

# Metaller i Fisk i Dalälvens sjöar

- faktorer som påverkar, förändring i tiden

Rapport 2010:12

Lennart Lindeström, *Svensk MKB AB*

Mats Tröjbom, *Mats Tröjbom Konsult AB*



LÄNSSTYRELSEN  
DALARNAS LÄN



## FÖRORD

Länsstyrelsen Dalarna genomför varje år ett stort antal kemiska och biologiska undersökningar av Dalarnas sjöar och rinnande vatten inom främst miljöövervakningen och den samordnade vattenförvaltningen. Undersökningarna kan både ha specifika syften som uppföljning av kalkningseffekter, inventering av miljögifter och kartläggning av övergödning eller vara av mer allmän karaktär för att beskriva vattnens status. Huvuddelen av undersökningarna har redovisats som underlagsmaterial till rapporter, men vissa data har endast lagrats hos nationella datavärddar eller länsstyrelsen.

Dalälvens vattenvårdsförening (DVVF) genomför sedan 1990 samordnad recipientkontroll i ett 30-tal sjöar och lika många rinnande vatten i framför allt Dalälvens huvudflöde och större biflöden där de största punktutsläppen finns. Undersökningarna omfattar både vattenkemi och biologiska parametrar. Alla undersökningar redovisas i en årsrapport. Därutöver har flera tematiska sammanställningar genomförts. De vattenkemiska undersökningarna har fortlöpande lagrats hos nationell datavärd (SLU-IMA).

Länsstyrelsen och DVVF beslutade 2006 att inleda ett samarbete för att sammanställa alla Dalarnas biologiska undersökningar av sjöar och rinnande vatten, lagra dessa hos aktuella datavärddar samt presentera och analysera dessa undersökningar i ett antal temarapporter för sjöar respektive rinnande vatten. Arbetet har försenats på grund av att vattenförvaltningens statusbedömning och åtgärdsprogram tagit länsstyrelsens personella resurser i anspråk under 2008 – 2009.

De tematiska utvärderingarna av sjöar omfattar följande rapporter:

Utvärdering av vattenväxtsamhället i Dalälvens sjöar, Rapport 2008:28

Metaller i fisk i Dalälvens sjöar – faktorer som påverkar, förändring i tiden, Rapport 2010:12

Växtplanktonsamhällen i Dalälvens sjöar – faktorer som påverkar, förändring i tiden, Rapport 2010:13

Fisk i Dalälvens sjöar – faktorer som påverkar, förändring i tiden, Rapport 2010:14

Mjukbottenfaunan i Dalälvens sjöar – struktur och funktion, Rapport 2010:15

Utvärdering av biologiska Bedömningsgrunder för sjöar – erfarenheter från Dalarna, Rapport 2010:16

Motsvarande temarapporter för rinnande vatten beräknas publiceras under 2011.

Falun i maj 2010

Per-Erik Sandberg  
Länsstyrelsen Dalarna

Kenneth Collander  
Dalälvens Vattenvårdsförening



LÄNSSTYRELSEN  
DALARNAS LÄN



# Sammanfattning

Dalälven sträcker sig med sitt avrinningsområde från fjällen i väster till Bottenhavet i öster. Inom området finns såväl orörda som exploaterade områden, skogsmark och jordbruksmark, reglerade och oreglerade vattendrag, både kalkrika och försurade marker och sjöar, m.m. Området innefattar även delar av Bergslagen där gruvverksamhet förekommit under lång tid. Denna mångfald av miljöer har lett till ett stort spektra av miljöförhållanden i de sjöar som ingår i avrinningsområdet, och därmed också för de fiskar som lever i sjöarna.

Länsstyrelsen Dalarna, Dalälvens Vattenvårdsförening, vissa enskilda företag m.fl. har under en följd av år låtit insamla och undersöka metallhalten i muskel och lever hos några fiskarter i ett flertal av Dalälvens sjöar. I denna rapport har dessa undersökningsresultat sammanställts och utvärderats ur olika aspekter. Materialet är förmodligen det mest omfattande och mångfacetterade som Sverige har att erbjuda för ett enskilt vattenavrinningsområde, men innehåller för den skull brister och osäkerheter som måste beaktas vid tolkningen av resultaten.

Kvicksilverhalten i gädda (muskel) har undersökts i drygt 140 sjöar, som är relativt väl spridda över avrinningsområdet. Analysen visar på det redan välkända sambandet att kvicksilverhalten generellt sett ökar med fiskens storlek. Vidare verkar halten vara något lägre i laxfisk jämfört med gädda i samma storlek. Kvicksilverhalten i en abborre på 100 gram verkar vara ungefär en femtedel av den i en gädda på 1 kilo, om fisken fångas från samma sjö.

Det finns en tendens i materialet som pekar mot att kvicksilverhalten i gädda är högre i skogsområdena jämfört med fjällregionen och jordbruksdistrikten. Påtagligt låga kvicksilverhalter förekommer i flera sjöar som är rika på näringsämnet fosfor. Det finns även tecken på att kvicksilverhalten i fisk ofta är lägre, och i vissa fall extremt låg, i sjöar som är metallberikade. Denna anmärkningsvärda tendens beror eventuellt på en ”tävlan” mellan kvicksilver och andra metaller, företrädesvis zink, om upptaget i fisken.

Till skillnad från kvicksilver är halterna av metallerna zink, koppar, kadmium och bly sällan förhöjda i fiskens muskelvävnad, men däremot relativt ofta i levern. I första hand har mindre abborrar infångats och analyserats på dessa metaller. Det finns också exempel på att kadmiumhalten ökar, och zinkhalten minskar, med fiskens ålder. Sambandet mellan metallhalt i lever och i det vatten som fisken exponeras för är svagt eller obefintligt. Ingen tydlig, men en möjlig, koppling finns dock i materialet mellan förekomst av gruvavfall inom ett delavrinningsområde och halten av vissa metaller i fisklever. En ökad näringsrikedom i vattnet verkar ofta leda till en minskning av halten i lever för vissa metaller, särskilt kadmium.

För några sjöar har utvecklingen kunnat följas under två eller flera decennier. Här finns exempel på både upp- och nedåtgående trender. I några fall har åtgärder, exempelvis med gruvavfall, lett till minskade metallhalter i fisk, i andra fall inte.

Genomgången visar sammanfattningsvis att det inte finns några generella och tydliga samband mellan metallförekomsten i fiskens omgivning och i dess vävnader.

# Innehåll

1	Inledning.....	5
2	Dataunderlag och metoder.....	6
2.1	Antal analyser av metaller i fisk – aktuella förhållanden .....	6
2.2	Antal sjöar med metallanalyser i fisk .....	7
2.3	Sjöar och dataunderlag för analysen av tidsutveckling .....	9
2.4	Viktkorrigering av kvicksilverhalter .....	10
2.5	Översikt över tillgängliga omgivningsdata .....	11
2.6	Potentiell metalltillförsel från gruvavfall .....	13
3	Sjöarnas tillstånd sett till metaller i fisk .....	15
3.1	Metallhalter i fiskvävnad hos laxartade fiskar.....	15
3.2	Jämförelser av metallhalter i fiskvävnad.....	16
3.3	Geografisk variation av metallhalter i fisk .....	18
4	Styrande faktorer för metaller i fisk .....	21
4.1	Kvicksilver i gäddmuskel .....	21
4.2	Avvikande låga kvicksilverhalter i några gruvområden.....	25
4.3	Går det att skapa en prediktionsmodell för kvicksilver i gädda? .....	26
4.4	Omgivningsfaktors betydelse för Zn, Cu, Pb och Cd i levervävnad hos abborre	29
4.5	Exempel på samband mellan metaller i fisk och metaller i vatten .....	33
4.6	Exempel på samband mellan metaller i fisk och närsalter i vatten .....	34
5	Förändring i tiden i några sjöar .....	37
5.1	Grycken, Falun .....	37
5.1.1	Allmänt om sjön och pappersbruket.....	37
5.1.2	Utvecklingen för kvicksilver i gädda .....	37
5.2	Runn .....	38
5.2.1	Allmänt om sjön och gruvan .....	38
5.2.2	Utvecklingen för metaller i abborre och gädda.....	39
5.3	Garpenbergsåns vattensystem .....	42
5.3.1	Allmänt om åsystemet och gruvan.....	42
5.3.2	Utvecklingen för metaller i abborre och gädda.....	43
5.4	Ytterligare sju sjöar .....	45
6	Sammanfattande diskussion .....	47
	Referenser.....	49

Appendix A - Metallhalt i fisk per sjö

Appendix B – Sjö och ARO-data per sjö

Appendix C – Vattenkemi per sjö

# 1 Inledning

Inom såväl Länsstyrelsen i Dalarnas regionala undersökningsverksamhet som Dalälvens Vattenvårdsförenings fortlöpande kontroll har ingått att analysera metallhalten i vävnader hos fisk, främst kvicksilver, zink, koppar, bly och kadmium. Fisken har fångats i sjöar inom Dalälvens avrinningsområde. Dessutom finns äldre uppgifter från Livsmedelsverkets nationella inventeringar av kvicksilverhalten i gädda, som innefattar ett förhållandevis stort antal av regionens sjöar, samt från undersökningar som utförts på uppdrag av enskilda verksamhetsutövare. Tillsammans utgör dessa ett omfattande och för landet sannolikt unikt material för en enskild älvs avrinningsområde.

Genom länsstyrelsens och andra myndigheters försorg finns även sammanställt uppgifter om nederbörd, markslag och markanvändning m.m. inom olika delar av älvens avrinningsområde. Vidare har länsstyrelsen och vattenvårdsföreningen genom såväl stickprovstudier som fortlöpande undersökningar undersökt vattnets kemiska sammansättning i ett stort antal av älvens sjöar, av vilka många sammanfaller med analyser av metaller i fiskvävnad.

Vi har i detta arbete studerat vilken information man kan få ut av en sammanställning och sambandsanalys av all tillgänglig information om Dalälven, som kan ha relevans för metallhalten i fisk. På så sätt hoppas vi kunna öka förståelsen för vilka faktorer som har stor betydelse för metallförekomsten i fiskars vävnader.

Syfte med studien kan därmed sägas vara:

- att redovisa den samlade kunskapen om halter i fiskvävnad av främst metallerna kvicksilver, zink, koppar, bly och kadmium inom Dalälvens avrinningsområde,
- att belysa skillnader i metallhalt i fiskvävnad mellan olika fiskarter (abborre, gädda, laxfiskar),
- att analysera observerade metallhalter i fisk mot metallförekomst i fiskarnas livsmiljö, näringstillgång m.fl. omgivningsfaktorer med syfte att identifiera viktiga styrande faktorer för metallhalten i fiskvävnad,
- att om möjligt utveckla en förklaringsmodell för kvicksilverhalt i gäddmuskel, dvs en modell med vars hjälp det kunde vara möjligt att uppskatta kvicksilverhalten för sjöar där inga analyser gjorts,
- att sammanställa en del äldre och svårtillgängligt material med vars hjälp eventuella förändringar hos metallhalter i fisk kan skönjas eller påvisas.

## 2 Dataunderlag och metoder

Det dataunderlag över metallhalter i fisk, som ligger till grund för de sambandsanalyser m.m. som presenteras längre fram i rapporten, är heterogent. En kategori data utgörs av kvicksilverundersökningar på gädda som påbörjades redan under slutet av 1960-talet. En annan är de provfisken i 14 sjöar som utförs vart femte år i regi av Dalälvens Vattenvårdsförening, varav flera är recipienter till gruvor och stålverk. En tredje kategori är provfisken som Länsstyrelsen i Dalarna svarat för med varierande frekvens och syfte i sjöar i olika delar av Dalälvens avrinningsområde, främst ”opåverkade” områden. Denna tredje kategori innehåller bl.a. samtliga värden för laxartade fiskar, vilka alla representerar treårsperioden 1997-1999. En fjärde kategori slutligen utgörs av äldre undersökningar av metallhalter i fisk som utförts på uppdrag av enskilda verksamhetsutövare, i detta fall ett pappersbruk och två gruvor.

Under de senaste decennierna är det Böril Jonsson, Allumite i Fors som i huvudsak svarat för provfisken, medan huvudparten metallanalyser på fisk gjorts av MeAna-Konsult i Uppsala med Roland Uhrberg som ansvarig.

I några fall finns endast enstaka analyser per sjö, i andra många tiotal eller fler. Med undantag av kvicksilver, samt för de två nämnda gruvområdena även andra metaller, har värden för metaller av äldre datum än 1990 inte tagits med i analysen. Korrelationsanalysen och de flesta sammanställningarna i rapporten baseras på medelvärden per sjö. Detta gör att sjöarna får lika stor vikt oberoende av antalet observationer per sjö. De olika dataunderlag som används redovisas i appendix:

- I **appendix A** finns medelvärden för metallhalt i vävnad beräknade per sjö. Det är dessa genomsnittsvärden som legat till grund för databehandlingen.
- I **appendix B** finns motsvarande information för omgivningsfaktorerna i form av sjöyta, djup, höjd över havet m.m. samt avrinningsområdets storlek och andel olika markslag. Detta behandlas mer utförligt under avsnitt 2.5.
- I **appendix C** redovisas uppgifter om vattenkemin per sjö för månaderna augusti-september under ett varierande antal år. I flera fall täcker dessa medelvärden en längre tidsperiod än metalldata i fisk, vilket kan motiveras med att metallhalten i fisk (i synnerhet för kvicksilver) är resultatet av en exponering under en relativt lång tidsperiod. I andra fall har approximativt antagits att den aktuella vattenkemin även är representativ för tidigare förhållanden då kvicksilver analyserades i gädda från sjön ifråga.

### 2.1 Antal analyser av metaller i fisk – aktuella förhållanden

Det totala antalet tillgängliga analyser av metallhalt i fiskvävnad (muskel eller lever) är sammanställda i Tabell 2-1 (större detaljupplösning i appendix A), och antalet analyser per år i Tabell 2-2 (exklusive äldre analyser från de två nämnda gruvområdena). Flest analyser finns för kvicksilver i gädda (ca 1100 st) och abborre (ca 120 st) följt av bly, koppar, kadmium samt zink i abborrlever (ca 140 st). Även för metallhalt i muskel hos laxfiskar (harr, öring, röding, sik) finns relativt många analyser i materialet (40 st). Skälet till att de laxartade fiskarnas sammanförts till samlingsnamnet ”laxfiskar” redogörs för i avsnitt 3.1.

Tabell 2-1. Det totala antalet analyser av metallhalt i fiskvävnad per fiskart och metall.

Art	Muskel						Lever					
	Hg	As	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni
Abborre	118		11	17	17	17	137	137	137	137	18	15
Gädda	1103	2	9	11	11	11	1	1	1	1	1	
Gös	2											
Lake	1		1	1	1	1						
Harr	3		2	2	2	2	1	1	1	1		
Öring	15		15	15	15	15	2	2	2	2		
Röding	14		14	14	14	14	14	14	14	14		
Sik	9		9	9	9	9	3	3	3	3		

Tabell 2-2. Antalet analyser per år, fiskart, organ och metall. Laxfiskar avser summan av samtliga analyser av harr, öring, röding och sik.

	Gädda											Abborre										Laxfiskar												
	Muskel						Lever					Muskel					Lever					Muskel					Lever							
	Hg	As	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Hg	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni	Hg	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn			
1968	5																																	
1971	5																																	
1973	17																																	
1974	16																																	
1976	15																																	
1977	19										5																							
1978	15										5																							
1979	36																																	
1980	9										2																							
1981	13																																	
1982	65																																	
1983	34										8																							
1984	57																																	
1985	50																																	
1986	15																																	
1987	35										2																							
1988	29										5																							
1989	60																																	
1990	67	2		2	2	2																												
1991	68											6	6	6		7	7	7	7															
1992	50																																	
1993	62															1	1	1	1															
1994	65						1	1	1	1	1																							
1995	22																																	
1996	44														4	4	4	4	3															
1997	60										2	2	2	2	2	12	12	12	12				10	9	9	9	9	10	10	10	10			
1998	47		9	9	9	9					5	5	5	5	5	5	5	5	5				9	9	9	9	9	4	4	4	4			
1999	28										4	4	4	4	4	4	4	4					22	22	22	22	22	6	6	6	6			
2000	15										13					10	10	10	10															
2001	35										14					22	22	22	22	2	2													
2002	5										20					11	11	11	11															
2003																																		
2004	15														28	28	28	28																
2005	20										10				10	10	10	10																
2006	5										23				23	23	23	23	13	13														

## 2.2 Antal sjöar med metallanalyser i fisk

I Tabell 2-3 har istället antalet sjöar sammanställts där det finns analyser av metaller i fiskvävnad. Den geografiska fördelningen av dessa sjöar framgår av Figur 2-1 för

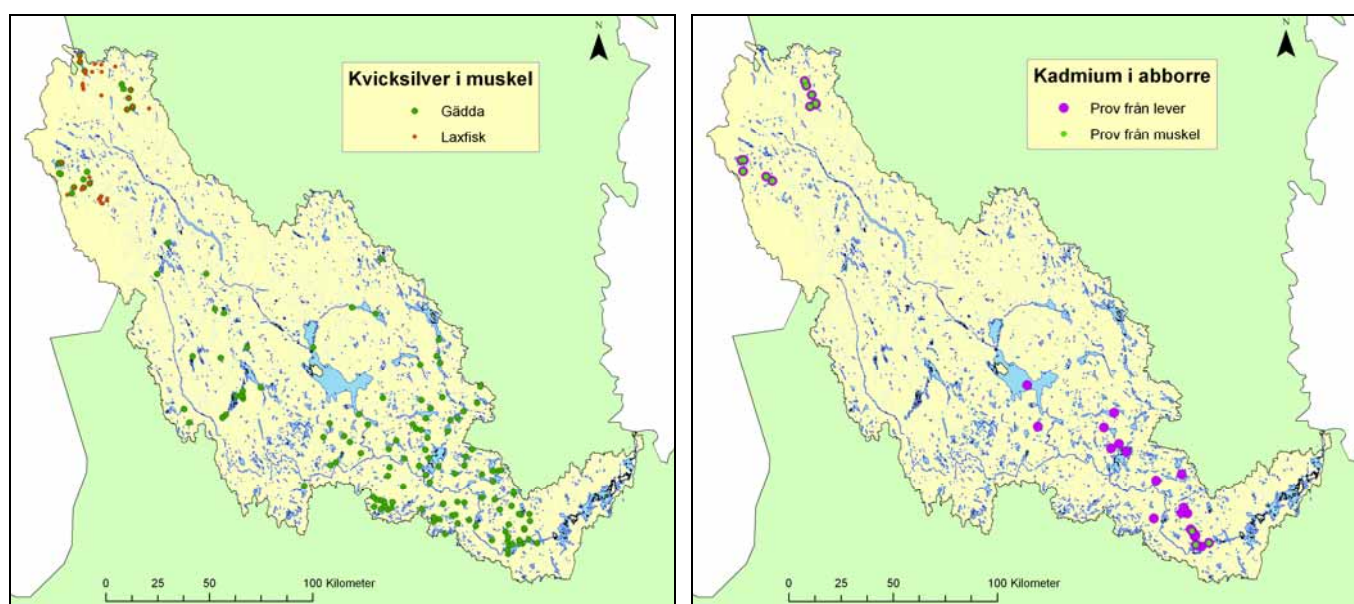
kvicksilver i muskel hos gädda respektive laxfisk, samt i muskel respektive lever för kadmium i abborre.

Analys av kvicksilver i gädda finns representerade i det största antalet sjöar (143 st). Analysantalet per sjö är dock, som redan omtalats, väldigt ojämnt fördelat. I det stora flertalet sjöar finns endast enstaka observationstillfällen då vanligtvis 5 gäddor analyserats, medan Grycken i Falun har undersökts under 20 observationsår med totalt 215 unika kvicksilveranalyser. Sjöarna är relativt spridda över avrinningsområdet, men med övervikt för den sydöstra delen enligt Figur 2-1.

Bland övriga metaller återfinns det största antalet sjöar för bly, koppar, kadmium och zink i levervävnad hos abborre (32 st), lokaliserade antingen i den sydöstra delen av Dalälvens avrinningsområde, eller i fjällregionen enligt Figur 2-1. Även analys av metaller i laxfisk finns representerade i relativt många sjöar (40 st), vilka samtliga är lokaliserade inom det nordvästra, fjällnära området.

Tabell 2-3. Sammanställning över antalet sjöar där det finns analyser av metaller i fiskvävnad. Laxfiskar avser summan av samtliga analyser av harr, öring, röding och sik.

Fiskart	Muskelvävnad						Levervävnad					
	Hg	As	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni
Abborre	32	0	11	14	14	14	29	29	29	29	13	13
Gädda	135	1	9	10	10	10	1	1	1	1	1	
Gös	1											
Lake	1		1	1	1	1						
Harr	3		2	2	2	2	1	1	1	1		
Öring	15		15	15	15	15	2	2	2	2		
Röding	14		14	14	14	14	14	14	14	14		
Sik	9		9	9	9	9	3	3	3	3		
Laxfiskar	41		40	40	40	40	20	20	20	20		

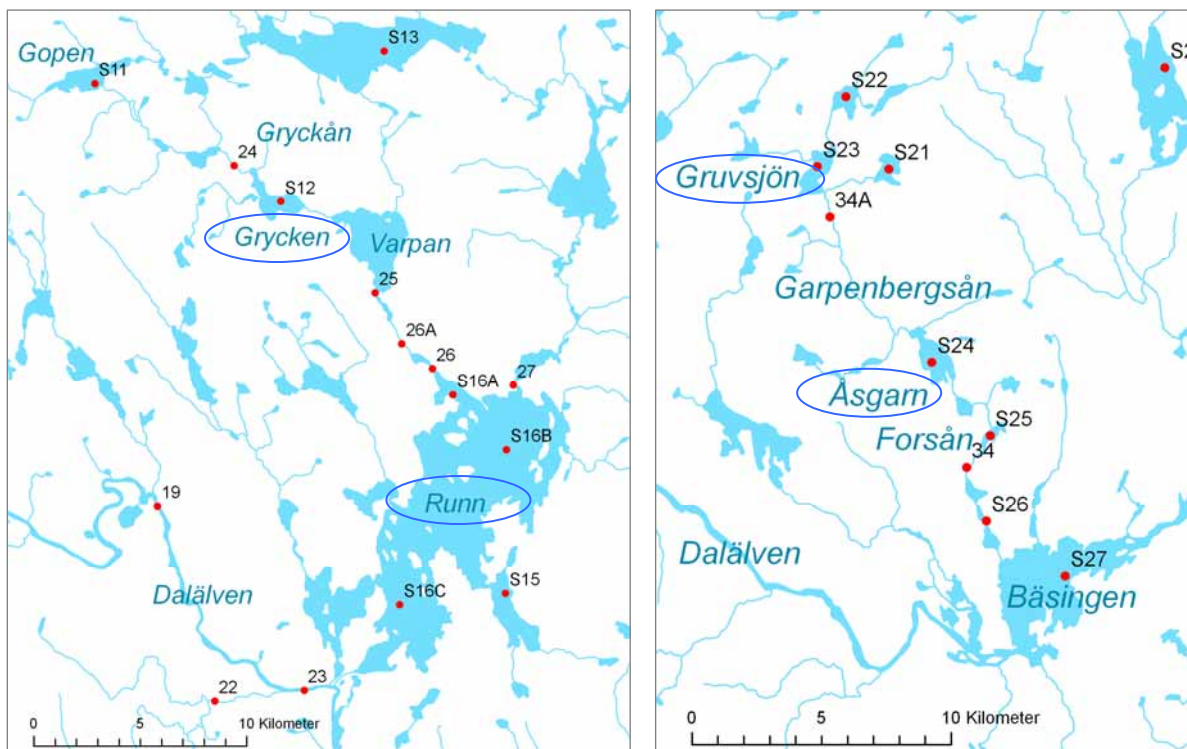


Figur 2-1. Geografisk fördelning av kvicksilver i muskel hos gädda och laxfiskar (vänster), samt för kadmium i abborre i muskel respektive lever (höger).



