

# Projekt Svartsjöarna



*Projekt- och erfarenhetsrapport  
över efterbehandling av kvicksilverförorenade fibersediment  
i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun*

2011: version 1



# Projekt Svartsjöarna

---

## *Projekt- och erfarenhetsrapport*

2011: version 1



## **Projekt Svartsjöarna**

*– projekt och erfarenhetsrapport, 2011:1*

UTGIVARE	Hultsfreds kommun, 0491-290 00
ANSVARIG ENHET	Kommunstyrelsen
REDAKTÖRER	Thorsten Jansson, Miljöreportage, Alexandra Zamparas och Joakim Schultzén, Empirikon AB
FÖRFATTARE	Se respektive kapitel!
FORM och REDIGERING	Karl-Eric Persson Media, Färjestaden
TRYCK	Åkessons Tryckeri AB, Emmaboda, 2011
OMSLAGSFOTO	Thorbjörn Svahn <i>Muddermassorna från sjöarna pumpades in i geotuber.</i>

# Innehåll

## FÖRORD 5

## SAMMANFATTNING 6

## ABSTRACT 9

### 1. SVARTSJÖARNA OCH PAULISTRÖMS-ÅN FÖRE ÅTGÄRD – BESKRIVNING AV FÖRORENINGSSITUATIONEN OCH HOTADE NATURVÄRDEN 12

1.1	Inledning	12
1.1.1	Hultsfreds kommun	13
1.1.2	Emåns värdefulla vattensystem	13
1.1.3	Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfreds kommun	15
1.1.4	Deponiområdet	16

### 2. PROJEKTETS FÖRUTSÄTTNINGAR, UTFORMNING OCH MÅL 17

2.1	Miljöproblemet i korthet	17
2.1.1	Kvicksilver i organismer	17
2.1.2	Kvicksilver och fiber i sediment	18
2.1.3	Kvicksilvertransporter i Pauliströmsån	18
2.2	Nationella och regionala miljömål	19
2.3	Projektets syfte och åtgärds mål	20
2.4	Åtgärdskrav	20
2.5	Riskbedömning	20
2.6	Kommunens beslut för val av åtgärdsriktning	20
2.7	Efterbehandlingsåtgärder	23
2.8	Huvudmannaskap och finansiering	23

### 3. PROJEKTLEDNING 24

3.1	Strategisk ledning	24
3.2	Projektets organisation	24
3.2.1	Projektstruktur	26
3.3	Planering	27
3.4	Upphandlingar	27
3.4.1	Legala förutsättningar	27
3.4.2	Upphandling av konsulttjänster	27
3.4.3	Entreprenadupphandling	27
3.5	Information	28
3.5.1	Nyhetsbrev	29
3.5.2	Hemsida	29
3.5.3	Pressmeddelanden, artiklar samt reportage i TV och radio	30
3.5.4	Presskonferenser	30
3.5.5	Öppet hus	30

3.5.6	Informationsmöten	30
3.5.7	Kontinuerlig kontakt med boende och journalister	30
3.5.8	Informationsbroschyrer	30
3.5.9	Informationstavla och studiebesök på arbetsplatsen	31

### 4. PROJEKTPROCESSEN 32

4.1	Förberedelseskedet	33
4.1.1	Ansvarsutredningar	33
4.2	Huvudstudie	34
4.2.1	Ytterligare behov av utredningar – komplettering av huvudstudie	35
4.2.2	Undersökningar för tillståndsansökan och förfrågningsunderlag	35
4.3	Miljöprövning	37
4.3.1	Samrådsfasen	37
4.3.2	Tillståndsansökan	38
4.3.3	Remissrundan	39
4.3.4	Miljödomstolens dom	40
4.3.5	Viktiga erfarenheter	40
4.4	Övriga tillstånd, avgifter m.m.	41
4.5	Förberedelser – entreprenadupphandling	44
4.5.1	Handlingar för upphandling av entreprenör	45
4.6	Genomförande	46

### 5. TALENTREPRENAD 48

5.1	Detaljprojektering	48
5.2	Utförande	50
5.2.1	Ytor för avvattnings och deponering	51
5.2.2	Muddring	52
5.2.3	Avvattnings	60
5.2.4	Vattenrening	61
5.2.5	Deponering och täckning	63
5.3	Regleringar	64
5.3.1	Betalningsplaner	64
5.4	Ändrings- och tilläggssarbeten	64
5.5	Besiktningar	65
5.5.1	Besiktningarnas genomförande	65
5.6	Entreprenadkontroll	68
5.7	Totalentreprenad som vald entreprenadform i saneringsprojekt	70
5.7.1	Allmänt	70
5.7.2	Entreprenadjuridik	70
5.7.3	Totalentreprenaden i Svartsjöarna och några erfarenheter	71

## 6. JURIDIK 73

6.1	Markfrågor och ersättningar	73
6.1.1	Fastigheter	73
6.1.2	Vägar	73
6.1.3	Återställning	74

## 7. MILJÖKONTROLL 75

7.1	Kontrollprogram före åtgärd	76
7.1.1	Referensundersökningar före åtgärd 1996	76
7.1.2	Sedimentkartering i Svartsjöarna år 1997	79
7.1.3	Kompletterande mätningar i Svartsjöarnas vattenpelare 1998	79
7.1.4	Kompletterande mätningar i Norra Svartsjöns sediment hösten 1999	79
7.1.5	Referensundersökningar före åtgärd 2003	79
7.1.6	Kompletterande sedimentkartering i Svartsjöarna 2004	82
7.1.7	Resultat och slutsatser från kontrollprogrammen före åtgärd	82
7.2.	Kontrollprogram under åtgärd	89
7.2.1	Förutsättningar och krav	89
7.2.2	Organisation miljökontroll	90
7.2.3	Provtagningsprogram	90
7.2.4	Utvärdering av mätusen, den kontinuerliga provtagningen och de kontinuerliga mätningarna vid stationerna PÅ 2, PÅ 3 och PÅ 4	92
7.2.5	Miljökontroll under åtgärd – effekter av entreprenadarbetena på vattenkvalitet och Hg-flöden i Svartsjöarna och Pauliströmsån	92
7.3	Kontrollprogram under konsolideringsfasen	98
7.3.1	Provtagningsprogrammet	98
7.3.2	Resultat från kontrollprogrammet under konsolideringsfasen	99
7.4	Diskussioner och erfarenheter	102
7.4.1	Provtagning	102
7.4.2	Teknik	102
7.4.3	Administration	103
7.4.4	Logistik	103
7.5	Utvärdering av åtgärdens effekter	103
7.5.1	Inledning	103
7.5.2	Hg och fiber i Svartsjöarnas bottensediment	107
7.5.3	Hg i sedimentande material i Svartsjöarna	113
7.5.4	Hg, MeHg, Cu och övrig vattenkemi i Svartsjöarnas vatten	114
7.5.5	Hg i fisk och zooplankton i Svartsjöarna och i referenssjön Enegrenen	123
7.5.6	THg och MeHg i Pauliströmsån	130

7.5.7	Synpunkter på kontrollprogrammen – vad kunde ha gjorts bättre?	130
7.5.8	Slutsatser	136
7.5.9	Referenser	140

## 8. ENTREPRENÖRENS

### EGENKONTROLL 141

8.1	Förutsättningar och krav	141
8.1.1	Miljöprovning	141
8.1.2	Myndighetsvillkor	141
8.1.3	Beställarvillkor	142
8.1.4	Beställarens miljökrav beträffande kvarlämnade bottensediment	142
8.2	Verksamhetskontroll för entreprenaden	143
8.3	Miljöpåverkan under arbetstiden	143
8.4	Tillsynen	143
8.5	Diskussion och erfarenheter	143

## 9. PROJEKTETS RESULTAT OCH

### EFFEKTER 145

9.1	Saneringsresultat, uppfyllelse av åtgärds mål	145
9.2	Uppfyllelse av åtgärds krav	146
9.3	Projektkalkyler, upparbetade timmar och ekonomiskt utfall	146
9.3.1	Projektkalkyler	146
9.3.2	Upparbetade timmar	148
9.3.3	Kostnader	152
9.3.4	Nyckeltal i projekten	155
9.4	Ledtider i projektet	156
9.5	Möten i projektet	156

## 10. DOKUMENTATION 158

10.1	Lista över utförda utredningar	158
10.2	Sammanfattning av rapporter från utförda utredningar	159
10.3	Miljökontrollprogram	165

## 11. AVSLUTNING 166

## 12. TERMINOLOGI 167

## 13. KÄLLFÖRTECKNING 176

## 14. BILAGOR 177

Bilaga 1	Tidplan	177
Bilaga 2a	Nyhetsbrev	178
Bilaga 2b	Skrivna artiklar	184
Bilaga 3	Muddringsplan	186
Bilaga 4	Djupkartor	187
Bilaga 5	Koncentrationsprofiler	191

# Förord

Svartsjöprojektet har drivits i regi av Hultsfreds kommun och finansierats av Naturvårdsverket genom Länsstyrelsen Kalmar län samt med bidrag från berörd industri. Föreliggande rapport är resultatet av ett systematiskt insamlade av data och erfarenheter, såväl positiva som negativa, från genomförandet av detta saneringsprojekt. Rapporten har upprättats i samband med att åtgärderna slutförts och innehåller även en utvärdering av den efterföljande miljökontrollen.

I Svartsjöprojektet introducerades flera innovationer för saneringsprojekt i Sverige. En ny avvattnings-teknik användes för första gången i Sverige, s.k. geotuber. Det var också första gången som totalentreprenadsformen användes i statligt finansierat efterbehandlingsprojekt av den här storleken i Sverige. Återförandet av erfarenheter från verksamheten har därför från första början varit en särskilt viktig del av projektprocessen. Syftet med erfarenhetsrapportering är framför allt att ta till vara på sådan kunskap som kan vara till gagn för framtida liknande projekt i Sverige eller utomlands. Dessutom bör en bra erfarenhetsrapport återge mer än bara en ren beskrivning av projektets olika delar, dess tekniska lösningar och insamlade data. För en vidare förståelse av projektets ledning, organisering och genomförande är det nödvändigt att även tillhandahålla bakgrunden till de beslut som tagits vid projektprocessens korsvägar. Denna projektspecifika kunskap dokumenteras ofta endast i interna dokument och faller därför lätt i glömska.

Erfarenhetsrapporten för Svartsjöprojektet är ett verk av många pennor. *Olof Regnéll*, Cinnobex, har bidragit till kapitel 1, 2 och 9, samt med text om referensundersökningar, miljökontroll och efterföljande miljökontroll i kapitel 7. *Ulrika Larsson*, Empirikon AB, har skrivit om informationsinsatser och bidragit till sammanställningen av erfarenheter i kapitel 11 tillsammans med *Anders Helgée*, Hultsfreds kommun och Svartsjöprojektets styrgrupp. *Pär Elander*, HIFAB Envipro, har skrivit om projektering, deponiarbeten och besiktning i kapitel 5. *Hampus von Post*, Miljömanagement Svenska AB, har svarat för avsnitten om vattenarbeten och muddring och kontroll i kapitel 5 tillsammans med *Lars Blomgren*, HIFAB Envipro, som även skrivit om entreprenörens egenkontroll i kapitel 8. *Jens Pedersen*, Advokatfirman Jens Pedersen AB, har skrivit om besiktning i kapitel 5. *Mikael Hägglöf*, Fröberg & Lundholm Advokatbyrå AB (tidigare Mannheimer Swartling), har skrivit om miljöprövning i kapitel 4. *Jens Nilsson*, Hultsfreds kommun och *Bo Troedsson* från Emåförbundet har skrivit om miljökontroll i kapitel 7. *Kjell Hansson*, Empirikon AB har bidragit till kapitel 3, projektkalkyler och nyckeltal i kapitel 9 samt med erfarenheter från projektet. *Agneta Källberg*, Empirikon AB, har sammanställt uppgifterna om tid- och kostnadsredovisning i kapitel 9. Övriga texter och redaktionellt arbete av *Alexandra Zamparas* och *Joakim Schultzén* på Empirikon AB. *Thorbjörn Svahn*, Hultsfreds kommun, har delat med sig av bildmaterial och kommentarer. *Anders Svensson*, *Tommy Hammar* och *Lars Engström*, Länsstyrelsen Kalmar län har bidragit med erfarenheter och granskning av erfarenhetsrapporten.

Ett särskilt tack riktas till Hultsfreds kommun, Länsstyrelsen Kalmar län, Naturvårdsverket, medverkande konsulter och entreprenörer, samt berörda industrier och fastighetsägare, som på olika sätt varit delaktiga i det framgångsrika slutresultatet av Svartsjöprojektet.

# Sammanfattning



FIGUR 0.1. Sommar vid Svartsjöarna.

FOTO Alexandra Zamparas, Empirikon AB

## Rapportens uppläggnig

Rapporten inleds med kapitlet Svartsjöarna och Pauliströmsån före åtgärd – Beskrivning av förorenings-situationen och hotade naturvärden samt projektets förutsättningar och mål. Kapitlet om projektledning belyser projektets ledning, struktur och organisation samt de strategiska funktioner som hanterades inom ramen för projektledningen. Projektets dynamiska process från initiering till avslutning beskrivs i avsnittet Projektprocessen. Vidare i rapporten följer fördjupningar med utgångspunkt från de olika verksamheternas uppläggnig i projektet om totalentreprenaden, juridik, miljökontroll inklusive utvärdering av saneringens miljöeffekter, samt entreprenörens egenkontroll. Ett särskilt avsnitt sammanfattar projektets resultat och effekter och de erfarenheter som projektet efterlämnar i form av dokumentation. Hultsfreds kommun delger avslutningsvis sina erfarenheter och reflektioner av efterbehandlingen i avsnittet Avslutning.

## Bakgrund

Övre och Nedre Svartsjön är belägna ca 5 km uppströms Pauliströmsåns mynning i Emån. Pauliströmsån med omgivning är en miljö av vildmarkskaraktär med artrik bottenfauna och stora naturvärden. Nedströms Pauliström är ån ett av de få större vattendrag som inte rensats på sten för att underlätta flottning och är därför mycket sten- och blockrik. Bland naturvärdena kan nämnas starka populationer av flodpärlmussla och öring samt förekomsten av utter. Pauliströmsån mynnar i Emån som är ett av de mest värdefulla vattendragen i södra Sverige vad gäller geologi, biologi och landskapsbild. Naturen i avrinningsområdet är mycket varierad vilket ger förutsättningar för en god biologisk mångfald både på land och i vatten. Av dessa anledningar har hela Emåns huvudfåra och flera biflöden, däribland Pauliströmsån, utpekats som riksintresse för naturvärden enligt 2 kap. 6 § naturresurslagen.

Svartsjöarna har under lång tid fungerat som sedimentationsbassänger för cellulosafiber som släppts ut från Pauliströms bruk i Vetlanda kommun, ca 3 km uppströms sjöarna. Pauliströms bruk har varit i

drift sedan år 1900. Före 1960-talet saknade skogsindustrierna utrustning för att rena processavloppsvattnet från fiber. Stora mängder cellulosafiber släpptes därför ut till angränsande vattendrag, vilket har inneburit att fiberbankar har ansamlats i många svenska sjöar, vattendrag och kustområden. Under en period från början av 1940-talet till mitten av 1960-talet användes fenylkvicksilver för att impregnera massan och undvika slembildning i processen. Eftersom fenylkvicksilver inte är särskilt stabilt och inte nybildas finns troligen inte mycket kvar av denna kvicksilverform. Istället föreligger kvicksilvret som oorganiskt kvicksilver och metylkvicksilver.

De totala fiberutsläppen från Pauliströms bruk har uppskattats till mellan 15 000–20 000 ton. Större delen av dessa sedimenterade i Övre Svartsjön som är den första sjön nedströms Pauliström, men fiber förekom även i den norra delen av Nedre Svartsjön. Sjöarna är relativt små (12 respektive 25 hektar) men ursprungligen ganska djupa klarvattensjöar.

Saneringen av Övre och Nedre Svartsjön är ett efterbehandlingsprojekt där 256 000 m<sup>3</sup> kvicksilverförorenade fibersediment har muddrats. Utsedd entreprenör, DEC-DI, har muddrat förorenade botten-sediment, samt avvattnat och deponerat massorna på ett närliggande landområde. Projektet drevs av Hultsfreds kommun och finansierades med statliga medel från Naturvårdsverket genom Länsstyrelsen Kalmar län. Industrin har delfinansierat saneringen med ca 21 Mkr. Huvudansvarig för Svartsjöprojektet var Hultsfreds kommun. Den totala projektkostnaden är ca 120 MSEK.

En förvärrande omständighet vad gäller föroreningssituationen i Svartsjöarna var att kvicksilvret i fibersedimenten omvandlades till metylkvicksilver. Detta förklaras av att nedbrytningen av fiber ledde till förhållanden som gynnade mikroorganismer vars aktivitet leder till att kvicksilver metyleras. Metylkvicksilver anrikas kraftigt i akvatiska näringskedjor. I Svartsjöarna innehöll gäddor av 1-kg storlek kvicksilverhalter som överskred 1 mg/kg våsubstans, det vill säga överskred den tidigare gällande svartlistningsgränsen som var avsedd att skydda människors hälsa. Även lägre halter än så kan utgöra ett hot mot fiskätande fåglar och däggdjur.

Det var kombinationen av fiber- och kvicksilverförekomst som utgjorde problemet och det var därför viktigt att avlägsna både ofullständigt nedbruten fiber och kvicksilver. Utöver Hg-metylering orsakade nedbrytningen av fibern syrebrist och sulfidbildning i sediment och vatten, vilket innebar ytterligare belastning på livet i sjöarna

### Entreprenaden

Totalentreprenör var konsortiet DEME Environmental Contractors-Dredging International (DEC-DI) som har sitt huvudkontor i Belgien. Konsortiet har mångårig och god erfarenhet av liknande miljöprojekt utomlands.

Saneringsarbetena i Svartsjöarna innefattade muddring av kvicksilverförorenade sediment och pumpning av muddermassorna in i s.k. ”geotuber”. Denna teknik har aldrig tidigare använts i Sverige. Geotuber är långa geotextilrör, med små porer som är genomträngliga för vatten men inte för de muddrade sedimenten. Geotuberna är vanligtvis 50 m långa och ca 5 m i diameter.

Geotuberna placerades i ett särskilt iordningsställt deponiområde där avvattning av muddrade sediment skedde. Därefter täcktes geotuberna med jordmassor. Producerat lakvatten från geotuberna renades och kontrollerades kontinuerligt innan det släpptes ut i Pauliströmsån ovanför Övre Svartsjön. En biologisk reningsanläggning anlades med kapacitet att hantera upp till 3 000 m<sup>3</sup> förorenat vatten per dag.

Huvudman för Svartsjöprojektet är Hultsfreds kommun. Kommunen upphandlade Empirikon AB för projektledning. Genom sin projektledningsfunktion svarade Empirikon för organisering, utarbetande av

rutiner samt planering och ledning av projektet. Empirikon hade för ca femton år sedan samma roll vid saneringen av Järnsjön. Till projektgruppens förfogande stod specialister inom olika ämnesområden.

- Förberedande arbeten *juni–november 2005*.
- Muddring *april–december 2006*.
- Avslutande deponiarbeten *september–november 2007*.
- Slutbesiktning av entreprenaden efter färdigställandet av deponin (genomfördes 2008).

### Projektets målsättningar

Huvudmålsättningen med efterbehandlingen av Övre och Nedre Svartsjöarna var att i största möjliga mån återföra sjöarna till sitt naturliga tillstånd. Det sågs dessutom som en viktig uppgift att dokumentera erfarenheter vad gäller efterbehandlingsteknik och utformning av miljökontrollprogram inför och efter åtgärd.

Av stor vikt var att efterbehandlingen skulle leda till:

- minskad produktion av metylkvicksilver i Svartsjöarna
- lägre kvicksilverflöden i Pauliströmsån nedströms Svartsjöarna.
- att kvicksilverhalten i Svartsjöarnas fisk sjunker, helst ner till lokala bakgrundshalter.
- att syretäringen och sulfidbildningen minskar.

### Uppnådda resultat

Utvärderingen av resultaten byggde på omfattande miljökontroll före och efter åtgärden. Hänsyn togs till kvicksilverflöden uppströms Svartsjöarna och till kvicksilverhalter i biota i referenssjön Enegrenen.

Slutsatsen är att de uppställda målen med åtgärden i stort sett infriades (jfr avsnitt 2.3, 7.5 samt 9.1). Svartsjöarna utgör inte längre en potentiell källa för omfattande spridning av kvicksilver, eftersom praktiskt taget allt kvicksilverkontaminerat fibersediment har avlägsnats. Koncentrationerna av metylkvicksilver i Pauliströmsån nedströms Svartsjöarna har i det närmaste halverats. I Svartsjöarna själva har koncentrationerna av totalkvicksilver och metylkvicksilver i vattnet i och under termoklinen sjunkit med 50–75 respektive 75–90 %.

I Övre Svartsjön har metylkvicksilverhalten sjunkit med 80 % i zooplankton och med 30 % i fisk (abborre 1+ och 1-kg gädda). I Nedre Svartsjöarna var haltminskningarna något mindre. I båda sjöarna var minskningen av kvicksilverhalterna i fisk statistiskt signifikant. I referenssjön skilde sig inte kvicksilverhalten i fisk mellan före och efter åtgärden.

Kvicksilverhalterna i Svartsjöarnas fisk kan tänkas sjunka ytterligare som ett resultat av gradvis ökad produktion av biomassa och ökade tillväxthastigheter. En snabbare minskning av fiskens kvicksilverhalt skulle möjligen kunna åstadkommas genom att kvarvarande fibersediment i strandzonen avlägsnades. Av praktiska skäl kunde inte strandzonen muddras. Det är emellertid oklart hur mycket fiber som har kvarlämnats utanför det muddrade området. Nedbrytningen av fiber bör ha skett relativt snabbt i den väl syresatta strandzonen.



FIGUR 0.2 *Hampfflockeln trivs längs Pauliströmsån. Växten drar gärna till sig fjärilar, på bilden påfågelläga.*

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

Det var troligen ett korrekt beslut att inte muddra den södra, grunda delen av Nedre Svartsjön, eftersom sedimenten inte innehåller fiber och kvicksilvermängden är förhållandevis liten. Kvicksilverhalterna i ytsedimentet är tämligen höga (upp mot 1 mg Hg/kg ts), men metylkvicksilverhalterna är låga och det oxiderade ytsedimentet motverkar att kvicksilvret mobiliseras.

# Abstract

## Structure of this report

This report starts with a description of the lakes (Svartsjöarna) and the stream (Pauliströmsån) as they were before remediation, including descriptions of their contamination and their threatened natural values. The Chapter about Project Management sheds light on the structure and organisation of the project and describes how all work was synchronised. The dynamic project processes from start to finish are described in a separate chapter. The report contains detailed discussions about contract works, law issues, environmental monitoring, as well as the contractor's own environmental control. One chapter is assigned to project results and effects. Another chapter sums up important knowledge gained that could be useful to future remediation projects. The municipality of Hultsfred shares their experiences and provides reflections on the remediation process in the last chapter.

## Description of the project lakes and the stream

The project lakes (Övre Svartsjön and Nedre Svartsjön) are located in the County of Kalmar (south eastern Sweden) and downstream of the village Pauliström where a paper mill is situated that was the historical pollution source. The paper mill released its process water into the stream Pauliströmsån that flows through both lakes and further into the main river Emån.

River Pauliströmsån and its surrounding areas provide beautiful sceneries and a rich fauna, including the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*), brown trout (*Salmo trutta*) and otter (*Lutra lutra*).

Pauliströmsån is a tributary to Emån, the main river of the water system. The Emån water system is considered to be one of the most valuable watercourses in southern Sweden because of its geology, biology and landscape. The landscape surrounding it displays a high degree of variation, resulting in high biodiversity both on land and in water.

The Emå River and its valley are of national interest for its high natural and recreational values and its cultural history. The river has a diverse fish community, and is best known for its population of Wels Catfish (*Silurus glanis*) and for fast growing sea trout (*Salmo trutta*). Its population of otters (*Lutra lutra*) is one of the largest in Sweden. Some parts of the river have well developed meanderings. The Emån river system is a part of the Natura-2000 network according to Habitats directive (92/43/EEC).

The project lakes have functioned as sedimentation basins for cellulose fibres discharged from the Pauliström paper mill 3 km upstream. For approximately thirty years and until the mid 60's, mercury (probably phenyl mercuric acetate) was used as a slimicide to prevent fibre decay and other unwanted microbial effects. The contaminated sediments consisted primarily of cellulose fibres (mostly from ground pulp) showing variable degree of decomposition. Compared to other fibre sediments in Sweden, the mercury content was relatively low and within the range of 0.5–4 mg Hg/kg dw. It is estimated that the total fibre discharge from the Pauliström paper mill amounted to 15 000–20 000 tons, of which the main part accumulated in the first of the two consecutive lakes (Övre Svartsjön). In the second lake (Nedre Svartsjön), cellulose fibre sediment was present in the northern sub basin. The amount of mercury in the polluted sediment was estimated to 10 kg in the upper lake and 3 kg in the lower lake.

The major environmental concern was that mercury was converted to methyl mercury at high rates. Decomposition of cellulose fibre resulted in conditions that favoured sulphate-reducing bacteria and sulphide production. Bisulphide (HS<sup>-</sup>) forms a neutral complex with mercury [Hg(SH)<sub>2</sub>] that is methylated by sulphate-reducing bacteria, and probably also by other bacteria that are present in the sulphidic environment. Methyl mercury is much more bio available than inorganic mercury and is subject to strong biomagnification. Also of concern was the fact that sulphide and low dissolved oxygen levels cause stress on the lake biota, resulting in lower biomass production, lower biodiversity, and lower fish growth rates than in healthier lakes.

## The project

The Svartsjö project is an environmental remediation project in which mercury-contaminated fibre sediment has been dredged from the two polluted lakes described above, situated within the jurisdiction of the municipality of Hultsfred. The project was financed by the Swedish government through the Swedish Environmental Protection Agency and partially by the company responsible for the pollution. The total project cost is estimated to about 12 million EUR.

## The project objectives

The overall objective was to bring the lakes back to a natural state. It was also considered of importance to document all experience made during the project concerning remediation technique and environmental monitoring before, during and after dredging.

It was of high priority to

- reduce the mercury-load and mercury methylation activity in the lakes
- decrease fish mercury levels down to local background concentrations.
- eliminate the risk for major mercury export from the lakes to downstream waters.
- reduce oxygen depletion and sulphide production, and thereby create a healthier lake environment.

## Organisation

The municipality of Hultsfred was the authority officially responsible for the Svartsjöarna remediation project. Empirikon AB was in charge of project management. Being a project management resource, Empirikon AB was responsible for organising, developing routines for, and planning and managing the project. Fifteen years ago, Empirikon AB was given the same role in the remediation of PCB-contaminated sediments in another lake (Järnsjön) within the Emån river system.

The project group gained advice from specialists within various areas of science. The entire project organisation had three sections: municipality and state representatives, the project group (project managements and environmental/technical consultants) and the contractor's organisation. These sections had different roles and created a functional unit that was responsible for planning and carrying out the remedial action, as well as responsible for monitoring and environmental control.

## Dredging at Lakes Övre and Nedre Svartsjön

DEME Environmental Contractors –Dredging International was the contractor in charge of the remediation on-site work. DEC-DI is a Belgian consortium with long standing international experience from similar environmental projects.

The remediation involved dredging of 260 000 m<sup>3</sup> of mercury-contaminated fibre sediment which was pumped into “geotubes” placed on the deposition site. Geotubes are long geotextiles with small pores resulting in effective dewatering of the sediments. The geotubes are approximately 50 m long and about 5 m in diameter. It was the first time this dewatering technology was used in a Swedish remediation project.

The geotubes were placed in a ready prepared landfill-basin (the deposition site) close to the upper lake (Övre Svartsjön). After filling the geotubes and dewatering the sediments, the consolidation process took over. Afterwards, geotubes were covered with soil. Wastewater was treated and controlled before being released into the stream at a point above the upper lake.

The project obtained a legal permit to perform the remediation in September 2004. The legal permit stipulated several environmental requirements (e.g. waste water discharge, maximum concentration of mercury and methyl mercury and particle load).

The time schedule for the remediation process is given below:

- Preparation of the site: *June–November 2005*
- Dredging the sediment: *April–December 2006*
- Final landfill work: *September–November 2007*
- Final inspection of the remediation action was carried out after completion of the landfill works at the beginning of 2008.

## Results and effects

The remediation results were evaluated by performing extensive environmental control programs before and after remediation (third and fourth year after remediation), taking into account variation in background mercury flows up stream and background variability in mercury concentration in biota in a reference lake above the historical pollution point source.

The conclusion was drawn that the project was successful in meeting its goal. The lakes are no longer a potential source of extensive mercury pollution to downstream waters since practically all mercury-polluted cellulose fibre sediment has been removed. Also, methyl mercury export from the lakes has almost halved. In the lakes themselves, total mercury and methyl mercury concentrations in the water below the thermocline have decreased by 50–75 and 75–90 %, respectively.

The mercury levels were reduced by 80 % in zooplankton and by 30 % in 1-year old perch (*Perca fluviatilis*) and in 1-kg pike (*Esox lucius*) in the upper lake, and reduced by somewhat less in the lower lake. The reduction of fish mercury was statistically significant in both lakes. In the reference lake, fish mercury levels did not change. A further reduction of fish mercury levels could be expected as a result of gradually increasing biomass production and increasing fish growth rate.

The area closest to the shore could not be dredged for practical reasons. Possibly, fibre sediment in the littoral sediment could slow down the rate at which fish Hg levels decrease. However, it is uncertain to what extent cellulose fibre is present outside the dredged area. In shallow water, well-aerated conditions should lead to rapid fibre decomposition.

It was probably a correct decision not to dredge the southern, shallow basin of the lower lake, since this part of the lake does not contain cellulose fibre and contain relatively small amounts of mercury. The total mercury concentration of the surface sediment is relatively high (up to 1 mg Hg/kg dw), but the methyl mercury concentration is low and the oxidized upper sediment acts as a diffusion barrier.



FIGUR 0.3 Ormbunken safsa växer i flera bestånd längs Pauliströmsån. Safsan är sällsynt och finns bara vid ett fåtal vatten-drag på det syd-svenska fastlandet.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöportage

# 1. Orientering

## *Svartsjöarna och Pauliströmsån före åtgärd – beskrivning av föroreningsituationen och hotade naturvärden*

TEXT Alexandra Zamparas, Joakim Schultzén, Empirikon AB, Olof Regnéll, Cinnobex-MBC samt material från hemsidan [www.hultsfred.se](http://www.hultsfred.se)

---

### 1.1 Inledning

Det är en speciell upplevelse att besöka Svartsjöarna där skogsklädda sluttningar, kala bergbranter och doftande vitmosskärr kan föra tankarna till Norrland. Miljön ser vid en första anblick ut att vara helt opåverkad av människan. Men den vackra ytan dölde ett stort miljöproblem. Vid närmare kontakt med sjöarna, t.ex. genom bad, förstod man att detta inte var en sjö så mycket som en ”undervattenstipp”.

Sedan början av 1900-talet har pappers- och masatillverkning pågått i Pauliström, 3 km uppströms från Svartsjöarna. Brukets totala produktion sedan starten kan uppskattas till mer än 1 miljon ton massa och papper. Under en period från början av 1940-talet till mitten av 1960-talet användes fenylkvicksilver för att förhindra slembildning i processen och mikrobiell nedbrytning av fibrerna.

Det var brukligt att förorenat vatten från industrierna släpptes direkt ut i vattendrag och från Pauliströms Bruk gick processvattnet med cellulosa-fibrer ut i Pauliströmsån. Rening av processvattnet infördes inte förrän 1973.

De totala fiberutsläppen från Pauliströms bruk har uppskattats till mellan 15 000 och 20 000 ton. Pauliströmsåns första större ”sedimentfälla” nedströms Pauliströms bruk är Övre Svartsjön där större delen av fiberutsläppen sedimenterade. Vid hög vattenföring i ån transporterades en del fibrer vidare till Nedre Svartsjön.

Under 1990-talet har omfattande undersökningar gjorts i Svartsjöarna. Bland annat beräknades mängden förorenade botten-sediment i Övre Svartsjön till 210 000 m<sup>3</sup> och i Nedre Svartsjön till ca 50 000 m<sup>3</sup>. Kvicksilverhalterna i Svartsjöarnas sediment var relativt låga jämfört med andra fiberpåverkade sediment. De högsta halterna som uppmättes i ytsediment (0–1 cm) underskred 2 mg Hg/kg TS i Övre Svartsjön och 1 mg Hg/kg TS i

Nedre Svartsjön. Att kvicksilverproblemet ändå bedömdes som stort beror på att den mikrobiella nedbrytningen av fibersedimenten leder till att en stor andel av kvicksilvret metyleras (se nedan).

Den sammanlagda kvicksilvermängden i Svartsjöarnas sediment uppskattades vid en heltäckande sedimentundersökning till 10–100 kg, baserat på haltbestämningar i 20-cm skikt. Senare, efter uppmuddring har mängden kvicksilver kunnat beräknas noggrannare, till ca 10 kg. Endast en mindre del av detta kvicksilver transporterades årligen ut med Pauliströmsån till Emån. Både 1996 och 2003 beräknades årstransporten av kvicksilver med Pauliströmsån till Emån till ca 70 g. Av detta kan en relativt stor del ha utgjorts av atmosfärsdeponerat kvicksilver. En viktig förklaring till att kvicksilver som mobiliseras i Övre Svartsjön inte mer än till mindre del når Emån är att det fastläggs och/eller förångas i Nedre Svartsjön.

Fibersediment förvärrar problemet med kvicksilver genom att de ger upphov till mikrobiell aktivitet som leder till metylering och frisättning av kvicksilver från partiklar. Detta påverkar först och främst organismerna i Svartsjöarna, men transporten av både metylerat och ometylerat kvicksilver nedströms sjöarna kan förmodas ha varit betydligt mindre om Svartsjöarna inte hade varit kontaminerade med cellulosa-fiber. Nedbrytningen av fiber i Svartsjöarna ledde till syrebrist och sulfidbildning. Under sommaren kunde syrebrist föreligga långt upp i vattenmassan. Detta motverkade sjöarnas naturliga förmåga att fastlägga kvicksilver (gäller även kvicksilver som deponerats från atmosfären). Naturligtvis innebär syrebristen och sulfidbildningen i sig att livet i sjöarna påverkades negativt. I Övre Svartsjön var fiberbankarna flera meter tjocka, varför problemen skulle kvarstå under lång tid om inte fibersedimenten hade avlägsnats.



FIGUR 1.1 Näckrosor på Övre Svartsjön.

FOTO Thorbjörn Svahn, Hultsfreds kommun

Metylkviksilver är mycket giftigt och bioackumuleras kraftigt i akvatisk miljö. Koncentrationen av metylkvicksilver ökar för varje steg i näringskedjan (det *biomagnifieras*). I rovfisk utgörs i stort sett allt kvicksilver av metylkvicksilver. Om inte kvicksilver hade metylerats hade anrikningen av kvicksilver i vattenorganismer varit mycket mindre, i synnerhet högt upp i näringskedjan.

Svartsjöprojektet har haft som målsättning att genom avlägsnande av de kvicksilverhaltiga fibersedimenten i Svartsjöarna kraftigt reducera metylkvicksilverförekomsten i sjöarna, samt att återställa sjöarnas naturliga förmåga att undandra kvicksilver från Pauliströmsån och därmed minska tillförseln av kvicksilver till Emån.

### 1.1.1 HULTSFREDS KOMMUN

Hultsfred är en lugn och trygg kommun med stora möjligheter för både barn och vuxna. En omväxlande natur med många sjöar erbjuder spännande aktiviteter, lugn och rekreation. Här finns också ett rikt föreningsliv med tonvikt på idrott, musik och kultur. Den årliga Hultsfredsfestivalen är en av Sveriges största mötesplatser för musikintresserade ungdomar.

Hultsfreds kommun har en bas av tillverkningsindustri som under senare år breddats med ett ökat antal handels- och tjänsteföretag. Ett växande

utbud av utbildningar, inklusive högskoleutbildningar med inriktning på bl.a. musikindustri, hälsa och media samt två gymnasier, ett med hälsoprofil och ett med musikindustriprofil, förstärker vår framtida attraktionskraft. Vi är en kommun där det finns plats för individer, initiativ och idéer.

(KÄLLA: [www.hultsfred.se](http://www.hultsfred.se))

### 1.1.2 EMÅNS VÄRDEFULLA VATTENSYSTEM

Emåns vattensystem med Pauliströmsån är ett av sydöstra Sveriges största vattendrag och ett av Sveriges mest värdefulla. Genom Svartsjöarna passerar Pauliströmsån, som rinner från sjön Mycklaflon i norr (Vetlanda kommun) till Emån i söder (Hultsfreds kommun). Emån, som är ett av de mest värdefulla vattendragen i södra Sverige vad gäller geologi, biologi och landskapsbild, mynnar i sin tur ut i Östersjön strax norr om Mönsterås.

Pauliströmsån och dess omgivning är en miljö av vildmarks karaktär med artrik bottenfauna och stora naturvärden. Nedströms samhället Pauliström är ån ett av de få större vattendrag som inte rensats på sten, i syfte att underlätta för flottning, och är därför mycket rik på stenar och block. Bland naturvärden kan nämnas starka populationer av flodpärlmussla och öring, samt förekomst av utter.

Naturen i avrinningsområdet är mycket varierad

**TABELL 1.1** Sammanfattande riskbedömning för habitat och arter i saneringsområdet som omfattas av Natura 2000. (Källa: Miljökonsekvensbeskrivning 2003-04-28).

Objekt/Art	Bedömning av konsekvenser; kort sikt	Bedömning av konsekvenser; lång sikt
Habitatet: "Naturliga större vattendrag av fennoskandisk typ och vattendrag"	Avverkning och rensning i de skyddade strandzonerna utgör risk för negativ påverkan.	Habitatets naturvärden gynnas om avverkning/rensning utförs reglerat.
Utter	Kan ändra sitt födosöksbeteende.	Uttern gynnas på lång sikt av fisk med lägre Hg-halt.
Asp	Berörs inte nämnvärt; finns inte i området (>5 mil bort).	Berörs inte nämnvärt; gynnas av minskad Hg-transport.
Stensimpa	Kan finnas i området, kan då beröras negativt.	Gynnas av minskad Hg-transport.
Lax	Berörs inte nämnvärt; finns inte i området (>5 mil bort).	Berörs inte nämnvärt.
Nissöga	Kan finnas i området, kan då beröras negativt.	Gynnas av minskad Hg-transport.
Flodpärlmussla	Stor risk för negativa effekter.	Flodpärlmusslan och örtingen gynnas på lång sikt; minskar sitt upptag av Hg.
Öring (en förutsättning för flodpärlmusslan)	Risk för negativa effekter.	
Tjockskalig målarmussla	Berörs inte nämnvärt; finns inte i området (>5 mil bort).	Gynnas av minskad Hg-transport.

vilket ger förutsättningar för en god biologisk mångfald både på land och i vatten. Av dessa anledningar har hela Emåns huvudfåra och flera biflöden, däribland Pauliströmsån, utpekats som riksintresse för naturvärden enligt Miljöbalken.

Emåns vattensystem ingår i nätverket Natura 2000 enligt EU:s habitatdirektiv (92/43/EEG). Särskilt habitatet *naturliga större vattendrag av*

*feno-skandisk typ och vattendrag med flytbladsvegetation eller akvatiska mossor och arterna utter, asp, stensimpa, lax, nissöga, flodpärlmussla och tjockskalig målarmussla* pekas ut som unika och skyddsvärda. I Miljökonsekvensbeskrivningen sammanfattades de föreslagna (numera företagna) åtgärdernas påverkan på Natura 2000-området enligt tabell 1.1.



FOTO Thorbjörn Svahn, Hultsfreds kommun

FIGUR 1.2  
Pauliströmsån.



FIGUR 1.3. Karta över Svartsjöarna med omgivningar.

### 1.1.2 ÖVRE OCH NEDRE SVARTSJÖN

Övre och Nedre Svartsjöarna är belägna i Kalmar län, mellan samhället Pauliström i Jönköpings län och Pauliströmsåns utlopp i Emån. Svartsjöarna är karakteristiska för områden som domineras av skog med våtmarker/mossa. De betecknades före sanering som mesotrofa, d.v.s. måttligt näringsrika, men de förmodas ursprungligen ha varit näringsfattiga. De påverkas av tillrinningsområdets våtmarker och präglas av relativt stark vattenfärg orsakad av humusämnen. Växtplanktonmängden är liten och undervattenväxter saknas till stor del, troligen till följd av brist på ljus och en störd sedimentmiljö. Stränderna utgörs delvis av gungfly bestående av bl.a. vitmossa. Sjöarnas hydrologiska förhållanden sammanfattas i tabell 1.2 nedan.

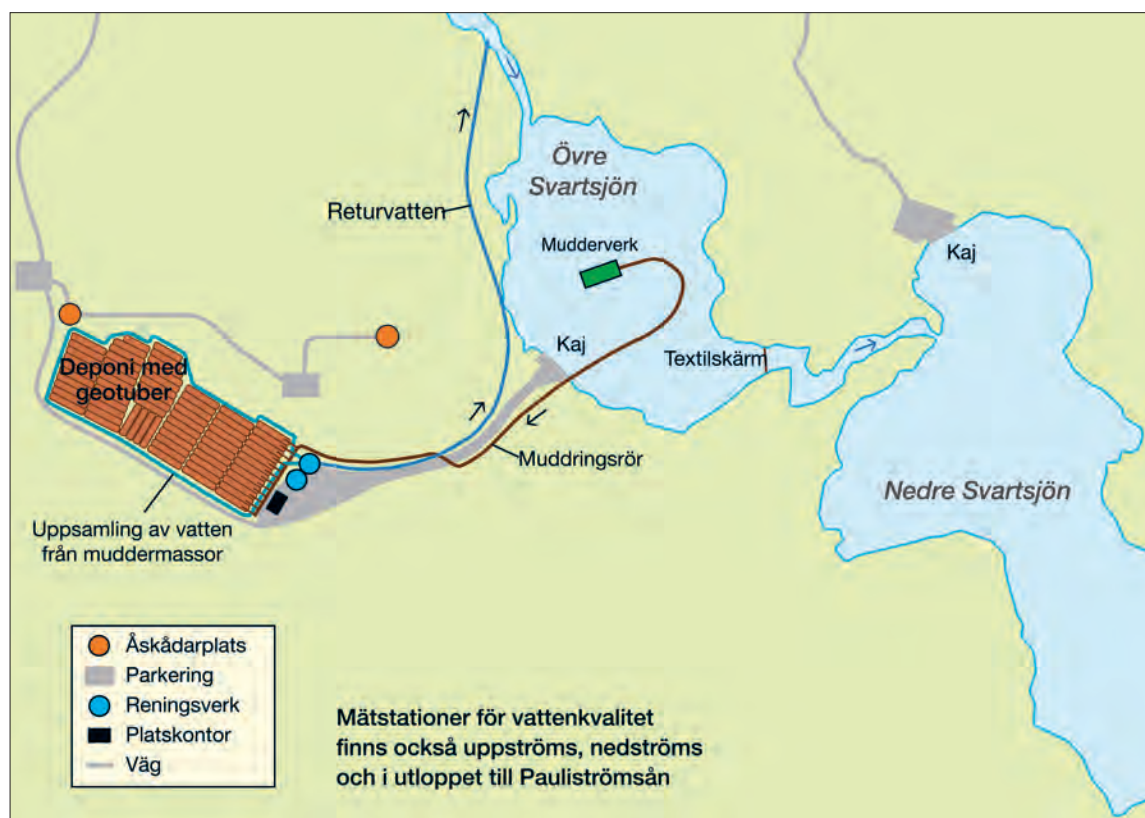
Pauliströmsån, som rinner genom båda sjöarna, har ett årsmedelflöde av 0,9 m<sup>3</sup>/s. Flödet i Emån varierar normalt mellan ca 48 m<sup>3</sup>/s i april och ca 10 m<sup>3</sup>/s i augusti. Där Pauliströmsån mynnar ut i Emån är flödet emellertid lägre. Under 1996 var medelflödet i Pauliströmsån 0,9 m<sup>3</sup>/s strax ovanför utflödet i Emån. I Emån strax ovanför Pauliströmsåns utflöde var medelflödet 7,4 m<sup>3</sup>/s.

Svartsjöarna ingår i ett område upptaget i boken "Natur i östra Småland", Pauliströmsån (Nr 33). Området innehar klass I (Högsta naturvärde). "Natur i östra Småland" utgör Länsstyrelsens i Kalmar län naturvårdsprogram.

I Skogsvårdsstyrelsens inventeringar av nyckelbiotoper, naturvärden och sumpskogar finns ett antal områden i anslutning till Svartsjöarna.

Parameter	Övre Svartsjön	Nedre Svartsjön
Yta (km <sup>2</sup> )	0,12	0,25
Uppehållstid (dygn)	4	10
Medeldjup (m)	2,4	3,2
Maxdjup (m)	7,2	12,1
Volym (beräknad) (m <sup>3</sup> )	311 040	777 600
Volym (SMHI, 1991) (m <sup>3</sup> )	476 000	796 000
Tillrinningsområde (km <sup>2</sup> )	212	214

TABELL 1.2 Hydrologiska förhållanden i Övre och Nedre Svartsjön (före sanering).



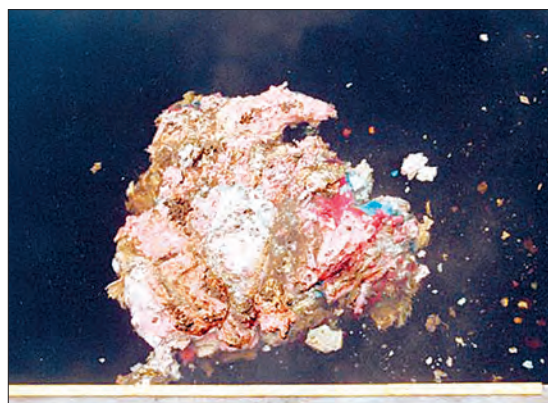
FIGUR 1.4 Schematisk beskrivning av deponin under muddringsarbetet.

ILLUSTRATION Thorsten Jansson

### 1.1.3 DEPONIOMRÅDET

Deponiplatsen ligger i en mindre dalgång ca 400 m SV om Övre Svartsjön. Den västra delen av sänkan gränsar till en brant med rikligt med berg i dagen. Markytan är i de högre delarna normalblockig med enstaka större block och i de lägre delarna rikblockig och stembunden. Jordarterna inom området domineras av morän i sandiga siltiga fraktioner. Ställvis förekommer leriga och grusiga fraktioner i moränen, främst i områdets södra del längs med dalgångens botten. I anslutning till dalgångens botten påträffas även sand- och gruslager samt i viss mån lerig silt som överlagrar moränen. Mäktigheten på dessa sedimentlager varierar mellan 0,4 och 1,5 m. Inom området förekommer även rikligt med bergytter, framförallt i dess norra och södra del. Jordlagrens mäktighet inom området varierar mellan 0,3 till över 6,5 m med en generell ökning av mäktigheten mot dalgångens botten i anslutning till ett dike. Inom området bedöms marken ha god bärighet. Inom området återfinns enligt berggrundkartan två sprickzoner som följer dalgångens riktning, en i NV-SO och en korsande i SV-NO där dalgången böjer av mot Sjöakärret och Pauliströmsån. De högre belägna delarna av

området är inströmningsområden för grundvatten medan dalgångens botten är ett utströmningsområde som karaktäriseras av sankmark. Dalgången dräneras av ovan nämnda dike som mynnar i Sjöakärret.



FIGUR 1.5 Bild på icke-nedbrutna pappersfibrer.

FOTO Hampus von Post

# 2. Projektet

## – förutsättningar, utformning och mål

TEXT Olof Regnéll, Cinnobex-MBC, Alexandra Zamparas, Joakim Schultzén, Empirikon AB

Hultsfreds kommun initierade projektet på 1990-talet. Hultsfreds kommun beviljades bidrag från Naturvårdsverket höst 1995 och sommar 1996 för undersökningar av förorenade mark- och vattenområden. Kommunen ansökte om och erhöll 2,55 Mkr. 1998 presenterades en huvudstudierapport. Naturvårdsverket beslutade 2001 att Svartsjöprojektet skulle införas i åtgärdsramen, samtidigt som kommunen bemannade projektet med projektledning från Empirikon AB. 2002 reviderades huvudstudien med beskrivning av åtgärdsförslag och med belysning av ansvarsfrågan. Stora resurser lades på att grundligt kartlägga miljösituationen och att utreda hur området ska efterbehandlas med det miljömässigt mest effektiva alternativet som också är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt. Svartsjöprojektet organiserades i dess nuvarande form 2003 i samband med miljöprovning och upphandling av entreprenör för efterbehandlingen av Svartsjöarna.

I september 2004 erhöles tillstånd för åtgärderna. Entreprenaden påbörjades med projektering 2004. Arbeten vid Svartsjöarna inom ramen för huvud-del II påbörjades 2005. Totalentreprenaden slutbesiktigades februari 2008. I projektet pågår efterföljande miljökontroll fram till 2010.

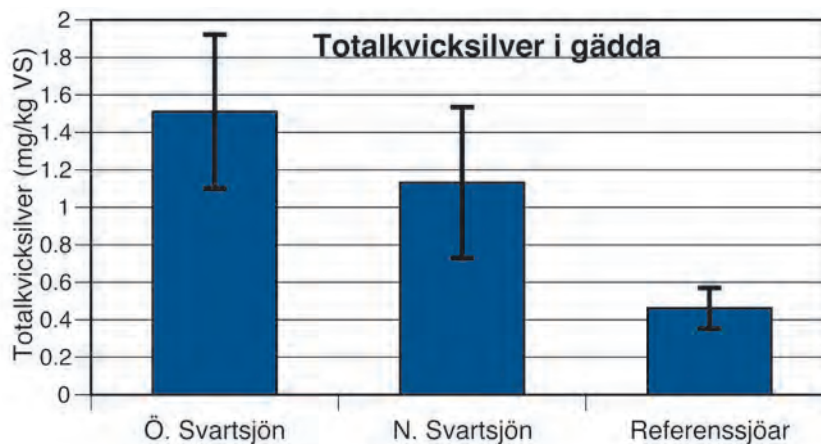
### 2.1 Miljöproblemet i korthet

#### 2.1.1 KVICKSILVER I ORGANISMER

Koncentrationen av kvicksilver i fisk och andra vattenorganismer i Svartsjöarna var 2–4 gånger högre i Svartsjöarna än i referenssjöar uppströms Pauliström (Fig. 2.1). Detta förklaras av en kraftig uppbyggnad av metylkvicksilver i främst Övre Svartsjöns sediment och i bottenvattnet nedanför termoklinen i samband med ökad temperatur under vår och sommar. När termoklinen sjunker under sommaren fram till höstcirkulationen blandas bottenvatten successivt in i överliggande vattenskikt och metylkvicksilvret blir därmed tillgängligt för upptag i den pelagiska näringskedjan.

Vid dissektion av fisken gjordes en kvalitativ okulärbesiktning av fiskens lever. Hos abborre från Svartsjöarna iaktogs en förhöjd frekvens av blodfattig och parasitbemängd lever, vilket inte iaktogs i referenssjöarna. Abborrens tillväxt var också sämre i Svartsjöarna än i referenssjöarna (se avsnitt 7).

**FIGUR 2.1** Totalkvicksilverhalter i samtliga gäddor i viktintervallet 0,5–1,5 kg fångade före åtgärd i Övre Svartsjön ( $n = 16$ ), i Nedre Svartsjön ( $n = 16$ ) och i de två referenssjöarna Enegrenen och Snickaredammen ( $n = 12$ ) uppströms Pauliströms bruk. Gäddornas medelvikt var för Övre Svartsjön 0,7 kg, Nedre Svartsjön 0,9 kg och för referenssjöarna 0,9 kg. Angiven spridning är  $\pm 1$  standardavvikelse.



### 2.1.1 KVICKSILVER OCH FIBER I SEDIMENT

Bottensedimenten i Svartsjöarna bestod generellt av mycket lösa och finkorniga, organiska bruna eller grå väl nedbrutna sediment (d.v.s. sediment som innehåller nedbruten fiber). Materialet i sedimenten var löst och det gick inte att skilja mellan fibersediment och överlagrande detritus eller underlagrande gyttja. Torrsubstanshalten i sedimenten i Övre Svartsjön (0-6 m) varierade mellan 5,3 och 12,7 % TS. Generellt kan sägas att TS-halten ökade med sedimentdjupet. I Nedre Svartsjön varierade TS-halten mellan 5,6 och 7,7 %, och tendens fanns till ökad TS-halt med ökat sedimentdjup.

Halterna kvicksilver i Övre Svartsjön uppgick enligt utförda undersökningar till 0,11–0,55 mg Hg/kg TS som medelvärde i olika undersökningsområden. Högsta uppmätta halt i ytsediment (0–1 cm) var 2 mg Hg/kg TS. De förorenade sedimentens mäktighet beräknades uppgå till 1,2–4,0 m. I Nedre Svartsjön låg medelvärdet av analyserade halter i olika undersökningsområden på 0,02–0,32 mg Hg/kg TS. Högsta uppmätta halt i ytsediment (0–1 cm) var 1 mg Hg/kg TS, men i sjöns djuphåla har halter upp till 4 mg Hg/kg TS uppmätts 3 dm ner i sedimentet. De förorenade sedimentens mäktighet beräknades uppgå till 0,8 m.

### 2.1.3 KVICKSILVERTRANSPORTER I PAULISTRÖMSÅN

Förhållandena i Övre Svartsjön och i mindre mån i Nedre Svartsjön gör att transporten av totalkvicksilver och metylkvicksilver nedströms sjöarna är större än om sjöarna inte hade varit påverkade av de kvicksilverkontaminerade fibersedimenten. Normalt fungerar sjöar som undandragare av kvicksilver genom att partikelbundet kvicksilver sedimenterar och reducerbart kvicksilver förångas och avgår till luften. Under referensåret 1996 (före åtgärd) ökade transporten av metylkvicksilver och transporten av totalkvicksilver ändrades obetydligt vid Pauliströmsåns passage genom Övre Svartsjön. Detta visar att fastläggningen av inkommande kvicksilver var mindre än den borde vara och/eller att kvicksilver mobiliserades från sjöns sediment. Vid passagen genom Nedre Svartsjön minskade transporten av både totalkvicksilver och metylkvicksilver, i linje med att Nedre Svartsjön är mindre påverkad än Övre Svartsjön (Tabell 2.1). Under år med extrema flöden kan mobiliseringen och spridningen av kvicksilver från Svartsjöarna troligen vara mycket större än vad som var fallet under 1996.

Åsträckan nedströms Svartsjöarna ned till Emån är tydligt påverkad av de tidigare kvicksilverutsläppen. En del av kvicksilveret ackumulerades tro-



FIGUR 2.2 Pappersfiber från bottensedimenten i Övre Svartsjön.

FOTO Empirikon AB

ligen längs denna åsträcka när kvicksilver släpptes ut från Pauliströms bruk (primär kontaminering), men sådant kvicksilver har successivt bytts ut mot kvicksilver som mobiliserats i Svartsjöarna (sekundär kontaminering). Således har mobiliseringen av kvicksilver i Svartsjöarna och sjöarnas sänkta förmåga att kvarhålla inkommande kvicksilver (huvudsakligen atmosfärsdeponerat kvicksilver) inneburit att Pauliströmsåns självrening nedströms Svartsjöarna har fördröjts.

Pauliströmsåns inflöde ökade mängden totalkvicksilver såväl som mängden vatten i Emån med ungefär 12 % under referensåret 1996 i förhållande till de flöden som rådde strax uppströms inflödet (Tabell 2.1). Metylkvicksilvermängden ökade emellertid med 30 %. Om Svartsjöarnas normala funktion som undandragare av kvicksilver återställs borde Pauliströmsåns inflöde kunna leda till en utspädning av både total- och metylkvicksilverkoncentrationen i Emåns vatten. Pauliströmsån borde under normala förhållanden föra med sig relativt lite kvicksilver, eftersom ån passerar flera sjöar som undandrar kvicksilver från vidare transport.

Plats	Flöde av THg	Flöde av MeHg
	<i>g/år</i>	<i>g/år</i>
In Övre Svartsjön	60	6,6
Ut Övre Svartsjön	61	8,1
Ut Nedre Svartsjön	57	5,8
In Emån	67	7,4
I Emån strax uppströms		
Pauliströmsåns inflöde	582	25

TABELL 2.1 Årsflöden av totalkvicksilver (THg) och av metylkvicksilver (MeHg) på angivna platser i Pauliströmsån och Emån för året 1996 (före åtgärd). Inga extrema vattenflöden inträffade under detta år.

## 2.2 Nationella och regionala miljömål

Sveriges riksdag antog i april 1999 femton nationella miljökvalitetsmål. Målen beskriver de egenskaper som vår natur- och kulturmiljö måste ha för att samhällsutvecklingen ska vara ekologiskt hållbar. År 2005 tillkom dessutom ytterligare ett miljömål om biologisk mångfald. Länsstyrelsen Kalmar län har därefter arbetat med en regional anpassning, precisering och konkretisering av de miljömål som är aktuella lokalt. De reviderade regionala miljömålen remitterades i oktober 2002. Bland dessa ingår målet att de 30 högst prioriterade förorenade områdena skall vara åtgärdade senast 2020. Till dessa hör Övre och Nedre Svartsjöarna. De regionala miljömålen har senare reviderats i juni 2008 och målet ovan för året 2020 står kvar.

Genom saneringen i Projekt Svartsjöarna arbetade Hultsfreds kommun mot de uppsatta nationella miljökvalitetsmålen och de antagna regionala miljömålen för Kalmar län.

### FAKTA Metylkvicksilver

Fibersediment är en näringskälla för mikroorganismer. En del av dessa metylerar kvicksilver. Metylkvicksilver (MeHg) är mycket giftigt och anrikas kraftigt i organismer. En gädda innehåller 1–10 miljoner mer MeHg än samma vikt mängd vatten. I sjövattnet är normalt ca 5 % av kvicksilvret MeHg medan i gädda i stort sett allt kvicksilver är MeHg.

Hur och varför vissa mikroorganismer metylerar kvicksilver vet man inte helt. Metyleringen sker främst när nedbrytning av organiskt material leder till syrebrist. Ett stort antal undersökningar har visat att sulfat-reducerande bakterier spelar en viktig roll. Troligen överförs metylgruppen som en negativt laddad jon (metylkarbonjon) till ett kvicksilversulfid-komplex:  $\text{Hg}(\text{SH})_2 + \text{CH}_3^- \rightarrow \text{CH}_3\text{HgSH} + \text{HS}^-$ .

Nationellt miljömål	Regionala miljömål Kalmar län	Berör verksamheten
<p><b>Ingen övergödning</b></p> <p>Halterna av gödande ämnen i mark och vatten skall inte ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningarna för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten.</p>	<p><b>Övergödning av hav, sjöar och vattendrag</b></p> <p>Att inom Storåns, Emåns och Alsteråns avrinningsområden som helhet begränsa påverkan till högst motsvarande påverkansgrad 1 enligt Naturvårdsverkets "Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag" och detta senast år 2005.</p> <p>För övriga avrinningsområden, delavrinningsområden, vattendrag och sjöar i Kalmar län skall gälla en påverkan motsvarande högst påverkansgrad 1 enligt Naturvårdsverkets "Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag". Detta mål skall uppnås så snart som möjligt men skall i vatten där stora hinder föreligger vara uppnått senast år 2020.</p>	<p>Det nationella miljömålet "Ingen övergödning" berör utsläppet av returvattnet och lakvattnet.</p> <p>Målet "Levande sjöar och vattendrag" berör hela verksamheten.</p>
<p><b>Levande sjöar och vattendrag</b></p> <p>Sjöar och vattendrag skall vara ekologiskt hållbara och deras variationsrika livsmiljöer skall bevaras. Naturlig produktionsförmåga, biologisk mångfald, kulturmiljövärden samt landskapets ekologiska och vattenhushållande funktion skall bevaras samtidigt som förutsättningar för friluftsliv värnas.</p>		
<p><b>Myllrande våtmarker</b></p> <p>Våtmarkernas ekologiska och vattenhushållande funktion i landskapet skall bibehållas och värdefulla våtmarker bevaras för framtiden.</p>		Hela verksamheten
<p><b>Giftfri miljö</b></p> <p>Miljön skall vara fri från ämnen och metaller som skapats i eller utvunnits av samhället och som kan hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. Inriktningen är att miljökvalitetsmålet ska nås inom en generation.</p>	<p><b>Påverkan genom metaller och organiska miljögifter</b></p> <p>Att på sikt kraftigt reducera användningen av ämnen som finns på den s.k. 13-listan eller helt ta bort den från användning. Kvicksilver är ett av ämnena vars användning skall begränsas.</p>	Hela verksamheten
<p><b>Grundvattnet av god kvalitet</b></p> <p>Grundvattnet ska ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag. Inriktningen är att miljökvalitetsmålet ska nås inom en generation.</p>		Miljömålet "Grundvattnet av god kvalitet" berör deponin och lakvattenhanteringen.
<p><b>Levande skogar</b></p> <p>Skogens och skogsmarkens värde för biologisk produktion ska skyddas samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras samt kulturmiljövärden och sociala värden värnas. Inriktningen är att miljökvalitetsmålet ska nås inom en generation.</p>		Miljömålet berör deponiplatsen.

TABELL 2.2 Hur de nationella och regionala miljömålen berör verksamheten.

### 2.3 Projektets syfte och åtgärds mål

Syftet med efterbehandlingen av Övre och Nedre Svartsjöarna var att återställa förhållandena för djur och växter i sjösystemet till förhållanden liknande de som rådde innan det utsattes för föroreningar från Pauliström bruk. Även kunskap rörande efterbehandlingsteknik och miljöförhållandena i närområdet skulle tillvaratas under projektets genomförande.

De övergripande åtgärds målen för efterbehandlingsarbeten inom Svartsjöprojektet har varit:

- att minska belastningen av kvicksilver till en nivå som medför att risken för vattenlevande organismer är liten och att kvicksilverhalterna i Svartsjöarnas fisk på sikt minskar till samma nivå som fisk uppströms Svartsjöarna.
- att minska syretäringen som lagren av sedimenterade cellulosa fibrer medför och därmed skapa förutsättningar för en mer naturlig miljö.

Ett annat sätt att uttrycka målsättningen med åtgärderna är att sådana förhållanden i sjön skulle återskapas att den åter skall fungera som en naturlig kvicksilverfälla.

### 2.4 Åtgärds krav

För att uppnå de övergripande målen med en sanering bedömdes det som nödvändigt att allt fibersediment med högre kvicksilverhalter än 0,15 mg/kg TS togs bort. Av den sanerade ytans totala area i respektive sjö fick endast 25 % ha en kvicksilverhalt som översteg 0,10 mg/Kg TS. Detta medförde samtidigt att huvuddelen av de fiberpåverkade sedimenten avlägsnades, även om detta inte var ett uttalat krav.

Eftersom lakvattenkaraktiseringen visade att utlakning av föroreningar från de deponerade massorna inte utgjorde någon påtaglig miljörisk bedömdes det som lämpligt att sänka kraven på skyddsåtgärder vid deponering. Villkoren för åtgärderna framgår av miljödom meddelad 2004-09-27 och kontrakt om totalentreprenad tecknat 2003-11-14.

### 2.5 Riskbedömning

I riskanalysen i huvudstudien noterades att de halter av metylkvicksilver som byggdes upp sommardag i Övre Svartsjön var så höga att toxiska effekter på vattenorganismer kunde förväntas. Dessutom överskred halterna av totalkvicksilver i såväl Övre som Nedre Svartsjön de halter som utgör gräns för när skadliga effekter på bottenlevande organismer uppstår. Av vikt är också att cellulosa fiber i sig

påverkar sedimentlevande organismer och även vattenlevande organismer negativt genom att orsaka syretäring och sulfidbildning.

Vidare var kvicksilverhalterna i fisk så höga att de tveklöst utgjorde ett hot mot fiskätande däggdjur och fåglar. I kontrollerade laboratorieexperiment såväl som i fältstudier har man påvisat negativa effekter av metylkvicksilver på fiskätande fåglar såväl som på fisken själv vid flera gånger lägre metylkvicksilverhalter än de som förelåg i fisken i Svartsjöarna. Halterna i enkilosgäddor låg klart över den tidigare svartlistningsgränsen 1 mg Hg/kg. Enligt nu gällande rekommendationer skall all konsumtion av fisk från Svartsjöarna undvikas.

Spridningsbenägenheten hos kvicksilvret i fibersedimenten är hög, även om relativt lite kvicksilver sprids från sjöarna under normala förhållanden. Gasbildning och höga vattenflöden gör att sediment lyfter och transporteras nedströms. Nedbrytning av fiber leder till finare material som lätt eroderas bort. Utöver att detta leder till ökad spridning av kvicksilver kan underliggande och mer kontaminerade sedimentlager komma upp i den biologiskt aktiva zonen av sedimentet. Nedbrytningen av fiber leder även till att kvicksilver frisätts från partiklar och metyleras. Den ökar dessutom genom påverkan på vattenkemin mobiliteten och metyleringsbenägenheten hos kvicksilver som kommer in i Svartsjöarna med Pauliströmsån.

Riskbedömningen visade således att fiber- och kvicksilverföroreningarna är ett allvarligt hot mot Svartsjöarnas och Pauliströmsåns organismer och mot fåglar och däggdjur som i stor utsträckning livnär sig på dessa. Detta i kombination med att påverkansområdet hyser djurarter av högt värde, har stora naturvärden och är känsligt gjorde att saneringsbehovet bedömdes som stort.

### 2.6 Kommunens beslut för val av åtgärds riktning

De alternativ som studerades men förkastades under utredningsperioden var dels övertäckning av förorenade bottensediment, dels avskärmning av Svartsjöarna genom förbiledning av Pauliströmsån.

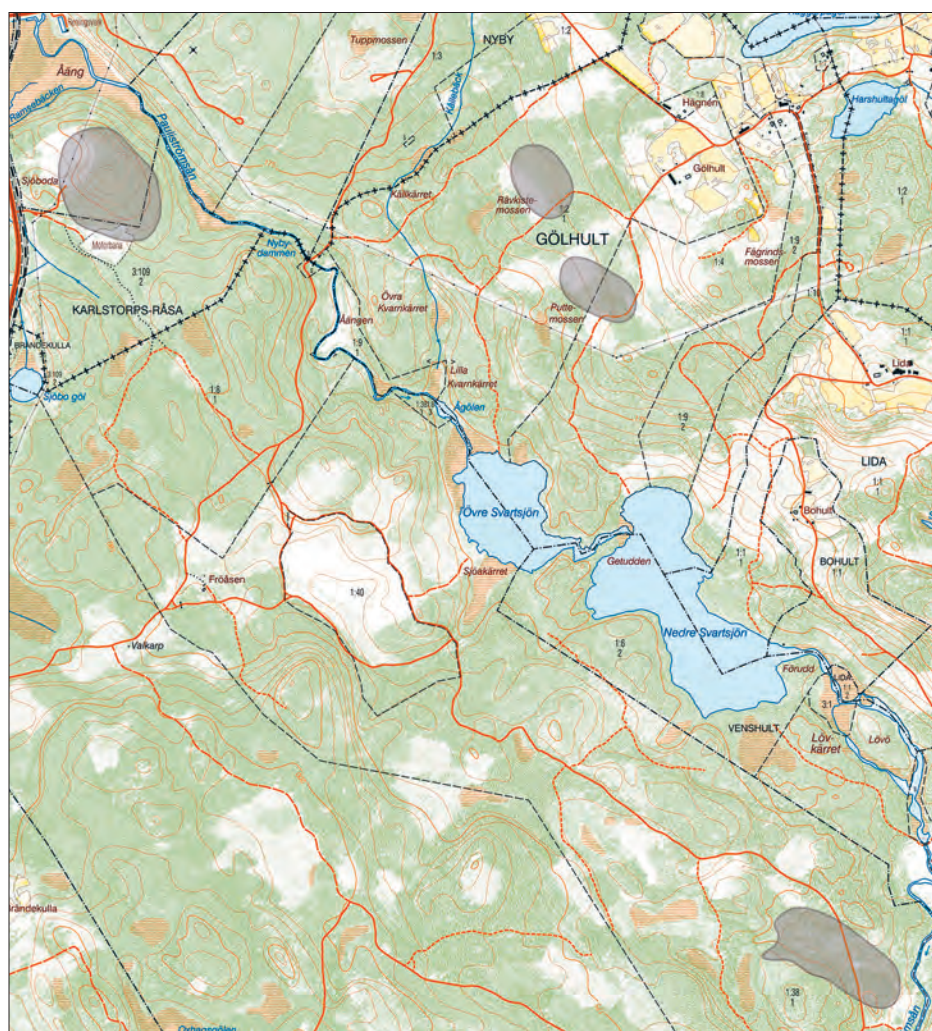
Övertäckning bedömdes av flera skäl (lösa sediment, kraftig gasbildning i sedimenten m.m.) inte vara ett genomförbart alternativ. Alternativet med förbiledning skulle ha krävt omfattande sprängningsarbeten och andra ingrepp i området runt Svartsjöarna. Detta bedömdes inte vara förenligt med att området utgör ett riksintresse för naturvärden som ett Natura 2000-område. Dessutom skulle man inte med denna åtgärd ha återskapat Svartsjö-

arnas naturliga funktion som fälla för kvicksilver och andra föroreningar som transporteras med ån. Detta, i kombination med att förbiledningsalternativet ställde högre krav på framtida tillsynsinsatser och underhåll, gjorde att man valde att inte gå vidare med det, även om det sannolikt hade kunnat genomföras till lägre kostnader.

Nollalternativet utreddes även det separat från huvudstudien och presenterades så här i Miljökonsekvensbeskrivningen:

”Om inte fibersedimenten i Övre Svartsjön avlägsnas medför Nollalternativet att de förhållanden, som nu råder i Svartsjöarna, bedöms kvarstå tämligen oförändrade under många decennier. För närvarande tycks det inte ske någon effektiv överlagring av fibersedimenten, troligtvis beroende på gasutveckling och omlagring. Nedbrytningen tycks inte heller leda till ett snabbt naturligt avlägsnande, med tanke på att fiberförekomsten i dag, 30 år efter fiberutsläppens upphörande, fortfarande är betydande ända upp till sedimentytan. Idag

avgår kvicksilver kontinuerligt från fibersedimenten, huvudsakligen orsakat av metylering. Detta kan leda till att kvicksilverproblemet gradvis avtar, även om det bildade metylkvicksilvret under tiden tas upp av organismer. Det finns dock anledning att befara att fibersedimenten under väl syresatta förhållanden (tidig vår och sen höst) tar upp kvicksilver från vattnet och sedan skickar i väg det som metylkvicksilver. Detta när hög temperatur och anaeroba förhållanden uppstår. Det kan inte uteslutas att sådant kvicksilver, snarare än det som från början var associerat med fibrerna, utgör huvuddelen av det kvicksilver som metyleras. Med hänsyn till ovanstående resonemang görs bedömningen att om inga åtgärder vidtas kommer fibersedimenten att fortsätta att orsaka höga kvicksilverhalter i organismerna i Svartsjöarna och nedströms i Pauliströmsån. De förhållanden som förhindrar att Övre Svartsjön fungerar som kvicksilverfälla kommer också att kvarstå. I takt med att övriga



FIGUR 2.3 Karta på förkastade lokaliseringalternativ för deponering av fibermassor.

kvicksilverkällor minskar får kvicksilverbelastningen från Pauliströmsån allt större betydelse för Emåns organismer nedströms Pauliströmsåns utlopp. Nollalternativet bedöms påverka miljömålen ”Levande sjöar och vattendrag”, ”Myllrande våtmarker” och ”Giftfri miljö” negativt, då kvicksilverproblematiken i Svartsjöarna och Pauliströmsån kommer att kvarstå.”

Utifrån den riskvärdering som hade gjorts, kvarstod endast muddring, med avvattning, rening av returvattnen och deponering i monodeponi, som åtgärdsalternativ. I huvudstudien beskrivs åtgärdsinriktningen enligt följande:

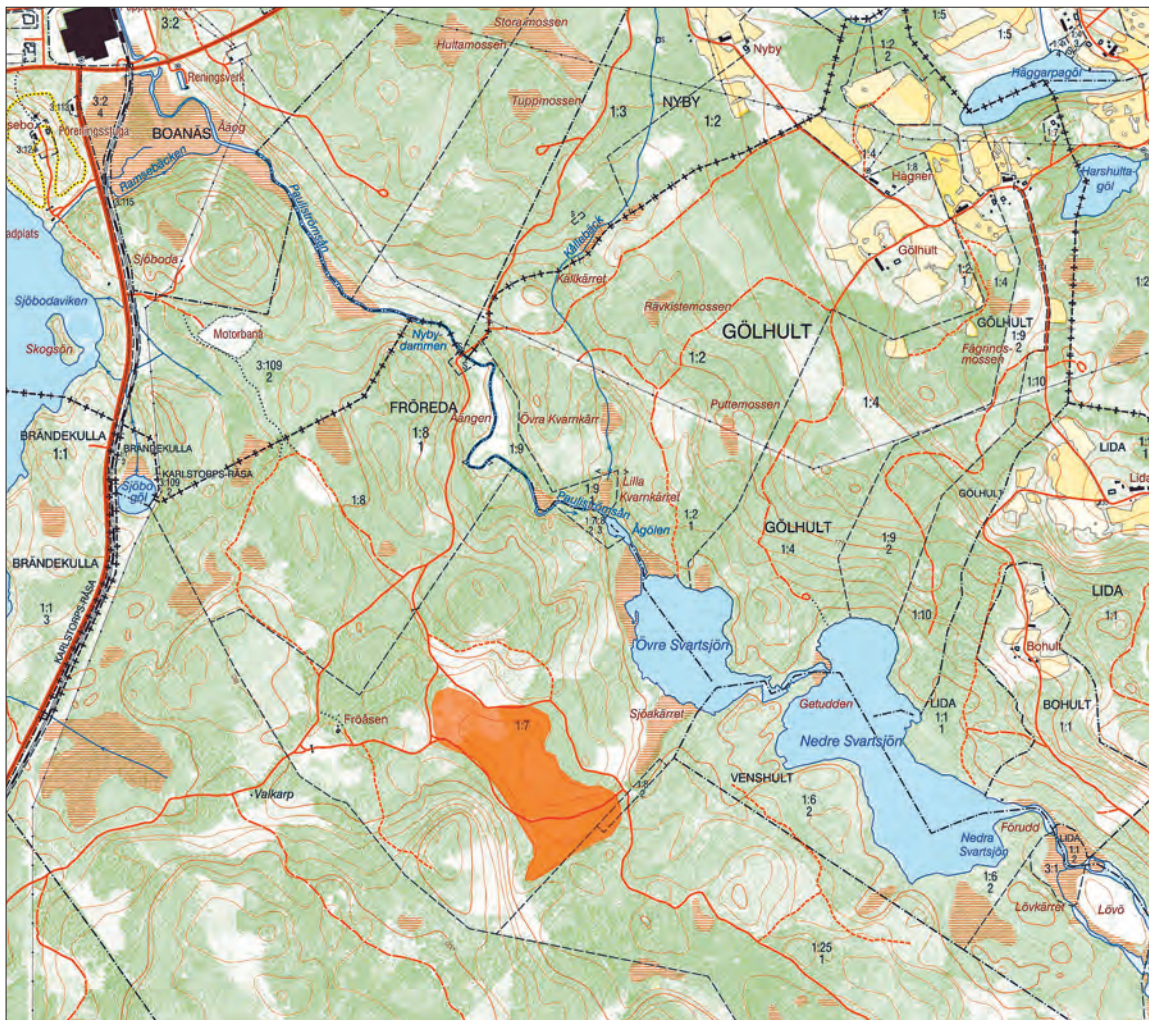
”Muddring av ca 260 000 m<sup>3</sup> kvicksilverförorenade sediment med utrustning speciellt anpassad för försiktig muddring av förorenade sediment. Vid behov kan skyddsskärmar användas för att avgränsa muddringsområdet och förhindra spridning av suspenderad substans nedströms i vattensystemet. Därefter pumpas muddermassorna genom en sluten

ledning upp till en behandlingsanläggning invid Svartsjöarna (*alternativ a*), alternativt till en utjämningsbassäng från vilken de pumpas vidare till en behandlingsanläggning vid Pauliströms bruk (*alternativ b*). Behandlingsanläggningen kan i alternativ b placeras antingen vid brukets reningsverk eller vid brukets deponi.”

Mekanisk avvattning rekommenderades framför självavvattning (genom sedimentering och dränering i dammar) på grund av riskerna för metylering och avgång av kvicksilver från en stor öppen bassäng med lång uppehållstid. Den mekaniska avvattningen ansågs också betydligt effektivare vilket skulle förenkla den efterföljande deponeringen. Beroende på lokaliseringen skulle behandlingsanläggningen utformas på något olika sätt:

#### Alternativ a:

*Placering av avvattningsanläggningen i anslutning till sjöarna. Avvattnade massor deponeras medan avskilt vatten renas och återförs till Svartsjöarna.*



FIGUR 2.4 Karta över saneringsområdet med deponins slutliga placering.

### **Alternativ b:**

*Pumpning av de muddrade massorna från mudderverket via ett sandfång till en buffertdamm, för vidare pumpning ca tre kilometer till en deponi vid Pauliströms bruk för avvattning och deponering. Filtratet från avvattningen skulle därefter ledas vidare till Pauliströms bruks reningsverk och renas genom kemisk fällning/sedimentering i befintligt reningsverk.*

Alternativt kunde vattnet renas direkt vid deponin i en ny reningsanläggning.

Deponering av förorenade sediment skulle ske i en monodeponi. Erforderlig deponeringsvolym efter det att sedimenten avvattnats beräknades till ca 140 000 m<sup>3</sup>. Behandlingsanläggningens lokalisering skulle avgöra lokaliseringen av deponin som, tillsammans med klassningen av avfallet och förväntad belastning genom utlakning etc., var bestämmande för vilka skyddsåtgärder som skulle vidtas vid deponering. I Huvudstudien listades följande alternativ för lokalisering:

#### **Alternativ a**

*Lokalisering av behandlingsanläggningen till någon av tre studerade deponiplatser söder om Svartsjöarna (se figur 2.3).*

#### **Alternativ b**

*Deponering i en avskild cell sker på Pauliströms bruks tillståndsgivna deponeringsområde.*

Alternativ b framhölls som lämpligast med hänsyn dels till att området låg utanför skyddsintresset på en plats som redan är ianspråktagen för deponering av fiber, dels till att de hydrogeologiska förutsättningarna bedömdes som mer fördelaktiga. En nackdel skulle vara att lokaliseringen medförde en resurskrävande transport av muddermassorna.

Totalentreprenör upphandlades 2003. Av de anbud som kommit in vid anbudstidens slut tilldelades konsortiet DEME Environmental Contractors NV och Dredging International NV kontraktet för efterbehandlingsåtgärder i Svartsjöarna.

Deras metod innebar att avvattning skulle ske passivt, där massorna pumpas in i s.k. geotuber utformade att släppa ut vatten men stänga inne partiklar. Flockningsmedel tillsätts därtill för att minimera utsläpp av lösta föroreningar. Det här var en metod som inte tidigare hade använts i Sverige och aldrig förr i denna omfattning.

Alternativet b ovan visade sig vid närmare undersökning av olika skäl olämpligt för deponering av de aktuella fibersedimenten (se kap. 4.2). Huvudstudie för vidare detaljer). Deponin lokaliserades istället till ett område ca 400 m SV om Övre Svartsjön (se figur 2.4).

## **2.7 Efterbehandlingsåtgärder**

Efterbehandlingsåtgärderna i Svartsjöprojektet omfattade omhändertagande av förorenade sediment genom muddring, bortledning av muddermassor, avvattning av fibersediment, behandling av returvattnet, utsläpp av renat returvattnet och deponering av massorna. Muddringen omfattade totalt ca 260 000 m<sup>3</sup> sediment varav ca 210 000 m<sup>3</sup> i Övre Svartsjön och ca 50 000 m<sup>3</sup> i Nedre Svartsjön.

## **2.8 Huvudmannaskap och finansiering**

Projektet drevs av Hultsfreds kommun och finansierades med statliga medel från Naturvårdsverket genom Länsstyrelsen Kalmar län för att muddra kvicksilverförorenade bottensediment i de Övre och Nedre Svartsjöarna, avvattna och deponera dessa sediment säkert på land. Industrin har delfinansierat saneringen med ca 21 Mkr. Huvudansvarig för Svartsjöprojektet var Hultsfreds kommun.

I slutskedet av huvudstudien beräknades den totala projektkostnaden för sanering av Svartsjöarna till 147,2 Mkr för alternativet med mekanisk avvattning och 99,7 Mkr med passiv avvattning. Ett år senare, 2003, beräknades kostnaden till 120 Mkr och då med passiv avvattning i s.k. geotuber, inklusive en utökad projektreserv. I tillståndet från Miljödomstolen medgavs undantag från option 1 (kvalificerad täckning, se kap. 4) och 2 (bottentätning, se kap. 4), vilket medförde att den beräknade totalkostnaden för projektet kunde sänkas till 108 Mkr. Efter slutförd muddring anmälde Totalentreprenören krav på ersättning för avvikelser i förhållande till förfrågningsunderlaget. Avvikelsen gällde huvudsakligen tillkommande åtgärder för rening av returvattnet. Se kapitel 9 för information om projektets slutliga ekonomiska utfall.

# 3. Projektledning

TEXT Kjell Hansson, Agneta Källberg, Ulrika Larson (information), Alexandra Zamparas, Joakim Schultzen, Empirikon AB

Kjell Hansson, Empirikon AB, anlätades i augusti 2001 som projektledare för Svartsjöprojektet. Arbetet med projektledning har löpt genom hela projekttiden med olika uppgifter som ledning, strategisk information, kalkylering, tidsplanering, finansieringsfrågor, entreprenadfrågor m.m. Projektledningens viktigaste uppgift utöver arbetets rutinuppgifter har varit att driva projektprocessen framåt och se till att samspelet mellan projektets aktörer har fungerat på ett tillfredsställande sätt.

## 3.1 Strategisk ledning

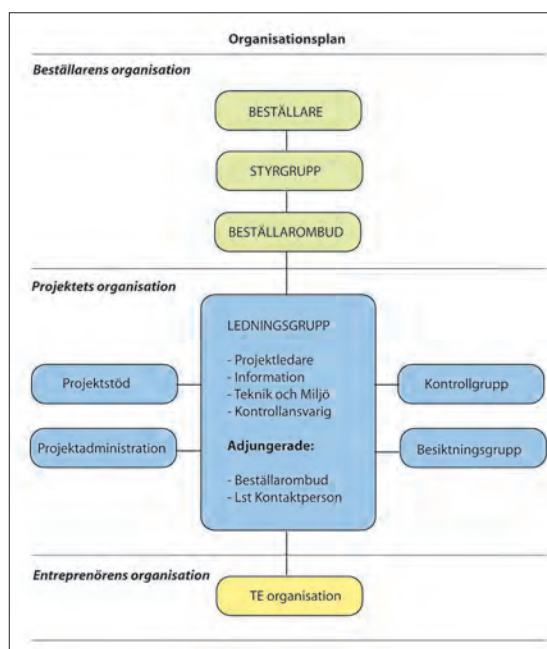
Arbetet inleddes med en genomgång av tidigare genomförda utredningar. Efter analysen av projektets uppgift upprättades förslag till organisering. Efter avstämning med och godkännande av beställaren kopplades resurser till projektet genom såväl avtal med kommunen som med externa konsulter. Efterhand som projektet bemannades utarbetades och implementerades instruktioner för projektarbetets genomförande. Dessa instruktioner samlades i en projekthandbok som beskriver organisation, arbetssätt, rutiner, beslutsordning, dokumentstyrning, kvalitetsstyrning, kalkyler och tidplaner.

Empirikons ledningsfilosofi kännetecknas av att projektet integreras i beställarens organisation, i detta fall Hulstfreds kommun, för att på så sätt dra nytta av redan etablerade rutiner, normer och konventioner i kommunen, främst inom områden som beslutshandling, ekonomi och administration. På så sätt blev projektet tydligare för tjänstemännen i kommunen, förvaltningar och andra funktioner; det gav en högre grad av förståelse för projektet med engagemang som resultat. Därmed ökade också förutsättningarna för projektet att lyfta blicken från detaljer till att fokusera på projektet som helhet i syfte att nå uppställda mål.

Svartsjöprojektet är inte det första efterbehandlingsprojekt som kommunen har drivit. Järnsjöprojektet som genomfördes på 90-talet åstadkom muddring av 400 kg PCB från Järnsjön. Det var ett pilotprojekt på sin tid. Genomförandet av Svartsjöprojektet tillförde ökad kunskap och medvetenhet om hur ett miljöprojekt av denna karaktär och föroreningsproblematik drivs. För första gången

tillämpades totalentreprenad i ett efterbehandlingsprojekt av den här storleken, dessutom är även avvattningsmetoden med geotuber också en innovativ tillämpning.

## 3.2 Projektets organisation



FIGUR 3.1 Organisationsplan för Svartsjöprojektet.

2001 bedrevs organisationen i en arbetsgrupp bestående av projektledaren, författaren till huvudstudien och en projekteringsresurs för översyn av teknik och kostnader för åtgärdsalternativet avvattning/deponering på Pauliströms Bruks industriområde. Initialt bildades en projektgrupp bestående av representant från Länsstyrelsen Jönköpings län, Ove Eriksson från Länsstyrelsen Kalmar län, Jan Eklund från Metsä-Tissue, representant från Vetlanda kommun samt representant från Holmens Bruk. Projektorganisationen utvecklades till en traditionell funktionsindeldad organisation inför det arbete som skulle följa efter komplettering av huvudstudien och åtgärdsutredningen.

Organisationens uppgift var att övervaka och kontrollera totalentreprenörens arbete i syfte att

## BEMANNINGSPLAN

Projektet har varit bemannat enligt följande:

### Ledningsgrupp

<i>Projektledare</i>	Kjell Hansson, Empirikon AB
<i>Information</i>	Thorbjörn Svahn, Hultsfreds kommun Ulrika Larson, Empirikon AB
<i>Teknik och Miljö</i>	Alexandra Zamparas, Empirikon AB Hans Wålinder, Empirikon AB Therese Steinholtz, Empirikon Svenska AB Annika Varnäs, Empirikon AB
<i>Kontrollansvarig</i>	Bo Troedsson, Vetlanda kommun
<i>Beställarombud</i>	Anders Helgée, Hultsfreds kommun
<i>Länsstyrelsens kontaktperson</i>	Åsa Axheden, Länsstyrelsen Kalmar län

### Projektstöd

<i>Miljökemi</i>	Lars-Olof Höglund, Kemakta Konsult AB
<i>Kvicksilver</i>	Olof Regnéll, Lunds universitet
<i>Vattenreningsteknik</i>	Tomas Eriksson, ÅF IPK AB
<i>Miljöstyrning</i>	Tommy Hammar, Länsstyrelsen Kalmar län
<i>Deponeringsteknik</i>	Pär Elander, Envipro Miljöteknik AB
<i>Sedimentologi</i>	Bengt Nilsson, AB Hydroconsult

### Juridik

Pär Molander, Mannheimer Swartling  
Mikael Hägglöf, Fröberg-Lundholm Advokatbyrå

### Ekonomi – administration

<i>Redovisning</i>	Ulrika Örmänder, Hultsfreds kommun
<i>Fakturagranskning</i>	Agneta Källberg, Empirikon AB

### Kontrollgrupp

<i>Ansvarig</i>	Bo Troedsson, Vetlanda kommun
<i>Miljö</i>	Maria Vrethammar, Hultsfreds kommun
<i>Provtagning</i>	Jens Nilsson, Hultsfreds kommun
<i>Teknik</i>	Lars Blomgren, WSP Kalmar

### Besiktningsgrupp

<i>Juridik</i>	Jens Pedersen, Advokatbyrån Jens Pedersen
<i>Deponi</i>	Pär Elander, Envipro Miljöteknik AB
<i>Vatten/sediment</i>	Hampus von Post, Miljömanagement Svenska AB

säkerställa de funktioner som entreprenaden ska leda fram till. Organisationen innehöll därför inte operativa pådrivande funktioner utan endast funktioner för övervakning och kontroll.

De till organisationen kopplade experterna för besiktning hade till uppgift att besiktiga arbetena och ta fram underlag för godkännande av entreprenörens arbete.

I ledningsgruppen ingick projektledaren *Kjell Hansson*, Empirikon AB, informationsansvarig

*Thorbjörn Svahn*, Hultsfreds kommun, information *Ulrika Larson*, Empirikon AB, kontrollansvarig *Bo Troedsson*, då Vetlanda kommun, numera Emåförbundet, samt projekthandläggare *Alexandra Zamparas*, Empirikon AB, (med *Hans Wålinder*, *Therese Steinholtz* och *Annika Varnäs* som företrädare). Projektledaren ansvarade inför beställarens ombud för projektet och ledde arbetet i projektet. Adjungerade till gruppen var beställarombudet *Anders Helgée*, Hultsfreds kommun och

kontaktperson för Länsstyrelsen Kalmar län, *Åsa Axheden* (sedermera *Anders Svensson*). Ledningsgruppen med därtill knuten administration utgjorde beställarens ledningsresurs som svarade för myndighetskontakter, övervakade och ledde arbetet i kontroll- och besiktningsgrupperna. Ledningsgruppen ansvarade för rapportering till beställaren.

Ansvarig besiktningsman i projektet var *Jens Pedersen*, Pedersens Advokatbyrå AB. Biträdande besiktningsmän var *Pär Elander* för deponiarbeten, Envipro Miljöteknik (numera HIFAB Envipro) samt *Hampus von Post* för vattenarbeten, Miljömanagement Svenska AB. Entreprenadkontroll genomfördes av *Lars Blomgren*, WSP Sverige (Därefter DGE Mark och miljö, numera HIFAB Envipro). Miljökontrollarbetet leddes av *Bo Troedsson*, Emåförbundet. I kontrollgruppen ingick *Jens Nilsson*, Hulfsfreds kommun, som utförde miljökontrollarbetet under genomförandetiden samt i efterföljande faser till och med efterföljande miljökontroll. För utformning av programmet för efterföljande miljökontroll samt uppföljning av saneringens effekter ansvarar *Olof Regnéll*, Lunds Universitet samt Cinnobex-MBC. *Jens Nilsson* assisterade även *Lars Blomgren* i entreprenadkontrollen. *Bo* och *Jens* skötte även projektets kontakter med markägare, de initiala kontakterna mer markägarna togs dock av *Mikael Hägglöf*. Tillståndsprövningen ansvarade advokat *Per Molander*, Mannheimer-Swartling Advokatbyrå, för, med biträdande jur. kand. *Mikael Hägglöf*, numera advokat på Fröberg-Lundholm Advokatbyrå. Sakkunniga till projektstöd har varit: *Lars-Olof Höglund*, miljö kemi, Kemakta Konsult AB, *Olof Regnéll*, kvicksilverfrågor, Lunds Universitet samt Cinnobex-MBC, *Tomas Eriksson*, vattenreningsteknik, ÅF IPK AB, *Tommy Hammar*, miljöstyrning, Länsstyrelsen Kalmar län, *Pär Elander*, deponeringsteknik, Envipro Miljöteknik AB samt *Bengt Nilsson*, sedimentologi, AB Hydroconsult.

För ekonomifrågor och redovisning ansvarade *Ulrika Örmander*, Hulfsfreds kommun och för fakturagranskning ansvarade *Agneta Källberg*, Empirikon AB.

Projektets organisation var anpassad till den entreprenadform som var upphandlad. Det är endast inom miljökontrollen som projektet hade en traditionell kontrollbemanning och i övrigt utövade kontrollen genom förbesiktningar och besiktningar.

### 3.2.1 PROJEKTSTRUKTUR

I projektet implementerades en projektstruktur med normer, rutiner och kvalitetsplan som grund för projektets arbete. För samtliga medverkande i projektet upprättades särskilda befattningsbeskrivningar där arbetets omfattning, ansvar och roller framgick tydligt, se nedan:

#### BESTÄLLAREN

- *Styrgruppen*: Inom styrgruppen avgjordes frågor om ramar och direktiv för projektets arbete.
- *Beställarombudet*: Beställarombudet ingick i styrgruppen och företrädde beställaren (Hulfsfreds kommun) inför projektledare samt angav beslutade projektdirektiv.

#### PROJEKTET

- *Ledningsgruppen*: I ledningsgruppen ingick projektledare, informationsansvarig, teknikansvarig, ansvarig för miljökontroll samt projektassistent. Projektledaren ansvarade för projektet inför beställarens ombud och ledde arbetet i projektet. Adjungerade till gruppen var beställarombudet och en kontaktperson för Länsstyrelsen Kalmar län.
- *Ekonomi och administration*: Ansvariga för projektadministration och ekonomi svarade inför projektledaren för redovisning, fakturagranskning, rapporter m.m. samt deltog i arbetet med beslutsunderlag.
- *Projektstöd*: I projektstödet ingick specialister till projektgruppens förfogande. Dessa var endast utredande och/eller rådgivande och hade ingen beslutande funktion.
- *Kontrollgruppen*: Kontrollgruppen svarade för löpande kontroll av entreprenadarbetena inom områdena teknik och miljö. Kontrollgruppen rapporterade fortlöpande under entreprenadtiden om kontrollarbetet till ledningsgruppen. Under huvuddel 1 i entreprenaden utfördes endast kontroll av entreprenörens projekteringshandlingar. Under huvuddel 2 genomförde gruppen kontroll inom miljöområdet, medan kontroll inom teknikområdet istället utfördes av besiktningsgruppen.
- *Besiktningsgruppen*: Inom besiktningsgruppen fördelades besiktningsarbetet mellan olika specialistkompetenser inom områdena vatten/sedimentologi, deponiteknik och entreprenadjuridik. Besiktning utfördes före, under och efter genomförandet av entreprenadarbetena. Efter entreprenadarbetenas färdigställande ska även besiktning utföras i samband med att garantitiden utlöper för entreprenadarbetena. Gruppen svarar för att besiktningsarbetet utförs i enlighet med projektets kvalitetssystem.

Samtliga ansvariga fick ett exemplar av projekthandboken, som var det sammanfattande dokumentet för projektstruktur och arbetssätt. Projekthandboken omfattade följande:

1. Inledning
2. Beskrivning av projektet
3. Projektmål
4. Organisering
5. Kontaktnät – adressförteckning
6. Beslut – befattningbeskrivningar
7. Dokumentstyrning
8. Möten
9. Anskaffning och upphandling
10. Ekonomistyrning
11. Tidplaner
12. Information
13. Ändringar och avvikelser
14. Kontroll och Besiktning
15. Kvalitetsrevision

Projekthandboken uppdaterades kontinuerligt och underhölls under hela projektiden för att möta projektarbetets behov.

### 3.3 Planering

Projektplanering utgår alltid från vad som ska åstadkommas, när det ska vara färdigställt och vad det får kosta. Genom aktivitetsanalys erhålls underlag för att beskriva projektets planering, vilket vanligen sker i form av tidplaner. Tidplanen utgör vidare underlag för att ekonomiskt beskriva konsekvenserna av projektets genomförande. Empirikon tillämpar för sina projekt en form av successiv kalkylering utgående från bedömningar över tiden av troliga kostnader, samt prognostiserade min/max-utfall för i kalkylen ingående poster. Efterhand som arbetena framskrider kan kalkylen förfinas och ge säkrare prognoser för projektets slutkostnad.

Status för projektets tidplanering inför entreprenadgenomförandet framgår av bilaga 1 Tidplan daterad 2005-09-28.

Beträffande kalkylering och slutkostnad i projektet, se avsnitt 9.3.1.

### 3.4 Upphandlingar

#### 3.4.1 LEGALA FÖRUTSÄTTNINGAR

För offentlig förvaltning, beträffande upphandling av varor, byggtreprenader, tjänster och upphandling till försörjningssektorerna, var lagen om offentlig upphandling (LOU 1992:1528) gällande. Idag gäller istället LOU (2007:1091). Enligt 1 kap. 4 § LOU (1992:1528 som tillämpades då denna entreprenad upphandlades) skall en upphandling göras med utnyttjande av de konkurrensmöjligheter

ter som finns och även i övrigt genomföras affärsmässigt. Vidare anges att anbudsgivare, anbudssökande och anbud ska behandlas utan ovidkommande hänsyn. Av 1 kap. 22 § framgår att en upphandlande enhet skall anta antingen det anbud som är det ekonomiskt mest fördelaktiga eller det anbud som har lägst anbudspris. Om en leverantör anser att den upphandlande enheten brutit mot 1 kap. 4 § eller någon annan bestämmelse i LOU kan leverantören enligt 7 kap. 5 § LOU (1992:1528) ansöka om överprövning hos länsrätten. En sådan ansökan kan dock inte prövas efter den tidpunkt då ett upphandlingskontrakt föreligger. Normalt finns det en besvärstid på 10 dagar för framställande av ett överklagande till länsrätten. Om länsrätten anser då att det föreligger skäl, kan ett interimistiskt beslut fattas och upphandlingen kan därmed inte avslutas innan målet är avgjort. Talan om skadestånd måste väckas inom ett år från den tidpunkt då ett upphandlingskontrakt föreligger.

Vid upphandling av totalentreprenad togs hänsyn till ABT 94 och för externa konsulttjänster har ABK 96 tillämpats (regelverken är idag uppdaterade till ABT 06 respektive ABK 08).

#### 3.4.2 UPPHANDLING AV KONSULTTJÄNSTER

Organisationen bedrevs 2001 i en arbetsgrupp bestående av projektledaren, författaren till huvudstudien och en projekteringsresurs för översyn av teknik och kostnader för åtgärdsalternativet avvattning/deponering på Pauliströms Bruk industriområde. Eftersom nya åtgärdsalternativ var framtagna var kunskapsbehovet och utredningsbehovet större än tidigare. I mars 2002 annonserade kommunen efter resurser för kompletterande miljöundersökningar, medverkan i framtagande av MKB, förfrågningsunderlag för entreprenadupphandling, entreprenadkontroll, expertstöd för tekniska frågor samt medverkan vid samråd och domstolsförhandlingar. Ramavtal med de vinnande anbudsgivarna tecknades i maj 2002. Redan en månad senare var den nyformade ledningsgruppen med experter igång i arbete. För mer information om anlitade resurser se under avsnitt 3.2 *Projektets organisation*.

#### 3.4.3 ENTREPRENADUPPHANDLING

Vid upphandlingen var finansieringen säkerställd för själva projekteringsarbetet. Av den anledningen handlades totalentreprenaden upp med det egentliga utförandet av entreprenadarbetena som option för avrop efter utförd och godkänd projektering.

### 3.5 Information

Thorbjörn Svahn vid Hultsfreds kommun har varit informationsansvarig i Svartsjöprojektet. Ulrika Larson, Empirikon AB, har bistått Thorbjörn i frågor gällande informationsstrategi, informationsaktiviteter samt vid produktion av nyhetsbrev, pressmeddelanden och utställningsmaterial. Thorsten Jansson, Miljöreportage, Färjestaden, har utformat två broschyrer för projektet och deltagit som föreläsare vid en informationskväll.

Utdrag om information i efterbehandlingsprojekt ur Naturvårdsverkets kvalitetsmanual:

#### Information

En viktig faktor för att efterbehandlingsprojekt ska löpa så smidigt som möjligt och för möjligheten att utnyttja lokala resurser och kompetens samt för att minska risken för överklagande av myndighetsbeslut är att förankra och att erhålla förtroende för projektet hos allmänhet, politiker, media etc. Speciellt bör den fortlöpande informationen betonas genom att använda t.ex. huvudmannens webbsida, informationsblad och möten, presskonferenser m.m. med syfte att ge berörda parter möjlighet till delaktighet. Det är viktigt att offentlighetsprincipen och informationen sköts väl i projekt som har såväl offentligt huvudmannaskap som finansiering.

Kvalitativa krav på information enligt kvalitetsmanualen kan ställas upp i följande fyra punkter:

- I alla skeden fortlöpande förankra arbetet och erhålla förtroende för projektet hos allmänhet, politiker, media etc. och därigenom stödja projektets genomförande så att risken för överklagande av myndighetsbeslut minskas.
- Huvudmannens webbsida bör användas för fortlöpande information, informationsblad och möten, presskonferenser m.m.
- Syftet med informationsarbetet är att ge berörda parter möjlighet att bli delaktiga i vad som sker i projektet.
- Offentlighetsprincipen och välskött informationsarbete betonas mot bakgrund av det offentliga huvudmannaskapet och finansieringen.

Manualen ger inte direkt vägledning i hur informationsarbetet ska bedrivas utan anvisar endast ett förhållningssätt. Detta lämnar förstås öppet för tolkningar och tillämpningssätt.

För att säkerställa rätt arbetsinsats vid rätt tidpunkt måste informationsinsatserna hela tiden kunna bedrivas aktivitets- och situationsanpassat.

För att uppnå resultat och effekter enligt punkterna 1 och 3 ovan är inte informationsspridning tillräcklig, det krävs en dialog. Det framgår av punkten 2 där möten och presskonferenser omnämns. Punkten 4 betonar vikten av transparens, d.v.s. projektets arbeten och resultat ska göras synliga för allmänhet och andra aktörer i samhället och underförstått information ska vara saklig.

Praktiskt skulle ett lyckat informationsarbete utifrån kvalitetsmanualens betraktelsesätt kunna beskrivas på följande sätt:

- God kommunikation och skapat förtroende för projektet kan leda till ett lyckat projektgenomförande. Informationsarbetet bör sålunda ses som en strategisk del i ledningsfunktionen och gå hand i hand med projektets aktiviteter samt verka för att uppnå projektens målpuppfyllelse.
- Det är betydelsefullt hur man uppfattar projektets omvärld och intressenter.

Tanken med information i ett efterbehandlingsprojekt är bland annat att förebygga oro och spekulationer. Lyhörddhet och kommunikation mellan kommunen och allmänheten är det som skapar förutsättningarna för hur projektet kommer att uppfattas. Det innebär att informationsarbetet måste bedrivas nära beställaren och hela tiden anpassas efter rådande situation i projektet.

I början av projektet utformades en informationsstrategi och en aktivitetsanpassad informationsplan. En genomarbetad informationsstrategi är ett viktigt strategiskt verktyg för att påverka projektet i en positiv riktning. Målet med informationsplaneringen är att förmedla kunskap internt och externt. Alla som berörs av projektet ska känna sig delaktiga, kunna tolka och förstå projektprocessen och därigenom sträva efter det gemensamma målet. Dessa styrande dokument har legat till grund för de informationsaktiviteter som planerats i projektet.

Redan från start fanns en önskan från kommunen med att nå ut med information om projektet dels till boende i Hultsfred och dels till bland annat högskolor med miljöutbildningar. I början av projektet diskuterades hur lärdom kunde dras av Kärnavfallsprojektet, som Thorbjörn Svahn arbetat med, för att föra ut informationen till de platser där folk vistades. Förslag som togs fram var bland annat en permanent utställning, en anslagstavla med information i lokala affärer som t.ex. Blomsteraffären i Järnforsen, deltagande vid marknader osv. Detta diskuterades särskilt eftersom Svartsjöarna är en ganska svårtillgänglig plats för allmänheten.

De informationsinsatser som valdes finns redovisade nedan.



FIGUR 3.2 Exempel på nyhetsbrev.

### 3.5.1 NYHETSBRIV

Tre nyhetsbrev har producerats i projektet. Nyhetsbrev har distribuerats till ca 800 hushåll, företag och intresseorganisationer som ligger i närheten av Svartsjöarna eller som på annat sätt berördes av saneringen.

Syftet med nyhetsbrev har varit att ge intressenter kontinuerlig information om avgörande aktiviteter i projektet samt förmedla kontaktuppgifter till projektets beställarombud, projektledare och informationsansvarige, så att intressenterna vet vart de kan vända sig om frågor uppstår.

Ansvarig utgivare för nyhetsbrevet har Hultsfreds kommuns beställarombud Anders Helgée varit, text och layout har i samverkan med Thorbjörn Svahn tagits fram av Ulrika Larson, Empirikon AB. Nyhetsbrev finns med som bilaga 2a.

### 3.5.2 HEMSIDA

På Hultsfreds hemsida har en sida lagts upp för projektet. Adressen till hemsidan är [www.hultsfred.se/svartsjoarna](http://www.hultsfred.se/svartsjoarna). På hemsidan finns kontaktuppgifter till nyckelfunktioner i projektet, bakgrund till projektet, engelsk information om projektet, beskrivning av naturvärden vid Svartsjöarna, mål och organisation för projektet, entreprenad och ett fotogalleri. Dessutom finns informationsmaterial såsom nyhetsbrev, broschyrer, pressinformation samt utförda rapporter nedladdningsbara.

