



Utvärdering av efterkontroll

EKA – området



Rapport EKA 2021:1

Olof Regnell, Cinnobex-MBC
Anders Bank, Relement Väst
Petra Backman, Bengtsfors kommun
Joakim Schultzen, Empirikon konsult
Therese Steinholtz, Empirikon konsult

Daterad: 2021-02-28



Innehållsförteckning

1. BAKGRUND OCH SYFTE	4
2. FÖRORENINGSSITUATIONEN INNAN ÅTGÄRD	4
3. BESKRIVNING AV SANERINGEN OCH GENOMFÖRDA AVHJÄLPANDE ÅTGÄRDER	4
4. BORTTAGNA OCH KVARVARANDE FÖRORENINGSMÄNGDER INOM OMRÅDET	5
4.1 BORTTAGNA MÄNGDER FÖRORENINGAR	5
5. BESKRIVNING AV EFTERKONTROLLPROGRAM	6
5.1 SAMMANFATTNING AV EFTERKONTROLLPROGRAMMET	6
5.2 GRUNDVATTENNIVÅER	6
5.3 HYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN I BENGTSBROHÖLJEN, VATTENFÖRING, TERMOKLIN SAMT METEOROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	7
5.4 VATTENKVALITETSUNDERSÖKNINGAR I BENGTSBROHÖLJEN	7
5.5 DEPOSITION AV SEDIMENT, SEDIMENTFÄLLOR	7
5.6 GEOFYSIK SJÖMÄTNING AV SJÖN	7
5.7 NÄTPROVFISKE OCH PROVTAGNING AV SEDIMENT LÄNGS STRANDLINJEN VID EKA-OMRÅDET OCH SÖDERUT	7
5.8 BOTTENFAUNAUNDERSÖKNING OCH SEDIMENTPROVTAGNING AV DJUPHÅLORNA I BENGTSBROHÖLJEN	8
6. RESULTAT OCH UTVÄRDERING AV EFTERKONTROLLEN	9
6.1 KVICKSILVER I GRUNDVATTNET PÅ EKA-OMRÅDET	9
6.2 ÖVRIGA TUNGMETALLER OCH ARSENIK I GRUNDVATTNET PÅ EKA-OMRÅDET	11
6.3 HALTER AV KVICKSILVER, ÖVRIGA TUNGMETALLER OCH ARSENIK I GRUNDVATTNET PÅ EKA-OMRÅDET I FÖRHÅLLANDE TILL HALTER I BENGTSBROHÖLJENS VATTEN SAMT BAKGRUNDSHALTER FÖR SJÖVATTEN	12
6.4 DIOXIN I GRUNDVATTNET PÅ EKA-OMRÅDET	13
6.5 DEN AVSKÄRANDE DRÄNERINGEN	16
6.6 PARTIKELFILTRET	17
6.7 KVICKSILVER I SEDIMENT OCH SEDIMENTERANDE MATERIAL I BENGTSBROHÖLJEN	21
6.8 ÖVRIGA TUNGMETALLER I SEDIMENT OCH SEDIMENTERANDE MATERIAL I BENGTSBROHÖLJEN	26
6.9 DIOXIN I SEDIMENT OCH SEDIMENTERANDE MATERIAL I BENGTSBROHÖLJEN	29
6.10 KVICKSILVER OCH DIOXIN I FISK FRÅN BENGTSBROHÖLJEN	31
7. UTVÄRDERING AV KLORERADE LÖSNINGSMEDEL I GRUNDVATTEN INOM EKA-OMRÅDET	36
7.1 ALLMÄN ORIENTERING	36
7.2 FÖRORENINGSSITUATIONEN FÖR KLORERADE LÖSNINGSMEDEL INNAN ÅTGÄRDER	36
7.3 GENOMFÖRDA AVHJÄLPANDE ÅTGÄRDER	37
7.4 UPPFÖLJANDE MÄTNINGAR	37
7.4.1 <i>Genomförande</i>	37
7.4.2 <i>Resultat</i>	38
8.1 ALLMÄNT	40
8.2 GRUNDVATTEN	40
8.2.1 <i>Kvicksilver och dioxin</i>	40
8.2.2 <i>Klorerade lösningsmedel</i>	40
8.3 YTVATTEN OCH SEDIMENT	41
8.4 FISK	41