## 2.3 Sjöar och dataunderlag för analysen av tidsutveckling

Utvecklingen över tiden har varit möjlig att följa i Grycken nordväst om Falun, Runn öster om samma stad, samt i några av sjöarna i Garpenbergsåns vattensystem. Deras geografiska lägen framgår av Figur 2-2. I Grycken har kvicksilverhalten i gädda följts under tre decennier. I de andra sjöarna är det främst abborre som fångats och analyserats under de senaste två decennierna. Förutom kvicksilver har även metallerna koppar, bly, zink och kadmium analyserats i dessa abborrar.



Figur 2-2. Sjöarna Grycken, Runn, Gruvsjön och Åsgarn ingår i trendanalysen. Provtagningsstationer för vattenanalyser inom DVVF:s vattendragskontroll är utmärkta.

Det dataunderlag som finns över metallhalter i fisk från de aktuella sjöarna är i vissa avseenden heterogent. Som redan nämnts utgör en kategori analyser av abborre och gädda i varierande storlek från provfisken under 1970- och 1980-talen. En annan består av analyser på fisk som infångats under 1990- och 2000-talet då riktade fisken gjordes efter fisk av en bestämd storlek.

En jämförelse i tiden mellan dessa kategorier innebär med nödvändighet att en osäkerhet byggs in genom att såväl fiskens vikt som dess antal varierar. Med denna reservation görs ett försök i denna rapport att jämföra utvecklingen över flera decennier i de aktuella sjöarna.

För ytterligare några sjöar inom Dalälvens avrinningsområde finns uppgifter om kvicksilverhalt i gädda från en längre tidsperiod, i några fall ända tillbaka till slutet av 1960-talet. Vi har valt att presentera de sju sjöar där gädda fångats och analyserats vid minst fem tillfällen under denna period.

## 2.4 Viktkorrigerigering av kvicksilverhalter

I sin organiska form metylkvicksilver anrikas kvicksilver effektivt i fiskens vävnader, medan utsöndringen sker mycket långsamt. På så sätt sker en s.k. biomagnifiering, vilket innebär att koncentrationen i allmänhet ökar med fiskens ålder och storlek. Olika fiskarter uppnår också en viss halt olika snabbt, främst beroende av artens placering i näringsväven. En rovfisk som livnär sig på andra fiskar innehåller generellt sett mer kvicksilver än en art som företrädesvis äter växter eller smådjur från lägre trofinivåer.

För att det skall vara meningsfullt att jämföra kvicksilverhalter i fisk av olika storlek kan man med hjälp av tidigare framtagna empiriska samband räkna om den aktuella halten till den koncentration som fisk av standardstorlek förväntas innehålla<sup>1</sup> (se faktaruta 1). För gädda är 1kg standardstorlek, och för abborre används ofta 10g alternativt 100g. I fiskmaterialet från Dalälvens avrinningsområde förekommer i regel abborrar med vikter på flera hundra gram, varför 100g valts som standardstorlek för abborre. För laxfiskar finns veterligen inga empiriska samband att tillgå. Istället har sambandet för abborre använts.

### Faktaruta 1

#### ANVÄNDA SAMBAND MELLAN VIKT OCH KVICKSILVER

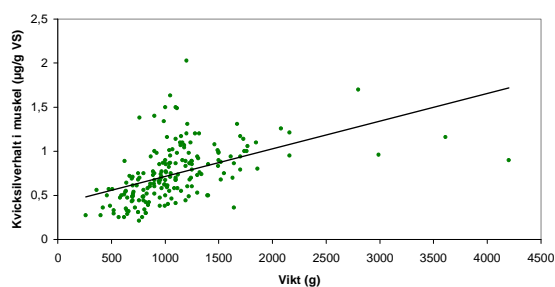
Följande samband från Meili mfl<sup>1</sup> har använts för att vikt-korrigera kvicksilverhalterna i muskel från gädda, abborre och även laxfisk:

$$Hg_{korr} = \frac{Hg}{d \cdot (a \cdot 0,66 \cdot W^{0,66} + 0,13)}$$

**W**=vikten i samma enhet som standardstorleken, **a** är en artspecifik konstant och **d** en skalfaktor kopplad till respektive standardstorlek enligt Tabell 2-4.

Tabell 2-4. Konstanter som ingår i vikt-korrigeringen av kvicksilverhalt i muskelvävnad för olika arter.

Fiskart	Standardstorlek	a	d
Gädda	1kg	1,3	1,00
Abborre	10g	1,5	0,21
Abborre	100g	1,5	0,046
Laxfisk	100g	1,5	0,046
Laxfisk	1000g	1,5	0,01



Figur 2-3. Samband mellan kvicksilverhalt i muskel och vikt hos gäddor från skogssjöar i Dalälvens avrinningsområde.

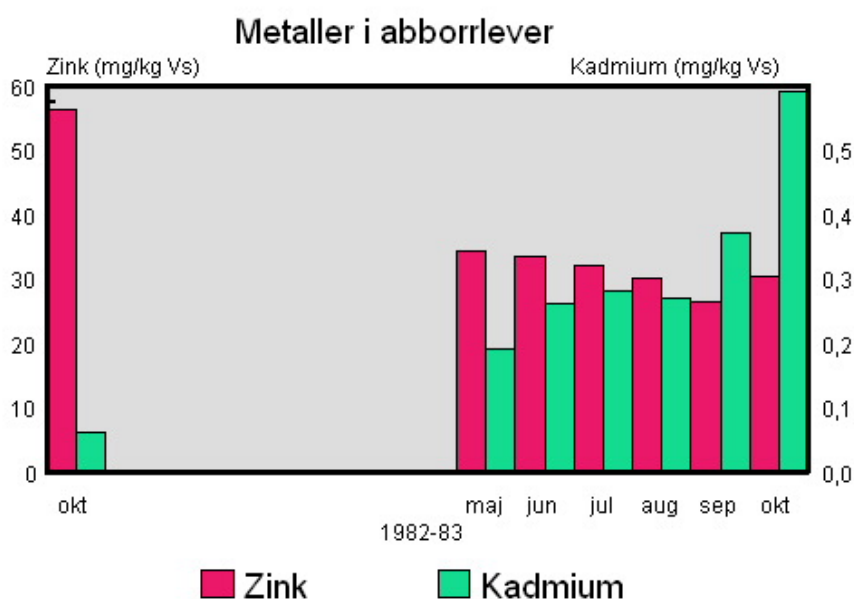
Någon vikt-korrigerigering gjordes inte för övriga metaller. Det betyder för den skull inte att ett sådant samband saknas, men det är inte lika generellt eller standardiserat som för kvicksilver (se faktaruta 2).

## Faktaruta 2

### EXEMPEL PÅ SAMBAND MELLAN VIKT/ÅLDER OCH ÖVRIGA METALLER

Några metaller såsom zink och koppar är essentiella, vilket innebär att organismer, däribland fiskar, behöver viss minimitillgång av dem för sin tillväxt och överlevnad. Man finner därför en viss "basnivå" av dessa metaller i fiskars vävnader (se avsnitt 4.5). Zink ingår exempelvis som en viktig beståndsdel i proteiner, varför behovet av zink är särskilt stort då proteintillväxten är som störst, dvs under den första levnadstiden. Detta är troligen den främsta förklaringen till att högre zinkhalt registrerats hos unga än hos äldre fiskar inom samma population (se exempel från sjön Åsgarn i Garpenbergsån i Figur 2-4).

Ett liknande generellt samband verkar gälla för koppar, medan det kan vara obefintligt eller omvänt för de icke essentiella metallerna kadmium och bly beroende på bl.a. belastningsgraden (se exemplet nedan för kadmium i en abborrpopulation från sjön Åsgarn).



Figur 2-4. En och samma abborrpopulation undersöktes under ett års tid i Åsgarn för att följa förändringar i vävnaders metallhalt när fisken växte<sup>2</sup>.

## 2.5 Översikt över tillgängliga omgivningsdata

Ett av huvudsyftena med den här studien har varit att undersöka om det finns någon koppling mellan metallförekomst i fiskvävnad och omgivningsfaktorer som sjömorfologi<sup>a</sup>, förhållanden inom avrinningsområdet och vattenkemi. För en korrelationsanalys krävs därför skattningar som speglar dessa olika parametrar under den period som metallanalyserna av fiskvävnad speglar.

Den korrelationsanalys som presenteras i avsnitt 4 baseras på genomsnittsvärden per sjö för samtliga parametrar. På grund av dataunderlagets heterogenitet över tiden måste den generaliserade sambandsanalysen baseras på antagandet att halter i fisk, halter i vatten

<sup>a</sup> Sjöars struktur och form

och förhållandena inom avrinningsområdet varit relativt konstanta under den period som medelvärdena baseras på. Avvikelse från detta antagande leder till brus i materialet och att eventuella generella samband blir svårare att detektera. Med hjälp av koordinaterna har analyserna av metaller i fisk, vattenkemi och uppgifter om omgivningsdata kopplats ihop per sjö. Den därigenom bildade matrisen utgör grunden för korrelationsanalysen i avsnitt 4.

Data från sex olika källor har sammanställts som jämförelsedata i korrelationsanalysen:

- Vattenkemiska parametrar från en mängd olika undersökningar per sjö för ett antal vattenkemiska variabler som bland annat speglar näringstillgång, vittring, lösta metaller och surhetsgrad.
- Sjömorfologiska parametrar som beskriver sjöns höjd över havet, samt vattnets uppehållstid i sjön.
- Klimatvariabler som beskriver medelnederbörden inom sjöns avrinningsområde.
- Uppgifter om markslagsfördelning i sjöns avrinningsområde uttryckt som andel jordbruksmark (åker och betesmark), tätort, fjäll, våtmark, skogsmark och hyggesmark.
- Förutsättningar för vittring inom sjöns avrinningsområde i form av en relativ vittringsparameter.
- Uppgifter om potentiella metallkällor inom sjöns hela avrinningsområde samt inom sjöns buffertzonen baserat på omfattande inventeringar (se avsnitt 2.6).

I Tabell 4-1 och Tabell 4-2 listas och förklaras samtliga vattenkemiska variabler och omgivningsparametrar som ingår i analysen<sup>3</sup>. I appendix B och C listas medelvärden per sjö för de använda parametrarna.

För de 109 sjöar där samtliga underlag finns representerade har i Tabell 2-5 sammanställts per fiskart och metall.

För totalt 109 sjöar där det också finns analyser av vattenkemi samt uppgifter om sjömorfologi och förhållanden i avrinningsområdet. För koppar, kadmium, zink och bly i abborrlever återstår 22 sjöar av totalt 29, medan så många som 37 av totalt 40 återstår för muskelprov från laxfisk.

Tabell 2-5. Antal sjöar per fiskart och metall där både vattenkemiska data och omgivningsfaktorer finns att tillgå. För de vattenkemiska parametrarna har endast värden från augusti till november valts ut från vattendjup  $\leq 2m$ .

Fiskart	Muskel						Lever					
	Hg	As	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni
Abborre	25		11	14	14	14	22	22	22	22	8	8
Gädda	109	1	8	9	9	9	1	1	1	1	1	
Gös												
Lake	1		1	1	1	1						
Harr	3		2	2	2	2	1	1	1	1		
Öring	14		14	14	14	14	2	2	2	2		
Röding	12		12	12	12	12	12	12	12	12		
Sik	9		9	9	9	9	3	3	3	3		
Laxfiskar	38		37	37	37	37	18	18	18	18		

## 2.6 Potentiell metalltillförsel från gruvavfall

En uppskattning av potentiell metalltillförsel från gruvor och gruvavfall baseras på en databas hos länsstyrelsen i Dalarna som innehåller en stor mängd uppgifter från inventeringar av gruvavfall. Från databasen har alla objekt som avser järnmalmgruvor och deras restprodukter bortfiltrerats. Kvar finns därmed endast objekt som har koppling till sulfidmalm, dvs svavelrik malm som innehåller förhållandevis mycket av metallerna zink, bly, kadmium och koppar. Vidare har två av länsstyrelsens sammanställningar över förorenade områden utnyttjats, där bl.a. metalltillförseln från större gruvobjekt till vattenmiljön uppskattats<sup>4 & 5</sup>.

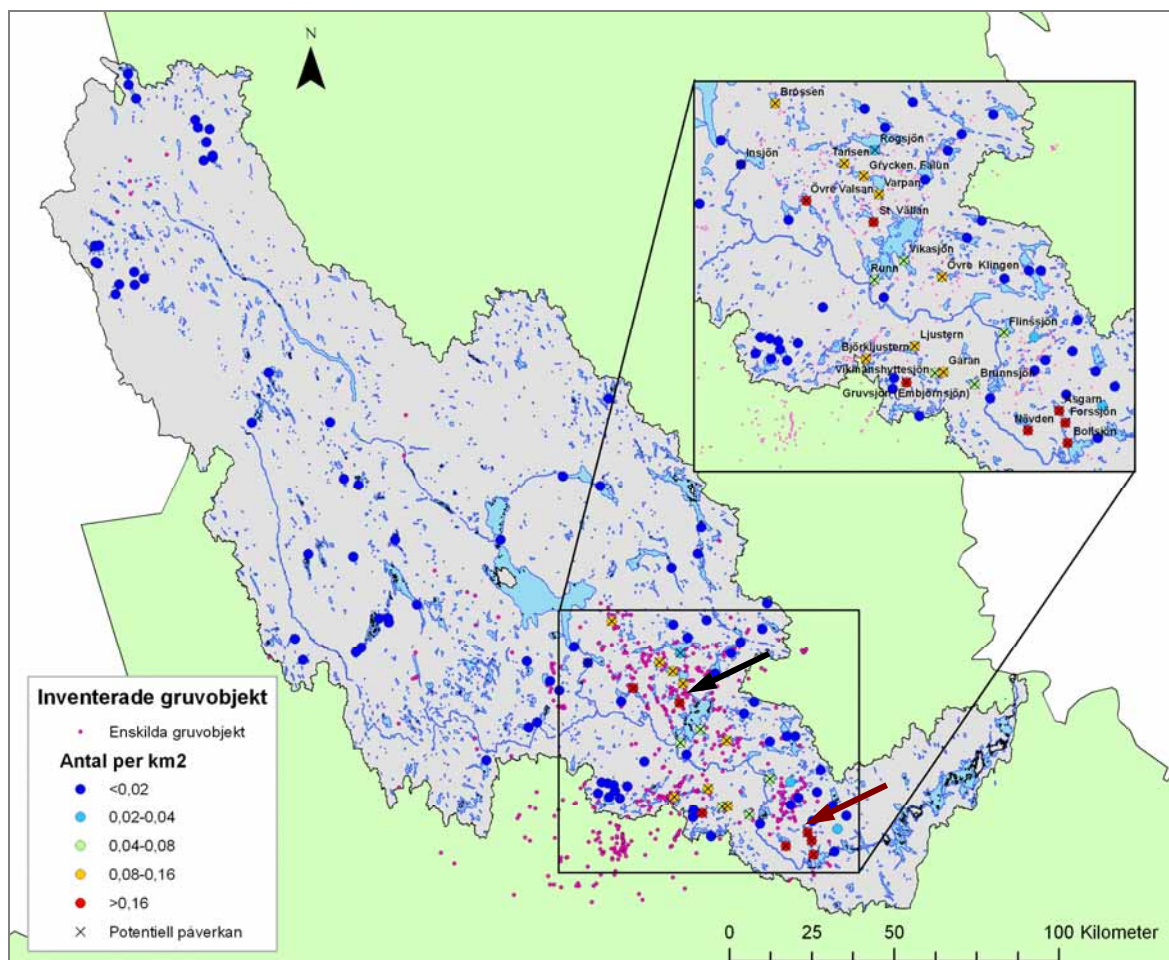
Följande parametrar har skapats för att beskriva potentiell metallpåverkan från gruvobjekt:

- Antalet objekt per ytenhet inom en sjös avrinningsområde eller buffertzonen<sup>b</sup>.
- Tillförsel av metaller från större objekt<sup>c</sup>.

Av Figur 2-5 framgår alla enskilda gruvobjekt med sulfidmalmsursprung som inventerats inom Dalälvens avrinningsområde, liksom i angränsande områden. I figuren anges även antalet gruvobjekt per ytenhet i avrinningsområden till de sjöar där det finns metallanalysdata från fiskvävnad. Av bilden framgår att flertalet gruvobjekt återfinns i den sydöstra delen av avrinningsområdet där gruvnäringen varit verksam under historisk tid, till exempel kring Falun (svart pil) och Garpenberg (brun pil).

<sup>b</sup> Buffertzonen definieras som närområde till en sjö eller vattendrag.

<sup>c</sup> Inkluderar även metallbidrag från pågående gruvdrift och andra industrier, som dock vanligtvis har en underordnad betydelse i sammanhanget.



Figur 2-5. Gruvobjekt inom Dalälvens avrinningsområde som har någon koppling till sulfidmalm, dvs gruvor, varphögar och sandmagasin. I figuren framgår både enskilda gruvobjekt som antalet gruvobjekt per kvadratkilometer inom avrinningsområdena för de sjöar där det finns metallanalysdata för fiskvävnad.



### 3 Sjöarnas tillstånd sett till metaller i fisk

I det här avsnittet ges en beskrivning över generella metallhalter i fiskvävnad i det undersökningsmaterial som behandlats.

#### 3.1 Metallhalter i fiskvävnad hos laxartade fiskar

Jämförelser kan med fördel göras för en vävnadstyp mellan de laxartade fiskar som ingår i materialet eftersom de härrör från samma urval av sjöar. I Tabell 3-1 redovisas statistiska uppgifter baserat på alla enskilda analyser för dessa arter.

Tabell 3-1. Statistik beräknad per fiskart och metall baserat på samtliga tillgängliga prover av metallhalt i muskel respektive levervävnad hos laxartade fiskar.

	Enhet	Vävnad	Fiskart	Antal	Min	Median	Max	Medel	CV%	Konf. 95-	Konf. 95+
Kadmium	µg/g TS	Lever	Röding	14	0,2	0,9	2,3	1,0	51	0,7	1,3
		Muskel	Öring	15	2,0	3,0	5,0	3,4	35	2,7	4,0
	Röding		14	1,7	3,5	8,0	4,0	41	3,0	4,9	
	Sik		9	2,0	3,0	3,6	2,8	19	2,4	3,2	
Koppar	µg/g TS	Lever	Röding	14	18	42	215	65	84	34	97
		Muskel	Öring	15	1,1	1,3	4,0	1,6	45	1,2	1,9
			Röding	14	1,0	1,1	2,8	1,3	35	1,0	1,6
			Sik	9	0,1	0,8	1,0	0,8	36	0,5	1,0
Kvicksilver	µg/g VS	Muskel	Öring (100g)	15	0,019	0,032	0,062	0,035	43	0,027	0,043
			Röding (100g)	14	0,013	0,032	0,051	0,033	39	0,026	0,041
			Sik (100g)	9	0,016	0,035	0,081	0,041	47	0,026	0,056
Bly	µg/g TS	Lever	Röding	14	0,05	0,20	2,33	0,62	123	0,18	1,07
		Muskel	Öring	15	0,017	0,045	0,077	0,043	41	0,034	0,053
			Röding	14	0,020	0,047	0,081	0,049	42	0,037	0,061
			Sik	9	0,028	0,040	0,070	0,041	32	0,030	0,051
Zink	µg/g TS	Lever	Röding	14	91	112	192	124	23	107	140
		Muskel	Öring	15	12	16	27	16	25	14	19
			Röding	14	12	15	18	15	11	14	16
			Sik	9	11	13	18	14	16	12	16

Laxfiskarna röding, öring och sik slagits ihop till den samlade gruppen ”laxfiskar”. Med det begränsade dataunderlag som finns att tillgå, går det inte att motivera en ytterligare uppdelning av laxfiskarna i analysen<sup>d</sup>. Det syns inte heller någon signifikant skillnad mellan öring, röding och sik när det gäller metallhalt i muskel när de 95 procentiga konfidensintervallen jämförs (detta gäller samtliga metaller förutom kopparhalt i lever hos sik som är något lägre än de övriga i detta urval). Detta kan tolkas som att det inte finns några avgörande skillnader mellan laxfiskarna vad gäller metallhalt i muskel.

<sup>d</sup> Födovallet varierar mellan arterna, men även inom arterna. Beroende på tillgång varierar födan från insektslarver till småfisk. Vissa varianter av exempel sik är även planktonätare.

Alternativt är datunderlaget för litet för att det skall gå att detektera de eventuella mindre skillnader som finns mellan arterna.

### 3.2 Jämförelser av metallhalter i fiskvävnad

Statistiken i Tabell 3-2 inkluderar samtliga data från Dalälvens avrinningsområde där metallhalten bestämts i fiskvävnad. Eftersom antalet observationer varierar stort för olika sjöar har vi valt att basera statistiken på medelvärden för respektive sjö för att vissa sjöar på så sätt inte ska bli överrepresenterade. Uppgifter om max- och minhalter baseras dock på alla enskilda mätvärden.

Tabell 3-2. Statistik baserad på genomsnittliga metallhalter i fiskvävnad per sjö inom Dalälvens avrinningsområde. Min- och maxhalter är istället baserade på enskilda individer. Reservation gällande materialets representativitet enligt texten.