Hemsidan har lagts upp och administrerats av Thorbjörn Svahn, informationsansvarig för projektet och informationssekreterare på Hultsfreds kommun. Hemsidan har haft fler än 1 000 unika besökare under projektiden.



FIGUR 3.3 Bo Troedsson informerar vid Öppet hus 2006.

FOTO Thorbjörn Svahn



**FIGUR 3.4** Hampus von Post, sediment-expert, visar under informationskvällen i Emågården den 28 mars 2006 hur en sediment-provtagare ser ut och berättar om hur det går till att utföra sedimentundersökning.

FOTO Ulrika Larson, Empirikon AB

### 3.5.3 PRESSMEDDELANDEN, ARTIKLAR SAMT REPORTAGE I TV OCH RADIO

Pressmeddelanden har skrivits i samband med viktiga aktiviteter i projektet såsom kontraktsskrivning med totalentreprenör, entreprenadstart och när entreprenad avslutats.

De olika händelser i projektet som orsakade rubriker som inte handlade om det fortlöpande arbetet i projektet var när tjuvar stal dynamit från entreprenören och ett rådjur hade halkat ned i gropen. Rapporteringen i medierna har varit saklig och informativ. Som bilaga finns artikellista (bilaga 2b).

### 3.5.4 PRESSKONFERENSER

Två presskonferenser har hållits i projektet. Den första presskonferensen sammankallade kommunen till i samband med att kommunen tecknade avtal med entreprenören DEC/NV den 27 maj 2005. Den andra presskonferensen hölls när muddringen avslutats den 20 november 2006. Båda presskonferenserna har lett till att artiklar i Vetlanda-Posten, Vimmerby Nyheter, Oskarshamns Nyheter/Barometern. När muddringen avslutats rapporterades detta även av Sveriges Radio och Sveriges Television.

### 3.5.5 ÖPPET HUS

Den 1 oktober 2006 under muddring av Nedre Svartsjöarna hölls öppet hus ute vid Svartsjöarna. Trots Svartsjöarnas svårtillgängliga läge var det många besökare på plats. Thorbjörn Svahn och Bo Troedsson visade runt och berättade om muddringen.

### 3.5.6 INFORMATIONSMÖTEN

Den 28 mars 2006 inför att saneringen skulle påbörjas vid Övre Svartsjön höll projektet en

informationskväll för allmänhet och journalister vid Emågården i Järnforsen. På plats fanns projektgruppens experter för att berätta om hur entreprenaden skulle gå till, vilka provtagningar som gjorts, vad projektet skulle kosta och hur organisationen för projektet var upplagd. Åsa Axheden, Länsstyrelsen Kalmar län berättade om miljösituationen i Övre och Nedre Svartsjöarna och Paulströmsån samt om det övergripande arbetet med att förbättra miljön i Emåsystemet. Thorsten Jansson, Miljöreportage, Färjestaden, visade vackra naturfoton som han tagit vid Svartsjöarna, Paulströmsån och Emån. Entreprenören DEC presenterade sig och den kommande entreprenaden. En skärmutställning med posters med information om projektet hade också anordnats.

### 3.5.7 KONTINUERLIG KONTAKT MED BOENDE OCH JOURNALISTER

En av de viktigaste informationsinsatserna i projektet har varit den kontinuerliga dialogen med boende i Hultsfred och journalister på de lokala tidningarna.

Thorbjörn Svahn har under hela projektet varit anträffbar för lokala journalister för att svara på frågor. Detta har bidragit till att medierna inte har behövt spekulera kring projektet utan fått saklig information till artiklarna i enlighet med offentlighetsprincipen.

En jourtelefon etablerades till ansvariga för miljökontrollen dit allmänheten och journalister har kunnat ringa för att rapportera händelser vid Svartsjöarna och ställa frågor.

### 3.5.8 INFORMATIONSBROSCHYRER

Thorsten Jansson, Miljöreportage, Färjestaden, har tagit fram två broschyrer till projektet. En broschyr när projektet initierades och en uppdaterad

broschyr togs fram 2006 under saneringen. Den senare versionen finns att ladda ned på Hultsfreds kommuns hemsida [www.hultsfred.se/svartsjoarna](http://www.hultsfred.se/svartsjoarna) eller att beställa från kommunen.

### 3.5.9 INFORMATIONSTAVLA OCH STUDIEBESÖK PÅ ARBETSPLATSEN

I början av projektet diskuterades om det var möjligt att sätta upp en permanent utställning om projektet i en lokal som var mer lättillgänglig än Svartsjöarna. Som förslag till lokal nämndes Emågården i Järnforsen. Till slut bestämdes ändå att en informationstavla med information om projektet skulle sättas upp vid en åskådarplattform vid Övre Svartsjön.

Anledningen till att informationstavlan placerades där var bland annat att det var svårt att ta sig ned till Övre Svartsjön för att se muddringen eftersom projektets entreprenör har ansvaret för säkerheten på platsen och måste då godkänna och planera inför besök på entreprenadplatsen. En annan aspekt var att det inte var säkert för besökare att gå ned till hamnen eftersom det körde transporter inom området samt att det fanns ankare med linor till mudderverket fästa vid strandkanten. Om en

sådan lina skulle gå av skulle det innebära en stor risk för personer som vistades inom det området.

Totalentreprenören hade ansvar för att iordningställa två besöksplattformar med utsikt över Övre Svartsjön, deponin och reningsanläggningen i anslutning till entreprenadområdet. Det tog dock lång tid att få besöksplattformarna iordningställda för besök. Önskvärt hade varit att dessa plattformar hade i ordningsställt i entreprenadens inledningsskede så att studiebesök och pressvisningar hade kunnats anordnas redan i första skedet då mudderverk etablerades och reningsverk och deponiytan anlades.

Besöksverksamheten vid Svartsjöarna har varit lyckad trots att området är svårtillgängligt. Thorbjörn Svahn, har haft skolklasser och andra stora grupper på besök. Bo Troedsson, delprojektledare för miljö, har haft många besökare involverade i ett Sidaprojekt på besök från 22 olika länder, bland annat Botswana, Sydamerika och Mongoliet.

Ytterligare en nyttig erfarenhet att ta upp angående informationsverksamheten är att ett samarbete med turistbyrån hade kunnat bidra till ökad kunskapspridning om projektet och lockat fler besökare till Svartsjöarna.



FOTO Thorbjörn Svahn

FIGUR 3.5  
Från Öppet hus 2006.

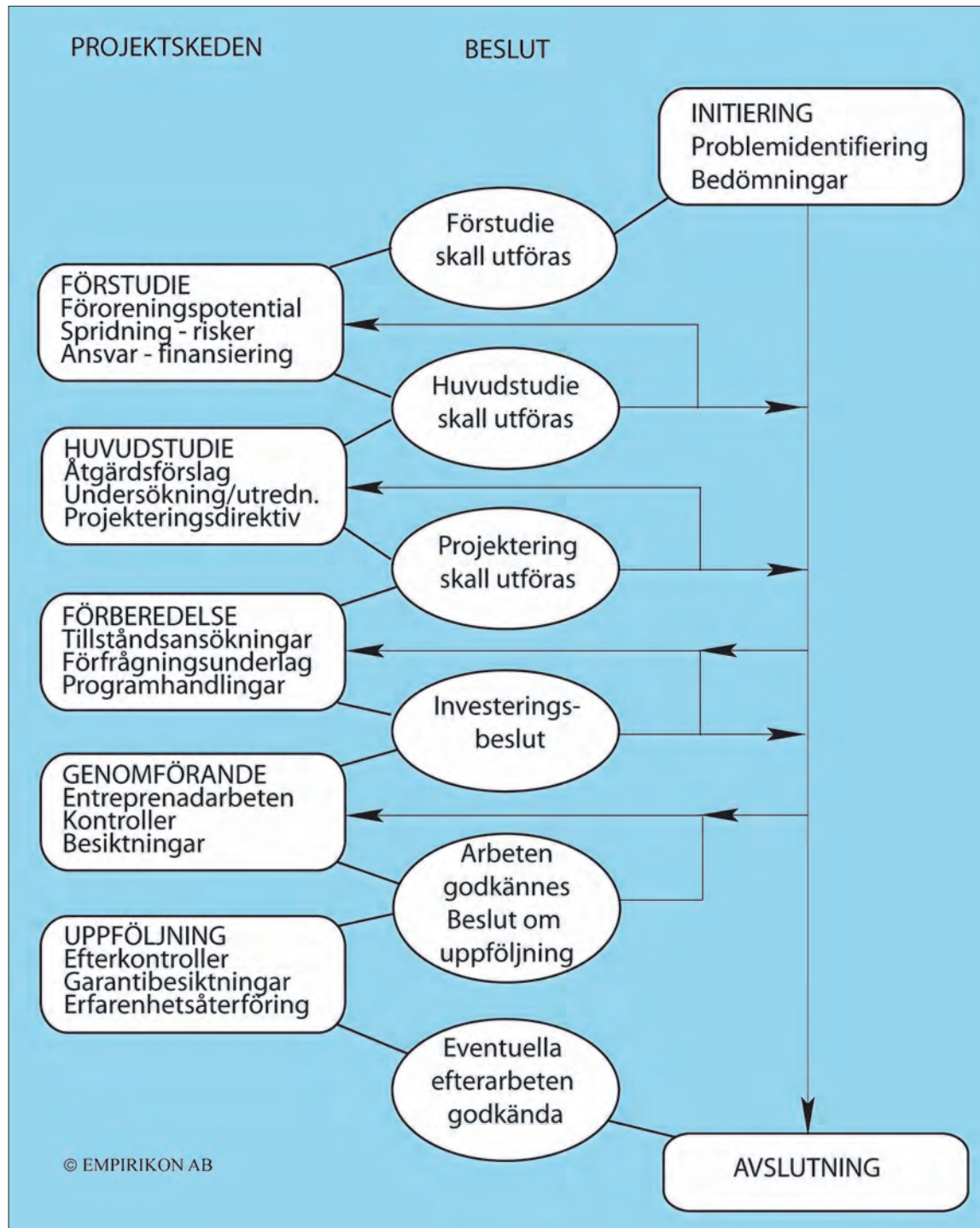
FOTO Thorbjörn Svahn



FIGUR 3.6  
Informationstavlan vid Övre Svartsjön.

# 4. Projektprocessen

TEXT Joakim Schultzén, Alexandra Zamparas, Empirikon AB, Mikael Hägglöf, Fröberg-Lundholm Advokatbyrå AB



FIGUR 4.1 Schematisk beskrivning av projektprocessen

## 4.1 Förberedelseskedet

Någon förstudie genomfördes aldrig eftersom det inte ansågs nödvändigt med det underlag som redan tagits fram. Vid tidpunkten var det inte heller något myndighetskrav, då Naturvårdsverkets kvalitetsmanual för den här typen av projekt fortfarande var under utarbetande.

En utmaning som uppstod, i och med att en del undersökningar hunnit bli inaktuella, var att sedimenten i sjön omlagrats under tiden fram till entreprenaden. De mätningar som totalentreprenören företog gav en annan bottenprofil än den som tidigare karterats. Detta medförde att muddringsplanen fick omarbetas, vilket också haft viss inverkan på entreprenadkostnaden.

Huvudstudie med riskbedömning och åtgärdsutredning bekostades av Naturvårdsverket via Länsstyrelsen Kalmar län. Empirikon fick projektledningsuppdraget i augusti 2001, men Kjell Hansson hade varit delaktig i upphandling av förundersökningen redan 1995. Denna förundersökning blev sedan en del av huvudstudien.

Länsstyrelserna i Kalmar och Jönköpings län deltog i förhandlingarna med industrin. På Tommy Hammars (Länsstyrelsen Kalmar) förslag sattes en styrgrupp samman med representanter från berörda länsstyrelser, industrin och berörda kommuner. I april 2002 presenterades den reviderade huvudstudien och projekteringsdirektivet. Under våren bemannades projektorganisationen för att möta kraven på kompetens som sattes upp i dessa dokument.

Användningen av Pauliströms bruks deponi framfördes på förslag redan år 2000. Detta var tänkt att bli industrins bidrag i projektet. Efter utredning visade det sig att denna placering inte var lämplig p.g.a. områdets topografi. Det var risk för dåliga stabilitetsförhållanden (Envipro rapport 29/10 2002). En annan rapport från Kemakta från 2002 visade att BOD belastningen skulle bli för hög för recipienten med detta alternativ. Kostnadsutredningen i huvudstudien visade dessutom att en deponi vid Pauliströms bruk skulle bli dyrare än en deponi vid Svartsjöarna. Industrins bidrag blev istället 21 miljoner kronor till projektets finansiering.

### 4.1.1 ANSVARSUTREDNINGAR

Till huvudstudien genomfördes fyra utredningar i frågan om hur ansvaret för saneringen skulle fördelas.

Det första utlåtandet gjordes 1998-05-25 av Advokatfirman Magnus Pfannenstill på uppdrag av Hultsfreds kommun (Utlåtande angående ansvaret för borttagande av fibermassor mm i

Svartsjöarna i Hultsfreds kommun), vilket var innan MB trädde i kraft.

Pfannenstill kom fram till att om det företag som stått för den största delen av utsläppen drivit verksamhet efter 1989-07-01, då ett tillägg gjordes till Miljöskyddslagen (ML) angående skyldighet att avhjälpa olägenheter som uppstått som resultat av verksamheten, skulle detta företag ha återställningsansvaret. Om det inte var möjligt att utkräva ansvar från detta företag kunde det istället åläggas de nya ägarna eftersom de vid köpet haft möjlighet att undersöka förhållandena och t.ex. begära avdrag på köpeskillingen. Pfannenstill påpekar också att det i och med den då ej ännu införda miljöbalken (MB) skulle vara möjligt att ålägga ansvar på det företag som stått för största delen av föroreningarna även om de överlätit verksamheten innan 1989-07-01. Här påpekas också att man inte hade tillstånd för verksamheten under perioden 1969–1972. Han stödjer vidare uppfattningen att återställningsskyldigheten följer verksamheten och att därför de företag som senare haft produktion vid Pauliströms bruk kan åläggas att undanröja de skadliga verkningarna av fiberbankarna.

Därefter genomfördes en utredning av Jan Darpö, CTS/Högskolan i Dalarna (Om ansvaret för undersökning och efterbehandling av fibermassorna i Svartsjöarna 1999-02-23). Denna utgick ifrån den då gällande MB och Darpö kom fram till ungefär samma slutsatser som Pfannenstill. Enligt MB kan tillsynsmyndigheten utkräva skäligt ansvar från alla parter som till mer än en obetydlig del bidragit till föroreningen, förutsatt att verksamheten bedrivits efter 1969 (tidpunkten för införandet av ML). Dock kunde förmildrande omständigheter i det här fallet vara att verksamheten utövats i enlighet med de tillstånd som meddelades 1972, 1975, 1981, samt 1994. Darpös rekommendation blev att det företag som stått för största delen av utsläppen skulle åläggas att vidta viss undersökning och efterbehandling i mindre skala. De företag som därefter övertagit verksamheten föreslogs få sina tillstånd för verksamheten omprövade av Länsstyrelsen, med tilläggsvillkor angående undersökningar eller efterbehandlingsprogram.

Den tredje utredningen genomfördes på uppdrag av industrin av Johan Norman, Baker & McKenzie advokatbyrå (PM angående ansvaret för efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun, Kalmar län 1999-06-30).

I detta yttrande hävdas att tillstånd för verksamheten 1969-1972 inte var nödvändigt eftersom ML endast föreskrev detta för nyanläggning och ändring. Någon ändring i verksamheten skedde inte

förrän 1971, då man sökte tillstånd för en ökning av produktionen, vilket alltså beviljades 1972. Norman menade också att ansvar bör begränsas för perioden då kvicksilver användes i produktionen, vilket hade upphört innan ML trädde i kraft. Han hävdade vidare att preskription var tillämplig och borde bestämmas till 10 år efter den skadegörande handlingen, det vill säga det sista kvicksilverutsläppet.

Slutligen genomförde Länsstyrelsen Jönköpings län en skälighetsbedömning 2002-05-22 (Ansvarsutredning föranledd av planerad efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun i Kalmar län). Länsstyrelsen Jönköpings län ombads av Naturvårdsverket att ta fram underlag för att lösa frågan om ansvars- och kostnadsfördelning med industrin. Här pekas på att det inte i första hand är kvicksilvret utan metyleringen av desamma till följd av fibermassorna som är problemet. Och eftersom fibermassor släppts ut under hela verksamhetstiden menade utredaren att man inte kunde hävda preskription eller att den skadegörande handlingen skedde innan ML trädde i kraft. I den här frågan var tillgång till expertis som hade processkunskapen om metyleringen en nödvändig förutsättning för framgång i ansvarsförhandlingarna. I utredningen gjordes bedömningen att ansvaret skulle ligga på såväl tidigare som nuvarande verksamhetsutövare. Länsstyrelsen och Naturvårdsverket ansåg att det vore skäligt om industrin stod för 35 % av de beräknade kostnaderna för undersökningar och sanering.

## 4.2 Huvudstudie

Huvudstudien genomfördes i två etapper: Den första etappen genomfördes 1996-1998 och omfattade undersökningar och utredning av Svartsjöarnas miljöstatus och behovet av saneringsåtgärder samt utarbetande av ett åtgärdsförslag. Etapp 1 bedrevs av en arbetsgrupp med representanter från kommunen och Länsstyrelsen som knutit till sig lämplig expertis för utredning av olika delfrågor.

Den 29 juni 2001 träffades representanter från Länsstyrelsen Jönköpings län, Länsstyrelsen Kalmar län, Naturvårdsverket och Metsä Tissue AB (Hultsfreds kommun och Holmen AB var förhindrade att delta). Vid det mötet kom industrin med ett nytt åtgärdsförslag. Metsä Tissue skulle låta projektet använda deras befintliga anläggning i Pauliström för hantering av fibermassorna samt även sin befintliga deponi för den slutliga upplagningen av desamma. Metsä Tissue lät projektet använda deras befintliga anläggning i Pauliström för hantering av fibermassorna samt upplåter även sin befintliga deponi för slutlig upplagning av massorna. Detta skulle då bli Metsä Tissues bidrag till efterbehandlingsåtgärderna. Förslaget mottogs med intresse samtidigt som mötesdeltagarna fastställde behovet av ytterligare utredningar för att kunna ta ställning till åtgärdsalternativet.

Nästa möte mellan industrin, Länsstyrelsen Kalmar län, Naturvårdsverket samt Hultsfreds och Vetlanda kommun (Länsstyrelsen Jönköpings län hade förhinder) genomfördes i oktober 2001. I diskussionen om industrins möjlighet till projektmedverkan behandlades förutsättningar för pump-



FIGUR 4.2 Mudderverket Pixy på Svartsjöarna.

FOTO Thorbjörn Svahn

ning av mudderslam, avvattning/returvattenrening och deponering. Möjligheten att nyttja brukets befintliga anläggning för rening av returvatten fördes fram. Det ifrågasattes dock om det var lämpligt att hantera brukets processvatten samordnat med projektets behandling av returvatten, särskilt mot bakgrund att de två verksamheternas tillstånd kan föreskriva skilda villkor. Den aktuella deponin vid bruket var klassad som deponi klass 3. Skulle deponeringskraven utökas till klass 2 eller klass 1, då såg man en betydande fördyring. Mötet beslutade att utredningar av åtgärdsförslaget skulle utredas vidare och redovisas i november 2001.

Efter utredningar kom det fram att deponin vid Pauliströms bruk inte var iordningsställd för mottagning av muddermassor, ej heller inkluderades i förslaget från bruket ansvaret att stänga och slutligt täcka deponin. Tillståndet hade vid det här läget förfallit och ny ansökan om tillstånd om deponering var ingiven till Länsstyrelsen, dock ej kungjord eller prövad. BOD-belastning på Pauliströmsån lyfts fram i diskussionen. Naturvårdsverket noterade att utredningar som redan genomförts har i alla fall inte visat något hinder för projektets genomförande. Projektet ska därför drivas vidare så att underlag för ett slutligt val av åtgärdsalternativ kan göras. Från Länsstyrelsen Kalmar län framhölls vidare att Svartsjöarna och Pauliströmsån utgör riksintresse samt att projektet syftar till att återställa sjöarnas normala funktion och minskning av transport av Hg och MeHg till Pauliströmsån och nedströms. Vidare understryker Länsstyrelsen att kunskaperna om fibersediment är små, vilket motiverar fortsatt engagemang.

#### 4.2.1 YTTERLIGARE BEHOV AV UTREDNINGAR – KOMPLETTERING AV HUVUDSTUDIE

Den andra etappen genomfördes 2001–2002 och omfattade kompletteringar av åtgärdsförslaget med ytterligare alternativ. Inom denna etapp bedrevs arbetet med en styrgrupp sammansatt av representanter från kommunen, Länsstyrelsen Kalmar län, Länsstyrelsen Jönköpings län, Metsä Tissue AB och Holmen AB. Även Naturvårdsverket har givits tillfälle att följa projektet och har lämnat synpunkter på huvudstudierapporten. Inom denna etapp kompletterades huvudstudien med ytterligare åtgärdsalternativ.

Initialt bildades en projektgrupp bestående av representant från Länsstyrelsen Jönköpings län, Ove Eriksson, Länsstyrelsen Kalmar län, Jan Eklund från Metsä-Tissue, representant från Vetlanda kommun samt representant från Holmens Bruk. Projektorganisationen utvecklades hösten 2001 till en traditionell funktionsindelad organisa-

tion med uppdrag att slutföra huvudstudien och åtgärdsutredningen.

#### 4.2.2 UNDERSÖKNINGAR FÖR TILLSTÅNDSANSÖKAN OCH FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG

##### UTGÅNGSPUNKTER

Från huvudstudien framgick att projektet skulle omfatta muddring, avvattning och deponering av ca 260 000 m<sup>3</sup> förorenade sediment. I huvudstudien hade omfattande undersökningar genomförts, dock främst undersökningar av förorenings-situationen i sedimenten och dess påverkan på vattenmiljön. I den sedimentkartering som utförts hade också egenskaper betydelsefulla för val av åtgärd undersökts, d.v.s. de tekniska egenskaper som påverkar val av muddringsteknik, behov av avvattning och val av slutligt omhändertagande.

För att få ett fullständigt underlag för såväl en ansökan om tillstånd enligt miljöbalken som till ett förfrågningsunderlag för upphandling av en entreprenad krävdes genomförande av ett antal ytterligare undersökningar, förutom de som utförts i huvudstudien. Styrande för planeringen av dessa var den då fastlagda strategin att så stor del som möjligt av projekteringsarbetet skulle förläggas inom entreprenaden, detta med hänsyn till tidplan och finansiering. Strategin innebar också att man inte i onödan skulle låsa fast tekniska lösningar i ett tidigt skede, utan möjliggöra för anbudsgivare att välja olika metoder, framför allt för omhändertagande av muddrade sediment och returvattenrening, som bedömdes vara en nyckelfråga. Undersökningarna planerades därför för att ge en tillräcklig beskrivning av förhållanden för att anbudsgivare skulle få ett kalkylerbart underlag och för att en rambeskrivning skulle kunna upprättas, vilken skulle definiera funktionskrav för entreprenaden men utan att begränsa möjligheterna till olika genomförande. Av denna anledning reserverades också ett stort arbetsområde som bedömdes som topografiskt lämpligt för tillämpning av olika sätt att omhänderta muddrade sediment.

##### DIMENSIONERANDE VATTENKVALITETSPARAMETRAR OCH UTSLÄPP UNDER GENOMFÖRANDETIDEN

Redan i huvudstudien identifierades att sugmuddring med särskilt anpassat muddringshuvud för minimering av partikelspridningen som den mest ändamålsenliga muddringsmetoden med hänsyn till sedimentens egenskaper (extremt låg skjuvhållfasthet, låg TS-halt, innehåll av gas m.m. som medför stor risk för sedimentflykt i samband med

muddring). Sugmuddring innebär samtidigt inspädning av relativt stora volymer vatten. Upptagna sediment måste avvattnas för att bli hanterbara i en deponi och stora volymer returvatten måste återföras till vattensystemet.

För att fastställa funktionskrav i form av utsläppskriterier för returvatten och kunna ta fram relevanta villkorsförslag till tillståndsansökan togs i ett tidigt skede fram vattenkvalitetsparametrar för Svartsjöarna och Pauliströmsån, samtidigt som prover av det förmodade returvattnet togs fram i laboratorium och analyserades, med hjälp av större mängder upptagna prover från främst Övre Svartsjön (som bedömdes ha de mest besvärliga sedimenten).

I linje med vad som hade förväntats visade det sig att den största svårigheten med returvattnet sannolikt skulle vara mängden löst och kolloidalt organiskt material, som vid nedbrytningen förbrukar syret i vattnet (d.v.s. BOD och COD). Däremot visade undersökningarna att utsläpp kvicksilver eller inte borde utgöra något problem, p.g.a. att det förelåg starkt bundet till sedimenten och inte löstes ut i någon större utsträckning. Undersökningarna visade också att inga andra föroreningar kunde förväntas i returvattnet. I förprojekteringen drogs därför slutsatsen att en rening av returvattnet med avseende på partiklar och löst/kolloidalt organiskt material borde vara tillräckligt. Av dessa parametrar bedömdes det organiska innehållet utgöra den större svårigheten. Det bedömdes också att kemisk fällning skulle vara en kostnadseffektiv metod för rening av returvattnet med avseende på detta. Ett alternativ till rening av returvattnet med avseende på organiskt syreförbrukande material bedömdes vara en längre genomförandetid med lägre intensitet, eller att långtidslagra vatten i bassänger. På båda dessa sätt skulle återföringens flöde kunna begränsas och anpassas till vattenföringen i Pauliströmsån på ett sådant sätt att vattenkvalitetsparametrarna med avseende på syreförbrukning i ån inte riskerade att överskridas.

Problematiken kring utsläpp av organiskt syreförbrukande material bedömdes som en nyckelfråga för val av utrustning och metoder samt dimensionering av muddrings-, avvattnings- och vattenreningsprocessen och specialstuderades i en utredning om ”Belastning av syreförebrukande ämnen från returvatten från muddring – olika scenarier.” Som ett resultat av utredningarna bestämdes att lämna anbudsgivare ett stort utrymme att föreslå olika sätt att hantera problematiken. För att maximera detta utrymme gavs möjlighet att både välja lång genomförandetid och möjligheter att utnyttja stora arbetsområden lämpliga för utbyggnad av utjämningsmagasin m.m.

#### AVFALLSKARAKTERISERING

Utformning och lokalisering av en deponi i fråga om lakvattenstransport, geologiska barriärer och skyddsskikt har sin utgångspunkt i hur avfallet klassificerats. Grundkravet är enligt 19 § i förordningen om deponering av avfall (2001:512) att en deponi lokaliseras så att allt lakvatten efter driftfasen (tiden upp till att deponin är stabiliserad), samt ej uppsamlat lakvatten under driftfasen, måste passera genom en geologisk barriär innan det når en skyddsvärd recipient, i detta fall Övre Svartsjön. Därutöver skiljer sig vissa tekniska krav beroende på typen av deponerat avfall. I det här projektet planerades för två möjliga klassificeringar av muddermassorna från Övre och Nedre Svartsjön; inert och icke-farligt

Icke-farligt avfall definieras enligt 3 § i ovan nämnda förordning som motsvarande hushålls-avfall *samt därmed jämförligt avfall från annan verksamhet och kräver en högre skyddsgrad än avfall som klassificerats som inert. Inert avfall definieras enligt följande: Avfall som inte genomgår några väsentliga fysikaliska, kemiska eller biologiska förändringar. Inert avfall löses inte upp, brinner inte och reagerar inte fysikaliskt eller kemiskt på något annat sätt, inte heller bryts det ned biologiskt eller inverkar på andra material som det kommer i kontakt med på ett sätt som kan orsaka skador på miljön eller människors hälsa. Den totala lakbarheten och det totala föroreningsinnehållet i avfallet samt ekotoxiciteten hos lakvattnet skall vara obetydliga och får inte äventyra kvaliteten på yt- eller grundvatten.*

För att avgöra vilken klassificering som skulle gälla genomfördes en s.k. lakvattenklassificering. Ett sedimentprov från Övre Svartsjön späddes till en torrsubstanshalt (TS) på 2 % för att efterlikna utspädningsförhållandet vid muddring och transport. Därefter avvattnades det till TS 20 % för att efterlikna muddermassornas tillstånd vid deponering. Efter vidare s.k. skakförsök och centrifugering av proverna analyserades de med avseende på bl.a. DOC (halten löst organiskt kol), TOC (totalt organiskt kol), Hg, tungmetaller och mineralolja.

Miljödomstolens uppfattning när det gällde utförandet av ansökt deponi var att förhållandena i föreliggande fall var av sådan art att den ur deponin genererade lakvattenmängden har ett lågt föroreningsinnehåll och att förhållandena även i övrigt är sådana att påverkan är liten. Miljödomstolen fann att avsteg kunde göras från kraven i deponeringsförordningen, avseende bottentätning m.m., utan att risk för skada eller olägenheter för människors hälsa eller miljö skulle uppkomma. Muddermassorna klassificerades därför som icke-farligt avfall, beroende på att totalinnehållet av mineral-

olja (ca 900 mg/kg) överskred gränsvärdet för inert avfall (500 mg/kg). Med hänsyn till övriga beslutade mottagningskriterier inom EU kunde muddermassorna tas emot i en deponi för inert avfall.

Eftersom halterna TOC inte medgav möjlighet att deponera, vare sig i deponi för icke-farligt eller inert avfall, behövde projektet även anhålla om dispens från förbudet att deponera organiskt avfall. I maj 2006 medgav Länsstyrelsen dispens för deponering av högst 30 000 ton TS muddermassor.

#### LOKALISERINGSUTREDNING OCH UNDERSÖKNINGAR AV ARBETS- OCH DEPONIOMRÅDE

Olika möjliga alternativa lokaliseringar för behandling och deponering av sediment undersöktes utifrån befintligt källmaterial och kunskap om platserna. Därefter gjordes platsbesök för utvärdering av naturliga förutsättningar. Kommunen hade också kontakter med berörda fastighetsägare för att bedöma hur sannolikt det var att kunna genomföra marklösen frågor mm.

Tidigt i undersökningen framstod det slutligen valda området väster om övre Svartsjön som fördelaktigt ur flera synpunkter:

- Det ligger rimligt nära Svartsjöarna.
- Inom området finns både höjdparter och en dalgång som skulle möjliggöra för anbudsgivare att välja olika metoder för avvattning, vattenrening och deponering, inklusive stora bassänger för passiv avvattning och utjämningsmagasin för returvattnet.
- Området hade en fungerande infrastruktur med skogsbilvägar anpassade för tung trafik och tillgång till strandområde med anläggande av en kortare tillfartsväg.
- Sannolikt gynnsamma hydrogeologiska förutsättningar för anläggning både av en slutlig deponi men också för dammar/utjämningsmagasin med begränsade skyddsinsatser.
- Inga särskilda skyddsvärden i övrigt.

Inom det lokaliserade området utfördes fördjupade undersökningar för att verifiera att detta var lämpligt:

- Geologisk tolkning av området utgående från befintligt material samt fältbesök.
- Geofysiska undersökningar omfattande automatiserad resistivitetsmätning i fyra linjer. Undersökningen syftade huvudsakligen till att lokalisera svaghetszoner i berget bl.a. för att förstå förutsättningar för grundvattenströmning i krosszoner/sprickzoner i berget.
- Geoteknisk undersökning för att översiktligt beskriva de geotekniska förhållandena för anläggningsarbeten, inklusive möjligheterna

att utnyttja befintliga jord- och bergmaterial i området. Eftersom den naturliga jorden utgjordes av morän och jordtäcket över berg bedömdes som relativt tunt (ställvis återfanns berg i dagen) utfördes undersökningarna som provgroppgrävningar med jordartsbestämning i fält och med rutinundersökning i laboratorium av upptagna prover. Under sökningarna visade en relativt tunn jordtäckning med grov morän och relativt mycket block i höjdlägena, med tillväxande jordlagermaktighet ned mot dalgången.

- Hydrogeologiska undersökningar, främst riktade mot de indikationer på sprick- och krosszoner i området som identifierades i geologiskt underlagsmaterial och i de geofysiska undersökningarna. Undersökningarna omfattade tio jordbrunnar och fem bergbrunnar i vilka utfördes slugttester och spoltester. Undersökningen visade att de hydrauliska egenskaperna i de bergborrhade brunnarna huvudsakligen styrs av ytliga grundvattenmagasin, sannolikt i ytupp sprucket berg i kontakt med ovanliggande jordlager.

### 4.3 Miljöprövning

Svartsjöprojektet har omfattat muddring av närmare 260 000 m<sup>3</sup> kvicksilverförorenade sediment. Saneringen av Övre och Nedre Svartsjön genomfördes under 2006 och den deponi som användes för upplag av de muddrade massorna slutbesiktades i november 2007.

Flera av saneringsåtgärderna var tillståndspliktiga enligt miljöbalken och projektet har därför varit föremål för miljöprövning. Prövningen utfördes av Miljödomstolen vid Växjö tingsrätt med Hultsfreds kommun som sökande. Här sammanfattas Svartsjöprojektets tillståndsprövning enligt miljöbalken (avsnitt 2) och innehåller en diskussion rörande erfarenheterna från prövningen (avsnitt 3).

#### 4.3.1 SAMRÅDSFASEN

Tidigt samråd enligt den då gällande lydelsen av 6 kap. 4 § miljöbalken genomfördes vid två tillfällen:

- Tidigt samråd i fråga om huvuddragen i Svartsjöprojektet med fokus på den del av projektet som avsåg vattenverksamhet genomfördes i form av ett möte i Emågården, Järnforsen, den 4 september 2002 med länsstyrelserna i Kalmar län och Jönköpings län och berörda fastighetsägare m.fl. Inbjudan till samrådet skickades direkt till berörda

myndigheter och fastighetsägare tillsammans med ett relativt utförligt samrådsunderlag och annonserades i lokaltidningarna.

- Tidigt samråd i fråga om avvattnings och deponering av muddrade massor samt utsläpp av returvattnen genomfördes också i form av ett möte. Deltagare var Länsstyrelsen Kalmar län och av projektet berörda fastighetsägare. Mötet ägde rum den 30 oktober 2002 på samma plats som det föregående mötet. Inbjudan skedde enligt vad som angetts ovan. I samrådsunderlaget redovisades två alternativ för avvattnings – mekanisk och passiv – samt fyra olika lokaliseringsalternativ, varav endast två var lämpliga för både passiv och aktiv avvattnings.

En samrådsredogörelse gavs in till Länsstyrelsen Kalmar län den 19 november 2002. Den 25 november 2002 beslutade Länsstyrelsen att den planerade verksamheten vid Svartsjöarna kan antas medföra en betydande miljöpåverkan. Detta innebär enligt det då gällande regelverket att ett utökad samråd med en bredare allmänhet och sektormyndigheter m.fl. skulle genomföras. Den 17 januari 2003 skickades ett utkast till miljökonsekvensbeskrivning till berörda myndigheter och andra berörda. Dessutom meddelade kommunen genom annons i lokalpressen att underlag för det utökade samrådet fanns tillgängligt för granskning. Samtliga berörda ansåg det angeläget att saneringsåtgärderna genomfördes. De synpunkter som framfördes under samrådet beaktades senare vid upprättande av tillståndsansökan.

#### 4.3.2 TILLSTÅNDSANSÖKAN

Ansökan om tillstånd till efterbehandlingsarbetena färdigställdes och gavs in till miljödomstolen vid Växjö tingsrätt den 30 april 2003. Ansökan omfattade yrkande om:

- Tillstånd enligt 11 kap. miljöbalken att från Övre och Nedre Svartsjön genom muddring avlägsna kvicksilverhaltiga sediment till den mängd som behövs för att halterna av kvicksilver i kvarvarande sediment efter muddring inte skall överstiga 0,10 mg/kg TS (i storleksordningen 300 000 m<sup>3</sup>), samt att leda bort fiberhaltigt vatten (muddermassor) till den mängd som behövs för att omhänderta sediment som avlägsnas enligt ovan (högst 600 m<sup>3</sup>/timme som dygnsmedelvärde).
- Tillstånd enligt 9 kap. miljöbalken att på fastigheterna Hultsfred Fröreda 1:7, Hultsfred Fröreda 1:8 och Hultsfred Fröreda 1:25 genom avvattnings behandla upptagna muddermassor, återleda ca 3 000 m<sup>3</sup> returvattnen per dygn från avvattningen till Övre Svart-

sjön samt lägga upp de avvattnade muddermassorna – högst 30 000 ton TS.

- Tillstånd enligt 7 kap. 28 a § miljöbalken att inom Natura 2000-området Emåns vattensystem vidta ovan angivna åtgärder.
- Vissa undantag från kraven i förordningen (2001:512) om deponering av avfall, nämligen undantag från krav på geologisk barriär, bottentätning, bottendränering, uppsamlingssystem för lakvatten och sluttäckning.

Kommunen föreslog följande villkor för verksamhetens bedrivande:

1. Om inte annat framgår av nedan angivna villkor skall verksamheten – inbegripet åtgärder för att minska vatten- och luftföroreningar samt andra störningar för omgivningen – utformas och bedrivs i huvudsaklig överensstämmelse med vad kommunen uppgett eller åtagit sig i målet.
2. Om provtagning efter muddring till projekterat djup (omfattande ca 260 000 m<sup>3</sup> förorenade sediment) visar att halterna av kvicksilver i kvarvarande sediment överstiger 0,10 mg/kg TS skall samråd ske med tillsynsmyndigheten om eventuellt behov av ytterligare muddring.
3. Turbiditeten i utgående vatten i den muddrade sjöns mynning får inte överstiga 10 NTU som riktvärde och dygnsmedelvärde samt 7 NTU som riktvärde och rullande veckomedelvärde.
4. Halten suspenderat material i den muddrade sjöns utlopp får som riktvärde och rullande veckomedelvärde inte överstiga 10 mg/l.
5. Halten suspenderat material i returvattnen från behandlingsanläggningen får som riktvärde och dygnsmedelvärde inte överstiga 50 mg/l.
6. Halten BOD<sub>7</sub> i returvattnen från behandlingsanläggningen får som riktvärde och rullande veckomedelvärde inte överstiga 100 kg/dygn.
7. Buller från de ansökta åtgärderna skall begränsas i skälighets omfattning.
8. När ansökan gavs in hade det beslutats att Svartsjöprojektet skulle genomföras som en totalentreprenad. Entreprenören skulle alltså ges en relativt hög grad av frihet när det gällde val av konstruktioner, teknik, arbetsmaskiner m m. Med hänsyn härtill kunde endast verksamhetens tekniska *huvuddrag* redovisas i ansökan. Det var därför viktigt för projektet att tillförlitliga och miljösäkra funktionskrav kunde utarbetas.
9. Svartsjöprojektets potentiella inverkan på Paulströmsån och Emån utgjorde utgångspunkt för de funktionskrav som ställdes i villkorsförslagen. Av de utredningar som låg till grund för miljökonsekvensbeskrivningen framgick

att turbiditet och susphalt var de viktigaste parametrarna att reglera under muddring. Från avvattningen befanns det vara centralt att begränsa tillförseln av suspenderat och syreförbrukande material.

#### 4.3.2.1 HANDLINGAR INGÅENDE I TILLSTÅNDSANSÖKAN

##### *Miljökonsekvensbeskrivning och Teknisk beskrivning*

Miljökonsekvensbeskrivningen och den tekniska beskrivningen som togs fram till ansökan om tillstånd utformades så att de beskriver ramarna eller funktionskraven för verksamheten men lämnade ett stort utrymme för anbudsgivare att komma med olika tekniska alternativ, framför allt när det gällde avvattning av sediment och vattenhantering men också vattenrening och muddringsteknik.

##### *Utredning med hänsyn till Natura 2000-området*

Svartsjöarna ingår i Emåns vattensystem och är av Länsstyrelsen i Kalmar och regeringen avsatt att ingå i Natura 2000-nätverket enligt EU:s habitatdirektiv. Då det i vattnen i Svartsjöarna och strax nedströms finns flera arter som skall skyddas gjordes en separat utredning av Högskolan i Kalmar. Utredningen belyste olika tänkbara konsekvenser, på lång och kort sikt, för habitat och organismer som ligger till grund för inrättande av natura 2000-området. Arter som konsekvenserna bedömdes för var bl.a. utter, asp, stensimpa, lax, nissöga, flodpärlmussla, öring och tjockskalig målarmussla.

#### 4.3.3 REMISSRUNDAN

Efter vissa begränsade kompletteringar kungjordes ansökan för synpunkter den 19 januari 2004. Samtliga remissmyndigheter, sakägare och andra berörda tillstyrkte ansökan. I villkorsfrågor framfördes emellertid följande synpunkter.

- Länsstyrelsen ansåg att det borde föreskrivas att ett återledande av returvattnen skulle ske efter höggradig rening och via lagringsdamm med filter. Kommunen pekade i bemötande på behovet av att bibehålla en hög grad av frihet för totalentreprenadens entreprenör. Kommunen förklarade sig vidare ha lagt ned stor möda på att utforma relevanta funktionskrav för att garantera att entreprenaden genomförs på ett miljösäkert sätt. Kommunen ansåg att det saknades skäl att, utöver föreslagna funktionskrav, föreskriva teknikkrav som skulle begränsa entreprenörens handlingsfrihet.
- Länsstyrelsen föreslog ett villkor med inne-



FIGUR 4.3 Höst vid Pauliströmsån.

FOTO Thorbjörn Svahn

börden att turbiditeten i utgående vatten i den muddrade sjöns mynning inte skulle få överstiga 7 NTU som riktvärde och dygnsmedelvärde och 5 NTU som riktvärde och rullande veckomedelvärde. Kommunen godtog förslaget.

- Länsstyrelsen föreslog ett villkor med innebörden att halten suspenderat material i återledningsvattnen från lagringsdamm med filter som riktvärde och dygnsmedelvärde inte fick överstiga 30 mg/l före utsläpp till Övre Svartsjön. Kommunen bedömde att Länsstyrelsens förslag ställde krav på en så avancerad rening att Svartsjöprojektets budget skulle äventyras. Den utredning avseende vattenkvalitetskriterier för Pauliströmsån som kommunen hade låtit utföra visade att ett konstant utsläpp av 35 mg suspenderat material per liter från returvattnen inte skulle medföra några negativa effekter i vattensystemet. Vidare framgick att 50 mg/l var acceptabelt som toppbelastning. Mot bakgrund härav föreslog kommunen ett villkor med följande lydelse:

*Halten suspenderat material i returvatten från behandlingsanläggningen får inte överstiga följande riktvärden:*

- 35 mg/l som rullande veckomedelvärde och
- 50 mg/l som dygnsmedelvärde

- Länsstyrelsen föreslog ett villkor med innebörden att muddringsarbetet skulle utföras innanför skyddsskärmar. Kommunen påtalade åter att det saknades skäl att utöver de ovan nämnda funktionskraven föreskriva teknikkrav. Funktionskravet innebar att entreprenören kunde komma att välja att använda skyddsskärmar som teknisk lösning.
- Länsstyrelsen föreslog ett villkor med innebörden att kommunen i samråd med tillsynsmyndighet och markägare skulle lösa frågor om slutlig utformning av området när saneringsarbetet avslutats. Kommunen godtog Länsstyrelsens förslag.

Härutöver framställdes vissa ersättningsyrkanden av sakägare.

#### 4.3.4 MILJÖDOMSTOLENS DOM

Efter huvudförhandling den 18 augusti 2004 (där den upphandlade entreprenörens förslag till tekniska lösningar redovisades) meddelade miljödomstolen dom den 27 september 2004 (mål nr M 160-03). Miljödomstolen biföll samtliga yrkanden i ansökan och föreskrev villkor helt i enlighet med kommunens förslag, såsom de justerats efter de synpunkter som redovisats i avsnitt 4.3.3 ovan.

Domen överklagades inte och den vann således laga kraft den 19 oktober 2004.

#### 4.3.5 VIKTIGA ERFARENHETER

Med hänsyn till beslutet att genomföra Svartsjöprojektet som en totalentreprenad fanns, som nämnts, ett stort behov att bibehålla flexibilitet för genomförandefasen. Tekniska beskrivningar av verksamheten och dess skyddsåtgärder fick därför i ansökningsmålet en underordnad betydelse i förhållande till miljöfrågorna. För såväl tillståndsprövning som upphandling ”tvingades” huvudmannen utarbeta genomtänkta funktionskrav. Utgångspunkten för arbetet var recipientens höga skyddsvärde och dess känslighet (bl.a. beroende på förekomst av flodpärlmusslor).

Miljöbalken förutsätter vid tillståndsprövning av vattenverksamhet och miljöfarlig verksamhet att man utgår ifrån den planerade verksamhetens lokalisering och tekniska förutsättningar. Därefter prövas om verksamheten är tillåtlig och vilka försiktighetsmått och skyddsåtgärder som fordras för detta. Tillämpningen av miljölagstiftningen har under årens lopp utvecklats från att resultera i föreskrifter om olika tekniska skyddsåtgärder till att

handla om en bedömning av vilka funktionskrav (ofta utsläppskrav) som kan uppfyllas av verksamheten. Utgångspunkten är dock alltså (oftast) viss teknik och dess funktion. Att kraven sedan uttrycks som en funktion snarare än en viss teknik beror på att prövningsmyndigheten anser det vara lämpligt att verksamhetsutövaren och tillsynsmyndigheten ges frihet att tillämpa annan teknik om detta senare skulle visa sig vara möjligt.

Att tillståndsprövningar enligt miljöbalken och äldre lagstiftning har utgått ifrån den tekniska beskrivningen av en verksamhet är i sig inte anmärkningsvärt. Tvärtom ska enligt miljöbalkens hänsynsregler (2 kap. 3 §) alla verksamhetsutövare utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön, samt i samma syfte använda bästa möjliga teknik. Detta krav (liksom övriga krav i 2 kap. miljöbalken) gäller i den utsträckning det inte är orimligt enligt 2 kap. 7 § miljöbalken. Vid den sistnämnda bedömningen ska särskilt beaktas nyttan med skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått jämfört med kostnaderna för sådana åtgärder. För att det ska vara möjligt att pröva vad som är bästa möjliga teknik och göra en kostnads-/nyttöavvägning synes det föreligga ett behov av tämligen detaljerad teknisk information.

Bestämmelsernas ordalydelse gör att det vid första anblicken t o m kan framstå som tveksamt om det är möjligt att utföra en prövning av funktionskrav som utgår ifrån vad recipienten ”tål”. Vid en närmare granskning framgår emellertid att verksamhetsutövaren har att vidta de skyddsåtgärder och försiktighetsmått som *behövs* för att förebygga, hindra eller motverka skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. Om funktionskrav utformas utifrån vilken miljöpåverkan som kan anses godtagbar aktualiseras således inget behov av särskilt utpekade skyddsåtgärder. Det *behövs* med andra ord inget ytterligare för att skydda människors hälsa och miljön. Det enda som krävs är att funktionskraven innehålls.

Om det krävs en ingående avvägning enligt 2 kap. 7 § miljöbalken är det dock svårare att relatera föreslagna villkor endast till en funktion. Någon form av underlag rörande kostnader för relevanta skyddsåtgärder krävs för att bedömningen ska kunna göras på ett tillförlitligt sätt.

Vid miljöprövningen av Svartsjöprojektet hade funktionskraven utformats så att remissmyndigheter och övriga i princip delade kommunens bedömning i fråga om behovet av villkorsregleringar. Som torde ha framgått av avsnitt 4.3.3 ovan

var remissinstansernas synpunkter på ansökan av begränsad omfattning och inför huvudförhandlingen kvarstod nästan inga meningsskiljaktigheter. Det är sannolikt att en viktig orsak till detta var att varje ställningstagande från kommunens sida var underbyggt med information om recipienten och dess känslighet. Miljöintresset hade i ansökan tillgodosetts på ett sätt som onödiggjorde mer komplexa avvägningar mellan miljöintresset och andra intressen. Sökandens stora kunskap om miljöförhållandena i området förenklade dessutom kommunikationen med remissinstanserna och bidrog till att projektets trovärdighet kunde hållas på en mycket hög nivå.

Sammantaget kan konstateras att Svartsjöprojektets strategi i miljöprövningen – att skaffa god kunskap om miljöförhållandena och att utifrån detta utforma funktionskrav – har varit var mycket framgångsrik. Det bör emellertid noteras att strategin inte passar för alla projekt. Som exempel kan anges att en hög miljöskyddsnivå ibland endast kan åstadkommas till en mycket hög kostnad. I sådana fall bör det finnas möjlighet att väga nyttan mot kostnaden och det är, som nämnts, oftast inte möjligt utan att en eller flera tekniska skyddsåtgärder utreds i viss detalj. Vidare kan behovet av skyddsåtgärder vid en sanering vara svårt att uttrycka med funktionskrav som går att ”översätta” till tillståndsvillkor. Det framstår dock som lämpligt att som regel pröva huruvida det är möjligt att tillämpa den strategi som tillämpades i Svartsjöprojektet i andra efterbehandlingsprojekt.

#### 4.4 Övriga tillstånd, avgifter m.m.

Nedan anges de viktigaste tillstånd som kommunen ansökte om under arbetenas gång och beviljades:

##### DISPENS FÖR DEPONERING AV ORGANISKT AVFALL

Den 19 april 2006 skickade Hultsfreds kommun en ansökan om dispens från förbudet att deponera organiskt avfall. Som skäl angavs att massornas täta och finkorniga sammansättning samt innehåll av kvicksilver innebär att kompostering inte är en lämplig behandlingsteknik. Den enda lämpliga behandlingstekniken skulle i så fall vara förbränning i en anläggning med avancerad rökgasrening vilket skulle medföra så höga kostnader att projektet skulle omöjliggöras. Dessutom torde det saknas kapacitet för så stora mängder muddermassor. Vidare var efterbehandlingsprojektet miljömässigt mycket angeläget.

Länsstyrelsen medgav den 11 maj 2006 deponering av högst 30 000 ton TS muddermassor över en begränsad period, d.v.s. 2006-05-11 t.o.m. 2007-12-31. Beslutet fattades med stöd av 15 kap. 24 §

MB, 13§ i förordning (2001:512) om deponering av avfall och med hänvisning till Naturvårdsverkets föreskrifter om hantering av brännbart och organiskt avfall (NFS 2004:4).

##### GODKÄNNANDE AV UPPTAGNING AV GEO- TEXTILSKÄRM OCH HÖJNING AV VATTENSTÅND I ÖVRE SVARTSJÖN

För att muddring av de strandnära, grunda områdena skulle kunna genomföras och på grund av en torr vår var vissa områden onåbara för mudderverket Pixy. Vid den rådande vattennivån skulle totalentreprenören vara tvungen att övergå till annan utrustning, enligt totalentreprenören mindre precis och mindre säker än Pixy. En tillfällig höjning av vattenytan med omkring 40 cm ansöktes om, till som mest 147,65 m ö.h. Denna nivå uppnås naturligt under regnperioden och det fanns därför ingen anledning att räkna med negativa effekter. Den höga nivån skulle upprätthållas under som mest 3 veckor. Höjning av vattenytan skulle åstadkommas genom att man delvis blockerade vattenfallet i sjöns utlopp med sandsäckar. Sekundära flöden skulle användas för att reglera vattennivån.

Länsstyrelsen godkände i sitt beslut den 28 juli 2006 att vattenståndet höjdes med sandsäckar enligt anmälan till höjden 147,65 m ö.h. Beträffande dämning av Övre Svartsjön förelade Länsstyrelsen om följande försiktighetsmått:

- För att inte angiven dämningnivå skulle överskridas skulle daglig kontakt tas med Emåförbundet om flödet i Pauliströmsån ökar.
- Så snart muddringen i ÖS var utförd eller så snart flödet var tillräckligt för att upprätthålla ett tillräckligt vattenstånd skulle fördämningen tas bort.
- Vid borttagande av fördämning skulle vattenståndet sänkas successivt under minst tre dagar för att inte flödesökningen skulle innebära ökad grumling från den muddrade ÖS.

Bestämmelser som tillämpades var MB 2 kap. 3 §, 26 kap. 9 §.

Geotextilskärmen ansågs vid tidpunkten inte göra någon nytta och kunde innebära hinder i slutfasen av muddringen. Provtagningen i närheten av sugmuddringsfartyget uppvisade inte sådana förhöjda halter av suspenderat material så att det kan befaras att överskridande kan ske. Däremot samlades det flytande växter mot skärmen som ledde till onödig belastning. Oljelänsan skulle dock ligga kvar. Om det skulle uppkomma grumling som översteg gällande värden skulle arbetena stannas och skärmen återutsättas.

Länsstyrelsen godkände i sitt beslut den 28 juli

2006 att totalentreprenören fick ta upp geotextil-skärmen och förelade om följande försiktighetsmått beträffande upptagning av skärmen:

- Upptagning av skärmen ska ske på ett sådant försiktigt sätt att grumling i möjligaste mån undviks.
- Orsakade sugmuddringen i ÖS att gällande riktvärden och rullande veckomedelvärden riskerade överskridas då skulle skärmen återsättas.
- Bom med oljelänsa fick förstås inte tas bort förrän sugmuddringsfartyget med tillhörande utrustningar lämnade ÖS.

GODKÄNNANDE AV ANVÄNDANDE AV HALM SOM STÖD OCH UTFYLLNAD I DEPONIN

I ett ursprungligt förslag hade totalentreprenören tänkt använda uttjänta bildäck för att fylla hålrum och rätta till anslutningen mellan geotuber i de första två lagren. Ojämnheter kunde resultera i oönskade dragspänningar i textilen, ojämna sättningar i deponin. Eftersom det inte gick att köra på geotuberna behövde materialet huvudsakligen bäras ut för hand vilket i det närmaste omöjliggjorde utläggning av tyngre material som sand och grus. Efter en preliminär bedömning av kommunen att bildäck i deponin är olämpligt, kom totalentreprenören

med halm som förslag. Även träflis och träspån föreslogs.

Länsstyrelsen förbjöd användning av uttjänta bildäck i deponin men godkände i sitt beslut den 1 september 2006 användning av halm, träflis och träspån. Materialets nedbrytning under de anaeroba förhållandena i deponin skulle vara långsam. Framtida sättningar som kunde uppkomma till följd av biologisk nedbrytning borde ske på ungefär samma sätt i halm som i fibersedimenten.

FÖRELÄGGANDE OM EFTERMUDDRING FÖR OMRÅDEN 1 OCH 5 I ÖVRE SVARTSJÖN

I villkor 2 i miljödomen angavs att ”om provtagning efter muddring till projekterat djup visar att halterna av kvicksilver i kvarvarande sediment överstiger 0,1 mg/kg TS skall samråd med tillsynsmyndigheten (i det här fallet Länsstyrelsen) om eventuellt behov av ytterligare muddring”.

Miljökontrollen hade rapporterat in analysresultat för tio olika delområden i Övre Svartsjön (läs mer om indelningen i delområden i kapitel 5 om Totalentreprenad). Provtagningen hade skett i olika omgångar och i en del fall hade provtagningen gjorts om för att bringa större klarhet om förhållandena på olika djup, en s.k. stratifierad provtagning. Resultaten visade att område 5 vid

Delområde sediment 0-40 cm	Aug	Sept	Stratifierad provt. Sept	Medelhalt mg/kgTS	Yta (ha)	% av 9,642 ha	% av arean >0.10 mgHg/kgTS
1			0.155	0.155	1.08	11.20	11.2
1:2 (40-60 cm)			0.092				
1:3 (60-80 cm)			0.074				
2		0.14	0.13	0.135	0.77	7.99	7.99
2:2 (40-60 cm)			0.098				
2:3 (60-80 cm)			0.074				
3	0.106			0.106	0.962	9.98	9.98
4	0.082			0.082	0.8	8.30	
5	0.233	0.258	0.275	0.255	0.66	6.85	6.85
5:2 (40-60 cm)			0.075				
5:3 (60-80 cm)			0.019				
6	0.145		0.093	0.119	0.8	8.30	8.30
6:2 (40-60 cm)			0.086				
6:3 (60-80 cm)			0.093				
7		0.100		0.100	0.72	7.47	
8		0.088		0.088	1.26	13.07	
9	0.081			0.081	1.04	10.79	
10		0.28	0.091	0.091	1.55	16.08	
10:2 (40-60 cm)			0.076				
10:3 (60-80 cm)			0.075				
Summa					9.642	100.03	44.32

TABELL 4.1 Efterkontroll, analyser av kvicksilver (Hg mg/kg TS) med beräkningar.

tre provtagningar hade en medelhalt på 0,255 Hg mg/kg TS (se tabell 4.1). Andra områden som också hade halter över 0,1 mg/kg TS var område 1 (0,155 mg/kg TS), område 2 (0,135 mg/kg TS), område 3 (0,106 mg/kg TS) och område 6 (0,119 mg/kg TS). I område 10 utfördes en ny provtagning som visade att halterna understeg 0,1 mg/kg TS. Tidigare taget prov var inte representativt.

Enligt beställarens miljöplan får högst 25 % av den sanerade ytans totala area ha en kvicksilverhalt som överstiger 0,10 mg/kg TS. Om en eftermuddring sker i område 5 och 1 uppfylls i stort sett även detta krav (ca 26 %). En eftermuddring av område 1 motiveras också av områdets belägenhet vid Övre Svartsjöns inlopp. En eftermuddring av område 2 och 6 anser Länsstyrelsen inte vara nödvändig då de kvarvarande halterna nu är nära de bakgrundshalter som anges i Naturvårdsverket bedömningsgrunder för miljö kvalitet för sjöar och vattendrag. Eftersom den största mängden fiber i de aktuella områdena också är avlägsnade, kommer den syreförbrukande nedbrytningen av fiber att minska, vilket innebär att metyleringen av kvarvarande kvicksilver minskar.

Notera att kravet på 0,1 mg/kg TS är högt ställt; den naturliga bakgrundshalten i Smålandssjöar är 0,1–0,2 mg/kg TS. Notera även att villkoret 0,1 mg/kg TS betyder halter mellan 0,10 och 0,14999 mg/kg TS. Eftermuddring genomfördes därefter. Slutliga muddringsresultat redovisas i kapitel 5.

Länsstyrelsens beslut den 11 september 2006 om Övre Svartsjön togs med stöd av MB 26 kap. 9 §, 2 kap. 3 § och 22 kap. 28 §.

#### GODKÄNNANDE AV MUDDRING I NEDRE SVARTSJÖN

I villkor 2 i miljödomen anges att ”om provtagning efter muddring till projekterat djup visar att halterna av kvicksilver i kvarvarande sediment överstiger 0,1 mg/kg TS skall samråd med tillsynsmyndigheten (i det här fallet Länsstyrelsen) om eventuellt behov av ytterligare muddring”.

Kontrollfunktionen hade rapporterat in analyser som redovisar provtagning i Nedre Svartsjön. I ett prov visar område 12 i skiktet 0–40 cm att värdena något överstiger halten 0,10 mg/kg TS med värdena 0,110 mg/kg TS och 0,120 mg/kg TS. Halterna var lägre i skiktet 40–80 cm (0,081 mg/kg TS).

Enligt beställarens miljöplan får högst 25 % av den sanerade ytans totala area ha en kvicksilverhalt som överstiger 0,10 mg/kg TS. Länsstyrelsen ansåg att detta krav är uppfyllt om mätosäkerhet inkluderas i bedömningen. En ytterligare eftermuddring ansåg Länsstyrelsen inte vara nödvän-

dig då kvarvarande halt var nära de naturliga bakgrundshalter som anges i naturvårdsverket bedömningsgrunder för miljö kvalitet för sjöar och vattendrag. Där anges 0,16 mg/kg TS som halt för södra Sverige. Eftersom den största mängden fiber i de aktuella områdena också är avlägsnade, kommer den syreförbrukande nedbrytningen av fiber att minska, vilket innebär att metyleringen av kvarvarande kvicksilver minskar.

Länsstyrelsen beslutade den 8 november att godkänna muddringen i Nedre Svartsjön med stöd av MB 26 kap. 9 §, 2 kap. 3 § och 22 kap. 28 §.

#### GODKÄNNANDE AV ÄNDRING AV UTSLÄPPSPUNKT FÖR NEDERBÖRDS- OCH LAKVATTEN FRÅN DEPONIN

Kommunen ansökte om godkännande att ändra utsläppspunkt för vatten från deponin under tiden fram till sluttäckning. Enligt meddelad dom och enligt vad kommunen hade åtagit sig skulle returvattnet från avvattning återföras direkt till Pauliströmsån i en punkt strax uppströms Övre Svartsjön. Totalentreprenören hade i ett särskilt dokument beskrivit hur uppsamling och kontroll av lakvatten skulle ske vintertid. Projektplanen förutsette att dräneringen i framtiden skulle gå direkt till ett dike söder om deponin för att sedan via Sjöakärret komma ut till Övre Svartsjön. Då saneringen var avslutad och deponin var inrättad begärde totalentreprenören att tidigarelägga en flyttning av utsläppspunkten för vatten från deponin till det dike som passerar omedelbart söder om deponin och mynnar i Sjöakärret. Vattnet från Sjöakärret rinner sedan ut i Övre Svartsjön. Enligt uppgift var det dessutom mera praktiskt att vintertid låta vattnet gå denna väg då frysproblem kunde uppkomma i pumpar och andra anläggningar.

I det fall den veckovisa kontrollen inte skulle visa sig uppfylla villkoren då skulle utsläppet av returvattnet stängas av och vatten börja pumpas över till en bufferttank för att senare behandla returvattnet så att det åter kunde släppas ut.

Enligt vad totalentreprenören hade åtagit sig fick utsläppen till Övre Svartsjön vara 225 kg COD per dygn och för BOD<sub>7</sub> 75 kg per dygn. Uppföljningen visade att utsläppen under vinter 2006, efter avslutad muddring, skulle komma att ligga på en nivå om ca 40 kg per dygn för COD och 4 kg per dygn för BOD<sub>7</sub>. Mängden vatten från deponin i december låg på ca 400 m<sup>3</sup> per dygn. Enligt tillståndet för verksamheten fick halten BOD<sub>7</sub> inte överstiga 100 kg/dygn som riktvärde och rullande veckomedelvärde. Mätningar och analyser över höst och vinter 2006 visade halterna av kvicksilver (tot-Hg och MeHg), COD och BOD<sub>7</sub> låg med marginal under de villkor och åtaganden som gällde för utsläpp av

dessa ämnen till Övre Svartsjön. Halterna av COD och BOD<sub>7</sub> var visserligen 5 gånger högre i returvattnet från deponin än i diket uppströms deponin.

Länsstyrelsen bedömde att den ökade belastningen av organiskt material inte i någon nämnvärd grad skulle komma att påverka Sjöakärret. En viss reduktion av organiskt material efter passagen genom kärret innebär en mindre belastning på Övre Svartsjön vilket får ses som positivt. En ökad hydraulisk belastning på Sjöakärret med knappt 5 l/s kunde innebära en mindre påverkan på kärret som dock kunde accepteras. Kommunen kontaktade även markägaren till Sjöakärret som inte hade något emot att returvattnet gick till bäcken och vidare ut i kärret.

Länsstyrelsen hade i sitt beslut den 5 december 2006 inget att erinra mot att utsläppspunkten ändrades med de förutsättningar som angavs, dvs. att reningen återupptas om villkoren för verksamheten riskerar att överskridas. Tillämpade bestämmelser var MB 26 kap. 9 § och 2 kap. 3§. En särskild kontrollpunkt upprättades för detta syfte i Sjöakärret och mätningarna visade inte på någon nämnvärd påverkan.

Det fanns även ansökningar till Länsstyrelsen som inte beviljades, exempelvis en begäran om nedsättning av tillsynsavgift för deponin, daterad 2 juni 2006.

I tillståndet klassificerades verksamheten som SNI kod 90.004-5 ("anläggning för deponering av inert avfall oavsett den tillförda mängden sådant avfall eller – annat avfall om den tillförda mängden avfall är högst 100 000 ton per år"). Tillsynsmyndighetens kontrollbehov av sådan verksamhet bedöms vara relativt omfattande varför tillsynsavgiften är satt till 52 000 SEK per år (fotnot: beteckningen 2008 är "Deponering 90.300") Kommunen hade erhållit i sitt tillstånd sådana undantag från deponiförordningen att verksamheten kunde bedömas vara att deponera ickefarligt avfall.

Sedan tillståndet meddelades 2004 har bilagan till förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd ändrats så att uppläggning av muddermassor inte längre klassificeras som deponering. Ändringen skulle medföra att kommunens verksamhet kunde klassificeras enligt SNI-kod 90.007-1 alt. 90.007-2 vilket innebar att helt annat tillsynsbehov och därmed också en betydligt lägre tillsynsavgift, från 52 000 SEK till 10 300 SEK.

Länsstyrelsen sitt beslut den 12 september 2006 godkände inte nedsättningen av tillsynsavgiften enligt ovanstående hemställan. Avgiften sattes till 25 000 SEK.

#### 4.5 Förberedelser – entreprenadupphandling

Eftersom värdet av entreprenaden översteg det s.k. tröskelvärdet upphandlades entreprenaden i enlighet med 3 kap. LOU (1992:1528). Som upphandlingsform valdes förhandlad upphandling. Förhandlad upphandling definieras 1 kap. 5 § LOU som en upphandling där den upphandlande enheten inbjuder vissa leverantörer att lämna anbud och tar upp en förhandling med en eller flera av dem. Tillämpningen av förhandlad upphandling är restriktiv enligt 3 kap. 14 § LOU. Förhandlad upphandling med föregående annonsering får användas

- 1) om entreprenaden utförs enbart för forskning, utveckling eller experiment, under förutsättning att utförandet inte sker i vinstsyfte eller för att täcka forsknings- och utvecklingskostnader
- 2) i särskilda fall arten av arbetets eller därmed förknippade risker inte medger en förhandsvärdering

Som entreprenadform valdes totalentreprenad. Begreppet funktion och funktionsansvaret har en central betydelse i en totalentreprenad. Vid totalentreprenad åtar sig entreprenören att inom ramen för totalentreprenörens åtagande att svara för att projektet uppfyller avtalad funktion. Med uttrycket totalentreprenad avses ansvar såväl för projektering som utförande. En totalentreprenad definieras som en entreprenad där entreprenören ansvarar både för projektering och för utförande av arbetena. Beställaren utformar funktionskrav och överlämnar dimensionerande förutsättningar. Uppfyllelsen av beställarens funktionskrav kontrolleras löpande och besiktigas mot framställda projekteringshandlingar.

Totalentreprenad, som initialt togs fram för byggbranschen, är även en lämplig entreprenadform för stora komplexa projekt såsom efterbehandlingsprojekt. Det är ett bra sätt att ta tillvara entreprenörens erfarenheter, tekniker och metoder. I Svartsjöprojektet är det första gången som totalentreprenadsformen användes i statligt finansierat efterbehandlingsprojekt av den här storleken i Sverige.

Entreprenaden var uppdelad i två separata avgränsbara delar, huvuddel 1 – projektering och sedan huvuddel 2 – utförandet. Betalningsplanen var prestationsbunden, efter genomförda moment.

Entreprenadarbetena skulle bli både omfattande och komplexa. Projektet förväntade sig att åtgärderna skulle ta ca 70 % av projektets medel i anspråk. I den slutliga kalkylen visade sig att åtgärden svarade för ca 75,6 % av den totala budgeten

vilket tyder på stor effektivitet – större del av budgeten går till själva åtgärden. Det kanske inte entydigt beror på val av entreprenadform men entreprenören hade möjlighet och incitament att ekonomiskt optimera arbetena.

Upphandlingsstrategin behandlas i projekthandboken, i första delen av kvalitetssystemet, bilaga 1. I slutet av juni 2002 såg planeringen för entreprenadupphandlingen enligt följande:

- a. Förhandsannons 2002-08-22.
- b. Annonns om prekvalificering 2002-09-16.  
Anbudsansökan tillhanda kommunen senast 2002-10-11.
- c. Prekvalificeringsbeslut 2002-11-08.  
Bedömd handläggningstid är ca 1 månad.  
Underrättelse om beslut, besvärstid 10 dagar.
- d. Utskick av förfrågningsunderlag 2002-11-18.  
Förfrågningsunderlag sänds till kvalificerade leverantörer med inbjudan att lämna anbud. Sista datum för anbud föreslogs vara 2003-01-27.
- e. Anbudsöppning 2003-01-29.  
Anbudsöppning, utvärdering och inledande av förhandlingar. Förhandlingsperioden bedömdes uppgå till ca 2 kalendermånader.
- f. Tilldelningsbeslut 2003-03-31.  
Besvärstid 10 dagar.
- g. Upphandlingskontrakt kunde tecknas 2003-04-10

Hela upphandlingsprocessen beräknades ta ca 7,5 kalendermånader att genomföra. Utgångspunkten var att underlag för anbudsansökan, anbudsunderlag, utvärdering och förhandlingar kunde ske parallellt i processen.

Förhandlad upphandling sker i två steg dels en prekvalificering av anbudsgivaren dels utvärderingen av anbudet. Beställaren har rätt att inom LOU angivna förutsättningar ställa krav, både ekonomiska och tekniska, på anbudsgivare. Vid prekvalificeringen prövar beställaren om anbudsgivarna uppfyller de tekniska och ekonomiska kraven. Anbudsgivare som inte klarar prekvalificeringsfasen utesluts ur upphandlingen. Anbudsgivare som prekvalificerar sig får sitt anbud utvärderat.

Förhandsannonsering gjordes enligt tidplan. Annonns om prekvalificering skickades ut september 2002. Prekvalificeringsbeslut meddelades 2002-11-18, i enlighet med tidplan från första ledningsmötet. En av leverantörerna som inte hade kvalificerat sig vidare begärde via Länsrätten i Kalmar län om att rättelse ska ske och att de ska inbjudas att lämna anbud. Länsrätten i dom 2003-02-25 beslutade att avslå ansökan från leverantören.

Utskick av förfrågningsunderlag till kvalifice-

rade leverantörer, med inbjudan att lämna anbud, gjordes den 2003-02-14 (3 månaders fördröjning).

Tilldelningsbeslut meddelades 2003-11-04 (8 månaders försening), då konsortiet DEME Environmental Contractors NV och Dredging International NV vann anbudsgivningen.

Utvärderingsmodellen och val av kriterier gav ett sådant resultat att det inbjöd till överprövning. Det vinnande anbudet och anbud nr 2 kunde inte dras isär tillräckligt genom utvärderingen, poängskillnaden blev liten. NCC Construction Sverige överklagade den 2003-11-13 upphandlingen till Länsrätten. Under tiden upprättades och undertecknades ett villkorat kontrakt med DEC. Länsrätten i Kalmar avgjorde ärendet den 2004-02-12. Länsrätten meddelade i sin dom att den överklagandes ansökan avslås och det interimistiska beslutet från den 2003-11-14 inte längre gällde. NCC överklagade beslutet vidare till kammarrätten som inte meddelade prövningstillstånd. Därefter överklagade NCC även till Regeringsrätten (numera Högsta förvaltningsdomstolen) som inte heller meddelade prövningstillstånd. Därmed kunde upphandlingen avslutas och förberedande arbeten påbörjas.

#### 4.5.1 HANDLINGAR FÖR UPPHANDLING AV ENTREPRENÖR

För upphandling av totalentreprenör sattes ur teknisk synvinkel fokus på att:

1. Upprätta funktionskrav både på entreprenörens detaljprojektering och vid utförande av entreprenaden (Rambeskrivning).
2. Beskriva och reglera hur verksamheten fick bedrivas med hänsyn till belastningen på miljön i omgivningen (Miljöplan) och hur den minst skulle kontrolleras, dokumenteras och även kommuniceras med kommunen som beställare. (Plan för verksamhetskontroll).
3. Beskriva förutsättningarna på plats så att entreprenören inför anbudslämnandet fick ett underlag för sina kalkyler och beräkningar. (Beskrivning av lokala förhållanden).

Förfrågningsunderlaget utgjordes, förutom allmänna dokument som lagar och olika standardiserade dokument, av följande dokument:

MÄNGDFÖRTECKNINGAR OCH Å-PRISLISTA. Ekonomiskt reglerades arbetet i sort sett endast med ett fast pris för godkänd detaljprojektering samt mängd muddrade sediment. Mängdförteckningen bestod således av den förväntade mängden muddrade massor d.v.s. 260 000 m<sup>3</sup>. Därutöver lämnades också priser för reglering av olika typer av arbeten som det vid tidpunkten för förfrågan bedömdes som att eventuellt skulle behöva utföras.

ADMINISTRATIVA FÖRESKRIFTER. AF-delen beskriver de övergripande kontraktsmässiga reglerna för genomförandet av entreprenaden och upprättas i anslutning till AFA AMA 98. För totalentreprenaden gällde ABT 94 (Allmänna bestämmelser för totalentreprenader). Av särskilt intresse ur administrativ/juridisk synvinkel är att entreprenaden delades upp i två huvuddelar där entreprenörens detaljprojektering utgjorde huvuddel 1 och utförande av åtgärden huvuddel två, med möjlighet för beställaren att avbryta projektet efter entreprenörens detaljprojektering.

MILJÖPLAN som beskrev beställarens organisation och den miljökontroll som beställaren skulle utföra, samt vilka miljökrav och villkor med avseende på utsläpp m.m. som skulle gälla för entreprenadens genomförande. Eftersom entreprenören gavs stor frihet i valet av metoder m.m. utgjorde miljöplanen ett viktigt dokument för att säkerställa att verksamheten inte skulle medföra överträdelser av de villkor som föreskrevs av miljödomstolen eller andra miljökrav. I förfrågningsunderlaget förskrevs därför att miljöplanen vid eventuell motstridighet mellan olika handlingar skulle ha företräde.

PLAN FÖR VERKSAMHETSKONTROLL som beskrev den lägsta nivå som totalentreprenörens egenkontroll av verksamheten skulle uppfylla. Planen syftade till att verifiera att utförda arbetena uppfyllde de krav som ställdes i miljöplan och rambeskrivning, säkerställa en hög kvalitet i verksamheten och förse beställaren med underlag för rapporter. I plan för verksamhetskontroll redovisades de särskilda krav som fanns på olika arbetsmoment hur de skulle kontrolleras, med vilken frekvens de skulle kontrolleras och hur det skulle redovisas. För att göra det mer överskådligt var kraven indelad i huvudarbetsmomenten muddring, avvattning och returvattenrening och deponering.

RAMBESKRIVNINGEN beskrev de krav som ställdes på entreprenörens detaljprojektering samt utformning och utförande av arbeten. Det omfattade även hänvisning till allmänna handlingar d.v.s. regler, handledningar branschöverenskommelser mm som skulle följas. I rambeskrivningen förskrevs även att detaljprojekteringen skulle ske på en detaljnivå motsvarande handlingar i en utförande entreprenad. Detta dels för att erhålla handlingar för en eventuella senare upphandling om projektet avbröts, dels få ett fullgott underlag för besiktning av att ett utförande enligt de arbetshandlingar som togs fram skulle tillgodose funktionskraven.

OPTION 1 OCH 2. Utöver huvudalternativet för inert avfall utarbetades även två optioner för sluttäckning av deponi för icke-farligt avfall, för det fall Miljödomstolen skulle klassificerat muddermassorna så.

Option 1 omfattade anläggandet av ett tätskikt närmast avfallet i form av en bentonitmatta innefattad i geotextil. Därpå skulle utläggas ett 10 cm tjockt skyddslager av välgraderat material i fraktionen 0–8 mm med ett dräneringslager ovanpå det. Dräneringslagrets syfte var att låta vattnet rinna undan för att undvika att någon grundvattenyta bildades på tätskiktet. Över dräneringslagret planerades ett materialskiljande lager med en kornfraktion tillräcklig för att undvika igensättning av dräneringslagret. Slutligen skulle ett lager mineraljord med högst 8 % organiskt innehåll läggas ovanpå alltihop. Den totala mäktigheten på lagren ovan tätskiktet skulle vara minst 1,5 m.

Lutningen på deponins ytan behövde vara mellan 1:20 och 1:3 och lokala sättningar där vatten kan ansamlas får inte förekomma.

Option 2 innebar anläggandet av en konstgjord geologisk barriär av t.ex. stenmjöl med bentonitblandning av minst 0,5 m mäktighet. Därpå skulle anläggas en botten tätning av ett 1,5 mm syntetiskt geomembran och ett erforderligt skyddslager ovanpå detta. Slutligen skulle anläggas ett minst 0,5 m mäktigt dräneringslager dimensionerat för att undvika att stående vattenyta utbildas på tätskiktet.

Lakvattnet som avleddes från deponins botten dränering skulle samlas i en tät lakvattendamm, dimensionerad för en uppehållstid av minst tre månader. Under drifttiden skulle det uppsamlade lakvattnet renas i anläggningen för rening av returvattnet. Därtill skulle anslutas ett utlopp till det dike som avvattnar området.

BESKRIVNING AV LOKALA FÖRHÅLLANDEN. De undersökningar som utförts samlades i ett dokument där resultaten sammanfattades och väsentliga undersökningar bifogades som bilagor. Beskrivningen omfattade redovisning av muddringsområdet och dess förutsättningar, bl.a. med hänsyn till hydrologiska förhållanden, sedimentegenskaper, muddringshinder och vattenkvalitet. Beskrivningen omfattade även arbetsområdet på land med hänsyn till topografiska, geologiska, hydrogeologiska och geotekniska förhållanden.

## 4.6 Genomförande

Genomförandet av efterbehandlingsåtgärder har varit intensivt, komplext och omfattande och ställt krav på såväl projektets som entreprenörens orga-

nisation. Projektets utredningar i förstudie/huvudstudie och förberedelseskedet ökade projektets förståelse inför uppgiften.

Inom ramen för upphandlad totalentreprenad inleddes arbetena med projektering i maj 2004.

Det var främst ett problemkomplex som studerades initialt; nämligen sedimentens avvattnings- och returvattenegenskaper. Utgående från de resultat som erhöles från laboratorieförsök med sedimentavvattning dimensionerades geotuber för avvattning och grundläggning för deponin. Redan i ett tidigt skede av projekteringen framkom att lakvatten från labbförsöken innehöll större mäng-

der COD än vad entreprenörens tolkning av handlingarna utvisade. Vidare visade ekolodning väsentligt ändrade vattendjup i sjön jämfört med tidigare mätningar.

Dessa indikationer på avvikelser skulle senare i entreprenaden visa sig leda till avsevärt ändrade förutsättningar för arbetena.

Den största svårigheten i projektet var miljökemifrågorna (BOD/COD). Tack vare att projektets kunskapsprofil identifierades på ett korrekt sätt i det inledande projektarbetet, kunde nödvändig expertis knytas till projektet och därigenom blev dessa frågor fullt hanterbara.



FIGUR 4.4 Nedströms Svartsjöarna rinner Pauliströmsån i lugnare tempo genom gammal slåttermark.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

# 5. Totalentreprenaden

TEXT Pär Elander, HIFAB Envipro, Lars Blomgren, HIFAB Envipro, Hampus von Post, Miljömanagement Svenska AB, Jens Pedersen, Advokatfirman Pedersen AB, Alexandra Zamparas, Joakim Schultzén, Empirikon AB

## 5.1 Detaljprojektering

Entreprenaden indelades i två huvuddelar, varav den första huvuddelen avsåg detaljprojektering av åtgärderna. För styrning av detaljprojekteringen ingick, som en del i förfrågningsunderlaget och sedermera kontraktet, handlingen ”Rambeskrivning”, vari funktionskrav på både projektering och arbetsutförande specificerats. Vidare ingick ”Beställarens miljöplan” med krav på totalentreprenörens miljöarbete, villkor för utsläpp m.m. samt ”Plan för verksamhetskontroll” vilken specificerade kraven på totalentreprenörens egenkontroll.

För den del som omfattar **muddring och transport av muddermassor** skulle detaljprojekteringen omfatta och redovisa följande:

- Ekolodning med upprättande av detaljerad karta över bottenivåer för de områden som skall muddras. Utredning av lämpligt förfarande vid ekolodning och valet av utrustning.
- Upprättande av muddringsplan, omfattande minst en planritning för varje muddringspall i respektive sjö, som visar hur stort område som den aktuella pallen omfattar och med angivelse av avverkningsriktning/avverkningsordning.
- Beskrivning av undersökningsmuddringens genomförande inklusive vilka mätningar som avses genomföras, vilken mätutrustning som avses användas och hur resultaten kommer att utnyttjas för planering av produktionsmuddring.
- Beskrivning av produktionsmuddringens genomförande, inklusive styrning av mudderverk, uppföljning av avverkade ytor och volymer samt regelbunden avstämning mot muddringsplanen inklusive kontroll av verkligt muddringsdjup/pallhöjd.
- Beskrivning av strandnära muddring och åtgärder vid eventuella vegetationshinder.
- Beskrivning av muddring i områden med block och sten.
- Beskrivning över transporten av muddermassor till avvattningsanläggning, inklusive förläggning och utförande av rörledningar och eventuella pumpstationer med angivelse

av materialval, dimensionering, kapacitet m.m. I beskrivningen skall även ingå procedurer för tömning av rörledningar m.m.

För den del som omfattar **avvattnings och returvattenrening** skulle följande ingå i detaljprojekteringen:

- Balanserat blockschema (flöde och TS-mängder).
- Kompletta flödesschema för processen inklusive instrumentering.
- Dimensionering, materialval m.m. samt placering av samtliga ingående anläggningsdelar, inkl. pumpar, rörledningar och dammar.
- Utförande av ingående anläggningsdelar, inklusive dammar.
- Kapaciteter i anläggningsdelar och hela anläggningen.
- Möjligheter till kapacitetsökning.
- Hydraulisk profil.
- Layout (uppställning och utformning av anläggning för avvattnings och vattenrening).
- Drifttider för respektive delsteg.
- Specifik belastning på vattenreningen.
- Lista över huvudmaskiner som kan komma att användas i entreprenaden.
- Pumplista.
- Instrumentlista.
- Relevanta referenser.
- Specifikation av:
  - Elkraftbehov och hur detta tillgodoses.
  - Kemikaliebehov.
  - Färskvattenbehov.
  - Tillgänglighet för delar och hela processen.
  - Materialval.
  - Förväntad TS-halt hos sediment efter avvattnings.
  - Förväntad skjuvhållfasthet hos sediment efter avvattnings.
  - Buller och hantering av ev. bullerproblem.
  - Lukt och hantering av ev. luktproblem

Vidare skulle den planerade hanteringen av följande moment beskrivas:

- Styrning av anläggningen och dess ingående delar.
- Flödesmätning.

- Hantering av grovrens.
- Lagring, beredning och dosering av kemikalier.
- Tömning av ledningar.
- Transport av avvattnade sediment till deponi.
- Provtagning av avvattnade sediment och uppmätning av avvattnad mängd.

För den del som omfattat **deponering** skulle projekteringen omfatta och redovisa minst följande moment:

- Iordningställande av deponeringsområdet.
- Utformning av eventuell bottendränning (vid förläggning i utströmningsområde).
- Utformning av partikelfilter.
- Fyllning i deponin, särskilt med hänsyn till förväntad skjuvhållfasthet hos avvattnade sediment.
- Utformning och utförande av sluttäckning.
- Förväntad sättningsutveckling.
- Stabilitetsförhållanden.

Utöver ovanstående delar skulle projekteringen även omfatta minst följande allmänna arbeten:

- Upprättande av plan för egenkontroll.
- Erforderlig förstärkning av befintliga vägar och nyanläggning av vägar.
- Läggning av rörledning för transport av muddermassor.
- Disposition av arbetsområden.
- Utförande av ytor inom arbetsområdet, särskilt m.h.t. uppsamling av spill.
- Skydd av träd vid förankring av mudderverk.
- Utförande av skärm som skall finnas i beredskap för skydd mot partikelspridning vid muddring.
- Uppsamling av dagvatten från arbetsområdet.
- Skydd mot dammspridning.
- Skydd mot spill av olja och andra kemikalier.
- Övriga erforderliga skyddsåtgärder.
- Rivning av tillfälliga anläggningar inklusive dammar, rörledningar m.m.

Ett krav för avrop av huvuddel 2 har varit att projekteringen i huvuddel 1 skall kunna godkännas av beställaren.

Inom ramen för projekteringsarbetet upprättade totalentreprenören ett antal s.k. metodförklaringar och planer som i detalj beskrev den projekterade utformningen av de i totalentreprenaden ingående arbetena och hur dessa skulle utföras och kontrolleras. Projekteringen resulterade i följande dokument som skulle utgöra arbetshandlingar för genomförandeskedet och som låg till grund för beställarens besiktning av projekteringsarbetet:

- Projektledningsplan.
- Miljöplan.
- Plan för verksamhetskontroll.
- Metodförklaring – Allmän översikt över arbetena.

- Metodförklaring – Mätning.
- Metodförklaring – Muddring.
- Metodförklaring – Avvattning.
- Metodförklaring – Deponi.
- Metodförklaring – Vattenrening.
- Metodförklaring – Infrastruktur.

Tillhörande ritningar bifogades respektive dokument. Dokumenten besiktigades och godkändes slutligt 2006-04-10. Vissa fel hade påpekats i tidigare besiktningar varav vissa avhjälpes men andra accepterades då besiktningarna inte bedömde att de skulle påverka kvaliteten i arbetet.

Under projekteringen överlämnade entreprenören också löpande rapporter som redovisade resultat och tolkningar från de undersökningar som genomfördes under detaljprojekteringen. Innehållet i dessa rapporter omfattade:

- Dokumentation från platsbesök.
- Projekteringsundersökningar.
- Batymetriska undersökningar (ekolodningsresultat våren 2004).
- Inledning av kolonnförsök (avvattnings-tester).
- Behov av arbetsområde och skogsavverkning.
- Batymetriska undersökningar (utvärdering och jämförelser mellan resultat från ekolodning och handlodning samt förändringar från 1997 till 2004).
- Undersökningar av sediment – geotekniska egenskaper.
- Kvalitet i avgående vatten från avvattning (kolonntester).
- Resultat från kolonntester (avvattningsresultat).
- BOD – undersökningar (returvattnets innehåll av syreförbrukande material).

Undersökningarna i detaljprojekteringen visade två avvikelser gentemot de förhållanden som redovisades i förfrågningsunderlaget. De batymetriska undersökningarna visade att stora sedimentförflyttningar ägt rum sedan den ursprungliga sedimentkarteringen genomfördes 1997. Det kunde fastställas att dessa förflyttningar skett under en period med extrema vattenflöden genom systemet under sommaren 2003 och att en betydande volym fibersediment förflyttats från Övre Svartsjön till Nedre Svartsjön. Vidare erhöll entreprenören betydligt högre halter syretärande material, mätt som BOD<sub>7</sub> och som COD i de avvattningsförsök som genomfördes, än vad som erhöles i beställarens åtgärdsförberedande undersökningar. Dessa förhållanden ledde till en tidsförskjutning i projektet, främst p.g.a. att en ny sedimentkartering måste genomföras för att nya muddringsdirektiv skulle kunna upprättas. Denna sedimentkartering genomfördes av beställaren.

Diskrepansen mellan beställarens och entreprenörens undersökningar av syreförbrukande material i returvattnet föranledde en långvarig diskussion om orsakerna. Eftersom entreprenören valt en för Sverige ny metod för avvattning, i s.k. geotuber (se nedan under avsnittet om avvattning), var det analyserade returvattnet i entreprenörens försök framtaget med helt andra metoder än i beställarens undersökningar. Skillnaden mellan undersökningsresultaten kunde därför vara metodrelaterad, särskilt som entreprenörens undersökningar innebar betydligt längre uppehållstid för returvattnet i kontakt med sediment. Ytterligare undersökningar av returvattnets kvalitet genomfördes därför, med användning av samma metodik som under huvudstudiefasen.

Det är ovanligt i entreprenadsammanhang av denna typ att samma organisation utför såväl projektering som efterföljande entreprenad. Detta förutsätter att entreprenören har en bred kompetens alternativt samarbetar med lämplig partner eller att tjänsten köps in separat. I detta fall har formen varit samarbete, där Dredging International (DI) har samarbetat med DEC Environmental Contractors (DEC). Rörande muddringsarbetena har inte bristande kompetens uppmärksammats vare sig i projekterings- eller utförandefasen. DI har, som ett av de verkligt stora muddringsföretagen, en mycket omfattande erfarenhetsbas. Dock har inget av företagen haft någon specifik kunskap om fibersediment, vilket bl.a. troligen avspeglats i optimistiska bedömningar avseende vattenin-spädning och pumpkapacitet.

För muddringsverksamheten har det i huvudsak inte varit någon olägenhet att samma organisation utfört projekterings- och utförandefasen.

## 5.2 Utförande

Enligt bilaga 1 till entreprenadkontraktet framgår att tidplanen för huvuddel 2 skulle förskjutas med ett år om avrop skedde efter 1 juli 2004. P.g.a. förseningar i entreprenadupphandling och miljöprövning visade det sig att huvuddel 2 skulle kunna beställas tidigast i december 2004, vilket enligt kontraktstidplanen skulle ha inneburit att etablering skulle ha skett tidigast i oktober 2005, med muddringsstart i april 2006. Totalentreprenören hade emellertid möjlighet att inleda etablering redan tidigt under våren 2005 och inleda muddring i juni samma år.

Förutsättningarna för en tidigarelagd start av huvuddel 2 var att projekteringen (arbetsresultatet från huvuddel 1) kunde godkännas och att totalentreprenören redovisade fullständiga försäkringsvillkor.

De höga halterna av BOD och COD samt nya muddringsdirektiv, bedömdes vara faktorer som kunde medföra rätt till tidsförlängning och tilläggskostnader för entreprenadarbetena. Två tidpunkter för start av huvuddel 2 hade redovisats av totalentreprenören med olika påföljande scenarion:

- **Alternativ 1** innebar att start av muddring skulle ske i juli 2005 med en beräknad totalkostnad på 10,6 Mkr (inkluderat två vinteruppehåll).
- **Alternativ 2** förespråkade start av muddring i april 2006 och skulle medföra en totalkostnad på 6,3 Mkr (inkluderat ett vinteruppehåll).

Alternativ 2 skulle jämfört med alternativ 1 innebära lägre kostnader, eftersom risken för två vinteruppehåll i muddringen skulle vara liten.

Det fanns alltså en god möjlighet att hinna muddra hela Övre Svartsjön under en säsong, vilket skulle reducera risken för återkontaminering på redan muddrade områden.

I början av 2005 beslutades i projektmöte att huvuddel 2 inte kunde avropas då projekteringen inte var färdigställd. Däremot skulle beställaren inte motsätta sig att totalentreprenören påbörjar muddring under 2005 förutsatt att totalentreprenören själv stod för kostnader kopplat till vinteruppehåll 2005/2006. Eftersom det var en totalentreprenad hade totalentreprenören själv i slutändan ansvar för sin tidplan, val av muddringsstart och för att hela entreprenaden färdigställs kontraktsevenligt.

Totalentreprenören fortsatte sitt projekteringsarbete. Vid styrgruppsmöte 2 den 2005-03-22 beslutade styrgruppen att om besiktningsmännen inte redovisar några hindrande anmärkningar i entreprenörens projektering och att tidplanen överensstämmer med ställda kontraktsvillkor så bör en beställning av huvuddel 2 kunna göras vid nästa styrgruppsmöte.

Slutbesiktning av huvuddel 1 med undantag för vattenrening, avvattning och flödesschema som inte var klara genomfördes i april 2005. Efterbesiktning av huvuddel I gjordes mars 2006. Huvuddel 2 avropades den 2005-05-27 under förutsättning att projekteringshandlingar inom huvuddel 1 är fullt färdiga för efterbesiktning respektive slutbesiktning senast i mitten på september 2005. Alltjämt gällde att arbete som inte var godkänt i slutbesiktning av huvuddel 1 fick inte påbörjas inom ramen för huvuddel 2. Totalentreprenören hade en tidplan med deltider för huvuddel 2 att förhålla sig till, bland annat ingick:

Etablering färdigställd senast 1 november 2005, muddring färdigställd senast 1 december 2006, sluttäckning av deponin färdigställd senast 1 okto-

ber 2007 och entreprenaden i dess helhet fullt färdig för slutbesiktning 1 november 2007. Vite var kopplat till försening i färdigställande av muddring samt till försening av färdigställande av kontraktsarbetena i deras helhet.

### 5.2.1 YTOR FÖR AVVATTNING OCH DEPONERING

Huvudstudiefasen med teknisk beskrivning och miljökonsekvensbeskrivning medgav ett stort utrymme för entreprenören att välja tekniska lösningar. Det fanns också möjligheter att utnyttja ett stort arbetsområde med en topografi som innebar att stora bassänger enkelt kunde anläggas. Detta innebar möjligheter att utnyttja såväl passiva avvattningsmetoder med sedimentering i avvattningsbassänger som kompakta lösningar med mekanisk avvattning. De funktionskrav, som i huvudsak styrde projektering och dimensionering av anläggningen för avvattning, stipulerade att:

- Det diffusa läckaget av vatten från anläggningen (dammar, utjämningsmagasin m.m.) som inte samlades upp och omhändertas fick uppgå till maximalt 1 l/s.
- Avvattningen skulle vara tillräcklig för att massorna skulle få tillräckliga hållfasthets- och deformationsegenskaper för att tillgodose kraven på stabilitet och sättningsutveckling i deponin (se avsnitt 5.2.5 Deponering och täckning).

De huvudsakliga funktionskrav som styrde förläggning och utformning av deponin var att:

- Deponin skulle förläggas så att tillströmning av ytvatten från omgivningen samt inströmning av grundvatten förhindras. Alternativt ska såväl ytvatten som grundvatten avledas på ett sätt som är beständigt i tiden utan underhållsåtgärder.
- Utströmmande lakvatten ska passera ett partikelfilter.
- Ytligt avrinnande lakvatten (dagvatten) under genomförandetiden, fram till dess att deponin sluttäckts, skulle uppsamlas och omhändertas.

Några formella krav på botten tätning, botten dränering och uppsamling av lakvatten på längre sikt fanns inte eftersom avsteg från dessa krav i förordningen om deponering av avfall tillätts vid tillståndsprovningen.

Entreprenören valde en för Sverige ny avvattningsmetod med avvattning i geotuber, i huvudsak 50 m långa och med omkrets ca 15 m. Tuberna tillverkas av en vävd geotextil med hög hållfasthet och goda filteregenskaper. Avvattning sker genom att muddermassor pumpas in i tuben, varvid returvattnet pressas ut genom den omslutande filtergeotextilen och de förorenade sedimenten stannar kvar inuti. För att påskynda avvattningen tillsattes flockningspolymer direkt i ledningen innan muddermassorna pumpas in i tuben. Metoden innebär att avvattningsanläggningen (de utlagda geotuberna) efter genomförd avvattning kan övergå till en deponi, utan att massorna behöver flyttas.

Arbetsområdet utgjordes av en dalgång i ett



FIGUR 5.1 Anläggande av deponibotten.

FOTO Empirikon AB

moränområde. Ställvis återfanns berg i dagen uppe på de omgivande höjdryggarna. I dalgångens botten löpte ett grävt dike. En yta för avvattnings och deponering iordningställdes genom att en av sluttningarna inom arbetsområdet schaktades ur, varvid urgrävda massor dels användes som fyllning för uppbyggnad av en plan yta, dels lagrades på plats för att senare användas som täckmassor på deponin. Schakten utgjordes delvis av bergschakt. Det urschaktade berget krossades till fraktioner som användes till anläggningar inom arbetsområdet, uppbyggnad av avvattnings- och deponiyta, men även för tillfartsvägar och arbetsområden vid sjöarna.

För att tillgodose funktionskraven var det nödvändigt att förse avvattningsanläggningen/deponin med en botten tätning och funktion för uppsamling av avrinnande vatten, trots att avsteg från kravet på botten tätning erhöles vid tillståndsprövningen. Orsaken var främst att de diffusa läckagen under pågående avvattnings annars skulle bli för höga och inte klara det ställda funktionskravet.

Botten tätningen utfördes med ett syntetiskt geomembran av typ HDPE med 1,5 mm tjocklek. Till skyddslager under denna användes stenmjöl, 0–4 mm, som erhöles vid krossning av berg. Ytan försågs med fem nedsänkta dräneringskanaler för avledning av processvatten. Två av dessa utfördes med en bredd som medgav uppbyggnad av vägbankar genom deponin. På detta sätt indelades ytan i tre ”celler”, åtskilda av vägbankar.

På tre av deponins sidor fördes schakten ned till ett minsta djup av 1,0 m under avvattningsanläggningens/deponins botten nivå, i syfte att avleda yt- och grundvatten från sluttningen. Under deponin anordnades dessutom ett antal dräneringar för avledning av grundvatten. Dessa utfördes som makadamfyllda diken kompletterade med dränledningar och drogs ut till deponins nedströmssida (dalgångens botten).

På nedströmssidan avgränsades avvattnings- och deponiytan av en vall med partikelfilter uppbyggd av urschaktad morän, som med en överbyggnad av krossmaterial också fungerade som vägbank. För de fem dräneringskanaler som avledde processvatten under genomförandetiden anslöts självfallsledningar som ledde till en gemensam pumpbrunn, varifrån vatten pumpades till vattenreningensanläggningen. Under genomförandetiden förhindrades belastning av partikelfiltret genom att tätskiktet av HDPE lades upp på partikelfiltrets slänt. Längs ytans övriga sidor anlades lägre val-lar, på vilka tätskiktet drogs upp för att förhindra avrinning av processvatten till omgivningen.

## 5.2.2 MUDDRING

Vid muddring av lösa sediment är det synnerligen viktigt att muddringen utförs så att framdriften sker i direkt proportion till intagsdelens (pumpens) kapacitet. Överskrids framdrivningshastigheten kommer en viss ”plogning” att ske där sedimenten passerar utanför intagsdelen, med grumling som följd. Det uppgrumlade materialet sedimenterar sedan så småningom åter på det redan muddrade området. Sker detta återkommande i flera pallar kommer ytmaterialet att bli allt lösare och mer lätttröligt och därmed svårare att få med vid avverkningen. Risken finns då att detta mycket finkorniga material, som hela tiden ökat i mängd, grumlas upp även vid den sista avverkningen i stråket för att sedan återsedimentera efter avslutad avverkning. Då de aktuella miljöföroreningarna främst fäster till partiklars ytor och det fina materialet har mycket stor specifik yta, skulle en avsevärd mängd miljöföroreningar på detta vis åter exponeras på botten efter slutavverkning och därmed äventyra nyttan med hela operationen.

### MUDDRINGSSCENARION

Efter genomförd sedimentkartering 2005 presenterades två alternativ för muddring av botten sediment i Övre och Nedre Svartsjön:

- **Alternativ 1:** muddring av ca 155 000 m<sup>3</sup> i Övre Svartsjön samt ca 90 000–95 000 m<sup>3</sup> i Nedre Svartsjön. Muddringsgränsen för alternativet är 0,15 mg Hg/kg TS i kvarlämnade sediment. Totalt för Övre och Nedre Svartsjön en muddringsvolym på ca 250 000 m<sup>3</sup>.
- **Alternativ 2:** muddring av ca 174 000 m<sup>3</sup> i Övre Svartsjön samt muddringsgräns på 0,11 mg Hg/kg TS i kvarlämnade sediment. Totalt för Övre och Nedre Svartsjön muddras ca 270 000 m<sup>3</sup>.

Båda alternativen uppfyllde ställda krav i miljödom rörande kvicksilverhalter i kvarlämnade sediment. Alternativ 2 medförde dock lägre risk för metylering av kvicksilver jämfört med alternativ 1, eftersom en större del organiskt material skulle ha bortförts från Övre Svartsjön. I alternativ 1 kunde möjligtvis muddringsvolymen för Nedre Svartsjön från 95 000 till 90 000 m<sup>3</sup>, vilket i så fall skulle resultera i att muddring i Övre Svartsjön kunde utökas med motsvarande volym. För alternativ 2 skulle den totala volymen bli ca 270 000 m<sup>3</sup> för båda sjöarna. Vid volymberäkning hade nödvändig släntlutning mellan delområden ej beaktats. Detta medförde ingen betydande skillnad i beräknad muddervolym för Nedre Svartsjön, men för Övre Svartsjön kunde det innebära en större total muddervolym, eftersom skillnaden vid fär-

digmuddrad botten skulle vara större mellan de olika delområdena.

I diskussionen har man förmodat att det skulle bli nödvändigt med ett vinteruppehåll. Detta skulle ha inneburit en utökad kostnad på ca 4 miljoner kr och dessutom ökade miljökontrollkostnader. Även eventuella merkostnader för vattenrening kunde tillkomma.

Tilläggskostnaden för muddring över 260 000 m<sup>3</sup> var enligt kontraktet 242 kr/m<sup>3</sup>, vilket innebar för alternativ 2 en ökad kostnad med 1,7 Mkr, eftersom alternativet medförde en total muddringsvolym på ca 267 000 m<sup>3</sup>. Alternativ 1 medförde ca 4–5 miljoner mer i projektets reserv jämfört med alternativ 2.

Det man kom fram till var att alternativ 1 skulle medföra en stor risk för behov av eftermuddring. De analyser som alternativen baserades på var utförda på samlingsprover. Vidare fanns för alternativ 1 flertalet kvarlämnade sedimentskikt (bottensediment man inte avsåg att muddra) med kvicksilverhalter nära den angivna halt som, enligt erhållet tillstånd, inte kunde lämnas kvar utan Länsstyrelsens godkännande. Därmed kunde alternativ 1 bli kostsamt om stora volymer sediment måste eftermuddras, eftersom å-priset för eftermuddring var betydligt högre jämfört med å-priset för den muddringsvolym som ingick i entreprenadskedet. Valet av scenario resulterade slutligen i en modifiering av alternativ 2, så att den totala volymen sediment man avsåg att muddra blev 257 220 m<sup>3</sup>. Jämfört med den tidigare utformningen av alternativ 2 kvarlämnades nu de två djupaste skikten i område 9. Modifieringen medförde en god reducering av risken för eftermuddring, samt en lägre totalkostnad för muddringsarbetena med ca 670 000 kr.

#### UTFORMNING AV MUDDRINGSDIREKTIV

Till totalentreprenören angavs muddringsdirektiv som nivåhöjder för färdigmuddrad botten i ett visst antal punkter indelade i delområden. Nivåhöjderna angavs i antal meter över havet. Släntlutningen mellan delområdena i sjöarna överlämnades till totalentreprenören att bestämma, men med kravet att slänten måste fördelas jämnt mellan de angränsade områdena. Totalentreprenören måste dessutom erhålla ett godkännande för sitt kommande förslag på släntlutning mellan delområdena. Det var viktigt att muddringsdirektiven delgavs totalentreprenören så fort som möjligt, så att de inte skulle se det som ett hinder i deras utförande av entreprenaden.

#### AVVERKNING, TYP AV TEKNIK FÖR OLIKA BOTTENTYPER

##### *Liggande skruv för lösa sediment*

I rambeskrivningen 4.4.2 **Produktionsmuddring** anges att arbetet med muddring av lösa sediment skall utföras med sugmudderverk med liggande skruv försedd med skärmar för skydd mot spridning av partiklar.

Totalentreprenören presenterade en sådan utrustning med en bredd på mudderverket av 3 meter och största avverkningsdjup per pall på 0,5 meter. Den praktiska avverkningsdjupen angavs till 2,5 meters bredd och 0,4 meters djup. Mudderpumpen är anbringad direkt ovan den liggande skruven och totalentreprenören angav i *Metodförklaring Muddring (Dokument: 3573-ProjMS 03) 8.1 Muddring av fibersediment* att avverkning skulle komma att ske med en koncentration av minst 70 % sediment och 30 % vatten, d.v.s. ett inblandningsförhållande på 1:0,43 (sediment: vatten). Svenska erfarenheter från muddring av fibersediment har varit att en sådan effektiv muddring inte kan uppnås. I bästa fall har man uppnått inblandningsförhållanden på ca 1:1, medan normal vatteninblandning för lösa sediment varit ca 1:3. Bl.a. har gasförekomst i sedimenten orsakat störningar vid muddringen som bidragit till ökad vatteninspädning.

Totalentreprenören angav även att utrustningens kapacitet förväntades vara 200–600 kubikmeter per timme beroende på sedimentens beskaffenhet och pumpsträcka.

Slutresultatet för muddringarna i Svartsjöarna blev att muddringen kunde ske med en vatteninblandning till sedimenten på ca 1:0,85 (1 del sediment till 0,85 delar vatten), vilket är avsevärt lägre (bara hälften) än utlovat av totalentreprenören, men betydligt bättre än tidigare svenska resultat. En orsak till dessa resultat kan vara att pumpen var anbringad direkt vid skruven och därmed bl.a. betydligt mindre känslig för störningar av gas. En ytterligare orsak kan vara det av totalentreprenören angivna skälet att systemlösningen för det aktuella mudderverket (Pixy) medger att framdrivningen kan ske på ett så kontrollerat sätt, att fyllnadsgraden för sediment till inmatningen hela tiden hålls optimerad och inget ”extra” vatten medföljer.

