvin, 1986).

Vattendragssystemen.

I analogi med vad som var fallet för kommunerna är aluminiumkoncentrationen högst i sjöar som avvattnas till Skräbeån och i Helgeåns huvudfåra (tabell 4). De lägre värdena i sjöarna i Almaån och Rönneåns vattendrag beror troligen på att dessa ligger på områden med andra bergarter, t ex vulkaniska med inslag av basalt, sandsten och krita (Lundegård et al., 1974). I södra delen av länet, dvs inom Tommarpsån och Verkeån finns inga försurade sjöar.

ICKE-SURA SJÖAR

Attioen (58%) av de 138 undersökta sjöarna är icke-sura i enlighet med statens naturvårdsverks och fiskeristyrerelsens definition (Fiskeristyrelsen, 1982). Medelvärdet av aluminium för dessa är 246 ug/l med de 99.9%-iga konfidensintervallen 192-300 ug/l (tabell 5). Dvs relativt bakgrunden mycket höga koncentrationer!

Det faktum att medelvärdet av aluminium i icke-sura sjöar är ca 3 ggr högre än bakgrunden innebär således att icke-sura sjöar har förhöjda koncentrationer av aluminium!

Ökningen är oberoende av sjöarnas höjd över havet, deras yta eller av det faktum att 15 st är kalkade (tabell 9, 7 och 2).

Förhöjningen är däremot klart beroende av förhållandet mellan tillrinningsområdets yta och sjöytan (tabell 8). Sjöar där förhållandet är mindre än 30 har lägre koncentrationer, 178 ug Al/l, än de med ett förhållande som överstiger 30, 323 ug Al/l.

De sjöar där sjödjupet vid provtagningspunkten är större än fyra meter har klart lägre koncentrationer, 165 ug Al/l, än sjöar med ett djup mindre än fyra meter vid provtagningspunkten, 280 ug Al/l (tabell 10). Det visar emellertid inte nödvändigtvis att grunda sjöar har högre aluminiumkoncentration än djupa. Ju mindre vattendjupet är vid provtagningspunkten ju större är sannolikheten att en uppgrumling av partiklar från sedimenten kan komma att påverka analysresultatet. Framför allt gäller detta vid en bestämning av totalkoncentrationer.

Många av länets sjöar är små och grunda med stora tillrinningsområden. Detta resulterar i snabba

omsättningstider, stor tillförsel av urlakade ämnen och en begränsad sedimentering. Detta talar för att man kan förvänta sig högre aluminiumkoncentrationer i denna typ av sjöar.

Sjöar i pH-intervallet 6.0-6.5 har klart högre koncentrationer, 290 ug Al/l, än sjöar med pH större än 6.5, 130 ug Al/l (tabell 5). Dvs aluminiumkoncentrationen i länets sjöar ökar redan när pH sjunker under 6.5! Detta tycks gälla generellt för svenska sjöar (Monitor, 1986).

Koncentrationen ökar kontinuerligt med ökad vattenfärg (tabell 5 och fig 2). Ökningen verkar ske sigmoidalt (fig 2). Således har riktigt klara sjöar, <25 mg Pt/l, låga koncentrationer, 94 ug Al/l (S=47, n=6). I färgskalans mellanskikt, 50-150 mg Pt/l, är värdena relativt konstanta och höga, ca 250 ug Al/l. I starkt humösa vatten, >200 mg Pt/l, är värdena mycket höga, 440 ug Al/l (S=99, n=5).

Vattenfärg och pH är således de variabler som mest påverkar aluminiumkoncentrationen i länets icke-sura sjöar. Eftersom 50% eller fler av de icke-sura sjöarna har färgvärden som överstiger 100 mg Pt/l eller pH i intervallet 6.0-6.5 så resulterar detta i ett högt medelvärde av aluminium, 246 ug/l. Den stora spridningen i färgvärden, 5-1600 mg Pt/l, leder helt naturligt till en stor spridning, 192-300 ug Al/l, runt medelvärdet.

Konfidensintervallets övre gräns ligger till grund för att visa på förhöjda värden (fig 3).

SURA SJÖAR

Oberoende av mätvariabel så framstår det helt klart att sura sjöar, pH mindre än 6, har klart högre aluminiumkoncentration än icke-sura sjöar (tabell 2-10).