	Muskel							Lever					
	Hg µg/g VS	Hg µg/g VS	As µg/g TS	Pb µg/g TS	Cu µg/g TS	Cd ng/g TS	Zn µg/g TS	Pb µg/g TS	Cu µg/g TS	Cd µg/g TS	Zn µg/g TS	Cr µg/g TS	Ni µg/g TS
<b>Gädda</b>	Ej korr.	1kg gädda <sup>A</sup>	Ej viktkorrigerade					Ej viktkorrigerade					
Antal sjöar	134	134	1	9	10	10	10	1	1	1	1	1	
<b>Medelvärde</b>	0,53	0,54	0,0225	0,029	0,61	5,5	16,7	0,2	0,2	0,05	5,8	0,2	
Standardavvikelse	0,26	0,27		0,006	0,30	3,2	4,2						
Min (av alla ind.)	0,03	0,03	0,018	0,020	0,05	2,9	6,0						
10-percentil	0,17	0,19	0,0225	0,020	0,09	3,2	14,7						
<b>Medianvärde</b>	0,51	0,53	0,0225	0,030	0,75	3,8	17,3						
90-percentil	0,85	0,88	0,0225	0,034	0,83	9,1	20,2						
Max (av alla ind.)	3,20	2,97	0,027	0,039	0,85	15,0	20,9						
<b>Abborre</b>	Ej korr.	100g abborre <sup>B</sup>	Ej viktkorrigerade					Ej viktkorrigerade					
Antal sjöar	32	32		11	14	14	14	29	29	29	29	13	13
<b>Medelvärde</b>	0,20	0,16		0,046	0,85	3,8	20,0	0,14	30	6,3	114	0,07	0,07
Standardavvikelse	0,18	0,14		0,024	0,29	2,2	3,0	0,26	71	7,8	37	0,07	0,04
Min (av alla ind.)	0,02	0,01		0,022	0,56	1,5	14,5	0,01	6	0,2	66	0,01	0,02
10-percentil	0,06	0,05		0,028	0,62	1,9	17,6	0,05	8	1,2	92	0,02	0,04
<b>Medianvärde</b>	0,15	0,14		0,037	0,76	3,3	19,8	0,08	12	2,5	105	0,04	0,06
90-percentil	0,38	0,40		0,078	1,28	7,2	24,7	0,21	30	21,0	144	0,19	0,10
Max (av alla ind.)	0,97	1,27		0,100	2,20	9,0	26,0	2,27	733	76,4	341	0,24	0,23
<b>Laxfisk<sup>D</sup></b>	Ej korr.	100g <sup>C</sup>	Ej viktkorrigerade					Ej viktkorrigerade					
Antal sjöar	33	33		33	33	33	33	18	18	18	18		
<b>Medelvärde</b>	0,10	0,04		0,045	1,24	3,4	15,2	0,54	99	1,0	125		
Standardavvikelse	0,05	0,01		0,018	0,51	1,4	2,4	0,70	128	0,5	27		
Min (av alla ind.)	0,04	0,01		0,017	0,09	1,6	10,6	0,05	18	0,2	91		
10-percentil	0,06	0,02		0,024	0,81	2,0	12,7	0,08	25	0,4	101		
<b>Medianvärde</b>	0,09	0,03		0,041	1,15	3,1	15,1	0,20	49	0,9	117		
90-percentil	0,14	0,05		0,070	1,56	5,0	18,2	1,59	260	1,5	159		
Max (av alla ind.)	0,32	0,08		0,081	3,95	8,0	27,1	2,33	584	2,3	192		

A: Viktkorrigerad halt till 1kg standardgädda enligt Meili mfl<sup>1</sup>.

B: Viktkorrigerad halt till 100g standardabborre enligt Meili mfl<sup>1</sup>.

C: Viktkorrigerad halt 100g standardfisk enligt korrigerat enligt sambandet för abborre enligt Meili mfl<sup>1</sup>.

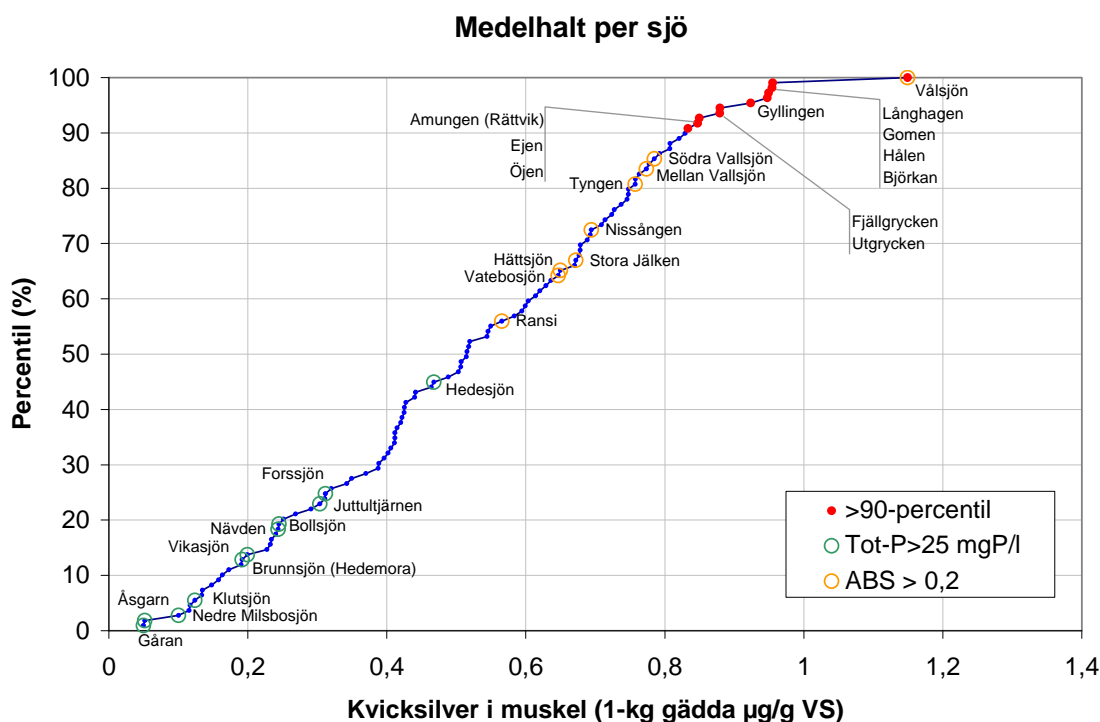
D: Harr, öring, röding, sik enligt följande fördelning:

ART	Hg_muskel	Zn muskel	Zn lever
Harr	3	2	1
Öring	15	15	2
Röding	14	14	14
Sik	9	9	3



Eftersom vissa områden är överrepresenterade i detta urval av sjöar är statistiken ändå inte representativ för avrinningsområdet som helhet. Dessutom finns det en överrepresentativitet för sjöar i mineralrika områden när det gäller koppar, bly, zink och kadmium i abborre och gädda.

Den högsta kvicksilverhalten i materialet ligger på nivån 3  $\mu\text{g/g VS}^{\text{e}}$ , vilket kan jämföras med det högsta medelvärdet för en enskild sjö som ligger strax över 1  $\mu\text{g/g VS}$  enligt fördelningen i Figur 3-1. Som framgår av figuren uppvisar kvicksilverhaltererna inte särskilt stor spännvidd mellan detta urval sjöar (kurvan är snarare rak än S-formad), vilket till exempel innebär att 80 % av sjöarna hamnar i intervallet 0,2 till 0,8  $\mu\text{g/g VS}$ . Betydelsen av sjöarnas näringsstatus (Tot-P) och vattnets färg (Abs) behandlas under avsnitt 4.

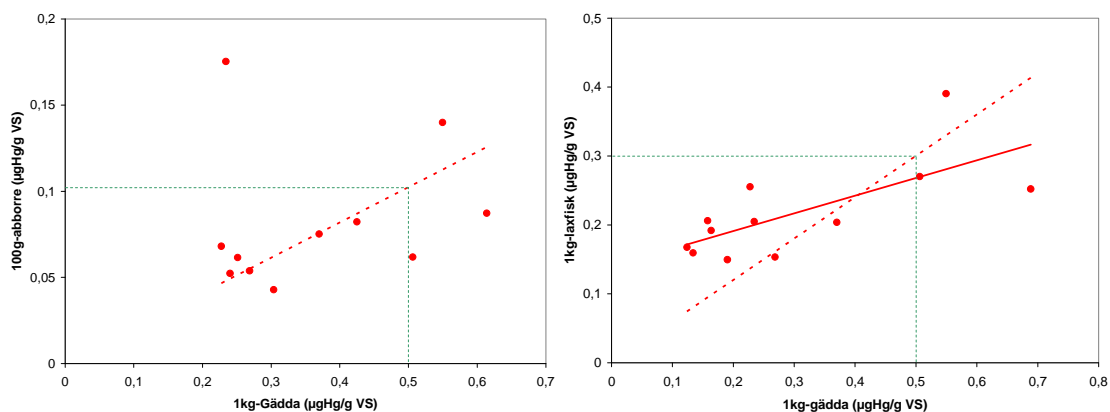


Figur 3-1. Fördelningen av kvicksilverhalter per sjö (medelhalt per sjö) hos samtliga 135 sjöar där kvicksilver analyseras i gädda. I figuren har sjöar med totalfosforhalter överstigande 25  $\mu\text{g/l}$ , respektive med en absorbans överstigande 0,2 markerats.

Jämförs medianvärdena för okorrigerad kvicksilverhalt i gädda, abborre och laxfisk med varandra, kan man konstatera att halten i en genomsnittlig gädda är cirka 5 gånger högre än i en genomsnittlig abborre eller laxfisk. Jämför man istället medianvärdena baserade på de viktkorrigerade kvicksilverhaltererna i abborre och laxfisk framträder en bild där halten i 100g abborre verkar vara betydligt högre än i laxfisk av samma storlek. Jämförelsen är dock högst osäker i så motto att den bygger på en viktkorrigerad kvicksilverhalt i laxfisk med hjälp av sambandet för abborre. Vidare jämförs fiskar från olika sjöar där laxfisken uteslutande härrör från det övre avrinningsområdet medan abborren i huvudsak infångats i de centrala och nedre delarna.

<sup>e</sup> VS = våsubstans eller färskvikt. 1  $\mu\text{g/g}$  motsvarar 1  $\text{mg/kg}$  eller 0,001  $\text{g/kg}$ .

En mer relevant jämförelse fås om olika arter från samma sjö jämförs med varandra. Materialet erbjuder en sådan jämförelse för ett drygt tiotal sjöar där kvicksilverhalten analyserats i muskelvävnad från flera fiskarter (Figur 3-2). Enligt detta material är kvicksilverhalten i 1kg-gädda ungefär fem gånger högre än i 100g-abborre<sup>f</sup> (vänstra diagrammet), respektive något högre än i 1kg-laxfisk (högra diagrammet) då fisken kommer från samma sjö.



Figur 3-2. Jämförelse av kvicksilverhalter i muskel mellan olika fiskarter som fångats i samma sjöar. 1-kg gädda mot 100g abborre i det vänstra diagrammet, 1kg-gädda mot 1kg laxfisk i det högra.

Jämförs istället halterna av koppar, bly, kadmium och zink i muskelvävnad kan man konstatera att medianhalterna är ungefär lika för samtliga metaller om man jämför mellan fiskarterna. Högst är halten av zink, följt av koppar, bly och kadmium vilket speglar det faktum att fisken behöver en viss mängd av de essentiella metallerna zink och kadmium.

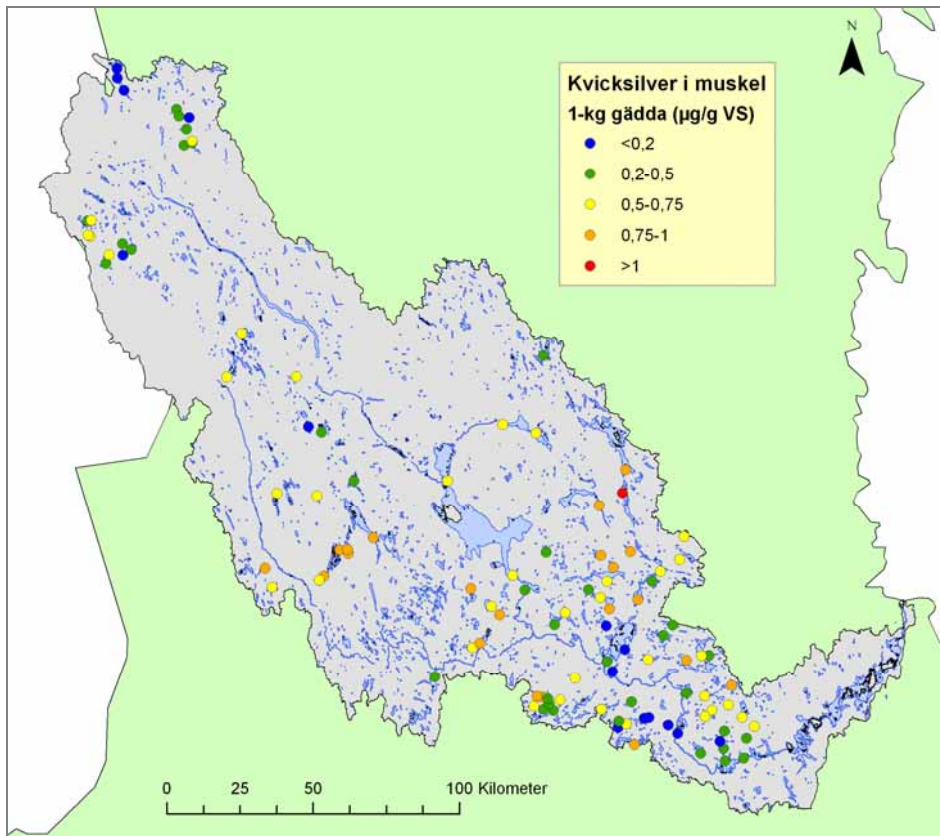
Jämförs slutligen halter i lever med halter i muskel kan man konstatera att halterna av framför allt kadmium är påtagligt högre i levervävnad. Haltskillnaden mellan muskel- och levervävnad är minst för bly.

### 3.3 Geografisk variation av metallhalter i fisk

Medelhalterna per sjö redovisas för kvicksilver i muskel och för kadmium och bly i lever från abborre och laxfisk i Figur 3-3 och Figur 3-4.

Kvicksilverhalten i gäddmuskel visar inga tydliga storskaliga geografiska mönster. Halten tenderar dock att vara något lägre i fjällregionen uppe i nordväst, liksom i den jordbruksdominerade regionen längs nedre Dalälven. De högsta halterna uppträder i ett brett band i den mellersta delen av Dalälvens avrinningsområde. Eventuella samband med omgivningsfaktorer diskuteras i avsnitt 4.1.

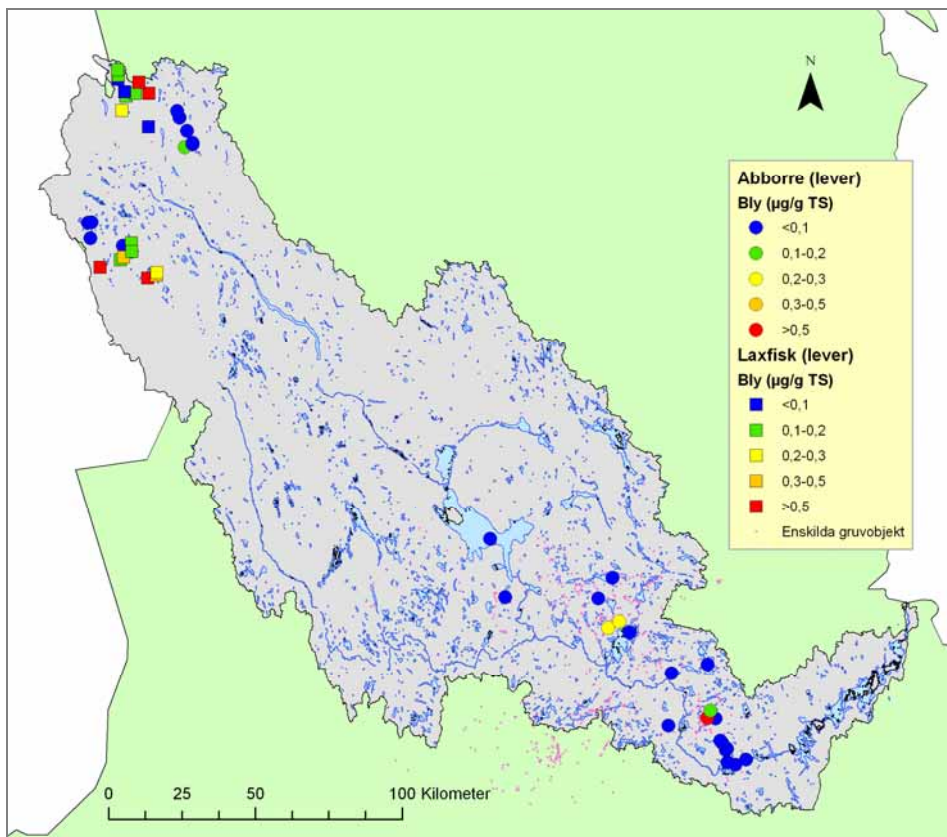
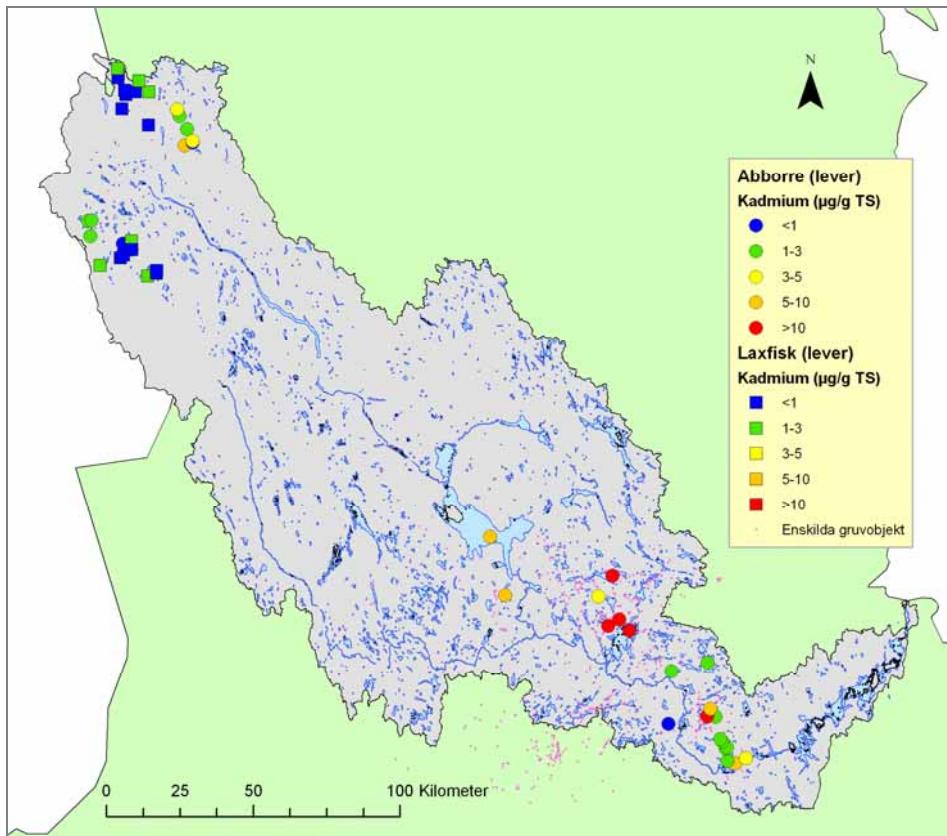
<sup>f</sup> Det tillgängliga materialet gör det tyvärr inte möjligt att jämföra 100 g gädda med 100 g abborre, eller 1 kg abborre med 1 kg gädda.



Figur 3-3. Kvicksilverhalt i gäddmuskel. Medelvärde per sjö baserat på samtliga data från perioden 1968-2006. Klassindelningen följer Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för Sjöar och Vattendrag.

För kadmium och bly i abborrlever (liksom för zink och koppar) ser det geografiska mönstret annorlunda ut jämfört med kvicksilver. De högsta halterna har registrerats i fisk inom de regioner där det förekommit gruvdrift, med koncentring till de historiskt dominerande gruvorerna Falun och Garpenberg. Täckningen över avrinningsområdet är dock betydligt sämre för dessa metaller än för kvicksilver, vilket innebär att bilden inte är representativ för avrinningsområdet som helhet. Detta faktum måste beaktas när kartorna studeras.

Metallhalterna i levervävnad från laxfisk (harr, öring, röding och sik) representerar ett ganska litet geografiskt område i fjällregionen i nordväst. I samma område finns också ett fåtal uppgifter om metallhalter abborrvävnad (i regel inte samma sjöar). Exempel på avvikande höga halter av bly har registrerats i laxfisk i denna region. Även zink- och kopparhalten är något förhöjd på vissa av lokalerna i norr, vilket tillsammans med övriga observationer tyder på möjliga mineraliseringar i området.



Figur 3-4. Kadmium- (överst) och blyhalt (nederst) i levervävnad från abborre och laxfiskar. Medelvärden per sjö. Klassindelningen är statistisk och vald för att spegla variationen inom avrinningsområdet.

## 4 Styrande faktorer för metaller i fisk

I det här avsnittet undersöks om metallhalter som uppmäts i fiskvävnad från olika sjöar kan förklaras av vattenkemin i sjön, sjöns djup m.m. och/eller förhållandena inom sjöns avrinningsområde. Utöver en rad olika vattenkemiska variabler ingår flera parametrar som karaktäriserar sjömorfologi, markförhållanden och förutsättningar för vittring inom avrinningsområdet, samt förekomsten av lämningar av den historiska gruvhanteringen.

Alla dataunderlag beskrivs i avsnitt 2, och i appendix A-C återfinns medelvärden per sjö för samtliga undersökta parametrar.

### 4.1 Kvicksilver i gäddmuskel

Enligt fördelningen i Figur 3-1 över genomsnittliga kvicksilverhalter per sjö, grupperar sig sjöar med hög näringsrikedom, (totalfosforhalter i vatten  $>25 \mu\text{g/l}$ ) bland fjärdedelen sjöar med lägst kvicksilverhalt i gäddans muskelvävnad. Dessa sjöar ligger i allmänhet inom jordbruksdistrikt. På motsvarande sätt grupperar sig i samma figur sjöar med kraftigt färgat vatten (absorbansvärden överstigande 0,2) i den övre halvan av fördelningen. Detta mönster visar att näringsrika sjöar i jordbruksregionen och kraftigt färgade skogssjöar representerar två ytterligheter när det gäller kvicksilverhalt i gäddmuskel. Dessa samband bekräftas av den korrelationsanalys som presenteras nedan.

Som redan beskrivits i avsnitt 2.4 är kvicksilverhalten i fiskars muskelvävnad beroende av fiskens ålder och storlek. För att meningsfulla jämförelser ska kunna göras mellan olika individer och populationer görs därför vanligen en korrigering av kvicksilverhalten baserat på vikten. För gädda är standardstorleken 1 kg.