Även för kapaciteten har bedömde totalentreprenören situationen väl optimistiskt. I medeltal uppgick kapaciteten för totalt pumpad volym till ca 110 kubikmeter per timme, av vilket sediment utgjorde ca 59 kubikmeter per timme.

*Grävuddring i strandområde (hårdare sediment samt sten och block)*

I rambeskrivningen 4.4.2 **Produktionsmuddring** anges att vid arbetet med muddring av sediment inom områden med sten och block, samt vid avverkning av kraftigare vegetation och rotfilt i strandområden, får muddringsteknik användas som inte uppfyller kraven på noggrannhet vid positionering och att kravet på muddring med bottenparallella pallar utgår.

Totalentreprenören angav i *Metodförklaring Muddring (Dokument: 3573-ProjMS 03) 8.1.1 Grunda områden med vattendjup under 1 m* att man avsåg bygga om Pixy för denna typ av muddring, genom att montera en grävmaskin på pontonen och montera den liggande skruven och dess pump på grävvarmen.

Efter totalentreprenörens framställan till, och godkännande av, länsstyrelsen ändrades dessa planer på följande vis: Genom dämning av vattenytan i Övre Svartsjön vid fallet mot Nedre Svartsjön med sandsäckar kunde vattenytan höjas, så att även den strandnära muddringen kunde utföras med Pixy i sitt normala utförande. De fördelar som erhöles genom detta förfarande var att den dokumenterat effektiva och mycket lite miljöstörande muddringen, med Pixy i originalutförande, kunde omfatta hela muddringsarbetet och arbetet kunde ske utan skyddsskärmar.

I *Metodförklaring Muddring (Dokument: 3573-ProjMS 03) 8.2 Muddring av vassruggar* anger totalentreprenören att den roterande skruven för detta ändamål skulle förses med skärblad för att avverka så stor del som möjligt av vassområdena. Den del som inte kunde avverkas på detta sätt skulle tas med gripskopa och lastas i 20 fots container, som sedan bogseras till land och vidare till deponin. Det framgår inte på vilket sätt dessa massor skulle fyllas i geotextiltuberna.

Inga massor kom att muddras med skärbladsförsedd skruv eller med gripskopa, varför problematiken med att få dessa massor fyllda i geotextiltuberna inte uppstod. Att denna del inte kom att utföras på beskrivet sätt kan möjligen hänföras till att vattenståndshöjningen medgav ”normal” muddring av hela ytan i den aktuella Övre Svartsjön.

#### FRAMDIVNING

Enligt rambeskrivningen 4.4.2 *Produktionsmuddring* skall mudderverket styras och förankras med flytande ankarlinor till förankringspunkter i land. Stödben eller annan förankring i sjöbotten får ej användas.

I *Metodförklaring Muddring (Dokument: 3573-ProjMS 03) 8.7 Mudderverkets rörelser* anger totalentreprenören hur förankring av framdriv-

#### **Om mudderverket Pixy**

Initialt hade totalentreprenören intentionen att döpa mudderverket med inspiration från den rika småländska sagotraditionen. Förslaget stötte dock på patrull.

*(Utdrag från byggmötesprotokoll nr 3, 2005-09-12):*

”Alexandra Zamparas (AZ) informerade om att det har kommit till projektets kännedom att det namn som mudderverket föreslås döpas till (”Pippi Långstrump”) inte kan godkännas av företaget Saltkråkan AB som förvaltar upphovsrättigheterna till Astrid Lindgrens figurer.”

Andra alternativ fick därmed övervägas och mudderverket döptes till Pixy.

ningsvajerarna kommer att ske i berg ovan jord med ”kemiska ankare”. Där anges även hur flyttning av förankringspunkter skall utföras med arbetsbåt som hela tiden håller vajern sträckt, så att kontakt med botten inte uppstår, samt att små pontoner vid behov kan placeras under vajern.

Beställaren godtog inte det beskrivna förfarandet, utan krävde att flytande linor skulle användas, bl.a. med hänsyn till att vid eventuella brott skulle stålvajrar ofrånkomligen komma i kontakt med botten. Resultatet av detta blev att totalentreprenören införskaffade ett stort antal flytenheter som fästes till stålvajrarna, så att dessa hölls flytande och utan kontakt med botten. Förfarandet skapade ingen olägenhet för beställaren, men uppfattades som en osmidig hantering.

Tekniskt sett finns möjlighet att använda flytande förankringslinor av polypropylen. Dessa har tekniska specifikationer som väl mäter sig med stålvajrar vad avser hållfasthet och töjning. Dessa är lätta och mjuka och därmed överlägsna ur hanteringssynpunkt och arbetsmiljö. Vajrar som gått över vinschar och brytblock blir ofta ”taggiga” med risk för handskador som följd. Kostnaden för polypropylenrep är dock något högre än för vajer, men dessa kan vid brott splitsas och delarna därmed bli användbara igen. En vajer som får brott kan behöva kasseras, om inte brottet skett nära dess ändpunkt.

#### POSITIONERING

Enligt rambeskrivningen 4.4.2 *Produktionsmuddring* anges att positionering av muddringsverktyg skall ske med en noggrannhet av 1,0 meter i horisontalled och 0,1 meter i vertikalled.

Mudderverket Pixy hade en positioneringsutrustning baserad på ett egenutvecklat DTSP system, där mudderverket positioneras bestäms med RTK-DGPS och visas på dataskärm med stor nog-

grannhet. Systemet bygger på satellitnavigering korrelerad till fasta landfyrrar och ger normalt centimeterprecision.

För operatören visades mudderverket framifrån, från sidan och bakifrån på dataskärm. Sedimentens djup visades skiktvis i ett flertal olika färger och arbetet uppdaterades kontinuerligt, så att operatören på skärmen kunde följa avverkningen.

Den horisontella positioneringen skedde med hjälp av fyra stycken ankarvinschar sammankopplade i ett operativsystem (DP/DT), som genom att öka och släppa på spänningen i de olika vinscherna förflyttade mudderverket på önskat vis mellan de fyra förankringspunkterna.

Den vertikala positioneringen inom grunda områden skedde dels med RTK-DGPS och dels genom att operatören kunde observera synliga djupangivelser på pumpkåpan. Inom djupa områden bestämdes mudderverktygets djup med tryckmätare, där systemet automatiskt bestämmer hur många lager som skall muddras för att nå det teoretiska avverkningsdjupet. Kontinuerlig loggning av ingående uppgifter medförde löpande presentation av, samt kartmaterial över teoretisk avverkning.

Systemet fungerade tillfredställande och stördes endast av ett tillfälligt dataproblem.

#### DEFINITION AV AVVERKNINGSOMRÅDEN

Utifrån resultaten av sedimentundersökningarna 2005 gjordes en indelning av Svartsjöarna i avverkningsområden (se bilaga 3). Indelningen

syftade till att skapa definierade områden inom vilka avverkning kunde ske till en viss fastställd sedimentnivå och därmed uppnå det uppställda saneringsmålet, vilket var att kvarvarande sediment ej skulle ha högre kvicksilverhalt än 0,10 mg/kg TS. Den indelning som valdes kom att omfatta 10 delområden i Övre Svartsjön och 9 delområden i Nedre Svartsjön. Av tabell 5.1 framgår de olika områdenas avverkningsdjup samt beställarens beräknade ytor och volymer.

#### INMÄTNING AV AVVERKNINGSOMRÅDE

I enlighet med *Metodförklaring Mätning (Dokument: 3573-ProjMS 02) 8.1 Inmätning av Övre och Nedre Svartsjöarna* genomfördes inmätningarna med ekolod efter kalibrering mot kontraktensligt handlod. Mätningarna genomfördes i linjer med inbördes avstånd av 10 m. Det kontraktensliga handlodet utgjordes av ett nätlod med 30 cm diameter och en maskvidd på 10 mm, belastad med fyra vikter om totalt 200 gram. Detta val av maskvidd och belastning innebär att nätlodet sjunker snabbt genom vattenmassan och vidare ned en bit i det lösa ytsedimentet (1–5 mm), vilket utjämnar mindre ojämnheter i bottenytan.

Inför kalibreringen av mätmetoderna kontrollerades bottenförhållandenas ojämnheter på två platser, dels norra delen och dels södra delen av Övre Svartsjön. Detta skedde med handlod från en fast förankrad båt, genom att mäta i ett rutnäst 20 x 20 cm under en sträcka av 1 meter, d.v.s. 12



FIGUR 5.2 Arbetsbåten Peter på väg ut till Pixy.

FOTO Thorbjörn Svahn

mätpunkter. I den norra delen av sjön var den största skillnaden mellan intelligande mätpunkter 13 cm och mellan högsta och lägsta mätpunkt inom mätsträckan 29 cm. I den södra delen av sjön var motsvarande värden 5 cm respektive 18 cm. Resultaten visade att bottenförhållandena var ojämna och varierade mycket hastigt, samt att det kan vara svårt att upprepa mätningar på samma plats med exakt samma resultat.

Kalibrering mellan ekolod (210 kHz) och handlod gjordes inför provmuddringen på en yta motsvarande 102 provplatser med 10 x 10 meters inbördes avstånd. Mätningen utfördes genom att mätbåten förankrades stabilt och mätning utfördes på samma plats med båda mätmetoderna inom 30 sekunder. Noteringarna gjordes oberoende av varandra, så att vetskap om resultaten skulle finnas först i efterhand. Differensen för samtliga 102 mätningar var i genomsnitt endast 7 mm. Den stora variationen i bottenprofilen och svårigheten att utföra mätningarna med ekolod och med nätlod på exakt samma plats bör också räknas in i det resultatet.

Försök gjordes med ekolodning längs samma linjer som tidigare handlodats. Ekolodningen gav då betydligt fler mätpunkter än de handlodade med 10 x 10 meters intervall. Båten kunde heller inte helt följa de eftersträvade linjerna, varför en total samstämmighet inte förväntades. Vid jämförelse av alla med ekolodet uppmätta punkter blev differensen 3,2 cm. Valdes de ekolodade punkter ut, som var inom 1 meter från de handlodade punkterna, blev differensen 4,1 cm och vid motsvarande 0,5 meter från de handlodade punkterna blev differensen 4,5 cm.

Även höjdmätning med GPS kontrollerades vid detta tillfälle mot vattennivån på inmätt pegel. För alla med ekolodet uppmätta punkter blev differensen 14 mm. Valdes de ekolodade punkter ut, som var inom 1 meter från de handlodade punkterna,

Övre Svartsjön	Avverkningsdjup (m)	Nominell yta (m <sup>2</sup> )	Nominell volym (m <sup>3</sup> )
Avverkningsområde			
1	1,20	10 205,8	12 247
2	1,20	8 832,3	10 598,76
3	4,0	9 353,9	37 415,6
4	3,60	8 926,5	32 135,4
5	0,80	5 965,9	4 772,7
6	2,80	9 149,2	25 617,76
7	0,80	7 552,6	6 042,08
8	1,20	12 458,4	14 724,24
9	1,20	8 590,1	10 308,12
10	0,80	15 719,2	12 575,36
Summa		96 754 m <sup>2</sup>	164 367 m <sup>3</sup>
Nedre Svartsjön			
11	0,80	28 390,1	22 712,08
12	0,80	12 016,4	9 613,12
13	0,80	13 307,7	10 646,16
14	0,80	18 743,9	14 995,12
15	0,80	12 045,4	9 636,32
16	1,20	10 800	12 960
17	0,80	9 693,4	7 754,72
18	0,80	12 734,8	10 187,84
19	0,40	10 283,3	4 113,32
Summa		118 015 m <sup>2</sup>	92 165 m <sup>3</sup>
TOTALT		214 769 m <sup>2</sup>	256 533 m <sup>3</sup>

TABELL 5.1 Avverkningsområden i Svartsjöarna med beställarens beräknade ytor och volymer.

blev differensen 11 mm och vid motsvarande 0,5 meter från de handlodade punkterna blev differensen 8 mm.

Resultaten visade att ekolodning kunde göras med 210 kHz utan korrigering, samt att mätningarna skulle relateras till uppmätta vattennivåer på pegel. Mätningarna utfördes av totalentreprenören under närvaro av beställaren. Inför varje mätpass kontrollerades överensstämmelsen mellan ekolod och handlod. För att möjliggöra kontroll av att mätningarna inte manipulerades avslutades varje mätpass med att kopiera samtliga mätdata till beställarens minneskort, för lagring hos kommunen.

#### PROVMUDDRING

Innan avverkningsmuddringen fick starta genomfördes en provmuddring, som skulle godkännas av beställaren. Syftet med provmuddringen var att utvärdera och optimera muddringstekniken avseende:

- Effektiviteten för olika typer av sediment och vattendjup.

- Noggrannheten i den horisontella och vertikala positionsbestämningen av muddringspontonerna.
- Noggrannheten i den horisontella och vertikala positionsbestämningen av muddringshuvudet.
- Övermuddringens och det störda lagrets tjocklek.
- Kortfristig stabilitet för sediment på sluttningar, beroende på det muddrade lagrets tjocklek.
- Minimering av mängden fibersediment som flyter iväg.
- Styrning av vinscherna som funktion av pumpens kapacitet.
- Andelen fibersediment (TS-mängd) i den uppmuddrade eller pumpade sedimentblandningen.
- Optimal produktion för olika typer av sediment.

#### AVGASNING AV SEDIMENT

Innan provmuddringen startade installerades en skärm vid Övre Svartsjöns utlopp, som skydd mot transport av fibermaterial ut ur sjön. Provmuddringen genomfördes på ett bra sätt med kontroll av de funktioner som har angetts ovan. Under provmuddringen kontrollerade beställaren grumling och spridning av material kring mudderverket, samt mudderverkets påverkan på botten sedimentet. Bottenprover togs ut omedelbart efter muddring i den nyss muddrade pallen, samt vid båda sidor om denna. På samma sätt kontrollerades ytor som muddrats en timme, respektive sex timmar, tidigare. Inga anmärkningsvärda förhållanden noterades. Funktionen med avgasning av sedimentet kunde inte kontrolleras vid provmuddringen då denna utrustning inte var monterad. Utrustningen fanns enligt uppgift på plats och kunde anbringas vid behov. Sådana behov uppstod dock aldrig och projektet genomfördes utan att utrustningen för gasevakuering monterades.

Provmuddringen genererade material till avvattningsanläggningen vars funktion också kontrollerades under provmuddringsperioden.

#### KONTROLL AV PÅGÅENDE MUDDRING, AVVERKNING

Muddrade ytor och volymer kontrollerades löpande enligt *Plan för verksamhetskontroll (Dokument: 3573-ProjMan 04) 3.1 Muddring*. Totalentreprenören redovisade till B veckovis uppgifter om avverkad sedimentvolym (m<sup>3</sup> tf) samt vilka ytor och sedimentdjup som avverkats. B sammanställde dessa uppgifter tillsammans med uppgifter rörande avvattning och miljökontroll och distribuerade dessa till berörda parter för

kontroll och uppföljning. Med uppgifter från detta system kunde t.ex. tidplanen kontrolleras vilket bl.a. ledde till att B begärde forcering av muddringsarbetena för att undvika ett vinteruppehåll.

#### KONTROLL AV PÅGÅENDE MUDDRING,

##### MILJÖEFFEKTER

Miljöeffekten av den pågående muddringen kontrollerades enligt *Beställarens miljöplan (Dokument: AFB.22.05.3) 5.3 Beställarvillkor* där följande punkter berörde muddringsarbetena:

- Högsta tillåtna halt metylkvicksilver i sjöarnas utlopp, under tid då grumlingsalstrande arbeten pågår, är 5 ng/l och för totalkvicksilver 25 ng/l.
- Högsta tillåtna turbiditet i utgående vatten i den muddrade sjöns mynning är 7 NTU, mätt som dygnsmedelvärde och 5 NTU som rullande veckomedelvärde i enlighet med svensk standard SS 028125-2.
- Halten suspenderat material i den muddrade sjöns utlopp får som dygnsmedelvärde inte överstiga 10 mg/l.

Inga överskridanden noterades.

#### KONTROLL AV MUDDRING, SLUTAVVERKNING

Enligt *Metodförklaring Mätning (Dokument: 3573-ProjMS 02) 8.1 Inmätning av Övre och Nedre Svartsjöarna* skulle slutmätning ske med handlod i mätpunkter med 10 meters inbördes avstånd. I samband med godkännandet av metoden för inmätning av avverkningsområdena omförhandlades även att slutmätningen skulle utföras på samma sätt som inmätningen.

Mätningarna utfördes av totalentreprenören under närvaro av beställaren enligt samma förfarande som under inmätningen (se ovan).

Den totala ersättningsbara volymen sediment som avverkades i Svartsjöarna uppgick till 254 426 m<sup>3</sup> med ett kvicksilverinnehåll på 9,9–10,0 kg.

Enligt *Beställarens miljöplan (Dokument: AFB.22.05.3) 5.4 Beställarens miljökrav beträffande kvarlämnade botten sediment* kontrollerade beställaren, efter slutförd muddring, mängden kvicksilver i ytsedimentet, där haltgränsen var satt till 0,15 mg/kgTS. Av den sanerade ytans totala areal i respektive sjö fick endast 25 % ha en kvicksilverhalt överstigande 0,10 mg/kgTS

För att kontrollera halterna i kvarvarande sediment skedde kontroll av muddrad botten delområdesvis och etappvis, med proppar som 40 cm längder mellan 0 och 40 cm samt på vissa punkter som 20 cm längder i djupet 40–60 cm (beroende på kvicksilverhalterna i skiktet 0–40 cm) allteftersom delområden i sjöarna hade muddrats klart. Dessa

kontroller utfördes i de mätpunkter, med 30 meters inbördes avstånd, som använts i undersökningen av förorenade sediment 2005. Detta förfarande medförde att eftermuddring kunde ske innan mudderverket hade tagits ur respektive sjö. Enligt *Beställarens rambeskrivning 4.4.3* omfattar eftermuddring en sänkning av sedimentytan med ytterligare 40 cm. Totalt utfördes eftermuddring av 12 419 m<sup>2</sup> bottenyta (4 967 m<sup>3</sup>). Den totalt bearbetade ytan i Svartsjöarna uppgick till 214 769 m<sup>2</sup>.

#### HAMNANLÄGGNING

Hamnanläggningen var iordningställd så att en etablering av mudderverket skulle kunna ske. Därutöver användes hamnen för angöring av bränsleponton och de båtar som användes i projektet. Det föreföll som om synen på t.ex. hamnen var mycket pragmatisk och att resurser inte avsattes för annat än det absolut nödvändiga. Således fanns t.ex. inga anordningar för förtöjning, osv.

Uppmätta Hg-halter i Övre Svartsjön efter muddring (inkluderat resultat efter eftermuddring av områdena 1 och 5)					
Delområde sediment 0-40 cm	Medelhalt mg/kgTS	Yta (ha)	% av 9,642 ha	75 % av arean < 0,10 mgHg/kgTS	25 % av arean >0,10 och <0,15 mgHg/kgTS
1	0,0935	1,080	11,2	11,2	
2	0,1350	0,770	8,0		8,0
3	0,1060	0,962	10,0		10,0
4	0,0820	0,800	8,3	8,3	
5	0,0650	0,660	6,8	6,8	
6	0,1190	0,800	8,3		8,3
7	0,1000	0,720	7,5	7,5	
8	0,0880	1,260	13,1	13,1	
9	0,0810	1,040	10,8	10,8	
10	0,0910	1,550	16,1	16,1	
Summa	0,096	9,642	100,0	73,7	26,3

Andelen av arean med Hg-halt > 0,10 men < 0,15 mg/kg TS ca 26 % godkänd, Länsstyrelsen beslut daterat 2006-09-11.

Uppmätta Hg-halter i Nedre Svartsjön efter muddring					
Delområde sediment 0-40 cm	Medelhalt mg/kgTS	Yta (ha)	% av 13,255 ha	75 % av arean < 0,10 mgHg/kgTS	25 % av arean >0,10 och <0,15 mgHg/kgTS
11	0,082	2,100	15,8	15,8	
12	0,115	1,515	11,4		11,4
13	0,070	1,380	10,4	10,4	
14	0,094	1,890	14,3	14,3	
15	0,075	1,275	9,6	9,6	
16	0,095	1,080	8,1	8,1	
17	0,089	0,990	7,4	7,4	
18	0,097	1,520	11,5	11,5	
19	0,092	1,515	11,4	11,4	
Summa	0,090	13,255	100,0	88,6	11,4

Medeltal för Övre och Nedre Svartsjön					
Områden	Total Yta (ha)	Yta Hg-halt < 0,10 mg/kg TS	Yta Hg-halt >0,10 och <0,15 mg/kg TS	75 % av arean < 0,10 mgHg/kgTS	25 % av arean >0,10 och <0,15 mgHg/kgTS
Övre sjön 1-10	9,642	7,110	2,5	31,1	11,1
Nedre sjön 11-19	13,255	11,740	1,5	51,3	6,6
Summa	22,897			82,3	17,7
				100%	

TABELL 5.2 Verifiering av kvicksilverhalter i Övre och Nedre Svartsjön efter muddring. Uppdelningen i 75 % och 25 % av sjöns area syftar till beställarens miljökrav beträffande kvarlämnade botten sediment. "Av den sanerade ytans totala area får endast 25 % ha en kvicksilverhalt som överstiger 0,10 mg/kg TS." För de ytor som hade högre halter kontaktades finansären för samråd om behov av eftermuddring. Inget behov av eftermuddring bedömdes föreligga för Nedre Svartsjön.



FIGUR 5.3 Mudderverket Pixy under arbete.

FOTO Thorbjörn Svahn

#### ETablering av mudderverk

Mudderverket Pixy var sammansatt av ett antal färdigställda delar; 8 pontoner å 6, 9 och 12 meters längd och med 3 meters bredd, en färdig motorenhet där dieselmotor och generator monterats tillsammans med hydraulmotor, en "Control cabin" bestående av en container inredd med samtliga delar för styr- och kontrollenheten för muddringen, den höj- och sänkbara bom som mudderskruvén monterats på, vinschar och block för de vajrar som utgör framdrivningen av mudderverket, etc.

Enheterna transporterades till etableringsplatserna vid respektive sjö. Dessa etableringsplatser hade iordningställts i förväg, så att hopsättningen av delarna skulle kunna ske med mobilkran. För detta krävdes en iordningställd yta på minst 50 x 30 meter, då mudderverkets dimensioner var 35 x 9,46 meter. Efter att samtliga delar fogats samman

på avsett vis kunde mudderverket sjösättas för egen maskin, med sina vinschar och vajrar koplade till lämpliga landförankringar.

Etablering och avetablering av mudderverket vid Övre och Nedre Svartsjön utfördes på avsett vis utan synpunkter från beställaren.

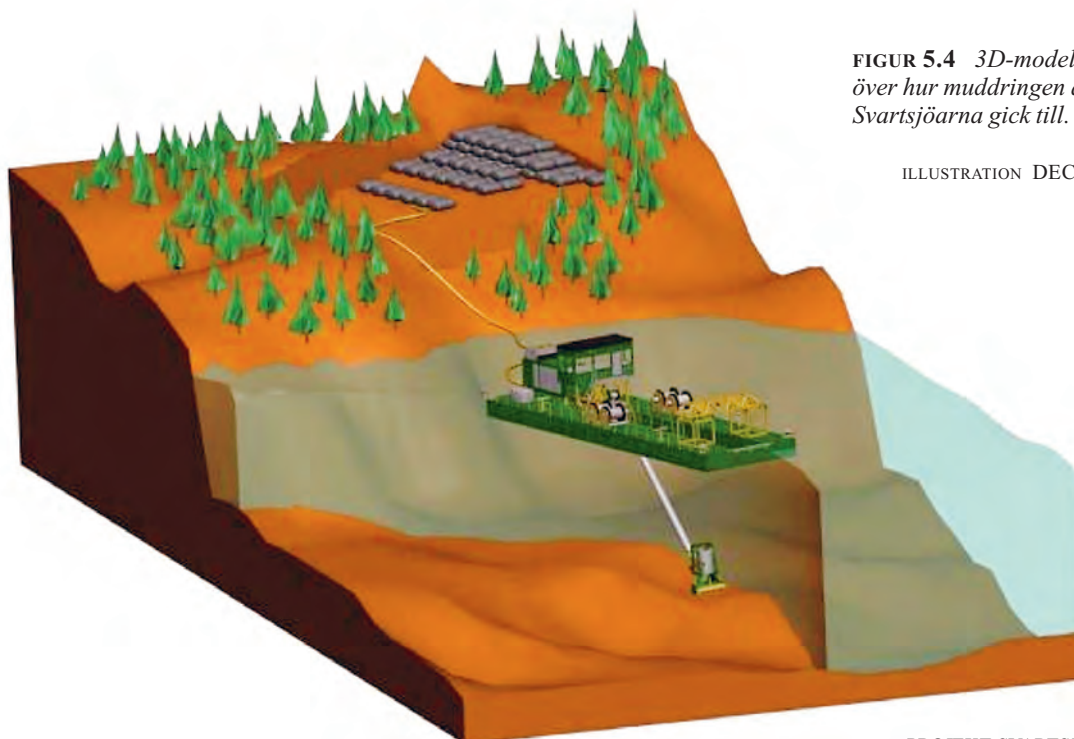
Efter att muddringsarbetena slutförts återställdes etableringsytorna i enlighet med markägarnas önskan.

#### ETablering av rörledning

##### FÖR MUDDERMASSOR

Muddermassorna från mudderverket pumpades i helsvetsade slutna rör av HDPE (High Density PolyEthene) med diametern 250/300 mm. Sammanfogningen av rören skedde med s.k. spegelt teknik, där rören är fixerade i en gigg och trycks mot en uppvärmd spegel till dess smältning uppstår. Spegeln avlägsnas och rörens nu smälta ändar trycks mot varandra varvid dessa "svetsas" samman. På så vis sammanfogades längder som kunde läggas ut med lastmaskin. Slutligen svetsades enheterna samman till ett slutet system mellan mudderverk, deponi, vattenreningsanläggning och returvattenledning. Även den flytande ledningen på vattnet var av denna typ, dock försedd med flötörer samt flexibla slangar för att ta upp de rörelser som orsakas av mudderverkets framdrift. De landförlagda rören krävde inga särskilda förberedande åtgärder förutom viss utjämnande markberedning.

Hantering av rörledningar vid etablering och avetablering samt under projektiden vållade inga olägenheter för beställaren.



FIGUR 5.4 3D-modell över hur muddringen av Svartsjöarna gick till.

ILLUSTRATION DEC-DI

#### LOGISTIK UNDER ENTREPRENADTIDEN

En omfattande logistik krävdes för etablering av mudderverk och processanläggningar samt underhåll under projekttiden. För detta hade ett ändamålsenligt vägsystem för tung trafik iordningställt, som sträckte sig fram till hamnanläggningen. Sedan mudderverket hade etablerats skedde regelbundna transporter till hamnen, främst av bränsle.

#### BRÄNSLEHANTERING

Mudderverket Pixy hade en dieselelektrisk och hydraulisk manövrering av sina funktioner, vars kraftkällor var en dieselmotor på 632 HP och en generator på 36 kVA. Dieselbränsle distribuerades till kajen med tankbil, som där fyllde en pontonburen ”farmartank”. Tanken bogserades vid behov till Pixy och bränslet pumpades över till fast tank ombord på mudderverket. Denna hantering kunde ske medan mudderverket var i drift och krävde inga avbrott. Systemet fungerade utan att beställaren uppmärksamade några problem.

Även arbetsbåten ”Peter” använde dieselbränsle från farmartanken.

Den arbetsbåt som användes vid mätningarna hade sin framdrivning med en fyrtakts utombordsmotor. Bränslet till denna hämtades med 20 liters plåtdunkar, som också utgjorde bränsletank ombord.

#### RESERVDELAR

I en totalentreprenad av denna typ har beställaren mycket begränsad insikt i vilket system entreprenören lagt upp för att tillgodose sina behov av t.ex. reservdelar. Det föreföll dock som att de, för driftsavbrott mest känsliga reservdelarna, fanns på plats vid Svartsjöarna, medan övrigt rekviderades från Belgien vid behov. Vid något tillfälle kördes utrustning direkt från Belgien till Svartsjöarna nonstop i ett akut skede. Då företaget har en omfattande internationell verksamhet kan det antas att en företagspolicy finns utarbetad avseende reservdelshantering och att denna tillämpades även för Svartsjöarna.

Bortsett från slitage på vägarna uppstod inga problem för Beställaren vad avser logistik under entreprenadtiden.

#### UNDERHÅLL AV UTRUSTNING

I hamnen fanns en container avsedd för reparationer och förråd.

#### MUDDRINGSUTRUSTNING

Underhåll av utrustningen rörande muddring sköttes löpande utan anmärkning från Beställaren.

#### ARBETSBÅTAR

Mätningebåten kom till Svartsjöarna med felaktigheter på styrinrättningen. Detta åtgärdades av lokalt företag.

Arbetsbåten ”Peter” fick motorproblem under projektet. Inga åtgärder vidtogs, varvid båten till slut blev liggande.

#### SKYDDSSKÄRM

En 30 meter lång skyddsskärm fanns anbringsad vid Övre Svartsjöns utlopp för att hindra flytande fibermaterial att komma vidare till Nedre Svartsjön. Denna kom att lossna vid den södra angöringen, vilket påtalades för Entreprenören. Om denna alls blev åtgärdad är oklart, dock kvarstod problemet med en öppning i duken mot land på den södra sidan.

#### **5.2.3 AVVATTNING**

Förutom de krav på begränsning av diffusa vattenläckage, som redovisats ovan, ställdes inga andra funktionskrav på avvattningsresultat än att de avvattnade sedimenten skulle ha tillräcklig hållfasthet för att kunna deponeras med tillfredsställande stabilitet och utan besvärande sättningar, med hänsyn till de funktionskrav som ställts på deponin (se nedan).

Innan detaljprojekteringen påbörjades var arbetshypotesen att muddermassor skulle kunna pumpas in i geotuberna utan någon tillsats av flockningsmedel. Detaljprojekteringen visade dock att betydande kapacitetsförbättringar i avvattningsprocessen skulle erhållas genom användning av polymerer för flockning av muddermassorna, varför ett system med tillsättning av polymer, direkt i den ledning i vilken muddermassor pumpades från mudderverket till geotuberna, tillämpades.

För att kunna utnyttja avvattningsanläggningen på bästa sätt, dimensionerades denna för att inrymma geotuber i flera lager. I de olika cellerna lades 3-4 lager geotuber upp, med tuberna växelvis förskjutna på så sätt att tuberna i det andra lagret lades i den försänkning som bildades mellan två tuber i lagret under. För att underlätta avrinningen lades dräneringsnät mellan de olika lagren av tuber. Innan ett nytt lager kunde läggas ut ställdes, i syfte att säkerställa en viss skjuvhållfasthet, krav på att avvattningen i de underliggande tuberna framskridit så att torrsubstanshalten hos muddermassorna inuti uppgick till minst 12 %. Stabilitetsberäkningarna för fyllnings/avvattningsskedet byggde dock främst på geometriska faktorer och draghållfasthet i geotubernas textiler och inte på muddermassornas hållfasthet. Den geometriska utformningen och uppläggnings sättet medförde att mothållande krafter mot skred kunde

tas som dragspänningar i geotextilierna. I detaljprojekteringen föreslogs också en viss armering av tuberna i det yttre lagret, men denna kom aldrig till användning.

Erfarenheterna från andra liknande projekt, med användning av mekanisk avvattning (Järnsjöprojektet och projekt Örserumsviken), har visat att just avvattning av sugmuddrade finkorniga (fiber)sediment har varit en kapacitetsbegränsande faktor i processen. Processerna har därför dimensionerats så att muddring kunnat bedrivas under ett skift, medan avvattning bedrivits i princip hela dygnet. För att utjämna flödet i avvattnings- och reningsanläggningen har buffertbassänger som inrymt en relativt stor volym (motsvarande muddring under ett skift) anlagts. Dimensioneringen har inneburit att det funnits begränsade möjligheter att öka kapaciteten för att ta igen förlopad tid.

I Svartsjöprojektet visade sig kapaciteten hos den valda metoden, med avvattning i geotuber, snarare vara högre än förväntat och aldrig begränsande för genomförandetiden. När en forcering behövdes mot slutet av genomförandetiden, för att kunna färdigställa muddringen enligt tidplan, kunde detta genomföras utan att svårigheter uppkom i avvattningsanläggningen. De undersökningar som genomfördes i projekteringskedet låg till grund för dimensioneringen av avvattningsanläggningen, såsom behovet av tillgänglig yta för uppläggning av geotuber, antal tuber som behövde vara i drift samtidigt etc. Kapaciteten i genomförandeskedet visade sig snarare vara högre än vad som kunde utvärderas från dessa undersökningar och betydligt högre än kapaciteten i de mekaniska avvattningsanläggningar som användes i Järnsjöprojektet och i Örserumsviken. I vilken utsträckning den höga kapaciteten, jämfört med mekanisk avvattning i dessa två projekt, kan hänföras till metoden som sådan, eller om skilda egenskaper hos sedimenten kan ha medfört att avvattningsegenskaperna varit annorlunda, har dock inte klarlagts. I de undersökningar som genomfördes i huvudstudien karakteriserades sedimenten dock som ”relativt svåravvattnade”.

En betydande nackdel med metoden är dock att det krävs en relativt lång tids konsolidering efter det att muddring upphört, under vilken tid fortsatt stora volymer vatten avgår. Jämförelsen mellan geotuber och mekanisk avvattning i kapacitets-hänseende blir inte fullständig utan att man tar hänsyn till detta. Med den mekaniska avvattningen når man en betydligt högre torrsubstanshalt i de avvattnade muddermassorna, i och med att dessa passerat avvattningsanläggningen. Med geotuberna var torrsubstanshalten i muddermassorna mycket

låg när muddringen var slutförd och stabiliteten, i det som då skulle övergå till en deponi, var helt beroende av att muddermassorna var inneslutna i tuberna, vilka fungerade som armering.

Muddringen avslutades i november 2006. Muddermassorna lämnades därefter att konsolidera fram till augusti 2007, då konsolideringen/avvattningen ansågs ha framskridit tillräckligt för att anläggningen skulle kunna sluttäckas och betraktas som en deponi. Även om torrsubstanshalten i muddermassorna under konsolideringen ökat avsevärt, var de även vid sluttäckningen betydligt lägre än vad som hade kunnat förväntas om en anläggning för mekanisk avvattning använts.

Under konsolideringsfasen avtog flödet från avvattningsanläggningen successivt i enlighet med vad som kan förväntas med hänsyn till traditionell konsolideringsteori. Under konsolideringsfasen pågick inget annat arbete på platsen än kontrollverksamheten för uppföljning av avrinningen från anläggningen avseende flöde och kvalitet.

En mycket liten del av de muddrade sedimenten lämnade tuberna med den klarvattenfas som filtrerades genom den omgivande textilen. Halten suspenderad substans i returvattnet, som pumpades från avvattningsanläggningen till vattenreningsanläggningen, var låg och motsvarade i stort sett utsläppsvillkoret för suspenderad substans i returvatten efter rening. I detta avseende, förmågan att avskilja returvatten från muddermassorna, kan metoden alltså anses vara mycket effektiv.

#### 5.2.4 VATTENRENING

Som framgått tidigare identifierades biologiskt nedbrytbart material i returvatten efter avvattning som ett potentiellt problem, eftersom returvattnet skulle ledas tillbaka med tidvis låga flöden till Pauliströmsån. Utifrån de undersökningar i bänkskala som genomfördes vid framtagningen av förfrågningsunderlaget bedömdes att höga flöden av returvatten skulle kunna medföra syrebrist i ån, även om halterna av lättnedbrytbart biologiskt material i framställda returvatten varierade inom ett brett intervall. Av denna anledning lämnades stor frihet för entreprenören att välja systemlösning och en lång genomförandetid medgavs i upphandlingskedet, samtidigt som en stor yta reserverades som arbetsområde. Därmed bereddes möjlighet för lösningar som kunde utnyttja den långa tiden till lågintensiv muddring och/eller magasinering med successiv återföring av returvatten, med flöden som inte riskerade att överskrida de villkor för utsläpp av COD och BOD<sub>7</sub> som stipulerades i beställarens miljöplan. I förfrågningsunderlaget redovisades resultaten från de undersökningar som genomförts utan tolkningar eller värderingar.

Däremot innebar de ställda miljökraven, som medförde en långtgående begränsning av tillåtna utsläpp av BOD<sub>7</sub> och COD (halten BOD<sub>7</sub> i returvattnet fick inte överstiga 100 kg/dygn som rullande veckomedelvärde), att frågan uppmärksammades särskilt i förfrågningsunderlaget.

Beställarens expert på vattenrening bedömde vid framtagningen av förfrågningsunderlaget att det skulle vara nödvändigt med en vattenrening dimensionerad för avskiljning av organiskt material i löst och kanske framför allt kolloidal form, samt att en lämplig metod skulle vara kemisk fällning. Entreprenören bedömde i anbudsskedet de erhållna undersökningsresultaten på ett annat sätt och tog de varierande resultaten till intäkt för att det skulle vara möjligt att planera muddringen på ett sådant sätt att utsläppskraven skulle kunna innehållas, genom växelvis muddring av sediment med höga halter syretärande och lösligt material respektive sediment med låga sådana halter. I entreprenörens ursprungliga projektering ingick därför endast partikelavskiljning genom filtrering av returvattnet först genom avvattningen i geotuber och därefter vid behov i sandfilter.

Undersökningarna inom ramen för detaljprojekteringarna visade att det inte skulle vara möjligt att genomföra entreprenaden på det sätt och med den muddringsintensitet som entreprenören beräknat. De försök som simulerade avvattning med den valda tekniken visade att betydligt högre halter av syretärande material skulle erhållas i returvattnet

än vad som accepterades, oavsett hur muddringen planerades.

För rening av returvattnet, med avseende på syreförbrukande material, valde entreprenören en biologisk rening i en SBR-anläggning (Sequential Batch Reactor). I denna behandlas vattnet satsvis, varför även ett mindre utjämningsmagasin erfordrades eftersom muddring skedde kontinuerligt. Utjämningsmagasinet var dock endast anpassat till utjämning av SBR-reaktorns kapacitet och tillät inte magasinering av större vattenvolymer. Det fanns dock en möjlig ytterligare magasineringskapacitet i avvattningsanläggningen eftersom denna var invallad och vattenståndet kunde tillåtas stiga. Förfilter för partikelavskiljning före det biologiska steget utgjordes enbart av filtertextilen i geotuberna. För efterfiltrering efter bioreningen fanns ett sandfilter installerat, som dock inte behövde användas.

Den installerade anläggningen fungerade efter en kort inkörningstid i huvudsak mycket bra.

Det är också av intresse att notera att redan filtreringen genom geotubernas textil resulterade i en god partikelavskiljning. I det vatten som pumpades från avvattningsanläggningen till buffertbassängen före biorening uppmättes halten suspenderad substans till 22 mg/l som medelvärde med variationsintervallet 4–41 mg/l. Avskiljningen i avvattningssteget var således i det närmaste tillräcklig för att tillgodose detta krav.



FIGUR 5.5 Vattenreningsanläggning.

FOTON Empirikon AB





FIGUR 5.6 Avvattning i geotuber.

FOTO Thorbjörn Svahn

### 5.2.5 DEPONERING OCH TÄCKNING

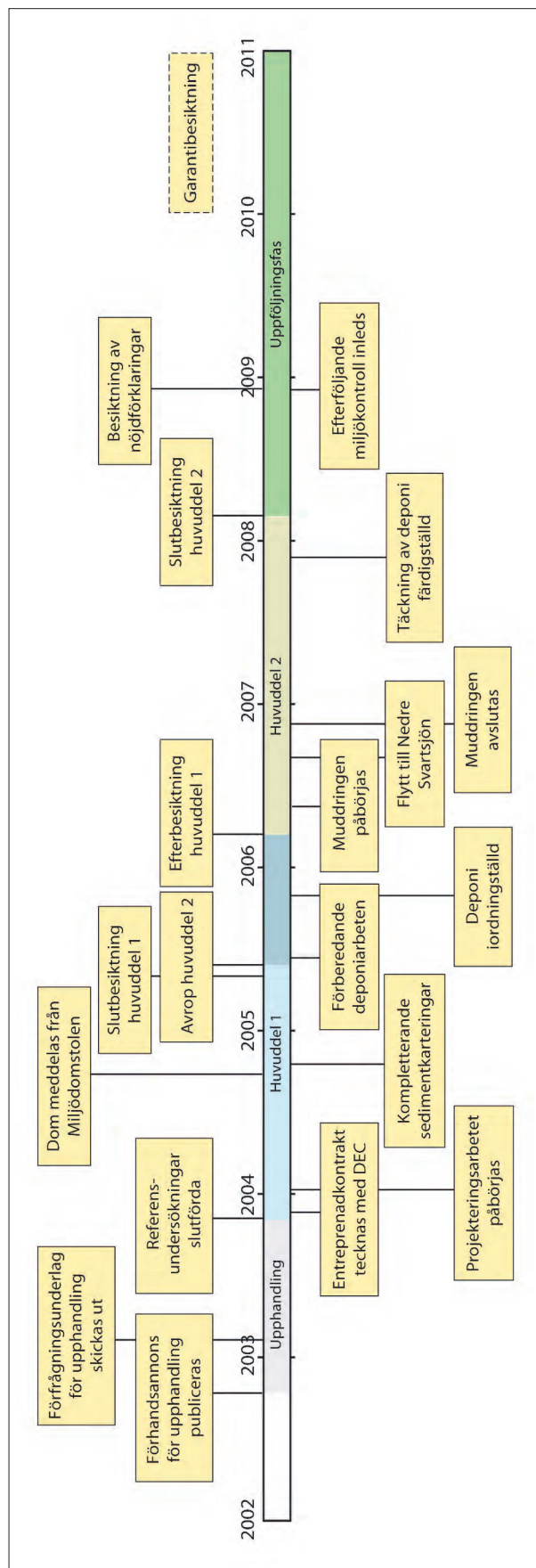
De funktionskrav som ställdes på deponin var:

- *Utströmmande lakvatten skall passera ett partikelfilter som är så beskaffat att transport av suspenderat material från de deponerade massorna undviks. Anordningar för detta skall vara beständiga i tiden utan drift och underhåll.*
- *Dagvatten som avrinner från deponiområdet innan deponin är sluttäckt skall samlas upp och behandlas i vattenreningsanläggningen, alternativt i ett separat partikelfilter.*
- *Deponin får endast utnyttjas för deponering av avvattnade sediment, från sjöbotten och strandområden bortrensat material och eventuella andra fraktioner som avskiljs i avvattningsprocessen.*
- *Placering och utformning av deponin skall vara sådan att ytvatten kan avrinna från deponin efter det sluttäckning påförts och att de deponerade massorna konsoliderat för egentyngden och den belastning som sluttäckningen utgör. Lokala sättningar där vatten kan ansamlas får ej förekomma.*
- *Sluttäckning skall utföras minst 0,5 m mäktig och bestå av mineraljord med högst 8 % organiskt innehåll. Se även punkt 4.7 nedan om återställning.*

- *Deponin utformas och vid behov utförs grundförstärkningsåtgärder så att säkerhetsfaktorn mot skred beräknad med totalspänningsanalys överstiger  $F_C=1,5$  och beräknad med effektivspänningsanalys och kombinerad analys överstiger  $F_{KOMB}=1,3$ .*

Med geotuber som avvattningsmetod rationaliserar man bort momentet ”transport från avvattningsanläggning och fyllning av muddermassor i deponi”. Fyllningen i deponin kan anses slutförd när avvattningen framskridit tillräckligt för att täckningen ska kunna etableras.

I inledningskedet bygger deponins stabilitet på att geotuberna omsluter muddermassorna och fungerar som armering. Muddermassornas har i detta skede naturligt nog ingen egen hållfasthet. Efter det att muddringen avslutats och konsolideringsfasen framskrider ökar muddermassornas torrsubstanshalt och skjuvhållfasthet. I detaljprojekteringen föreskrevs att muddermassornas torrsubstanshalt skulle uppnå minst 15 % för att sluttäckningen skulle påföras. När deponin sluttäcktes 8–9 månader efter avslutad muddring, varierade torrsubstanshalten i tuberna mellan 14 % och 18 % med medelvärdet 15,1 %, och motsvarande skjuvhållfasthet uppmättes till mellan 0,5 kPa och 11 kPa, med medelvärdet 4,7 kPa.



FIGUR 5.7 Tidplan för entreprenaden.

## 5.3 Regleringar

### 5.3.1 BETALNINGSPLANER

Ersättningen till totalentreprenören baserades på en prestationsbunden betalningsplan, vilket innebär att totalentreprenören, med några undantag, erhöll ersättning efter utfört arbete.

Betalningsplanen för huvuddel 1 lades upp med månadsutbetalning på 12,5 % av totalsumman under 7 månader; varpå en slutbetalning på resterande 12,5 % utbetalades efter färdigställt arbete. Därtill kom ersättning för anbudsräkning. Viten var kopplade till eventuella förseningar.

Efter avrop av huvuddel 2 utgick ett förskott på 5 % av avtalad kontraktssumma. Därefter utgick betalning en månad efter påbörjad etablering (7,6 %) samt efter färdigställd etablering (9 %). Vid muddringsstarten utgick ytterligare ett förskott på 5 % och därefter skedde betalning månadsvis utifrån utförd och godkänd muddrad mängd. Efter att muddringen avslutats reglerades betalningen med ett särskilt å-pris för avgående eller tillkommande faktiskt muddrad mängd, jämfört med den i kontraktet angivna mängden på 260 000 m<sup>3</sup>. Slutligen utgick 2,1 % efter sluttäckning av deponin och återstående 5 % efter godkänd slutbesiktning. I det fall beställaren skulle begära eftermuddring var ersättningen baserad på ett å-pris per m<sup>3</sup> tillkommande mängd. För huvuddel 2 skulle vite utgå med 0,5 % av kontraktssumman för varje påbörjad veckas försening av muddringens avslutande eller färdigställande av kontraksarbete.

### 5.4 Ändrings- och tillägsarbeten

Tillägsarbeten genomförda inom Svartsjöprojektets totalentreprenad avser:

- installation av biologisk vattenrening (behovet av vattenrening större omfattning än utredningar under förberedelse-skedet kunde visa).
- eftermuddring inom två områden i Övre Svartsjön.
- ny design för muddringsplan p.g.a. nya direktiv från Beställaren (försakat av sedimentförflyttningen i Övre Svartsjön p.g.a. höga flöden år 2000).
- flytt av förankringspunkter p.g.a. nya direktiv från Beställaren (se punkten ovan).
- markarbeten för besöksplattform.
- stopp i muddring p.g.a. isborr som låg i sjön och fastnade i mudderverket.
- forcering av muddringsarbetena.

## 5.5 Besiktningar

För att konstatera om totalentreprenören utfört sina prestationer på ett kontraktsevenligt sätt så genomförs besiktning. En besiktningsman verkställer denna och upprättar ett besiktningsutlåtande. Till besiktningarna knyts såväl juridiska som tekniska och ekonomiska konsekvenser. Vid slutbesiktningen ska ställning tas huruvida entreprenaden ska godkännas eller inte. Godkänns entreprenaden så övergår risken för objektet på beställaren. Entreprenören äger då upprätta slutfaktura och få betalt.

I projektet har produktionsanpassad besiktning genomförts; det innebär att entreprenaden besiktigas löpande under entreprenadtiden genom förbesiktningar som utgör underlag för och komplement till slutbesiktningen.

Syftet med att utföra besiktningar löpande under entreprenadtiden är att:

- Säkerställa att avtalad kvalitet uppnås även i de delar som inte är åtkomliga vid slutbesiktningen.
- Möjliggöra att fel avhjälpas under entreprenadtiden så att entreprenaden kan överlämnas utan fel vid slutbesiktningen
- Stimulera till en aktiv och väl fungerande egenkontroll hos entreprenören.
- Minimera behovet av platskontroll för beställaren
- Få objektet färdigt inom avtalad tid
- Minska störningar för beställaren efter övertagande.

Besiktninggruppen utgjordes av Jens Pedersen (besiktningsman), Hampus von Post (biträdande besiktningsman sjöarbeten) samt Pär Elander (biträdande besiktningsman mark).

**Förbesiktning** Att vid besiktningstillfället pröva förekomsten av fel på den del av entreprenaden som är föremål för besiktningen. Förbesiktning kan påkallas av de skäl som anges i ABT 94 7 kap. § 1.

**Besiktningsman** Person som utför besiktningen.

**Biträdande besiktningsman** Person som besiktningsmannen eller beställaren utsett, att med-verka som biträde till besiktningsmannen för viss del av entreprenaden. Delar för vilka biträdande besiktningsmän var utsedda var sjöarbeten (muddring mm.) och markarbeten inklusive deponi.

**Besiktningsplan** Plan som visar vilka besiktningar som ska utföras, kopplat till påbörjande eller färdigställande av olika moment i entreprenaden eller till särskilda aktiviteter.

**Slutbesiktning** Att vid besiktningstillfället pröva förekomsten av fel på entreprenaden i sin helhet och godkännande av entreprenaden.

**Garantibesiktning** Verkställs innan garantitiden upphör för att konstatera att några fel, som inte kunde konstateras vid slutbesiktningen, inte framträtt under garantitiden.

TABELL 5.3 Begrepp.

## 5.5.1 BESIKTNINGARNAS GENOMFÖRANDE

### 5.5.1.1 FÖRBESIKTNING

Förbesiktningar verkställdes under totalentreprenaden enligt ovanstående upprättade besiktningsplan och vid tidpunkter anpassade till entreprenörens produktion. Vid besiktningen företogs de kontroller och prover som besiktningsmannen fann nödvändiga för att kunna bedöma objektets status.

Förbesiktning mark (FB-1) avsåg uppbyggnaden av arbetsområdet för avvattning, bottenkonstruktionen för deponin och entreprenörens projekteringshandlingar: AFB.22.5.06 Rambeskrivning, 3573-ProjMS01 Allmän översikt över arbetena, samt 3573-ProjMS05 Metodförklaring deponi. Besiktningsmän var Jens Pedersen från Advokatbyrå Jens Pedersen AB och Pär Elander, HIFAB Envipro Miljöteknik AB (biträdande). Den genomfördes som löpande besiktning av pågående arbeten vid platsbesök 2005-08-11, 2005-09-12, 2005-09-20 och 2005-10-03, samt som genomgång av utkast till relationshandlingar inklusive protokoll från egenkontroll (Dokument 3573-Proj Exec01-AsBuilt Deponi). Följande anmärkningar noterades:

- *Relationshandlingarna är inte översatta till svenska.*
- *På ritningar över konstruktionen saknas detaljer som visar dränering för grundvatten under deponibotten, liksom angivelser av kornfraktioner hos använda dräneringsmaterial.*
- *Specifikationerna av använda dräneringsrör och ledningar är ofullständiga (produktidentifikation saknas).*
- *Verifikationer från utförd egenkontroll av kornfördelningar för använda material saknas genomgående.*
- *Verifikationer från utförd egenkontroll av lagertjocklekar hos utlagda lager av jord eller bergkross saknas.*
- *Inmätningssfiler har inte levererats*

I april respektive juli 2006 genomförde Hampus von Post, biträdande besiktningsman Vatten, förbesiktning angående inmätning av sedimentöversyta inför avverkning i Övre och Nedre Svartsjön enligt beställarens krav och totalentreprenörens handlingar: 3573-ProjMS02 Metodförklaring mätning. Denna besiktning resulterade inte i några anmärkningar.

Under september och november samma år genomförde Hampus von Post förbesiktning av kontrollen av muddringsdjupet i Övre och Nedre Svartsjön utifrån beställarens krav och totalentreprenörens handlingar: 3573-ProjMS02 Metodförklaring mätning.

	Arbetsmoment	Objekt	Funktionskrav enl. kontrakt	Besiktningståtgärd
Huvuddel 1	Detaljprojektering (se kap 5.1)	Projekteringshandlingar: Allmän översikt Avvattning Vattenrening Deponi Infrastruktur	Skall motsvara arbetshandlingar för en utförandeentreprenad. Omfattning enligt handling AFB.22.05.06 Rambeskrivning. Överensstämmelser med krav och angivelser i allmänna handlingar specificerade i handling AFB.22.05.06 Rambeskrivning.	Genomgång av handlingar
	Etablering	Vägar	Senast till anmälan om slutbesiktning skall nöjdförklaringar och godkända syneprotokoll från samtliga berörda fastighetsägare, väghållare eller nyttjare föreligga och överlämnas till B.	Granskning och sammanställning av dokument
Huvuddel 2	Avvattning förberedelse	Dagvatten  Grundvatten	Ytor inom vilka muddrade sediment och returvatten hanteras skall vara försedda med ett system för uppsamling av dagvatten och utformas så att spill enkelt kan samlas upp.  Grundvatteninströmning skall förhindras	Besiktning av funktionen för uppsamling av dagvatten,  Besiktning av funktionen till skydd mot grundvatteninträngning
	Avvattning förberedelse	Bottentätning och uppsamlingsystem för avrinnande returvatten från deponin (avvattningsanläggningen)	Diffust läckage från avvattningsanläggningen (inklusive vattenrening) skall begränsas till högst 1 l/s.	Kontroll av funktionen till skydd för diffust läckage från avvattningsanläggningen.
	Muddring Övre o Nedre Svartsjön	Muddringsdjup	Muddring till föreskriven nivå för färdigmuddrad sjöbotten	Ekolodning efter kalibrering med handlod
Huvuddel 2	Deponering	Stabilitet i deponi	Den beräkningsmässiga säkerhetsfaktorn mot skred i deponin skall överstiga FC=1,5 och FKOMB=1,3.	Genomgång av dokumentation, avstämning av resultaten från totalentreprenörens egenkontroll gentemot de i projekteringshandlingar specificerade krav
	Deponering	Ytvattenavrinning	Ytvatten skall kunna avrinna. Lokala sättningar där vatten kan ansamlas får ej förekomma	Kontroll av deponiytans lutningar
	Deponering	Sluttäckning	Materialval (mineraljord med högst 8 % organiskt innehåll) Mäktighet minst 0,5 m Ytvatten skall kunna avrinna. Lokala sättningar där vatten kan ansamlas får ej förekomma	Kontroll av material, mäktighet och lutningar
	Deponering	Partikelfilter	Så beskaffat att borttransport av förorenat material från deponin undviks	Kontroll av materialval och korstorlek för filtermaterial
	Deponering	Återställning	Anpassning till omgivande miljö Kvicksilverhalt i mark	Kontroll av återställning och Hg-provtagning på mark
	Entreprenaden färdigställd		Totalentreprenören skall till B komma in med skriftlig anmälan om slutbesiktning minst 8 veckor före att besiktning avses äga rum. Samtliga arbeten inklusive all dokumentation, relationsritningar, intyg, nöjdförklaringar, åtgärdande av fel enligt egenkontroll, samt utlåtanden från förbesiktningar skall vara utförda och redovisade till B senast 2 veckor innan slutbesiktning skall verkställas	Slutbesiktning. Genomgång av relationshandlingar och åtgärder avseende kvarvarande besiktningssmärkningar från den fortlöpande besiktningen

TABELL 5.4 Besiktningssplan.

Totalentreprenören presenterade kartmaterial från ekolodning utvisande platser där muddring inte skett till avsett djup för de olika delområdena i respektive sjö samt förklaring till detta, t.ex. att muddring inte kunnat ske till följd av förekomst av sten, berg eller hård minerogen botten eller att förhöjningen berodde på ansamling av näckrosrötter på botten. Dessa platser mättes in och kontrollerades med användning av GPS och handlod samt sedimentprovtagare. Platser där kontrollen inte visade att naturliga hinder förelåg för avverkning till avsett djup, meddelades totalentreprenören som utförde nödvändig justeringsmuddring på platsen. Undersökningen utfördes så att godkännande kunde ske områdesvis om endast ett fåtal mindre platser inte nått avsett djup men var nära detta. Godkännande i detta fall avser endast att beställaren medger att totalentreprenören flyttar sin muddringsutrustning från området. Mätning för kostnadsreglering sker separat.

Under samma period genomfördes förbesiktning av mätningen av sedimentöverytan efter avverkning i Övre och Nedre Svartsjön. Besiktningen utfördes av Hampus von Post utifrån beställarens krav och totalentreprenörens handlingar: 3573-*ProjMS02 Metodförklaring mätning*.

#### 5.5.1.2 SLUTBESIKTNINGAR & EFTERBESIKTNINGAR

Slutbesiktning verkställdes för att konstatera huruvida entreprenören utfört sitt åtagande kontraktensligt och uppfyllt de åtgärdskrav som satts upp. Om arbetet i slutbesiktningen får anmärkningar som skall avhjälpas kontrollerades dessa i en efterbesiktning.

Slutbesiktningen för huvuddel 1 omfattade besiktning av samtliga handlingar som upprättats av totalentreprenören inom ramen för huvuddel 1, förutom handlingar gällande vattenrening, avvattning och flödesschema eftersom dessa inte var färdigställda. De handlingarna besiktigades i en senare efterbesiktning. Besiktningen pågick från december 2004 t.o.m. april 2005 och utfördes av Jens Pedersen från Advokatfirman Jens Pedersen AB. Biträdande besiktningsmän var Pär Elander och Hampus von Post. Följande anmärkningar noterades i SB1-Mark:

- *Handlingarna motsvarar inte de krav som kan ställas på detaljeringsgraden i arbetshandlingar för en utförandeentreprenad såtillvida att inga mängdberäkningar redovisas för de enskilda arbetsmomenten. Avhjälpas ej.*
- *Dokument 3573-*ProjMan03*: En kompletterande beskrivning av åtgärder vid vinteruppehåll har lämnats i brev*

*(3573/OUT/029/TDO/tdo 2005-04-26).*

*Avrinnande vatten från deponin under vinteruppehåll får inte släppas till recipient utan föregående kontroll av vattenkvaliteten och skall vid behov passera reningsanläggning, alternativt magasineras. Beskrivningen skall kompletteras på denna punkt och föras in i dokumentet.*

- *Dokument 3573-*ProjMan03*: I brev (3573/OUT/029/TDO/tdo 2005-04-26) hänvisas till en nödfallsplan för miljöincidenter som skall omfatta bl.a. åtgärder vid överskridanden av villkor och som ännu ej är upprättad. Denna skall upprättas innan entreprenaden i huvuddel 2 får påbörjas.*
- *Dokument 3573-*ProjMS05*: Denna besiktning avser projekterat utförande av deponin. I dokumentet anges att omprojektering av bottenivåer för deponin kan komma att ske beroende på markförhållanden som uppdagas vid schaktningsarbetena. Eventuella förändringar skall bli föremål för förnyad besiktning i detta skede.*
- *Dokument 3573-*ProjMS07*: Beskrivning av planerade vägförbättringar saknas (materialspecifikationer, överbyggnadstjocklekar etc.) Avhjälpas ej.*

I SB1-Vatten gjordes följande anmärkningar:

- *Dokument 3573-*ProjMan04*: Mudderverkets rörelser sker med hjälp av stålvastrar. Beskrivningen motsvarar inte krav i handlingarna om flytande vastrar. Avhjälpas ej.*
- *Dokument 3573-*ProjMan04*: Bubbelskärmar bedöms som olämplig metod. Metoden tas bort ur handlingarna.*

En efterbesiktning av de fel som noterats ägde rum i mars och april 2006. Besiktningsmän var desamma som vid slutbesiktningen.

Slutbesiktningen i huvuddel 2 av samtliga markarbeten inom entreprenaden genomfördes som genomgång av relationshandlingar, samt vid sammanträde och platsbesök 2008-02-05. Besiktningsman var Jens Pedersen och biträdande besiktningsmän Pär Elander och Hampus von Post. Besiktning av vegetationsetablering inom av totalentreprenören utnyttjade områden senarelades till september 2008. Följande anmärkningar noterades:

- *Ojämheter och lokala depressioner i deponins yta medför att avrinnningen av ytvatten inte fungerar tillfredsställande. Ytterligare sättningar kan förväntas. Avhjälpande av fel kan därför med fördel anstå till garanti-besiktningen.*
- *I ett begränsat område i deponins sydvästra hörn var täckningsmaktigheten 0,4 m (skall*

vara minst 0,5 m). Avhjälpan kan anstå till dess att föregående fel avhjälps inför garanti-besiktningen.

- Ytvattendiket längs en begränsad sträcka utanför deponins sydvästra hörn behöver fördjupas något för att få tillräckligt själv fall. Fyllning av sprängsten i ytvattendiken i såväl deponins sydvästra som sydöstra hörn tas bort. Avhjälps i samband med garanti-besiktningen.
- Den befintliga skogsbilväg som togs bort i samband med anläggande av deponin har inte ersatts med väg som fyller motsvarande funktion. Nöjdförklaringar och godkända synprotokoll från berörda fastighetsägare, väghållare och nyttjare saknas.
- I relationshandlingen 3573-ProjExec04 saknas korrekt ritning som visar utförd konstruktion av partikelfilter.
- Flera av ritningarna i relationshandlingen 3573-ProjExec04 är inte översatta till svenska.
- Verifikationerna av täckningsmaktigheten i relationshandlingen 3573-ProjExec04 är inte spårbara (platsangivelse för respektive bild saknas).
- Flera referenser till bilagor etc. i relationshandlingen 3573-ProjExec04 är felaktiga.
- Redovisningen av sättningsuppföljning i bilaga till relationshandlingen 3573-Proj-Exec04 behöver förtydligas.
- I bilaga 9 till relationshandlingen 3573-Proj-Exec04 redovisas flera kornstorleksfördelningar med beteckningen "Flisshults avfallsanläggning".

De anmärkningar som antecknades efterbesiktigades 2008-04-04 och 2008-10-14 av Pär Elander. Besiktning av nöjdförklaringar skedde 2008-12-05. Vid garantibesiktningen antecknades brister i vegetationsetableringen samt kvarstående fel i entreprenaden avseende svaga lutningar i kombination med ojämnheter och lokala depressioner i deponins yta. Det senare felet avhjälps genom att ytterligare 2 600 m<sup>3</sup> moränmaterial påförs deponin så att släntlutning 1:100 uppnås över deponins yta. Förnyad vegetationsetablering sker genom frösådd över hela deponin samt angränsande arbetsområde. Åtgärdsförslaget godkändes enligt länsstyrelsens underrättelse 555-9772-09 (2011-05-30).

### 5.5.1.3 GARANTIBESIKTNING

Garantibesiktningen var ursprungligen inplanerad till slutet av 2009. Länsstyrelsen i Kalmar län inkom dock med ett yttrande och anmärkningar innefattande kvarstående fel (se avsnittet ovan). Yttrandet besvarades av kommunen och i avvaktan

på länsstyrelsens kommentarer flyttades garanti-besiktningen till 2010. På grund av vinterförhållandena vintern 2009–2010 och löpande diskussion med tillsynsmyndigheten genomfördes garantibesiktningen först 2010-05-24.

## 5.6 Entreprenadkontroll

För att kommunen skulle kunna kontrollera och följa upp totalentreprenörens arbeten var kontrollen av totalentreprenörens verksamhet uppdelad i flera system. Huvudsakligen kom kontrollen att ske genom platsbesök, kontroller av uppmätta värden i omgivningskontrollen och genom totalentreprenörens veckorapporter.

Totalentreprenad innebär definitionsmässigt att projektering dvs. framtagande av konstruktioner, nyttjande av arbetsområdet, produktionsplanering mm. ingår i totalentreprenörens ansvar och åtagande. Definitionsmässigt är det en enkel gränsdragning, i verkligheten är det ofta en fråga om var gränsen skall dras mellan entreprenörens projektering och byggherrens ansvar för lämnade uppgifter.

I förfrågningsunderlaget för totalentreprenören indelades entreprenaden i två huvuddelar där entreprenören i den första huvuddelen, projekteringen, genom konstruktioner, produktionsplanering, kontrollplaner mm skulle omsätta funktionskraven till utförande så att den efterföljande huvuddelen huvudsakligen skulle vara som en utförandeentreprenad med entreprenörens arbetshandlingar som grund för kontroll av utförandet.

Totalentreprenörens handlingsutrymme för huvuddel 2 begränsades alltså kraftigt i och med godkännandet av de handlingar som framtagits i huvuddel 1. Avvikelse från dessa handlingar anmäldes till entreprenören genom kontrollrapporter. Även om vissa arbeten till resultatet överensstämde med framtagna handlingar kunde själva utförandet stå i konflikt med gällande lagar, vilket också medförde anmärkningar.

Kontroll av totalentreprenörens utförande gjordes oftast av miljökontrollgruppen, de var oftast på området och träffade då totalentreprenören. Fokus kom inledningsvis att ligga på att kontrollera följder och konsekvenser av totalentreprenörens verksamhet. Totalt skrevs 41 kontrollrapporter av kontrollgruppen, i tabell 5.5 redovisas en sammanfattning av utförda kontrollrapporter.

Kontroller utfördes på olika sätt:

- Som genomgång av totalentreprenörens verksamhetssystem för att se hur det anpassats till projektet, hur korrigerande åtgärder m.m. skulle genomföras.
- Som inspektion av pågående verksamhet
- Som observationer på arbetsområdet i samband med annat t.ex. provtagning

- Som respons på av totalentreprenören redovisade åtgärder, mätvärden eller liknande.

Vid flera tillfällen samordnades kontrollen med myndigheternas kontroll, det skedde t.ex. vid besök från Länsstyrelsen Kalmar län och Arbetsmiljöverket.

I de fall kontrollen handlade om funktionskrav snarare än utförande blev frågeställningarna breda och involverade experter runt projektet ofta medverkade i värderingen av anmärkningar och efterföljande åtgärder.

Anmärkningar kunde föräledas av avvikelser från kontrakt, tillstånd, gällande lagar och praxis, eller avvikelser från projekterat utförande.

Nr	Rubrik/omfattning	Datum
1	Geotextilskärm vid utloppet	2006-05-31
2	Avsaknad av mätdata	2006-06-08
3	Överskridande av myndighetsvillkor och beställarvillkor	2006-06-21
4	Otillbörlig användning av grundvattenbrunn J11	2006-07-11
5	Bristfällig förvaring av kemikalier	2006-07-26
6	Bristfällig förvaring av kemikalier	2006-07-26
7	Otillbörlig användning av grundvattenbrunn J11	2006-08-03
8	Brister i arbetsmiljö, kvalité mm	2006-08-15
9	Bristfällig förvaring av kemikalier	2006-08-16
10	Överskriden vattennivå	2006-08-29
11	Brister i arbetsmiljö	2006-08-25
12	Brister i arbetsmiljö	2006-09-07
13	Bristfällig förvaring av kemikalier	2006-09-12
14	Brister i arbetsmiljö	2006-09-26
15	Avstannad produktion	2006-10-02
16	Utsläpp från deponiområdet	2006-10-02
17	Bristfällig förvaring av kemikalier	2006-10-05
18	Läckage av kemikalier	2006-10-10
19	Bristfällig förvaring av kemikalier	2006-10-11
20	Utsläpp från deponiområdet	2006-10-24
21	Överskriden vattennivå	2006-10-31
22	Förflyttad geotub utanför deponiområdet	2006-10-28
23	Missbruk av miljökontrollgruppens utrustning	2006-11-20
24	Bristande datakvalitet	2007-03-13
25	Höga järnhalter i utgående vatten från deponin	2007-03-09
26	Bristfällig återställning av arbetsområde	2007-03-30
27	Underskridande av beställarvillkor	2007-05-10
28	Brott mot kontraktsenliga rutiner	2007-05-11
29	Utebliven provtagning	2007-06-12
30	Underskridande av beställarvillkor	2007-06-26
31	Underskridande av beställarvillkor	2007-07-10
32	Bristfällig förvaring av kemikalier	2007-08-09
33	Brister i kemikaliehantering m.m.	2007-08-23
34	Bristfällig täckning av geotuber och förvaring av kemikalier	2007-08-30
35	Bristfällig täckning av geotuber och förvaring av kemikalier	2007-08-30
36	Kontroll av tidigare brister	2007-09-18
37	Bristfällig återställning av arbetsområde	2007-09-28
38	Bristande datakvalitet	2007-10-18
39	Installation av partikelfilter	2007-10-31
40	Brister i avetablering och återställning av arbetsområde	2007-10-25
41	Brister i avetablering och återställning av arbetsområde	2007-11-21
42	Ofullständiga åtaganden gentemot markägare	2008-05-21

TABELL 5.5 Utförda kontrollrapporter.

## 5.7 Totalentreprenad som vald entreprenadform i saneringsobjekt

### 5.7.1 ALLMÄNT

I litteraturen (Håkansson et al.) identifieras några av de kritiska nyckelfaktorerna i totalentreprenad som bland annat:

- Beställarens projektbeskrivning och fördelning av ansvar för risker
- Beställarens styrning och kontroll
- Totalentreprenörens riskanalys och riskhantering
- Totalentreprenörens organisation och design
- Oberoende expertgranskning

Totalentreprenad har möjlighet att optimera resursanvändandet och producera design som är anpassad till verkligheten (Håkansson et al. 2006). Med ökande krav hos den parten som har ansvar för risker och osäkerheter följer även krav på organisation och kompetens. Totalentreprenören har ett omfattande ansvar utöver det som finns i andra typer av entreprenad, ibland är entreprenören inte medveten om det omfattande ansvaret och den omfattande rollen han har för att projektet ska lyckas. Större krav ställs på uppföljning och kontroll hos båda organisationer. Större krav ställs även på besiktningfunktionen.

I sin tidsplanering kan totalentreprenören ändå vara beroende av ”input” från beställaren gällande mätningar och beslut från myndighet. För beställaren kan det vara viktigt att i förväg ta reda på tidsförutsättningar för beslut från tillsynsmyndigheter m.m. och inkludera dessa i tidplanen.

I en totalentreprenad blir beställarens inblandning i val av teknik och specifika frågor liten. Totalentreprenören kan samtidigt diskutera optimeringslösningar eller teknikproblem med beställaren, dock finns det begränsad möjlighet att delta i förutsättningslösa tekniska diskussioner.

Riskfördelning mellan parterna är något att ta i beaktande vid lämnande av uppgifter enligt ovan. För riktigheten av uppgifter, undersökningsmaterial och utsättningar svarar den part som tillhandahållit dem. Detta innebär att part har så kallat strikt ansvar gentemot den andra parten. Detta avser alla slags uppgifter mm oberoende om de lämnats före, under eller efter entreprenadtiden och oberoende om de avser kontraktarbetena eller ändringar eller tilläggsarbeten. Det skall dock noteras att detta strikta ansvar motsvaras av en underrättelseskyldighet för motparten om denne finner felaktigheter eller bristfälligheter.

Om beställaren har föreskrivit eller eljest fordrat viss teknisk lösning, skall utförandet enligt lösningen anses uppfylla kontraktensliga fordringar. Totalentreprenören ansvarar dock för att entrepre-

naden i övrigt uppfyller kontraktensliga fordringar, såvida inte omständigheterna uppenbarligen föranleder till annat. Detta innebär att totalentreprenören inte har utförandeansvar i de avseenden beställaren föreskrivit tekniska lösningar. Detta är viktigt att tänka på om man som beställare begär eller föreskriver att totalentreprenören skall använda sig av vissa tekniska lösningar. Totalentreprenören har dock alltså, inom ramen för sina åtaganden, ansvar för att anpassa sina lösningar till vad beställaren föreskrivit. Därför åligger det totalentreprenören att utreda följderna av beställarens krav på teknisk lösning avseende objektet i övrigt. Totalentreprenören kan inte undgå sitt ansvar beträffande fel enbart med åberopande av att felet ytterst beror på beställarens krav. Totalentreprenören kan dock befria sig från detta ansvar genom att uttryckligen reservera sig. Totalentreprenörens ansvar enligt ovan utgår från kraven på fackmässighet. Om beställaren föreskriver (eller eljest fordrar) viss teknisk lösning är inte totalentreprenören ansvarig för konsekvenser som en fackman inte kunnat sluta sig till. Totalentreprenören är normalt heller inte ansvarig för om beställarens krav på viss teknisk lösning inverkar på andra av beställaren föreskrivna tekniska lösningar.

### 5.7.2 ENTREPRENADJURIDIK

Det är många regelverk som ska tillämpas; miljö rätt (miljöbalken), ABT, LOU, föreskrifter, bestämmelser mm. För att behandla kontraktsfrågor i den här typen av projekt krävs det en samordning mellan rättssystemen.

Miljöbalkens regler är rent generellt överordnad kontraktshandlingarna. Ett exempel på detta är för det fall att miljöskador (skador på annans fastighet på grund av till exempel grävningensarbeten, eller sprängningsarbeten) uppkommer på en grannfastighet så kan ägaren till den skadade fastigheten rikta skadeståndsanspråk mot antingen totalentreprenören eller fastighetsägaren (beställaren). För att skadeståndsansvar skall föreligga behövs inte att arbetena missköts eller bedrivits vårdslöst. Det finns sedan bestämmelser i ABT som reglerar hur totalentreprenören och beställaren skall reglera skadeståndet mellan sig. Det finns även en mängd lagregler och bestämmelser avseende miljöfrågor som skall tas hänsyn till vid upphandlingen och kontraktsskrivandet då beställaren ofta kan bli ansvarig om miljöbestämmelserna inte följs.

LOU gäller för myndigheter och för företag med visst slag av offentlig anknytning. Förutom LOU finns även LUF för de så kallade försörjningssektorerna (vatten, energi, transporter och posttjänster). Upphandlingen kan se olika ut beroende på vad som skall upphandlas och kontraktsvärdet. I

vissa fall skall annonsering ske inom hela EU-området. Under den tid då upphandlingen pågår kan ett flertal beslut bli föremål för överprövning i förvaltningsrätt. Detta gör att upphandlingen kan dra ut på tiden. Enligt ett lagförslag som förväntas antas inom kort skall en avtalsspärr införas innebärande ett förbud för den upphandlande myndigheten/enheten att ingå avtal omedelbart efter tilldelningsbeslut. Vidare förväntas det bli möjligt att ogiltigförklara olagligen ingångna avtal. En annan aspekt vid offentlig upphandling är att efter att kontraktet tecknats så har man endast begränsade möjligheter att göra justeringar till kontraktet. Görs för stora justeringar kan det anses vara en otillåten direkt upphandling.

Vad gäller ABT kan det noteras att det är en kompromisslösning mellan totalentreprenören och beställaren. ABT syftar till att ge en rimlig balans mellan rättigheter och skyldigheter som skall ge en ekonomiskt optimal riskfördelning mellan parterna. Ändringar i bestämmelser i ABT kan göras men det skall tydligt anges att det är en ändring av en bestämmelse i ABT och man skall noga överväga vilka konsekvenser ändringarna ger. Vissa bestämmelser i ABT är utformade som så kallade täckbestämmelser (det framgår av bestämmelsen att parterna kan komma överens om någon annat) och dessa bestämmelser är lättare att göra avsteg från utan att det får följdkonsekvenser. ABT innehåller även bestämmelser som tar hänsyn till bland annat miljöfrågor. Ett exempel är att miljöplan

skall upprättas av totalentreprenören och därvid inarbeta kvalitets- och miljöåtgärder som beställaren föreskrivit i förfrågningsunderlaget, om inte annat föreskrivits i kontraktshandlingarna.

### 5.7.3 **TOTALENTREPRENADEN I SVARTSJÖARNA OCH NÅGRA ERFARENHETER**

Entreprenörens projektering var inte på alla punkter så omfattande så att kontrollverksamheten kunde begränsas till kontroll av utförande. Därför hanterades i några frågor funktionskraven ända fram till slutbesiktningen. Detta är i vissa fall naturligt eftersom man under arbetets gång skaffar och erhåller mer kunskap om projektet och därför vill vänta med beslut i den mån det är möjligt, med hänsyn till tillstånd, planer mm.

Det kan vara bra för beställaren att i förfrågningsunderlaget efterfråga projekteringshandlingar i detaljeringsgrad motsvarande utförandeentreprenad. Detta ger en bättre inblick i valda tekniska lösningar samt skapar förutsättningar för bättre förståelse mellan totalentreprenör och beställare.

Kontrollarbeten vid en totalentreprenad bör ligga tidigt i entreprenörens planer såväl som inspektioner av pågående verksamhet. Projektets krav skall samordnas med entreprenörens verksamhetssystem så att det är naturligt för entreprenören att planera och följa upp verksamheten på ett sätt som motsvarar byggherrens uppföljningssystem. För att systemen skall fungera är det viktigt att det finns en kontroll som snabbt fångar upp eventuella



FIGUR 5.8 Schaktning för deponibotten.

FOTO Alexandra Zamparas, Empirikon AB

brister och rapporterar dem till entreprenören så att entreprenören får möjlighet att revidera/uppdatera sitt verksamhetssystem.

Entreprenören ersattes i entreprenaden för muddrad mängd. Vid kontroller, besök på arbetsplatsen och uppföljning hade entreprenören mycket bra produktion, kontroll och uppföljning av kärnverksamheten, muddring och vattenrening. Samtidigt minskade intresset av att lösa problem ju längre från kärnverksamheten problemet var. I kontrollrapporterna syns detta genom att de huvudsakligen handlar om saker som inte direkt har med muddring och vattenrening att göra. Det kan man vara medveten om vid planering av kontrollverksamhet och eventuellt fundera på om det är möjligt med ett bonussystem för att öka entreprenörens intresse av kringverksamheter som inte ersätts direkt som produktionsmängd. Den korta genomförandetiden på sex månader och det goda slutresultatet var de mest positiva utfallen i projektet. Dessutom visade det sig att tekniken tillät högre muddringskapacitet än vad som förutsattes vid framtagande av förfrågningsunderlaget.

Utländsk entreprenör innebar i vissa avseende ny tekniskt kunskap och nya produktionsmetoder/organisation. För kontrollverksamheten innebar det i några fall att entreprenören fick utbildas i vilka regler som gäller i Sverige och vad de medför för praxis ute på arbetsplatserna. Samtidigt hade entreprenören erfarenhet från projekt i många länder och ett eget verksamhetssystem som bl.a. hanterade miljö, kvalité och arbetsmiljö. Verksamhetssystemet var anpassat för internationella projekt och hanterade de flesta regler, lagar och liknande och därmed fanns en lägsta nivå som i många avseenden var tillräcklig.

Projektet avsåg inte utföra traditionell byggkontroll av entreprenaden. I totalentreprenaden ansvarar totalentreprenören för att funktionskraven uppfylls. Syftet med kontrollen av entreprenaden var att dels se till att inga utomstående intressen påverkas av entreprenadarbetena samt verifiera att uppställda funktionskrav i entreprenadkontraktet uppfylls av totalentreprenören. Under huvuddel 1 kontrollerades av totalentreprenören producerade projekteringshandlingar mot de funktionskrav som angavs i entreprenadkontraktet. Under huvuddel 2 bestod kontrollen till huvudsak av förbesiktning och slutbesiktning mot de handlingar som entreprenören uppställde under huvuddel 1.

Svartsjöprojektet var ett väl valt projekt för att pröva totalentreprenad som entreprenadform. Det var ett väl avgränsat projekt med väl identifierade risker. Här var returvattnets syreförbrukande förmåga en identifierad risk i projektet, men dess omfattning blev tydlig i samband med entreprenö-

rens val av muddrings- och avvattnings teknik och var kopplad till avverkningskapaciteten. En längre uppehållstid för processvattnet i avvattnings systemet skulle ha minskat detta problem, men å andra sidan förlängt arbetstiden för muddring. Det var möjligt att formulera funktionskrav och planera kontroll/besiktning för dessa.

För att kunna tidigarelägga beslutet om bidrag för åtgärder i projektet valdes att överlåta projektering till blivande entreprenör. Därigenom kunde entreprenaden komma igång, som vid tidpunkten utgjorde villkor för projektets fortsatta finansiering. Finansieringsförutsättningarna var alltså också en anledning till att tidpunkten och projektet valdes för att pröva totalentreprenad som entreprenadform. Att projekteringsfas och genomförandefas gick ihop i projektet skapade även bemanningsmässigt i projektet en bra kontinuitet.

Under förutsättning att beställaren själv har tillräckligt hög kunskap om projektet, är totalentreprenad ett bra alternativ. En totalentreprenör som har god kapacitet för lämpliga lösningar kan ge ekonomiska fördelar. Om däremot beställaren inte har tillräckligt hög kunskap är utförandentreprenad en lämpligare form, eftersom det tvingar fram en grundligare initial utredning och lyfter beställarens kunskapsnivå.



FIGUR 5.9 Agen förknippas mer med öländska och gotländska myrar och kärr än småländska åar. Men Pauliströmsån håller sig med ett eget bestånd.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

# 6. Juridik

TEXT *Joakim Schultzén*, Empirikon AB

---

## 6.1 Markfrågor och ersättningar

### 6.1.1 FASTIGHETER

Efter att ett antal platser runt Svartsjöarna undersökts bedömdes slutligen ett område inom Fröreda 1:7 och Fröreda 1:25 vara mest lämpligt för deponering av de muddrade massorna. Ägarna gav 2002-11-05 tillåtelse till vidare undersökningsåtgärder med reservation för att de önskade ersättning för de åtgärder som skulle beröra deras fastigheter. Ekonomisk kompensation begärdes även för åtgärder som skulle beröra Fröreda 1:8 (Sjöakäret). Ombud för ägarna genom hela processen var Juridiska byrån på LRF konsult.

I december 2002 inleddes förhandlingar med ägarna om ett eventuellt arrendeavtal för deponeringen. I samband med detta hade kommunen anlitat en värderingsman i syfte att värdera ägarnas ekonomiska förlust i och med fördyrad avverkning, förtida avverkning, produktionsbortfall och tillväxtförlust beräknat på en tioårsperiod, samt återplantering. Tillträdesrätten till området beräknades vara nödvändigt för en period på 30 år. Ägarna till fastigheterna var dock inte villiga till en arrendelösning och föreslog istället att kommunen skulle köpa Fröreda 1:7 och berörda delar av Fröreda 1:25 och Fröreda 1:8. De begärde också ett avfallstillägg med hänvisning till att priset i och med deponeringen inte längre borde beräknas som för en skogsfastighet utan som för mark för deponiändamål. Eventuellt kunde ägarna tänka sig att erhålla annan mark i utbyte.

Inget av dessa alternativ var dock möjligt för kommunen att acceptera och då det nu i april 2003 började bli bråttom med ansökan till MD tvingades kommunen lägga till en begäran att, enligt 28 kap. 10 § första stycket MB, tvångsvis får ta i anspråk det aktuella deponeringsområdet. Det var dock kommunens förhoppning att en överenskommelse ändå kunde nås innan miljödomstolens (MD) avgörande.

I december 2003 hade ägarna kommit överens sinsemellan att hos Lantmäteriet ansöka om en sammanläggning av Fröreda 1:7 och 1:25 för att därefter klyva fastigheten i en nordlig och en sydlig del för respektives räkning. Därmed omfattas

des endast ägaren av den nordliga delen samt ägaren av Fröreda 1:8 av vidare förhandlingar. Deras önskan var att sälja den del av respektive fastighet som berördes av deponeringen. Som villkor för en försäljning angavs bl.a. servitut på vägar inom området, arrende på jaktträttigheter och ersättning för diverse administrativa kostnader i samband med fastighetsförändringen.

I ansökan till MD hade alltså kommunen redan lagt in en begäran om tvångsrätt till mark. Denna bestreds i ett yttrande 2004-02-18, aktbil 23, med hänvisning till att deponin borde ses som en separat verksamhet från själva saneringen av Svartsjöarna. Ägarna menade också att det inte fanns någon rättslig grund för tvångsrätt då det existerade andra genomförbara alternativ till deponering, som hade valts bort av ekonomiska och miljökonsekvensskäl. Deponering skulle därför inte enligt dem kunna anföras som en ”nödvändig förutsättning” för genomförandet av projektet. Parterna var dock ense om att en överenskommelse var att föredra framför en potentiellt långdragen rättsprocess. Kommunen förvärvade därför området inom Fröreda 1:38 (den nya fastighetsbenämningen efter omläggningen) för 1 331 599 kr, samt även den berörda delen av Fröreda 1:8 för 58 500 kr. Köpet finansierades med statliga medel. Kommunen blev därmed 2004-09-22 ägare till deponiområdet och nyttjanderätts- och servitutsavtal skrevs för åtkomst till området genom berörda fastigheter.

En särskild överenskommelse slöts 2004-09-14 med ägaren till Gölhult 1:4 om nyttjande av mark för isättning av mudderverk i Nedre Svartsjön.

De fastigheter som på något sätt berördes av arbetena inom projektet var Bohult 1:1, Fröreda 1:8, Fröreda 1:38, Gölhult 1:2, Gölhult 1:4, Gölhult 1:9, Gölhult 1:10, Lida 1:1, Nyby 1:2, Nyby 1:3, Svenarp 1:4, Svenarp 1:10, Venshult 1:6, samtliga i Hultsfreds kommun.

### 6.1.2 VÄGAR

I samband med isättningen av mudderverk i Nedre Svartsjön förlängdes en befintlig skogsväg inom Gölhult 1:4 ned mot sjön där även en vändplan och sjösättningsramp anlades. Efter projektet fick

markägaren bestämma hur mycket av den nya vägen och vändplanen som skulle lämnas kvar. En kantzonen för återbeskogning lämnades intill sjön, i enlighet med fastighetens skogsbruksplan.

### 6.1.3 ÅTERSTÄLLNING

Totalentreprenören hade, inom ramen för sitt åtagande, att erhålla undertecknade nöjdförklaringar från samtliga berörda fastighetsägare. Nöjdförklaringar var en förutsättning för att entreprenaden skulle godkännas vid slutbesiktning.

DEC-DI tog på sig att restaurera en tillfartsväg som delvis hade sin sträckning genom Fröreda 1:38 inför entreprenadarbetet, samt att se till att den var i god kondition när arbetet var slutfört. Enligt ägaren var detta inte tillfredställande genomfört och ledde till att han inledningsvis inte

skrev på en nöjdförklaring efter entreprenadens slut.

Kostnaden för återställandet av denna väg delades mellan totalentreprenören och projektet. Den standarden som markägaren förväntade sig enligt tidigare avtal med kommunen motsvarade den av ”grön skogsbilväg”, vilket motsvaras av väg med tillgänglighetsklass B och framkomlighetsklass/vändmöjlighetsklass 2 enligt nationell vägdata-bas, NVDB. Totalentreprenörens återställning motsvarande inte detta fullt ut. Ägaren anmärkte även på annan åverkan i samband med arbetena. Bl.a. hade en vägtrumma körts sönder och en vägbom med skylt tagits bort och inte återställt. Samtliga anmärkningar åtgärdades av Totalentreprenören. Nöjdförklaring skrevs slutligen på 2008-11-14.



FIGUR 6.1 Skogsväg vid Svartsjöarna.

FOTO Jens Nilsson, Hultsfreds kommun

# 7. Miljökontroll

TEXT *Jens Nilsson, Hultsfreds kommun, Bo Troedsson, Emåförbundet, Olof Regnéll, Cinnobex-MBC*



FIGUR 7.1 *Provtagning vintertid.*

FOTO Bo Troedsson, Emåförbundet

Miljökontrollen omfattade i kronologisk ordning:

- Miljökontroll före åtgärd under april–december 1996
- Sedimentkartering med avseende på kvick silver, fiber och sedimentbeskaffenhet i Svartsjöarna 1997
- Kompletterande miljökontroll före åtgärd i september 1998 och i oktober 1999
- Miljökontroll före åtgärd under januari–november 2003
- Kompletterande sedimentkartering i Svartsjöarna föranledd av kraftiga flöden och sedimentförflyttningar 2004
- Miljökontroll under entreprenad 3 maj–7 november 2006, samt under påföljande fyra veckor
- Mätning av kvarvarande mängd kvicksilver i Svartsjöarnas bottensediment efter muddring, samt efter den kompletterande muddringen
- Miljökontroll under konsolideringsfasen november 2006–mars 2009
- Miljökontroll efter åtgärd april 2009–september 2010

## 7.1 Kontrollprogram före åtgärd

Målsättningar:

- Att erhålla en god bild av kvicksilvrets mängder och förekomstformer i Svartsjöarnas sediment, vatten och organismer
- Att fastställa effekten av kvicksilverföroreningarna i Svartsjöarna på transporten av kvicksilver (totalkvicksilver och metylkvicksilver) i Pauliströmsån ner till Emån
- Att erhålla referensvärden på kvicksilverflöden och kvicksilverinnehåll i organismer från delar av vattensystemet som ligger ovanför den tidigare utsläppspunkten (Pauliström)
- Att erhålla data som visar hur vattentemperatur, vattenflöden och vattenkemi påverkar kvicksilverflödena i Pauliströmsån och hur stor andel av kvicksilvertransporten som utgörs av kvicksilver som släppts ut från bruket

### 7.1.1 REFERENSUNDERSÖKNINGAR FÖRE ÅTGÄRD 1996

Den första större undersökningen av Svartsjöarna och Pauliströmsån med avseende på kvicksilver ägde rum april–december 1996.

#### Pauliströmsån, Källebäcken och Emån

Provtagningsstationer med beteckningar visas i Figur 7.2. Vattenprov togs i Pauliströmsån uppströms (yt 02), mellan (yt 03) och nedströms Svartsjöarna (yt 04 och yt 05), i en bäck (Källebäcken) (yt 01) som rinner ut i Pauliströmsån strax ovanför Ö. Svartsjön samt i Emån uppströms (yt 06) och nedströms (yt 07) Pauliströmsåns utlopp. I Pauliströmsån och Källebäcken togs prover ca två ggr/månad och i Emån en gång i månaden.

Kvicksilverkoncentration (total- och metylkvicksilver) samt kompletterande vattenkemi mättes i ofiltrerade vattenprov (Tabell 7.1)

Vattenföring mättes i närheten av station yt 02 och yt 05 (Figur 7.2). Flödesmätningarna genomfördes på i förväg uppmätta sektioner i åfåran med hjälp av en induktiv flygelmätare. Dygnsflöden beräknades, vilket möjliggjorde uträkning av årstransporter av kvicksilver och andra ämnen i Pauliströmsån. Dygnskoncentrationer mellan provtagningsstillfällena beräknades genom intrapolering.

Sedimentfällor utplacerades uppströms (S 01) och nedströms Svartsjöarna (S 02–S 04) (Figur 7.2). Fällorna hängde ca 0,5 m över botten och tömdes månatligen. Totalkvicksilver (THg) och ett antal kompletterande analyser utfördes på materialet i fällorna (Tabell 7.1). Bottenfauna insamlades i närheten av sedimentfällorna och analyserade med avseende på metylkvicksilver (MeHg).

#### Åtgärds mål för Svartsjöprojektet

De övergripande åtgärds målen för efterbehandlingsarbeten inom Svartsjöprojektet var:

- att minska belastningen av kvicksilver till en nivå som medför att risken för negativa effekter på vattenlevande organismer är liten och att kvicksilverhalterna i Svartsjöarnas fisk minskar till 'samma nivåer som fisk uppströms Pauliström.
- att minska sedimentens syretäring och därmed skapa förutsättningar för en mer naturlig sediment- och vattenmiljö.

Ett annat sätt att uttrycka målsättningen med åtgärderna är att sådana förhållanden i sjön skulle återskapas att den åter skall fungera som en naturlig kvicksilverfälla.

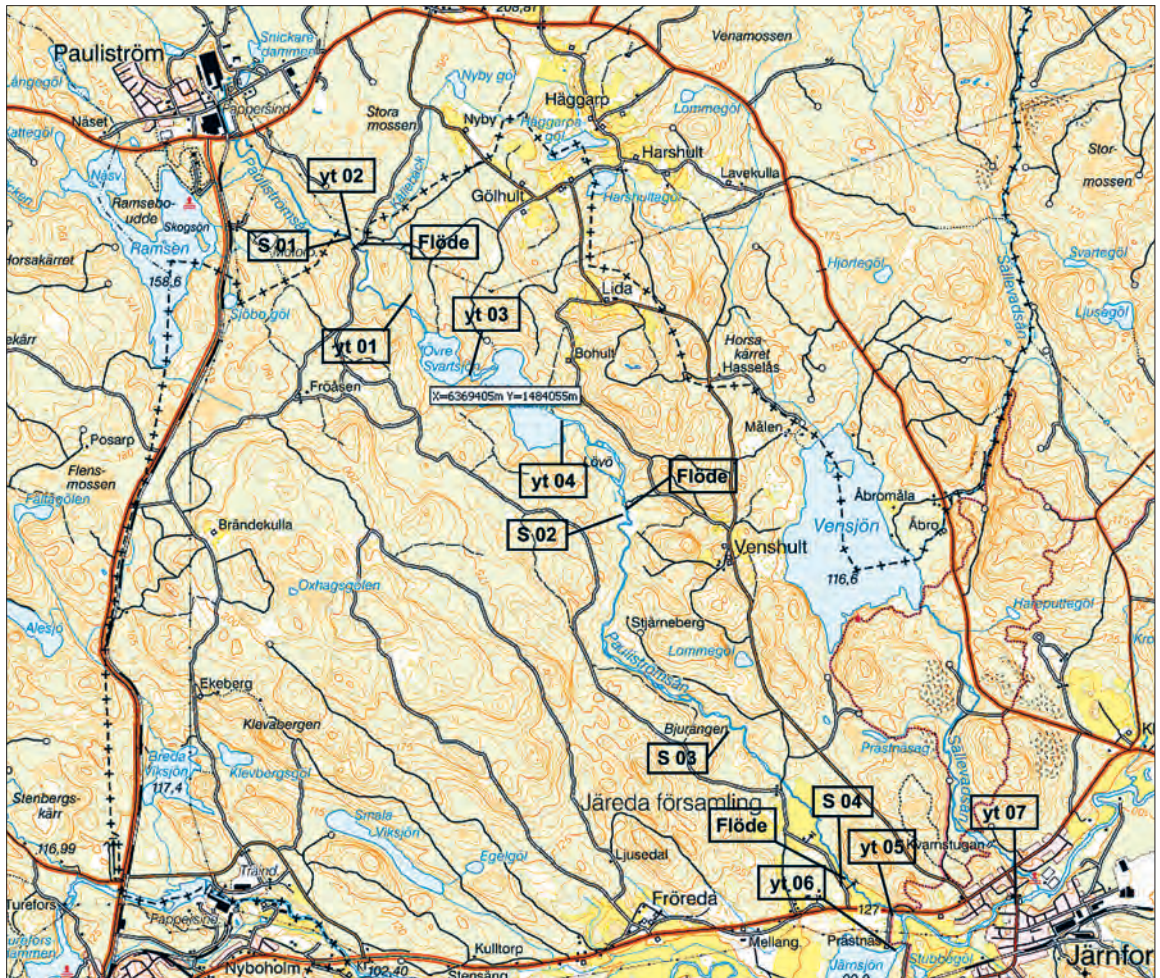
Se kapitel 2.3

#### Svartsjöarna

Vid stationerna IN 01 (djuphåla i Ö. Svartsjön) och IN 05 (djuphåla i N. Svartsjön) (Figur 7.3) togs yt- (0,5 m under ytan) och bottenvattenprover (0,5 m ovan botten) en gång i månaden. I dessa vattenprover (endast ofiltrerade) mättes koncentrationen av THg och MeHg samt kompletterande vattenkemi (Tabell 7.1). Vid tre tillfällen på sommaren gjordes mätningar även i vattenprover från mellanliggande vattenskikt (profilmätningar). Skiktningen av sjöarnas vattenmassa undersöktes regelbundet vid ovan nämnda stationer genom mätning av temperatur och löst syrgas.

Sedimentfällor var utplacerade på fyra platser i både Ö. Svartsjön (IN 01–IN 04) och N. Svartsjön (IN 05–IN 08) ca 1 m ovan botten (Figur 7.3). Stationerna representerade olika djup (från grundområde till djuphåla). På varje station låg två sedimentfällor, men innehållet i dessa slogs ihop till ett prov. Fällorna tömdes månatligen och samma analyser utfördes som på det sedimenterande materialet i Pauliströmsån (Tabell 7.1).

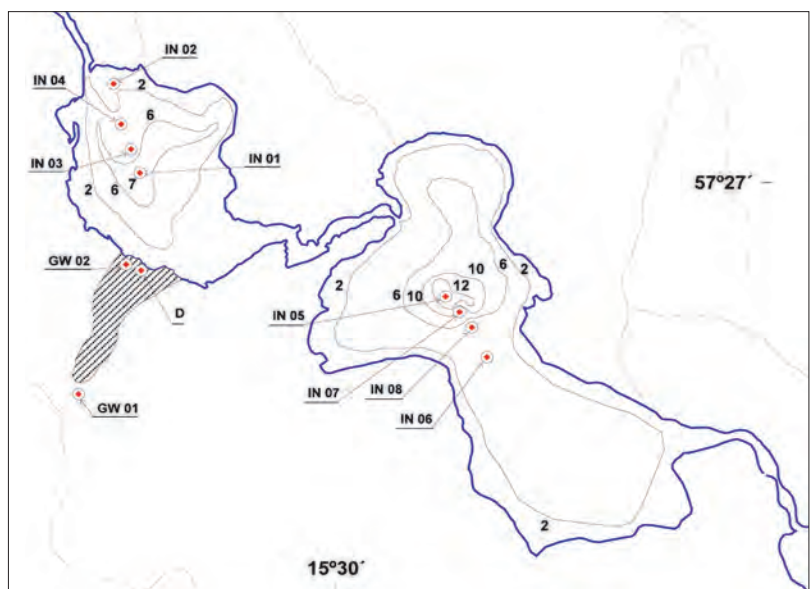
Ytsedimentprover (0–1 cm) togs med ca en månads mellanrum maj–december (nio provtagningsstillfällen) från IN 01 (djuphåla) och IN 02 (grundområde, fiberbank) i Ö. Svartsjön och från IN 05 (djuphåla) och IN 06 (grundområde) i N. Svartsjön. Dessutom togs sedimentprover vid två tillfällen (augusti och oktober) från två mellanliggande stationer i Övre Svartsjön (IN 03 och IN 04) och i Nedre Svartsjön (IN 07 och IN 08) (Figur 7.3). Fem prover togs från varje station vid varje provtagningsstillfälle. Samma kemiska bestämningar utfördes på varje enskilt prov som för det sedimenterande materialet med tillägget MeHg (Tabell 7.1).



FIGUR 7.2 Stationer för provtagning av bäckvatten (yt 01 och åvatten (yt 02–yt 07), sedimenterande material i Pauliströmsån (S 01–S 04) samt för flödesmätningar under 1996.

Bottenfauna (bl.a. vattengräsuggor, flicksländor, trollsländor) insamlades i littoralen vår, sommar och höst. Även zooplanktonprov togs vid tre tillfällen (varav ett i juli 1997). En trål användes med maskvidden 250 µm. I både bottenfauna och zooplankton bestämdes koncentrationen av MeHg.

Gädda togs från is. Abborre, mört och braxen infångades med översiktsnät (6,25–75 mm). Abborre infångades både vår och höst. I samtliga fiskar mättes THg-koncentrationen och för några samlingsprov av mört, abborre respektive braxen bestämdes även MeHg.



FIGUR 7.3 Stationer för provtagning av ytsediment (0–1 cm) och av sedimenterande material i Svartsjöarna (IN 01–IN 08), för grundvattenvatten (GW 01) och våtmarksvatten (GW 02) samt för våtdeposition (D).

## Referenssjöarna Enegrenen och Snickardammen

I dessa sjöar som ligger uppströms Pauliström insamlades vattenorganismer (bottenfauna, zooplankton och fisk) vid samma tidpunkter ( $\pm$  någon dag) som i Svartsjöarna för att erhålla lokala bakgrundsvärden på biotans Hg-belastning.

### Markvatten

Vattenprov togs i ett fast installerat grundvattenrör (filter: 0.2 mm) uppströms våtmarken SV om Ö. Svartsjön (Sjöakärret) som tog in vatten från ca 3 m under markytan (GW 01) samt i våtmarken 5 m från sjökanten (GW 02) ca 1 m ner i vegetationen genom att vid varje provtagningstillfälle trycka ner ett grundvattenrör (filter 0.2 mm) (Figur 7.3). Prover togs ca 2 gånger i månaden. Bestämningar av THg, MeHg och övrig vattenkemi (Tabell 7.1) gjordes på både ofiltrerat och filtrerat (0,45  $\mu$ m) vatten. Filtringarna utfördes direkt i fält för att förhindra oxidation av proverna. Vattennivåer i kärret mättes i fyra fast installerade grundvattenrör (observationsrör).

Dessa prover togs för att beräkna transporten av THg och MeHg genom Sjöakärret till Ö. Svartsjön samt för att erhålla information om hur vattenflöden och temperatur påverkar tillförseln av



FIGUR 7.4 Gäddor fångade från is.

FOTO Bo Troedsson, Emåförbundet

THg och MeHg från omgivande mark till Pauliströmsån.

### Nederbörd (våtdeposition)

Våtdeposition samlades upp från maj till och med november i två våtdepositionsprovtagare som var placerade i öppen terräng på våtmarken SV om Övre Svartsjön (Figur 7.2). Provtagarna tömdes en gång per månad. Proverna från de två provtagarna analyserades separat med avseende på THg och MeHg.

Provkategori	THg	MeHg	Susp/GF	Kond./pH	TOC	TN	Abs 254/420	Fe, Mn, S, P	Övr. elem.	Sulfat	Sulfid
Åvatten	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Sjövatten	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Markvatten	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Våtdeposition	X	X									
Sed.fällor	X		X		X	X		X	X		
Sediment	X	X	X		X	X		X	X		
Bottenfauna		X									
Zooplankton		X									
Abborre 1+	X										
Gädda	X										

TABELL 7.1 Översikt över analyser utförda i olika provmatriser under kontrollprogrammet före åtgärd. En del katjoner som Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ingår i "Övriga element" liksom tungmetaller som Cd, Cu, Pb och Zn. Vid vissa tillfällen analyserades NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> och PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Löst syre och temperatur mättes i fält. Absorbansmätningar gjordes efter filtrering. Se text för mer information.

### 7.1.2 SEDIMENTKARTERING I SVARTSJÖARNA 1997

I augusti 1997 utfördes en omfattande sedimentkartering i Svartsjöarna. Målsättningen var att fastställa mängd och utbredningen av kvicksilver och fiber samt att karakterisera sedimentet med avseende på partikelfraktioner, skjuvhållfasthet och avvattningsförmåga inför kommande sanering.

### 7.1.3 KOMPLETTERANDE MÄTNINGAR I SVARTSJÖARNAS VATTENPELARE 1998

Den 2–3 september 1998 togs prover från olika nivåer i Svartsjöarnas vattenpelare från yta till botten vid stationerna IN 01 (djuphåla i Ö. Svartsjön) och IN 05 (djuphåla i N. Svartsjön) (Figur 7.3). Vattenmassorna var vid tillfället tydligt skiktade och helt syrefria under termoklinen. Prover togs med en upplösning av 0,5 m från termoklinens början ner till botten. THg och MeHg bestämdes i både ofiltrerat och filtrerat vatten. Filtreringen (0,45 µm) utfördes direkt i fält för att undvika oxidation av proverna. Ett stort antal analyser utöver THg och MeHg utfördes för att kunna relatera förekomsten av THg och MeHg med olika processer i vattnet och i det underliggande sedimentet (Tabell 7.1).

Den främsta avsikten med denna provtagning var att undersöka koncentrationsprofilerna av THg och MeHg i den anoxiska delen av vattenmassan. En fråga var om THg- och MeHg-koncentrationerna alltid ökar mot botten, eller om lokala maxima förekommer. Förekomsten av lokala maxima kan innebära att bottenprover inte alltid visar de högsta THg- och MeHg-koncentrationerna i vattenmassan, samt att betydande Hg-metylering sker i vattenmassan.

### 7.1.4 KOMPLETTERANDE MÄTNINGAR I NEDRE SVARTSJÖNS SEDIMENT HÖSTEN 1999

Sedimentkärnor togs ut från djuphålan (IN 05) och från ett grundområde (IN 06) (Figur 7.3). Dessa delades upp i 1-cm skikt och daterades med hjälp av <sup>210</sup>Pb-mätningar. Koncentrationen av THg (ej MeHg) och andra ämnen bestämdes i samtliga skikt (Tabell 7.1).

Denna undersökning avsåg främst att ge information om hur THg-belastningen på N. Svartsjön har förändrats över tiden. Av speciellt intresse var att se om Hg-exporten från Ö. Svartsjön tenderar att öka eller minska.

### 7.1.5 REFERENSUNDERSÖKNINGAR FÖRE ÅTGÄRD 2003

Den andra större undersökningen av Hg-halter och Hg-flöden i Pauliströmsån och Svartsjöarna före

åtgärd gjordes januari–november 2003. Denna föranleddes av att 1996 års undersökning visade att kompletterande undersökningar behövdes för att kunna ge en god beskrivning av förhållandena före åtgärd.