I denna undersökning bidrager inte någon av variablerna sjöyta, förhållande tillrinningsyta/sjöyta eller höjd över havet till att klarlägga variationen i sjöarnas aluminiumkoncentration (tabell 7, 8 och 9). Variation har påvisats men bedöms vara slumpmässig.

I likhet med andra undersökningar medför kalkning i länets sjöar att aluminiumkoncentrationen sjunker (tabell 2, Dickson, 1978 och 1983). Detta är egentligen förvånande med tanke på kalkningsmetodiken. Kalkning direkt i sjön eller genom kontinuerlig dosering i tillflöden påverkar ju ej utlakning av aluminium från marken i nederbördsområdet. Metallflödet till sjön borde därför inte hejdas (Wright och Skogheim, 1983). Snarare är det så att den förändrade vattenkemin leder till att

aluminium faller ut från vattenfasen (Johannessen och Skogheim, 1985). Detta innebär att aluminium anrikas i sedimenten hos kalkade sjöar! Detta förråd av aluminium kan, vid återförsurning, komma att frigöras och åter negativt påverka växter och djur (tabell 2, Dickson 1978 och 1983; Johannessen och Skogheim, 1985)!

Från en relativt låg utgångskoncentration, 363 $\mu\text{g Al/l}$, vid 100–150 mg Pt/l , ökar aluminium både med minskande och ökande vattenfärg (fig 2). De mycket klara, <25 mg Pt/l , och sura sjöarna har sannolikt klarnat som en effekt av kraftig försurning, pH 4.53 och 4.92. Humusämnen faller troligen ut p g a att aluminium minskar lösligheten av humus (Dickson, 1978). I så sura och klara sjöar förekommer aluminium huvudsakligen i en labil, oorganisk, monomer form (Driscoll et al., 1980; Wright och Skogheim, 1983; Henriksen och Skogheim, 1984; Rögeberg och Henriksen, 1985; Johannessen och Skogheim, 1985; Bjärnborg, 1987). Denna form av aluminium omfattar bl a aluminiumjonen, hydroxid-, fluorid- och sulfatkomplexen och verkar starkt toxiskt på växter och djur (Driscoll et al., 1980; Hörnström et al., 1984).

När vattenfärgen stiger upp till 100 mg Pt/l , så sjunker aluminiumkoncentrationen (tabell 6, fig 2). Detta står klart i strid andra resultat där man funnit att aluminium ökar proportionellt med vattenfärgen upp till 200 mg Pt/l (Bjärnborg, 1987). Orsaken till att minskningen i denna undersökning är oklar. Andra faktorer än vattenfärg påverkar sannolikt koncentrationsförloppet upp till 100 mg Pt/l . I sjöar med en vattenfärg mindre än 25 mg Pt/l påverkar pH resultatet (se ovan). Eftersom median-pH och pH-variationen inom respektive färgintervall ej skiljer sig från varandra i färgintervallet 25–100 mg Pt/l bör pH i sig ej spela någon avgörande roll här.

Figur 2 visar att ökningen av aluminium med ökande färgvärde från 100–150 mg Pt/l sker med likartad hastighet i både sura och icke-sura sjöar. Sura sjöar har emellertid i medeltal 108 till 142 $\mu\text{g Al/l}$ högre koncentrationer än icke-sura sjöar. Detta återspeglar sannolikt en högre utlakning från den sura sjöns tillrinningsområde och en utnyttjad bindningskapacitet i de stakt humösa sjöarna (Backes och Tipping, 1987; Bjärnborg, 1987).

Aluminiumkoncentrationen ökar med ökande pH, helt i enlighet med vad som kan förväntas (Dickson, 1978; Wright et al., 1980; Borg, 1984; Pätilä, 1986). Denna undersökning visar, till skillnad från andra, att aluminium ökar redan vid pH 6.0–6.5 (tabell 5, Dickson, 1978; Wright et al., 1980). Detta är något förvånande eftersom lösligheten av den toxiska formen, labil monomer aluminium, är som lägst just i detta pH-intervall (Skogheim

et al., 1984 i Johannessen och Skogheim, 1985). Den, visavi andra undersökningar, mycket höga vattenfärgen i denna undersökning innebär att länets sjöar har en hög kapacitet att binda och hålla aluminium löst i vattenfasen. Detta kan, förutsatt att aluminiumtillförsel sker, möjligen förklara de höga värdena vid relativt höga pH-värden.

