



Kalkens bidrag till metallbelastningen i sjösediment

Rapport inom IKEU

Teresia Wällstedt

Institutionen för tillämpad miljövetenskap

Department of Applied Environmental Science

Kalkens bidrag till metallbelastningen i sjösediment

Rapport inom IKEU

Teresia Wällstedt

Institutionen för tillämpad miljövetenskap, ITM
Stockholms universitet
e-post: marcus.sundbom@itm.su.se

ISSN 1103-341
Tryckeri: PrintCenter, Stockholms universitet, 2005-04-21
ISRN SU-ITM-R-142-SE

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Bakgrund	3
Material och metod	4
Datainsamling	4
Beräkningar	4
Resultat och Diskussion	7
Slutsatser	7
Referenser	8
Appendix 1. Användaa kalkmedels ursprung och metallhalter.	15
Appendix 2. Kalkningshistorik för de studerade sjöarna.	18

Sammanfattning

I denna studie undersöks hur metallinnehållet i använda kalkprodukter påverkar metallbelastningen i sedimenten i kalkade sjöar. För att undersöka detta samlades data från kalkningar inom IKEU-projektet in. Mängden av olika metaller som tillförts sjöarna genom kalkning direkt på sjöytan jämfördes med det totala metallinnehållet i ett 2 cm ytskikt i sedimenten, vilket antogs motsvara den kalkade perioden. Detta gav ett beräknat mått på andelen av den totala mängden metaller i sedimenten som skulle kunna härröra från kalkning.

Beräkningarna visar att kalken är en viktig källa för Al, Cu och Ni, där ca 30-50 % av det totala metallinnehållet i sedimentens ytskikt skulle kunna härröra från kalken. Också för Co, Cr, Hg och V är kalken en ganska viktig källa, där omkring 10-20 % av sedimentens innehåll kan bero på de använda kalkprodukterna. Däremot visade sig kalkprodukterna inte vara särskilt viktiga för sedimentens innehåll av As, Cd, Pb och Zn. För dessa metaller har kalken bidragit med omkring 5-10 % av den mängd som finns i sjöarnas ytsediment.

Resultaten jämfördes sedan med en tidigare studie där skillnader i metallbelastning mellan kalkade och icke kalkade sjöar undersöktes. Jämförelsen visar att kalkens innehåll av Al, Ni och möjligen även Co kan vara en viktig faktor för påvisade skillnader i metallbelastning till sedimenten i sjöar kalkade direkt på ytan jämfört med uppströms/våtmarkskalkade sjöar och sura, okalkade referenssjöar.

Bakgrund

Förbränning av fossila bränslen har under de senaste tre decennierna orsakat kraftig försurning av många sjöar och vattendrag (t ex Almer m fl., 1974; Dickson, 1978; Schindler, 1988). För att motverka försurningens effekter började man under 1970-talet med storskalig kalkning av sjöar och vattendrag (Henrikson och Brodin, 1995). Sedan kalkningarna inleddes har omkring 7500 sjöar och 11000 km rinnan-

de vatten kalkats (Naturvårdsverket 1997). Detta gör Sverige till det land som har flest kalkade vatten och kalkning av sjöar och vattendrag utgör en av de mest omfattande åtgärder som genomförts för att motverka eller förebygga miljöskador i Sverige.

Man har funnit att många olika metaller, t ex. Al, Cd, Mn, Pb och Zn, förekommer i höga koncentrationer i försurade vatten (t ex Dickson, 1978; Andersson och Borg, 1988; Borg m fl., 2001). Efter kalkningen minskar koncentrationerna av dessa metaller i sjövattnen (t ex Driscoll m fl., 1989; Andersson och Holm, 1995), medan ett flertal olika studier har visat att koncentrationen av många metaller, däribland Cd, Cu, Fe, Mn, Pb och Zn, ökar i sedimenten efter kalkning (t ex Dillon och Smith, 1984; Egeberg och Håkedal 1998; Andersen och Pempkowiak, 1999; Rognerud och Fjeld, 2001).

Förutom ett antal forskningsprojekt har det sedan slutet av 1970-talet bedrivits flera olika program för uppföljning av kalkningens effekter i Naturvårdsverkets och Fiskeriverkets regi. För att samordna de nationella programmen inleddes 1989 det så kallade IKEU-programmet (Integrerad Kalknings Effekt Uppföljning) som drivs av Naturvårdsverket (Appelberg et al. 1995).

För att undersöka om det finns någon statistisk skillnad i metallbelastning till sedimenten i kalkade och icke kalkade sjöar provtogs under 1998 och 1999 10 IKEU-sjöar och 10 okalkade referenssjöar samt den kalkade Gårdsjön i Västra Götalands län (Wällstedt och Borg, 2004). Eftersom alla kalkprodukter innehåller metaller i olika koncentrationer, uppstod frågan hur mycket av de metaller som finns i sedimenten i kalkade sjöar som härrör direkt från de kalkprodukter som använts. Därför startades denna undersökning av hur mycket av olika metaller som har tillsatts sjöarna genom kalkningsmedlen.

Material och metod

Datainsamling

Kalkdata samlades in genom muntlig och skriftlig kontakt med berörda länsstyrelser, kommuner, kalkföretag och enskilda kalkare. Målet var att, för samtliga sjöar inom IKEU-programmet, få in uppgifter om kalkmängd, kalkens ursprung och innehåll av olika metaller för alla kalkningar sedan kalkningen startade (Tabell 1, Figur 1).

Tyvärr visade det sig vara svårt att få tillgång till framförallt äldre data (se Tabell 2). Kalkmängder gick att få fram för samtliga sjöar, men ursprung och/eller me-

tallinnehåll har gått att få fram för endast ett fåtal kalkningar. Endast i en sjö (Långsjön i Örebro län) finns data på metallinnehållet från samtliga kalkningar. Samtliga insamlade data finns i Appendix 1 och 2.

