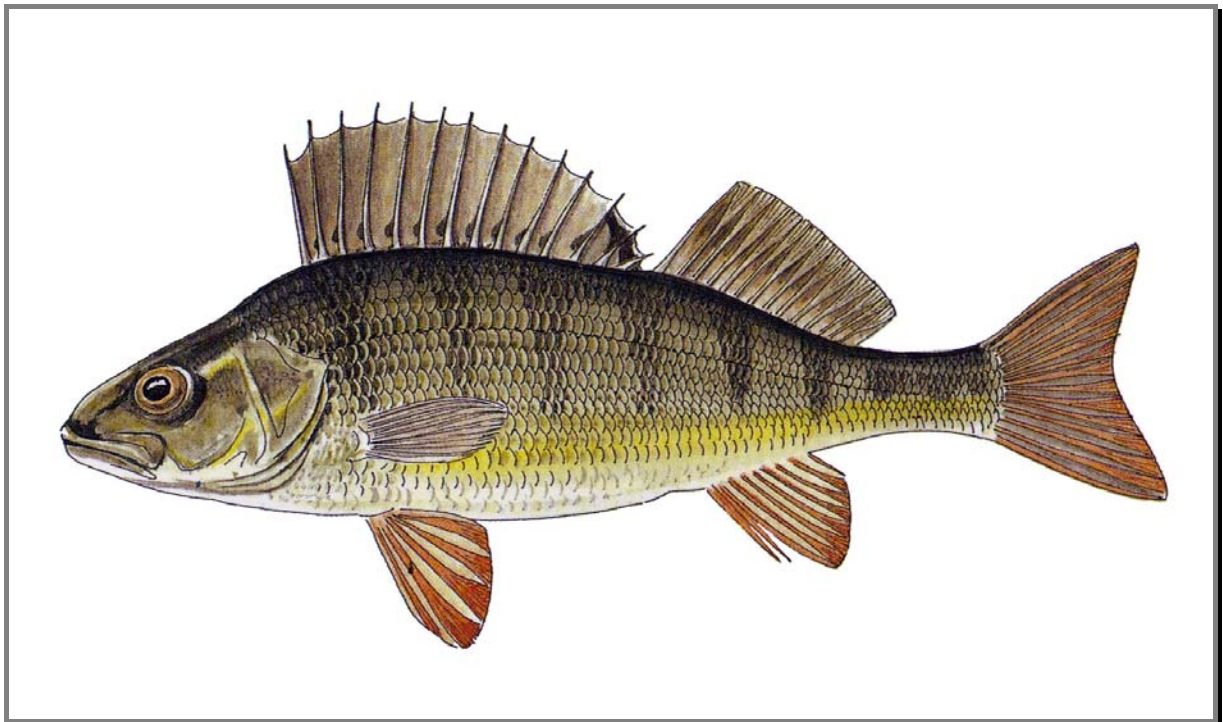




Vätternvårdsförbundet

Industripåverkan på Vätterns fiskar



Rapport 66 från Vätternvårdsförbundet

Vätternvårdsförbundet

Industripåverkan på Vätterns fiskar

Rapport nr 66 från Vätternvårdsförbundet*

Lennart Lindeström, Caroline Grotell och Jan Härdig

Omslagsbild: Abborre på försättsida: Thore Andersson, konstnär, publicerad med tillstånd av Nya Wermlandstidningen (© NWT)

Beställningsadress: Vätternvårdsförbundet
Länsstyrelsen i Jönköpings Län
551 86 Jönköping
Tel 036-395053
Fax 036-167183
Email: Ingrid.Mansson@f.lst.se

ISSN: 1102-3791

**Rapporterna 1-29 utgavs av Kommittén för Vätterns vattenvård. Kommittén ombildades 1989 till Vätternvårdsförbundet som fortsätter rapportserien fr o m Rapport 30*

Rapporten är tryckt på Länsstyrelsen i Jönköping 2002.
Första upplagan 1-75 ex.

FÖRORD

Vättern har under lång tid varit påverkad från industrier. Metallhantering har ägt rum i form av gruvbrytning, järnframställning och gjutning alltsedan 1600-talet. Nyligen utförda studier av lager i sedimentet, s k paleolimnologi, visar t ex att Vättern har påverkats av bly ändå sedan medeltiden och att kvicksilver belastade sjön under framför allt 1950-60 talet men att kvicksilver inträdde i Vättern redan på mitten av 1800-talet. I moderna tider har stora industrier haft Vättern som recipient, antingen direkt eller via sjöar och åar i Vätterns omedelbara närhet. Sålunda kan vi sluta oss till att Vättern under lång tid utsatts för ämnen som kan ha verkat skadligt för ekosystemet. Idag är en stor del av punktkällorna reducerade jämfört med tidigare.

Idag ingår det för några av de större industrierna i deras vilkor för verksamheten att utföra s k fiskfysiologiska studier i Vättern. Under en tvåårsperiod utfördes samtidigt tre sådana fiskfysiologiska studier, Munksjö AB i Jönköping, Munksjö AB div Aspa Bruk och Zinkgruvan Mining AB, beskrev abborrars hälsotillstånd genom analyser av enzymer, vävnader mm. Generellt sett är det en minimal detekterbar hälsopåverkan som kan härledes till industrier. Vätterns fiskar klarar sig bra.

Vätternvårdsförbundet publicerar här de tre delrapporterna från dessa undersökningarna. Lennart Lindeström har vänligen sammanställt en syntes som gäller övergripande för samtliga tre delrapporter. Studierna har finansierats av respektive industri. Respektive författare är själva ansvariga för dess innehåll. Sammanställningen har gjorts inom ramen för Metallgruppen i Vätternvårdsförbundet.

Trevlig läsning

Måns Lindell

INNEHÅLL

<i>Syntes</i>	5
---------------	---

Lennart Lindeström

<i>Abborre i norra Vättern hösten 1999. Metallhalter i vävnader och fysiologiskt tillstånd</i>	10
--	----

Caroline Grotell, Jan Härdig & Lennart Lindeström

<i>Abborre i recipienten till Aspa Bruk. Hälso-tillstånd och utveckling av könsorgan hösten 1999</i>	32
--	----

Caroline Grotell & Jan Härdig

<i>Metaller och stabila organiska ämnen i Munksjön. Källor och halter i olika media 1998-99</i>	58
---	----

Lennart Lindeström

Anmärkning

Av utrymmesskäl har inga bilagor till respektive rapport tagits med i denna sammanställning. Den som är intresserad av innehållet i en eller flera bilagor hänvisas till Måns Lindell, Vätternvårdsförbundet c/o Länsstyrelsen Jönköping, som har tillgång till de fullständiga rapporterna.

SYNTES

Inom ramen för olika uppdrag av medlemmar i Vätternvårdsförbundet infångades och undersöktes abborre från olika delar av Vättern under åren 1998 och 1999.

Undersökningarnas inriktning och utförande har varierat mellan områdena beroende på syftet med respektive undersökning. Halter av PCB och DDT har t.ex. endast undersökts i fisk från de centrala och södra delarna av Vättern medan fiskfysiologiska studier utförts i de norra delarna. Metallhalter i fiskvävnad har analyserats både i norra, centrala och södra Vättern samt i några angränsande sjöar. Tillsammans ger dessa studier ändå en förhållandevis god bild av innehållet av dessa ämnen samt av hälsotillståndet hos fisk i Vättern, med abborre som undersökningsobjekt.

Skälen till att undersöka abborre är flera. Denna art är en rovfisk och samtidigt en uppskattad matfisk. Abborren är vanlig i de flesta typer av vatten och lätt att få tag i. Därmed är det också möjligt att utsortera och undersöka fiskar inom ett bestämt storleksintervall och kön varmed man eliminerar flera faktorer som påverkar fiskens innehåll av flera ämnen. Abborre av motsvarande standardstorlek undersöks även i andra delar av Sverige, vilket gör det möjligt att jämföra Vättern med andra vattenområden. En nackdel med att välja abborre är att arten är förhållandevis mager och därmed inte representativ för de halter av klorerade organiska ämnen som förekommer i fetare fiskar.

Metaller i fisk

Koncentrationen av metaller i lever- och muskelvävnad hos abborre sammanfattas i tabellen nedan. Metallerna koppar och zink har inte tagits med i denna sammanställning, eftersom fisken har förmåga att reglera dessa livsnödvändiga metaller väl. Detta leder till att koppar och zink vanligtvis varierar förhållandevis lite i fiskens vävnader (koncentrationen av koppar och zink redovisas dock i respektive delrapport).

Fjärdarna i norra Vättern, främst Långviken och Kärrafjärden, har under århundraden tagit emot metaller från gruv- och malmhanteringen i områdena kring Zinkgruvan och Åmmeberg. Nordöstra stranden av Kärrafjärden har tidigare tjänat som sandupplag. Ännu idag utgör vattenområdet recipient för gruvverksamheten i Zinkgruvan. Den helt dominerande metalltillförseln idag sker dock från äldre avfallsupplag i angränsande marker.

Metalltillförseln till norra Vättern märks i form av förhöjda koncentrationer av framför allt bly och i viss mån kadmium i levervävnaden hos abborre i denna del av sjön. Lägre halter i abborrlever har registrerats i södra Vättern vid Visingsö liksom i de angränsande sjöarna Alsen och Munksjön. En undersökning år 1990 av abborre från Unden visade dock på väl så höga koncentrationer av bly och kadmium i denna ”opåverkade” sjö, som i norra Vätterns fjärdområde. Förklaringen ligger i en rad omgivningsfaktorer som påverkar metallernas biotillgänglighet trots att tillgången på metaller är betydligt mindre i Unden än i exempelvis Kärrafjärden.

Koncentrationen av bly och kadmium i lever respektive kvicksilver i muskel hos abborre från olika delar av Vättern samt i angränsande sjöar och några andra vattenområden. Ts = torrsubstans, Vs = våtsubstans eller färskvikt. Referenser; se delrapporterna (ny referens: Mälaren¹).

	År	Bly mg/kg Ts	Kadmium mg/kg Ts	Kvicksilver mg/kg Vs
Norra Vätterns fjärdar				
Långviken	1999	0,37	6,0	0,04
Kärrafjärden	1999	0,49	4,4	0,03
<i>Vättern (från norr till söder)</i>				
Bastedalen	1999	0,20	4,8	0,05
Röknen	1998	0,03	3,2	0,23
Visingsö	1998	0,01	1,7	0,09
Angränsande sjöar				
Alsen	1999	0,05	0,5	0,15
Unden	1990	0,38	27	0,35
Munksjön	1998	0,01	0,4	0,19
Andra vattenområden				
Vänern, 4 lokaler	1998	0,05 - 0,07	1,2 - 2,4	0,11 - 0,15
Mälaren, 3 lokaler	2001	0,03 - 0,04	0,4 - 0,8	0,12 - 0,17
Referenssjöar, 4 st	1997	0,09 - 0,16	0,2 - 5,8	0,18 - 0,38

En förhöjd koncentration av bly och kadmium i abborrens avgiftningsorgan, levern, behöver dock inte innebära att fiskköttet samtidigt har förhöjda halter av dessa metaller. Om så ändå skulle vara fallet, visar undersökningar från andra metallpåverkade områden att koncentrationen av dessa metaller i fiskkött sällan eller aldrig blir så hög, att den påverkar fiskens lämplighet som människoföda. Livsmedelsverket har heller inte utfärdat några gränsvärden för bly och kadmium i fisk.

Värt att notera är de låga kvicksilverhalterna i abborre från fjärdområdena i norra Vättern. Halterna är lägre jämfört med såväl övriga delar Vättern som kringliggande sjöar och de andra stora sjöarna i Sverige. Orsaken är inte till fullo utredd, men mycket tyder på att det är förekomsten av zink som på något sätt konkurrerar med kvicksilver om upptaget i fisken. Kvicksilver förekommer i normala fall i relativt höga halter i fisk. Det svenska gränsvärdet för saluhållning av abborre ligger på 0,5 mg/kg. Paradoxalt nog finner man alltså den nyttigaste fisken, sett till dess metallinnehåll, i de mest metallpåverkade norra delarna av Vättern!

Kvicksilver användes fram till 1970-talet som slembekämpningsmedel inom skogsindustrin (i form av fenylkvicksilver). I bottenlammet utanför flera skogsindustrier är det därför vanligt att det än idag förekommer förhöjda koncentrationer av kvicksilver. Ett område där detta konstaterats är Munksjön i Vätterns södra ände. Undersökningsresultaten visar sig dock att de förhöjda kvicksilverhalterna i bottarna inte återspeglas i några motsvarande förhöjningar i fisk. Kvicksilverhalten i abborre och gädda från Munksjön ligger istället inom ramen för vad som är vanligt i andra sjöar i samma storlek.

¹ Lindeström, L. (2001). Mälarfisk – innehåll av metaller och stabila organiska ämnen 2001. Rapport för Mälarens vattenvårdsförbund.

PCB och DDT i fisk

De stabila organiska föreningarna PCB och DDT har analyserats i abborre (fiskkött) från centrala och södra Vättern och från Munksjön. Dessa ämnen är fettlösliga och lagras därför främst i fiskens fettvävnad. Därför är det vanligt, och även mest korrekt, att ange koncentrationen i fettvikt, dvs relaterat till fiskens fettinnehåll.

PCB står för polyklorerade bifenyler, som är ett samlingsbegrepp för organiska föreningar. Olika PCB-isomerer skiljer sig åt genom bl.a. antalet kloratomer och deras position. Det finns 209 möjliga "PCB-kongener" och de benämns i nummerordning från 1 till 209 (exempelvis CB-52, CB-153 etc). I Vättern och Munksjön har 7 respektive 10 av dessa kongener analyserats.

DDT, eller diklordifenyltrikloretan, lanserades under början av 1940-talet som ett insektbekämpningsmedel och användes flitigt i Sverige fram till mitten av 1960-talet¹. Liksom PCB lagras DDT främst i fettvävnader. Koncentrationen DDT har bestäms som summan av DDT och dess nedbrytningsprodukt DDE (diklordifenylidikloretylen).

Koncentrationen av PCB och DDT i abborre har visat sig ligga på en något högre nivå i Vättern än i Vätern och Mälaren. Detta stämmer väl överens med de mätningar som gjorts på laxartade fiskar². Utvecklingen hos röding, som följts sedan mitten av 1960-talet, visar dock på en fortgående haltminskning i fisken för både PCB och DDT med i genomsnitt 5 respektive 13 % per år under denna tidsperiod.

Koncentrationen av PCB och DDT i muskel hos abborre från Vättern, Munksjön och två av de andra stora sjöarna. "Summa-PCB" avser i detta fall summan av de 7 gemensamma kongenerna. Fv = fettvikt. Referenser; se delrapporterna (ny referens: Mälaren¹).

	År	Summa-PCB mg/kg Fv	Summa-DDT mg/kg Fv
<i>Vättern (från norr till söder)</i>			
Röknen	1998	1,4	1,0
Visingsö	1998	0,5	0,4
Angränsande sjöar			
Munksjön	1998	6,1	0,6
Andra vattenområden			
Vätern, 4 lokaler	1998	0,3 - 0,7	0,1 - 0,3
Mälaren, 3 lokaler	2001	0,3 - 0,6	0,1

En högre PCB-halt uppmättes i abborre från Munksjön jämfört med Vättern. I likhet med kvicksilver är PCB-halten förhöjd i bottenlammet i Munksjön, men till skillnad från kvicksilver verkar koncentrationen av PCB även vara förhöjd i fisk. PCB-halten i abborre från Munksjön ligger på ungefär samma nivå som i den betydligt fetare fisken röding från Vättern².

² Lindell, M., Bremle, G., Broberg, O. & Larsson, P. (2001). Monitoring av persistent organic pollutants (POPs): Examples from Lake Vättern, Sweden. Ambio, Vol. 30, No. 8.

Livsmedelsverkets gränsvärde för PCB är baserat på endast en av PCB-kongenerna, CB-153. Gränsvärdet för saluhållning av fisk ligger på 0,10 mg/kg och är uttryckt i färskvikt, alltså inte fettvikt. Motsvarande koncentration i abborre från Munksjön låg år 1998 på drygt 0,01 mg/kg, alltså väsentligt under gränsvärdet.

Fiskens hälsotillstånd

En stort antal fysiologiska variabler bestämdes på närmare hundra abborrar från fyra lokaler i norra Vättern år 1999. Inga indikationer av något slag framkom, som skulle tyda på att hälsotillståndet hos fisken i de metallrika fjärdarna Långviken och Kärrafjärden skulle vara negativt påverkade av fiskens exponering för metaller. Istället låg de variabler som beskriver fiskens kondition, syreupptagningsförmåga och immunförsvar, könsorganens utveckling, samt leverns funktion och struktur på normala nivåer.

Samma år gjordes en motsvarande studie på abborre från vattenområdet utanför Aspa Bruk i nordvästra delen av Vättern och i några närliggande referensområden. Förutom fysiologiska undersökningar analyserades även förekomsten i fiskens galla av s.k. extraktivämnen (hartssyror, steroler etc), vilka anses kunna härledas till bl.a. skogsindustriell verksamhet. Av halterna i galla att döma verkade fisken utanför fabriken vara exponerad för avloppsvattnet från bruket. Samtidigt konstaterades en förhöjd aktivitet hos ett s.k. avgiftningensenzym i levern, EROD, vilket kan ha orsakats av denna exponering.

Men i försök under kontrollerade förhållanden har det visat sig att EROD-aktiviteten också kan påverkas av att fisken får för lite föda. Fisken utanför Aspa Bruk saknade buk fett, vilket tyder på att tillgången på föda i detta område är begränsad. Detta kan i sin tur bl.a. bero på det mycket täta bestånd av signalkräfta, som under senare delen av 1990-talet etablerat sig i vattenområdet nära fabriken. Kräftorna är effektiva näringskonkurrenter till fisken, samtidigt som fisken har svårt att tillgodogöra sig kräftorna som föda. Den främsta orsaken till EROD-aktiviteten kan således inte fastställas.

Vidare konstaterades en svag utveckling hos könsorganen hos både honor och hanar i området utanför bruket. Även detta kan bero på såväl en påverkan från utsläppen som på näringsfattigdomen i området.

Ytterligare ett antal avvikelser observerades hos några fiskars blod och levervävnad, men dessa observationer gjordes inte närmast bruket utan istället i ett vattenområde en bit därifrån. Orsaken är i detta fall sannolikt en bakterieinfektion, som man fann hos en av individerna.

Övriga undersökningar i Munksjön

Undersökningarna i Munksjön under 1998-99 omfattade flera andra moment, förutom analyser av metaller och stabila organiska ämnen i fisk.

Ett försök gjordes att upprätta en metallbalans över sjön. Den enskilt största tillförselkällan verkade Tabergsåån vara. Ett betydande metalltillskott kom även från kommunens reningsverk, Simsholmen. För flertalet metaller verkar 30-50 % av den tillförda mängden fastläggas i sjön innan vattnet går vidare ut i södra Vättern. Munksjöns sediment verkar således fungera som en metallfälla snarare än en metallkälla!

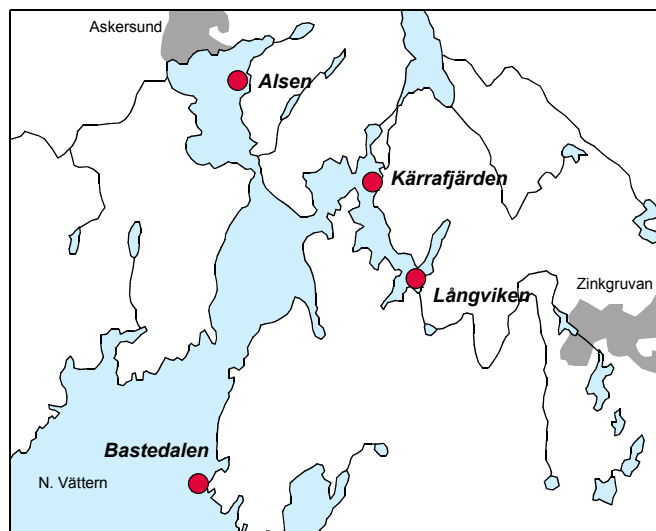
Munksjöns djupförhållanden kartlades med hjälp av ett skrivande ekolod och en parallell positionsmätning med GPS-teknik. Detta resulterade i en ny detaljerad djupkarta över sjön.

Ytsedimentens karaktär och syreförhållanden beskrevs med ledning av uttagna sedimentproppar. Bland annat fastställdes utbredningen av synliga cellulosafiber i sjöns ytliga sedimentlager, som vid undersökningstillfället visade sig täcka ungefär 7 % av sjöns yta.

Kemiska analyser av Munksjöns sediment visade på relativt höga halter av såväl metaller som PCB. Anmärkningsvärt nog visade kvicksilverhalten en tendens till att vara något högre i de ytliga sedimentlagren jämfört med underliggande skikt. Detta beror sannolikt på omlagringar av sedimenten i sjön. Fördelningen av olika s.k. kongener i PCB-spektrat i bottnarna leder till den försiktiga tolkningen att det finns en pågående PCB-källa i området. Denna indikation måste dock verifieras innan den kan betraktas som en slutsats.

Abborre i norra Vättern hösten 1999

**Metallhalter i vävnader
och fysiologiskt tillstånd**



Fryksta & Uppsala 2000-02-03

Caroline Grotell^a, Jan Härdig^b
& Lennart Lindeström^a
MFG^a & SVA^b

INNEHÅLL

Abborre i norra Vättern hösten 1999

<i>Sammanfattning</i>	13
<i>Bakgrund</i>	14
<i>Omfattning och metodik</i>	14
Undersökningslokaler	14
Fiske	16
Provtagning av abborre	17
Fiskfysiologiska mätvariabler	18
Metallanalyser	20
Statistik	21
<i>Resultat</i>	21
Metallhalter i abborre	21
Abborrens fysiologiska tillstånd	25
Morfometrisk mätvariabler	26
Röda blodcells bilden – syreupptagningsförmågan	26
Vita blodcells bilden – Immunförsvar	27
Leverfunktion och –struktur	28
<i>Kommentarer</i>	30
<i>Referenser</i>	32

SAMMANFATTNING

Långviken och Kärrafjärden i norra Vättern har under århundranden mottagit metaller från gruv- och malmhanteringen i områdena kring Zinkgruvan och Åmmeberg. Nordöstra stranden av Kärrafjärden har tidigare tjänat som sandupplag. Ännu idag utgör vattenområdet recipient för gruvverksamheten i Zinkgruvan. Den helt dominerande metalltillförseln idag sker dock från äldre avfallsupplag i angränsande marker.

Under hösten 1999 infångades abborre från Långviken och Kärrafjärden samt från två jämförelseområden i sjön Alsen och utanför Bastedalen i nordöstra Vättern. Abborren har genomgått en fiskfysiologisk undersökning samt analyserats på metaller i vävnader.

Jämfört med Alsen, södra delarna av Vättern och Väneren registrerades förhöjda halter av kadmium och bly i abborrlever från Långviken och Kärrafjärden, men även i Bastedalen. För metallerna zink och koppar, som ingår i flera livsuppehållande system och som fisken därmed har god förmåga att reglera, var skillnaden liten mellan lokalerna. Detsamma gäller arsenikhalten i lever. Kvicksilver, som ur konsumtionssynpunkt har störst betydelse för människan, förekom i stället i påtagligt låga halter i abborrmuskulatur från fjärdarna och vikarna i norra Vättern. Detta fenomen har tidigare iakttagits, både i detta område och i andra recipienter till sulfidmalms-gruvor.

Ett trettiotal olika fysiologiska variabler har bestämts på närmare hundra abborrhonor från de fyra lokalerna. Inga indikationer av något slag har framkommit som skulle tyda på att hälsotillståndet hos fisken i Långviken och Kärrafjärden skulle vara negativt påverkat av dess exponering för metaller. Istället ligger variabler som beskriver fiskens kondition, könsorganens utveckling, blodets sammansättning, immunförsvaret och leverns funktion och struktur på normala nivåer.

Abborre i norra Vättern, hösten 1999

Metallhalter i vävnader och fysiologiskt tillstånd

BAKGRUND

Hösten 1990 utfördes en studie på abborre i norra Vättern för att undersöka det fysiologiska tillståndet och metallhalter i lever och i muskel. Studien utfördes vid 2 stationer (Långviken och Kärrafjärden) i Zinkgruvans recipient. Som referens användes området vid Stora Röknen i centrala delen av norra Vättern, samt sjön Unden väster om Vättern.

Resultaten pekade på relativt låga halter av de analyserade metallerna i fisken i de två fjärdarna. Speciellt kvicksilverhalten i muskel var påtagligt låg. Vissa fysiologiska avvikelser registrerades hos de undersökta fiskarna i fjärdarna, men ingen direkt koppling kunde göras mellan dessa avvikelser och metallhalten i fiskens vävnader.

På basis av ett programförslag, 1999-06-23, har en uppföljning gjorts av 1990 års studier på abborre. Ett förnyat fiske efter abborre enligt samma metodik har således genomförts i Långviken och Kärrafjärden. Som jämförelseområden har valts dels en uppströms liggande sjö, dels ett angränsande område längre söderut i nordöstra Vättern. Undersökningsområdet inryms i översiktskartan i Figur 1.

Fisket genomfördes under hösten 1999. Den infångade abborren har dels analyserats på sitt metallinnehåll i vävnader, dels genomgått en fiskfysiologisk undersökning för att kontrollera dess hälsotillstånd.

I denna rapport beskrivs undersökningarnas omfattning, metodik och resultat samt görs en sammanställning och utvärdering med olika jämförelser i tid och rum. Miljöforskargruppen (MFG) har haft projektansvaret för undersökningarnas genomförande och rapportering.

OMFATTNING OCH METODIK

Undersökningslokaler

Undersökningslokalerna är markerade i Figur 2.

Den nuvarande gruvverksamheten vid Zinkgruvan utnyttjar Salaån som recipient. Den största mängden metall mottar dock ån från äldre gruvavfallsupplag av olika slag. Salaån mynnar i Långviken, som utgör en del av Vättern i dess nordliga del. Mellan Långviken och egentliga Vättern ligger Kärrafjärden. Nordöstra stranden av Kärrafjärden har tidigare tjänat som

sandupplag för gruvverksamheten, varför det även sker ett metalltillskott från detta område liksom från angränsande bottnar i fjärden.



© Lantmäteriverket, Gävle, 1999. Medgivande L 1999/84.

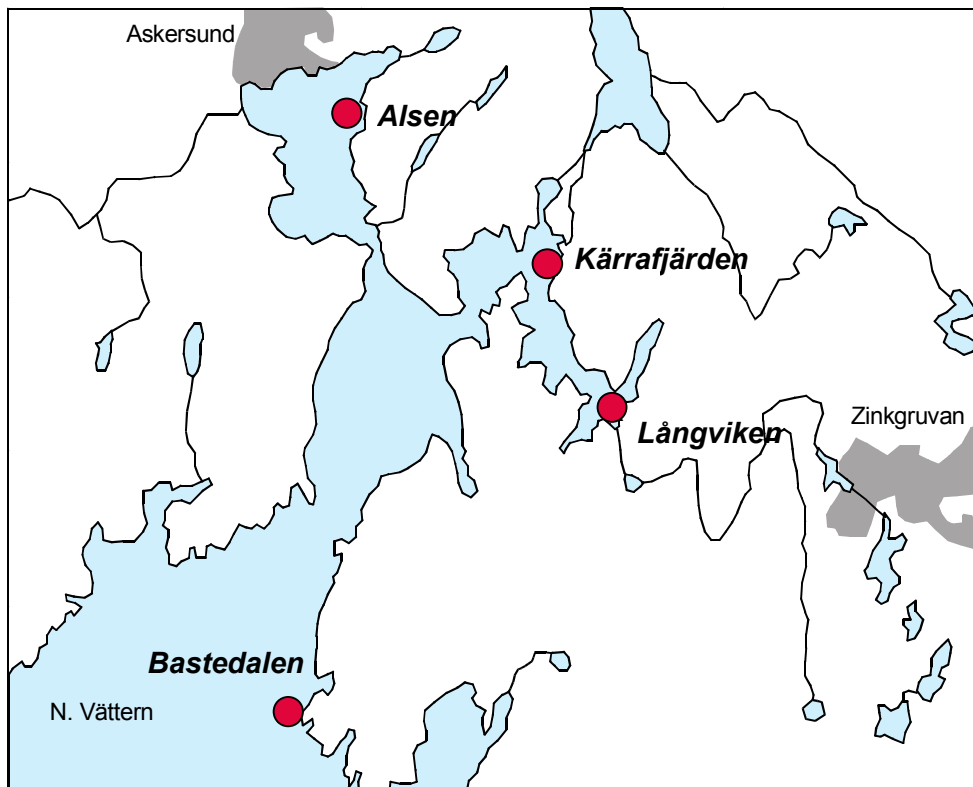
Figur 1. Översiktskarta över Norra Vätternområdet och Zinkgruvan. Hämtat från Lantmäteriverkets "Röda kartan". Skala: 7,5 mm = 1 km.

Enligt recipientkontrollen i norra Vätterns tillrinningsområde¹ kan miljöförhållandena i Kärrafjärden betecknas måttligt näringsrikt med ansträngda syrgasförhållanden i bottenvattnen, medan pH är neutralt och buffertkapaciteten (alkaliniteten) god. Halterna av metallerna zink, bly och kadmium i vattnet betecknas enligt de nya bedömningsgrunderna² som "måttligt hög" eller "hög".

Sjön Alsen nordväst om Kärrafjärden, som valts som ett av jämförelseområdena, har ungefär samma miljöförhållanden som Kärrafjärden vad gäller näring, syrgas och pH/buffertförmåga hos vattnet. Metallhalterna i vatten är betydligt lägre än i Kärrafjärden men ändå högre än vad som anses vara bakgrund.

Miljöförhållandena i det andra jämförelseområdet (eller "referensen"), viken Bastedalen i nordvästra Vättern, bestäms delvis av vattnets sammansättning i det norra tillflödet via Hammarsundet, men troligtvis främst av förhållandena i egentliga Vättern. Härav följer att näringsförhållandena torde vara fattigare och syreförhållandena bättre jämfört med Alsen. I vad mån metallhalterna i vatten skiljer sig åt mellan "referenslokalerna" är dock oklart.

Slutligen kan Stora Röcknen i norra Vättern samt Visingsö längre söderut sägas utgöra ännu två referenser Här har abborre infångats och analyserats senast hösten 1998 i Vätternvårdsförbundets regi.



Figur 2. Detaljkarta över undersökningsområdet 1999. Abborre har infångats och analyserats i Långviken, Kärrafjärden, Alsen och Bastedalen. Skala: 7,5 mm = 1 km.

Fiske

Fiske efter abborre har skett i två omgångar.

Abborrfisket för den *fiskfysiologiska* studien utfördes med nät på de fyra undersökningslokalerna under perioden 15-20:e september (v. 37-38) 1999. Från vardera lokalen tillvaratogs ett 40-tal abborrar, vilka förvarades fram till provtagningen i träsumpar, som var placerade i anslutning till respektive lokal. Målet var att vid provtagningen, som utfördes några dagar senare efter det att fiskarna återhämtat sig från fångststressen, undersöka 25 st levande abborrhonor i storleken 17-27 cm.

Fisket för *metallstudien* utfördes under vecka 39-40 med ett litet kompletterande fiske (3 st individer) vid Bastedalen i slutet av oktober. I detta

moment var målet att infånga 10 st abborrhonor i storleken 15-20 cm. All fisk frystes för senare genomgång och analys.