Arstidsvariationer

Under perioden 1983-87 varierar aluminiumkoncentrationen med en faktor större än fem i alla sjöar utom de två mest sura, Lillesö och Liasjön (tabell 11). Den höga variationen i Fåglasjön är säkerligen missvisande. Ett värde på 560 ug Al/l avviker klart från resterande mätningar (n=14), 40-135 ug Al/l. Även om hänsyn tages till detta framstår det klart att det sker kraftiga variationer inom sjöarna över tiden. Variationerna beror sannolikt på variationer i den labila monomera aluminiumformen (Driscoll et al., 1980; Henriksen och Skogheim, 1984).

I ett fall, Liasjön, är variationerna små, 210-325 ug Al/l (tabell 11). Detta beror troligen på att Liasjön är en liten, grund sjö med ett stort tillrinningsområde i vilket det förekommer rikligt med mossmarker. Detta medför att vattenmassan i sjön snabbt omsätts samt att det sker en kontinuerlig och stor tillförsel av humusämnen. Då sjön är kraftigt försurad, pH 4.6-5.0, kan markerna runt sjön förväntas "läcka" avsevärda mängder aluminium till sjön. Den snabba omsättningstiden medför endast en obetydlig sedimentation av komplexbunden aluminium. Å andra sidan så bidrager den starka vattenfärgen, ca 400 mg Pt/l, till att en relativt stor mängd aluminium binds uppe i vattenmassan.

LITTERATURREFERENSER.

- Backes C.A. och E. Tipping, 1987. Aluminium complexation by an aquatic humic fraction under acidic conditions. *Water Research* 21 (2): 211-216.
- Borg H., 1984. Bakgrundshalter av spårmetaller i svenska sötvatten. SNV PM 1817: 56 sid.
- Björnborg B., 1987. Aluminium och dess förekomstformer i ytvatten. Bestämning med pyrokatekolviolett och jonbytesseparation. SNV Rapport 3316: 40 sid.
- Collvin L., 1986. Kalkning av försurade sjöar i Kristianstads län. *Skånes Natur* 4: 149-160.
- Dickson W., 1978. Some effects of the acidification of Swedish lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20: 851-856.
- Dickson W., 1983. Liming toxicity of aluminium to fish. *Vatten* 39: 400-404.
- Driscoll C.T. Jr, J.P. Baker, J.J. Bisogni Jr och C.L. Schofield, 1980. Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. *Nature* 284: 161-164.
- Ekedahl G., 1982. Mätmetodanvisningar inom vattenvårdsområdet. SNV PM 1498.
- Elinder C.G. och S. Brusewitz, 1982. Aluminium. Hälso- och miljörisker. En litteraturöversikt. Projekt kol-hälsa-miljö, Teknisk Rapport Nr 24: 32 sid.
- Fiskeristyrelsen, 1982. Råd och riktlinjer för kalkning av sjöar och vattendrag. Meddelande från fiskeristyrelsen Nr 1: 12 sid.
- Ganrot P.O., 1986. Aluminium-metabolism och möjliga hälsoeffekter. *Läkartidningen* 83 (42): 3479-3481.
- Henriksen A., O.K. Skogheim och B.O. Rosseland, 1984. Episodic changes in pH and aluminium-speciation kill in fish in a Norwegian salmon river. *Vatten* 40: 255-260.
- Johannessen M. och O.K. Skogheim, 1985. Vannkjemiske effekter ved kalking. Kapittel 5 i Kalking av surt vann. Kalkingsprosjektet, sluttrapport. Ed.K.Baalsrud.: 57-78.

Kihlström J.-E., 1986. Gifter i naturen. Liber förlag, Uddevalla: 105 sid.

Lundegård P.H., J. Lundqvist och M. Lindström, 1974. Berg och Jord i Sverige. Almqvist och Wiksell, Uppsala: 349 sid.

Monitor, 1986. Sura och försurade ytvatten. Liber förlag, Stockholm: 180 sid.