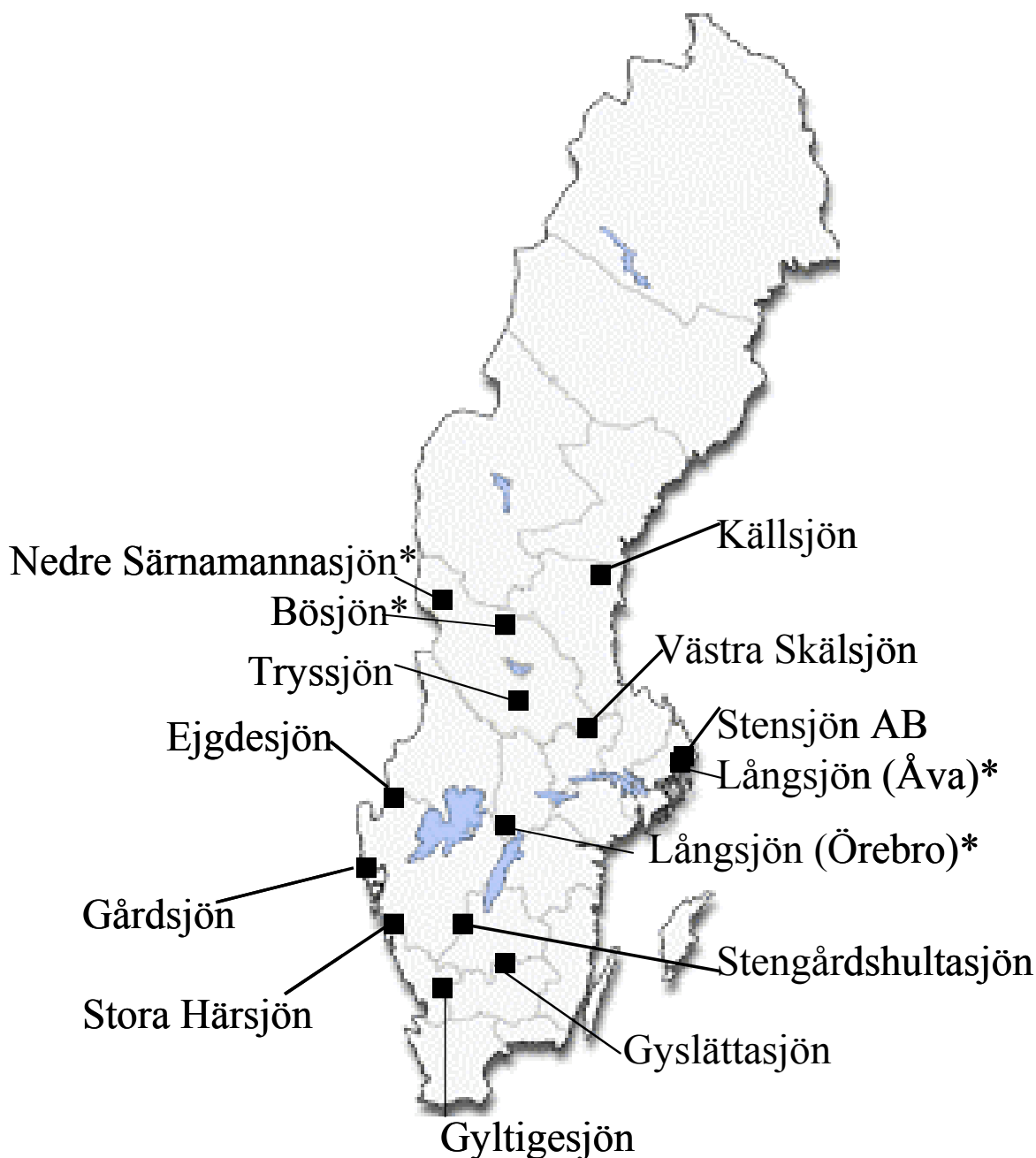
Beräkningar

Eftersom det var svårt eller omöjligt att få fram data på metallinnehållet vid samtliga kalkningar i sjöarna har överslagsberäkningar gjorts. Ett medelvärde med standardavvikelse samt min- och maxvärden för innehållet i ”genomsnittskalk” räknades ut för varje metall (Tabell 2).

Tabell 1. Egenskaper hos de kalokade sjöarna i studien

Sjö	Första kalkning	Mängd kalk på sjöytan tom 98/99 (ton)	Vattenarea (km ²)	Maxdjup (m)	Medeldjup (m)	Omsättningstid (år)
Ejgdesjön	1974	818,4	0,86	28,6	7,0	2,0
Gårdsjön ¹	1981	340,5	0,31	18,5	4,9	1,5
St Härsjön	1977	2039	2,64	42,0	14,1	2,4
Stengårdshultasjön	1981	3650	4,89	26,8	7,1	0,8
Gyslättsjön	1985	113,3	0,323	9,8	2,8	1,0
Västra Skälsjön	1975	136,0	0,41	18,7	7,4	6,0
Stensjön AB	1978	381,5	0,39	20,6	9,1	2,0
Långsjön (Örebro)	1987	85,30	0,672	17,8	4,2	1,5
Bösjön	1983	487,6	1,142	17,0	4,2	1,5
Nedre Särnammansjön	1972	208,4	0,417	4,3	1,8	0,3
Långsjön (Åva)	1978	147,3	0,095	7,7	3,8	0,9

¹Ej IKEU-sjö



Figur 1. IKEU-sjöar som ingår i studien. (För de sjöar som är markerade med * finns ingen beräkning på total metallbelastning i ytsedimenten)

Medelvärde och standardavvikelsen beräknades genom att ta ett enkelt medelvärde på samtliga kända kalkdata. Det innebär att kalk från källor där jag fått innehållsdeklaration från flera tillfällen viktas högre än kalk från källor där jag endast har innehållet från något enskilda tillfälle. Det är troligt att dessa kalksorter används oftare och därmed också bör viktas högre vid medelvärdesberäkningen för "genomsnittskalk", men eftersom det inte finns

uppgifter på hur ofta olika produkter används går det inte att beräkna något exakt medelvärde, eller att veta hur korrekt denna viktning blir.

En annan metod skulle vara att använda kalk från en källa endast en gång vid beräkningen av "genomsnittskalk". Det skulle dock troligen leda till att kalk från källor som används/ använts sällan viktas för högt.

Min- och maxvärden är helt enkelt minsta och högsta kända halt av respektive metall i någon kalkprodukt.

För vissa metaller förekommer ”mindre än-värden”. För de flesta metaller är dessa få och ofta också högre än de uppmätta värdena för respektive metall i andra kalksorter (se Tabell 2). Dessa värden har därför uteslutits vid beräkning av medel, min och max. För kvicksilver förekommer i princip bara ”mindre än-värden”. Vid beräkning av medel, min och max för Hg har dessa värden använts som exakta värden, vilket innebär att tillförseln av Hg via kalken troligen är något överskattad. För aluminium fanns nästan inga direkta analyser. Kalkens innehåll av Al har därför beräknats utifrån data på Al_2O_3 .

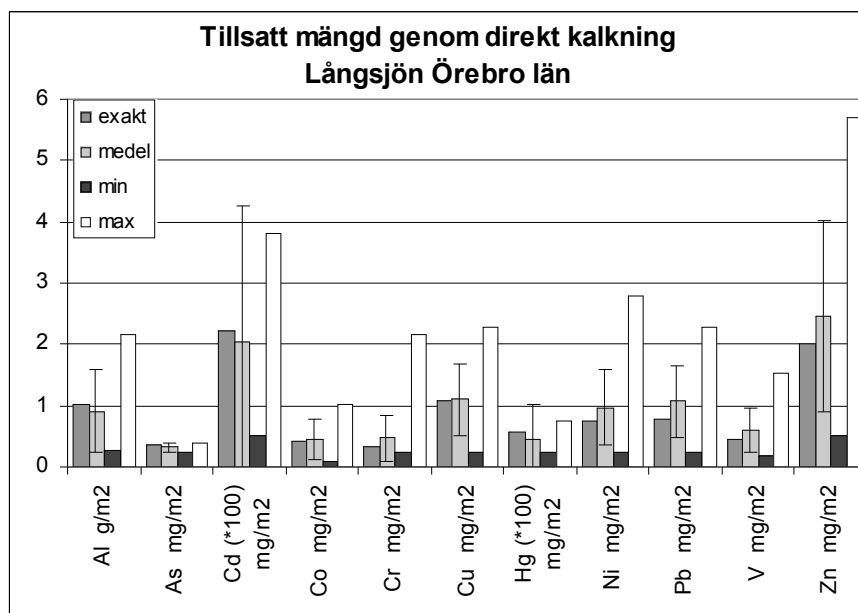
Vid beräkningarna av hur stor mängd av olika metaller som tillförts sjösedimenten via kalken har jag endast använt data på den kalk som har spridits direkt i sjön. Det finns så vitt jag vet inga uppgifter på hur stor andel av de metaller från kalk som spridits på omkringliggande våtmarker eller i uppströms sjöar och vattendrag som

till slut hamnar i sjön. Det skiljer sig troligen väldigt mycket från sjö till sjö och är därför också svårt att spekulera i. Jag har också antagit att all metall i kalken skulle kunna hamna i sedimenten, beräkningen ger alltså ett maximalt bidrag från kalken till sedimenten.

Den totala mängden kalk som har spridits i sjön fram till 1998 eller 1999, beroende på vilket år sjön provtogs, multiplicerades med medelvärde, min och max för vardera metall i ”genomsnittskalk” och dividerades med sjöns area. Detta ger ett mått på total tillförd mängd per sjöyta för varje metall (Tabell 3). De tillförda mängderna jämfördes därefter med metallinnehållet i ytsediment för de sjöar som ingick i studien om total metallbelastning till sedimenten i kalkade och icke kalkade sjöar (Wällstedt och Borg, 2004). I denna studie beräknades innehållet per m^2 av olika metaller i ett 2 cm ytskikt i sedimenten, vilket antogs ungefär motsvara den kalkade perioden. Jämförelsen ger ett mått på hur stor andel av den totala mängden av olika metaller i ytsedimenten som skulle kunna

härröra från direkt kalkning (Figur 3).

För Långsjön i Örebro län, där data på metallinnehållet i all använd kalk fanns att tillgå, gjordes också en exakt beräkning av mängden tillförda metaller per ytenhet (Figur 2). Tyvärr ingick inte denna sjö i den ursprungliga studien om metallbelastning i sjösediment, så en jämförelse mellan tillförda metallmängder via kalken och innehåll i sedimenten gick inte att göra.