För fisket i Långviken och Kärrafjärden ansvarade Thomas Karlsson tillsammans med Nils Eklöv. Fisket i Alsen utfördes av Sven Viding och Ingmar Lundfeldt (Askersunds Fiskevårdsförening), medan fisket vid Bastedalen sköttes av Bo Haglind (Hammars Fiskevårdsförening). Nils Fors har fungerat som kontaktman för fisket i jämförelseområdena Alsen och Bastedalen.

Provtagning av abborre

Den fysiologiska provtagningen på abborre i fält utfördes 20.e-22:a september 1999 av Caroline Grotell (MFG) och Jan Härdig (SVA, Statens Veterinärmedicinska Anstalt) med assistans av Thomas Karlsson och Nils Eklöv samt medlemmar från Askersunds Fiskevårdsförening.

Fisken provtogs slumpmässigt en åt gången från respektive sump, och bedövades lätt med ett slag i huvudet. Först togs ett blodprov från kaudala kärl (stjärtregionen) med en hepariniserad (hindrar blodet att stelna) engångsspruta och kanyl. Hematokrit (den packade volymen av de röda blodkropparna) bestämdes omedelbart med en Compur Mirospin hematokrit-centrifug. Ca 0.2 ml av blodprovet överfördes till ett plaströr och förvarades vid + 4°C till dess att analys av hemoglobin och antal röda blodkroppar utfördes. Blodutstryk för räkning av vita blodkroppar preparerades och lufttorkades. Resterande blod centrifugerades, varefter plasman togs tillvara och frystes, för eventuell senare analys av leverenzymen ASAT och ALAT. Alla delmomenten utfördes enligt vid SVA framtagna och dokumenterade instruktioner.

Efter det att blodprov tagits avlivades fisken, varefter den mättes avseende vikt och längd. Därefter öppnades varje fisk och gallprov togs från gallblåsan med en 1 ml engångsspruta. Galla från 4-6 abborrar samlades i en 5 ml glasflaska med septum. Totalt erhöles 5 stycken samlingsprov av galla från respektive station. Gallproven frystes för eventuell senare analys av ytterligare ämnen.

Omedelbart efter gallprovtagningen togs fiskens lever ut och vägdes. Först snittades en smal bit från den centrala levern, vilken placerades i en liten plastkorg, varefter leverbiten fixerades i 4 % fosfatbuffrad formalin för histologisk undersökning (mikroskopisk undersökning av levervävnad). Därefter placerades tre bitar i var sitt Eppendorf rör, vilka placerades i flytande kväve (-196°C) för senare analys av EROD (ett s.k. transformationsenzym), leverglykogen och leverlipider. Eventuell resterande lever samlades i separat polyetylen bruk och frystes (-20 °C) för eventuell senare metallanalys.

Därefter plockades gonaden ut och vägdes, varefter resterande innanmätet togs ur fisken och den somatiska vikten (utan inälvor) bestämdes. Slutligen klipptes

vänster gällock bort för analys av ålder. Från respektive område fixerades prov av gälbåge från 6-9 abborrar för eventuell senare mikroskopisk studie av gälvävnaden.

Under provtagningen utfördes även en okulärbesiktning av abborren. Framför allt kontrollerades hud, gälar, fenor och inre organ med avseende på förekomst av makroskopiska parasiter samt kliniska symptom på sjukdomar.

Målet var att vid provtagningen undersöka 25 abborrhonor i storleksklassen 17-27 cm vid respektive station enligt Allmänna Råd 94:2³. Totalt erhöles även 25 honor från varje området, förutom från Kärrafjärden där 23 abborrhonor studerades för den fysiologiska studien. Det kan vidare påpekas att speciellt vid Kärrafjärden och Bastedalen togs även prov på större honor (27-30 cm) för att kunna få ett tillräckligt stort antal.

Vid genomgången i laboratoriet av abborrhonorna som skulle analyseras på metaller (15-20 cm), halvtinades fisken innan längd och totalvikt bestämdes. Levern plockades ur och vägdes och frystes för senare analys av metaller. Mag- och tarmpaketet avlägsnades, varefter gonaden (könsorganet) plockades ur och vägdes. Den somatiska vikten bestämdes varefter en muskelbit preparerades ut för senare kvicksilveranalys (frystes). Slutligen klipptes vänster gällock bort för analys av ålder. Vid genomgången utfördes en okulär besiktning av inre organ med avseende på förekomst av parasiter, deformationer och/eller yttre skador.

Orsakerna är flera till att ett annat storleksintervall, 17-27 cm, valts för fisk som genomgått fiskfysiologiska undersökningar. Detta intervall är vad som rekommenderas i Allmänna Råd 94:2³, och hos mindre fiskar finns inte tillräckligt material för dessa analyser. Intervallet 15-20 cm har under senare år blivit ”standard” för metallanalyser i abborre och används bl.a. i Vättern och Väneren och inom den nationella miljöövervakningen. Vidare räcker vävnaderna inte till för både bestämning av metaller och fysiologiska variabler på samma fisk inom intervallet 15-20 cm, vilket är orsaken till varför olika fiskar valts för respektive analys.

Fiskfysiologiska mätvariabler

De undersökta mätvariablerna i den fysiologiska studien beskriver fiskens morfometri (bl.a. längd, vikt, konditionsfaktor), syreupptagningsförmåga (röda blodkroppar), immunförsvar (vita blodkroppar), leverstruktur (histologi), avgiftningsfunktion (EROD) samt energiupplagring (glykogen och lipider). Här nedan följer en kort beskrivning av variablerna.

Förutom att längd, vikt, somatisk vikt, leverns och gonadens vikt hos fisken registrerades, beräknades även indexen konditionsfaktor, leversomatiskt och gonadsomatiskt index.

Konditionsfaktorn (CF) beräknas utifrån vikt och längd och beskriver fiskens kroppsform. Ett högt värde tyder på en kraftig muskulatur och/eller fettansättning. Konditionsfaktorn speglar normalt födotillgången, men avvikande värden kan även tyda på någon form av störning i den metaboliska aktiviteten eller dess reglering.

Leversomatiskt index (LSI) beräknas på basis av fiskens somatiska vikt och dess levervikt och anger lever/kroppsförhållandet. I levern upplagras reservnärning i form av lipider (fett) och glykogen, som kan utgöra en relativt stor del av leverns vikt och påverkar därmed LSI-värdet.

Gonadsomatiskt index (GSI) beräknas på basis av fiskens somatiska vikt och gonadvikt och anger gonad/kroppsförhållandet. Ett GSI-värde större än 1 anses betyda att individen kommer att vara mogen för följande leksång³.

Abborrens ålder registrerades genom räkning av antalet årsringar på gälloket (utfördes av Böril Jonsson, Allumite Konsult).

Analyserna av röda blodkroppar utfördes enligt beskriven metodik^{3 & 4}. Den röda blodcells bilden beskrivs av variablerna hematokrit (röda blodcellers procentuella volymandel i blodet), hemoglobinkoncentration och antal röda blodkroppar. Dessa analyseras på ett blodprov och utifrån dessa variabler beräknas indexen medelcellhemoglobin-koncentration (MCHC), medelcellhemoglobin-mängd (MCH) samt medelcellvolym (MCV). Olika typer av anemier (=blodbrist) identifieras med hjälp av karakteristiska förändringar i dessa parametrars mätvärden. Höga värden hos de röda blodparametrarna kan bero på flera faktorer, som exempelvis stress, kraftig ansträngning, syrebrist m.m. Dessutom räknas antal omogna röda blodkroppar på blodutstryk i samband med räkning av vita blodkroppar enligt en klassificering beskriven av Härdig⁵.

Den vita blodcells bilden beskrevs genom räkning av det totala antalet vita blodceller (WBC) samt antalet av de olika celltyperna (lymfocyter, granulocyter och trombocyter)³. Ett reducerat antal lymfocyter och granulocyter har ofta tolkats som ett tecken på nedsatt immunförsvar, medan en ökning av dessa celler kan tyda på infektioner eller cell- och vävnadsskador. Ett mindre antal trombocyter kan bero på kronisk stress eller infektioner, medan en ökning kan bero på akut blodbrist och inflammationer. Den vita blod bilden påverkas även kraftigt vid långtidsstress varför man måste vara observant på övriga tecken hos fisken så att den inte varit utsatt för olika stressfaktorer.

En förändrad leverfunktion kan detekteras med olika biokemiska parametrar. Cytrokrom P450 är ett allmänt namn för en familj av isoenzymer som finns i organismers celler. Dessa enzymer transformerar flera endogena och exogena hydrofoba organiska substanser till mer hydrofila föreningar som därmed lättare kan utsöndras via gallan. Det är känt att flera substanser (t.ex. aromatiska

föreningar) kan öka cytokrom P450-aktiviteten och induktionen kan bl.a. detekteras genom att mäta aktiviteten av enzymet EROD (7-etoxy-resorufin-O-deetylas). I denna undersökning utfördes analysen av EROD-aktiviteten vid Zoofysiologiska Avdelningen, Göteborgs Universitet enligt Förlin m.fl.⁶.

Glykogen och lipider i lever analyserades enligt Soivio m.fl.⁷ vid Finska MFG. Glykogen- och lipidhalten regleras hos fisken av tillgången på högenenergimolekyler i blod och lever, men glykogenhalten kan även regleras hormonellt. Lagring av glykogen och lipider är ett effektivt sätt att lagra energi. Stress eller en förändrad metabolism (t.ex. fysisk aktivitet, avgiftning, hormonstörningar, gonadutveckling, födotillgång) hos fisken påverkar mängden av lagrad energi i levern.

En kompletterande studie på leverhistologi utfördes för att identifiera eventuella förändringar i levervävnadens struktur. Det fixerade leverprovet inbäddades med paraffin, snittades och färgades med hematoxylin och eosin enligt standardmetod vid Patologiska Laboratoriet vid SVA. Den mikroskopiska undersökningen utfördes sedan vid Finska MFG (av Kaj Mattsson), där sex slumpmässigt utplockade fiskar från varje grupp undersöktes enligt en modifierad metod beskriven i Plaa & Hewitt⁸. Ena mikroskopets okular var försett med ett rutnät och genom att räkna cellerna i ca 200 rutor med 500 ggr:s förstoring, bestämdes andelen av de olika celltyperna. Histologianalysen delade in levervävnaden i fyra klasser: normala, binukleära och nekrotiska (=döda) leverceller samt övrig struktur. Binukleära celler har en annan form och storlek på kärnan, tvåkärnig, jämfört med normala leverceller, vilket antyder att levercellen befinner sig i en aktiv delningsfas. Övrig struktur består av bl.a. blodkärl och gallgångar.

Metallanalyser

Totalt analyserades 10 abborrhonor i storleken 15-20 cm från respektive lokal, förutom för Bastedalen där enbart 8 honor erhöles i det rätta storleksintervallet.

För att få bästa möjliga jämförbarhet är det viktigt att bestämningarna av metallhalter görs på fisk med så enhetlig storlek som möjligt, samma kön, samma årstid etc. Dessa faktorer kan nämligen påverka metallhalten i vävnader.

De frysta fiskvävnaderna tinades. Torrsubstanshalten (Ts) bestämdes på leverproven. Dessa uppslöt i bomb med kvartsglas, 160 °C, i 2 timmar med 3 ml konc. salpetersyra s.p. Analys gjordes av metallerna koppar (Cu), bly (Pb), zink (Zn), kadmium (Cd) och arsenik (As) på ett AAS-instrument (atomabsorptionsspektrofotometer; flamma för Zn, grafitugn för övriga). Metallhalterna har angivits för torrt prov.

På muskelvävnaden bestämdes kvicksilver (fluorescensdetektor och reduktion med tennklorid). Halterna anges i färskvikt (vått prov: Vs).

Samtliga metallanalyser har gjorts på enskilda prover, dvs inga samlingsprov har förekommit. Totalt har 38 analyser gjorts av vardera lever- och muskelvävnad.

Statistik

Mätvärden av olika slag i naturen är sällan normalfördelade. Genom att logaritmera en serie mätvärden går det dock att skapa fördelningar som närmar sig en normalfördelning och därmed behandla materialet statistiskt enligt gängse metodik.

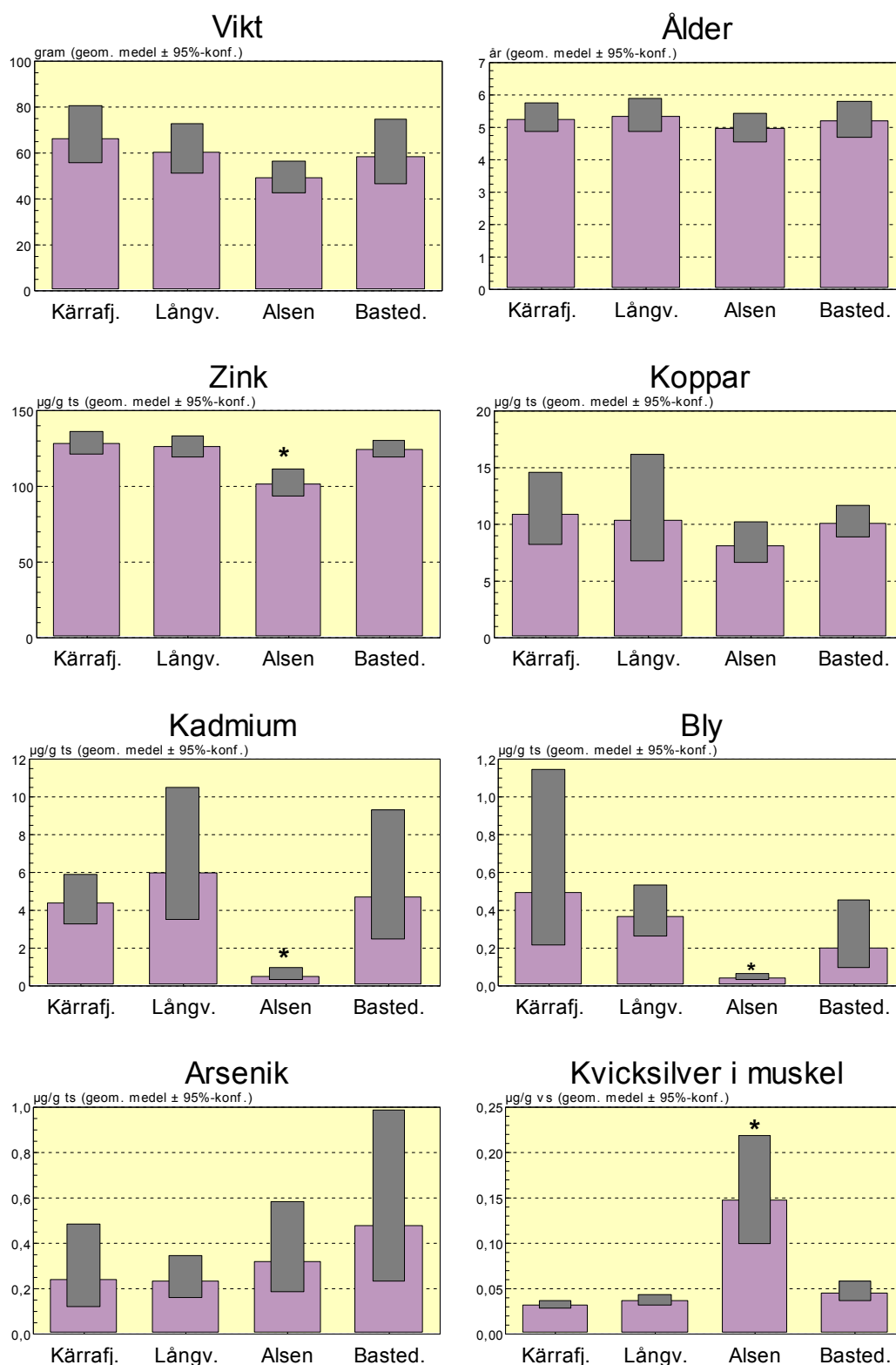
Resultaten redovisas i form av geometriska medelvärden, vilka är beräknade från det logaritmerade materialet genom återtransformering till icke-logaritmerade värden efter den statistiska behandlingen. På detta sätt minimeras betydelsen av enstaka ”out-layers”, till skillnad från vad som är fallet vid motsvarande beräkning av aritmetriska medelvärden. Som spridningsmått redovisas 95 % konfidensintervall, som även det är beräknat på det logaritmerade materialet.

Vid den statistiska behandlingen av materialet har alla lokalerna jämförts mot varandra för att försöka finna eventuella skillnader. Eventuella statistiska avvikelser har fastställts på 95 % signifikansnivå med hjälp av Tukey Honest Significance Difference-test.

RESULTAT

Metallhalter i abborre

Samtliga enskilda mätvärden samt statistiska beräkningar i form av geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall finns i delrapportens originalbilagor som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet. Även morfometriska variabler har beräknats för dessa fiskar. Vikt och ålder åskådliggörs i Figur 3.



Figur 3. Vikt och ålder samt metallhalter i lever (zink, bly, kadmium, koppar och arsenik) respektive kvicksilverhalt i muskel hos abborre från Kärrafjärden, Långviken, Alsen och Bastedalen, hösten 1999. Geometrisk medelvärde med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Alsen och de övriga stationerna för zink, bly och kadmium i lever samt kvicksilver i muskel “*”.

Trots det snäva storleksintervallet (15-20 cm) erhöles något mindre och yngre fiskar vid Alsen. En statistiskt signifikant skillnad noteras för somatisk vikt mellan Alsen och Kärrafjärden.

En lägre konditionsfaktor erhöles för fisken vid Bastedalen, där en signifikant skillnad registrerades jämfört med Kärrafjärden. Abborren inom denna storleksklass var således något mindre välnärd i Bastedalsviken än på övriga lokaler. Likaså hade Bastedalen ett lägre medelvärde för både gonadvikt och GSI i jämförelse med de övriga områdena. Detta betyder att gonadutvecklingen hos fiskar i denna storlek var senarelagd vid Bastedalen.

Denna skillnad för både konditionsfaktor och gonadutveckling beror troligen på att biotopen vid Bastedalen är mer exponerad och samtidigt mindre näringsrik jämfört med de näringsrikare lokalerna högre upp i vattensystemet.

Tendensen till skillnader i storlek och kondition mellan undersökningslokalerna verkar inte ha någon synbar betydelse för metallhalten i abborrens vävnader. Metallhalterna åskådliggörs i Figur 3 i form av geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall. Statistiskt säkerställda skillnader har registrerats i form av lägre halt av zink, kadmium och bly respektive högre kvicksilverhalt i abborre från Alsen jämfört med övriga lokaler. För koppar och arsenik märks inga skillnader.

Metallhalten i abborre från norra Vättern hösten 1999 kan i Tabell 1 jämföras med tidigare mätningar i samma område år 1990 samt med motsvarande uppgifter från andra relevanta vattenområden.

Av Tabell 1 framgår bl.a. att halten av de analyserade metallerna i vävnader hos abborre från Långviken och Kärrafjärden låg på ungefär samma nivå hösten 1999 som hösten 1990. De lägre kvicksilverhalterna i muskulaturen 1999 beror eventuellt på att fisken var mindre i storlek detta år än 1990. Kviksilver tillhör de fåtal metaller som normalt ökar i koncentration med fiskens vikt, s.k. biomagnifiering.

Jämfört med andra delar av Vättern, och framför allt med andra sjöar, framstår kvicksilverhalten i abborre från vikarna i norra Vättern som mycket låg. Detta har även tidigare noterats för exempelvis gädda i Salaåns vattensystem samt är ett normalt fenomen i flertalet recipienter till sulfidmalmsgruvor i Sverige⁹.

Däremot är halten av bly och kadmium i levervävnad påtagligt högre i Långviken och Kärrafjärden än vad som kan betraktas som "normalt" i svenska sjöar. Dock finns det undantag, såsom den närliggande sjön Unden, som tidigare använts som referenssjö för undersökningar i norra Vättern, blyhalten 1990 låg på samma nivå, och kadmiumhalten på en betydligt högre nivå än i de aktuella vikarna.

Tabell 1. Metallkoncentrationer i mindre abborre (huvudsakligen inom längdintervallet 15-20 cm) från norra Vättern 1999 jämfört tidigare undersökningar samt med några andra vattenområden. Värdena avser aritmetiska (Vänern & norra Vättern 1990) respektive geometriska medelhalter (övriga). Kvicksilver (Hg) avser muskulatur och övriga lever. Uppgifterna har hämtats från Bignert¹⁰, Lindeström & Grotell¹¹, Lindeström m.fl.¹² samt Lindeström¹³. Halter inom parentes innehåller värden som understigit analysmetodens detektionsgräns och som därför tilldelats halva gränsvärdet. Observera att sorterna skiljer sig åt för olika metaller.

	<i>Fångst</i>	<i>Antal</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cd</i>	<i>As</i>	<i>Hg</i>
	<i>-år</i>		<i>µg/g Ts</i>	<i>ng/g Ts</i>	<i>µg/g Ts</i>	<i>µg/g Ts</i>	<i>µg/g Ts</i>	<i>µg/g Vs</i>
<i>Norra Vättern</i>								
Alsen	1999	10	8,2	45	102	0,53	(0,32)	0,15
Långviken	1999	10	10	370	126	6,0	(0,23)	0,04
Kärrafjärden	1999	10	11	490	128	4,4	(0,24)	0,03
Bastedalen	1999	8	10	200	124	4,8	(0,48)	0,05
Långviken ^a	1990	10	7,8	200	88	2,6	-	0,09
Kärrafjärden ^a	1990	10	12	490	118	5,5	-	0,06
Unden ^a	1990	10	20	380	145	27	-	0,35
Vättern, Röknen ^a	1998	11	9,6	(26)	109	3,2	-	0,23
Vättern, Visingsö	1998	9	7,1	(13)	82	1,7	-	0,09
Munksjön	1998	10	12	(11)	101	0,42	-	0,19
Vänern, 4 lokaler	1998	4*10	7,3-9,5	51-68	98-114	1,2-2,4	2,0-3,2	0,11-0,15
<i>Referenssjöar^b</i>								
Stensjön	1997	10	28	140	-	0,17	-	0,31
Rotehogstjärn	1997	10	16	140	-	0,79	-	0,38
Allgjuttern	1997	10	22	94	-	0,86	-	0,18
St. Skärsjön	1997	10	9,5	160	-	5,8	-	0,31

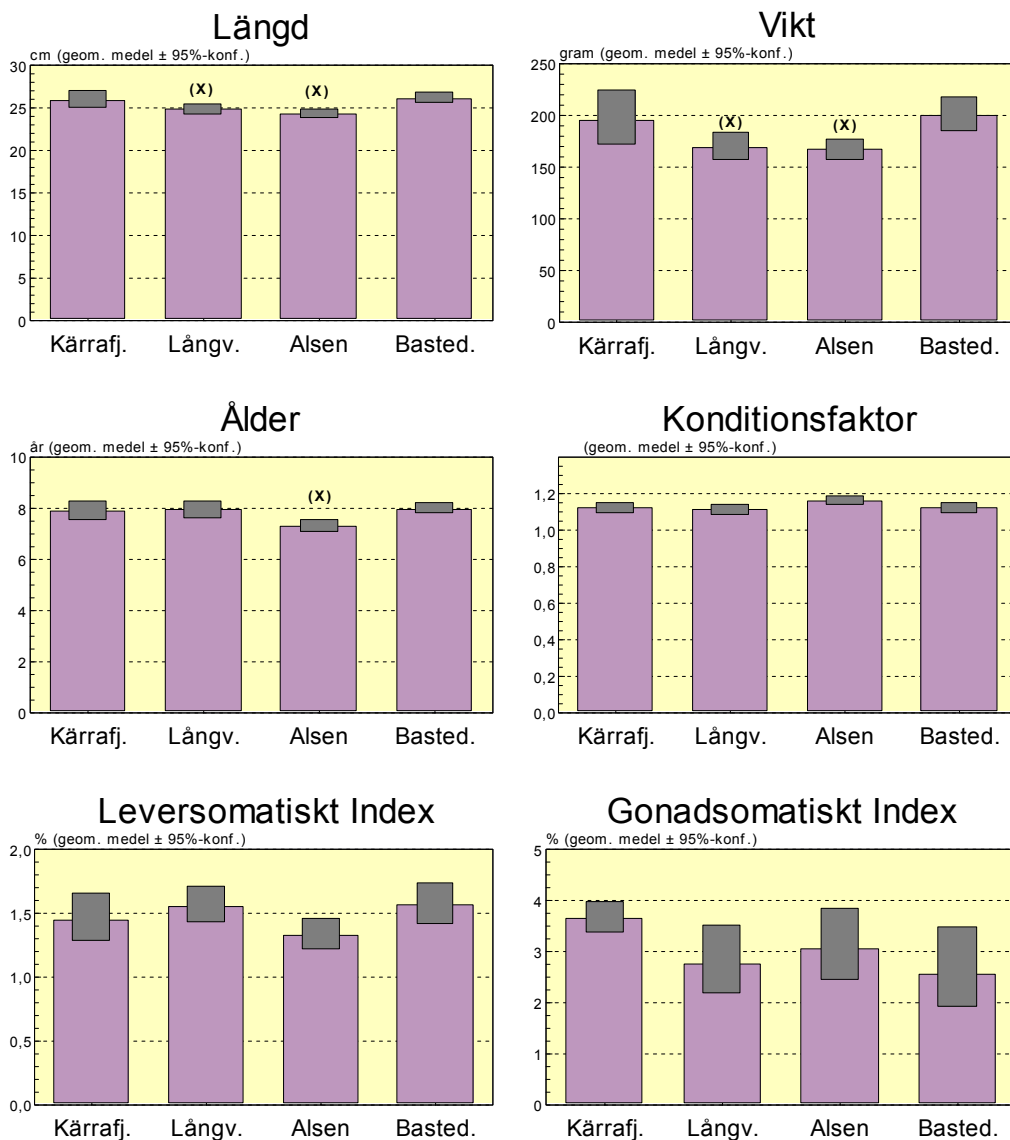
^a Något större abborre än det angivna intervallet

^b Sjöar i olika delar av landet som undersöks inom det nationella övervakningsprogrammet

De två livsnödvändiga, eller essentiella, metallerna zink och koppar, som fisken har relativt god förmåga att reglera, ligger på ungefär samma nivå i norra Vättern som i exempelvis abborre från Vänern. Arsenikhalten är däremot, något förvånande, betydligt lägre i norra Vättern.

Abborrens fysiologiska tillstånd

Ett trettiotal olika fysiologiska variabler har bestämts på närmare 100 abborrhonor från de fyra undersökningslokalerna. Histologiska studier på lever har gjorts på 6 individer från varje lokal, dvs på totalt 24 abborrar. Samtliga enskilda mätresultat finns tabellerade i delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet. I figurer under detta avsnitt redovisas geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall.



Figur 4. Morfometriska mätvariabler hos abborre från Kärrafjärden, Långviken, Alsen och Bastedalen, som genomgått fiskfysiologiska studier hösten 1999. Geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall. I de fall statistiskt signifikanta skillnader registrerats mellan en eller flera lokaler har detta markerats med "(X)".

Morfometriska mätvariabler

För att få ett tillräckligt stort antal fiskar att analysera var det nödvändigt att för Kärrafjärden och Bastedalen ta med ett antal individer inom längdintervallet 27-30 cm, som således låg utanför det rekommenderade intervallet 17-27 cm. Detta ledde följaktligen till att medelvärdet för längd, vikt och ålder var högre vid dessa två stationer och förklarar de variationer som åskådliggörs i Figur 4.

Konditionsfaktorn, d.v.s. ”fiskens hull”, uppvisar däremot inga skillnader mellan områdena (Figur 4).

I samma figur åskådliggörs även den relativa lever- och gonadvikten, lever- och gonadsomatiska indexen (LSI respektive GSI). Den absoluta lever- och gonadvikten redovisas endast i delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet. Den absoluta levervikten hos den undersökta abborren var störst i Kärrafjärden och Bastedalen. Vidare uppvisade LSI en tendens att vara något lägre hos abborrar från Alsen i jämförelse med de övriga stationernas fiskar. Orsaken till denna avvikelse beror på densamma som ovan, d.v.s. större fiskar har vanligtvis större lever och även generellt sett ett högre LSI-värde.

När det gäller gonadvikten och GSI var respektive värden högre i abborrhonor från Kärrafjärden än från övriga lokaler. Samtliga studerade honor (100 %) hade således välutvecklade gonader, (GSI är större än 1) vilket tyder på att abborrhonorna är redo för lek under kommande vår. Andelen könsmogna honor var 92 % vid Långviken och Alsen samt 84 % vid Bastedalen.

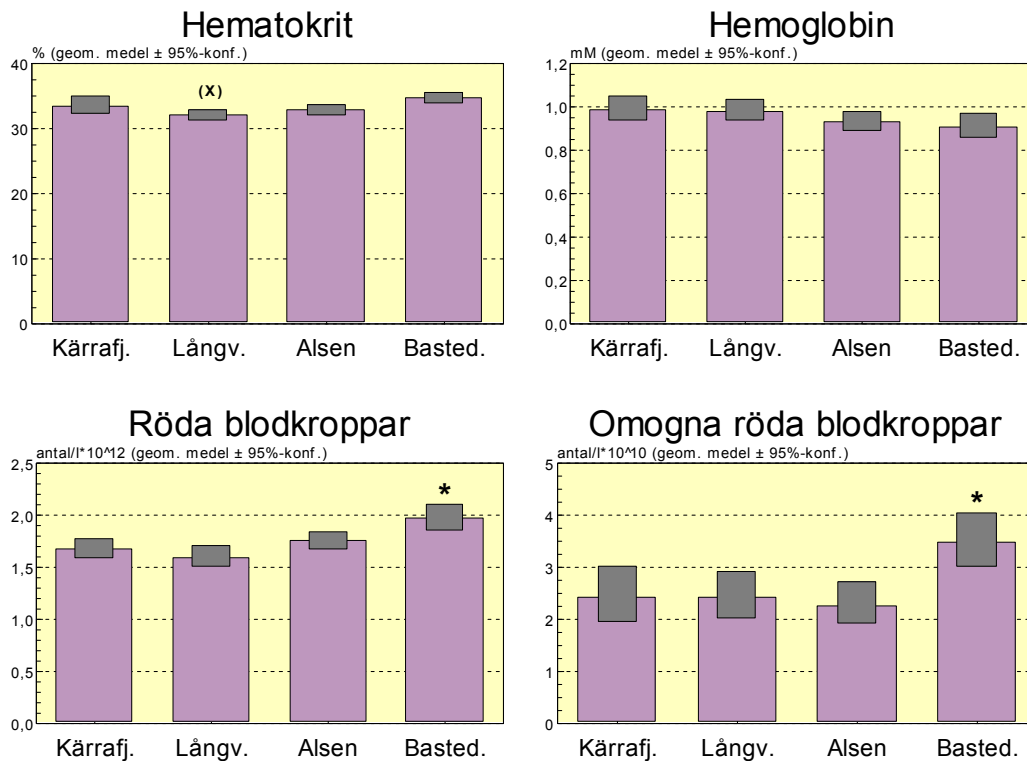
Röda blodcells bilden – syreupptagningsförmågan

Den röda blodcells bilden (antalet mogna och omogna röda blodceller, hemoglobin och hematokrit) som beskriver syreupptagningsförmågan hos fisken, åskådliggörs i Figur 5. De beräknade indexen MCHC, MCH och MCV (baserade på mätvärden från ovannämnda mätvariabler) redovisas endast i delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet. Resultaten visar på några smärre avvikelser hos framför allt honorna från Bastedalen jämfört med övriga lokaler. Hematokritvärdet (den packade volymen av röda blodkroppar) visar på ett statistiskt säkerställt högre värde för Bastedalen än för Långviken, även om skillnaden är marginell.