9. REKOMMENDATIONER OCH FÖRSLAG TILL UPPFÖLJNINGAR	42
9.1 SKÖTSELPLAN	42
9.2 ÅRLIGA BESIKTNINGAR	42
9.3 PARTIKELFILTRETS FUNKTION	42
9.4 UTFLODE FRÅN EKA-OMRÅDET	43
9.4.1 <i>Kvicksilver</i>	43
9.4.2 <i>Klorerade lösningsmedel</i>	43
9.5 FISKUNDERSÖKNING	44

Bilagor

Bilaga A Provtagningspunkter sediment

Bilaga B Nätprovfiske Bengtsbrohöljen 2019

Bilaga C Bottenfauna i Bengtsbrohöljen 2020



1. Bakgrund och syfte

Marken och byggnaderna på EKA-området i Bengtsfors var starkt förorenade, huvudsakligen av kvicksilver och dioxiner härrörande från tiden då kloralkalifabriken var i drift på platsen, men också av kemikalier från senare tiders kemtvättsverksamhet. Ansvarsutredningen visade att ingen kunde hållas ansvarig enligt gällande miljölagstiftning och Bengtsfors kommun tog därför, trots avsaknad av eget ansvar, på sig att som huvudman för EKA-projektet administrera och genomföra efterbehandling av EKA-området för att förhindra att föroreningarna orsakar framtida skador och olägenheter för människors hälsa och miljön.

EKA-områdets komplexitet gällande föroreningssituationen och områdets känsliga läge vid sjön Bengtsbrohöljens strand och dess omedelbara närhet till kraftverket med dess regleringsmagasin och utloppskanal blev styrande för projektets organisering och utredningar.

Efterbehandlingsentreprenader och återställning pågick åren 2005 – 2009 och har beskrivits i detalj i ”EKA-projektet – Projekt- och erfarenhetsrapport över sanering av kloralkalifabriken på EKA-området i Bengtsfors”. Föreliggande rapport syftar till att ge en sammanfattad rapportering och utvärdering av genomförd efterkontroll inom EKA-projektet som pågått fram till 2020 samt redovisa rekommendationer för framtida bevakning och kontroll av området.

2. Föroreningssituationen innan åtgärd

Kloralkalifabriken använde metalliskt kvicksilver i sin framställningsprocess och under åren den var i drift kom ca 11 000 kg av detta hamna i marken. Mycket av kvicksilvret dumpades på tomten efter användning i form av sk. elektroslam, men en hel del verkar ha spillts över golvet inne i fabriken. Andra föroreningar kopplade till kloralkalifabrikens verksamhet var ca 500 g dioxiner (klorerade dibensodioxiner och dibensofuraner) samt förhöjda koncentrationer av bly (Pb), koppar (Cu), zink (Zn) och andra hälsofarliga ämnen. PAH-föreningar (polyaromatiska kolväten) förekom också och uppvisade liknande spridningsmönster som dioxin och Hg, vilket stärker teorin även det är en biprodukt från kloralkalifabrikens verksamhet.

Utöver ovan nämnda föroreningar visade sig grundvattnet på EKA-området även innehålla perkloretylen (PCE, C₂Cl₄) och dess nedbrytningsprodukter såsom TCE (trikloretylen) och vinylklorid. Dessa kemikalier härrör från en kemtvättsverksamhet som verkade i de gamla fabrikslokalerna mellan 1955 -1975. En stor del av PCE-förekomsten är i fri fas, vilket har en högre densitet än vatten och därför perkolerar till större djup. Av den anledningen har förmodligen inte mängderna PCE på EKA-området nämnvärt påverkats av efterbehandlingsåtgärderna.

3. Beskrivning av saneringen och genomförda avhjälpande åtgärder

Målet med efterbehandlingsprojektet bestämdes till att avlägsna 90 % av källtermen kvicksilver och dessutom minska spridningen från området av kvarvarande Hg med 90 % och för dioxin med 85 %.