Figur 2. Tillsatta mängder av olika metaller per sjöyta för Långsjön i Örebro län. Exakta värden uträknade från kända data från alla kalkningar i sjön, medelvärden med standardavvikelse samt min- och maxvärden beräknade från ”genomsnittskalk”. (Observera att värdena för Hg och Cd är multiplicerade med 100).

Resultat och Diskussion

Innehållet av olika metaller skiljer sig ofta mycket mellan de olika kalkprodukterna. Detta innebär att standardavvikelsen på medelvärdet för s.k. ”genomsnittskalk” ofta blir stor, likaså spannet mellan min- och maxvärdet (Tabell 2, Figur 2). För Långsjön i Örebro län ser man att det exakta värdet för vardera metall stämmer relativt bra överens med medelvärdet beräknat från ”genomsnittskalk” och ligger väl inom medelvärdets standardavvikelse (Figur 2). Det behöver inte betyda att det skulle göra det för samtliga sjöar i undersökningen, men tyder på att det beräknade medelvärdet är ett rimligt antagande för mängden tillförd metall.

Beräkningarna av kalkens bidrag till metallbelastningen i de 7 sjöar där data finns från båda studierna tyder på att för Al, Cu och Ni är kalken en viktig källa (Figur 3). För dessa tre metaller tyder medelvärdesberäkningen på att omkring 30-50 % av det totala metallinnehållet i sedimentens ytskikt skulle kunna härröra från kalken. Även för Co, Cr, Hg och V verkar kalken vara en ganska viktig källa där ca 10-20 % av det totala innehållet i ytsedimenten tycks kunna härröra från kalkprodukterna (Figur 3).

För As, Cd, Pb och Zn verkar kalkprodukterna inte vara en särskilt viktig källa (Figur 3). För dessa metaller tyder medelvärdesberäkningarna på att kalkprodukterna har bidragit med omkring 5-10 % av den mängd som finns i sjöarnas ytsediment. För Pb är detta resultat tvärt emot vad Egeberg och Håkedal (1998) fann i en studie där de drog slutsatsen att kalken var den viktigaste källan för Pb i sjösedimenten.

För samtliga studerade metaller, utom As och Hg, är dock skillnaden mellan min och max väldigt stor. Beroende på vilka produkter som använts kan tillförseln från kalken skilja med ungefär en faktor 10. Från några få och ibland ända upp till 100 % skulle kunna härröra direkt från kalken (Figur 3).

Västra Skälsjön utmärker sig på så sätt att kalken verkar vara en ganska oviktig källa för de flesta metaller. Det beror troligen till stor del på att den ligger i Riddarhyttefältet, ett mineralrikt område där man har brutit bl.a. koppar och järn i stor omfattning. Man har hittat över 100 olika mineraler i området och sjön har ett högt innehåll av bl.a. As, Cd, Cu, Hg och Pb i sedimentets ytskikt. Dessutom har Västra Skälsjön kalkats med en ganska liten kalkmängd i förhållande till sin storlek, jämfört med de andra sjöarna i studien.

I den tidigare studien om skillnader i metallbelastning till sediment i kalkade och icke kalkade sjöar (Wällstedt och Borg, 2004) fann vi signifikant högre belastning av Al och Ni i sjöar kalkade direkt på ytan jämfört med uppströms eller våtmarkskalkade sjöar och sura referenssjöar. Vi kom också fram till att kalkning direkt i sjön ger en ökad belastning till sedimenten av Cd och Pb, troligen av As, Ca och Mn och eventuellt också av Co och Zn. Resultaten från den här undersökningen tyder på att själva kalkprodukterna inte orsakar de förhöjda halterna, varken för Cd, Pb, As, eller Zn men möjligen bidrar till den förhöjda halten av Co. Däremot skulle skillnaden i Al- och Ni-belastning mellan ytkalkade och uppströms/våtmarkskalkade samt sura sjöar till viss del kunna bero på tillförsel via kalkprodukterna (Figur 4).

Slutsatser

- ∞ Innehållet av olika metaller skiljer sig mycket mellan olika kalkprodukter.
- ∞ Kalkprodukterna kan vara en viktig källa till innehållet av Al, Cu och Ni i sediment i sjöar kalkade direkt på sjöytan. Omkring 30-50 % av sedimentens totala innehåll av dessa metaller skulle kunna härröra direkt från kalken.
- ∞ Även för Co, Cr, Hg och V verkar kalkmedlen vara en ganska viktig källa. För dessa metaller kan omkring 10-20 % av sedimentens innehåll bero på de använda kalkprodukterna.

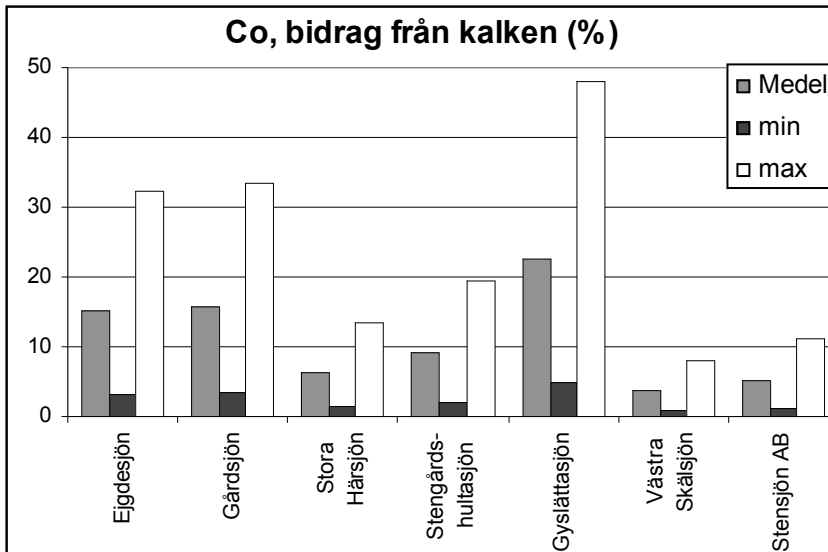
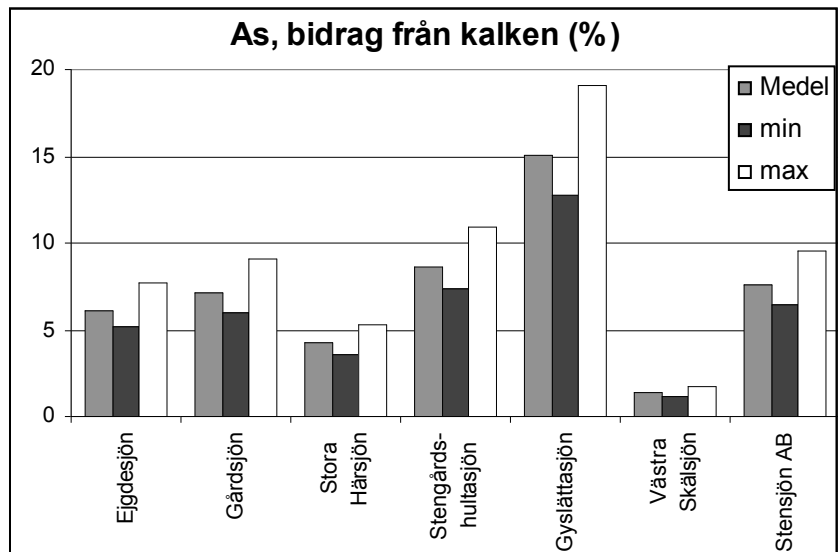
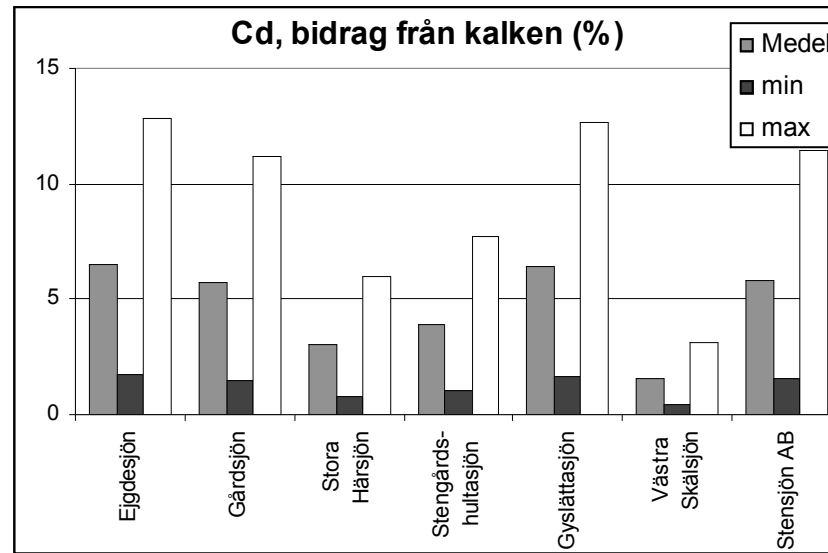
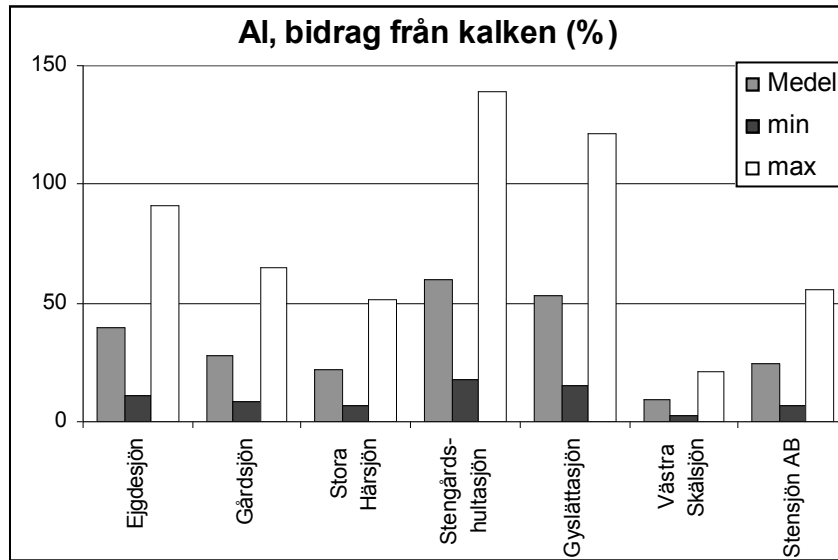
- ∞ Kalkmedlen verkar inte bidra nämnvärt till sedimentens innehåll av As, Cd, Pb eller Zn. Endast ca 5-10 % av sedimentens innehåll av dessa metaller verkar härröra från direkt kalkning.
- ∞ För Al, Ni och möjligen även Co skulle bidraget från de använda kalkprodukterna kunna vara en viktig faktor för påvisade statistiska skillnader i metallbelastning till sedimenten i ytkalkade sjöar jämfört med uppströms- eller våtmarkskalkade sjöar samt sura referenssjöar.

