



rappport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Behandling med låg-låg dos av selen i
sjöar och regleringsmagasin för att
minska halten metylkvicksilver i fisk

Hans Hultberg

B 1487

Göteborg, september 2002



Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Box 47086 402 58 Göteborg	Projekttitel/Project title
Telefonnr/Telephone 031-725 62 00	Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Graninge Kraft AB, SIVL
Rapportförfattare/author Hans Hultberg	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Behandling med låg-låg dos av selen i sjöar och regleringsmagasin för att minska halten metylkvicksilver i fisk	
Sammanfattning/Summary De genomförda försöken med tillförsel av selen i tre sjöar visar på en snabb bioackumulation av selen. Ökningen av selen sker redan i djurplankton som är det första och viktigaste nivån i det akvatiska ekosystemet. Ökningen av selen i djurplankton medför att halten av metylkvicksilver minskar. Via biomagnifiering i näringskedjan ökar selenhalterna och metylkvicksilver minskar. I sin tur medför detta minskad halt av kvicksilver i flodkräfta och metylkvicksilver i yngre fisk. Med en tidsfödröjning fortsätter biomagnifieringen av selen allt högre upp i trofinivåerna. Detta medför att äldre abborre och gäddor får ökade halter av selen och minskade halter av metylkvicksilver flera år efter djurplankton och unga mörtar och unga abborrar. Då tillförseln av selen upphör minskar halterna omgående i vatten, bäckmossa, lägre bottelevande djur, djurplankton och de yngsta årsklasserna av mört och abborre. Haltminskningen i dessa delar av ekosystemet följer sjöns eller magasinets omsättningstid av vatten.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords Selen, kvicksilver, metylkvicksilver, bioackumulation, sjöar, vattenmagasin, behandling	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B1487	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address Hemsida: www.ivl.se/rapporter e-post: publikationsservice@ivl.se Fax: 08-598 563 90 Brev: IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm	

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	2
1.1	EFFEKTER AV DÄMNING PÅ METYLKVICKSILVER OCH SELEN I FISK.	2
2	BAKGRUND	3
2.1	KVICKSILVER OCH SELEN I FISK EFTER DÄMNINGEN AV SKINNMUDSELET.....	3
2.2	REGIONALA STUDIER AV SELEN OCH KVICKSILVER.	4
2.3	TIDIGARE FULLSKALEFÖRSÖK MED DOSERING AV SELEN I SVERIGE	4
2.4	HYPOTES	7
3	SELENTILLFÖRSEL I LAVSJÖN, TREHÖRNINGEN OCH VRÅNGEVATTEN	8
3.1	PROVTAGNINGAR	9
4	RESULTAT	10
4.1	SJÖDATA	10
4.2	SELENTILLFÖRSEL	11
4.2.1	<i>Selenhalter i behandlade sjöar</i>	11
4.3	EFFEKTER PÅ VÄXTER OCH LÄGRE DJUR	14
4.4	EFFEKTER PÅ FISK	22
4.5	EFFEKTER AV SELEN I SKINNMUDDSELET?	30
5	SLUTSATSER	34
6	REKOMMENDATIONER	38
7	LITTERATUR	38

1 INLEDNING

1.1 Effekter av dämning på metylkvicksilver och selen i fisk.

Höga halter av metylkvicksilver i fisk är ett sedan länge mycket stort miljöproblem som omfattar ca 50% av Sveriges insjöar och då främst näringsfattiga skogssjöar. Ett annat problem är att regleringsmagasin samt nedströms liggande sjöar ofta får ökad halt av metylkvicksilver i fisk efter överdämning av tidigare skogs- och våtmarker. Orsaken till detta är att kvicksilver och metylkvicksilver, som tidigare ackumulerats i organiskt material i marken, lakas ut från markprofilen. Ju större den överdämda arealen är per volymenhet, desto större blir urlakningseffekten.

Detta är välkända effekter och har tidigare visats för regleringsmagasin i bl. a. Finland, USA och norra Kanada. I Sverige finns flera exempel på regleringsmagasin i skogs- och myrområden. Skinnmudselet är ett magasin i Västerbotten/Västernorrland som ännu efter mer än 12 år har starkt förhöjda halter av metylkvicksilver i gädda, äldre abborre och lake. De höga fiskhalterna har orsakats av läckage av metylkvicksilver från överdämd skogsmark, torv och flyttorv.

Nyligen har framkommit att vatten och fisk i regleringsmagasin i Kanada och Sverige har lägre halter av selen i vatten och fisk än i sjöar i motsvarande områden. En hypotes är att denna effekt av överdämning orsakas av att selens förekomstform och halter i vatten åtminstone inledningsvis inte är desamma i regleringsmagasinet som i en naturlig sjö. Överdämningen av tidigare skogs- och våtmarker kan exempelvis medföra förändrade redoxförhållanden och/eller metylering, som i sin tur leder till ökad fastlåsning eller gasavgång av selen till atmosfären. Detta orsakar i sin tur en minskning av selenhalten i vatten och fisk. En annan orsak kan vara att när stora mängder metylkvicksilver mobiliseras i samband med överdämning hinner inte selen att omvandlas till förekomstformer som kan tas upp av fisk. Ytterligare en orsak kan vara att överdämningen medför en förändring från ett rinnande vattensystem till ett sjöekosystem som inte är i balans vad gäller selen.

2 BAKGRUND

2.1 Kvicksilver och selen i fisk efter dämningen av Skinnmudselet.

Oaktat vilken selenhalt fisken innehåller visar erfarenheter från regleringsmagasin i bl.a. Finland och Kanada att halten metylkvicksilver minskar markant i ung fisk inom en 10-årsperiod efter dämningen. Halten minskar snabbast i de yngsta årsklasserna av mört och abborre för att nå halter motsvarande eller strax över dem som uppmätts före regleringen inom en 5-årsperiod. Metylkvicksilverhalten minskar långsammast i äldre fiskätande arter som gädda, lake och äldre abborre. Det har ofta tagit 15 – 20 år och ibland längre tid för att nå kvicksilverhalter på samma nivå som rådde före dämningen i dessa fiskar (data från kontrollgruppen för Skinnmuddselets reglering (Graninge Kraft AB), Vattenstyrelsen i Finland och Hydro Quebec i Kanada).

Skinnmudselet i Gideälven följer ovan nämnda utveckling efter dämningen 1989. Metylkvicksilver i småabborre (10 cm, 0,01 kg och ca 2 år) nådde de högsta halterna 1991 för att därefter minska ca 50% t.o.m. 1993. Halten i 1-kilos gädda (ca 3 - 4 år) ökade långsammare än i ung abborre och nådde sin högsta halt ett år senare under 1992.

Gäddans kvicksilverhalt har minskat under åren 1993 - 2002, då den reducerats från 1.4 mg/kg till 0.9 mg/kg eller nära den tidigare gränsen för svartlistning. Kvicksilverhalten i äldre abborre (25 cm, 0.2 kg och ca 5 - 7 år) i Skinnmudselet har minskat från 1.7 mg/kg år 1994 till 1 mg/kg 2001.

Stora Tällvattnet, sjön närmast nedströms regleringsmagasinet har också haft en minskning av kvicksilverhalten i 1-kg gädda och äldre abborre. Metylkvicksilverhalten i äldre abborre har sjunkit från 2.4 mg/kg 1996 till 1.5 mg/kg 2001. Även i 1-kg gädda har metylkvicksilver minskat från 2 mg/kg 1997 till 1.4 mg/kg 2002. Kvicksilver i ung abborre har fortsatt att minska efter 1991 då de högsta halterna erhållits. Halten av metylkvicksilver i ung abborre var 13 år efter dämningen ca 80% lägre än 1991, i både Skinnmudselet och Stora Tällvattnet.

Selenhalten i fisk är lägre (ca 0.1 mg/kg) i Skinnmudselet och Stora Tällvattnet än i närliggande sjöar där halten är 2 till 3 gånger högre. Även selenhalten i vatten är lägre i Skinnmudselet och Stora Tällvattnet än i sjöar i området.

2.2 Regionala studier av selen och kvicksilver.

En dominerande källa till Se i atmosfären är utsläpp i samband med koleldning. Långväga transport från andra länder dominerar stort över svenska källor. Kristallin berggrund har generellt låg naturlig förekomst av selen. Försurade markprofiler medför dessutom ytterligare lägre uttransport av markbundet selen.

Halterna av Se i vatten och fisk är generellt lägre i norra Sverige än längre söderut. Detta är främst orsakat av en lägre atmosfärisk deposition av selen med torr- och våtdeposition i norra Sverige och låg naturlig förekomst i berggrunden.

Redan vid de naturligt låga halter av selen som finns i sjövattnet påverkas kvicksilverhalten i fisk. En regional jämförelse i Västernorrland visar att det finns ett klart samband mellan högre halter av selen och minskade halter av metylkvicksilver i gädda. De naturliga selenhalterna i sjövattnet i inlandet i norra Sverige kan generellt antas ligga lägre än 0.1 µg Se/l (Åke Bengtsson, Lst. i Västernorrland).

Motsvarande resultat har erhållits i en norsk studie som presenterades vid den internationella kvicksilverkonferensen i Hamburg 1996. I den studien hade selen och kvicksilver analyserats i abborre från sjöar i en gradient från SV till NO i södra Norge.

Redan en så låg halt av selen i gädda som ca 0.3 - 0.4 mg/kg innebär ofta att halten metylkvicksilver begränsas till runt 0.5 mg/kg i gäddan. Därmed skulle de mycket låga selenhalter som finns naturligt i sjövattnet i Västernorrland och Västerbotten medföra låga selenhalter och höga kvicksilverhalter i fisk. Överdämning orsakar mycket låga selenhalter i regleringsmagasin vilket medför än högre halter av metylkvicksilver i fisk.

2.3 Tidigare fullskaleförsök med dosering av selen i Sverige

Resultat från en genomgång av opublicerade data från lågdosbehandlingar med selen inom det tidigare projektet inom Naturvårdsverket 'Kalkning-Kvicksilver-Cesium' sammanfattas i det följande.

Man har i sjöar i USA och Kanada tidigare observerat att ett ökat upptag av selen i fisk resulterar i lägre halter av metylkvicksilver. Naturvårdsverkets fullskaleförsök i svenska sjöar visar också att tillförsel av selen leder till en avsevärt minskad halt av metylkvicksilver i fisk. I några av de svenska experimenten har emellertid Se-behandling resulterat i skador på fiskbestånden. Bland annat har reproduktionen av abborre skadats. De höga doseringarna medförde att halten selen i fisken i flera fall var i nivå med eller över de halter som kan bedömas som tjänliga i föda.

Erfarenheterna från flera av Naturvårdsverkets tidigare försök visade att dosering av selen kan göras med betydligt lägre koncentration av selen med bibehållen god effekt på halten metylkvicksilver i fisk. Utan att skador på lägre djur, växter eller fisk uppstår!

Naturvårdsverkets och länsstyrelsernas försök med selen i Oppsjön och i Ödingen ägde rum under åren 1987, 1988 och 1989. Som högst nådde selenhalten i vatten 1 - 1.7 µg/l efter första doseringen, ca 5 µg/l efter den andra och åter 1 - 1.5 µg/l efter den tredje. Vid det tredje tillfället användes mer långsamlösande gummi/selenslang. Både Oppsjön och Ödingen innehåller drygt 9 miljoner kubikmeter vatten och har en omsättningstid som är 0.68 respektive 1.1 år. I båda fallen ökade halterna av selen omgående i ung abborre och ökningen följer haltökningen av selen i vatten. Redan året efter sista behandlingen sjunker halterna av selen åter snabbt i den unga abborren och följer den snabba haltminskningen av selen i vatten. Kvicksilverhalten sjunker i abborre i både Oppsjön och Ödingen i samband med ökningen av selenhalten i fisken. Selenhalten i ung abborre är under 1995, 6 år efter att tillförseln av selen hade upphört, ca 1.3 respektive 1.1 mg/kg eller ca 4 ggr högre än före behandlingen. Kvicksilverhalten i ung abborre var samtidigt lägre än jämfört med 1987 före doseringarna.

Gäddan visar ett delvis annat förlopp jämfört med den unga abborren genom en långsammare haltökning av selen och en långsammare minskning av Hg-halten. Selenhalten i gädda når max under 1992 och sjunker endast långsamt under de följande åren och förloppet är helt likartat i de båda vattnen. Det mest anmärkningsvärda är att kvicksilverhalten inte ökar under 1993 till 1996 då selenhalten sjunker i gädda. I stället sker en fortsatt minskning under alla de undersökta åren! Under 1995 och 1996 var halten metylkvicksilver i gädda 0.3 till 0.5 mg/kg eller 4 till 6 gånger lägre än jämfört med åren före selentillförseln.

Det helt likartade uppträdandet av minskningen i halten av metylkvicksilver i gädda i Oppsjön och Ödingen är än mer anmärkningsvärd eftersom Ödingen dämades till ett regleringsmagasin för vattenkraft från 1989. Detta skedde genom överdämning av skogs- och våtmarker vilket alltid brukar leda till stora haltökningar av metylkvicksilver i fisk. En förklaring kan vara att de tidigare doseringarna med selen har motverkat denna effekt och ökningen av kvicksilverhalten i fisk av överdämning helt uteblivit. En annan kan vara att den överdämda markytan är avsevärt mindre än i Skinnmudselet och att kvicksilverökningen därför uteblivit. Selenhalten i gädda var i Ödingen och Oppsjön ca 2 mg/kg under 1995 eller ca 5 gånger högre än åren före selenbehandlingen.

Inom detta projekt har provtagningar i Oppsjön och Ödingen återupptagits för analys av Hg-tot, MeHg och Se i vatten. Dessa analyser visar att halterna av Hg-tot och MeHg idag är lika med motsvarande halter i regleringsmagasinet Skinnmudselet och nedströms belägna sjöar medan halten selen i Ödingen är ca 4 gånger högre (ca 0.2 µg/l). Denna selenhalt tycks vara helt tillräcklig för att långsiktigt skydda fiskbeståndet från kraftig ökning av metylkvicksilver liksom i Oppsjön med ca 0.1µg/l Se i vattnet.

Detta projekts fortsatta uppföljning av försöken i Oppsjön och regleringsmagasinet Ödingen visar att låg dosering av selen medför en stor **flerårig** minskning av halten metylkvicksilver i abborre och gädda. Tillförseln av selen hade inte heller några påvisade negativa effekter på övriga delar av ekosystemet. Human konsumtion av fisk från de behandlade vattnen har skett regelbundet.

Analysen av bäckmossa visade på en ökning av selenhalten med 2- 4 gånger i de selenbehandlade vattnen Oppsjön och Ödingen 10 år efter behandlingarna. Även sjösedimenten och bottendjur som *Asellus* har en haltökning av selen på ca 2 ggr, medan analyser av nate visar på låga selenhalter efter behandlingarna.