Muniz I.P. och H. Leivestad, 1980. Toxic effects of aluminium on the brown trout, *Salmo trutta* L. Proc., Int. conf. ecol. impact acid precip., Norway, SNSF project: 84-92.

Pätilä A., 1986. Survey of acidification by airborne pollutants in 52 lakes in southern Finland. *Aqua Fennica* 16 (2): 203-210.

Rögeberg E.J.S. och A. Henriksen, 1985. An automatic method for fractionation and determination of aluminium species in fresh waters. *Vatten* 41: 48-53.

Schofield C.L., 1976. Acid precipitation: Effects on fish. *Ambio* 5 (5-6): 228-230.

Skogheim O.K., B.O. Rosseland, F. Kroglund och G. Hagenlund, 1984. Addition of NaOH, lime slurry and powdered limestone to acidified water and the effects on salmon (*Salmo salar* L.). Kalkingsprojektet. Rapport 19.

Sokal R.R. och F.J. Rohlf, 1969. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. W.H. Freeman and Company, San Francisco: 776 sid.

Wright R.F., N. Conroy, W.T. Dickson, R. Harriman, A. Henriksen och C.L. Schofield, 1980. Acidified lake districts of the world: A Comparison of water chemistry of lakes in southern Norway, southern Sweden, south western Scotland, the Adirondack Mountains of New York and south eastern Ontario. Kapitel 3 i Ecological impact of acid precipitation, SNSF-project. Eds. D. Drablös och A. Tollan.: 383 sid.

Wright R.F. och O.K. Skogheim, 1983. Aluminium speciation at the interface of an acid stream and a limed lake. *Vatten* 39: 301-304.

=====					
VARIABEL	MEDELVÄRDE	STANDARD- AVVIKELSE	MIN.	MAX.	SORT

pH	6.05*	-	4.53	8.40	-log(umol H+/l)
Alkalinitet	0.238	0.493	0	2.929	mekv HCO ₃ -/l
El. lednförm.	117	56	58	400	uS/cm 25 C
Vattenfärg	170	165	5	1600	mg Pt/l
Kalcium	0.508	0.529	0.124	3.142	mekv Ca/l
Magnesium	0.209	0.127	0.100	1.596	mekv Mg/l
=====					

*Geometriskt medelvärde.

Tabell 1. En översiktlig bild av vattenkvaliteten i de 138 undersökta sjöarna i Kristianstads län, vintern 1985.

=====								
	SURA			ICKE-SURA			SKILLNAD?	
	Med.	S*	N*	Med.	S	N	t	P

OKALKADE	559	302	48	234	131	66	7.00	<0.001
KALKADE	519	241	9	301	173	15	2.56	<0.02

SKILLNAD	t	0.44		1.67				
	P	n.s.		n.s.				
=====								
*S=standardavvikelse, N=antal.								

Tabell 2. Medelvärde av aluminium (ug/l) i kalkade och okalkade sjöar i Kristianstads län vintern 1985.

KOMMUN	ALUMINIUM			ANTAL SJÖAR
	MEDEL	MIN.	MAX.	
Bromölla	683	50	1500	6
Ö. Göinge	569	90	1500	12
Osby	420	79	1100	36
Hässleholm	338	34	560	37
Perstorp	305	140	700	6
Kristianstad	297	120	860	14
Klippan	290	140	390	7
Tomelilla	280	100	460	2
Örkelljunga	257	110	440	12
Ängelholm	205	90	470	4
Simrishamn	197	85	310	2
HELA LÄNET	372	34	1500	138

Tabell 3. Aluminium (ug/l) i Kristianstads
läns kommuner vintern 1985.

VATTENDRAGS- SYSTEM	SURA (pH<6)			ICKE-SURA (pH>6)		
	Med	S*	N*	Med	S	N
SKRÅBEÄN	692	380	16	267	177	21
HELGEÄN#	570	266	25	207	105	19
ALMAÄN	419	76	8	260	143	12
RÖNNEÄN	370	130	5	251	134	21
STENSÄN	337	119	3	250	28	2
TOMMARPSÄN	-	-	-	285	189	3
VERKEÄN	-	-	-	100	-	1
LAGÄN	-	-	-	150	-	1
SISSEBÄCKEN	-	-	-	410	-	1

*S=standardavvikelse, N=antal sjöar.