Tack till

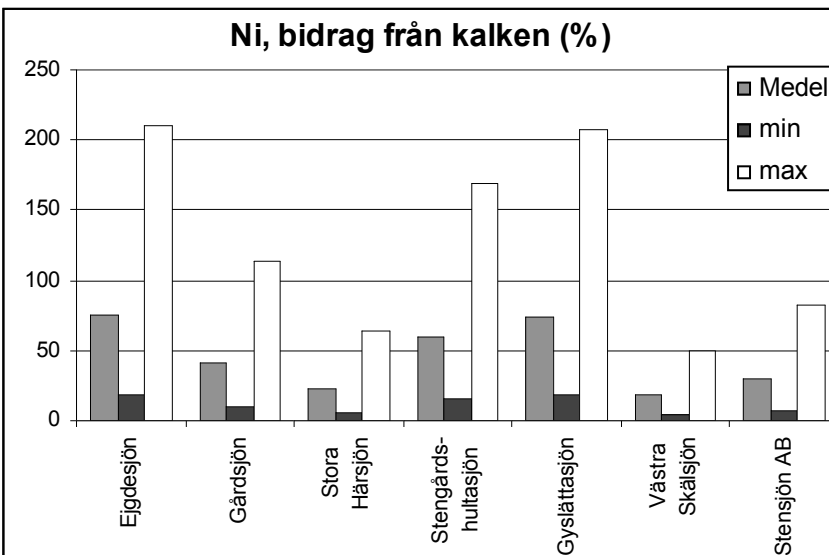
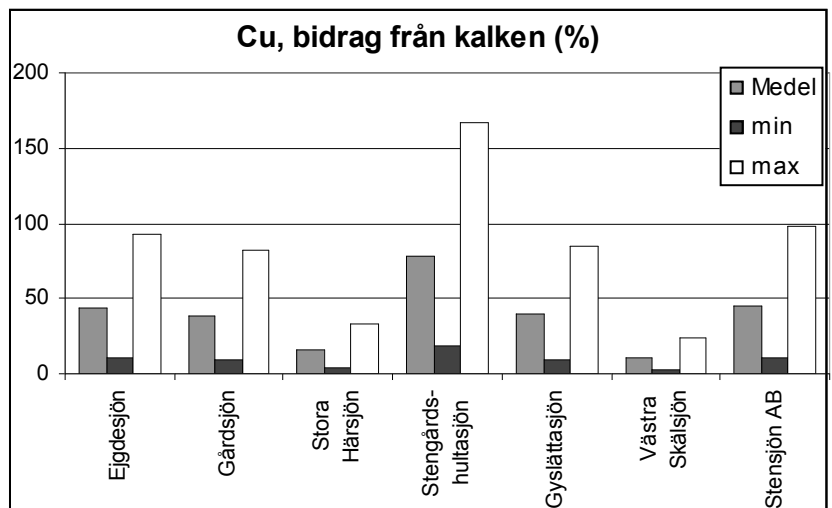
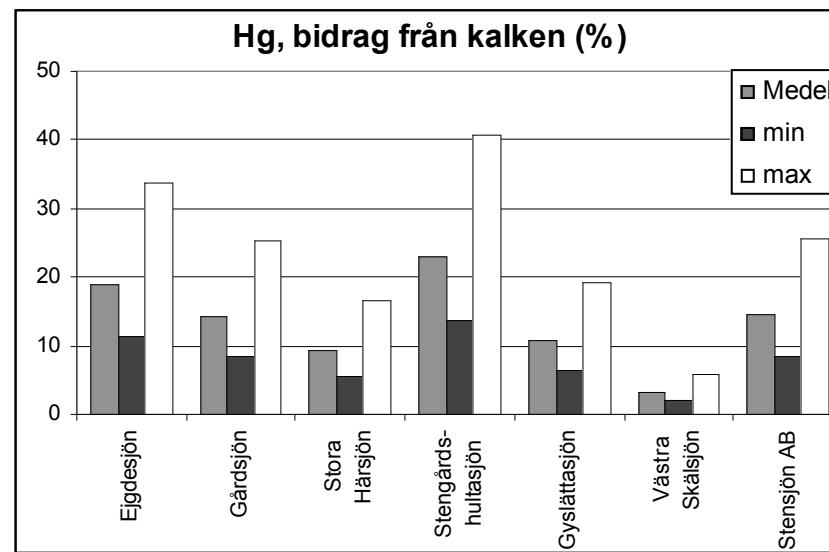
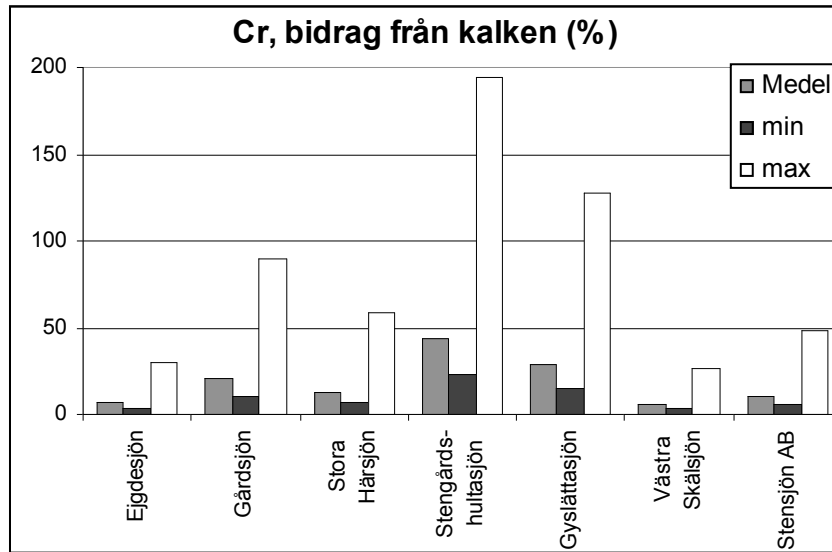
Undersökningen finansierades av Naturvårdsverket. Tack till Nordkalk, Länsstyrelser, kommuner och enskilda kalkare som har bidragit med data.