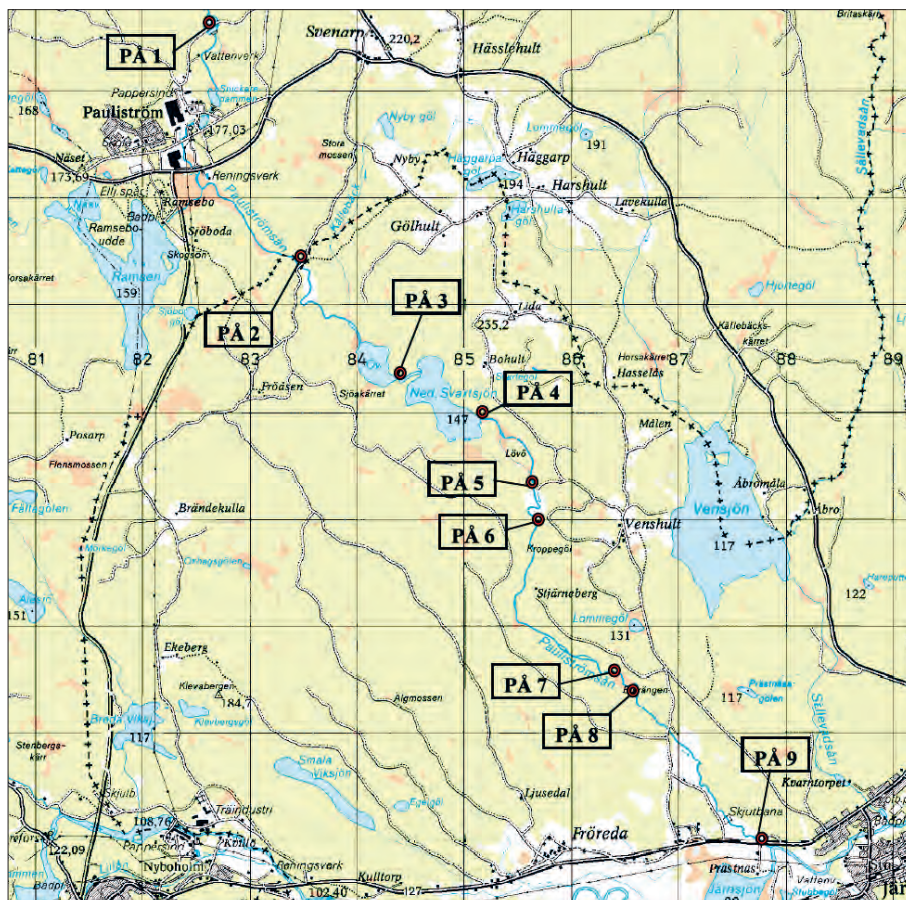
### Pauliströmsån

Vattenprov togs från nio olika stationer i Pauliströmsån (PÅ 1–PÅ 9). Av dessa låg PÅ 2 – PÅ 4 samt PÅ 9 på samma platser som vid 1996 års undersökning (PÅ 2 = yt 02, PÅ 3 = yt 03, PÅ 4 = yt 04 och PÅ 9 = yt 05) (Figur 7.5). Från stationerna PÅ 1–PÅ 4, samt från station PÅ 9 togs sammanlagt 21 prover från 15 januari till den 20 november. Provtagningsfrekvensen var högst april–juni (veckovis provtagning) för att få en god bild av ämnestransporterna under vårflödet. Under detta sker en stor del av den årliga kvicksilvertransporten, samtidigt som stora förändringar i ämneskoncentrationer äger rum.

Den nya stationen PÅ 1 låg ovanför Pauliströms bruk. Ett syfte med denna station var att ta reda på om det tillförs något kvicksilver till åvattnet mellan Pauliström och Svartsjöarna, eftersom man inte kunde utesluta viss påverkan från Pauliströms reningsverk, eller att gamla Hg-föreningar låg kvar i åbankar och åsediment. Detta skulle i så fall spåras som en ökning av THg- och MeHg-koncentrationerna i vatten mellan PÅ 1 och PÅ 2. Ett annat syfte med PÅ 1 var att få information om storleken av de Hg-flöden i ån som orsakas av annat Hg (troligen helt dominerat av atmosfärdeponerat Hg) än det som släppts ut från Pauliströms bruk.

Av de sex stationerna nedströms Svartsjöarna (PÅ 4–PÅ 9) låg fyra (PÅ 5–PÅ 8) uppströms och nedströms två meandernäs med tydlig våtmarks-karaktär. Stationerna PÅ 5–PÅ 8 innebar en utökning av antalet stationer nedströms Svartsjöarna i förhållande till 1996 års undersökning. Denna föranleddes av att betydande mängder THg och MeHg tillfördes Pauliströmsån nedströms Svartsjöarna under vårflödet 1996. Prover från PÅ 5–PÅ 8 togs endast under vår och höst då höga flöden förväntades. Sammanlagt togs 25 prover per station vid meandernäsen.

Vattenproverna från PÅ 1–PÅ 9 analyserades med avseende på THg, MeHg och övrig vattenkemi liksom vid undersökningen 1996 (Tabell 7.1). Emellertid analyserades både ofiltrerade och filtrerade vattenprover (filtrering: 0,45 µm för THg och MeHg, samt 0,2 µm för bland annat Fe, Mn, P, S + övriga element). Filtrering av Hg-proverna utfördes på laboratorium (IVL, Göteborg), medan de övriga filtreringarna gjordes direkt i fält. Dessutom mättes vattnets absorptions efter



FIGUR 7.5 Stationer för provtagning av åvatten under 2003. Lägg till PSF och stationerna för nederbördsmätning.

filtrering (0,45  $\mu\text{m}$ ) av både 420 nm (som tidigare) och 254 nm. Den kortare våglängdens absorptions påverkas mindre av järn och speglar därmed bättre koncentrationen av färgabsorberande organiska ämnen. Ytterligare en förändring var att suspenderade ämnen (Susp) mättes på GF/F filter (0,7  $\mu\text{m}$ ) och inte på GF/C filter (1,5  $\mu\text{m}$ ). Temperatur och syrgas bestämdes som tidigare direkt i ån med en kombinerad syrgas/temperaturelektrod.

Flödesmätning utfördes endast vid länsgränsen (PÅ 2). Flödena vid övriga stationer räknades ut genom att anta att flödesförhållandena mellan stationerna i Pauliströmsån var desamma som under 1996.

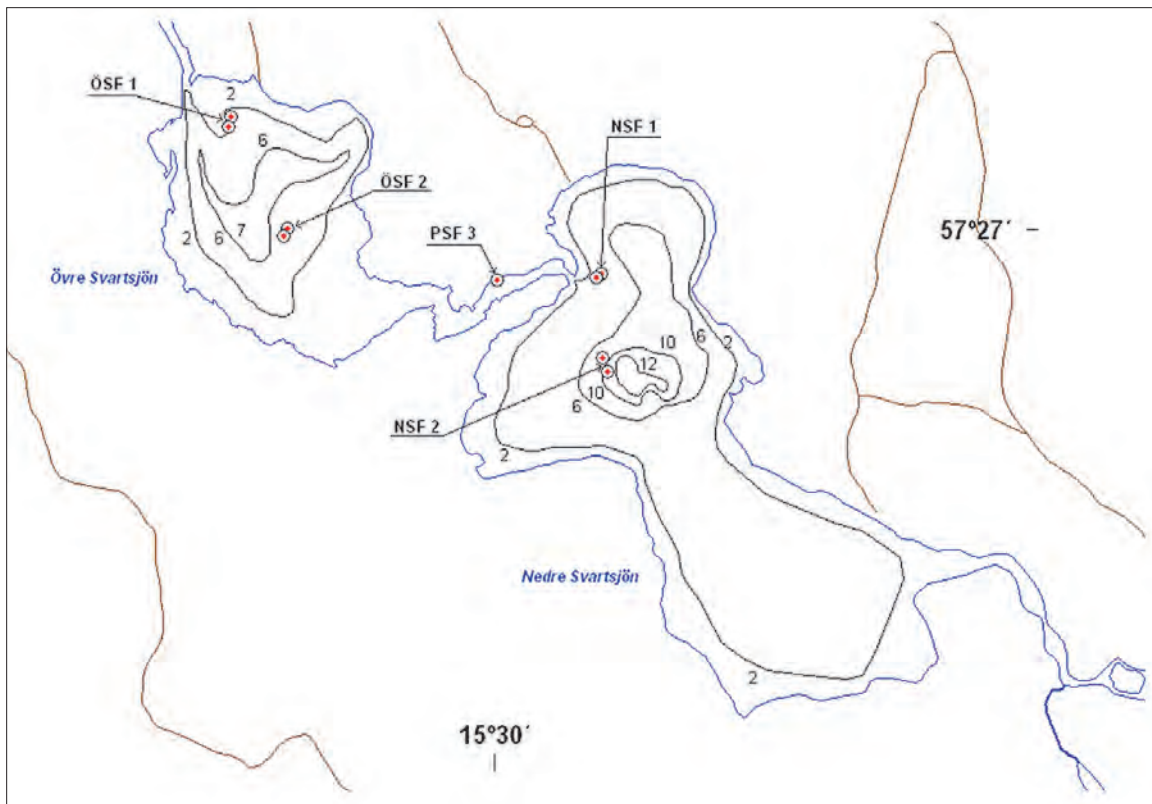
Sedimentfällor var utplacerade på sex platser i Pauliströmsån (PSF 1–PSF 6) (Figur 7.5). Dessa hängde ca 0,5 m ovanför botten. De tre fällorna längst upp (PSF 1–PSF 3) var placerade i nära anslutning till vattenprovtagningen (PÅ 1–PÅ 3), men till skillnad från vattenprovtagningstationerna valdes platser med låg turbulens för sedimentfällorna. Sedimentfällorna PSF 4 och PSF 5 låg nära vattenprovtagningstationerna PÅ 5–PÅ 6 respektive PÅ 7–PÅ 8. Den nedersta fällan, PSF 6, låg strax ovanför stationen PÅ 9 nära utloppet i

Emån (Figur 7.5). Som tidigare tömdes fällorna månatligen och innehållet analyserades med avseende på samma ämnen som tidigare (Tabell 7.1).

### Svartsjöarna

Prover togs ca 1 gång/månad 0,5 m under ytan och 0,5 m över botten i Övre och Nedre Svartsjön vid respektive sjös djuphåla (IN 01 respektive IN 05) (Figur 7.3). Proverna togs med en metallfri vattenhämtare av Ruttner-typ. Vid varje provtagningstillfälle uppmättes syrgas- och temperaturprofilen i vattenpelaren från yta till botten. Sjövattnen togs och behandlades på samma sätt som åvattenproverna, förutom att anoxiskt sjövattnen avsetts för bestämning av THg och MeHg filtrerades direkt i fält. Samma analyser utfördes på sjövattnen som på åvattenproverna.

Sedimentfällor var utplacerade på två stationer i respektive sjö. I Ö. Svartsjön låg en station i närheten av Pauliströmsåns inlopp (ÖSF 1) och en i djuphålan (ÖSF 2). I Nedre Svartsjön låg den ena stationen i närheten av inloppet (NSF 1) och den andra vid djuphålan (NSF 2) (Figur 7.6). Sedimentfällorna hängde ungefär 1 m ovanför sedimentytan. De tömdes med ca en månads mellan-



FIGUR 7.6 Sedimentfällornas placering i Svartsjöarna 2003. Även läget för sedimentfällan mellan sjöarna (PSF 3) visas. Under 1996 års referensundersökning var ingen fälla utplacerad mellan Svartsjöarna.

rum. Materialet analyserades med avseende på samma ämnen som motsvarande material från Pauliströmsån (Tabell 7.1).

Inga undersökningar av botten sediment utfördes under 2003.

10 gäddor (flertalet kring ett kg) togs från is i respektive sjö. Dessa analyserades med avseende på THg, vikt, längd och ålder. Dessutom mättes THg, längd och vikt i 20 individer 1+ abborre från respektive sjö. Dessa fångades i juni.

Inga undersökningar av zooplankton eller av bottenfauna utfördes.

#### Referenssjön Enegrenen

10 gäddor med vikt kring 1 kg och 20 1+ abborrar infångades även i referenssjön Enegrenen vid samma tid som i Svartsjöarna. Dessa analyserades på samma sätt som ovan beskrivet för Svartsjöarna.

#### Markvatten

Grundvattenrör (i allmänhet 3 m långa med 2 m filter) utsattes i de två meandernäsen nedströms Svartsjöarna som omgärdades av å-stationerna PÅ 5 och PÅ 6 (S om Lövön), respektive av PÅ 7

och PÅ 8 (vid Bjurängen) (Figur 7.7). Båda meandernäsen har tydlig våtmarkskaraktär.

I det övre meandernäset (S om Lövön) utsattes 7 grundvattenrör (GV 1–GV 7). Endast i två av dessa rör togs regelbundna prov som var koordinerade med provtagningen i ån vid stationerna PÅ 5 och PÅ 6. Dessa rör var GV 3 (uppströmskanten av meandernäset) och GV 4 (nedströmskanten av meandernäset). I det undre meandernäset (vid Bjurängen) utsattes fem rör (GV 8–GV 12). Endast i tre av dessa rör togs regelbundna prov som var koordinerade med provtagningen i ån vid stationerna PÅ 7 och PÅ 8. Dessa rör var GV 10 (nedströmskanten av meandernäset), GV 11 (uppströmskanten av meandernäset) och GV 12 (långt in på meandernäset där utbyte av vatten med ån inte förväntades). Även i referensröret GV 13 (placerat i moränjord vid det nedre meandernäset, fast på andra sidan ån) togs prover vid samtliga av dessa tillfällen. Detta rör avsågs spegla ämneshalter i grundvatten som inte passerat genom våtmark. Sådant vatten kan förväntas påverka åns vattenkvalitet vid låga flöden.

Avsikten med grundvattenrören i meandernäsen var att studera utbytet av THg och MeHg och andra

ämnen mellan mark i nära kontakt med ån och åvattnet samt att studera hur detta påverkades av vattenföringen i ån och av temperatur. Information om ämnesutbytena erhöles genom att den temporala variationen i ämneskoncentrationer i grundvattenrören jämfördes med motsvarande i åvattnet uppströms och nedströms meandernäsen.

Samma vattenkemiska variabler undersöktes i grundvattenrören som i åvattnet (Tabell 7.1.). Endast bestämningar av koncentrationer i filtrerat vatten från grundvattenrören kan anses tillförlitliga med undantag för sulfat, THg och MeHg på grund av den höga partikelhalten. Dessutom påverkades partikelmängden i vattnet troligen av provtagningen. Filtrering utfördes direkt i fält med sprutfilter (0,45 µm). Minst en rövolym vatten togs ut ur grundvattenrören innan prover togs ut med syradiskade bailers. Syrgas och temperatur mättes med elektrod direkt i rören efter att provtagningen av vatten var slutförd.

#### Nederbörd (våtdeposition)

THg mättes i våtdeposition i öppen terräng vid Gölhult (D1 och D2), ca 1,5 km NO om Svartsjöarna (Figur 7.3). Samma typ av provtagare (IVL) användes som vid 1996 års provtagning. Provtagarna tömdes en gång per månad. Vid varje provtagning slogs proverna från de två provtagarna ihop.

#### 7.1.6 KOMPLETTERANDE SEDIMENTKARTERING I SVARTSJÖARNA 2004

Kraftiga flöden i Pauliströmsån under juli 2003 (> 6 m<sup>3</sup>/s) orsakade omlagring och förflyttning av sediment i och mellan Svartsjöarna. Stora förändringar i bottenpografi och kvicksilverhalter i de



FIGUR 7.7 Sedimentpropp.

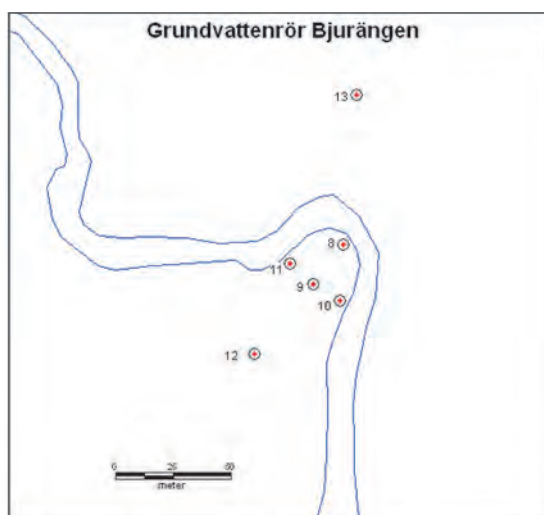
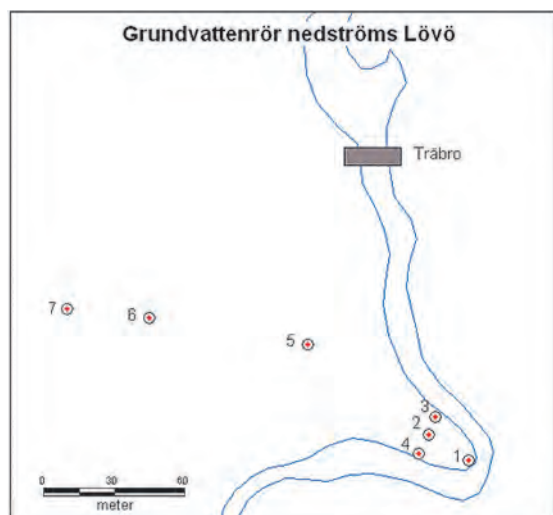
FOTO Hampus von Post, Miljömanagement Svenska AB

översta sedimentskikten i förhållande till sedimentkarteringen 1997 kunde konstateras i båda sjöarna. Denna kartering låg till grund för den slutgiltiga muddringsplanen samt beräkningen av mängden Hg i de kontaminerade sedimentmassor som skulle avlägsnas.

#### 7.1.7 RESULTAT OCH SLUTSATSER FRÅN KONTROLLPROGRAMMEN FÖRE ÅTGÄRD

Rapporter och artiklar som beskriver och anger orsakerna till förhållandena i Pauliströmsån och Svartsjöarna före åtgärd listas nedan.

- Undersökning av förorenade sediment i Svartsjöarna, Hultsfreds kommun. Miljö-Management AB för Hultsfreds kommun, oktober 1997
- Miljöriskbedömning av fiber- och kvicksilverförekomst i Svartsjöarna och Pauliströmsån – Svartsjöprojektet. Hultsfreds kommun, augusti 1998



FIGUR 7.8 Grundvattenrör vid Lövön och Bjurängen.

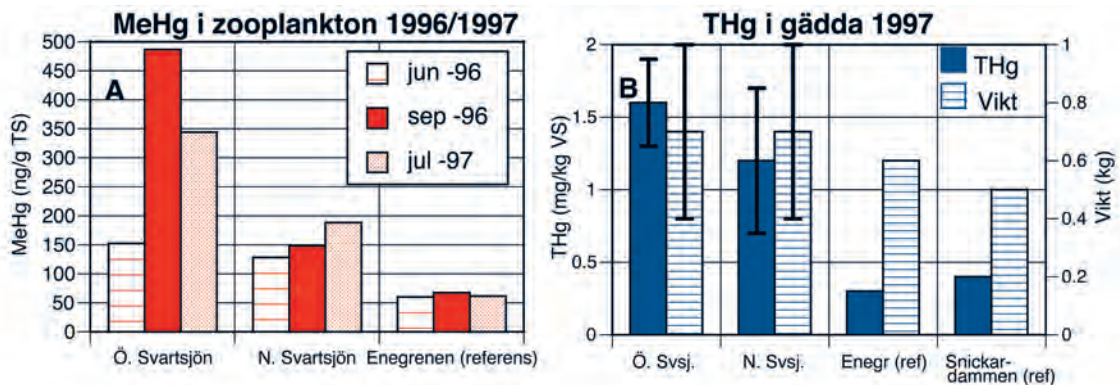
- Svartsjöprojektet, Huvudstudie – Styrgruppens sammanfattande rapport med åtgärdsförslag, november 1998
- Effects of anoxia and sulphide on concentrations of total and methyl mercury in sediment and water in two Hg-polluted lakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58: 506-517 (2001)
- Flöden och halter av total- och metylkvicksilver i Pauliströmsån och Svartsjöarna åren 1996 och 2003. Olof Regnéll, LU, för Hulfsfreds kommun, november 2006
- Mercury in a boreal forest stream – role of historical mercury pollution, TOC, temperature, and water discharge. Environmental Science and Technology, 43: 3514-3521 (2009)

En sammanfattning ges nedan av de viktigaste resultaten och slutsatserna från kontrollprogrammen före åtgärd. Denna avslutas med synpunkter på hur väl kontrollprogrammet uppfyllde uppställda mål (se punkt 7.1) och hur det skulle kunna ha förbättrats.

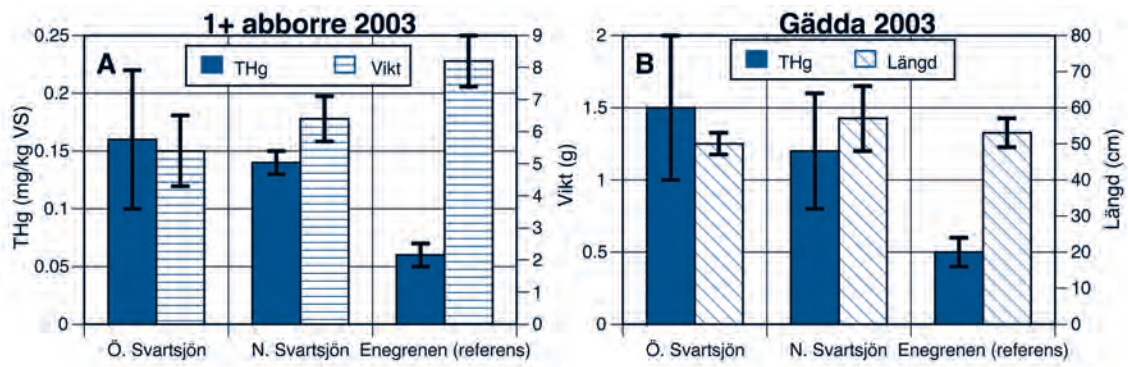
### Kvicksilverhalter i Svartsjöarnas och referenssjöarnas organismer

Hg-koncentrationerna i Svartsjöarnas fisk (THg) och zooplankton (MeHg) var 3–4 gånger högre än i referenssjön Enegrenen (Figur 7.9 och 7.10). Även bottenfauna, bl.a. vattengräsuggor, uppvisade högre MeHg-halter (> 2 ggr högre) i Svartsjöarna än i Enegrenen (Se Miljörisksbedömning av fiber- och kvicksilverförekomst i Svartsjöarna och Pauliströmsån – Svartsjöprojektet. Hulfsfreds kommun, augusti 1998).

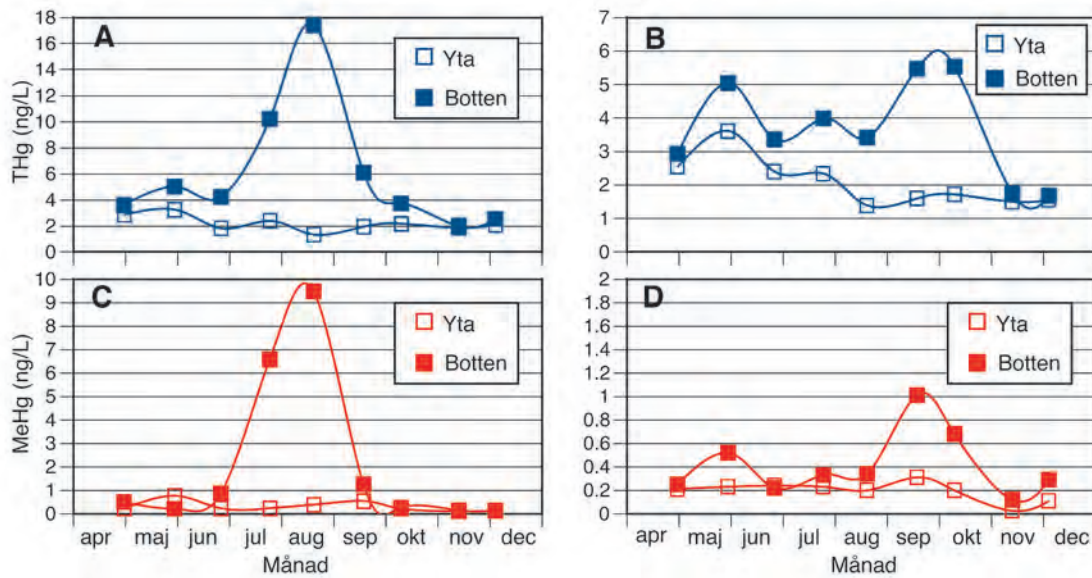
En annan iakttagelse var att 1+ abborre hade statistiskt signifikant lägre tillväxt i Svartsjöarna än i Enegrenen ( $P < 0.0001$ , ANOVA). Tillväxten var dessutom signifikant lägre i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön ( $P < 0.05$ , ANOVA) (Figur 7.10).



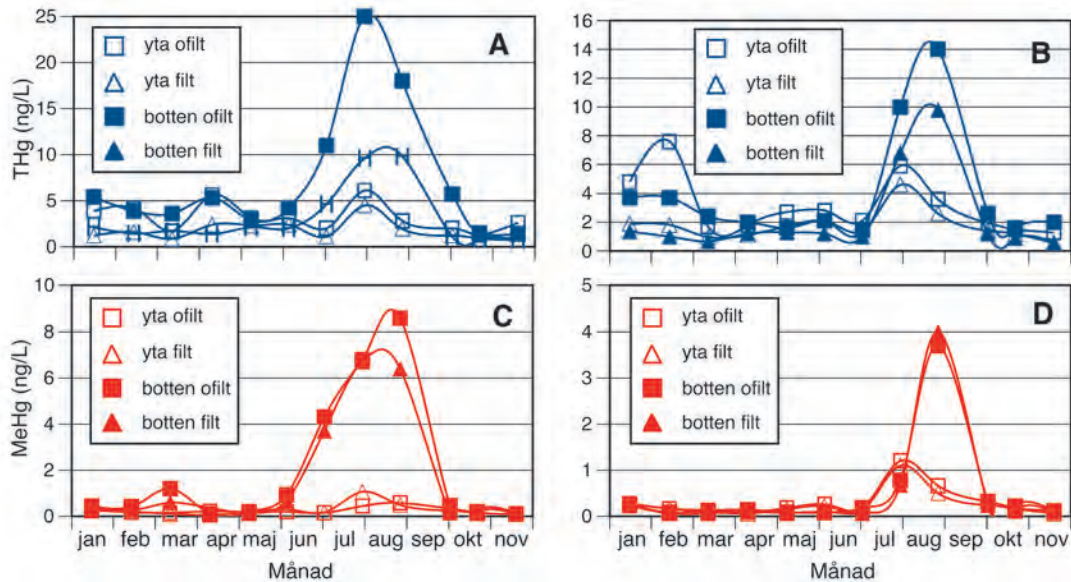
FIGUR 7.9 Metylkvicksilver i zooplankton i Svartsjöarna och i referenssjön Enegrenen (A) samt totalkvicksilver i gädda fångad vintern 1997 i Övre och Nedre Svartsjöarna ( $n = 7$ ,  $n = 8$ ) och i referenssjöarna Enegrenen och Snickardammen ( $n = 1$ )(B). Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse.



FIGUR 7.10 Totalkvicksilver och vikt för 1+ abborre ( $n = 20$ ) (A) och totalkvicksilver och längd för gäddor ( $n = 10$ ) (B) fångade i Övre och Nedre Svartsjöarna. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse.



FIGUR 7.11 Säsongsvariation av koncentrationen av totalkvicksilver (A, B) och metylkvicksilver (C, D) i ofiltrerat ytvatten (0,5 m) och i bottenvatten (6.5 m i Ö. Svartsjön och 11.5 m i N. Svartsjön) i Ö. Svartsjön (A, C) och N. Svartsjön (B, D) under 1996. Notera skillnaden i skala på y-axeln för de två sjöarna.



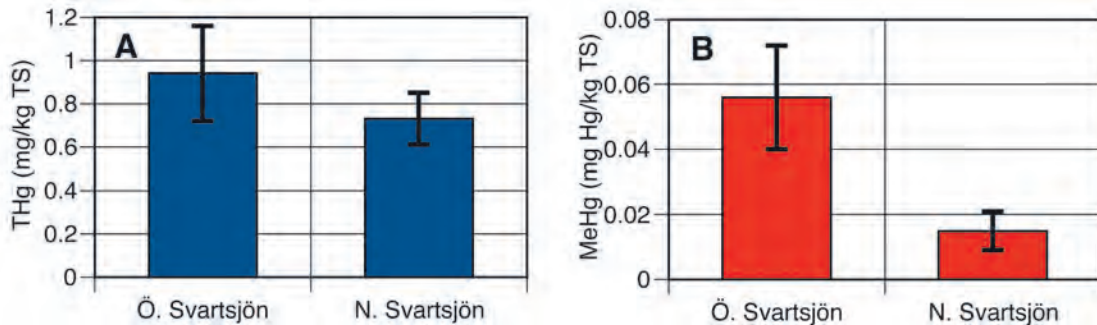
FIGUR 7.12 Säsongsvariation av koncentrationen av totalkvicksilver (A, B) och metylkvicksilver (C, D) i ofiltrerat och filtrerat (0,45  $\mu$ m) ytvatten (0,5 m) och bottenvatten (6.5 m i Ö. Svartsjön och 11.5 m i N. Svartsjön) i Ö. Svartsjön (A, C) och N. Svartsjön (B, D) under 2003. Notera skillnaden i skala på y-axeln för de två sjöarna.

### Total- och metylkvicksilver i Svartsjöarnas vattenmassor

I synnerhet i Ö. Svartsjön men även i N. Svartsjön ökade koncentrationen av både THg och MeHg i det anoxiska bottenvattnet under sommarstagnationen (Figurerna 7.11 och 7.12). Förklaringen till detta är att Hg frigges från partiklar som en följd av nedbrytning av organiskt material och att en del av det frisatta kvicksilvret metyleras. Detta sker både i botten sedimentet och i den anoxiska delen av vattenpelaren. I det senare fallet rör det sig om sedimentande partiklar, vilka delvis utgörs av

sedimentpartiklar som rörs upp från bottensedimentet, bland annat på grund av gasbildning.

Uppbyggnaden av MeHg i det anoxiska bottenvattnet är troligen den främsta förklaringen till att vattenorganismerna hade betydligt högre kvicksilverhalter i Svartsjöarna än i referenssjön Enegrenen. I synnerhet vid höstcirkulationen, men även när termoklinen sjunker gradvis blir metylkvicksilvret tillgängligt för upptag i den pelagiska näringskedjan (den som är baserad på plankton). Detta förklarar att MeHg-halten i zooplankton var högst på hösten (Figur 7.9A).



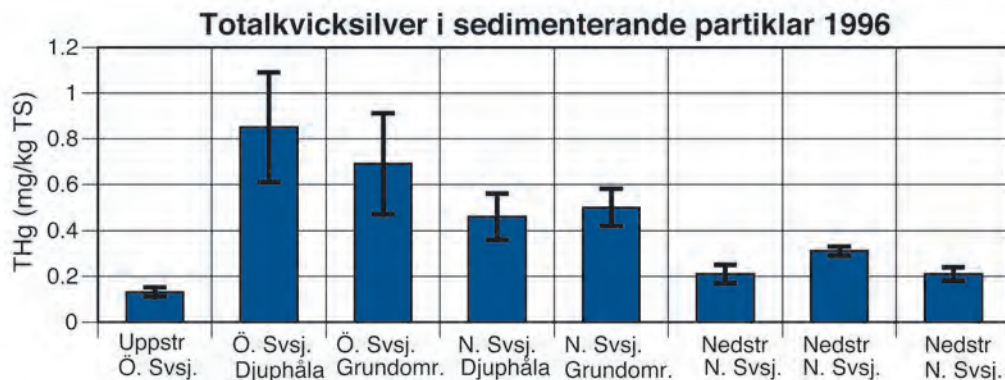
FIGUR 7.13 Koncentration i ytsediment (0–1 cm) av totalkvicksilver (A) och metylkvicksilver (B) i Övre och Nedre Svartsjön. Proven togs vid stationerna IN 01, IN 02, IN 03 och IN 04 i Ö. Svartsjön och vid stationerna IN 05, IN 06, IN 07 och IN 08 i N. Svartsjön under 1996. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 103$ ).

### Total- och metylkvicksilver i Svartsjöarnas ytsediment

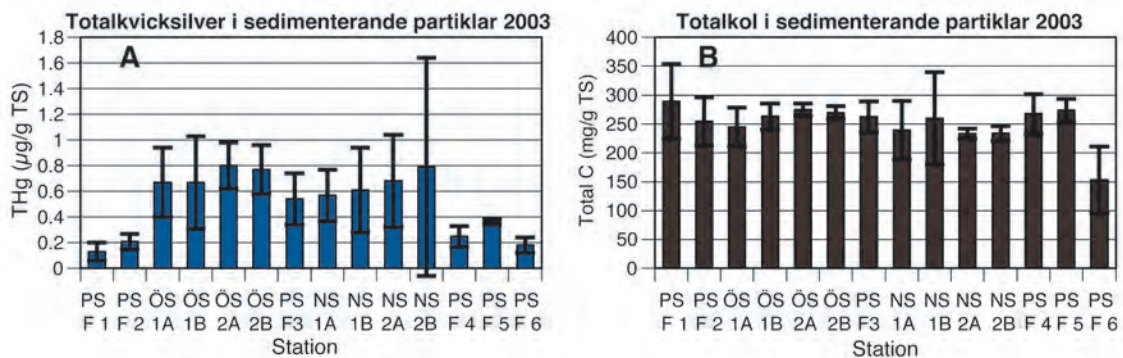
Ytsedimentprovtagning utfördes under 1996 vid stationerna IN 01, IN 02, IN 03 och IN 04 i Ö. Svartsjön och vid stationerna IN 05, IN 06, IN 07, IN 08 i N. Svartsjön (Figur 7.3). Koncentrationen av THg var låg relativt många andra fiberpåverkade sediment. Däremot var andelen MeHg hög, i synnerhet i Ö. Svartsjön i vilken fiberförekomsten var mycket högre än i N. Svartsjön (Figur 7.13).

### Totalkvicksilverhalter i sedimenterande material i Pauliströmsån och Svartsjöarna

THg-halten i sedimenterande partiklar var som väntat högst i Ö. Svartsjön och högre nedströms än uppströms Svartsjöarna (Figur 7.14 och 7.15). I Svartsjöarna låg THg-halterna i sedimenterande material och i ytsediment på liknande nivåer (jfr. Figur 7.13), vilket indikerar att de sedimenterande partiklarna till stor del utgjordes av upprört botten-sediment.



FIGUR 7.14 Koncentrationer av totalkvicksilver i sedimenterande material på indikerade platser i Pauliströmsån och Svartsjöarna. Stationerna från vänster till höger är ordnade efter strömriktningen. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 8$ ).



FIGUR 7.15 Koncentrationer av totalkvicksilver (A) och av totalkol (B) i sedimenterande material på indikerade platser i Pauliströmsån och Svartsjöarna. Stationerna från vänster till höger är ordnade efter strömriktningen. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 10-12$ ).

Den organiska halten i det sedimenterande materialet varierade måttligt och utgjorde mellan 20 och 30 % av torrsubstansen för samtliga stationer, utom för den nedersta stationen PSF 6 (strax ovanför utloppet i Emån) där den organiska halten var lägre (Figur 7.15). THg-halten i sedimenterande material var något högre vid station PSF 2 nedströms Pauliström än vid PSF 1 uppströms Pauliström. Detta indikerar att åsträckan mellan Pauliström och Ö. Svartsjön var påverkad, om än i ringa grad, av de gamla Hg-utsläppen. Det är också möjligt att Hg-halten påverkades något av vatten från Pauliströms reningsverk.

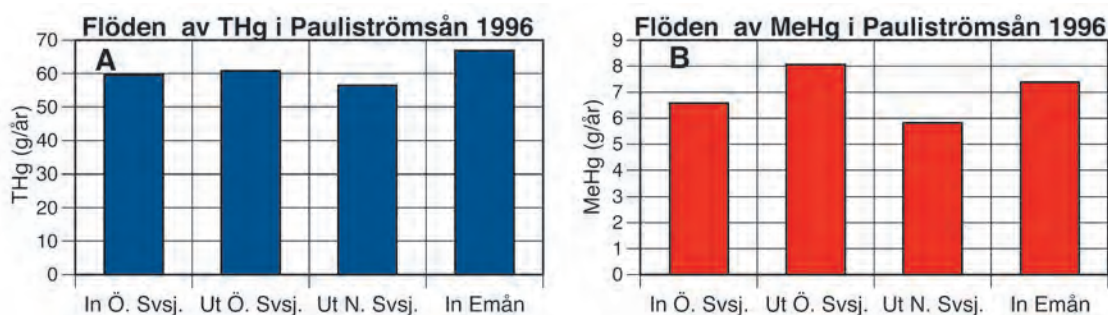
### Årstransporter av total- och metylkvicksilver i Pauliströmsån

Både vattenföring och temperatur påverkar flödet av THg och MeHg i Pauliströmsån. Vårflödet var betydligt större 1996 än 2003. Däremot inträffade en period med kraftigt flöde i juli 2003. Årsflödena av både THg och MeHg var ungefär lika stora

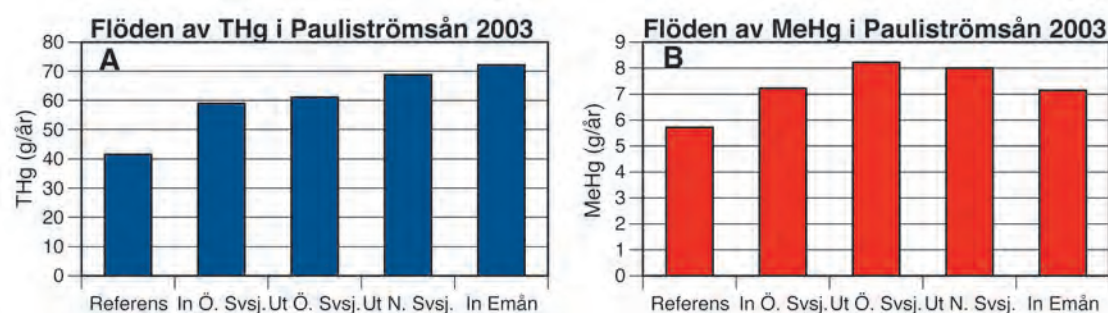
1996 som 2003 (Figur 7.16 och 7.17). Gemensamt för bägge åren var att transporterad mängd MeHg ökade efter passagen genom Ö. Svartsjön, medan transporterad mängd THg inte påverkades. Notera att sjöar normalt undandrar Hg genom sedimentation och förångning. Passagen genom N. Svartsjön innebar att transporten av MeHg minskade medan transporten av THg minskade 1996 men ökade 2003.

Under 1996 tillfördes avsevärda mängder THg och MeHg nedströms Svartsjöarna, Detta visar att åsträckan nedströms Svartsjöarna fortfarande är påverkad av de gamla Hg-utsläppen, troligen delvis som en följd av pågående kvicksilvermobilisering i Svartsjöarna.

I överensstämmelse med resultaten från sedimentfällorna var transporten av THg och MeHg lägre vid referensstationen PÅ 1 uppströms Pauliström än vid stationen PÅ 2 (In Ö. Svartsjön<) nedströms Pauliström (Figur 7.17).



FIGUR 7.16 Årsflöden av totalkvicksilver (A) och metylkvicksilver (B) i Pauliströmsån under 1996 vid indikerade stationer. Flödena räknades ut med hjälp av vattenföring (dygnsflöden) och intrapolering av THg- och MeHg-koncentrationerna mellan provtagningsstillfällena.



FIGUR 7.17 Årsflöden av totalkvicksilver (A) och metylkvicksilver (B) i Pauliströmsån under 2003 vid indikerade stationer. Flödena räknades ut med hjälp av vattenföring (dygnsflöden) och intrapolering av THg- och MeHg-koncentrationerna mellan provtagningsstillfällena. Referensstationen är station PÅ 1 uppströms Pauliström.

### Slutsatser om Hg-kontamineringsläget i Pauliströmsån och Svartsjöarna före åtgärd

- Kvicksilvermängden i Svartsjöarnas fibersediment är ca 13 kg.
- Totalkvicksilverhaltererna i Svartsjöarnas ytliga fibersediment är ca tio gånger högre än i organiskt material från referensområden längre upp i vattensystemet.
- Andelen metylkvicksilver av totalkvicksilver är ca 10 gånger högre i Övre Svartsjöns ytliga fibersediment än i naturliga sediment.
- Inblandning av anoxiskt bottenvatten med hög koncentration metylkvicksilver in i det ovanförliggande syresatta vattenskiktet förklarar huvuddelen av upptaget av metylkvicksilver i zooplankton och vidare in i den pelagiska näringskedjan i Svartsjöarna.
- De kvicksilverkontaminerade fibersedimenten i Svartsjöarna är den främsta orsaken till att Svartsjöarnas organismer uppvisar förhöjda koncentrationer av metylkvicksilver relativt organismer i en referenssjö längre upp i vattensystemet.
- 1+ abborre växer sämre i Svartsjöarna än i referenssjön Enegrenen. En möjlig orsak är hög exponering för metylkvicksilver. En annan möjlig orsak är att förekomsten av lämpliga bytesdjur (bl.a. zooplankton) i Svartsjöarna är lägre än i referenssjön.
- Det sker en export av både oorganiskt kvicksilver och metylkvicksilver från Ö. Svartsjön till N. Svartsjön. Denna kan öka dramatiskt som ett resultat av sedimentförflyttning mellan sjöarna vid extrema flöden i Pauliströmsån.
- Totalkvicksilver- och metylkvicksilverflödena i Pauliströmsån påverkas inte påtagligt av passagen genom Svartsjöarna. Om Svartsjöarna inte hade varit förorenade skulle man förvänta att de undandrog kvicksilver från vidare transport i Pauliströmsån, men i vilken utsträckning är svårt att uppskatta. Därmed är det svårt att bedöma vilken effekt de Hg-förorenade fibersedimenten har på totalkvicksilver- och metylkvicksilvertransporten i Pauliströmsån.
- Det sker en tillförsel av både oorganiskt kvicksilver och metylkvicksilver till Pauliströmsåns vatten nedströms Svartsjöarna, troligen p.g.a. att gamla kvicksilverföroreningar fortfarande ligger kvar längs denna åsträcka.
- Åsträckan mellan Pauliström och Ö. Svartsjön visar tecken på kvicksilverkontaminering relativt en referensstation längre upp i vattensystemet, men denna kontaminering är

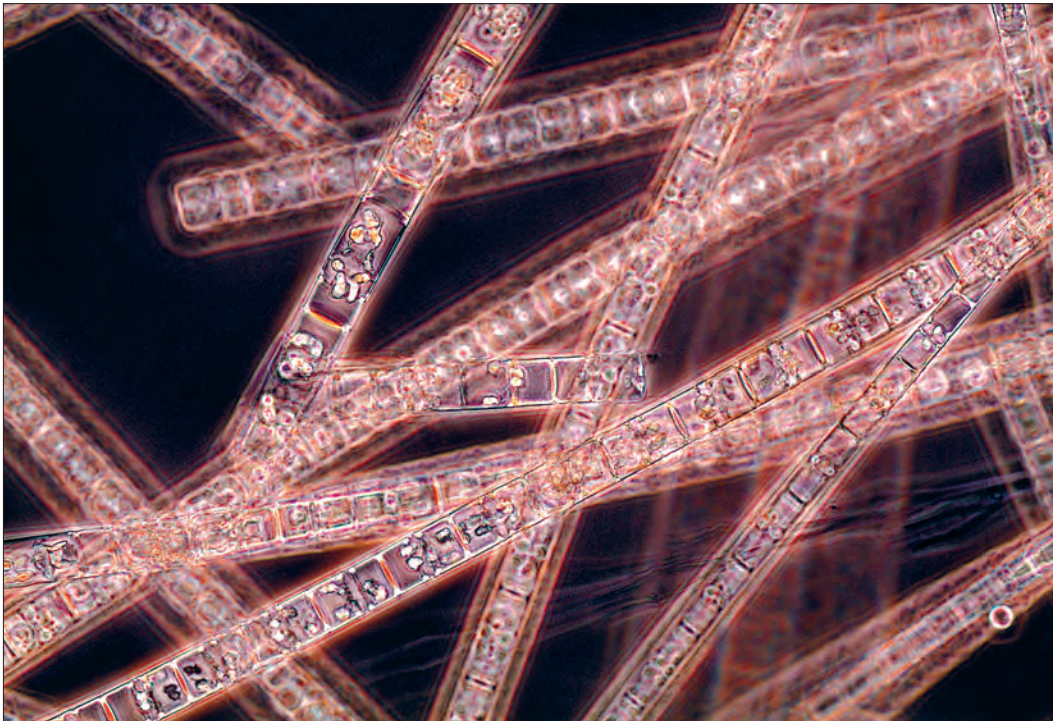
liten och mindre än den längs åsträckan nedströms Svartsjöarna.

- Årsflödena av totalkvicksilver och metylkvicksilver i Pauliströmsån strax ovanför Emån är ca 70 respektive 7 g Hg. Detta motsvarar en ökning av mängden totalkvicksilver och mängden metylkvicksilver i Emåns vatten relativt en punkt omedelbart uppströms Pauliströmsåns inflöde med ca 10 respektive 30 %. Årsflödena av kvicksilver i Pauliströmsån kan dock variera avsevärt och ökar vid höga flöden, i synnerhet när höga flöden sammanfaller med hög temperatur.
- En stor del (kanske 80 %) av allt kvicksilver som tillförs Pauliströmsån genom avrinning och direktdeposition på sjöytor (14 % av avrinningsområdet), det vill säga atmosfärsdeponerat kvicksilver, försvinner från åns vatten genom förångning, sedimentation och retention i åbankar innan ån når Emån. Även gammalt kvicksilver från bruket undandras transport, men i mindre utsträckning, eftersom detta kvicksilver tillförs närmare Emån. Undandragandet av kvicksilver från Pauliströmsåns vatten, men även episoder av mobilisering av kvicksilver som ackumulerats i åbankar och sediment, gör det svårt att bedöma hur stor del av kvicksilvertransporten till Emån som utgörs av gamla kvicksilverföroreningar från bruket.
- Trots att en stor del av det luftdeponerade kvicksilvret försvinner från vattnet kan sådant kvicksilver utgöra ca 50 % eller mer av kvicksilvertransporten ner till Emån. Vid höga flöden ökar andelen Hg som utgörs av gamla Hg-föroreningar från bruket.

### Slutsatser om hur väl kontrollprogrammet uppfyllde uppställda mål

Den information kontrollprogrammet avsågs ge är listad i början av Kapitel 7. Hur väl målen med kontrollprogrammet kunde uppfyllas berodde bland annat på:

- Val av prover (typ, antal, när de tas, hur ofta de tas)
- Val av analyser (THg, MeHg, vattenkemi, sedimentkemi, etc.)
- Val av provtagningsmetodik (förhindra kontaminering av proverna, ta representativa prover, säker märkning av proverna, konservering/förvaring av prover fram till analys)
- Transport av prover till laboratorium (säker, snabb)
- Val av analyslaboratorier (säkra analyser, analyser av certifierade referensmaterial för THg och MeHg, möjlighet till kommunikation



FIGUR 7.18 Kiselalgen *Aulacoseira* förekom rikligt i ett zooplanktonprov (250  $\mu\text{m}$  nät) från Enegrenen som togs i september 2009. FOTO Jan-Erik Svensson, Medins Biologi AB

med dem som ansvarar för analyserna, snabb leverans av analysresultat så att förändringar i kontrollprogrammet kan ske snabbt vid behov)

- Kontinuerlig uppföljning av analysresultaten (Är analysresultaten rimliga? Behövs kompletterande provtagning?)

Provtagningsprogrammet fungerade tekniskt väl och gav relevant information för bedömningar av Svartsjöarnas behov av sanering och om saneringen kunde utföras med gott resultat till en rimlig kostnad.

Som framgår ovan föreligger osäkerhet om hur stor del de gamla Hg-föreningarna från Pauliströms bruk utgjorde av den totala Hg-transporten i Pauliströmsån vid de olika stationerna. Bättre information om detta hade kunnat erhållas genom tätare provtagningar vid höga flöden. Tyvärr togs inga prover under det kraftiga flödet i juli 2003 som annars hade kunnat ge viktig information om mobiliseringen av Hg-föreningarna under höga flöden i kombination med hög temperatur. Att stora mängder fiber förflyttades mellan sjöarna som ett resultat av de höga flödena framgick emellertid av den kompletterande sedimentkarteringen. Det är mycket viktigt att poängtera att diskreta vattenprover kan ge en felaktig bild av Hg-transporterna, eftersom Hg-koncentrationerna kan variera kraftigt över tiden. Förhållanden mellan flöden och Hg-transport kan ge en viss vägled-

ning, men dessa förhållanden är inte konstanta och påverkas bland annat av temperatur och tidigare flödesförhållanden. Idealet hade varit automatisk och flödesstyrd provtagning, men ingen sådan utrustning fanns tillgänglig.

Förekomsten av Hg i Svartsjöarnas sediment på olika nivåer beräknades genom att analysera prover med en vertikal upplösning av 40 cm tagna på 10 platser i Ö. Svartsjön och 9 platser i N. Svartsjön, vilket motiverades av att 40 cm motsvarar rimliga avverkningsskikt samt naturligtvis av att kostnaderna stiger om prover tas med högre horisontell och vertikal upplösning. Valet av platser var naturligtvis inte slumpmässigt utan byggde på sondering av sedimenten och okulär besiktning av sedimentkärnor. Risk finns att man missade tunna skikt med höga halter. I värsta fall skulle sådana skikt kunna utgöra ytsediment efter utförd sanering. Kraftig variation i THg-koncentration både i djupled och horisontalled gör det emellertid svårt att helt försäkra sig mot denna risk. Det är inte säkert att en mer omfattande analys av Hg-förekomsten i sediment hade gett väsentligt bättre information, men man hade kunnat välja en provtagningsstrategi som hade möjliggjort en geostatistisk beräkning av kvicksilvrets utbredning. Det är i det enskilda fallet en bedömningsfråga hur mycket resurser man skall lägga ner på att kartlägga utbredningen av en förening inom ett område som skall saneras.

När Hg-koncentrationerna i sedimentet efter muddringen kontrollerades, analyserades skiktet 0–40 cm. Denna kontroll kunde ha kompletterats med mätningar i ytskiktet (0–1 cm eller 0–2 cm). En mindre omfattande sådan kontroll utfördes i ett senare skede.

Det är naturligtvis av stor vikt att fastställa vilken inverkan de Hg-föreningar man avser avlägsna har på kvicksilverkoncentrationen i vattenorganismerna. Ett säkert svar på detta får man först efter att ha gjort mätningar i vattenorganismer efter utförd sanering och jämför med de mätningar som gjordes före åtgärden. Ett problem är att koncentrationen av kvicksilver i vattenorganismer varierar både säsongsmässigt och mellan år, i huvudsak på grund av att Hg-metyleringen påverkas av olika omgivningsfaktorer som temperatur, vattenstånd, variationer i vattenstånd och tillförsel av näringsämnen. Ett sätt att komma runt detta problem är att mäta Hg-koncentrationer inte bara i de förorenade vattnen som skall saneras utan också i referensvattnen som kan anses påverkas på ett likartat sätt av variationer i nämnda omgivningsfaktorer. Detta var en viktig orsak till att Hg-koncentrationerna i zooplankton, bottenfauna och fisk bestämdes i referenssjön Enegrenen i samma vattensystem.

En annan fråga att ta ställning till är vilka organismer som är lämpliga indikatorer på MeHg-belastning och på hur denna ändras över tiden. Gäddor kring 1 kg är vanligen 4–6 år gamla. Beroende på den troligen relativt långa (men bristfälligt undersökta) biologiska halveringstiden av MeHg i gäddor, ger 1-kg gäddor svar på hur hög MeHg-belastningen har varit under en längre tidsperiod än 1+ abborre, som i sin tur ger sämre tidsupplösning än zooplankton. Gäddor har emellertid fördelen att praktiskt taget allt Hg är MeHg. Det räcker därför att mäta THg i gäddor.

I zooplankton och bottenfauna är det nödvändigt att mäta MeHg, eftersom andelen MeHg av THg kan variera kraftigt. Att analysera zooplankton och bottenfauna med avseende på THg eller MeHg innebär även andra nackdelar. Olika arter och utvecklingsstadier kan innehålla olika mängder THg och MeHg och dessutom finns risken att zooplanktonprover innehåller växtplankton och skräppartiklar som påverkar i synnerhet MeHg-koncentrationerna i proverna (Figur 7.18).

1+ abborre förefaller ha varit den mest lämpliga indikatororganismen. Dels ger den god tidsupplösning och dels är dess Hg-innehåll i huvudsak MeHg. Det är emellertid viktigt att 1+ abborre infångas vid samma tid på året, helst i slutet av sommaren, eftersom en stor del av deras årliga upptag av MeHg sker under sommaren när de tillväxer snabbt. 1-kg gäddor kan däremot vara att

föredra om man vill se effekter av saneringen under en längre tidsperiod efter saneringen. Både för gäddor och abborre gäller att tillväxten kan ha stor inverkan på MeHg-koncentrationen. Det är därför viktigt att bestämma vikt, längd och ålder.

Av stor vikt när det gäller Hg-analyser i fast material är att certifierade referensmaterial (CRM) eller standard referensmaterial (SRM) analyseras parallellt med de tagna sediment-, sedimentfäll- eller organismproverna. Under 1996 års kontrollprogram användes en uppslutningsmetod för fast material som inte ledde till kvantitativ bestämning av THg. Genom att analysera referensmaterial kunde man beräkna utbytet av Hg och därmed korrigera resultaten. Behov av en sådan korrigering inger emellertid osäkerhet och de korrigerade värdena är inte helt tillförlitliga. Även vid sedimentkarteringen 1997 användes en analysmetod som troligen inte gav kvantitativ bestämning av THg. Denna kompletterades emellertid av en sedimentkartering 2004, i vilken THg bestämdes med en metod som ger kvantitativ bestämning av THg.

## 7.2 Kontrollprogram under åtgärd

### 7.2.1 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH KRAV

#### Miljöprovning

Miljödomstolen vid Växjö tingsrätt har i dom den 27 september 2004 lämnat Hultsfreds kommun tillstånd enligt miljöbalken (Mål M160-03) till muddringar av förorenade massor m.m. i Övre och Nedre Svartsjön samt till deponering av massorna m.m. i anslutning till muddringsområdet; allt inom Hultsfreds kommun, Kalmar län.

#### Myndighetsvillkor

För erhållet miljötillstånd enligt ovan gäller följande villkor för verksamheten:

- Om inte annat framgår av nedan angivna villkor skall verksamheten – inbegripet åtgärder för att minska vatten- och luftföroreningar samt andra störningar för omgivningen – utformas och bedrivs i huvudsaklig överensstämmelse med vad kommunen uppgett eller åtagit sig i målet.
- Om provtagning efter muddring till projekterat djup (omfattande ca 260 000 m<sup>3</sup> förorenade sediment) visar att halterna av kvicksilver i kvarvarande sediment överstiger 0,1 mg/kg TS skall samråd ske med tillsynsmyndigheten om eventuellt behov av ytterligare muddring.
- Turbiditeten i utgående vatten i den muddrade sjöns utlopp får inte överstiga 7 NTU som riktvärde\* och dygnsmedelvärde samt 5

NTU som riktvärde\* och rullande veckomedelvärde.

- Halten suspenderat material i den muddrade sjöns utlopp får som riktvärde\* och rullande veckomedelvärde inte överstiga 10 mg/l.
- Halten suspenderat material i returvatten från behandlingsanläggningen får inte överstiga följande riktvärden\*:
  - 35 mg/l som rullande veckomedelvärde och
  - 50 mg/l som dygnsmedelvärde
- Halten BOD7 i returvatten från behandlingsanläggningen får som riktvärde\* och rullande veckomedelvärde inte överstiga 100 kg/dygn.
- Buller från de ansökta åtgärderna skall begränsas i skälig omfattning.

\* Med riktvärde avses ett värde som, om det överskrids, medför skyldighet för tillståndshavaren att vidta åtgärder så att värdet kan innehållas.

### Beställarvillkor

Målet med beställarvillkoren är att säkerställa att myndighetsvillkor uppfylls och att begränsa påverkan på det vatten som förs bort med Pauliströmsån. Dessutom skall akuta effekter i Svartsjöarna undvikas. Villkoren anknyter till myndighetsvillkoren. Beslut om fastställande av myndighetsvillkor kan innebära att beställarvillkoren ändras.

Följande beställarvillkor gällde för verksamheten:

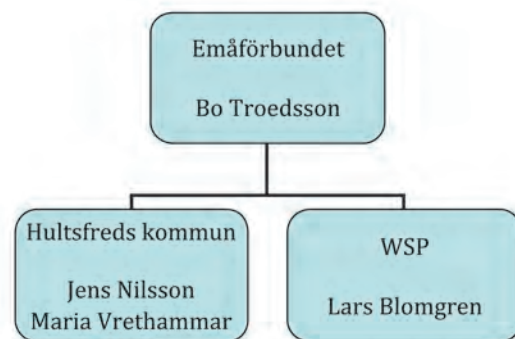
- Högsta tillåtna halt av metylkvicksilver i sjöarnas utlopp under tid grumlingsalstrande arbeten pågår är 5 ng/l och för totalkvicksilver 25 ng/l.
- Högsta tillåtna turbiditet i utgående vatten i den muddrade sjöns mynning är 7 NTU, mätt som dygnsmedelvärde och 5 NTU som rullande veckomedelvärde i enlighet med svensk standard SS 028125-2.
- Halten suspenderat material i den muddrade sjöns utlopp får som dygnsmedelvärde inte överstiga 10 mg/l.
- Flödet av returvatten får utgöra högst 10 % av årsmedelflödet i Pauliströmsån men aldrig mer än 10 % av det aktuella dygnsmedelflödet.
- Halten suspenderat material i returvatten får som dygnsmedelvärde inte överstiga 35 mg/l. Analys av suspenderande ämnen skall ske i enlighet med svensk standard SS-EN 872.
- Halterna metylkvicksilver och totalkvicksilver i returvatten får inte överstiga 10 respektive 50 ng/l.
- Syrehalten i utloppet av Nedre Svartsjön

samt i returvatten får som dygnsmedelvärde inte underskrida 5 mg/l.

- Utsläpp av COD i returvatten får som rullande veckomedelvärde inte överstiga 225 kg/dygn.
- Utsläpp av BOD7 i returvatten får som rullande veckomedelvärde inte överstiga 75 kg/dygn.

### 7.2.2 ORGANISATION MILJÖKONTROLL

Miljökontrollen var upplagd enligt nedanstående organisationschema.



Inom miljökontrollorganisationen fanns även en jourgrupp bestående av Bo Troedsson, Emåförbundet samt Jens Nilsson, Maria Vrethammar och Anders Helgée, Hultsfreds kommun.

### 7.2.3 PROVTAGNINGSPROGRAM

Under entreprenadtiden 5 maj–7 november 2006 togs vattenprover och prover på sedimenterande material i Pauliströmsån och Svartsjöarna. Vid några tillfällen under denna period togs vattenprover i bäck och grundvattenrör inom deponiområdet. Från bäcken och grundvattnet inom deponiområdet togs emellertid prover främst efter att entreprenadarbetena avslutats och deponin anlagts som ett led i kontrollen enligt föreskriften NFS 2004:10 (Se avsnitt 7.4). För mer detaljerad information om provtagningsmetodik hänvisas till miljökontrollprogram daterat 2004-11-22 (av B. Troedsson, se källförteckning).

#### Pauliströmsån

För kontinuerlig vattenprovtagning från stationerna PÅ 2, PÅ 3 och PÅ 4 (Figur 7.5) användes en automatisk sekvensprovtagare, Isco Avalanche. Vatten sögs upp genom en silikon slang med hjälp av en peristaltisk pump till ett kärl från vilket vatten fördes vidare i inställda flöden till olika provflaskor. Silikonslangen byttes till en syradiskad slang en gång per vecka. Proverna hölls kylda (1–5 °C).

Dygnssamlingsprover togs för bestämning av pH, susp/GF, absorbans 420 och 254 nm, TOC, Fe och Mn. Flaskorna för veckosamlingsprover för kvicksilver (THg och MeHg) innehöll en svag syralösning (1 % HCl). MeHg-koncentrationen bestämdes efter filtrering (0,45 µm). Även sulfat bestämdes i veckoinsamlingsprover.

För att kontrollera veckosamlingsprovets tillförlitlighet vad gäller kvicksilverbestämning (förluster av kvicksilver skulle exempelvis kunna förekomma) togs även vanliga prov i flaska (grab samples) de tre första saneringsveckorna. Dessa prover visade god överensstämmelse med veckosamlingsproven.

Kontinuerlig mätning av syrgas, turbiditet och temperatur utfördes direkt med elektroder vid stationerna PÅ 2–PÅ 4. För turbiditet användes Hach-Lange Evita TSS 4100 givare och signalomvandlare USC 7000 IP 67. För syrgas användes Hach-Lange Evita Oxy 4150. Temperaturen mättes med MJK Pt 100 temperaturgivare MT SS. Data lagrades i en datalogger, ABS-Pumpex centipede CPU 30, som var placerad i mätstationsbyggnaden. Data överfördes en gång per dygn till Emåförbundets dataserver för bearbetning och lagring. Systemet var detsamma som Emåförbundet använder för mätning av flöde i vattendrag och nivåer i sjöar i Emåns avrinningsområde. Ett rullande veckodiagram uppdaterades varje natt på Emåförbundets hemsida. Larmgränser sattes på låga och höga värden för syrgas och turbiditet. Larm gick automatiskt ut till jourhavande person inom miljökontrollgruppen vid över- eller underskridande via mobiltelefon.

Från station PÅ 9 togs vattenprover för hand (grab samples) ungefär varannan vecka (n = 12). THg, MeHg (MeHg efter filtrering), susp/GF, turbiditet och TOC bestämdes. Mätning av syrgashalt och temperatur utfördes med hjälp av ett direktverkande fältinstrument typ Insite IG modell 3100.

Sedimentfällor var utplacerade vid stationerna PSF 3 och PSF 4 (Figur 7.6). Dessa samlade in material ca 0,5 m ovan botten. De tömdes en gång per månad. Materialet analyserades med avseende på THg, GF och elementen As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, P, Pb, V och Zn.

### Svartsjöarna

Vid stationerna IN 01 (djuphåla i Ö. Svartsjön) och IN 05 (djuphåla i N. Svartsjön) (Figur 7.3) togs vattenprover ungefär varannan vecka (n = 13) 0,5 m under ytan (ytvatten) och 0,5 m över botten (bottenvatten). Både yt- och bottenvatten togs med en



FOTO: Jens Nilsson, Hultsfreds kommun

FIGUR 7.20 Provtagning från flotte.

syradiskad metallfri ruttnerhämtare. Bestämningar av THg, MeHg och övrig vattenkemi var de samma som under kontrollprogrammen före åtgärd (Tabell 7.1) med tillägget turbiditet. MeHg bestämdes emellertid enbart i filtrerat vatten (0,45 µm).

Mätning av syrgashalt och temperatur utfördes med hjälp av ett direktverkande fältinstrument typ Insite IG modell 3100. Mätningar gjordes för varje meter från yta till botten.

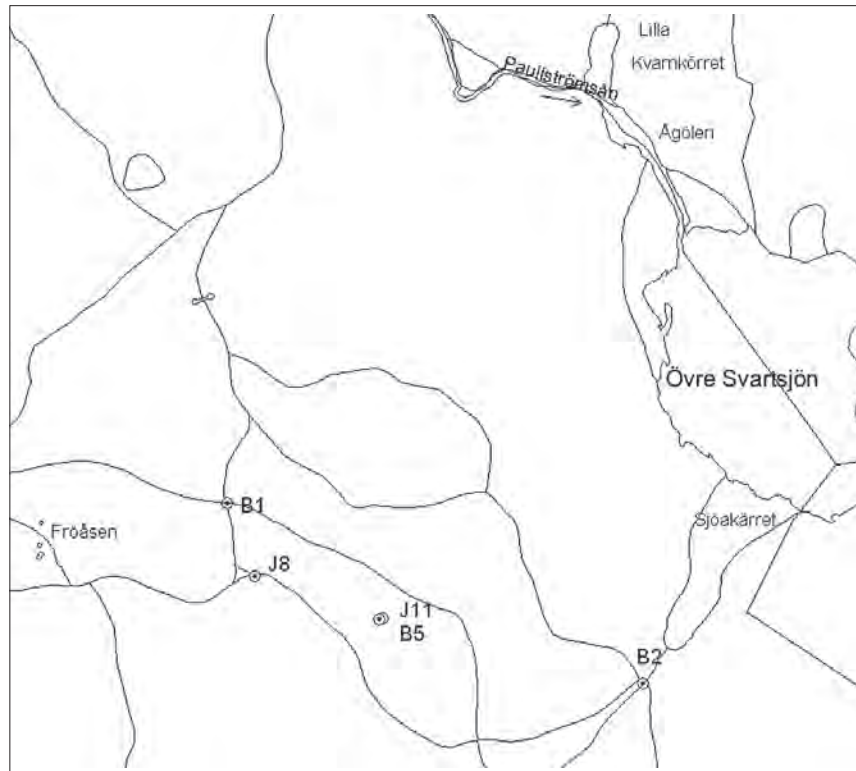
En sedimentfälla var utplacerad i N. Svartsjöns djuphåla (NSF 2) (Figur 7.6). Denna samlade in material ca 1 m ovan botten. Den tömdes vid tre tillfällen (maj, juni, juli) med ungefär en månads mellanrum. Innehållet analyserades med avseende på THg, GF, total C, samt elementen As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, P, Pb och Zn.

### Grundvatten och bäck i deponiområdet

I grundvattenrör J8 uppströms deponin och i J11 nedströms deponiplatsen (Figur 7.21), båda ca tre meter djupa, togs vattenprover via en slang i röret och en portabel peristaltisk pump som kopplades till denna. Pumpen drevs av en batteridrivna skruvdragare. I grundvattenrör B5 nedströms deponin (Figur 7.21), ca 21 meter djupt, hämtades vatten via en slang i röret och tre seriekopplade grundvattenpumpar längst ned i rörets botten. Pumparna drevs av ett portabelt 12 volts batteri som kopplades till elkablar från pumparna vid varje provtagningstillfälle. För att omsätta vattnet i grundvattenrören tömdes de före provtagningstillfället, alternativt pumpades på hela sin volym.

Grundvattenproverna analyserades med avseende på THg, susp/GF, DOC (löst organiskt kol), TN (totalkväve), nitrat/nitrit, ammonium, TP (totalfosfor), sulfat, konduktivitet och pH. Grund-

**FIGUR 7.21** Provtagningspunkter för grundvatten och bäck i deponiområdet. För deponins placering se bild under avsnitt 1.1.3.



vattennivån mättes med ett för ändamålet avsett elektroniskt måttband.

Vattenprov (grab samples) togs i bäck uppströms (B1) och nedströms (B2) deponiplatsen (Figur 7.21). Dessa prov analyserades med avseende på THg, MeHg (i filtrerat vatten), susp/GF, TOC, absorbans 254 och 420 nm, turbiditet, BOD<sub>7</sub>, pH, konduktivitet och alkalinitet.

Mätning av syrgashalt och temperatur utfördes med hjälp av ett direktverkande fältinstrument typ Insite IG modell 3100.

#### 7.2.4 **UTVÄRDERING AV MÄTHUSEN, DEN KONTINUERLIGA PROVTAGNINGEN OCH DE KONTINUERLIGA MÄTNINGARNA VID STATIONERNA PÅ 2, PÅ 3 OCH PÅ 4**

Mäthuset som var placerade på flottor (PÅ 3 och PÅ 4) samt mäthuset vid station PÅ 2 fungerade bra. Ström till utrustningen erhöles från solpaneler monterade på husen. Effekten från panelerna var tillräcklig för att försörja mätutrustningen under hela saneringsperioden med enstaka undantag då ett externt bensindrivet elaggregat fick kopplas in. Utrustningen för kontinuerlig mätning av turbiditet, syrgas och temperatur fungerade utan anmärkning hela tiden. Elektrodena rengjordes tre gånger per vecka för att undvika algpåväxt. Vid några få tillfällen utlöstes larm för hög turbiditet på grund av algpåväxt, trots den återkommande rengöringen.

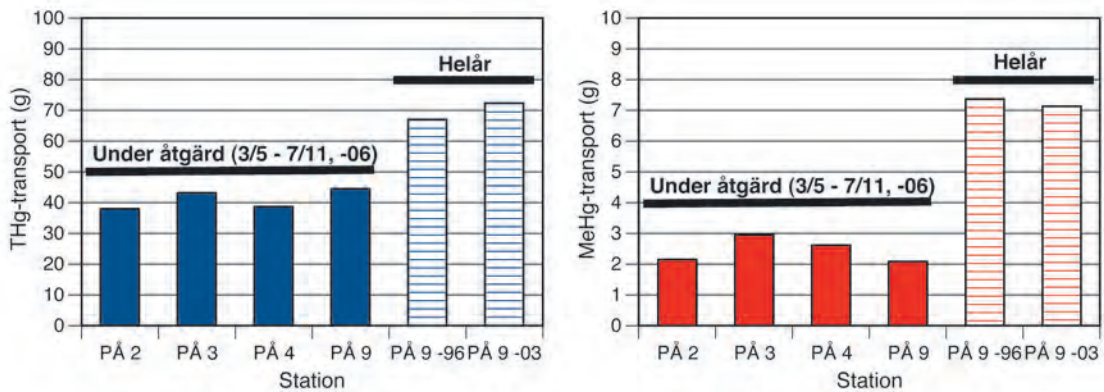
Den automatiska provtagningen och kylningen av vatten för bland annat undersökning av suspenderat material och kvicksilver var problemfri. Risken för kontaminering undersöktes före saneringsstart utan att någon kontaminering kunde upptäckas. Den automatiska dataöverföringen och larmöverföringen till Emåförbundets övervakningssystem fungerade utan problem. Detta gällde även den automatiska överföringen av datagrafer till Emåförbundets hemsida.

#### 7.2.5 **MILJÖKONTROLL UNDER ÅTGÄRD – EFFEKTER AV ENTREPRENADARBETENA PÅ VATTENKVALITET OCH HG-FLÖDEN I SVARTSJÖARNA OCH PAULISTRÖMSÅN**

De förorenade sedimenten i Svartsjöarna sugmuddrades bort. Problem med spridning av sediment i vattenmassan vid sugmuddring är normalt betydligt mindre än vid olika typer av grävuddring. Speciella skyddsåtgärder vidtogs ändå mot spridning av partiklar.

Utöver muddringsarbetena utgjorde returvattnet från avvattningen av massorna på land en risk för påverkan på vattenkvaliteten i Svartsjöarna och nedströms i Pauliströmsån. Utsläppspunkten för returvattnet låg strax uppströms Ö. Svartsjön.

Genom att mäta vattenkvaliteten vid station PÅ 2 vid länsgränsen och vid station PÅ 3 belägen mellan Svartsjöarna kontrollerades de sammanlagda effekterna av returvattnet och entreprenadarbetena



FIGUR 7.22 Transport av THg och MeHg i Pauliströmsån uppströms (PÅ 2), mellan (PÅ 3) och nedströms Svartsjöarna (PÅ 4), samt strax ovanför Emån (PÅ 9) under entreprenadperioden (189 dagar). Årstransport av THg och MeHg för referensåren vid PÅ 9 visas för jämförelse. Transporterna är för PÅ 2 – PÅ 4 beräknade från dygnsvärden på vattenföring strax ovan PÅ 2 och koncentrationen av THg respektive MeHg i veckoprover (tidsintegrerad provtagning). Transporterna vid PÅ 9 är uträknade från dygnsvärden på vattenföring och intrapolering av koncentrationer mellan provtagningstillfällena. THg-flödena baseras på koncentration i ofiltrerat vatten och MeHg-flödena på koncentrationer i filtrerat (0.45 µm) vatten med undantag för MeHg 1996.

i Ö. Svartsjön på vattenkvaliteten i ån. Effekterna av entreprenadarbetena i N. Svartsjön kontrollerades genom att jämföra vattenkvaliteten vid PÅ 4 strax nedströms N. Svartsjön med vattenkvaliteten vid PÅ 3. På dessa stationer upprättades provtagningsenheter för tidsintegrerad provtagning samt kontinuerlig mätning av syrgas, temperatur och turbiditet (grumlighet). Projektet försågs därmed med data för hela entreprenadperioden (3 maj–7 nov, 2006) samt därefter till och med den 26 dec 2006. Vid station PÅ 9 strax ovanför Pauliströmsåns utlopp i Emån togs vanliga vattenprov (grab samples) ungefär 2 ggr/mån perioden 23 maj–20 dec 2006.

Utöver vattenprov togs prover på sedimenterande material i sedimentfällor mellan sjöarna (PSF 3) och nedströms N. Svartsjön (PSF 4). Sedimentfällorna tömdes en gång per månad. Av okänd anledning, men troligen p.g.a materialbrist, bestämdes inte THg i alla proverna. Den starka korrelationen mellan koppar (Cu) och THg gör det dock möjligt att uppskatta THg i prover för vilka THg inte bestämdes ( $r^2=0.95$ ,  $n=10$ ). Korrelationen mellan THg och Cu förklaras av att både Cu (troligen kopparsulfat) och Hg (troligen fenylkvicksilveracetat) användes som biocid av Pauliströms bruk. En stark korrelation mellan THg och Cu konstaterades även för PSF 3 och PSF 4 under referensåret 2003 samt vid den vertikala profilprovtagningen av sediment i N. Svartsjöns djuphåla 1999.

I Svartsjöarna kontrollerades vattenkvaliteten ca 2 ggr/mån under entreprenadperioden genom vattenprovtagning i yt- och bottenvatten vid respektive sjös djuphåla ÖS 2 och NS 2. Dessutom place-

Ökning mellan PÅ 2 och PÅ 3 (%)		
Period	THg-transport	MeHg-transport
1996	2	23
2003	4	14
2006	14	37

TABELL 7.2 Procentuell ökning av THg- och MeHg-transporten mellan station PÅ 2 uppströms utsläppspunkten för returvatten och station PÅ 3 mellan Övre och Nedre Svartsjön för referensåren 1996 och 2003 (före åtgärd) och för entreprenadarbetena 5 maj–7 nov 2006.

rades en sedimentfälla i N. Svartsjöns djuphåla, men troligen på grund av för lite material i fällorna bestämdes THg endast i ett prov.

#### Flöden av THg och MeHg i Pauliströmsån

THg- och än tydligare MeHg-transporten ökade från station PÅ 2 uppströms utsläppspunkten för returvatten till station PÅ 3 mellan Svartsjöarna (Figur 7.22). I synnerhet för THg men även för MeHg var den procentuella ökningen mellan dessa stationer större än för referensåren 1996 och 2003 (Tabell 7.2). Detta indikerar att entreprenadarbetena och/eller returvattnet orsakade en viss ökning av THg- och MeHg-transporten i ån. Vidare kan man se att passagen genom N. Svartsjön ledde till en minskning av transporten av både THg och MeHg (Figur 7.22). Följaktligen utgjorde N. Svartsjön en fälla för en del av det kvicksilver som mobiliserades i samband med muddringsarbetena.

Station	THg (ng/L)				MeHg (ng/L)			
	Medel	Median	Min	Max	Medel	Median	Min	Max
PÅ 2	2.1	1.4	1.0	5.7	0.13	0.11	0.07	0.25
PÅ 3	2.6	2.2	1.3	6.2	0.20	0.20	0.08	0.36
PÅ 4	2.3	1.9	1.1	5.1	0.17	0.18	0.06	0.31

TABELL 7.3 Koncentrationer av THg och MeHg i veckosamlingsprover (n = 27) uppströms Svartsjöarna och utsläppspunkten för returvatten (PÅ 2), mellan Svartsjöarna (PÅ 3) och nedströms N. Svartsjön (PÅ 4) under entreprenadarbetena 5 maj–7 nov 2006.

En del Hg kan också ha förångats från sjöytan.

Av Figur 7.22 framgår att THg- och MeHg-transporterna vid PÅ 2 – PÅ 9 under entreprenadperioden (189 dagar) var klart mindre än motsvarande årstransporter vid PÅ 9 strax ovanför utloppet till Emån under referensåren 1996 och 2003. Följaktligen hade entreprenadarbetena ingen dramatisk effekt på Hg-flödena i ån.

### THg- och MeHg-koncentrationer i Pauliströmsåns vatten

Den av beställaren högsta tillåtna koncentrationen i utgående vatten från Svartsjöarna under pågående entreprenadarbete var 25 ng Hg/L för THg och 5 ng Hg/L för MeHg. Inte i något fall översteg dessa koncentrationer vid stationerna PÅ 3 och PÅ 4 (Tabell 7.3).

### THg i sedimenterande material vid PSF 3 och PSF 4

Både under entreprenadperioden och vid referensundersökningen före åtgärd 2003 var THg-halten högre i sedimenterande material mellan Svartsjöarna än nedströms N. Svartsjön. Detta förklaras av att kontamineringsgraden var högre i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön (Figur 7.23).

Mellan Svartsjöarna (PSF 3) såväl som nedströms N. Svartsjön (PSF 4) var koncentrationen av THg och Cu i sedimenterande material något högre under entreprenadperioden än under refe-

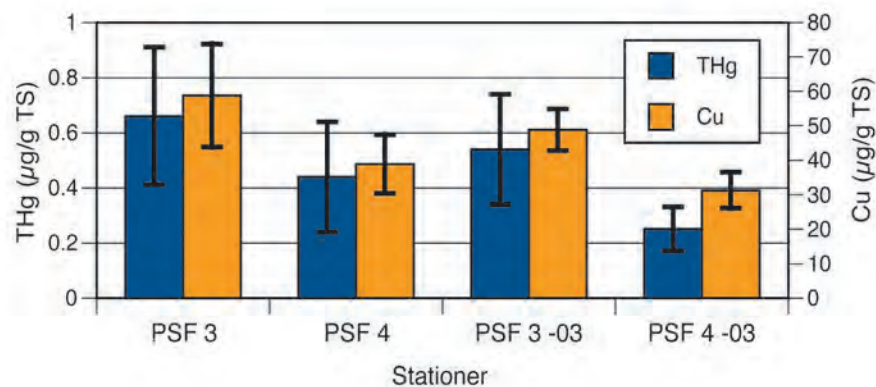
rensåret 2003 (Figur 7.23). Av ovan angivna skäl föreligger en samvariation mellan THg och Cu i det sedimenterande materialet. Muddringsarbetena i Svartsjöarna förefaller därmed i viss mån ha ökat spridning av sediment, i enlighet med ökningen av THg-transporten mellan PÅ 2 och PÅ 3 under entreprenadarbetena 2006 jämfört med referensåren 1996 och 2003 (Tabell 7.2). Ökningen av THg-transporten kan emellertid även ha orsakats av returvattenutsläppet ovanför Ö. Svartsjön och/eller av frigivning av löst Hg från sedimenten.

### THg och MeHg i Svartsjöarnas yt- och bottenvatten

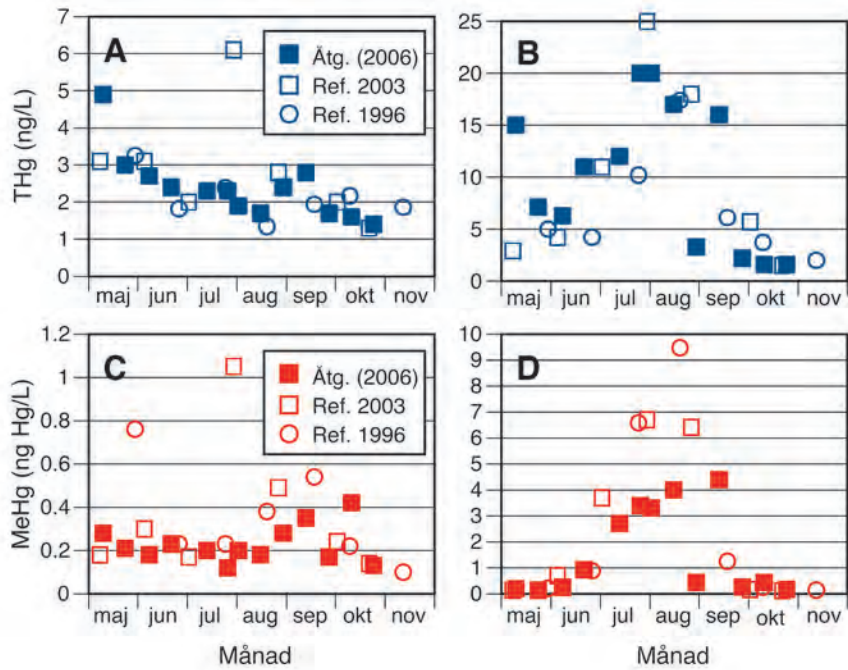
Någon tolerabel gräns för THg och MeHg i sjövattnet fastslogs aldrig. Istället utgick man ifrån att kraftiga grumlingar med Hg-mobilisering som följd skulle upptäckas vid åstationerna PÅ 3 och PÅ 4 nedströms sjöarna. Både THg i ofiltrerat och MeHg i filtrerat yt- och bottenvatten mättes emellertid ca 2 ggr/månad under entreprenadarbetena i båda sjöarna.

Vid en jämförelse med referensåren 1996 och 2003 ser man att entreprenadarbetena inte orsakade onormala koncentrationer av THg och MeHg i vare sig yt- eller bottenvatten i Ö. Svartsjön (Fig. 7.24). Normalt ökar både THg och MeHg i bottenvatten under sommaren, dels på grund av att effekten av sedimenten blir större när bottenvattnet isoleras vid termisk skiktning av vattenmassan och dels på

FIGUR 7.23 Totalkvicksilver- och kopparhalt i sedimenterande material mellan Svartsjöarna (PSF 3) och nedströms N. Svartsjön (PSF 4) under entreprenadarbetena 5 maj – 7 nov 2006 och under referensåret 2003. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse. THg: n = 3 – 11, Cu: n = 6 – 8.



**FIGUR 7.24** Totalkvicksilver i ofiltrerat ytvatten (0.5 m) (A) och botten-vatten (0.5 m ovan botten) (B) samt MeHg i filtrerat (0.45 µm) yt- (C) och bottenvatten (D) i Ö. Svartsjön under entreprenadarbetena 2006 (fyllda symboler) och under referensåren 1996 och 2003. Under 1996 bestämdes även MeHg i ofiltrerat vatten.



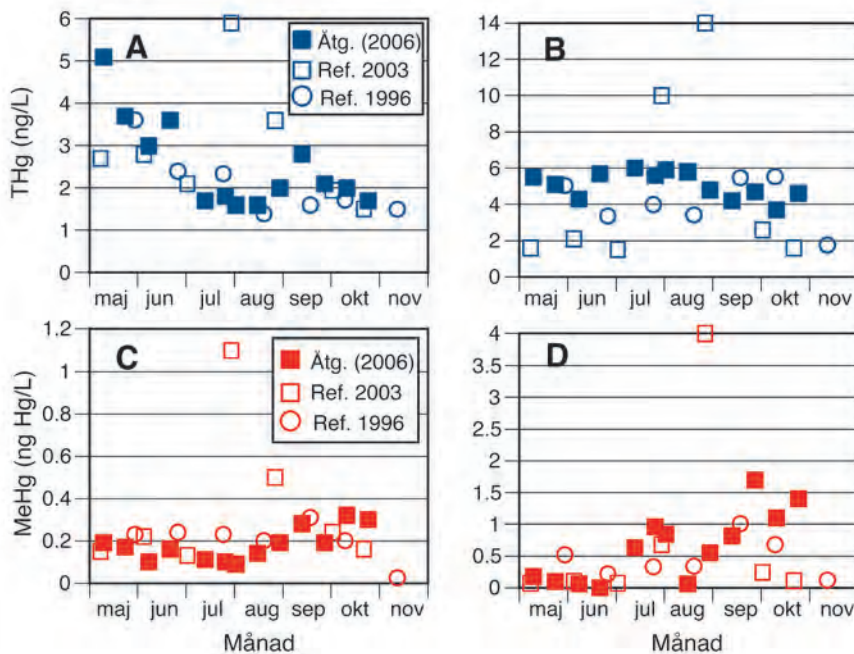
grund av att anaerob nedbrytning av organiskt material leder till mobilisering och metylering av Hg. En ökning av THg och MeHg i bottenvattnet under sommaren inträffade både under referensåren och under entreprenadarbetena (Fig. 7.24).

Enstaka höga koncentrationer i ytvattnet är orsakade av externa faktorer, eftersom liknande koncentrationer förelåg i ån uppströms sjöarna. Det är då i allmänhet fråga om att höga flöden i kombination med stigande eller hög temperatur har ökat

tillförseln och metyleringen av atmosfärsdeponerat Hg i en omfattning som proportionellt överstiger ökningen av vattenföringen.

Inte heller för N. Svartsjön förefaller entreprenadarbetena ha haft någon tydlig effekt på THg- och MeHg-koncentrationerna i vattnet (Fig. 7.25). Möjligen finns en tendens till högre THg i bottenvattnet under entreprenadarbetena än under referensåren.

Följaktligen kan man dra slutsatsen att entrepre-



**FIGUR 7.25** Totalkvicksilver i ofiltrerat ytvatten (0.5 m) (A) och botten-vatten (0.5 m ovan botten) (B) samt MeHg i filtrerat (0.45 µm) yt- (C) och bottenvatten (D) i N. Svartsjön under entreprenadarbetena 2006 (fyllda symboler) och under referensåren 1996 och 2003. Under 1996 bestämdes även MeHg i ofiltrerat vatten.

Station	Turbiditet (NTU)				Susp (mg/L)				TOC (mg/L)				Löst syrgas (mg/L)			
	Medel	Min	Max	N	Medel	Min	Max	N	Medel	Min	Max	N	Medel	Min	Max	N
PÅ 2	1.5	0.1	4.5	73	1.3	0.4	5.5	169	11.9	8	27	178	8.6	6.7	12.8	55
PÅ 3	1.8	0.5	9.3	179	1.6	0.5	3.9	180	11.8	7.8	25	181	7.5	5.4	11.7	180
PÅ 4	1.5	0.8	3.2	166	1.6	0.5	4.8	184	11.8	8.7	22	186	7.1	5.9	10.6	185

TABELL 7.4 Vattenkvalitet uppströms (PÅ 2), mellan (PÅ 3) och nedströms Svartsjöarna (PÅ 4) under entreprenadarbetena 3/5 – 7/11, 2006. Utan driftstörning i provtagningen hade antalet dygnsvärden (N) varit 189.

nadarbetena, inklusive returvattnet från avvattningen av de bortmuddrade massorna, inte mer än i marginell omfattning påverkade vare sig koncentrationer eller flöden av THg och MeHg i Pauliströmsån och Svartsjöarnas vatten.

Den övriga vattenkemin i Pauliströmsån och Svartsjöarna under entreprenadarbetena ger ytterligare stöd åt ovanstående slutsats (se nedan).

### Övrig vattenkemi i Pauliströmsån

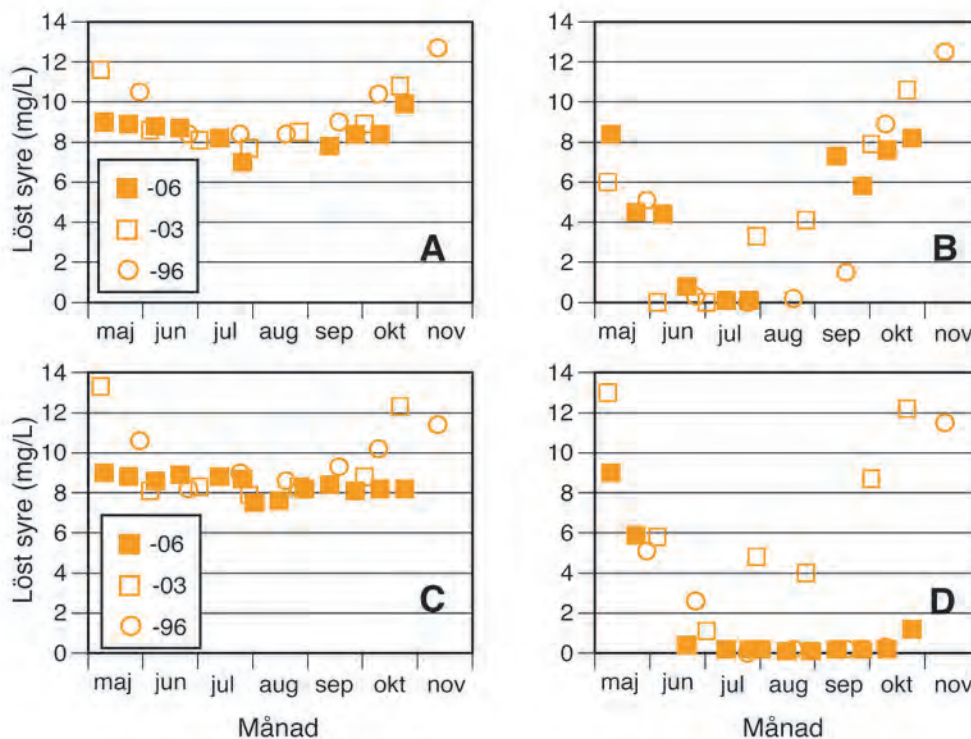
För turbiditet (grumlighet) var beställarvillkoret att värdet 7 NTU inte fick överskridas som dygnsmedelvärde i Pauliströmsån nedströms den sjö i vilken muddringsarbete pågick. Vidare fick partikelhalten i vattnet (Susp) inte överskrida 10 mg/L

som dygnsmedelvärde. Nedströms N. Svartsjön (vid PÅ 4) fick inte den lösta syrgashalten underskrida 5 mg/L.

Det var endast turbiditeten som bröt mot myndighetskravet, men endast vid ett tillfälle (under ett dygn) nedströms Ö. Svartsjön (PÅ 3) (Tabell 7.4).

### Övrig vattenkemi i Svartsjöarna

Liksom för THg och MeHg förelåg inga beställarkrav för övrig vattenkvalitet i Svartsjöarna under entreprenadperioden. Däremot gjordes bestämmningar av vattenkvaliteten i sjöarnas yt- och bottenvatten under entreprenadperioden som möjliggjorde jämförelser med hur vattenkvaliteten var under referensåren 1996 och 2003.



FIGUR 7.26 Syrgashalter i Ö. Svartsjöns ytvatten (0.5 m) (A) och bottenvatten (0.5 m ovan botten) (B), samt i N. Svartsjöns ytvatten (C) och bottenvatten (D) under entreprenadarbetena 2006 (fyllda symboler) och under referensåren 1996 och 2003.

Den viktigaste vattenkemivariabeln är löst syrgas, eftersom låga syrgasvärden kan påverka livet i sjöarna negativt. För ytvattnet låg syrgashalterna något lägre under entreprenad perioden än under referensåren (Figur 7.26). En förklaring kan vara returvattenutsläppet uppströms sjöarna. Någon allvarlig sänkning av syrgashalterna var det inte fråga om.

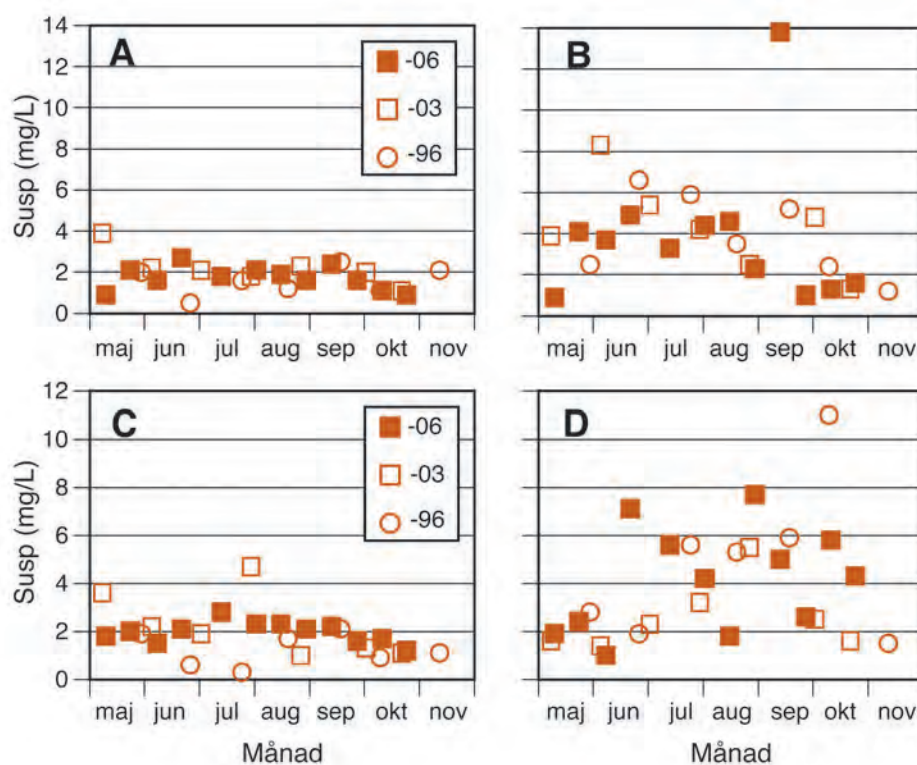
Även för bottenvattnet tycks syrgashalterna ha legat något lägre under entreprenadperioden än under referensåren. I bottenvattnet föreligger emellertid starka mellanårsvariationer i syrgashalter som är svåra att skilja från effekter av entreprenadarbetena. De relativt höga syrgashalterna under 2003 är orsakade av att extrem vattenföring i Pauliströmsån under juli tillfälligt bröt skiktningen av vattnet i Svartsjöarna.

Andra vattenkemivariabler av speciellt intresse är turbiditet och koncentrationen av partiklar (susp), eftersom dessa variabler kan visa om spridning av sedimentpartiklar har förekommit under entreprenadarbetena. Turbiditeten mättes emellertid inte under referensåren, varför en jämförelse med referensåren endast kan göras för Susp.

Partikelkoncentrationen i Svartsjöarnas ytvatten

var inte högre under entreprenadarbetena än under referensåren (Figur 7.27). Det samma gäller bottenvattnet, med ett undantag i Ö. Svartsjön. Efter som inget högt värde förekom i ytvattnet rörde det sig troligen om en mindre störning av sedimentet. Det höga värdet kan även ha orsakats av resuspension genom gasbildning, en ansamling alger som sedimenterat, eller av utfällning av järnsulfid. Man kan notera att värdet för THg vid samma tidpunkt inte var extremt (Figur 7.24). Vid vattenprofilprovtagningen i augusti 1998 var partikelkoncentrationen i bottenvattnet i Ö. Svartsjön 7.2 mg/L och i N. Svartsjön 19 mg/L. Följaktligen kunde höga partikelhalter i paritet med extremvärdet under entreprenadperioden förekomma även före entreprenadarbetena.

Entreprenadarbetenas ringa inverkan på partikelhalterna i Svartsjöarnas vatten ligger i linje med att THg samtidigt inte låg högre än under referensåren. Den något högre THg-koncentrationen i sedimenterande materialet nedströms sjöarna än under referensåren ger dock en indikation på att entreprenadarbetena orsakade en viss partikelspridning.



**FIGUR 7.27** Partikelkoncentration (Susp) i Ö. Svartsjöns ytvatten (0.5 m) (A) och bottenvatten (0.5 m ovan botten) (B), samt i N. Svartsjöns ytvatten (C) och bottenvatten (D) under entreprenadarbetena 2006 (fyllda symboler) och under referensåren 1996 och 2003. 1996 och 2006 mättes partiklar > 1.5  $\mu\text{m}$  (GF/C filter) och 2003 partiklar > 0.7  $\mu\text{m}$  (GF/F filter).

## Slutsatser

- Inte i något fall överskred THg och MeHg de koncentrationer som beställaren krävde skulle underskridas i utgående vatten från Svartsjöarna under entreprenadarbetena. Istället var marginalerna upp till dessa värden betryggande. Även partikelhalterna låg under det av beställaren uppställda kravet och den lösta syrgashalten underskred aldrig gränsvärdet 5 mg/L nedströms Nedre Svartsjön.
- För syrgashalten i Pauliströmsån och Svartsjöarna fanns inga beställarkrav. Provtagning under åtgärden visade emellertid att syrgashalten inte mer än marginellt påverkades av muddringsarbetena och av returvattnet från avvattningen av massorna, varför skador på vattenorganismer till följd av låga syrgashalter är osannolika.
- Effekterna av entreprenadarbetena på vattenkvaliteten och partikelspridningen i Pauliströmsån och Svartsjöarna var inte större än att de skulle kunna inrymmas i den variation som iaktogs under referensåren före åtgärd.

## 7.3 Kontrollprogram under konsolideringsfasen

Det föreligger alltid en risk att muddring leder till oönskade förhållanden i vatten och sediment. Det är ett välkänt faktum att olika typer av störningar av sediment kan leda till ökad mikrobiell aktivitet. En ökad mikrobiell aktivitet skulle kunna leda till ökad spridning och metylering av det kvarvarande kvicksilvret, ökad sulfidbildning och försämrade syreförhållanden.

Lakvatten från deponin kan föra med sig kvicksilver till grundvatten och ytvatten nedströms deponin. I vilken utsträckning kvicksilver frigörs i deponin beror på den mikrobiella aktiviteten. Denna i sin tur beror på förekomst av syre, andra elektronacceptorer, vattenflöden, fosfor, kväve, mikronäringsämnen, nedbrytbart organiskt material och temperatur.

Målsättningar:

- Att följa upp koncentrationerna av THg och MeHg samt övrig vattenkemi i Svartsjöarnas yt- och bottenvatten under ett år efter avslutade muddringsarbeten
- Att följa upp hur koncentrationerna av THg och MeHg i Pauliströmsån påverkas av passagen genom Svartsjöarna
- Att kontrollera läckaget av THg och MeHg från deponin samt ge akt på förändringar i vattenkemi i lakvattnet som kan tyda på ökad mikrobiell aktivitet i deponin

## 7.3.1 PROVTAGNINGSPROGRAMMET

### Pauliströmsån

Efter avslutad entreprenad den 7 november 2006 fortsatte provtagningen på samma sätt som under entreprenadarbetena året ut vid stationerna PÅ 2 (uppströms Svartsjöarna och utsläppet för returvattnet), PÅ 3 (mellan Svartsjöarna), PÅ 4 (nedströms N. Svartsjön) och station PÅ 9 (ovanför Pauliströmsåns utlopp i Emån) (Figur 7.5). Detta innebar fortsatta veckosamlingsprov för THg och MeHg vid stationerna PÅ 2, PÅ3 och PÅ 4, samt fortsatt provtagning för hand vid station PÅ 9 (Se 7.2.3).

Under 2007 övergick provtagningen till provtagning för hand (grab samples) vid stationerna PÅ 2 och PÅ 4. Vid station PÅ 3 togs inga prov under 2007. Vid station PÅ 9 togs prov endast i slutet av juni och under juli då ett högt flöde inträffade.

### Svartsjöarna

Även i Svartsjöarna fortsatte provtagningen av yt- och bottenvatten under 2006 efter att entreprenadarbetena avslutats. Provtagningen återupptogs i april 2007 och fortsatte till och med oktober. Utöver THg i ofiltrerat vatten och MeHg i filtrerat vatten (filtrering på labb) analyserades vattnet med avseende på i stort sett samma vattenkemi som tidigare (Tabell 7.1).

### Bäckvatten och lakvatten från deponin

Vattenprov togs i bäcken som rinner genom deponiområdet uppströms (B1) och nedströms (B2) deponin (Se 7.2.3). Utöver ett prov i slutet av november 2006 togs prover varje månad eller oftare från januari 2007 till augusti 2009.

Förutom THg i ofiltrerat vatten och MeHg i filtrerat vatten bestämdes samma vattenkemi som i grundvattenproverna med tillägget turbiditet.

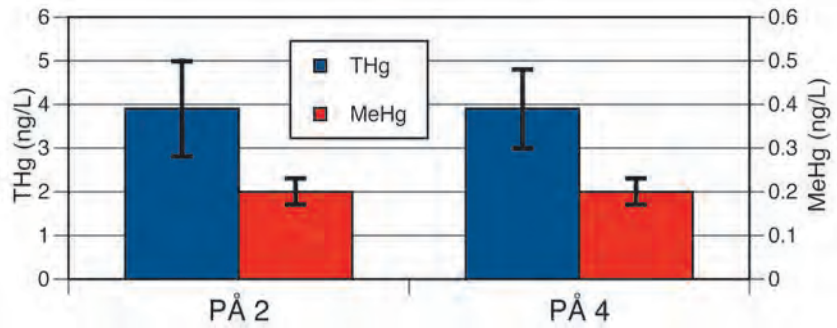
Vattenprov togs januari–september 2007 (n = 11) från ett rör (R1) som ledde returvattnet från deponin (R1) ner i ett dike som ledde ut i bäcken genom deponiområdet. Röret R1 avser returvattnet som tidigare släppts i ån men vid årsskiftet ändrades till att släppas till diket. I detta vatten bestämdes THg i ofiltrerat vatten, MeHg i filtrerat vatten, löst syre, pH, konduktivitet, susp/GF och järn (Fe).

### Grundvatten

Grundvattenprover togs från J8 (uppströms deponin), J11 (nedströms deponin) och B5 (nedströms deponin, djupt grundvatten) (Se 7.2.3). Utöver ett prov i slutet av november 2006 togs prover varje månad från maj 2007–augusti 2009.

Förutom THg i ofiltrerat vatten bestämdes diverse vattenkemi i vattenproverna, bland annat pH, alkalinitet, löst syre, temperatur, konduktivitet,

**FIGUR 7.28** Koncentrationer av THg och MeHg i veckoinsamlingsprover efter att entreprenadarbetena avslutats den 7 november 2006 fram till årsskiftet vid stationen uppströms Svartsjöarna (PÅ 2) och vid stationen nedströms Svartsjöarna (PÅ 4). Spridning kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 7$ ).



DOC (TOC i filtrerat vatten, 0,45  $\mu\text{m}$ ), susp/GF (1.5  $\mu\text{m}$ ) och sulfat.

svagare för MeHg och beror i större utsträckning av temperaturen än vad fallet är för THg.

### 7.3.2 RESULTAT FRÅN KONTROLLPROGRAMMET UNDER KONSOLIDERINGSFASEN

#### Pauliströmsån

Av intresse är främst hur passagen genom Svartsjöarna påverkade THg- och MeHg-transporten i ån. Eftersom veckoinsamlingsprover togs perioden efter att muddringsarbetena avslutats fram till årsskiftet behandlas dessa för sig. Under denna period skedde ingen förändring av den genomsnittliga koncentrationen av vare sig THg eller MeHg mellan PÅ 2 (uppströms Svartsjöarna) och PÅ 4 (nedströms Svartsjöarna) (Figur 7.28).

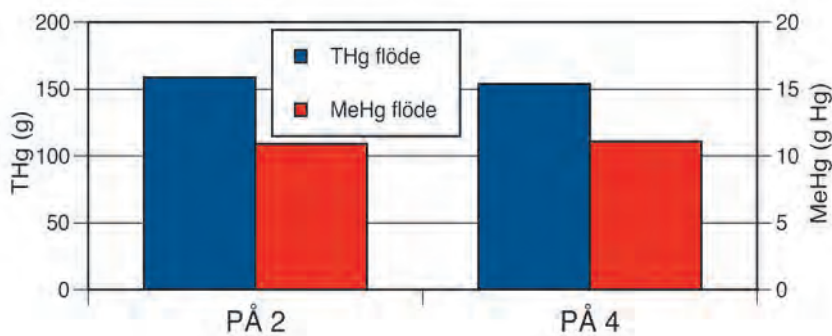
Påföljande år (2 januari–16 oktober 2007) togs prover för hand vid stationerna PÅ 2 och PÅ 4. Med utgångspunkt från dessa prover och vattenflödet vid PÅ 2 och PÅ 4 kommer man fram till att flödet av THg och MeHg inte ändrade sig mer än marginellt mellan stationerna (Figur 7.29).