Abborrarna från Bastedalen uppvisade vidare ett statistiskt högre antal mogna och omogna röda blodceller i jämförelse med övriga områdena, vilket sannolikt beror på en högre produktion av röda blodceller. Orsaken till denna variation har troligen en naturlig förklaring, eftersom skillnaderna inte är

särskilt drastiska och biotoperna inte heller är helt identiska. Speciellt Bastedalen har en mer avvikande biotop, som är mer exponerad för vågor och strömmar jämfört med de tre övriga områdena.

Det finns ingen antydning till en hämning av den röda blodcellsproduktionen eller hämoglobinsyntesen hos fiskarna från Kärrafjärden och Långviken. Således finns det inga tecken på några typer av anemier (blodbrist) som kan relateras till metallexponeringen av fisk.

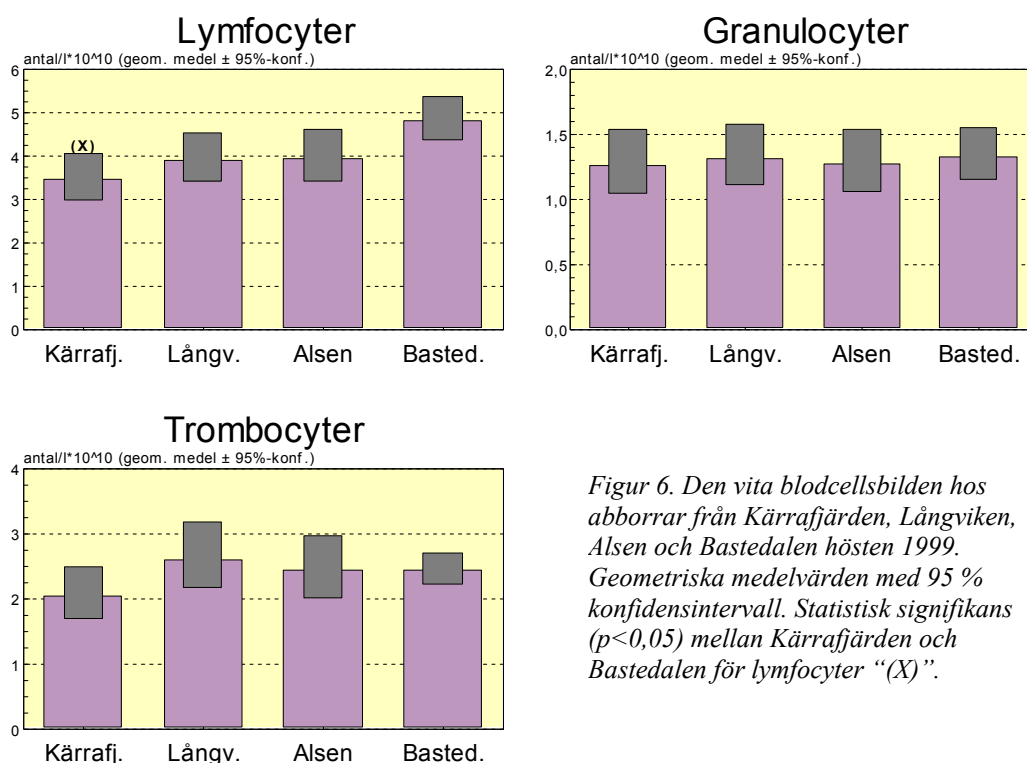


Figur 5. Den röda blodcells bilden hos abborrar från Kärrafjärden, Långviken, Alsen och Bastedalen hösten 1999. Geometrisk medelvärde med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Bastedalen och de övriga stationerna för antalet mogna och omogna röda blodkroppar “*”, samt mellan Långviken och Bastedalen för hematokrit “(X)”.

Vita blodcells bilden – Immunförsvar

Antalet lymfocyter, eller vita blodkroppar, var signifikant lägre hos fiskarna från Kärrafjärden i jämförelse med Bastedalen (Figur 6). I övrigt noterades inga skillnader mellan lokalerna med avseende på antalet granulocyter och trombocyter.

Inte heller när det gäller den vita blodcells bilden, finns det några tecken i materialet på att fiskarna i Kärrafjärden och Långviken skulle ha ett påverkat immunförsvar.



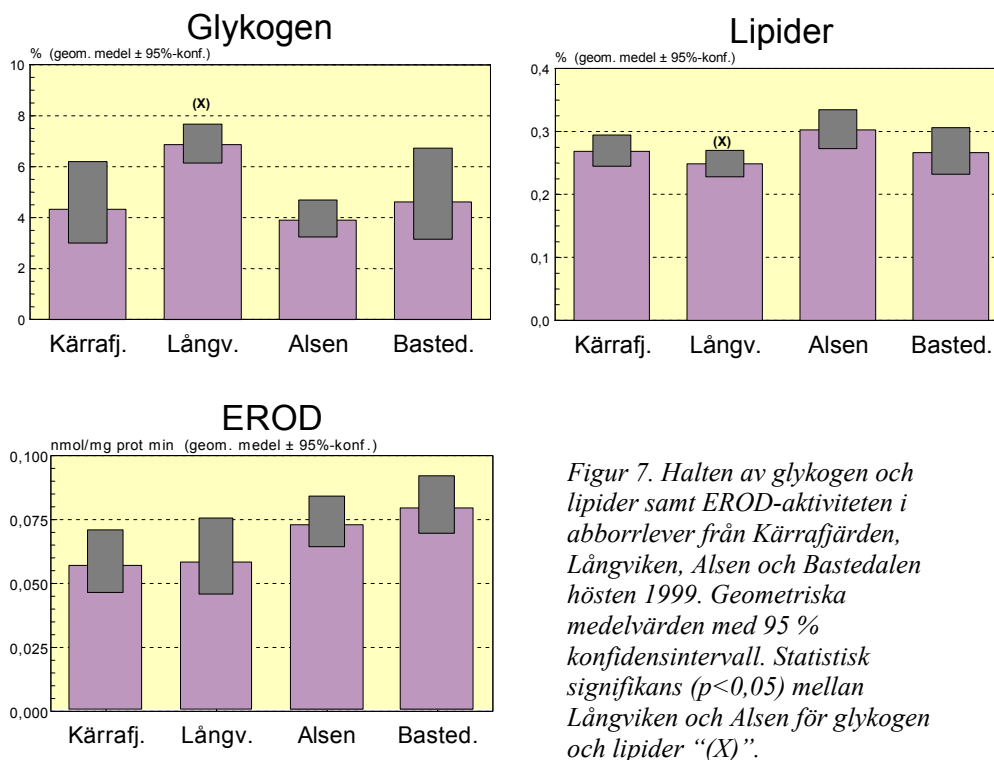
Figur 6. Den vita blodcells bilden hos abborrar från Kärrafjärden, Långviken, Alsen och Bastedalen hösten 1999. Geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Kärrafjärden och Bastedalen för lymfocyter "(X)".

Leverfunktion och -struktur

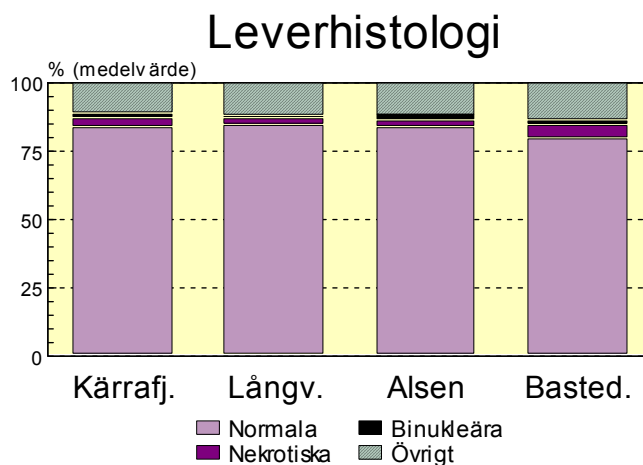
Mätvariabler som beskriver leverns avgiftning (enzymet EROD), energilager (glykogen- och lipidhalt) samt vävnad (histologi) åskådliggörs i Figur 7. Avgiftningsenzymet EROD uppvisade ingen förhöjd aktivitet hos fisken i vikarna i Norra Vättern. Tvärtom var EROD-aktiviteten lägre hos individerna från Kärrafjärden och Långviken i jämförelse med referensområdena.

Emellertid uppvisade abborrarna från Långviken avvikande medelvärden för glykogen och lipider (fett) jämfört med Alsens fiskar. Halten av glykogen var statistiskt högre, medan lipidhalten var statistiskt lägre i Långviken. Möjligen kompenserar dessa två energiformer varandra i fisklevern.

När det gäller levervävnadens histologi har däremot inga skillnader registreras mellan de olika undersökningsområden. Detta betyder att andelen normala leverceller är minst lika hög vid Kärrafjärden och Långviken (83-84 %) såsom vid Alsen (84%) och Bastedalen (79%) samt att andelen nekrotiska (=döda) leverceller låg (<5 %). Histologin redovisas i delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet och åskådliggörs i Figur 8.



Det fanns således inte några förändringar i levern hos abborrhonor från Kärrafjärden och Långviken i form av förhöjd enzymaktivitet, förändrad energilagring eller förändrad leverstruktur som kan kopplas till den förhöjda förekomsten av metaller i området.



Figur 8. Andelen normala, nekrotiska (=döda), binukleära (=två cellkärnor) samt övrigt (bl.a. blodkärl och gallgångar) i abborrlever från Kärrafjärden, Långviken, Alsen och Bastedalen, hösten 1999.

Slutligen kan nämnas att cystor av leverparasiten *Trianophorus sp.* noterades hos 6-7 individer per station i Långviken och Kärrafjärden samt i Alsen. Vid Bastedalen registrerades 3 fall av parasiten. *Trianophorus sp.* är en normalt förekommande leverparasit hos abborre, som fungerar som mellanvärd för parasiten, där slutvärderna är gädda. Enligt de lokala fiskarna (muntl. komm.) är förekomsten av gädda god i de inre vikarna av norra Vättern, vilket förklarar observationerna av leverparasiterna hos abborrarna.

KOMMENTARER

Det är uppenbart att fisken i norra Vättern är exponerad för metaller och att detta resulterat i förhöjda halter av framför allt kadmium och bly i levervävnaden hos abborre. Dock är haltnivåerna inte på något sätt unika, eftersom motsvarande eller högre halter även har registrerats i sjöar som inte är påverkade av någon lokal metallkälla.

Andra metaller som zink och koppar, vilka ingår i flera livsuppehållande system, har fisken relativt god förmåga att reglera. Dessa metaller förekommer därför vanligtvis i ungefär samma haltnivåer i fisken oavsett vilken exponering den utsätts för.

Förutom metallhalten i det omgivande mediet, i detta fall vattnet, är det en rad andra faktorer som har betydelse för vilka metallkoncentrationer som uppkommer i fiskens vävnader. Sådana faktorer är exempelvis näringsförhållandena, förekomsten av humus och andra partiklar, vattnets jonsammansättning och pH, vattnets omsättningstid i sjön i fråga, ekosystemets uppbyggnad etc.

Vidare är det sällan som förhöjda halter i lagrings- och avgiftningsorganet, levern, leder till förhöjda metallhalter i fiskens muskulatur, eller det vi kallar för "fiskköttet". Detta inträffar först vid extrem exponering eller då leverns funktion blivit påverkad eller försämrad. En förhöjd halt av kadmium och bly i abborrlever innebär därför sällan att abborrens värde som konsumtionsfisk för människan försämrats (såvida man inte är särskilt förtjust i abborrlever). Parallella analyser av muskel och lever i andra områden har visat att halten i muskel hos abborre vanligt ligger kvar på relativt låga nivåer även om vissa metallhalter ökar i levern¹⁴.

Till skillnad från övriga metaller ackumuleras kvicksilver i väl så hög grad i muskulaturen som i levern. Vidare ökar kvicksilverhalten vanligtvis uppåt i näringskedjan, på så sätt att rovdjuren normalt sett har högre halt än sin föda. Bland metallerna är det därför främst kvicksilver i fiskvävnad som varit i fokus i debatten om fiskkonsumtion, och som utgör en viktig grund för de allmänna kostrekommendationer som givits ut¹⁵. Som redan påtalats är kvicksilverhalten i abborre i norra Vättern låg eller mycket låg jämfört med både Alsen och andra svenska sjöar. Orsaken är inte fastlagd, men en trolig

förklaring är att andra metaller, främst zink, utövar antagonism mot kvicksilvret vid upptaget i fisken och därmed ”avgiftar” fisken från kvicksilver. Ur konsumtionssynpunkt är därför, paradoxalt nog, fisken från Långviken och Kärrafjärden särskilt lämplig att äta.

Teoretiskt sett kan fisken påverkas av en förhöjd metallexponering utan att metallhalten i dess vävnad för den skull nämnvärt förhöjs. Om exponeringen leder till att fisken måste lägga mycket ”resurser” på att utestänga och utsöndra metaller, kan detta leda till indirekta fysiologiska förändringar, såsom en minskad tillväxt, förstörd eller förändrad lever, ökad känslighet för sjukdomar o.d., påverkan på enzymer såsom det blodsyntetiserande ALA-d, förändringar därav hos blodets sammansättning, m.m.

De genomförda fiskfysiologiska studierna har dock visat:

- att konditionen hos de undersökta abborrhonorna var lika god på alla de undersökta lokalerna i norra Vätternområdet
- att några sjukdomssymptom inte kunde observeras hos de undersökta fiskarna
- att cystor av leverparasiten *Trianophorus sp.* förekom hos abborre i en omfattning som är normal sett till förekomsten av gädda, vilken utgör slutvärd för parasiten
- att inga avvikelser, som kan kopplas till metallexponeringen, registrerats hos den röda och vita blodcells bilden
- att inga indikationer heller fanns till en hämning av den röda blodcellsproduktionen eller hemoglobinsyntesen hos fiskarna från Kärrafjärden och Långviken, och därmed ingen antydning om anemier (blodbrist) hos dessa metallexponerade fiskar
- att inte heller någon påverkan på immunförsvaret registrerats i området
- att några förhöjda lymfocytvärden hos fiskarna från Långviken och Kärrafjärden, som noterades vid 1990 års fysiologiska studie och som antogs bero på den observerade fenerosionen, inte observerats hösten 1999. Den mest sannolika förklaringen till fenerosionen hos fisken 1990 är att fisken då utsattes för ansträngda syreförhållanden i samband med sumpningen.

Inga analyser har gjorts hösten 1999 av några leverenzym, såsom ASAT och ALAT. Detta motiveras med att det inte framkommit några resultat från övriga analyserade levervariabler som visat på något behov eller motiv för sådana bestämningar. Ingen förändring registrerades nämligen med avseende på leverns storlek och energilager, avgiftning eller vävnadsstruktur, som skulle kunna härledas till metallexponeringen i området.

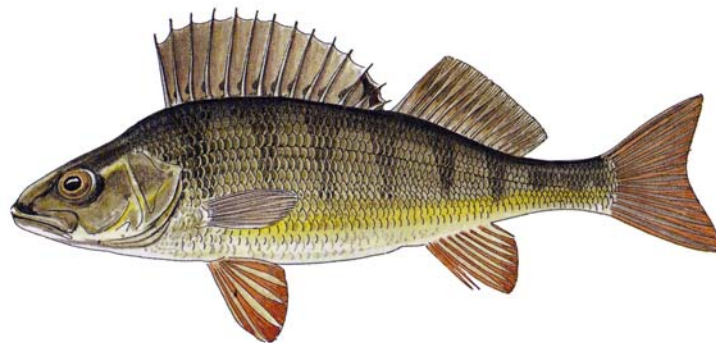
REFERENSER

- ¹ Medin, M. & Ericsson, U. (1999). Recipientkontrollen i norra Vätterns tillrinningsområde. Rapport 1994-1998. Medins Sjö- och Åbiologi AB.
- ² Naturvårdsverket (1999). Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. NV rapport 4913.
- ³ Allmänna Råd 94:2. Vattenrecipient kontroll vid skogsindustrier. Rapport från Naturvårdsverket.
- ⁴ Lehtinen, K.-J., J. Tana, J. Härdig, J. Hemming och P. Lindström-Seppä, (1992). Effekter på överlevnad, tillväxt, parasiter och fysiologiskt tillstånd hos fisk exponerad i modellekosystem för avloppsvatten från produktion av blekt björksulfatmassa. Vat. Miljöförvaltn. Publ. Ser. A 105: 3-54. (eng.)
- ⁵ Härdig, J. (1978). Maturation of circulating red blood cells in young Baltic salmon (*Salmo salar* L.). Acta Physiol. Scand. 102, 290-300.
- ⁶ Förlin, L., A. Goksøyr and A-M. Husøy, 1994. Cytochrome P450 monooxygenase as indicator of PCB/ dioxin like compounds in fish. In: Biomonitoring coastal waters and estuaries, edited by K.J.M. Kramer, CRC Press Inc. FL, Boca Raton, pp. 135-150.
- ⁷ Soivio, A. & E. Virtanen (1981). Methods for physiological experiments on fish. Nordforsk report No. 16.
- ⁸ Plaa, G. L. & W. R. Hewitt, 1989. Detection and evaluation of chemically induced liver injury. In: Principles and methods of toxicology. Ed: A. W. Hayes pp. 599-628.
- ⁹ Lindeström, L. & Grahn, O. (1982). Antagonistic effects to mercury in some mine drainage areas. AMBIO, Vol 11, No 6: 359-361.
- ¹⁰ Bignert, A. (1999). Miljögifter i abborre från Vättern och Munksjön 1998. Rapport från Vätternvårdsförbundet under publicering.
- ¹¹ Lindeström, L. & Grotell, C. (1999). Metaller och stabila organiska ämnen i Vänerfisk. Kap. 18 i: Väner, årsskrift 1999 från Vänerns vattenvårdsförbund, rapport nr 7.
- ¹² Lindeström, L, Härdig, J., Monfelt, C. & Tana, J. (1991). Metallhalter och fysiologiska variabler hos fisk i norra Vättern 1990. Rapport från MFG.
- ¹³ Lindeström, L. (2000). Metaller och stabila organiska ämnen i Munksjön. Källor och halter i olika media under 1998-99. MFG rapport F99/46.
- ¹⁴ Lindeström, L. (1992). Årsrapport för Dalälvens vattenvårdsförening, 1991.
- ¹⁵ Statens Livsmedelsverk (1988). Allmänna råd för konsumtion av fisk och föreskrifter om saluförbud för fisk m.m. från vissa vattenområden. (SLV FS 1988:5.)

Abborre i recipienten till

Aspa Bruk

**Hälsotillstånd och utveckling av
könsorgan hösten 1999**



Fryksta 2000-06-02

CAROLINE GROTELL
ÅF-MiljöForskarGruppen

JAN HÄRDIG
SVA

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Abborre i recipienten till Aspa Bruk

1. Bakgrund	35
2. Omfattning och metodik	36
2.1 Undersökningslokaler	36
2.2 Fiske	37
2.3 Provtagning av abborre	38
2.4 Fiskfysiologiska mätvariabler	39
2.5 Statistik	41
3. Resultat	42
3.1 Fiskfysiologi	42
3.1.1 Halter av extraktivämnen i abborgalla	42
3.1.2 Morfometriska mätvariabler	45
3.1.3 Röda blodcells bilden – syreupptagningsförmågan	47
3.1.4 Vita blodcells bilden – Immunförsvar	49
3.1.5 Leverfunktion och –struktur	50
3.2 Gonadutveckling hos abborre	52
4. Sammanfattande diskussion	55
5. Referenser	58

Abborre på försättssida: Thore Andersson, konstnär, publicerad med tillstånd av Nya Wermlandstidningen (© NWT).

Abborre i recipienten till Aspa Bruk - Hälsotillstånd och utveckling av könsorgan hösten 1999

1. BAKGRUND

Länsstyrelsen i Örebro län har begärt att Munksjö, Aspa Bruk skall utföra förnyade undersökningar i recipienten till Aspa Bruk i norra Vättern. Tidigare har en hälsoundersökning utförts på fisk 1990¹. Denna undersökning visade att förhöjda halter av hartssyror och klorfenoler förekom i abborrgalla i närområdet till fabriken. En ökad aktivitet av avgiftningsenzymet EROD registrerades liksom en tendens till ökad halt av glykogen och askorbinsyra hos fiskar från recipienten. Effektbilden bedömdes sammantaget som svag i fabriken närområdet och på fjärrstationen i recipienten förelåg inga avvikelser i fysiologiska/biokemiska parametrar som kunde knytas till påverkan av utsläppen.

En uppföljande undersökning av fiskens hälsotillstånd och fortplantning i recipienten planerades att genomföras hösten 1998. Målsättningen med recipientenstudierna var att beskriva eventuell påverkan av dagens utsläppssituation samt ta fram ett underlag så att förhållandena i recipienten kan jämföras med situationen i framtiden då man under de närmaste åren kommer att genomföra stora ombyggnader av fabriken.

Vid tidpunkten för den fysiologiska provtagningen hösten 1998 uppdagades att tillfälliga utsläpp skedde i samband med ombyggnad av fabriken. Dessa utsläpp riskerade att påverka utfallet av undersökningarna och eftersom dessa problem hängde samman med ombyggnader i fabriken gjordes bedömningen att resultaten inte skulle bli representativa för dagens normalsituation. Fiskstudierna avbröts därför efter samråd med tillsynsmyndigheten och genomfördes ett år senare, hösten 1999.

2. OMFATTNING OCH METODIK

2.1 Undersökningslokaler

När det gäller den *fiskfysiologiska* studien ingick två undersökningsområden i recipienten som hösten 1990 (figur 1). Närområdet var beläget vid Dimmestorp, d.v.s i mynningsområdet till Sörviken, ca 1 km från utsläppet. Fjärrområdet placerades vid Koviken ca 2 km från utsläppsområdet. Recipientstationerna benämns i texten **Dimmestorp** och **Koviken**. Referenslokalerna benämns **Alsen** och **Bastedalen**. Sjön Alsen norr om Aspa Bruk (figur 1), är ett något mer näringsrikt och skyddat område jämfört med recipienten till bruket. Vattenområdet vid Bastedalen ca 7 km nordöst om bruket representerar ett likartat område som recipienten med avseende på näringsrikedom och vindexponering.

När det gäller *gonadstudien* ingick två undersökningsområden, dels ett recipientområde som omfattades av ett område från fabriken ner mot Koviken, dels ett referensområde vid Bastedalen i nordöstra delen av Vättern (se figur 1).

senare efter det att fiskarna återhämtat sig från fångststressen, undersöka 25 st abborrhonor i storleken 17-27 cm.

Fisket i Alsen utfördes av Sven Viding och Ingmar Lundfeldt (Askersunds Fiskevårdsförening), medan fisket vid Bastedalen sköttes av Bo Haglind (Hammars Fiskevårdsförening). Nils Fors har fungerat som kontaktman för fisket i referensområdena Alsen och Bastedalen. Fisket i recipienten utfördes först av den lokala fiskaren Henrik Färg och togs sedan över av en annan lokal fiskare Håkan Spångberg samt Håkan Axelsson.

Abborrfisket för studier av könsmognad och könsorganens utveckling utfördes av Håkan Spångberg vid Aspa Bruk och av Nils Fors vid Bastedalen under perioden v.42-43 i oktober 1999. Målet var att samla in ett 40-50-tal abborrar i vardera fem olika längdklasser i längdintervallet 12,6-25,0 cm. I recipienten erhöles ett tillräckligt stort material, medan endast ett trettioital abborrar erhöles vid Bastedalen trots en stor fiskeinsats. Abborrarna frystes och behölls i detta tillstånd fram till dissekeringen.

2.3 Provtagning av abborre

Fiskar från de två referenslokalerna genomgick den *fysiologiska* provtagningen den 21.a-22:a september 1999, medan provtagningen på fisk från recipienten utfördes den 16.e oktober 1999.

Provtagningen utfördes av Caroline Grotell (MFG) och Jan Härdig (SVA, Statens Veterinärmedicinska Anstalt) med assistans av Nils Eklöv, medlemmar från Askersunds Fiskevårdsförening och Henrik Spångberg.

Fisken provtogs slumpmässigt en åt gången från respektive sump, och bedövades lätt med ett slag i huvudet. Först togs ett blodprov från kaudala kärl (stjärtregionen) med en hepariniserad (hindrar blodet att stelna) engångsspruta och kanyl. Hematokrit (den packade volymen av de röda blodkropparna) bestämdes omedelbart med en Compur Mirospin hematokrit-centrifug. Ca 0.2 ml av blodprovet överfördes till ett plaströr och förvarades vid + 4°C till dess att analys av hemoglobin och antal röda blodkroppar utfördes. Blodutstryk för räkning av vita blodkroppar preparerades och lufttorkades. Resterande blod centrifugerades, varefter plasman togs tillvara och frystes för eventuella senare analyser. Alla delmomenten utfördes enligt vid SVA framtagna och dokumenterade instruktioner.

Efter det att blodprov tagits avlivades fisken, varefter den mättes med avseende på vikt och längd. Därefter öppnades varje fisk och gallprov togs från gallblåsan med en 1 ml engångsspruta. Galla från 4-6 abborrar samlades i en 5 ml glasflaska med septum. Totalt erhöles 5 stycken samlingsprov av galla från respektive station, förutom från fjärrstationen i recipienten, p.g.a. färre

individer och knappt med galla. Gallproven frystes för senare analys av extraktivämnena.

Omedelbart efter gallprovtagningen togs fiskens lever ut och vägdes. Först snittades en smal bit från den centrala levern, vilken placerades i en liten plastkorg, varefter leverbiten fixerades i 4 % fosfatbuffrad formalin för histologisk undersökning (mikroskopisk undersökning av levervävnad). Därefter placerades tre bitar i var sitt Eppendorf rör, vilka placerades i flytande kväve (-196°C) för senare analys av EROD (ett s.k. transformationsenzym), leverglykogen och leverlipider.

Därefter plockades gonaden ut och vägdes, varefter det resterande innanmätet togs ur fisken och den somatiska vikten (utan inälvor) bestämdes. Slutligen klipptes vänster gällock bort för analys av ålder.

Under provtagningen utfördes även en okulärbesiktning av abborren. Framför allt kontrollerades hud, gälar, fenor och inre organ med avseende på förekomst av makroskopiska parasiter samt kliniska symptom på sjukdomar.

Målet var att vid provtagningen undersöka 25 abborrhonor i storleksklassen 17-27 cm vid respektive station enligt Allmänna Råd 94:2². Totalt erhöles 25 honor från respektive referensområdenområde. Det bör vidare påpekas att från Bastedalen togs även prov på större honor (27-30 cm) för att erhålla ett tillräckligt stort antal individer. De studerade fiskarna från recipientstationerna blev till antalet något lägre, 20 st, p.g.a. hög förekomst av hanar.

Vid *genomgången av fisken för gonadstudien i laboratoriet* halvtinades abborren innan längd och totalvikt bestämdes, varefter den öppnades och levern plockades ur och vägdes. Därefter avlägsnades mag- och tarmpaketet, varefter könet registrerades och gonaden (könsorganet) plockades ur och vägdes. Då alla inälvor avlägsnats bestämdes den somatiska vikten (muskelvikten). Slutligen klipptes vänster gällock bort för eventuell analys av ålder och längdtillväxt. Vid genomgången utfördes en okulär besiktning med avseende på eventuella parasiter, skelettdeformationer och yttre skador.

2.4 Fiskfysiologiska mätvariabler

De undersökta mätvariablerna i den fysiologiska studien beskriver fiskens morfometri (bl.a. längd, vikt, konditionsfaktor), syreupptagningsförmåga (röda blodkroppar), immunförsvar (vita blodkroppar), leverstruktur (histologi), avgiftningsfunktion (EROD) samt energiupplagring (glykogen och lipider). Nedan följer en kort beskrivning av variablerna.

Förutom att längd, vikt, somatisk vikt, leverns och gonadens vikt hos fisken registrerades, beräknades även indexen konditionsfaktor, leversomatiskt och gonadsomatiskt index.

Konditionsfaktorn (CF) beräknas utifrån vikt och längd och beskriver fiskens kroppsform. Ett högt värde tyder på en kraftig muskulatur och/eller fettansättning. Konditionsfaktorn speglar normalt födotillgången, men avvikande värden kan även tyda på någon form av störning i den metaboliska aktiviteten eller dess reglering.

Leversomatiskt index (LSI) beräknas på basis av fiskens somatiska vikt och dess levervikt och anger lever/kroppsförhållandet. I levern upplagras reservnäring i form av lipider (fett) och glykogen, som kan utgöra en relativt stor del av leverns vikt och påverkar därmed LSI-värdet.

Gonadsomatiskt index (GSI) beräknas på basis av fiskens somatiska vikt och gonadvikt och anger gonad/kroppsförhållandet. Ett GSI-värde större än 1 anses betyda att individen kommer att vara lekmogen följande leksäsong² Fel! Bokmärket är inte definierat.

Abborrens ålder registrerades genom räkning av antalet årsringar på gälloket och utfördes av Böril Jonsson, Allumite Konsult.

Analyserna av röda blodkroppar utfördes enligt beskriven metodik^{2 & 3}. Den röda blodcells bilden beskrivs av variablerna hematokrit (röda blodcellers procentuella volymandel i blodet), hemoglobinkoncentration och antal röda blodkroppar. Olika typer av anemier (=blodbrist) identifieras med hjälp av karakteristiska förändringar i dessa parametrars mätvärden. Höga värden hos de röda blodparametrarna kan bero på flera faktorer, som exempelvis stress, kraftig ansträngning, syrebrist m.m. Dessutom räknas antal omogna röda blodkroppar på blodutstryk i samband med räkning av vita blodkroppar enligt en klassificering beskriven av Härdig⁴.

Den vita blodcells bilden beskrivs genom räkning av olika celltyper (lymfocyter, granulocyter och trombocyter)² i blodet. Ett reducerat antal lymfocyter och granulocyter har ofta tolkats som ett tecken på nedsatt immunförsvar, medan en ökning av dessa celler kan tyda på infektioner eller cell- och vävnadsskador. Ett mindre antal trombocyter kan bero på kronisk stress eller infektioner, medan en ökning kan bero på akut blodbrist och inflammationer. Den vita blod bilden påverkas även kraftigt vid långtidsstress varför man måste vara observant på övriga tecken hos fisken så att den inte varit utsatt för olika stressfaktorer.

En förändrad leverfunktion kan detekteras med olika biokemiska parametrar. Cytochrom P450 är ett allmänt namn för en familj av isoenzymer som finns i organismers celler. Dessa enzymer transformerar flera endogena och exogena hydrofoba organiska substanser till mer hydrofila föreningar som därmed lättare kan utsöndras via gallan. Det är känt att flera substanser (t.ex. aromatiska föreningar) kan öka cytochrom P450-aktiviteten och induktionen kan bl.a. detekteras genom att mäta aktiviteten av enzymet EROD (7-etoxyresorufin-O-deetylas). I denna undersökning utfördes analysen av EROD-

aktiviteten vid Zoofysiologiska Avdelningen, Göteborgs Universitet enligt Förlin m.fl.⁵.

Glykogen och lipider i lever analyserades enligt Soivio m.fl.⁶ vid Finska MFG. Glykogen- och lipidhalten regleras hos fisken av tillgången på högenergimolekyler i blod och lever, men glykogenhalten kan även regleras hormonellt. Lagring av glykogen och lipider är ett effektivt sätt att lagra energi. Stress eller en förändrad metabolism (t.ex. fysisk aktivitet, avgiftning, hormonstörningar, gonadutveckling, födotillgång) hos fisken påverkar mängden av lagrad energi i levern.