Referenser

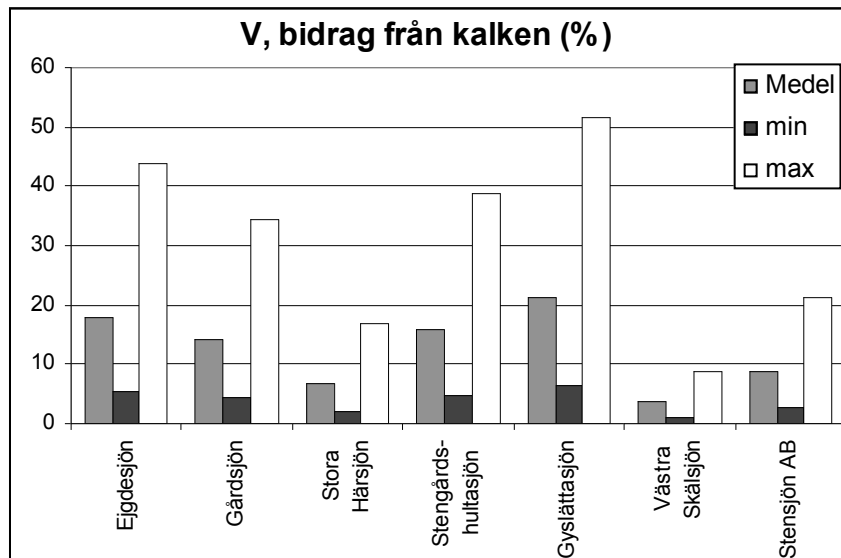
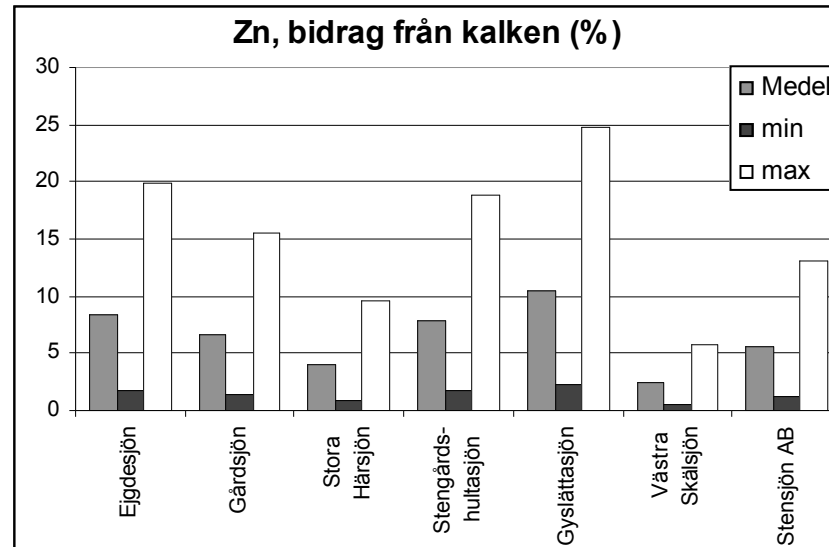
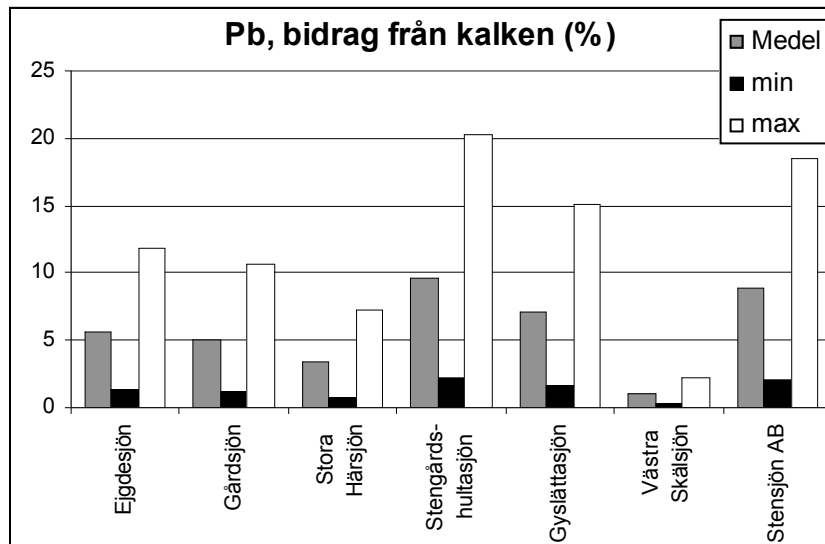
- Almer, B., Dickson, W., Ekström, C., Hörnström, E., Miller, U., 1974. Effects of acidification on Swedish lakes. *Ambio* 3, 30-36.
- Andersen, D.O., Pempkowiak, J., 1999. Sediment content of metals before and after lake water liming. *The Science of the Total Environment* 243/244, 107-118.
- Andersson, P., Holm, K., 1995. Cadmium in water and Perch (*Perca fluviatilis*) liver in limed I. Stensjön in Tyresta National Park, Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 805-810.
- Andersson, P., Borg, H., 1988. Effects of liming on the distribution of cadmium in water, sediment, and organisms in a Swedish lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45, 1154-1162.
- Appelberg, M., Lingdell, P.-E., Andrén C., 1995. Integrated studies of the effects of liming acidified waters (Iselaw-programme). *Water, Air and Soil Pollution* 85, 883-888.
- Borg, H., Ek, J., Holm, K., 2001. Influence of acidification and liming on the distribution of trace elements in surface waters. *Water Air and Soil Pollution* 130,1757-1762.
- Dickson, W., 1978. Some effects of the acidification of Swedish lakes. *Verh.Internat.Verein.Limnol.* 20,851-856.
- Dillon, P.J., Smith, P.J. Trace metal and nutrient accumulation in the sediments of lakes near Sudbury, Ontario. In: Nriagu, J. O. editors. *Environmental Impacts of Smelters*. John Wiley & Sons, Inc., New York, s.375-416.
- Driscoll, C.T., Fordham, G.F., Ayling, W.A., Oliver, L.M., 1989. Short term changes in the chemistry of trace metals following calcium carbonate treatment of acidic lakes. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 46,249-257.
- Egeberg, P.K., Håkedal, J.T., 1998. The effect of river liming on the trace metal budgets of a down stream lake. *Water Air Soil Poll.* 104,57-75.
- Henrikson, L., Brodin, Y.W., 1995. Liming of acidified surface waters. A Swedish synthesis. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Naturvårdsverket 1997. Biologisk mångfald i kalkade sjöar – Utvärdering av IKEU-programmets sex första år (Björn Söderbäck ed.). Naturvårdsverket, rapport 4816.
- Rognerud, S., Fjeld, E. 2001. Trace element contamination of Norwegian lake sediments. *Ambio* 30,11-19.
- Schindler, D.W. 1988. Effects of acid rain on freshwater ecosystems. *Science* 239,149-157.
- Wällstedt, T., Borg, H. 2004. Metal burdens in surface sediments of limed and nonlimed lakes. *Science of the Total Environment* 336, 135-154.