Flödet av THg och MeHg i Pauliströmsån var mycket större under perioden 2 januari–16 oktober 2007 än motsvarande helårsflöden 1996 och 2003 (jfr Figur 7.29 med Figurerna 7.16 och 7.17). Detta är en effekt av de mycket högre vattenflödena 2007 än 1996 och 2003. Till skillnad från en del andra ämnen späds Hg inte ut vid ökad vattenföring. Tvärtom tenderar THg-koncentrationen att öka med ökad vattenföring. Denna tendens är något

#### Svartsjöarna

THg och MeHg uppvisade mycket lägre koncentrationer i Ö. Svartsjöns bottenvatten under sommarstagnationen (när bottenvattnet är isolerat från ytvattnet) än vad som var fallet under sommarstagnationen 1996, 2003 (före åtgärd) och 2006 (under åtgärd). I N. Svartsjön var däremot THg-koncentrationerna ungefär på samma nivåer som tidigare, medan MeHg låg lägre än tidigare. I ytvattnet var THg och MeHg på ungefär samma nivåer som tidigare i båda sjöarna (jfr Figur 7.30 med Figurerna 7.11, 7.12, 7.24 och 7.25). Ytvattnet påverkas starkt av Pauliströmsåns vattenkemi. Därför förväntar man sig inte lika stora effekter av saneringen på ytvattnet som på bottenvattnet under sommarstagnationen. THg- och MeHg-koncentrationerna var lika höga i Pauliströmsån uppströms Svartsjöarna (vid PÅ 2) som i Svartsjöarnas ytvatten när dessa var som högst i slutet av juli (Figur 7.30, data från Pauliströmsån visas ej). Höga THg- och MeHg-koncentrationer i Pauliströmsån vatten uppkommer när höga flöden sammanfaller med höga temperaturer.

Syrgashalterna i Svartsjöarnas i vattnet nedanför termoklinen under sommarmånaderna var klart högre under 2007 än under 1996, 2003 (referensåren) och 2006 (under åtgärd) (Figur 7.31). Detta tyder på att syrgasförbrukning och därmed den



**FIGUR 7.29** Flöden av THg och MeHg vid stationen uppströms Svartsjöarna (PÅ 2) och vid stationen nedströms Svartsjöarna (PÅ 4) under perioden 2 jan–16 okt 2007. Flödena räknades ut med hjälp av vattenföring (dygnsflöden) och intrapolering av THg- ( $n = 16$ ) och MeHg-koncentration ( $n = 15$ ) mellan provtagningstillfällena.

nedbrytande mikrobiella aktiviteten hade sjunkit som en följd av att fibersediment avlägsnats. De förbättrade syrgashalterna under 2007 jämfört med referenssåren skulle emellertid delvis kunna förklaras av att vattenflödena i Pauliströmsån under sommaren (jun–sep) var betydligt högre 2007 (medel vid PÅ 2: 1,7 m<sup>3</sup>/s) än under 1996 (medel vid PÅ 2: 0,9 m<sup>3</sup>/s) och 2003 (medel vid PÅ 2: 1,0 m<sup>3</sup>/s).

### Bäcken genom deponiområdet

Bäcken genom deponiområdet provtogs mellan den 30 nov 2006–24 aug 2009. Både THg- och MeHg koncentrationen var högre uppströms deponin (B1) än nedströms deponin (B2) (Figur 7.32). Detta tyder på att lakvatten från deponin (troligen främst vatten från avvattning av sedimentmassor) inte ökade koncentrationen av vare sig THg eller MeHg i bäcken.

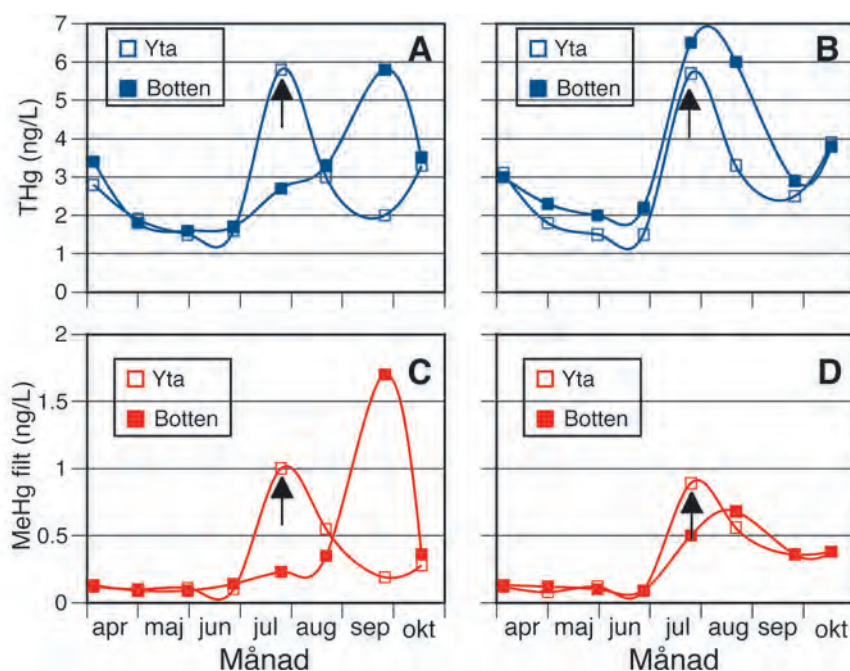
Lakvattnet provtogs i utflödet av röret (R1) som mynnade ut i ett dike som ledde lakvattnet till bäcken. I lakvattnet (R1) var koncentrationen av THg lägre än i både B1 och B2, medan koncentrationen av MeHg i R1 var lägre än i B1 men högre än i B2. Konduktiviteten var betydligt högre i R1 än i både B1 och B2, vilket troligen förklarar att konduktiviteten var högre i B2 än i B1 (Figur 7.32). Det höga konduktivetsvärdet kan eventuellt förklaras av närvaron av en mängd järnutfällningar i diket som orsakades när konsolideringsvattnet kom i kontakt med syre. I Figur 7.32 är koncentrationerna i B1 och B2 fullt jämförbara, eftersom dessa baseras på prov som togs vid samma tillfällen. I R1 togs prover enbart under 2007.

### Grundvatten

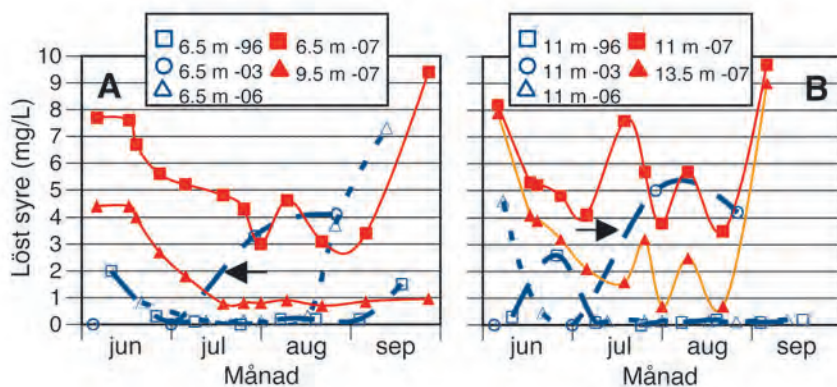
Inte heller i grundvatten kunde man spåra någon effekt av THg i lakvatten från deponin. Man kunde dessutom inte se någon effekt av lakvattnet på konduktiviteten i grundvattnet (Figur 7.33). THg-koncentrationen var märkbart lägre i det djupa grundvattnet (B 5) än i grundvattnet från nivån 3 m och uppåt vid J 8 och J 11, vilket är att förvänta när Hg i mark förklaras huvudsakligen av atmosfärsdeposition av Hg. Konduktiviteten var däremot högre på 21 m djup än på djupet 3 m och uppåt, vilket kan förklaras av att det minerogena innehållet ökar med djupet.

### Slutsatser

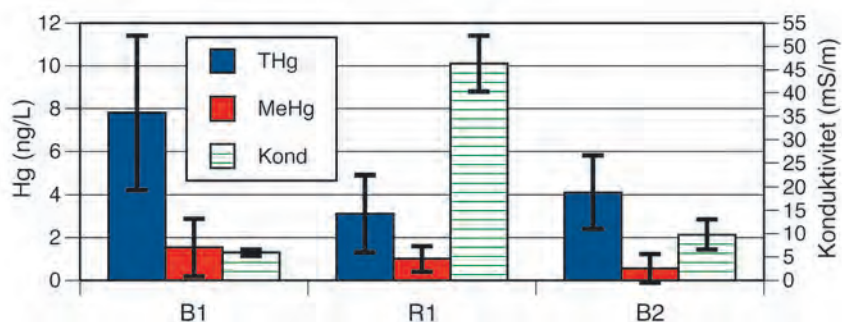
- Året efter att muddringsarbetena slutförts (2007) förändrades THg- och MeHg-flödena i Pauliströmsån inte märkbart av åns passage genom Svartsjöarna. Detta är en förbättring jämfört med 2003 men en försämring jämfört med referensåret 1996.
- Koncentrationerna av THg och MeHg i Ö. Svartsjöns bottenvatten under sommarstationen var markant lägre 2007 än under referensåren 1996 och 2003. THg<sub>max</sub> var 3–5 ggr högre och MeHg<sub>max</sub> 4–6 ggr högre under referensåren än under 2007.
- I N. Svartsjön skedde ingen entydig förändring i THg-koncentrationerna men MeHg<sub>max</sub> var 1,5–6 ggr högre under referensåren än under 2007.
- Ingenting tydde på att lak- och returvatten från deponin ökade vare sig THg- eller MeHg-koncentrationerna i yt- eller grundvatten nedströms deponin.



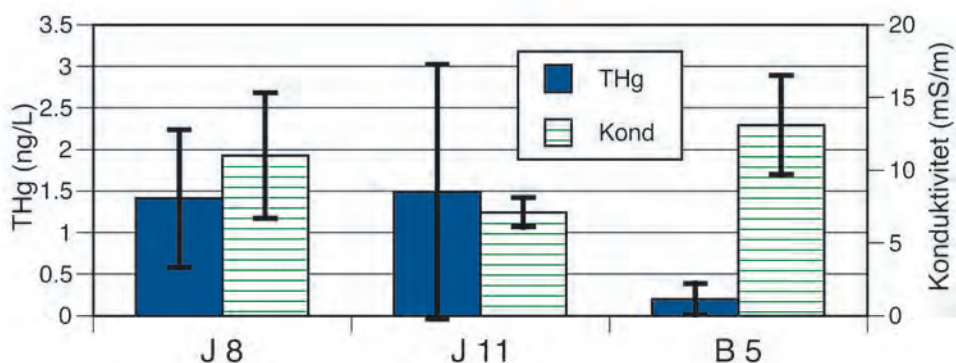
FIGUR 7.30 Koncentrationer av THg i ofiltrerat vatten (A, B) och av MeHg i filtrerat vatten (0,45 µm) (C, D) i Ö. Svartsjön (A, C) och N. Svartsjön (B, D) under 2007. Ytvatten togs 0,5 m under ytan och bottenvatten 0,5 m ovan sedimentytan. Pilarna markerar höga koncentrationer i ytvattnet som är orsakade av höga koncentrationer i Pauliströmsån.



**FIGUR 7.31** Koncentrationer av löst syre i Ö. Svartsjöns (A) och N. Svartsjöns (B) bottenvatten sommar och tidig höst under referensåren 1996 och 2003, under muddringsarbetena 2006 och under 2007. Notera att två djup är angivna för 2007, av vilka det mindre motsvarar ca 0,5 m ovanför djuphålornas sediment före muddring och det större ca 0,5 m ovanför djuphålornas sediment efter muddring. Pilarna markerar stigande syrgashalter som är orsakade av att skiktningen av sjöarnas vattenmassor bröts vid de höga flödena i juli 2003.



**FIGUR 7.32** Koncentrationer av THg ( $n = 46$ ) och MeHg ( $n = 41$ ) i bäckvatten uppströms (B1) och nedströms (B2) deponin under perioden 30 nov 2006 – 24 aug 2009, samt i lakvatten från deponin (R1) under perioden 24 jan -18 sep 2007 ( $n = 11$ ). Även konduktiviteten i vattnet anges. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse.



**FIGUR 7.33** Koncentrationer av THg samt konduktiviteten i grundvatten uppströms deponin (J8) och nedströms deponin (J11 och B5) under perioden 30 nov 2006 – 24 aug 2009. Från J8 och J11 togs vatten från ca 3 m djup och uppåt och från B5 från ca 21 m. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 26$ ).

## 7.4 Diskussioner och erfarenheter

Miljökontrollen har över lag fungerat mycket bra, med få tillstötande komplikationer och avvikelser från gällande kontrollprogram. Erfarenheter från det löpande arbetet samt av de olika problem som trots allt uppkom, listas nedan.

### 7.4.1 PROVTAGNING

I stort sett alla provtagningar är utförda av samma person inom miljökontrollgruppen. Att i möjligaste mån koncentrera all fältmässig hantering av prover till en person ger både en kvalitetssäkring och en effektivisering av arbetet. Två ytterligare personer inom miljökontrollgruppen har därutöver hållits informerade om det löpande arbetet och varit bekanta med provtagningspunkter och metodik. En nödvändig försäkring vid ordinarie personals frånvaro. Dessa tre personer gjorde, i miljökontrollgruppens startskede 2005, studieresor till Svartsjöarna, där aktuella provtagningspunkter och provtagningsmetodik gick igenom gemensamt. En mycket bra kvalitetssäkring.

Provtagningsmetodik har följt anvisad standard från respektive anlitat laboratorium. I vissa fall har man dock gjort avsteg från tänkt hantering, detta gäller bl.a. filtrering av vatten för kvicksilveranalys, vilken inte utförts i fält utan på anlitat laboratorium. Svårigheten i att filtrera vissa vatten i fält samt den ökade hanteringen av provet har bedömts utgöra en större felkälla än den längre ledtiden mellan provtagning och analys. Det har därför varit av stor vikt att säkerställa kvalitén på alla transporter av prover, såväl vad gäller paketering som leveranssäkerhet och leveranstid. Det har varit mycket logistik inblandad i miljökontrollgruppens arbete, vilken har lösts genom en flexibel intern planering och bra kontakter med anlitate laboratorier.

En viktig kugge i miljökontrollgruppens löpande arbete har varit just kontakten med anlitate laboratorier. Telefon- och e-postkorrespondens har tidvis varit mycket frekvent och betydelsen av en samarbetsvillig och kompetent laboratoriepersonal kan inte nog understrykas. Även här har det varit en stor fördel att organisationen varit relativt liten. Kontakten mellan miljökontrollgrupp och laboratorier har under projektet utvecklats till en personlig relation, vilket har underlättat samarbetet.

Även på andra sätt är ett brett kontaktnät viktigt för säkerställning av provtagningsarbetet. Miljökontrollgruppen har arbetat aktivt med en förankring hos lokala markägare och skapa en positiv känsla kring projektet som stundom påverkat lokalbefolkningen på olika sätt. Detta har gett goodwill och goda kontakter om man exempelvis

behövt snöröjning på kort varsel eller om andra maskinbehov dykt upp.

Den enda typ av provtagning som upplevs ha fungerat otillfredsställande är provtagningen av abborre 1+. Fångstmetoden har varit nät, vilket har gett stora oönskade bifångster och i flera fall krävt många arbetstimmar per fångad fisk. Inför liknande framtida provtagningar bör man överväga att investera i någon form av fiskfälla istället, som kan kontrolleras och tömmas regelbundet. En ryssja tar förvisso något längre tid att sätta ut än ett nät, men kräver därefter mycket små arbetsinsatser.

### 7.4.2 TEKNIK

För miljökontrollen har en hel del tekniska hjälpmedel använts, framför allt under själva muddringsarbetena. Projektets behov i kombination med svartsjöarnas geografiska placering gjorde utbudet av lämplig provtagningsutrustning starkt begränsat. Valet av solcellsdriven provtagningsutrustning föll dock väl ut och driftsäkerheten bedöms ha varit minst lika hög som elnätsansluten utrustning, som i glesbygd ofta drabbas av strömbortfall p.g.a. åska, trädfällen eller annat.

Den GSM-baserade överföringen av data till Emåförbundets server, samt larmfunktionen fungerade mycket väl under hela perioden. Inkörningsperioden gav snabbt besked om att en rutin för manuell rengöring av syre- och turbiditetsprober var nödvändig för att undvika felaktiga mätdata och falsklarm. En enkel åtgärd som genomfördes vid varje tömning av mätstationerna.

Flödesmätningen i Pauliströmsån mättes kontinuerligt vid en station i Pauliström. En tryckgivare installerad i ån mätte vattenståndet relaterat till en given tvärsektion. Även denna station skickade data via en GSM-enhet till Emåförbundets server. Mätstationen fungerade klanderfritt under hela perioden.

Utöver den fasta tekniska utrustningen användes en bärbar syre- och temperaturlogg. Instrumentet var litet och behändigt och användes för syre- och temperaturmätning i alla mätpunkter utom våtdeposition. Med en 20 meter lång sladd var det enkelt att göra syre- och temperaturprofiler för sjöarna. Alla data loggades i enhetens internminne och kunde därefter överföras till PC. Som en kvalitetssäkring jämfördes instrumentet mot jodometrisk titrering på laboratorium, vilket visade en mycket god noggrannhet för instrumentet.

#### 7.4.3 ADMINISTRATION

Miljökontrollgruppen har utgjorts av ett fåtal personer med tydlig ansvarsfördelning. Administrativt har gruppen bl.a. skött rapportering av entreprenadkontroller, sammanställning av analysdata och utskick av vecko- och månadsrapporter för sin del av verksamheten.

I stort sett all praktisk tillsyn och daglig kontroll under muddringsarbeten och efterkontroll har utförts av en projektanställd inom miljökontrollgruppen. En heltidsanställd person under den period då anlitaad entreprenör befann sig på platsen medförde en insyn i och kontroll av det dagliga arbetet som annars inte varit möjlig. Åtskilliga fel och brister under arbetets gång har kunnat avhjälpas snabbt och många gånger även undvikas genom denna kontroll.

Även under efterföljande miljökontroll har projektanställd inom miljökontrollgruppen arbetat med provtagning, sammanställning av data och fältkontroller. Anställningen har varit på deltid, varför kommunen varit tvungen att söka kompletterande finansiering för den deltidsanställda. Likaså denna finansiering har skett i projektform, vilket förvisso försett projektanställd person med 100 % tjänstgöring, men även med högst varierande arbetsbelastning. Detta förhållande har stundtals utgjort en kvalitetsbrist miljökontrollgruppens löpande arbete och torde bli ett vanligt förekommande problem vid liknande projekt drivna i kommunal regi.

#### 7.4.4 LOGISTIK

Efter provtagning har transport av prover skett med bil till närliggande laboratorium i Vetlanda, där analys av grundläggande parametrar skett samma dag. Vidare transport av prover till bl.a. Göteborg och Luleå, har skett via företagspaket från laboratoriet i Vetlanda. Distribution via laboratoriet i Vetlanda hade flera fördelar, bl.a. fanns alltid tillgång till anpassat förpackningsemballage och en vana hos personalen vid denna typ av försändelser.

Företagspaket har visat sig vara en högst tillförlitlig transportmetod och har använts för samtliga försändelser, även de som varit tillräckligt små för att skicka som brev.

Förvaring av prover under transport har skett i vanliga kylväskor. Vid behov har 12 volts kylväskor använts för att hålla temperaturen så låg som möjligt. Likaså har försändelser av prover alltid försetts med kylklampar när detta varit nödvändigt.

#### 7.5 Utvärdering av åtgärdens effekter

Detta avsnitt kan läsas som en fristående enhet och ger den bakgrundsinformation som är nödvändig för att sätta sig in i problematiken och följa med i resonemangen. För att uppnå den fristående karaktären har en del information som förekommer i andra delar av rapporten upprepats. En separat referenslista ges på slutet.

##### 7.5.1 INLEDNING

Svartsjöarna i Hultsfreds kommun, Kalmar län, fungerade som sedimentfällor för den cellulosa-fiber som släpptes ut från Pauliströms pappersbruk fram till i början av 1970-talet. Fibern som ackumulerades i sjöarna kom främst från mekanisk massa men även kemisk massa kan ha förekommit.

Gissningsvis från början av 40-talet till mitten av 60-talet var fibern behandlad med kvicksilver (Hg) för att förhindra slemmbildning och annan mikrobiell påverkan. Man kan ha utnyttjat preparatet Pulpasan vars aktiva ingrediens är fenyl-Hg. Användningen av fenyl-Hg var utbredd inom cellulosaindustrin i Sverige från 40-talet fram till 1966 då denna användning förbjöds. Inga försök till identifiering av fenyl-Hg i fibersedimenten har utförts inom Svartsjöprojektet. Man kan dock anta att fenylkvicksilvret i fibern på kort tid omvandlats till oorganiskt Hg och metyl-Hg (MeHg). I och med att Svartsjöarna undandrog fiber, undandrog de även en stor del av det utsläppta kvicksilvret från Pauliströmsåns vatten och minskade därmed Hg-belastningen på Emån.

Vid mätningar av Hg-halterna i Svartsjöarnas fisk före åtgärd (1996 och 2003) visade sig dessa vara ca 3–4 gånger högre än i sjöar i samma vattensystem belägna ovanför Pauliströms bruk. Den högst sannolika orsaken till detta var de förorenade sedimenten i Svartsjöarna.

Normalt undandrar sjöar Hg från vidare transport i ett vattensystem genom sedimentation av partikelbundet Hg och genom förångning av Hg (St Louis et al. 1994). Dessa processer motverkas när Hg mobiliseras från Hg-förorenade sjösediment. Effekten av Svartsjöarna på Hg-transporten i Pauliströmsån undersöktes åren 1996 och 2003 (före åtgärd) och visade sig vara liten (inte signifikant skild från noll). Dessa år undandrog Nedre Svartsjön som är minst kontaminerad ungefär lika mycket Hg som Övre Svartsjön tillförde. Under en högflödesperiod i juli 2003, vilken inte täcktes av vattenprovtagningen, skedde emellertid stora sedimentförflyttningar inom respektive sjö och troligen mellan Övre och Nedre Svartsjön. Troligen ökade därvid även exporten av Hg från Nedre Svartsjön.

I vilken grad Hg- och fiberföroreningarna i Svartsjöarna påverkade Hg-transporten i Pauliströmsån ner till Emån före åtgärd är svårt att bedöma, främst på grund av att man inte kan vara säker på hur mycket Svartsjöarna hade minskat Hg-transporten i Pauliströmsån om sedimenten inte hade varit kontaminerade.

Det är av intresse att ta fram uppgifter som visar den sammanlagda effekten av Hg-föroreningarna från Pauliströms bruk på Hg-transporten i Pauliströmsån ner till Emån. Då tar man med inte bara effekterna av sjöarna utan också effekterna av alla åsträckor mellan Pauliström och utflödet i Emån. Detta gjordes året 2003 (tre år före åtgärd) genom att jämföra Hg-transporten uppströms Pauliström med Hg-transporten strax ovanför utflödet i Emån. Enligt beräkningarna utgjorde mobiliseringen av Hg-föroreningar från Pauliströms bruk lite mindre än hälften (41 %) av den totala Hg-transporten ner till Emån. Resterande Hg (59 %) bör ha bestått till största delen av atmosfärsdeponerat Hg. I dessa beräkningar ingick emellertid inga värden från höglödesperioden i juli. Ej heller togs någon hänsyn till att Svartsjöarna kan ha undandragit en del av det inkommande kvicksilvret (i huvudsak atmosfärsdeponerat Hg) och ”ersatt” detta med Hg-föroreningar från Pauliströms bruk (Regnéll et al. 2009). Troligen underskattar därför de ovanstående siffrorna de gamla Hg-föroreningarnas inverkan på Hg-transporten under 2003.

Hg-föroreningarna från Pauliström verkar vid en enkel analys ha haft mindre inverkan på transporten av metyl-Hg (MeHg) än på transporten av total Hg (THg) under 2003, eftersom MeHg utgjorde 16 % av THg på stationen uppströms Pauliström och 11 % av THg vid stationen strax före utflödet i Emån. Vissa vattenkemiska samband tyder emellertid på att MeHg-transporten vid stationen strax ovanför utflödet i Emån till stor del utgjordes av annat MeHg än det som transporterades vid stationen uppströms Pauliström. Detta innebar att MeHg-transporten vid stationen strax ovanför Emån till stor del kan ha förklarats av Hg-metylering nedströms Pauliströms bruk (Regnéll et al. 2009). Det kan tilläggas att den förhöjda mängden organiskt material nedströms Pauliström till följd av fiberutsläppen tveklöst har lett till förhöjd Hg-metylering både i Svartsjöarna och i Pauliströmsån (Regnéll et al. 2001).

Hög Hg-metylering förekommer även i våtmarker (St. Louis et al. 1994, St. Louis et al. 1996), vilket är en trolig orsak till att MeHg utgjorde så mycket som 16 % av THg vid stationen uppströms Pauliström. I synnerhet våtmarker med nära hydrologisk kontakt med åvatten har stor inverkan på åvattnets koncentration av MeHg (Bishop et al.

1995). Vidare finns anledning att tro att signifikanta mängder MeHg bildas i den så kallade hyporheiska zonen längs ett rinnande vatten (den zon där åvatten och avrinningsvatten blandas) (Regnéll et al. 2009).

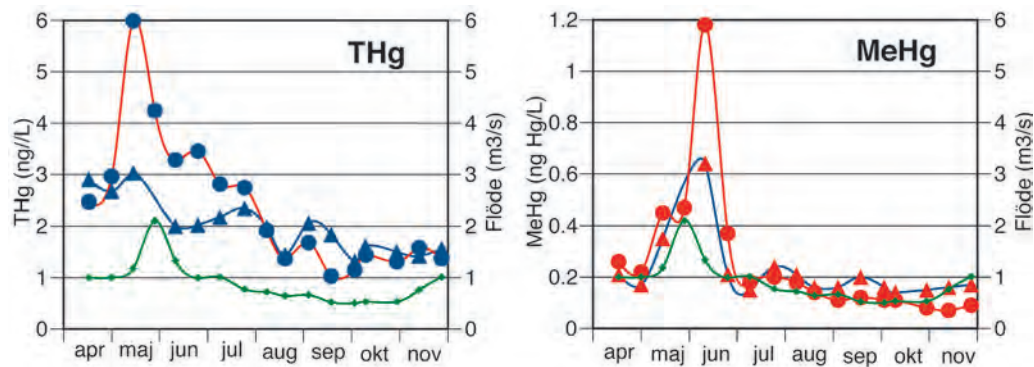
Liksom för THg skedde ett tillskott av MeHg till Pauliströmsån vid passagen genom Övre Svartsjön och en minskning av mängden MeHg vid passagen genom Nedre Svartsjön, vilket resulterade i att Svartsjöarnas nettoeffekt på MeHg-transporten var liten. Det gäller även för MeHg-transporten att det är oklart vilken effekt Svartsjöarna hade haft på denna om sedimenten inte hade varit kontaminerade med fiber och Hg. Inte bara THg utan även MeHg brukar undandras från vidare transport i ett vattensystem när vattendraget passerar en sjö (St. Louis et al. 1994, St. Louis et al. 1996).

En viktig anledning till att MeHg försvinner från vatten är fotokemiskt betingad nedbrytning (Sellers et al. 1996). Troligen rör det sig om en fotofenton reaktion (Hammerschmidt & Fitzgerald 2010). Den ökade uppehållstiden för vatten i ett vattensystem som sjöar orsakar, innebär ökad tid för fotokemisk nedbrytning. Sjöar undandrar MeHg även genom sedimentation och genom upptag av MeHg i organismer (Slotton et al. 1995, Regnéll et al. 1997).

Hg-transporten ner till Emån påverkades som ovan antytts av Hg-föroreningar i Svartsjöarna såväl som av Hg-föroreningar som låg kvar i Pauliströmsån mellan Pauliströms bruk och Övre Svartsjön, mellan Svartsjöarna, samt nedanför Nedre Svartsjön. Hg-föroreningen av åsträckan mellan Pauliström och Övre Svartsjön är så liten att effekten av denna på Hg-transporten är ringa. Den mest kontaminerade åsträckan är den mellan sjöarna, men även åsträckan nedströms Nedre Svartsjön är påverkad och kan ge betydande tillskott till både THg- och MeHg-transporten till Emån. Detta skedde under vårflödet 1996 (Figur 7.34).

Åsträckan mellan sjöarna är visserligen den mest kontaminerade men på grund av att nedströms liggande Nedre Svartsjön undandrar Hg har denna åsträcka mindre effekt på Hg-flödena ner till Emån än åsträckan nedströms N. Svartsjön. Helt klart har Hg-mobiliseringen i Svartsjöarna varit en orsak till att dessa åsträckor fortfarande är Hg-kontaminerade. När det gäller transport av Hg ner till Emån bör dessutom gälla att relativt nytillkommit Hg från Svartsjöarna är mer lättroligt än Hg som legat en längre tid i ån och därmed bundits in hårdare och dessutom överlagrats av nytillkommet material.

Vid höga flöden kan även föroreningar med låg spridningsbenägenhet under normala flöden börja



FIGUR 7.34 Koncentrationer av THg och MeHg i Pauliströmsån strax nedströms Nedre Svartsjön (▲) och strax ovanför utflödet i Emån (●) under 1996 (före åtgärd). Eftersom vattenflödet förändras marginellt mellan stationerna speglar koncentrationsskillnaderna skillnaderna i transport. Grön kurva (nedersta) visar vattenföringen.

röra sig. Ett tydligt exempel på detta var de sedimentförflyttningar som ägde rum i och mellan Svartsjöarna under de extrema flödena i juli 2003. Vattenföringen i Pauliströmsån var då under några dagar 10 ggr högre än medelvattenföringen. Dessutom rådde sommartemperaturer, vilket sannolikt medförde att fibersedimenten destabiliserades av gasbildning.

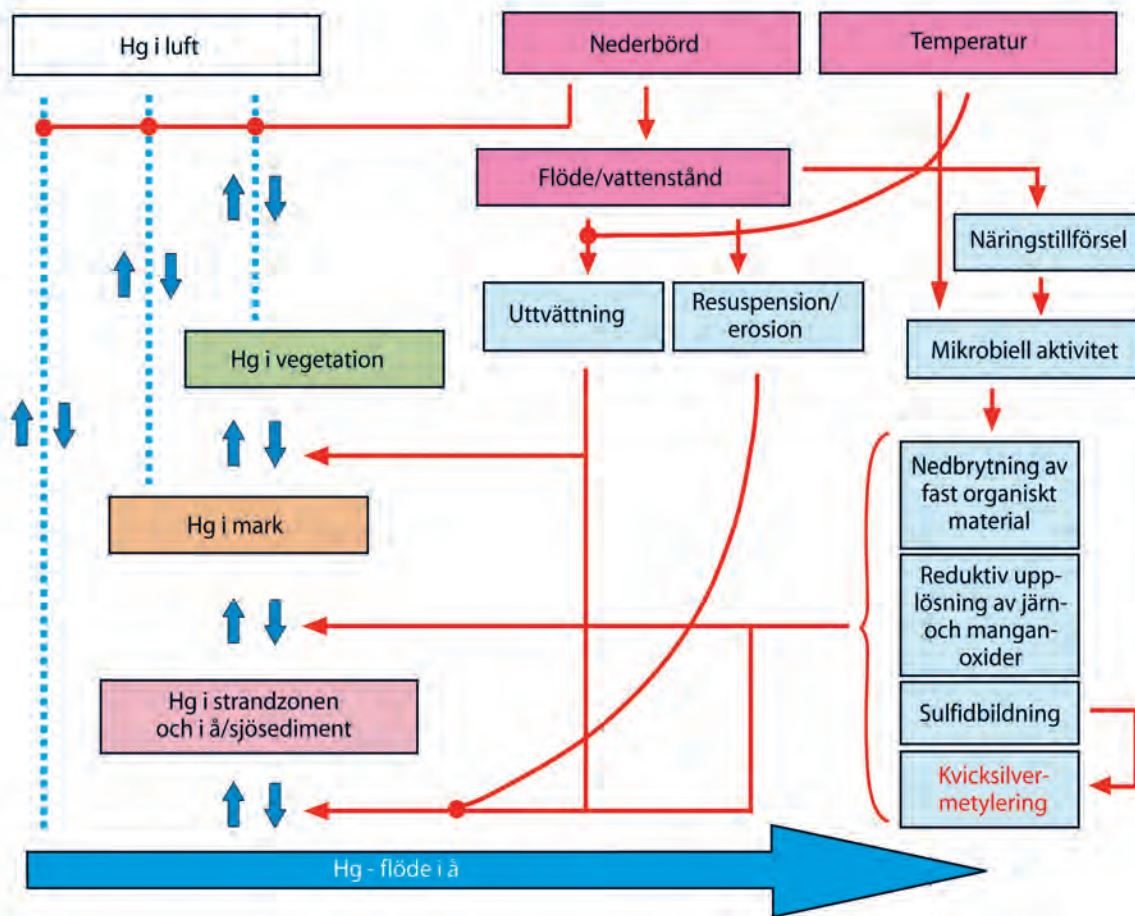
Mikrobiell aktivitet ökar Hg-föreningars spridning (Regnéll et al. 2009). Detta förklaras av att mikroorganismer bryter ner organiskt material till vilket Hg är bundet. Nedbrytningen medför dels att organiskt material övergår till lösta och kolloidala föreningar som lätt transporteras bort och dels till att redoxpotentialen sjunker. Det senare kan medföra upplösning av järn- och manganoxider, sulfidbildning och Hg-metylering, vilket ytterligare ökar kvicksilvrets rörlighet. En annan mikrobiell effekt är gasbildning, vilken kan leda till att fiberstycken lyfter från botten. Följaktligen kan gammalt Hg i fibersediment utgöra en varierande del av den totala Hg transporten i ett vattensystem beroende på vattenföring och temperatur.

Naturligtvis påverkas även tillförseln av atmosfärsdeponerat Hg av vattenflöden, vattenstånd och mikrobiell aktivitet. En stor del av transporten av atmosfärsdeponerat Hg i rinnande vatten förklaras av uttransport av Hg från marken i avrinningsområdet. Denna ökar när vattenflödena ökar och vattennivåerna stiger. Vid höga vattenflöden och höga vattenstånd rör sig vattnet i det översta markskiktet i vilket huvuddelen av det atmosfärsdeponerade kvicksilvret ackumuleras. Ackumulering av atmosfärsdeponerat Hg sker här på grund av hög förekomst av organiskt material. När detta bryts ner av mikroorganismer bildas löst och kolloidalt organiskt material, varvid uttransporten av

Hg till ytvatten ökar. Vid låga vattenflöden och vattenstånd rör sig avrinningsvattnet främst i den underliggande minerogena jorden som innehåller och avger betydligt mindre mängder Hg. I vattensystem med stora sjöar kan direktdepositionen av Hg ha stor inverkan på Hg-transporten (Regnéll et al. 2009). I Figur 7.35 ges en sammanfattande bild av hur nederbörd, vattenflöden och temperatur påverkar Hg-transporten i en å.

Pauliströmsåns vatten tillförs organiskt material från marken inom avrinningsområdet och genom mobilisering av fiber och fiberrester nedströms Pauliström. Detta, tillsammans med direktdeposition av Hg på sjöytorna, förklarar tillförseln av Hg till åvattnet. Det sker samtidigt stora förluster av både organiskt material och Hg genom mineralisering till koldioxid, Hg-förångning, sedimentation och retention i åbankar. Beräkningar för året 2003 tyder på att så mycket som 80 % av allt atmosfärsdeponerat Hg som tillfördes Pauliströmsåns vatten försvann under transporten ner till Emån. Liknande förluster kan tänkas ha skett av Hg som tillfördes genom mobilisering av fiber och fiberrester, troligen något mindre med tanke på att den fiberpåverkade sträckan är kortare och ligger längst ner i systemet. Hg-förluster som förklaras av retention i åbankar och sediment kan emellertid mobiliseras på nytt, främst vid höga flöden men även under perioder med hög mikrobiell aktivitet. Både ökad mikrobiell aktivitet och ökade flöden förklarade troligen den ökning av THg- och MeHg-transporten som skedde mellan utloppet från Nedre Svartsjön och utflödet i Emån under 1996 års vårflöde (Figur 7.34).

En indikation på att organiskt material från fiber och fiberrester mobiliserades och därmed ökade transporten av organiskt material till Emån var högre koncentration av TOC (organiskt kol) i



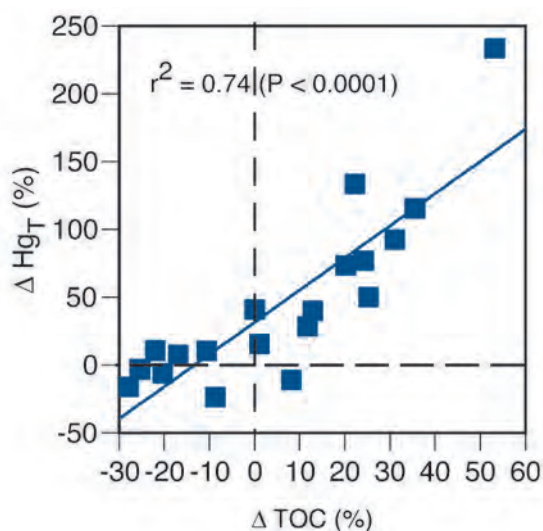
**FIGUR 7.35** Illustration över hur nederbörd, vattenflöden och temperatur styr Hg-flödet i en å. Blå (tjocka) pilar visar Hg-flöden medan röda pilar visar hur olika miljöfaktorer och processer påverkar dessa flöden. Notera att Hg undandras från åvatten genom förångning, sedimentation och retention i åbankar (strandzonen). Se text för vidare förklaring!

vattnet vid stationen strax ovanför utflödet i Emån än vid stationen uppströms Pauliström. Skillnaden i TOC-koncentration kan uttryckas som % av TOC-koncentrationen vid stationen uppströms Pauliström ( $\Delta\text{TOC}$  %). Eftersom fibern är Hg-kontaminerad borde en ökning av TOC-koncentrationen mellan stationerna åtföljas av en ökning av THg-koncentrationen. Så var också fallet för referensåret 2003 (Figur 7.36).

Att betydligt fler  $\Delta\text{THg}$  % -värden än  $\Delta\text{TOC}$  % -värden var positiva och att  $\Delta\text{THg}$  % -värdena var betydligt högre än  $\Delta\text{TOC}$  % -värdena förklaras av att det organiska materialet från fibern är mer Hg-kontaminerat än det organiska materialet från marken i avrinningsområdet. De negativa  $\Delta$ -värdena kan förklaras med att förluster av TOC och Hg under transporten mellan stationerna inte uppvägdes av tillskott av TOC och Hg (Figur 7.36). En viktig slutsats att dra är att mobiliseringen av gammalt Hg från Pauliströms bruk varierade kraftigt

över tiden och var beroende av de förhållanden som rådde i ån. Vid de mätningar som gjordes under 2003 var vattenföringen inte särskilt hög (det extrema högflödet i juli täcktes inte av provtagningarna). Vad som istället förklarade den stora variationen i tillfört Hg nedströms Pauliström var varierande mikrobiell aktivitet. Denna slutsats stöds av att i stort sett allt TOC passerade filter (0,7  $\mu\text{m}$ ). De högsta  $\Delta$ -värdena inträffade efter de extrema flödena i juli. Även andra kemiska signaler indikerade att höga flöden i kombination med hög temperatur gav upphov till hög mikrobiell aktivitet (Regnell et al. 2009).

Av exemplena ovan framgår att det inte är en trivial uppgift att beräkna effekterna av åtgärderna (muddringarna av Svartsjöarna) på transporten av Hg i Pauliströmsån ner till Emån och att huvudledningarna till detta är att tillförseln av både atmosfärsdeponerat Hg och av gammalt Hg från Pauliströms bruk (Hg från fibern) varierar kraftigt



**FIGUR 7.36** Koncentrationsskillnader i procent (ofiltrerat vatten från Pauliströmsån) mellan stationen strax ovanför utloppet i Emån och stationen ovanför Pauliströms bruk vid olika mättillfällen under 2003. Skillnaderna i THg-koncentration är avsatta mot skillnader i TOC-koncentration. De streckade linjerna avskiljer positiva värden (högre koncentration vid stationen strax ovanför Emån) från negativa (högre koncentration vid stationen uppströms Pauliström).

och påverkas starkt av de förhållanden som råder i ån.

Det är en enklare uppgift att fastställa effekterna av åtgärderna på vatten- och sedimentkemin i Svartsjöarna samt på Hg-halten i sjöarnas fisk. När det gäller vattenkemin i sjöarna kan visserligen vattenföringen i Pauliströmsån påverka bland annat syrgashalter och skiktningen av vattenpelarna. Man måste också ta med i beräkningarna att sjöarna har fått en större volym och blivit djupare av muddringen. När det gäller upptaget av Hg i fisk vet man att denna kan variera starkt mellan olika år i en och samma sjö, vilket beror på att Hg-metyleringen och tillförseln av MeHg från omgivningen är väderstyrd (Sorenson et al. 2005).

Genom att Hg i fisk har mätts inte bara i Svartsjöarna utan även i en referenssjö i samma vattensystem ovanför Pauliströmsån kan man korrigera för årstidsvariationer i Hg-upptag orsakade av varierande väder, även om en viss osäkerhet råder om hur lika referenssjön och Svartsjöarna påverkas av väderförhållanden i detta avseende. Eftersom samvariationen är stark mellan referensstationen ovanför Pauliströms bruk och stationen strax ovanför utflödet i Emån vad gäller MeHg koncentrationen i Pauliströmsåns vatten ( $r^2 = 0,81$ ) (Regnéll et al. 2009) kan man anta att mängden MeHg i sjöarna påverkas på ett likartat sätt av väderförhållanden.

Rapporten inleder med ett avsnitt om sediment, eftersom borttagandet av Hg-förorenat fibersediment utgör grunden för de effekter man har velat uppnå, det vill säga lägre Hg-flöden, lägre Hg metylering och lägre upptag av Hg i fisk och övriga organismer. Därefter redogörs för skillnader mellan före och efter åtgärden vad gäller:

- Hg-halter i sedimenterande partiklar, fisk och zooplankton i Svartsjöarna
- MeHg- och THg-koncentrationer samt övrig vattenkemi i Svartsjöarna
- Hg-halter i sedimenterande partiklar i Pauliströmsån
- Hg-flöden och relaterad vattenkemi i Pauliströmsån

För varje av dessa punkter förs resonemang om i vilken utsträckning uppmätta skillnader mellan före och efter åtgärd kan tillskrivas borttagandet av Hg-kontaminerat fibersediment i Svartsjöarna. Resonemang förs kring framtidens Hg-flöden och upptag av Hg i fisk. Rapporten avslutas med förslag till uppföljningsstudier som kan besvara frågor som uppkommit under analysen samt slutsatser om effekterna av åtgärden.

## 7.5.2 Hg OCH FIBER I SVARTSJÖARNAS BOTTENSEDIMENT

Styrande för muddringarna i Ö. Svartsjön och N. Svartsjön var att avlägsna allt fibersediment som innehöll högre Hg-halter än 0,1 mg Hg/kg ts. Hg-halten i sedimenterande material uppströms Pauliström (vid station PÅ 1) var  $0,11 \pm 0,02$  mg Hg/kg ts (medel  $\pm 1$  standardavvikelse,  $n = 9$ ) under referensåret 2003 och  $0,12 \pm 0,01$  mg Hg/kg ts ( $n = 8$ ) under 2009. Således överensstämmer den valda gränsen för acceptabel Hg-koncentration i Svartsjöarnas fiberpåverkade sediment med de lokala bakgrundskoncentrationerna. Det vore omotiverat att välja en lägre gräns, eftersom Hg-halten i yt-sedimentet efter några år skulle återgå till den lokala bakgrundskoncentrationen. Naturvårdsverket anger bakgrundshalten 0,16 mg Hg/kg ts för sjösediment i södra Sverige (Naturvårdsverket 2008).

Enligt en sedimentkartering av Svartsjöarna utförd 1997 sammanföll de högsta Hg-halterna med förekomst av icke nedbrutna färgade och ljusa fiber. Dessa lokaliserades främst till de centrala delarna av Ö. Svartsjön och sträckte sig vertikalt från ca 1 m till 4 m under sedimentytan (von Post 1997). Viss förekomst av ljus och färgad fiber noterades emellertid längs stränderna norr om huvudförekomsten i centrala delen av sjön. Även åren efter muddringarna kunde sådan fiber ibland ses längs dessa stränder, men inte vid en efterkontroll hösten 2009. Troligen bryts fibern ner relativt snabbt och finfördelas i den syrerika strandzonen.

Det är av stor vikt att avlägsna icke nedbrutna fiber, eftersom mikroorganismer som bryter ner dessa ger upphov till MeHg. Kraftigt nedbrutna fiber är relativt harmlösa, eftersom det kvarvarande kolet i begränsad omfattning kan utnyttjas av mikroorganismer (Regnéll et al. in prep).

I N. Svartsjön muddrades endast den norra och djupare delen av sjön som ligger närmast Ö. Svartsjön (bilaga 3). Det var i denna del av sjön som delvis icke nedbrutna fiber förekom. I den södra delen av sjön innehöll (och innehåller) sedimenten naturligt organiskt kol med inblandning av organiskt kol från helt nedbruten fiber. Hg-halterna i ytsedimentet i den södra delen av sjön är betydligt högre än den satta gränsen 0,1 mg Hg/kg ts för den norra delen av sjön och ligger i intervallet 0,5–1,5 mg Hg/kg ts enligt mätningar från 1996 och 1999. MeHg-halterna är emellertid låga och en riklig förekomst av järn- och manganoxider i ytsedimentet motverkar att MeHg läcker ut i vatten (se nedan).

Förhållandena i ytsedimentet är kritiska eftersom Hg metyleringen i sediment normalt sker i och strax under sedimentytan. Det är också främst från ytsediment som både Hg och MeHg mobiliseras. Utöver att nedbrytningen av fiber leder till Hg-metylering ökar sedimentets erosionskänslighet när fibern bryts ner. I Nötöfjärden utanför Påskallavik, Kalmar län, var nedbrytningen av fiber och Hg-metyleringen i stort sett begränsad till den översta decimetern sediment (Regnéll et al. in prep).

Hg sprids från bottensediment till vattenmassan huvudsakligen genom resuspension av sedimentpartiklar. Spridning genom diffusion av lösta eller kolloidala Hg-fraktioner är sällan mer än marginell. Däremot kan frigivning av Hg från sedimentterande partiklar, vilka helt eller delvis kan utgöras av partiklar som resuspenderats från botensedimenten, leda till betydande uppbyggnad av Hg och MeHg i en sjös vattenmassa under termoklinen. Beroende på termoklinens läge, redoxförhållandena i vattenpelaren och vattenpelarens längd kan huvuddelen av frigivningen och metyleringen av Hg ske en bit upp i vattenpelaren eller strax ovanför sedimentytan.

Bioturbation (omrörning av sediment av bottenlevande djur) kan innebära att föroreningar på någon decimeters djup transporteras uppåt i sedimentet (Josefsson et al. 2010). För att försäkra sig om att sediment inte är en källa till spridning av föroreningar kan man därför se till att kvarvarande sediment är rent ner till någon decimeters djup. Troligen är bioturbationen av fibersediment starkt begränsad. Snarare är det gasbildning som orsakar omlagringar.

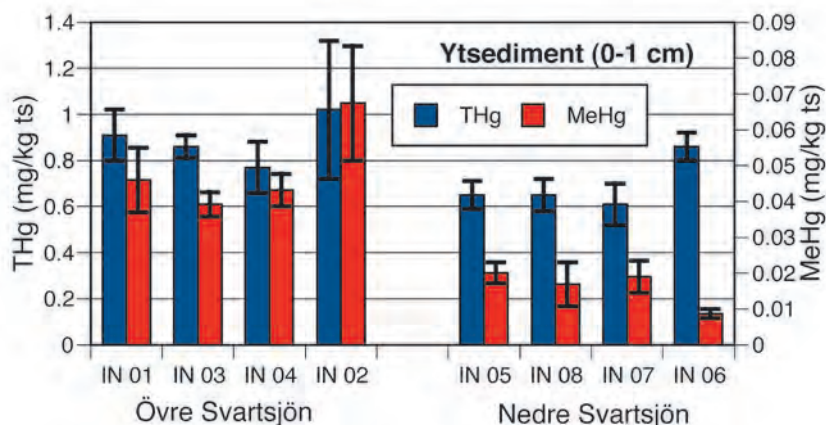
Avverkningskikten i Ö. Svartsjön och i den norra delen av N. Svartsjön hade en tjocklek av 40 cm vid muddringen av Svartsjöarna, Därför mättes Hg-halten i mixade sedimentkärnor av längden 40 cm både före och efter muddringarna. En fördel med detta är att man kan beräkna mängden borttagen Hg. En annan fördel är att man efter åtgärd har en viss kontroll på Hg-halten ner till ett djup av 40 cm under sedimentytan. En nackdel är att man inte kan vara säker på att Hg-halterna i ytsedimentet underskred den satta gränsen på 0,10 mg Hg/kg ts.

#### **Uppmätta THg- och MeHg-halter i Svartsjöarnas sediment före åtgärd**

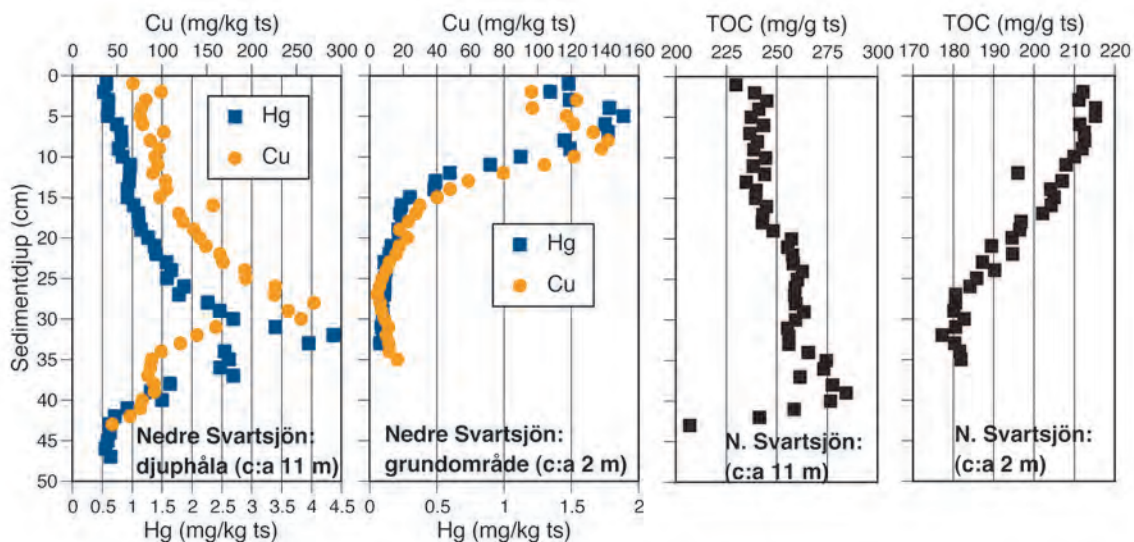
Den första provtagningen av sediment före åtgärd ägde rum under 1996. Då togs ytsedimentprover (0–1 cm) från 4 stationer i respektive sjö vid nio tillfällen. THg-analyserna som utfördes av IVL i Stockholm är något osäkra, på grund av ofullständiga utbyten av Hg vid bestämning av certifierade referensmaterial. Resultaten korrigerades emellertid för detta. De resulterande halterna överensstämde väl med de Hg-halter som senare uppmättes i sedimentkärnor från N. Svartsjön 1999 och i skiktet 0–40 cm inför muddringarna i båda sjöarna (se nedan). THg i dessa prov bestämdes av IVL i Göteborg som använder en uppslutningsmetod som ger fullständiga utbyten av Hg.

I Ö. Svartsjön var THg-halterna i ytsedimentet tämligen lika mellan de olika stationerna, men MeHg-halterna var högst på stationen med lägst vattendjup nära Pauliströmsåns inflöde. Troligen är läckaget av MeHg från sediment med permanent oxiderat ytskikt lägre än från sediment med periodvis reducerat ytskikt. Dessutom kan Hg-metyleringen under ett oxiderat ytskikt vara högre än i sediment vars ytskikt är reducerat (Regnéll et al. 2001) I N. Svartsjön var THg-halterna högst och MeHg-halterna lägst på stationen med lägst vattendjup. MeHg-halterna var markant högre i Övre Svartsjön än i Nedre Svartsjön (Figur 7.37).

Det finns två sannolika förklaringar till att de högsta THg-halterna i N. Svartsjön uppmättes på den grunda stationen. En är att det sker förluster av Hg från partiklar i samband med att järn- och manganoxider reduceras och upplöses vid låga redoxpotentialer. Sådana förhållanden uppstår inte vid den grunda stationen, eftersom sedimentytan alltid ligger över termoklinen. Följdenligt var järnhalterna högre på den grunda stationen IN 06:  $57 \pm 9$  g Fe/kg ts än på de övriga stationerna IN 05:  $42 \pm 7$ , IN 08:  $40 \pm 2$ , IN 07:  $39 \pm 3$  g Fe/kg ts. Detta gällde även manganhalterna (data visas ej). Den andra förklaringen är att ett lägre vattendjup medför lägre nettosedimentation och därmed mindre överlagring med renare material efter att Hg-



**FIGUR 7.37** Halter av THg och MeHg i ytsediment (0-1 cm) från fyra stationer i respektive sjö. Stationerna är arrangerade efter vattendjup med det största vattendjupet till vänster. Medelvärden  $\pm 1$  standardavvikelse visas för dessa stationer. Vid varje provtagnings togs i allmänhet 5 prover/station som analyserades separat. Prover togs vid nio tillfällen från stationerna med störst respektive lägst vattendjup i respektive sjö under perioden 3 maj – 2 december 1996. För "mellanstationerna" togs prover den 20 augusti och den 10 oktober. Vattendjup: IN 01 = 7,2 m; IN 02 = 2 m; IN 03 = 5,5 m; IN 04 = 3,1 m; IN 05 = 12,1 m; IN 06 = 2,7 m; IN 07 = 6 m; IN 08 = 9 m.



**FIGUR 7.38** Vertikala koncentrationsprofiler för THg, Cu och organiskt kol (TOC) i sedimentkärnor tagna i N. Svartsjön hösten 1999. Den ena kärnan togs i djuphålan och den andra på ett grundområde söder om djuphålan.

utsläppen upphörde. Att så var fallet framgår när man studerar och jämför de vertikala Hg-profiler som uppmättes i N. Svartsjön hösten 1999, varav en togs från djuphålan och en från ett grundområde söder om denna (Figur 7.38).

Av vikt är att Hg och Cu uppvisade mycket likartade vertikala koncentrationsprofiler (Figur 7.38). Detta tyder på att fibern var behandlad både med Cu (troligen kopparsulfat) och Hg (troligen fenylkvicksilveracetat). Av koncentrationsprofilerna i

djuphålan att döma varierade dock förhållandet mellan Cu och Hg en del över tiden. Stark korrelation mellan Hg och Cu har noterats även för sederterande material i Pauliströmsån nedströms Pauliström och i Svartsjöarna (se nedan). Man kan därför använda koppar som en "tracer" för Hg som kommer från fiber. En möjlig anledning till att fibern behandlades både med Hg och Cu är att dessa kan samverka i hämningen av mikrobiell aktivitet.

Övre Svartsjön										
Nivå i sediment (cm)	Omr. 1	Omr. 2	Omr. 3	Omr. 4	Omr. 5	Omr. 6	Omr. 7	Omr. 8	Omr. 9	Omr. 10
	-----Hg (mg/kg ts)-----									
0-40	0.88	1.20	1.20	1.50	0.71	1.50	0.75	1.10	1.10	0.78
40-80	0.85	0.41	1.50	1.80	0.37	1.60	0.32	0.65	1.00	0.30
80-120	0.23	0.15	2.10	1.00	0.10	2.00	0.10	0.46	0.14	0.07
120-160	0.10		1.20	0.63	0.07	1.60	0.07	0.09	0.07	0.07
160-200	0.08	0.07	0.74	0.57	0.06	1.40	0.07	0.07		0.04
200-240	0.09	0.08	0.35	1.00	0.07	1.20	0.09		0.10	0.11
240-280	0.07	0.06	2.50	0.45	0.08	0.57	0.07	0.08	0.06	0.05
280-320	0.05	0.06	0.14	0.13	0.07	0.10	0.06	0.07	0.08	0.07
320-360	0.06	0.06	0.25	0.13	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07
360-400	0.07	0.07	-	0.08	0.07	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04
400-440			0.10	0.11	0.08			0.08		
440-480			0.07	0.07	0.07			0.06		
Muddrad yta:	10800	7700	9620	8000	6640	8000	7200	12600	10400	15500
Muddrad volym:	12960	9240	38480	28800	5312	22400	5760	15120	12480	12400

Nedre Svartsjön									
Nivå i sediment (cm)	Omr. 11	Omr. 12	Omr. 13	Omr. 14	Omr. 15	Omr. 16	Omr. 17	Omr. 18	Omr. 19
	-----Hg (mg/kg ts)-----								
0-40	0.41	0.67	*0.37	0.8	0.67	0.92	0.83	0.75	0.26
40-80	0.21	0.32	*0.03	0.33	0.2	0.93	0.38	0.31	0.077
80-120	0.08	0.083	-	0.0975	0.083	0.2	0.12	0.082	0.062
120-160	0.069	0.097	-	0.065	0.08	0.089	0.069	0.088	0.046
Muddrad yta:	21000	15150	13800	18900	12750	10800	9800	15200	15150
Muddrad volym:	16800	12120	11040	15120	10200	12960	11760	12160	6060

\* Värdena för område 13 baseras på prover som togs under den första sedimentkarteringen 1997. Troligen är dessa halter underskattningar av de verkliga halterna, eftersom uppslutningsmetoden som då användes kan antas ha lett till en icke fullständig extraktion av Hg.

**TABELL 7.5** Muddrade skikt i Svartsjöarna inom de olika delområdena (gråmarkerade) och Hg-halter i dessa och i underliggande skikt. Kvarlämnade skikt med halter > 0,1 mg Hg/kg ts är markerade med gult. Delområdenas yta och den volym sediment som avverkades inom varje delområde är angivna. Hg-halterna i Ö. Svartsjön bestämdes i prover som togs i oktober 2004 och de i N. Svartsjön bestämdes i prover som togs i mars 2005.

THg-halten i ytsedimentet på den grunda provtagningsplatsen överskred 1 mg Hg/kg ts (Figur 7.38). Man får därmed förmoda att halter kring 1 mg Hg/kg ts är allmänt förekommande i ytsediment i den södra och mest grunda delen av N. Svartsjön. Däremot är troligen MeHg-halterna överlag låga i detta sediment (Figur 7.37). Dessutom utgör järn- och manganoxider i oxiderat yt-sediment en diffusionsspärr för både MeHg och oor-

ganiskt oxiderat Hg (Regnéll et al. 1996, Muresan et al. 2007). En möjlig risk med att relativt höga Hg-halter har kvarlämnats i ytsediment i den grunda delen av N. Svartsjön, som dock bedöms som liten, är att kraftiga vindar leder till resuspension av sedimentpartiklar. Dessa består delvis av järn- och manganoxider som har sorberat organiskt material och därmed även Hg. Om de sedimenterar ner i sjöns djupare delar eller transporte-

ras nedströms och inlagras i Pauliströmsåns sediment och sidoslänter finns risk att de påverkas av anaerob mikrobiell aktivitet och att kvicksilvret därmed frigörs och metyleras.

De högsta THg-halterna (och Cu-halterna) uppmättes ca 30 cm ner i sedimentkärnan från djuphålan (Figur 7.38). THg-halten 4,4 mg Hg/kg ts på sedimentdjupet 32 cm var den högsta som har uppmätts i Svartsjöarnas sediment under projekttiden (1996–2010). Det var troligen nedbrutna fiber som gav upphov till de höga THg-halterna i N. Svartsjöns djuphåla, eftersom ingen intakt fiber kunde ses. Nedbruten fiber är mer lätttrölig än intakt fiber och har troligen utgjort huvuddelen av det exporterade organiska materialet från Ö. Svartsjön. THg-halterna ökar när fibern bryts ner om torrsubstansen i minskar proportionellt sett mer än Hg-mängden (Regnéll et al. in prep). Det är möjligt att liknande Hg-halter fanns i Ö. Svartsjön på de nivåer i sedimentet som innehöll nedbruten färgad och/eller ljus fiber (von Post 1997).

TOC-halterna visade i stort sett samma vertikala mönster som Hg, vilket förklaras av att fiberutsläppen förhöjde både Hg-halten och den organiska halten i sedimentet. Den organiska halten verkar dock ha ökat före Hg-halten, vilket rimligen förklaras av att den första fibern som släpptes ut inte var Hg-kontaminerad (Figur 7.38). Användandet av fenyl-Hg för att förhindra mikrobiell påverkan på fibern började troligen på 40-talet. De nedersta skikten av sedimentkärnan från grundområdet tycks spegla de naturliga TOC- och Hg-halterna. Möjligen underskattar man den naturliga TOC-halten något, eftersom en viss nedbrytning av det organiska materialet troligen har ägt rum i sedimentet. Om man bortser från detta var den

naturliga TOC-halten ca 180 mg C/g ts och den naturliga THg-halten ca 0,08–0,1 mg Hg/kg ts.

#### Uppmätta THg-halter i Svartsjöarnas sediment inför och efter muddringarna

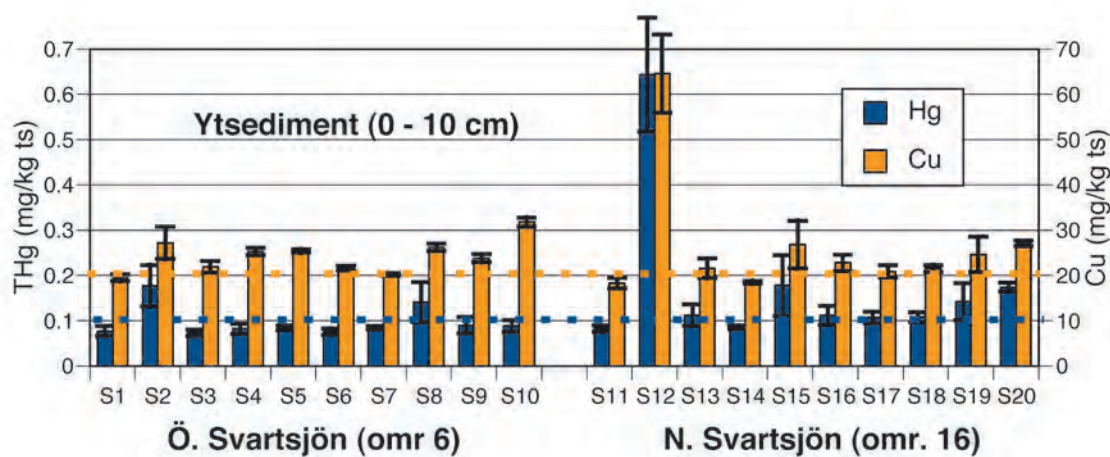
Inför muddringarna mättes THg-halten i avverkningsskikt av tjockleken 40 cm. Ö. Svartsjön och N. Svartsjön delades upp i 10 respektive 9 delområden. Områdesindelningen baserades på antalet avverkningsskikt som krävdes för att komma ner till THg-halten 0,1 mg Hg/kg ts (Tabell 7.5). Preliminära delområdesgränser bestämdes vid sedimentkarteringen 1997. Denna visade att höga Hg-halter sammanföll med förekomst av färgade och ljusa fiber (von Post 1997). Områdesindelningen i Ö. Svartsjön ändrades sedan något medan delområdesgränserna behölls i N. Svartsjön (bilaga 3). Hg-halten i de olika 40 cm-skikten bestämdes i varje delområde genom att prover togs i ett rutnät med 30 m mellan proverna. Alla prover från samma 40 cm-skikt slogs ihop till ett samlingsprov.

Vid kontroll av Hg-halterna i skiktet 0–40 cm efter avslutad muddring fann man att dessa något överskred de satta gränserna för delområde 1 och 5 i Ö. Svartsjön. Man utförde därför muddring av ytterligare ett skikt på 40 cm i dessa delområden. Efter de kompletterande muddringarna låg halterna i skiktet 0–40 cm under eller i linje med de satta gränserna för acceptabel Hg-halt efter muddring för samtliga delområden (Tabell 7.6).

Utifrån de halter som anges i Tabell 7.5 och utifrån de densitets- och torrviktsbestämningar som utfördes vid sedimentkarteringen 1997 kan man räkna ut hur mycket Hg som togs bort i respektive sjö. Man kommer då fram till att 10 kg

Ö. Svartsjön			N. Svartsjön		
Delområde	Sedimentskikt	mg Hg/kg ts	Delområde	Sedimentskikt	mg Hg/kg ts
1	0 - 40 cm	0.0935	11	0 - 40 cm	0.082
2	0 - 40 cm	0.135	12	0 - 40 cm	0.115
3	0 - 40 cm	0.106	13	0 - 40 cm	0.07
4	0 - 40 cm	0.082	14	0 - 40 cm	0.094
5	0 - 40 cm	0.065	15	0 - 40 cm	0.075
6	0 - 40 cm	0.119	16	0 - 40 cm	0.095
7	0 - 40 cm	0.1	17	0 - 40 cm	0.089
8	0 - 40 cm	0.088	18	0 - 40 cm	0.097
9	0 - 40 cm	0.081	19	0 - 40 cm	0.092
10	0 - 40 cm	0.091			

TABELL 7.6 Hg-halter i det översta 40-cm skiktet för de olika delområdena efter att delområdena 1 och 5 eftermuddrats och muddringen godkänts av länsstyrelsen.



**FIGUR 7.39** THg-halter och Cu-halter i ytsediment (0–10 cm) från de djupaste delarna av Ö. Svartsjön och N. Svartsjön. Varje 1-cm skikt analyserades. I figuren anges medelvärden av koncentrationerna i de olika 1-cm skikten  $\pm 1$  standardavvikelse. Den streckade blå linjen (nedersta) visar halten 0,1 mg Hg/kg ts, vilket är den halt som skulle underskridas efter muddringarna. Den streckade orangea linjen (översta) visar bakgrundshalten för Cu i sjösediment i södra Sverige (20 mg Cu/kg ts).

Hg togs bort från Ö. Svartsjöns sediment och 3,3 kg Hg från N. Svartsjöns sediment. Hg-mängderna som togs bort vid eftermuddringen av delområdena 1 och 5 i Ö. Svartsjön kan beräknas till 80 g om man antar att densiteten var 1 (ett) och torrsubstanshalten var 0,07 (baserat på genomsnitt från sedimentkarteringen från 1997) för de avverkade skikten.

Av praktiska skäl var man tvungen att ha en släntlutning mellan de olika delområdena, vilket innebär att borttagningen av sediment skiljer sig något från vad som anges i Tabell 7.5. Osäkerheten i beräkningarna av borttagna Hg-mängder ligger emellertid främst i att spridningen i Hg-halterna i horisontalld inom de olika delområdena är okänd, vilket är en följd av att de olika delproven slogs ihop till samlingsprov. Borttagen mängd Hg är emellertid av mindre betydelse. Viktigare är att de Hg-halter som nu föreligger i sjöarnas ytsediment verkligen är så låga som har antagits utifrån den kontroll som gjordes efter att muddringarna avslutats (Tabell 7.6). Det är också viktigt att icke nedbrutna fiber inte föreligger i de ytliga sedimenten, eftersom nedbrytning av dessa leder till syrgasförbrukning och Hg-metylering.

De uppskattade sjövolymerna före åtgärd var för Ö. Svartsjön: 285 000 m<sup>3</sup> och för N. Svartsjön 798 000 m<sup>3</sup>. Framtagna djupkartor efter åtgärd anger att Ö. Svartsjön har volymen 471 000 m<sup>3</sup> och N. Svartsjön 1 013 000 m<sup>3</sup> (bilaga 4). Volymen sediment som enligt beräkningarna har tagits bort är för Ö. Svartsjön 170 000 m<sup>3</sup> och för N. Svartsjön 108 000 m<sup>3</sup> (Tabell 7.5). Volymen borttaget sediment stämmer hyfsat överens med Ö.

Svartsjöns volymsökning (den senare är 9 % större än den beräknade volymen av det borttagna sedimentet), men för N. Svartsjön är volymsökningen nästan dubbelt så stor som den beräknade volymen av det borttagna sedimentet. Troligen var N. Svartsjöns angivna volym före åtgärd en underskattning.

Någon heltäckande undersökning av ytsedimentens Hg- och fiberinnehåll efter åtgärden har inte gjorts. I början av år 2009 togs emellertid från is tio sedimentproppar 0–10 cm från område 6 i Ö. Svartsjön som ligger centralt och inkluderar de största djupen. Från område 16 som inkluderar de största djupen i N. Svartsjön togs en sedimentpropp 0–50 cm och nio sedimentproppar 0–10 cm. Samtliga sedimentproppar (20 st) analyserades med avseende på THg, ett antal andra tungmetaller (inklusive Cu), total-C, glödförlust, totalkväve, totalsvavel i varje 1-cm skikt.

Hg-halten 0,1 mg Hg/kg ts överskreds i två ytsedimentprover (0–10 cm) av tio i Ö. Svartsjön och i fyra av tio i N. Svartsjön. I N. Svartsjön var Hg-halten i ett fall betydligt högre än 0,1 mg Hg/kg ts. För detta prov var även Cu-halten förhöjd, vilket visar att kvicksilvret kom från fiber (Figur 7.39). Uppenbarligen förekommer högre Hg-halter än 0,1 mg Hg/kg TS i ytsediment i de muddrade delarna av båda sjöarna. Undersökningen tyder ändå på att Hg-halterna i Ö. Svartsjöns ytsediment överlag har sänkts med ca en faktor 10 och att ytsedimenten i den muddrade delen av N. Svartsjön sänkts med ca en faktor 5.

Cu-halterna låg nära den halt som Naturvårdsverket anger som bakgrundshalt för sjöar i södra

Sverige (20 mg Hg/kg ts), utom för det fiberinnehållande provet i N. Svartsjön (Fig. 7.39).

Ytterligare en kontroll av sediment utfördes hösten 2009. Avsikten med denna var att fastställa Hg-halten i sediment i den norra tarmen av Ö. Svartsjön som låg utanför det muddrade området samt i sediment i Pauliströmsån mellan Svartsjöarna som inte heller omfattades av åtgärden. I den norra tarmen låg THg-halten på 0,18 ng Hg/kg ts i ytsedimentet (0–10 cm) och på 0,14 ng Hg/kg ts i skiktet 0–40 cm. THg-halterna var högre i åsedimentet mellan sjöarna: 0,12–0,77 mg Hg/kg ts i ytsedimentet (0–5 cm) och som högst 0,87 mg Hg/kg ts i skiktet 25–35 cm. Cu-halten låg på 23–25 mg Cu/kg ts i den norra tarmen och på 24–72 mg Hg/kg ts i åsedimentet mellan sjöarna.

Uppenbarligen ligger Hg- och Cu-kontaminerade fiberrester kvar i åsedimentet mellan sjöarna, men mängden sediment är så pass begränsad att effekterna av dessa på N. Svartsjöns belastning troligen är små och ännu mindre på transporten av Hg ner till Emån.

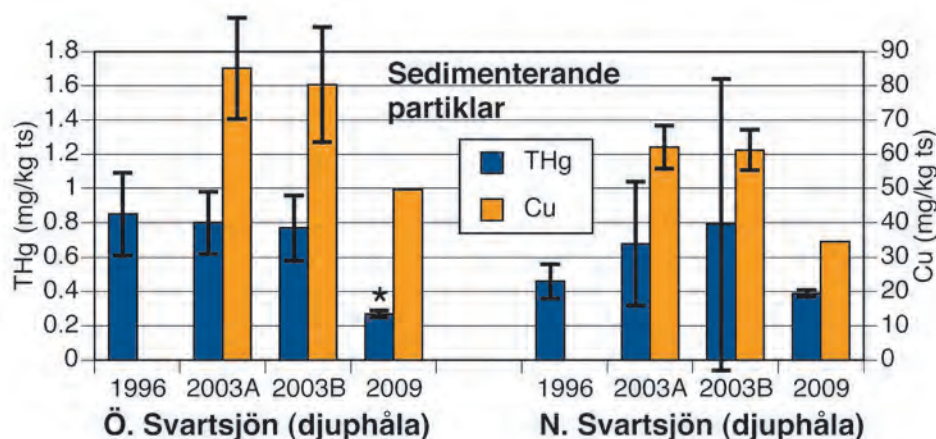
### 7.5.3 Hg I SEDIMENTERANDE MATERIAL I SVARTSJÖARNA

Före åtgärd (åren 1996 och 2003) mättes Hg-halten i sedimenterande partiklar vid flera stationer i Svartsjöarna. Under efterkontrollen 2009–2010 var sedimentfällor utplacerade endast över sjöarnas djuphålor (station ÖSF 2 respektive NSF 2). Här kommer därför främst sedimentation över djuphålorna att behandlas. Helt kort kan nämnas att Hg-halten i partiklar som sedimenterade ner i djuphålan i Ö. Svartsjön var högre än på andra platser i sjön och låg nära Hg-halten i sjöns ytsediment. I N. Svartsjön var Hg-halten i det sediment-

terande materialet mindre varierande mellan stationerna, med en tendens till högre halter över djuphålan. Generellt bör gälla att Hg-halter i partiklar som sedimenterar ner i djuphålan utgör ett bra mått på sjöns Hg-belastning.

För referensåret 1996 var THg-halten i sedimenterande partiklar klart högre i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön. Under oktober 2003 var emellertid THg-halterna mycket höga i båda fällorna (A och B) i N. Svartsjöns djuphåla: 1,7 respektive 3,3 mg Hg/kg ts. Möjligen var det höstcirkulationen som virvlade upp finpartikulärt material från sedimenten som sedan återsedimenterade. Helt säkert påverkades Hg-sedimentationen i N. Svartsjön av de kraftiga flödena i juli månad som ledde till mobilisering av fibersediment i Ö. Svartsjön. Hg-halterna i fällan mellan sjöarna (PSF 3) och i fällan i N. Svartsjön nära Pauliströmsåns utflöde (NSF 1) uppvisade liknande förändring över tiden, vilket indikerade att det skedde en transport av Hg-bärande partiklar från Ö. Svartsjön till N. Svartsjön (data visas ej).

För Ö. Svartsjön var THg-halterna i sedimenterande partiklar signifikant lägre efter åtgärd än före åtgärd (Figur 7.40). Medelhalten var 0,27 mg Hg/kg ts efter åtgärd (2009). Trots en påtaglig reduktion jämfört med tidigare Hg-halter i sedimenterande material är denna Hg-halt högre än i ytsediment från djuphålan efter åtgärd, vilken låg kring 0,1 mg Hg/kg ts (Figur 7.39). Av praktiska skäl kunde inte hela strandzonen muddras. Det är möjligt att partiklar från littoralen (strandzonen) med förhållandevis höga Hg-halter utgjorde en del av de sedimenterande partiklarna. Ökad bottenlutning från littoralen till följd av muddringarna kan ha medfört ökad partikeltransport i riktning



FIGUR 7.40 THg- och Cu-halter i fallande sediment över Svartsjöarnas djuphålor. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse. A och B markerar parallella fällor. Under 1996 mättes inte Cu-halten. Under 2009 (efter åtgärd) mättes Cu-halten endast i ett prov från respektive sjö. \* Signifikant lägre THg-halt efter än för 1996, 2003A och 2003B ( $P < 0.0001$ , ANOVA).

mot djuphålan (sedimentfokusering). Det är också möjligt att framförallt mindre partiklar med relativt hög Hg-halt resuspenderas och sedan återsedimenteras. I vilket fall som helst indikerar de högre Hg-halterna i sedimenterande partiklar än i det muddrade ytsedimentet att Hg-halterna kan komma att öka något i Ö. Svartsjöns ytsediment.

För N. Svartsjön var THg-halterna i sedimenterande partiklar inte signifikant lägre efter åtgärd än före åtgärd ( $P > 0,05$ ) (Figur 7.40). Dock låg halterna stadigt kring 0,4 mg Hg/kg ts efter åtgärd till skillnad från referensåret 2003, under vilket vid ett tillfälle THg-halterna var mycket höga (se ovan). Medelhalten 0,4 mg Hg/kg ts efter åtgärd är högre än i nio av tio ytsedimentprov från N. Svartsjöns djuphåla från samma år (Figur 7.39). Dessutom var THg-halten i sedimenterande partiklar efter åtgärden signifikant högre i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön ( $P < 0.0001$ , oparat t-test). Den högre Hg-halten i fallande sediment i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön kan möjligen förklaras av att en större del av N. Svartsjön än av Ö. Svartsjön inte har sanerats. Liksom för Ö. Svartsjön kan den ökade bottenlutningen mellan grunda och djupa delar av sjön ha medfört en ökad partikeltransport från ej sanerade sediment till djuphålan. Oavsett om detta är förklaringen, eller om det rör sig om återsedimentation av fina partiklar med hög Hg-halt, gäller även för N. Svartsjön att Hg-halten i de sanerade ytsedimenten troligen kommer att öka något.

Cu-halten mättes enbart vid ett tillfälle efter åtgärd (2009) i det sedimenterande materialet i Svartsjöarna. Det finns därför inget tillräckligt underlag för att bedöma om Cu-halterna i det sedimenterande materialet har påverkats av muddringarna (Figur 7.40).

#### 7.5.4 Hg, MeHg, Cu OCH ÖVRIG VATTENKEMI I SVARTSJÖARNAS VATTEN

Före muddringarna var var Svartsjöarnas vattenkemi starkt påverkad av den Hg-kontaminerade cellulosafibern i sedimentet, i synnerhet bottenvattnets vattenkemi. Det var främst fiber av låg nedbrytningsgrad som orsakade syretäring, sulfidbildning och Hg-metylering.

När sjöars vattenmassor skiktas sker en isolering av bottenvattnet. Isoleringen leder till en gradvis förändring i bottenvattnets vattenkemi i förhållande till vattenkemin i ytvattnet ovanför termoklinen. I synnerhet under sommaren leder syretärande mikrobiella nedbrytningsprocesser i kombination med låg syresättning till att anaeroba förhållanden kan uppstå. Skiktningen medför också att kontakten med sedimentet ger större effekt på bottenvattnet än när hela vattenmassan är omblandad och denna effekt späds ut.

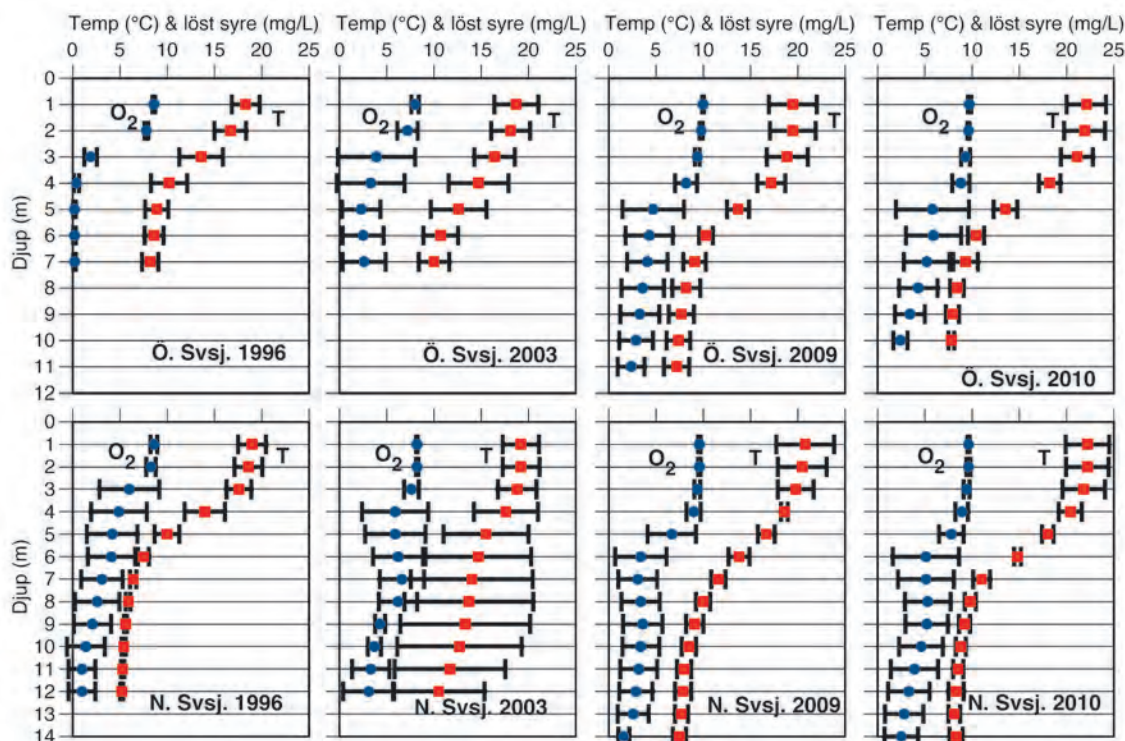
Mikrobiella nedbrytningsprocesser och anaeroba förhållanden leder till att Hg frigges från organiskt material och bildar  $HgS_{(s)}$  som står i jämvikt med  $Hg(SH)_2$ , vilket troligen är det Hg-komplex som metyleras. Möjligen kan även HgS i form av nanopartiklar metyleras (Deonarine & Hsu-Kim 2009). Dessa processer medför att både THg- och MeHg ökar i bottenvattnet under sommaren i termiskt skiktade sjöar. Bakteriers upptag av  $Hg(SH)_2$  sker troligen på grund av att komplexet är neutralt och relativt hydrofobt. Metyleringen av  $Hg(SH)_2$  till  $CH_3HgSH$  gör att bakteriecellen lättare gör sig av med kvicksilvret. Man bör dock vara öppen för att Hg-metylering kan ske på flera olika sätt och av olika anledningar. En viss ökning av THg och MeHg i bottenvattnet kan förekomma även när islagda sjöar är termiskt skiktade, men i betydligt mindre utsträckning, eftersom den låga temperaturen hämmar den mikrobiella aktiviteten.

Sulfatreduktion (sulfidbildning), vilken orsakar Hg-metylering, sker både i den anoxiska vattenmassan och i sedimentet. I början på året sker Hg-metyleringen främst i sedimentet, men i takt med att hypolimnion blir anoxiskt under sommaren i termiskt skiktade sjöar ökar metyleringen i vattenmassan och avtar i sedimentet. Generellt gäller att zonen för Hg-metylering följer efter när zonen för anaerob nedbrytning av organiskt material flyttas uppåt. Förekomsten av organiskt material i den anoxiska delen av vattenpelaren förklaras av resuspension av sediment och sedimentation av alger och organiskt material från avrinningsområdet.

Nedbrytningen av fibern ökar med temperaturen men kan också öka vid tillförsel av oorganiska näringsämnen som fosfat (Regnéll et al. in prep.). Den är också starkt beroende av syre och upphör mer eller mindre efter en lång tid av anaerobi. Minskad sulfatreduktion efter en lång tid av anaerobi kan bero på sulfatbrist och på avtagande produktionen av enkla organiska molekyler som sulfatreducerande bakterier är beroende av. Trots att sulfatreduktion är en strikt anaerob process innebär syresättningen vår och höst ökad sulfatreduktionen och Hg-metyleringen sett över en års-cykel.

#### Syreförbrukningen i Svartsjöarnas vattenpelare före och efter åtgärd

Förutom att förbättrade syrgashalter indikerar minskad nedbrytning av organiskt material och därmed lägre Hg-metylering är förbättrade syrgashalter i sig värdefullt för Svartsjöarnas organismer. De låga syrgashalterna i Svartsjöarnas vatten före åtgärd orsakade sannolikt en allvarlig stress som försämrade organismernas tillväxt och repro-



FIGUR 7.41 Temperatur och syrgashalter i Svartsjöarnas vattenpelare före åtgärd (1996, 2003) och efter åtgärd (2009, 2010) under sommaren (månadsskiftet juni/juli – mitten/slutet av augusti). Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n=3$ ).

duktion. Under sommaren var vattnet i Ö. Svartsjön ofta helt syrefritt under djupet 3 m. Även i N. Svartsjön kunde det lösta syret vara i det närmaste helt förbrukat under denna nivå (Figur 7.41).

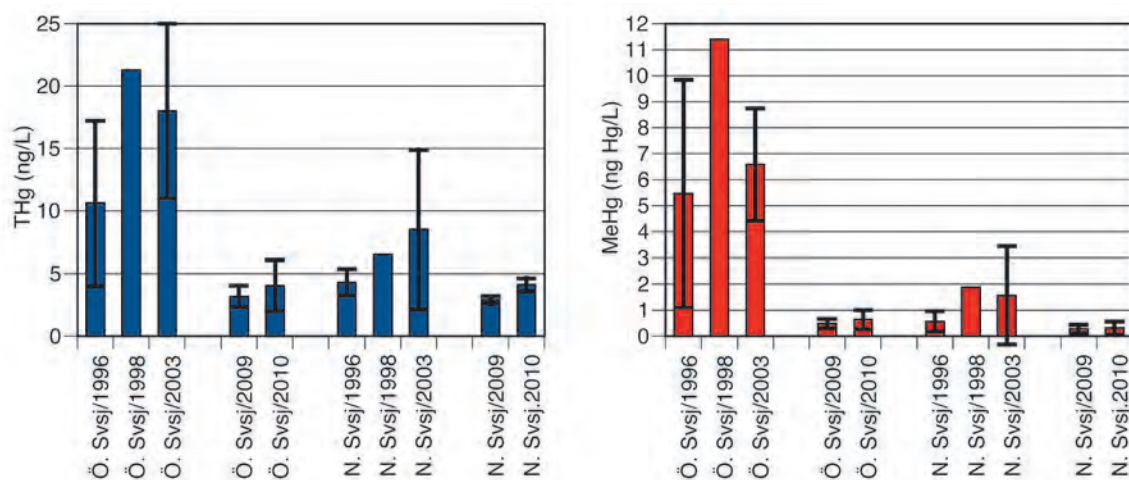
Borttagandet av syretärande fiber och det faktum att sjöarna blivit djupare (bilaga 4) har inneburit väsentlig förbättring av syrgashalterna i de övre vattenskikten under sommaren. Effekten är inte lika tydlig i det bottennära vattnet, vilket visar att syretärande processer fortfarande äger rum (Figur 7.41). Det är emellertid normalt att sjöar som bildar termoklin på sommaren uppvisar syrebrist i vattnet under termoklinen. Syrebristen förstärks av att organiskt material (alger eller organiskt material från omlandet) sedimenterar ner i vattenpelaren. Eftersom Svartsjöarna är näringsfattiga i sitt naturliga tillstånd kan man misstänka att kvarvarande fibermaterial fortfarande orsakar en viss syretärning som inte är naturlig.

För referensåret 2003 ser de vertikala syrgas- och temperaturkurvorna för sommarperioden avvikande ut, vilket förklaras av att skiktningen i sjöarna bröts i juli som ett resultat av extrema flöden i Pauliströmsån. Vid en jämförelse av syrgashalter

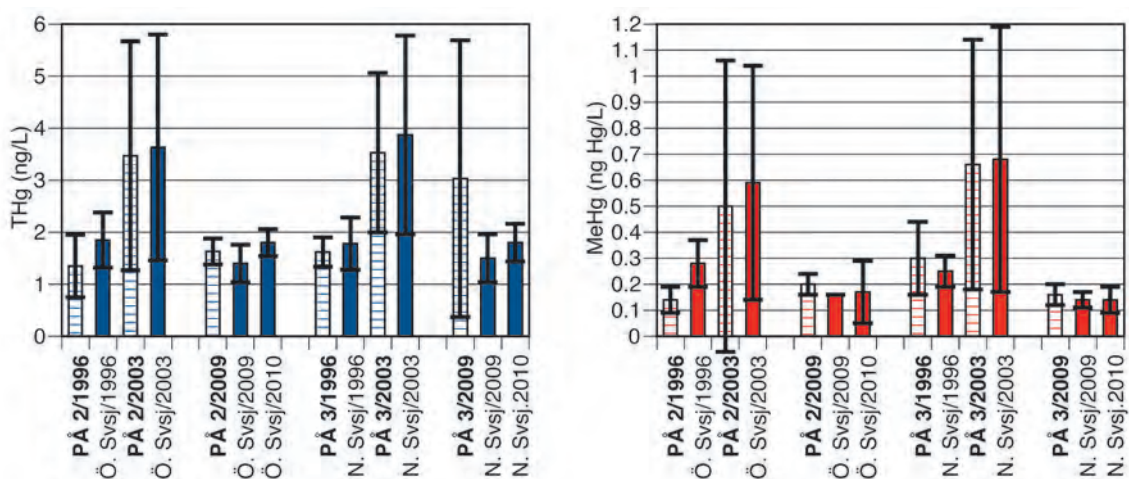
före och efter åtgärd bör man därför välja det mer representativa referensåret 1996. Man bör också känna till att flödena i Pauliströmsån under 2009 (efter åtgärd) var mycket låga under sommaren, vilket innebar lägre syresättning än normalt. Trots dessa avvikelser ser man att syrgashalterna i de övre vattenskikten i båda sjöarna var klart högre och att syresättningen nådde längre ner i vattenpelaren åren efter åtgärd (2009, 2010) än åren före åtgärd (1996, 2003) (Figur 7.41).

Vid temperaturen 20 °C och normalt lufttryck motsvarar 100 % syresättning ungefär 9,1 mg O<sub>2</sub>/L. En meter under ytan var syrgashalten i Ö. Svartsjön under sommaren (månadsskiftet juni/juli till mitten/slutet av augusti) i genomsnitt 8,6 mg/L under 1996, 8,0 mg/L under 2003,

10,0 mg/L under 2009 och 9,7 mg/L under 2010. Således rådde övermättnad av syre åren efter åtgärd, vilket visar att en betydande fotosyntes ägde rum. I N. Svartsjön var syrgashalterna en meter under ytan under samma period 8,6 mg/L 1996, 8,2 mg/L 2003 och 9,6 mg/L för både 2009 och 2010 (Figur 7.41).



FIGUR 7.42 THg- och MeHg-koncentrationer i Svartsjöarnas bottenvatten (ca 0,5 m ovan sedimentytan i respektive djuphåla, ofiltrerade prover) före (1996, 1998, 2003) och efter åtgärd (2009, 2010). Spridningen kring medelvärdena är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n=3$ ). Medelvärdena baseras på de tre högst uppmätta koncentrationerna under sommarperioden (början av juli till mitten av september). Året 1998 togs endast ett prov (2 sep).



FIGUR 7.43 THg- och MeHg-koncentrationer i Svartsjöarnas ytvatten (0,5 -1 m under vattenytan) ovanför respektive djuphåla) före (1996, 2003) och efter åtgärd (2009, 2010). Proverna (ofiltrerade) är från samma provtagningar under sommaren som bottenvattenproverna i föregående figur. THg- och MeHg-koncentrationer visas även för Pauliströmsåns vatten uppströms Ö. Svartsjön (PÅ 2) och mellan Svartsjöarna (PÅ 3). MeHg-koncentrationerna i Pauliströmsåns vatten från 2009 och 2010 baseras på filtrerade prover för vilka koncentrationerna har räknats upp med en faktor 1,25. Spridningen kring medelvärdena är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n=3$ ).

### THg- och MeHg-koncentrationer i Svartsjöarnas vatten före och efter åtgärd

Före åtgärd var THg- och MeHg-koncentrationerna i Svartsjöarnas bottenvatten mycket höga under sommaren, i synnerhet i Ö. Svartsjön (Figur 7.42).

Efter åtgärden var THg-koncentrationen i bottenvattnet 70–80 % lägre i Ö. Svartsjön och ca 50 % lägre i N. Svartsjön (Figur 7.42). En uppenbar förklaring till detta är att muddringarna sänkt THg-

halterna i Ö. Svartsjöns sediment med ca 90 % och i N. Svartsjöns sediment i den norra delen med 80 % (se avsnitt 7.5.2). Det vattenburna kvicksilvret i Svartsjöarnas bottenvatten före åtgärd förklarades till stor del av resuspension av sediment, frisättning av Hg från fallande sediment i vattenpelaren och av frisättning av Hg från botten-sedimenten.

MeHg-koncentrationerna i Ö. Svartsjöns bottenvatten sjönk med hela 90–95 % och i N. Svartsjöns

bottenvatten med ca 75 % (Figur 7.42). Uppenbarligen minskade MeHg-koncentrationerna mer än THg-koncentrationerna. En trolig förklaring till detta är att avlägsnandet av fiber ledde till minskad mikrobiell aktivitet och sulfatreduktion. Ett förhållande som skulle kunna ha bidragit till lägre sulfatreduktion och därmed till lägre produktion och läckage av MeHg är att sulfatdepositionen från atmosfären har minskat (se nedan).

Det är inte lika uppenbart att muddringarna har haft någon effekt på THg- och MeHg-koncentrationerna i Svartsjöarnas ytvatten. Visserligen var koncentrationerna av THg och MeHg högre under åren före åtgärd, men detta förklaras främst av att THg- och MeHg-koncentrationerna var högre i Pauliströmsån före än efter åtgärd (Figur 7.43).

Pauliströmsåns starka inverkan på Svartsjöarnas ytvattenkemi under sommaren förklaras av att ytvattnet är avskilt från bottenvattnet av termoklinen och att inflödet av vatten från Pauliströmsån innebär att sjöarnas vatten omsätts snabbt. Vid ett flöde i Pauliströmsån på 0,8 m<sup>3</sup>/s var den teoretiska omsättningstiden före muddring 4 dygn för Ö. Svartsjöns vattenmassa och 12 dygn för N. Svartsjöns vattenmassa, under förutsättning att uppskattningarna av sjöarnas volymer var korrekta (se avsnitt 7.5.2). Efter muddringarna har den teoretiska omsättningstiden ökat med ca 60 % för Svartsjön och med < 30 % för N. Svartsjön.

Ett visst utbyte av ämnen sker dock mellan ytvattnet och bottenvattnet via den mellanliggande termoklinen. Detta orsakas främst av att termoklinen successivt sjunker under sommaren och att därmed

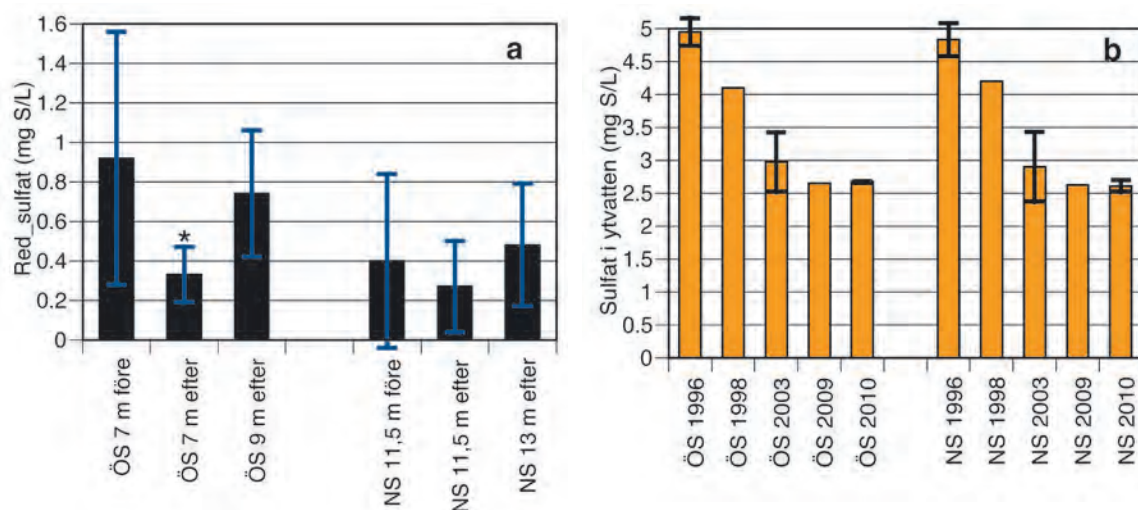
vatten som tidigare varit bottenvatten tränger upp i ytvattnet. Allra störst inblandning av bottenvatten i ytvattnet sker under höstcirkulationen. Utslaget över året innebär inblandningen av bottenvatten i ytvattnet inte något stort tillskott till Hg-flödena nedströms Svartsjöarna, eftersom det är en jämförelsevis liten volym vatten det är fråga om.

### Förändringar i Svartsjöarnas vattenkemi med relevans för Hg-metyleringen

Produktionen av MeHg är en funktion av koncentrationen av metylerbart Hg och förekomsten av bakterieceller med förmågan att metylera Hg. Detta innebär i praktiken att metyleringen av Hg är hög i Hg-förorenade miljöer i vilka sulfid bildas. Grundförutsättningarna för sulfidbildning är att det finns nedbrytbart organiskt material och att nedbrytningen leder till att syret förbrukas, samt att det finns tillräckliga mängder sulfat som kan reduceras till sulfid. Både mängden nedbrytbart organiskt material och mängden sulfat kan således vara begränsande faktorer för Hg-metyleringen (Watras et al. 2006).

Det har redan noterats att syrgashalterna i både Ö. Svartsjön och N. Svartsjön påtagligt har förbättrats som ett resultat av att fibersediment har avlägsnats (Figur 7.41). Man har därför anledning att tro att de minskade MeHg-koncentrationerna i bottenvattnet (Figur 7.42) delvis förklaras av att den mikrobiella aktivitet som ger upphov till Hg-metylering har minskat.

Ett mått på sulfatreduktionen under termoklinen, om än inte helt tillförlitligt, är skillnaden i sulfat-



**FIGUR 7.44** Sulfatreduktion mätt som skillnad i sulfatkoncentration mellan ytvattnet och angivet djup före och efter åtgärden i Ö. Svartsjön och N. Svartsjön (a), samt sulfathalt i ytvatten i Ö. Svartsjön och N. Svartsjön 1996 – 2010 (b). Vattenproven är från samma provtagningar under sommaren som proven i ovanstående figurer som visar THg- och MeHg-koncentrationerna före och efter åtgärd. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 4 - 7$ ). \*: Signifikant lägre sulfatreduktion än före åtgärd ( $P < 0.05$ , ANOVA).

halt mellan ytvattnet (där sulfatreduktion ej förekommer) och sulfathalten i vattnet under termoklinen (Watras et al. 2006). Enligt detta sätt att mäta sulfatreduktionen har sulfatreduktionen minskat signifikant i Ö. Svartsjön om man jämför åren 1996, 1998 och 2003 med åren 2009 och 2010 för djupet 7 m som före åtgärd låg ca 0,5 m ovanför botten i djuphålan. Om man jämför sulfatreduktionen (Red\_sulfat) 0,5 m ovan botten före och efter åtgärd (7 m före åtgärd mot 9 m efter åtgärd) föreligger emellertid ingen signifikant skillnad. I N. Svartsjön var det ingen signifikant skillnad i Red\_sulfat mellan åren före och efter åtgärd (Figur 7.44a). I båda sjöarna uppmättes dock de högsta Red\_sulfatvärdena före åtgärden (se föregående sida).

En tänkbar anledning till minskad sulfatreduktion som inte har med åtgärden att göra är att sulfathalten i ytvattnet har uppvisat en minskande trend, troligen som ett resultat av minskad sulfatdeposition från luften (Figur 7.44b). Eftersom sulfatreduktion beräknad som ovan inte minskat särskilt mycket i Ö. Svartsjö och knappast alls i N. Svartsjön förefaller dock inte den minskade tillförda mängden sulfat till Svartsjöarna ha haft mer än en marginellt dämpande effekt på sulfatreduktionen, möjligen med undantag för förhållanden med mycket höga TOC-halter i vattnet. Då är nämligen sannolikheten högre att sulfat begränsar sulfatreduktionen.

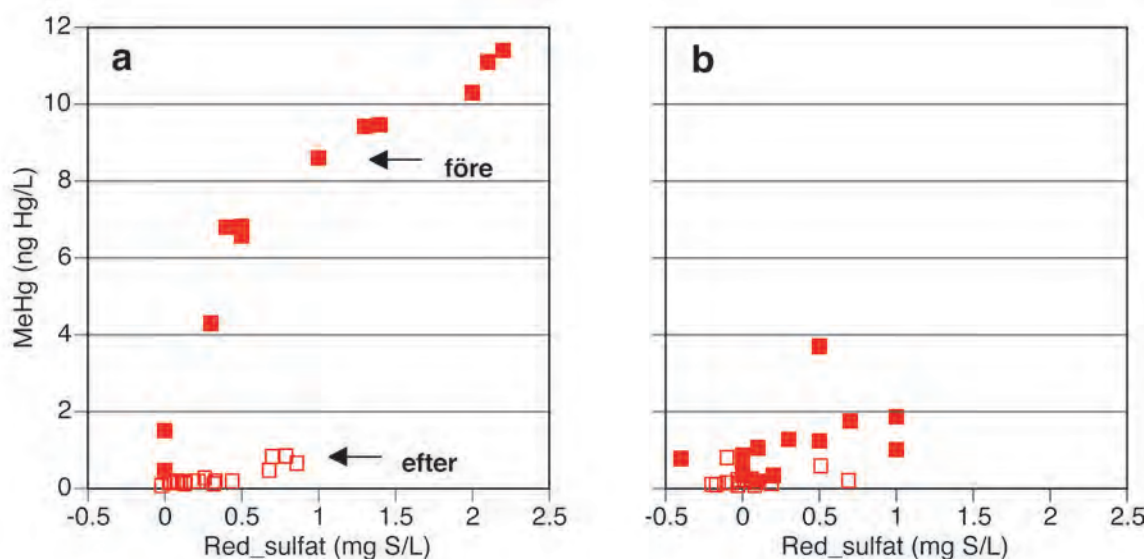
I Ö. Svartsjön förelåg ett starkt samband mellan MeHg-koncentrationen och Red\_sulfat i och under termoklinen före åtgärd (Figur 7.45a). Detta

förklaras av att sulfid extraherar Hg från organiskt material och att komplexet  $\text{Hg}(\text{SH})_2$  bildas, vilket metyleras av framförallt sulfatreducerande bakterier, men troligen även av andra bakterier. Vidare innebär förekomsten av sulfid att metylkvicksilveret hålls i lösning som  $\text{CH}_3\text{HgSH}/\text{CH}_3\text{HgS}^-$ .

Efter åtgärden uppnåddes inte lika höga Red\_sulfatvärden som före åtgärden. Möjliga förklaringar till detta förutom minskad sulfatdepositionen är att mängden/kvaliteten av TOC i vatten och sediment har förändrats (se nedan). Dessutom ökade MeHg-koncentrationen betydligt långsammare med ökande Red\_sulfat efter åtgärd (Figur 7.45a). Det senare förklaras främst av att mängden THg i vattenpelaren och i sedimentet har minskat kraftigt genom att fiberbundet Hg avlägsnats från sedimenten, med följden att mindre  $\text{Hg}(\text{SH})_2$  bildas.

I N. Svartsjön var Red\_sulfatvärdena före åtgärden lägre än i Ö. Svartsjön. Detta berodde sannolikt på att N. Svartsjön jämfört med Ö. Svartsjön var betydligt mindre kontaminerad med icke nedbruten fiber och att därmed nedbrytningen av organiskt material var betydligt lägre. Dessutom ökade MeHg-koncentrationen långsammare med Red\_sulfat, vilket sannolikt berodde på att THg-halterna var lägre i botten sedimentet och i sedimentande material än i Ö. Svartsjön (Figur 7.45b).

I likhet med Ö. Svartsjön uppnåddes inte lika höga Red\_sulfatvärden i N. Svartsjön efter åtgärden som före åtgärden. Skillnaden mellan före och efter var dock mindre än i Ö. Svartsjön, vilket rimligen förklaras av att en mindre mängd icke-ned-



**FIGUR 7.45** MeHg-koncentrationen avsatt mot Red\_sulfat (se text) i ofiltrerat vatten i och under termoklinen före åtgärd (1996, 1998, 2003) (fyllda symboler) och efter åtgärd (2009, 2010) (ofyllda symboler) i (a) Ö. Svartsjön och (b) N. Svartsjön. Vattenproven är från samma provtagningar under sommaren som proven i ovanstående figurer som visar THg- och MeHg-koncentrationerna före och efter åtgärd.

brutna fiber avlägsnades i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön. Skillnaden i hastighet med vilken MeHg-koncentrationen ökade med Red\_sulfat mellan före och efter åtgärden var också mindre i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön (Figur 7.45). Huvudförklaringen till detta är att skillnaden i THg-halt i bottensediment och sedimentterande material mellan före och efter åtgärd var betydligt mindre i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön (avsnitt 7.5.2 och 7.5.3).