Behandlingarna med blandkalk (selen plus kalk) gav beräknade maximala haltökningar av selen i vatten på i storleksordningen 0.02 - 0.43 µg/l. kvicksilverhalten minskade med 8 - 53% i abborre och 0 - 43% i gädda i de olika sjöarna. Detta visar att påtagliga minskningar av halten metylkvicksilver i fisk erhålls med låg-låg dos av selen.

Tre av de viktigaste resultaten av den litteraturgenomgång som gjorts inom projektet (Parkman och Hultberg, 1997) visar:

- att vid selenhalter i vatten $> 1\mu\text{g/l}$ kan skador uppstå på lägre trofinivåer i ett sjöekosystem (främst på djurplankton)
- selen liksom metylkvicksilver anrikas genom bioackumulation via näringskedjan
- effekter på fisk har ej noterats vid halter som är $< 3\mu\text{g/l}$.

Ett examensarbete (Fredriksson, R) har genomförts i samarbete mellan projektet och Högskolan i Kalmar. I toxicitetstester med lägre djur som genomförts både i fält och på lab. har ingen mortalitet observerats. Selenhalterna som använts vid dessa försök har innefattat ett haltområde motsvarande de som erhållits vid selenbehandlingarna i Lavsjön och övriga sjöar upp till selenhalter motsvarande flera 10-potenser högre försökshalter.

Av ovan framgår att en relativt långsiktig minskning sker av metylkvicksilverhalten i fisk genom låg-låg dosering av selen i sjöar och regleringsmagasin. Stora delar av aktuella behandlingsområden i Sverige har av naturliga skäl också selenunderskott. Selenbehandling kan därför även ha en positiv effekt på allmän folkhälsa genom att fisken får ett lägre innehåll av metylkvicksilver samtidigt med en ökad selenhalt.

2.4 Hypotes

Magasin och sjöar med stor belastning av metylkvicksilver i fisk kan åtgärdas genom tillförsel av låg - låg dos av selen vilket ger en dubbelt positiv effekt genom minskning av metylkvicksilverhalten i fisk samtidigt med en ökning av selenhalten.

3 SELENTILLFÖRSEL I LAVSJÖN, TREHÖRNINGEN OCH VRÅNGEVATTEN

Forskningsprojektet startade med selenstillförsel i Lavsjön i Västerbotten under 1998. Arbete i Lavsjön har genomförts i samarbete mellan IVL, Graninge Kraft AB, Högskolan i Kalmar och Signe Persson från Gothne i Västernorrland.

I ytterligare två sjöar i södra Sverige startade selenbehandling 1999: Trehörningen i Hällefors i Örebro län samt Vrångevattnen på Herrestadsfjället i Uddevalla i Västra Götaland. Personal vid IVL, Signe Persson från Gothne i Västernorrland och Högskolan i Kalmar har medverkat vid de fältprovtagningar som utförts i dessa två sjöar.

Vid fältarbeten i Trehörningen har dessutom Hällefors fiskevårdsområde och Vattenbruksskolan i Sävenfors medverkat. I Vrångevattnen har dessutom Uddevalla Sportfiskeklubb som administrerar fisket för Uddevalla kommun medverkat.

- Behandling genom tillförsel av selen med målet $0.5 - 1 \mu\text{g Se L}^{-1}$ har genomförts i Lavsjön under 1998, 1999 och 2000 samt i Trehörningen och Vrångevattnen under 1999 och 2000.
- Selenbehandlingen i Lavsjön har varit mycket arbetskrävande dels på grund av sjöns naturligt korta omsättningstid och dels på grund av extremt riklig nederbörd under de år som selenstillförseln genomförts. Under sommaren har därför behandlingar genomförts ungefär var 14:e dag under de tre åren.
- Tack vare sjöarna Trehörningen och Vrångevattnens längre uppehållstid av vatten har antalet behandlingstillfällen stannat vid 1 – 2 per år.

3.1 Provtagningar

- Uppföljning av selentillförseln har skett genom provtagningar under den isfria delen av året under maj till och med oktober.
- Analyser har gjorts av selen och metylkvicksilver i vatten samt i sediment, plankton, bottenfauna, växter, mört, abborre och gädda samt andra förekommande fiskarter.
- Fiskreproduktion har följts genom provtagning och analys av yngel och fiskungar fångade med håv och finmaskiga yngelnät.
- Fiskpopulationernas sammansättning har studerats genom provfisken med standardiserade översiktsnät.
- Svensk flodkräfta har provtagits för analys av selen och kvicksilver i Vrångevatten.

4 RESULTAT

4.1 Sjödata

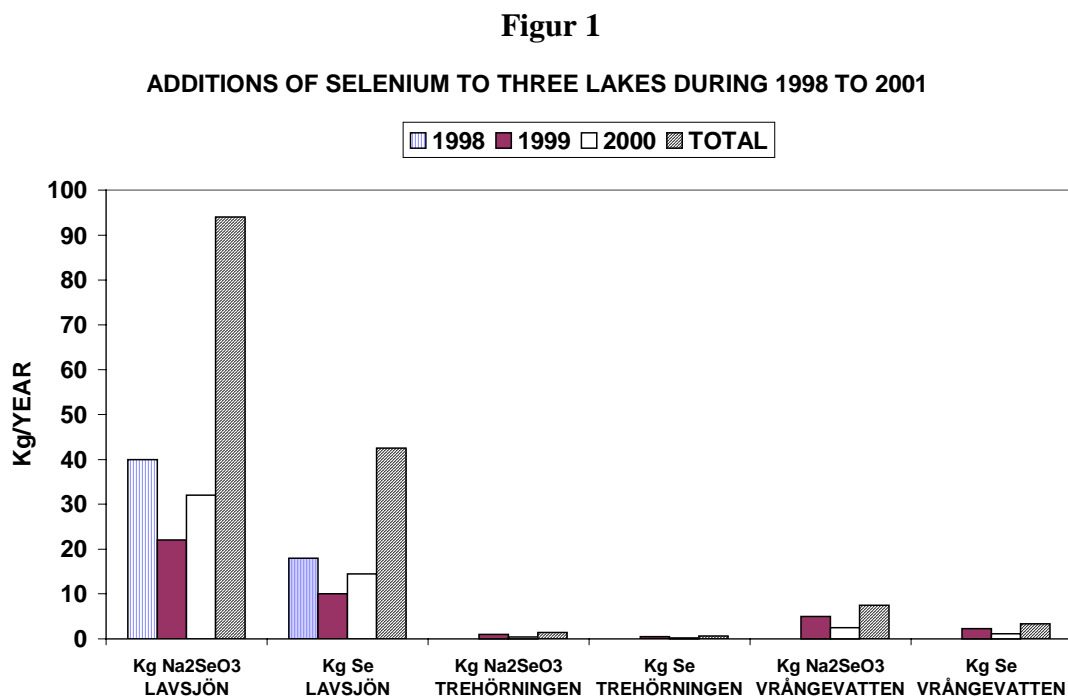
Arealer, omsättningstid av vatten, några vattenkemiska variabler, totalt kvicksilver, metylkvicksilver och selen i vatten samt metylkvicksilver i abborre och i 1-kilos gädda före selendoseringen startade framgår av Tabell 1.

Tabell 1.

	LAVSJÖN	TREHÖRNINGEN	VRÅNGEVATTEN
Area (ha)	70	6	50
Retentionstid (år)	0.1	1.9	1
pH	6.2	6.4	6.6
Färg (mg/Pt/L)	100	70	30
DOC (mg/l)	12	10	6
Kalcium (mg/L)	2.2	3.7	5.5
Magnesium (mg/L)	0.50	0.65	0.80
Total Hg i vatten (ng/L)	3.0	2.8	2.4
MeHg i vatten (ng/L)	0.23	0.20	0.10
Medelvärde Se (naturligt) i vatten (ng/L)	47	35	70
Medelvärde MeHg i 1 kilo gädda (mg/kg våtvikt)	0.8	0.7	0.6
Medelvärde MeHg (mg/kg våtvikt) i abborre 10 cm	0.11	0.08	0.05
Medelvärde Se i 1 kilo gädda (mg/kg våtvikt)	0.3	0.1	0.4
Medelvärde Se (mg/kg våtvikt) i abborre 10 cm	0.5	0.4	0.6

4.2 Selen tillförsel

Den tillförda mängden selen i form av natriumselenit respektive selen framgår av figur 1.



Under de tre åren 1998, 1999 och 2000 har totalt 42.5 kg selen tillförts Lavsjön. Under 1999 och 2000 har 0.6 kg tillförts Trehörningen och 3.4 kg i Vrångevatten.

4.2.1 Selenhalter i behandlade sjöar

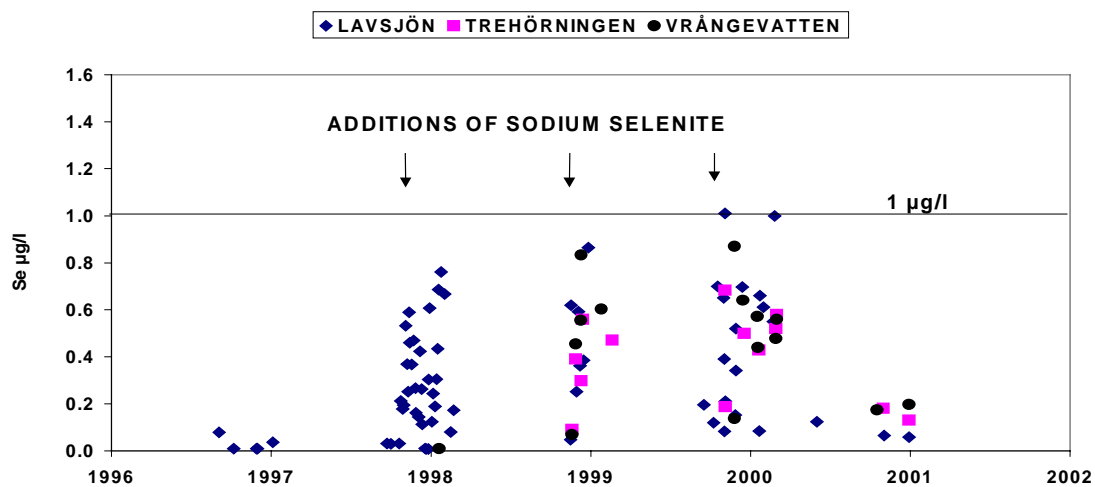
Selenhalten i Lavsjön (figur 2) har varierat mellan 0.1 till 1 µg/L, med de lägsta värden omedelbart före behandlingar och under vintern. De högsta värdena har erhållits i samband med selendoseringsar.

Selenhalten i vatten har med en begränsad arbetsinsats kunnat hållas stabil runt 0.5 – 1 µg L⁻¹ i Trehörningen och Vrångevatten.

Selenhalten i vatten har även efter vintern 1999/2000 varit påtagligt förhöjd i både Trehörningen och Vrångevatten till skillnad från Lavsjön. Lavsjön har genom snabb vattenomsättning haft bakgrundshalt av selen i vatten efter båda vintrarna 1998/1999 och 1999/2000.

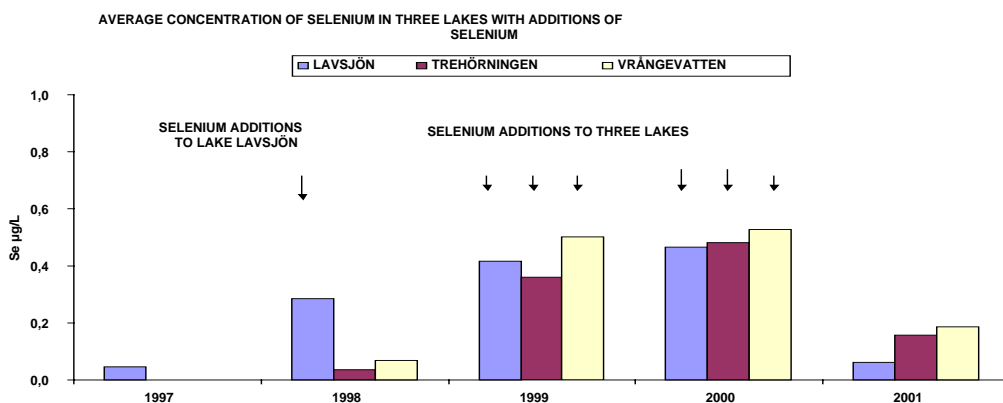
Figur 2

SELENIUM CONCENTRATIONS IN LAKE WATER



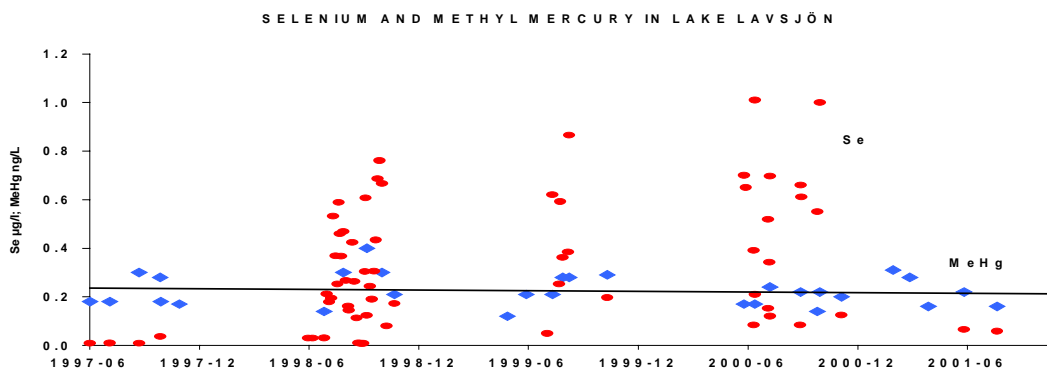
Lavsjön hade som medelhalt (figur 3 nedan) under sommarmånaderna ca 0.05 µg Se/L året före behandlingarna, och ökade till 0.29, 0.42 och 0.46 µg/L under åren med tillförsel av selen, för att åter minska till 0.06 µg/L under 2001, efter att tillförseln upphört. I Trehörningen som hade den längsta uppehållstiden av vatten (1.9 år) var selenhalten 0.04 µg Se/L före behandlingarna. Selenhalten ökade till 0.36 respektive 0.48 vid tillförsel, för att under 2001 minska till 0.16 µg/L. Vrångevatten hade de högsta halterna både före och under behandlingarna med 0.07 µg Se/L före, 0.50 respektive 0.53 vid tillförsel, och 0.19 µg/L under 2001.