Med hjälp av en korrelationsanalys (Pearson) undersöktes sambanden mellan observerad respektive korrigerad kvicksilverhalt i gäddmuskel och samtliga tillgängliga omgivningsvariabler från totalt 109 sjöar. Resultatet av analysen, som i Tabell 4-1 redovisas i form av korrelationskoefficienter och signifikantest<sup>§</sup>, kommenteras översiktligt enligt följande:

- Observerad och korrigerad kvicksilverhalt i gäddmuskel uppvisar ett starkt samband, vilket också var förväntat. Effekten av vikt-korrigeringen syns tydligt genom att den okorrigerade halten är positivt korrelerad till vikten, medan den korrigerade halten inte uppvisar något signifikant sådant samband.
- Den korrigerade kvicksilverhalten i gäddmuskel (Hg\_korr) är negativt korrelerad till nordkoordinaten (dock ej statistiskt säkerställd). Detta indikerar att det finns en geografisk gradient i materialet med lägre halter norrut och högre söderut (jämför de geografiska mönstren i avsnitt 3.3).

---

<sup>§</sup> Bonferronikorrigerade sannolikheter

Tabell 4-1. Korrelationskoefficienter (Pearsson) för kvicksilverhalt i muskel (Hg\_fisk och Hg\_okorr – gul markering) samt ett antal variabler som beskriver sjön och olika egenskaper inom avrinningsområdet (grön markering), förekomst av gruvobjekt (orange), samt vattenkvalitetsparametrar (grå markering). Statistiskt signifikanta samband (Bonferronikorrigerade sannolikheter  $p < 0,05$ ) är fetmarkerade.

Förkortning	Beskrivning	Korrelationskoefficient <sup>A</sup>			
		Nordkoordinat	Ostkoordinat	Hg_fisk	Hg_okorr
Vikt	Medelvikt gädda per sjö	0,03	0,00	-0,07	<b>0,23</b>
Hg_fisk	Kvicksilverhalt 1kg-gädda (muskel)	-0,20	0,16	1	<b>0,94</b>
Hg_okorr	Kvicksilverhalt, okorrigerad (muskel)	-0,15	0,12	<b>0,94</b>	1
HOH	Höjd över havet	<b>0,92</b>	<b>-0,93</b>	-0,23	-0,21
Utid	Vattnets uppehållstid i sjön	-0,09	0,18	0,00	0,03
Tät%	Andel tätort inom avrinningsområdet	-0,28	0,26	-0,27	-0,28
Skog%	Andel skog inom avrinningsområdet	<b>-0,63</b>	<b>0,61</b>	0,37	0,28
Hygge%	Hyggesandel per år	<b>-0,74</b>	<b>0,75</b>	0,20	0,12
Våt%	Andel våtmark inom avrinningsområdet	<b>0,49</b>	<b>-0,60</b>	0,20	0,25
Jord%	Andel jordbruksmark inom avrinningsområdet	-0,30	0,32	-0,32	-0,30
Fjäll%	Andel fjällmark inom avrinningsområdet	<b>0,63</b>	<b>-0,56</b>	-0,31	-0,27
RelVit	Relativ vittring	<b>-0,55</b>	<b>0,57</b>	0,19	0,24
Neder	Nederbörd	<b>0,45</b>	<b>-0,60</b>	-0,05	-0,07
Grv	Antal större gruvobjekt inom ARO med sulfidmalm (gruvor, slagghögar mm)	-0,19	0,21	-0,14	-0,14
Grv_ha	Antal större gruvobjekt per ytenhet inom ARO med sulfidmalm	-0,32	0,33	-0,23	-0,24
GrvB	Antal större gruvobjekt inom sjöns buffertzonen med sulfidmalm	-0,12	0,14	-0,07	-0,06
GrvB_ha	Antal större gruvobjekt per ytenhet inom buffertzonen med sulfidmalm	-0,13	0,16	-0,14	-0,12
Pb_p	Uppskattad halvförhöjning för bly från punktkällor (industrier, gruvor, varphögar)	-0,19	0,20	-0,22	-0,23
Cu_p	Uppskattad halvförhöjning för koppar från punktkällor (industrier, gruvor, varphögar)	-0,20	0,21	-0,15	-0,14
Cd_p	Uppskattad halvförhöjning för kadmium från punktkällor (industrier, gruvor, varphögar)	-0,19	0,21	-0,26	-0,26
Zn_p	Uppskattad halvförhöjning för zink från punktkällor (industrier, gruvor, varphögar)	-0,19	0,21	-0,27	-0,27
Hg_p	Uppskattad halvförhöjning för kvicksilver från punktkällor (industrier, gruvor, varphögar)	-0,16	0,17	-0,14	-0,15
pH	pH	-0,35	0,38	-0,13	-0,10
Kond25	Konduktiviteten vid 25°C	<b>-0,45</b>	<b>0,47</b>	-0,30	-0,30
Alk	Alkalinitet	-0,36	0,37	-0,31	-0,28
AbsF	Absorbans i filtrerat prov	-0,02	-0,16	<b>0,39</b>	0,35
TN	Totalkväve	-0,27	0,21	-0,15	-0,18
TP	Totalfosfor	-0,16	0,15	-0,33	-0,32
TOC	Totalt organiskt kol	<b>-0,49</b>	0,36	0,33	0,25
Ca	Kalcium	-0,38	0,39	-0,28	-0,26
Mg	Magnesium	<b>-0,46</b>	<b>0,46</b>	-0,25	-0,23
Na	Natrium	<b>-0,51</b>	<b>0,56</b>	-0,17	-0,16
K	Kalium	-0,22	0,20	-0,09	-0,13
SO4	Sulfat	-0,28	0,28	-0,15	-0,19
Cl	Klorid	-0,22	0,20	-0,07	-0,11
Fe	Järn	-0,07	0,00	0,21	0,12
Mn	Mangan	-0,46	0,48	0,17	0,12
Pb	Bly	-0,20	0,17	0,02	-0,01
Cu	Koppar	-0,30	0,29	-0,02	0,00
Cd	Kadmium	-0,10	0,01	-0,03	-0,02
Zn	Zink	-0,18	0,17	-0,13	-0,12

A: Pearson korrelationskoefficient

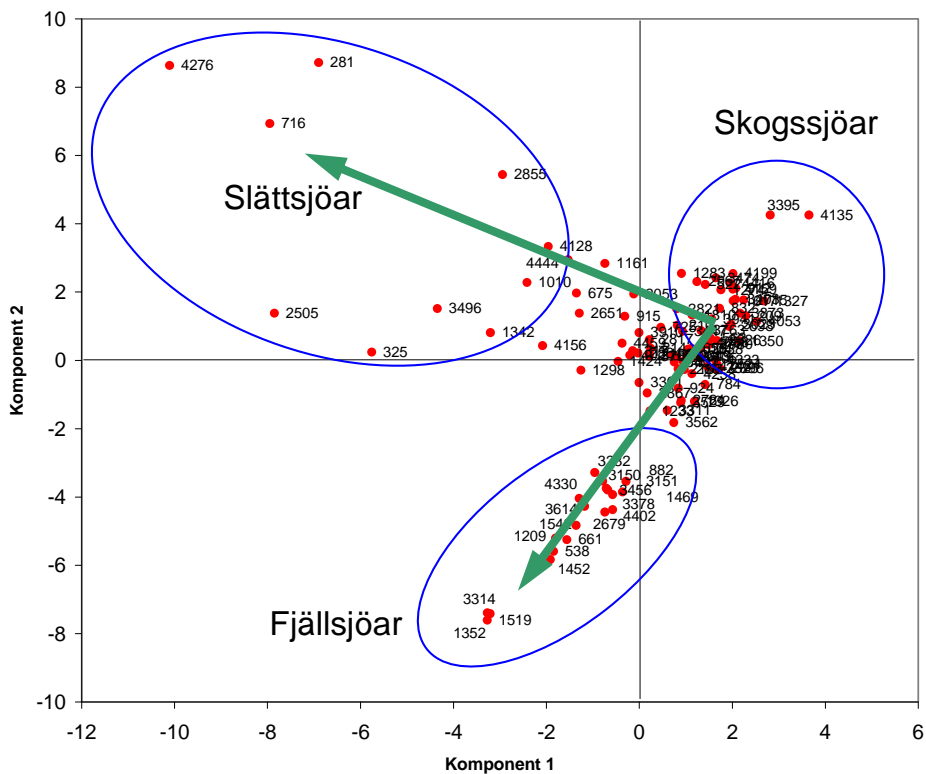
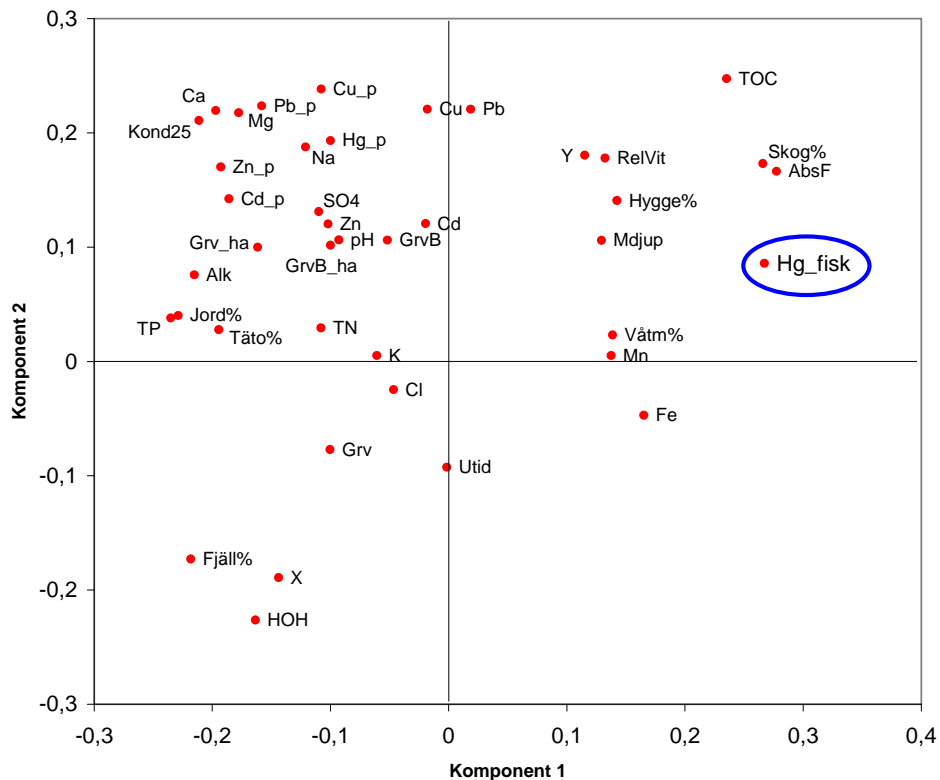


- Många variabler är korrelerade till nord- och ostkoordinaterna, vilket innebär att de uppvisar olika former av geografiska gradienter bland de 109 sjöarna. Starkast är förstås kopplingen till höjden över havet som ökar mot nordväst. Detta har i sin tur betydelse för markernas kemi, eftersom marker under högsta kustlinjen en gång varit havsbotten, vilket präglar deras kemiska sammansättning.
- Bland parametrarna som beskriver förhållandena inom sjöarnas avrinningsområden är Hg\_fisk negativt korrelerad till såväl andelen jordbruksmark (Jord%) som andelen fjäll (Fjäll%). Detta innebär att det finns en tendens i materialet att låga kvicksilverhalter främst återfinns både i områden med mycket jordbruksmark och i fjällregionen (ej statistiskt säkerställd).
- Parametrarna som beskriver förekomsten av gruvobjekt inom avrinningsområde och buffertzonen till sjöarna är i regel negativt korrelerade till Hg\_fisk (ej signifikant). En möjlig delförklaring kan vara att gruvobjekten i hög grad förekommer i områden med jordbruksmark och att sambanden därmed indirekt återspeglar en s.k. bioutspädning (jämför PCA-analysen nedan och avsnitt 4.6). En detaljgranskning av sjöar inom gruvdistrikten visar dock i flera fall på onormalt låga kvicksilverhalter i fisk, som måste ha en annan förklaringsgrund än näringsförhållandena (se avsnitt 4.2).
- Hos de vattenkemiska variablerna är Hg\_korr starkast kopplad till vattenfärgen (AbsF) på så sätt att kvicksilverhalten i gäddmuskel är högre i färgade och humusrika vatten. Det finns samtidigt en tendens till omvänd korrelation mot totalfosfor, vilket innebär att halterna i gäddmuskel är lägre i näringsrika sjöar (t.ex. i sjöar med stor andel jordbruksmark inom avrinningsområdet, se ovan).

För att få en bild av hur samtliga variabler är kopplade till varandra har matrisen med korrelationskoefficienter visualiserats i Figur 4-1 i form av en s.k. principalkomponentanalys (PCA). I denna analys framträder de gemensamma bakomliggande faktorer som styr många av variablerna. Metoden underlättar därmed tolkningen av hur olika variabler hänger ihop. Med principalkomponentanalysen får man också en bild av hur de olika sjöarna förhåller sig till varandra med avseende på dessa underliggande faktorer.

I det nedre diagrammet i Figur 4-1 kan man urskilja två huvudsakliga trender som separerar sjöarna i de tre huvudsakliga sjötyper som ringats in med blått:

- Näringsrika slättsjöar med höga halter totalfosfor och med stor andel jordbruksmark inom sina avrinningsområden samt förhöjda halter av många joner som kalcium och magnesium.
- Högt liggande fjällsjöar med relativt låga halter av både närsalter och flertalet joner.
- Humusrika skogssjöar som karaktäriseras av låga närsalthalter, höga absorptionsvärden (färgat vatten) och högt innehåll av organiskt kol (TOC).



Figur 4-1. Principalkomponentanalys (PCA) som beskriver hur kvicksilverhalten i gäddmuskel relaterar till de övriga variablerna, samt de två första principalkomponenterna som tillsammans beskriver 40% av variationen i materialet (överst). I den nedre bilden framgår hur observationerna (sjöarna) relaterar till varandra för dessa principalkomponenter. En nyckel till sjö-ID återfinns i appendix C.



Gränsen mellan dessa sjötyper är inte absolut utan bildar kontinuerliga gradienter. De mest typiska näringsrika slättsjöarna är Åsgarn<sup>h</sup> (4276) och Nedre Milsbosjön (2505). Bland fjällsjöarna utmärker sig Hävlingen, Stora Väandsjön och Klacken.

Korrelationsstrukturen hos variablerna i det övre diagrammet i Figur 4-1 bekräftar i stort den tolkning som redan gjorts av korrelationsanalysen i Tabell 4-1:

- Kvicksilverhalten i gäddmuskel (Hg\_fisk – inringad med blått) är starkast positivt korrelerad till vattenfärg (AbsF) och andel skog inom avrinningsområdet. Hg\_fisk är vidare starkast omvänt korrelerad till halten totalfosfor samt andelen fjäll inom avrinningsområdet.
- Många variabler är kopplade till näringsrikedom och förekomsten av jordbruksmark inom avrinningsområdet, t ex koncentrationen i vatten av ”huvudkonstituenterna” kalcium och magnesium, samt alkalinitet och pH. Detta gäller även variabler som beskriver förekomsten av gruvobjekt inom delavrinningsområdet, t ex Grv\_ha.

## 4.2 Avvikande låga kvicksilverhalter i några gruvområden

Enligt analysen ovan tenderar alltså kvicksilverhalten att vara låg i fisk i vattenområden nära gruvobjekt. Då gruvobjekten ligger i jordbruksdistrikt kan näringsrikedom vara en viktig delförklaring för detta eventuellt skenbara samband (se avsnitt 4.6). Men även i gruvnära sjöar med i huvudsak skog inom avrinningsområdet finns flera exempel på onormalt låga kvicksilverhalter i fisk. En sådan sjö är Gruvsjön i Garpenberg där gädda infångades och analyserades på 1970- och början av 1980-talet i Livsmedelsverkets regi<sup>6</sup>. Genomsnittshalter i gäddor uppmättes till 0,05-0,07 mg/kg (medelvikt 0,5-1 kg). Ännu lägre kvicksilverhalt uppmättes i den nedströms liggande Åsgarn, som förutom att vara recipient för gruvområdet även omgärdas av jordbruksmark.

Som framgår av Tabell 3-2 ligger den genomsnittliga kvicksilverhalten i gädda från sjöar inom Dalälvens avrinningsområde på drygt 0,5 mg/kg (1-kg gädda) i det urval som denna rapport grundar sig på. Allmänt sett varierar medelhalterna mellan 0,5 och 1 mg/kg i gädda från Dalarna<sup>7</sup>. Kvicksilverhalter lägre än 0,2 mg/kg klassificeras som ”mycket låga, naturligt förekommande halter”. Kvicksilverhalterna i gädda från Gruvsjön och Åsgarn får alltså betraktas som ytterst låga<sup>i</sup>.

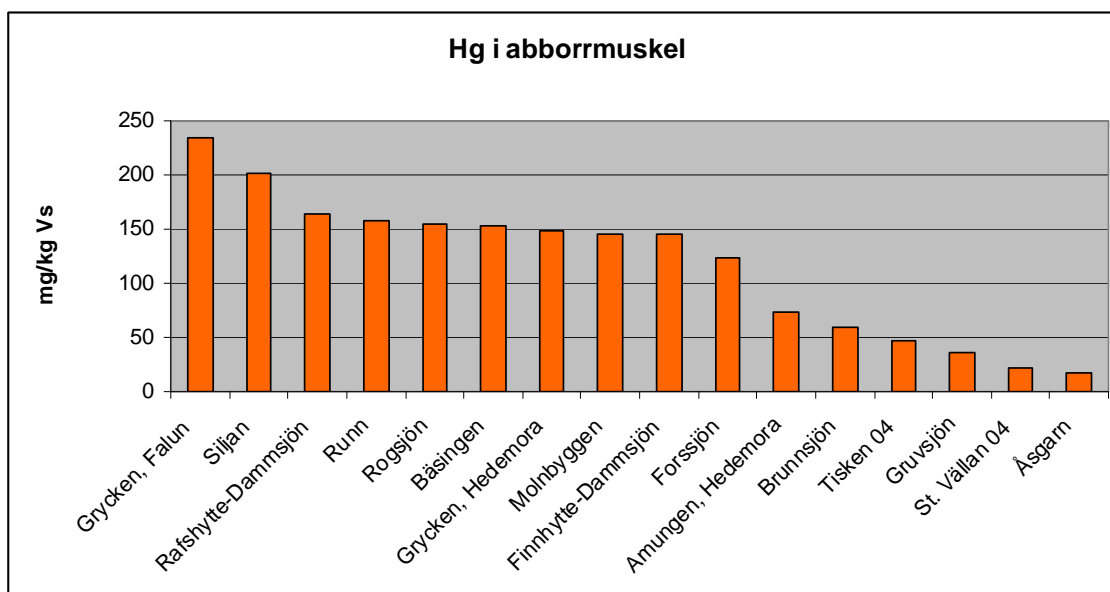
Inom ramen för vattenvårdsföreningens kontrollprogram infångades och analyserades abborre från 14 sjöar av olika karaktär i Dalälven hösten 2006. I Figur 4-2 presenteras kvicksilverhalten i muskel från denna studie tillsammans med motsvarande resultat för abborre fångad två år tidigare i de metallrika sjöarna Tisken och Stora Vällan nära

---

<sup>h</sup> I Åsgarn finns det dock även en annan faktor som orsakar låga kvicksilverhalter i fisk, se avsnitt 4.2.

<sup>i</sup> Den allra lägsta kvicksilverhalt som veterligen uppmätts i gädda i Sverige registrerades av Livsmedelsverket under 1970-talet i Sävsjön nära Zinkgruvan i Örebro län. Här uppmättes 0,02 mg/kg som genomsnitt i muskel hos fem gäddor med medelvikten 0,6 kg. Zinkhalten i sjöns sediment var ca 2 %. I Ösjön, som är en avsnörd del av Runn, uppmättes 0,03 mg/kg kvicksilver som genomsnitt i elva gäddor med medelvikten 0,6 kg år 1982. I en enskild gädda var halten så låg som 0,002 mg/kg.

Falun<sup>8</sup>. Av figuren framgår att lägst kvicksilverhalt förekommer i abborre från de fyra omnämnda ”gruvsjöarna”. Anmärkningsvärt nog avviker Runn vid Falun från denna bild genom att istället uppvisa normala kvicksilverhalter.



Figur 4-2. Kviksilverhalten i muskulatur hos abborre 17-20 cm infångad i sjöar i Dalälven sommaren 2006, respektive 2004 för två av sjöarna.

Orsaken till den avvikande låga kvicksilverhalten i fisk i många sjöar med höga metallhalter (mestadels andra än kvicksilver) är inte klarlagd. Gemensamt för sjöarna är att de alla har förhöjda zinkhalter i vatten och sediment. En teori som framlagts är att zink på något sätt verkar antagonistiskt mot kvicksilver vid upptaget i fisken<sup>9 & 10</sup>. Om så är fallet måste det finnas någon annan omständighet som gör att Runn avviker från mönstret<sup>j</sup>.

Eftersom andra metaller inte ackumuleras i fiskkött i nämnvärd grad<sup>k</sup>, leder den avvikande lägre kvicksilverhalten till den något paradoxala omständigheten att fisk från flertalet ”gruvsjöar” innehåller mindre mängd skadliga metaller än fisk från andra dalasjöar.