De förorenade massorna avlägsnades genom schaktning ned till olika nivåer inom området, beroende på hur djupt tidigare markundersökningar visat på förekomst av föroreningar. På vissa platser grävdes det till och med under grundvattennivån. De förorenade massorna transporterades till Sakab i Kumla för omhändertagande. Totalt har 5 300 transporter avlägsnat ca 46 700 ton massor, inklusive ca 10 ton kvicksilver, motsvarande ca 90 % av den totala källtermen, från området. Därefter genomfördes ett antal åtgärder i avsikt att minska spridningen av kvarvarande föroreningar till kraftverkskanalen och Bengtsbrohöljen samt till luft. Längs strandlinjen installerades partikelfilter och förstärkt erosionsskydd. På området anlades en avskärande dränering uppströms EKA-tomten och existerande ledningar injekterades eller togs bort. Resten av området återfylldes med rena massor.

PCE förekomsten på området sanerades inte, främst med hänsyn till de djup som förekomsten fanns på och den problematiken som vid tiden för sanering var förenade med sanering på stora djup med inblandning av grundvatten. I avsnitt 7 beskrivs den uppföljning som har gjorts av klorerade lösningsmedel inom ramen för efterkontrollen separat från övriga resultat. Det är av stor vikt att klargöra nu rådande situation eftersom PCE exkluderades i marksaneringen.

Som avslutande åtgärd installerades en bentonitmatta över de rena fyllnadsmassorna i syfte att begränsa mängden inträngande nederbörd. På den del som nu är EKA Miljörum skyddas detta tätskikt av minst 1,5 m jordmassor ovanpå vilket parken anlagts.

4. Borttagna och kvarvarande föroreningsmängder inom området

4.1 Borttagna mängder föroreningar

Sammanställningen (Tabell A) nedan visar beräknade mängder kvicksilver och dioxin borttagna och kvarlämnade på EKA-området. Mängderna har beräknats utifrån sammanlagt 1060 jordprover innan åtgärderna och uppgifter från Sakab över halter i omhändertagna massor. På grund av att den stora andelen kvicksilver i fri fas inte kommit med i analysen av jordproverna på ett representativt sätt, har den ursprungliga källtermen Hg (6 900 kg – 15 065 kg) beräknats med mycket hög felmarginal (Regnell & Ringdahl 2015:3).

Tabell A. Sammanställning av beräknade borttagna och kvarvarande mängder kvicksilver och dioxiner samt för övriga ämnen utan åtgärds mål (Regnell & Ringdahl 2015, Regnell 2020, Nilsson & Pyyny 2011:20).

Förorening	Beräknad borttagen mängd	Beräknad kvarvarande mängd
Kvicksilver (Hg)	10 000 kg (91 %)	1 000 kg
Dioxiner	350 g (70 %)	150 g
Arsenik	527 kg	233 kg
Bly	28 339 kg	3 692 kg
Kadmium	65 kg	36 kg
Koppar	29 100 kg	3 356 kg
Krom	1 020 kg	699 kg
Nickel	1 149 Kg	717 kg
PAH	2 557 kg	1 369 kg
PCE	Ej möjligt att beräkna	Ej möjligt att beräkna
Zink	16 157 kg	5 704 kg



5. Beskrivning av efterkontrollprogram

5.1 Sammanfattning av efterkontrollprogrammet

Syftet med efterkontrollen har främst varit att säkerställa åtgärdernas funktion. Programmet finns presenterat i *Rapport EKA 2013:3*. Det ursprungliga kontrollprogrammet, som startade i direkt anslutning till saneringen, anpassades i samband med att kommunen tog över efterkontrollen i egen regi 2014.

Som följd av utvärderingar av genomförda undersökningar har projektet fått anmäla vissa modifieringar av programmet under tidens gång. Samtliga kompletteringar har godkänts av finansiären och tillsynsmyndigheten. Kontrollen har pågått fram till och med hösten 2020.

Sammanfattningsvis har en omfattande uppföljning av grundvattenförhållandena gjorts. Syftet har varit att se att nivåerna är stabila och inte ändras på ett sätt som ökar risken för spridning.

Man har också bevakat parametrar i grundvatten för att säkerställa att föroreningarna inte förflyttas inom området. Den avskärande dräneringen, som har sitt utlopp i kraftverkskanalen, har kontrollerats kontinuerligt för att se den inte skadats eller satts igen. Utgående vatten från dräneringen har provtagits och analyserats. I programmet har också ingått att följa upp förhållanden i Bengtsbrohöljen. Dels med avseende på förflyttning av sedimenterat material genom uppföljning med sedimentfällor i systemet, provfiske, bottenfaunaundersökning samt kontroll att ingen spridning sker från EKA-området till intilliggande recipient.