Figur 3

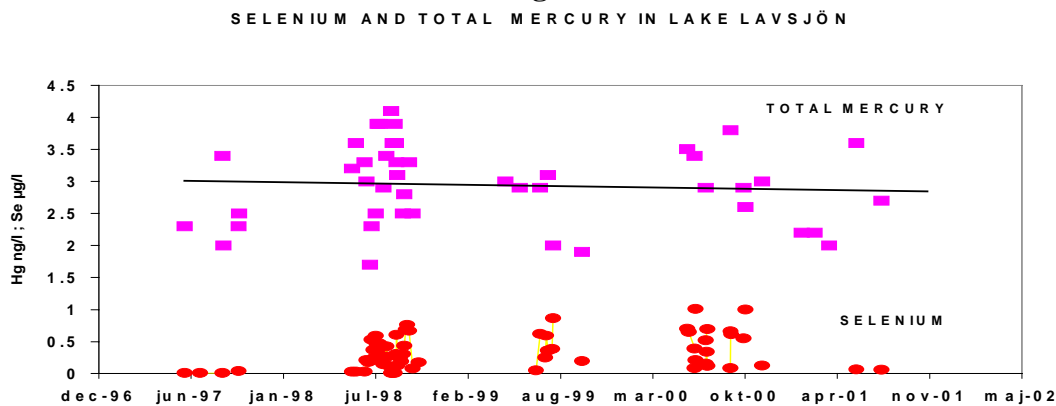


Halten i sjövattnen av metyl- och totalkvicksilver har inte påverkats av tillförseln av selen vilket framgår nedan i Figurerna 4 och 5 med exempel från Lavsjön.

Figur 4



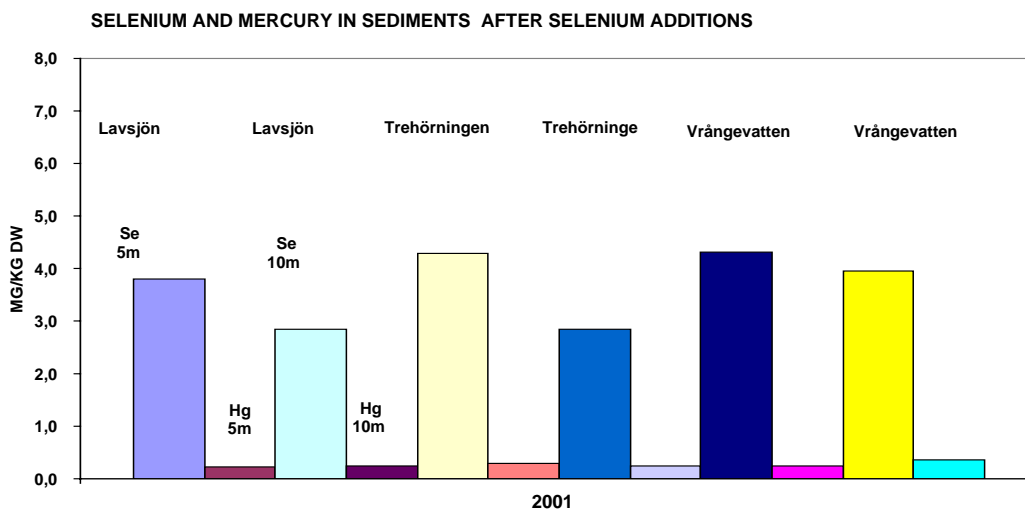
Figur 5



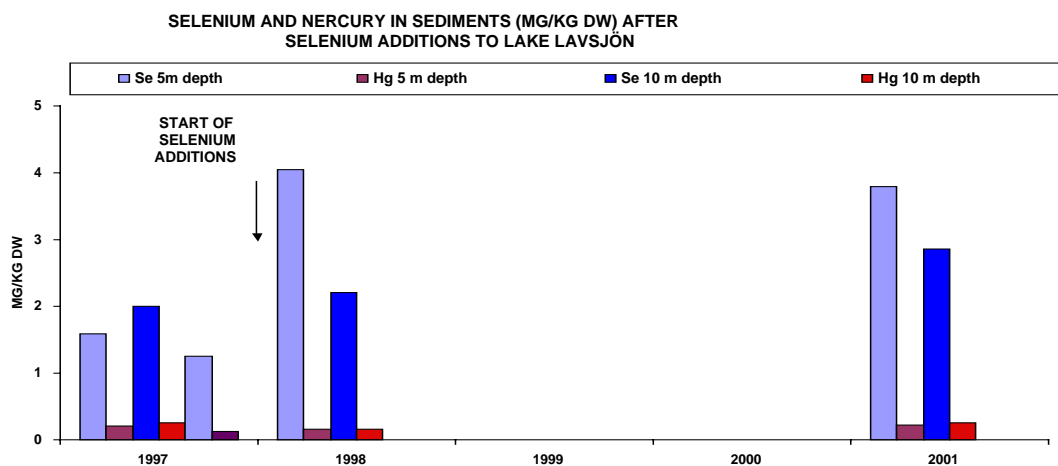
Provtagningar av sjöarnas ytsediment på grunda och djupa bottnar genomfördes under 1997, 1998 och 2001. Resultaten av selen- och kvicksilveranalyserna visas i figur 6 och

7 där det framgår att halten av selen har ökat med en faktor ca 2. Halterna av kvicksilver har dock inte förändrats.

Figur 6



Figur 7



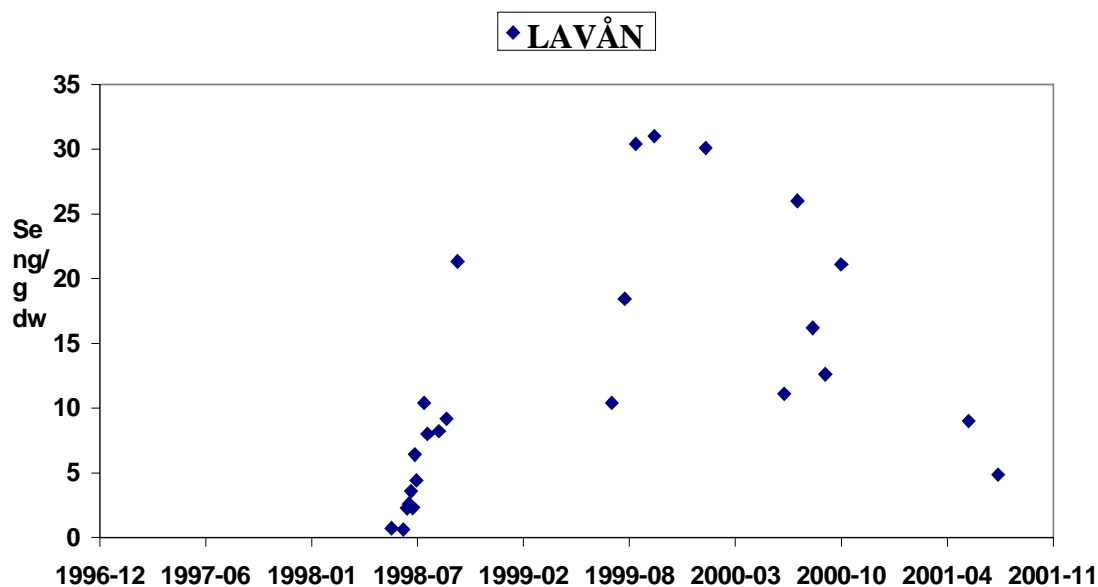
4.3 Effekter på växter och lägre djur

I figur 8 nedan med bäckmossan *Fontinalis* från utloppsströmmen från Lavsjön framgår att selenhalten ökar när selenhalten ökar vid tillförsel. När selenhalten i vatten sjunker under 2001 sjunker även selenhalten i bäckmossa snabbt då doseringen har upphört året

innan. Innehållet av totalt kvicksilver i bäckmossan har inte minskat i samband med ökningen av selen.

Figur 8

SELENIUM CONCENTRATION IN AQUATIC MOSS (FONTINALIS) IN THE
OUTLET STREAM FROM LAKE LAVSJÖN



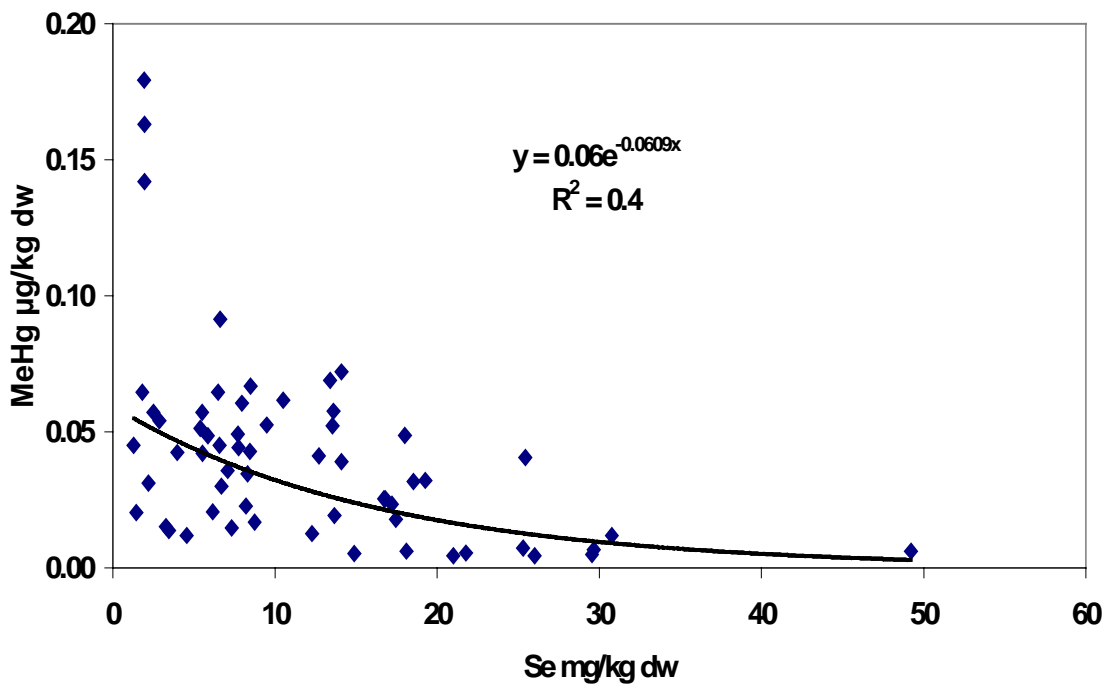
Selen har ökat i alla trofiska nivåer genom anrikning i näringskedjan i sjöarna. Figuren 9 nedan visar att ökningen av selenhalten medför en minskning av halten metylkvicksilver i djurplankton. Halterna anges i torrsvikt (dw) som är ca 5% av våtvikten. Omräknat i våtsvikt är halterna ca 20 gånger lägre.

Minskningen av halten metylkvicksilver redan på den lägsta trofinivån i sjöarna betyder att alla de övriga trofinivåerna påverkas. Alla trofinivåer som finns högre upp i näringskedjan får minskade halter av metylkvicksilver, genom att en mindre mängd metylkvicksilver finns tillgängligt för anrikning.

Detta är kanske ett av de viktigaste resultaten från experimenten med selenförsel till de tre sjöarna.

Figur 9

METHYL MERCURY VERSUS SELENIUM IN ZOOPLANKTON WITH ALL DATA FROM THREE LAKES WITH SELENIUM ADDITIONS



Artsammansättningen i de tre sjöarna följer i övrigt den som är vanlig i skogssjöar (Lavsjön) och utbildas i sjöar efter många års sjökalkning (Trehörningen och Vrångevatten). Frysta håvprover av djurplankton har karakteriserats med avseende på arter och ev. utveckling till följd av den behandling med selen som skett inom sjöarna. Nedströms Lavsjön har också Övre Skinnmuddselet påverkats av selentillförsen, men flödesproportionerna med ca 10% av vattentillrinningen till Övre Skinnmuddselet från Lavsjön medförde en betydande utspädning av selenhalten i magasinet.

Artbestämningen av djurplankton har utförts på de frysta proverna vilket har medfört att arbetet blivit tidödande och att en del mindre och fåtaliga arter sannolikt förbisetts. Karakteriseringen ger dock möjlighet att belägga större förändringar. Karakteriseringen ger dessutom möjlighet att se hur 'rena' proven är.

Som framgår av Tabell 2 nedan har ingen dramatisk och bestående förändring utav djurplanktons inbördes abundansförhållanden kunnat observeras i någon av de undersökta sjöarna. Proverna visar istället på att den normala variationen under året

fortlöper i stort, med en viss mellanårsvariation sannolikt beroende av både klimatiska och hydrokemiska faktorerens variation.

I flertalet av sjöarna och olika delar av Skinnmuddselet innebär detta en dominans av cladocerer (*Daphnia* och *Bosmina*) under en stor del av växtsäsongen. Under vintersäsongen alternerande med en dominans av copepoder. Förekomsten av *Holopedium* har medfört ett tidsödande arbete att koncentrera djurplanktonproverna genom slemmets stora vattenhållande förmåga. I Vrångevattnen i Bohuslän utgör dock den calanoida copepoden *Eudiaptomus gracilis* ett viktigt inslag i djurplankton under stora delar av året. Detta är typiskt för många skogssjöar i sydvästra Sverige.

Med utgångspunkt i djurplanktonproverna kan man sammanfattningsvis konstatera att selenbehandlingarna med den använda doseringen inte medfört någon markant påverkan på sjösystemens djurplanktonfauna.

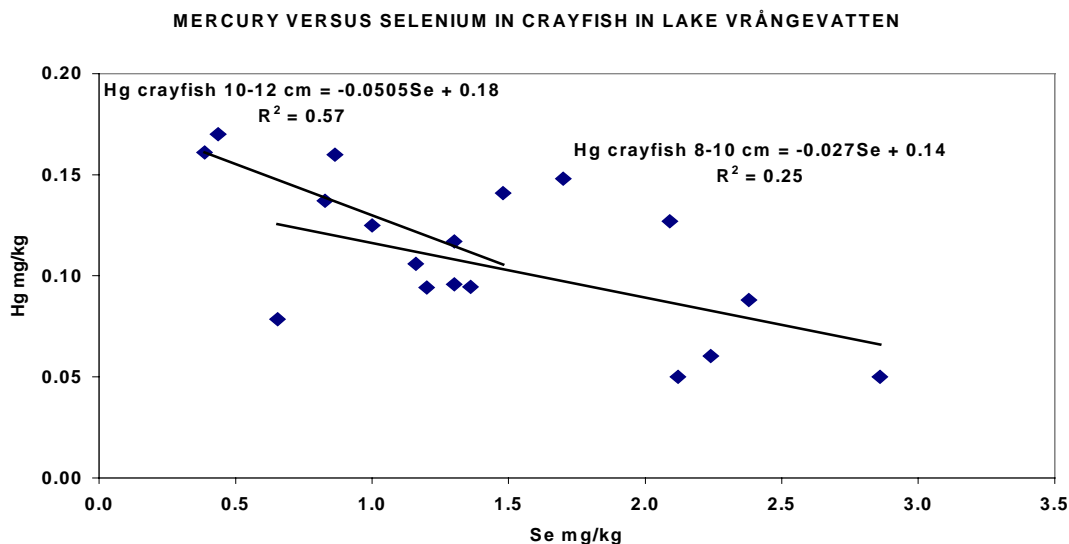
Tabell 2 Species compstion and relative quantities of zooplankton