#### 4.3 Går det att skapa en prediktionsmodell för kvicksilver i gädda?

Den kunskap som korrelationsanalysen ovan genererat om vilka faktorer som styr kvicksilverhalten i fiskvävnad har vi försökt att använda för att extrapolera resultaten till områden där analyser av halter i fisk inte gjorts. Med hjälp Partial Least Squares modellering (PLS), som är en multivariat regressionsmetod besläktad med PCA, har ett samband tagits fram som beskriver kvicksilverhalten baserad på de tre

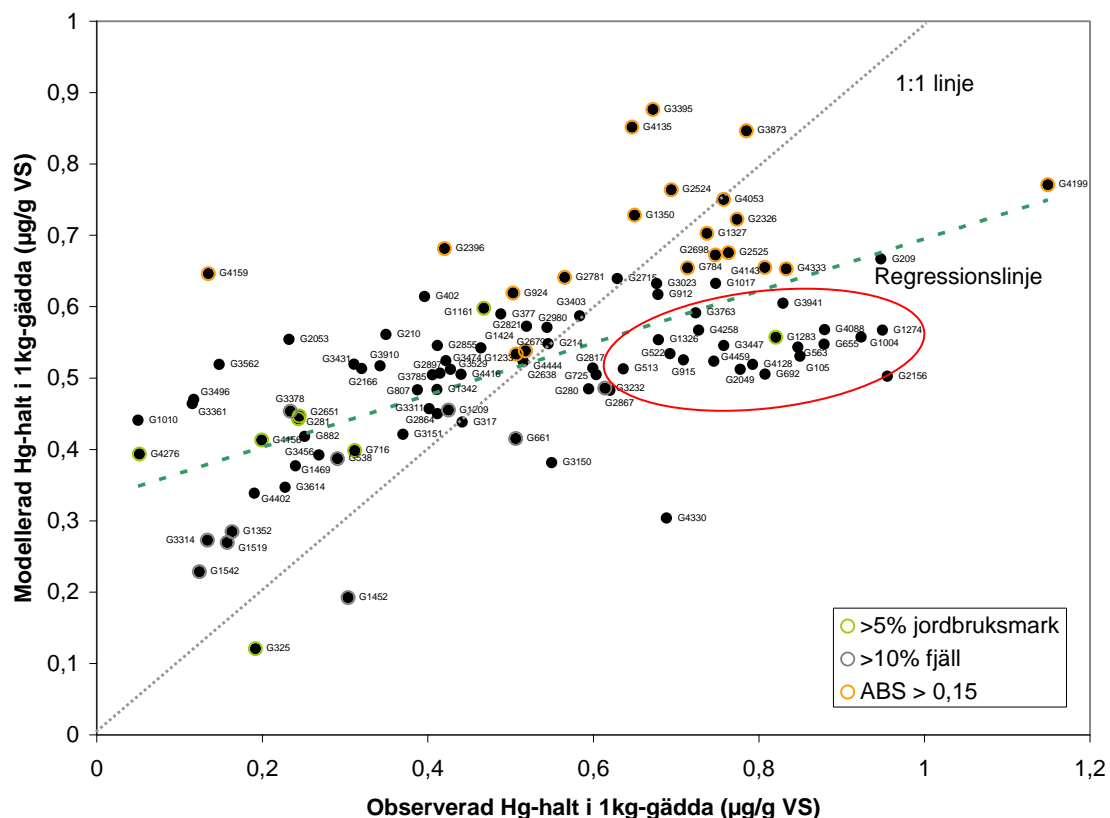
<sup>j</sup> Ännu lägre kvicksilverhalt, ungefär halva nivån för 2004, uppmättes i abborre från Tisken 7 år tidigare, år 1997. Under denna period minskade zinkhalten i Tisken med ca ¾ genom utsläpps begränsande åtgärder. Om detta haft betydelse för kvicksilverhalten i fisk är inte klarlagt. I Runn har inga förändringar registrerats under samma period.

<sup>k</sup> Vi har visserligen registrerat en tydlig ökning av kadmiumhalten i fiskkött i några ”gruvsjöar”. Men trots detta har halten inte varit högre än i exempelvis svensk potatis och vetemjöl.

omgivningsvariablerna höjd över havet (HOH), vattenfärg (AbsF) och totalfosforhalt (TP).

$$\text{Hg} = 0,52 - 0,0031 * \text{HOH} + 1,6 * \text{AbsF} - 0,0052 * \text{TP}$$

Modellen är dock svag och visar sig beskriva endast 35 % av variationen i kvicksilverhalt i gädda. Detta lämnar så mycket som 65 % av variationen oförklarad. I Figur 4-3 har beräknad halt enligt denna modell avsatts mot observerad halt i de sjöar där gädda infångats och analyserats. Som framgår av figuren är spridningen betydande, men punktsvärmen bildar ändå en ökande trend enligt den grönstreckade regressionslinjen. Markeras de datapunkter som representerar de mest färgade vatten (AbsF > 0,15; orange färg), de med högst fjällandel (>10%; grå färg) samt med högst andel jordbruksmark (>5%; grön färg) framträder ett mönster där de humusrika sjöarna och fjällsjöarna radat upp sig längs 1:1-linjen, medan de jordbruksdominerade sjöarna avviker i högre grad. Modellen fungerar alltså förhållandevis bra för skogs- och fjällsjöar, men sämre för näringsrika sjöar där halterna ofta överskattas. En möjlig förklaring är att gruvdistrikten, där avvikande låga kvicksilverhalter registrerats i flera fall, sammanfaller med jordbruksdistrikten.

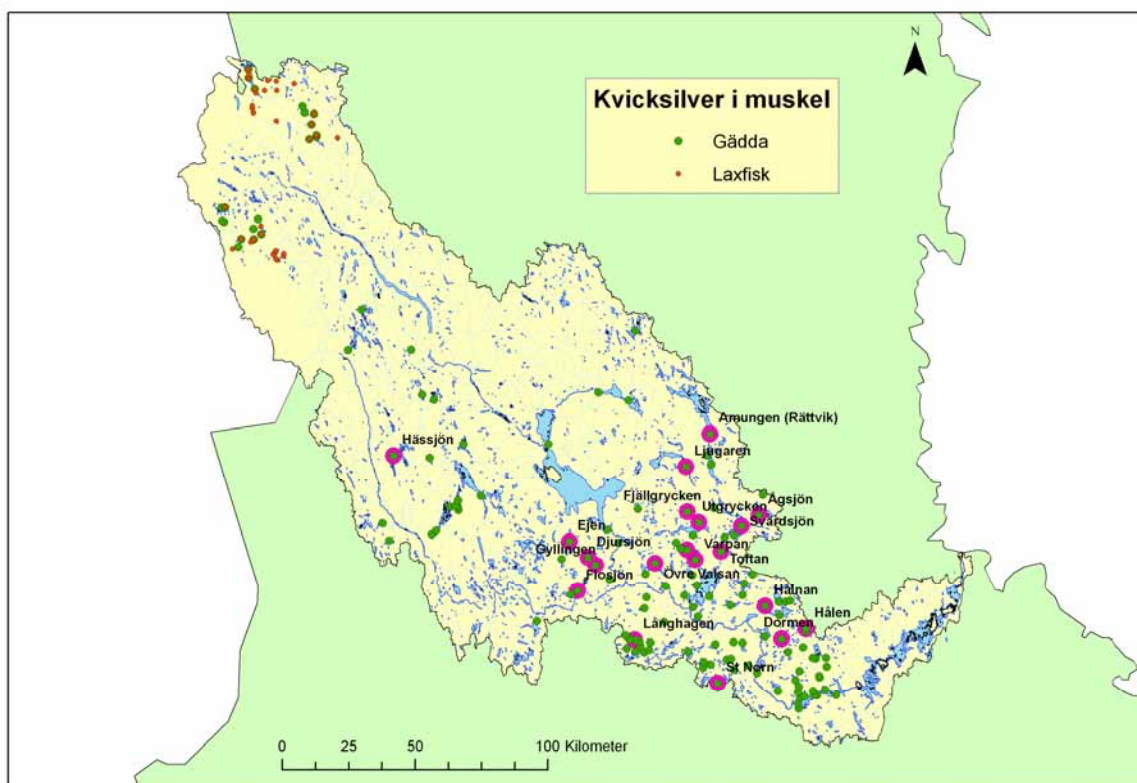


Figur 4-3. Modellerade kvicksilverhalter i gäddmuskel avsatta mot observerad halt. Regressionslinjen baseras på samtliga punkter, medan 1:1-linjen visar var punkterna borde hamna i en perfekt modell. Modellen beskriver totalt 35 % av variationen hos observerade kvicksilverhalter. En datapunkt ligger utanför diagrammet där den modellerade halten blev negativ på grund av avvikande hög fosforhalt på 144 µg Tot-P/l i nedre Milsbosjön (2505). Med hjälp av sjönumret som visas vid respektive punkt kan sjöarna identifieras i appendix B.

Det går inte att ta fram en bättre linjär prediktionsmodell än denna baserat på tillgängliga omgivningsfaktorer, dvs med mer än cirka 35 % förklaringsgrad för samtliga sjötyper inom Dalälvens avrinningsområde<sup>1</sup>. Om kunskapen om vad det är som styr kvicksilverhalten i slättsjöarna ökar, kan denna information användas för att ta fram en bättre modell för dessa sjötyper.

Det kvarstår också en relativt stor grupp sjöar (markerade med en röd oval) där kvicksilverhalten underskattas av oklar anledning. Merparten av dessa sjöar grupperar sig i området mellan Siljan och Runn i den sydöstra delen av avrinningsområdet enligt Figur 4-4. Detta sammanfaller med det område där gruv- och hyttverksamheten varit som mest intensiv. Det ligger därför nära till hands att anta att samma mekanismer som för "gruvsjöarna" i föregående avsnitt 4.2 ligger bakom att kvicksilverhalten är något lägre i dessa sjöar än den "borde" vara.

Slutsatsen är att prediktionsmodellen för kvicksilverhalt i gäddmuskel främst skulle kunna vara användbar i skogssjöar utan annan metallpåverkan. För näringsrika sjöar i jordbruksområdena samt metallbelastade sjöar måste kunskapen om styrande faktorer utredas vidare för att det ska vara möjligt att ta fram en relevant prediktionsmodell.



Figur 4-4. Geografiskt läge och namn på de sjöar som grupperar sig inom den röda ovalen i Figur 4-3. Dessa är markerade med lila ring.

<sup>1</sup> För enbart skogs- och fjällsjöar är förklaringsgraden högre.

#### 4.4 Omgivningsfaktorerers betydelse för Zn, Cu, Pb och Cd i levervävnad hos abborre

På motsvarande sätt som för kvicksilver i gädda har styrande faktorer för metallerna zink, koppar, bly och kadmium i fiskvävnad undersökts med hjälp av korrelations- och principalkomponentanalyser (PCA). På grund av att antalet observationer där dessa metaller analyserats är betydligt färre än för kvicksilver, blir korrelationsanalysen mer osäker. En sådan har gjorts för både muskel och lever hos abborre och laxfisk. Av olika anledningar har vi bedömt det vara mest relevant att redovisa korrelationsanalysen för metaller i abborrlever<sup>m</sup>.

I Tabell 4-2 har korrelationskoefficienter sammanställts för flertalet ingående variabler och metallhalter i abborrlever. Ur tabellen kan följande utläsas:

- Värt att notera är att samband saknas mellan halten av en metall i lever och samma metall i muskel hos fiskar från samma sjö. En metallhaltsförhöjning i levern behöver således inte innebära en förhöjning av samma metall i fiskens muskelvävnad<sup>n</sup>.
- Däremot verkar en haltförhöjning av en metall i levern ofta vara sammankopplad med motsvarande förhöjning av en eller flera av de övriga metallerna i samma vävnad (eftersom korrelationskoefficienterna är enbart positiva - sambanden är dock inte statistiskt signifikanta). Svagast verkar kopplingen vara mellan bly och övriga metaller.
- Det verkar finnas en koppling mellan förekomsten av gruvobjekt i sjöarnas buffertzoner och koncentrationen av kadmium, koppar och möjligen zink i abborrlever (genomgående positiva koefficienter). Däremot är ett sådant samband obefintligt för bly.
- Anmärkningsvärt nog finns det inga signifikanta samband i materialet mellan förekomsten av en metall i fisklever och halten av samma metall i det omgivande vattnet.
- Inte heller syns några samband mellan halter av dessa metaller i fisk och flertalet övriga vattenkemiska variabler med undantag för mangan som är positivt korrelerad till samtliga metaller (signifikant för Pb och positiva koefficienter för övriga metaller). Vi har ingen förklaring till denna koppling till mangan.

För att ytterligare reda ut och tydliggöra eventuella underliggande samband mellan metaller i fiskvävnad och olika omgivningsfaktorer gjordes på samma sätt som för kvicksilver principalkomponentanalyser (PCA). Förutom för lever i abborre presenteras även en PCA för muskel i laxfisk:

---

<sup>m</sup> Den främsta orsaken till bortselekteringen är för muskel i abborre att antalet observationer är få, och för muskel och lever i laxfisk att de representerar ett mycket begränsat geografiskt område där det dessutom finns indikationer på mineraliseringar.

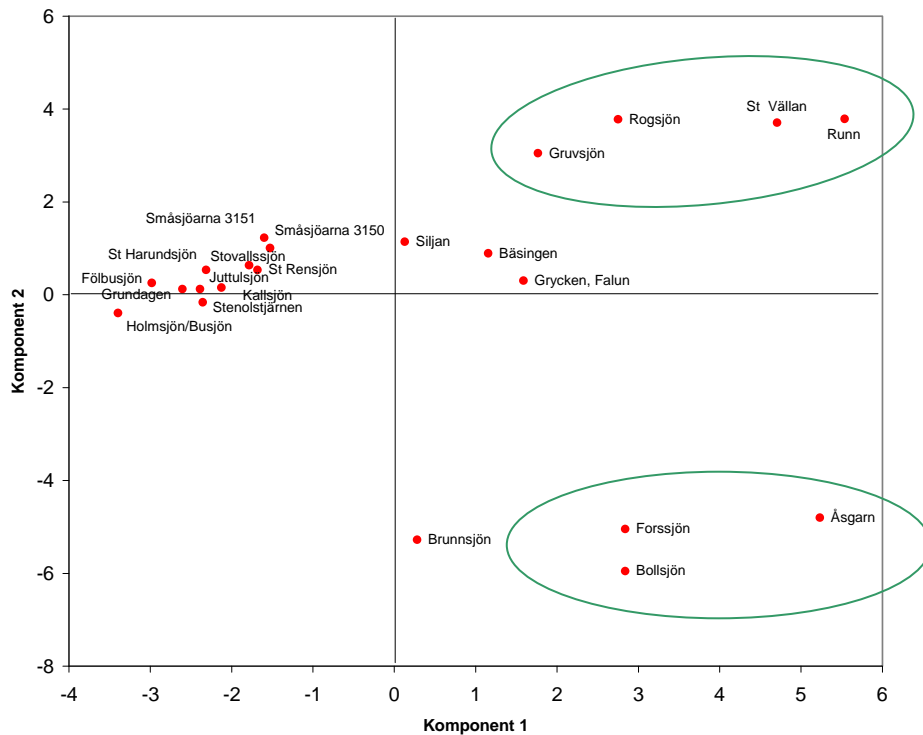
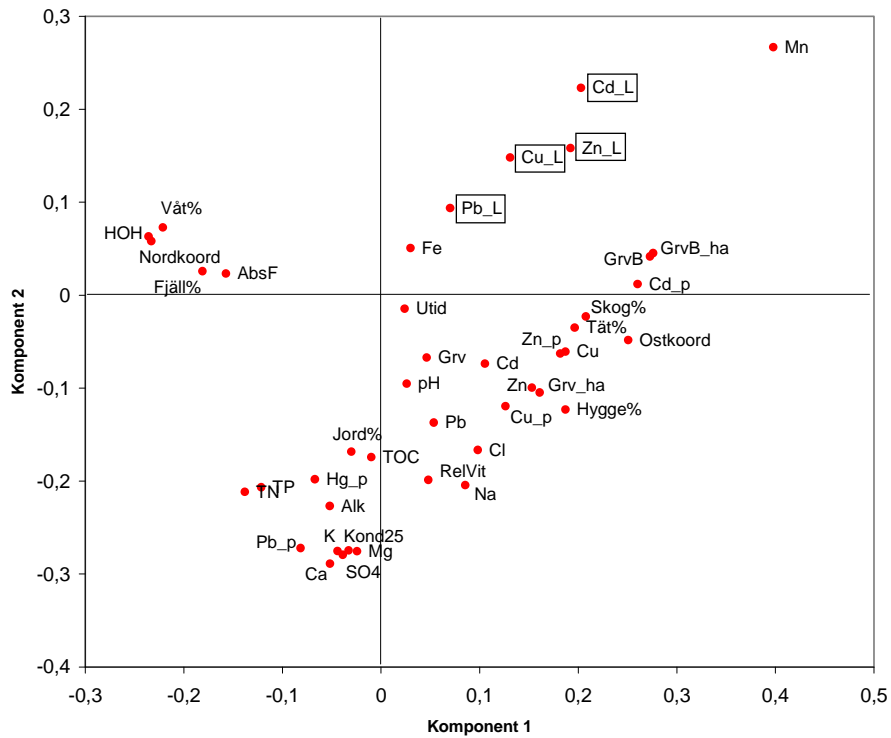
<sup>n</sup> Jämförelser har gjorts mellan lever och muskel för både enskilda individer och samlingsprov av flera fiskar.

Tabell 4-2. Sammanställning av korrelationskoefficienter (Pearson) för metallhalt i vävnad (gul markering), fysiska omgivningsfaktorer (grön markering), förekomst av gruvobjekt inom avrinningsområdet (orange markering), samt vattenkemiska variabler (grå markering). Statistiskt signifikanta samband (Bonferronikorrigerade sannolikheter  $P < 0,05$ ) är fetmarkerade.

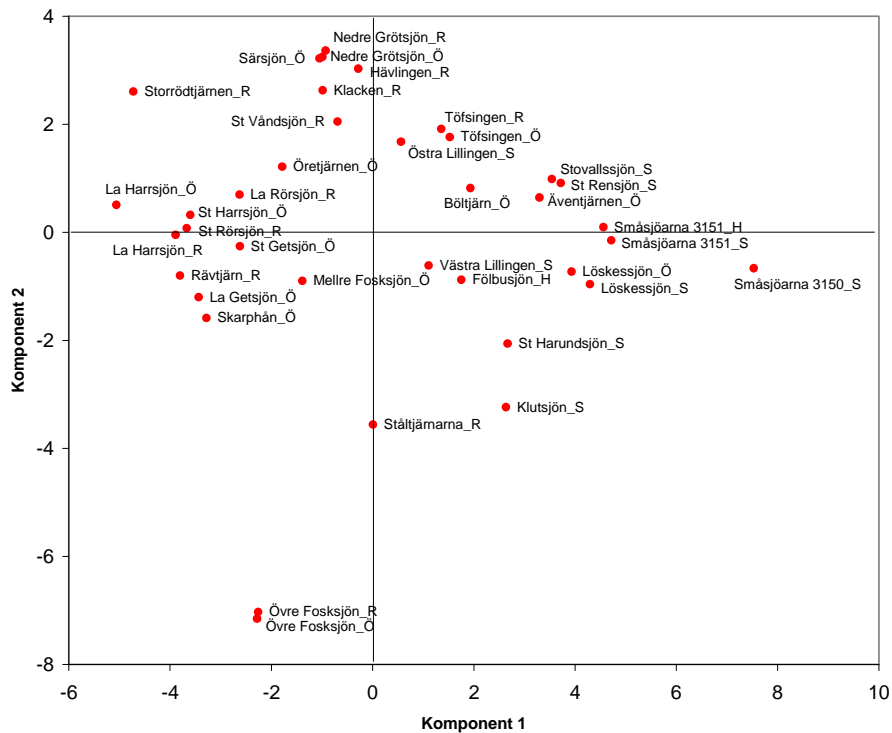
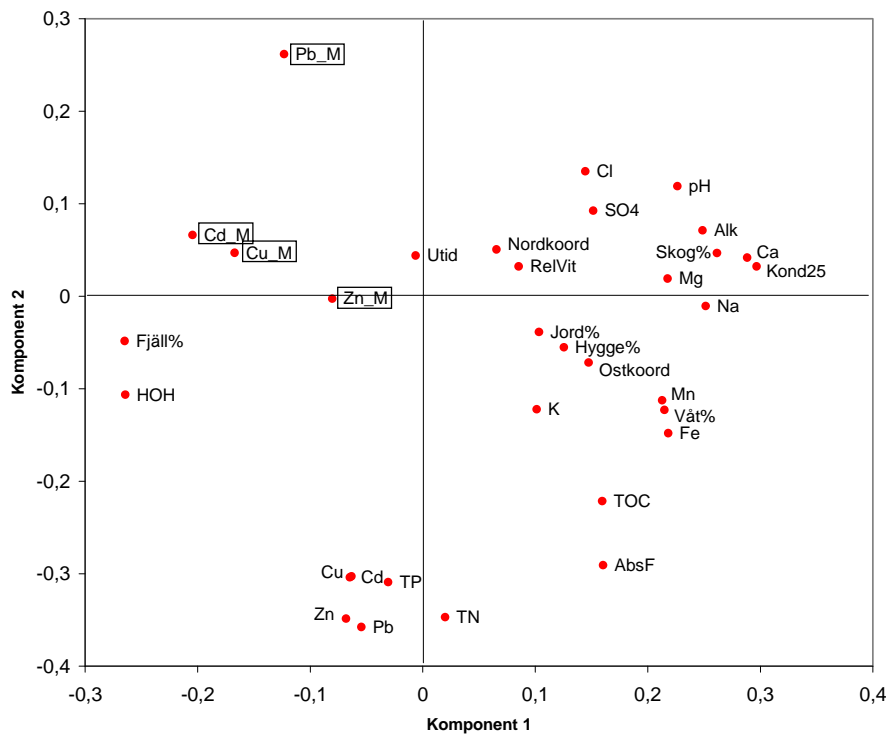
- PCAn över metallhalt i abborrlever i Figur 4-5 säger inte så mycket mer än att det finns en tydligt geografisk gradient i materialet. Metallhalterna i abborrlever är till viss del kopplade till denna gradient som också visar på förekomsten av gruvobjekt inom avrinningsområdena. Bland de sjöar där fisken innehåller förhöjda metallhalter i lever syns dock en tydlig skillnad, som markerats med de gröna ellipserna i det nedre diagrammet. Detta kan tokas som att halterna i levervävnad är högre i de näringsfattiga sjöarna Stora Vällan och Runn, jämfört med exempelvis de förhållandevis näringsrika sjöarna Forssjön och Bollsjön. Denna skillnad är mest accentuerad för kadmium, följt av zink och relativt obefintlig för bly. Alla sjöarna ligger inom gruvdistrikt, de två förstnämnda nära Falun och de sistnämnda nedströms Garpenberg.
- PCAn över metallhalt i laxfisk i Figur 4-6 visar att kopplingen är svag mellan halter i muskel och halter i vatten<sup>o</sup>. Halten i muskel verkar dock vara negativt korrelerad till pH och alkalinitet, samt positivt korrelerad till höjden över havet. Detta gäller framförallt kadmium och innebär att högst halter uppträder i muskelvävnad i sjöar med lågt pH och låg alkalinitet, och att dessa sjöar återfinns företrädesvis på hög höjd. Blyhalten i muskelvävnad uppvisar ett mönster som skiljer sig från de övriga metallerna i analysen genom att blyhalten i muskel är omvänt korrelerad till näringstillgång och förekomst av metaller i vattnet. Detta mönster är mest uttalat i Övre Fosksjön för både röding och öring.