#Huvudfåran exklusive Almaän.

Tabell 4. Aluminium (ug/l) i sjöar tillhörande olika vattendrag i Kristianstads län vintern 1985.

=====					
pH-intervall	Med.	S*	N*	Min.	Max.

4.51 - 5.00	882	388	11	500	1500
5.01 - 5.50	526	198	18	300	1100
5.51 - 6.00	441	196	28	170	920

SURA	pH<6.0	553	292	57	170 1500

6.01 - 6.50	290	139	50	80	700
6.51 - 7.00	153	106	17	34	460
7.01 - 7.50	254	122	9	80	410
7.51 - 8.00	103	25	2	50	120
8.01 - 8.50	110	53	3	130	150

ICKE-SURA	pH>6.0	246	141	81	34 700

ALLA SJÖAR		373	263	138	34 1500
=====					

*S=standardavvikelse, N=antal sjöar.

Tabell 5. Aluminium (ug/l) i sjöar fördelade i pH-intervall om 0.5 pH-enheter.

=====								
VATTENFÄRG (mg Pt/l)	SURA			ICKE-SURA			SKILLNAD?	
	Med.	S*	N*	Med.	S	N	t	P
<25	1400	141	2	94	47	6	12.86	<0.05
25-50	-	-	-	167	150	17	-	-
50-100	560	158	8	243	106	17	4.98	<0.001
100-150	363	109	6	255	106	22	2.33	n.s.
150-200	471	327	14	329	133	14	1.51	n.s.
>200	573	229	27	440	99	5	2.13	n.s.

=====

*S=standardavvikelse, N=antal sjöar.

Tabell 6. Aluminium (ug/l) i Kristianstad läns sjöar
vintern 1985.

Sjöyta km ²	SURA			ICKE-SURA			SKILLNAD?	
	Med.	S*	N*	Med.	S	N	t	P
<0.01	689	371	22	217	110	10	5.46	<0.001
0.01-0.02	467	193	18	282	169	16	2.98	<0.01
0.02-0.03	503	246	9	291	149	13	2.31	<0.05
0.03-0.04	380	-	1	276	135	9	-	-
0.04-0.05	-	-	-	388	186	5	-	-
0.05-0.06	423	95	3	165	52	4	4.25	<0.05
0.06-1.00	433	142	3	237	70	3	2.14	n.s.
1.00-10.0	170	-	1	170	100	17	-	-
10.0-100	-	-	-	203	92	4	-	-

*S=standardavvikelse, N=antal sjöar

Tabell 7. Aluminium i ug/l i Kristianstads läns sjöar
vintern 1985.

F	SURA			ICKE-SURA			SKILLNAD?	
	Med.	S*	N*	Med.	S	N	t	P
<10	270	42	2	202	182	22	1.39	n.s.
10-20	472	211	18	168	87	18	5.65	<0.001
20-30	813	437	7	187	75	6	3.73	<0.01
30-40	510	184	8	270	-	1	1.23	n.s.
40-50	735	511	4	323	61	3	1.60	n.s.
50-60	330	71	2	230	-	1	1.15	n.s.
60-70	537	198	3	283	94	6	2.11	n.s.
70-80	-	-	-	350	212	2	-	-
80-90	490	-	1	-	-	-	-	-
90-100	450	99	2	325	21	2	1.75	n.s.
100-150	720	261	4	407	110	3	2.16	n.s.
150-200	530	-	1	348	115	8	1.49	n.s.
200-300	450	99	2	410	79	3	0.48	n.s.
>300	600	433	3	267	76	6	1.32	n.s.

*S=standardavvikelse, N=antal sjöar.

Tabell 8. Aluminium (ug /l) i Kristianstad läns sjöar vintern 1985.

F=tillrinningsområdets yta : sjöns yta.

=====								
Höjd över havet (m)	SURA			ICKE-SURA			SKILLNAD?	
	Med.	S*	N*	Med.	S	N	t	P

<25	-	-	-	197	138	6	-	-
25-50	-	-	-	227	107	7	-	-
50-75	588	329	9	237	164	18	3.02	<0.01
75-100	767	406	13	253	120	31	4.48	<0.001
100-125	440	116	22	262	165	17	3.76	<0.001
>125	507	245	13	300	254	2	1.08	n.s.