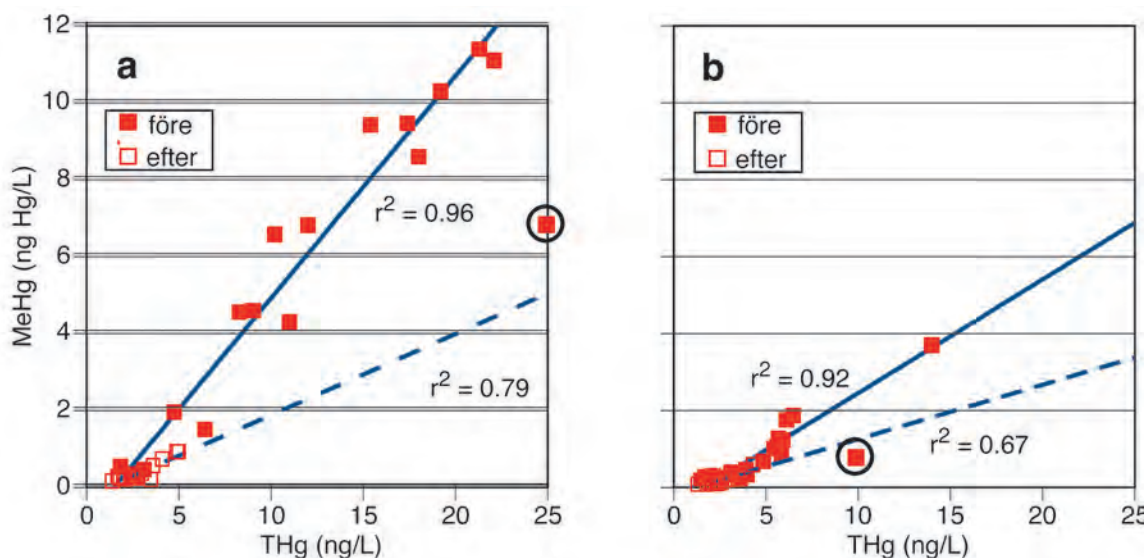
I båda sjöarna förelåg mycket starka samband mellan MeHg och THg i vattnet i och under termoklinen före åtgärd. MeHg-koncentrationen ökade betydligt brantare med THg-koncentrationen i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön ( $P < 0,0001$ , ANCOVA), vilket förklaras av den högre sulfatreduktionen i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön (Figurerna 7.45 och 7.46).

Den lägre lutningen på regressionslinjerna efter åtgärd än före åtgärd för båda sjöarna kan i likhet med skillnaderna mellan sjöarna före åtgärd förklaras av skillnad i sulfatreduktion (Figur 7.46). Det förefaller dessutom rimligt att skillnaden i lutning är störst mellan före och efter i Ö. Svartsjön, eftersom sulfatreduktionen mätt som Red\_sulfat sjönk mer i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön (Figurerna 7.44 och 7.45). Skillnaden i lutning mellan linjerna före och efter åtgärd är signifikant för båda sjöarna ( $P < 0,05$ , ANCOVA). Man får emellertid vara uppmärksam på att skillnaden i värde-

nas spännvidd (range) mellan före och efter var stor. Efter åtgärd var regressionslinjernas lutning inte signifikant olika mellan sjöarna ( $P > 0,1$ ).

De inringade värdena (outliers) som inte är medtagna i regressionerna är från provtagningen den 29 juli 2003 då syresättningen i bottenvattnet var högre än vanligt (några mg/L mot normalt noll) på grund av att kraftiga flöden i Pauliströmsån några veckor tidigare hade brutit sjöarnas skiktning (Figur 7.41). Troligen innebar detta att kvicksilvret förelåg på ett sätt som avvek från det normala och därmed var mindre tillgängligt för metylering än när syret är helt förbrukat. Det förefaller också sannolikt att metyleringen av metylerbart Hg var lägre på grund av annan bakteriesammansättning i vattnet än när syret är helt förbrukat. Man kan förövrigt notera att de MeHg-värden som avvek i regressionen mot THg inte avvek i regressionen mot Red\_sulfat (Figur 7.45).

Något som inte framgår i figuren eller figurtexten till Figur 7.46 är att ett parvärde uteslöts från regressionen mellan MeHg och THg för N. Svartsjön efter åtgärd. MeHg-koncentrationen var 0,81 mg Hg/L och THg-koncentrationen 2,3 mg/L i detta prov. Provet togs i augusti 2010 från djupet 6 m, d.v.s. tämligen högt upp i vattenpelaren. Detta prov hade högre MeHg-koncentration än alla andra prov från N. Svartsjön efter åtgärd. Provet avvek genom att MeHg-koncentrationen var hög i förhållande till THg-koncentrationen och genom



**FIGUR 7.46** MeHg-koncentrationen avsatt mot THg-koncentrationen i ofiltrerat vatten i och under termoklinen före åtgärd (1996, 1998, 2003) (fyllda symboler) och efter åtgärd (2009, 2010) (ofyllda symboler) i (a) Ö. Svartsjön och (b) N. Svartsjön. Vattenproven är från samma provtagningar under sommaren som proven i ovanstående figurer som visar THg- och MeHg-koncentrationerna före och efter åtgärd. Helt dragna linjer är regressionslinjer för värdena före åtgärd och streckade linjer är regressionslinjer för värdena efter åtgärd.  $r^2$ -värden visas för samtliga regressionslinjer. De inringade mätvärdena är ej medtagna i regressionerna (se text!). I graf (b) är de ofyllda symbolerna täckta av de fyllda.

att MeHg-koncentrationen var betydligt högre än längre ner i vattenpelaren. Dessutom var MeHg-koncentrationen i filtrerat vatten från samma nivå endast 0,06 ng Hg/L, vilket i och för sig skulle kunna bero på utfällning i provet före filtreringen, eftersom provet inte filtrerades direkt i fält. Antingen var provet felanalyserat/kontaminerat, eller så hade MeHg koncentrerats på denna nivå i vattenpelare på grund av någon utfällning, exempelvis av järnoxid. Varken järn- eller partikelhalten (susp) avvek emellertid från de övriga proven och i stort sett allt mangan passerade filtret. Varför detta prov avvek är således oklart. Provet avvek även i förhållande till Red\_sulfat, vilket kan ses i Figur 7.45 om man har skarp blick.

De starka sambanden mellan MeHg och THg och mellan MeHg och Red\_sulfat i Svartsjöarnas vattenpelare före åtgärden under perioden juli, augusti och september indikerar att det mesta metylkvicksilvret i vattnet under termoklinen bildades i vattenpelaren och i mindre utsträckning var ett resultat av läckage av MeHg från sedimentet (Figurerna 7.45 och 7.46). Som nämndes i början av detta avsnitt är det troligt att Hg-metyleringen inleds i sedimenten under våren och början av sommaren men sedan gradvis förflyttas uppåt i vattenpelaren i takt med att anaerobin i vattnet under termoklinen tilltar under sommaren. Även de vertikala koncentrationsprofilerna för MeHg indikerar att MeHg producerades i vattenmassan (bilaga 5).

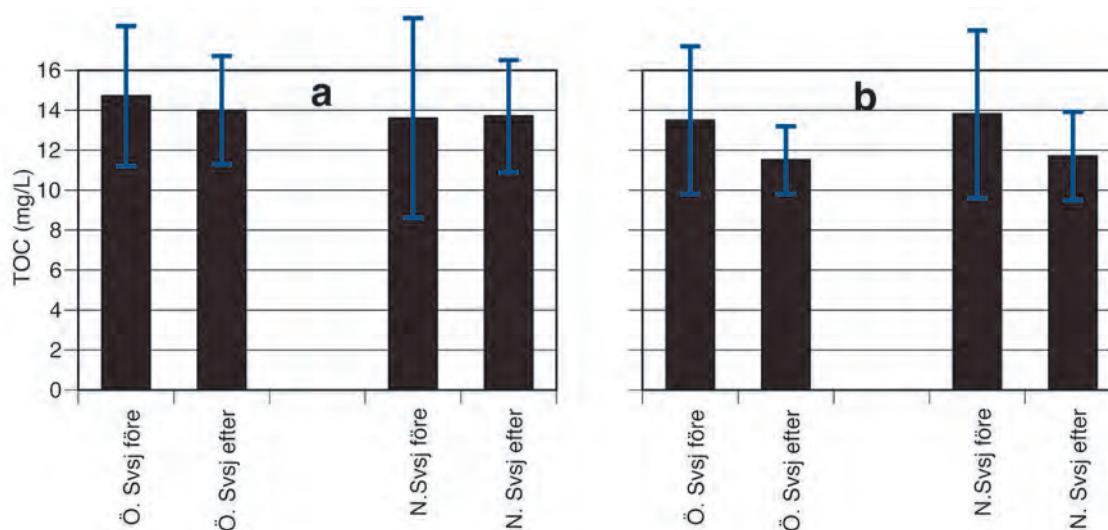
Det som styr produktionen av MeHg i vattenmassan är främst tillförseln av Hg och nedbrytbart

organiskt material, vilken kan ske genom sedimentation av alger och organiskt material från avrinningsområdet och/eller genom mobilisering från sedimenten.

Någon tydlig minskning i koncentrationen av organiskt material i vattnet (TOC) i och under termoklinen kan inte ses i någon av sjöarna (Figur 7.47a). Man kan tycka att avlägsnandet av fiber-sediment borde minska resuspensionen och läckaget av TOC från sedimenten. Kvarvarande sediment kan emellertid innehålla fina partikelfraktioner som lätt resuspenderas och därmed ger upphov till ungefär samma TOC-koncentrationer i vattnet som före åtgärd.

TOC tycks ha minskat något i sjöarnas ytvatten, men minskning var inte statistiskt signifikant (Figur 7.47b). En minskad TOC-koncentration i ytvattnet är något förvånande, eftersom TOC-koncentrationen har visat en ökande trend i Pauliströmsån sedan 1996 (se nedan). Dock saknas TOC-värden i Pauliströmsån för de dagar på sommaren då TOC-koncentrationen mättes i Svartsjöarnas ytvatten efter åtgärd. Det är möjligt att mobiliseringen av organiskt material från sedimenten inte når upp till ytvattnet i samma utsträckning som före åtgärden då sjöarna var grundare. Egenskaperna hos det organiska material som mobiliseras från sedimenten kan också ha ändrats med förändringar i det vertikala spridningsmönstret som följd.

Således får man söka andra förklaringar till den lägre Hg-metyleringen i vattnet i och under termoklinen efter åtgärd (som illustreras av skillna-



**FIGUR 7.47** Koncentrationer av organiskt material (TOC) i ofiltrerat vatten i Svartsjöarna före (1996, 1998, 2003) och efter åtgärd (2009, 2010) i och under termoklinen (a) och i ytan (0,5–1 m) (b). Vattenproven är från samma provtagningar under sommaren som proven i ovanstående figurer som visar THg- och MeHg-koncentrationerna före och efter åtgärd. Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 16-25$  för graf a och 4–7 för graf b).

den i lutningen av regressionslinjerna i Figur 7.46) än minskad TOC-koncentration. Möjligen kan det organiska materialet i sjövattnet före åtgärd ha varit lättare att bryta ner än det organiska materialet i sjövattnet efter åtgärd, eftersom fiber av relativt låg nedbrytningsgrad har avlägsnats och den kvarlämnade fibern är mer nedbruten och därmed ett sämre substrat för mikrobiell aktivitet. Det är också möjligt att Hg som är associerat med lättnedbrytbart organiskt material lättare extraheras av sulfid och därmed metyleras mer än Hg som är bundet till svårnedbrytbart organiskt material. Ytterligare en möjlig förklaring till sänkt Hg-metylering är att sänkningen av sulfathalten, orsakad av minskad deposition från luften, har lett till lägre sulfatreduktion (bildning av sulfid), i synnerhet då TOC-koncentrationen i vattnet är hög.

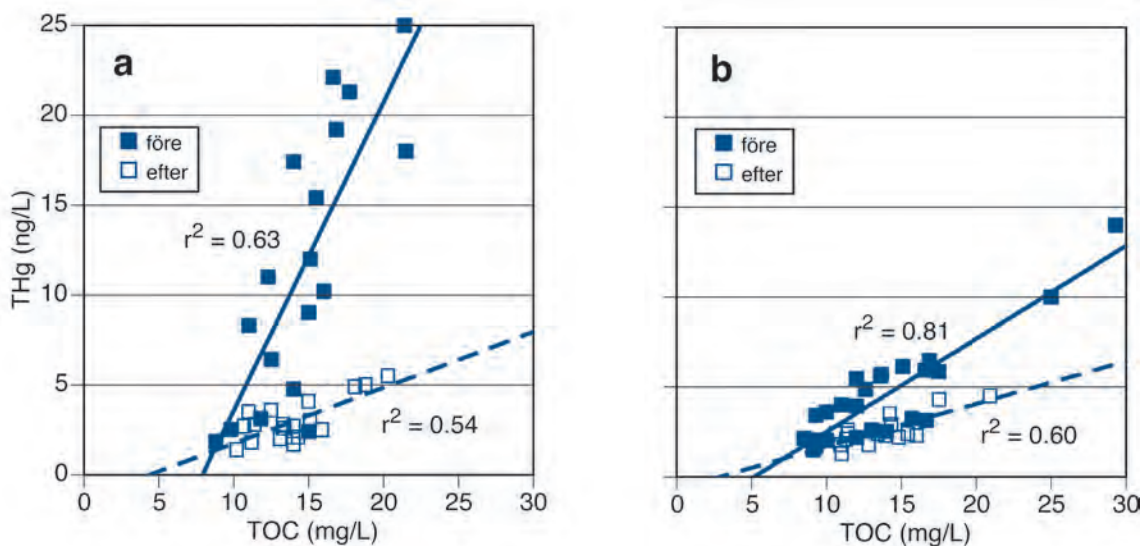
En avsaknad av skillnad mellan före och efter vad gäller TOC-koncentration (Figur 7.47) och en kraftigt minskad THg-koncentration efter åtgärd (Figur 7.42) innebär att det vattenburna organiska materialet efter åtgärd var betydligt mindre Hg-kontaminerat än det vattenburna organiska materialet före åtgärd. För båda sjöarna gällde följdenligt att lutningen på regressionslinjen mellan THg och TOC var signifikant brantare ( $P < 0,01$ ) före än efter åtgärden (Figur 7.48). Skillnaden i lutning mellan före och efter var avsevärt större för Ö.Svartsjön än för N. Svartsjön.

Efter åtgärd förelåg ingen statistiskt signifikant skillnad mellan Ö. Svartsjön och N. Svartsjön vare

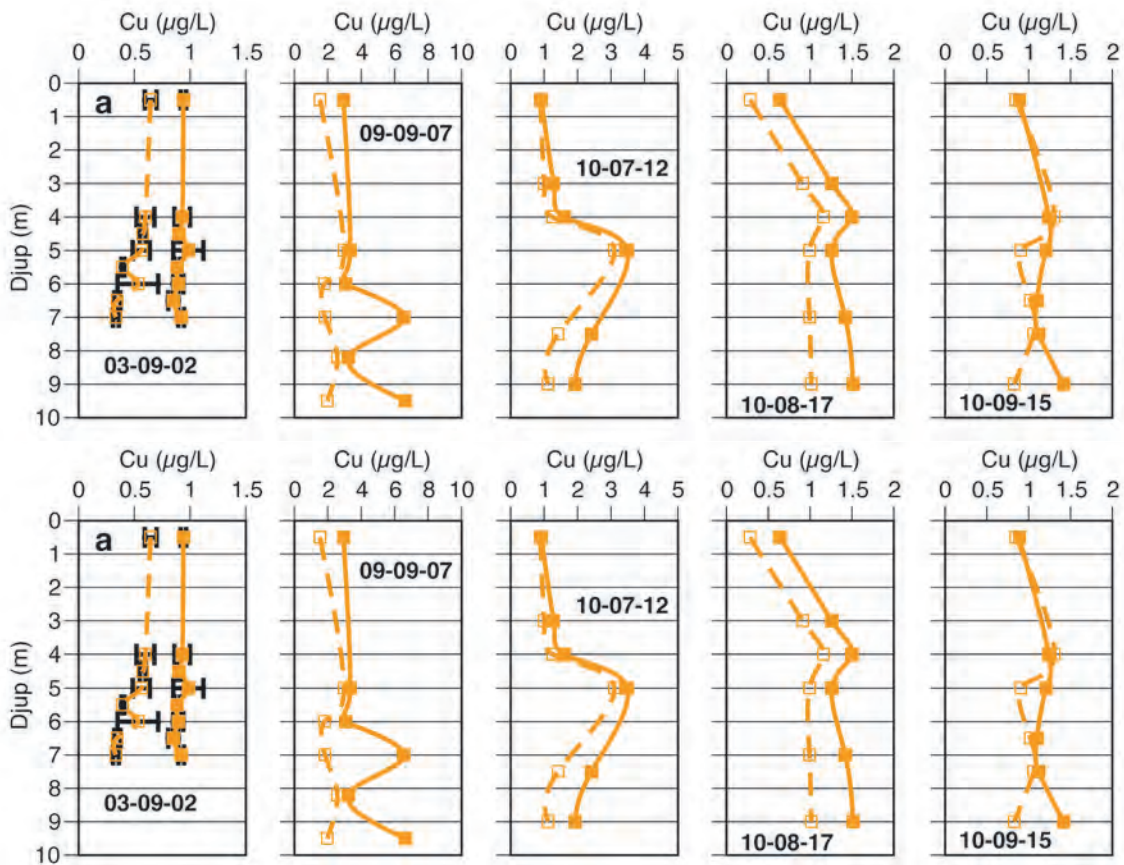
sig för regressionslinjernas lutning eller för medelvärdet för THg-koncentrationerna i vattnet i och under termoklinen ( $P > 0,25$ ), men väl före åtgärd ( $P < 0,0001$ ). Man kan här erinra om att THg-halten i sedimenterande material var signifikant högre i N. Svartsjön (medelvärde:  $0,39 \mu\text{g/g TS}$ ) än i Ö. Svartsjön (medelvärde:  $0,27 \mu\text{g Hg/g TS}$ ) efter åtgärd ( $P < 0,0001$ ) (Figur 7.40).

En iögonfallande omständighet är att mätvärdena före åtgärd tycks dela upp sig i två grupper, varav den ena gruppen följer regressionslinjen för mätvärdena efter åtgärd. Detta är speciellt tydligt för N. Svartsjön (Figur 7.48). Det verkar därmed som att TOC i Svartsjöarnas vatten hade olika ursprung. Troligen kom TOC med högt Hg-innehåll från sjöarnas sediment, medan TOC med förhållandevis lågt THg-innehåll kan ha kommit från avrinningsområdet.

En syntes av det ovan sagda är att MeHg-koncentrationerna i och under termoklinen har sjunkit dramatiskt i Svartsjöarnas bottenvatten till följd av åtgärden. Detta beror främst på att det organiska materialet i vattenmassan och i ytsedimentet som en följd av åtgärden är betydligt mindre Hg-kontaminerat. Detta förklarar dock inte allt. Metyleringen av det kvarvarande kvicksilvret tycks också ha minskat, vilket kan bero på att det organiska materialet i ytsedimentet och vattenpelaren har fått en annan sammansättning, med lägre innehåll av fiber med förhållandevis låg nedbrytningsgrad. Den minskade depositionen av sulfat från luften



**FIGUR 7.48** THg-koncentrationen avsett mot TOC-koncentrationen i ofiltrerat vatten i och under termoklinen före åtgärd (1996, 1998, 2003) (fyllda symboler) och efter åtgärd (2009, 2010) (ofyllda symboler) i (a) Ö. Svartsjön och (b) N. Svartsjön. Vattenproven är från samma provtagningar under sommaren som proven i ovanstående figurer som visar THg- och MeHg-koncentrationerna före och efter åtgärd. Helt dragna linjer är regressionslinjer för värdena före åtgärd och streckade linjer är regressionslinjer för värdena efter åtgärd.  $r^2$ -värden visas för samtliga regressionslinjer.



FIGUR 7.49 Vertikala koncentrationsprofiler för koppar (Cu) i Övre Svartsjöns vattenpelare (rad a) och i N. Svartsjöns vattenpelare (rad b). Fyllda symboler sammanbundna med heldragna linjer visar Cu i ofiltrerat vatten och ofyllda symboler sammanbundna med streckade linjer visar Cu i filtrerat vatten (0,2 µm, filtrerat i fält). De två figurerna längst till vänster visar koncentrationsprofiler före åtgärd. I dessa visas medelvärden av två prover och spridningen kring medelvärdet begränsas av det lägsta och det högsta värdet.

kan också ha bidragit till lägre Hg-metylering.

Det finns en tendens att Hg-metyleringen och frisättningen av Hg även efter åtgärd är något högre i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön (större andel av kvicksilvret i sediment och sedimentterande material frisätts och metyleras) (Figurerna 7.42 och 7.46), vilket kan bero på att en större andel av kvicksilvret är bundet till relativt lättnedbrytbart organiskt material i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön. I botten sediment och i sedimentterande material är THg-halten efter åtgärd något högre i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön (Figurerna 7.39 och 7.40). Ändå är Hg-koncentrationen i vattnet i och under termoklinen något högre i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön (Figur 7.48), vilket är i linje med högre frisättning av Hg från partiklar i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön.

### Koppar i Svartsjöarnas vatten före och efter åtgärden

Koppar (Cu) är efter kvicksilver den metall som uppvisade högst avvikelse från bakgrundshalter i sediment före muddringarna. Anledningen till

detta är att fibern förutom kvicksilver innehöll koppar i höga halter (se avsnitten 7.5.2 och 7.5.3).

Före åtgärd mättes Cu på flera nivåer i vattenpelaren i båda sjöarna i september 1998. Under 2003 mättes Cu vid tolv tillfällen (ca en gång i månaden, januari–november) i sjöarnas yt- och botten vatten.

Efter åtgärd mättes Cu på flera nivåer i vattenpelaren under 2009 och 2010 vid sammanlagt 4 tillfällen. Under 2009 och 2010 mättes dessutom Cu i sjöarnas yt- och botten vatten vid 12 tillfällen (april 2009–mars 2010).

Till skillnad från THg- och MeHg-koncentrationerna som var mycket lägre efter åtgärd än före åtgärd i båda sjöarnas vattenpelare i och under termoklinen var Cu-koncentrationerna i och under termoklinen något högre efter åtgärd än före åtgärd (Figur 7.49). Detta är något svårförklarligt men skulle kunna bero på att Cu-halterna i botten sedimenten inte har minskat till följd av åtgärden, vilket dock förefaller märkligt eftersom samvariationen mellan Hg och Cu var påtaglig både för botten sediment och sedimentterande material före åtgärd. Men Cu-halterna i sediment kontrollerades

inte efter åtgärd, förutom i begränsad omfattning under 2009 då Cu-halterna låg kring 20 mg/kg ts, vilket är angiven bakgrundshalt för Cu i sediment i södra Sverige (Figur 7.39). Den vertikala Cu-profilen i sediment var mycket lik den för Hg i N. Svartsjöns djuphåla före åtgärd, men det förefaller som att Cu-halten började öka före Hg-halten (Figur 7.38). Därför går det inte utesluta att Cu-halterna i ytsedimentet inom vissa områden kan ha ökat som en följd av åtgärden.

Det kan heller inte uteslutas att vattenkemin har ändrats i Svartsjöarna på ett sätt som medför att Cu till skillnad från Hg frigges från partiklar i större utsträckning efter än före åtgärden. I flera fall var Cu-koncentrationen högst i termoklinen (Figur 7.49) där polysulfidkomplex kan tänkas föreligga på grund av viss förekomst av löst syre. När sulfidhalten ökar mot botten faller i stället Cu ut som Cu<sub>2</sub>S, vilket medför att främst Cu-koncentrationen i filtrerat vatten minskar. De förbättrade syrgasförhållandena i Svartsjöarna (Figur 7.41) kan ha lett till att bildningen av lösta Cu-komplex har ökat. Den största ökningen av Cu-koncentrationen tycks ha ägt rum i Ö. Svartsjön (Figur 7.49).

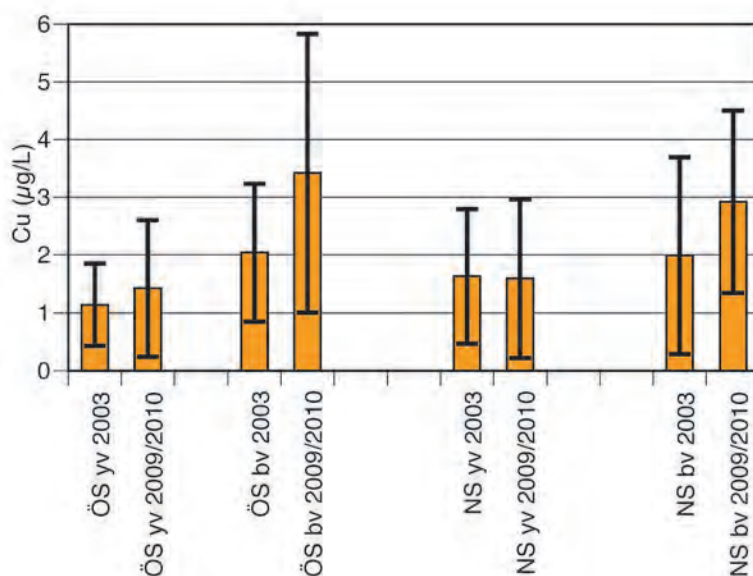
Även när man jämför bottenvattenprover från 2003 (före åtgärd) med bottenvattenprover från 2009/2010 (efter åtgärd) finner man att Cu-koncentrationerna var högre efter än före åtgärd (dock ej statistiskt signifikant skillnad,  $P < 0.1$  för Ö. Svartsjön). För ytvattenproverna förelåg ingen skillnad mellan före och efter åtgärd, medan det förefaller troligt att Cu-koncentrationen i Svartsjöarna bottenvatten verkligen har ökat (Figur 7.50). Att ingen ökning av Cu-koncentrationen kunde ses i ytvattnet kan förklaras med att Pauliströmsåns vatten styr vattenkemin i ytvattnet. Cu-

koncentrationerna i ytvattnet låg kring 1 µg/L, vilket är dubbelt så högt som den koncentration som anges som bakgrund för sjöar i södra Sverige (NV rapport 5799, 2008). Vid ett tillfälle före åtgärd och vid ett tillfälle efter åtgärd uppmättes Cu-koncentrationer kring 10 µg/L i Ö. Svartsjöns ytvatten. Dessa prover togs ej med i beräkningen av medelkoncentrationerna i Figur 7.50. Det går dock icke att utesluta att dessa värden visade sanna koncentrationer. Det förefaller som Cu-koncentrationerna kan variera stort och tillsynes oregelbundet. Någon korrelation mellan Cu och övrig vattenkemi är svår att finna, utöver att höga sulfidhalter faller Cu, troligen främst som Cu<sub>2</sub>S.

### 7.5.5 Hg I FISK OCH ZOOPLANKTON I SVARTSJÖARNA OCH I REFERENSSJÖN ENEGREKEN

Före åtgärd var THg-halten i fisk (abborre 1+ och gäddor kring 1 kg) ca 3 gånger högre i Svartsjöarna än i referenssjön Enegrenen som ligger i samma vattensystem ovanför Pauliströms bruk. I gäddor kan allt Hg antas ha utgjorts av MeHg och i abborre 1+ troligen mer än 80 %. I zooplanktonprover var skillnaden i MeHg-halt mellan Enegrenen och Svartsjöarna ännu större (se nedan).

Den mest näraliggande förklaringen till att Svartsjöarnas organismer hade högre Hg-halter än Enegrenens organismer är att stora mängder MeHg bildades i Svartsjöarnas sediment och bottenvatten, i synnerhet i Ö. Svartsjön. Om detta var huvudförklaringen till organismernas högre Hg-belastning i Svartsjöarna före åtgärden borde Hg-halterna i Svartsjöarnas organismer ha minskat påtagligt efter åtgärden, eftersom bildningen av



**FIGUR 7.50** Koncentrationen av koppar (Cu) i ofiltrerat ytvatten (yv) och bottenvatten (bv) i Svartsjöarna före (2003) och efter åtgärden (2009/2010). Spridningen kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse ( $n = 12$  för alla värden utom för ÖS yv före och efter för vilka ett avvikande värde uteslutits, se text).

MeHg har minskat dramatiskt (se avsnitt 7.5.4). Det finns emellertid många faktorer som påverkar upptaget av Hg i organismer och man kan inte utesluta att även annat än de Hg-kontaminerade fibersedimenten låg bakom skillnaden i Hg-belastning mellan referenssjön Enegrenen och Svartsjöarna.

Faktorer som har stor inverkan på Hg-halter i sjöbiota är produktion av biomassa. En hög produktion av biomassa innebär att metylkvicksilvret späds ut (bioutspädning) och därmed till lägre Hg-halter i biota på alla trofinivåer än när produktionen av biomassa är låg. Hög individuell tillväxt (att en enskild organism växer snabbt) kan leda till lägre Hg-halter om den höga tillväxten är ett resultat av hög födokonvertering (att en stor del av födan omvandlas till kroppsmassa), men om tillväxten istället är orsakad av ett stort födointag kan hög tillväxt istället leda till höga Hg-halter, i synnerhet om den höga tillväxten är en följd av att organismen (individ) söker föda på högre trofinivåer, exempelvis övergår från planktondiet till fiskdiet. I en studie av Hg-halter i fisk från tio sjöar i norra Skåne kunde man inte se något tydligt samband mellan tillväxt och Hg-halt i fisken (Meili et al. 2004).

En annan aspekt är att MeHg-belastning kan påverka tillväxten negativt, eftersom MeHg är ett högtoxiskt ämne. Före åtgärd var abborre 1+ både längre och vägde mer i Enegrenen än i Svartsjöarna, vilket skulle kunna tolkas som att den höga MeHg-belastningen sänkte abborrens tillväxt i Svartsjöarna. En annan tolkning är att den högre tillväxten hos abborren i Enegrenen spädde ut Hg-halterna i fisken, eller snarare att hög tillväxt är ett tecken på bioutspädning på alla trofinivåer. Att den ena tolkningen är korrekt utesluter inte att den andra också är det, d.v.s. båda orsakssambanden kan tänkas gälla. I vilket fall som helst bör man studera både Hg-halt och tillväxt för att bedöma effekten av åtgärden på fiskens Hg-belastning i Svartsjöarna. Ett problem är att man inte kan vara helt säker på att de fiskar vars Hg-halt bestämdes verkligen var 1+ abborrar. Troligen var en del 0+ och en del 2+.

### **Abborrens THg-halt och tillväxt före och efter åtgärd**

Abborre 1+ i Enegrenen (referenssjön) uppvisade signifikant olika THg-halt mellan fångstillfällena juni 2003 (före åtgärd), augusti 2009 och augusti 2010. Att THg-halten i abborren skilde sig mellan provtagningen i juni och provtagningarna i augusti kan tolkas som en effekt av att abborren växer under sommaren och därmed får en annan THg-halt i slutet av sommaren än i början av sommaren. Abborren som fångades i augusti 2009 var signifi-

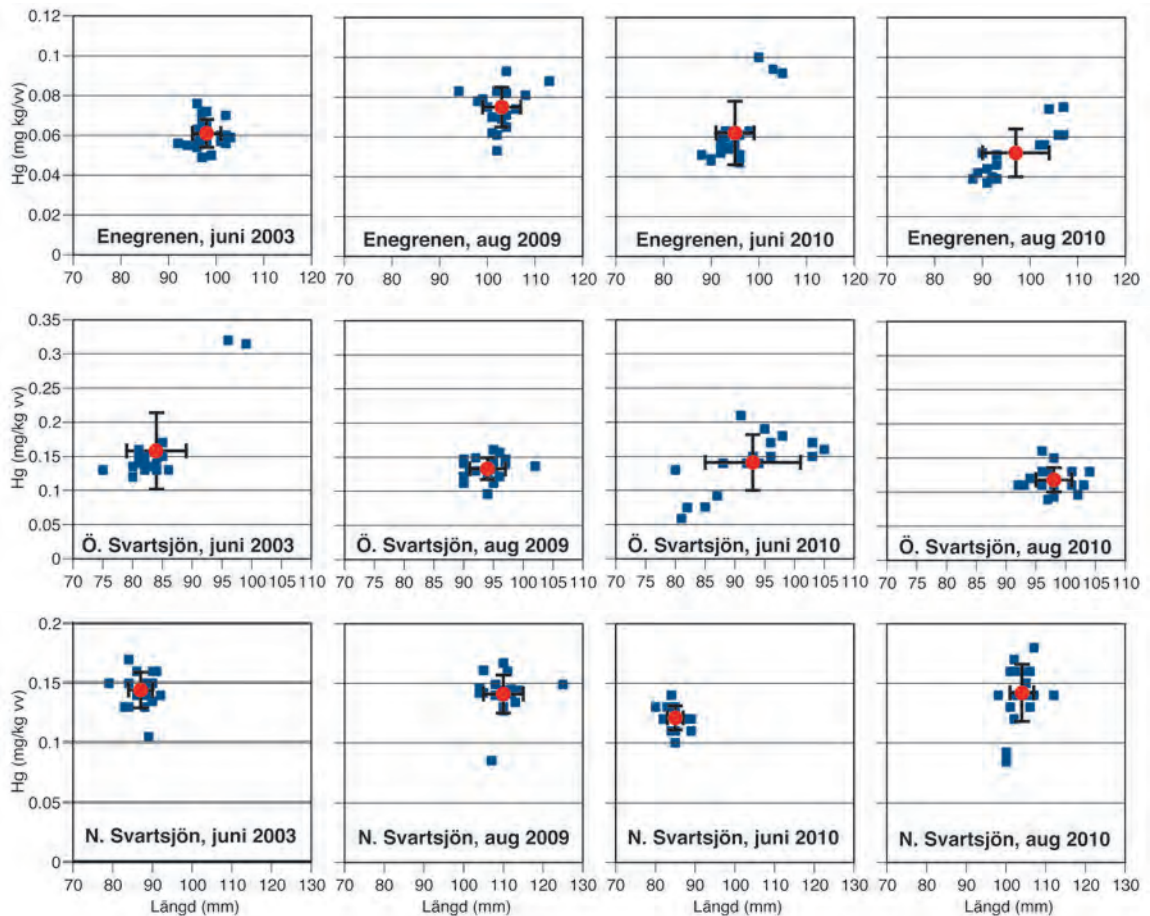
kant längre ( $P < 0,01$ , ANOVA) och hade högre THg-halt än abborrarna som fångades i juni 2003 ( $P < 0,001$ , ANOVA). Längden på abborren som fångades i augusti 2010 skilde sig emellertid inte signifikant från längden på abborren som fångades i juni 2003. Dessutom var THg-halten signifikant lägre i abborrarna som fångades i augusti 2010. En möjlig förklaring till detta oväntade resultat är att en del av de abborrar som fångades i augusti 2010 var abborre 0+. Det förelåg ingen signifikant skillnad mellan abborrarna från juni 2003 och de från juni 2010 vare sig för längd eller för THg-halt. Tre av abborrarna fångade i juni 2010 avviker både vad gäller längd och THg-halt och kan ha varit abborre 2+. Om man tar bort dessa abborrar från beräkningarna var THg-halterna högre i abborrarna fångade i juni 2003 än i abborrarna fångade i juni 2010, dock inte signifikant högre ( $P < 0,08$ ). De kvarvarande abborrarna från juni 2010 var signifikant mindre (kortare) än abborrarna fångade i juni 2003 ( $P < 0,001$ ). Samtliga abborrars längd och THg-halt visas i Figur 7.51.

En ANCOVA (analysis of covariance) visar att förhållandet mellan THg-halt och längd för abborren från Enegrenen skiljer sig signifikant mellan provtagningstillfällena ( $P < 0,001$ ). Troligen beror detta dels på att abborrarna fångades både i juni och augusti, dels på att abborre 0+ och abborre 2+ smög sig in bland 1+ abborrarna. Man kan dock icke utesluta att förhållanden mellan THg-halt och längd även påverkades av varierande MeHg-exponering och tillväxt.

I abborren fångad i Enegrenen ( $n = 74$ ) förelåg ett signifikant positivt samband mellan THg-halt och längd ( $r^2 = 0,42$ ,  $P < 0,0001$ ) (Figur 7.52). Det linjära sambandet mellan THg-halt och vikt var svagare ( $r^2 = 0,29$ ).

Man kan dra slutsatsen att MeHg-exponeringen av abborrarna i Enegrenen inte varierade särskilt mycket mellan de undersökta åren (2003, 2009 och 2010), inte mer än att det föreligger osäkerhet om någon signifikant skillnad förelåg mellan åren.

Abborren som fångades in i Svartsjön hade signifikant högre Hg-halt i juni 2003 (före åtgärd) än i augusti 2009 ( $P < 0,05$ ) och i augusti 2010 ( $P < 0,001$ ). Dock framgår av Figur 7.51 att två av abborrarna fångade i juni 2003 avvek kraftigt både avseende vikt och längd och därför troligen var abborre 2+. Om man utesluter dessa abborrar från analysen var Hg-halten i abborre som fångades i juni 2003 inte signifikant högre än i abborrarna fångade i augusti 2009 men fortfarande signifikant högre än i abborrarna fångade i augusti 2010 ( $P < 0,01$ ). Det förelåg ingen signifikant skillnad i abborrarnas Hg-halt mellan juni 2003 och juni



**FIGUR 7.51** Kvicksilverhalt (THg) avsatt mot längd för abborre fångad i Enegrenen (referenssjö), Övre Svartsjön och Nedre Svartsjön före åtgärd (2003) och efter åtgärd (2009, 2010). Varje fylld fyrkant (blå) markerar en individ. Medelpunkten med  $\pm 1$  standardavvikelse för THg-halt och längd är markerad med en fylld cirkel (röd).

2010. Dock var de abborrar som fångades i juni 2010 signifikant längre än de som fångades i juni 2003. Troligen var därför ett flertal av abborrarna som fångades i juni 2010 abborre 2+ (Figur 7.51).

Abborrarna som fångades i augusti 2009 och augusti 2010 var signifikant längre än abborrarna som fångades i juni 2003 ( $P < 0,0001$ ), vilket förklaras av att abborren tillväxer under sommaren. (De tre avvikande abborrarna fångade i juni 2003 ingår ej i ovanstående jämförelser och tas ej heller med i jämförelserna nedan). Vidare var abborrarna från augusti 2010 signifikant längre än abborrarna från augusti 2009 och hade dessutom lägre Hg-halt 2010 än 2009 ( $P < 0,051$ ).

Till skillnad från abborrarna från Enegrenen förelåg inget samband mellan Hg-halt och längd för abborrarna från Ö. Svartsjön ( $r^2 = 0,00$ ) (Figur 7.52). Ett skäl till detta skulle kunna vara att abborrarnas högre Hg-belastning hämmade tillväxten. Ett annat möjlig orsak är att saneringen av Ö. Svartsjön har förstärkt effekten av provtagnings-

tillfälle på förhållandet mellan abborrarnas Hg-halt och längd och därmed försvagat sambandet mellan Hg-halt och längd.

Abborrarna fångade i juni 2003 (de två avvikarna borttagna) hade en medelhalt Hg som var 16 % högre än medelhalten Hg i abborrarna fångade i augusti 2010, trots att abborrarna fångade i augusti var äldre (och större) och hade exponerats för MeHg under två tillväxtsånger. I Enegrenen var abborrarnas Hg-halt 23 % högre i augusti 2009 än i juni 2003. Om man utgår från att abborrarna i Ö. Svartsjön hade varit 23 % högre i augusti 2003 än i juni 2003 kommer man fram till att abborrarnas Hg-halt minskade med 31 % mellan 2003 och 2010. Minskningen i abborrarnas Hg-halt mellan 2003 och 2009 blir om den räknas ut på motsvarande sätt 23 %. Om man jämför de abborrar som avvek både vad gäller storlek och Hg-halt i juni 2003 med likstora abborrar (95–103 mm) från provtagningen i juni 2010, vilket högst troligen innebär att man jämför abborre 2+ från juni 2003

med abborre 2+ från juni 2010, finner man att Hg-halten i abborre 2+ har sjunkit med 48 %, d.v.s. närmast halverats, mellan 2003 och 2010. Skillnader mellan olika årsklasser abborre avseende förändring i Hg-belastning skulle kunna ha att göra med att olika bytesorganismer påverkas olika mycket av att MeHg-koncentrationen har minskat i vattnet i och under termoklinen.

I N. Svartsjön var medelhalten Hg i abborrarna signifikant högre i juni 2003 än i juni 2010 ( $P < 0,0001$ ). Medelhalten var 15 % lägre i juni 2010 än i juni 2003. Dessa tillfällen är bra att jämföra, eftersom abborrarna ligger väl samlade kring medelvärdet i bägge fallen (Figur 7.51). Skillnaden i storlek på abborren mellan dessa fångsttillfällen var inte signifikant. Detta tyder på att den lägre MeHg-belastningen 2010 jämfört med 2003 inte hade någon effekt på abborrarnas tillväxt. Man kan förövrigt notera att abborrarnas THg-halt ökade med 15 % mellan juni och augusti. Liksom för abborrarna från Ö. Svartsjön förelåg inget signifikant samband mellan Hg-halt och längd för abborrarna från N. Svartsjön (Figur 7.52).

#### Gäddans THg-halt före och efter åtgärd

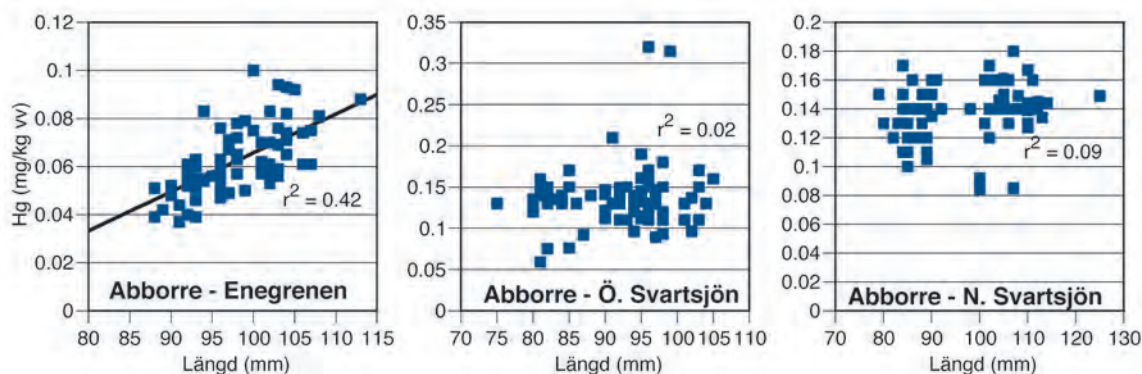
Hg-medelhalten i gäddorna som fångades i Enegrenen var högre 2010 än 2003. Skillnaden i Hg-halt var dock inte signifikant ( $P > 0,25$ ). Gäddornas medellängd var något högre 2010 än 2003, men inte heller för längd var skillnaden signifikant ( $P > 0,20$ ) (Figur 7.53). Däremot var gäddorna från 2010 signifikant äldre ( $7,3 \pm 1,9$  år) än de från 2003 ( $4 \pm 0,5$  år) ( $P < 0,0001$ ). Sambandet mellan ålder och längd var förvånansvärt svagt när man slår ihop gäddorna från 2003 och 2010 ( $r^2 = 0,25$ ;  $P < 0,05$ ). Sambandet mellan Hg-halt och vikt var heller inte starkt men dock signifikant ( $r^2 = 0,25$ ;  $P < 0,05$ ) (Figur 7.54).

För gäddorna fångade i Ö. Svartsjön var Hg-medelhalten 28 % lägre 2010 än 2003 och skillnaden var signifikant ( $P < 0,05$ ). Gäddorna som fångades 2010 var dessutom signifikant längre än de som fångades 2003 ( $P < 0,05$ ) (Figur 7.53). Man kan därför anta att Hg-halten i gäddor av samma storlek har sjunkit med mer än 28 % sedan 2003. Sambandet mellan längd och ålder var relativt starkt när man slår ihop gäddorna från 2003 och 2010 ( $r^2 = 0,77$ ;  $P < 0,0001$ ). Sambandet mellan Hg-halt och längd var svagt negativt (ej signifikant) (Figur 7.54), vilket förklaras av att gäddorna som fångades efter åtgärd (2010) var längre än de som fångades före åtgärd (2003).

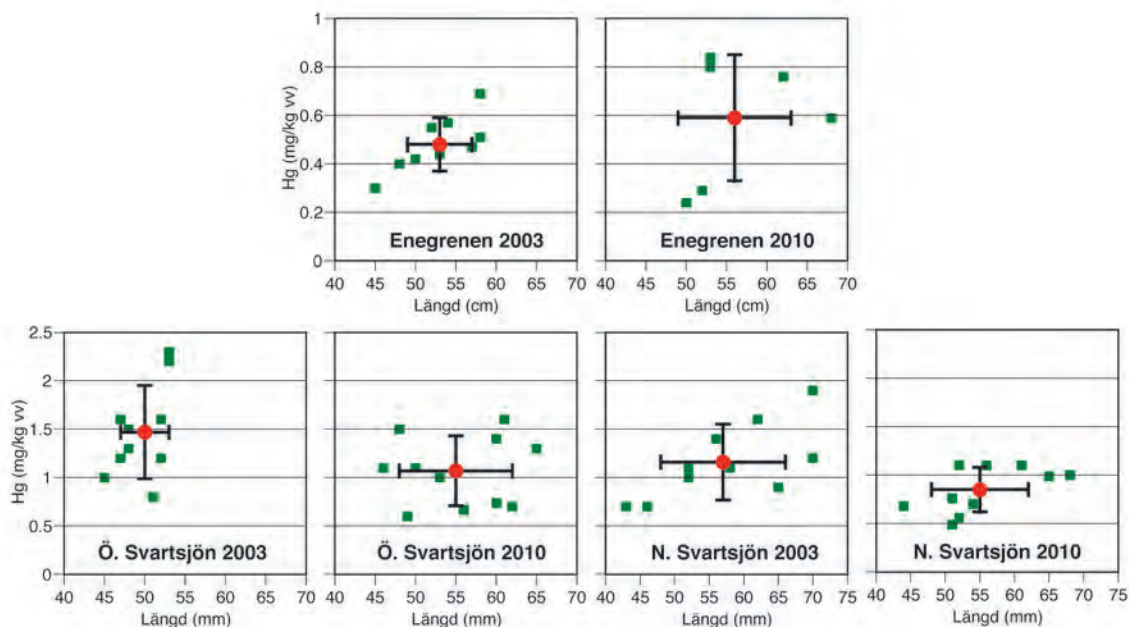
För gäddorna i N. Svartsjön var Hg-medelhalten 27 % lägre 2010 jämfört med 2003 och skillnaden var signifikant ( $P < 0,05$ ). Det förelåg ingen signifikant skillnad i gäddornas längd mellan 2010 och 2003 (Figur 7.53), men gäddorna från 2010 var äldre ( $6,2 \pm 2,2$ ) än de från 2003 ( $4,7 \pm 1,6$ ) ( $P < 0,1$ ). Sambandet mellan längd och ålder var svagare än i Ö. Svartsjön men dock signifikant ( $r^2 = 0,38$ ;  $P < 0,01$ ). Till skillnad från gäddorna från Ö. Svartsjön förelåg ett positivt samband mellan Hg-halt och längd ( $P < 0,01$ ) (Figur 7.54).

#### MeHg i zooplankton före och efter åtgärd

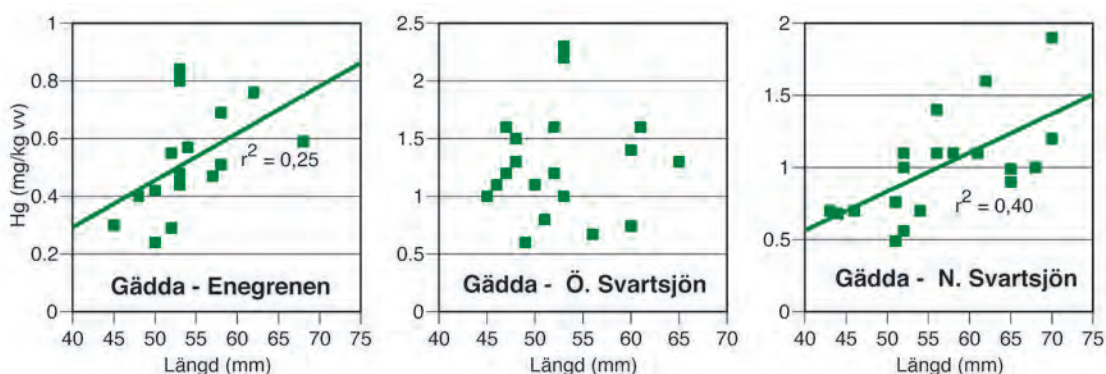
MeHg-halten i zooplankton var vid provtagningarna i juni 1996, september 1996 och juli 1997 (före åtgärd) mycket högre i Svartsjöarna, i synnerhet i Ö. Svartsjön än i referenssjön Enegrenen (Figur 7.55). Störst skillnad förelåg i september 1996, vilket troligen berodde på att Ö. Svartsjöns bottenvatten blandats in i vattnet i och ovanför termoklinen i samband med att termoklinen förflyttats nedåt under slutet av sommaren och början av hösten. Liknande utveckling av MeHg-halten i zooplankton under sommar/höst iaktogs i en



FIGUR 7.52 THg-halt i abborre avsatt mot abborrens längd för samliga abborrar fångade i Enegrenen (referenssjö), Ö. Svartsjön respektive N. Svartsjön 2003 – 2010. Notera att skalorna på y-axlarna inte är de samma.



FIGUR 7.53 Hg-koncentration i gädda från Enegreven (referenssjö), Ö. Svartsjön och N. Svartsjön före åtgärd (2003) och efter åtgärd (2010). Varje fylld fyrkant (grön) markerar en individ. Medelpunkten med  $\pm 1$  standardavvikelse för THg-halt och längd är markerad med en fylld cirkel (röd).

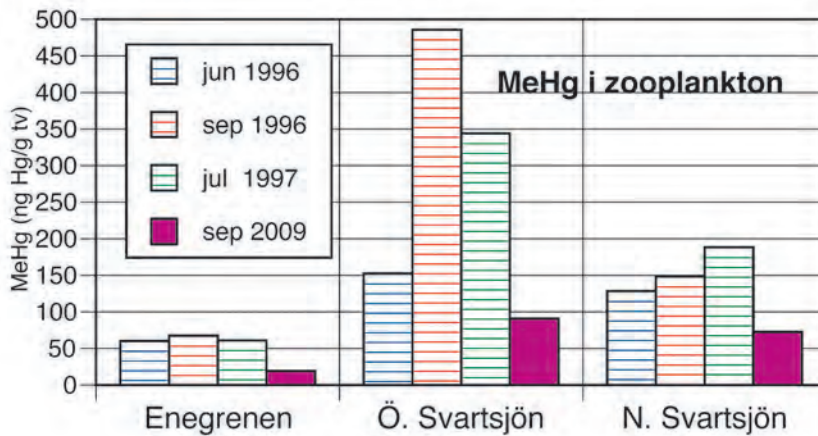


FIGUR 7.54 THg-halt i gädda avsatt mot gäddans längd för samtliga gäddor fångade i Enegreven (referenssjö), Ö. Svartsjön respektive N.Svartsjön 2003–2010. Notera att skalorna på y-axlarna inte är de samma.

skånsk sjö med stort hypolimnion (Regnéll et al. 1995). I en kalifornisk vattenreservoir kunde man se en tydlig koppling mellan inträngande av anoxiskt bottenvatten i de övre vattenlagren och upptag av MeHg i zooplankton och fisk (Slotton et al. 1995). Liknande iakttagelser gjordes i en sjö i Wisconsin, USA, i vilken MeHg-halten i zooplankton var högst strax före total omblandning av vattenpelaren på hösten. Man fann även att upptaget av MeHg i zooplankton var positivt korrelerat med hur mycket MeHg som byggdes upp i hypolimnion före omblandningen av vattenpelaren (Herrin et al. 1998).

Vid provtagningen av zooplankton i september 2009 var MeHg-halten i zooplankton mycket lägre i både Övre och Nedre Svartsjön än före åtgärd. Det var oväntat att samma sak gällde för referenssjön Enegreven (Figur 7.55). En trolig anledning till att MeHg-halten i zooplankton sjönk så pass kraftigt i Enegreven enligt haltskillnaden i proverna före och efter åtgärd är att mycket skräppartiklar och alger kom med i provet som togs 2009 (se nedan).

Om man utgår från genomsnittskoncentrationerna ( $n = 3$ ) före åtgärd hade MeHg-koncentrationen sjunkit med 74 % i Enegreven, 72 % i Ö.



FIGUR 7.55 MeHg i zooplankton (> 0,25 mm) i referenssjön Enegrenen och i Svartsjöarna före åtgärd (streckade staplar) och efter åtgärd (fyllda staplar).

Svartsjön och med 53 % i N. Svartsjön. Om man jämför septemberproverna före åtgärd med proverna efter åtgärd (vilka togs i september) blir sänkningen i MeHg-halt 76 % för Enegrenen, 81 % för Ö. Svartsjön och 51 % för N. Svartsjön.

I absoluta tal var nedgången i MeHg-halt i zooplankton mycket högre i Ö. Svartsjön och högre i N. Svartsjön än i Enegrenen (Figur 7.55). I provet som togs efter åtgärd var MeHg-halten i zooplankton från Svartsjöarna på liknande nivå som i sjöar utan direkt påverkan av Hg-utsläpp (Meili et al. 2004). Den mycket låga MeHg-halten i planktonprovet från Enegrenen som togs efter åtgärden kan åtminstone delvis förklaras av en stor mängd skräppartiklar (32 %). I planktonproven från Svartsjöarna var andelen skräppartiklar 1.3 % (Ö. Svartsjön) och 2.2 % (N. Svartsjön). I provet från Enegrenen noterades dessutom betydande inslag av kiselalgen *Aulacoseira* (J- E Svensson, Medins Biologi AB, muntligen). I proven från Enegrenen före åtgärd var andelen skräppartiklar marginell (Miljörisksbedömning av fiber- och kvicksilverförekomst i Svartsjöarna och Pauliströmsån – Svartsjöprojektet, Hultsfreds kommun 1998).

Uppenbarligen är MeHg-halten i zooplankton i Svartsjöarna starkt påverkad av den interna produktionen av MeHg och sjunkit i nästan samma grad som MeHg-koncentrationerna i vattnet i och under termoklinen i Svartsjöarna.

### Hg i fisk och zooplankton – syntes

Efter muddringarna av sedimenten har Hg-halterna sjunkit i både fisk och zooplankton i Svartsjöarna. Procentuellt mest sjönk Hg-halten i zooplankton, troligen för att upptaget av Hg i zooplankton är direkt knutet till MeHg-koncentrationerna i vattnet vilka har sjunkit kraftigt i de nedre delarna av vattenpelaren. Zooplanktonprover togs endast vid ett tillfälle efter åtgärd och just vid den

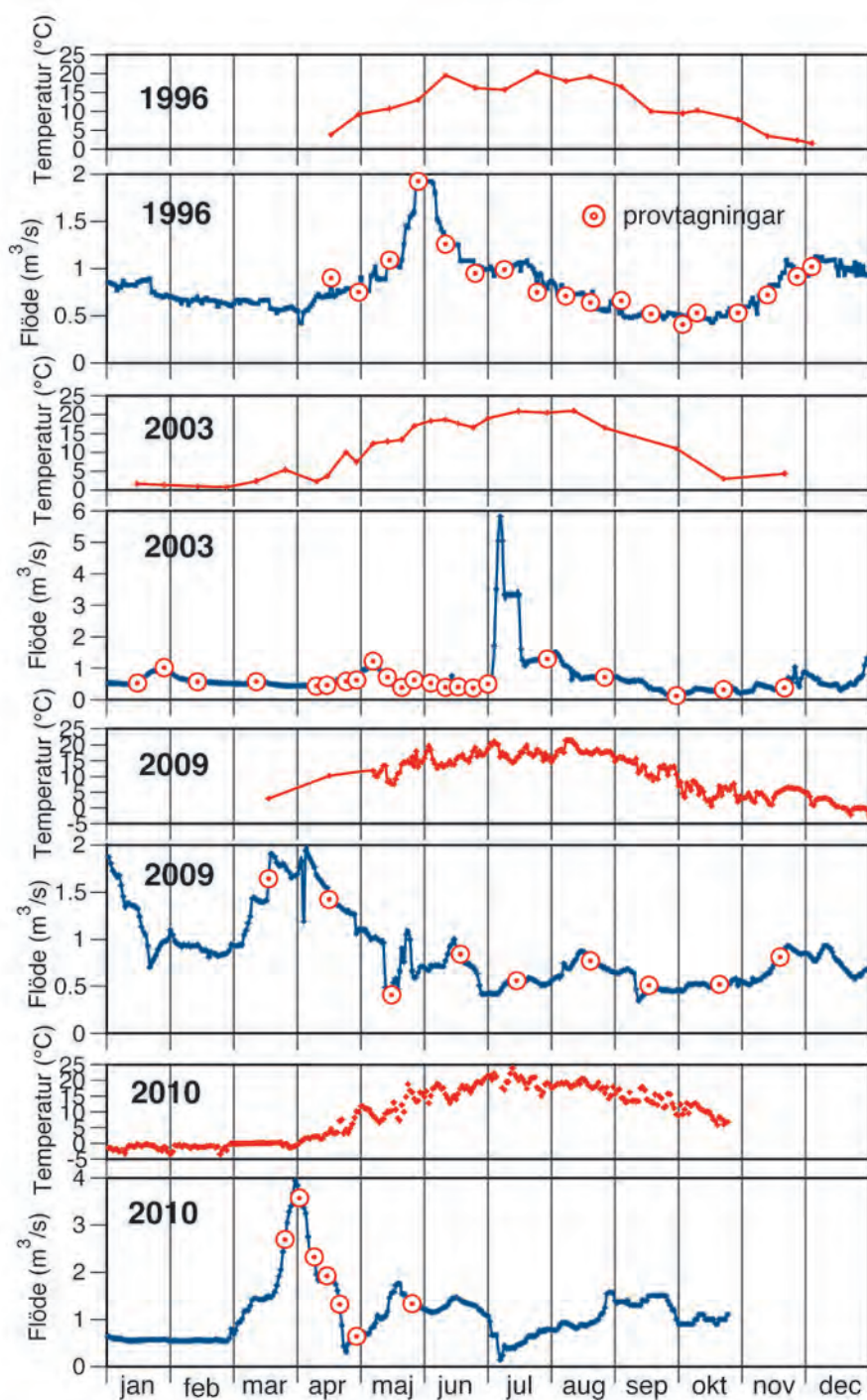
tid på året (tidig höst) då bottenvatten med hög MeHg-koncentration har blandats in i de övre vattenskikten. När MeHg-halten i dessa zooplanktonprov jämförs med MeHg-halten i zooplanktonprov som togs före åtgärd vid samma tid på året finner man att MeHg-halten i zooplankton har minskat med 80 % i Ö. Svartsjön och med 50 % i N. Svartsjön. Om zooplanktonprov från början av sommaren hade jämförts hade man troligen kommit fram till en mindre skillnad i MeHg-halt i zooplankton mellan före och efter åtgärd.

Eftersom abborre 1+ äter zooplankton under hela året är det rimligt att Hg-halten i abborre 1+ som sjönk med 25–30 % i Ö. Svartsjön och med ca 15 % i N. Svartsjön speglar den MeHg-halt i zooplankton som är ett viktintegrerat medelvärde för de zooplankton som fisken har förtärt. Dock påverkas abborre 1+ troligen även av Hg-halten i bentiska organismer. Upptaget av Hg i den bentiska näringsväven påverkas både av MeHg i vattnet och av MeHg i ytsedimentets porvatten. De littorala (strandnära) sedimenten i Svartsjöarna har inte muddrats och därför kan MeHg-koncentrationerna i porvattnet i dessa sediment antas vara tämligen oförändrade. Dessutom har den grunda delen av N. Svartsjön som utgör en stor del av sjön inte muddrats, vilket kan vara en delförklaring till att Hg-halten i abborre 1+ har sjunkit mer i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön. Huvudförklaringen till skillnaden i åtgärdens effekt på Hg-halten i abborre 1+ och zooplankton mellan sjöarna är troligen att MeHg-koncentrationerna i vattenpelaren sjönk betydligt mer i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön.

Hg-halten i gäddor kan antas vara ett resultat av upptag av Hg i den pelagiska såväl som den bentiska näringsväven via de olika bytesfiskar som gäddorna lever av. Hg-halten i gäddor sjönk med strax under 30 % i bägge sjöarna. Gäddorna från Ö. Svartsjön som analyserades efter åtgärd var

större än de som analyserades före åtgärd medan gäddorna från N. Svartsjön var lika stora före som efter åtgärd. Därmed kan hävdas att Hg-halten även för gäddor sjönk mer i Ö. Svartsjön än i N. Svartsjön, eftersom Hg-halten i gäddor normalt ökar med vikten. En märklig omständighet var att vissa av gäddorna som fångades efter åtgärden var mycket gamla i förhållande till storleken. Detta gällde även för en gädda från Enegrenen (1,2 kg, 10 år). Denna gädda var en hane som förväntas ha

betydligt lägre tillväxt än honor. I Svartsjöarna var två av de långsamväxande gäddorna honor (1,4 och 1,7 kg och båda 10 år). Hur tillväxthastighet och ålder påverkar Hg-halten i fisk är oklart och kan bero på många olika faktorer. Det kan tyckas förvånande att Hg-halten sjönk mer i gäddorna än i abborrarna i N. Svartsjön. En möjlig förklaring är att gäddorna äter främst planktonätande fiskar som mört.



**FIGUR 7.56**  
Hydrografer och temperaturkurvor för de år provtagningarna ägde rum. Vattemprovtagningarna är markerade på hydrograferna. Notera att skalorna på hydrografernas y-axlar är olika och att ett extremt högflöde inträffade under juli 2003.

I zooplankton sjönk MeHg-halterna i Svartsjöarna nästan ner till referenshalterna i Enegrenen, d.v.s. de som uppmättes före åtgärd. Den MeHg-halt som uppmättes i Enegrenens zooplankton efter åtgärd var betydligt lägre, troligen på grund av ett stort inslag av skräppartiklar och alger i detta prov. Att MeHg-halterna i zooplankton från Svartsjöarna inte har sjunkit helt ner till referenshalterna i Enegrenen kan förklaras av att Hg-halterna i sediment och sedimenterande material fortfarande är högre i Svartsjöarna än i de delar av Pauliströmsåns vattensystem som ligger ovanför Pauliström. Det kan även finnas andra skillnader mellan sjöarna som gör att MeHg-halterna i zooplankton är högre i Svartsjöarna än i Enegrenen. Enegrenen är en tämligen grund sjö med ett medeldjup på 2,2 m och utvecklar därmed anoxiska förhållanden i en mycket liten del av vattenmassan, om än alls. Detta innebär rimligen att potentialen för Hg-metylering i vattenmassan är låg. Andra faktorer som kan spela in är produktion av biomassa och biomassans sammansättning. I de zooplanktonprover som togs efter åtgärd var artdiversiteten betydligt lägre i Svartsjöarna än i Enegrenen (Svensson 2009).

Det är möjligt att MeHg-halterna i Svartsjöarnas organismer inte ens på lite längre sikt kommer att nå hela vägen ner till referenshalterna i Enegrenen. Det kan dock finnas utrymme för en fortsatt sänkning av Hg-halterna i Svartsjöarnas organismer genom att produktion, tillväxt och diversitet hos biomassan förändras på ett positivt sett tack vare förbättrade syrgashalter och lägre MeHg-koncentrationer. Det är också möjligt att potentialen för Hg-metylering kommer att sjunka ytterligare genom att icke nedbrutna fiber som fortfarande finns kvar i Svartsjöarna successivt bryts ner och därefter ej ger upphov till mer Hg-metylering.

#### 7.5.6 THg OCH MeHg I PAULISTRÖMSÅN

Som framgått av inledningen kan man inte dra några slutsatser av åtgärdens effekter på THg- och MeHg-koncentrationerna/transporten i Pauliströmsån endast genom att jämföra koncentrationerna/transporten av THg och MeHg före och efter åtgärd. Man måste också ta hänsyn till olika förhållande som påverkar förekomsten av THg och MeHg i vattnet och hur dessa skiljer sig mellan före och efter åtgärden. De variabler som har störst inflytande på THg-koncentrationen i vattnet är TOC-koncentrationen (koncentrationen av organiskt kol i vattnet) och vattenföringen. TOC-koncentrationen i sin tur ökar med vattenföringen (trots utspädningseffekten) och temperaturen. Även MeHg-koncentrationen kan öka med vatten-

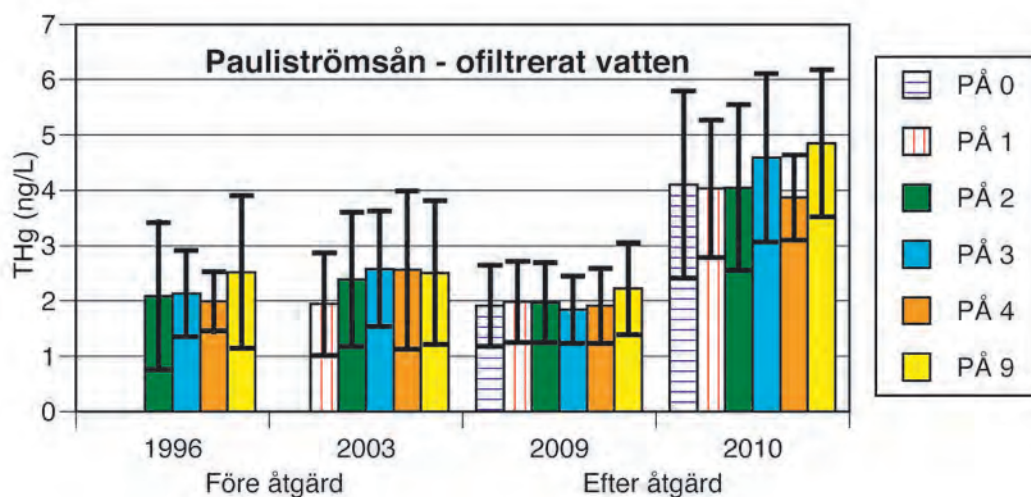
föring och temperatur men förhållandet mellan MeHg och dessa variabler är komplext. Vid låga temperaturer påverkas inte MeHg särskilt mycket av vattenföringen. Snarast leder hög vattenföring då till lägre MeHg-koncentrationer, vilket är en effekt av utspädning och att hög vattenföring leder till syresättning av gränzonen där åvatten blandas med markvatten (den hyporehiska zonen, blandzonen). På sommaren leder hög vattenföring till hög MeHg-koncentration men inte förrän vattenföringen börjar minska och anaerobin tilltar i blandzonen (Regnéll et al. 2009). Anaerobin är en konsekvens av hög mikrobiell aktivitet som förbrukar syre och att vattenmättnad av marken runt åfåran leder till lägre upptag av syre från luften än när luften kan tränga ner i vattenfria porer i marken. Under sådana förhållanden tillförs åvattnet MeHg från blandzonen om flödesriktningen är riktad mot åfåran, vilket tycks vara fallet en tid efter att flödestoppen passerat.

Det är således av stor betydelse under vilka flödes- och temperaturförhållanden som vattenproverna före och efter åtgärd är tagna. Här måste man ta hänsyn inte bara till vilket flöde och vilken temperatur som rådde vid provtagningstillfället utan också vilka flödes- och temperaturförhållanden som rådde tiden före provtagningen, helst några veckor bakåt. Detta kan illustreras genom att markera provtagningen på hydrografen och temperaturkurvan (Figur 7.56).

Ett mått på Hg-belastningen på olika platser i Pauliströmsån är THg-halten i sedimenterande material. Även denna påverkas av vattenföringen, men i mindre utsträckning än THg-koncentrationen i vattnet. THg-halten i sedimenterande material är ett komplement till THg-koncentrationerna i vattnet vid utvärderingen av effekten av åtgärden på THg-transporten i Pauliströmsån nedströms Svartsjöarna. Ytterligare ett mått på Hg-belastningen är THg-halten i vattenburna partiklar. Denna kan beräknas som skillnaden i THg-koncentration mellan ofiltrerade och filtrerade vattenprover dividerat med partikelkoncentrationen i vattnet (susp).

#### THg- och MeHg-koncentrationer i åvattnet före och efter åtgärd

Hydrograferernas olikheter mellan åren (Figur 7.56) komplicerar utvärderingen av effekten av åtgärden på THg- och MeHg-flödena före och efter åtgärd. Man kan börja med att jämföra åren före (1996 och 2003) med åren efter (2009 och 2010) vad gäller förändringar i THg- och MeHg-koncentrationer mellan de olika provtagningsstationerna i Pauliströmsån. Mest relevant för frågeställningen är att studera hur THg- och MeHg-kon-



**FIGUR 7.57** THg-koncentrationer i Pauliströmsån före och efter åtgärd. Angiven spridning kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse. PÅ 0 och PÅ 1 är referensstationer ovanför Pauliström. PÅ 2 ligger ovanför Ö. Svartsjön, PÅ 3 mellan Svartsjöarna, PÅ 4 nedströms N. Svartsjön och PÅ 9 strax ovanför utflödet i Emån.

centrationerna förändras vid passagen genom Ö. Svartsjön och vid passagen genom N. Svartsjön (Figur 7.57 och Figur 7.58). Nedan visas först vilka THg-koncentrationer som uppmättes i ofiltrerat vatten vid de olika stationerna för referensåren 1996 och 2003 och för åren 2009 och 2010 efter åtgärd (Figur 7.57)

För båda referensåren 1996 och 2003 ökade THg-medelkoncentrationen något vid passagen genom Ö. Svartsjön (något högre vid PÅ 3 än vid PÅ 2), dock inte med mer än 2 respekt 8 % och skillnaderna mellan in- och utflödet var inte signifikanta (parat t-test). Vid passagen genom N. Svartsjön minskade THg-medelkoncentrationen med 7 % under 1996 (ingen signifikant minskning) och ändrades inte under 2003 (PÅ 4 jämförs med PÅ 3).

För året 2009 (efter åtgärd) minskade THg-medelkoncentrationen med 7 % (ingen signifikant minskning) vid passagen genom Ö. Svartsjön. Vid passagen genom N. Svartsjön ökade THg-medelkoncentrationen med 4 % (ingen signifikant ökning).

THg-koncentrationerna i vattenproven från 2010 var överlag höga, vilket berodde på att dessa vattenprov togs under vårflödet (Figur 7.56). Detta illustrerar att en direkt jämförelse av THg-koncentrationerna före och efter åtgärd nedströms Svartsjöarna inte ger någon användbar information om effekten av åtgärden på THg-flödena i Pauliströmsån. Innan man drar några slutsatser måste man ta hänsyn till THg-koncentrationerna uppströms sjöarna.

THg-medelkoncentrationen ökade med 13 % ( $P < 0,05$ ) vid passagen genom Ö. Svartsjön under vårflödet 2010. Denna ökning kan förklaras av att höga flöden leder till resuspension av sedimentpartiklar, vilka fortfarande har något högre Hg-halter än partiklar uppströms. Trots att partiklar i N. Svartsjön har högre Hg-halter än partiklar i Ö. Svartsjön efter åtgärd minskade THg-medelkoncentrationen något vid passagen genom N. Svartsjön (se avsnitten 7.5.2 och 7.5.3). Detta skulle kunna bero på olika sedimentationsförhållanden i sjöarna men också partiklarnas sedimentationsegenskaper, med större inslag av kolloidala partiklar i Ö. Svartsjön.

THg-koncentrationerna ändrades ytterst lite mellan referensstationerna PÅ 0 och PÅ 1 uppströms Pauliström (PÅ 0 ligger ca 4 km uppströms PÅ 1) både under 2009 och 2010. En liten höjning av THg-koncentrationen mellan PÅ 1 och PÅ 2 ägde rum under 2003 men under 2009 och 2010 verkar inget påslag av Hg ha skett nedströms Pauliström. Således kan åsträckan mellan Pauliström och Ö. Svartsjön betraktas som "ren" och därmed bör risken för återkontaminering av Svartsjöarna vara liten. Det är möjligt att det extrema högflödet i juni spolade denna åsträcka ren från Hg-föreningar.

THg-medelkoncentrationen ökade i tre fall av fyra mellan PÅ 4 strax nedströms N. Svartsjön och PÅ 9 strax ovanför utloppet i Emån. Det förelåg en tendens att ökningen inträffade vid höga flöden (Figur 7.34). Denna åsträcka är uppenbarligen fortfarande Hg-kontaminerad. Eftersom mer Hg exporteras än tillförs och risken för omfattande

återkontaminering har minskat i och med muddringarna av Svartsjöarna bör även denna åsträcka successivt bli rensopolad.

MeHg-koncentrationerna vid de olika stationerna i Pauliströmsån före och efter åtgärd visas nedan (Figur 7.58). De uppvisade plats- och tidsmässiga förändringar som i flera avseenden skilde sig från de motsvarande THg-koncentrationerna (Figur 7.57).

För båda referensåren ökade MeHg-medelkoncentrationen i Pauliströmsån vid passagen genom Ö. Svartsjön; med 40 % under 1996 ( $P < 0,01$ , Wilcoxon's ranktest) och med 14 % 2003 ( $P < 0,05$ ). Under 2009 (efter åtgärd) minskade istället MeHg-medelkoncentrationen med 14 % (ej signifikant) och påverkades inte under 2010 vid passagen genom Ö. Svartsjön. Detta indikerar att Ö. Svartsjön från att mestadels ha varit en nettokälla till MeHg övergått till att vara mestadels en sänka för MeHg, inte minst med tanke på att det inkommande åvattnet hade betydligt lägre MeHg-koncentration åren efter åtgärd än under åren före åtgärd.

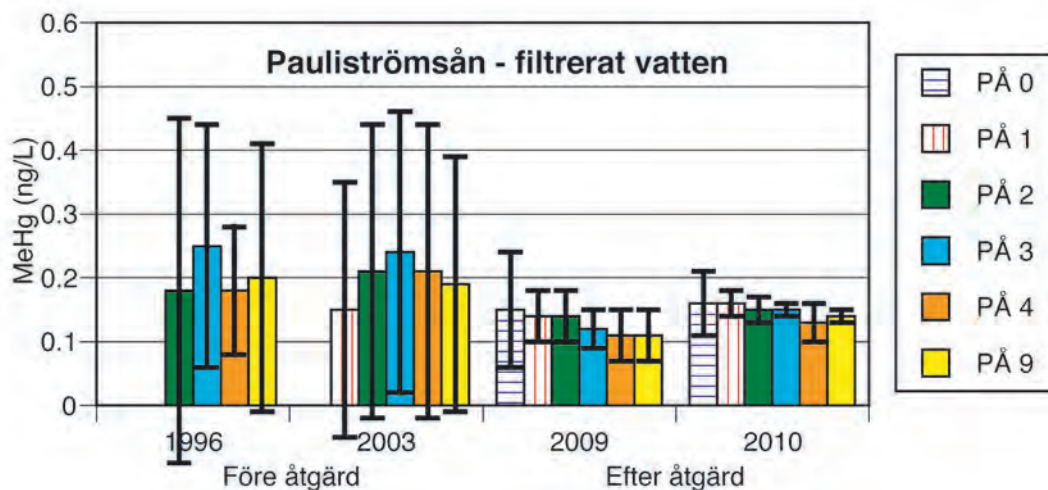
Passagen genom N. Svartsjön ledde i samtliga fall, d.v.s. både före och efter åtgärd, till att MeHg-medelkoncentration sjönk. Detta förklaras åtminstone delvis av att potentialen för Hg-metylering var och fortfarande är något lägre i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön (se avsnitt 7.5.5).

Det förefaller som att MeHg-koncentrationerna nedströms Pauliström överlag har avtagit avsevärt

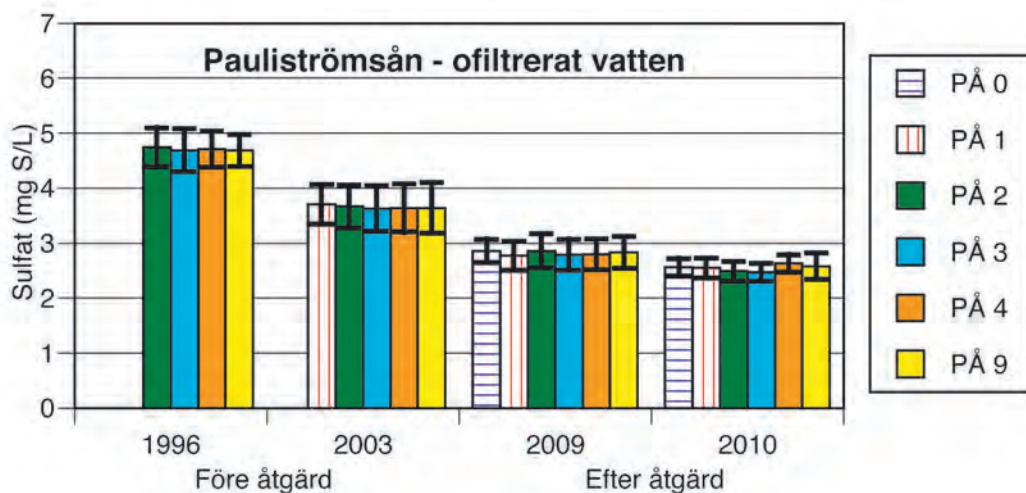
efter åtgärd (Figur 7.58). När det gäller station PÅ 2 kan detta naturligtvis inte tillskrivas muddringarna i Svartsjöarna. Att MeHg-koncentrationerna var lägre efter åtgärd än före åtgärd vid PÅ 2 beror troligen främst på att höga flöden sammanföll med höga temperaturer under 1996 och i synnerhet under 2003 och att därmed Hg-metyleringen långsamt var betydligt högre dessa år än under 2009 och 2010.

Att MeHg-medelkoncentrationen vid PÅ 2 har minskat i relation till referensstationen PÅ 1 kan vara en följd av att åsträckan mellan Pauliström och Ö. Svartsjön har renats "naturligt" från gamla Hg-föreningar och fiber av de höga flödena 2003.

Minskningen av MeHg-koncentrationen vid PÅ 9 (strax ovanför utflödet i Emån) i relation till den vid referensstationen PÅ 1 kan troligen inte förklaras av minskad Hg-förening, eftersom THg-koncentrationerna inte förefaller ha minskat vid PÅ 9 (Figur 7.58). Här rör det sig troligen istället främst om att exporten av MeHg från Svartsjöarna har minskat. Detta i sin tur beror på, förutom lägre Hg-metylering i sjöarna, att MeHg-koncentrationen i det inflödande åvattnet har minskat (Figur 7.58). Förutom en minskad MeHg-export från Svartsjöarna är det möjligt att MeHg-koncentrationerna vid PÅ 9 har minskat i förhållande till den vid PÅ 1 för att Hg-metyleringen är mer känslig för förändringar i flödes- och temperaturförhållanden samt förändring i sulfathalt (se nedan) nedströms Svartsjöarna än uppströms, på grund av



**FIGUR 7.58** MeHg-koncentrationer i filtrerat vatten (0,45 µm) i Pauliströmsån före och efter åtgärd. Bestämningarna av MeHg i ofiltrerade vattenprover gav i några fall inkorrekta resultat, troligen på grund av att någon typ av partikel påverkade upparbetningen av proverna. Eftersom inga filtrerade vattenprover analyserades 1996 har MeHg-koncentrationerna från 1996 multiplicerats med faktorn 0,8 (genomsnittligt förhållande mellan filtrerade och ofiltrerade prover). Angiven spridning kring medelvärdet är  $\pm 1$  standardavvikelse. Troligen var fördelningen positivt skev varför standardavvikelserna är något missvisande. PÅ 0 och PÅ 1 är referensstationer ovanför Pauliström. PÅ 2 ligger ovanför Ö. Svartsjön, PÅ 3 mellan Svartsjöarna, PÅ 4 nedströms N. Svartsjön och PÅ 9 strax ovanför utflödet i Emån.



**FIGUR 7.59** Sulfatkoncentrationer i Pauliströmsån före och efter åtgärd. Angiven spridning kring medelvärden är  $\pm 1$  standardavvikelse. PÅ 0 och PÅ 1 är referensstationer ovanför Pauliström. PÅ 2 ligger ovanför Ö. Svartsjön, PÅ 3 mellan Svartsjöarna, PÅ 4 nedströms N. Svartsjön och PÅ 9 strax ovanför utflödet i Emån.

förhöjd förekomst av organiskt material och Hg nedströms sjöarna.

MeHg-koncentrationerna var till skillnad från THg-koncentrationerna inte höga i vattenproverna från 2010 (Figurerna 7.57 och 7.58). Dessa prover togs under vårflödet 2010, vilket inträffade tidigt på säsongen (Figur 7.56). Temperaturen var därför låg och därmed även den mikrobiella aktiviteten och Hg-metyleringen.

En bidragande orsak till att MeHg inte uppnådde lika höga koncentrationer under 2009 och 2010 som under 1996 och 2003 (gäller även för referensstationen PÅ 1) kan vara att sulfathalterna har minskat i ån (Figur 7.59). Låga sulfathalter kan begränsa Hg-metyleringen när förhållandena i övrigt är optimala för Hg-metylering, och/eller när konkurrens uppstår mellan sulfatreducerare och andra bakterier.

En övergripande bedömning av muddringarnas effekter på THg- och MeHg-transporten nedströms Svartsjöarna baserad på THg- och MeHg-koncentrationer vid de olika stationerna i Pauliströmsån är att effekten av åtgärden på THg-transporten hittills har varit marginell medan effekten på MeHg-transporten troligen är betydande men samtidigt svår att kvantifiera.

Det kan tyckas märkligt att THg-transporten har påverkats så lite av att THg-halterna i Ö. Svartsjöns sediment har sänkts med 80–90 %. Förklaringen är att Hg-föreningarna i sedimentet under normala flödesförhållanden spreds i liten omfattning. Visserligen mobiliseras Hg från bottensediment och sedimentande material, i synnerhet

under sommaren, men detta påverkar främst bottenvattnet i sjön som är isolerat från det vatten som transporteras nedströms. Under några få dagar på hösten kunde både THg- och MeHg-koncentrationerna vara höga i hela vattenpelaren i samband med att skiktningen bröts, men de mängder Hg och MeHg som byggdes upp i bottenvattnet under sommaren motsvarade bara några få % av årsflödena av THg och MeHg i Pauliströmsån, och bara en mindre del av dessa mängder förelåg i vattenpelaren när skiktningen bröts (data visas ej).

Det är dock ett rimligt antagande att extremt höga flöden skulle leda till betydligt lägre THg-export från Ö. Svartsjön nu än vad som var fallet före åtgärd. Förekomsten av fibersediment och kraftigt ökade Hg-halter i norra delen av N. Svartsjön efter högflödet i juli 2003 indikerade att en stor del av Hg-exporten från Ö. Svartsjön kunde ske under korta episoder. Risken för omfattande spridning av Hg mellan Svartsjöarna och vidare ner i Pauliströmsån i samband med extrema flöden kan antas ha eliminerats genom att Svartsjöarna har muddrats.

MeHg-transporten nedströms Svartsjöarna har minskat påtagligt efter åtgärden. När man jämför åren före med åren efter åtgärd får man intryck av att MeHg-koncentrationen och därmed MeHg-transporten ner till Emån har minskat med nästan 50 % (Figur 7.58). Minskningen av MeHg-exporten från Svartsjöarna medför rimligen att MeHg-exponeringen av fisk, bl.a. öring, och andra organismer i Pauliströmsåns nedre delar har minskat.

Det är emellertid svårt att bedöma hur mycket

muddringarna av Svartsjöarna har påverkat exporten av MeHg till Emån, eftersom MeHg-koncentrationen sjunkit även uppströms Svartsjöarna och minskade sulfathalter kan ha bidragit till minskad Hg-metylering nedströms sjöarna. Dessutom gäller att Svartsjöarnas effekt på MeHg-koncentrationerna i Pauliströmsåns vatten berodde och beror på MeHg-koncentrationen i det inkommande vattnet och på förhållanden i sjöarna som uppvisar betydande variation under året såväl som mellan olika år. Generellt gäller att nederbörd och temperatur, det vill säga vädret, styr både importen av MeHg till en sjö och den interna produktionen av MeHg i sjön.

Troligen har muddringarna haft större effekt på MeHg-transporten än på THg-transporten nedströms Svartsjöarna på grund av att avlägsnandet av fiber leder både till lägre THg-halter och lägre Hg-metyleringspotential i vatten och sediment. Dessutom gäller att metylering ökar kvicksilvrets rörlighet. En förändring i mängd får därför större effekt på transporten av MeHg än på transporten av THg.

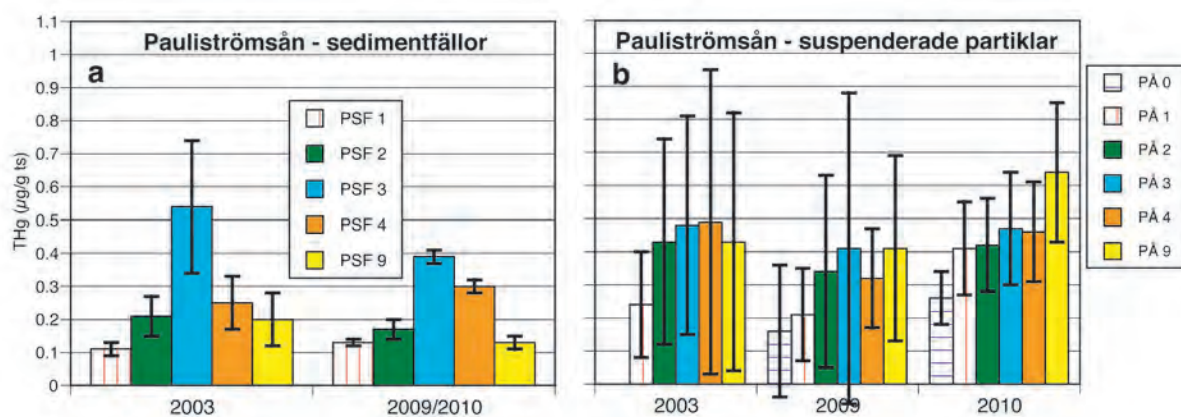
#### THg-halter i sedimenterande och suspenderade partiklar i åvattnet före och efter åtgärd

Vattenburet Hg utgörs främst av kolloidala och partikelbundna fraktioner. I Pauliströmsån passerar en stor del av kvicksilvret 0,45 µm filter vid normala flöden, vilket är typiskt för mindre skogsåar med relativt humöst vatten. Huvuddelen av detta Hg skulle troligen visa sig vara kolloidalt snarare än löst (< 10 kDa) om detta undersöktes noggrant. Generellt gäller att ämnen som binder

hårt till organiskt material, vilket i hög grad gäller för Hg, tenderar att föreligga i den kolloidala fasen (Ross & Sherrell 1999). När det gäller transport i rinnande ytvatten spelar det troligen inte stor roll om ämnet i fråga är kolloidalt bundet eller löst. Större partiklar däremot, undandras i högre utsträckning från vattnet under transporten nedströms. Man kan därför anta att ämneshalter i sedimenterande partiklar och suspenderade partiklar bättre speglar platsspecifika förhållanden än lösta och kolloidala ämnen i vattnet, eftersom de senare påverkas mer av förhållandena uppströms. Detta accentueras vid låga flöden under vilka partiklar tenderar att snabbt sedimentera bort från vattnet.

I Svartsjöprojektet har sedimentfällor varit utplacerade vid olika stationer i ån som legat nära de vid vilka vattenprover har tagits. Sedimentfällorna har fått samla material i ungefär en månad, varefter de tömts och innehållet bestämts bland annat med avseende på THg (Figur 7.60a). En fördel med sedimentfällor i förhållande till vattenprov är att man får ett tidsintegrerat mått på THg-föreningen. Vattenprovet visar bara föreningsnivån vid just det tillfälle då provet togs. En annan fördel med sedimentfällor är att man får ett mer platsspecifikt mått på föreningsnivån, enligt resonemangen ovan.

Från och med 2003 mättes THg-koncentrationen både i ofiltrerat och filtrerat vatten (0, 45 µm). Detta möjliggjorde att man för åren 2003, 2009 och 2010 kunde räkna ut koncentrationen av partikelbundet Hg i vattnet. Om man dividerar denna med partikelhalten i vattnet (susp) får man THg-halten i de vattenburna partiklarna (Figur 7.60b).



FIGUR 7.60 THg-halter (medelvärde ± 1 standardavvikelse) i partiklar som fångades upp av sedimentfällor (a) och i suspenderade partiklar (se text) vid angivna stationer i Pauliströmsån före åtgärd (2003) och efter åtgärd (2009, 2010). PSF 1, PÅ 0 och PÅ 1 är referensstationer uppströms Pauliström (streckade staplar). PSF 2 och PÅ 2 är stationer ovanför Ö. Svartsjön. PSF 3 och PÅ 3 ligger mellan Svartsjöarna. PSF 4 och PÅ 4 ligger strax nedströms N. Svartsjön och PSF 9 och PÅ 9 ligger strax ovanför utloppet i Emån.

För materialet i sedimentfällorna ser man att THg-halterna före åtgärd (2003) var högre nedströms Pauliström än vid referensstationen PSF 1 uppströms Pauliström. Som väntat var THg-halterna högst vid stationen närmast nedströms Ö. Svartsjön (PSF 3). Efter åtgärden (2009/2010) var THg-halterna vid PSF 2 (mellan Pauliström och Ö. Svartsjön) inte mycket högre än vid referensstationen PSF 1, vilket skulle kunna bero på att det höga flödet i juli 2003 förde bort Hg-kontaminerade partiklar, som i så fall troligen sedimenterade i Ö. Svartsjön.

I fällan nedströms Ö. Svartsjön (PSF 3) var THg-medelhalten signifikant högre före åtgärd (2003) än efter åtgärd (2009/2010),  $P < 0,001$ , ANOVA. Följaktligen har muddringen av Ö. Svartsjön inneburit att exporten av partikelbundet Hg har minskat från sjön. I Ö. Svartsjön själv var THg-halten i det sedimenterande materialet lägre än vid PSF 3 efter åtgärd (Figurerna 7.40 och 7.60a). Detta kan förklaras med att PSF 3 påverkades av Hg-kontaminerat material som tidigare har ackumulerats i närheten (se avsnitt 7.5.2). För stationerna PSF 4 (nedströms N. Svartsjön) och PSF 9 (strax ovanför utflödet i Emån) förelåg ingen signifikant skillnad i THg-halt i sedimenterande material mellan före och efter åtgärd. Det kan troligen dröja innan man ser några klara tecken på minskad Hg-kontaminering nedströms N. Svartsjön, eftersom gamla Hg-föroreningar fortfarande finns i åsediment och åbankar mellan N. Svartsjön och utloppet i Emån. Dessutom är den nedre delen av N. Svartsjön inte muddrad. Även om sedimenten i den nedre delen av sjön troligen är relativt stabila kan en del Hg frigöras från dessa, i synnerhet vid kraftig vind och höga flöden.

THg-halten i suspenderade partiklar varierade kraftigt mellan provtagningarna både före och efter åtgärd (Figur 7.60b). Detta kan förklaras med att de suspenderade partiklarna har olika ursprung beroende på vattenföring, vattennivåer och temperatur. Eftersom THg-halten räknas ut från två bestämningar av THg i vatten (ofiltrerat och filtrerat) som ibland inte skiljer sig mycket åt är säkert en del av variationen orsakad av osäkerhet i bestämningen av THg. Liksom för THg-koncentrationen i ofiltrerat vatten (Figur 7.57) kan man inte se någon tydlig skillnad vad gäller THg-halten i suspenderade partiklar mellan före och efter åtgärden. Man kan förövrigt notera att THg-halten tenderar att vara högre i suspenderade partiklar än i material som sedimenterar. För båda typerna av partiklar var glödförlusten ca 50 %, utom vid PÅ 9/PSF 9 där glödförlusten för sedimenterande material var ca hälften (25 %) av glödförlusten för suspenderade partiklar (data visas ej). En möjlig

förklaring till att THg-halten i suspenderade partiklar är högre än i något grövre partiklar som sedimenterar, utöver skillnader i organiskt innehåll, är att organiskt material fraktioneras och skiljer sig kvalitativt mellan olika partiklar. En viss överskattning av THg-halten i de suspenderade partiklarna kan orsakas av att vattenproven för Hg-bestämning filtrerades med 0,45 µm filter, medan partikelhalten bestämde med 0,7 µm filter.

#### 7.5.7 SYNUNKTER PÅ KONTROLLPROGRAMMEN – VAD KUNDE HA GJORTS BÄTTRE?

Undersökningar före och efter åtgärd fyller syftet att kunna ge information om effekten av åtgärden och dessutom kunna förklara varför effekten blev som den blev. Sådan information från Svartsjöprojektet är av stor vikt för utformning av framtida åtgärder mot Hg-belastning av organismer i sjöar, rinnande vatten och kustområden.

Tveklöst höll miljökontrollprogrammen i Svartsjöprojektet hög ambitionsnivå. Nedan diskuteras vad som kunde ha gjorts bättre i bemärkelsen att de med högre precision kunnat styra utformningen av åtgärden och ge mer precis information om åtgärdens effekter.

#### Sediment i Svartsjöarna

I kontrollen av Hg-halterna i sediment efter åtgärden ingick inte mätningar av Hg i ytsediment annat än att Hg-halten undersöktes inom varje muddrat delområde i skiktet 0–40 cm efter homogenisering. Därmed erhöles endast ett haltmedelvärde för detta skikt. En begränsad provtagning gjordes där efter av ytsediment (0–10 cm) med en upplösning på 1 cm inom de centrala och djupaste delarna av Svartsjöarna. Dessa prover kunde ha kompletteras med fler prover av ytsediment från de övriga muddrade delarna av sjöarna. Man skulle kunna ha gjort mätningar i skiktet 0–1 cm på 10 platser jämnt fördelade över varje muddrat delområde och på en av dessa platser, lämpligen den närmast centrum, göra mätningar ner till sedimentdjupet 10 cm med en upplösning av 1 cm. Förekomsten av icke nedbruten fiber kunde ha undersöks med samma horisontella upplösning ner till 1 m djup i sedimentet. Kontrollen av Hg- och fiberförekomst före muddringen kunde ha haft motsvarande högre upplösning. Med tanke på att även Cu-halterna var förhöjda kunde man ha bestämt även dessa.

I N. Svartsjön kunde man ha gjort en mer omfattande undersökning av halterna och mängderna av Hg och Cu i ytsedimenten i den södra delen av sjön (som inte har muddrats), samt ha mätt resuspensionen av Hg och Cu från dessa sediment med

sedimentfällor i en gradient över det södra grundområdet till den centrala djuphålan. Detta hade visat om dessa sediment är en källa till spridning av Hg och Cu. Man har skäl att tro att så inte är fallet men en mer omfattande undersökning av mängder och spridningsbenägenhet hade kunnat ge ett definitivt svar.

### **Strandzonen i Svartsjöarna**

Strandzonen som omger de muddrade områdena (bilaga 3) kunde ha undersökts med avseende på förekomst av ofullständigt nedbruten fiber och THg-halten i sediment. Om påtagliga mängder Hg och sådan fiber förelåg här kunde man ha försökt att avlägsna dessa, både av estetiska skäl och för att minska MeHg-belastningen ytterligare på sjöarnas organismer. Man hade kunnat göra motsvarande undersökningar i förbindelsen mellan Ö. Svartsjön och N. Svartsjön och i den smala delen av Ö. Svartsjön norr om den egentliga sjöytan fram till vattenfallet. Ett avlägsnande av sediment från dessa områden hade emellertid krävt en annan teknik än den som användes i projektet och hade krävt en separat insats.

### **Hg i småabborre**

En viktig fråga att besvara är hur relationen mellan vikt, längd, ålder och THg-halt skiljer sig mellan referenssjön Enegrenen och Svartsjöarna. I kontrollprogrammet efter åtgärd åldersbestämde inte de abborrar som efter bedömning av storlek räknades som abborre 1+. Det visade sig emellertid att en del av dessa abborrar troligen var abborre 0+ respektive abborre 2+ (se avsnitt 7.5.5). För att få en mer säker jämförelse av Hg-halten i abborre mellan referenssjön Enegrenen och Svartsjöarna skulle man på sensommaren eller tidig höst ha kunnat fånga ett relativt stort antal småabborrar i ett storleksintervall som innefattar abborre 0+, abborre 1+ och abborre 2+, och därefter ha bestämt abborrarnas ålder, vikt och längd. Efter att vikt, längd och ålder bestämts, hade man kunnat välja ut minst 10 av respektive 0+, 1+ och 2+ för Hg-bestämning från varje sjö.

### **MeHg i zooplankton och bottendjur (zoobentos)**

Eftersom sedimenten närmast land inte har muddrats kan man misstänka att MeHg-halten i bottendjur som lever i strandzonen inte har reducerats lika mycket som MeHg i zooplankton. Om så är fallet innebär detta att fisk i Svartsjöarna som äter bottendjur, eller som äter fisk som äter bottendjur, d.v.s. fisk som ingår eller delvis ingår i den bentiska näringsväven, inte uppvisar samma sänkning av THg-halten efter åtgärden som fisk som mer

renodlat ingår i den pelagiska näringsväven (som består av organismer som lever i den fria vattenmassan). Det finns uppgifter på MeHg-koncentrationer i bottendjur före åtgärd (Miljöriskbedömning av fiber- och kvicksilverförekomst i Svartsjöarna och Pauliströmsån, Hulsfreds kommun 1998). Dessa visar att bottendjur från Svartsjöarna i de flesta fall hade betydligt högre MeHg-halter än motsvarande bottendjur i Enegrenen.

Ett sätt att ta reda på vilken inverkan fiskens diet har på fiskens Hg-halt i referenssjön Enegrenen respektive i Svartsjöarna är att undersöka hur MeHg-halten i zooplankton förhåller sig till MeHg-halten i bottendjur i respektive sjö. För detta krävs att MeHg mäts i både zooplankton och bottendjur. Man bör dessutom fastställa vilka bottendjur som finns representerade i alla sjöarna och företrädesvis välja att bestämma MeHg i zoobentos som utgör stapelföda för fisken. Här kan litteraturen utnyttjas, men helst skulle fiskars maginnehåll undersökas.

Beträffande MeHg i zooplankton är det viktigt att proven endast innehåller zooplankton och inte skräppartiklar och fytoplankton, vilket tyvärr var fallet för zooplanktonprovet från Enegrenen efter åtgärd. Lämpligen utförs mätningar av MeHg i fiskens födoorganismer sen vår, högsommar och tidig höst, då helst även abundansen av de olika födoorganismerna bestäms, eftersom tillgången på födoorganismer påverkar fiskens tillväxt och därmed fiskens MeHg-halt.

### **7.5.8 SLUTSATSER**

Att bestämma effekten av muddringarna i Svartsjöarna på THg- och MeHg-förekomsten i sediment, vatten och organismer har delvis varit en svår uppgift. De främsta anledningarna till detta är att processer som styr förekomsten av THg och MeHg i vatten, biota och ytsediment uppvisar kraftig variation över tiden, samt att bakgrundsflöden av THg och MeHg som orsakas av atmosfärsdeposition av Hg och export av Hg och MeHg från avrinningsområdet är betydande och varierande.

Nedan listas slutsatser som bedöms vara viktiga för utvärderingen av effekten av åtgärden. Bland slutsatserna finns även synpunkter på hur Hg-flödena och Hg-halterna i fisk kan tänkas förändras, hur åtgärden kunde ha förbättrats eller kompletterats, vilken kunskap projektet har genererat och hur man kan utnyttja denna för vidare kunskapsutveckling.

- THg-halten i ytsediment i de områden där muddringar utförts ligger nära de regionala bakgrundshalterna för sediment, det vill säga kring 0,1 mg Hg/kg ts. Dock kan högre THg-halter än så förekomma och det kan finnas



FIGUR 7.61 *Flodpärlmussla.*

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

anledning att utföra ytterligare kontroller. Ca 10 kg Hg har avlägsnats från Ö. Svartsjöns sediment och ca 3 kg Hg från N. Svartsjöns sediment.

- THg-halten i sedimenterande material har minskat med drygt 60 % (signifikant minskning) till ca 0,3 mg Hg/kg ts i Ö. Svartsjön och med 40 % (ej signifikant minskning) till ca 0,4 mg Hg/kg ts i N. Svartsjön. Att THg-halten i sedimenterande material efter åtgärden är signifikant högre i N. Svartsjön än i Ö. Svartsjön är gissningsvis en följd av att stora delar av N. Svartsjöns sediment inte är muddrade och att resuspension av partiklar från dessa sediment höjer THg-halten i sedimenterande material i djuphålan i vilken sedimentfällorna var placerade. Att i Ö. Svartsjön THg-halten är högre i sedimenterande material än i ytsediment i den centrala delen av sjön kan förklaras med att sedimentationen delvis utgörs av partiklar som resuspenderats från stranzonen som inte har muddrats, eller med att partiklar som resuspenderas och återsedimenterar generellt sett har högre Hg-halter än grövre partiklar i ytsedimentet. Man kan dock inte utesluta att Hg-halten i de muddrade sedimentens ytskikt någonstans är högre än den stipulerade halten 0,1 mg/kg ts.

- THg- och MeHg-koncentrationerna i Svartsjöarnas ytvatten (0,5 m under ytan) kan inte säkert sägas ha minskat som en följd av åtgärden, eftersom ytvattnet påverkas starkt av Pauliströmsån.
- THg- och MeHg-koncentrationerna i termoklinen och i det underliggande bottenvattnet har sjunkit med 70–80 % respektive med 90–95 % i Ö. Svartsjön och med 50 % respektive 75 % i N. Svartsjön. Dessa positiva förändringar kan knytas till borttagandet av Hg och organiskt material från sedimenten. Borttagande av organiskt material har lett till lägre mikrobiell aktivitet och därmed till lägre frisättning och metylering av Hg i främst vattenmassan men även i ytsedimenten. Sjunkande sulfathalter orsakade av minskad atmosfärsdeposition av sulfat kan ha bidragit till den minskade frisättningen och metyleringen av Hg.
- Den lösta syrgaskoncentrationen har märkbart ökat genom hela vattenpelaren i båda Svartsjöarna, vilket kan förklaras med mindre nedbrytning av organiskt material i sediment och bottenvatten men också med att sjöarna har blivit djupare och fått större volym som en följd av muddringarna. Dock uppstår fortfarande syrgasbrist i bottenvattnet under sommarstagnationen i en grad som

antyder att sjöarnas sediment innehåller mer syretärande material än sediment i sjöar med naturlig förekomst av organiskt material.

- MeHg-halten i zooplankton har sjunkit med ca 80 % i Ö. Svartsjön och med ca 50 % i N. Svartsjön. Den främsta förklaringen till detta är att produktionen av MeHg minskat i Ö. Svartsjön och även i N. Svartsjön. Troligen uppehåller sig zooplankton under vissa delar av dygnet i eller nära termoklinen där de exponeras för höga MeHg-koncentrationer. Det sker också en viss tillförsel av MeHg till ytvattnet under sommaren som ett resultat av att termoklinen sjunker (även om detta inte kunde konfirmeras vid provtagningarna av ytvatten). Denna process accelererar i slutet av sommaren och början av hösten, vilket förklarar att MeHg-halterna i zooplankton är högst sensommar/tidig höst. Även referenssjön Enegrenen uppvisade ungefär samma procentuella minskning av MeHg-halten i zooplankton som den i Ö. Svartsjön. En starkt bidragande förklaring till detta var att zooplanktonprovet från Enegrenen innehöll stora mängder skräppartiklar och alger. Minskningen i absoluta tal var ändå 8 ggr större i Ö. Svartsjön än i Enegrenen.
- I abborre 1+ har THg-halterna (i det närmaste allt Hg utgörs av MeHg) sjunkit med ca 25–30 % i Ö. Svartsjön och i N. Svartsjön med ca 15 % (signifikant minskning), vilket motsvarar en halt efter åtgärd på ca 0,12 mg Hg/kg vv i båda sjöarna i juni månad. Detta innebär att THg-halterna i abborre 1+ fortfarande är betydligt högre, ca 2 ggr högre, i Svartsjöarna än i referenssjön Enegrenen, för vilken ingen förändring i abborrarnas THg-halt kunde noteras. Dock är THg-halten 0,12 mg Hg/kg vv tämligen normal jämfört med uppmätta THg-halter i abborre 1+ från andra skogssjöar som inte påverkats av direktutsläpp av Hg. Några tydliga förändringar i abborrens tillväxthastighet kunde inte noteras för någon av sjöarna mellan före och efter åtgärd. En anledning till att THg-halten i abborre 1+ inte sjunkit lika mycket som MeHg-halten i zooplankton är troligen att abborre 1+ delvis ingår i den bentiska näringskedjan, d.v.s. att abborre 1+ delvis äter bottendjur i strandzonen. Denna är inte muddrad och bör därmed hysa födorganismer vars MeHg-halt inte sjunkit lika mycket som i zooplankton.
- I gäddor har THg-halten sjunkit med ca 30 % i båda Svartsjöarna (signifikant minskning), vilket motsvarar en sänkning av THg-halten i

1-kg gädda från ca 1,5 till 1 mg Hg/kg vv, medan i referenssjön Enegrenen ingen minskning i gäddornas THg-halt (0,5–0,6 mg Hg/kg) kunde noteras. I Ö. Svartsjön var gäddorna vars THg-halt mättes signifikant längre än gäddorna vars THg-halt mättes före åtgärd. Detta kan medföra att Hg-halten i gädda från Ö. Svartsjön har minskat med något mer än 30 %. En märklig omständighet var att en del av de gäddor som analyserades efter åtgärd var mycket gamla i förhållande till storleken i båda Svartsjöarna. Anledningen till detta är okänd. Även en gädda i Enegrenen var en långsamväxare, men denna gädda var en hane som normalt växer långsammare än honor. Med tanke på gäddornas ålder, vissa var kring 10 år, kan man tycka att THg-halten borde ha sjunkit procentuellt sett mindre i gäddorna än i abborrarna. En tänkbar förklaring till att så inte var fallet är att gäddorna i större utsträckning än abborrarna ingick i den pelagiska näringskedjan, exempelvis genom förtäring av främst planktonätande mört.