Variabel	Förkortning	Abborre lever			
		Pb	Cu	Cd	Zn
Bly (muskel) <sup>A</sup>	Pb_M	-0,18	0,33	-0,33	-0,20
Koppar (muskel) <sup>A</sup>	Cu_M	0,49	-0,22	0,35	0,32
Kadmium (muskel) <sup>A</sup>	Cd_M	0,65	-0,34	0,44	0,43
Zink (muskel) <sup>A</sup>	Zn_M	0,30	-0,39	0,00	0,14
Bly (lever) <sup>A</sup>	Pb_L	1	0,35	0,65	0,54
Koppar (lever) <sup>A</sup>	Cu_L	0,35	1	0,65	0,84
Kadmium (lever) <sup>A</sup>	Cd_L	0,65	0,65	1	0,85
Zink (lever) <sup>A</sup>	Zn_L	0,54	0,84	0,85	1
Nordkoordinat	Nordkoord	-0,30	-0,19	-0,41	-0,33
Ostkoordinat	Ostkoord	0,31	0,20	0,43	0,37
Höjd över havet	HOH	-0,27	-0,19	-0,43	-0,33
Uppehållstid	Utidad	-0,10	0,00	0,19	-0,07
Tätort %	Tät%	-0,01	0,37	0,24	0,34
Skogsmark %	Skog%	0,22	0,23	0,34	0,30
Hygge%	Hygge%	0,19	0,16	0,33	0,28
Våtmark %	Våt%	-0,17	-0,25	-0,35	-0,35
Jordbruksmark %	Jord%	-0,03	-0,03	-0,10	0,01
Fjäll %	Fjäll%	-0,17	-0,23	-0,25	-0,30
Relativ vittring	RelVit	0,06	-0,01	0,12	0,06
Nederbörd	Neder	-0,31	-0,39	-0,61	-0,50
Antal gruv-objekt	Grv	-0,05	-0,08	0,16	0,11
Antal gruv-objekt per ha	Grv_ha	-0,03	0,36	0,13	0,32
Antal gruv-objekt i buffertzonen	GrvB	-0,05	0,19	0,60	0,42
Antal gruv-objekt i buffertzonen per ha	GrvB_ha	0,00	0,50	0,36	0,46
Pb belastning	Pb_p	-0,07	-0,12	-0,17	-0,06
Cu belastning	Cu_p	-0,09	0,02	0,28	0,26
Cd belastning	Cd_p	-0,02	0,54	0,26	0,48
Zn belastning	Zn_p	-0,03	0,40	0,15	0,36
pH	pH	-0,01	0,09	-0,01	0,07
Konduktivitet	Kond25	-0,06	-0,08	-0,11	0,02
Alkalinitet	Alk	-0,06	-0,03	-0,16	0,00
Absorbans	AbsF	0,19	-0,31	-0,20	-0,32
Totalkväve	TN	-0,18	-0,24	-0,20	-0,16
Totalfosfor	TP	-0,07	-0,14	-0,26	-0,13
Totalt organiskt kol	TOC	0,22	-0,09	-0,04	-0,01
Kalcium	Ca	-0,05	-0,08	-0,14	-0,03
Magnesium	Mg	-0,02	-0,05	-0,08	0,01
Natrium	Na	0,07	0,11	0,11	0,18
Kalium	K	-0,02	-0,06	-0,10	-0,01
Sulfat	SO4	-0,04	-0,09	-0,11	-0,02
Klorid	Cl	0,05	0,17	0,11	0,20
Järn	Fe	0,31	-0,13	0,12	0,00
Mangan	Mn	<b>0,91</b>	0,44	0,84	0,67
Bly (vatten)	Pb	0,15	-0,06	0,10	0,13
Koppar (vatten)	Cu	-0,04	0,01	0,49	0,36
Kadmium (vatten)	Cd	-0,11	-0,11	0,37	0,21
Zink (vatten)	Zn	-0,07	-0,04	0,41	0,32

<sup>o</sup> Det bör observeras att laxfisken endast representerar ett begränsat geografiskt område i Dalälvens nordvästra avrinningsområde.



Figur 4-5. Principalkomponentanalys (PCA) av metallhalter i abborrlever samt omgivningsfaktorer. Det övre diagrammet visar hur variablerna förhåller sig till varandra och till de två första principalkomponenterna som beskriver sammanlagt 57 % av den totala variationen. I det nedre diagrammet framgår hur de olika sjöarna förhåller sig till varandra och till principalkomponenterna. De gröna ellipserna markerar två huvudsakliga grupper metallbelastade sjöar som främst skiljer sig med avseende på näringsstillgång.



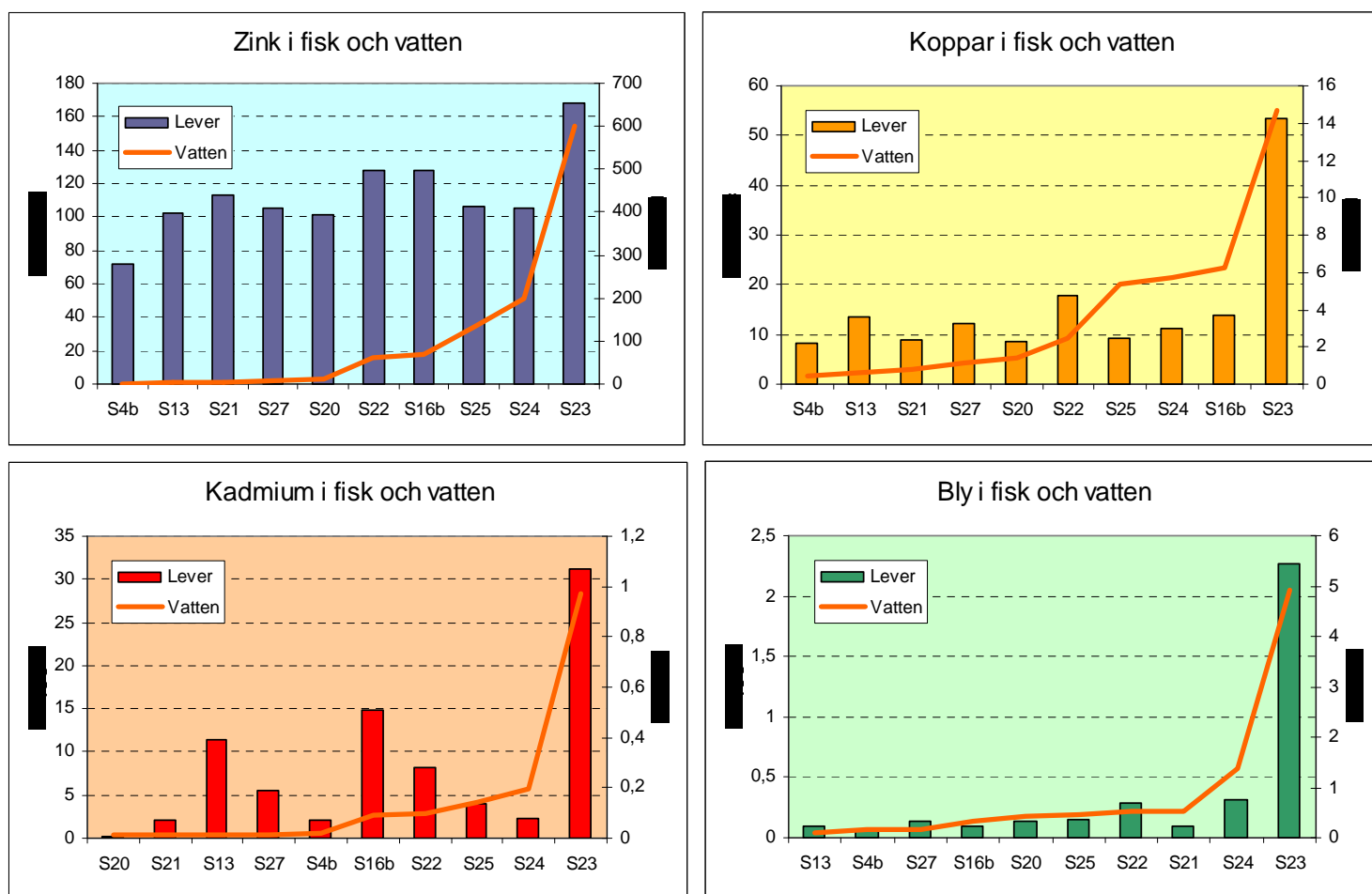
Figur 4-6. Principalkomponentanalys (PCA) av metallhalter i muskeltvävnad från laxfisk samt omgivningsfaktorer. Det övre diagrammet visar hur variablerna förhåller sig till varandra och till de två första principalkomponenterna som beskriver sammanlagt 49 % av den totala variationen. I det nedre diagrammet framgår hur de olika sjöarna förhåller sig till varandra och till principalkomponenterna.



## 4.5 Exempel på samband mellan metaller i fisk och metaller i vatten

Analyserna ovan tyder på att det kan finnas ett samband mellan förekomsten av gruvavfall och halten av flera metaller i abborrlever, främst kadmium och koppar. Men samtidigt visar analysen på endast svaga eller obefintliga samband mellan metallhalter i vatten och fisk. För att exemplifiera dessa något motstridiga resultat återges i Figur 4-7 några exempel från vattenvårdsföreningens senaste undersökningsresultat.

Uppmätta metallkoncentrationer i lever hos abborre kan jämföras med motsvarande halter i vatten i samma sjöar. Bland sjöarna ingår både (av kända metallkällor) helt opåverkade referenssjöar och hårt metallbelastade sjöar i gruvdistrikten.



Figur 4-7. Metallhalter i vatten och i fiskvävnad i sjöar i Dalälven som ingår i DVVF:s mätprogram. Halter i vatten avser medelvärde för 2004-2006 medan halter i fisk avser samlingsprov av lever från 10 abborrar per sjö (17-20 cm) fångade hösten 2006. Sjöarna är sorterade på basis av metallhalt i vatten<sup>p</sup>.

<sup>p</sup> S4b = centrala Siljan, S13 = Rogsjön, S16b = centrala Runn, S20 = Brunnsjön, S21 = Rafshytte-Dammsjön, S22 = Finnhytte-Dammsjön, S23 = Gruvsjön, S24 = Åsgarn, S25 = Forssjön & S27 = Bäsingen.

Med reservation för att antalet sjöar är relativt litet görs här några reflektioner och försök att förklara de observerade mönstren:

- Gruvsjön i Garpenberg, S23, utmärker sig för samtliga metaller genom att uppvisa kraftigt förhöjda metallhalter i vatten. Här har också högst metallhalter i abborrlever registrerats för alla metaller.
- Om man undantar Gruvsjön förekommer dock inget generellt samband mellan metallhalt i vatten och abborrlever för zink, koppar och kadmium. Även vid påtagliga haltförhöjningar i vatten, över 10 gånger jämfört med den lägsta koncentrationen för koppar och kadmium respektive 100 gånger för zink, noteras inga generella metallhaltsförhöjningar i levern som kan kopplas till motsvarande halt i vattnet. För den skull finns tecken på metallhaltsförhöjningar i abborre i några av sjöarna med förhöjda metallhalter i vatten, exempelvis Finnhytte-Dammsjön, S22, och centrala Runn, S16b.
- För de essentiella metallerna zink och koppar kan en ”bakgrunds nivå” skönjas i levervävnaden, som för zink verkar ligga på nivån 100 µg/g och för koppar på nivån 10 µg/g. Detta utgör förmodligen den haltnivå, inklusive lagrat ”reservkapital” som behövs för vävnadernas uppbyggnad och funktion<sup>q</sup>.
- Bly är den enda metall för vilken det möjligen finnas en koppling mellan metallhalt i vatten och fisk i detta material<sup>r</sup>.

#### 4.6 Exempel på samband mellan metaller i fisk och närsalter i vatten

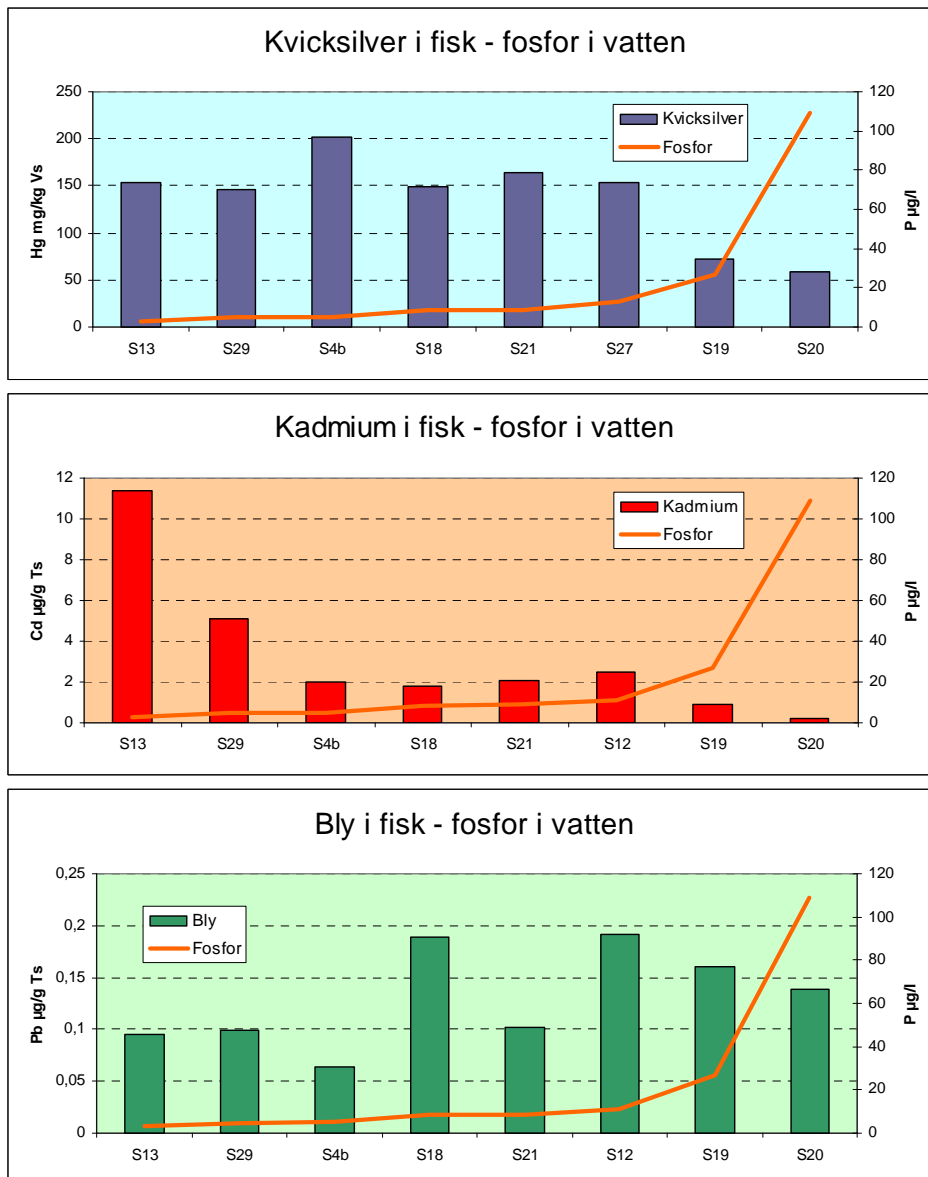
Som redan framgått av de ovan presenterade analyserna, verkar det finnas ett svagt negativt samband mellan metallhalter i fiskvävnad och näringsrikedom i det vatten där fisken lever. Den enklaste förklaringen på fenomenet brukar benämnas ”bioutspädning” och beror, som namnet säger, på en utspädning av metallerna i den större biomassa som finns i näringsrika sjöar jämfört med näringsfattiga. Men även andra mekanismer kan vara verksamma såsom en ökad förekomst av komplexbildande ämnen liksom av andra positiva joner som kan konkurrera med metallerna om bindningsställena hos fisken.

För att åskådliggöra sambandet mellan näringshalt och metallförekomst i den undersökta fisken från Dalälven återges i Figur 4-8 några exempel från vattenvårdsföreningens senaste undersökningsresultat på motsvarande sätt som ovan för metaller i vatten och fisk. Dock har alla sjöar intill och nedströms gruvområden sorterats bort. Med reservation för att antalet sjöar i detta fall är ännu mindre än ovan, görs följande reflektioner och försök till sambandsanalys:

---

<sup>q</sup> I fisk, liksom i flertalet andra högra stående organismer, finns enzym som har till sin främsta uppgift att lagra essentiella metaller för framtida behov, exempelvis metallotioniner. Den förhållandevis låga zinkhalten på 70 µg/g i abborre från centrala Siljan, S4b, väcker frågan om detta möjligen kan vara tecken på zinkunderskott i sjön

<sup>r</sup> När motsvarande jämförelse görs för abborre som fångades och analyserades fem år tidigare i samma sjöar märks inte detta generella samband för bly mellan halt i vatten och abborrlever.



Figur 4-8. Metallhalter i fiskvävnad och fosforhalter i vatten i sjöar i Dalälven som ingår i DVVF:s mätprogram. Fosforhalter i vatten avser medelvärde för 2004-2006 medan halter i fisk avser samlingsprov av muskel (Hg) respektive lever (Cd & Pb) från 10 abborrar per sjö (17-20 cm) fångade hösten 2006. Sjöarna är sorterade på basis av fosforhalt i vatten. Sjöar intill och nedströms gruvområden har bortsorterats<sup>s</sup>.

- Kvicksilverhalten i abborrmuskel är förhållandevis konstant i alla sjöar med en fosforhalt i vattnet lägre än 20 µg/l. I de två näringsrikaste sjöarna uppmättes däremot kvicksilverhalter som var 50-75 % lägre än i de övriga.

<sup>s</sup> S4b = centrala Siljan, S13 = Rogsjön, S18 = Grycken, Hedemora, S19 = Amungen, Hedemora, S20 = Brunnsjön, S21 = Rafshytte-Dammsjön, S29 = Molnbyggen.

- För kadmium framträder en bild som tyder på att sjöarnas näringsförhållanden har stor betydelse för haltnivån i abborrlever. Skillnaden i kadmiumhalt mellan den näringsfattigaste och näringsrikaste sjön är mer än 50 gånger. Emellertid kan den näringsfattiga Rogsjön (S13) inte betraktas som helt opåverkad av metaller eftersom det enligt länsstyrelsens inventering finns rester av äldre tiders hyttverksamhet inom dess avrinningsområde<sup>4</sup>. Även med denna reservation framträder dock ett tydligt negativt samband mellan fosforhalt och kadmiumhalt i fiskelever.
- Något sådant samband kan dock inte skönjas för bly i abborrlever, som i detta material är helt oberoende av näringsförhållandena i vattnet.

## 5 Förändring i tiden i några sjöar

I detta avsnitt beskrivs om, och i så fall hur, metallhalten i fisk förändrats under de senaste decennierna i några sjöar inom Dalälvens avrinningsområde.

### 5.1 Grycken, Falun

#### 5.1.1 Allmänt om sjön och pappersbruket

Grycken ingår i Faluans vattensystem, som via sjöarna Varpan och Runn leder ut i Dalälven. Sjön har ett måttligt färgat vatten och en förhållandevis låg näringshalt. Dess yta är 2,6 km<sup>2</sup> och maximala djupet uppgår till ca 20 meter<sup>11</sup>. Sjöns proportioner gör att vattnet skiktar sig varje vinter och sommar på grund av temperaturskillnader i yt- och bottenvattnet.

Grycksbo pappersbruk använder Grycken som recipient för sitt renade avloppsvatten. För flera decennier sedan var dock reningen betydligt sämre än idag. Vid pappersbruket fanns fram till slutet av 1970-talet även en sulfittfabrik som släppte ut stora mängder syreförbrukande ämnen till sjön. Dessa ämnen förelåg dels i löst form och orsakade akut syrebrist i sjön, dels i fast form som cellulosafiber vilka täckte delar av sjöns botten. Än idag finns cellulosafiber kvar på vissa ytor, vilket är en bidragande orsak till att syreförhållandena i bottenvattnet är mycket ansträngda sommartid.

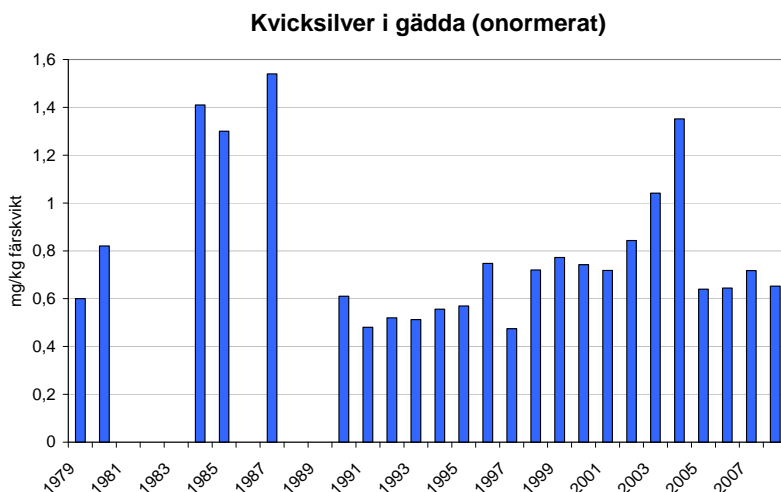
Ett annat miljöproblem som drabbade sjön var kvicksilver, som i form av fenyalkvicksilver användes vid bruket för slembekämpning. Även rester av detta hamnade i sjön, där det i huvudsak bands till bottensedimenten. Här riskerar kvicksilvret att omvandlas till metylkvicksilver, som är den form som huvudsakligen tas upp av fisken.

Idag är kvicksilverhalten i Gryckens ytliga bottensediment förhöjd, men ändå inte särskilt hög jämfört med många andra kvicksilverkontaminerade botten i landet. Men enligt vad vi känner till från litteratur och laboratorieförsök är risken störst för att metylkvicksilver ska bildas i gränzonen mellan syrerika och syrefattiga miljöer, dvs i en sådan miljö som råder sommartid i Gryckens botten nära vatten. Därför riktas fortfarande särskild uppmärksamhet mot att följa kvicksilvrets utveckling i sjön genom att gäddor (och abborrar) årligen infångas och analyseras på kvicksilver i muskulaturen.

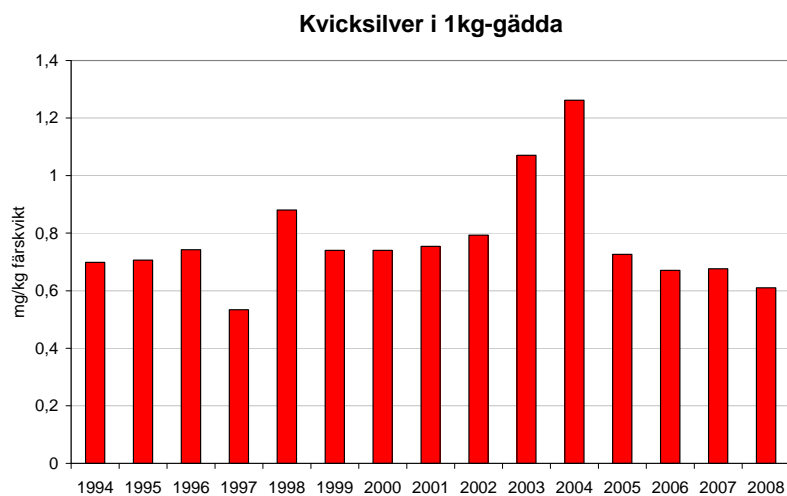
#### 5.1.2 Utvecklingen för kvicksilver i gädda

Utvecklingen hos kvicksilverhalten i gädda från Grycken sedan slutet av 1970-talet kan följas i Figur 5-1. Fram till sulfittfabrikens nedläggning 1978 var syreförhållandena i sjön så dåliga att det tidvis var syrebrist i nästan hela sjöns vattenmassa. Åren därefter följde en tillfriskning av sjön i detta avseende. De förbättrade syreförhållandena ledde dock samtidigt till att kvicksilverhalten i gädda ökade under en följd av år, för att åter minska fram till början av 1990-talet. Den tendens till haltökning som därefter följde under ca ett och ett halvt decennium har vi ingen förklaring till.