Under 2020 beslutade projektet om större modifieringar av det ursprungliga programmet. Den planerade fiskundersökningen utökades, provtagning av sediment samt undersökning av sedimentens utbredning lades till programmet. Syftet var att få en klar uppfattning om fiskhälsa, sjöns status och föroreningssituationen i Bengtsbrohöljen nu när det gått flera år sedan området sanerades.

I efterföljande stycken redovisas huvuddelen programmet som utgjort grund för uppföljningen. Resultaten från nätprovfisket och bottenfaunaundersökningen återfinns i bilaga B och C.

5.2 Grundvattennivåer

För att verifiera att grundvattenförhållandena på EKA-området är stabila och inte ändras på ett sätt som ökar risken för spridning har grundvattennivån mätts två gånger per år i utvalda grundvattenrör.

Mätningen har skett med ljus- alternativt ljudlod samt med diverlogger. I samband med detta har även provtagning av grundvattnet genomförts för fältmätningar (konduktivitet, pH, syre och redox) och laboratorieanalys (metallförekomst, totalkvicksilver, metylkvicksilver, TOC/DOC, absorbans, dioxiner och klorerade alifater med nedbrytningsprodukten vinylklorid).

Som en del av åtgärdsentreprenaden installerades en dräneringsledning för att omdirigera tillrinnande grundvatten in till EKA-område. Dräneringsledningen är försedd med en avstängningsventil vid utloppet till kraftverkskanalen vilken normalt lämnas i öppet läge. Fortsatt



övervakning av dräneringsledningens funktionalitet har därför också varit en viktig punkt i kontrollprogrammet.

5.3 Hydrologiska förhållanden i Bengtsbrohöljen, vattenföring, termoklin samt meteorologiska förhållanden

Mätningarna syftar till att kartlägga hydrologiska variationer i Bengtsbrohöljen med omnejd och används som underlag för vattenbalansberäkningar, hydrogeologisk modellering, vidberäkning av masstransport och utvärdering av åtgärder.

Kontinuerlig mätning av vattennivån har gjorts med logger vid båtbyggen i anslutning till EKA-området 2 ggr/år. Lufttrycket har registrerats kontinuerligt med barodiver.

Termoklinnivåerna i Bengtsbrohöljens djuphåla har kartlagts genom att avläsa syre och temperatur momentant varje meter från djuphålans botten upp till vattenytan. Vattenföringsdata uppsamlas externt genom Bengtsfors kraftverks anteckningar samt genom Dalslands kanalsvattenvårdsförbund årliga rapport. Slutligen erhöles meteorologiska data från SMHI.

5.4 Vattenkvalitetsundersökningar i Bengtsbrohöljen

Genom vattenkvalitetsundersökningarna erhöles data som kunde jämföras med tidigare genomförda mätningar under EKA-projektet. Provtagningen har gjorts i Bengtsbrohöljens in- och utlopp 4 gånger per år. Laboratorieanalys på vattenproverna har utförts med avseende på metaller, totalkvicksilver, metylkvicksilver och fysikaliska-kemiska parametrar och dioxin.

5.5 Deposition av sediment, sedimentfällor

Provtagning av fritt svävande sediment har utförts 4 gånger per år i tre stationer vid sjöns inlopp för att kontrollera sedimenttransport via den sydgående strömmen samt i en station vid utloppet. Från varje mätstation har sediment insamlats från fällor placerade ca 1 m ovan botten för mätning av resuspension samt på halva vattendjupet för sedimenttransporten i sjön. Insamlat sediment har även analyserats med avseende på metaller inkl. kvicksilver samt fysikaliska-kemiska parametrar såsom kväve, fosfor, svavel, vikt och torrsubstans i mån av tillgång på sediment.

5.6 Geofysik sjömätning av sjön

En omfattande kartering utifrån batymetriska mätningar i Bengtsbrohöljen genomfördes 2019. Slutprodukten var ha en heltäckande djupkarta samt en karta där med tolkad hårda, mellanhårda och mjuka bottnar utifrån backscatter. Syftet var att lokalisera sammanhängande områden med lösa sediment som kan vara kontaminerade av dioxiner och kvicksilver.