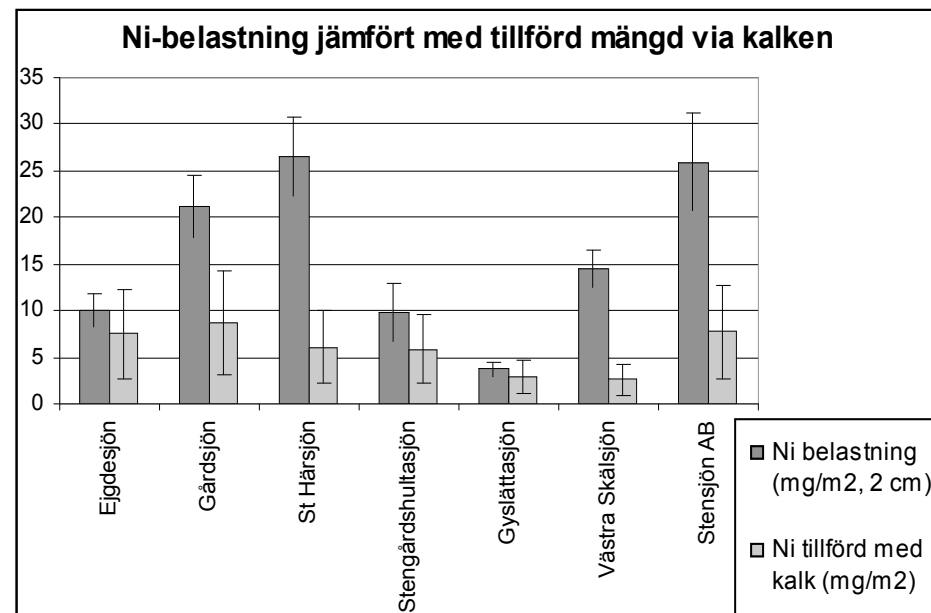
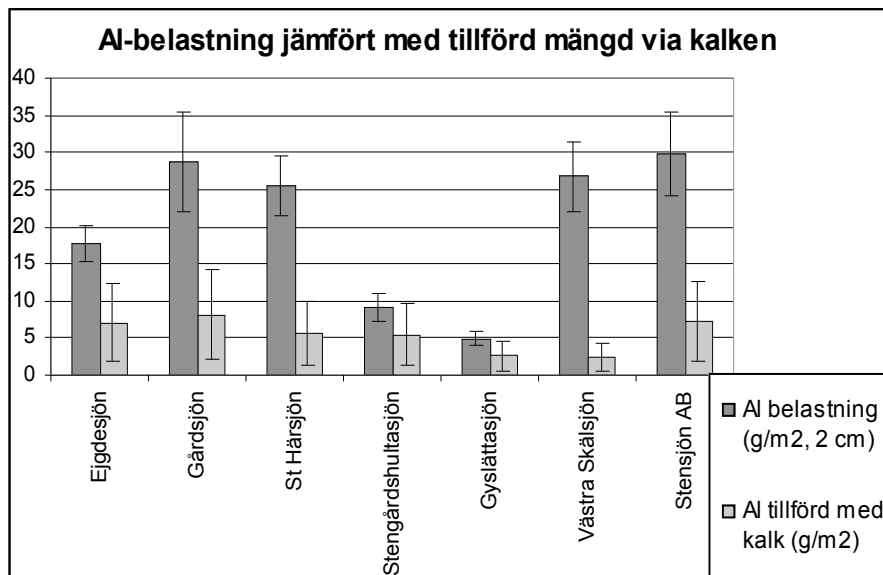
Figur 3. Medel, min- och maxbidrag från använda kalkprodukter av olika metaller (beräknat från "genomsnittskalk") i % av den totala belastningen av respektive metall i 2 cm ytsediment.



Figur 3. Forts.



Figur 3. Forts.



Figur 4. Total belastning av Al och Ni i ytsediment samt Al tillförd via de använda kalkprodukterna (beräknat från "genomsnittskalk") vid kalkning direkt på sjöytan, med standardavvikelser (Delvis publicerat i Wällstedt & Borg, 2004).

Tabell 2. Metallinnehåll i kalk av olika ursprung.

Ursprung	Kalk-medel	År	n		Al från Al ₂ O ₃ (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg ¹ (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Gåsgruvan	Kalk-kross	1994- 1995	2	Medel	4500	3	0,3	0,9	2	13	0,05	4	7	1,8	22
				Stdav	374	1	0,1	0,1	0	1	0,00	1	1	0,4	3
				CV (%)	8	28	28,3	15,7	0	11	0,00	35	11	20,2	13
Gåsgruvan	Kalkstensmjöl <0.2 mm	1993- 2002	3	Medel	4447	3	0,2	1,0	2	12	0,05	5	7	1,9	23
				Stdav	221	0,6	0,1	0,1	0	1	0,01	1	0,6	0,2	2
				CV (%)	5	16	22,8	9,3	0	7	10,14	19	7	11,8	8
Kullsbergs Kalkverk	Kalkstensmjöl <0,2 mm	1993- 1999	6	Medel	2382	2	0,3	3,0	5	16	0,05	10	16	4,0	25
				Stdav	290	0	0,0	0,0	0	2	0,00	0	2	0,0	0
				CV (%)	12	0	0,0	0,0	0	11	0,00	0	11	0,0	0
Skövdekalk	Kalkstensmjöl <0.2 mm	1987	1		16941		<0,6	<3	17	6	0,06	22	10	12,0	22
Uddagården	Kalkstensmjöl <0.2 mm	1992- 2003	5	Medel	13976		0,1	6,6	3	7	0,02	9	6	4,8	8
				Stdav	1098		0,02	0,9	0	1	0,004	1	1	1,1	1
				CV (%)	8		28,1	13,6	0	16	20,33	10	10	22,8	10
Uddagården	Grovkalk 0.2-0.8 mm	2001- 2002	3	Medel	15353		0,1	8,0	4	10	0,02	15	6	7,0	9
				Stdav	0		0,0	0,0	0	0	0,00	0	0	0,0	0
				CV (%)	0		0,0	0,0	0	0	0,00	0	0	0,0	0
Köping kalk	Kalkstensmjöl <0,1 mm	1992	1		5294		<0,5	3,0	3	3	0,02	2	<20	<10	<50
Forsby	Kalkstensmjöl <0,1 mm	2001- 2003	3	Medel	5294		0,2	2,0	5	3	0,02	2	14	9,0	45
				Stdav	0		0,0	0,0	1	0	0,00	0	0	0,0	0
				CV (%)	0		0,0	0,0	12	0	0,00	0	0	0,0	0
Orsa	Kalkstensmjöl <0,2 mm	1996- 2003	4	Medel	2647		0,1	2,3	2	3	0,02	8	3	2,7	6
				Stdav	529		0,02	0,6	0	2	0,00	1	1	0,6	2
				CV (%)	20		24,7	24,7	0	69	0,00	14	22	21,7	29
Rättviks sjökalk (sedimentär)	Kalkstensmjöl <0,2 mm	1990	1				<0,5	<1	<1	6	0,05	3	18	<5	26
"Genom- snittskalk"				Medel	7363	2,4	0,15	3,8	3,8	8,4	0,03	7,9	8,5	4,9	19,0
				Stdav	5483	0,5	0,10	2,7	3,0	4,7	0,02	5,0	4,9	2,9	12,6
				CV (%)	74	22	66,8	71	79	56	47,3	64	57	59	66
				min	2118	2	0,04	1	2	2	0,02	2	2	2	4
				max	16941	3	0,3	8	17	18	0,06	22	18	12	45

¹ "mindre-än-värden" har använts som exakta värden

Tabell 3. Tillförda metallmängder per sjöyta, medelvärde ± standardavvikelse (min-max).