Hg-Selen		Karakterisering av håvprover med avseende på zooplankton och ev. utveckling																				
		Daphnia Bosmina Holoped ChydoridaBythotreph Leptodora Polyphem Eudiaptom Cyclopoidé Calanoida Kellicottia Keratella Polyaövr.																				
L A V S J Ö N	Färg-selentillförel																					
	97-09-30	+++	(+)									(+)	(+)									enst. vilägg, chir. PUPPA
	98-06-03	+										++++	+	(+)	(+)							pollen
	98-06-11	++	++									++	(+)	+	(+)							mkt pollen
	98-06-30	++	++									++	(+)	(+)	(+)							många Bosmina med ägg
	98-07-04	++	+++									(+)	(+)	(+)	(+)							många Bosmina med ägg, en del nauplier
	98-07-08	+++	+++									+	(+)	(+)	(+)							många Daphnia med ägg och en del nauplier
	98-07-12	+++	++									+	(+)	(+)	(+)							äggantalet minskat, en del detritus
	98-07-15	++++	+									+	(+)									
	98-07-19	++++	+									+	(+)	(+)	(+)							få med ägg och en del nauplier
	98-07-22	++++	+									+	+									
	98-07-29	++++	+									+		(+)	(+)							enstaka vilägg
	98-08-05	+++	+									+		(+)	(+)							
	98-08-10	+++	+									(+)	(+)	(+)	(+)							många Bosmina med ägg
	98-08-19	++++	+				?	(+)				+	(+)	(+)	(+)							enstaka vilägg och nauplier
	98-08-26	++++	+									+	(+)	(+)	(+)							många Daphnia med ägg, chir. Larv, en del algräddar
	98-09-03	+++	++	(+)								+	(+)		(+)							mkt nauplier
	98-09-09	++++	+									(+)	(+)	(+)	(+)							få äggbärande och enstaka nauplier
	98-09-17	+++	(+)									(+)	(+)		(+)							en del vilägg
	98-09-24	+++	+									(+)	(+)		(+)							
	98-09-30	++++	(+)									+	(+)		(+)							en del vilägg
	98-10-08	++++	+	(+)								(+)	(+)		(+)							enstaka äggbärande
	99-06-21	++	+++									+	(+)	(+)	(+)							många Bosmina med ägg, enstaka nauplier
	99-07-06	++	+++									(+)	(+)		(+)							många Bosmina med ägg, enstaka nauplier
	99-07-26	+++	+									(+)	(+)		(+)							en del detritus
99-08-01	+++	(+)							(+)													
99-08-10	+++	+									+	(+)	(+)	(+)								
99-08-26	+++	++				?					+	(+)	(+)	(+)							en hel del alger med i provet	
99-09-06	+++	+									+	(+)		(+)							mkt alger i provet	
99-09-25	++++	+									(+)										mkt alger i provet	
99-10-14	+++	+									++	(+)									klumpar av detritus	
00-05-28	+	+				(+)					+++	+	(+)								mkt detritus	
00-05-29	+	+									+++	+									mkt detritus, enstaka chir. larver	
00-06-14	(+)	+++									+		(+)	(+)							många Bosmina med ägg, en del detritus	
00-07-08	++	+									++	(+)		+								
00-08-02	++	+									+	(+)		(+)							Bosmina med ägg	
00-08-30	+++	++									+	(+)		(+)								
00-09-29	+	(+)									(+)	(+)									Bosmina med ägg	
S K Ö V N E R M E D D	97-09-30										(+)											enbart algräddar
	98-06-08	+	+				(+)	(+)			+										mkt alger och polen, detrituspartiklar, en del vilägg	
	98-06-10			?	(+)						++++										enstaka nauplier	
	98-07-14	++++	+				(+)	(+)			+	(+)	(+)	(+)							enstaka skalamböror	
	98-08-25	(+)	(+)								+	(+)									grovpartikulär detritus	
	98-10-12	+++	(+)								(+)	(+)									Bosmina med ägg	
	99-06-21	++	+++								+										en hel del algräddar m.m.	
	99-08-21	++	(+)				(+)				+	++									enstaka skalamböror	
99-09-02	+++	(+)								+										lite alger		
99-10-04	++++	+								(+)												
S K Ö V N E R M E D D	98-07-14	+++	(+)								+			(+)								
	98-07-28	+++	(+)								(+)			+								
	98-08-23	++									++										mkt alger	
	98-10-12	+++	(+)								+	(+)		(+)								
	99-07-15	++++	+								(+)			(+)								
	99-08-01	++									+			(+)								
99-09-02	++	++								(+)				(+)							mkt grovpartikulär detritus	
99-10-04	++	++								(+)				(+)							mkt grovpartikulär detritus	
STOR- TÄLL- VATTNE	97-10-01	(+)	(+)								(+)											mkt detritus och alger
	98-06-06	(+)	(+)								(+)			(+)	(+)							detritus, alger och pollen
	99-10-05	++	++								+	(+)	(+)	(+)	(+)							en del alger
GÄDD- SJÖ- DAMME	00-08-08	++	+								+	(+)										enstaka skalamböror, Sphagnumblad
	00-10-01	(+)	(+)								+			(+)	(+)							algräddar ooch Sphagnumblad
	00-11-07	(+)	(+)								+++	(+)	(+)	(+)	(+)							finpartikulär detritus
V R Ä N G E V A T T N E	98-10-21	+	+++				(+)				+	+										copepodditer, enstaka vilöägg
	99-07-18	+	++++								++	(+)		(+)								många Bosmina med ägg
	99-08-04	+	++				(+)				++	(+)		++								enstaka copepoditeer
	99-08-27	(+)	+++								++	+										
	99-09-16	+++									++	(+)										en del alger
	99-11-17	(+)	+++								+++	(+)										
	00-05-10	(+)	+								+	(+)										Holopedium med ägg
	00-05-24	+	+				(+)	(+)			+	+										
	00-06-18	+	+				(+)	(+)			++	+										
	00-07-25	(+)	+				(+)	(+)			++	+										en del algräddar
00-08-26	+	+								++	(+)										en del detritus och alger	
00-10-07	+++	+								+	+			(+)								
T R E H Ö R N I N G E N	99-07-16		++								++			(+)	(+)							en del nauplier
	99-07-20	(+)	+								++			++	+							en del nauplier och enstaka copepoditer
	99-08-06		(+)								(+)			+++	+							detritusklumpar
	99-08-26	(+)	++								(+)			+								enstaka vilägg
	99-09-20	+	+								+			(+)	+							
	00-05-24	+	++								(+)			++	+							en del alger
	00-05-25	+	+								(+)	++		++	+							en del alger
	00-06-16	(+)	++								(+)	++		++	+							en del detritus
00-07-29	(+)	++++				(+)				(+)	++		++	+							enstaka grovdetrituspartiklar	
00-08-28	(+)	++++								(+)	++		++	+							enstaka vilägg	
00-10-05	(+)	++								(+)	++		++	+							mkt detritus och alger	

+ = relativt abundans i proven
 (+) = enstaka exemplar
 ? = ej säker identifiering

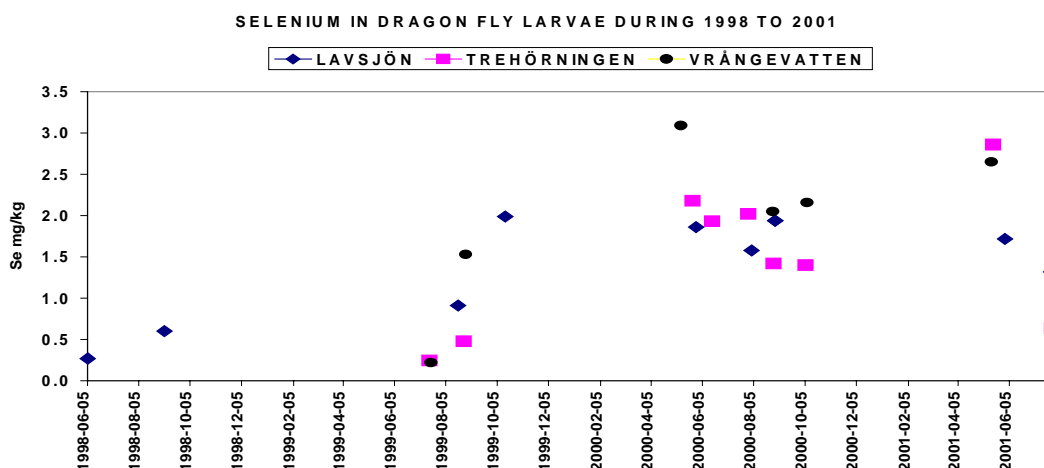
Halten av selen har ökat och halten av kvicksilver har minskat i både 8-10 cm kräftor och i 10-12 cm kräftor i Vrångevattnen (figur 10). Selenhalten har ökat mest i de mindre kräftorna där även den största minskningen i kvicksilver ha skett.

Figur 10



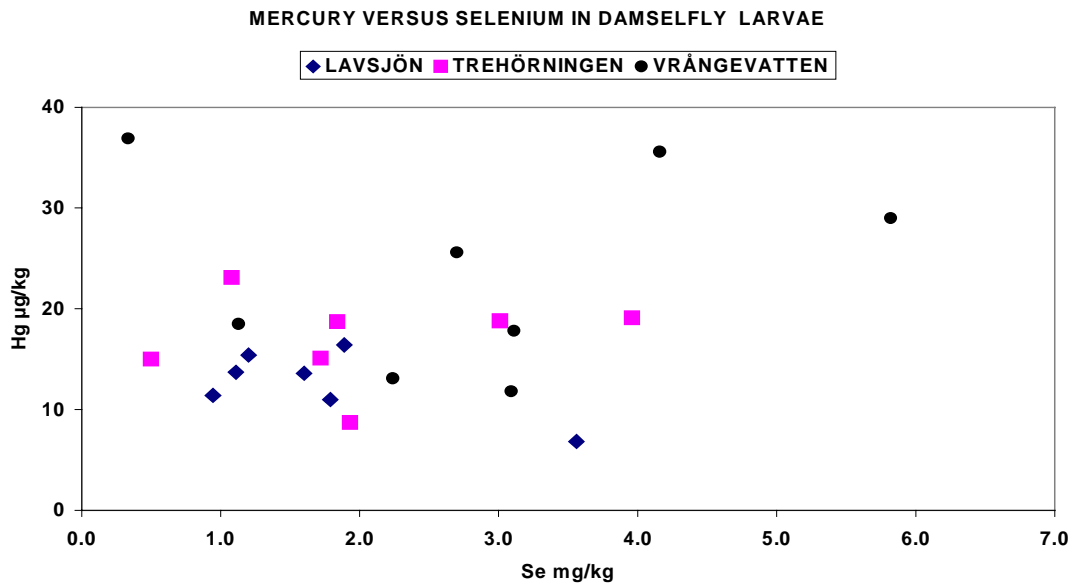
Bland de undersökta grupperna av olika insektslarver har halterna av selen ökat i samtliga efter selentillförsel till sjöarna. I figur 11 visas ökningen av selenhalten i rolevande insektslarver, här i form av stora trollsländelarver, från de tre behandlade sjöarna. Under 2001 sjunker selenhalten åter.

Figur 11

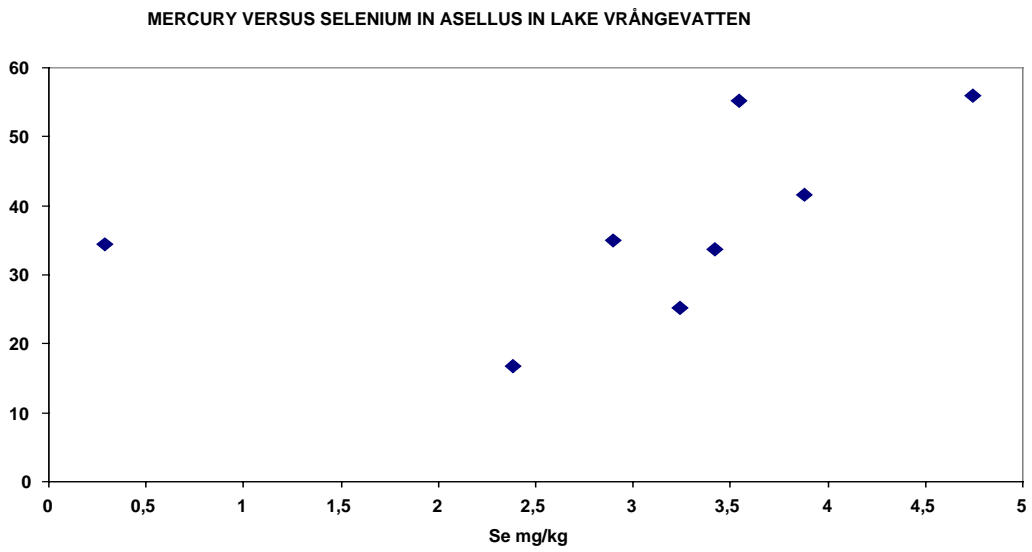


Figurerna 12 – 17 visar att halten av kvicksilver i stora och små trollsländor, flicksländor, nattsländor inte har påverkats av de högre selenhalterna i någon av tre sjöarna.