Figur 5-1. Kvicksilverhalten i gädda fångad i Grycken under perioden 1979-2008. Medelhalt för 5-20 st gäddor per år. Onormerade värden.



Det har visat sig att kvicksilver anrikas förhållandevis effektivt i fiskens muskelvävnad och utsöndras långsamt. Därför håller i allmänhet större och äldre fiskar en högre kvicksilverhalt än mindre och yngre individer. Det finns olika sätt att ta hänsyn till detta genom att korrigera de uppmätta halterna så att en jämförelse i tid och rum blir så relevant som möjligt. För gädda är standardiserad fiskvikt på 1 kg vanligast. Kvicksilverhaltens utveckling i gädda från Grycken efter korrigering för fiskens vikt framgår av Figur 5-2. Eftersom det varit en strävan att infånga och analysera gäddor kring 1 kg, blir skillnaden ganska liten jämfört med Figur 5-1.



Figur 5-2. Utvecklingen för kvicksilverhalten i 1kg-gädda från Grycken 1993-2008 (se text & Faktaruta 1).

## 5.2 Runn

### 5.2.1 Allmänt om sjön och gruvan

Runn är efter Siljan Dalarnas största sjö med en yta på ca 68 km<sup>2</sup> och ett största djup på 32 meter. Det sägs att Runn har lika många öar som det är dagar på året<sup>†</sup>. Runn avvattnar via Lillälven till Dalälven i höjd med Torsång sydost om Borlänge.

<sup>†</sup> Sjön hette ursprungligen *Runden*, vars betydelse är flertydigt. Mest sannolikt är att namnet innehåller fornsvenska *røn*, som betyder stengrund, stenröse.

Runn har haft en betydande funktion genom århundradena när det gäller frakt av råkoppar, ved, kol, boskap och människor. Segelskutorna ombesörjde nyttotrafiken när man på allvar började bryta malm i Falu gruva. Gruvan hade sin storhetstid under mitten och slutet av 1600-talet, då 1500-2000 ton koppar årligen bröts vid gruvan. För att utvinna kopparn rostades och smältes malmen i hyttor, som anlades intill strömmande partier av vattendrag kring Falun. Vissa tider fanns ca 150 hyttor inom några mils radie från gruvan. Utsorteringen vid gruvan av mindre kopparrikt berg (varp) och restprodukterna från hyttorna (slagg) har tillsammans med senare tiders gruvavfall (anrikningssand, kisbränder m.m.) resulterat i att stora mängder metallhaltigt material finns lagrat i markerna kring Runn och dess tillflöden.

Till följd av det stora metallbidraget från gruvan och inte minst från allt kvarvarande gruvavfall i trakterna kring Falun, innehåller Runns bottnar stora mängder metaller. Enligt den senaste inventeringen 2006<sup>12</sup> håller de ytliga sedimentlagren i norra sjön 0,5-1 promille koppar och bly respektive 0,5-1 procent zink<sup>u</sup>. Genom att ta ut över två meter djupa sedimentprov från sjöns botten har man kunnat visa att tydliga metallhaltsförhöjningar inträffade redan år 700-1000, vilket samtidigt visar att verksamheten i Falu gruva redan då förekom i relativt stor skala<sup>13</sup>.

Tack vare att gruvvattnet började renas år 1987, att gruvan lades ner fem år senare och de omfattande åtgärder som därefter gjorts för att ytterligare minska metallutflödet till Runn, har koncentrationen av flera metaller minskat påtagligt i sjöns vatten under det senaste decenniet. För zink och kadmium handlar det om en mer än 90 procentig reduktion. På grund av att koppar och bly i betydande grad härrör från andra slags gruvavfall än zink och kadmium, har sjövattnets koncentration av dessa metaller reducerats väsentligt mindre.

### 5.2.2 Utvecklingen för metaller i abborre och gädda

Redan 1978 infångades gädda från Runn och analyserades på sitt innehåll av olika metaller<sup>14</sup>. Studien gjordes inom ramen för recipientkontrollen av Falu Kopparverk, och är veterligen den första undersökning som gjorts av metallkoncentrationer i fisk från Runn.

Inom ramen för ett samarbetsprojekt mellan dåvarande Stora Kopparbergs Bergslags AB och Naturvårdsverket, kallat Projekt Falu gruva, ingick omfattande biologiska undersökningar i Runn, däribland analyser av metallinnehållet i gädda<sup>15</sup>. Dessa undersökningar utfördes i början av 1980-talet innan gruvvattnet börjat renas, och följdes upp av nya studier av framför allt abborre året efter det att gruvvattenreningen införts, 1988<sup>16</sup>.

Sedan 1991 följs metallhalten i fisk från Runn upp inom ramen för Dalälvens vattenvårdsförenings kontroll<sup>17</sup>. Från och med 1996 standardiserades undersökningarna genom att i möjligaste mån endast abborrar mellan 17-20 cm ingått i studien<sup>v</sup>. Syftet har i första hand varit att följa effekterna av gruvans nedläggning och de omfattande åtgärder som därefter gjorts för att begränsa metalläckaget från gruvavfall till sjön.

---

<sup>u</sup> Relaterat till torrt prov.

<sup>v</sup> Denna ambition har inte kunna införlivas vissa år då även något större och mindre fiskar ingått i undersökningsmaterialet (samlingsprov av 10 individer).

Alla mätresultat redovisas i Tabell 5-1 och Figur 5-3, i tabellen i form av medelvärden och i figuren även med ett spridningsmått (95 % konfidensintervall).

Tabell 5-1. Genomsnittliga koncentrationer av metaller i lever- och muskelvävnad i fisk från Runn under perioden 1978-2008. För referenser hänvisas till texten ovan.

Art	Årtal	Vikt kg	Längd cm	Antal	Lever				Muskel	Anmärkning
					Cu µg/g Ts	Zn	Cd	Pb	Hg µg/g Vs	
Gädda	1978	1,0		5	41	220	1,8	-	0,37	Omräknat från Vs*
	1982	0,7		24	53	190	5,2	0,12	0,15	
	1988	1,7		2	13	490	2,4	0,058	0,58	
Abborre	1988	0,23		10	7,4	200	4,3	0,012	-	Obs vikten!
	1991	<0,15		ca 10	34	210	42	0,11	0,19	Obs vikten!
	1996	0,07	19	10	23	160	37	0,034	0,27	
	1999	0,07	19	10	14	140	23	0,040	0,10	
	2000	0,04	17	10	19	140	33	0,052	0,13	
	2001	0,07	19	10	23	150	29	0,064	0,15	
	2002	0,06	19	10	17	140	18	0,056	0,11	
	2003	0,08	20	10	13	130	18	0,098	0,15	
	2004	0,07	19	10	12	130	10	0,066	0,18	
	2005	0,06	19	10	15	150	20	0,054	0,10	
	2006	0,10	21	10	14	130	15	0,10	0,16	
	2007									Misslyckad fångst
2008	0,07	19	10	15	130	22	0,15	0,14		

\* Omräkningen är baserad på en förmodad Ts-halt i lever på 22 %. Ts = torrsubstans, Vs = våtsubstans.

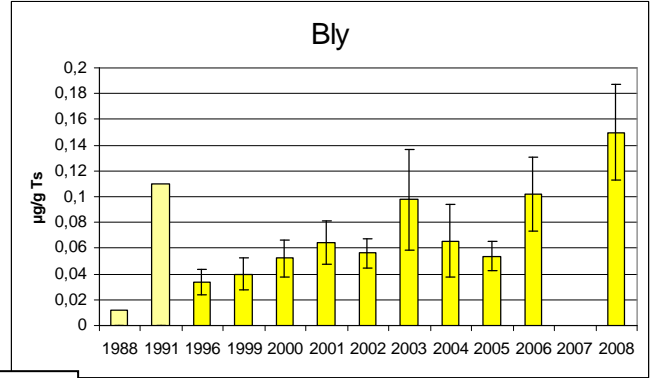
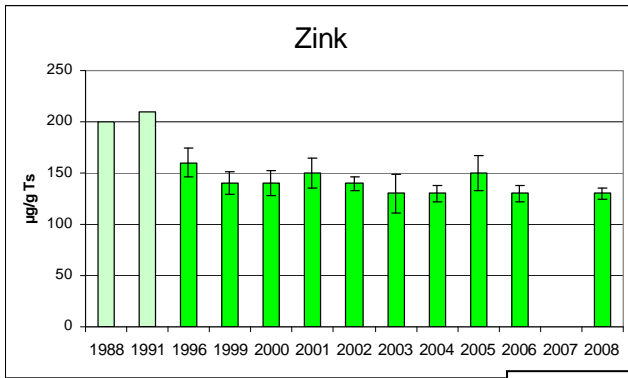
En invändningsfri jämförelse i tiden kan egentligen endast göras för abborre infångad under perioden 1996-2008. Under denna period har abborrens storlek varit likvärdig och antalet analyserade fiskar detsamma varje år (10 fiskar per år, individuella analyser). Därmed kan man bortse från dessa faktorer eventuella betydelse i sammanhanget.

De två tidigare år som abborre infångats och analyserats, 1988 och 1991, har fiskarna varit större än efterföljande år, vilket måste beaktas vid en jämförelse. Därför har dessa undersökningsår markerats med en ljusare nyans i stapeldiagrammen i Figur 5-3.

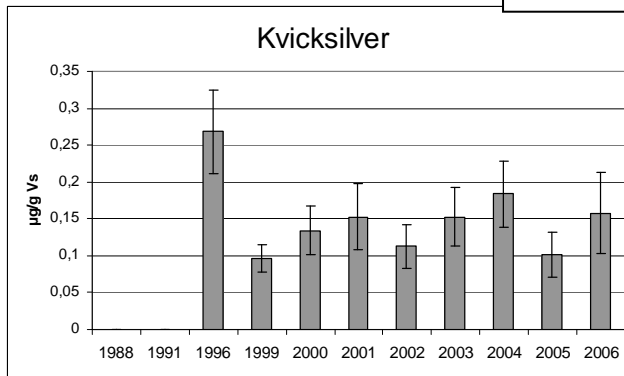
Av diagrammen kan för perioden 1996-2008 utläsas att kadmiumhalten i fiskens lever uppvisar en tydlig minskning och kopparhalten en tendens till minskning. För zink och kvicksilver kan inga generella förändringar anas, medan blyhalten i lever istället visar på en ökning.

Införlivar man även 1988 och 1991 i jämförelsen blir tolkningen svårare pga fiskens avvikande storlek. För zink kan man ändå ana en något högre haltnivå i fisken dessa år, eftersom zink snarast verkar ha ett omvänt storleksberoende (se Figur 2-4). För koppar, bly och kadmium framträder istället en motsägelsefull bild med avvikande låga halter efter det att gruvvattnet började renas år 1988, och väsentligt högre koncentrationer tre år senare.

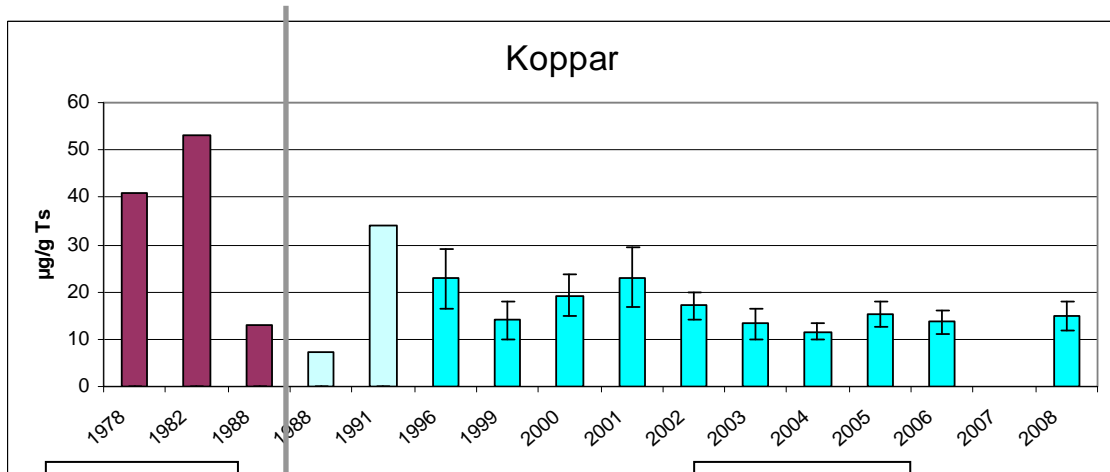




**ABBORRE**

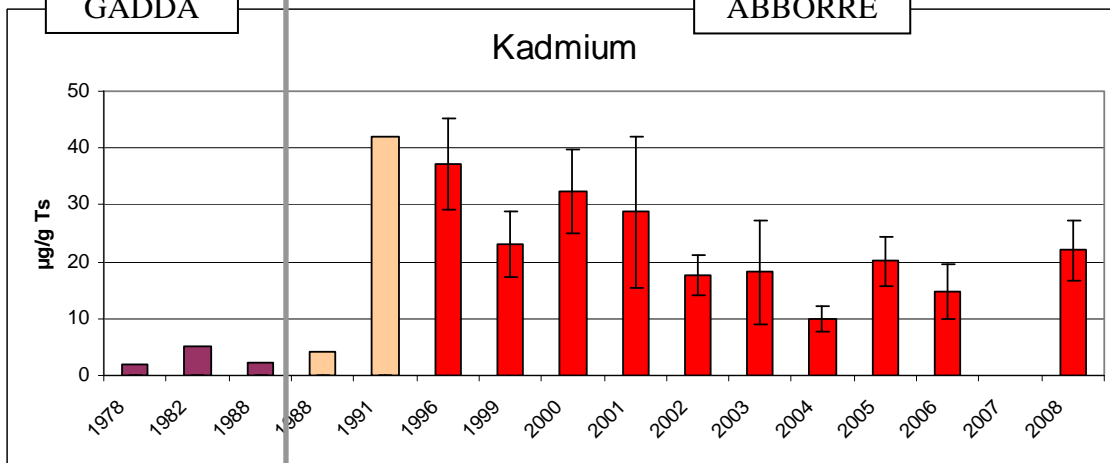


Figur 5-3. Metallhalter i abborre (ovan & till vänster) resp. i abborre och gädda (nedan) från Runn. Kvicksilver i muskel och övriga metaller i lever. Abborre från 1988 & 1991 är större än från övriga år. För åren 1996-2008 är 95 % konfidensintervall markerat. Observera att både gädda och abborre undersöktes år 1988.



**GÄDDA**

**ABBORRE**



Blandar man även in gäddorna i denna jämförelse blir bilden än mer komplicerad och tolkningen samtidigt än osäkrare. Dessutom måste beaktas att värden för gädda från 1988 representeras av endast två individer, vilket i praktiken diskvalificerar dessa värden. För att ändå få en visuell jämförelse med tiden före 1988 har för koppar och kadmium i Figur 5-3 lagts med även värden för gädda. Mest iögonfallande vid denna jämförelse bakåt i tiden är de förhållandevis låga kadmiumhalterna i gäddans lever från perioden före 1991. Samma nivå registrerades även i större abborre år 1988.

En uppfattning om ”normala” haltnivåer för dessa metaller i gäddlever kan man få av en rikstäckande undersökning som genomfördes under första hälften av 1980-talet<sup>18</sup>. Inom den aktuella regionen uppmättes kopparhalter kring 10 µg/g och kadmiumhalter på 0,5-1,5 µg/g i gäddlever.

För abborre görs jämförelsen lämpligast med medianvärdet för abborrlever i Tabell 3-1. År 2008 var således blyhalten i abborrlever från Runn ca dubbelt så hög som den ”normala”, medan kadmiumhalten var närmare 10 gånger högre. För zink och koppar var skillnaden liten.

Om vi utgår ifrån att kopparhalten under normala förhållanden är ungefär densamma i lever hos gädda och abborre, tyder diagrammen i Figur 5-3 på att anrikningen av koppar verkar ha varit större hos fisken i Runn före gruvvattenreningens införande än under senare år.

Enligt de jämförelsematerial vi har tillgång till verkar den normala kadmiumhalten i lever vara ungefär dubbelt så hög i liten abborre som i gädda. Enligt Figur 5-3 är dock skillnaden betydligt större, vilket tyder på att fisken i Runn anrikade mer kadmium i levern efter gruvvattenreningens införande än före. Detta är anmärkningsvärt med tanke på den drastiska minskning av kadmiumtillförseln till sjön som denna och även senare olika åtgärder lett till. Vissa brister i materialet tillåter inte några långtgående eller generella slutsatser, men de förhållandevis tydliga indikationerna visar ändå på den stora komplexitet som är förknippad med metallernas anrikning i fiskvävnad.

## **5.3 Garpenbergsåns vattensystem**

### **5.3.1 Allmänt om åsystemet och gruvan**

I Garpenbergsområdet började man sannolikt bryta malm redan på 800-900-talet. Namnet Garpenberg har sitt ursprung i de tyska bergsmän, s.k. garpar, som under 1300-talet anlätades av ägaren till de tidigaste koppargruvorna i området. Under medeltiden växte bergshanteringens omfattning och under början av 1500-talet flyttades anläggningarna för malmhantering till Garpenbergs herrgård.

Vid denna tid dämades Gruvsjön upp. Det finns ingen information om sjöns ursprungliga yta, med befintliga bergtrösklar indikerar att sjöns yta tidigare var ca 65 % av dagens<sup>19</sup>, som i sin tur är ca 1,3 km<sup>2</sup>. Många år var sjön istället större än idag. År 1941 genomfördes nämligen en sjösänkning som minskade sjöytan med ca 30 %. Största djupet i Gruvsjön är idag ca 21 meter.

Gruvan i Garpenberg är verksam än idag. Liksom kring Falun och Runn har denna långvariga bergshantering resulterat i att stora mängder gruvavfall av olika sammansättning och ålder finns ansamlat i markerna kring Gruvsjön och dess utflöde, Garpenbergsån.

Gruvsjöns vattenkvalitet karaktäriseras av att vattnet håller förhållandevis höga metallhalter, för flera metaller betydligt högre än den ovan omtalade Runn utanför Falun. Metallerna härrör även i detta fall främst från det gruvavfall som bildats under den långa tid som gruvverksamhet pågått i Garpenberg, och som finns kvar i området i stora mängder. Vattnet innehåller förutom metaller också mycket salter, håller höga kväve- men låga fosforhalter, samt uppvisar tidvis låga syrgashalter på större djup. Stränderna runt Gruvsjön har en sparsam vegetation.

Gruvsjön avrinner via Garpenbergsån till sjön Åsgarn (se Figur 2-2), som har en betydligt rikare växtlighet med frodig vegetation av främst bladvass och säv. Åsgarn har alltså, till skillnad från Gruvsjön, en näringsrik karaktär, vilket framför allt beror på en högre fosforhalt. Efter Åsgarn byter vattendraget namn till Forsån, som passerar genom ytterligare några sjöar innan den mynnar i Bäringen, som är en utvidgning av Dalälven. Från Åsgarn ned till älven har Forsån och dess sjöar en näringsrik karaktär.