En kompletterande studie på leverhistologi utfördes för att identifiera eventuella förändringar i levervävnadens struktur. Det fixerade leverprovet inbäddades med paraffin, snittades och färgades med hematoxylin och eosin enligt standardmetod vid Patologiska Laboratoriet vid SVA. Den mikroskopiska undersökningen utfördes sedan vid Finska MFG (av Kaj Mattsson), där sex slumpmässigt utplockade fiskar från varje grupp undersöktes enligt en modifierad metod beskriven i Plaa & Hewitt⁷. Ena mikroskopets okular var försett med ett rutnät och genom att räkna cellerna i ca 200 rutor med 500 ggr:s förstoring, bestämdes andelen av de olika celltyperna. Histologianalysen delade in levervävnaden i fyra klasser: normala, binukleära och nekrotiska (=döda) leverceller samt övrig struktur. Binukleära celler har en annan form och storlek på kärnan, tvåkärnig, jämfört med normala leverceller, vilket antyder att levercellen befinner sig i en aktiv delningsfas. Övrig struktur består av bl.a. blodkärl och gallgångar.

2.5 Statistik

Biologiska variabler är sällan normalfördelade. Genom att logaritmera en serie mätvärden går det dock att skapa fördelningar som närmar sig en normalfördelning och därmed behandla materialet statistiskt enligt gängse metodik.

Resultaten från den fiskfysiologiska studien redovisas i form av geometriska medelvärden, vilka är beräknade från det logaritmerade materialet genom återtransformering till icke-logaritmerade värden efter den statistiska behandlingen. På detta sätt minimeras betydelsen av enstaka ”outliers”, till skillnad från vad som är fallet vid motsvarande beräkning av aritmetiska medelvärden. Som spridningsmått redovisas 95 % konfidensintervall, som även det är beräknat på det logaritmerade materialet.

Vid den statistiska behandlingen av det fysiologiska materialet har alla lokalerna jämförts mot varandra för att försöka finna eventuella skillnader. Eventuella statistiska avvikelser har fastställts på 95 % signifikansnivå med

hjälp av variansanalys följt av post-hoc testet Tukey Honest Significance Difference-test.

Ingen statistikbehandling har dock utförts på ålder, leverhistologi och halter av extraktivämnen i galla. Resultaten på histologi och gallhalter redovisas som aritmetiska medelvärden, medan ålder redovisas med medianvärde och med spridningsmättet max-min.

Primärdata av samtliga undersökta variabler återfinns i delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet.

3. RESULTAT

3.1 Fiskfysiologi

Vid den okulära besiktningen vid den fysiologiska provtagningen konstaterades honorna från referensområdena ha normalt med buk fett. Fiskarna från recipienten var emellertid magrare och tarminnehållet dominerades av skalrester från signalkräfta. Efter utplantering har signalkräftan bildat ett mycket stort bestånd i delar av norra Vättern. Några sjukdomssymptom kunde inte observeras, förutom i två fall vid fjärrområdet (Koviken) i recipienten. På dessa individer kunde man se tecken på infektioner i form av mindre blödningar i främre delen av simblåsans vägg. Fiskarna tillvaratogs och obducerades vid SVA. Från en abborre kunde växt av en bakterie, *Aeromonas sobria*, påvisas vid odling av prov från det infekterade området. Vid odlingen av prov från en annan abborre växte en blandflora av bakterier. *A. sobria* anses vara sjukdomsframkallande på fisk men hittas inte så ofta i svenska vatten.

Vidare kan nämnas att cystor av leverparasiten *Trianophorus sp.* observerades. *Trianophorus sp.* är en normalt förekommande leverparasit hos abborre, som fungerar som mellanvärd för parasiten, där slutvärdet är gädda. Sju individer från Alsen hade ovannämnda parasitcystor, medan vid de övriga stationerna registrerades 1-3 fall av parasiten.

3.1.1 Halter av extraktivämnen i abborgalla

Medelhalten av fettsyror i galla var något högre hos fisk från recipienten (540-560 µg/g ts) jämfört med medelhalten i referensområdena (350-370 µg/g ts) (figur 2). Ett gallprov (av fem) från närområdet uppvisade en hög fettsyrhalt, närmare 1400 µg/g ts, vilket bidrog till den högre medelhalten. Medelhalten av fettsyror utan detta värde låg kring 300 såsom i referensområdena.

När det gäller sterolhalten låg den på en högre nivå i fiskgalla från recipienten jämfört med referensområdena (figur 2), där närområdets fiskar

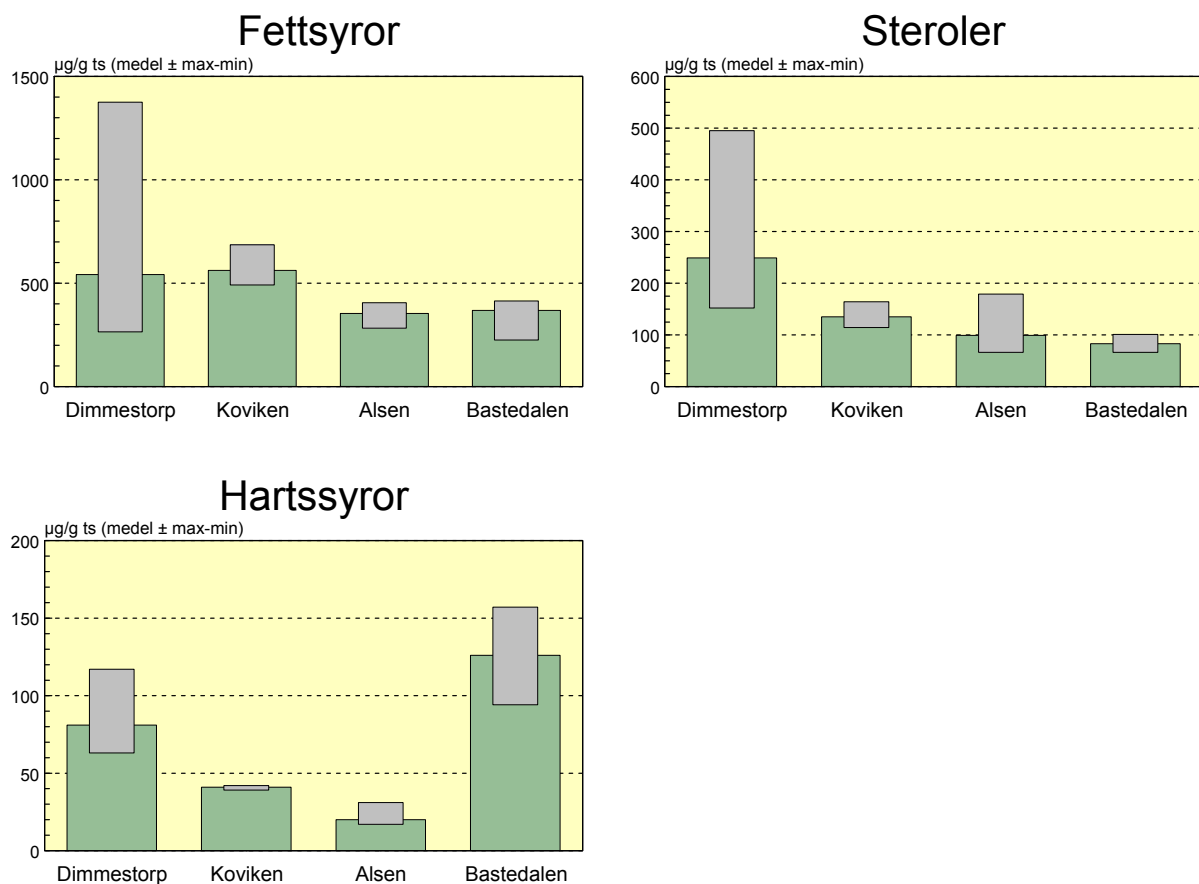
hade de högsta sterolhalterna (150-500 µg/g ts) av de fyra undersökta områdena.

Däremot registrerades de högsta halterna av hartssyror i fiskgalla från referensområdet vid Bastedalen (94-157 µg/g ts), medan de lägsta halterna registrerades i Alsen (17-31 µg/g ts). I närområdet i recipienten (Dimmestorp) registrerades halter mellan 60-120 µg/g ts, medan vid Koviken låg halterna stabilt vid 40 µg/g ts. Ovannämnda hartssyrahalter kan dock anses relativt sett låga då bakgrundshalten av hartssyror anses ligga i intervallet 10-100 µg/g ts³.

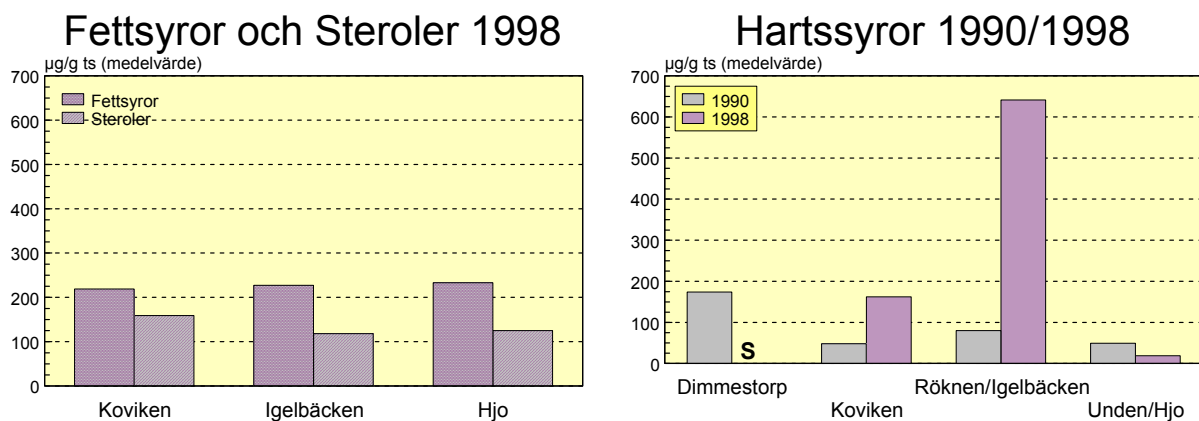
En jämförelse med resultaten hösten 1998 från norra Vättern (figur 3), visar att haltnivån av fettsyror var ca 2 ggr högre hösten 1999. Medelhalten av fettsyror i abborre vid Värmlandsnäs i norra Väneren 1994 och 1997 låg mellan 250-300 µg/g ts⁸.

När det gäller sterolhalten hösten 1998 låg den på samma nivå som 1999 års värden d v s 100-200 µg/g ts (figur 3). Även sterolhalten i fisk från Värmlandsnäs hösten 1997 låg kring 100 µg/g ts⁸.

Halten av hartssyror var högre hösten 1998 vid Koviken (160 µg/g ts) jämfört med både 1990 och 1999 års värden (figur 2 och 3). Detta beror troligen på de stötutsläpp som förekom från bruket vid provtagningstillfället. Trots detta var inte haltnivån anmärkningsvärt hög. Vidare kan det påpekas att den högsta registrerade hartssyrahalten hösten 1998 registrerades i referensområdet Igelbäcken (> 600 µg/g ts), troligtvis p.g.a. vindar och strömmar som transporterade avloppsvattnet söderut. Inte heller denna halt är extremt hög eftersom det finns exempel på halter i fiskgalla i nivå 20 000 µg/g ts p.g.a. tillfälliga utsläpp av såpa från en sulfatfabrik.



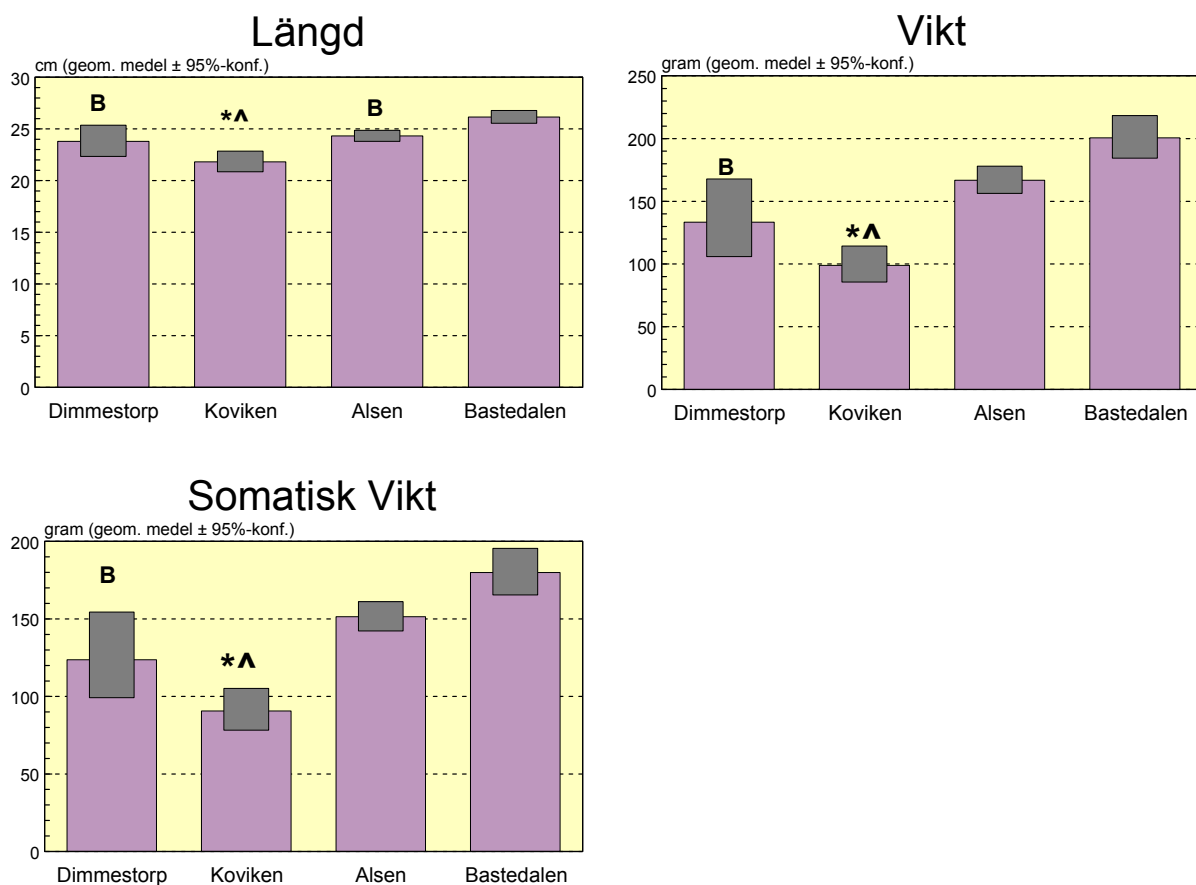
Figur 2. Halt av extraktivämnen i galla hos abborre från norra Vättern hösten 1999. Aritmetiskt medelvärde med spridningsmättet max-min.



Figur 3. Halt av extraktivämnen i galla hos abborre från norra Vättern hösten 1990 och 1998. Observera att referensområdena är olika när det gäller hartssyror från de två olika undersökningsåren. Aritmetiskt medelvärde med spridningsmättet max-min.

3.1.2 Morfometriska mätvariabler

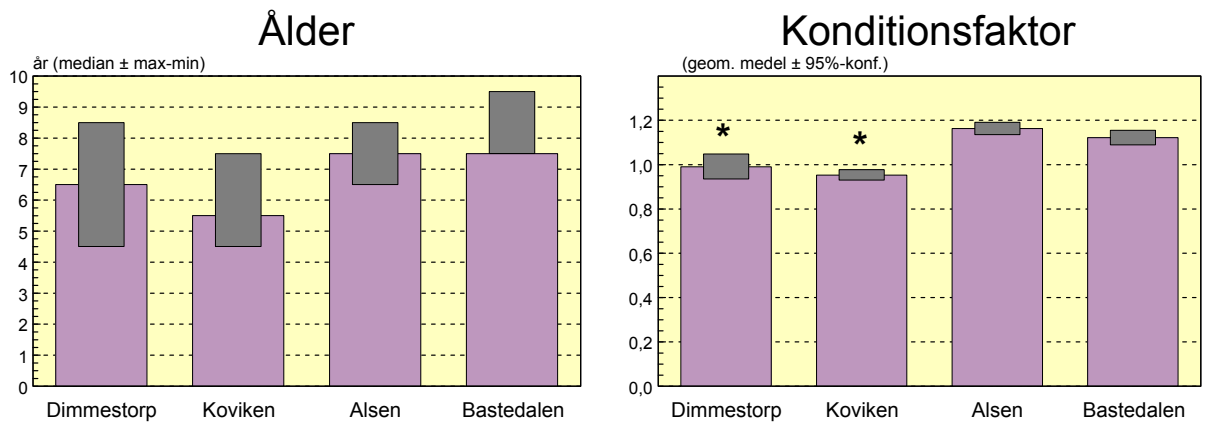
Medelstorleken på de undersökta abborrhonorna redovisas i figur 4. Vid provtagningen vid Bastedalen inkluderades på grund av liten fångst enstaka individer inom längdintervallet 27-30 cm, som således ligger utanför det rekommenderade intervallet 17-27 cm. Detta ledde till att medelstorleken vid Bastedalen var något högre i jämförelse med de övriga områdena. Det kan även observeras att vikten hos de fångade abborrarna i recipienten till bruket generellt var lägre i jämförelse med referensområdena. Speciellt fiskarna från Koviken var mindre i jämförelse med fisk fångad på referensområdena, men även i jämförelse med närstationen Dimmestorp.



Figur 4. Medelstorleken hos abborre från norra Vättern, som genomgått fysiologisk studie. Geometrisk medelvärden med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Koviken och de övriga undersökningslokalerna (*^). Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan enstaka undersökningsstationer och Bastedalen(B).

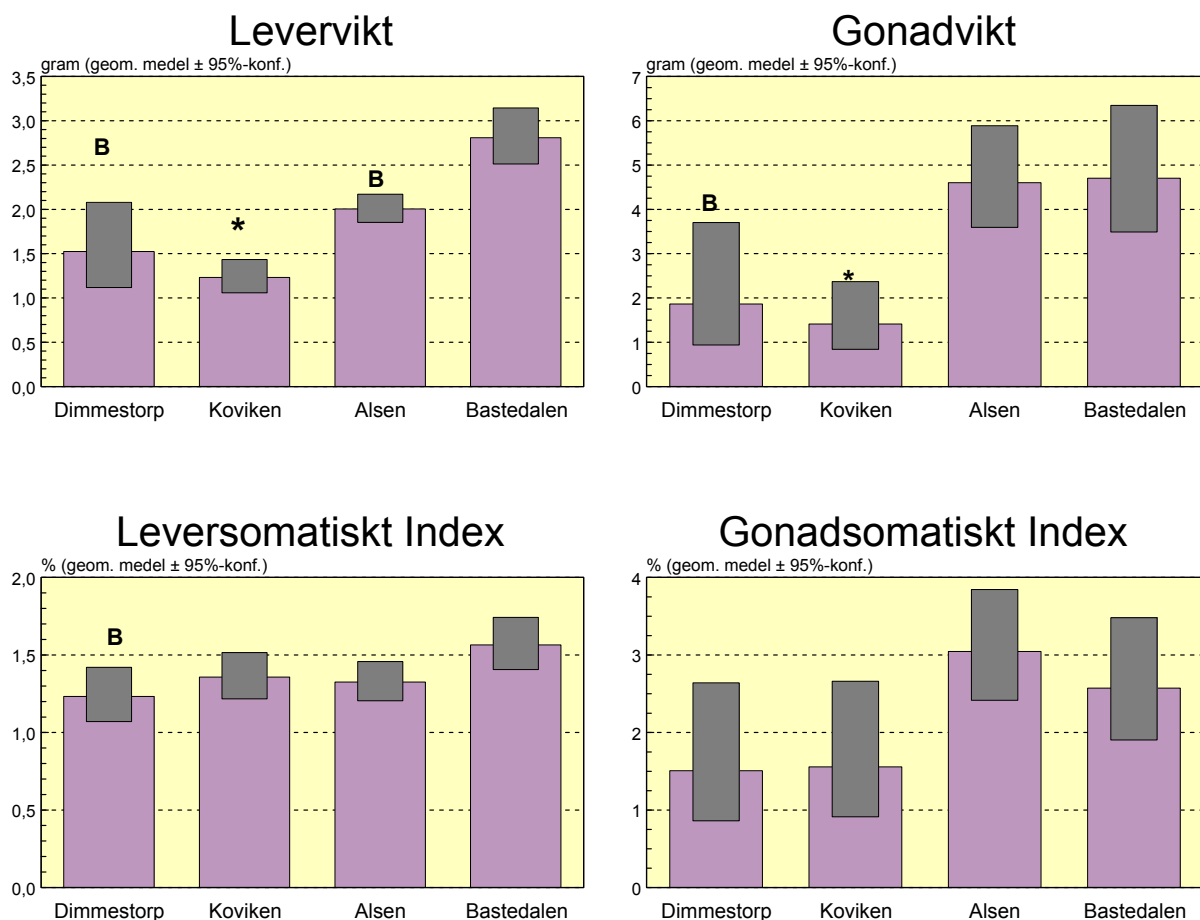
Abborrhonorna från recipienten var också 1-2 år yngre än fiskarna från referensområdena (figur 5). Detta återspeglar sig även i fiskarnas konditionsfaktor ("fiskens hull") som var statistiskt signifikant lägre i recipienten i jämförelse med referensområdena (figur 5). Ålderskillnaden

kan dock inte vara hela förklaringen till att fiskarna var mindre då fiskarna från recipienten saknade bukfett vilket tyder på att födotillgången är liten.



Figur 5. Ålder och konditionsfaktor hos abborre från norra Vättern. Ålder visas som median med max-min som spridningsmått. Konditionsfaktorna redovisas som geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan recipienten och båda referensområdena (*).

I figur 6 redovisas lever- och gonadstorlek hos de undersökta individerna. Den absoluta lever- och gonadvikten återspeglar även den fiskstorleken, d.v.s. större fiskar har större lever och gonader, vilket förklarar de avvikelser som registreras. Samtidigt kan det konstateras att när det gäller gonadsomatiskt index (GSI) är skillnaden mellan fiskar från recipienten och referensområdena anmärkningsvärt stor för att enbart kunna orsakas av ålder- och storleksskillnaden.

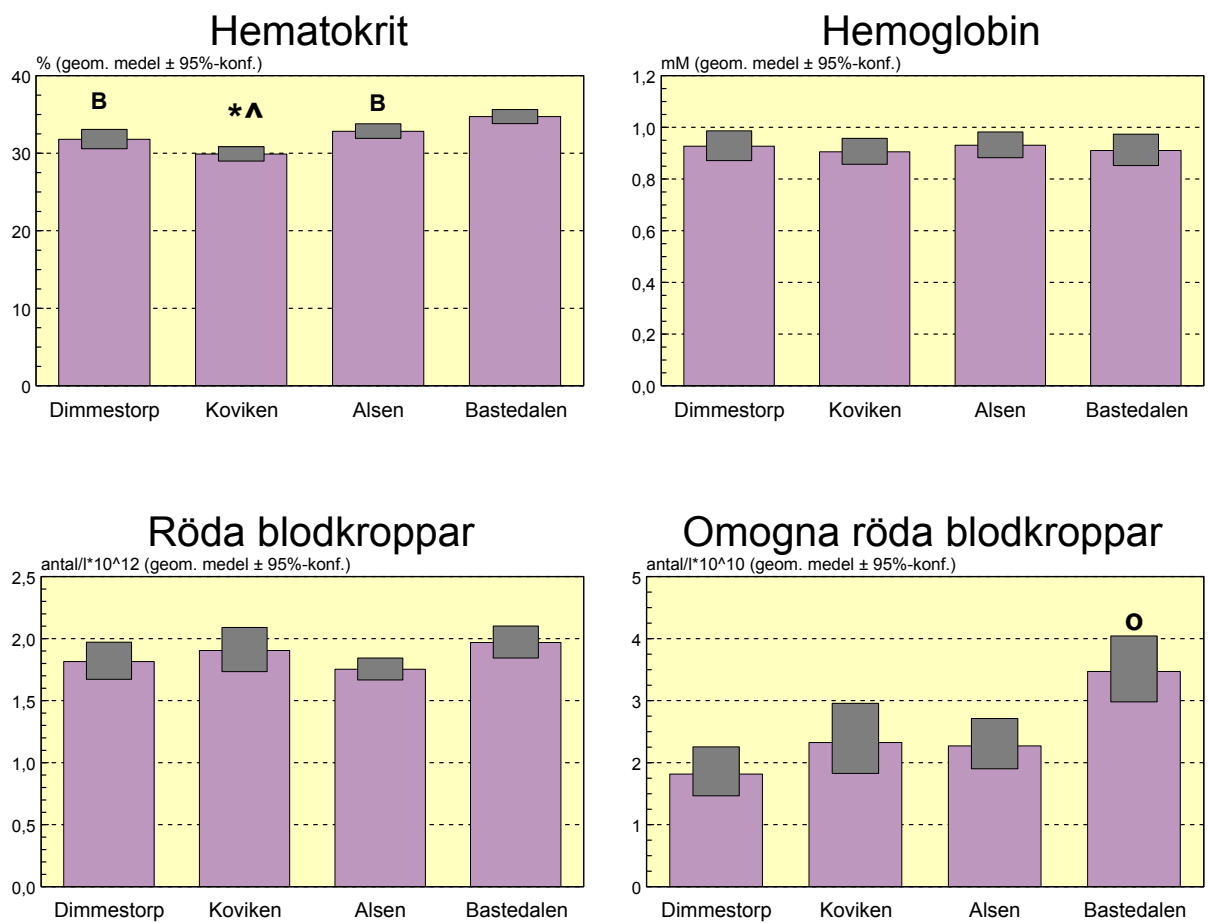


Figur 6. Medelstorleken hos abborre från norra Vättern, som genomgått fysiologisk studie. Geometrisk medelvärde med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Koviken och referensområdena (*). Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan enstaka undersökningsstationer och Bastedalen (B).

3.1.3 Röda blodcells bilden – syreupptagningsförmågan

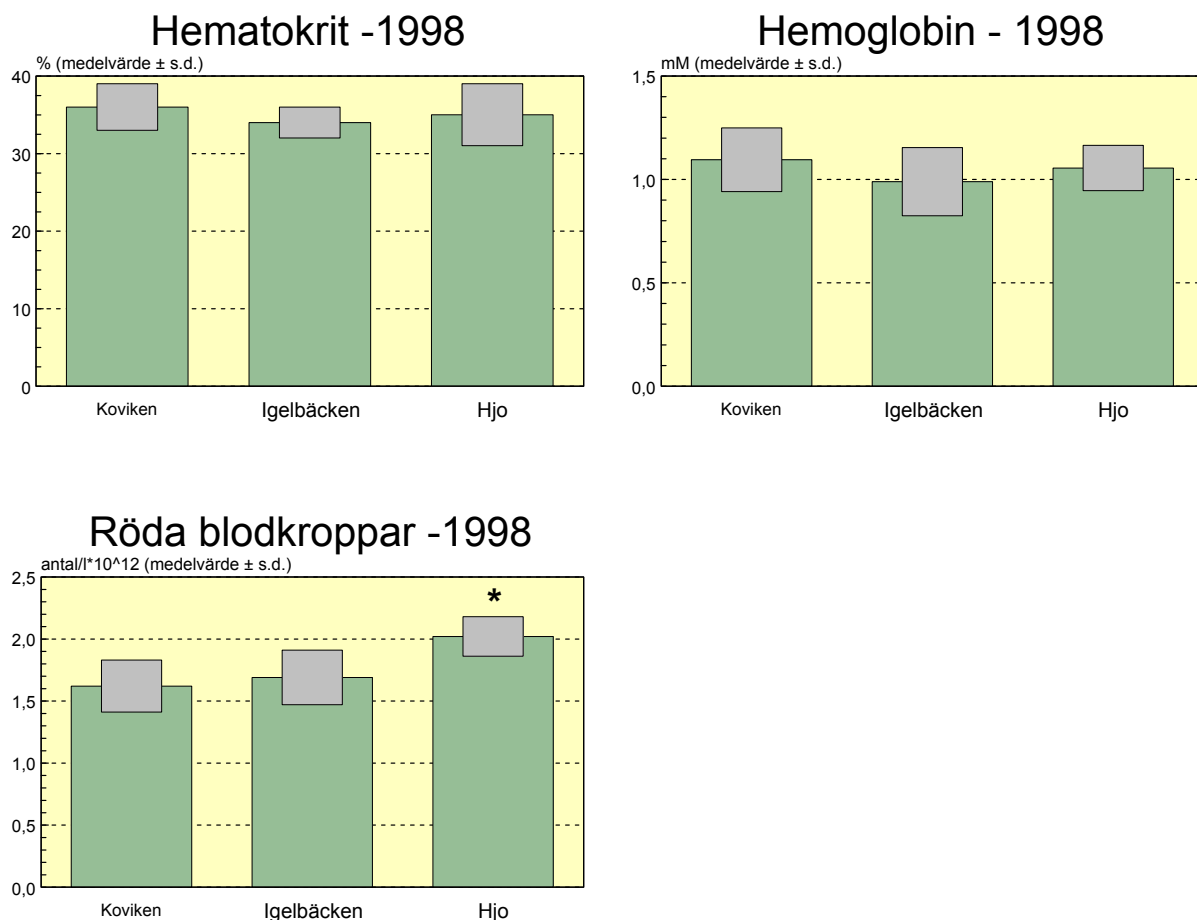
Den röda blodcells bilden (antalet mogna och omogna röda blodceller, hemoglobin och hematokrit) som beskriver syreupptagningsförmågan hos fisken, presenteras i figur 7.

Resultaten visar på några smärre avvikelser. Honorna från Bastedalen har ett statistiskt högre hematokritvärde (den packade volymen av röda blodkroppar) och högre antal omogna röda blodkroppar jämfört med de övriga stationerna. Vidare är hematokritvärdet vid Koviken statistiskt signifikant lägre jämfört med de övriga undersökningsområdena.



Figur 7. Den röda blodcells bilden hos abborrar från norra Vättern hösten 1999. Geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Koviken och de övriga undersökningslokalerna (*^). Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan enstaka undersökningsstationer och Bastedalen(B). Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Bastedalen och de övriga undersökningsstationerna (o).