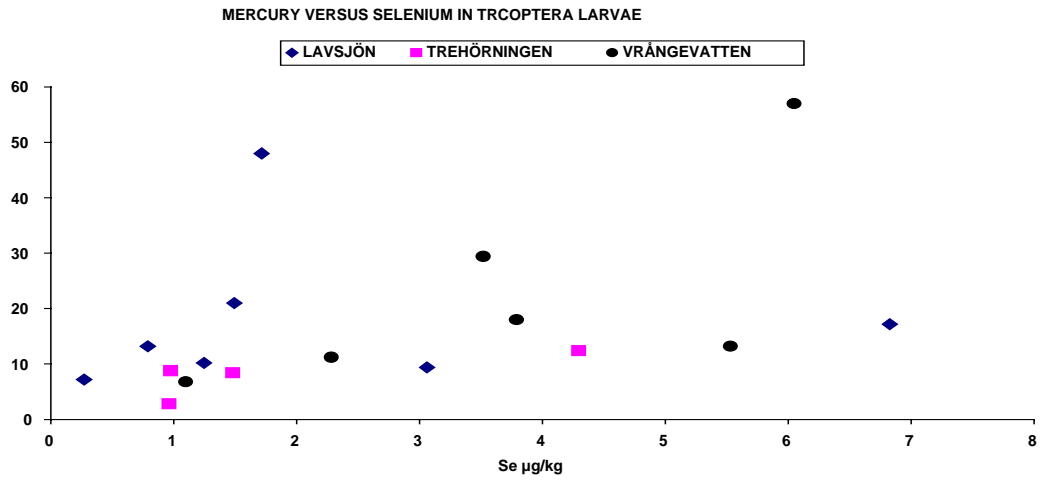
Figur 12



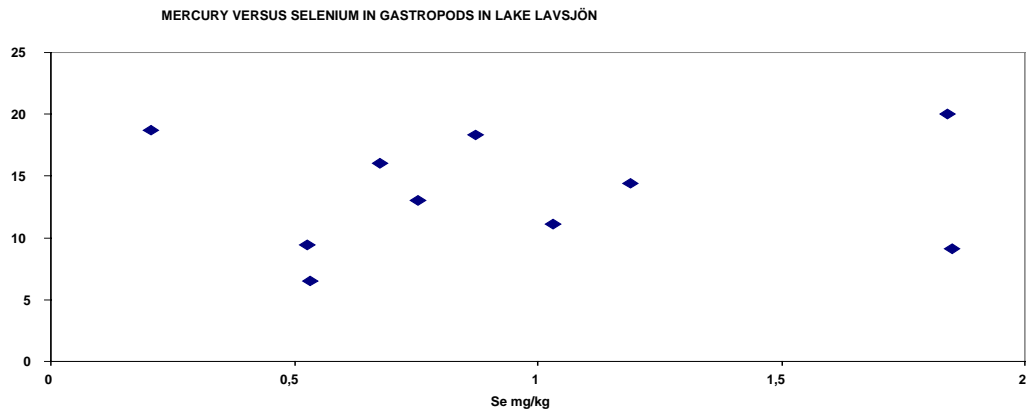
Figur 13



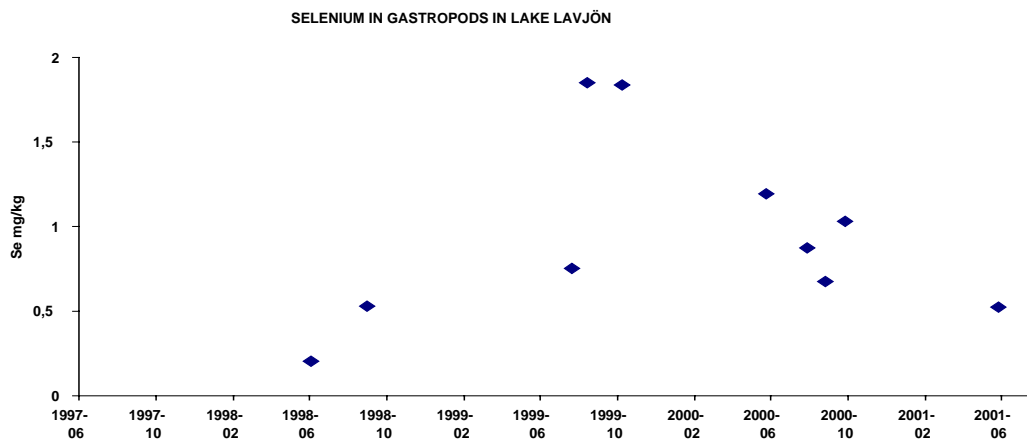
Figur 14



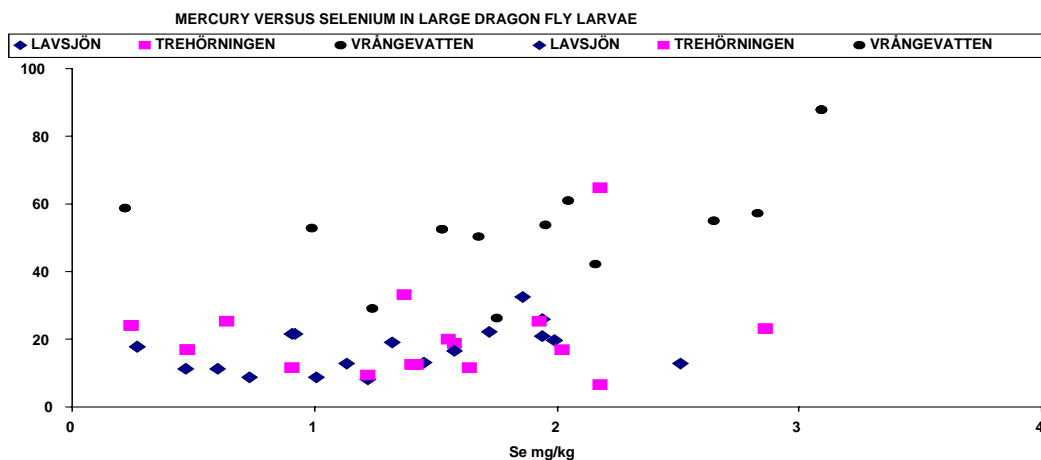
Figur 15



Figur 16



Figur 17



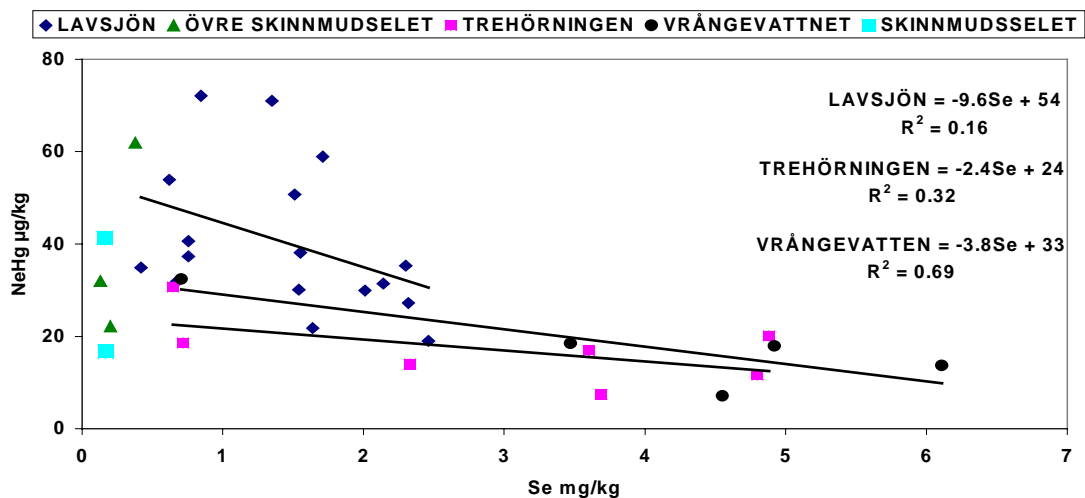
4.4 Effekter på fisk

Inga negativa effekter på fiskreproduktion av mört och abborre har observerats med de provtagningar som genomförts genom håvning av fiskyngel och fiske med finmaskiga nät. Under 2001 erhöles stort antal 1- och 2- åriga abborrar som fötts under åren med selen tillförsel i Lavsjön.

På motsvarande sätt har årsyngel av mört samlats in årligen under sommarmånaderna i samtliga tre sjöarna. Figur 18 nedan visar att halten av metylkvicksilver kan variera mycket vid låg selenhalt i årsyngel av mört med ett flertal mycket höga halter. Efter tillförsel av selen ökar halten selen i mört yngel och metylkvicksilver minskar. Selen tillförseln har medfört en ca 50%-ig minskning av metylkvicksilver i mört yngel i de tre sjöarna.

Figur 18

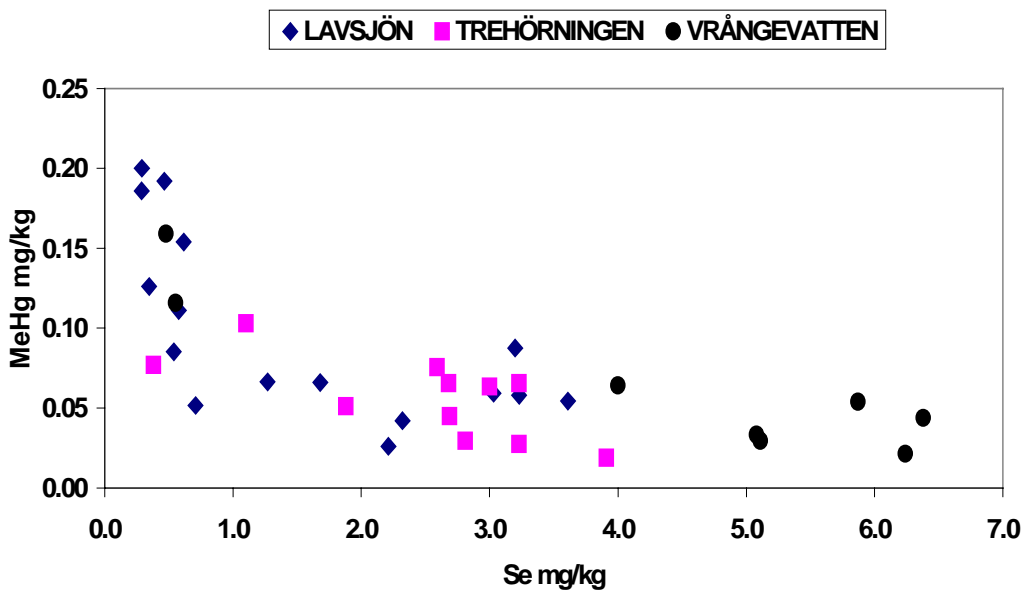
METHYL MERCURY VERSUS SELENIUM IN YOUNG OF THE YEAR ROACH FRY



Halten av selen har ökat i yngre mört i de tre sjöarna vilket resulterat i minskade halter av metylkvicksilver i fiskmuskel (se figur 19 nedan).

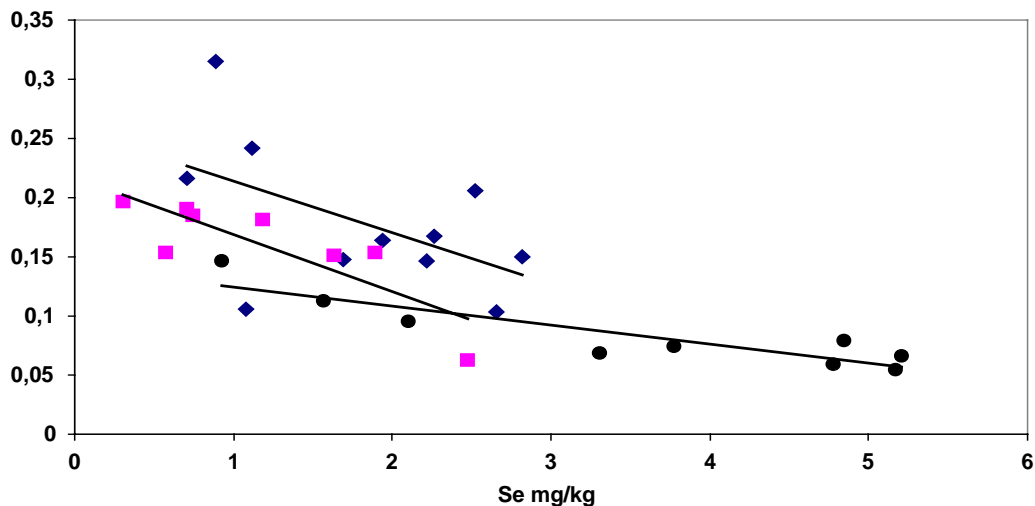
Figur 19

METHYL MERCURY VERSUS SELENIUM IN 4-6 cm ROACH



Figur 20

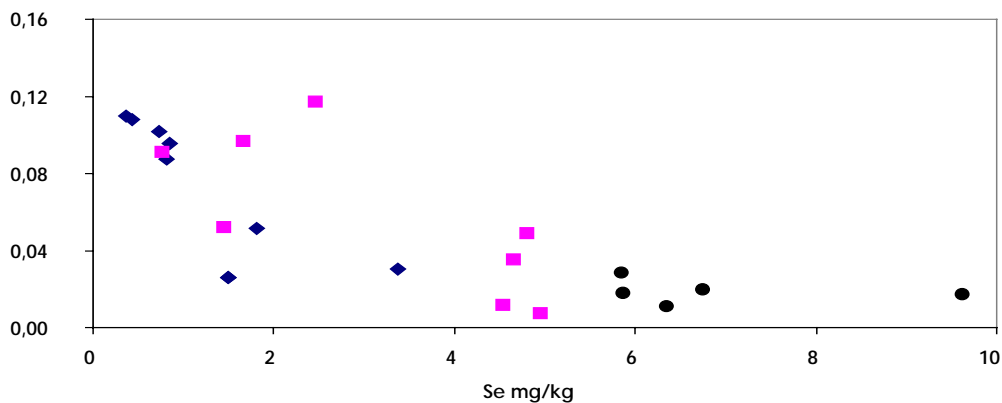
METHLM MERCURY VERSUS SELENIUM IN 12 TO 14 CM ROACH IN LAKE LAVSJÖN, LAKE TREHÖRNINGEN AND LAKE VRÅNGEVATTEN



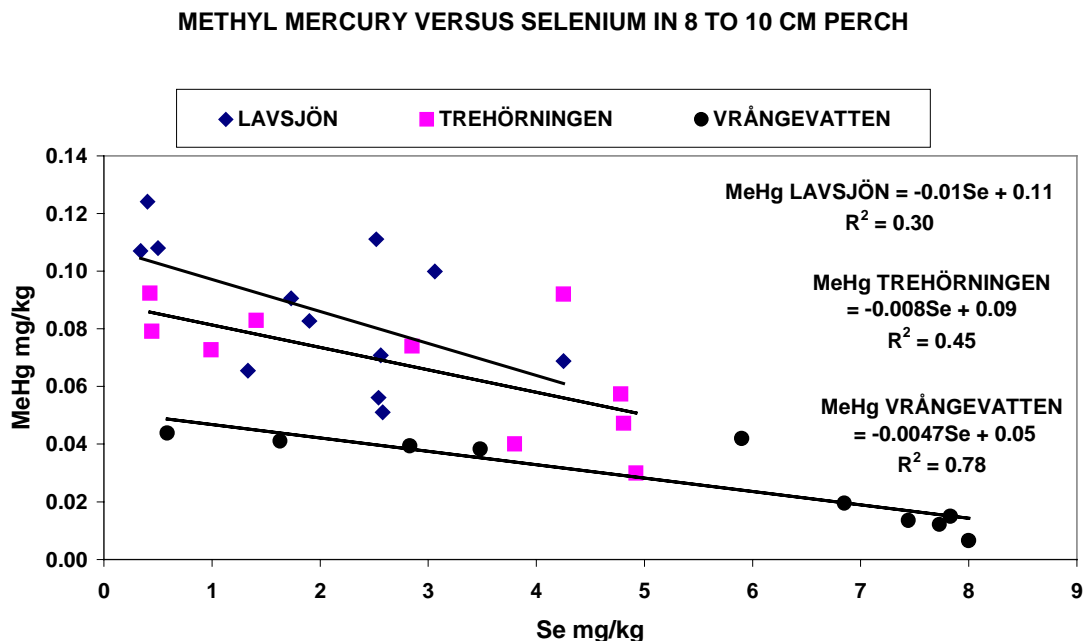
På samma sätt som för mört har selenhalten ökat och halten metylkvicksilver minskat i yngre abborre vilket framgår av Figurerna 21 - 23 nedan. Den snabba ökningen av selen och motsvarande minskning av metylkvicksilver i yngre abborre och mört är en följd av att dessa storleksgrupper har djurplankton som sin dominerande föda. Det framgick av figur 8 ovan att djurplankton svarat snabbt på selentillförseln med ökad selenhalt och minskad halt av metylkvicksilver vilket snabbt återspeglas högre upp i näringskedjan.