=====

*S=standardavvikelse, N=antal sjöar.

Tabell 9. Aluminium (ug/l) i Kristianstads läns sjöar
vintern 1985.

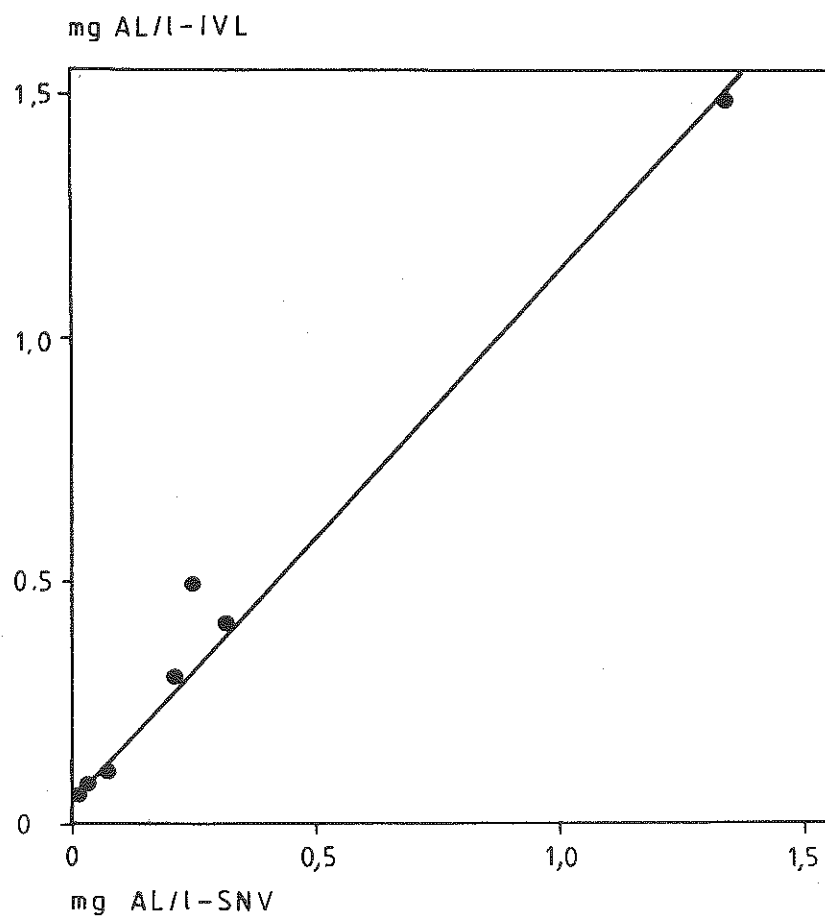
=====								
SJÖDJUP (m)	SURA			ICKE-SURA			SKILLNAD?	
	Med.	S*	N*	Med.	S	N	t	P
<4	519	244	47	280	141	57	5.95	<0.001
>4	714	448	10	165	103	24	3.83	<0.01

SKILLNAD?								
t	1.34			4.08				
P	n.s.			<0.001				
=====								
*S=standardavvikelse, N=antal sjöar								

Tabell 10. Aluminium (ug/l) vid olika vattendjup i provtagningspunkten.

LOKAL	VINTER	VÅR	SOMMAR	HÖST	HELA ÅRET
Lillesjö	1254	1500	867	850	1142 720-2350
Liasjön	266	272	270	249	265 210- 325
Bäen	238	265	76	98	167 65- 315
Lärkesholmsjön	194	133	51	100	120 35- 240
Fåglasjön	213	50	53	54	98 45- 560
Skäravattnet	38	58	14	27	33 10- 63
Svanshalssjön	23	34	16	22	23 8- 45