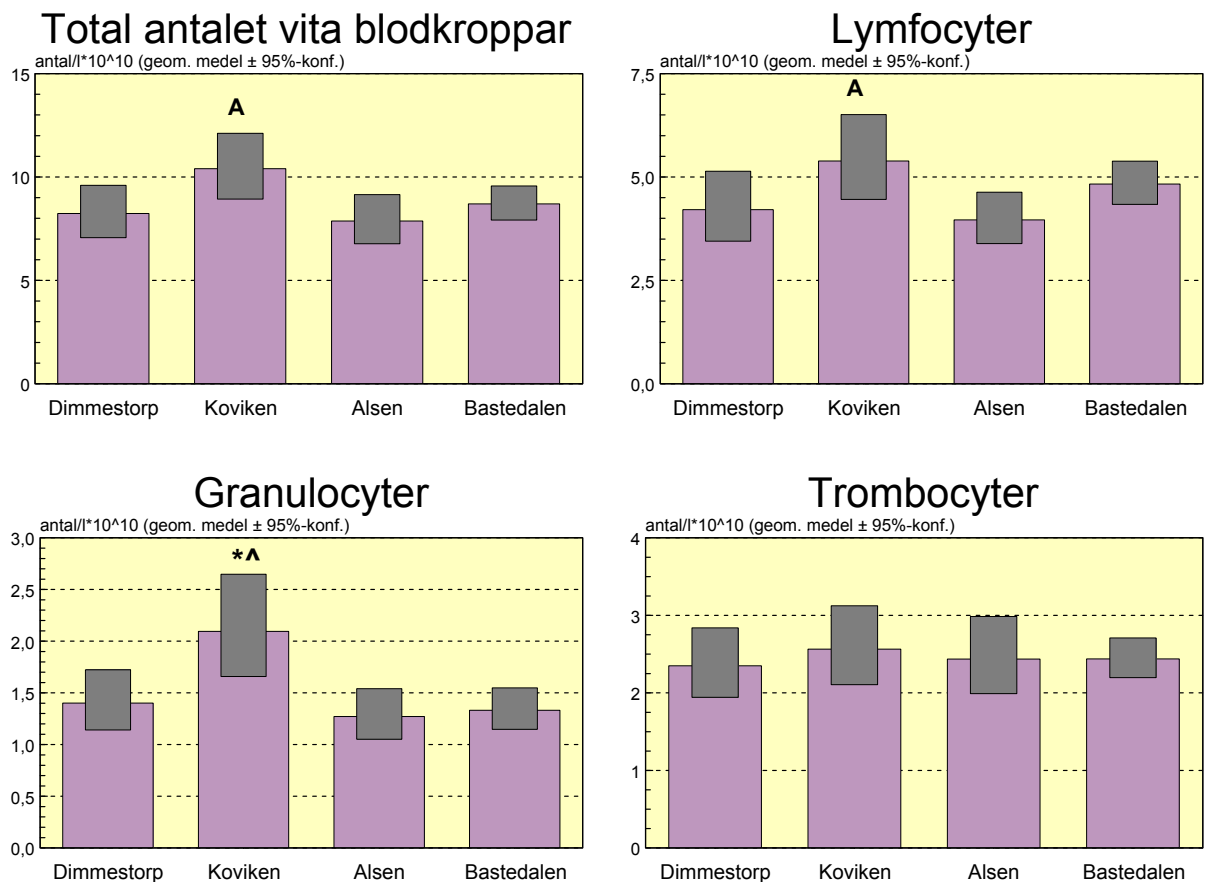
I figur 8 redovisas den röda blodcells bilden hos fiskar från norra Vättern hösten 1998.



Figur 8. Den röda blodcells bilden hos abborrar från norra Vättern hösten 1998. Aritmetiska medelvärden med spridningsmättet standardavvikelse. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Hjo och de två övriga undersökningsområden (*).

3.1.4 Vita blodcells bilden – Immunförsvar

Antalet lymfocyter och granulocyter var högre hos fiskarna från Koviken, vilket ledde till att även totalantalet vita blodkroppar var högre i detta område i jämförelse med de övriga områdena (figur 9). Statistisk signifikans mellan Koviken och de övriga lokalerna erhöles dock enbart för granulocyter, medan statistisk signifikans registrerades enbart mellan Koviken och Alsen för de två andra variablerna. När det gäller antalet trombocyter noterades inga avvikelser mellan lokalerna (figur 9).

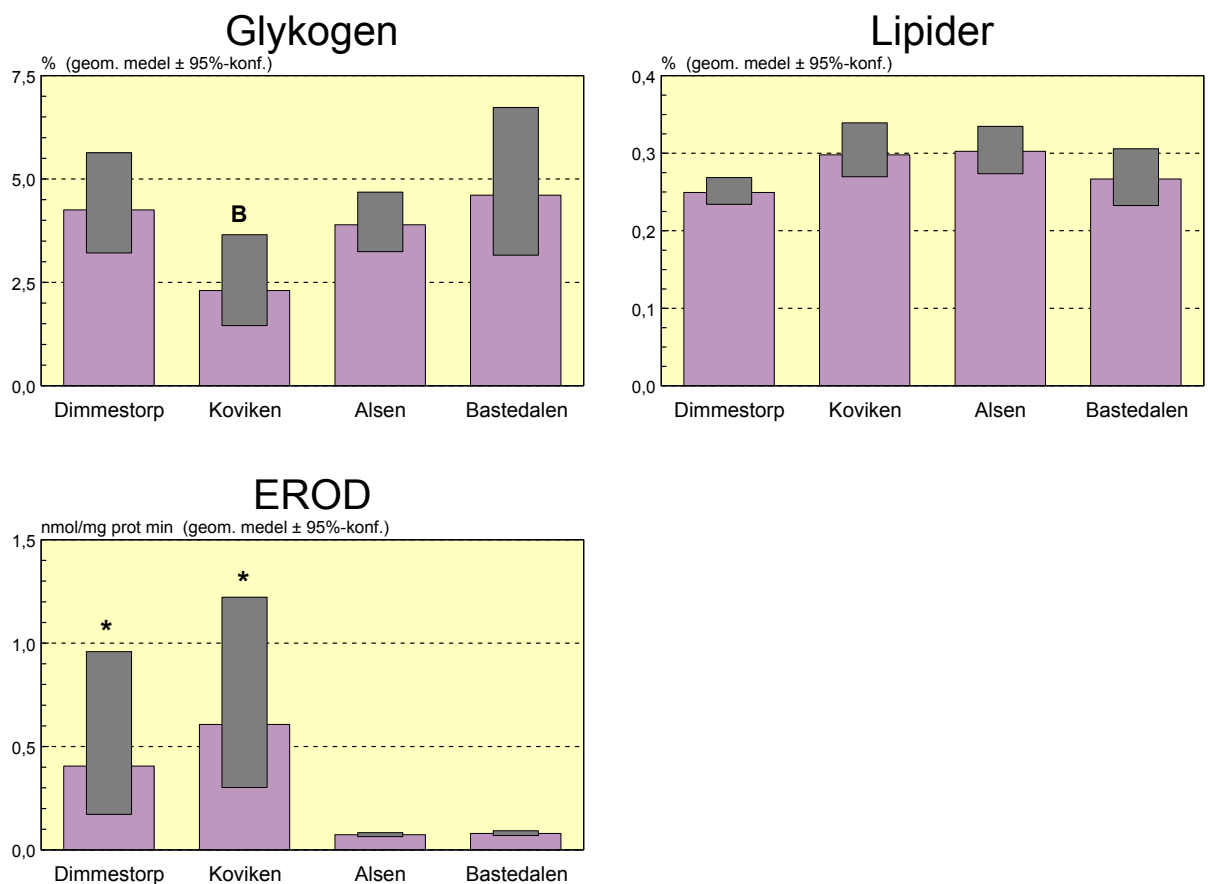


Figur 9. Den vita blodcells bilden hos abborrar från norra Vättern hösten 1999. Geometrisk medelvärde med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Koviken och de övriga undersökningslokalerna (*^). Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Koviken och Alsen (A).

3.1.5 Leverfunktion och -struktur

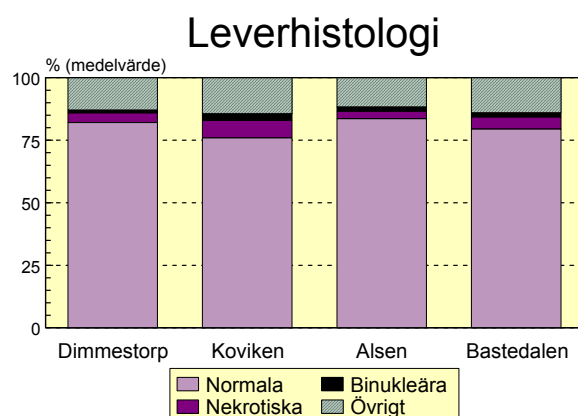
Mätvariabler som beskriver leverns avgiftningssystem (enzymet EROD), energilager (glykogen- och lipidhalt) samt vävnadsstruktur (leverhistologi) redovisas i figur 10 och 11. Avgiftningssystemet EROD uppvisade en förhöjd aktivitet hos individerna från recipienten.

När det gäller energilagret i levern uppvisade abborrarna från Koviken en lägre glykogenhalt, statistiskt signifikant enbart i jämförelse med Bastedalen. Halten av lipider (fett) i lever uppvisade däremot inga avvikelser mellan recipientområdet och referensstationerna.



Figur 10. Halten av glykogen och lipider samt EROD-aktiviteten i abborrlever från norra Vättern hösten 1999. Geometriska medelvärden med 95 % konfidensintervall. Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan recipienten och referensområdena (*). Statistisk signifikans ($p < 0,05$) mellan Koviken och Bastedalen (B).

Leverstrukturen, d.v.s. leverhistologin (figur 11), uppvisade heller inga påtagliga skillnader mellan de olika undersökningsområdena. Andelen normala leverceller hos fiskarna från närområdet (Dimmestorp) låg på samma nivå, 82 %, som fiskarna från referensområdena (79-84 %). Honorna från fjärrområdet (Koviken) hade en något lägre andel normala celler, 76 %, och följaktligen en något högre andel döda (nekrotiska) och binukleära leverceller. Skillnaden mellan områdena bedöms som små och normal för abborrpopulationer från opåverkade områden.



Figur 11. Andelen normala, nekrotiska(=döda), binukleära (=två cellkärnor) samt övrigt (bl.a. blodkärl och gallgångar) i abborrlever norra Vättern hösten 1999. Resultaten redovisas som aritmetiska medelvärden.

3.2 Gonadutveckling hos abborre

Fiskmaterialet grupperades enligt kön och storlek (längd). Materialet delades in i olika längdklasser, där längdintervallen för respektive klass redovisas i tabell 1. I tabellen redovisas även antalet abborrhonor och –hanar i respektive längdklass, vilka ingår i utvärderingen. Primärdata presenteras i delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet.

Huvudsyftet var att studera gonadutvecklingen hos både honor och hanar av abborre i förhållande till deras storlek. Den registrerade gonadvikten relaterades till fiskens somatiska vikt, varvid ett värde erhålles för det s.k. gonadsomatiska indexet (GSI). Ett GSI-värde över 1 anses tyda på att fisken är könsmogen, d.v.s. fisken går till lek kommande vår². Om GSI-värdet understiger 1 klassificeras fisken som ej könsmogen.

Tabell 1. Antalet abborrhonor och -hanar i respektive längdklass från recipienten till Aspa bruk och referensområdet vid Bastedalen hösten 1999. Undersökningsområdena framgår av figur 1.

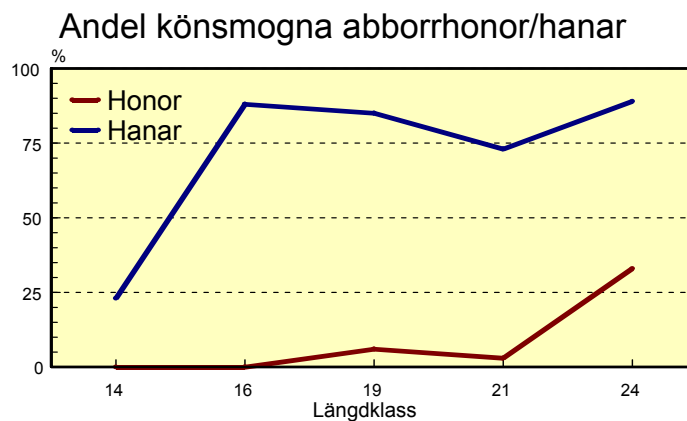
Hanar			
		Recipient till Aspa Bruk	Referensområde Bastedalen
Längdintervall (cm)	Längdklass		
12,6 – 15,0	14	22	1
15,1 – 17,5	16	16	2
17,6 – 20,0	19	33	1
20,1 – 22,5	21	22	4
22,6-25,0	24	19	2

Honor			
		Recipient till Aspa Bruk	Referensområde Bastedalen
Längdintervall (cm)	Längdklass		
12,6 – 15,0	14	28	1
15,1 – 17,5	16	16	2
17,6 – 20,0	19	32	1
20,1 – 22,5	21	36	8
22,6-25,0	24	30	

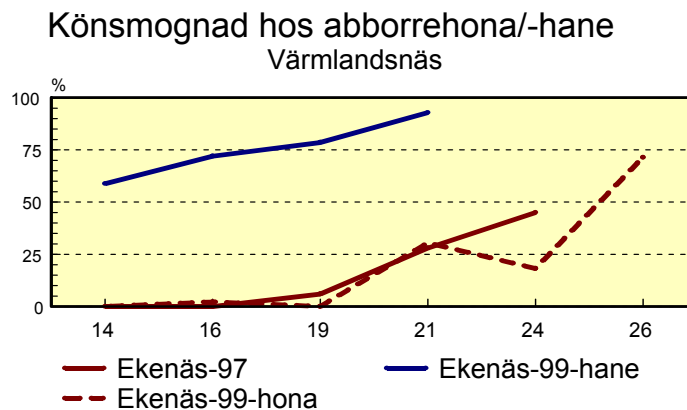
Eftersom referensmaterialet från Bastedalen, trots stora fiskeansträngningar, var litet jämförs resultaten med en studie från ett referensområde i centrala Vänern hösten 1997 och 1999.

Andelen köns mogna abborrhonor och abborrhannar i recipienten i norra Vättern redovisas i figur 12. Andelen köns mogna honor var låg i alla undersökta längdklasser och i de minsta längdklasserna registreras inte en enda köns mogen individ. I den största längdklassen 24 var andelen köns mogna honor 33 %.

Även vid referensområdet i Vänern var andelen köns mogna honor låg i de lägre längdklasserna med ingen eller bara enstaka köns mogna individer, såsom i recipienten till Aspa Bruk. Däremot är köns mognadsgraden högre hos honor i klass 21 (ca 30 %) vid Värmlandsnäs jämfört med Aspa Bruk (3 %).



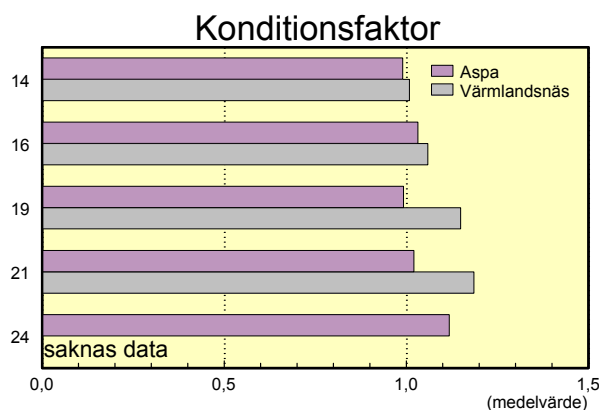
Figur 12. Andelen köns mogna abborrhonor och –hanar mogna för lek kommande vår i recipienten till Aspa Bruk hösten 1999.



Figur 13. Andelen köns mogna abborrhonor och –hanar vid Värmlandsnäs norra Vänern hösten 1997 och 1999.

När det gäller köns mognadsgraden hos hanarna vid Värmlandsnäs ligger den kring 60 % i klass 14 och 90 % i klass 21. Av andra gonadstudier framgår att mognadsgraden vanligtvis ligger på denna nivå, eftersom hanarna blir köns mogna tidigare än honorna. I recipienten till Aspa Bruk är mognadsgraden låg (dryga 20 %) hos abborrhanar i den minsta klassen, klass 14 medan köns mognaden är hög i övriga storleksklasser.

I figur 14 redovisas konditionsfaktorn hos abborrhonorna från recipienten i jämförelse med referensmaterial från centrala Vänern samma höst. Konditionsfaktorn är låg vid Aspa bruk, vilket även återspeglades i det fiskmaterial som ingick i den fysiologiska studien. Den okulära besiktningen av fisken från recipienten visade som tidigare nämnts också på avsaknad av buk fett d. v. s. den var mager och lider sannolikt av näringsbrist.



Figur 14. Konditionsfaktor (aritmetiskt medelvärde) hos abborrhonor i de olika längdklasserna från recipienten till Aspa Bruk och Värmlandsnäs i norra Vänern hösten 1999.

4. SAMMANFATTANDE DISKUSSION

En studie av abborre i närområdet till Aspa Bruk i norra Vättern hösten 1990 visade att förhöjda halter av hartssyror och klorfenoler förekom i gallan hos fisk till följd av utsläppen av skogsindustriellt avloppsvatten. Vidare registrerades en inducerad aktivitet av leverenzymet EROD samt en högre halt av glykogen och askorbinsyra hos dessa fiskar. Effektbilden bedömdes dock som svag och inga avvikelser registrerades vad gäller fiskens hälsotillstånd på ett område ca 2 km från fabriken.

En uppföljning av studien planerades hösten 1998 med avseende på fysiologi och gonadutveckling (könsorgan) hos abborre. Vid den fysiologiska provtagningen 1998 upptäcktes döda fiskar i sumpen i närområdet i recipienten p.g.a. låga syrehalter i närområdet. Orsaken till de reducerade syrehalterna var ombyggnad av fabriken med tillfälliga utsläpp som följd. Undersökningarna sköts därför upp till påföljande år eftersom resultaten inte ansågs representativa för normal drift vid fabriken.

Ett fåtal analyser, bl.a. gallanalyser, utfördes dock på fisk från fjärrområdet i recipienten (Koviken) och från de två undersökningsområdena söder om bruket (Igelbäcken och Hjo). Resultaten av extraktivämnesanalyser i abborrgalla visade att den högsta halten av hartssyror registrerades hos individer från Igelbäcken. Detta tydde på att vindar och strömmar transporterat ett förorenat "vattenpaket" söderut till Igelbäcken.

Hösten 1999 genomfördes en fysiologisk/biokemisk undersökning för att beskriva hälsotillståndet hos fisken på två stationer i recipienten (Dimmestorp och Koviken) och på referensområdena Alsen och Bastdalen

norr respektive nordost om bruket. Vidare undersöktes könsmognadsgrad och könsorganens tillväxt i recipienten och på ett referensområde.

När det gäller fysiologiska och biokemiska reaktioner på fisk registrerades smärre avvikelser på den röda blodcells bilden. Några antydningar om en hämning av produktionen av röda blodceller eller hämoglobinsyntesen kan dock inte observeras d.v.s. det finns inga tecken på några typer av anemier (blodbrist). Några påtagliga förändringar på den röda blodcells bilden observerades inte heller hösten 1998, trots de tillfälliga utsläppen.

Den vita blodcells bilden hos abborrar från Koviken avvek med ett högre antal lymfocyter och speciellt ett högre antal granulocyter. En ökning av dessa vita blodkroppar tyder på en infektion eller inflammation hos fisken. En högre förekomst av infektioner med makroparasiter, såsom leverparasiten *Trianophorus* sp., som skulle kunna påverka den vita blodcells bilden noterades dock inte. Däremot observerades vid den fysiologiska provtagningen abborrhonor med mindre blödningar i simblåsans vägg. Vid en närmare undersökning av dessa individer påvisades infektion med en bakterie, *Aeromonas sobria*, hos en individ. Man kan därför inte bortse från att fiskar från detta provtagningsområde kan vara bärare av denna bakterie som kan leda till en förhöjning av lymfocyt- och granulocytvärdena.

När det gäller leverfunktion registrerades en avvikelse på glykogenhalten hos fiskar från ovannämnda område (Koviken). Individerna hade en lägre medelhalt för glykogen, medan de mindre lätttrörliga lipiderna (=fett) inte uppvisade några förändringar hos denna grupp i jämförelse med de övriga områdena.

Den mikroskopiska studien på levervävnad visade att samma fjärrområde hade en något högre andel döda leverceller och högre andel binukleära leverceller. Skillnaderna mellan de fyra undersökta stationerna var dock liten och i nivå med vad som dokumenterats hos fisk från opåverkade områden.

Vid båda områdena i recipienten registrerades en högre EROD-aktivitet jämfört med referensområdena. Förhöjningen av aktiviteten var 5-8 gånger jämfört med referensområdena. Orsaken till den relativt sett kraftiga förhöjningen av EROD kan troligen tillskrivas det faktum att fisken exponeras för avloppsvatten. Emellertid måste man även beakta att provtagningen skedde något senare i recipienten jämfört med referensområdena då det är känt att aktiviteten hos enzymet successivt ökar under hösten. Vidare har det konstaterats i laboratorieförsök att fisk som har begränsad tillgång på föda har en högre EROD-aktivitet⁹. Således kan dessa omständigheter vara en delförklaring till den höga aktiviteten i recipienten jämfört med referensområdet.

Resultaten av studierna av könsmognadsgraden och könsorganens tillväxt i recipienten indikerar en viss påverkan. Denna påverkan kan förutom exponeringen för avloppsvatten bero på att födotillgången är låg i området med påföljd att den energikrävande gonadtillväxten blir hämmad.

Sammanfattningsvis visar resultaten från den fysiologiska undersökningen att det föreligger en exponering av fisken för avloppsvatten och att denna exponering orsakar en förhöjd aktivitet av avgiftningsenzymet EROD i recipienten. Energireserven i levern i form av sänkt glykogenhalt förefaller också påverkad på ett av områdena i recipienten. Tolkningen av reaktionerna på fiskens lever kompliceras emellertid av att fisken i recipienten är mager och lider av näringsbrist vilket sannolikt till en del kan förklara de erhållna resultaten. Näringsbristen kan bero på det mycket täta bestånd av signalkräfta som under senare år etablerat sig i området runt Aspa Bruk. Kräftorna är effektiva näringskonkurrenter till fisken samtidigt som fisken har svårt att tillgodogöra sig kräftorna som föda.

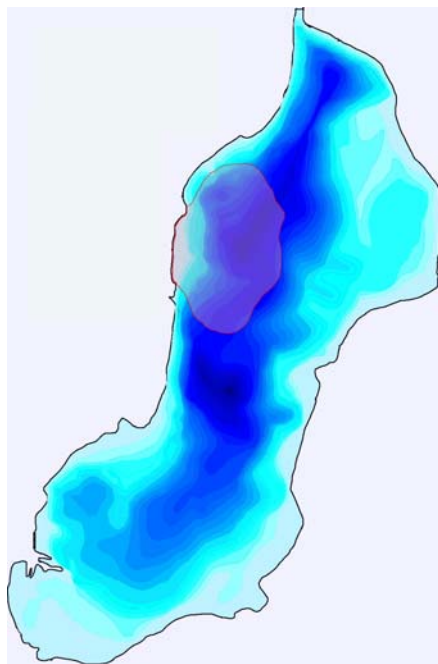
Således pekar resultaten på att störningar på leverfunktionen och gonadutvecklingen hos abborre uppträder i området till Aspa Bruk. Det något heterogena materialet som erhållits vid fisket samt det faktum att området utanför fabriken uppvisar näringsfattigare förhållanden än referensområdena leder till slutsatsen att, förutom utsläppen, även naturliga faktorer kan bidra till de registrerade avvikelserna jämfört med referensområdena.

5. REFERENSER

-
- ¹ Tana, J., C. Monfelt & O.Grahn, 1991. Fiskfysiologiska undersökningar i norra Vättern – recipient till Aspa Bruk. MFG-rapport.
- ² Allmänna Råd 94:2. Vattenrecipient kontroll vid skogsindustrier. Rapport från Naturvårdsverket.
- ³ Lehtinen, K.-J., J. Tana, J. Härdig, J. Hemming och P. Lindström-Seppä, (1992). Effekter på överlevnad, tillväxt, parasiter och fysiologiskt tillstånd hos fisk exponerad i modellekosystem för avloppsvatten från produktion av blekt björksulfatmassa. Vat. Miljöförvaltn. Publ. Ser. A 105: 3-54. (eng.)
- ⁴ Härdig, J. (1978). Maturation of circulating red blood cells in young Baltic salmon (*Salmo salar* L.). Acta Physiol. Scand. 102, 290-300.
- ⁵ Förlin, L., A. Goksøyr and A-M. Husøy, 1994. Cytochrome P450 monooxygenase as indicator of PCB/ dioxin like compounds in fish. In: Biomonitoring coastal waters and estuaries, edited by K.J.M. Kramer, CRC Press Inc. FL, Boca Raton, pp. 135-150.
- ⁶ Soivio, A. & E. Virtanen (1981). Methods for physiological experiments on fish. Nordforsk report No. 16.
- ⁷ Plaa, G. L. & W. R. Hewitt, 1989. Detection and evaluation of chemically induced liver injury. In: Principles and methods of toxicology. Ed: A. W. Hayes pp. 599-628.
- ⁸ Grotell, C. Fysiologisk studie på abborre i recipienten till Stora Skoghall år 1997. MFG-rapport F98/012:2.
- ⁹ Mattsson, K., K-J. Lehtinen, J. Tana, J. Härdig, J. Kukkonen, T. Nakari and C. Engström, 2001. Effects of Pulp Mill Effluents and Restricted Diet on Growth and Physiology of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*).

Metaller och stabila organiska ämnen i Munksjön

Källor och halter i olika
media under 1998-99



F99/46

Fryksta 2000-01-31

Lennart Lindeström
MiljöForskarGruppen

INNEHÅLL

Metaller och stabila organiska ämnen i Munksjön

<i>Sammanfattning</i>	61
<i>Bakgrund</i>	62
<i>Tidigare undersökningar och utredningar</i>	63
<i>Detta uppdrag</i>	64
<i>Metallkällor till Munksjön</i>	65
Omfattning och genomförande	65
Väderleksförhållanden	67
Analysresultat - metallhalter	69
Jämförelse med andra vattendrag i regionen	71
Transporter och utsläppta mängder samt försök till metallbalans för Munksjön	71
Kommentarer	73
<i>Munksjöns djupförhållanden och karaktär</i>	74
Omfattning och metodik	74
Resultat	75
<i>Sedimentens kemiska sammansättning</i>	78
Omfattning och metodik	78
Resultat - metaller	79
Resultat - PCB	83
<i>Metaller och stabila organiska ämnen i fisk</i>	85
Omfattning och metodik	85
Resultat	86
<i>Sammanfattande diskussion och försök till syntes av miljösituationen</i>	90
<i>Referenser</i>	95

SAMMANFATTNING

På uppdrag av Munksjö Paper AB och Jönköpings Kommun har Miljöforskargruppen genomfört en utredning om de nuvarande miljöförhållandena i Munksjön. En rad andra företag, institutioner och föreningar har även medverkat. Inriktningen har i första hand legat på studier av ett antal metaller och stabila organiska ämnen med kvicksilver och PCB i fokus.

Utredningen har omfattat analyser av vatten och försök till en metallbalans för Munksjön, analyser av ytliga sedimentlager samt av olika fiskvävnader i och utanför Munksjön. I uppdraget har även ingått att kartera de nuvarande djupförhållandena i sjön samt utbredningen av sediment med betydande inslag av cellulosafiber.

Ungefär 15 % av sjöns bottenyta utgörs enligt gjorda beräkningar av s.k. ackumulationsbottnar. Den bottenarea som innehåller synlig förekomst av cellulosafiber uppgår till ungefär 6 ha, vilket utgör ca 7 % av sjöns totala yta.

Utredningen har visat att Munksjöns sediment utgör en fälla snarare än en källa för metaller. Metallhalterna i sjöns ytsediment är relativt höga medan däremot halterna i vatten och fisk är förhållandevis låga eller normala. Kviksilverhalten i de fiberrika sedimenten skiljer sig inget eller endast måttligt från övriga sjön. En tendens finns till att kvicksilverhalten är något högre i de ytliga sedimentlagren än i underliggande skikt.

PCB-halten är tydligt förhöjd både i Munksjöns sediment och i dess fiskfauna. Höga halter förekommer både inom och utanför de fibertäckta bottenarna. Haltnivån i abborre är dock väsentligt lägre än gällande gränsvärde. Fördelningen mellan olika s.k. kongener leder till den försiktiga tolkningen att det finns en pågående PCB-källa i området, men att denna i första hand är någon annan än sedimenten i sjön. Denna högst osäkra slutsats bör dock verifieras.

Inget i utredningen tyder på att de fiberrika sedimenten idag utgör något specifikt och påtagligt problem för förhållandena i Munksjön vad gäller metaller och stabila organiska ämnen. Däremot bidrar dessa bottenar sannolikt till att försämrare syreförhållandena i sjöns bottenvatten, som i sin tur kan påverka biotillgängligheten av dessa ämnen.

De relativt näringsrika förhållandena i Munksjön är förmodligen en viktig förklaring till att metallhalterna är förhållandevis låga i fisk. Detta troliga samband finns anledning att beakta vid framtida beslut om utsläpps begränsande åtgärder i området.

Metaller och stabila organiska ämnen i Munksjön

Källor och halter i olika media under 1998-99

BAKGRUND

Munksjön i södra änden av Vättern har under flera decennier varit föremål för olika slags utredningar. I första hand har det varit frågan om kvicksilvrets förekomst och möjliga konsekvenser i sjön samt eventuella behov av åtgärder. I olika omgångar har det från flera håll rekommenderats att de kvicksilverhaltiga fibersedimenten utanför Munksjö Paper ska muddras, medan andra har förordat att sedimenten ska ligga kvar och alternativa förebyggande åtgärder istället vidtagas. Under senare år har det framkommit indikationer om att även förekomsten av vissa andra metaller förutom kvicksilver samt PCB är förhöjd i sjön.

En del av sjöns botten är täckt av tidigare utsläppta cellulosafiber, som befinner sig i olika grad av nedbrytning. Detta leder bl.a. till att mer syrgas än normalt förbrukas i bottenvattnen, vilket i sin tur medverkat till att ansträngda syreförhållanden tidvis förekommit. Även andra typer av utsläpp förbrukar dock syrgasen i sjöns vatten. Munksjön har sedan 1960-talet luftats med olika system för att förbättra syreförhållandena i bottenvattnet, som dock fortfarande är tidvis ansträngda i sjöns djupare partier. Ibland frigörs fiberkakor från bottenarna, något som främst är en fråga av estetisk natur.

Nu har frågan åter aktualiserats om behovet att genomföra åtgärder för att i första hand minska risken för kvicksilverproblem i Munksjön. Även PCB och andra metaller har nämnts som potentiella miljöproblem. Inför beslut om eventuella åtgärder har MiljöForskarGruppen (MFG) haft uppdraget att, genom egna mätningar och sammanvägningar med andra undersökningsresultat, belysa den nuvarande miljösituationen i Munksjön med avseende på dessa ämnen.

TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR OCH UTREDNINGAR

De undersökningsrapporter gällande Munksjön som producerats sedan slutet av 1950-talet har sammanställts av Tekniska kontoret, Jönköpings kommun, och framgår av delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet. Till denna lista kan läggas ett examensarbete om koppar- och zinktillförseln till sjön från 1998¹ samt undersökningar under senare år inom den löpande recipientkontrollen³. En till synes heltäckande sammanställning av förhållandena i Munksjön gjordes av Lagerkvist 1994, från vilken följande kortfattade utdrag hämtats:

- Fiberbanken, som ligger i västra delen av Munksjön, täckte 1979 en yta på ca 17,5 ha och upptog en volym på ungefär 1 miljon m³. Fiberbankens tjocklek varierade från 1 till 10 meter. Några senare beräkningar av yta och volym har inte gjorts.
- Huvuddelen av fiberbanken bestod fortfarande 1989 av förhållandevis onedbruten fiber, medan den översta metern utgjordes av ”svart eller grått kraftigt nedbrutet fibermaterial”. Kvicksilverhalten har enligt mätningar under de senaste decennierna legat på i genomsnitt drygt 2 mg/kg torrsustans (median; Ts) och kvicksilverinnehållet i fiberbanken har beräknats till ca 200 kg (baserat på 1979 års mätningar).
- Ytan av bottensedimenten i Munksjön utanför fiberbanken beräknades 1979 till ca 87 ha, dvs ca 5 gånger större yta än fiberbanken. Kvicksilverhalten i detta sediment uppmättes till i genomsnitt 2,2 mg/kg Ts, alltså ungefär densamma som i fiberbanken. Vid senare mätningar har en något lägre kvicksilverhalt registrerats. Mängden kvicksilver i de övre 5 dm av dessa bottnar har grovt uppskattats till ca 200 kg (volym ca 0,4 miljoner m³).
- På basis av de relativt fåtaliga analyser av PCB som gjorts av sediment från Munksjön synes haltnivån vara förhöjd jämfört med andra sjöar i regionen. Även flera metaller förutom kvicksilver, och då främst koppar, uppvisar förhöjda halter i Munksjöns sediment.
- Munksjöns sediment beskrivs som svarta och gyttjiga till sin karaktär, vilket tyder på en hög organisk belastning och tidvis dåliga syreförhållanden. Trots luftning uppträder regelbundet syrgasbrist i sjöns bottenvatten.
- Senare års vetenskapliga rön tyder på att risken för bildning av metylkvicksilver, den kvicksilverform som framför allt förekommer i fisk, är särskilt stor i miljöer där syrgasförhållandena tidvis är ansträngda.
- Enligt en översiktlig budgetberäkning för syrgasförbrukande källor i Munksjön svarade fiberbanken för ca 0,2 av de totalt 4,5 ton syrgas som dagligen konsumerades i sjön vid början av 1990-talet, alltså knappt 5 %. Störst relativ betydelse hade ammoniumtillförseln via det kommunala

avloppsutsläppet (60 %). Denna bild stämmer i stort med de mätningar som gjordes i augusti 1993 av Safege Consulting Engineers.

- Enligt gjorda mätningar på gädda från Munksjön låg kvicksilverhalten i ”enkilosgädda” på ca 0,5 mg/kg färskvikt kring slutet av 1970-talet medan den sjunkit till 0,2 mg/kg under början av 1990-talet.

DETTA UPPDRAG

På uppdrag av Tekniska kontoret vid Jönköpings Kommun och Munksjö Paper AB har MFG genomfört och låtit genomföra ett antal undersökningar under perioden september 1998 till september 1999 för att belysa miljöförhållandena i Munksjön. Undersökningarna har i stort följt ett tidigare antaget programförslag (med komplettering)².

I uppdraget har ingått att:

- med hjälp av kompletterande mätningar i ett antal tillflöden försöka upprätta en så adekvat metallbalans för Munksjön som möjligt, för att därmed få en uppfattning om olika källors relativa betydelse.
- med hjälp av metallbalansen försöka belysa sedimentens roll i sammanhanget, som källa eller fälla.
- genom lodning och GPS-mätningar kontrollera tidigare mätningar av djupförhållandena i Munksjön.
- genom provtagning och analyser kontrollera sedimentens nuvarande kemiska sammansättning och karaktär, samt utbredningen av fibertäckta bottenar.
- infånga och analysera abborre från Munksjön och Vättern för att jämföra fiskens innehåll av metaller, PCB med flera ämnen.
- Infånga gädda från Munksjön och analysera fisken med avseende på kvicksilver.
- Sammanställa dessa och andra relevanta resultat samt på basis härav utvärdera miljöförhållandena i Munksjön vad gäller metaller och stabila organiska ämnen.

Undersökningarna har genomförts med MFG som projektledare och koordinator (Lennart Lindeström). En rad andra företag, institutioner, föreningar etc har dock medverkat i projektet med provtagning, analyser, mm. Dessa är Allumite Konsult (Böril Jonsson), MeAna-Konsult (Roland Uhrberg), SGAB-Analytica, ITM Stockholms Universitet, Naturhistoriska Riksmuseet (Anders Bignert), Simsholmens reningsverk (Gunnar Ohlsson), Jönköpings Fiskeförening (Jan Johansson) samt Länsstyrelsen i Jönköpings län (Måns Lindell).

METALLKÄLLOR TILL MUNKSJÖN

Följande potentiella metallkällor till Munksjön har identifierats:

- Tabergsåån
- Rocksjöån
- Munksjö Paper AB
- Simsholmens ARV (avloppsreningsverk)
- Dagvatten från Jönköpings tätort
- Bottensedimenten i Munksjön

Fakta om Munksjön

Avrinningsområde:	245 km ²
Sjöyta:	0,92 km ²
Volym:	ca 8,5*10 ⁶ m ³
Medeldjup:	ca 7,9 m
Maxdjup	21 m
Höjd över havet	88,5 m

Dessutom bidrar angränsande markområden (förutom tätorten) samt depositionen direkt på sjöytan med viss metalltillförsel.

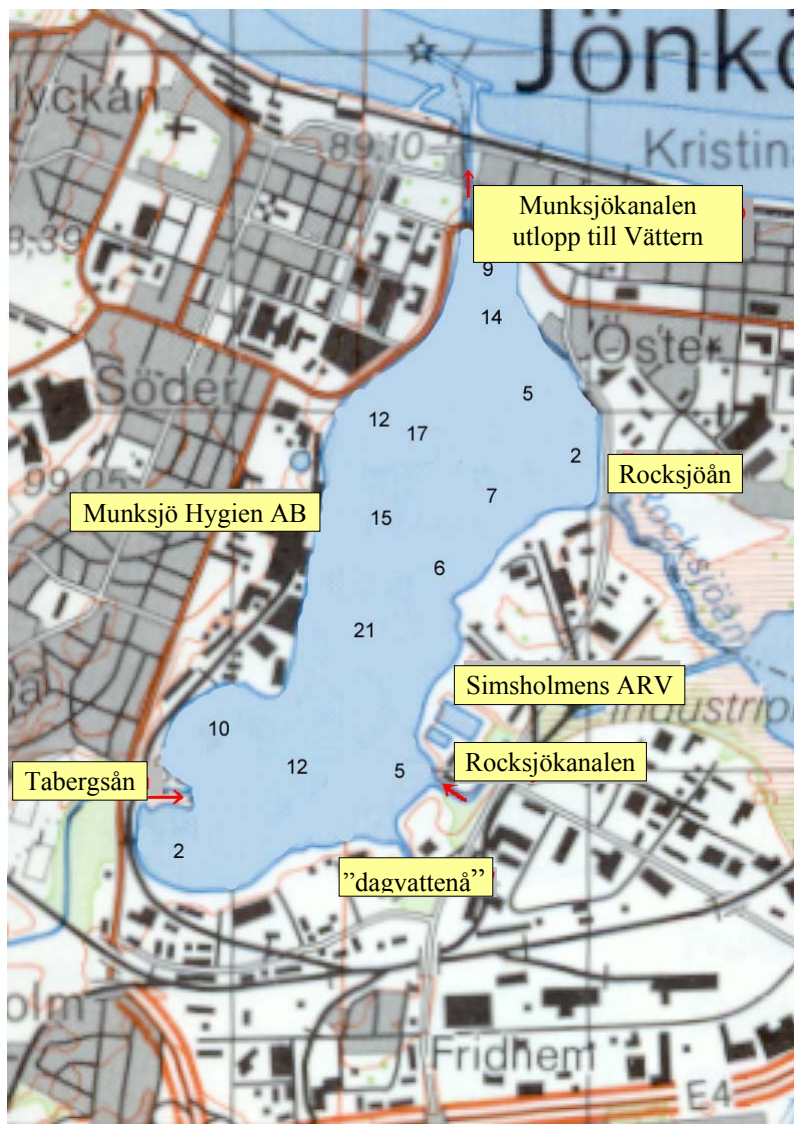
Omfattning och genomförande

För att kunskapen om dessa källors relativa betydelse genomfördes en provtagningsserie under perioden september 1998 till september 1999.

- Prov uttogs vid mitten av varje månad på det utgående avloppsvattnet från Munksjö Paper AB och analyserades på metaller (se nedan).
- Parallellt provtogs och analyserades det utgående avloppsvattnet från Simsholmens ARV inom ramen för verkets normala kontrollprogram (analyspaketet ändrades dock till V2).
- Vid 7 tillfällen med olika väderlekstyper under perioden togs prov på Tabergsåån, Rocksjöån (provet togs i Rocksjökanalen), dagvatten i 3 av de större ledningarna från Jönköping samt på vatten på olika djup i Munksjökanalen som förbinder Munksjön med Vättern.

Jämsides med dessa studier fortgick provtagningar och analyser av Tabergsåån och Munksjöns utlopp inom ramen för den samordnade recipientkontrollen (Vätterns tillflöden i Jönköpings län respektive Vätternvårdsförbundet). De aktuella undersökningsobjektens lägen framgår av Figur 1.

Vid provtagningen togs provet direkt i flaskan, alternativt användes ett provtagningsinstrument helt i plast (modell Ruttner). Den första provtagningen i september 1998 gjordes av MFG:s personal medan efterföljande provtagningar utförts av personal på Simsholmen ARV i samarbete med VA- och Avfallsavdelningen, Jönköpings Kommun. Provtagningen av avloppsvattnet från Munksjö Paper genomfördes i fabriken egen regi (Sig Meijner).



Figur 1. Undersökta objekt i anslutning till Munksjön i form av vattendrag, skogsindustri, kommunalt reningsverk etc. Siffror i sjön utgör djupangivelser. Skalan är ungefär 1:21 000.

Provtagningen i Munksjökanalen i utflödet till Vättern gjordes på två olika djup samtidigt som vattenflödets riktning och styrka mättes på respektive djupnivå. Det senare beräknas med hjälp av en speciell teknik bestående av en magnetförsedd gelatinbägare som sänks ner på det aktuella djupet vid provtagningstillfället (Haamer's Pendulum Current Meters). Gelatinet stelnar varefter vattenflödets riktning och styrka kan avläsas.

Samtliga vattenprov har genomgått multielement analys (ICP-MS) vid SGAB:s laboratorium i Luleå (paket V2). Samma analysförfarande har tillämpats vid den samordnade recipientkontrollen, dock vid andra laboratorier.

De metaller som presenteras och utvärderas i föreliggande rapport är koppar (Cu), bly (Pb), zink (Zn), kadmium (Cd), krom (Cr), nickel (Ni) och kvicksilver (Hg). Ytterligare ett antal ämnen ingår dock i analyspaketet, såsom exempelvis järn, mangan, kobolt och molybden. Även arsenikhalten bestäms, men för detta ämne är analysmetodens detektionsgräns både hög och varierande, varför det inte varit relevant att presentera resultaten.

Sedvanliga försiktighetsmått har vidtagits vid provtagningen. Provkärlen har kommit specialdiskade från laboratoriet och inneslutits i plastpåsar vid transport. Ändock har en kontaminering med metallerna koppar, bly, zink och kadmium konstaterats i proverna från juli, augusti och september 1999. Någon förklaring till detta har inte kunnat ges (Gunnar Ohlsson, Simsholmen). Dessa värden har tyvärr måst strykas från redovisningen.

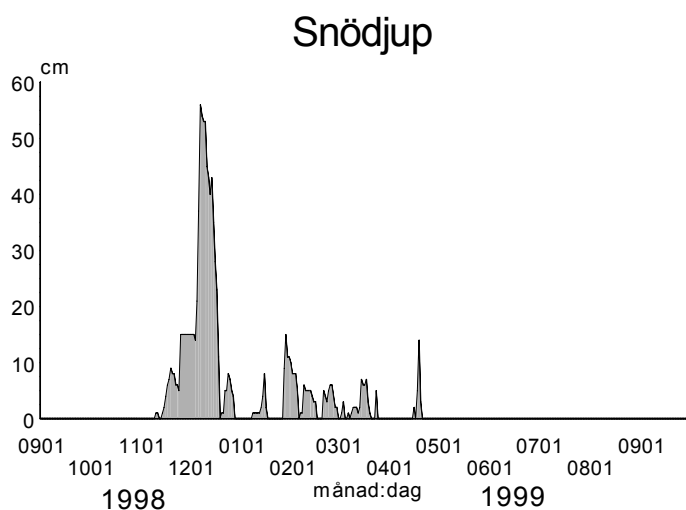
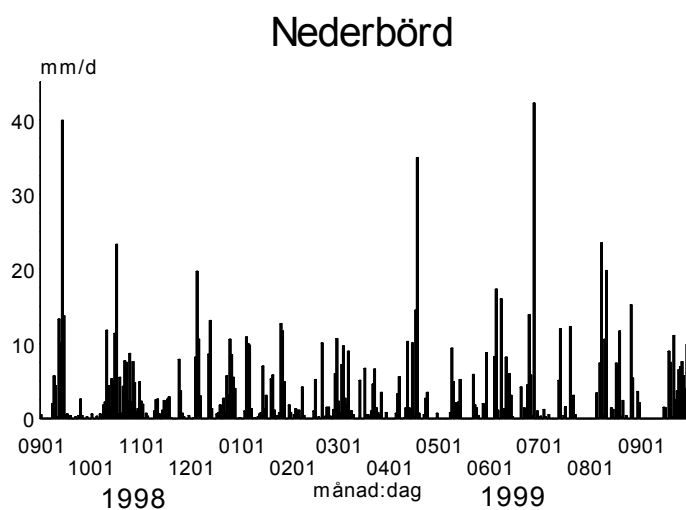
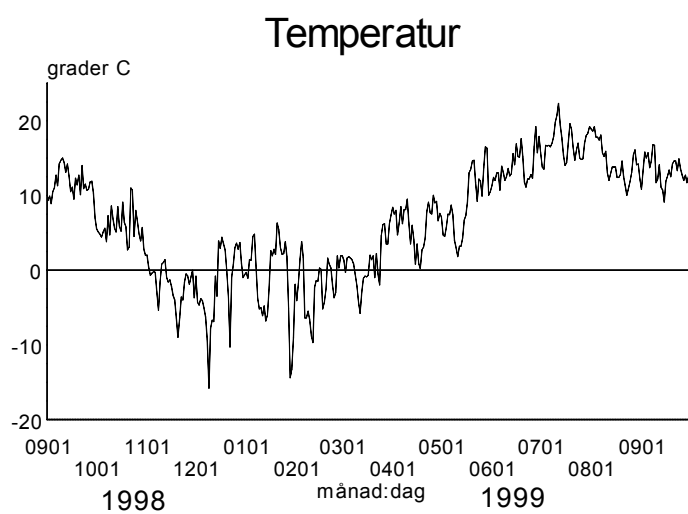
Väderleksförhållanden

Uppgifter om lufttemperatur, nederbörd och snödjup under den aktuella perioden har inhämtats från SMHI för väderstationen Flahult ca 45 km söder om Jönköpings tätort. De presenteras i Figur 2.

Längre perioder med nederbörd förekom under andra halvan av oktober 1998 och september 1999, medan enskilda nederbördstoppar noteras vid flera andra tillfällen. Marken var snötäckt under framför allt slutet av november och början av december 1998.

En detaljerad redovisning av nederbörd och snödjup i samband med varje provtagningstillfälle ges i delrapportens originalbilaga som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet. Provtagning har skett vid varierande klimatiska förhållanden, exempelvis vid nederbörd efter längre eller kortare torrperioder (september 1998 och 1999 och juli 1999), vid torka efter längre torrperiod (augusti 1999) eller i samband med snösmältning (december 1998).

Den genomsnittliga nederbördsmängden vid Flahult ligger på 757 mm/år (perioden 1961-90). Under den aktuella undersökningsperioden (1:a sept. 1998 till 1:a sept. 1999) uppgick nederbörden till 1003 mm, vilket är 32 % mer än genomsnittet. Denna avvikelse har bl.a. utnyttjats för att beräkna vattenföringen i Tabergsån (se nedan). Nederbördsmängden vid Flahult är enligt SMHI i sin tur ca 18 % större än i Jönköping (Jönköpings Flygplats).



Figur 2. Väderleksförhållanden under september 1998 – september 1999 vid SMHI:s väderstation i Flahult, ca 45 km SSV om Jönköpings tätort.

Analysresultat - metallhalter

Samtliga analysresultat redovisas i delrapportens originalbilagor som kan erhållas från Vätternvårdsförbundet enligt följande:

Bilaga 3 Dagvatten, Tabergsån, Rocksjöån samt Munksjöns utflöde vid 7 tillfällen.

Bilaga 4 Tabergsån (den samordnade recipientkontrollen)

Bilaga 5 Utsläppen från Munksjö Paper AB

Bilaga 6 Utsläppen från Simsholmens ARV

Bilaga 7 Munksjöns utlopp (Vätternvårdsförbundet)

För samtliga variabler och provtagningspunkter har aritmetiska medelvärden beräknats. I de flesta fall har även 95 % konfidensintervall, medianvärden, max- och minvärden beräknats och redovisats. Detta har inte gjorts i de fall antalet mätvärden varit alltför få beroende på kontaminering eller flera värden under analysmetodens detektionsgräns.

Värden under detektionsgränsen har tilldelats detektionsgränsens värde delat med två då exempelvis medelvärden och medianvärden beräknats.

I Tabell 1 presenteras aritmetiska medelvärden för samtliga metaller och provtagningspunkter. För Tabergsån och Munksjöns utflöde har värdena hämtats för alla metaller utom kvicksilver från den samordnade recipientkontrollen³ respektive Vätternvårdsförbundets mätningar⁴. Alla värden har avrundats till två siffrors noggrannhet.

Tabell 1. Aritmetiska medelvärden för metallhalter från mätningar under perioden augusti 1998 till september 1999. Medelhalter som representerar få värden eller innehåller många värden under detektionsgränsen är satta inom parentes. För uppgifter om enskilda mätvärden hänvisas till Bilagorna 3-7.

Metallhalter	Cu (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Cd (ng/l)	Cr (µg/l)	Ni (µg/l)	Hg (ng/l)
Tabergsån	1,0	0,50	4,8	13	0,39	0,9	(1,9)
Rocksjöån	1,4	0,20	9,1	10	0,91	1,1	(2,4)
Munksjö Paper AB	1,2	0,17	9,7	32	0,27	2,4	(1,1)
Simsholmens ARV	8,6	0,16	29	50	4,4	12	(1,1)
Dagvatten							
Nr 8	(4,2)	(3,1)	(74)	(130)	1,4	2,5	(1,8)
Nr 61	(41)	(2,0)	(160)	(260)	2,0	2,7	6,5
Nr 122	(9,9)	(9,5)	(290)	(60)	2,2	2,3	(1,9)
Munksjöns utlopp	1,3	0,32	5,6	9	0,68	1,6	(1,8)

Osäkra värden i Tabell 1 är satta inom parentes. Detta betyder inte att de ej är värda att överhuvudtaget beaktas, utan snarare att de exakta siffervärdena är osäkra. Storleksordningen torde dock i de flesta fall vara korrekt.

En central frågeställning i undersökningarna har varit att försöka belysa om sedimenten i Munksjön kan befaras utgöra en betydelsefull källa för i första hand kvicksilver och i andra hand andra metaller. Inget i dessa resultat tyder på att så skulle vara fallet.

Jämför man Munksjöns utlopp (provet taget på 0,5 meters djup) med de båda tillflödena Tabergsån och Rocksjoån finner man snarare att halten är densamma eller lägre i utloppet för alla metaller utom nickel. Den något högre haltnivån för nickel i utloppet kan hänföras till de högre halterna i de övriga källtillflödena.

Inte heller finns det några tecken på något betydande utflöde genom Munksjökanalen till Vättern med djupare vattenlager jämfört med ytlagret. Av Bilaga 3 framgår att halten för samtliga metaller genomsnittligt sett varit lägre på 1,5 meters nivå jämfört med 0,5 meter. Uppgifter om vattenflödets riktning och hastighet samt vattennivån i kanalen vid fem av provtagningsstillfällena presenteras i Bilaga 8. I samtliga fall registrerades en utgående ström i kanalen på alla djup. Det sammanlagda vattenflödet i Munksjökanalen varierade mellan 4,4 och 7,4 m³/s med ett medelflöde vid mättillfällena på 5,3 m³/s.

Bland övriga tillförselkällor finns det anledning att notera de förhållandevis låga metallhalter i avloppet från Munksjö Paper AB. Endast för kadmium och i någon mån för nickel uppvisar detta skogsindustriella avlopp högre halter än de tillrinnande vattendragen. Kadmiumförekomsten i skogsindustriella avloppsvatten har tidigare uppmärksamats⁵. I avloppsvattnet från Simsholmens reningsverk är framför allt blyhalten låg medan övriga metaller uppvisar något högre halter.

Betydligt högre halter registrerades för några av metallerna i de provtagna dagvattnen. Halterna ligger dock genomgående lägre än de schablonhalter för dagvatten som föreslagits på basis av ett antal litteraturgenomgångar, och som bl.a. tillämpats vid en tidigare överslagsberäkning av Tekniska kontoret i Jönköping (Bilaga 9).

De tre dagvattenledningarna avvattnar enligt Tekniska kontorets beräkningar tillsammans knappt 60 % av den sammanlagda ytan i Jönköpings tätort på totalt ca 330 ha (3,3 km²) som i olika grad avvattnas till dagvattennätet. Fördelningen mellan områdestyper inom respektive avrinningsyta är följande:

	Bostäder	Trafik	Industriområde	
Ledning nr 8	17	6	77	%
Ledning nr 61	88	12	0	%
Ledning nr 122	80	4	16	%

Jämförelse med andra vattendrag i regionen

De registrerade metallhalterna Munksjöns utlopp kan i Tabell 2 jämföras med andra vattendrag i regionen. Från underlagsrapporten till Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Sjöar och vattendrag⁶, har medianvärden för ”sydsvenska vattendrag som mynnar i Östersjön” hämtats.

Tabell 2. Medelhalterna för metaller i Munksjöns utlopp under utrednings-perioden (från Tabell 1) jämfört med motsvarande 50:e percentilen (medianvärdet) och 75:e percentilen för sydsvenska vattendrag som mynnar i Östersjön. Jämförvärdena avser 1990-talet respektive vattendrag som inte är påverkade av någon lokal utsläppskälla. Kvicksilverhalten 4 ng/l utgör en trolig bakgrundshalt för södra Sverige⁶.

Metallhalter	Cu (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Cd (ng/l)	Cr (µg/l)	Ni (µg/l)	Hg (ng/l)
Munksjöns utlopp	1,3	0,32	5,6	9	0,68	1,6	(1,8)
Sydsv. vattendrag							
50:e percentilen	1,2	0,36	4,0	20	0,46	1,1	4
75:e percentilen	1,8	0,58	6,6	46	0,63	1,6	

Av Tabell 2 framgår att metallhalterna i Munksjöns vatten ligger inom ramen för vad som kan anses vara normalt för ”opåverkade” vattendrag i regionen.

Transporter och utsläppta mängder samt försök till metallbalans för Munksjön

På basis av uppmätta halter och registrerade eller uppskattade vattenflöden och därav beräknade metallmängder har ett försök gjorts till en metallbalans för Munksjön. Uppskattad metalltillförsel från olika källor under den aktuella undersökningsperioden i såväl absoluta som relativa termer presenteras i Tabell 3.

Vattenflödet har uppskattats med ledning av tidigare beräkningar enligt Pulsmetoden³ samt utifrån en genomsnittlig specifik avrinning för området⁷ på ca. 11 l/s*km². Detta ger ett medelflöde på 2,7 m³/s vilket har räknats upp med 32 % p.g.a. den förhöjda nederbörden under den aktuella perioden (se tidigare avsnitt).

På motsvarande sätt har transporten i Rocksjöån (summan av den norra ”ursprungliga” ån och Rocksjökanalen) beräknats från medelhalterna i Tabell 1. Vattenflödet utgör i detta fall summan av markavrinningen till sjön på ungefär $6,5 \text{ m}^3/\text{år}$ (ca $10 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$, 21 km^2) och den vattenmängd som fortlöpande pumpas från Vättern via Rocksjön för att förbättra förhållandena i sjön. Den senare mängden uppgick till cirka 42 miljoner $\text{m}^3/\text{år}$ under perioden.

Beroende på de fåtaliga analyserna av koppar, bly, zink och kadmium i dagvattnen är det svårt att med någon bestämdhet uttala sig om hur representativa de uppmätta halterna är för Jönköpings dagvattennät. Det verkar dock rimligt att anta att de överslagsberäkningar som Tekniska kontoret tidigare gjort för dagvattnet från ett delområde (nr 62) i Jönköpings tätort på basis av de nämnda litteraturuppgifterna åtminstone kan halveras (se Bilaga 9). Detta ger en mycket grov skattning av metalltillförseln med dagvattnet enligt Bilaga 9. För kadmium presenteras en alternativ beräkning som i stället utgår ifrån denna undersökning, eftersom schablonvärdena i dessa fall verkar orimligt höga. Troligtvis är även schablonvärdet för bly alltför högt. Värden för krom, nickel och kvicksilver har hämtats från denna undersökning (vägda metallhalter från Bilaga 3).

Med hjälp av registrerade avloppsvattenflöden har metalltillskotten från Munksjö Paper AB respektive Simsholmen ARV kunnat bestämmas med relativt sett god säkerhet (Tabell 3).

Uppgifter om nedfallet direkt på sjöytan och metallavrinning från resterande angränsande marker (ca 8 km^2) har hämtats från en tidigare beräkning⁸, som kompletterats med kvicksilver (ca 15 ng/l enligt⁹). Korrigering har gjorts för de arealer som omfattas av Rocksjöns avrinningsområde respektive avvattnas via dagvattennätet.

Vattenflödet ut ur Munksjön har slutligen bestämts som summan av alla kända tillflöden inklusive markavrinningen och pumpningen (ca 185 miljoner m^3) varefter metalltransporten till Vättern kunnat uppskattas med ledning av medelhalten i Munksjökanalen för perioden.

De på dessa sätt beräknade metallflödena har sammanställts i Tabell 3. För kadmium i dagvatten har den alternativa beräkningen valts, vilken innebär ett mindre bidrag än schablonvärdena. De samlade tillskotten minus utflödet till Vättern genom kanalen ger den troliga sedimentationen i Munksjön.

Tabell 3. Uppskattade metallmängder till Munksjön från olika källor under det aktuella undersökningsåret med reservation för de osäkerheter som beskrivs i texten. I nedre delen av tabellen framgår källornas relativa betydelse samt den beräknade fastläggningen i Munksjöns sediment.

Metallmängder	Flöde (milj.m ³ /år)	Cu (kg/år)	Pb (kg/år)	Zn (kg/år)	Cd (kg/år)	Cr (kg/år)	Ni (kg/år)	Hg (kg/år)
Tabergsån	114	120	57	540	1,5	45	98	0,22
Rocksjöån	48,6	68	9,7	440	0,49	44	53	0,12
Deposition	0,6	1,3	1,4	6,8	0,052	0,2	0,3	0,09
Angränsande mark	2,5	2,9	0,78	9,3	0,020	0,73	3,2	0,038
Munksjö Paper AB	5,4	6,7	0,94	53	0,17	1,3	12	0,007
Simsholmens ARV	12,5	110	2,1	370	0,65	54	150	0,014
Dagvatten	1,6	78	49	320	0,32	3,0	3,9	0,003
TOTALT	185	390	120	1700	3,2	150	320	0,49
Munksjöns utlopp	185	240	60	1000	1,6	130	300	0,33
Fastläggning		150	60	700	1,6	20	20	0,16
Procentuell fördelning		Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cd (%)	Cr (%)	Ni (%)	Hg (%)
Tabergsån		31	47	31	47	30	31	45
Rocksjöån		18	8	25	15	30	17	24
Deposition		<0,5	1	<0,5	2	<0,5	<0,5	18
Angränsande mark		1	1	1	1	<0,5	1	8
Munksjö Paper AB		2	1	3	5	1	4	1
Simsholmens ARV		28	2	21	20	36	47	3
Dagvatten		20	41	18	10	2	1	1
TOTALT		100	100	100	100	100	100	100
Fastläggning		38	50	41	50	13	6	33

Kommentarer

Enligt metallbalansen i Tabell 3 utgör Tabergsån den största enskilda källan till Munksjön för flertalet metaller. Avloppsutsläppet från Simsholmen utgör den största källan för krom och nickel och är även betydelsefull för tillförseln av koppar, zink och kadmium.

Påtagligt lite metaller tillförs Munksjön med avloppsvattenutsläppet från Munksjö Paper, endast 1-5 % av den totala tillförseln.

I enlighet med vad som sagts tidigare är framför allt dagvattnets roll i sammanhanget ytterst osäker. Anmärkningsvärt små andelar noteras för

krom och nickel. Sett till den låga fastläggningsgraden i Munksjön för dessa metaller enligt Tabell 3 kan dessa andelar mycket väl vara underskattade. Alternativt finns det någon annan förbisedd källa för dessa metaller.

Vidare noteras en anmärkningsvärt stor andel bly med dagvattnet. Det har tidigare påpekats att beräkningen av blytillskottet via dagvattnet på basis av halva schablonhalten kan vara en överskattning. Å andra sidan verkar en fastläggning i Munksjön på ca 50 % för denna metall vara rimlig sett till övriga metaller.

Tillförseln av kvicksilver till Munksjön verkar framför allt ske med vattendragen. En anmärkningsvärt stor andel tycks även deponera direkt på sjöytan. Även om det ligger en stor osäkerhet i metallbalansen för kvicksilver p.g.a. att den baseras på många värden under detektionsgränsen, så finns det inga tecken som tyder på sedimenten i Munksjön skulle frigöra kvicksilver genomsnittligt sett. Istället verkar ungefär en tredjedel av det tillförda kvicksilvret fastläggas i sjöns sediment, som därmed snarare fungerar som en fälla.

Enligt metallbalansen fastläggs ungefär hälften av den tillförda bly- och kadmiummängden medan fastläggningsgraden ligger på ca 40 % för koppar och zink. Relationen dessa metaller emellan stämmer relativt väl med andra metallbalanser för exempelvis Vättern⁸ och Vänern¹⁰.

Jämfört med tidigare försök till metallbalanser för Munksjön^{8 & 1} kan det konstateras att både likheter och skillnader föreligger. Skillnaderna beror främst på att tidigare beräkningar baserades på osäkrare uppgifter, att vissa delflöden saknades samt att vattenflödena i vattendragen varierat. Exempelvis härrörde tidigare uppskattning av metallutsläppen från Munksjö Hygien⁸ från en enstaka mätkampanj 1991, då utsläppen uppenbarligen var avsevärt mycket större än under 1998-99.

Noterbart är dock att exempelvis uppskattningen av mängden fastlagd koppar och zink i Munksjön legat påtagligt lika vid alla tre försöken till metallbalans, nämligen 150, 160 och 160 kg koppar respektive 700, 720 och 850 kg zink per år.

MUNKSJÖNS DJUPFÖRHÅLLANDEN OCH KARAKTÄR

Omfattning och metodik

Munksjön är en relativt djup sjö med tanke på dess area på måttliga 92 ha. Sjöns nuvarande djupförhållanden har tidigare under 1990-talet undersökts längs två sektioner i väst-östlig riktning. Den ena gjordes av Terra-Limno

Gruppen år 1991, den andra av Tekniska kontoret i Jönköping år 1998. En relativ stor skillnad har noterats mellan dessa båda mätningar¹¹.

För att komplettera dessa mätningar genomfördes i september 1999 en relativt omfattande lodning kombinerat med positionsbestämning och provuttag. Längs ett stort antal profiler i Munksjön registrerades djupförhållandena med hjälp av ett kontinuerligt skrivande ekolod. Fortlöpande positionsbestämningar gjordes längs profilerna med GPS-teknik.

Med ledning av skrivarens registrering av botten erhöles en relativt god bild av bottenarnas karaktär. Denna information kompletterades med att prov på sedimenten uttogs med en rörhämtare (Willnertyp) på ca 90 positionsbestämda punkter längs profilerna för okulär avläsning av sedimentens struktur och färg. Extra insatser gjordes i området med inslag av cellulosafiber, där huvudsakligen en provtagare av grävmodell (Ekmantyp) fick användas p.g.a. sedimentens lösa karaktär.