Sjö	Al (g/m ²)	As (mg/m ²)	Cd (mg/m ²)	Co (mg/m ²)	Cr (mg/m ²)	Cu (mg/m ²)	Hg (mg/m ²)	Ni (mg/m ²)	Pb (mg/m ²)	V (mg/m ²)	Zn (mg/m ²)
Ejgdesjön	7,0 ± 5,2 (2,0-16,1)	2,3 ± 0,5 (1,9-2,9)	0,15 ± 0,1 (0,04-0,29)	3,6 ± 2,5 (0,8-7,6)	3,6 ± 2,9 (1,9-16,2)	8 ± 4,4 (1,9-17,1)	0,03 ± 0,02 (0,02-0,06)	7,5 ± 4,8 (1,9-20,9)	8,1 ± 4,6 (1,9-17,1)	4,7 ± 2,8 (1,4-11,4)	18,1 ± 12 (3,8-42,8)
Gårdsjön ¹	8,1 ± 6 (2,3-18,6)	2,6 ± 0,6 (2,2-3,3)	0,17 ± 0,11 (0,04-0,33)	4,1 ± 2,9 (0,9-8,8)	4,2 ± 3,3 (2,2-18,7)	9,2 ± 5,1 (2,2-19,8)	0,04 ± 0,02 (0,02-0,07)	8,7 ± 5,5 (2,2-24,2)	9,4 ± 5,3 (2,2-19,8)	5,4 ± 3,2 (1,6-13,2)	20,9 ± 13,9 (4,4-49,4)
Stora Härsjön	12,9 ± 9,6 (3,7- 29,6)	4,2 ± 0,9 (3,5-5,2)	0,27 ± 0,18 (0,07-0,52)	6,6 ± 4,7 (1,4-14)	6,7 ± 5,3 (3,5-29,7)	14,7 ± 8,2 (3,5- 31,5)	0,06 ± 0,03 (0,03-0,1)	13,8 ± 8,8 (3,5-38,5)	14,9 ± 8,5 (3,5-31,5)	8,6 ± 5,1 (2,6-21)	33,2 ± 22,1 (7,0-78,7)
Stengårds- hultasjön	5,5 ± 4,1 (1,6-12,6)	1,8 ± 0,4 (1,5-2,2)	0,11 ± 0,08 (0,03-0,22)	2,8 ± 2 (0,6-6,0)	2,9 ± 2,3 (1,5-12,7)	6,3 ± 3,5 (1,5-13,4)	0,03 ± 0,01 (0,01-0,04)	5,9 ± 3,8 (1,5-16,4)	6,4 ± 3,6 (1,5-13,4)	3,7 ± 2,2 (1,1-9,0)	14,2 ± 9,4 (3,0-33,6)
Gyslättasjön	2,6 ± 1,9 (0,7-6)	0,8 ± 0,2 (0,7-1,1)	0,05 ± 0,04 (0,01-0,11)	1,3 ± 0,9 (0,3-2,8)	1,4 ± 1,1 (0,7-6,0)	3 ± 1,7 (0,7-6,4)	0,01 ± 0,01 (0,01-0,02)	2,8 ± 1,8 (0,7-7,8)	3 ± 1,7 (0,7-6,4)	1,7 ± 1 (0,5-4,2)	6,7 ± 4,5 (1,4-15,9)
Västra Skäl- sjön	2,4 ± 1,8 (0,7-5,6)	0,8 ± 0,2 (0,7-1,0)	0,1 ± 0,0 (0,0-0,1)	1,2 ± 0,9 (0,3-2,7)	1,3 ± 1,0 (0,7-5,6)	2,8 ± 1,5 (0,7-6,0)	0,004 ± 0,006 (0,003-0,008)	2,6 ± 1,7 (0,7-7,3)	2,8 ± 1,6 (0,7-6,0)	1,6 ± 1 (0,5-4,0)	6,3 ± 4,2 (1,3-14,9)
Stensjön AB	7,2 ± 5,4 (2,1-16,6)	2,3 ± 0,5 (2,0-2,9)	0,15 ± 0,1 (0,04-0,29)	3,7 ± 2,6 (0,8-7,8)	3,7 ± 3 (2,0-16,6)	8,2 ± 4,6 (2,0-17,6)	0,03 ± 0,02 (0,02-0,06)	7,7 ± 4,9 (2-21,5)	8,4 ± 4,7 (2-17,6)	4,8 ± 2,8 (1,5-11,7)	18,6 ± 12,4 (3,9-44,0)
Långsjön (Öre- bro)	0,9 ± 0,7 (0,3-2,2)	0,3 ± 0,1 (0,3-0,4)	0,02 ± 0,01 (0,01-0,04)	0,5 ± 0,3 (0,1-1,0)	0,5 ± 0,4 (0,3-2,2)	1,1 ± 0,6 (0,3-2,3)	0,004 ± 0,006 (0,003-0,008)	1,0 ± 0,6 (0,3-2,8)	1,1 ± 0,6 (0,3-2,3)	0,6 ± 0,4 (0,2-1,5)	2,4 ± 1,6 (0,5-5,7)
Bösjön	3,1 ± 2,3 (0,9-7,2)	1,0 ± 0,2 (0,9-1,3)	0,07 ± 0,04 (0,02-0,13)	1,6 ± 1,1 (0,3-3,4)	1,6 ± 1,3 (0,9-7,3)	3,6 ± 2 (0,9-7,7)	0,01 ± 0,01 (0,01-0,03)	3,4 ± 2,2 (0,9-9,4)	3,6 ± 2,1 (0,9-7,7)	2,1 ± 1,2 (0,6-5,1)	8,1 ± 5,4 (1,7-19,2)
Nedre Särna- mannasjön	3,9 ± 2,9 (1,1-9,1)	1,3 ± 0,3 (1,1-1,6)	0,08 ± 0,05 (0,02-0,16)	2 ± 1,4 (0,4-4,3)	2,1 ± 1,6 (1,1-9,1)	4,5 ± 2,5 (1,1-9,6)	0,02 ± 0,01 (0,01-0,03)	4,2 ± 2,7 (1,1-11,8)	4,6 ± 2,6 (1,1-9,6)	2,6 ± 1,6 (0,8-6,4)	10,2 ± 6,8 (2,1-24,1)
Långsjön (Åva)	11,4 ± 8,5 (3,3- 26,3)	3,7 ± 0,8 (3,1-4,7)	0,24 ± 0,16 (0,06-0,47)	5,8 ± 4,1 (1,2-12,4)	5,9 ± 4,7 (3,1-26,4)	13 ± 7,2 (3,1-27,9)	0,05 ± 0,02 (0,03-0,09)	12,2 ± 7,8 (3,1-34,1)	13,2 ± 7,5 (3,1-27,9)	7,6 ± 4,5 (2,3-18,6)	29,5 ± 19,6 (6,2-69,8)

¹Ej IKEU-sjö

Appendix 1. Användaa kalkmedels ursprung och metallhalter.

Ursprung	År	Kalkmedel	n		Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Hg omr (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)	Al från Al ₂ O ₃ (ppm)
Gåsgruvan	1994	Kalkkross >3 mm			14	6	20	0,05	0,2	2	2	0,8	3	1,5	4765
Gåsgruvan	1995	Kalkkross <3 mm			12	7	24	0,05	0,3	3	2	1,0	5	2,0	4235
Gåsgruvan	1994-1995	Kalkkross	2	medel	13	7	22	0,05	0,3	3	2	0,9	4	1,8	4500
				stdav	1	1	3	0,00	0,1	1	0	0,1	1	0,4	374
				CV (%)	11	11	13	0,00	28,3	28	0	15,7	35	20,2	8
Gåsgruvan	1993	Kalkstensmjöl <1,5 mm			14	6	20	0,05	0,2	2	2	0,8	3	1,5	4765
Gåsgruvan	1998	Kalkstensmjöl <0,2 mm			12	7	24	0,06	0,3	3	2	1,0	5	2,0	4235
Gåsgruvan	2002	Kalkstensmjöl <0,2 mm			12	7	24	0,05	0,2	3	2	1,0	5	2,0	4500
Gåsgruvan	1993-2002	Kalkstensmjöl <0,2 mm	3	medel	12	7	23	0,05	0,2	3	2	1,0	5	1,9	4447
				stdav	1	0	2	0,01	0,1	0	0	0,1	1	0,2	221
				CV (%)	7	7	8	10,14	22,8	16	0	9,3	19	11,8	5
Kullsbergs Kalkverk	1993	Kalkstensmjöl <0,2 mm													2118
Kullsbergs Kalkverk	1993	Kalkstensmjöl <0,1 mm													2118
Kullsbergs Kalkverk	1995	Kalkstensmjöl <0,2 mm			15	15	25	0,05	0,3	2	5	3,0	10	4,0	2647
Kullsbergs Kalkverk	1995	Kalkstensmjöl <0,1 mm			<20	<20	<50	0,05	<0,5		<50	<20	<50	<20	2118
Kullsbergs Kalkverk	1998	Kalkstensmjöl <0,2 mm			15	15	25	0,05	0,3	2	5	3,0	10	4,0	2647
Kullsbergs Kalkverk	1999	P-märkt sjökalk 0-0,2			18	18	25	0,05	0,3	2	5	3,0	10	4,0	2647
Kullsbergs Kalkverk	1993-1999	Kalkstensmjöl <0,2 mm	6	medel	16	16	25	0,05	0,3	2	5	3,0	10	4,0	2382
				stdav	2	2	0	0,00	0,0	0	0	0,0	0	0,0	290
				CV (%)	11	11	0	0,00	0,0	0	0	0,0	0	0,0	12
Skövdekalk	1987	Kalkstensmjöl <0,2 mm	1		6	10	22	0,06	<0,6		17	<3	22	12,0	16941

Appendix 1. Forts.