Figur 21

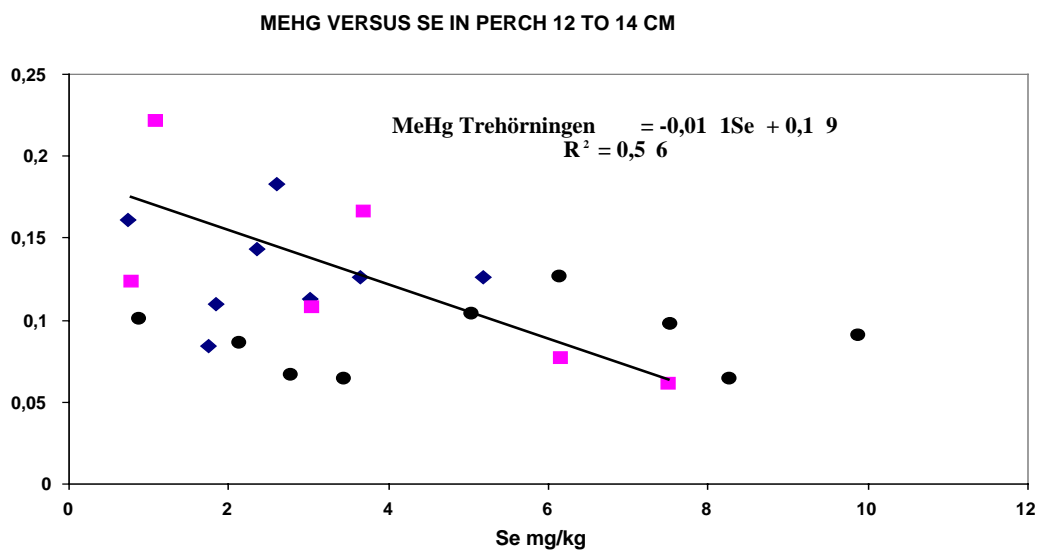
METHYL MERCURY VERSUS SELENIUM IN 7-8 cm PERCH AFTER ADDITIONS OF SELENIUM TO LAKE LAVSJÖN, LAKE TREHÖRNINGEN AND LAKE VRÅNGEVATTEN



Figur 22



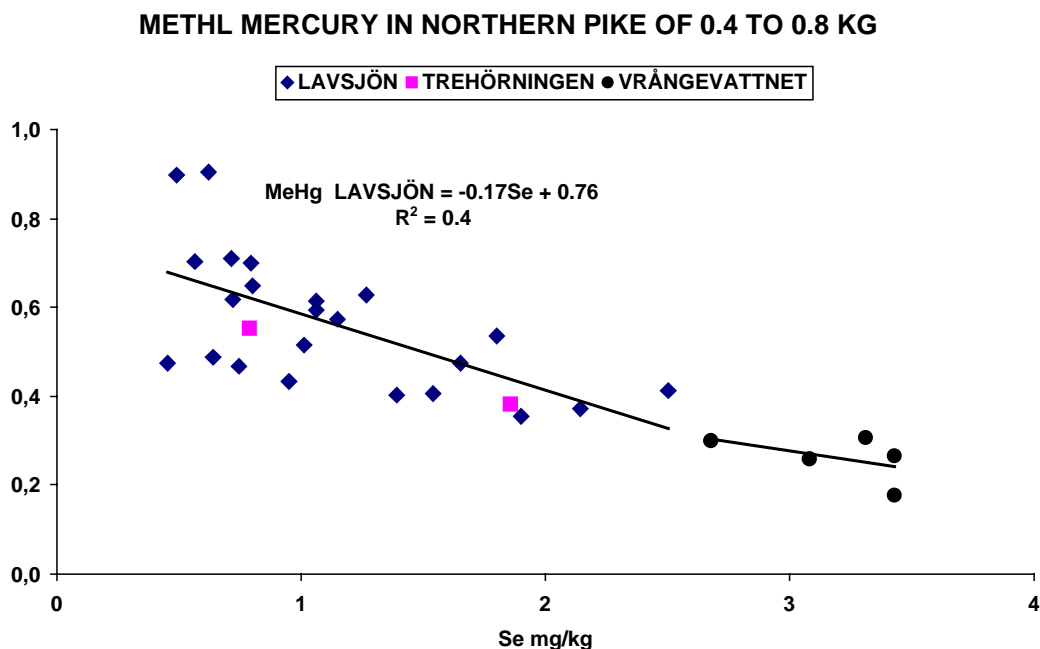
Figur 23



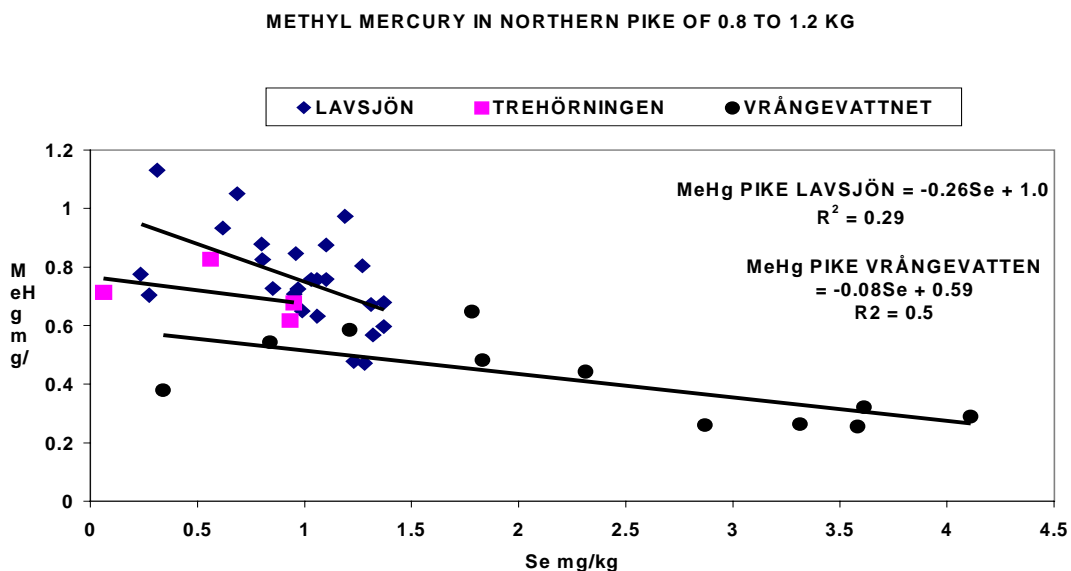
Gädda visar en stor minskning av halten metylkvicksilver i viktgrupperna 0.4 – 0.8 kg (figur 24) respektive 0.8 – 1.2 kg (figur 25). Minskningen av metylkvicksilver sker samtidigt med ökade halter av selen i muskel. Minskningen av metylkvicksilver är ca 50% i gädda från både Lavsjön och Vrångevatten. I Vrångevatten som har den största ökningen av selen har den största minskningen av metylkvicksilver ägt rum. Gäddor i dessa storleksklasser har minskat så snabbt i metylkvicksilver föda utgörs av unga

mörtar och abborrar där minskningen av metylkvicksilver varit som störst (jämför figurerna 19 - 23).

Figur 24



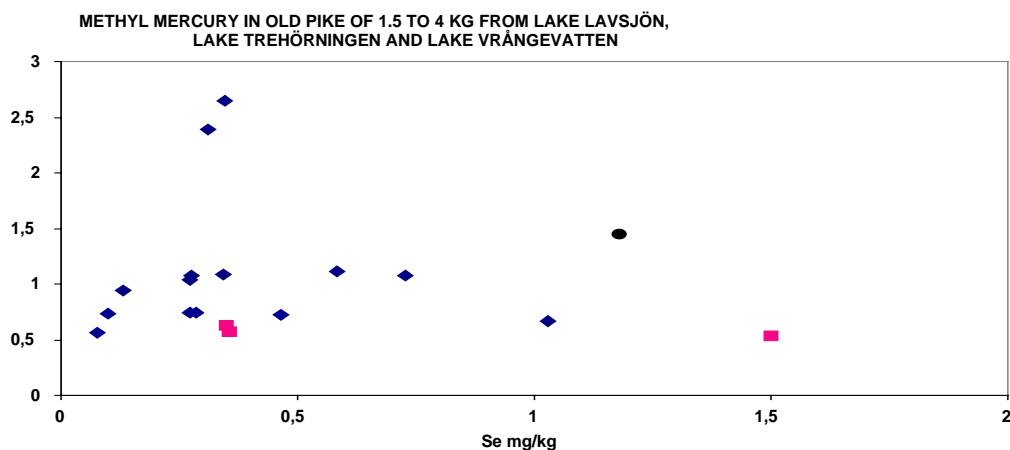
Figur 25



Äldre gäddor (figur 26) och abborrar visar ökade halter av selen med för äldre gäddor har detta ännu ej medfört något påtaglig minskning av halten metylkvicksilver. Födoupptaget hos dessa större gäddor utgörs i sin tur av äldre och större bytesfiskar vilka inte har minskat lika mycket i metylkvicksilver som yngre mört och abborre.

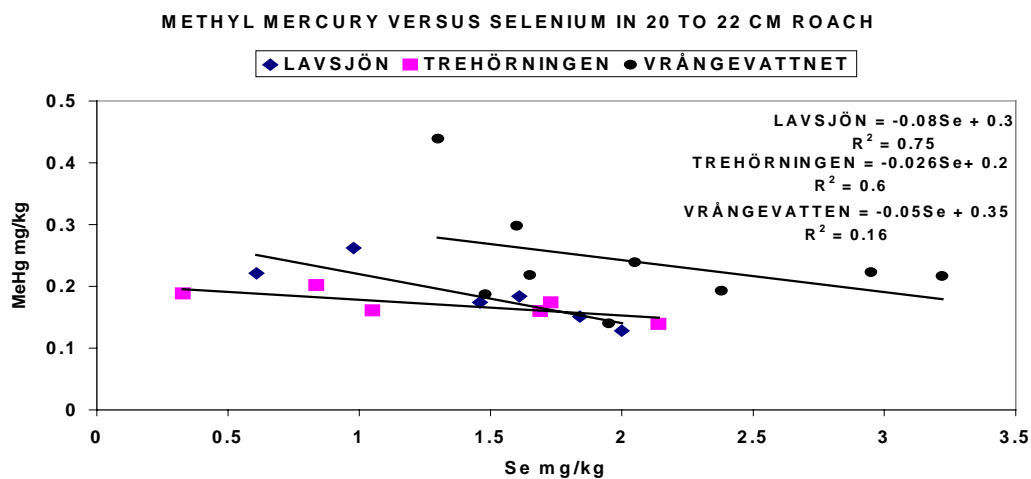
Effekten på dessa äldre gäddor slår igenom med en tidsfördröjning på något eller flera år. Det är först när de mörtar och abborrar som nu fått minskade halter blir äldre/större som de kommer att bli viktigare födoobjekt för stora och gamla gäddor.

Figur 26



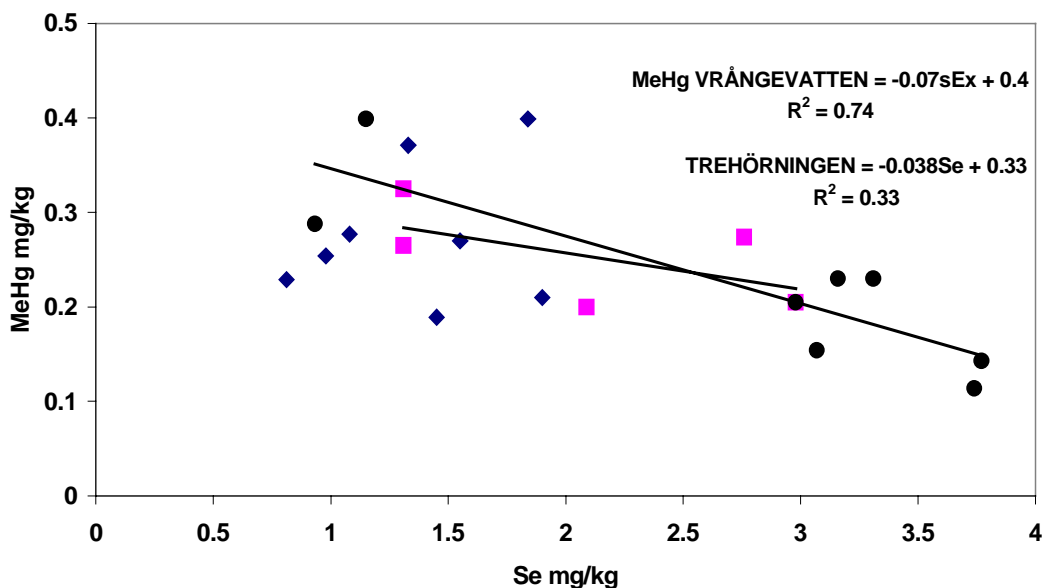
Figureerna 27 och 28 nedan visar att även större (20-22 cm) mört och abborre har fått lägre halter av metylkvicksilver samtidigt som selenhalten ökat i de tre sjöarna.

Figur 27



Figur 28

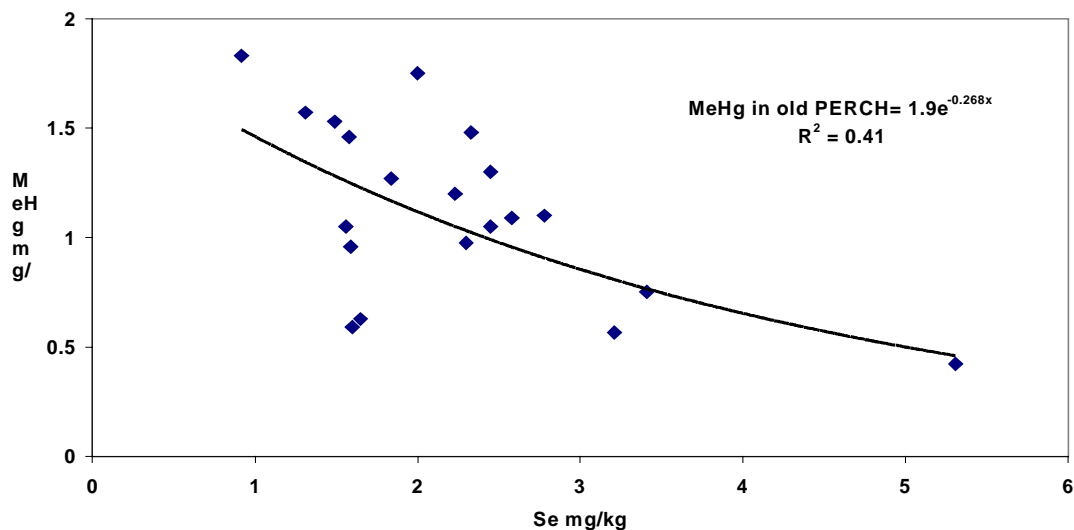
METHYL MERCURY VERSUS SELENIUM IN PERCH 20 TO 22 CM



Av figur 29 nedan framgår att äldre abborre (26 – 36 cm) från Lavsjön visar på minskad halt av metylkvicksilver med ökade muskelhalter av selen. Antalet undersökta äldre abborrar från Trehörningen och Vrångevatten är för få för att visa på något samband mellan de ökade halterna av selen och minskad halt av metylkvicksilver.