Från 26 av proverna uttogs slutligen prov för senare kemisk analys (se nästa avsnitt)

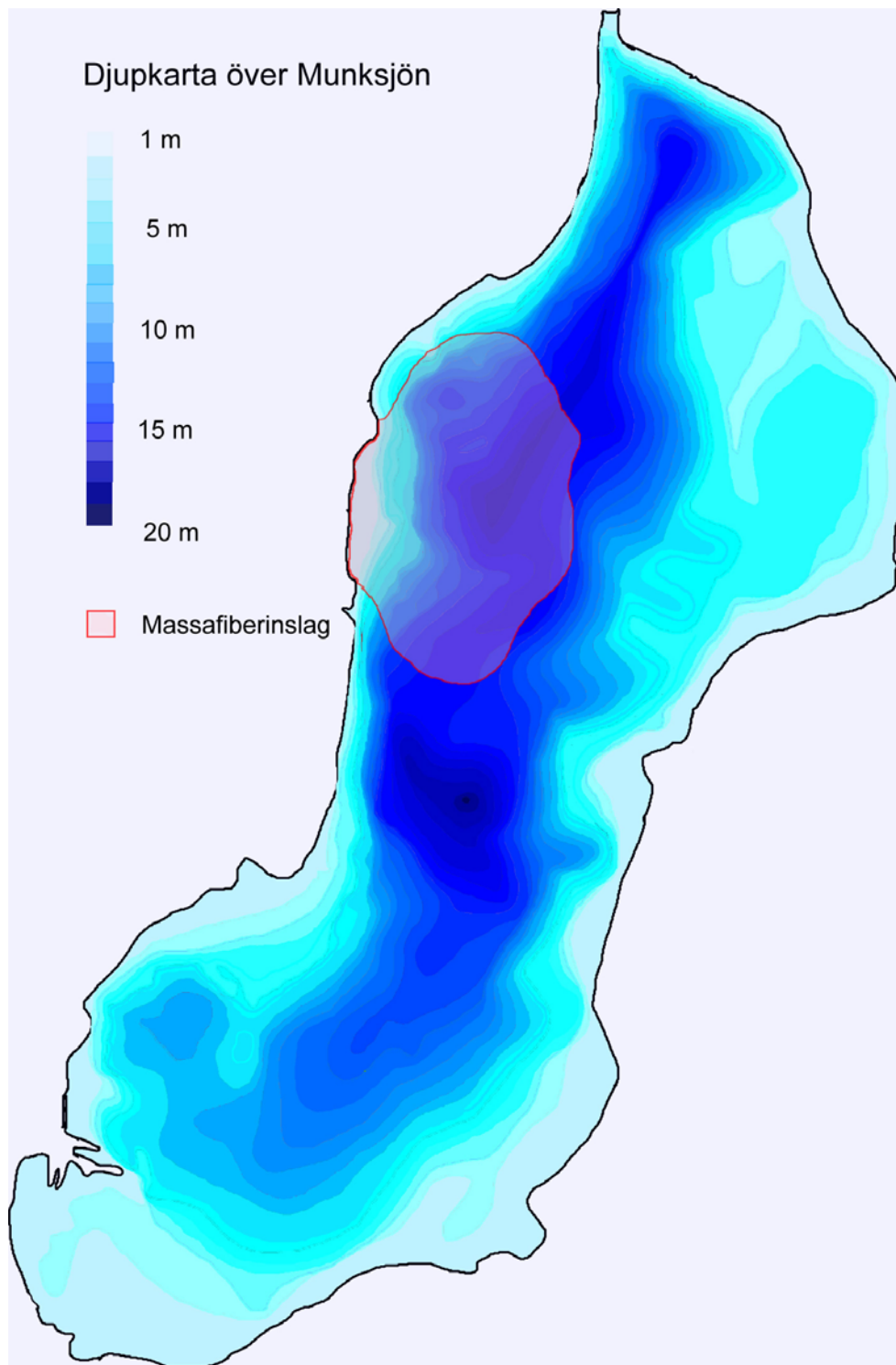
Resultat

Samtliga provtagningspunkter och deras position samt ytsedimentens färg/struktur redovisas i Bilaga 11.

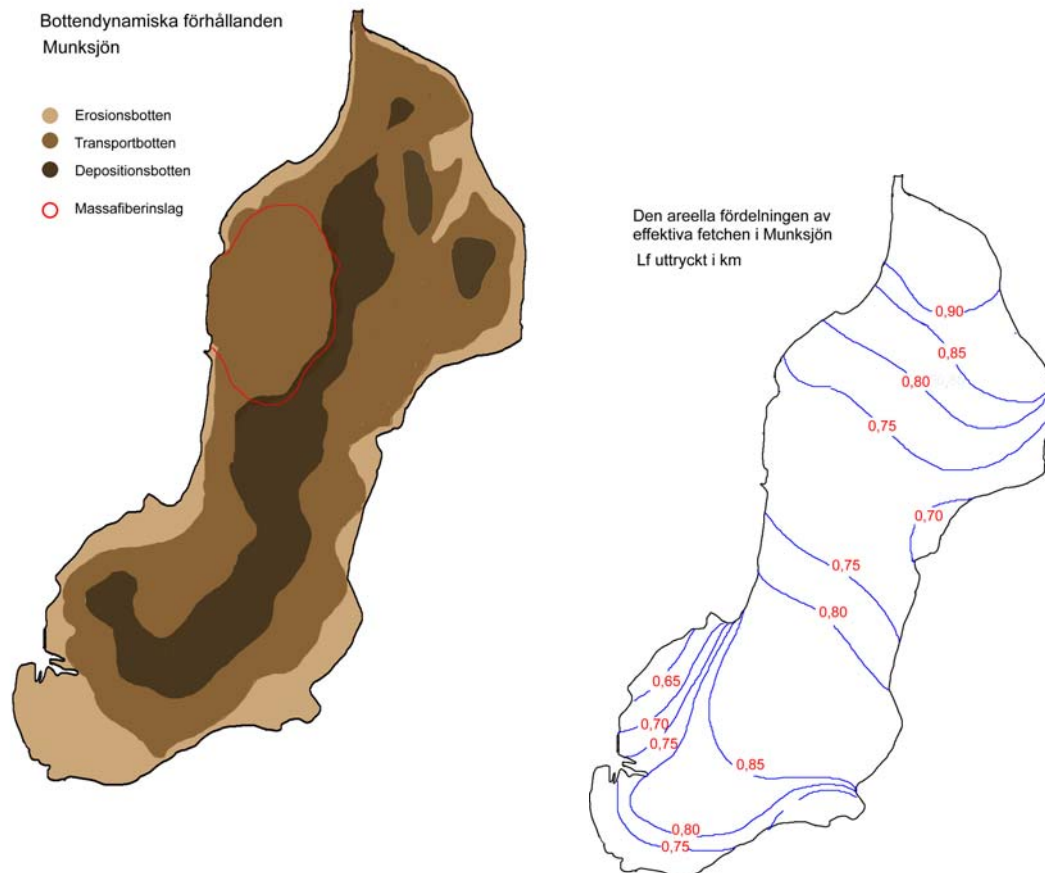
På basis av lodningarna och med hjälp av speciella ritprogram har en tredimensionell bild över djupförhållandena i Munksjön tagits fram (Figur 3). Det maximala djupet registrerades till 21 meter. Det tidigare angivna maxdjupet på 25 meter kunde således inte återfinnas¹⁷.

I Figur 3 har även den nuvarande utbredningen av bottenar med inslag av synlig cellulosafiber lagts in. Dessa täcker ett ca 6 ha (60.000 m²) stort område i västra Munksjön, vilket i sin tur utgör ungefär 7 % av sjöns totala yta.

Vidare har utbredningen och ytan av ackumulationsbottenar i Munksjön beräknats. Detta har gjorts med ledning av, dels bottenarnas lutning (<4,6 %), dels ett angivet samband mellan vattendjup och den s.k. effektiva fetchen enligt Håkanson¹². Den effektiva fetchen är ett mått (i km) på den fria vattenyta över vilken vinden kan påverka vågbildningen utan störningar från land, öar, skär etc. Resultatet åskådliggörs i Figur 4.



Figur 3. Djupförhållandena i Munksjön hösten 1998 samt utbredningen av bottensediment med inslag av cellulosafiber (massafiber). Figuren har gjorts av Böril Jonsson, Allumite.



Figur 4. Den effektiva fetchen (vänster) samt utbredningen av ackumulations-bottnar (höger) i Munksjön på basis av djuplodningen 1998 samt teoretiska samband enligt Håkanson¹². Figuren har gjorts av Böril Jonsson, Allumite.

Ungefär 15 % av Munksjöns bottenyta (ca 13,2 ha) beräknas på detta sätt utgöras av ackumulationsbottnar. Ackumulationsbottnar definieras som bottenområden där finmaterial med en falldiameter mindre än 0,006 mm deponeras kontinuerligt¹². Dessa skiljer sig från transportbottnar och erosionsbottnar där finmaterial deponeras diskontinuerligt eller inte alls deponeras. De fibertäckta bottarna har vi definierat som transportbottnar beroende på en kombination av stor lutning, liten täthet och hög vattenhalt.

Hälften av de bottenprov som undersöktes utanför ”fiberområdet” var svartfärgade i ytskiktet (Bilaga 11). Detta innebär att ungefär hälften av Munksjöns bottenareal hade syreförhållanden som var mycket ansträngda. Svartfärgningen orsakas av järn- och mangansulfider, som bildas vid otillräcklig tillgång på syre genom reduktion av oxider.

Den organiska halten i ytsedimenten utanför ”fiberområdet” låg vid provtagningen på drygt 30% mätt som glödningsförlust (Bilaga 15). Detta

är en halt som är vanlig och ofta överskrids i humösa skogssjöar, men som är något högre än vad som normalt registreras i sjöar av Munksjöns karaktär. Sannolikt utsätts bottnarna för bl.a. en fortlöpande tillförsel av delvis nedbruten cellulosafiber från de fibertäckta bottnarna vilket förhöjer sedimentens organiska halt. Inom ”fiberområdet” låg den organiska halten på i genomsnitt 43%.

SEDIMENTENS KEMISKA SAMMANSÄTTNING

Omfattning och metodik

Som redan nämnts i föregående avsnitt uttogs sedimentprover för kemisk analys i samband med lodningen av Munksjön i september 1998. Provtagningslokalernas position och djup samt analyserade sedimentnivåer framgår av Bilaga 12. Förutom i Munksjön togs ett prov även i en ”dagvattenå” som mynnar i sydöstra delen av sjön (S. Simsholmens ARV, prov nr 367).

Där så var möjligt användes en rörprovtagare (Willnertyp) varigenom provet kunde segmenteras i olika djupnivåer, 0-1 cm respektive 1-3 cm. Genom att analysera olika sedimentnivåer kan man få en uppfattning om huruvida senare års sedimentlager innehåller mindre föroreningar eller ej. Där bottensedimentens struktur inte tillät användandet av rörprovtagare användes istället en Ekmanhuggare, ur vilken det översta lagret på ca 3 cm uttogs för senare analys.

Sammanlagt har 43 prover analyserats från 26 provtagningslokaler (Bilaga 12). Samtliga dessa prover har analyserats på torrsbstanshalt (Ts) glödningsförlust (Gf, ett indirekt mått på den organiska halten) samt kvicksilver (Hg). Nio av proven från det översta sedimentskiktet (0-1 cm) samt ett huggprov (0-3 cm) har dessutom analyserats på koppar (Cu), bly (Pb), zink (Zn), kadmium (Cd), krom (Cr) och nickel (Ni) samt 10 olika PCB-kongener.

Proverna för metallanalys har uppslutits i koncentrerad salpetersyra och uppvärmts under 2 timmar i bomb. Analys har därefter skett med atomabsorptionsspektrofotometri (se Bilaga 13). På ett antal prover har dubbelanalys utförts för att visa på mätosäkerheten.

Metoden för extraktion och rening av sedimentproven för PCB-analys presenteras i Bilaga 14. Extrakten analyserades gaskromatografiskt. Halten av kongenerna 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180 och 209 bestämdes.

Resultat - metaller

Samtliga enskilda analysresultat redovisas i analysrapporten från MeAna-Konsult i Bilaga 13, där även uppgifter om mätosäkerheter, referensmaterial etc finns beskrivet. Metallhalterna är här återgivna relaterat till sedimentens torrsubstanshalt.

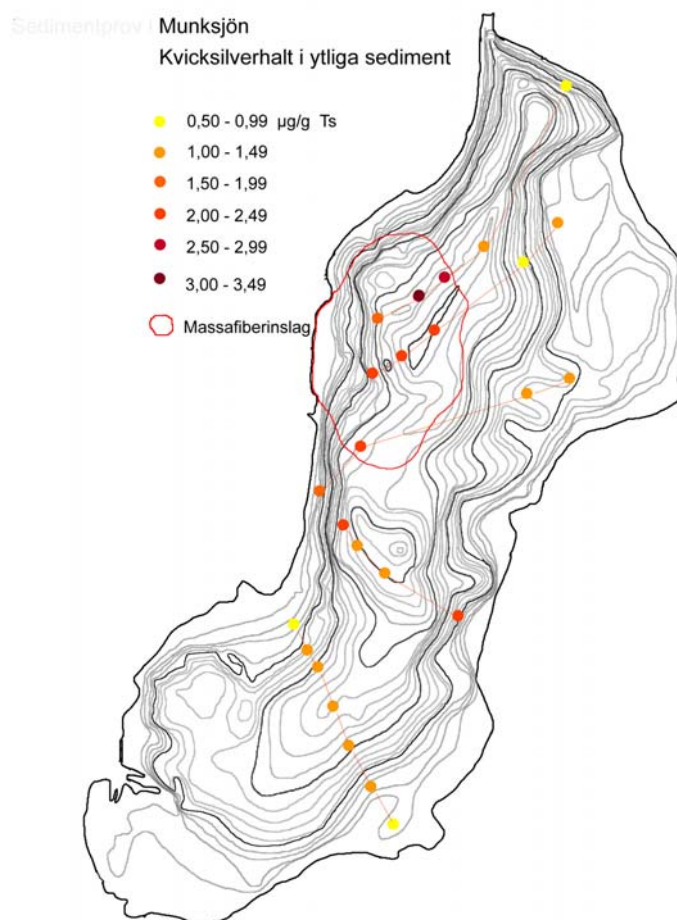
En mer överblickbar sammanställning av resultaten jämte olika statistiska beräkningar har gjorts i Bilaga 15 (:1 & :2), där metallhalterna även har relaterats till den organiska halten. Orsaken till det senare är att ett sediment med en hög halt organiskt material har en större förmåga att kemiskt binda metaller och håller därmed en högre metallhalt än mer minerogena sediment, även om metalltillförseln är densamma⁶.

Delar av de statistiska beräkningarna presenteras även i Tabell 4 och 5.

Tabell 4. Kvicksilverhalten i de ytliga sedimentlagren i Munksjön i september 1998. Sedimentnivåerna 0-1 och 1-3 cm är uttagna med en rörprovtagare medan det större intervallet 0-3 cm är hämtat med en Ekmanhuggare. Kvicksilverhalten är uttryckt både relaterat till torrsubstanshalt (Ts) och till organisk halt (Gf).

	Kvicksilver relaterat till torrsubstanshalt			Kvicksilver relaterat till organisk halt		
	0-1 cm (µg/g Ts)	1-3 cm (µg/g Ts)	0-3 cm (µg/g Ts)	0-1 cm (µg/g Gf)	1-3 cm (µg/g Gf)	0-3 cm (µg/g Gf)
Medelhalt med 95% konfidensintervall	1,32 ± 0,23	1,07 ± 0,28	1,97 ± 0,42	5,2 ± 2,2	3,8 ± 0,7	4,8 ± 1,1
MEDIAN	1,27	1,08	1,93	4,0	4,0	4,7
Minimum	0,51	0,07	0,76	2,4	1,6	2,2
Maximum	2,35	2,03	3,02	20,9	6,1	7,5
Antal prover	16	16	9	16	16	9

Det ytliga lagret (0-3 cm) av de fiberhaltiga sedimenten utanför Munksjö Paper håller en genomsnittlig kvicksilverhalt på knappt 2 µg/kg torrsubstans (Tabell 4). Med 95 % signifikans är halten ca 50 % högre än genomsnittet hos det ytliga sedimentlagret (0-1 cm) i övriga delar av sjön (1,3 µg/kg Ts). Tar man hänsyn till den organiska halten hos respektive sedimenttyp föreligger dock ingen skillnad i kvicksilverhalt (5,2 resp. 4,8 µg/g Gf). Fördelningen av kvicksilver i Munksjöns ytsediment åskådliggörs i Figur 5.



Figur 5. Kvicksilverhalten i det ytliga sedimentlagret i Munksjön hösten 1998. Innanför området med massafiberinslag avses nivån 0-3 cm och i övriga sjön 0-1 cm. Djupkurvor har markerats (jämför Figur 3). Halten är uttryckt i torrsustans, Ts.

Något förvånande finns det indikationer i resultaten på att kvicksilverhalten är högre i ytskiktet (0-1 cm) än i det underliggande sedimentskiktet (1-3 cm). Man skulle förvänta sig motsatsen eftersom kvicksilvret huvudsakligen härrör från utsläpp som förekom flera decennier tillbaka i tiden. Därmed borde det senast sedimenterade materialet innehålla mindre kvicksilver än underliggande sedimentlager. Detta kan vara ett tecken på att det fortfarande sker omlagringar av de kvicksilverhaltiga fibermaterialet och uttransport till angränsande botten. Det bör dock betonas att skillnaden i medelhalter inte är statistisk belagd.

Tabell 5. Metallhalter i de ytliga sedimentlagren (0-1 cm) i Munksjön i september 1998. Medelvärden (mv) med 95% konfidensintervall uttryckt både relaterat till torrsubstanshalt (Ts) och till organisk halt (Gf). Antalet analyserade prover är 10 st.

	Mv ± 95% k-int. (µg/g Ts)	Mv ± 95% k-int. (mg/g Gf)	Median (µg/g Ts)	Min (µg/g Ts)	Max (µg/g Ts)
Cu	256 ± 53	0,80 ± 0,18	246	121	438
Pb	151 ± 32	0,48 ± 0,12	143	73	267
Zn	958 ± 247	3,0 ± 0,9	876	437	1850
Cd	2,9 ± 0,8	0,0093 ± 0,0031	2,6	1,4	6,2
Cr	138 ± 28	0,43 ± 0,10	141	54	234
Ni	58,0 ± 14,8	0,18 ± 0,06	51,0	26,3	111

I jämförelse med andra undersökta sjöar i Jönköpings län är kvicksilverhalten i Munksjöns ytsediment endast måttligt högre, 2-4 gånger i genomsnitt (Tabell 6). Skillnaden är större om man jämför med centrala Vätterns bottnar, men mindre jämfört med vissa enskilda fjärdar såsom Kärrafjärden i norr. Kviksilverhalten i ytlagret av de fiberhaltiga sedimenten i Munksjön ligger på samma nivå som genomsnittet för bottenarna i vattenområdet kring Stockholm.

Även flertalet övriga metaller förekommer i förhöjda halter i Munksjöns ytliga sedimentlager. Medelvärdena för 10 prov från de ytliga lagren (0-1 cm) framgår av Tabell 5. De flesta analyserade metallerna uppvisar en relativt jämn fördelning kring medelvärdet. För framför allt zink, kadmium och nickel har dock högst halter registrerats i södra delen av sjön längs profilerna västerut från ”dagvattenån” och Simsholmens ARV.

Medelvärdet för samtliga metaller i Munksjöns ytliga sedimentlager är högre än genomsnittet för andra undersökta sjöar i Jönköpings län och i exempelvis Dalslands Kanal (Tabell 6). Störst skillnad noteras för koppar. Genom tidigare betydande tillförsel av i första hand zink, bly och kadmium från Zinkgruvan till norra Vätternområdet är skillnaden mindre mellan Munksjön och Vättern för dessa metaller. Slutligen kan noteras att haltnivån för flertalet metaller i Munksjön ligger på samma nivå som i de ytliga sedimentlagren i Stockholms inre fjärdar.

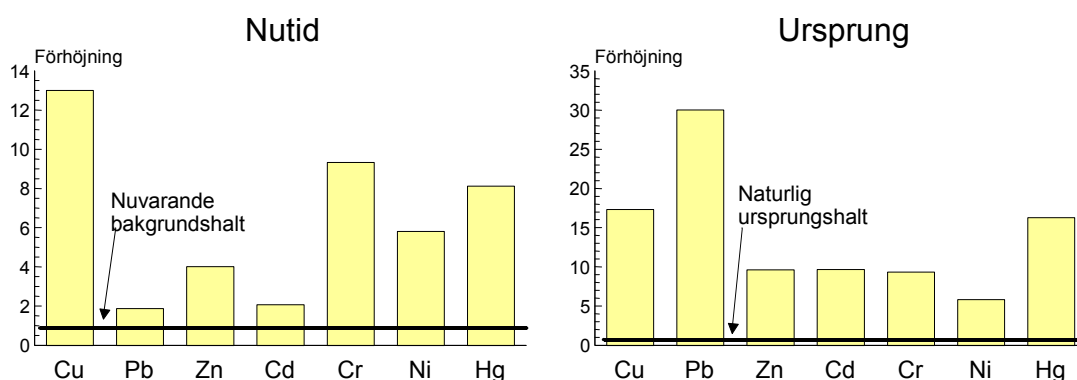
Vid dessa jämförelser mellan Munksjön och andra vattenområden finns det anledning att åter betona att den organiska halten i Munksjöns sediment är avvikande hög (Tabell 6). Tar man hänsyn till detta blir skillnaden i flertalet fall betydligt mindre och haltförhöjningen i Munksjön således lägre relativt sett.

Tabell 6. Metallhalter i Munksjöns sediment 1998 i form av medianvärden (från Bil. 15) jämfört med motsvarande median- eller medelvärden från några andra vattenområden. Ytsiktens tjocklek varierar något. Alla metallhalter är uttryckta i µg/g torrsubstans.

Sjöar	Gf (%)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Hg (µg/g)
MUNKSJÖN	32	250	140	880	2,6	140	51	1,3
Andra sjöar i f-län ^a	13-47	21-65	37-84	210-620	0,8-1,9	25-98	22-51	0,30-0,84
C. Vättern ¹³		41-55	64-190	350-780	2,2-4,2	35-50	25-40	0,09-0,18
Kärrafjärden ^{14 & 13}	7-15	≈500	5900	13000	22			≈1
C. Vänern ¹⁰	6-10	16-24	29-96	310-590	0,8-1,2	25-47		0,18-0,74
enskilda fjärder ¹⁰	7-11	23-39	55-89	420-1100	0,4-2,4	29-40	15-25	0,26-2,5
Dalslands Kanal ¹⁸	45	76	160	300	1,9	25	31	0,30-0,90
Stockholms fjärder ¹⁵	≈20	240	220	640	2,5	80	38	1,9
Bakgrund S Sverige ⁶	>10	20	80	240	1,4	15	10	0,16
Ursprunglig halt ⁶	>10	15	5	100	0,3	15	10	0,08

^a Avser Kåvasjön, Stensjön, St Nätaren, Ryssbysjön & Rocksjön, 1998³.

Om man vill sätta metallhalterna i Munksjöns ytsediment i relation till den klassindelning som föreslås i de nya bedömningsgrunderna för miljö kvalitet¹⁶, klassas medelhalten för bly som ”låg” och zink som ”måttligt hög”, medan övriga metaller förekommer i ”höga halter”.



Figur 6. Metallhalterna i Munksjöns ytliga sedimentlager (relaterat till Ts) i jämförelse med de haltnivåer som enligt bedömningsgrunderna¹⁶ anses representera ”nuvarande bakgrundshalt” respektive ”naturlig ursprungshalt”.

I samma bedömningsgrunder ges även exempel på troliga bakgrundshalter som idag förekommer i sediment som inte är påverkade av lokala utsläppskällor, respektive ”naturliga ursprungliga halter” som återfinns i djupa sedimentlager (Tabell 6). Metallhalterna i Munksjöns ytsediment relaterat till dessa generella haltnivåer framgår av Figur 6. Sett till vad som

anses vara nuvarande bakgrundshalt för södra Sveriges sjösediment framträder i förta hand kopparhalten som avvikande hög i Munksjön följt av krom och kvicksilver. Görs jämförelsen istället med den troliga ursprungshalten övergår bly från den minst förhöjda till den mest förhöjda metallen (Figur 6).

Resultat - PCB

Samtliga enskilda analysresultat redovisas i analysrapporten från SINTEF i Bilaga 14, där även en mer detaljerad beskrivning av analysmetodik, mätosäkerheter etc finns beskrivet. PCB-halterna är i likhet med metallerna här återgivna i förhållande till torrsubstanshalten.

Olika statistiska beräkningar av resultaten jämte en omräkning av summa-PCB (s-PCB) relaterat till den organiska halten har gjorts i Bilaga 15 (:3). Även stabila organiska ämnen uppvisar ett positivt samband med sedimentens organiska halt i analogi med metaller. Utdrag ur Bilaga 15 presenteras i Tabell 7.

Tabell 7. Halten summa-PCB i de ytliga sedimentlagren (0-1 cm) i Munksjön i september 1998. Medelvärden med 95% konfidensintervall för 7 kongener uttrycka både relaterat till torrsubstanshalt (Ts) och till organisk halt (Gf) respektive för alla 10 analyserade kongener relaterat till Ts. Antalet analyserade prover är 10 st.

Underst presenteras den procentuella fördelningen mellan olika kongener i Munksjöns ytsediment.

	s-PCB (7) ng/g Ts	s-PCB (7) µg/g Gf	s-PCB (10) ng/g Ts
Medelhalt ± 95% konf.int.	144 ± 50	0,44 ± 0,14	157 ± 53
Median	105	0,35	115
Min	54	0,24	60
Max	284	0,92	304

PCB-kongen	28	52	101	105	118	138	153	156	180	209
%	(6)	6	12	3	8	23	22	3	15	3

De tre analyserade kongener som normalt inte brukar ingå i s-PCB är de som utgjorde den lägsta andelen i Tabell 7, nr 105, 156 och 209. Det faktum att medel- och medianhalten för summan av de 7 kvarvarande kongenerna (s-PCB(7)) skiljer sig relativt mycket åt (144 respektive 105 ng/g Ts) illustrerar den heterogena fördelningen av PCB i Munksjön. Dessa 7 kongener anses vanligtvis utgöra mellan 15 och 25 % av total PCB¹⁵.

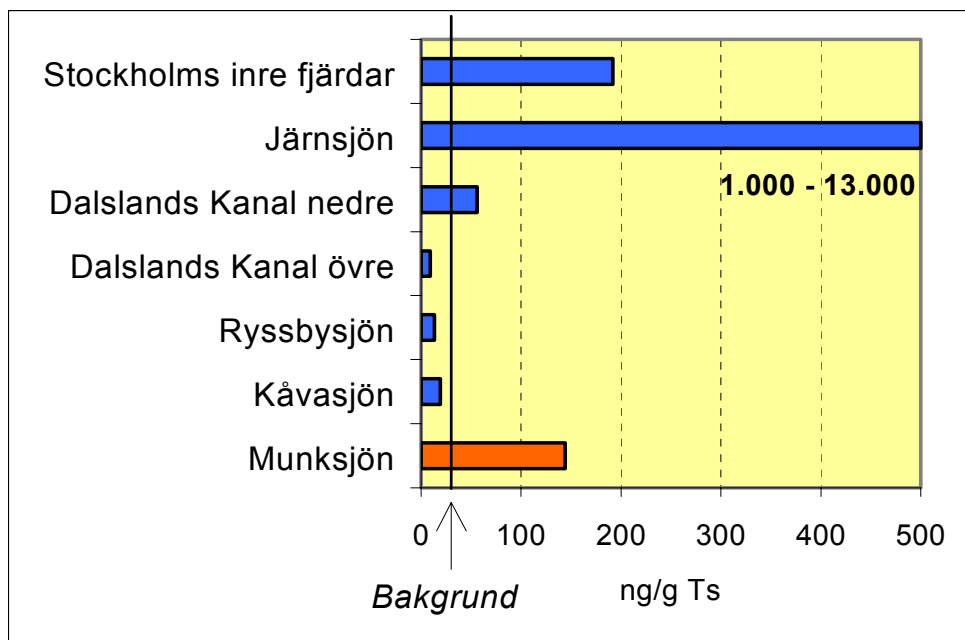
Högst PCB-halter i sediment registrerades; nära den östra stranden i den södra delen, i området längst åt öster nära Rocksjöåns mynning, samt inom det fiberrika området nära den norra djuphålan (prov nr 364, 372 respektive 379). Enligt en tidigare sammanställning av Lagerkvist¹⁷ har högre PCB-halter uppmätts inom fiberbanken än utanför. Dock gäller detta prov som uttagits och analyserats vid olika tillfällen. Enligt denna studie finns inga sådana indikationer. Vid några mindre undersökningar i Munksjön 1989 och 1992 (referenser i Lagerkvist¹⁷) registrerades samma medianhalt som 1998, 105-110 ng/g torrsubstans. Vid en enstaka analys 1998 uppmättes 200 ng/g Ts i Munksjöns ytsediment³. Det finns således inga tecken på att PCB-halten i sjön är på väg att minska.

År 1998 bestämdes PCB-halten även i några andra sjöar inom Jönköpings län, Kåvasjön och Ryssbysjön. Jämfört med dem tycks PCB-halten i Munksjöns ytsediment vara 7-10 gånger högre. Jämförelser kan även göras med ett femtontal sjöar i Dalslands Kanals sjösystem, där totalhalten PCB bestämts i sjöarnas ytsediment¹⁸. Utgående från att de 7 kongenerna utgör ca 20 % av det totala PCB-innehållet¹⁵, låg s-PCB(7) på nivån 9 ng/g Ts uppströms Laxsjön respektive 56 ng/g Ts nedströms.

I den PCB-belastade och numera sanerade Järnsjön i Emån låg PCB-halten i sedimenten på en betydligt högre nivå, 1000-13 000 ng/g Ts¹⁹. Senare års undersökningar i de ytliga sedimentlagren i Stockholms inre fjärdar¹⁵ har visat på PCB-halter i samma storleksordning som i Munksjön (medelhalt: 192 ng/g Ts, Medianhalt: 83 ng/g Ts). PCB-halten i Munksjöns ytsediment i förhållande till dessa andra refererade vattenområden åskådliggörs i Figur 7.

Författarna till Stockholmsrapporten¹⁵ har valt 20 ng/g Ts som ”övre gräns för bakgrundshalt av summa-PCB(7) i Stockholmsområdet”. Om samma värde väljs som bakgrundshalt för Munksjön leder det till en haltförhöjning för PCB på ca 7 gånger. Väljs istället haltnivån i sjöarna i övre delarna av Dalslands Kanal på ca 10 ng/g Ts som troligt bakgrundsvärde blir haltförhöjningen i Munksjön den dubbla.

När det slutligen gäller fördelningen mellan de olika kongenerna i Munksjöns sediment enligt Tabell 7, så kan en jämförelse lämpligen göras med den tillståndsklassning för PCB-kongener i sediment som anges i bedömningsgrunderna för kust och hav²⁰. Enligt den senare verkar fördelningen i Munksjön följa ett relativt normalt mönster.



Figur 7. Medelhalten för s-PCB(7) (summan av 7 PCB-kongener) i Munksjöns ytsediment 1998 jämfört med motsvarande värden för några andra svenska vattenområden. Som trolig "bakgrundshalt" har angivits två alternativ i enlighet med texten.