Ursprung	År	Kalkmedel	n		Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Hg omr (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)	Al från Al ₂ O ₃ (ppm)
Uddagården	1992	Kalkstensmjöl <0.2 mm			5	5	7	0,03	0,0		3	6,0	7	5,0	12176
Uddagården	2001	Kalkstensmjöl <0.2 mm			7	6	9	0,02	0,1		3	8,0	9	3,0	14824
Uddagården	2002	Kalkstensmjöl <0.2 mm			7	6	8	0,02	0,1		3	6,0	9	5,0	14824
Uddagården	2002	Kalkstensmjöl <0.2 mm			7	6	8	0,02	0,1		3	6,0	9	5,0	14294
Uddagården	2003	Kalkstensmjöl <0.2 mm			8	5	9	0,02	0,1		3	7,0	9	6,0	13765
Uddagården	1992-2003	Kalkstensmjöl <0.2 mm	5	medel	7	6	8	0,02	0,1		3	6,6	9	4,8	13976
				stdav	1	1	1	0,00	0,0		0	0,9	1	1,1	1098
				CV (%)	16	10	10	20,33	28,1		0	13,6	10	22,8	8
Uddagården	2001	Grovkalk 0.2-0.8 mm			10	6	9	0,02	0,1		4	8,0	15	7,0	15353
Uddagården	2002	Grovkalk 0.2-0.8 mm			10	6	9	0,02	0,1		4	8,0	15	7,0	15353
Uddagården	2002	Grovkalk 0.2-0.8 mm			10	6	9	0,02	0,1		4	8,0	15	7,0	15353
Uddagården	2001-2002	Grovkalk 0.2-0.8 mm	3	medel	10	6	9	0,02	0,1		4	8,0	15	7,0	15353
				stdav	0	0	0	0,00	0,0		0	0,0	0	0,0	0
				CV (%)	0	0	0	0,00	0,0		0	0,0	0	0,0	0
Köping kalk	1992	Kalkstensmjöl <0,1 mm	1		3	<20	<50	0,02	<0,5		3	3,0	2	<10	5294
Forsby	2001	Kalkstensmjöl <0,1 mm			3	14	45	0,02	0,2		5	2,0	2	9,0	5294
Forsby	2002	Kalkstensmjöl <0,1 mm			3	14	45	0,02	0,2		5	2,0	2	9,0	5294
Forsby	2003	Kalkstensmjöl <0,1 mm			3	14	45	0,02	0,2		4	2,0	2	9,0	5294
Forsby	2001-2003	Kalkstensmjöl <0,1 mm	3	medel	3	14	45	0,02	0,2		5	2,0	2	9,0	5294
				stdav	0	0	0	0,00	0,0		1	0,0	0	0,0	0
				CV (%)	0	0	0	0,00	0,0		12	0,0	0	0,0	0
Orsa	1996	Kalkstensmjöl													

Appendix 1. Forts.

Ursprung	År	Kalkmedel	n		Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Hg omr (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)	Al från Al ₂ O ₃ (ppm)
		<0,2 mm													
Orsa	2001	Kalkstensmjöl 0-0,2 mm			2	2	4	0,02	0,1		2	2,0	7	3,0	3176
Orsa	2002	Kalkstensmjöl 0-0,2 mm			2	3	7	0,02	0,1		2	2,0	9	2,0	2118
Orsa	2003	Kalkstensmjöl 0-0,2 mm			6	3	7	0,02	0,1		2	3,0	9	3,0	2647
Orsa	1996-2003	Kalkstensmjöl <0,2 mm	4	<i>medel</i>	3	3	6	0,02	0,1		2	2,3	8	2,7	2647
					2	1	2	0,00	0,0		0	0,6	1	0,6	529
					69	22	29	0,00	24,7		0	24,7	14	21,7	20
Rättviks sjökalk (sedimentär)	1990	Kalkstensmjöl <0,2 mm	1		6	18	26	0,05	<0,5		<1	<1	3	<5	

Appendix 2. Kalkningshistorik för de studerade sjöarna.

Sjö	Kalkning	Antal ton (direkt i sjön)	Utförare	Ursprung
Ejgdesjön	1974	250		
	1982	250		
	1988	81.4	MOVAB AB	
	1992	79	MOVAB AB	
	1996	79	MOVAB AB	
	1996	79	MOVAB AB	
	2000	79	Nordkalk	Uddagården
Gårdsjön ¹	1982	110	MOVAB AB	
	1986	100	PJ kalkservice AB	
	1992	15	Br Allert	
	1992	41.1	Br Allert	
	1994	13.7	Br Allert	
	1996	30.7	MOVAB AB	
	1998	29.99	Nordkalk	
Stora Härsjön	1977	120		
	1977	640		
	1989	250		
	1990	309		
	1992	303.2		
	1993	146.5		
	1997	270		
	1999	270.6	Nordkalk	Uddagården
	2001	263.71	Nordkalk	Uddagården
	2003	250	Nordkalk	Uddagården
Stengårdshultasjön	1981	315.00	Fiskevårdsområdet	
	1981	60.00	Fiskevårdsområdet	
	1981	720.00	Fiskevårdsområdet	
	1982	311.50	Terra bona AB	
	1987	1476.00	Pj kalkservice	
	1993	383.00	Movab	
	1996	384.04	Movab	
	1999	382.7	Nordkalk AB/Br Allert	
	2001	250.0	Nordkalk AB/Br Allert	Uddagården
	2003	245.47	Nordkalk AB/Br Allert	Uddagården
Gyslättsjön	1985	12		
	1988	45.5		
	1991	14.3		
	1993	11		
	1995	11		
	1996	10		
	1997	9.5		
	1999	16.68		Uddagården
	2000	10.59		Uddagården
	2001	17		Uddagården
	2002	13.64		Uddagården

Annendix 2. Forts.

Sjö	Kalkning	Antal ton (direkt i sjön)	Utförare	Ursprung
	2003	10		Uddagården
Västra Skälsjön	1975	2		
	1976	3		
	1981	38		
	1986	63		
	1998	30		
	2002	30		
Stensjön AB	1981	140		
	1982	31.5		
	1986	100	MOVAB (NORDKALK)	
	1991	65	MOVAB (NORDKALK)	
	1995	45	NORDKALK	
	2001	14,45	NORDKALK	
Långsjön (Örebro)	1992	41.2		Uddagården
	1998	44.1		Gåsgruvan
	2002	43.1		Gåsgruvan
Bösjön	1983	126.1		
	1984	96.2		
	1987	55	Juvéls Åkeri AB (SMA)	
	1989	76.9	Juvéls Åkeri AB (SMA)	
	1993	34.5	Juvéls Åkeri AB (SMA)	
	1993	34.8	Juvéls Åkeri AB (SMA)	
	1997	64.1	Partek Nordkalk AB	
	2001	63.43	Nordkalk	
Nedre Särnamannasjön	1972	8.7		
	1973	0.5		
	1975	3		
	1976	1		
	1977	22	Juvéls Åkeri AB (SMA)	
	1982	15		
	1983	15		
	1985	15		
	1988	15		
	1990	32.9	Heliflyg AB	Rättviks sjökalk (sed.)
	1993	15	Heliflyg AB	Kullsbergs Kalkverk
	1996	25.2	Partek Nordkalk AB	Orsa
	1998	25.1	Heliflyg	Kullsbergs Kalkverk
	1999	15	Heliflyg	Kullsbergs Kalkverk
	2001	15.12	Nordkalk	Orsa
2003	10	Nordkalk	Orsa	
Långsjön (Åva)	1978	22		
	1981	20.3		
	1982	15		
	1986	20		
	1991	35		
	1995	35		