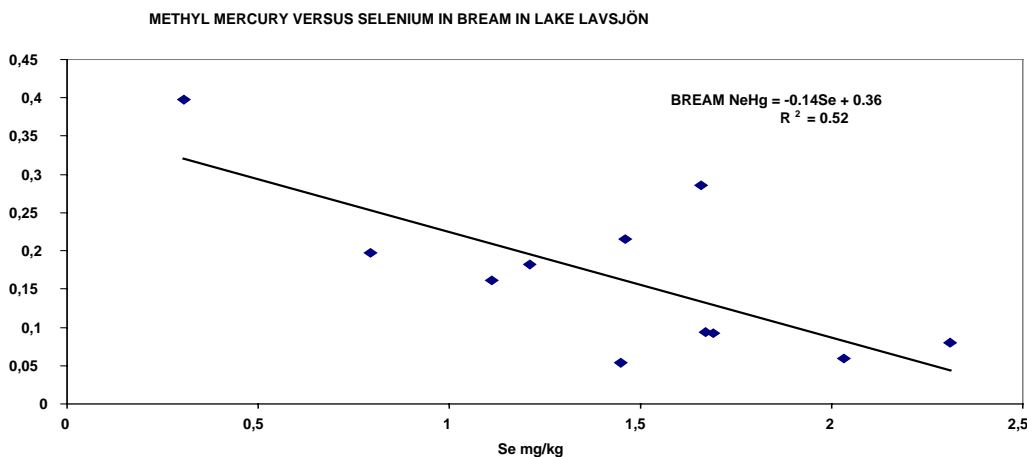
Figur 29

METHYL MERCURY VERSUS SELENIUM IN 26 TO 36 CM PERCH IN LAKE LAVSJÖN

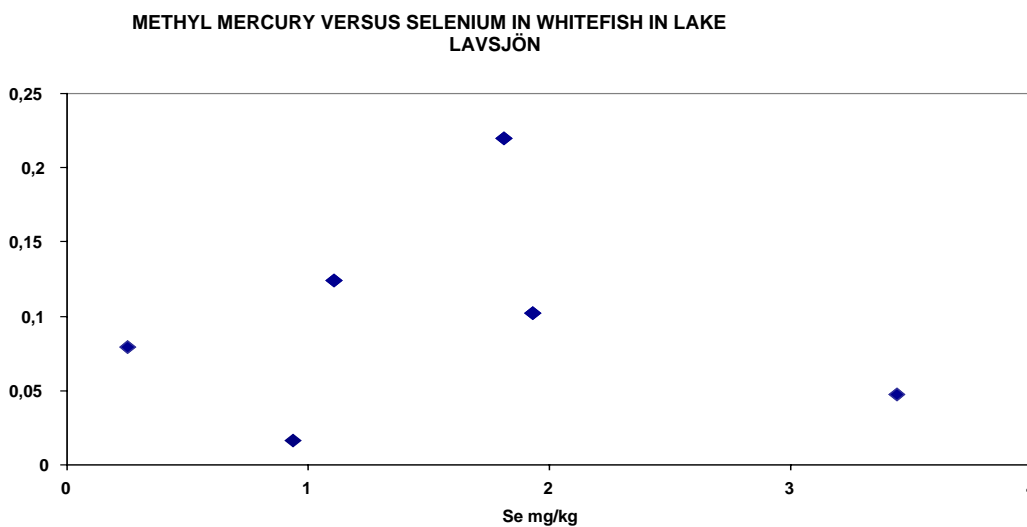


Figur 30 visar att halten av metylkvicksilver i braxen är låg och minskar med ökade halter av selen i fiskmuskel. Vid selenhalt av 2 mg/kg i fiskmuskel har metylkvicksilver minskat med ca 60 %.

Figur 30



Figur 31



Även sik i Lavsjön har låga halter av metylkvicksilver och det finns inget samband mellan selen och metylkvicksilver i fiskmuskel vilket framgår av figur 31. Enstaka analyser av små lake och benlöja visar att selen tas upp och ökar i muskel men dataunderlaget är för litet för att kunna se något samband med metylkvicksilver i dessa arter.

4.5 Effekter av selen i Skinnmuddselet?

Skinnmuddselet med sommartid en yta av 27 km² och en volym på 150 Mm³ ligger omedelbart nedströms dem selenbehandlade Lavsjön. Den översta delen av magasinet heter Lanaträsk och där mynnar Lavån vars tillrinning från Lavsjön till magasinet utgör ca 15 % av årstillrinningen. Nedströms Lanaträsk fortsätter magasinet i Övre Skinnmuddselet som sträcker sig ned till riksväg 92. Nedre delen av Skinnmuddselet utgörs av delen mellan riksväg 92 och utloppet vid Stennäs kraftverk. Upptaget av flyttorv har efter 1999 flyttats från Stennäs till Gädtsjödammen som är en stor vik i den nedre delen av Skinnmuddselet. Skinnmuddselet avvattnas genom Gideälven och sjön närmast nedströms magasinet heter Stora Tällvattnet.

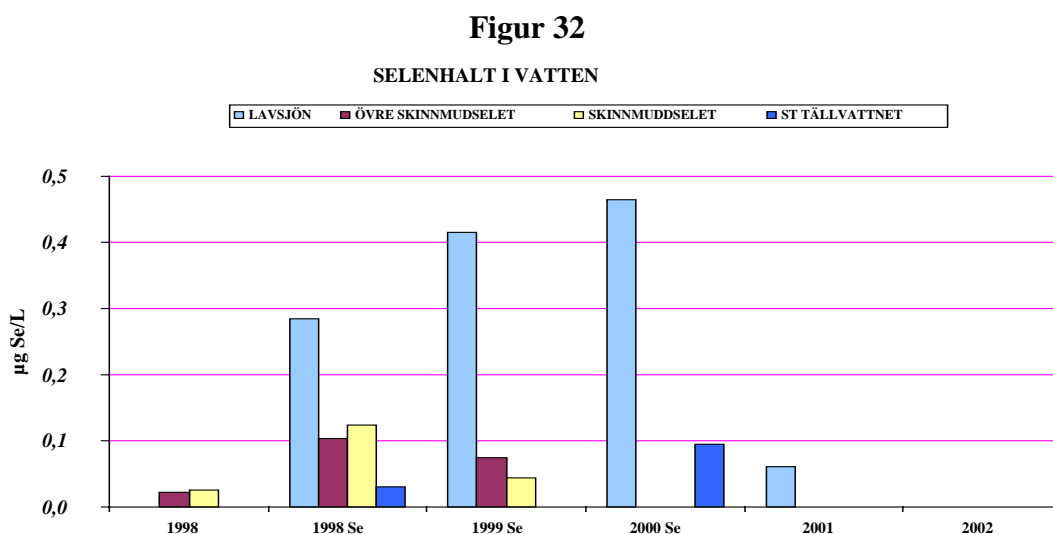
Nedan görs en grov beräkning av selenhalten i olika delar av magasinet.

Baserat på uppgifter om dygnstillrinningen till magasinet under juli, augusti och september har dygnsmedeltillrinningen från Lavsjön till Skinnmuddselet beräknats till 4,2, 1,5 respektive 5,2 m³/s under åren 1998, 1999 och 2000. Vattentransporten under de tre sommarmånaderna blir då 34, 12 och 41 Mm³ under behandlingsåren. Lavsjöns sjövolym på ca 2 Mm³ återgick flera gånger till bakgrundshalt under det första året vilket medförde den högre doseringen 1998. Den tillförda selenmängden var ca 18, 10 respektive 15 kg Se under de tre åren. Teoretiskt ger detta en beräknad medelhalt av selen i Lavsjön ca 0,4, 0,5 respektive 0,4 µg Se/L för respektive år. Beräkningarna ger något hög halt jämfört med uppmätta halter under första och andra året och något lägre halt under tredje året. Analyserna av vatten visade att Lavsjön hade en medelhalt av selen under sommarmånaderna på ca 0,05 µg Se/L före behandlingarna. Selenhalten ökade till ca 0,3, 0,4 respektive 0,5 µg Se/L under åren med tillförsel av selen. Upptag av selen i sedimenten och andra osäkerheter kan möjligen förklara skillnaderna mellan beräknade och uppmätta halter.

Vattenmängderna som tillförs Skinnmuddselet med en förhöjd selenhalt är störst under första och tredje året då ca 30 – 40 Mm³ tillförs magasinet från Lavsjön. Den tillförda vattenmängden kan jämföras med magasinets totala vattenvolym på ca 150 Mm³. De extremt nederbördsrika åren 1998 och 2000 har även medfört att tillrinningen från andra delar av tillrinningsområdet till magasinet varit lika hög. Detta har medfört en betydande utspädning av selenhalten i magasinet. Utspädningen har skattats till ca 1/3 i

Övre Skinnmuddselet och i Skinnmuddselet närmast riksväg 92 . I nedre delen av Skinnmuddselet och St Tällvattent har utspädningen skattats till 1/5 av selenhalten i Lavsjön. Den beräknade selenhalten i vatten Övre delen av magasinet har då varit 0,1 respektive 0,2 µg Se/L under 1998 och 2000. Den nedre delen av magasinet och St Tällvattnet har haft selenhalter på 0,06 till 0,1 µg Se/L.

Figuren 32 visar medelhalter av selen från enstaka vattenanalyser före och under selentillförsel i Övre Skinnmuddselet, Skinnmuddselet och i St Tällvattnet tillsammans med medelhalterna i Lavsjön. Selenhalterna har ökat i båda delarna av magasinet och i St Tällvattnet från ca 0,03 µg/L till halter omkring eller över 0,10 µg Se/L. Tillrinningen till Lanaträsket som ligger omedelbart nedströms Lavsjön domineras helt av Lavån och vattenkemin i denna del av magasinet följer kemin i Lavsjön. Medelhalten av selen i Lanaträsket kan därför antas ha följt selenhalten i Lavsjön.

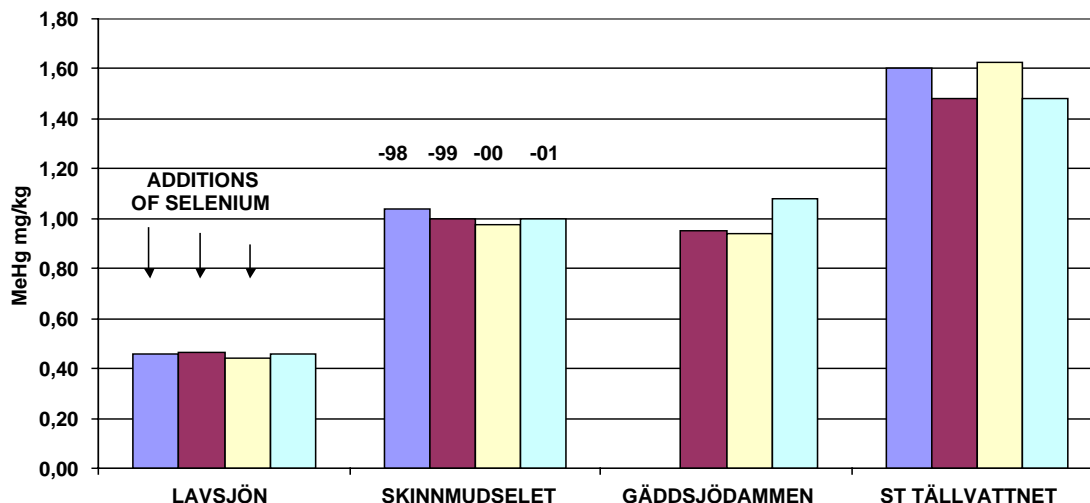


Enstaka analyser av selen i djurplankton i Övre och nedre delen av Skinnmuddselet visar också att en ökning skett i samband med selentillförseln i Lavsjön (figur 33). Selen i djurplankton ökade ca 3 – 4 gånger i Övre Skinnmuddselet under 1998 vilket motsvarar ökningen av selen i vatten.

De två faktorer som kan förklara detta är dels de ökade selenhalterna i fiskmuskel, dels: en minskad exponering av metylkvicksilver i vatten genom den ändrade hanteringen av flyttorv i magasinet.

Figur 35

METHYL MERCURY IN OLDER PERCH OF 25 CM IN DOWNSTREAM WATERS AFTER ADDITIONS OF SELENIUM TO LAKE LAVSJÖN IN 1998 TO 2000



Figuren 35 visar att halten av metylkvicksilver i äldre abborre i olika delar av Skinnmuddselet och St Tällvattnet inte har minskat under åren med selenbehandling i Lavsjön.

Uppföljande studier av selen i fisk behövs i Övre och Nedre delen av Skinnmuddselet och St Tällvattnet. Dessa data är av vikt för att möjliggöra en kvantifiering av selens betydelse för minskningen av metylkvicksilver i fisk, vid en selenhalt i vatten på 0,1 – 0,2 $\mu\text{g Se/L}$.