- Troligen finns potential för att THg-halterna i Svartsjöarnas fisk skall ytterligare närma sig de i referenssjön Enegrenen. Hg-metyleringen i Svartsjöarna kan avta i takt med att mängden kvarvarande fiber av låg nedbrytningsgrad minskar. Den störning som en muddring innebär kan dessutom verka stimulerande på mikrobiell aktivitet, en effekt som klingar av efter hand. Även detta skulle kunna innebära att Hg-metyleringen kan avta ytterligare. Vidare, eftersom organismerna i Svartsjöarna troligen var stressade av låga syrgashalter, höga sulfidhalter och höga MeHg-halter kan Svartsjöarna efter saneringen på lite sikt bli mer produktiva (producera mer biomassa per volym vatten) vilket skulle kunna leda till viss bioutspädning av MeHg-halterna. En begränsad undersökning av zooplankton i Svartsjöarna och Enegrenen efter åtgärd indikerade att artdiversiteten i Svartsjöarna fortfarande är låg medan artdiversiteten i Enegrenen är normal. Det kan finnas anledning att följa upp om artdiversiteten är under förändring i Svartsjöarna samt följa upp hur fiskens tillväxt förändras över tiden.
- THg-transporten nedströms Svartsjöarna kan inte sägas ha förändrats utifrån gjorda mätningar. Dock förefaller det sannolikt att risken för en omfattande Hg-kontaminering av Pauliströmsån orsakad av Hg-export från Svartsjöarna under kraftiga vattenflöden är eliminerad. Därmed bör även åsträckan ned-

- ströms Svartsjöarna ner till Emån som i dagsläget är påvisbart Hg-företrad successivt bli renare. Det finns heller ingen risk för återkontaminering av Svartsjöarna genom mobilisering av gamla Hg-föreningar i Pauliströmsån mellan Pauliström och Ö. Svartsjön, eftersom denna åsträcka förefaller vara i det närmaste lika ren som vid referensstationer uppströms Pauliström. Av vikt är att THg-halten i Pauliströmsån nära utflödet i Emån inte är högre än i Emån själv, ca 2 ng/L och betydligt lägre än i exempelvis Silverån som mynnare ut i Emån längre ner i systemet.
- MeHg-transporten nedströms Svartsjöarna tycks närmast ha halverats jämfört med före åtgärd. Detta kan troligen till stor del tillskrivas saneringen av sjöarna, men förändringar i flödes- och temperaturförhållanden mellan före och efter åtgärd samt de sänkta sulfathalterna i vattnet kan ha bidragit till minskad Hg-metylering. Den minskade MeHg-koncentrationen i Pauliströmsåns vatten nedströms Svartsjöarna innebär rimligen att Hg-halterna i organismerna i de nedre delarna av ån har minskat, men inga mätningar har gjorts som kan konfirmera detta.
  - Cu-koncentrationerna i Svartsjöarnas vatten har inte minskat, trots att fibersediment med förhöjda Cu-halter har avlägsnats. Snarare har de ökat något. Möjligen har detta att göra med att de vattenkemiska förhållandena i Svartsjöarna har förändrats och att detta har ökat koppars rörlighet, exempelvis genom ökad bildning av lösta Cu-komplex och/eller minskad fällning av Cu med sulfid. Efter åtgärd låg Cu-koncentrationerna i Svartsjöarnas ytvatten 2–3 ggr högre än vad som anges som bakgrundskoncentration (0,5 µg Cu/L) för sjöar i södra Sverige. I den begränsade sedimentundersökningen efter åtgärd i Svartsjöarnas centrala djupområden befanns Cu-halten i de flesta fall ligga nära den angivna bakgrundshalten 20 mg Cu/kg ts.
  - Muddringarna av Svartsjöarna har gett en positiv effekt i form av sänkta Hg-halter i sjöarnas organismer, minskad export av MeHg från sjöarna och eliminerad risk för omfattande spridning av Hg från sjöarna.
  - Målsättningen att Hg-halterna i fisken skulle sjunka till samma nivå som i referenssjön Enegrenen längre upp i systemet har inte infriats. Detta kan bero på att Hg-halterna i sediment och sedimentterande material fortfarande är högre i Svartsjöarna än den lokala bakgrundskoncentrationen och att en del ofullständig nedbruten fiber finns kvar som orsakar förhöjd Hg-metylering. Det är emellertid möjligt att fisken i Svartsjöarna skulle ha haft högre Hg-halter än fisken i Enegrenen även om Hg-halten i Svartsjöarnas sediment inte hade varit högre än den lokala bakgrundshalten och sedimenten endast innehållit naturligt organiskt material. Enegrenen är nämligen en grund sjö vars vattenmassa i mycket begränsad omfattning blir anoxisk under sommaren. I djupare sjöar som Svartsjöarna med större hypolimnion kan Hg-metyleringen av naturliga skäl vara högre än i Enegrenen. Skillnader i näringsvävsstruktur är en annan naturlig anledning till att Hg-halten i fisk kan skilja sig, ibland avsevärt, mellan sjöar.
  - Möjligen hade effekterna av muddringarna kunnat vara ännu bättre om kartläggningen av Hg-förekomst och fiber hade haft högre upplösning och därmed muddringen hade kunnat styras mer precist. Effekter av åtgärden i form av lägre produktion av MeHg och minskad Hg-spridning beror på hur effektivt Hg och ofullständigt nedbruten fiber avlägsnats. Allra viktigast är att ofullständigt nedbruten fiber som dessutom är Hg-kontaminerad har avlägsnats. Om det hade varit tekniskt möjligt hade det varit önskvärt att även sanera strandzonerna som omgärdar de sanerade områdena. Grundområdet i södra delen av N. Svartsjön som inte har sanerats utgör troligen inte något stort problem, eftersom Hg-metyleringen i dessa sediment är låg och någon större spridning av Hg från dessa sediment troligen inte sker. Viss risk för resuspension vid kraftig vågbildning kan föreligga, vilket skulle kunna medföra att kvicksilvret exporteras, eller återsedimenteras i sjöns djupare delar där risken för Hg-metylering är större.
  - Det finns anledning att påpeka att Svartsjöprojektet har genererat värdefull kunskap både vad gäller saneringsmetoder av kvicksilverhaltiga fibersediment och kvicksilvrets miljö kemi i sjöar och vattendrag. Svartsjöarna och Pauliströmsån är exceptionellt väl karakteriserade vad gäller förhållanden med relevans för Hg-flöden i vatten, Hg-metylering och upptag av Hg i organismer. Forskargrupper med inriktning mot kvicksilvrets miljö kemi skulle kunna dra nytta av detta och bedriva fördjupade studier av Hg-metylering, Hg-transport i rinnande vatten och upptag av MeHg i sjöars näringsväv. En fortsatt uppföljning av muddringarnas effekter på Hg-flödena och upptaget av MeHg i fisk och andra organismer är önskvärd.

## 7.5.9 REFERENSER

- Bishop, K. et al. 2005. Terrestrial sources of methylmercury in surface waters: The importance of the riparian zone on the Svartberget catchment. *Water Air Soil Pollut.* 80: 435-444.
- Deonarine, A. & Hsu-Kim, H. 2009. Precipitation of mercuric sulfide nanoparticles in NOM-containing water: Implications for the natural environment. *Environ. Sci. Technol.* 43: 2368-2373.
- Hammerschmidt, C. R. & Fitzgerald, W. F. 2010. Iron-mediated photochemical decomposition of methylmercury in an arctic Alaskan lake. *Environ. Sci. Technol.* 44: 6138-6143.
- Herrin, R. T. et al. 1998. Hypolimnetic methylmercury and its uptake by plankton during fall destratification: A key entry point of mercury into lake food chains? *Limnol. Oceanogr.* 43: 1476-1486.
- Josefsson, S. et al. 2010. Bioturbation-driven release of buried PCBs and PBDEs from different depths in contaminated sediments. *Environ. Sci. Technol.* 44: 7456-7464.
- Meili, M. et al. 2004. Kvicksilver i fisk och föddjur i 10 skånska sjöar 2002. Länsstyrelsen i Skåne län.
- Muresan, B. Et al. 2007. The biogeochemistry of mercury at the sediment-water interface in the Thau lagoon. 1. Partition and speciation. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 72: 472-484.
- Naturvårdsverket. 2008. Förslag till gränsvärden för särskilda förorenande ämnen. Rapport 5799.
- Regnéll, O. 1995. Methyl mercury in lakes: factors affecting its production and partitioning between water and sediment. Avhandling. Lunds universitet.
- Regnéll, O. et al. 1996. Methyl mercury production in freshwater microcosms affected by dissolved oxygen levels: role of cobalamin and microbial community composition. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 1535-1545.
- Regnéll, O. et al. 1997. Factors controlling temporal variation in methyl mercury levels in sediment and water in a seasonally stratified lake. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1784-1795.
- Regnéll, O. et al. 2001. Effects of anoxia and sulfide on concentrations of total and methyl mercury in sediment and water in two Hg-polluted lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 506-517.
- Regnéll, O. et al. 2009. Mercury in a boreal forest stream – Role of historical mercury pollution, TOC, temperature and water discharge. *Environ. Sci. Technol.* 43: 3514-3521.
- Regnéll, O. et al. in prep. Methylation of mercury in cellulose fiber deposits in a freshwater lagoon.
- Ross, J. M. & Sherell, R. M. 1999. The role of colloids in trace metal transport and adsorption behavior in New Jersey Pinelands streams. *Limnol. Oceanogr.* 44: 1019-1034.
- Sellers, P. et al. Photodegradation of methylmercury in lakes. *Nature (London)* 380: 694-697.
- Slotton, D. G. et al. 1995. Mercury uptake patterns of biota in seasonally anoxic northern California reservoir. *Water Air Soil Pollut.* 80: 841-850.
- Sorenson, J. A. et al. 2005. Relationships between mercury accumulation in young-of-the-year yellow perch and water-level fluctuations. *Environ. Sci. Technol.* 39: 9237-9243.
- St. Louis, V. L. et al. 1994. Importance of wetlands as sources of methyl mercury to boreal forest ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1065-1076.
- St. Louis, V. L. Et al. 1996. Production and loss of methylmercury and loss of total mercury from boreal forest catchments containing different types of wetlands. *Environ. Sci. Technol.* 30: 2719-2729.
- Svensson, J.-E. 2009. Djurplankton i Svartsjöarna och Enegrenen 24 sept 2009. Medins Biologi AB.
- Watras et al. 2006. The methylmercury cycle in Little Rock Lake during acidification and recovery. *Limnol. Oceanogr.* 51: 257-270.
- von Post, H. 1997. Undersökningar av förorenade sediment i Svartsjöarna, Hulsfreds kommun. Del 1. Undersökningsdelen. MiljöManagement Svenska AB.



FIGUR 7.62 Bo Troedsson, Emåförbundet, har tagit upp ett prov från fiberbankarna på Övre Svartsjöns botten.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

# 8. Entreprenörens egenkontroll

TEXT *Lars Blomgren, HIFAB, Alexandra Zamparas, Empirikon AB – utifrån synpunkter från Länsstyrelsen Kalmar län*

Verksamhetsutövaren, d.v.s. Hultsfreds kommun, överlät i kontrakt enligt förordningen 1998:901 verksamhetsutövarens egenkontroll på totalentreprenören. Formellt är det dock Hultsfreds kommun som är verksamhetsutövare och part i det fall tillsynsmyndigheten har åsikter/anmärkningar på verksamheten.

Kommunen är följaktligen skyldig att uppfylla krav enligt de tillstånd som gäller för verksamheten, samt enligt förordningen (1998:901) om verksamhetsutövarens egenkontroll. Kommunen har också det organisatoriska ansvaret för de skyldigheter som följer av miljöbalkens bestämmelser och föreskrifter.

Totalentreprenören DEC åtog sig att inom ramen för sitt entreprenaduppdrag, för beställarens (kommunens) räkning, säkerställa att dessa krav uppfylldes genom att fullgöra villkoren enligt förordningen (1998:901) om verksamhetsutövarens egenkontroll beträffande organisatoriskt ansvar enligt miljöbalken och föreskrifter meddelade till stöd av miljöbalken, samt de domar, beslut och handlingar som omfattar entreprenaden. Totalentreprenören utförde för beställarens räkning egenkontrollen i enlighet med ovanstående föreskrifter, beslut och handlingar.

Totalentreprenören hade att upprätta en egen miljöplan som skulle säkerställa att villkor och föreskrifter i beställarens miljöplan fullföljdes. Bestämmelserna i ABT94 3 kap. 4 § avtalades att gälla även för entreprenörens miljöplan, d.v.s. att totalentreprenören skall ombesörja åtgärd som han åtagit sig enligt avtalad miljöplan. Vid underlåtande att fullgöra denna skyldighet skulle beställaren äga rätt att vidta rimliga åtgärder på totalentreprenörens bekostnad.

## 8.1 Förutsättningar och krav

### 8.1.1 MILJÖPRÖVNING

Miljödomstolen vid Växjö tingsrätt har i dom den 27 september 2004 lämnat Hultsfreds kommun tillstånd enligt miljöbalken (Mål M160-03) till

muddringar av förorenade massor m.m. i Övre och Nedre Svartsjön samt till deponering av massorna m.m. i anslutning till muddringsområdet; allt inom Hultsfreds kommun, Kalmar län (SNI-kod 90.004-5, koordinater X=636950, Y=1483743).

### 8.1.2 MYNDIGHETSVILLKOR

För erhållet miljötillstånd enligt ovan gäller följande villkor för verksamheten:

- Om inte annat framgår av nedan angivna villkor skall verksamheten – inbegripet åtgärder för att minska vatten- och luftföroreningar samt andra störningar för omgivningen – utformas och bedrivs i huvudsaklig överensstämmelse med vad kommunen uppgett eller åtagit sig i målet.
- Om provtagning efter muddring till projekterat djup (omfattande ca 260 000 m<sup>3</sup> förorenade sediment) visar att halterna av kvicksilver i kvarvarande sediment överstiger 0,1 mg/kg TS skall samråd ske med tillsynsmyndigheten om eventuellt behov av ytterligare muddring.
- Turbiditeten i utgående vatten i den muddrade sjöns utlopp får inte överstiga 7 NTU som riktvärde\* och dygnsmedelvärde samt 5 NTU som riktvärde\* och rullande veckomedelvärde.
- Halten suspenderat material i den muddrade sjöns utlopp får som riktvärde\* och rullande veckomedelvärde inte överstiga 10 mg/l.
- Halten suspenderat material i returvatten från behandlingsanläggningen får inte överstiga följande riktvärden\*.
  - 35 mg/l som rullande veckomedelvärde
  - 50 mg/l som dygnsmedelvärde
- Halten BOD7 i returvatten från behandlingsanläggningen får som riktvärde\* och rullande veckomedelvärde inte överstiga 100 kg/dygn.
- Buller från de ansökta åtgärderna skall begränsas i skälighetsomfattning.

\* Med riktvärde avses ett värde som, om det överskrids, medför skyldighet för tillståndshavaren att vidta åtgärder så att värdet kan innehållas.

### 8.1.3 BESTÄLLARVILLKOR

Målet med beställarvillkoren är att säkerställa att myndighetsvillkor uppfylls och att begränsa påverkan på det vatten som förs bort med Pauliströmsån. Dessutom skall akuta effekter i Svartsjöarna undvikas. Villkoren anknyter till myndighetsvillkoren. Beslut om fastställande av myndighetsvillkor kan innebära att beställarvillkoren ändras.

1. Högsta tillåtna halt av metylkvicksilver i sjöarnas utlopp under tid grumlingsalstrande arbeten pågår är 5 ng/l och för totalkvicksilver 25 ng/l.
2. Högsta tillåtna turbiditet i utgående vatten i den muddrade sjöns mynning är 7 NTU, mätt som dygnsmedelvärde och 5 NTU som rullande veckomedelvärde i enlighet med svensk standard SS 028125-2.
3. Halten suspenderat material i den muddrade sjöns utlopp får som dygnsmedelvärde inte överskrida 10 mg/l.
4. Flödet av returvatten får utgöra högst 10 % av årsmedelflödet i Pauliströmsån men aldrig mer än 10 % av det aktuella dygnsmedelflödet.
5. Halten suspenderat material i returvatten får som dygnsmedelvärde inte överskrida 35 mg/l. Analys av suspenderande ämnen skall ske i enlighet med svensk standard SS-EN 872.

6. Halterna metylkvicksilver och totalkvicksilver i returvatten får inte överskrida 10 respektive 50 ng/l.
7. Syrehalten i utloppet av Nedre Svartsjön samt i returvatten får som dygnsmedelvärde inte underskrida 5 mg/l.
8. Utsläpp av COD i returvatten får som rullande veckomedelvärde inte överskrida 225 kg/dygn.
9. Utsläpp av BOD<sub>7</sub> i returvatten får som rullande veckomedelvärde inte överskrida 75 kg/dygn.

### 8.1.4 BESTÄLLARENS MILJÖKRAV BETRÄFFANDE KVARLÄMNANDE BOTTENSEDIMENT

Efter muddring kontrollerade beställaren mängd kvicksilver i sedimenten på djupet 0–40 cm i Övre och Nedre Svartsjön. Haltgränsen var 0,15 mg/kg TS. Av den sanerade ytans totala area i respektive sjö fick endast 25 % ha en kvicksilverhalt som översteg 0,10 mg/kg TS. Visade provtagning högre halter hade beställaren (Hultsfreds kommun) att omgående kontakta finansierarna för samråd om behov av eftermuddring. Så blev fallet i Övre Svartsjön, där eftermuddring utfördes inom områdena 1 och 5, jfr kapitel 5 för mer information.

Moment	Enhet	Funktion
Avverkningskontroll	m <sup>3</sup> tf	Avverkad yta och pallhöjd och därur beräknad avverkad volym (m <sup>3</sup> tf) redovisades veckovis som ackumulerad avverkning och för den enskilda veckan. Mätningarna utfördes med ekolod.
Pumpad volym	m <sup>3</sup>	Den volym mudderslam (m <sup>3</sup> ) som pumpades till avvattningsanläggningen mättes med kontinuerligt registrerande flödesmätare. Resultaten redovisades veckovis med angivande av totalt pumpad volym och volym för varje enskilt dygn.
TS-halt	%	Mätning av ingående torrsubstanshalt (TS-halt) gjordes som samlingsprov i den första tanken i avvattningsanläggningen. Resultaten användes för dosering av kemikalier för avvattningen och för att följa upp och optimera muddringsarbetet.
Renspolning av ledningar		Renspolning av ledningar behövde inte ske då blandningen som transporterades i ledningarna hade en låg densitet, samt att ledningarnas dimension anpassades för att ge optimala förhållanden.
Volym returvatten	m <sup>3</sup>	Mätning av utgående volym renat vatten
Returvatten	Syrehalt COD, Hg, BOD <sub>7</sub>	Dokumentation av vattenkvalitet i utgående renat vatten
IT halt	%	TS halt i deponerade massor

**TABELL 8.1**  
*Exempel på parametrar i entreprenörens verksamhetskontroll.*

## 8.2 Verksamhetskontroll för entreprenaden

Mycket av verksamhetskontrollen lades på totalentreprenören genom ”Plan för verksamhetskontroll”, som var en del av förfrågningsunderlaget och motsvarade de krav som ställs i förordningen (SFS 1998:901) om verksamhetsutövarens egenkontroll. Denna påbjöd mätning av ett antal parametrar framtagna i syfte att dokumentera pågående produktion, samt att halter och mängder enligt tillståndet uppfylldes/innehölls. För att kommunen skulle kunna kontrollera projektet och entreprenörens verksamhet redovisade totalentreprenören resultaten varje vecka under produktionen.

Rapporterna skickades till projektets kontrollgrupp för komplettering, varefter den vidarebefordrades till miljögruppen. Därmed fick hela projektgruppen möjlighet att följa framdriften i projektet. Exempel på ingående parametrar i veckorapporten framgår av tabell 8.1.

För beställaren var omfattning och utformning av egenkontrollen tillfredställande.

Kopplat till parametrar som rörde tillståndsvillkor var även gräns/riktvärden, samt vilka konsekvenser som ett överstigande av gräns/riktvärdena skulle innebära.

## 8.3 Miljöpåverkan under arbetstiden

Kommunens miljökontroll under åtgärd (jfr kapitel 7) visade att arbetena ej har påverkat människa eller miljö negativt i någon omfattning. Totalentreprenören har inte heller rapporterat någon negativ påverkan på människa eller miljö.

## 8.4 Tillsynen

Samarbetet med myndigheterna under projektet har varit bra. Det är viktigt att se myndigheterna som en resurs och inte som en motpart i ett sånt här projekt. Under pågående entreprenad har det ibland funnits behov av snabba beslutsprocesser inom tillsynsmyndighetens organisation, t.ex. vid upptagningen av geotextilskärmen samt höjningen av vattenståndet i Övre Svartsjön (se avsnitt 4.4).

Tillsynsbesök genomfördes i augusti 2007 för att kontrollera att sluttäckning av deponin utförs enligt tillstånd och åtaganden. Länsstyrelsen bedömde att verksamheten uppfyllde kraven i tillståndet och de åtaganden som har gjorts av kommunen. Tillsynsbesök genomfördes även innan avetablering i november 2007 då sluttäckning av deponin hade slutförts. Efter det besöket efterfrågade länsstyrelsen kompletterande uppgifter avseende partikelfiltrens konstruktion, konstruktion av täckning i deponins sydvästra hörn samt resultatet från den kontroll av halter kvicksilver i mark

som entreprenören nyttjat. Uppgifterna redovisades till myndigheten enligt förfrågan.

Ett tredje tillsynsbesök genomfördes inför garantibesiktningen i oktober 2009. Vid det besöket anmärktes att lokala sättningar på deponin behövde åtgärdas och uppgifter begärdes angående hur ytavrinningen skulle förbättras. Kommunen förde vidare frågan till totalentreprenören som redogjorde för konstruktionen och deponins egenskaper, vilket blev underlag för svaret till tillsynsmyndigheten. I kombination med besiktningens anmärkningar föranledde detta att garantibesiktningen sköts fram till dess att svar från tillsynsmyndigheten inkommit. Se även om besiktningar i kapitel 5 för en mer utförlig redogörelse.

## 8.5 Diskussion och erfarenheter

De av entreprenören utskickade *veckorapporterna* var informationstäta och ganska svåra att utvärdera, förutom i förhållande till angivna riktvärden. Möjligen kunde dessa ha redovisats i samband med byggmöten, eller på annat sätt som inneburit att entreprenören erhållit en respons på utfört arbete. Ett sådant tillvägagångssätt hade kanske kunnat leda till en större förståelse mellan kommunen och entreprenören.

Kontraktet innebar *långtgående/komplex* ansvar för totalentreprenören. På liknande sätt som för verksamhetsutövaren var en del krav tydliga, som t.ex. gränsvärden, medan andra krav var mer otydliga och gav större utrymme för tolkning. I de krav som erbjöd utrymme för tolkning skilde sig kommunens och entreprenörens tolkning åt, delvis därför att de hade olika syften med projektet. Entreprenören föredrog oftast en resurssnål tolkning främst. Kommunen som verksamhetsutövare ville gärna att verksamheten skulle ske utan risk, vilket innebar säkrare alternativ, som ofta också är mer resurskrävande. I projektet var de flesta större sådana konflikter reglerade redan i kontraktet medan mindre sådana hanterades under hela entreprenaden.

*Kontraktsmässigt* är det svårt att överföra ansvar/kostnader på en entreprenör om kostnaden inte är kalkylerbar. Därmed blir eventuella nya regler, förändringar och även eventuella motsägelser mellan kontraktshandlingar, tillstånd och gällande regler och lagar lätt verksamhetsutövarens ansvar, d.v.s. måste hanteras som tilläggsarbete. Vad gäller att kontraktsmässigt överföra ansvaret för verksamhetsutövaren enligt förordningen 1989:901 visade detta sig vara svårt för entreprenören att hantera. Entreprenören hade för liten erfarenhet av att arbeta enligt förordningen och förstod inledningsvis inte vad ansvaret medförde för åtgärder, arbeten m.m. från hans sida.

Att kommunen är ansvarig verksamhetsutövare samtidigt som kontrollen utförs av totalentreprenören ställer höga krav på kontroll och uppföljning, dels att egenkontrollen utförs på rätt sätt, dels att data kommer in i tid enligt kontraktsvillkoren. Beställaren utför löpande omgivningskontroll som kan fånga upp eventuell påverkan på miljön. I projektet var det en stor fördel att ha tillgång till lokal fältpersonal som kunde terrängen och vara på plats ofta med kort varsel.

Det kan diskuteras i vilken grad verksamhetsutövarens kontroll ska överlätas till totalentreprenören. Miljöfrågor och uppföljning kan av entreprenören betraktas som frågor av lägre dignitet än att lösa tekniska problem i entreprenörens kärnverksamhet. Det ställs krav, även i en totalentreprenad, på att beställaren har en stark kontrollorganisation som följer upp uppfyllelsen av krav och även kvaliteten i entreprenörens egenkontroll. Exempelvis kan detta innebära att kontroll via stickprov genomförs regelbundet vid oanmälda besök, eller att beställarens kontrollanter tar prov på entreprenörens bekostnad vid händelse att entreprenören inte rapporterar resultat i tid.

Det kan finnas olika synsätt mellan beställare och entreprenör vad gäller kvalitet i provtagning och kontroll. Det är därför viktigt att tydligt formulera kraven i förfrågningsunderlag och miljöplan, samt kontrollera efterlevnaden av gällande standard. Analyslaboratorier kan exempelvis ha olika hanteringstider av prover, trots att ackrediterade laboratorier ska följa samma standard. Det är viktigt att uppmärksamma analyshantering så tidigt som möjligt.

Systemet med kontrollrapporter fungerade bra då man i entreprenaden kunde tydliggöra vilka anmärkningar som behövde hanteras, säkerställa att ansvarig hade tagit emot anmärkningen och även följa upp att åtgärder hade vidtagits.

I projektets plan för Kvalitets- och miljöstyrning fanns rutiner framtagna för bl.a. hur rapportering till tillsynsmyndigheten skulle göras samt ansvarsfördelningen i projektorganisationen. Det är viktigt med kontinuerlig information till tillsynsmyndigheten då viktiga händelser i entreprenaden skall äga rum. Vid eventuella tillbud är det, förutom en redogörelse för händelseförloppet, viktigt att ange vilka åtgärder som har vidtagits för att lösa problemet, samt vilka förebyggande åtgärder som vidtagits för att problemet inte ska inträffa igen. Det finns diskussionsforum där information kan ske på ett informellt sätt (t.ex. projektmöten), där finansiärens representant deltar. Projektets organisation utgår från att det sker intern kommunikation mellan finansiärens representant från länsstyrelsen och tillsynen när det gäller projektets struk-

tur, ansvar och roller. Generellt sett uppskattades av tillsynen att det fanns en så bred kompetens knuten till projektet.



**FIGUR 8.1** Under 2005 gjordes många förberedelser inför muddringen. Bland annat lyftes bodarna för miljökontrollen på plats med helikopter.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

# 9. Projektets resultat och effekter

TEXT Kjell Hansson, Alexandra Zamparas, Joakim Schultzén, Empirikon AB, Olof Regnéll, Cinnobex-MBC.



FIGUR 9.1 Deponi efter återställning.

FOTO Alexandra Zamparas Empirikon AB

## 9.1 Saneringsresultat, uppfyllelse av åtgärds mål

Syftet med efterbehandlingen av Övre och Nedre Svartsjöarna var att återställa förhållandena för djur och växter i sjösystemet till förhållanden liknande de som rådde innan det utsattes för föroreningar från Pauliström bruk samt att återställa sjöarnas naturliga funktion som Hg-fällor.

För att uppnå detta definierades följande övergripande åtgärds mål för efterbehandlingsarbetena inom Svartsjöprojektet:

- Belastningen av kvicksilver skall minska till en nivå som medför att risken för vattenlevande organismer är liten och att kvicksilverhalten i Svartsjöarnas fisk på sikt minskar

till samma nivå som fisk uppströms Svartsjöarna.

- Syretäringen som lagren av sedimenterade cellulosafibrer medför skall minska och därmed skapa förutsättningar för en mer naturlig miljö.
- All väsentlig erfarenhet gällande efterbehandlingsteknik och miljökontroll skall dokumenteras till gagn för framtida, likartade miljöprojekt.

De uppställda målen med åtgärden har i stort sett infriats (jfr avsnitt 2.3 och 7.5). Omgivningskontrollen har också visat att arbetena under åtgärd ej har påverkat människa eller miljö negativt i någon mätbar omfattning.

Metylkvikksilverhalterna i zooplankton har i Övre Svartsjön sjunkit med 80 % och med 30 % i fisk (abborre 1+ och 1-kg gädda). I Nedre Svartsjön var haltminskningarna något mindre. Under samma period skedde ingen förändring i kvicksilverhalten hos fisk i referenssjön Enegrenen.

Den lösta syrgaskoncentrationen har märkbart ökat i båda Svartsjöarna. Dock uppstår fortfarande syrgasbrist i bottenvattnet under sommarstagnationen i en grad som antyder att sjöarnas sediment innehåller mer syretärande material än sediment i sjöar med naturlig förekomst av organiskt material.

Svartsjöarna utgör inte längre en potentiell källa för omfattande spridning av kvicksilver, eftersom praktiskt taget allt kvicksilverkontaminerat fibersediment har avlägsnats. Koncentrationerna av metylkvicksilver i Pauliströmsån nedströms Svartsjöarna har i det närmaste halverats. I Svartsjöarna själva har koncentrationerna av totalkvicksilver och metylkvicksilver i vattnet i och under termoklinen sjunkit med 50–75 respektive 75–90 %.

Det viktiga är att Hg-exponeringen av organismerna minskar till nivåer som kan förklaras av bakgrundsförekomsten av metylkvicksilver. Det är osäkert om detta har uppnåtts. Hg- och MeHg-halterna är fortfarande högre i Svartsjöarnas organismer än i organismerna från referenssjön Enegrenen, men MeHg-halterna i zooplankton har sjunkit avsevärt (med ca 80 % i Ö. Svartsjön) efter åtgärden och THg-halterna i fisk har sjunkit med ca 30 %. De Hg-halter som uppmättes i fisk och zooplankton från Svartsjöarna efter åtgärd är inte högre än att de skulle kunna vara orsakade av en exponering för MeHg som förklaras av bakgrundsförekomst av Hg och MeHg, samt av en Hg-metyleringspotential som är vanligt förekommande i sjöar av den typ som Svartsjöarna representerar. Dessutom gäller att produktionen av MeHg likväl som de resulterande MeHg-halterna i vattenorganismerna kan komma att sjunka ytterligare i Svartsjöarna, eftersom en del gynnsamma effekter av åtgärden kanske inte är fullt utvecklade förrän om ytterligare några år.

Svartsjöprojektet har genererat värdefull kunskap både vad gäller saneringsmetoder av kvicksilverhaltiga fibersediment och kvicksilvrets miljö kemi i sjöar och vattendrag. Svartsjöarna och Pauliströmsån är exceptionellt väl karakteriserade vad gäller förhållanden med relevans för Hg-flöden i vatten, Hg-metylering och upptag av Hg i organismer. Forskargrupper med inriktning mot kvicksilvrets miljö kemi skulle kunna dra nytta av detta och bedriva fördjupade studier av Hg-metylering, Hg-transport i rinnande vatten och upptag av MeHg i sjöars näringsväv. En fortsatt uppföljning av muddringarnas effekter på Hg-flödena och

upptaget av MeHg i fisk och andra organismer är önskvärd.

## 9.2 Uppfyllelse av åtgärdskrav

Totalt har 254 547 m<sup>3</sup> förorenade sediment muddrats, avvattnats och deponerats i geotuber på land. Därutöver eftermuddrades sammanlagt 4 967 m<sup>3</sup> fibersediment, vilket ansågs nödvändigt för att beställarens miljökrav skulle uppfyllas. Totalt har 20 888 ton TS lagts på deponin. Läs mer om muddring, kontroll av muddring samt eftermuddring i avsnitt 5.2.2 *Muddring*.

Bottennivån i Övre och Nedre Svartsjön har sänkts med mellan 40 cm och 4 m.

Länsstyrelsen godkände uppfyllelsen av åtgärdskrav för muddringen i september 2006 för Övre Svartsjön och i november 2006 för Nedre Svartsjön. Beräkningar visar att totalt har ca 13,3 kg kvicksilver avlägsnats från Övre och Nedre Svartsjön.

## 9.3 Projektkalkyler, upparbetade timmar och ekonomiskt utfall

### 9.3.1 PROJEKTKALKYLER

Som ett aktivt verktyg i projektets ekonomistyrning har successiv kalkylering tillämpats.

En första bedömning av projektets kostnader gjordes i november 2001. Denna bedömning grundade sig på kännedom om projektets omfattning och i allt väsentligt på nyckeltal från liknande projekt.

Inför redovisning till Naturvårdsverket i maj 2003 gjordes en första kalkyl, Kalkyl 1, baserad på mängder och å-priser för samtliga ingående arbeten. Vid denna tidpunkt hade också anbud på entreprenadarbetena erhållits. De kalkylrevideringar som genomförts successivt under projektiden, Kalkyl 2 och 3, har visat på kostnader i samma storleksordning.

Efterkalkylen visar på ett kostnadsöverskridande med 5 % jämfört med Kalkyl 1 i maj 2003.

Kalkylering baserad på nyckeltal med tillägg för uppskattad osäkerhet visar på en överskattning av projektkostnad men kan fungera bra som en första bedömning under utredningsfasen för ett projekt.

Totalentreprenaden medförde ett avsevärt större engagemang för projektledningen jämfört med kalkylerat.

Projekteringskostnaderna sänktes genom val av totalentreprenad. Beträffande miljökontroll inträffade inga större avvikelser mot kalkyl. Omgivningskontrollen påverkades inte av val av entreprenadform.

Den komplicerade miljöprovningen samt ökade kostnader med avtal och ersättningar medförde

Projektaktiviteter		Kalkyl- bedömning Nov. 2001 General- entreprenad	TOTALENTREPRENAD			
			KALKYL 1 2003-05-26 Anbud ink. ej kontrakt	KALKYL 2 2004-01-07 Eft kontrakt före proj. **	KALKYL 3 2006-08-18 Eft.kontrakt och proj. ***	KALKYL 4 2011-11-01 Efterkalkyl
Kontonr	Kontotext					
<b>Projektledning</b>						
8701	Planering - ledning		4 489,7	4 266,7	6 770,0	7 650,2
8702	Möten och konferenser		149,3	165,7	342,0	317,5
8703	Ekonomi - adm		820,2	613,5	1 506,2	932,6
8704	Upphandlingar		742,6	1 167,6	1 230,3	1 230,4
8705	Information - rapporter		225,3	1 119,4	1 197,5	1 051,8
	<b>SUMMA</b>	<b>7 000,0 *</b>	<b>6 427,1</b>	<b>7 332,9</b>	<b>11 046,1</b>	<b>11 182,5</b>
<b>Teknik</b>						
8710	Planering - ledning		441,3	198,0	3,1	3,1
8711	Utredningar		2 865,5	3 545,1	3 955,4	3 955,4
8712	Projektering		179,6	0,0	27,8	101,8
8713	Teknisk kontroll mm		482,7	200,0	48,2	103,2
	<b>SUMMA</b>	<b>6 673,6 *</b>	<b>3 969,1</b>	<b>3 943,1</b>	<b>4 034,5</b>	<b>4 163,5</b>
<b>Miljökontroll</b>						
8720	Planering - utvärdering		442,8	351,6	271,7	51,4
8721	Referensundersökningar		4 493,8	2 822,8	4 829,9	4 829,9
8722	Miljökontroll		5 087,6	4 784,5	5 568,5	4 433,4
8723	Efterföljande miljökontroll		3 365,6	3 320,6	3 320,6	3 523,7
	<b>SUMMA</b>	<b>10 000,0 *</b>	<b>13 389,8</b>	<b>11 279,6</b>	<b>13 990,8</b>	<b>12 838,4</b>
<b>Tillstånd</b>						
8731	Ansökningar		900,6	686,0	1 567,2	1 846,4
8732	Ombudskostnader		248,0	543,7	10,0	226,4
8733	Ersättningar		621,6	1 221,6	1 480,2	1 491,2
	<b>SUMMA</b>	<b>1 500,0 *</b>	<b>1 770,2</b>	<b>2 451,3</b>	<b>3 057,4</b>	<b>3 564,0</b>
<b>Entreprenader</b>						
8750	Kontroll	2 800,0	1 850,0	1 777,5	352,8	352,8
8751	Entreprenad, projektering	-	3 100,0	367,9	367,9	367,9
8752	Entreprenad, utförande	86 670,0	59 500,0	84 795,1	63 112,6	81 458,2
8753	Index	-	6 200,0	4 341,8	5 668,3	6 896,5
8759	Besiktning	-	80,0	95,0	4 849,1	5 450,7
	<b>SUMMA</b>	<b>89 470,0</b>	<b>70 730,0</b>	<b>91 377,3</b>	<b>74 350,7</b>	<b>94 526,2</b>
	<i>1 Beräkning baserad på nyckeltal</i>					
	<i>*** Kalkyl inkl Optioner</i>					
	<i>** Kalkyl exkl Optioner</i>					
	<b>SUMMA PROJEKT</b>	<b>114 643,6</b>	<b>96 286,2</b>	<b>116 384,2</b>	<b>106 479,5</b>	<b>126 274,6</b>
<b>Projektreserv</b>		<b>30 285,3</b>	<b>21 125,0</b>	<b>4 000,0</b>	<b>12 300,0</b>	
<b>PROJEKT TOTAL</b>		<b>144 928,9</b>	<b>117 411,2</b>	<b>120 384,2</b>	<b>118 779,5</b>	<b>126 274,6</b>
<b>Min/Max MSEK</b>		<b>105,1/144,9</b>	<b>88,2/117,1</b>	<b>115,3/120,4</b>	<b>100,9/118,8</b>	<b>-</b>

Ämn: Redovisad efterkalkyl är baserad på utfall per september 2011 inkluderat kvarstående arbeten kalkylerade till ca 2,7 MSEK. Det innebär en osäkerhet som får anses vara försumbar vid beräkning av nyckeltal eller vid andra jämförelser.

**TABELL 9.1** Jämförelse av kalkylbedömningar under projektets gång för kostnader inom åtgärdsramen beräknade fr.o.m. 2001, Empirikon AB. För perioden 1995-2001 tillkommer 3,84 Mkr.

ökade kostnader jämfört med beräknat. Entreprenörens egenkontroll blev mer omfattande jämfört med tidigare genomförda saneringar i form av generalentreprenad. Variationer i kalkyl för entreprenadkostnaden har sin förklaring i osäkerheter beträffande dimensionering av vattenrening och i viss mån även botten sedimentens egenskaper.

Av intresse att notera är emellertid att nyckeltalen för entreprenad stämde väl med verkligt utfall. En förklaring kan vara att nyckeltal från tidigare genomförda entreprenader speglar slutlig kostnad, eventuella ÅTA-arbeten inkluderade. Vid kalkylering baserad på nyckeltal bör sålunda inte tillägg i kalkylen göras för oförutsedda entreprenadkostnader.

Utifrån projektets ursprungliga kostnadsbild har inga stora avvikelser skett till slutkostnaden. Max-

utfallet kalkylerades 2003-05-26 till 117,4 miljoner kronor. Av dessa var 21,1 miljoner kronor avsatta som projektreserv i syfte att täcka eventuellt tillkommande kostnader för botten tätning av deponi (6 miljoner), tillägg för sluttäckning av deponi (10 miljoner), samt 5 miljoner reserverade för övriga tillägg, t.ex. vattenrening. Den fördyring som gjorde att kostnaden hamnade i det övre spannet av den ursprungliga kalkylen berodde bl.a. på att man tvingades bygga en anläggning för biologisk rening, som inte varit projekterad från början. Anledningen var att totalentreprenören använde en teknik med väsentligt kortare muddringstid än vad man trodde vid tidpunkten för projektering. De stora mängder returvatten per tidsenhet som detta resulterade i kunde inte renas genom sedimentering och filtrering. Kostnaden för bio-

logisk rening hade tidigare utretts av ÅF på beställning av projektet, eftersom man tidigt var medveten om de höga BOD/COD halterna. Kostnaden för biologisk rening beräknades av ÅF till 10 miljoner kronor, vilket stämde bra med den tillkommande kostnad i entreprenaden för vattenrening m.m. på 10–15 miljoner kronor som sedan uppstod.

I de utredningar som gjordes inför upphandlingen utgick man dock från en långsammare muddringstakt, vilket skulle leda till mindre mängder processvatten per tidsenhet. Samtidigt skall dock nämnas att den korta muddringstiden även hade ekonomiska fördelar genom förkortad projekttid.

Förkortad projekttid var också en av huvudledningarna till att man valde totalentreprenad som entreprenadform. Genom att förlägga val av teknik och metoder för sanering till totalentreprenören kunde upphandlingen av entreprenaden komma igång tidigare.

Som jämförelse kan nämnas att den första kalkylen från 2001-11-08, vilken i huvudsak utgick ifrån nyckeltal för liknande projekt, hamnade på ett högsta sannolika utfall, uppskattade osäkerheter beaktade, på 145 miljoner kronor. Senare prisattes underlaget för entreprenadupphandling och en mer genomarbetad kalkyl för projektet med totalentreprenad som förutsättning upprättades inför mötet 2003-05-26, jfr ovan. Tabellen gäller åtgärdsramen och den definieras som tiden fr.o.m. 2001.

### 9.3.2 UPPARBETADE TIMMAR

Redovisning av tid och kostnader för projektet har skett löpande och i enlighet med projektets allmänna fakturarutiner, som finns specificerad i Svartsjöprojektets Projekthandbok, blad 10.2. Kontoplanen har utformats främst för ekonomisk styrning av projektet men svarar även mot kravet för rapportering och är uppdelad i *projekt delarna* projektledning, teknik, miljökontroll, tillstånd och entreprenader.

Projektet har eftersträvat en administrativ samordning av villkoren för projektets rapportering med hjälp av etablerade rutiner och befintliga system. I Hultsfreds kommun har man lyckats implementera projektredovisningen med den ordinarie kommunala redovisningen med endast en mindre anpassning, nämligen tidredovisningen.

Rapporteringen och uppföljning av arbetad tid i projektet är av mindre vikt för styrningen av projektet. I stället är det bidragsgivarens krav på återrapportering av statistik som föranlett behovet att redovisa denna uppgift. Den mest tidseffektiva registreringsmetoden – att antal timmar registreras tillsammans med bokföring av projektets verifikationer enligt en antagen kontoplan anpassad för detta – har Hultsfreds kommun inte haft möjlighet att tillämpa, p.g.a. fältbegränsning i datasystemet. Istället har man använt sig av en manuell sidordnad tidsredovisning.

Särredovisningen av tid har haft en fullgod tillämplighet när det gäller den löpande rapporteringen av mer statistisk karaktär till bidragsgivaren. Däremot har det krävts manuell bearbetning av underlagen gällande data till erfarenhetsrapporteringen, som fått en svåravstämd och mindre exakt redovisning till följd. Detta med anledning av att antalet redovisade timmar inte har samma koppling till projektets kontoplan som motsvarande kostnader har. Dessutom ska rapporteringen av tid och motsvarande kostnader fördelas mellan *aktiviteter*, oberoende av vilken projekt del de tillhör. Aktiviteterna som enligt bidragsvillkoren ska redovisas är bl.a. huvudmannens arbete, konsultinsatser, entreprenaden och miljökontroll (se särskild tabell nedan). Särskild vikt har här lagts på att redovisa tid och motsvarande kostnader inom respektive aktivitet oavsett projekt del. Det innebär t ex att kontoplanens projekt del ”Tillstånd” i denna redovisning fördelats mellan konsultinsatser gällande tid och motsvarande kostnader för juridiska ombud samt övriga juridiska kostnader som t.ex. ersättningar.

Typ av aktivitet:	Timmar:	Kronor:
① Huvudmannens arbete för förberedelse, ledning och uppföljning/utvärdering m.m.	Ja	-
② Konsultinsatser*.	Ja	Ja
③ Provtagning och analyser.	-	Ja
④ Genomförande av entreprenader.	-	Ja
⑤ Miljökontroll.	-	Ja
⑥ Utvärdering/analys av resultat, lärdomar som dragits m.m.	-	-

TABELL 9.2 Länsstyrelsens krav på vilka aktiviteter som skall rapporteras som arbetad tid respektive förbrukade medel.

\* Gruppen för konsultinsatser innefattar här projektledning och stöd, teknisk projektering, projektjuridik, samt de konsulter som arbetat med entreprenadrelaterade frågor, såsom besiktning och entreprenadjuridik samt övrig expertkompetens inom området. Arbetade timmar inom åtgärdsentreprenaden är separat redovisad, likväl som kommunens egna insatser och miljökontrollen.

Naturvårdsverkets kvalitetsmanual ligger till grund för de EBH-projekt som genomförs inom Sveriges gränser. Avsnitt 3.6 av NV-manualen beskrivs i detalj vilka uppgifter som ska ingå vid rapportering till staten. Dessa bidragsvillkor har Länsstyrelsen förtydligat i sina bidragsbeslut. I Svartsjöprojektets fall framgår kraven på rapportering av förbrukat medel och arbetad tid, enligt följande i enlighet med bidragsvillkor punkt 6;

Redovisningen för Svartsjöprojektets del betyder att uppföljning av tid och kostnader avser åren 2001 t.o.m. kvartal 3, 2010, d.v.s. projektiden *efter att bidragsbeslut tagits*. Kostnader för de förundersökningar, ca 4 Mkr, som genomfördes under åren 1995–1999 är exkluderade i materialet.

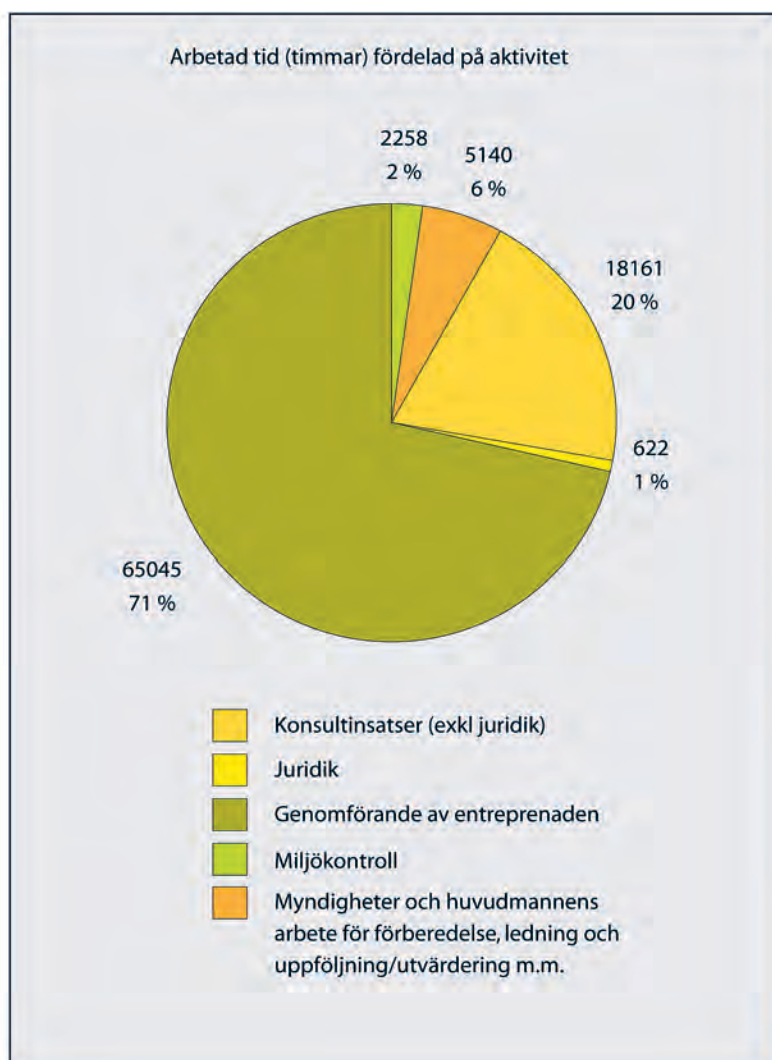
Projektet har totalt sett krävt 91 225,8 mantimmar, enligt nedanstående aktivitetsfördelning:

1	2	3	4	5
Huvudmannens arbete	Konsultinsatser inkl juridik:	Provtagningar och analyser	Genomförande av entreprenader	Miljökontroll
5.139,7 tim	18.783,1 tim	Redovisas ej	65.045,0 tim	2.258,0 tim

TABELL 9.3 Fördelning av nedlagd tid per aktivitet.

Nedanstående cirkeldiagram (figur 9.2) redovisar motsvarande timmar i förhållande till totalt redovisad nedlagd tid för Svartsjöprojektet under samma tidsintervall. Observera att nedlagd tid för

de juridiska insatserna i projektet är särredovisade i cirkeldiagrammet, medan de i ovanstående tabell ingår under punkt 2 - Konsultinsatser.



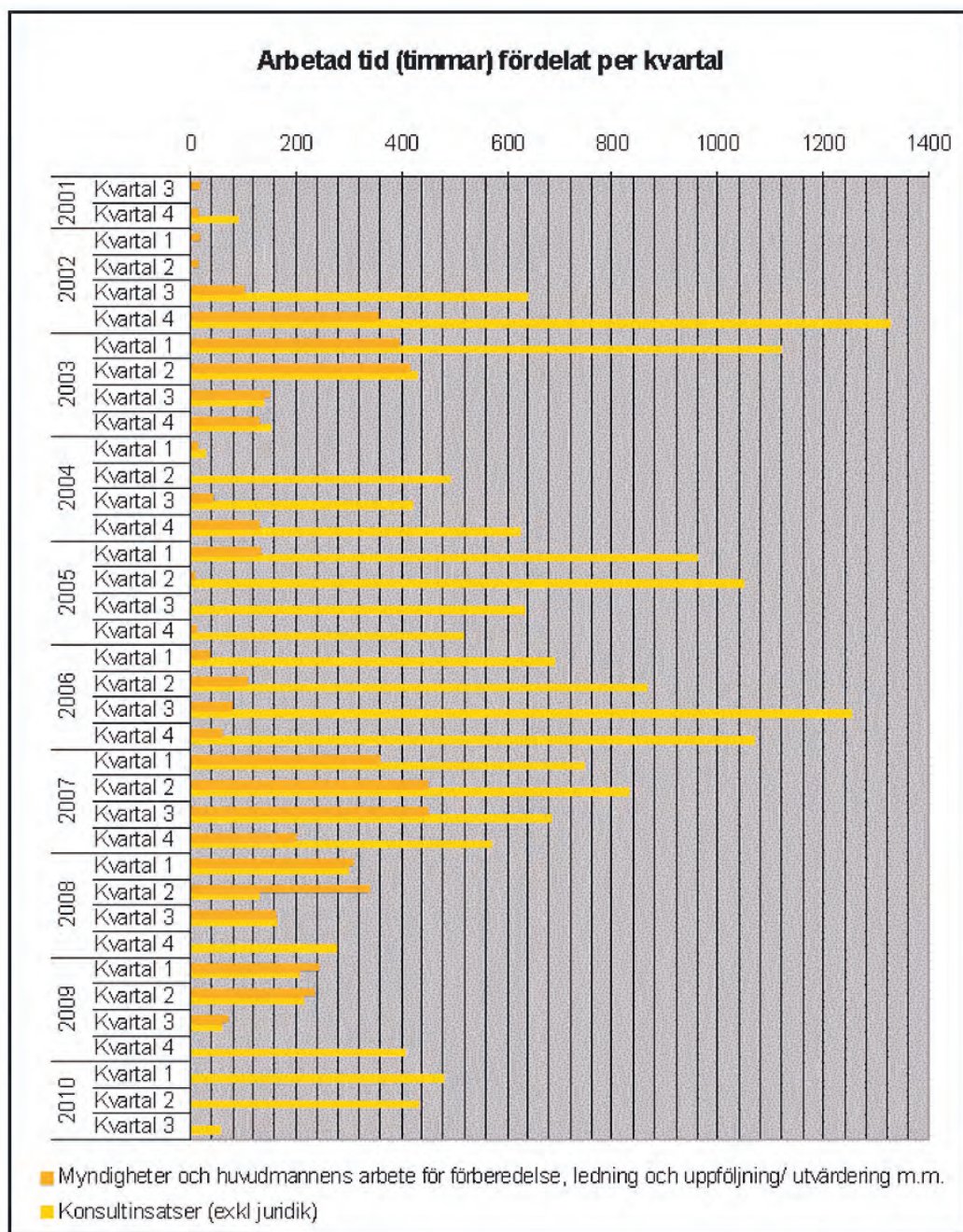
FIGUR 9.2 Diagram visande procentförhållande mellan aktiviteter.

Cirkeldiagrammet till vänster redovisar resursåtgång i antal timmar i förhållande till totalt redovisad tidsåtgång i Svartsjöprojektet under 2001–kvartal 3, 2010.

De största posterna består av nedlagd tid för konsulter och entreprenörer, som tillsammans står för 92 % av den totalt redovisade tiden i projektet.

Huvudmannens arbete kan man tillåta sig att fördela mellan projektlednings- och miljökontrollresurs. Av huvudmannens timmar består då 457,0 timmar (8,9 %) av projektledning (konsultinsatser) och 4 682,7 timmar (91,1%) av miljökontroll via Hultsfreds och Vetlanda kommuner.

Fördelningen mellan huvudmannens och konsulternas tidsinsats över projektperioden redovisas i nedanstående diagram:



FIGUR 9.3 Diagram över huvudmannens och konsulternas tidsinsats över projektiden.

### Reflektioner kring ovanstående diagram

Arbetsinsatserna för upphandlade konsulter och för projektets huvudman står förstas i relation till den arbetsinsats som krävs i respektive projektskede och till de insatser som utförs vid dessa tillfällen. Redovisad tid i sammanställningen består av ackumulerad tid avseende olika projektfunkti-

ner där upphandlade konsulter arbetar inom sitt kunskaps- och ansvarsområde.

Konsulttjänsterna avser i detta fall projektledning *exkl. kommunens arbete inom projektledning*, samt teknik med inriktning på projektering och tjänster som t.ex. besiktning och byggledning inom entreprenaden *utom själva åtgärdsentrepren-*

naden. Konsultinsatser varierar i omfattning över projekttiden, men generellt kan de mest konsultintensiva perioderna sammanlänkas med specifika moment såsom förberedelser och upphandlingar. Man arbetar ständigt med att hålla projektets tidplan, vilken tagits fram i syfte att optimera tid och kostnader för samtliga ingående processer.

Vilka moment har då utförts av konsulterna under de mest tidskrävande perioderna? Vi börjar överst på diagrammet ovan, fig. nr. 9.3, och går nedåt/framåt i kronologisk ordning:

- 2002 handlar man upp konsulter inom delprojekten teknik och miljökontroll.
- Årsskiftet 2002/2003 bedrivs arbeten med tillkommande tekniska utredningar och underlag till MKB.
- Under 2004 tas slutliga dokument fram inför upphandling av entreprenör. Man arbetar slutligen med utvärdering av anbud och avtalsförhandlingar.
- Åtgärdsentreprenaden, som påbörjades 2005 och pågick under två år med vissa säsongsbrott, genererade under entreprenadtiden

aktiv konsultarbetsinsats i form av projekt- och byggledning samt expertstöd.

- När entreprenaden avslutats avtar behovet av konsultinsatser, för att åter intensifieras i slutet av 2009 – då med arbetet kring produktion av erfarenhetsrapport.

Vid betraktelse av huvudmannens arbetsinsatser över tiden bör särskilt påpekas att huvudmannens redovisade tid till 91 % avsett arbeten med miljökontroll, vilket inte specifikt kan anses vara relaterat till huvudmannskapet. Miljökontrollen, som till stor del utförts av kommunens egen personal, skulle likväl kunna vara hänförligt till kategorin konsulter.

Emellertid kan resterande 9 % av kommunens arbetsinsats vara representativ för huvudmannens engagemang givet att en väl fungerande projektorganisation etablerats för projektet.

I projektet har nedlagd arbetstid följts upp separat i en sidoordnad mer detaljerad tidredovisning, vilken valts att redovisas kvartalsvis p.g.a. sin omfattning.



FIGUR 9.4 Geotuber som fyllts med nuddermassor. Vattnet, som rann genom väven, gick till reningsverket i bakgrunden.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

### 9.3.3 KOSTNADER

Projektet har totalt förbrukat 121 998 252 kronor under perioden 2001–september 2010. Utredningar som utförts före åtgärdsbeslut tagits

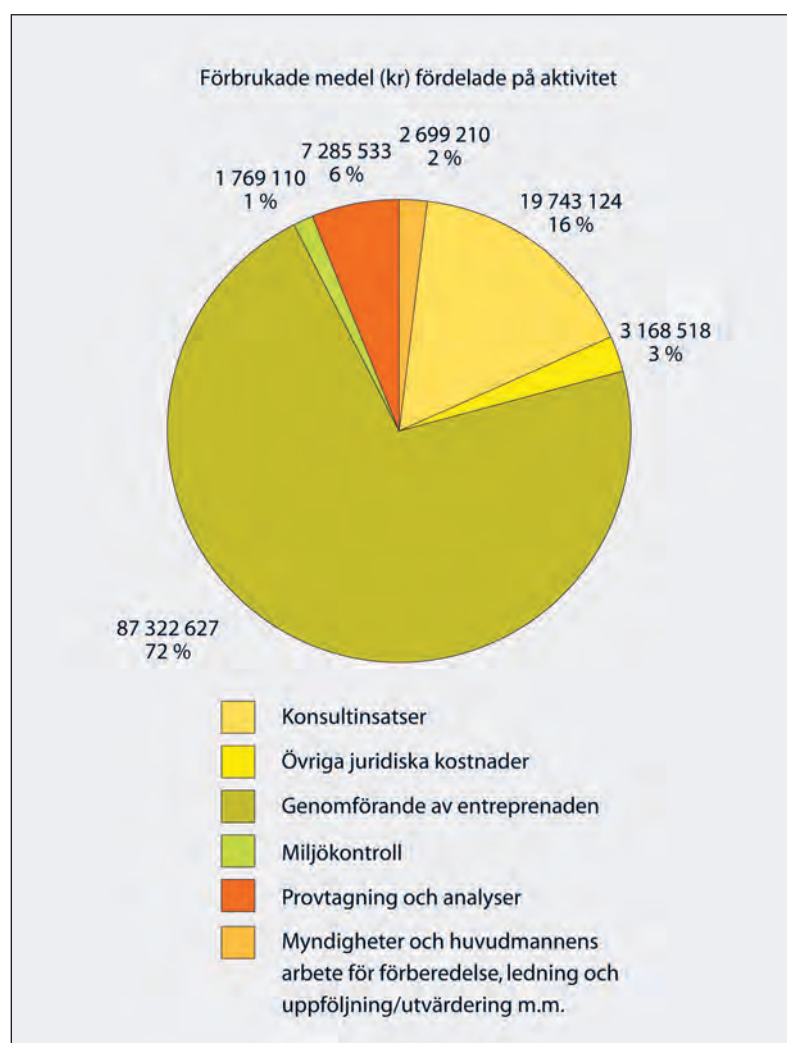
(3 910,8 tkr) är *inte inkluderade* i redovisat utfall. Kostnaderna är fördelade mellan de olika aktiviteterna, enligt nedan:

1	2	3	4	5
Huvudmannens arbete	Konsultinsatser	Provtagningar och analyser	Genomförande av entreprenader	Miljökontroll
2.699.210 kr	21.313.154 kr	7.285.533 kr	87.322.627 kr	1.769.110 kr

TABELL 9.4 Fördelning av resurser i kr per aktivitet.

Utöver ovanstående uppställning finns en kostnad i redovisningen som vi valt att kalla för ”övriga juridiska kostnader”, vilken innefattar kostnader

såsom intrångsersättning och dylikt. Under redovisad period har dessa kostnader uppgått till 1 598 489 kr.



Cirkeldiagrammet till vänster redovisar resursåtgång i kronor i förhållande till totalt redovisad medelsförbrukning i Svartsjöprojektet under 2001–kvartal 3, 2010.

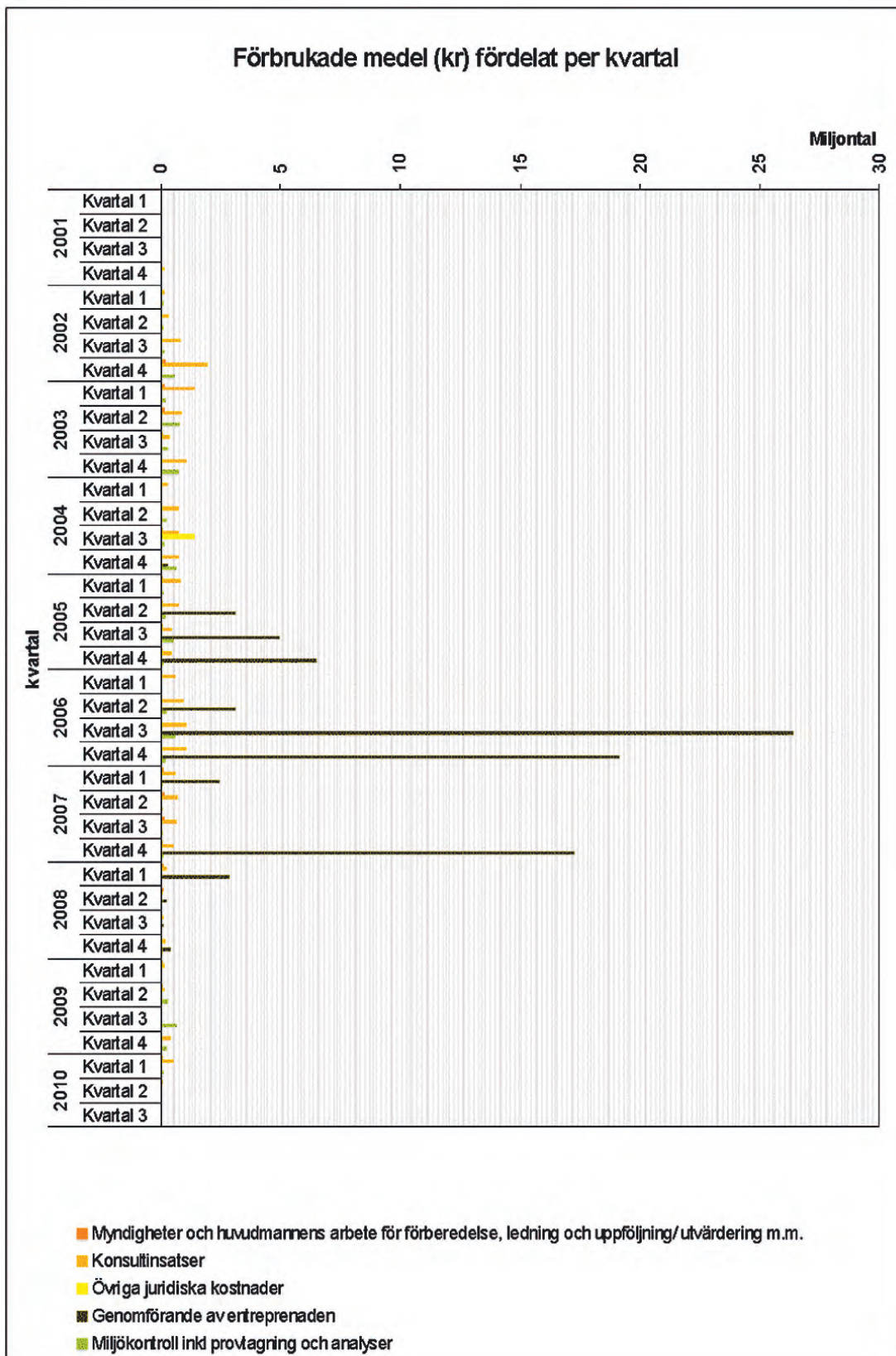
Observera att redovisade juridiska kostnader här innefattar den del av konsultkostnaderna som avser juridiska konsulter *med tillägg* av övriga juridiska kostnader som utgörs av främst intrångsersättningar o.d.

Såsom diagrammet visar utgörs de största kostnadsposterna av konsult- och entreprenadkostnader som tillsammans utgör hela 88 % av den totala projektkostnaden.

FIGUR 9.5 Medelsförbrukning per aktivitet.

Kostnaderna står i proportion till arbetade timmar (jfr diagram Figur 9.2.)

På nästa sida redovisas kostnader fördelade per aktivitet och kvartal:



FIGUR 9.6 Diagram över kostnader (Mkr) per aktivitet i Svartsjöprojektet år 2001–kvartal 3 2010.

### Reflektion kring ovanstående diagram

I projektets inledningsskede (kvartal 3–4 år 2001) består kostnaderna huvudsakligen av konsultkostnader avseende beställarens engagemang, projektledning, ekonomihantering samt bemanning av projektet. Därefter, under 2002, handlar man upp konsulter inom delprojekten teknik och miljökontroll.

Det arbete som utförs vid årsskiftet 2002/2003 utgörs främst av förberedelser inför miljöprövningen i miljödomstolen, vilka till största delen består av tillkommande tekniska utredningar och underlag till MKB. Vidare under 2003 tas slutliga dokument fram inför upphandling av entreprenör, vilka då även genomgått juridiska prövningar, anbudsutvärdering och avtalsförhandlingar.

Åtgärdsentreprenaden började med undersökningar och projektering 2004, sommaren 2005 inleddes entreprenörens arbete på plats med etablering. Entreprenaden färdigställdes sent hösten 2007. Arbete med åtgärden har utförts intensivt och kostnadseffektivt; detta visas i diagrammet där den stora kostnaden under en kort tid speglar hög arbetsintensitet. De entreprenadkostnader som redovisas efter 2007 avser mindre kvarvarande återställningsarbeten.

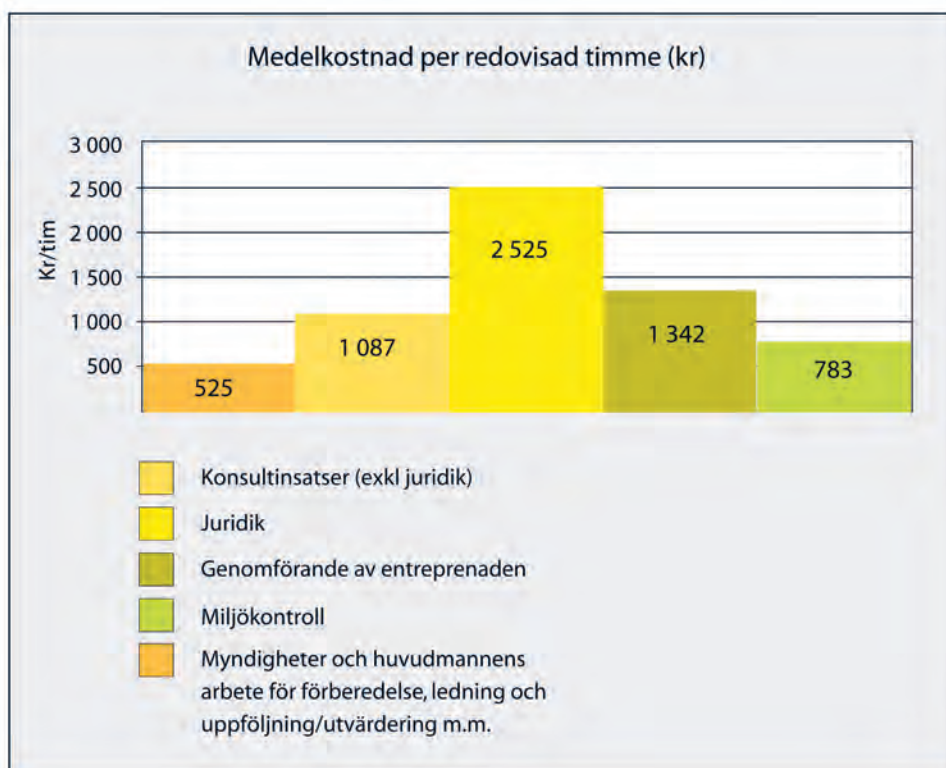
Vid slutet av 2009 har projektet innehållit en mindre summa om 60 tkr exkl. entreprenadindex avseende vissa ej utförda återställningsarbeten.

Efter åtgärd och före avslutande av Svartsjöprojektet intensifieras åter vissa kostnader för konsulter i ett gediget arbete kring sammanställning av erfarenhetsrapporten, där alla inblandade förväntas bidra med sina observationer och slutsatser.

### Sammanfattningsvis kan man konstatera att:

- konsultkostnaderna är relativt jämnt fördelade över tiden och varierar i förhållande till det arbete som läggs ned
- projektets genomförandetid är helt avgörande för den totala kostnaden avseende konsultinsatser
- entreprenadarbetena i projektet svarar för en stor kostnadsandel (72 %), som faller ut under en begränsad tid

I konsekvens med att uppgifter redovisas för tid och motsvarande kostnad kan vi få fram en medelkostnad per redovisad timme och aktivitet. Observera att dessa medeltal för konsulter och beställarorganisationen inkluderar timarvoden, resekostnader, utlägg och övriga förekommande avtalsmässiga omkostnader, då denna typ av kostnader ej särredovisats. För entreprenadarbeten bör observeras att motsvarande beräknad medelkostnad per redovisad arbetstimme innehåller kostnader för material och diverse förbrukning, samt maskinkostnader.



FIGUR 9.7 Medeltal, arvode per timme och aktivitet.

## ERFARENHETER

### – Arbetade timmar och kostnader

Genom uppföljning av arbetad tid i projektet har en ökad medvetenhet erhållits för hur mycket tid som faktiskt används inom olika delar av projektet samt i vilka faser detta sker. Statistiken bidrar till större förståelse för kostnader och säkrare underlag för framtida kalkyler i form av uppdaterade nyckeltal.

Ett projekt av denna storleksordning upptar en hel del resurser från den politiska ledningen, kommunledningen och förvaltningen. Projektet har avseende processer (inriktning och ramar) och ekonomiredovisning integrerats med kommunens ordinarie verksamhet och har på så sätt kommit att utgöra en integrerad del av Hultsfreds kommun.

Att driva ett efterbehandlingsprojekt kräver engagemang och resurser från huvudmannen vilket synliggörs genom projektets redovisning av nedlagd tid. Den kunskap och erfarenhet som kommunen tillgodogjorts under tiden för detta och tidigare genomfört projekt har betydelse för hur kommunen kan komma att se på och engagera sig i nya miljöprojekt på regional nivå samt som referens för andra kommuner som överväger att genomföra liknande miljösaneringar.

### Projektets styrning kontra finansiärens krav på tid- och ekonomiredovisning

Den struktur som valts av Naturvårdsverket för fördelningen av nedlagd tid och upparbetade kostnader stämmer inte direkt överens med projektets behov av system för styrning. Projektet är unikt designat för att lösa en specifik uppgift. Ett projekt är därför vanligen funktionsindelad i huvudaktiviteter (exv. projektledning, projektering, miljökon-

troll, entreprenader osv.) och delaktiviteter inom respektive huvudaktivitet (exv. projektledning kan delas in i ledning, ekonomi, information, upphandling och erfarenhetsåterföring). Projektets behov av planering och uppföljning styr kontoplanens indelning huvudaktiviteter och delaktiviteter.

Den uppdelning som har valts innebär att t.ex. huvudmannens nedlagda tid och kostnader redovisas på samma aktivitet som exempelvis konsulter. Att ytterligare i redovisningen särskilja kostnadsarterna huvudmannen och konsulten kräver därför ytterligare en kod i kontoplan. Det kräver vidare att huvudmannens ekonomisystem klarar av en sådan konstruktion, vilket var fallet i projekt Svartsjöarna. Det är vidare en fördel om ekonomisystemet klarar av att redovisa även nedlagd tid; vilket inte var fallet i projekt Svartsjöarna. Rent tekniskt utgör detta inget hinder i teorin för de flesta ekonomisystem. I praktiken måste projektets redovisning följa beslutade bidragsvillkor och en anpassning av ekonomisystemens rutiner kan bli för omfattande för ett enstaka projekt. Denna erfarenhet skulle kunna utgöra en förutsättning för omprövning av bidragsvillkoren vad gäller tid- och ekonomirapportering.

I projektet har nedlagd arbetstid följts upp separat i en sidoordnad mer detaljerad tidredovisning.

### 9.3.4 NYCKELTAL I PROJEKTEN

Utifrån tidigare genomförda projekt (Järnsjöprojektet, Hultsfreds kommun och Projekt Örserumsviken, Västerviks kommun) har en tabell med nyckeltal sammanställts. Tabellen visar vilken andel de huvudsakliga aktiviteterna i projekten utgör i jämförelse med projektens totalbudget.

Nyckeltal	Järnsjön GE		Örserumsviken GE		Svartsjöarna TE	
	MSEK	%	MSEK	%	MSEK	%
Projektledning	3,5	7,6%	9,5	8,2%	8,7	7,2%
Upphandling	0,7	1,5%	0,8	0,7%	1,2	1,0%
Projektering	1,2	2,6%	3,8	3,3%	0,1	0,1%
Utredningar	0,0	0,0%	3,8	3,3%	3,6	3,0%
Miljökontroll	11,9	25,9%	16,8	14,5%	10,6	8,8%
Juridik	0,7	1,5%	2,0	1,7%	1,6	1,3%
Ersättningar	0,6	1,3%	0,0	0,0%	1,5	1,2%
Entreprenader	27,3	59,5%	78,8	68,2%	92,9	77,3%
Summa	45,9	100,0%	115,5	100,0%	120,2	100,0%

TABELL 9.5 Nyckeltal i projekten.

Järnsjön och Örserumsviken genomfördes som generalentreprenader emedan Svartsjöprojektet genomfördes som totalentreprenad. I samtliga entreprenader utgör projektledningens kostnad ca 7–8 % av totalbudgeten. Upphandlingskostnader ligger nära 1 %, detta omfattar upphandling av konsulter samt upphandling av entreprenaden. När det gäller projektering kan slutsatsen dras att kostnaden är lägre i en totalentreprenad. I tabellen anges på raden ”Projektering” kostnaden för beställarens förprojektering medan entreprenörens projektering är infogad i raden ”Entreprenader”. Som faktisk kostnad på ca 690 000 ligger projekteringskostnaden fortfarande lägst i totalentreprenaden med ca 0,5 % av projektets budget. Utredningskostnaden synes inte påverkas av vald entreprenadform, jfr Örserumsviken och Svartsjöarna. I projekt Järnsjön genomfördes i allt väsentligt utredningar i tidigare skeden. De utredningar som genomfördes under projekterings- och entreprenadfasen var av mindre omfattning och redovisades under konton för projektering och miljökontroll. En jämförelse med Järnsjön är i denna del sålunda inte relevant.

Kostnader för miljökontroll har sjunkit med åren. Järnsjösaneringen var på sin tid ett pilotprojekt och miljökontrollen omfattade en del utredningar med syftet kunskapsuppbyggnad. Örserumsviken var ett komplext projekt med kontroll av bl.a. PCB. I Svartsjöarna så har kostnaden legat på 8,8 % vilket beror på mindre komplexitet i kontroll och uppföljning samt att det har byggts upp kunskap och effektiva arbetssätt sedan Järnsjöprojektets genomförande 1991–1997. Kostnader för juridik ligger på ungefär samma nivå men det kan variera beroende på miljöprövningens komplexitet och eventuella överklaganden av miljödomen. Ersättningar i Järnsjöprojektet och Svartsjöprojektet har legat på ungefär samma nivå; den kostnaden är givetvis beroende av saneringens lokalisering och vilka intressen som påverkas.

Slutligen synes entreprenadkostnaden i en totalentreprenad utgöra en större andel av projektbudgeten än i en generalentreprenad. Det skulle kunna tolkas så att totalentreprenad är mera kostnads-effektiv.

#### 9.4 Ledtider i projektet

Huvudtidplan för projektet beslutades i juli 2002 (020708 version 2). Huvudtidplanen omfattade åren 2002–2007 och utgick från att projektet skulle ha varit slutfört i början på 2007 och avrapporterat i början på 2008.

Tecknande av entreprenadkontrakt skulle ha skett i april 2003 men eftersom tilldelningsbeslutet i upphandlingen överklagades uppstod det en förse-

ning som flyttade kontraktsskrivningen till november 2003. Totalentreprenörens projektering skulle ha slutförts under 2003 för att sedan leda till etablering och markarbeten 2004. Muddring enligt den initiala tidplanen skulle ha börjat i februari 2004.

I verkligheten startade muddringen i maj 2006 vilket innebar en ca två års försening i jämförelse med huvudtidplanen. Projekteringen började 2004 men slutbesiktning av Huvuddel 1 (projekteringen) kunde genomföras först i april 2005. Emellertid har ogynnsamma vinterförhållanden påverkat mark-arbetenas förlopp och etableringen. Trots den tidigare nämnda förseningen slutfördes muddringen i november 2006. Totalentreprenören lyckades genomföra muddringen under en muddringssäsong på ca 6 månader. Forcering av arbetena tillämpades dessutom under v 3806–v 4506 då totalentreprenören utökade sin muddringsskapacitet och sin arbetstid mot en tilläggsersättning. I beställarens huvudtidplan, alltså före anbud för entreprenaden inkom, hade minst två muddringssäsonger med en övervintring däremellan beräknats. Vi kan konstatera att trots försening i uppstarten av entreprenaden och överklagande av upphandlingen kunde sluttäckning av deponin påbörjas hösten 2007.

Slutbesiktning gjordes med ett års försening i förhållande till huvudtidplanen 2002, läs mer om detta under avsnitt 5.6 Besiktningar.

Huvudtidplanen reviderades i september 2005 och i jämförelse med denna så har täckning av deponin skett enligt tidplan och slutbesiktning blivit försenad med ca 10 månader. De förseningar som uppstått beträffande entreprenadarbetena kan i allt väsentligt hänföras till att entreprenadupphandlingen överklagades samt att kompletterande sedimentkartering av beställaren och undersökningar av totalentreprenören behövde genomföras med anledning av sedimentförflyttningen som skedde 2003. Gentemot ursprunglig tidplan har vi 1 års försening i slutförandet av entreprenaden.

Prognosen för garantibesiktning december 2009 kunde inte hållas, delvis till följd av Länsstyrelsens yttrande med anmärkningar angående vegetationsetablering och sättningar på deponin, men den huvudsakliga anledningen till försening var dock den stränga vintern 2009/2010, som gjorde besiktning ogenomförbar.

#### 9.5 Möten i projektet

I projektet har möten genomförts för att styra, stämma av och granska utförda arbeten men även för att i vetenskaplig anda lösa frågeställningar som har uppkommit under saneringen. Möten på beställarnivå har genomförts som *styrgruppsmöten* och

på projektnivå som *projektmöten*. Möten mellan projektet och totalentreprenören avseende tekniska frågor samt avstämning av arbeten genomfördes som *byggmöten*. Avseende kontraktsfrågor träffades totalentreprenören och projektet i *kontraktsmöten*. Därutöver har några arbetsmöten, ledningsmöten, projekteringsmöten och beställarmöten genomförts.

### Styrgruppsmöten

Vid styrgruppsmöten deltog representanter för styrgruppen, representant från Länsstyrelsen samt projektledaren. Projektstöd, informationsansvarig m.fl. har vid behov adjungerats till möten. Vid dessa möten fattades beslut om ramar och direktiv för projektet. Totalt genomfördes 9 möten fram till och med 2008 i Hultsfreds kommunhus.

### Projektmöten

Vid projektmöten deltog projektledare, projekthandläggare, vid behov projektstöd inom berörda expertområden, delprojektledare för respektive delprojekt, informationsansvarig samt Länsstyrelsens kontaktperson. Beställarens ombud var inbjudet att delta vid samtliga projektmöten. Projektmöten har genomförts i genomsnitt varannan månad under produktionstid; totalt har 23 projektmöten fullföljts. Vid projektmöten sammanfattades och redovisades arbete som har utförts i projektet under föregående period inom respektive delprojekt, d.v.s. projektering, miljökontroll, upphandling, juridiska frågor och entreprenader. Genomförda arbeten stämades av och direktiv beslutades för kommande arbeten. Direktiv hade tidigare fastställts genom styrgruppsmöten, se beskrivning ovan. Vid mötet behandlades även projektläget, projektets ekonomi och avstämning mot tidplan samt informationsfrågor.

### Byggmöten

Vid byggmöten granskades och stämades av entreprenadarbetena mot gällande kontraktshandlingar. Vid genomförda byggmöten behandlades pågående och planerade arbeten hos totalentreprenören, ekonomi och tidplan, avvikelserapporter, kontroll av muddring, egenkontroll, tekniska frågor, avstämning mot kvalitets- och miljöplan, arbetsmiljöfrågor, återställning, besiktningar samt administrativa frågor. Inom ramen för totalentreprenaden hade totalentreprenören ansvaret både för utformningen och för funktionen av de tekniska lösningarna. Därmed var punkten ”tekniska frågor” mer av informativ karaktär, där beställaren/projektet hade möjlighet att kommentera ifall förfarandet stred mot kontraktet, beställarvillkor eller gällande lagar och förordningar. Totalt

genomfördes 12 byggmöten, de flesta ute vid deponiplatsen i totalentreprenörens arbetsbodrar.

### Kontraktsmöten

Syftet med kontraktsmötena var att med totalentreprenören stämma av eventuella kontraktsfrågor. Det genomfördes totalt 9 kontraktsmöten.

### Övriga möten

För övrigt genomfördes i projektets tidiga skede 6 ledningsgruppsmöten och 1 tekniskt möte inom projektgruppen samt 3 projekteringsmöten med totalentreprenören.



**FIGUR 9.8** Pauliströmsån har ett fint bestånd av flodpärlmussla. Den lever sitt liv nere bland stenarna på åns botten och kräver strömmande vatten.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

# 10. Dokumentation

TEXT *Joakim Schultzen*, Empirikon AB

---

## 10.1 Lista över utförda utredningar

Nedanstående utredningar och undersökningar har genomförts i anslutning till projektet eller har hänvisats till i denna rapport. Handlingarna är redovisade kronologiskt.

1. Undersökning av förorenade sediment i Svartsjöarna, DEL 1 och DEL 2, Hultsfreds kommun (Hampus von Post, Miljömanagement Svenska AB 1997-12-27).
2. Svartsjöprojektet. Miljöriskbedömning av fiber och kvicksilverförekomst i Pauliströmsån (Olof Regnéll, Lunds universitet, Helena Parkman, Institutet för vatten och luftvårdsforskning, Stockholm, Tommy Hammar, Länsstyrelsen Kalmar län, Anders Helgée, Hultsfreds kommun och Bo Troedsson, Vetlanda kommun, maj 1998).
3. Utlåtande angående ansvaret för borttagande av fibermassor m.m. i Svartsjöarna i Hultsfreds kommun (Advokatfirman Magnus Pfannenstill, Lund 1998-05-25).
4. Sanering av Svartsjöarna – Åtgärdsförslag, Hultsfreds kommun (Pär Elander, Miljöteknik, Bo Carlsson AB, Linköping 1998-11-04).
5. Om ansvaret för undersökning och efterbehandling av fibermassorna i Svartsjöarna (Jan Darpö, CTS/Högskolan Dalarna, Borlänge 1999-02-23).
6. PM ang. ansvaret för efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun, Kalmar län (Baker och McKenzie Advokatbyrå, Stockholm 1999-06-30).
7. Svartsjöprojektet, Möjligheter och konsekvenser att använda Pauliströms bruks reningsverk (Tomas Ericsson, ÅF-IPK AB; Stockholm 2001-11-08).
8. Framställning och undersökning av framtida lakvatten från deponerat sediment från Nedre och Övre Svartsjön (Peter Solyom och Uwe Fortkamp, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, A22020, 2002-04-15).
9. Ansvarsutredning föranledd av planerad efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun i Kalmar län (Länsstyrelsen Jönköpings län, 2002-05-22).
10. Svartsjöprojektet. Huvudstudie. Styrgruppens sammanfattande rapport med åtgärdsförslag. Revidering 2002-04-25.
11. Uppskattning av utsläpp av kvicksilver och metylkvicksilver från muddrade sedimentmassor från Svartsjöarna (Lars-Olof Höglund och Maria Lindgren, Kemakta konsult AB, AR 2002-09, april 2002).
12. Utvärdering av nollalternativet avseende Svartsjöarna (Celia Jones och Lars Olof Höglund, Kemakta Konsult AB, AR 2002-17, maj 2002).
13. Svartsjöprojektet – Vattenkvalitetsparametrar för Svartsjöarna och Pauliströmsån (Celia Jones och Lars Olof Höglund, Kemakta Konsult AB, AR 2002-30, december 2002).
14. Svartsjöprojektet – Belastning av syreförbrukande ämnen från returvatten från muddring – olika scenarier (Lars Olof Höglund och Maria Lindgren, Kemakta Konsult AB, AR 2002-31, december 2002).
15. Geohydrologisk utredning, Projekt Svartsjöarna Hultsfreds kommun (Mats Hagman och Andreas Sjöberg, WSP Environmental, 2003). Inklusive som bilaga: Svartsjöprojektet, Rapport geofysik (Jörgen Brorsson, Scandiakonsult, 2003-02-03).
  - a. Geohydrologisk utredning, Projekt Svartsjöarna Hultsfreds kommun (Mats Hagman och Andreas Sjöberg, WSP Environmental, 2003). Inklusive som bilaga: Svartsjöprojektet, Rapport geofysik (Jörgen Brorsson, Scandiakonsult, 2003-02-03).
  - b. Svartsjöarna PM1 Utvärdering hydraultester (U. Sundqvist, Aqualog AB 2003).
17. Deponiområde, Översiktlig geoteknisk undersökning, Svartsjöarna Hultsfreds kommun (Torbjörn Johansson och Christer Henriksson, WSP Sverige AB, 2003-02-14).
18. MKB, Svartsjöprojektet, Hultsfred kommun (Bodil Martens, Jessica Karlsson och Magnus Lindoffsson WSP Kalmar och Karlskrona, samt Pär Elander från Envipro Miljöteknik AB, 2003-04-24).

19. Teknisk beskrivning till ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till saneringsåtgärder i Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfreds kommun, Kalmar län (Hultsfreds kommun, 2003-04-28).
20. Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till saneringsåtgärder i Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfred kommun. Kalmar län (Mannheimer Swartling, april 2003).
21. Sedimentkaraktisering (SGI labbrapport, 2004-03-17).
22. Utlåtande angående vattenreningsteknik (Eva Dalentoft, AnoxKaldnes AB, 2006-01-25).
23. Flöden och halter av total- och metylkvicksilver i Pauliströmsån och Svartsjöarna åren 1996 och 2003 – underlag för utvärdering av saneringsåtgärderna i Svartsjöarna (Olof Regnell, Bo Troedsson, Anders Helgée, Tommy Hammar, och Thomas Svensson 2006-11-14).
24. Erfarenheter av riskexponering vid totalentreprenader. Bygg & Teknik nr 1 – januari 2007 s 33-34 (U. Håkansson, L. Hässler, J. Bröchner 2006).

## 10.2 Sammanfattning av rapporter från utförda utredningar

1. **Undersökning av förorenade sediment i Svartsjöarna, DEL 1 och DEL 2, Hultsfreds kommun (Hampus von Post, Miljömanagement Svenska AB 1997-12-27).**  
Undersökningen kartlade de förorenade fibersedimentens utbredning i Övre och Nedre Svartsjön, samt fördelningen av kvicksilver i dessa. I rapporten klarläggs behovet och förutsättningarna för efterbehandling av Svartsjöarna och den bildar underlag för bedömning av tekniska och ekonomiska förutsättningar för genomförandet av muddring och avvattning. Rapporten föreslår muddring med sugmudderverk så att uppgrumling av de lättsuspenderade fibersedimenten minimeras. För avvattning av muddringsmassorna föreslås tillsättning av flockningsmedel och eventuellt mekanisk avvattning med centrifug. Under undersökningen noterades även en kraftig förekomst av gas i Övre Svartsjöns sediment, vilket påverkar avverkning med sugmuddring, då gas fastnar i pumpan med kavitation som följd.
2. **Svartsjöprojektet. Miljöriskbedömning av fiber och kvicksilverförekomst i Pauliströmsån (Olof Regnell, Lunds universitet,**

## **Helena Parkman, Institutet för vatten och luftvårdsforskning, Stockholm, Tommy Hammar, Länsstyrelsen Kalmar, Anders Helgée, Hultsfreds kommun och Bo Troedsson, Vetlanda kommun, maj 1998).**

Syftet med undersökningen var att utreda i vilken utsträckning de kvicksilverkontaminerade cellulosafibrerna i Övre Svartsjöns sediment påverkar halterna av totalkvicksilver och metylkvicksilver i vatten, sediment och biota i Övre och Nedre Svartsjön, samt nedströms i Pauliströmsån. Därtill undersöktes till vilken grad Pauliströmsån bidrog till transporten av dessa ämnen i Emån nedströms Pauliströmsåns mynning. Vidare var syftet att klarlägga mekanismerna bakom internbelastningen av kvicksilver i Övre Svartsjön, till grund för val av åtgärder mot metylering, läckage och resuspension av kvicksilver från sjöns sediment. Undersökningen visade på följande:

- Transporten av totalkvicksilver i Pauliströmsån var partikelbundet och som störst under vårfloppet.
- Ett avsevärt läckage av kvicksilver från sediment och/eller en kraftig resuspension av sediment ägde rum i sjön.
- En viss ökning av metylkvicksilver noterades nedströms Övre Svartsjön, vilket förklaras av syrebrist i sjön, med ökad metylering, gasbildning och resuspension som följd.
- Faunan i Svartsjöarna innehöll mycket förhöjda halter totalkvicksilver och metylkvicksilver.
- En åtgärd som gav goda och stabila syrgasförhållanden ovan sedimenten i sjön skulle leda till högre fastläggning av kvicksilver i sedimenten och minska metyleringen av kvicksilver.

3. **Utlåtande angående ansvaret för borttagande av fibermassor m.m. i Svartsjöarna i Hultsfreds kommun (Advokatfirman Magnus Pfannenstill, Lund 1998-05-25).**  
Utlåtandet inleder med en genomgång av historiken kring Bruket. Det juridiska ansvaret för saneringen av Svartsjöarna fastställs ligga hos Pauliströms Bruks AB, Metsä-Särila AB och Assort Hygiene, då återställningsskyldighet följer med vid överlåtande av verksamhet. I första hand förordas ett åläggande mot Pauliströms Bruks AB, förutsatt att de drivit verksamhet efter 1989-06-30, då ett tillägg i 5§ miljölagen gjordes som ålade

även nedlagda verksamheter återställnings-skyldighet. Kostnaderna skulle även kunna delas upp på aktuella företag.

**4. Sanering av Svartsjöarna – Åtgärdsförslag, Hultsfreds kommun (Pär Elander, Miljöteknik, Bo Carlsson AB, Linköping 1998-11-04).**

Rapportens genomgång av olika efterbehandlingsmetoder visar att en övertäckning eller sanering på plats inte är realistisk. Av den anledningen, i kombination med de relativt låga halterna kvicksilver i sedimenten, förordas en deponi på land, motsvarande Naturvårdsverkets klass 3. Följande åtgärder föreslås i rapporten:

- Muddring av ca 260 000 m<sup>3</sup> kvicksilverförorenade sediment, med utrustning anpassad för minimal uppgrumling.
- Mekanisk avvattning och efterföljande rening av returvatten.
- Deponering av de förorenade sedimenten i en monodeponi.
- Täckning av deponin med minst 0,5 m erosionsbeständigt friktionsmaterial.
- Totalkostnaden för hela projektet beräknades till 65 Mkr.

**5. Om ansvaret för undersökning och efterbehandling av fibermassorna i Svartsjöarna (Jan Darpö, CTS/Högskolan Dalarna, Borlänge 1999-02-23).**

Utlåtande i frågan om ansvar för återställning utifrån Magnus Pfannenstills ansvarsutredning ovan, där det föreslås att MoDo föreläggs vidta viss undersökning och eventuell efterbehandling i Svartsjöarna, med avseende på den förorening som orsakades under perioden fram till 1972, då verksamheten tillståndsprövades. Metsä-Serla samt Assort Hygien bör få krav på undersökningar som villkor för verksamhetstillstånd. De bör också kunna åläggas att bidra till undersöknings- och efterbehandlingsåtgärderna i Svartsjöarna.

**6. PM ang. ansvaret för efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun, Kalmar län (Baker och McKenzie Advokatbyrå, Stockholm 1999-06-30).**

Denna tredje ansvarsutredning genomfördes på uppdrag av industrin av Johan Norman, Baker & McKenzie advokatbyrå. I detta yttrande hävdas att tillstånd för verksamheten 1969–1972 inte var nödvändigt eftersom ML

endast föreskrev detta för nyanläggning och ändring. Någon ändring i verksamheten skedde inte förrän 1971, då man sökte tillstånd för en ökning av produktionen, vilket alltså beviljades 1972.

Norman menade också att ansvar bör begränsas för perioden då kvicksilver användes i produktionen, vilket hade upphört innan ML trädde i kraft. Han hävdade vidare att preskription var tillämplig och sådan borde sättas till 10 år efter den skadegörande handlingen, det vill säga det sista kvicksilverutsläppet.

**7. Svartsjöprojektet, Möjligheter och konsekvenser att använda Pauliströms bruks reningsverk (Tomas Ericsson, ÅF-IPK AB; Stockholm 2001-11-08).**

**8. Framställning och undersökning av framtida lakvatten från deponerat sediment från Nedre och Övre Svartsjön (Peter Solyom och Uwe Fortkamp, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, A22020, 2002-04-15).**

Syftet med undersökningen var att utifrån analyser på sedimentprover från Svartsjöarna förutsäga egenskaperna i det lakvatten som skulle erhållas vid en deponering. Analyser på det simulerade lakvattnet genomfördes avseende föroreningshalter, biologisk (BOD) och kemisk (COD) syreförbrukning, samt innehåll av aeroba och anaeroba bakterier. Kviksilvershalten i det avvattade sedimentet överskred riktvärdet för känslig markanvändning av förorenad jord med 40 procent. Det filtrerade lakvattnets kvicksilverhalt var 25 gånger lägre än gränsvärdet, varav metylkvicksilver utgjorde mindre än 1 %. Halterna kadmium och bly i lakvattnet översteg gränsvärdet för dricksvatten. I övrigt var halterna på analyserade föroreningar under sina resp. gränsvärden. Analysen av aeroba, respektive anaeroba bakterier antydde att biologisk aktivitet kunde aktiveras vid deponering.

**9. Ansvarsutredning föranledd av planerad efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun i Kalmar län (Länsstyrelsen Jönköpings län, 2002-05-22).**

Länsstyrelsen Jönköpings län ombads av Naturvårdsverket att ta fram underlag för att lösa frågan om ansvars- och kostnadsfördelning med industrin.

Här pekas på att det inte i första hand är

kvicksilvret utan metyleringen av detsamma till följd av fibermassorna som är problemet. Och eftersom fibermassor släppts ut under hela verksamhetstiden menade utredaren att man inte kunde hävda preskription eller att den skadegörande handlingen skedde innan ML trädde i kraft.

I utredningen gjordes bedömningen att ansvaret skulle ligga på såväl tidigare som nuvarande verksamhetsutövare. Länsstyrelsen beräknade att det vore skäligt om industrin stod för 35 % av de beräknade kostnaderna för undersökningar och sanering.

**10. Svartsjöprojektet. Huvudstudie. Styrgruppens sammanfattande rapport med åtgärdsförslag. Revidering 2002-04-25.**

Denna rapport sammanfattar genomförda studier inom Svartsjöprojektet omfattande föroreningssituationen, riskbedömning, ansvarsförhållanden och tekniska lösningar. Därtill presenteras förslag till åtgärd, vilka mål som bör vara kopplade till detta, olika förslag på deponins utformning och placering, samt en kostnadskalkyl.

Se kap. 4.2 ovan.

**11. Uppskattning av utsläpp av kvicksilver och metylkvicksilver från muddrade sedimentmassor från Svartsjöarna (Lars-Olof Höglund och Maria Lindgren, Kemakta konsult AB, AR 2002-09, april 2002).**

Syftet med undersökningen var att uppskatta utsläppet av kvicksilver och metylkvicksilver från den planerade deponin. Resultatet skulle ligga till grund för val av täckning. Utsläppen från deponin beräknades för tre olika frigörelsevägar; utsläpp via diffusion i vatten- och gasfas, utsläpp i gasfas med deponigas, samt utsläpp via lakvatten. Resultaten visade att endast mycket små utsläpp kunde förväntas, varav merparten via lakvattnet. En bedömning av de huvudsakliga förändringar av kemiska betingelser som kan uppstå till följd av muddringen visade på en förhöjd risk för frigörande av metylkvicksilver och totalkvicksilver, men den sammanlagda effekten på föroreningarnas mobilitet ansågs vara liten.

**12. Utvärdering av nollalternativet avseende Svartsjöarna (Celia Jones och Lars Olof Höglund, Kemakta Konsult AB, AR 2002-17, maj 2002).**

Syftet med rapporten är att ge en översiktlig bedömning över hur situationen för kvick-

silvermetylering kan förväntas variera i framtiden, förutsatt att inga saneringsåtgärder genomförs, och hur eventuella variationer kan påverka metylering av kvicksilver. Rapporten innehåller en sammanställning och utvärdering av befintliga data från tidigare studier av Svartsjöarna. Bedömningen är att nollalternativet skulle medföra att de nuvarande nivåerna av kvicksilvermetylering skulle bestå under mycket lång tid, samt att orsaken är den förändring av Övre Svartsjöns botten som uppkommit med avsättningen av fiberrester från pappersbrukets verksamhet.

**13. Svartsjöprojektet – Vattenkvalitetsparametrar för Svartsjöarna och Pauliströmsån (Celia Jones och Lars Olof Höglund, Kemakta Konsult AB, AR 2002-30, december 2002).**

Rapporten sammanfattar mätresultat avseende vattnets kvalitet före sanering och föreslår vilka rikt- och gränsvärden för vattenkvalitet, kvicksilverhalt, turbiditet m.m. som bör anges i Miljöplanen. Värdena baserades på att ytvattnets kvalitet inte skulle försämrans under efterbehandlingen, samt att maxhalten inte skulle överskrida övre gränsen för klass 4 enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrund.

**14. Svartsjöprojektet – Belastning av syreförbrukande ämnen från returvatten från muddring – olika scenarier (Lars Olof Höglund och Maria Lindgren, Kemakta Konsult AB, AR 2002-31, december 2002).**

Utredningen syftade till att belysa risken för syrebrist vid returvattnens återföring från avvattning av muddermassorna. Två efterbehandlingsalternativ studerades; direkt återföring till Pauliströmsån vid Pauliströms bruk, respektive fördröjd återledning till Övre Svartsjön. Utredningen visade att det med föreslagna metoder var möjligt att använda båda alternativen för returvattnens återföring, utan att syrehalten sjönk under uppsatta gränsvärden.

**15. Geohydrologisk utredning, Projekt Svartsjöarna Hultsfreds kommun (Mats Hagman och Andreas Sjöberg, WSP Environmental, 2003).**

På uppdrag av Hultsfreds kommun undersöktes de geologiska och hydrogeologiska förhållandena i ett område sydväst om Svartsjöarna som föreslagits som plats för deponi. För att kunna klarlägga grund-

vattnets flödesmönster i jordlager och i berggrunden i området, samt för att möjliggöra hydrauliska tester av jord- och bergakvifären, installerades totalt 15 brunnar i området, tio brunnar i jord (J1, J3–J11) och fem brunnar i berg (B1–B5). Därefter mättes den vattenförande förmågan med slugtest och pump-test, vilket redovisas i rapporten.

**15a. Svartsjöprojektet, Rapport geofysik (Jörgen Brorsson, Scandiaconsult, 2003-02-03).**

Som en del av WSP Environmentals geohydrologiska utredning genomförde Scandiaconsult Sverige AB utfört geofysiska undersökningar i området för den planerade deponin. Syftet var att studera grundvattenförekomst i berggrunden genom en kartläggning av berggrundsförhållanden och eventuell förekomst av spricksystem inom området. Resistivitetmätningar utfördes över området under december 2002–januari 2003. Resistivitet är en fysikalisk parameter som beskriver hur stort motstånd ett material utgör mot elektrisk ström. Resultatet ger en tvådimensionell (2D) information om markens s.k. resistivitetfördelning i en vertikal sektion under mätlinjen. Detta kan ge information om vertikala och horisontella strukturer och bidra till slutsatser beträffande sammansättningen av berg- och jordarter.

**15b. Svartsjöarna PM1 Utvärdering hydrauliska tester (U. Sundqvist, Aqualog AB 2003).**

I rapporten utvärderas hydrauliska brunns-tester utförda inom ramen för Svartsjöprojektet av WSP Environmental. Syftet med installerade brunnar och utförda tester var att klarlägga grundvattnets flödesmönster i jordlager och berggrund. Totalt etablerades 15 brunnar i området, 10 brunnar i jord och 5 brunnar i berg. Sammantaget visar testutvärderingen att flera av de bergbörade brunnarnas hydrauliska egenskaper styrs av ytnära grundvattenmagasin, vilka sannolikt utgör ytuppsprucket berg som står i kontakt med ovanliggande jordlager.

**16. Deponiområde, Översiktlig geoteknisk undersökning, Svartsjöarna Hultsfreds kommun (Torbjörn Johansson och Christer Henriksson, WSP Sverige AB, 2003-02-14).**

De översiktliga undersökningar som presenteras i rapporten syftade till att i stort klar-

göra de geotekniska förhållandena inom området för planerad deponi, samt att bilda ett underlag för totalentreprenadsförfrågan. Undersökningarna omfattade provgruppsgrävning i 21 punkter med efterföljande jordarts- och kornfördelningsanalys.

**17. Svartsjöprojektet. Bedömning av konsekvenser för habitat och organismer i Natura 2000 området Pauliströmsån och Emåns vattensystem (Ann-Karin Thorén, Institutionen för Biologi och Miljövetenskap, Högskolan i Kalmar 2003-04-11).**

Hultsfreds kommun planerar att genomföra en efterbehandling av sediment förorenade med pappersmassesfibrer och kvicksilver i Övre och Nedre Svartsjöarna. Sjöarna ligger inom Emåns vattensystem som av länsstyrelsen i Kalmar län och regeringen är avsatt att ingå i Natura 2000 nätverket enligt EU:s habitatdirektiv. Det unika och skyddsvärda enligt direktivet är habitaterna naturliga större vattendrag av fennoskandisk typ och vattendrag med flytbladsvegetation eller akvatiska mossor och arterna utter, asp, stensimpa, lax, nissöga, flodpärlmussla och tjockskalig målarmussla.

Vad gäller habitatet naturliga större vattendrag av fennoskandisk typ kan negativ påverkan inte undvikas eftersom avverkning av träd, slitage av markskikt och viss rensning i strandkanter måste ske under arbetet. Rensning av block och större stenar kan dock återställas. I de fall avverkning och rensning måste ske inom områden med dokumenterade naturvärden, behövs en genomgång på plats för att undvika att långsiktiga negativa effekter. Flera av organismerna som ingår i habitatdirektivet; lax, asp, stensimpa, nissöga, tjockskalig målarmussla, finns inte dokumenterade vid de inventeringar som är gjorda inom saneringsområdet och inte heller inom några mils omkrets. Därför bedöms inte dessa beröras negativt av projektet. Uttern födosöker sannolikt inom området men bedöms inte påverkas tydligt negativt eftersom den har stor rörlighet och kan födosöka i andra områden under projekttiden. Flodpärlmusslan, som finns omedelbart nedströms Nedre Svartsjön, och örningen, som är en förutsättning för flodpärlmusslans reproduktion är de mest hänsynskrävande arten. Mycket förhöjda halter, gentemot de nuvarande, av suspenderat material och turbiditet samt låga syrgashalter ut från N Svartsjön kan slå ut unga musslor i populationen som

redan nu har dokumenterat liten andel unga individer. Låga syrgashalter och höga halter suspenderat material utgör även risk för öringen. Öringen kan lämna området. På lång sikt bedöms saneringen ha positiva effekter på samtliga ovan nämnda habitat och organismer när källan till syrgasbrist och läckage av kvicksilver reducerats och upptag av kvicksilver i organismer samt anrikning i näringskedjan avtar.