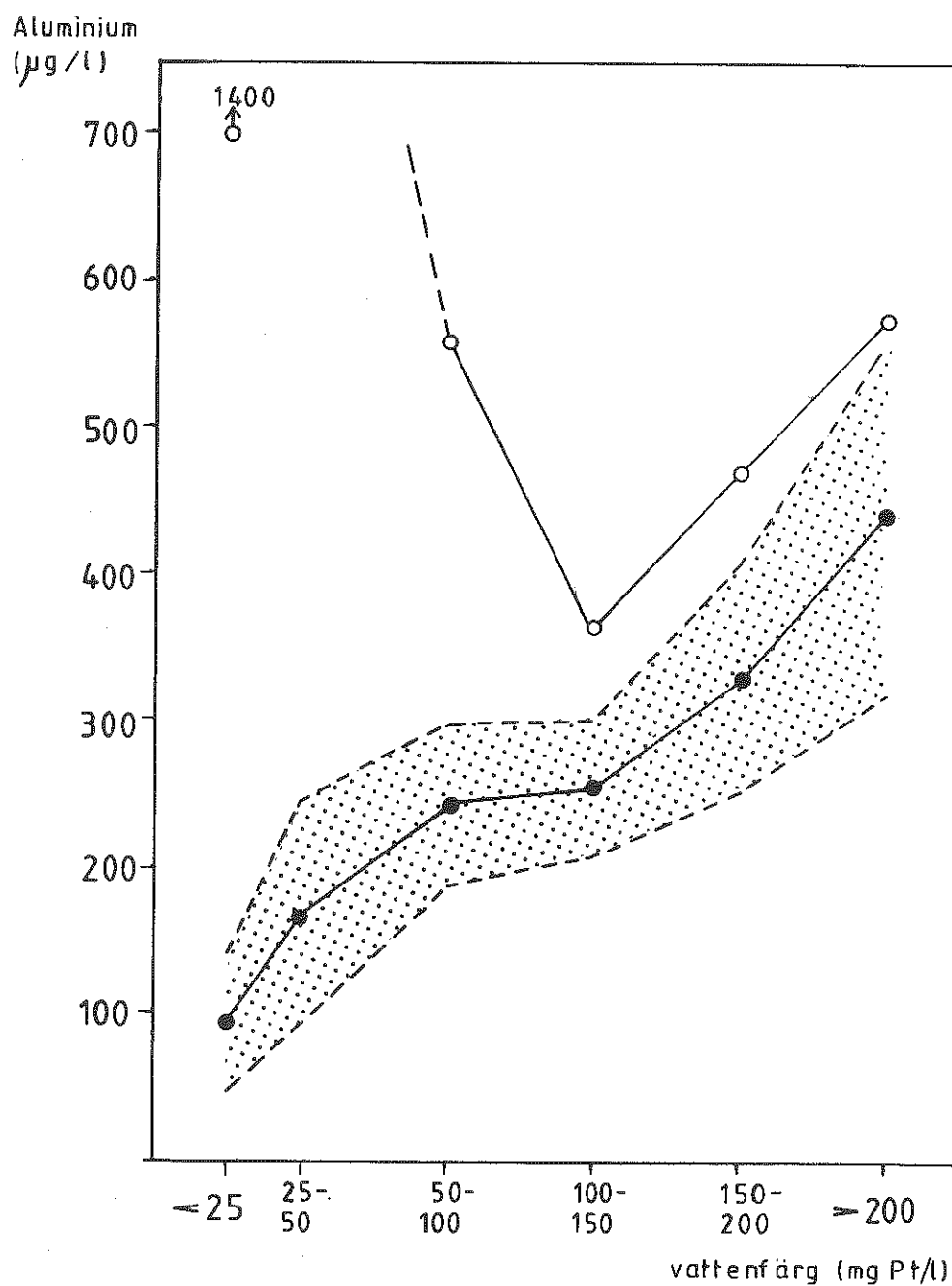
Tabell 11. Aluminium (ug/l) i länets referenssjöar. Medelvärden och extremvärden under åren 1983-87. Analyser av SNV.