5 SLUTSATSER

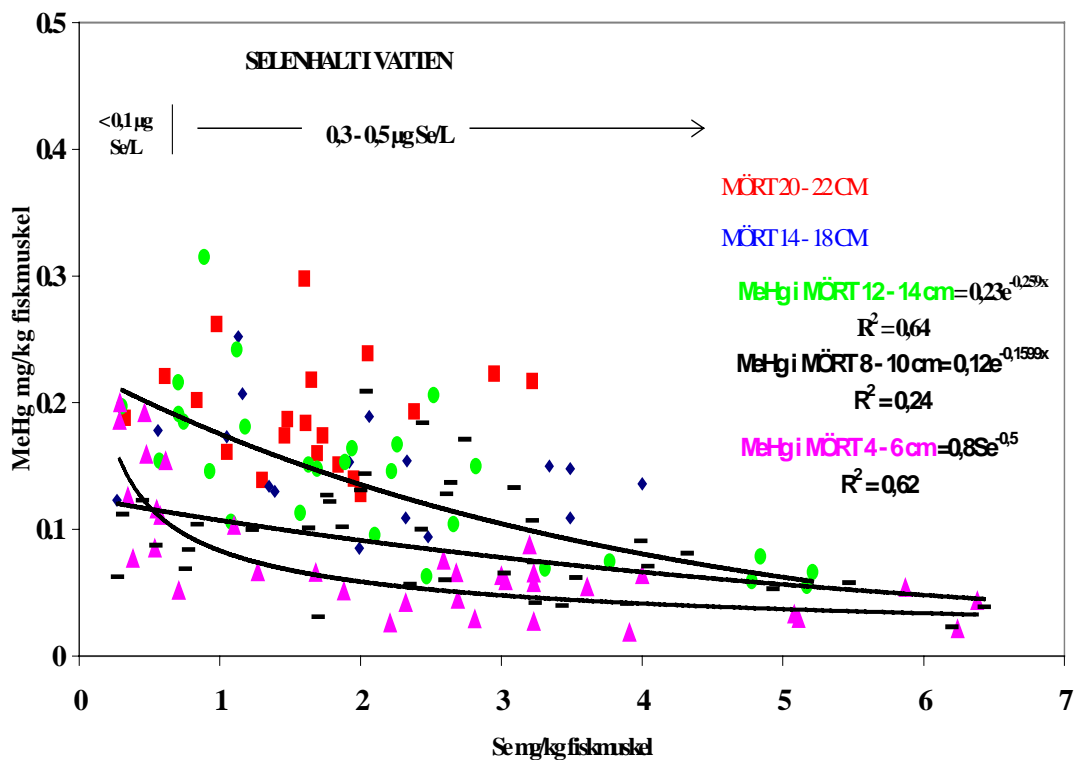
- Selentillförsel till sjöar har genomförts under tre år 1998, 1999 och 2000 i Lavsjön i Västerbotten. Selentillförsel har under de två åren 1999 och 2000 även skett i Trehörningen och Vrångevatten i Örebro län respektive Västra Götaland. Selentillförseln har genomförts med låg dosering och motsvarat en genomsnittlig ökning av sjöarnas bakgrundshalt med en faktor av ca 5 – 7 gånger. Medelhalten av selen i sjövattnet har under år med tillförsel av selen varierat mellan 0.29 och 0.53 µg Se/L i de tre sjöarna. Halten selen i yt sediment har ökat med en faktor på ca 2 i de tre sjöarna.
- Tillförseln har skett i propellervattnet från båt genom dosering från en stamlösning av natriumselenit som haft ett seleninnehåll av 45.2%. Selentillförseln till Lavsjön har varit mycket arbetskrävande med en eller flera behandlingar per månad under sommarmånaderna juni till oktober. Orsaken är att sjön har kort omsättningstid av vatten samtidigt med de stora mängder nederbörd som kom under försöksåren. Selentillförseln till Trehörningen och Vrångevatten har kunnat begränsas till vardera tre tillfällen under de två försöksåren 1999 och 2000.
- De ökade selenhalterna i vatten har medfört ett snabbt upptag av selen i bäckmossa, djurplankton, flera grupper av insektlarver samt mörtyngel och de yngsta årsklasserna av mört och abborre. Ökningen av selen i bäckmossa och lägre djur har inte medfört någon minskning av halten totalt kvicksilver. Ökningen av selen har dock medfört minskade halter av kvicksilver i flodkräfta. Ett mycket viktigt resultat är att den ökade selenhalten i djurplankton har medfört att halten av metylkvicksilver minskat i djurplankton. Selenhalten har ökat snabbt i mörtyngel, yngre mört samt yngre abborre vilket medfört en snabb minskning av metylkvicksilver i fisken. Selenhalten ökar och metylkvicksilver minskar även i äldre (10 – 25 cm) mört och abborre efter 2 – 3 års selentillförsel till sjöarna.
- Minskningen av halten metylkvicksilver i mörtyngel, yngre mört och yngre abborre orsakas främst av att bioackumuleringen av metylkvicksilver via födan minskar. Födan består främst av djurplankton som får lägre halter av metylkvicksilver efter selentillförsel. Redan efter två respektive tre års selentillförsel till sjöarna har halten

metylkvicksilver minskat med ca 50% i gäddor i storleksklasserna 0.4 – 0.8 kg och 0.8 – 1.2 kg. Denna snabba effekt högst upp i sjöarnas näringskedja orsakas av att födan för gäddor i dessa storleksklasser till dominerande del utgörs av unga mörtar och abborrar. Selenhalten har ökat något hos äldre gädda men halten metylkvicksilver har under den korta tid som försöken pågått ännu inte minskat. Äldre abborre (26 - 36 cm) från Lavsjön visar minskade halter av metylkvicksilver med ökade halter av selen i fiskmuskel.

- Några negativa effekter av selentillförsel till sjöarna i form av påverkan på växter och lägre djur har inte kunnat påvisas. I flertalet av sjöarna och olika delar av Skinnmuddselet dominans djurplankton av cladocerer (*Daphnia* och *Bosmina*) under en stor del av växtsäsongen. Under vintersäsongen alternerande med en dominans av copepoder. I Vrångevattnen i Bohuslän utgör dock den calanoida copepoden *Eudiaptomus gracilis* ett viktigt inslag i djurplankton under stora delar av året. Detta är typiskt för många skogssjöar i sydvästra Sverige. Med utgångspunkt i djurplanktonproverna kan man konstatera att selenbehandlingarna utförda med den dosering som använts inte medfört någon markant påverkan på sjösystemens djurplanktonfauna. Reproduktion hos lägre djur, kräftor, mört, abborre, gädda, braxen, benlöja, sik m.fl. arter har fungerat normalt.
- Tillrinning till Skinnmuddselet av vatten från selenbehandlingen i Lavsjön har nedfört ökade selenhalter i vatten, djurplankton och ung abborre. Ökningen av selen i näringskedjan har skett vid en selenhalt i vattnet på 0,1 – 0,2 µg Se/L. Ökningen av selen i fiskmuskel hos ung abborre kan ha medverkat till den kraftiga minskningen av metylkvicksilver i hela Skinnmuddselet och i St Tällvattnet. Metylkvicksilver har inte minskat i äldre abborre i magasinet och i St Tällvattnet.
- I Figurerna 36, 37, 38 och 39 ges en syntes av sambanden mellan minskningen av metylkvicksilver i olika storleksklasser av mört, ung abborre, äldre abborre och gädda som funktion av selenhalten i fiskmuskel vid de skilda haltintervallen av selen i vatten under åren före och efter selentillförsel i de tre sjöarna Lavsjön, Trehörningen och Vrångevattnen.
- Av figurerna framgår den likartade minskningen av metylkvicksilver i fiskmuskel i de olika storleksklasserna av mört, abborre och gädda som funktion av den ökade halten av selen.

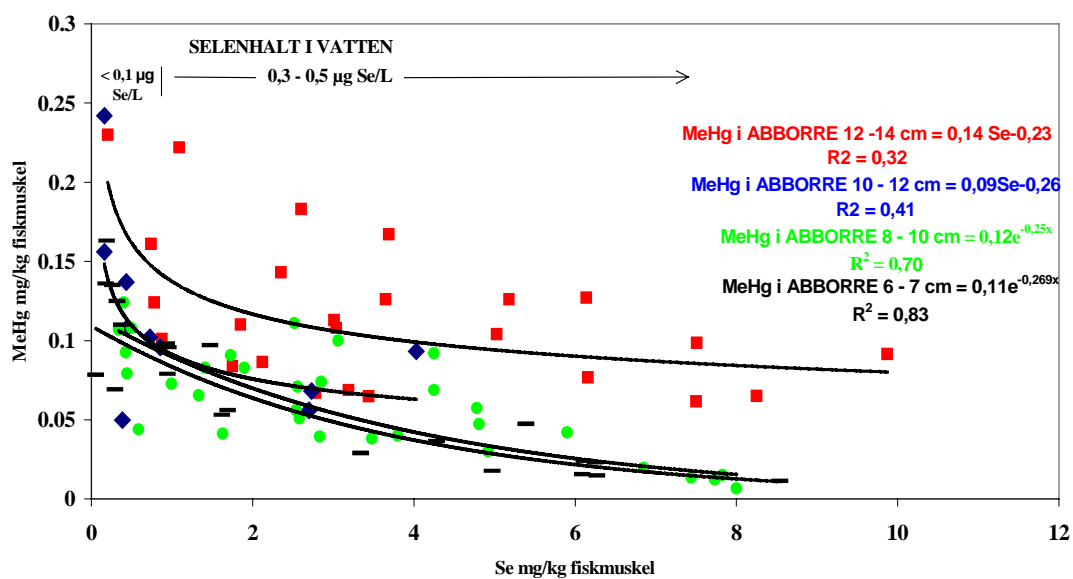
Figur 36

METYLKVICKSILVER I MÖRT I TRE SJÖAR FÖRE OCH EFTER BEHANDLING MED LÅG DOS SELEN UNDER ÅREN 1998, 1999 OCH 2000



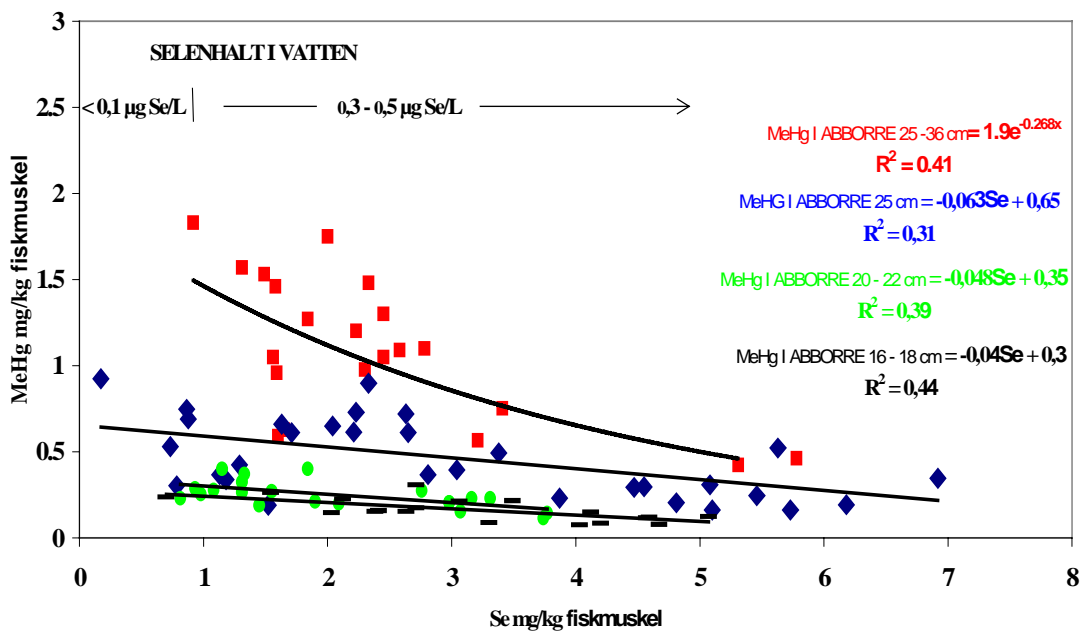
Figur 37

METYLKVICKSILVER I UNG ABBORRE FRÅN TRE SJÖAR FÖRE OCH EFTER BEHANDLING MED LÅG DOS SELEN UNDER ÅREN 1998, 1999 OCH 2000



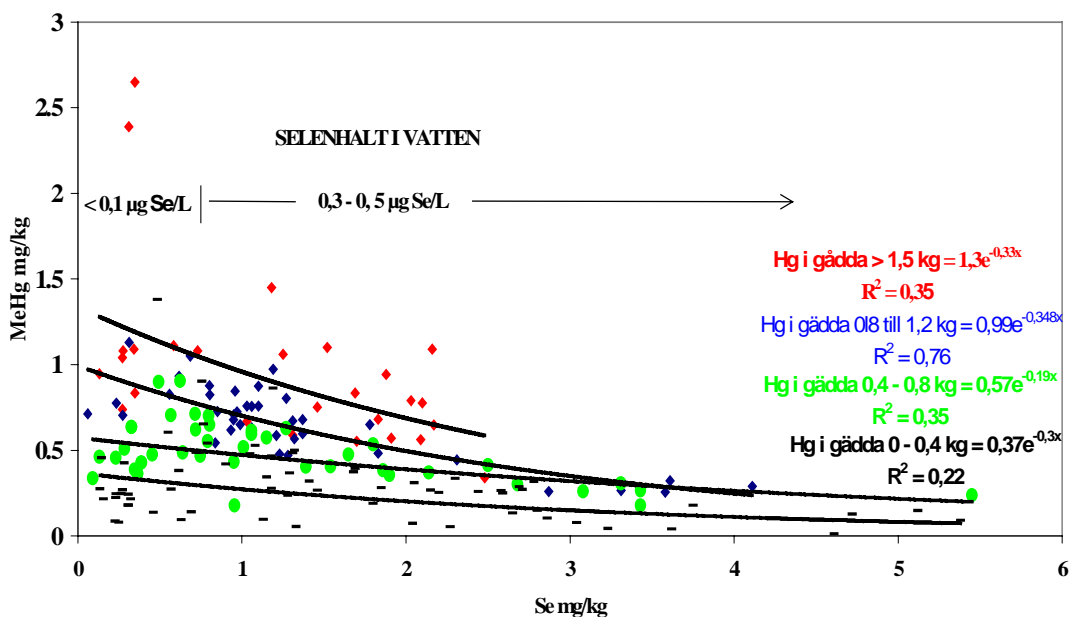
Figur 38

METYLKVICKSILVER I ÄLDRE ABBORRE FRÅN TRE SJÖAR FÖRE OCH EFTER BEHANDLING MED LÅG DOS SELEN UNDER ÅREN 1998, 1999 OCH 2000



Figur 39

METYLKVICKSILVER I GÄDDA I TRE SJÖAR FÖRE OCH EFTER BEHANDLING MED LÅG DOS SELEN UNDER ÅREN 1998, 1999 OCH 2000



6 REKOMMENDATIONER

- Försök i större skala med en låg-låg dosering av selen med en medelhalt av selen i vattnet på 0,3 - 0,4 µg/L kan påbörjas snarast.
- Med denna medelhalt av selen under en period av 2 – 3 år erhålls ca 50 % minskning av metylkvicksilver i fiskmuskel hos yngre gädda (0,4 – 1,2 kg). Samtidigt ökar selenhalten i muskel från 0,3 – 0,4 mg Se/kg till ca 2 mg Se/kg.
- Ett lämpligt försök i större skala kan genomföras i vattenkraftmagasinet: Skinnmuddselet i Gideälvens vattensystem i Västerbotten/Västernorrland.
- En samtidig fortsatt uppföljning av redan pågående försök i Lavsjön, Trehörningen och Vrångevatten är mycket viktig. De fortsatta studierna är nödvändiga för att följa upp mer långsiktiga effekter (> 4 år) av låg-låg dosering av selen till sjöar och vattenmagasin.
- Uppföljande studier av selen i fisk behövs i Övre och Nedre delen av Skinnmuddselet och St Tällvattnet. Dessa data är av vikt för att möjliggöra en kvantifiering av selens betydelse för minskningen av metylkvicksilver i fisk, vid en selenhalt i vatten på 0,1 – 0,2 µg Se/L.

Projektets hypotes har bekräftats med genomförda försök, vilket innebär att:

Selentillförsel med låg – låg dosering till sjöar och regleringsmagasin medför en dubbelt positiv effekt: Halten metylkvicksilver i fisk minskar samtidigt som selenhalten ökar.

7 LITTERATUR

Parkman, H. och Hultberg, H. 2002: Occurrence and effects of selenium in the environment – a literature review, IVL publ. B 1486

Fredriksson, R., 2001: Effekter på kvicksilverhalter i djurplankton och fisk av behandling med låga doser selen. Tryckt som examensarbete vid Högskolan i Kalmar.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt
IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O.Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 77 80
Fax: +46 472 26 77 90

www.ivl.se