**18. MKB, Svartsjöprojektet, Hultsfred kommun (Bodil Martens, Jessica Karlsson och Magnus Lindoffsson WSP Kalmar och Karlskrona, samt Pär Elander från Envipro Miljöteknik AB, 2003-04-24).**

I miljökonsekvensbeskrivningen beskrivs de förväntade effekterna av föreslagna åtgärder inom vattenområdet Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfreds kommun. Sökt alternativ omfattar avlägsnande av kvicksilverhaltiga fibersediment genom muddring och bortledande av fiberhaltigt vatten, samt bortledande av muddermassor, avvattnings av fibersediment, utsläpp av renat returvattnen från avvattningen, samt deponering av behandlade massor. Den planerade muddringen beräknas omfatta totalt ca 260 000 m<sup>3</sup> sediment varav ca 210 000 m<sup>3</sup> i Övre Svartsjön och ca 50 000 m<sup>3</sup> i Nedre Svartsjön.

Efter genomförd sanering bedöms transporten av kvicksilver i Pauliströmsåns nedre del ha minskat med ca 40 % för totalkvicksilver och 50 % för metylkvicksilver, vilket utgör ca 5 % resp. 10 % av transporten till Emån vid Pauliströmsåns utlopp.

Målsättningarna för projektet är att:

- borttagandet av de fiberhaltiga sedimenten i Övre Svartsjön skall leda till att sjön återfår sin forna karaktär av näringsfattig och väl syresatt skogssjö.
- kvicksilverhalten hos fiskpopulationen i Svartsjöarna och nedströms i Pauliströmsån skall ha nått det regionala bakgrundsvärdet inom en tioårsperiod efter restaureringen.
- den totala exporten av kvicksilver och metylkvicksilver till Emån via Pauliströmsån under samma period skall uppvisa en minskning, som ej kan förklaras av minskad atmosfärsdeposition av kvicksilver eller av förändringar i lokala hydrologiska förhållanden.
- erfarenheter från restaureringen och påföljande kontroll skall vara till gagn vid framtida beslut om restaurering av liknande objekt.

Dokumentet beskriver vidare alternativ för avvattnings, varav mekanisk avvattnings förordas. Det planerade deponiområdet beräknas



**FIGUR 10.1** Under muddringen i Övre Svartsjön spärrades utloppet av med en textilskärm som fångar upp partiklar från muddringen.

FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

kunna magasinera en volym om ca 514 000 m<sup>3</sup>. Det aktuella området ligger ca 400 m SV om Övre Svartsjön och bildar en mindre dalgång, där det finns goda förutsättningar att relativt enkelt skydda deponin från inströmning av yt- och grundvatten.

**19. Teknisk beskrivning till ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till saneringsåtgärder i Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfreds kommun, Kalmar län (Hultsfreds kommun, 2003-04-28)**

Dokumentet innefattar en beskrivning av geologi, topografi och hydrogeologi i omgivningarna. Därefter beskrivs den planerade verksamhetens praktiska förutsättningar och genomförande, samt föroreningsituationen i Övre och Nedre Svartsjön. Dokumentet inkluderar även en beskrivning av planerat muddringsförfarande, avvattning och returvattenrening, samt deponering och återställning. Här beskrivs också de olika kontrollprogram som satts upp för beställare och totalentreprenör, inklusive skyddsåtgärder, användning av kemikalier, buller och annan miljöpåverkan.

**20. Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till saneringsåtgärder i Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfred kommun. Kalmar län (Mannheimer Swartling, april 2003).**

Ansökan sammanfattar tidigare undersökningar, samt planerade åtgärder för sanering och efterbehandling av kvicksilverhaltiga fibersediment i Övre och Nedre Svartsjön. Vidare innehåller ansökan kommunens yrkande till Miljödomstolen, en miljöriskbedömning, samt en juridisk genomgång av tillåtlighetsfrågor.

**21. Sedimentkaraktärisering (SGI labbrapport, 2004-03-17)**

**22. Utlåtande angående vattenreningsteknik (Eva Dalentoft, AnoxKaldnes AB, 2006-01-25)**

AnoxKaldnes fick i uppdrag att göra ett utlåtande gällande val av vattenreningsteknik för rening av returvatten från muddrade sediment från Svartsjöarna i Hultsfreds kommun. Deras slutsats blev att returvattnet sannolikt behöver behandlas ytterligare, efter avvattning i geotuber, för att uppnå uppsatta reningvillkor gällande kemisk syreförbrukning (COD) och eventuellt även för totalhalten av suspenderat material (TSS). Man

föreslår att kvarvarande föroreningar avskiljs med hjälp av flockningsmedel genom sedimentation eller flotation. Ett alternativ är avskiljning med membranfiltrering.

**23. Flöden och halter av total- och metylkvicksilver i Pauliströmsån och Svartsjöarna åren 1996 och 2003 – underlag för utvärdering av saneringsåtgärderna i Svartsjöarna (Olof Regnell, Bo Troedsson, Anders Helgée, Tommy Hammar, och Thomas Svensson 2006-11-14).**

Rapporten är en syntes av 1996 och 2003 års undersökningar av kvicksilverhalterna i sediment, partiklar, vatten och fisk i Svartsjöarna och Pauliströmsån. Syftet med rapporten är att vara ett underlag vid utvärderingen av saneringsåtgärderna och vara vägledande för hur framtida mätningar skall utformas för att ge svar på frågan om kvicksilverkontamineringen och kvicksilvermetyleringen i ett system har förändrats. Rapporten ger förklaringar på hur olika processer styr halter och flöden av total- och metylkvicksilver i Pauliströmsån och Svartsjöarna, som stöd till utvärdering av framtida provtagningsresultat.

**24. Erfarenheter av riskexponering vid totalentreprenader. (U. Håkansson, L. Hässler, J. Bröchner 2006, (Skanska, Golder Associates AB och Chalmers Tekniska Högskola).**

I denna rapport redovisas en analys av riskexponering vid totalentreprenader. Den projekttyp som avsågs var stora anläggningsentreprenader med geoteknisk problematik, d.v.s. med hög sannolikhet för oväntade förhållanden. Projektet inleddes med en litteraturstudie där ett antal kritiska nyckelfaktorer identifierades. Dessa faktorer inverkan och betydelse för projektresultat studerades sedan genom intervjuer av huvudpersoner engagerade vid utförandet av tre stora totalentreprenader. Beroende på ämnets känsliga natur och de ofta förekommande tvisterna vid denna entreprenadform valdes entreprenader långt borta från Sverige, belägna i andra världsdelar. Trots detta är det författarnas uppfattning att resultaten innehåller viktiga lärdomar även för mindre projekt och för svenska förhållanden. Studien gav följande kortfattade rekommendationer:

Generellt:

- Det bör klart definieras i kontraktet vilken part som ansvarar för och äger

samtliga identifierade och icke identifierade risker.

- Gemensamma workshops mellan alla parter kan vara till stor nytta i tidiga projektskedet.

#### För beställaren:

Att förlägga stort ansvar för osäkerheter och risker hos totalentreprenören medför att:

- Beställaren bör ställa motsvarande stora krav på entreprenörens organisationsstruktur och kompetens.
- Entreprenören bör ha väl tilltagen tid för analys av dessa risker i sitt anbudsarbete.
- Entreprenören bör få full kontroll över både den design och den designtidsplan som är relaterad till riskerna.

- För de delar där entreprenören har designansvaret skall beställarens inflytande vara begränsat till i kontraktet specificerade design-, funktions-, miljö- och kvalitetskrav.
- Om beställaren misstänker fel i utförandet bör beställaren dokumentera och redovisa detta för entreprenörens åtgärd och avvikelserapportering istället för att direkt försöka påverka eller avbryta arbetet.
- Om beställaren i kontraktet anvisar lösningar eller utföranden bör beställaren också ansvara för funktionen av dessa.

*(Från SBUF Informerar, nr 06:38)*

### 10.3 Miljökontrollprogram

Förteckning över de miljökontrollprogram som genomförts under Svartsjöprojektet.

2006-03-02	Miljöplan daterad 2003-02-14, avsnitt 5.4.	Revidering föranledd av tillsynsmyndighetens granskning, brev 2006-01-13.
2006-03-06	Projektbeskrivning 2004-10-26, i dess helhet omarbetad 2005-06-22, avsnitt 1.1 och 4.1.	Revidering föranledd av tillsynsmyndighetens granskning, brev 2006-01-13.
2006-03-06	Organisering inför genomförandeskedet 2004-10-26 avsnitt 1.1.3 och 1.1.4	Revidering föranledd av tillsynsmyndighetens granskning, brev 2006-01-13.
2006-03-20	Plan för egenkontroll 2004-10-27 avsnitt 5	Revidering föranledd av tillsynsmyndighetens granskning, brev 2006-01-13.
2006-04-19	Kemiska produkter 2006-04-19 R- och S-fraser, ersätter tidigare version	Revidering föranledd av tillsynsmyndighetens granskning, brev 2006-01-13 samt TE information 2006-04-09
2006-03-20	Rutiner och kontroll 2005-06-22	Revidering föranledd av tillsynsmyndighetens granskning, brev 2006-01-13.
2007-02-28	Miljökontrollprogram under entreprenadtiden	Revidering med anledning av konsolideringsfasen.
2007-05-07	Miljökontrollprogram under entreprenadtiden	Revideringar med anledning av konsolideringsfasen samt revidering av kalkyl.
2007-08-15	Miljökontrollprogram under entreprenadtiden	Revidering med anledning av Lst underrättelse 2007-06-05
2009-05-09	Efterföljande miljökontrollprogram	Komplettering med rutiner för logistik samt karta med provtagningspunkter för sediment.

# 11. Avslutning

TEXT Styrgruppen samt Anders Helgée, Hultsfreds kommun, Ulrika Larson, Empirikon AB

Hultsfreds kommun initierade tillsammans med Länsstyrelsen i Kalmar län Svartsjöprojektet på 1990-talet. Kommunen som tidigare varit huvudman för Järnsjön, ett av Sveriges pilotprojekt vad gäller sanering av förorenade områden, var angelägna om att få Svartsjöarna sanerade. Anders Helgée miljö- och byggnadschef, på Hultsfreds kommun, och Tommy Hammar, miljövärdsdirektör, på Länsstyrelsen i Kalmar län, var drivande i det initierande skedet. Båda hade erfarenheter från PCB-saneringen i Järnsjön, erfarenheter som har varit mycket viktiga i utförandet av Svartsjösaneringen.

Med finansieringsbidrag från Naturvårdsverket genomfördes undersökningar och en huvudstudierapport presenterades 1998. Svartsjöprojektet organiserades i dess nuvarande form 2001. Projektet bemannades med projektledning och upphandling av utredare skedde därefter under 2003. Efter som Övre och Nedre Svartsjön är belägna i ganska enskild skogsterräng var det ett fåtal närboende och markägare som blev direkt berörda i samband med saneringen. Men det var ändå mycket viktigt att nå ut med information om projektet, detta för att förhindra spekulationer och för att förmedla varför det var så viktigt att genomföra projektet. Informationen till allmänheten upplevdes som god under projektet. Projektet har gett ut nyhetsbrev, informerat via kommunens hemsida, skickat pressmeddelanden och kallat till presskonferenser. Styrgruppen upplever att det inte blev några spekulationer eller andra reaktioner hos allmänheten i samband med saneringen.

Under projektets gång har många svåra frågor hamnat på styrgruppens bord för att fatta beslut om. Bland annat så har ekonomifrågor och tekniska frågor ofta varit väldigt komplexa. Informationen från projektgruppen har varit väldigt viktig. Projektledaren har vid styrgruppsmöten lämnat lägesrapport och styrgruppen har haft tillgång till alla viktiga doku-

ment i projektet via Empirikon projektnät. Ett efterbehandlingsprojekt av den här omfattningen sträcker sig över en mycket lång tid. För att inte tappa fart och beslutskraft är det viktigt med kontinuitet i styrgruppen vilket kräver att det finns en grundbemanning som förhoppningsvis finns med under flera mandatperioder. Projekt som denna berör flera delar av den kommunala organisationen som måste samverka. I Svartsjöprojektet har styrgruppen i stort sätt varit oförändrad under förberedelse- och genomförandefasen vilket underlättade beslutsfattandet. Styrgruppen tycker att informationen mellan projektet och styrgruppen har fungerat mycket bra.

Svartsjöprojektet har bidragit till många mervärden för Hultsfreds kommun. Ett mervärde är den kunskapsuppbyggnad som det medför att integrera ett liknande projekt i den kommunala organisationen, men också en kunskapsuppbyggnad vad gäller direkt inblandad förvaltning och närmast berörda tjänstemän. Saneringsprojektet har under genomförandetiden bidragit till en ökad samsättning inom kommunen. Många skolor i kommunen tog också möjligheten att ordna studiebesök för skolklasser vid entreprenadområdet.

Att vara huvudman för ett saneringsprojekt i den storleksordning som Svartsjöprojektet innebär mycket arbete för en liten kommun. Det är många och stundvis komplexa frågor att sätta sig in i. Framförallt har det inneburit många arbetstimmar för miljö- och byggnadskontoret.

Men projektet har i sin sammansättning med kommunen, projektledning och tekniska konsulter fallit väldigt väl ut. Kommunala initiativ som Hultsfred kommuns lyfter projekten och gör miljöåtgärderna möjliga. De positiva effekter som projektet medfört gör att Hultsfreds kommun ställer sig positiva till att vara huvudman till liknande projekt även i framtiden.



FIGUR 11.1 Blåbandad jungfruslända (*Calopteryx splendens*). Denna vackra slända har också en nära släkting, den blå jungfrusländan. Båda arterna finns vid Pauliströmsån. FOTO Thorsten Jansson, Miljöreportage

# 12. Terminologi

SAMMANSTÄLLNING Joakim Schultzén, Empirikon AB

---

Term	Förklaring
ABK 96, 08	Allmänna bestämmelser och standardavtal för konsulttjänster.
Absorbans	Absorbans eller optisk densitet, mått på absorption av ljus i gas, vätska eller fast substans.
ABT 94, 06	Allmänna bestämmelser för totalentreprenader avseende byggnads-, anläggnings- och installationsarbeten.
Aerob	Aerob kallas en process eller organism som behöver tillgång till syre för sin fortlevnad. Motsatsen till aerob är anaerob.
Akvifär	En akvifär är ett eller flera lager av berggrund eller andra geologiska skikt med tillräcklig porositet och genomsläpplighet för att medge antingen en betydande ström av grundvatten eller uttag av betydande mängder grundvatten.
Alkalinitet	Alkalinitet är ett mått på vattnets förmåga att tåla tillskott av hydroniumjoner utan att reagera med en kraftig pH-sänkning, det vill säga ett mått på vattnets buffertkapacitet.
Anaerob	Anaerob kallas en process eller organism som inte behöver syre. Motsatsen kallas aerob.
Anjon	En anjon är en negativt laddad jon och benämns anjon eftersom den i en elektrolytisk cell rör sig mot den positiva anoden.
Anoxi	Anoxi innebär kraftigt reducerande förhållanden, där det inte finns något fritt syre tillgängligt för olika redox-reaktioner. Vid pH 7 inträffar anoxi när pE-värdet understiger 2. Om pE-värdet överstiger 2 (vid pH 7) blir förhållandena inte fullt så reducerande, och då kallas det istället för suboxi.
Atmosfärsdeponering	Avsättning på mark eller i vatten av gaser eller partiklar från luften.
Autoklav	Autoklav är en form av tryckkokare i vilken kemikalier, plast, textilier, glas och metallvaror kan steriliseras.
Bailerrör/Bailerhämtare	Långsmala rör med automatisk bottenventil för hämtning av vattenprov.

Bakgrundsvärde	Ursprunglig, naturlig nivå för ett ämne. Om man känner till bakgrundsvärdet för t.ex. en metall i vatten – den naturliga, av mänskliga verksamheter opåverkade halten av en metall i vattnet – kan man lättare avgöra om de metallhalter som nu uppmäts är för höga och därmed ett tecken på att vattnet utsatts för påverkan av föroreningar från mänskliga verksamheter.
Besvärstid	Den tid man har på sig att överklaga ett beslut, t.ex. en förlorad, kallas besvärstid och är normalt tre veckor.
Bioackumulering	Bioackumulering eller biomagnifikation är en process där miljögifter ansamlas i levande organismer. Framför allt rovdjur är utsatta, då de kan få i sig höga halter gifter genom sina byten. Gifter som inte är biologiskt nedbrytbara ansamlas i organismer och i högre halter hos organismer högre upp i näringskedjan.
Biocid	Biocider är ämnen som kan döda levande organismer.
Biotop (nyckelbiotop)	En biologisk term för en typ av omgivning, med naturliga gränser, där vissa växt- eller djursamhällen hör hemma. Biotopens speciella egenskaper gör att vissa organismer trivs bättre än andra och biotopen påverkar därför vilka djur och växter som lever i området. Den grupp av organismer som lever i en biotop kallas dess biocenos.
BOD (BOD <sub>7</sub> )	BOD - Biochemical Oxygen Demand (ungefär "biokemiskt syrgaskrav") är mått på hur mycket biologiskt nedbrytbar substans det finns i vatten. BOD är en kemisk analys för att avgöra hur snabbt organismer använder upp syrgas i en given mängd vatten. Enheten för BOD är i milligram syrgas per liter över 7 dagar (mg O <sub>2</sub> /l/7d).
Buffertdamm	<i>Se utjämningsbassäng</i>
Bärighet	Med bärighet avses den last på grundläggningsnivån, räknat som medellast q per horisontell area ( kN/m <sup>2</sup> ), som leder till brott i jorden.
Carbotrap	Ämne för absorbering av partiklar ur ett vattenprov.

COD	COD (Chemical Oxygen Demand) är ett mått på den mängd syre som förbrukas vid fullständig kemisk nedbrytning (totaloxidation) av organiska ämnen i vatten. COD(Mn) uttrycks i mg/l O <sub>2</sub> (milligram syre per liter).
Derivat	Inom kemin är derivat ett ämne som bildas ur ett annat, eller som kan teoretiskt härledas ur ett annat genom mindre förändringar i den kemiska strukturen.
Detektionsgräns	Den lägsta halt vid vilken ett ämne kan detekteras (upptäckas) med ett visst analysförfarande. Nära detektionsgränsen kan endast kvalitativ bestämning göras.
Detritus	En biologisk term för dött organiskt material från växter och djur.
Egenkontroll	Entreprenörens kontroll av hur den egna verksamheten uppfyller överenskomna krav.
Etylering	Etylering är den process varvid en etylgrupp (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) sätts till en molekyl.
Flockning	Flockning är en process där lösta ämnen går ihop till fasta. Det används till exempel i reningsverk där man tillsätter kemikalier som skapar reaktionen.
Flotation	Flotation är en kemisk process för att separera hydrofoba material från hydrofila, som används bland annat till att rena dricksvatten och anrikning av malm.
Flygelmätare	Rotorförsedd instrument för att mäta flöde i vattendrag.
Gaskromatograf	Gaskromatografi (eller GC) är en kemisk analysmetod som används för att separera kemiska föreningar i ett prov.
Generalentreprenad (Utförande entreprenad)	I en generalentreprenad svarar entreprenören för upphandling och samordning av underentreprenörer
Geotextil/geomembran	Geotextil är en vävd duk eller matta av polyester med eller utan glasfiberförstärkning beroende av användningsområde.
Geotub	Geotuber är långa geotextilrör med små porer, som är genomträngliga för vatten men inte för de sediment som skall avvattnas. Geotuber är vanligtvis 50 m långa och ca 5 m i diameter.

GF/C-filter/GF/F-filter	Typer av glasfiberfilter, med olika porstorlek och tjocklek, för filtrering av suspenderat material i vattenprov.
Glödrest/Glöd förlust	Viktandel av provet som blir kvar/avgår då provet glödgas vid 550°C i 2 h (provet skall först ha torkats i 105°C).
Grundvattenrör	Används för mätning av grundvattennivåer samt för provtagning av grundvatten.
Habitat	Habitat är inom biologin en miljö där en viss växt- eller djurart kan leva.
ICP-MS	Masspektrometri med induktivt kopplad plasma, en multielementteknik. Mycket känslig utrustning med låga rapporteringsgränser som kan skilja ut och haltbestämma grundämnen i ett prov.
Isoterm	Isoterm är en termodynamisk process som förlöper vid konstant temperatur. Isoterm, "Isotermen" är den altitud som är 0°C
Katjon	Katjonen är en jon med positiv laddning och benämns katjon eftersom den i en elektrolytisk cell rör sig mot den negativa katoden.
Konduktivitet	Elektrisk ledningsförmåga, eller konduktivitet är ett mått på hur väl ett material kan transportera elektrisk laddning och är multiplikativt invers till resistivitet. Konduktivitet är detsamma som konduktans per längdenhet och mäts i SI-systemet i enheten Siemens per meter (S/m eller A·V <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup> ). God elektrisk ledningsförmåga är ett utmärkande drag för metaller.
Kornfördelningsanalys	En kornfördelningsanalys görs för att bestämma kornstorleksfördelningen på ett jordprov. Provet siktas och vägs varefter kornstorleksfördelningen kan bestämmas.
LOU	Lagen (2007:1091) om offentlig upphandling (LOU) är en lag i Sverige som reglerar köp som görs av myndigheter och vissa andra organisationer som är finansierade med allmänna medel. Motsvarande regler gäller även i andra länder som tillhör Europeiska unionen (EU). Lagen trädde i kraft först 1 januari 2008 och ersatte tidigare lag (1992:1528).

Meandernäs	Meander är en slingrande flodfåra i ett flackt landskap skapad av erosion i ytterkurvorna av floden och avlagring i innerkurvorna. Bukterna kallas meanderslingor och området som omsluts av en slinga kallas meandernäs.
Mesotrof	Mesotrof betecknar "måttligt näringsrik" beträffande sjöar. Det som väger in, är huruvida sjön är rik eller fattig på fosfor och humusämnen. Även siktdjup är en parameter som vägs in.
Metalimnion	I en sjö kallas språngskikt för Metalimnion. Språngskiktet är en skarp gräns mellan två vattenmassor med olika salinitet (salthalt) eller temperatur.
Metylering	Metylering är den process varvid en metylgrupp (-CH <sub>3</sub> ) sätts till en molekyl.
Metylkvicksilver	Metylkvicksilver (MeHg) är mycket giftigt och anrikas kraftigt i organismer. En gädda innehåller 1 -10 miljoner mer MeHg än samma vikt mängd vatten. I sjövattnet är normalt c:a 5 % av kvicksilvret MeHg medan i gädda är i stort sett allt kvicksilver MeHg.  Hur och varför vissa mikroorganismer metylerar kvicksilver vet man inte helt. Metyleringen sker främst när nedbrytning av organiskt material leder till syrebrist. Ett stort antal undersökningar har visat att sulfatreducerande bakterier spelar en viktig roll. Troligen överförs metylgruppen som en negativt laddad jon (metylkarbanjon) till ett kvicksilversulfidkomplex: $\text{Hg}(\text{SH})_2 + \text{CH}_3^- \rightarrow \text{CH}_3\text{HgSH} + \text{HS}^-$ .
Minerogen	Minerogena jordarter med fasta beståndsdelar av mineral- och bergartspartiklar bildas genom fysikaliska processer i naturen, oftast genom inverkan av rinnande vatten, vågor, vind eller glaciäris.
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) används för att få en helhetssyn av den miljöpåverkan som en planerad verksamhet kan medföra.
Muddringspall	Sedimentvolym av bestämd höjd och bredd som muddras i en riktning och i en körning.
Mäktighet	Mäktighet är en term inom geologin som avser tjockleken på ett skikt eller lager av till exempel en bergart eller jordart. Termen avser tjockleken vinkelrätt på lagret.

Mätkyvett	En kyvett är en behållare av antingen kvarts, glas eller plast för gas eller vätska som är tänkt för genomlysning vid till exempel undersökning av ljusabsorbans i en spektrofotometer.
Nollalternativ	Nollalternativ är enligt miljöbalken ett sätt att beskriva konsekvenserna av att verksamheten eller åtgärden inte kommer till stånd. Det betyder inte nödvändigtvis att allting förblir som i dagsläget, utan handlar om vilken utveckling som är trolig om det planerade projektet inte blir av.
Oljelänsa	En oljelänsa består av en långsträckt barriär som skär vattenytan och därigenom hindrar olja som flyter på vattenytan att passera länsan.
Pegel	Pegel är en vattenståndsmätare, som kan finnas i sjöar eller hav. Den består i allmänhet av en fast skala på vilken man kan avläsa vattenytans höjd. I en pegel, som är försedd med registreringsverk finns en flottör, vars rörelse registreras.
Pelagisk	Pelagisk, något som lever i öppna havet, fritt från kustvatten och bottenskikt. Ibland åsyftas också något som lever i icke strandnära områden i stora sjöar, som exempelvis Victoriasjön och Tanganyikasjön. Man använder begreppet om fisk, plankton och liknande. När begreppet används om havsfåglar menar man fåglar som tillbringar sitt liv till största delen över öppet hav.
Peristaltisk	Peristaltisk betyder sammandragande. Peristaltiska muskelrörelser är en beteckning på muskelsammandragning som sker på ett rytmiskt sätt, och genom att fortplanta sig i en viss riktning leder till transport.
Prekvalificering	Leverantören ska uppfylla vissa krav som den upphandlande parten har ställt för att få vara med och lämna anbud.
Pyrolysenhet	Pyrolysis eller torrdestillation är en process där ett ämne upphettas i en syrefri miljö, så att det sönderfaller utan att förbränning sker. Vid pyrolysis avgår flyktiga ämnen i gasform, medan en återstod i fast eller flytande form blir kvar. Pyrolysis är därför en form av termisk nedbrytning.

Relationshandling	<p>Med <i>relationshandlingar</i> avses ritningar eller andra upprättade handlingar och dokument, avsedda att visa objekts aktuella status. Relationshandlingarna skall fortlöpande hållas aktuella under förvaltningsskedet. De skall utgöra underlag för och revideras i samband med ändringsåtgärder.</p> <p>Relationshandlingarna framställs oftast av projektör med utgångspunkt från underlag för relationshandling som tillhandahålls av entreprenör eller från konsultens egen uppmätning.</p>
RTK-DGPS	<p>DGPS - Differentiell GPS</p> <p>DGPS-mätning är den äldre av de tre metoderna och använder två enklare mottagare som bara tar emot frekvensen L1. Fördelen är att mottagaren blir billigare, medan nackdelen är att noggrannheten minskar. Man behöver dock inte alltid hög noggrannhet.</p> <p>RTK - Real time kinematic</p> <p>Vid RTK-mätning används två mottagare som kan ta emot både L1 och L2 och noggrannheten ökar på så sätt en hel del.</p>
Sandfång	<p>Med ett sandfång kontrolleras vattenhastigheten så att sand och grus sedimenteras men endast en mindre mängd biologiskt material.</p>
Sedimentfälla	<p>Inom geologin är en sedimentfälla en topografisk depression under vatten där sediment ackumuleras över tid. Ordet kan även syfta på instrument som mäter mängden sedimenterat material.</p>
Silt	<p>Silt är en finkornig jordart som har kornstorlek från 0,002 - 0,06 mm. Äldre benämningar för silt är mjåla och finmo.</p>
Skjuvhållfasthet	<p>Flertalet av tillämpningarna inom geoteknik påverkas av jordens skjuvhållfasthet. Exempel på sådana tillämpningar är bärighet hos jord, ytlig och djup grundläggning, släntstabilitet och design av stödkonstruktioner.</p>

Slugtest	Slugtest är en typ av hydraulisk enhålstest som används för att bestämma jordens eller bergets genomsläpplighet (permeabilitet). Försöket utförs genom att vattennivån i ett grundvattenrör hastigt höjs eller sänks, varefter återhämtningen registreras.
Sommarstagnation	Sommarstagnation inträffar när ytvattnet snabbt värms upp och ett språngskikt mellan det lättare, varma ytvattnet och det tyngre, kallare vattnet uppstår. Skillnaderna i densitet mellan de båda nivåerna är så stor att vinden endast kan få ytvattnet att cirkulera. Det syrerika ytvattnet når därför inte ner till botten där nedbrytningen fortgår och det blir risk för syrebrist. Näringsämnen som bildas förs inte heller upp till ytan utan lagras på botten.
Sprutfilter	Sprutfilter används för att filtrera bort suspenderad materia från vätskeprover.
Susphalt (alt. Suspensionshalt)	Mängd i vikt per liter (mg/l) av partikulärt material i vattnet. Ofta relaterat till mängden som svävar omkring i vattnet men sedimenterar långsamt till botten under lugna förhållanden. Används ofta i kombination med mätning av turbiditet.
Teflonhämtare	Vattenprovtagare (hämtare) belagd med teflon för att undvika att ämnen fastnar i röret.
Termoklin	Termoklin är ett skikt i hav eller sjö där temperaturen ändras mycket snabbt inom ett litet djupintervall. Under det termoklina skiktet är det extremt syrefattigt och det finns rikligt med svavelväte. Termoklin är en typ av språngskikt.
TOC	Totalt organiskt kol (TOC) är ett mått på det totala organiska kolinnehållet i vatten, både i löst och i partikulär form.
Torrsubstanshalt (TS-halt)	Torrsubstanshalt utgör halten i en lösning av torrsubstans, som är en benämning på den mängd torrt material som återstår efter fullständig torkning av materialet.

Totalentreprenad	En totalentreprenad definieras som en entreprenad där entreprenören ansvarar både för projektering och för utförande av arbetena.
Totalkviksilver	Begreppet används när olika former av kvicksilver mäts tillsammans och ger ett mått på den totala mängden och därmed indikerar belastningen av kvicksilver.
Turbiditet	Turbiditet är ett mått på vattens suspension av partiklar och mäts i NTU (Nephelometric Turbidity Unit).
Utförandeentreprenad	Utförandeentreprenad är den vanligaste entreprenadformen och innebär att byggherren utför projekteringen dvs. konstruktioner, planer mm dessa redovisas sedan i förfrågningsunderlaget och entreprenörens åtagande och ansvar blir efter upphandlingen att utföra de konstruktioner mm som byggherren redovisat i förfrågningsunderlaget.
Utjämningsbassäng	En utjämningsbassäng används som mellanstation för muddringsmassorna för att arbetet skall kunna fortsätta även om avvattningsprocessen av någon anledning har nedsatt funktion.
Vattenhämtare av Ruttner-typ	En vattenhämtare av Ruttner-typ består av ett kraftigt akrylplaströr med två ventiler. För att ta ett prov sänks vattenhämtaren till önskat djup, som avläses på linans markeringar. Därefter släpper man ned lodet som stänger ventilerna.
Våtdeposition	Nedfall från atmosfären av gaser eller partiklar som fångats upp av eller lösts i moln- eller regndroppar och som når jordytan via nederbörden.
Våtoxidering (Uppslutning)	Våtoxidering är en typ av hydrotermisk behandling, där upplösta partiklar oxideras i vatten.

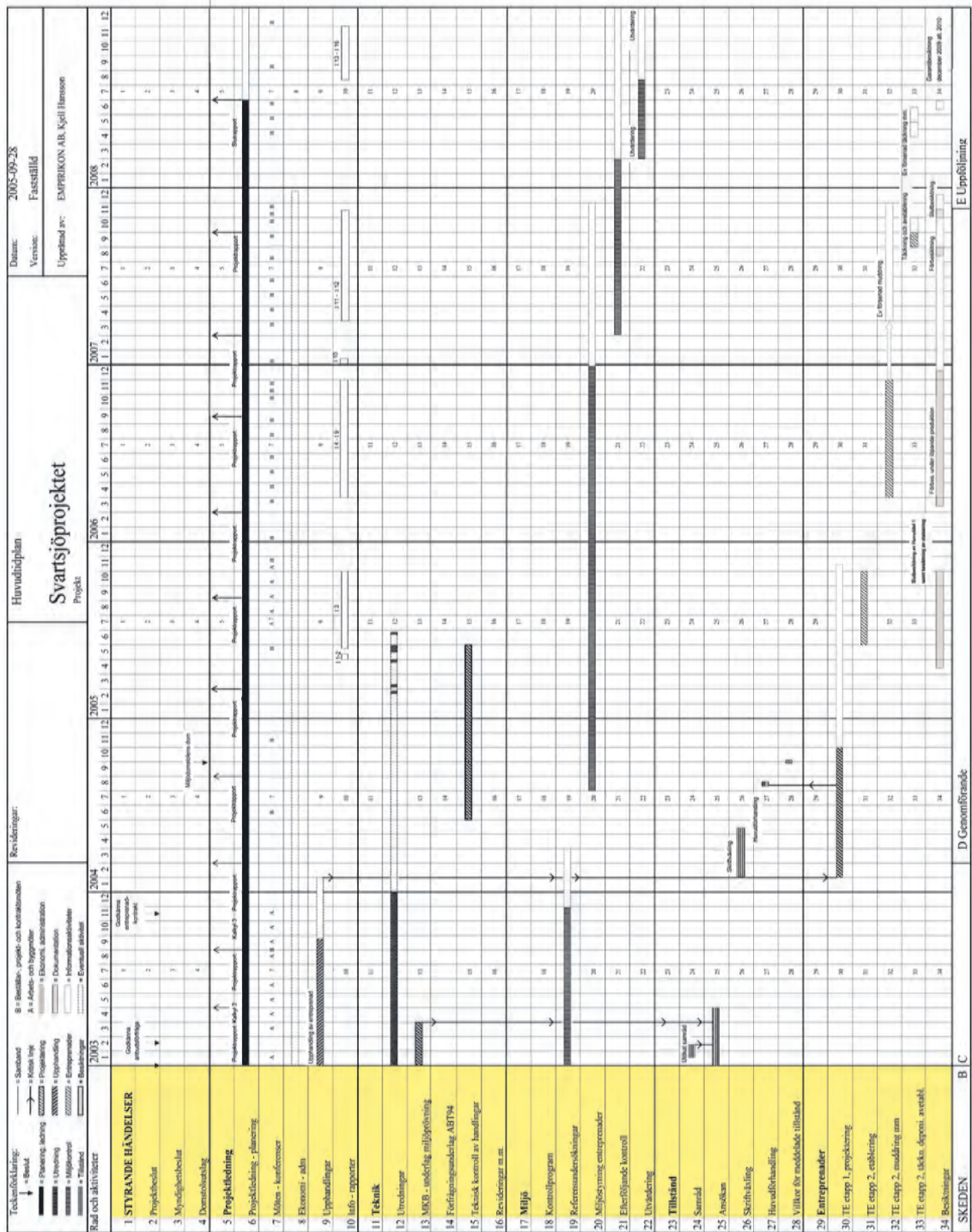
# 13. Källförteckning

---

- Dalentoft, E., 2006. *Utlåtande angående vattenreningsteknik*. AnoxKaldnes AB, Lund.
- Darpö, J., 1999. *Om ansvaret för undersökning och efterbehandling av fibermassorna i Svartsjöarna*. CTS/Högskolan Dalarna, Borlänge.
- Elander, P., 1998. *Sanering av Svartsjöarna – Åtgärdsförslag, Hultsfreds kommun*. Miljöteknik, Bo Carlsson AB, Linköping.
- Ericsson, T., 2001. *Svartsjöprojektet, Möjligheter och konsekvenser att använda Pauliströms bruks reningsverk*. ÅF-IPK AB, Stockholm.
- Hagman, M., Sjöberg, A., Brorsson, J., 2003. *Geohydrologisk utredning, Projekt Svartsjöarna Hultsfreds kommun*. WSP Environmental, Scandiakonsult Sverige AB, Malmö.
- Håkansson, U., Hässler, L., Bröchner, J., 2006. *Erfarenheter av riskexponering vid totalentreprenader*. Bygg & Teknik (nr 1 – januari 2007), s. 33–34.
- Höglund, L-O., Lindgren, M., 2002. *Svartsjöprojektet – Belastning av syreförbrukande ämnen från returvatten från muddring – olika scenarier*. Kemakta Konsult AB, Stockholm.
- Höglund, L-O., Lindgren, M., 2002. *Uppskattning av utsläpp av kvicksilver och metylkvicksilver från muddrade sedimentmassor från Svartsjöarna. Uppskattning av utsläpp av kvicksilver och metylkvicksilver från muddrade sedimentmassor från Svartsjöarna*. Kemakta Konsult AB, Stockholm.
- Johansson, T., Henriksson, C., 2003. *Deponi-område, Översiktlig geoteknisk undersökning, Svartsjöarna Hultsfreds kommun*. WSP Sverige AB, Kalmar.
- Jones, C., Höglund, L-O., 2002. *Svartsjöprojektet – Vattenkvalitetsparametrar för Svartsjöarna och Pauliströmsån*. Kemakta Konsult AB, Stockholm.
- Jones, C., Höglund, L-O., 2002. *Utvärdering av nollalternativet avseende Svartsjöarna*. Kemakta Konsult AB, Stockholm.
- Lundberg, B., 2002. *Ansvarsutredning föranledd av planerad efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun i Kalmar län*. Länsstyrelsen Jönköpings län, Jönköping.
- Martens, B., Karlsson, J., Lindoffsson, Elander, P., 2003. *Miljökonsekvensbeskrivning till ansökan om tillstånd enligt miljöbalken, Svartsjöprojektet, Hultsfred kommun*. WSP Kalmar och Karlskrona, Envipro Miljöteknik AB, Kalmar.
- Molander, P., Hägglöf, M., 2003. *Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till saneringsåtgärder i Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfred kommun, Kalmar län*. Mannheimer Swartling, Stockholm.
- Norman, J., 1999. *PM ang. ansvaret för efterbehandling av kvicksilverkontaminerade fibermassor i Övre och Nedre Svartsjön, Hultsfreds kommun, Kalmar län*. Baker och McKenzie Advokatbyrå, Stockholm.
- Pfannenstill, M., 1998. *Utlåtande angående ansvaret för borttagande av fibermassor mm i Svartsjöarna i Hultsfreds kommun*. Advokatfirman Magnus Pfannenstill, Lund.
- Regnéll, O., Parkman, H., Hammar, T., Helgée, A., Troedsson, B., 1998. *Svartsjöprojektet. Miljöriskbedömning av fiber och kvicksilverförekomst i Pauliströmsån*. Svartsjöprojektet, Hultsfred.
- Regnéll, O., Troedsson, B., Helgée, A., Hammar, T., Svensson, T., 2006. *Flöden och halter av total- och metylkvicksilver i Pauliströmsån och Svartsjöarna åren 1996 och 2003 – underlag för utvärdering av saneringsåtgärderna i Svartsjöarna*. Svartsjöprojektet, Hultsfred.
- SIGI, 2004. *Sedimentkaraktisering*. Statens geotekniska institut, Linköping.
- Solyom, P., Fortkamå, U., 2002. *Framställning och undersökning av framtida lakvatten från deponerat sediment från Nedre och Övre Svartsjön*. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm.
- Sundqvist, U., 2003. *Svartsjöarna PMI Utvärdering hydraultester*. Aqualog AB, Göteborg.
- Svartsjöprojektets styrgrupp, 2002. *Svartsjöprojektet. Huvudstudie. Styrgruppens sammanfattande rapport med åtgärdsförslag*. Svartsjöprojektet, Hultsfred.
- Svartsjöprojektets styrgrupp, 2003. *Teknisk beskrivning till ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till saneringsåtgärder i Övre och Nedre Svartsjön i Hultsfreds kommun, Kalmar län*. Svartsjöprojektet, Hultsfred.
- Thoren, A-K., 2003. *Svartsjöprojektet. Bedömning av konsekvenser för habitat och organismer i Natura 2000 området Pauliströmsån och Emåns vattensystem*. Institutionen för Biologi och Miljövetenskap, Högskolan i Kalmar, Kalmar.
- Troedsson, B., 2004. *Svartsjöprojektet. Miljökontroll under entreprenadtiden*. Emåförbundet, Vetlanda.
- von Post, H., 1997. *Undersökning av förorenade sediment i Svartsjöarna, DEL 1 och DEL 2, Hultsfreds kommun*. Miljömanagement Svenska AB, Saltsjöbaden.

# 14. Bilagor

## BILAGA 1 Tidredovisning (t.o.m. 2010-03-30)





# Svartsjöprojektet

Nyhetsbrev 1 - augusti 2005



HULTSFRED

### Projektinformation -- Ansvarig utgivare Anders Helgée

#### Startskott för entreprenaden

I våras bestämde Hultsfreds kommun tillsammans med totalentreprenören DEC-DI hur saneringsarbetena i Nedre och Övre Svartsjön ska genomföras. Under sommaren har saneringsarbetet påbörjats. DEC-DI kommer bli färdigställa en deponibotten och avvattningsplats för geotuber under hösten 2005. I vår sjsätts muddringsfarkosten "Pippi Langstrump" och muddringsarbetet inleds. I slutet av 2007 beräknas saneringsarbetena vara slutförda.



Arbete med att krossa sten på deponibotten vid Övre Svartsjön Foto:Alexandra Zamparas

#### Ett projekt i samverkan

Projektet finansieras av Naturvårdsverket genom Länsstyrelsen i Kalmar län. Holmen AB och Metsä Tissue AB bidrar också ekonomiskt till saneringen.

Genom saneringen i Nedre och Övre Svartsjön arbetar Hultsfred kommun i samverkan med Länsstyrelsen i Kalmar län mot de uppsatta nationella miljö kvalitetsmålen och de antagna regionala miljömålen för Kalmar län.

#### Entreprenadarbeten

Totalentreprenören är konsortiet DEME Environmental Contractors-Dredging International (DEC-DI) som har

sitt huvudkontor i Belgien. De har mångårig och god erfarenhet av liknande miljöprojekt utomlands.

Saneringsarbetena i Svartsjöarna innebär att kvicksilverförorenade sediment muddras och pumpas till deponiområdet in i s.k. "geotuber". Det är första gången man använder denna teknik i Sverige. Geotuber är långa geotextilrör, med små porer som är genomträngliga för vatten men inte för de muddrade sedimenten. Geotuberna är vanligtvis 50 m långa och ca 5 m i diameter.

Geotuberna blir placerade i ett särskilt iordningsställt deponi-

område där avvattning av muddrade sediment sker, där efter täcks geotuberna med jordmassor. Producerat lakvatten från geotuberna kommer att renas och kontrolleras kontinuerligt innan det släpps ut i Pauliströmsån. Genom miljödom har miljökrav för entreprenadarbeten fastställts.

#### Tidplan

Följande tidplan gäller för utförandet av saneringsarbetena:

- Förberedande arbeten sker mellan juni och november 2005.
- Muddring genomförs mellan april och december 2006.
- Avslutande deponiarbeten genomförs mellan september och november 2007.
- Slutbesiktning av entreprenaden sker efter färdigställandet av deponin.

#### Föroreningssituationen

Innan avloppsvattenreningen infördes vid Pauliströms bruk (1973), tillfördes Pauliströmsån stora mängder kvicksilverhaltiga cellulosafibrer med avloppsvattnet. De totala fiberutsläppen har uppskattats till ca 15 000 - 20 000 ton. Större delen av dessa har sedimenterat i Övre Svartsjön som är den första sjön nedströms Pauliström, men fibrer har även transporterats vidare till Nedre Svartsjön. Sjöarna är 12 respektive 25 hektar stora och ursprungligen relativt djupa klarvattensjöar.

### Projektets åtgärds mål

De övergripande målen för sanering inom Svartsjöprojektet är:

• att minska belastningen av kvicksilver till en nivå som medför att risken för negativa effekter på vattenlevande organismer är liten och att kvicksilverhalterna i Svartsjöarnas fisk på sikt minskar samt

• att minska syreförbrukningen som lagren av organiskt material i form av cellulosa fibrer medför och därmed skapa förutsättningar för en mer naturlig miljö.

Genom provtagningar har förekomst av kvicksilverförorenade sediment påvisats i båda sjöarna. Sedimentens syreförbrukning och kvicksilverinnehåll skapar gynnsamma förhållanden för bildning av den giftiga föreningen metylkvicksilver (MeHg) som kan lösas i sjövattnet. Från Svartsjöarna rinner vattnet med dess föroreningar vidare via Pauliströmsån till Emån.

Under perioden 1996-1998 genomfördes omfattande studier för att klarlägga föroreningssituationen samt spridningen av föroreningar till Pauliströmsån och till Emån.

### Metylering av kvicksilver

$Hg^{2+} + CH_3^- \rightarrow CH_3Hg^+$   
(kvicksilver + metylkarbanjon  
→ metylkvicksilver)

Omvandlingen till metylkvicksilver sker med hjälp av mikroorganismer.

### Pauliströms och Emåns stora naturvärden

Pauliströmsån med omgivningar är en miljö av vildmarks karaktär som har en artrik bottenfauna och stora naturvärden.

Bland naturvärdena kan nämnas starka populationer av flodpärlmussla och öring samt förekomsten av utter.

Pauliströmsån mynnar i Emån som är ett av de mest värdefulla vattendragen i södra Sverige vad gäller geologi, biologi och landskapsbild. Naturen i avrinningsområdet är mycket varierad vilket ger förutsättningar för en god biologisk mångfald både på land och i vatten.

Emån är av riksintresse för såväl natur- och kulturmiljö som för det rörliga friluftslivet. Där finns det en rad värdefulla fiskarter, bl a mal som finns endast på tre ställen i landet och en population av särskilt storvuxen öring.

Emåns vattensystem ingår i Natura 2000-nätverket enligt EU:s habitatdirektiv.



Nedre Svartsjön Foto: Thorbjörn Svahn

### Projektets organisation

Huvudmannen för Svartsjöprojektet är Hultsfreds kommun. Kommunen har upphandlat Empirikon AB för projektledning. Projektledningen svarar för organisering, utarbetning av rutiner samt planering och ledning av projektet.

Empirikon hade för ca 10 år sedan samma roll vid saneringen av Järnsjön.

Till projektgruppens förfogande står specialister inom olika ämnesområden. Projektets organisation övergår nu från en utredande till en övervakande och kontrollerande roll för genomförandet av saneringsarbetena.

### Informationsinsatser

Projektet satsar på olika informationsaktiviteter under hela projektiden:

En hemsida har upprättats på [www.hultsfred.se/svartsjoarna](http://www.hultsfred.se/svartsjoarna) med projektinformation, bilder och nyheter.

Nyhetsbrev kommer kontinuerligt att skickas ut i projektet för att informera om viktiga händelser.

Projektet planerar under våren 2006 att bjuda in till Öppet Hus i samband med ett muddringsarbetet påbörjas.

Kontakta gärna Thorbjörn Svahn om du vill ha bilder, boka ett studiebesök vid Svartsjöarna eller ställa frågor om projektet.

### Kontaktpersoner

Projektansvarig:

**Anders Helgée**

Telefon 0495-163 26

[anders.helgee@hultsfred.se](mailto:anders.helgee@hultsfred.se)

Projektledare:

**Kjell Hansson**

Telefon 08-511 733 10

[kjell.hansson@empirikon.com](mailto:kjell.hansson@empirikon.com)

Informationsansvarig:

**Thorbjörn Svahn**

Telefon 0495-162 10

[thorbjorn.svahn@hultsfred.se](mailto:thorbjorn.svahn@hultsfred.se)



# Svartsjöprojektet

Nyhetsbrev 2 - mars 2006



HULTSFRED

Projektinformation -- Ansvarig utgivare Anders Helgée

### Mudderverket "Pixy" sjösätts inom kort

Under hösten 2005 pågick förberedande arbeten inför muddring av Övre och Nedre Svartsjön. Deponibotten och avvattningsytor för geotuber färdigställdes. Om isläget tillåter sjösätts mudderverket i slutet av mars.



Foto på mudderverket "Pixy" som kommer att sjösättas i Övre Svartsjön i slutet av mars om isläget tillåter det. Foto: DEC/DI



Karta över Svartsjöarna och närområden. Källa: Hultsfreds kommun / Metria

#### Planerade arbeten

För att minska risken för att kvicksilverförorenade sediment sprids nedströms från muddringsområdena i Övre Svartsjön kommer skyddskärmar att placeras vid utloppet i Paulströmsån.

I början av april startar muddringsarbetena vid Övre Svartsjön. Mudderverket "Pixy" är 33 meter långt, ca 9 meter brett och väger 180 ton. Mudderverket har en kapacitet att muddra 300 m<sup>3</sup> sediment i timmen.

Muddringen vid Övre och Nedre Svartsjön beräknas färdigställas under december 2006. Deponin görs enligt plan under september-oktober 2007.

Hela entreprenaden beräknas vara färdig för besiktning november 2007.

#### Planerad besöksplattform

Metoden för avvattning i geotuber är unik och har inte tidigare genomförts i Sverige. I samband med att muddringsarbetena startar anlägger entreprenören en besöksplattform med utsikt över avvattningsbassängen och geotuberna. Vid utkiksplatsen sätts även informationsskyltar om projektet upp.

#### Säkerhet på arbetsplatsen

Eftersom det är förbjudet att vistas på arbetsområdet utan tillstånd från entreprenören kommer projektet att ta emot besök på området enligt överenskommelse. Föranmälan sker hos Thorbjörn Svahn på Hultsfreds kommun. Besökare på området uppmanas att följa de säkerhetsföreskrifter som anges enligt utsatta skyltar.

#### Informationskväll 28 mars Emågården, Järnforsen

Kl.18 är du välkommen till projektutställningen över saneringen i Svartsjöarna. Projektgruppen finns på plats för att svara på frågor.

Vi bjuder på kaffe och kaka.

Kl.19 Thorsten Jansson, journalist och fotograf, visar bilder från Emåns vattensystem och berättar om dess unika naturvärden. Projektgruppen, Länsstyrelsen och entreprenören redogör för de kommande arbetena.

Anmäl deltagande före 27/3 till [thorbjorn.svahn@hultsfred.se](mailto:thorbjorn.svahn@hultsfred.se) eller Hultsfreds kommun 0495-160 00.

Varmt välkomna!

[www.hultsfred.se/svartsjoarna](http://www.hultsfred.se/svartsjoarna)

### Länsstyrelsen informerar

I mer än hundra år har sjöar och vattendrag i Emåns hela vattensystem fått ta emot miljontals kubikmeter avloppsvatten från tätorter och industrier, så småningom också från kommunala reningsverk. Längs Pauliströmsån har det funnits industriella anläggningar åtminstone sedan 1700-talet. Under 1900-talet har Emån utsatts för de största mängderna miljöfarliga föroreningar under hela sin historia.

De målsättningar som Sverige har för miljön sammanfattas i 16 miljömål. Länsstyrelsens arbete utgår ifrån dessa miljömål med sina delmål, samt de regionala miljömål som har tagits fram på länsnivå. Ett av de regionala miljömålen fastslår att "senast 2020 skall Kalmar läns 30 högst prioriterade förorenade områden vara åtgärdade". Muddringen av Övre och Nedre Svartsjön är därför en mycket viktig del i arbetet med uppfyllelsen av flera av de nationella miljömålen, exempelvis miljömålen "Giftfri miljö", "Levande sjöar och vattendrag" samt "Ett rikt växt- och djurliv". Mer information om både de nationella och de regionala miljömålen finns på <http://www.h.lst.se/h/amnen/Miljomal>



Pauliströmsån Foto: Thorbjörn Svahn

Som grund för efterbehandlingsarbetet har Länsstyrelsen i Kalmar län tagit fram en flerårsplan som bl.a. slår fast hur områden i länet ska prioriteras. Många av de prioriterade förorenade områdena är lokaliserade till inlandsvatten, exempelvis i Emåns vattensystem.

Förr eller senare sprids de flesta föroreningar nedströms och när slutligen också Östersjön.

### Milstolpar för en renare miljö i Emån, Kalmarsund och slutligen Östersjön:

**1993-1994** Muddring då 400 kilo PCB togs omhand i Järnsjön vid Järnforsen.

**1999-2002** Sanering av drygt 30 ton kadmium och 800 ton bly vid Jungnerholmarna i Fliseryd.

**2004-2005** Sanering av metallföroreningar i form av 37 500 m<sup>3</sup> urgrävda massor vid Ruda Exportträ och Ruda Glasbruk i Högsby.

**2006-** Muddring av 260 000 m<sup>3</sup> kvicksilverkontaminerade fiberbankar i Övre och Nedre Svartsjön vid Pauliström.

Exempel på andra åtgärder som Länsstyrelsen jobbar med för att förbättra miljön i Emåns vattensystem är t ex restaurering eller byggande av vandringsvägar för fisk. Kalkning sker också utifrån en regional åtgärdsplan. Målsättningen är att populationer av naturligt förekommande arter ska kunna överleva i naturliga bestånd och att vattnet ska kunna nyttjas för fiske och rekreation.

Effekten av miljöarbetet följs upp genom provtagningar, undersökningar och inventeringar som även ger oss kontinuerlig kunskap om vattenmiljön och dess invånare.

### Miljökontroll

För att säkerställa att en sanering av Övre och Nedre Svartsjön kommer att reducera halterna av metylkviksilver genomfördes en omfattande biologisk och kemisk undersökning 1996 och 2003.



Sedimentprovtagning i Övre Svartsjön. Foto: Bo Troedsson

Resultatet av undersökningarna visade att saneringen kommer att minska förutsättningarna för att kvicksilver omvandlas till metylkviksilver.

Under själva saneringsperioden kommer en omfattande kontroll av vattenkvaliteten i Svartsjöarna och i Pauliströmsån nedströms sjöarna att genomföras. Detta är en ytterst viktig del av projektet för att säkerställa att den känsliga miljön, med bland annat flodpärlmussla och bäcköring, inte påverkas negativt av saneringen. Flera parametrar mäts kontinuerligt och behörig personal larmas automatiskt om halterna närmar sig de uppsatta gränsvärden, som entreprenören måste hålla sig inom.



Båt med mätutrustning för vattenprovtagning. Foto: Bo Troedsson

### Informationsinsatser

Projektet satsar på olika informationsaktiviteter under hela projektiden:

En hemsida har upprättats på [www.hultsfred.se/svartsjoarna](http://www.hultsfred.se/svartsjoarna) med projektinformation, bilder och nyheter.

Kontakta gärna Thorbjörn Svahn för bilder, studiebesök vid Svartsjöarna eller för allmänna frågor om projektet.

### Kontaktpersoner

Projektansvarig:

**Anders Helgée**

0495 - 163 26

[anders.helgee@hultsfred.se](mailto:anders.helgee@hultsfred.se)

Projektledare:

**Kjell Hansson**

08 - 511 733 10

[kjell.hansson@empirikon.com](mailto:kjell.hansson@empirikon.com)

Informationsansvarig:

**Thorbjörn Svahn**

0495 - 162 10

[thorbjorn.svahn@hultsfred.se](mailto:thorbjorn.svahn@hultsfred.se)



# Svartsjöprojektet

Nyhetsbrev 3 - september 2006



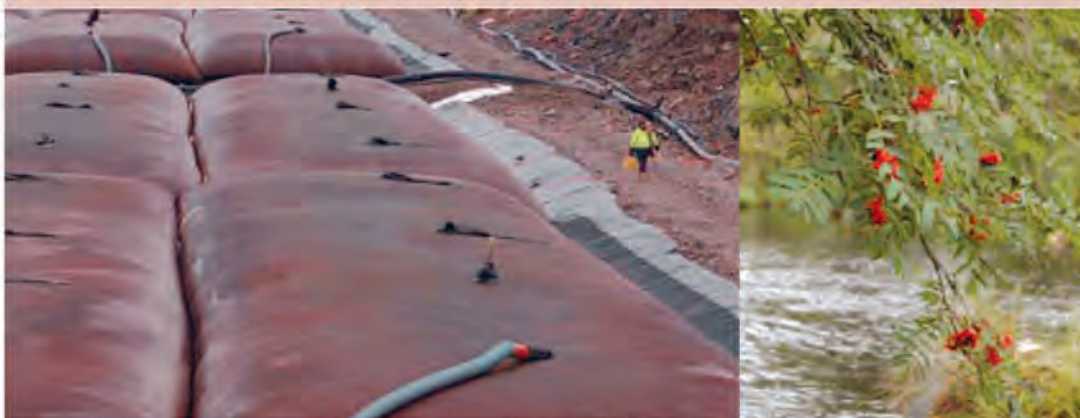
HULTSFRED

Projektinformation -- Ansvarig utgivare Anders Helgée

### "Pixi" flyttas till Nedre Svartsjön efter rekordsnabb muddring i Övre Svartsjön

I april sjösattes mudderverket "Pixi" i Övre Svartsjön. Muddringen av Övre Svartsjön var igång redan i maj trots att vintern höll sig kvar längre än vanligt. "Pixi" har fullföljt sitt uppdrag i Övre Svartsjön och flyttas nu till Nedre Svartsjön.

I början av september gjorde TV4 Sydost ett reportage vid Svartsjöarna. För att se reportaget gå in på TV4 Sydosts hemsida [TV4.se/sydost](http://TV4.se/sydost) och sök på Svartsjöarna.



Till vänster: Sedimenten avvattnas i geotuber på deponiområdet. Till höger: höstbild tagen vid Pauliströmsån. Foto: Thorbjörn Svahn

#### Utförda arbeten

Under våren och sommaren har Övre Svartsjön muddrats och sammanlagt 155 000 kubikmeter sediment har lagts i geotuber för avvattning.

Vattnet från geotuberna renas i en reningsanläggning och släpps sedan efter noggrann provtagning ut i Övre Svartsjön igen.

Bilden ovan till vänster visar geotuber fyllda med sediment. Två lager av geotuber har lagts på deponin hittills. Sammanlagt tre eller fyra lager med geotuber beräknas ligga på deponin när muddringsarbetet är avslutat.

Under försommaren har två besöksplattformar och en informationstavla anlagts vid Övre Svartsjön.

#### Planerade arbeten

Muddringen av Nedre Svartsjön påbörjas inom kort. Cirka 97 000 kubikmeter sediment ska muddras. Går allt enligt planerna är muddringen färdig i december 2006.

Avvattningen av sedimenten pågår till september 2007. Därefter sker täckning av deponin.

Hela entreprenaden beräknas vara färdig för slutbesiktning i november 2007.

#### Miljökontrollgruppen

Synpunkter eller klagomål kan framföras till miljökontrollgruppen på telefon 070-255 71 19.

#### Öppet Hus 1 oktober vid Svartsjöarna

Söndagen den 1 oktober kl.10-14 har Svartsjöprojektet Öppet Hus vid åskådarplattformarna intill Övre Svartsjön. Karta delas ut till den som vill åka till Nedre Svartsjön för att titta på mudderverket. Vid Övre Svartsjön finns representanter för projektet som berättar om saneringsarbetet och svarar på frågor.

Vägbeskrivning: Kör vägen mellan Pauliström och Järnforsen (Klövåla). Ca två kilometer från Pauliström ligger Svenarp. Följ där gulröd vägskylt "Lida 3". Följ därefter projektets tillfälliga skyltning mot Svartsjöarna.

Varmt välkomna!

[www.hultsfred.se/svartsjoarna](http://www.hultsfred.se/svartsjoarna)

### Så här går muddringen till

Sammanlagt ska ca 260 000 kubikmeter fibersediment muddras från Övre och Nedre Svartsjön. Mudderverket Pixi har en produktionskapacitet att muddra 350 kubikmeter i timmen.



Mudderverket Pixi. Foto: Thorbjörn Svahn

I kontrollrummet ombord på mudderverket kan man bland annat se hur många kubikmeter sediment som muddras per timme.



Kontrollrummet på Pixi. Foto: Thorbjörn Svahn

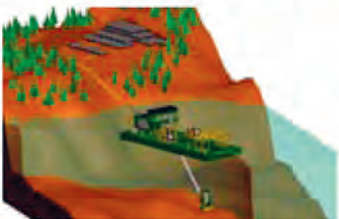


Illustration: DEC-DI

Mudderverket Pixi har ett mudderkapacitet som suger upp sediment från sjöbotten. Sedimenten pumpas från mudderverket via ledningar till geotuber där sedimenten avvattnas. Vattnet leds sedan till en reningsanläggning.



Vattenreningsanläggning Foto: Empirikon AB

I vattenreningsanläggningen sker biologisk rening och sandfiltrering av det förorenade vattnet. Det rena vattnet släpps efter noggrann provtagning tillbaka ut i Övre Svartsjön

### Thierry Dór, projektledare på DEC-DI om entreprenaden:



#### Kan du kort beskriva ert arbete vid Svartsjöarna?

Vi muddrar sediment, avvattnar dem för enklare och säkrare deponering och vi behandlar returvattnet så att det blir rent nog att släppas tillbaka ut i sjöarna.

#### Är det ett svårt projekt?

Rent tekniskt är det ett ganska svårt projekt, men framförallt är det intressant och en utmaning.

För projektets räkning har vi byggt ett nytt mudderverk, med ett innovativt positionerings- och ankar-system. Vad gäller avvattning använder vi stora geotextiltuber, det är första gången i Europa som de används i den storleksordning som här i Svartsjöarna. Ytterligare har vi en biologisk reningsanläggning som måste kunna hantera upp till 3000 kubikmeter förorenat vatten per dag.

#### Har ni stött på tekniska problem?

Till att börja med gjorde sjöarnas svårtillgängliga läge och väderförhållandena i vintras att vi fick en väldigt intensiv start. Vi har löst detta med hjälp av hårt arbete och stöd från många företag i trakten. Den största tekniska utmaningen är att alla processer vi beskrivit följer varandra, misslyckas ett moment måste hela kedjan med arbeten stoppas. Vi måste vara väldigt försiktiga och försöka förutse minsta lilla problem som kan uppstå.

#### Hur går det med arbetet nu?

Vi hade förstås de obligatoriska problemen vid uppstart, men det är normalt för ett projekt som detta. Det tog några veckor att lösa dem. Vi försöker fortlöpande att förbättra processen, men nu fungerar allt utan problem. Vi är förhoppningsfulla om att vi kan avsluta muddringarna i både Övre och Nedre Svartsjön innan vintern är här.

### Vad har ni för erfarenheter av att arbeta här i Sverige? Trivs ni här?

Vi har blivit positivt överraskade över hur artiga och diplomatiska de svenskar vi möter är, både privat och yrkesmässigt.

Vi vill passa på att tacka alla lokala företag som hjälpt oss genom många problem och vi har en särskild hälsning till personalen på det hotell vi bor på, de har blivit som en familj för oss.

### Sida-projekt på besök

Spännvidden på besökare vid sneringen i Svartsjöarna är stor. Nyligen besöktes arbetsplatsen av ett Sida-projekt bestående av deltagare från 22 olika delar av världen, bland annat Sydamerika, Botswana och Mongoliet. Skolor i kommunen har uppmärksammat projektet och i början av september besöktes Svartsjöarna av en gymnasieklass med naturvetenskaplig inriktning.

### Informationsinsatser

I våras lanserade kommunen sin nya hemsida. Sedan dess har över 1000 personer besökt Svartsjöprojektets hemsida, [www.hultsfred.se/svartsjoarna](http://www.hultsfred.se/svartsjoarna) där kan du läsa nyheter om projektet, titta på bilder och ladda hem informationsmaterial och projektrapporter.

En ny informationsfolder om Svartsjöprojektet har publicerats, den finns att ladda ner på projektets hemsida. Kontakta gärna Thorbjörn Svahn för bilder, studiebesök vid Svartsjöarna eller för allmänna frågor om projektet.

### Kontaktpersoner

Projektansvarig:

**Anders Helgée**

0495 - 24 14 01

[anders.helgee@hultsfred.se](mailto:anders.helgee@hultsfred.se)

Projektledare:

**Kjell Hansson**

08 - 511 733 10

[kjell.hansson@empirikon.com](mailto:kjell.hansson@empirikon.com)

Informationsansvarig:

**Thorbjörn Svahn**

0495 - 24 13 10

[thorbjorn.svahn@hultsfred.se](mailto:thorbjorn.svahn@hultsfred.se)

## BILAGA 2B Skrivna artiklar 1

### Förteckning över skrivna artiklar om Svartsjöarna

Uppdaterad: 2009-04-20

Ny uppdatering:

Datum	Tidning	Artikelnamn	
2003-11-15	Vimmerby tidning	100 miljömiljoner	
2003-11-15	Oskarshamns- Tidningen	Svartsjöarna saneras för 100 miljoner kronor	
2004-01-29	Oskarshamns- Tidningen	Kommunen kunde fått 68 miljoner i överskott	
2004-03-24	Oskarshamns- Tidningen	Äntligen klart för sanering av Svartsjöarna	
2004-04-07	Aftärs Världen	Holmen: Bidrar ekonomiskt till sanering av sjöar i Småland	
2004-04-08	Oskarshamns- Tidningen	21 miljoner betalas för sanering av Svartsjöarna	
2005-03-03	Östran/Nyheterna	Klart med avfallsplats för kycksilvret i Svartsjöarna	
2005-05-28	Hultfred/Vimmerby Nyheterna	En autograt för miljön - saneringen kan börja	
2005-05-28	VP	Nu inleds saneringen av Svartsjöarna	presskonferens
2005-05-28	VT/KP	Startskott på projekt för 108 miljoner kronor	presskonferens
2005-05-28	Oskarshamns- Tidningen	62 miljoner satsas på svartsjöarna	presskonferens
2005-05-28	Oskarshamns- Tidningen/Barometern	62 miljoner i sjön	presskonferens
2005-09-04	Oskarshamns- Tidningen	Tjuvar stal 25 kilo dynamit i Järnforsen	
2005-09-05	Oskarshamns- Tidningen	Storlarm efter dynamitstöld	
2005-09-06	SVT	Dyra instrument försvann	
2005-12-09	SVT	Vilda djur dör i gropen	
2006-03-25	Vimmerby tidning	Luft för miljön	
2006-04-02	SR	Sträng vinter försenar sanering	
2006-07-03	SR	Saneringen av Svartsjöarna övervakas nogga	
2006-09-27	SVT	100 000 kubikmeter kvar att sanera	
2006-10-02	Vimmerby tidning	Saneringen av Svartsjöarna snart avslutad	
2006-11-16	SR	Nu är Svartsjöarna rena	
2006-11-20	SVT	Svartsjöarnas muddring avslutad	
2006-11-21	Oskarshamns- Tidningen	Svartsjöarna sanerade	
2006-11-22	Vimmerby tidning	Rekordmuddring	

## BILAGA 2B Skrivna artiklar 2

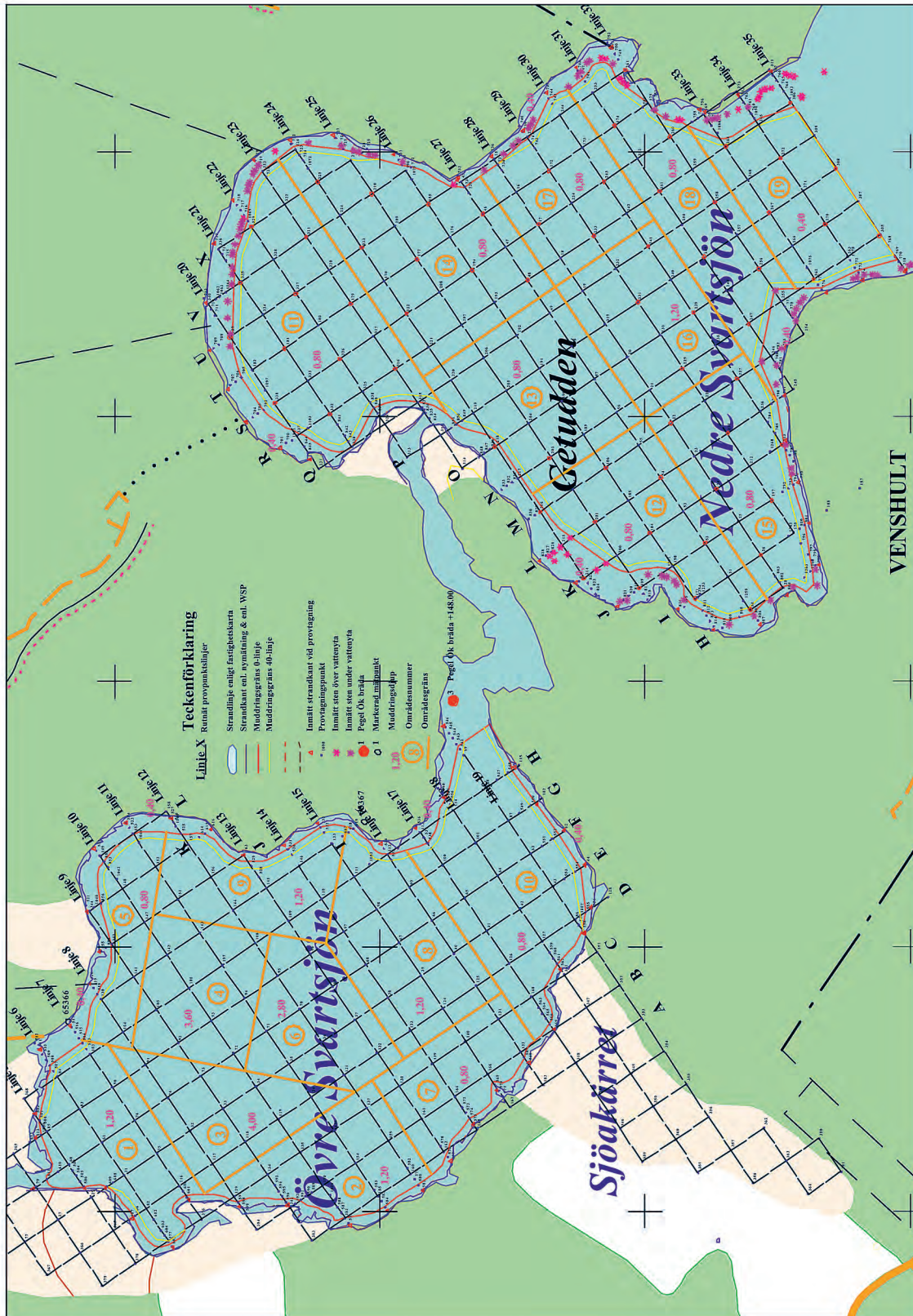
### Förteckning över skrivna artiklar om Svartsjöarna

Uppdaterad: 2009-04-20

Ny uppdatering;

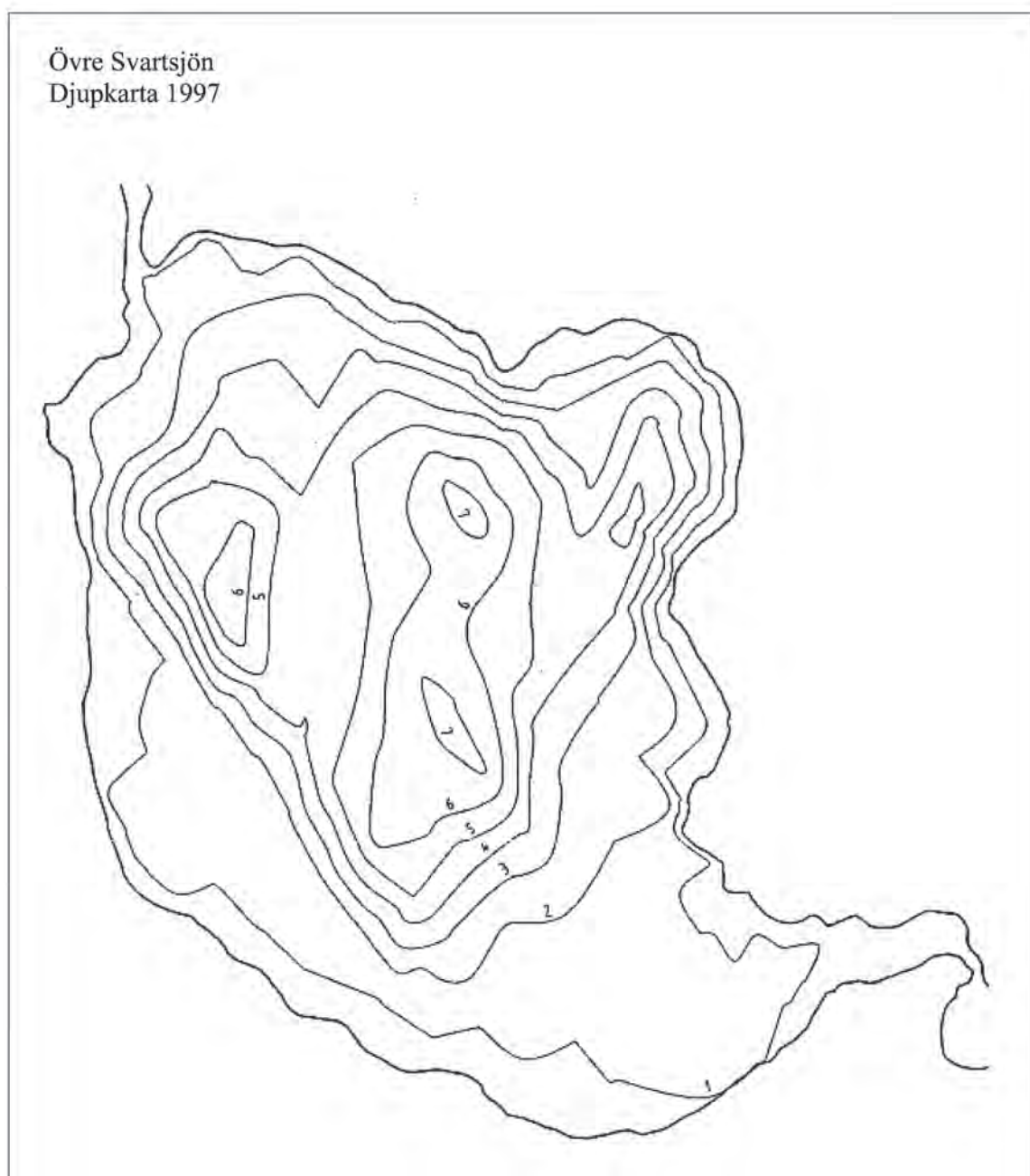
Datum	Tidning	Artikelnamn	presskonferens presskonferens presskonferens presskonferens
2003-11-15	Vimmerby tidning	100 miljonjoner	
2003-11-15	Oskarshamns- Tidningen	Svartsjöarna saneras för 100 miljoner kronor	
2004-01-29	Oskarshamns- Tidningen	Kommunen kunde fått 68 miljoner i överskott	
2004-03-24	Oskarshamns- Tidningen	Antigen klart för sanering av Svartsjöarna	
2004-04-07	Aftärs Världen	Holmen; Bidrar ekonomiskt till sanering av sjöar i Småland	
2004-04-08	Oskarshamns- Tidningen	21 miljoner betalas för sanering av Svartsjöarna	
2005-03-03	Östran/Nyheterna	Klart med avfallsplats för kvicksilvret i Svartsjöarna	
2005-05-28	Hultfred/Vimmerby Nyheterna	En autograf för miljön - saneringen kan börja	presskonferens
2005-05-28	VP	Nu inleds saneringen av Svartsjöarna	presskonferens
2005-05-28	VT/KP	Startskott på projekt för 108 miljoner kronor	presskonferens
2005-05-28	Oskarshamns- Tidningen	62 miljoner satsas på svartsjöarna	presskonferens
2005-05-28	Oskarshamns- Tidningen/Barometern	62 miljoner i sjön	
2005-09-04	Oskarshamns- Tidningen	Tjuvar stal 25 kilo dynamit i Järnforsen	
2005-09-05	Oskarshamns- Tidningen	Storlarm efter dynamitstöld	
2005-09-06	SVT	Dyra instrument försvunn	
2005-12-09	SVT	Vilda djur dör i gropen	
2006-03-25	Vimmerby tidning	Lyft för miljön	
2006-04-02	SR	Sträng vinter försenar sanering	
2006-07-03	SR	Saneringen av Svartsjöarna övervakas noga	
2006-09-27	SVT	100 000 kubikmeter kvar att sanera	
2006-10-02	Vimmerby tidning	Saneringen av Svartsjöarna snart avslutad	
2006-11-16	SR	Nu är Svartsjöarna rena	
2006-11-20	SVT	Svartsjöarnas muddring avslutad	
2006-11-21	Oskarshamns- Tidningen	Svartsjöarna sanerade	
2006-11-22	Vimmerby tidning	Rekordmuddring	

# BILAGA 3 Muddringsplan

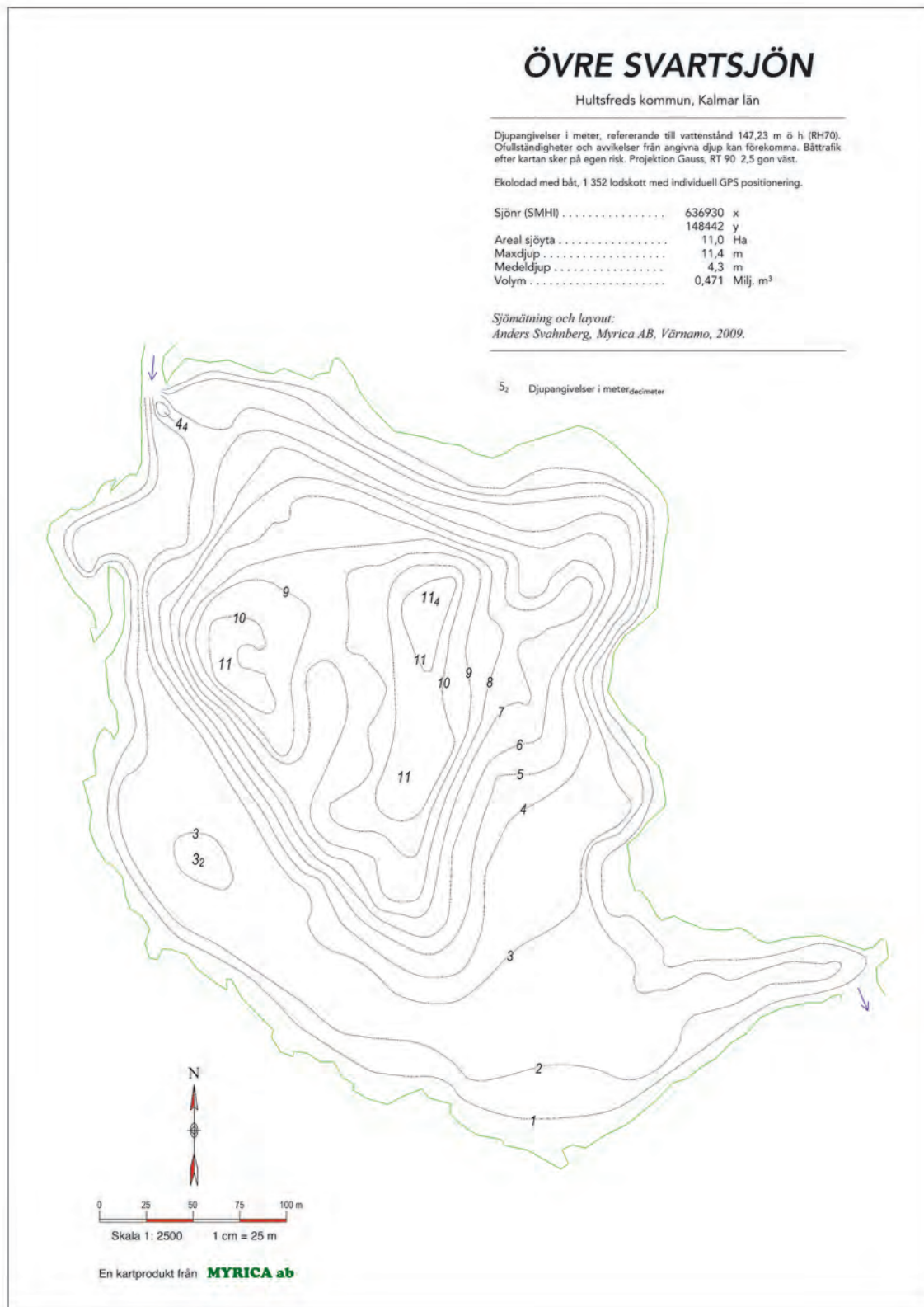


## BILAGA 4 *Djupkarta 1*

---

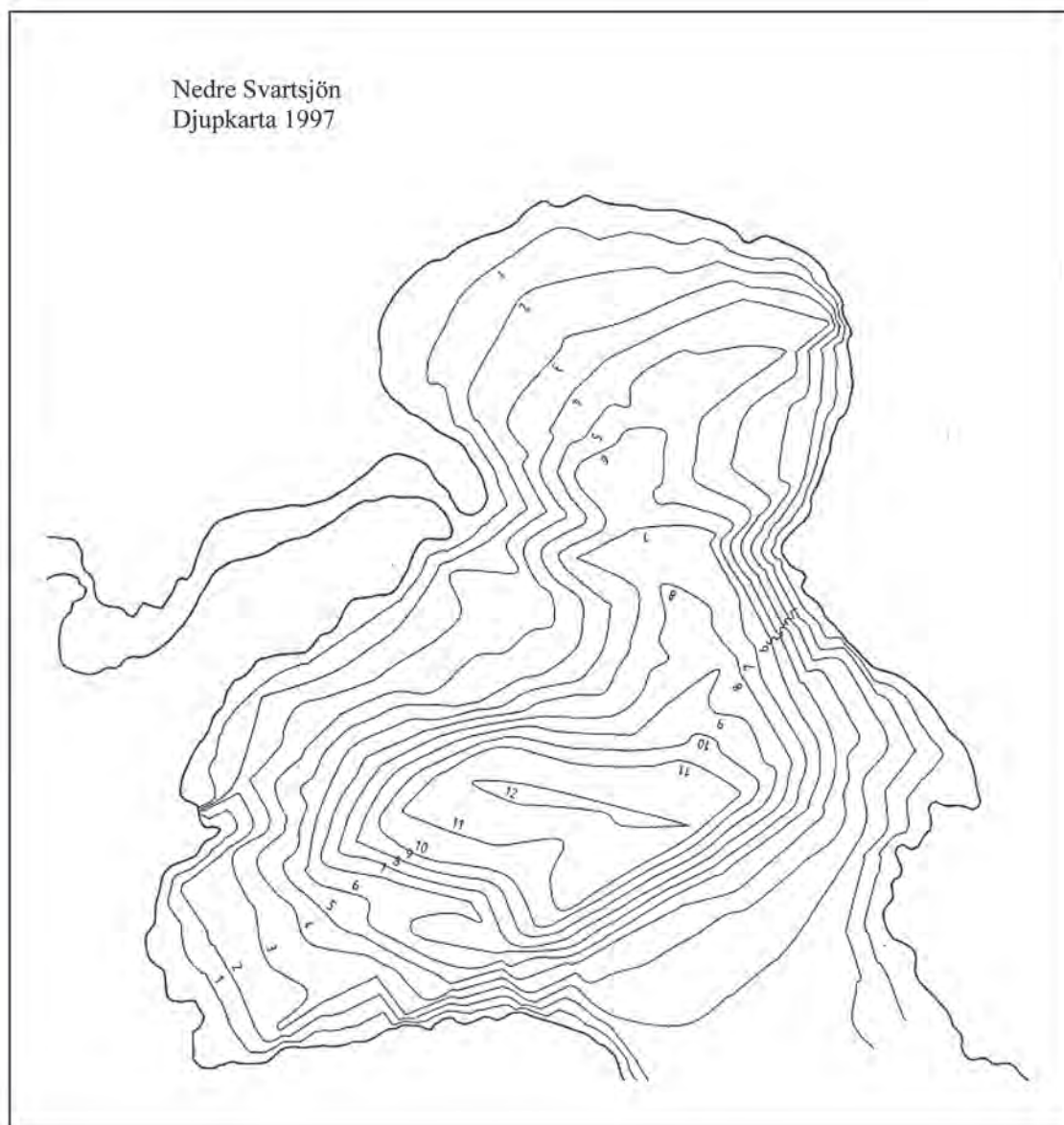


## BILAGA 4 Djupkarta 2

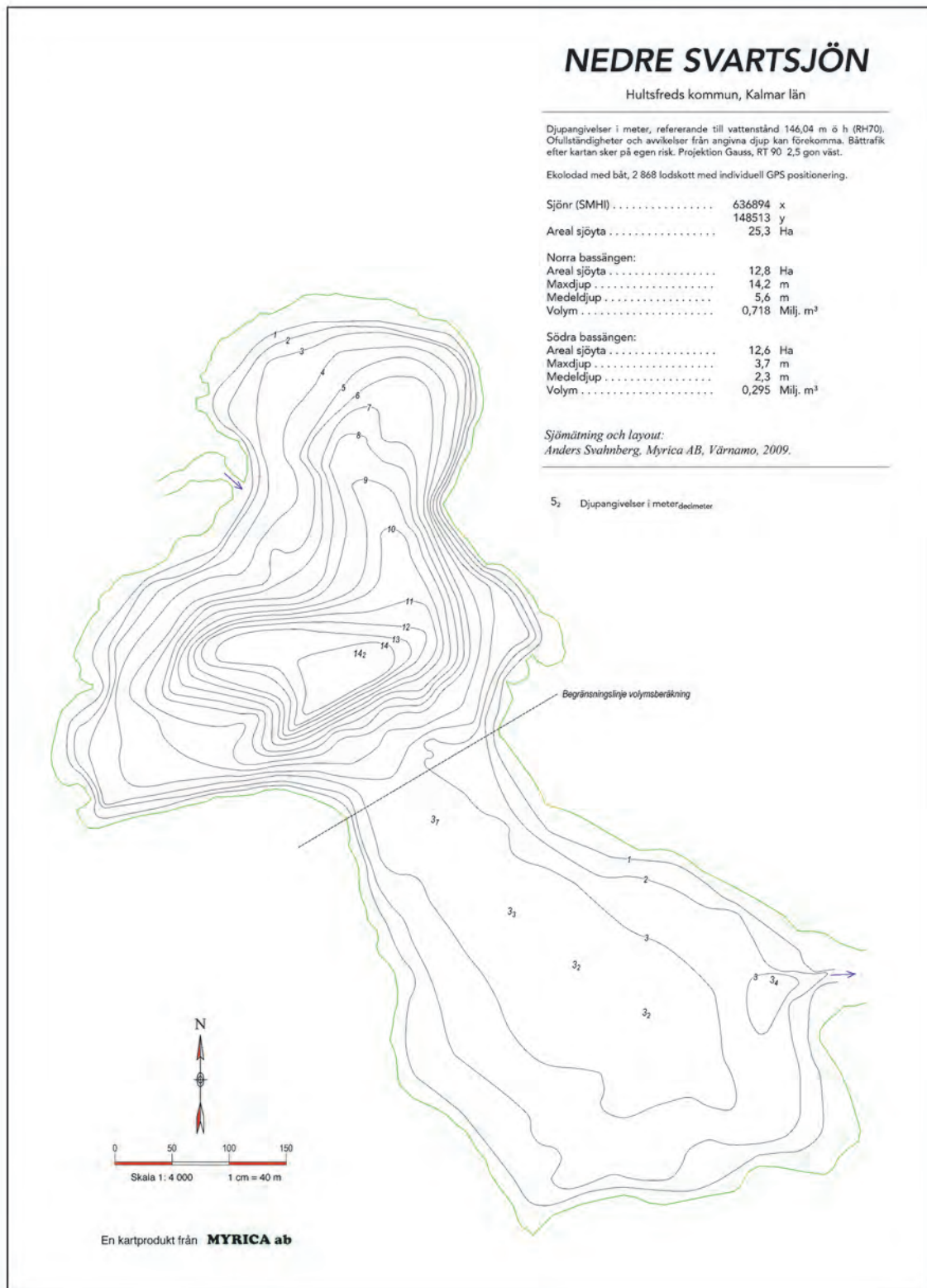


## BILAGA 4 Djupkarta 3

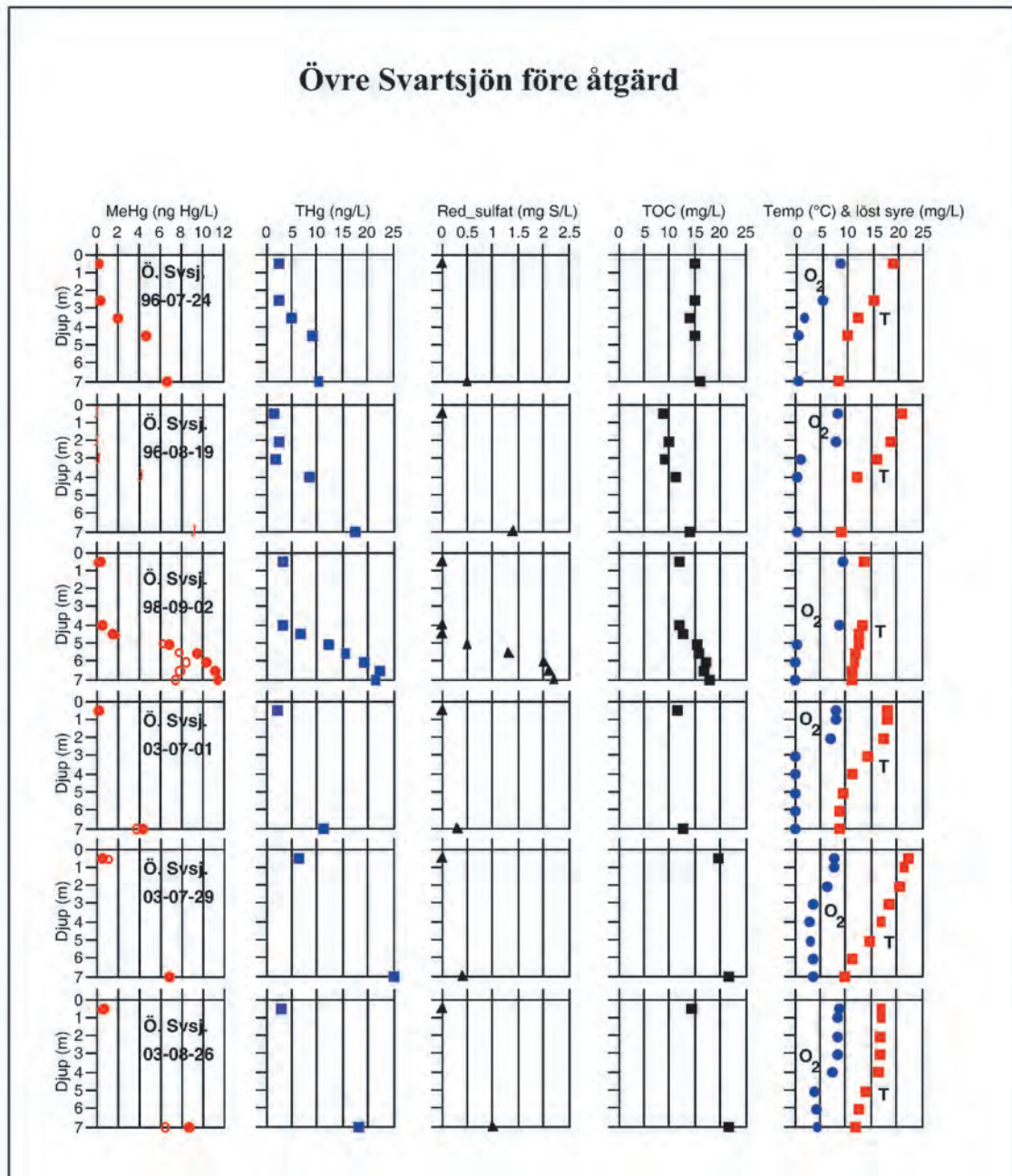
---



# BILAGA 4 Djupkarta 4



## BILAGA 5 Vertikala koncentrationsprofiler 1

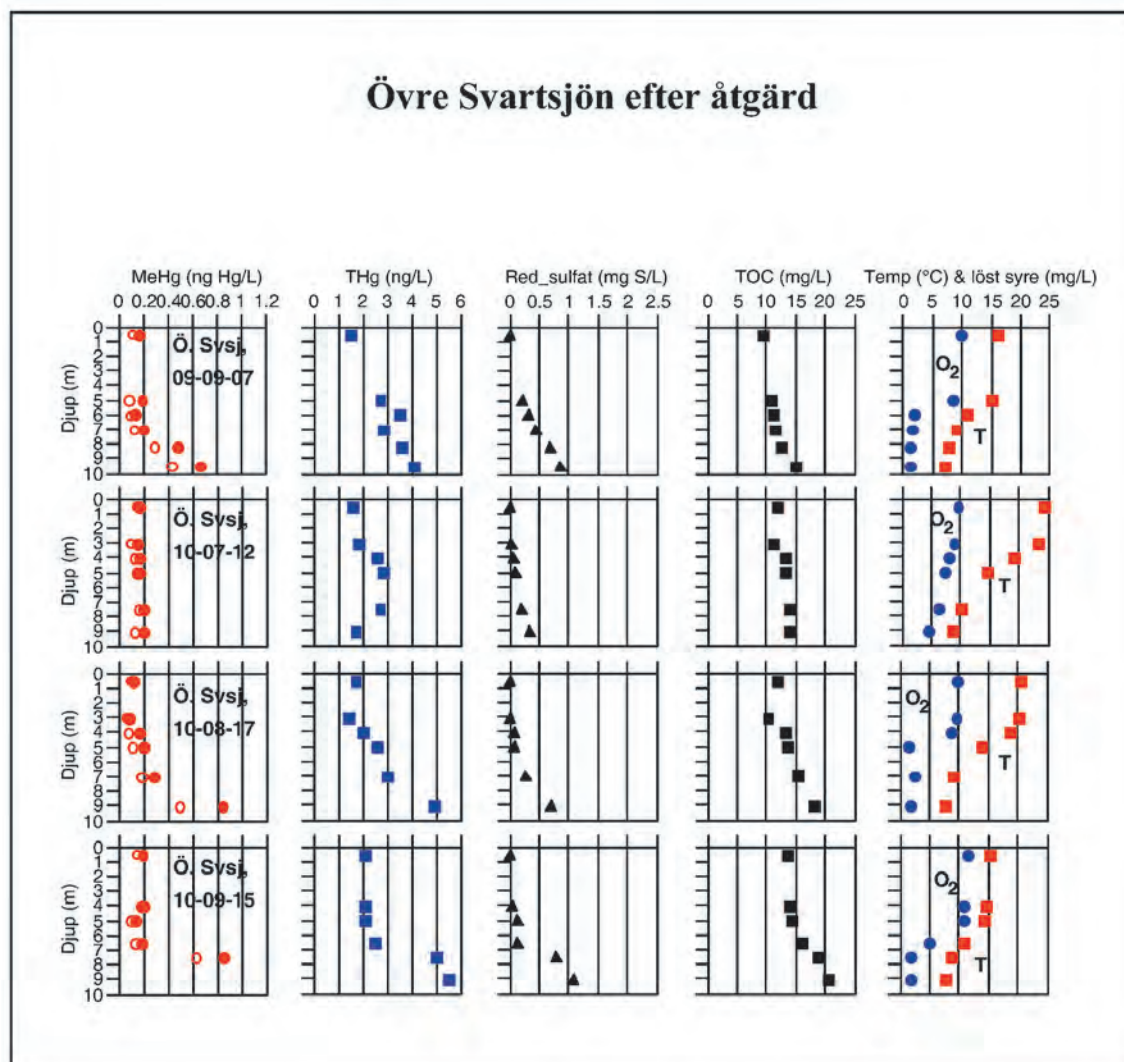


### BILAGA 5

Vertikala koncentrationsprofiler (metylkviksilver = MeHg, totalkvicksilver = THg, organiskt kol = TOC, löst syre) samt sulfatreduktion = Red\_sulfat (se avsnitt 7.5) och temperatur i Svartsjöarnas vattenpelare före och efter åtgärd.

Fyllda symboler: koncentration i ofiltrerat vatten. Ofyllda symboler: koncentration i filtrerat (0,45 µm) vatten.

## BILAGA 5 Vertikala koncentrationsprofiler 2

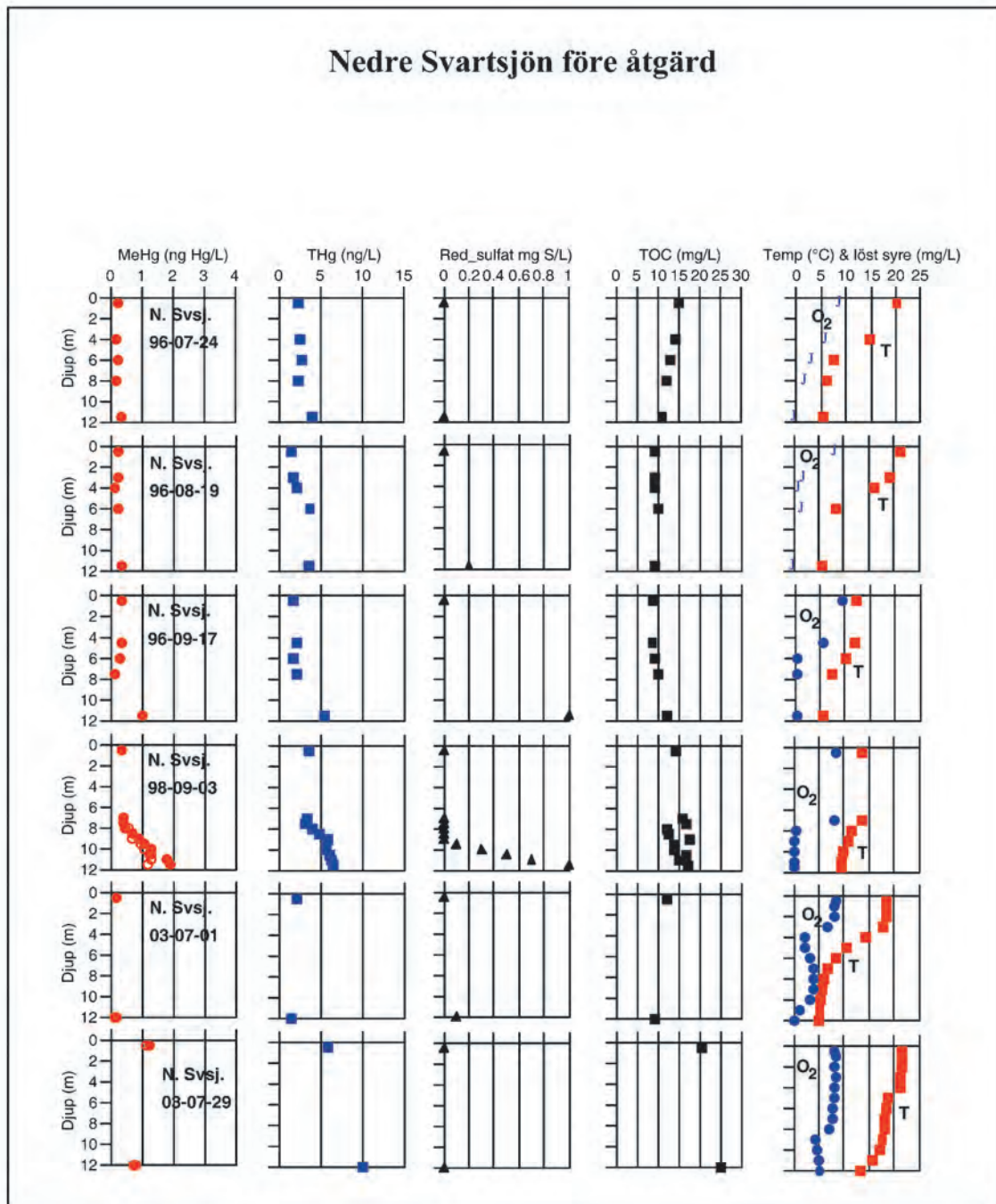


### BILAGA 5

Vertikala koncentrationsprofiler (metylkvicksilver = MeHg, totalkvicksilver = THg, organiskt kol = TOC, löst syre) samt sulfatreduktion = Red\_sulfat (se avsnitt 7.5) och temperatur i Svartsjöarnas vattenpelare före och efter åtgärd.

Fyllda symboler: koncentration i ofiltrerat vatten. Ofyllda symboler: koncentration i filtrerat (0,45 µm) vatten.

## BILAGA 5 Vertikala koncentrationsprofiler 3

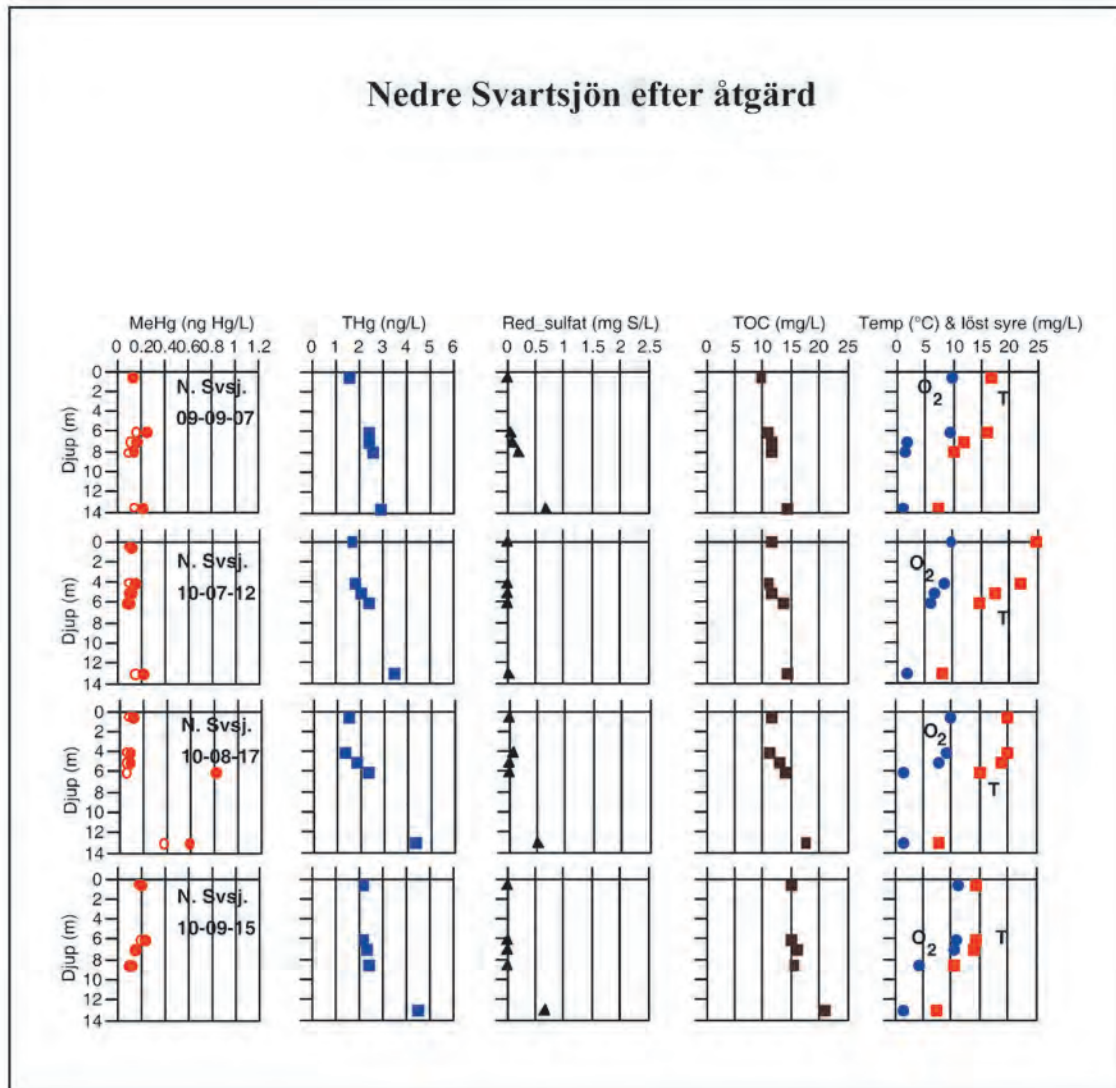


### BILAGA 5

Vertikala koncentrationsprofiler (metylkviksilver = MeHg, totalkvicksilver = THg, organiskt kol = TOC, löst syre) samt sulfatreduktion = Red\_sulfat (se avsnitt 7.5) och temperatur i Svartsjöarnas vattenpelare före och efter åtgärd.

Fyllda symboler: koncentration i ofiltrerat vatten. Ofyllda symboler: koncentration i filtrerat (0,45 µm) vatten.

## BILAGA 5 Vertikala koncentrationsprofiler 4



### BILAGA 5

Vertikala koncentrationsprofiler (metylkvicksilver = MeHg, totalkvicksilver = THg, organiskt kol = TOC, löst syre) samt sulfatreduktion = Red\_sulfat (se avsnitt 7.5) och temperatur i Svartsjöarnas vattenpelare före och efter åtgärd.

Fyllda symboler: koncentration i ofiltrerat vatten. Ofyllda symboler: koncentration i filtrerat (0,45 µm) vatten.





*Informationstavlan vid Övre Svartsjön.*

FOTO Thorbjörn Svahn



*Mudderverket Pixy i arbete på Övre Svartsjön.*

FOTO Thorsten Jansson