Figur 1. Relation mellan analysresultat på aluminium i referenssjövattnen av Statens naturvårdsverk, SNV, och Institutet för vatten och luftvårdsforskning, IVL. Nedanstående funktion beskriver sambandet matematiskt:

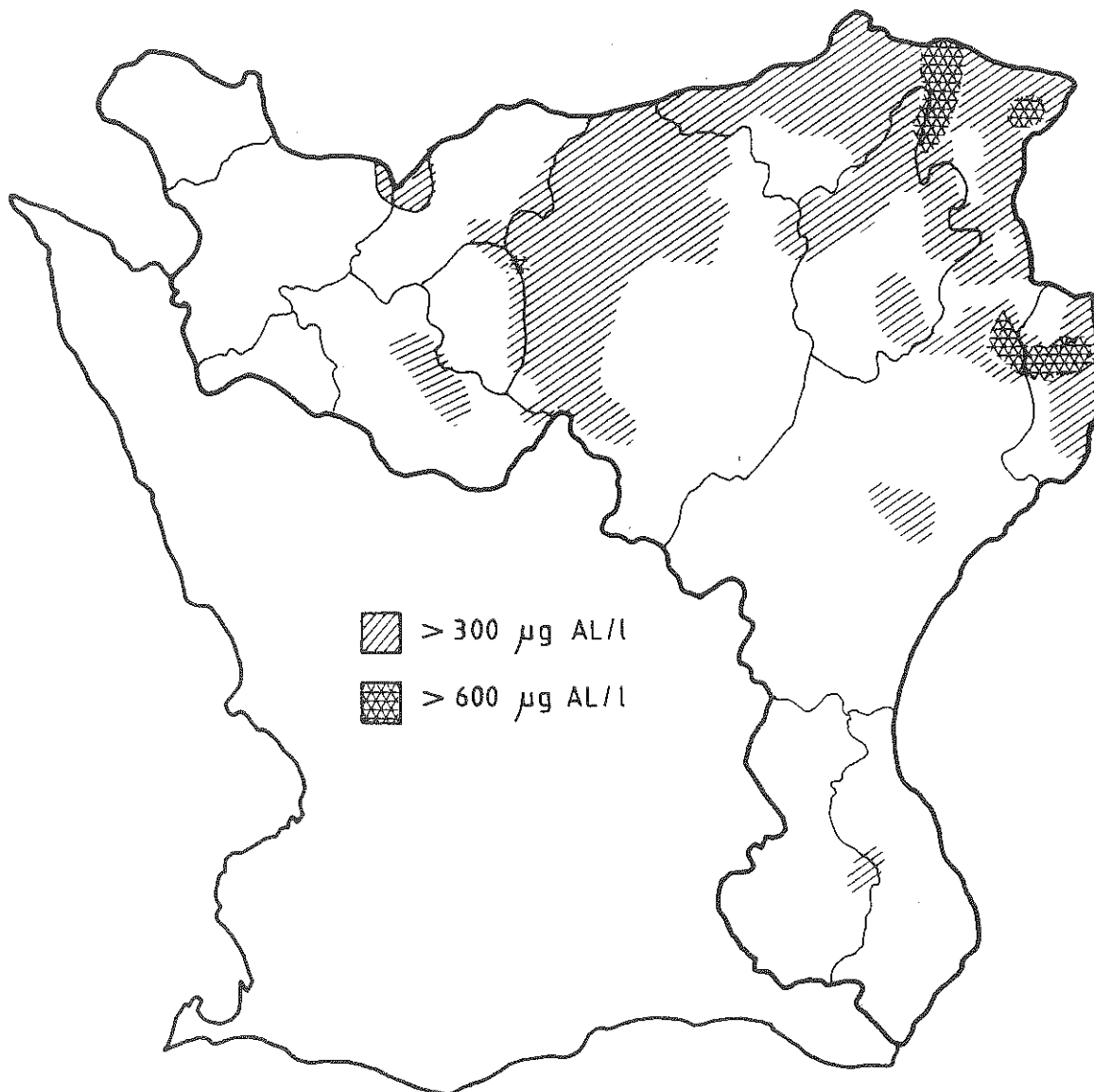
$$IVL_{(mg\ Al/l)} = 0.0514 + 1.0882 \cdot SNV_{(mg\ Al/l)}$$

$$r^2 = 0.996, F = 3324, P < 0.001, n = 7.$$



Figur 2. Relation mellan vattenfärg och medelvärde av aluminium för sjöar inom respektive färgintervall.

- Sjöar med pH > 6
- Sjöar med pH < 6
- 95% konfidensintervall



Figur 3. Områden i Kristianstads län där sjöarna vintern 1985 uppvisade klart förhöjda aluminiumkoncentrationer.