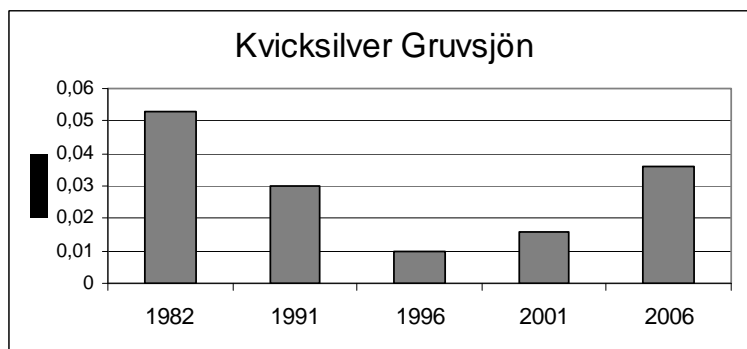
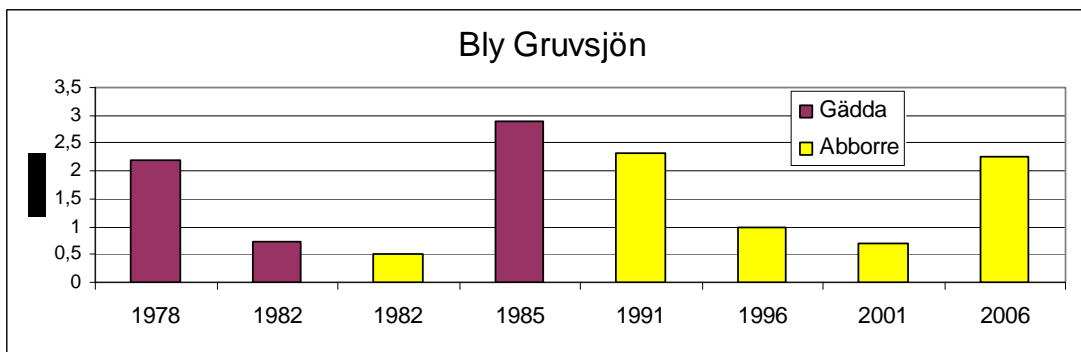
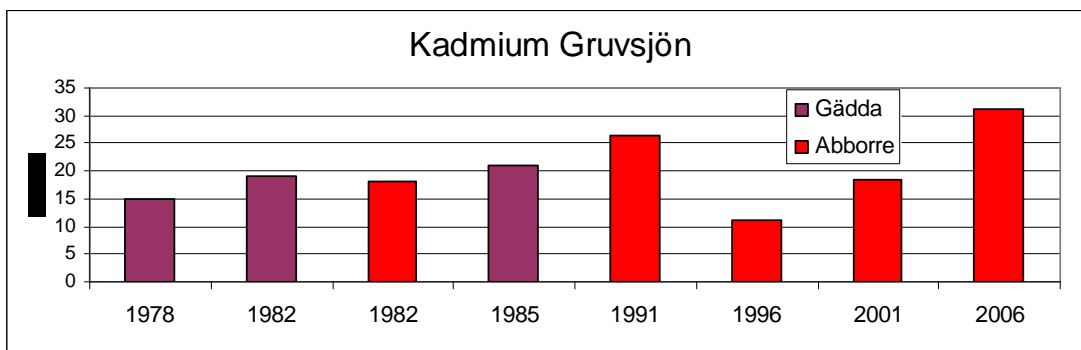
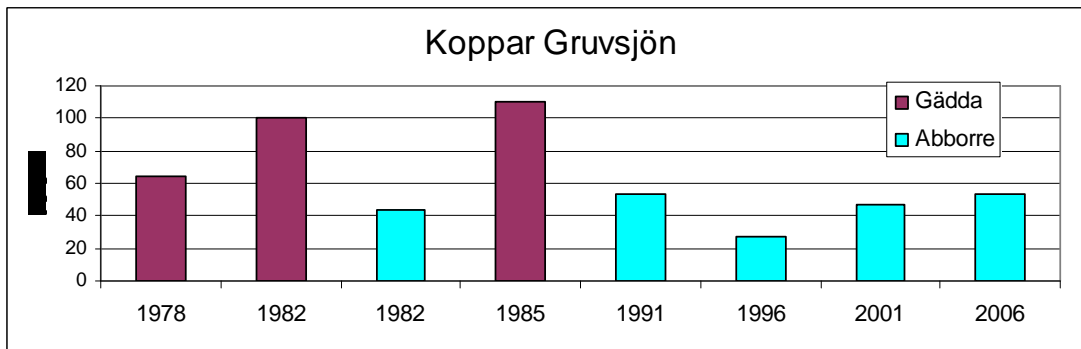
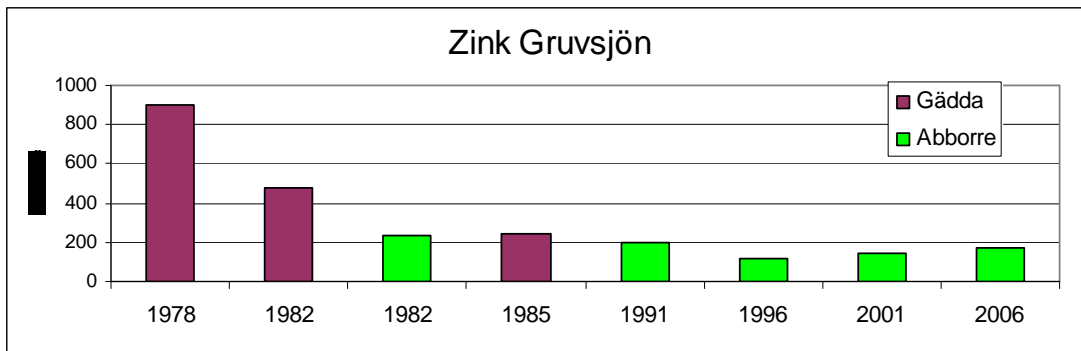
### 5.3.2 Utvecklingen för metaller i abborre och gädda

Gädda har fångats och analyserats vid tre tillfällen i Gruvsjön och Åsgarn mellan 1978-1985, och abborre vid fem tillfällen mellan 1982-2006. Frånsett att uppgifter om gäddans storlek saknas för år 1978 har fiskens storlek varit ungefär densamma för respektive art. Något större gäddor har dock fångats i Åsgarn än i Gruvsjön<sup>20, 21, 22 & 17</sup>.

Alla undersökningar före 1990 gjordes inom ramen för Garpenbergsgruvans recipientkontroll, medan de därefter ingått i den samordnade recipientkontrollen. Analysresultaten presenteras i Tabell 5-2 i form av medelvärden av angivet antal fiskar. Fr.o.m. 1991 avses metallhalter för ett samlingsprov av 10 jämnstora fiskar. För Gruvsjön åskådliggörs resultaten även i Figur 5-4.

Tabell 5-2. Genomsnittliga koncentrationer av metaller i lever- och muskelvävnad i fisk från Gruvsjön och Åsgarn i Garpenbergsåns vattensystem under perioden 1978-2006. För referenser hänvisas till texten.

Art	Årtal	Vikt kg	Längd cm	Antal	Lever				Muskel
					Cu µg/g Ts	Zn	Cd	Pb	Hg µg/g Vs
<b>GRUVSJÖN</b>									
Gädda	1978	?		?	64	900	15	2,2	0,080
	1982	0,3		4	100	480	19	0,72	0,052
	1985	0,3		3	110	240	21	2,9	
Abborre	1982		22	5	44	230	18	0,52	0,053
	1991	<0,15			54	199	26	2,3	0,030
	1996	0,08	17-20	10	27	116	11	1,0	0,010
	2001		17-20	10	46	142	19	0,7	0,016
	2006		17-20	10	53	168	31	2,3	0,036
<b>ÅSGARN</b>									
Gädda	1978	?		?	52	600	2,7	3,9	0,060
	1982	0,5		5	54	250	1,8	0,37	0,018
	1985	0,9		3	49	175	2,6	0,5	
Abborre	1982		17	5	12	130	3,8	0,130	0,074
	1991	<0,15			15	125	3,1	0,080	0,010
	1996	0,07	17-20	10	9,1	105	1,2	0,040	0,020
	2001		17-20	10	10	112	2,8	0,050	0,017
	2006		17-20	10	11	105	2,2	0,056	0,017



Figur 5-4. Metaller i gädda och abborre från Gruvsjön. Kvicksilver avser muskel i abborre och övriga lever i gädda och abborre.

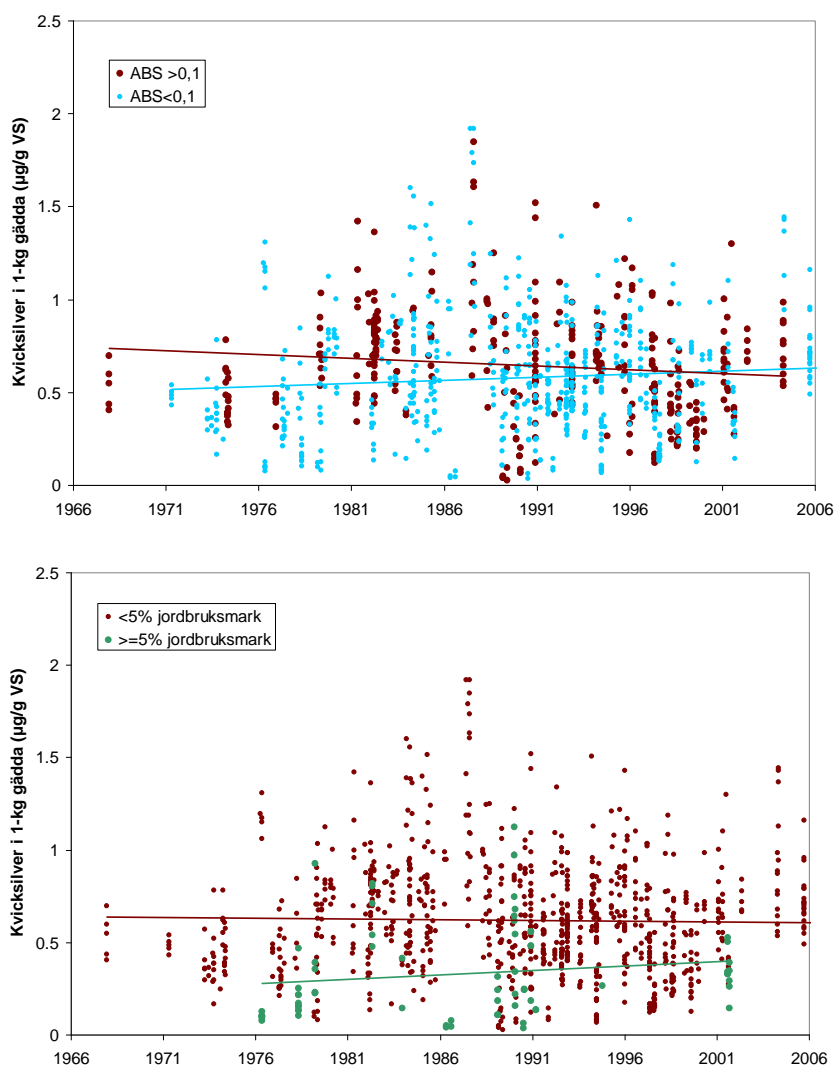
Liksom var fallet för Runn är det vanskligt att jämföra metallhalter i vävnader hos två olika fiskarter med varandra. Den tidsutveckling som presenteras i Figur 5-4 måste därför tolkas med stor försiktighet. För gäddans del innebär dessutom det ringa antalet och ovetskapen om fiskens vikt 1978 ytterligare osäkerhetsfaktorer.

Med dessa reservationer i åtanke kan resultaten eventuellt tolkas som att en minskning av zinkexponeringen ägde rum kring 1980. För övriga metaller finns inga tecken på någon generell förändring under den aktuella perioden. Det är möjligen värt att notera de något högre halter av flertalet metaller som registrerades i abborre från Åsgarn år 1982 jämfört med senare år.

## 5.4 Ytterligare sju sjöar

Det stora datamaterial över kvicksilver i gädda som presenteras i avsnitt 4.1 sträcker sig tillbaka till slutet av 1960-talet.

Med undantag från Grycken, som redovisats separat i avsnitt 5, har samtliga kvicksilverdata från gäddmuskel plottats mot tiden i Figur 5-5. Här framträder inga storskaliga trender på så sätt att punktsvärmen uppvisar någon generell ökning eller minskning. Detta gäller även det urval där absorptions och andel jordbruksmark använts för att dela upp observationerna i olika grupper.

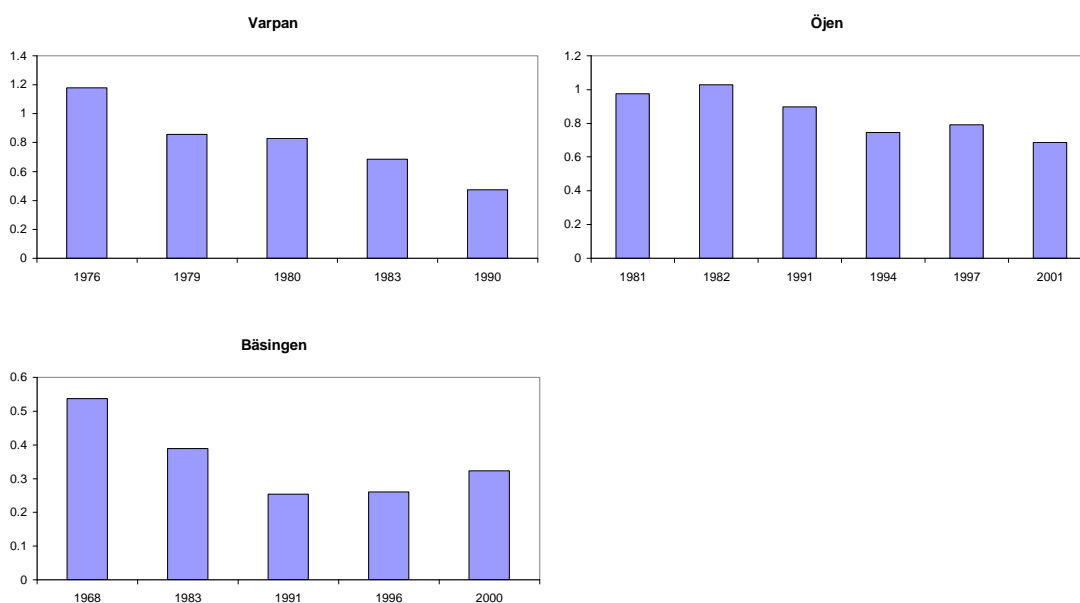


Figur 5-5. Kvicksilverhalt i muskel hos 1-kg gädda (µg/g VS) under perioden 1968-2006. I det övre diagrammet har de sjöar som har färgat vatten (absorbans > 0,1) markerats, medan sjöarna med mer än 5% jordbruksmark inom avrinningsområdet markerats i det nedre diagrammet.

För de åtta sjöar där kvicksilverhalt i gäddmuskel undersökts vid åtminstone fem tillfällen under det senaste dryga kvartssekle, har en regressionsanalys gjorts baserad på medelvärden respektive år (Tabell 5-3). Av de åtta sjöarna med tillräckligt långa serier minskade kvicksilverhalterna i gäddmuskel signifikant ( $p < 0,05$ ) i tre stycken: Bäringen, Varpan och Öjen (Figur 5-6).

Tabell 5-3. Sammanställning av en trendanalys av kvicksilver i gäddmuskel. Samtliga sjöar där det finns 5 eller fler år med observationer har inkluderats i analysen. Lutningskoefficienten anger om halterna minskat (negativ koefficient) eller ökat (positiv koefficient) under perioden. Signifikanta förändringar (Spearman rang korrelation,  $p < 0,05$ ) har markerats med grön färg.

Sjönamn	Sjö-ID	Lutningskoefficient	Sannolikhet
Hörmunden	1233	-0,005	0,71
Hässjön	1326	0,007	0,44
Hättsjön	1350	0,006	0,64
Runn	2855	-0,023	0,46
Bäringen	402	-0,008	0,04
Varpan	4128	-0,046	0,01
Öjen	4333	-0,016	0,00
Grycken, Falun	915	-0,006	0,49



Figur 5-6. Signifikanta förändringar ( $p < 0,05$ ) i kvicksilverhalt i 1kg-gädda ( $\mu\text{g/g}$  Vs) i tre Dalälvs sjöar under de senaste decennierna.

## 6 Sammanfattande diskussion

I denna rapport görs försök att ge en generell bild av metallkoncentrationer i några fiskarter inom Dalälvens avrinningsområde, liksom av eventuella samband mellan dessa halter och olika omgivningsfaktorer. För några sjöar har det även varit möjligt att följa en utveckling i tiden. Det datamaterial som ligger till grund för dessa försök till analys har både sina förtjänster och brister.

För kvicksilver i gädda består en klar förtjänst i att det finns uppgifter från ett stort antal sjöar, drygt 140 st, som dessutom är förhållandevis väl spridda över avrinningsområdet. Dock representerar mätresultaten ett långt tidsintervall, hela 40 år, samtidigt som antalet analyser per sjö varierar.

Jämfört med andra län i Sverige har i Dalarna övriga metaller, zink, koppar, kadmium och bly, analyserats i ett förhållandevis stort antal fiskar, främst abborre och laxfiskar. Trots detta är den geografiska täckningen inom älvens avrinningsområde dålig med koncentrerings till antingen den sydöstra delen eller till fjällregionen. En brist i materialet är vidare att vissa sjötyper är överrepresenterade sett till genomsnittet för området, medan en förtjänst är att materialet hyser en stor variation av sjötyper.

Sammanvägt leder detta till att de undersökningar av metallhalter i fisk som gjorts i Dalälven sannolikt är ett av de bästa och mest mångfacetterade som Sverige har att erbjuda för ett enskilt vattenavrinningsområde. Men trots detta finns stora brister och osäkerheter i delar av materialet som måste beaktas vid tolkningen.

Med denna reservation i åtanke sammanfattas tolkningarna av materialet enligt följande:

- Kvicksilverhalten i fisk undersöks främst i gäddans muskelvävnad. Halten är ganska starkt kopplad till fiskens storlek på så sätt att större fiskar generellt sett håller högre halt än mindre. Detta är ett välkänt samband.
- Även andra arter har undersökts. Enligt det tillgängliga materialet verkar kvicksilverhalten ligga något lägre i 1-kg laxfisk (harr, öring, röding och sik) som i 1-kg gädda från samma sjö. I abborre på ca 100 g är kvicksilverhalten ungefär en femtedel av den i 1-kg gädda från samma sjö.
- Inom Dalälvens avrinningsområde tenderar kvicksilverhalten i gädda vara något lägre i fjällregionen och i den jordbruksdominerande regionen längs nedre Dalälven, medan den är högre i de mellanliggande skogsområdena.
- Sambandsanalysen för kvicksilver visar också att det finns en positiv korrelation mellan kvicksilverhalt i muskel och vattnets färg. Skogssjöar karaktäriseras av färgat, humöst vatten med hög halt av organiskt kol jämfört med till exempel näringsrika slättsjöar.
- Samtidigt framträder en tendens till negativ koppling i materialet mellan vattnets fosforhalt och andelen jordbruksmark å ena sidan och kvicksilverhalten i fisk å den andra. Påtagligt låga kvicksilverhalter uppträder dock främst i mycket näringsrika sjöar.

- Det finns också en tendens till att kvicksilverhalten är lägre i fisk i sjöar inom vars avrinningsområde det finns gott om gruvavfall från s.k. sulfidmalmer. Mycket låga kvicksilverhalter i fisk har också konstaterats i några av de mest metallberikade sjöarna. En trolig förklaring är en antagonism mellan kvicksilver och zink.
- En prediktionsmodell har prövats för kvicksilver i gädda i Dalälvens sjöar. Modellen visar sig dock inte vara praktiskt tillämpbar för hela avrinningsområdet eftersom den i endast 35 % av de testade fallen kan förklara kvicksilverhalten i gädda baserat på en rad omgivningsvariabler. Kunskapen om styrande faktorer för kvicksilverhalt i gädda måste vara större för att det skall vara meningsfullt att utveckla prediktionsmodellen för Dalälvens samtliga sjötyper.
- Det finns exempel från ett metallbelastat område på att kadmiumhalten ökar i fisklever med fiskens ålder och storlek. De essentiella metallerna zink och koppar verkar snarast minska i halt i fiskens vävnader ju större fisken blir. Detta beror sannolikt på att ung fisk har större behov av dessa metaller än äldre. En annan faktor kan vara näringsvalet, som är olika hos yngre och äldre fisk.
- Eventuella haltförhöjningar av metaller uppträder främst i levern och sällan i muskelvävnaden. Sambandet mellan metallhalt i vatten och fisklever är svagt eller obefintligt för alla metaller. En korrelationsanalys antyder dock att det finns en möjlig koppling mellan förekomsten av gruvavfall och halten av vissa metaller i abborrlever i materialet. Påtagliga metallhaltsförhöjningen i abborrlever förekommer endast vid mycket höga metallhalter i vatten, exempelvis i Gruvsjön i Garpenberg.
- Vattnets näringsrikedom verkar, särskilt för kadmium, ha stor betydelse för koncentrationen i abborrlever, på så sätt att kadmiumhalten i fisk generellt minskar vid ökande fosforhalt.
- För de sjöar där en utveckling i tiden kunnat följas finns exempel på både oförändrade metallhalter i fiskens vävnader, som upp- och nedåtgående trender. I några fall kan haltminskningar hos fisken kopplas samman med åtgärder som lett till minskade utsläpp, i andra fall inte.
- Genomgången visar sammanfattningsvis att det inte finns några generella och tydliga samband mellan metallförekomsten i fiskens omgivning och i dess vävnader.



# Referenser

---

- <sup>1</sup> Meili, M. Kärrhage, P. Borg, H. (2003). Kvicksilver i fisk och födodjur i 10 Skånska sjöar år 2002. Stockholms Universitet, Institutet för tillämpad miljöforskning, ITM.
- <sup>2</sup> Grahn, O. & Sangfors, O. (1984). Årstidsvariation av tungmetaller (Cd, Pb, Cu, Zn) i abborre, zooplankton och vatten i fyra mellansvenska sjöar med varierande metallbelastning och näringsstatus. Rapport från IVL
- <sup>3</sup> Dataunderlag från Länsstyrelsen i Dalarna
- <sup>4</sup> Länsstyrelsen Dalarna (2005). Inventering av förorenade områden i Dalarnas län – Gruvindustri. Rapport 2005:14.
- <sup>5</sup> Länsstyrelsen Dalarna (2007). Inventering av förorenade områden i Dalarnas län – Gruvindustri etapp 2. Rapport 2007:05.
- <sup>6</sup> Uppgifter från äldre analysrapporter från Livsmedelsverket, återgivet i Lindetröm & Grahn, 1982.
- <sup>7</sup> Åkerblom, S. & Johansson, K. (2008). Kvicksilver i svensk insjöfisk – variationer i tid och rum. SLU rapport 2008:8.
- <sup>8</sup> Jonsson, B. (2004). Provfiske i Tiskendammen, Stora Vällan och Runn. Undersökningsrapport på uppdrag av Länsstyrelsen Dalarna.
- <sup>9</sup> Håkanson, L. & Uhrberg, R. (1981). Undersökningar i Kolbäckens vattensystem. Delrapport XIII. Metaller i fisk och sediment. NV pm 1408.
- <sup>10</sup> Lindeström, L. & Grahn, O. (1982). Antagonistic effects to mercury in some mine drainage areas. AMBIO, Vol 11, No 6: 359-361.
- <sup>11</sup> Ahlbom, J. & Sonesten, L. (1989). Kartläggning av kvicksilver i sjön Grycken. Rapport från zoologiska institutionen, Uppsala universitet.
- <sup>12</sup> Dalälvens vattenvårdsförening (2007). Samordnad recipientkontroll i Dalälven 2006. Länsstyrelsen Dalarnas län, rapport 2007:21.
- <sup>13</sup> Nilsson, N. (1998). Falu koppargruvas ålder och föroreningsbelastning av koppar och bly i sjön Runn under 1000 år. Examensarbete vid Umeå universitet, MH 1998:20.
- <sup>14</sup> Pierrou, U. m.fl. (1978). Tungmetaller i Runn, Kopparbergs län, 1978. Limnol Inst Uppsala universitet, LIU 1978:16.
- <sup>15</sup> Ahl, T. & Wiederholm, T. (1983). Projekt Falu gruva – Miljöeffekter. Naturvårdsverket pm 1837.
- <sup>16</sup> Sangfors, O. & Grahn, O. (1990). Fiskfaunans sammansättning och metallhalt i sjön Runn. Rapport från Miljöforskargruppen, F90/020.
- <sup>17</sup> Dalälvens Vattenvårdsförening. Årsrapporter för 1990-2006.
- <sup>18</sup> Björklund, I. (1986). Metaller i gädda från svenska skogssjöar. Naturvårdsverket rapport 3224.
- <sup>19</sup> Uppsala universitet (2003). Lake Gruvsjön – Report from a field course in Catchment Hydrology, March 4-7 2003. Department of Earth Sciences Air and Water Sciences.
- <sup>20</sup> Andersson, I, Alenäs, I., Hultberg, H. & Thorbrink, I. (1978). Rapport över undersökningar av metallhalter i vatten, sediment och fisk samt fiskpopulationer och bäckfauna i Garpenbergs- och Svärdsjögruvans recipienter 1978. Rapport från IVL.
- <sup>21</sup> Lindeström, L., Ekelius, W. & Grahn, O. (1983). Biologiska och sedimentkemiska undersökningar i Garpenberg, sommaren 1982. Rapport från IVL.
- <sup>22</sup> Lindeström, L. (1987). Biologiska och sedimentkemiska undersökningar i Garpenberg, sommaren 1986. Rapport från Miljöforskargruppen.