METALLER OCH STABILA ORGANISKA ÄMNEN I FISK

Omfattning och metodik

Gädda infångades i Munksjön genom fiskevårdsföreningens försorg under sommarhalvåret 1999. Tolv gäddor inom viktsintervallet 0,6 till 1,7 kg har undersökts. Vikt, längd (total) och kön har bestämts medan åldern har utlästs från gäddans vingben (*pterygoid*) som utpreparerats efter kokning. Kvicksilverhalten har bestämts på ryggmuskulaturen med modifierad flödesinjektor kopplad till AAS (metod enligt Uhrberg, MeAna-Konsult).

Ett tiotal abborrar infångades under hösten 1998 genom Länsstyrelsens försorg, dels i Munksjön, dels i området strax norr om Visingsö i Vättern. För varje individ bestämdes förutom vikt, totallängd, kön och ålder (på *operculum*) även kroppslängd (totallängd – stjärtfenans längd), reproduktionsfas, näringsstatus och levervikt.

Koncentrationen av metallerna Cu, Pb, Zn, Cd, Cr och Ni i abborren bestämdes i levervävnaden samt Hg och de klororganiska föreningarna PCB (7 kongener), hexaklorhexan (HCH), hexaklorbensen (HCB) och DDT-fraktionen DDE i vävnad från ryggmuskeln. Analyserna gjordes vid ITM,

Stockholms Universitet. Analysmetoder och vissa ytterligare detaljer beskrivs i en separat rapport som utgivits av Vätternvårdsförbundet²¹.

Resultat

Analysresultaten för gädda redovisas i Tabell 8. Normalt föreligger det ett positivt samband mellan storlek och kvicksilverhalt hos gädda. För att i möjligaste mån få ett standardiserat mått för kvicksilverhalten är det därför vanligt att relatera den uppmätta kvicksilverhalten till vikten hos varje individ, vilket har gjorts i Tabell 8. Det bör dock betonas att detta samband inte är allmängiltigt och att värdena för 1-kg gädda därför måste behandlas med viss reservation.

Tabell 8. Analyserade gäddor från Munksjön 1999 samt omräkning av kvicksilverhalten till att gälla för 1-kg gädda.

	Vikt (kg)	Längd (cm)	Ålder (år)	Kön	Hg-halt (mg/kg Vs)	1-kg gädda (mg/kg Vs)
	0,96	52	5+	hona	0,201	0,21
	1,23	57	6+	hona	0,501	0,41
	1,13	57	5+	hona	0,330	0,29
	0,78	47	4+	hona	0,328	0,42
	0,90	49	5+	hona	0,228	0,25
	0,63	46	4+	hona	0,254	0,40
	1,73	65	5+	hona	0,469	0,27
	0,80	52	5+	hona	0,299	0,37
	0,60	44	4+	hona	0,239	0,40
	0,86	52	4+	hane	0,472	0,55
	0,60	43	4+	hona	0,278	0,46
	0,93	51	4+	hona	0,321	0,35
Medelhalt	0,93	51			0,33	0,37
95% konf.int.	0,06	1			0,02	0,02
Median	0,88	52			0,31	0,39
Max	1,73	65			0,50	0,55
Min	0,60	43			0,20	0,21

Kvicksilverhalten i gädda från Munksjön uppvisar en relativt liten spridning kring medelhalten 0,33 mg/kg våtsubstans (Vs). Omräknat till 1-kg gädda ligger kvicksilverhalten på 0,37 mg/kg. Tidigare analyser av gädda från Munksjön har resulterat i kvicksilverhalter kring 0,4-0,6 mg/kg under 1970- och 1980-talet respektive 0,20-0,30 mg/kg för sammanlagt 9 gäddor under

första delen av 1990-talet¹⁷. 1999 års resultat tyder på att situationen är relativt stabil.

Jämfört med andra områden är kvicksilverhalten i Munksjöns gäddor förhållandevis låg. Kvicksilverhalten i 1-kg gädda ligger exempelvis på samma nivå som i de minst påverkade delarna av Vänern²². Medelhalten i 1-kg gädda från sjöar i olika regioner i södra Sverige varierar mellan 0,5 och 1 mg Hg/kg¹⁶. Enligt de nya bedömningsgrunderna betecknas kvicksilverhalter i 1-kg gädda lägre än 0,20 mg/kg som ”mycket låga, naturligt förekommande” medan det haltintervall som är aktuellt för Munksjön, 0,20-0,50 mg/kg benämns ”låga halter, oftast förhöjda i förhållande till bakgrund”.

Alla grunddata för de undersökta abborrarna från Munksjön och södra Vättern redovisas i Bilaga 16. Bilagan är hämtad från Vätternvårdsförbundets rapport²¹. Samtliga undersökta abborrar var hannar. Fisken var genomsnittligt sett något större från Visingsö än från Munksjön, vilket kan ha inverkat på analysresultaten.

Tabell 9. Kvicksilverkoncentrationer i mindre abborre (huvudsakligen inom längdintervallet 15-20 cm) från Munksjön och i Vättern, Visingsö, 1998 jämfört med några andra vattenområden. Värdena avser aritmetiska (Vänern) respektive geometriska medelhalter (övriga). Uppgifterna har hämtats från Bignert²¹ och Lindeström & Grotell²².

Kvicksilverhalter i abborrmuskel	Antal	År	Hg-halt (mg/kg Ts)
Munksjön	10	1998	0,19
Vättern, Visingsö	9	1998	0,09
Vättern, Röknen ^a	11	1998	0,23
Vänern, 4 lokaler	4 * 10	1998	0,11-0,15
Referenssjöar^b			
Bälgsjön	10	1994	0,21
Skärgölen	10	1995	0,42
Stensjön	10	1997	0,31
Rotehogstjärn	10	1997	0,38
Allgjuttern	10	1997	0,18
St. Skärsjön	10	1997	0,31

^a Något större abborre än det angivna intervallet

^b Sjöar i olika delar av landet som undersöks inom det nationella övervakningsprogrammet

Kvicksilverhalten i abborre från Munksjön och Visingsö 1998 redovisas i Tabell 9 tillsammans med motsvarande uppgifter från ett antal ytterligare

vattenområden. Kvicksilverhalten i Munksjön var i genomsnitt dubbelt så hög som i abborre från Visingsö i Vättern. Abborre som ungefär samtidigt infångades och analyserades från norra Vättern hade istället en något högre kvicksilverhalt än i Munksjön, men med tanke på att denna fisk samtidigt var större så får haltnivåerna anses ligga på ungefär samma nivå. I relation till de referenssjöar som fortlöpande undersöks i landet var kvicksilverhalten i Munksjöns abborrpopulation i allmänhet lägre (Tabell 9).

Övriga metaller i abborre redovisas i Tabell 10. I abborrlever från både Munksjön och Visingsö låg blyhalten under analysmetodens detektionsgräns, fransett för några enstaka fiskar som uppvisade blyhalter på 0,02-0,03 µg/g Ts. Även nickelhalten understeg detektionsgränsen för flertalet fiskar. Vid beräkning av medelhalten har halter under detektionsgränsen tilldelats halva detektionsgränsens värde. Beräknade medelhalter som innehåller sådana värden under detektionsgränsen är satta inom parentes i tabellen.

Tabell 10. Metallkoncentrationer i mindre abborre (huvudsakligen inom längdintervallet 15-20 cm) från Munksjön och i Vättern, Visingsö, 1998 jämfört med några andra vattenområden. Värdena avser aritmetiska (Vänern) respektive geometriska medelhalter (övriga). Uppgifterna har hämtats från Bignert²¹ och Lindeström & Grotell²². För uppgifter om antal och fångstår hänvisas till Tabell 9. Observera att sorterna skiljer sig åt för olika metaller.

Metallhalter i abborrlever	Cu (µg/g Ts)	Pb (ng/g Ts)	Zn (µg/g Ts)	Cd (µg/g Ts)	Cr (µg/g Ts)	Ni (ng/g Ts)
Munksjön	12	(11)	101	0,42	0,19	(42)
Vättern, Visingsö	7,1	(13)	82	1,7	(0,14)	(33)
Vättern, Röknen ^a	9,6	(26)	109	3,2	0,17	(31)
Vänern, 4 lokaler	7,3-9,5	51-68	98-114	1,2-2,4	0,01-0,03	19-30
Referenssjöar^b						
Stensjön	28	140	-	0,17	0,37	110
Rotehogstjärn	16	140	-	0,79	0,27	91
Allgjuttern	22	94	-	0,86	0,25	82
St. Skärsjön	9,5	160	-	5,8	0,29	97

^a Något större abborre än det angivna intervallet

^b Sjöar i olika delar av landet som undersöks inom det nationella övervakningsprogrammet

Kopparhalten i abborre från Munksjön är enligt Tabell 10 något högre i Munksjön än i Vättern. Denna skillnad kan dock bero på skillnader i storlek, eftersom halten koppar (liksom flertalet övriga metaller) normalt sett är högre hos mindre fiskar än hos större²³, dvs tvärtemot vad som gäller för kvicksilver. Jämfört med de referenssjöar som undersöks inom det nationella mätprogrammet verkar kopparhalten vara något lägre i abborre från Munksjön.

Övriga analyserade metaller ligger på samma nivå eller lägre (kadmium) i Munksjön än i Vättern. Jämfört med referenssjöarna märks en väsentligt lägre halt av framför allt bly i abborre från Munksjön.

Orsaken till dessa skillnader behöver inte i första hand vara kopplad till motsvarande skillnader i metallförekomst i vattenmassa och sediment eller metalltillförseln till respektive sjö. Det är troligare att en rad omgivningsfaktorer i sjöarna och dess avrinningsområden skiljer sig åt, vilka såväl direkt som indirekt styr metallernas tillgänglighet för, och fördelning i, sjöarnas biomassa. Munksjön relativt höga näringsrikedom innebär exempelvis att metallhalterna i fisk generellt sett bör vara lägre än under motsvarande exponeringsförhållanden i en näringsfattig sjö.

När det gäller halten av olika klorerade organiska ämnen i abborrmuskulatur så redovisas detta översiktligt i Tabell 11 (för detaljer hänvisas till Bilaga 16:3). Signifikant högre halter av PCB förekom i abborren från Munksjön jämfört med Vättern. Skillnaden är i genomsnitt ca 5 ggr. I förhållande till referenssjöarna är haltnivån väsentligt högre i Munksjön. Jämförelsen görs med ledning av kongenen CB-153, vilken används som en jämförbar enhet mellan olika metoder. På denna kongen har även Livsmedelsverkets gränsvärde för saluhållning av fisk baserats, vilket ligger på 100 µg/kg färskvikt²⁴. Omräknat till färskvikt ligger halten av CB-153 i abborre från Munksjön på ca 8 µg/kg färskvikt, vilket således är långt under gällande gränsvärde. Abborren, som har en relativt låg fetthalt, ackumulerar dock förhållandevis lite av de klorerade organiska ämnena jämfört med fetare fisk som exempelvis lax och öring.

Till skillnad från vad som anförts ovan beträffande sedimenten, så tyder fördelningen mellan PCB-kongener hos abborren på att det finns en lokal källa för PCB i anslutning till Munksjön (se Bilaga 16:3). Av Vätternvårdsförbundets rapport²¹ framgår att andelen lågklorerade PCB är avvikande stor i abborre från Munksjön jämfört med abborre från Visingsö och Röknen i Vättern, vilket enligt författaren ”antyder att abborrarna från Munksjön befinner sig närmare lokala källor”. Detta kan förklaras med att lågklorerade kongener (dvs sådana med lägre nummer) bryts ner snabbare i naturen än högklorerade. I en utsläppssituation ska man därför förvänta sig en relativt hög proportion av lågklorerade PCB-kongener jämfört med lokaler som inte är påverkade av några lokala källor²¹.

Situationen i Munksjön vad gäller metaller och PCB (CB-153) i abborrvävnad jämfört med de andra sjöarna åskådliggörs i Figur 8.

Tabell 11. Koncentrationer av klorerade organiska ämnen i mindre abborre (huvudsakligen inom längdintervallet 15-20 cm) från Munksjön och i Vättern, Visingsö, 1998 jämfört med några andra vattenområden. Värdena avser aritmetiska (Vänern) respektive geometriska medelhalter (övriga). Uppgifterna har hämtats från Bignert²¹ och Lindeström & Grotell²². För uppgifter om antal och fångstår hänvisas till Tabell 9. Observera att halterna skiljer sig åt för olika ämne och att de är uttryckta som fettvikt (Fv).

Klorerade ämnen i abborrmuskel	CB-153 (µg/g Fv)	sPCB(7) (µg/g Fv)	DDE (µg/g Fv)	γ-HCH (ng/g Fv)	HCB (ng/g Fv)
Munksjön	1,34	6,14	0,64	8	21
Vättern, Visingsö	0,15	0,47	0,40	14	14
Vättern, Röknen ^a	0,38	1,38	1,0	17	38
Vänern, 4 lokaler	0,06-0,25	0,33-0,73 ^c			
Referenssjöar^b					
Stensjön	0,04		0,13	11	7
Rotehogstjärn	0,02		0,02	15	6
Allgjuttern	0,07		0,15	16	7

^a Något större abborre än det angivna intervallet

^b Sjöar i olika delar av landet som undersöks inom det nationella övervakningsprogrammet

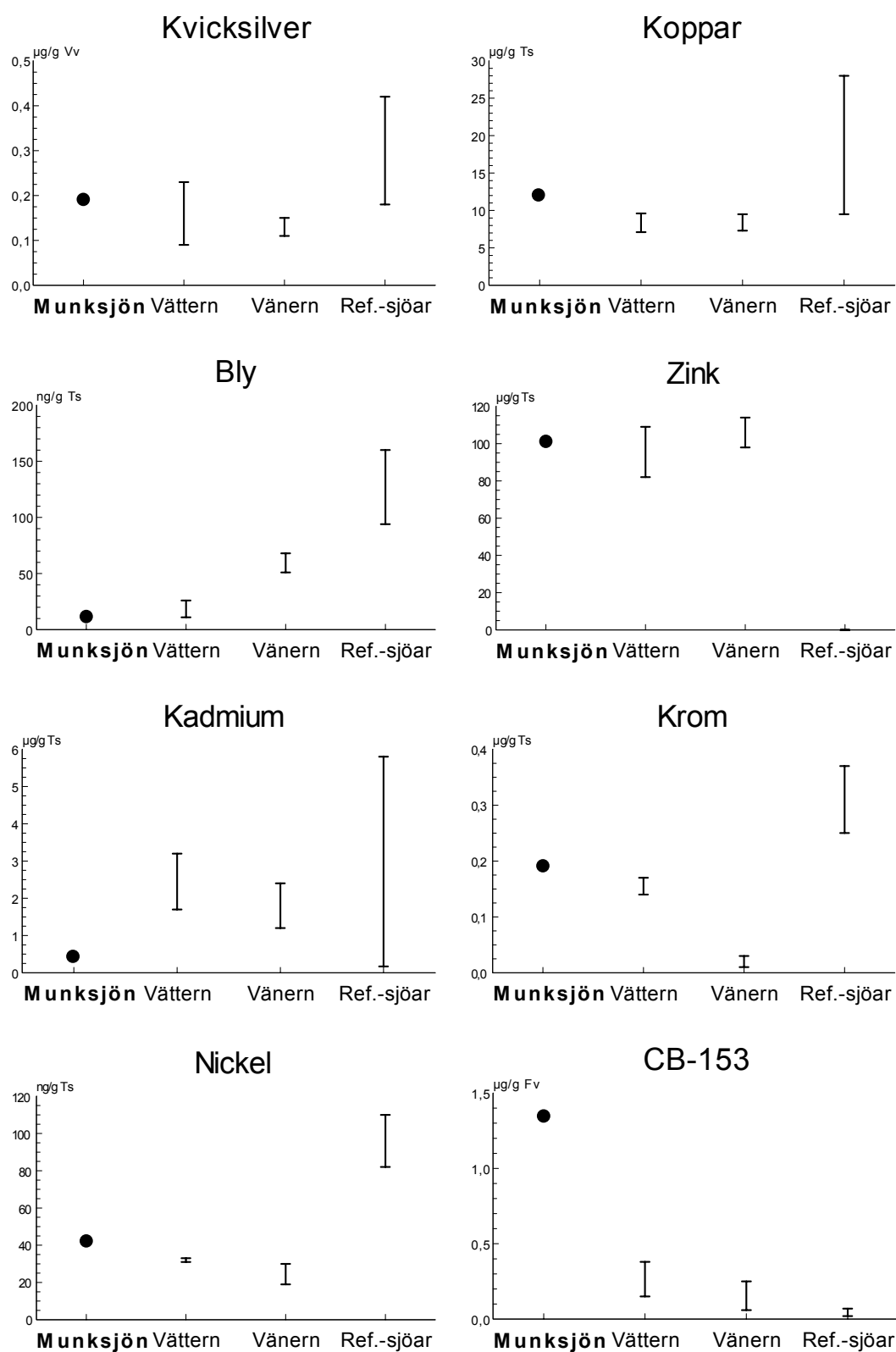
^c Avser sPCB(10)

Koncentrationen av övriga klorerade organiska ämnen avviker inte nämnvärt i abborre från Munksjön jämfört med den från Vättern (Tabell 11). DDT:s nedbrytningsprodukt DDE liksom hexaklorbensenen (HCB) ligger dock på en högre nivå i både Munksjön och Vättern än i referenssjöarna. Lindan (γ-HCH) uppvisar istället en lägre halt i Munksjön än i övriga sjöar. I förhållande till de tidigare gränsvärdena för dessa ämnen är halterna i abborre från Munksjön väsentligt lägre²¹.

SAMMANFATTANDE DISKUSSION OCH FÖRSÖK TILL SYNTES AV MILJÖSITUATIONEN

Utredningen har visat att halten av olika metaller i Munksjöns vatten (mätt i utloppet från sjön) i några fall är lite högre, i andra fall lite lägre än i sjöns huvudinlopp, Tabergså. Generellt sett är metallhalterna i vatten relativt låga och inom ramen för vad man finner i opåverkade vatten i södra Sverige.

Ett försök till metallbalans för Munksjön på basis av senare års mätningar indikerar att Tabergså svarar för nästan hälften av det totala tillskottet till sjön av metallerna bly, kadmium och kvicksilver. För koppar och zink verkar källfördelningen vara mer jämnt fördelad mellan de fyra källorna Tabergså, Rocksjoån, Simsholmens utsläpp och dagvatten från Jönköpings



Figur 8. Koncentrationen av metaller och PCB-kongen CB-153 i vävnad hos abborre från Munksjön jämfört med några andra sjöar. Observera att värdena för nickel och bly är osäkra eftersom de baseras på flera <-värden (se texten).

tätort. Enligt metallbalansen fastläggs 30-50 % av all tillförsel av dessa metaller i Munksjöns sediment.

Krom och nickel kommer främst från Simsholmens avloppsreningsverk följt av de båda vattendragen. Fastläggningsgraden i Munksjön för dessa metaller verkar vara mindre än för övriga. En alternativ förklaring är att metalltillflödet underskattats pga mättekniska faktorer eller att någon betydelsefull källa har förbisetts.

Ingenting i resultaten tyder på att Munksjöns sediment skulle utgöra någon egentlig källa för någon av metallerna. Istället tycks sedimenten enligt mätningarna uteslutande fungera som en metallfälla, åtminstone sett till genomsnittet över ett år. För den mest miljöfarliga metallen, kvicksilver, har fastläggningsgraden beräknats till 30-35 %. Samtidigt har kvicksilverhalten genomgående legat på samma eller lägre nivå i Munksjöns utflöde än i de större tillflödena (med reservation för att halten i de flesta fall understigit analysmetodens detektionsgräns). Dock har lägst kvicksilverhalt registrerats i utsläppen från Munksjö AB och Simsholmens ARV, där halten med något enstaka undantag genomgående varit lägre än metodens detektionsgräns.

Till skillnad från vattnet är metallhalterna i Munksjöns ytsediment relativt höga. Haltnivån är högre för samtliga analyserade metaller än i exempelvis andra undersökta sjöar inom Jönköpings län. Till viss, men dock inte avgörande, del kan detta hänföras till den höga organiska halten i Munksjöns sediment, som bidrar till att fastlägga metallerna.

Enligt de nya bedömningsgrunderna för miljö kvalitet kan metallhalten i Munksjöns sediment klassificeras som låg för bly, måttligt hög för zink respektive hög för övriga metaller. Jämfört med vad som anses vara ”nuvarande bakgrundshalt för Södra Sverige” är framför allt kopparhalten förhöjd följt av krom och kvicksilver.

Kvicksilverhalten i sedimenten är något högre i området med inslag av cellulosafiber jämfört med övriga delar av sjön. Tar man hänsyn till skillnader i organisk halt är dock kvicksilverhalten densamma i båda sedimenttyperna. Det finns samtidigt indikationer på, dock inte signifikanta, att kvicksilverhalten är något högre i de ytliga sedimentlagren än i underliggande skikt. Detta skulle tyda på att det för närvarande inte sker någon överlagring av sjöns botten med kvicksilverfattigare material. En förklaring kan vara att kvicksilverhaltigt fibermaterial inom den del av det fibertäckta området som utgörs av transport- och erosionsbottenar, fortlöpande bryts ner och därefter transporteras vidare ut till sjöns ackumulationsbottenar, där det åter sedimenteras.

Ungefär 15 % av sjöns bottenyta utgörs av ackumulationsbottenar enligt gjorda beräkningar. Den bottenarea som innehåller synlig förekomst av

cellulosafiber uppgår till ungefär 6 ha, vilket utgör ca 7 % av sjöns totala yta.

Den förhöjda metallförekomsten i Munksjöns bottensediment återspeglas inte hos fisken. Metallhalterna i fiskvävnad är istället låga jämfört med andra vattenområden i mellersta och södra Sverige. Kvicksilverhalten i gädda från Munksjön är lägre än vad som är normalt i skogssjöar i denna del av landet och jämförbar med exempelvis de minst påverkade delarna av Vänern. Halten benämns som "låg" enligt de nya bedömningsgrunderna.

Även i abborre (muskelvävnad) är kvicksilverhalten i Munksjön enligt dessa undersökningsresultat relativt låg, och exempelvis lägre än i de referenssjöar som fortlöpande undersöks i landet. Dock var halten högre i Munksjön än i abborre som samtidigt fångades utanför Visingsö i Vättern.

Inte heller övriga analyserade metaller uppvisar några förhöjda halter i abborre (levervävnad) från Munksjön. De smärre avvikelser som observerats jämfört med Vättern kan troligtvis hänföras till i första hand skillnader i fiskens storlek. Jämfört med de nationella referenssjöarna är haltnivån i Munksjön lägre, och för några metaller mycket lägre.

Förekomsten av polyklorerade bifenyler, PCB, är dock tydligt förhöjd i Munksjön, både i sediment och i fisk. Jämfört med andra undersökta sjöar i Jönköpings län är PCB-halten i Munksjöns sediment 7-10 gånger högre. Haltnivån är ungefär densamma som i sediment i Stockholms inre fjärdar, men avsevärt lägre än i exempelvis den sanerade Järnsjön i Emån.

I abborre (muskelvävnad) registrerades ca 5 gånger högre PCB-halt i Munksjön än i Vättern, medan haltnivån är väsentligt högre då jämförelsen istället görs med de nationella referenssjöarna. Dock ligger PCB-halten i abborre från Munksjön långt under Livsmedelsverkets gällande gränsvärde för saluhållning av fisk. Då ska man emellertid beakta att gränsvärdet främst är relevant för fet fisk och att abborren är förhållandevis mager.

Frågan uppkommer vilken som är den främsta källan för PCB i Munksjön. Betraktar man mönstret hos fördelningen mellan olika PCB-kongener så tyder den relativt stora andelen av lågklorerade kongener i abborre på, att det finns en "aktiv" källa i närheten. Sedimenten uppvisar dock en mer "normal" fördelning med lägre andel av dessa kongener, vilket rimligtvis borde tolkas som att detta PCB är "äldre" än i fisk. Om detta är en korrekt slutsats så borde det inte i första hand vara sedimenten som är den primära källan för PCB-förekomsten i fisk utan istället någon annan okänd källa i närheten. Det bör dock betonas att denna preliminära tolkning är högst osäker.

Det kan slutligen konstateras att andra analyserade stabila organiska ämnen, DDE, HCB, HCH etc, inte förekommer i några avvikande höga halter i abborre från Munksjön.

Utredningen leder sammanfattningsvis till följande slutomdöme.

En central frågeställning har varit att försöka belysa om sedimenten i Munksjön idag utgör en viktig källa eller ej för metaller och stabila organiska ämnens spridning till Vättern och till fisk i Munksjön. För metaller, inklusive kvicksilver, går det med rimligt god säkerhet att påstå att så inte är fallet.

För PCB gäller preliminärt samma slutsats, vilken dock är betydligt mer osäker än för metaller. Det går därför på basis av dessa undersökningar inte att utesluta att sedimenten har en betydande roll för bl.a. de förhöjda PCB-halterna i fisk i Munksjön.

Även om de fibertäckta bottnarna sannolikt bidrar till att fortlöpande sprida kvicksilverhaltigt material till andra delar av sjön, så finns det inga indikationer på att detta idag leder till några problem i form av förhöjda kvicksilverhalter i fisk eller en ökad uttransport av kvicksilver till Vättern. Kvicksilverhalten är något högre inom det fibertäckta området än utanför om man relaterar halten till torrsubstans, men i relation till den organiska halten gäller istället det motsatta förhållandet. Enligt de relativt få analyser av PCB som gjorts finns det heller inga indikationer på att detta ämne skulle förekomma i högre halter inom fiberområdet än utanför detsamma.

Sett till föroreningssituationen i Munksjön vad gäller förekomsten av metaller och stabila organiska ämnen går det således inte att peka ut de fiberhaltiga sedimenten som något påtagligt problem idag. Däremot bidrar nedbrytningen av dessa sediment sannolikt till en försämrad syresituation i sjön, vilket i sin tur kan vara såväl positivt som negativt ur metallsynpunkt. Genom bildning av starka sulfider kan låga syrgashalter bidra till att fastlägga metaller i sedimenten och därmed göra dem mindre biotillgängliga. För kvicksilver är situationen dock mer komplex, eftersom bildningen av biotillgängligt metylkviksilver samtidigt anses gynnas av att syrgashalten pendlar kring noll²⁵. Samtidigt kan ansträngda syrgasförhållanden försvåra för bl.a. fisken att reglera metallupptaget.

Till sist finns det anledning att påpeka att en viss förhöjning av kvicksilverhalten i fisk jämfört med dagens situation i Munksjön mycket väl kan inträffa även vid en oförändrad eller reducerad kvicksilverhalt i sedimenten. Denna risk inträffar om en eller flera omgivningsfaktorer förändras, som idag bidrar till de förhållandevis låga kvicksilverhalterna i sjöns fiskfauna. Bland dessa bör främst nämnas näringsförhållandena i sjön. En påtaglig reduktion av i första hand fosforhalten i vatten kommer förmodligen att leda till att inte bara kvicksilverhalten, utan även halten av

flertalet andra metaller och PCB, ökar i bl.a. fiskens vävnader. Detta bör beaktas vid beslut om framtida utsläppsbegränsande åtgärder kring sjön.

REFERENSER

-
- ¹ Crona J., Karlsson, M. och Karlsson, R. (1998). En metallbudget för Munksjön. Examensarbete vid Ingenjörshögskolan i Jönköping.
 - ² Lindeström, L. (1998). Programförslag gällande fortsatta utredningar om kvicksilversituationen i Munksjön, MFG 1998-07-09, samt Komplettering nr 1, MFG 1998-08-11.
 - ³ Eriksson, U. Sjöstedt, T. & Torstensson, H. (1998-99): Rapporter över Vätterns tillflöden (Jönköpings län) under 1995-99). KM lab recipientkontroll.
 - ⁴ Hämtat från Institutionen för Miljöanalys' hemsida (datavärd för Vätternvårdsförbundet).
 - ⁵ Lindeström, L. & Borg, H. (1991). Skogsindustrins tungmetallutsläpp. Metodstudier 1989-90. NV rapport 3877.
 - ⁶ Wiederholm, T. (red) (1999). Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. Bakgrundsrapport 1, kemiska och fysikaliska parametrar. NV rapport 4920.
 - ⁷ Brandt, M., Jutman, T. & Alexandersson, H. (1994). Sveriges vattenbalans. SMHI Hydrologi Nr 49.
 - ⁸ Lindeström, L. (1996). Metaller i Vättern. Tillförsel och källfördelning 1993-95. Rapport nr 39 från Vätternvårdsförbundet.
 - ⁹ Kindbom, K. Et al (1998). Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi 1996. IVL Rapport B 1289.
 - ¹⁰ Lindeström, L. (1995). Metaller och stabila organiska ämnen i Vätern. Tillstånd, utveckling, källfördelning, risker. Åtgärdsgrupp Vätern, rapport nr 2.
 - ¹¹ Uppgifter från Lars Wennerberg, Tekniska kontoret Jönköpings kommun.
 - ¹² Håkanson, L. (1981). Sjösediment i recipientkontrollen, principer, processer och praktiska exempel. NV rapport 1398.
 - ¹³ Lindeström, L. (1993). Metaller i Vättern. Bedömning av tillförsel, tillstånd och möjliga konsekvenser. Rapport nr 32 från Vätternvårdsförbundet.
 - ¹⁴ Göthberg, A. Et al (1994). Minskad utlösningspotential för zink och kadmium i Kärrafjärdens sediment och möjliga orsaker. ITM rapport 30.
 - ¹⁵ Östlund, P., Sternbeck, J. & Brorström-Lundén, E. (1998). Metaller, PAH, PCB och totalkolväten i sediment runt Stockholm – flöden och halter. IVL B 1297.
 - ¹⁶ Naturvårdsverket (1999). Bedömningsgrunder för Miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. NV rapport 4913.
 - ¹⁷ Lagerkvist, G. (1994). Munksjön, tillstånd och miljörisker. Rapport från Länsstyrelsen i Jönköpings län på uppdrag av Jönköpings kommun.

-
- ¹⁸ Hasselrot, B. Och Carlsson, U. (1994). Sedimentundersökningar i Dalslands Kanals sjösystem 1993. Metaller och PCB. Meddelande 1994:3 från Länsstyrelsen i Älvsborgs län.
- ¹⁹ Naturvårdsverket (1992). Sanering av Järnsjön i Emån. NV rapport 3999.
- ²⁰ Naturvårdsverket (1999). Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Kust och hav. NV rapport 4914.
- ²¹ Bignert, A. (1999). Miljögifter i abborre från Vättern och Munksjön 1998. Rapport från Vätternvårdsförbundet under publicering.
- ²² Lindeström, L. & Grotell, C. (1999). Metaller och stabila organiska ämnen i Vänerfisk. Kap. 18 i: Väner, årsskrift 1999 från Vänerns vattenvårdsförbund, rapport nr 7.
- ²³ Landner, L. & Lindeström, L. (1998). Koppar i samhälle och miljö. En faktaredovisning av flöden, mängder och effekter i Sverige. Rapport från MFG, ISBN 91-630-7087-1.
- ²⁴ Livsmedelsverket (1995). SLV FS 1995:11.
- ²⁵ Regnell, O. & Ewald, G. (1991). Syrgashaltens inverkan på kvicksilvermetylering och kvicksilvrets fördelning mellan sediment och vatten från sjön Grycken – en laboratoriestudie. Rapport från ekologiska institutionen, Lunds Universitet.