5.7 Nätprovfiske och provtagning av sediment längs strandlinjen vid EKA-området och söderut

Provfiske genomfördes 2012 och 2019 enligt samma metodik som vid referens-undersökningarna år 2000 och 2003. Målsättning vid de utförda provfiskena har varit att beskriva fisksamhällets tillstånd vid given tidpunkt och påvisa eventuella förändringar över tid. I samband med nätprovfisket togs fiskar ut för analys av föreningar i fiskmuskel.



Samordnat med fiskundersökningen genomfördes en mindre sedimentprovtagning för att undersöka kvicksilver och grad av metylering i Bengtsbrohöljen.

Kompletterande undersökning av fisk och sediment

Under hösten 2019 utfördes kompletteringen av efterkontrollprogrammet i syfte att få mer vetskap om föreningsituationen i Bengtsbrohöljen. Undersökningen omfattade provtagning och analys av sediment och fisk avsedd att ge information om sedimentens roll för upptaget av metylkvicksilver i Bengtsbrohöljens fisk.

För att undersöka om de strandnära sedimenten är den huvudsakliga källan till det metylkvicksilver som tas upp i abborre i Bengtsbrohöljen fiskades abborre (8-11 cm) från 12 stationer fördelade runt sjöns strandlinje och analyseras med avseende på kvicksilver. En osäkerhet består i att inte endast totalmängden kvicksilver styr hur mycket metylkvicksilver som bildas i sediment. Därför utfördes analys av sediment med avseende på både totalkvicksilver och metylkvicksilver i närheten av de platser där abborre fångas.

Eftersom vattnet i Bengtsbrohöljen uppvisar låga metylkvicksilverkoncentrationer borde fisk som huvudsakligen lever av plankton hålla lägre kvicksilverhalter än fisk som tillhör bentiska näringskedjor. För att testa denna hypotes fiskades siklöja (15-25 cm) som huvudsakligen lever av plankton infångas från tre stationer i Bengtsbrohöljen.

5.8 Bottenfaunaundersökning och sedimentprovtagning av djuphålorna i Bengtsbrohöljen

Provtagning av bottenfauna (profundalfauna) utfördes 2020 i 10 stationer i sjön. Syftet med provtagningen var att undersöka biologiska effekter och föroreningshalter i ytliga ostörda sediment, vilket är ett bra sätt att se förändringar i belastningssituationen av föroreningar över tid. Provtagningen på bottenfaunan utfördes med Ekmanhuggare, 5 hugg per provpunkt. Proverna sållades på plats och konserverades i etanol för vidare utsortering och artbestämning av djuren på laboratoriet.

Sedimentprov togs ut från två stationer i Höljen, den centrala djuphålan och den södra djuphålan. I samband med sedimentprovtagningen mättes temperatur och syrgas genom hela vattenpelaren för att bestämma skiktningförhållandena i den centrala djuphålan. Sedimentproverna siktades och en propp analyserades med avseende på dioxin, metaller, total C, total N och glödförlust. Dessutom gjordes åldersdatering.

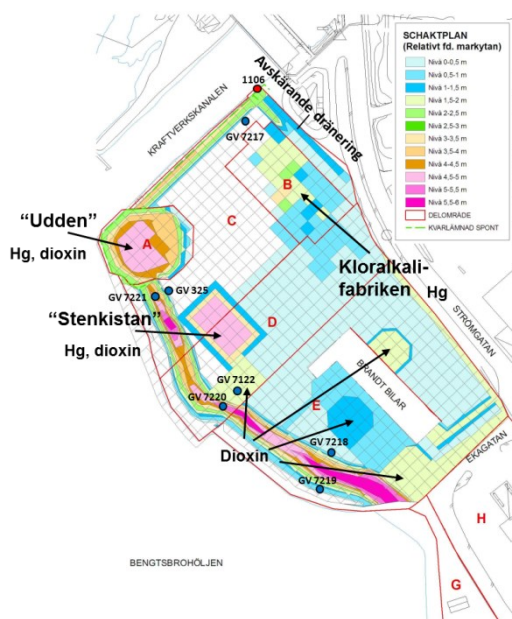
I samband med undersökningen mättes vattnets temperatur, siktdjup och syreförhållanden vid sjöns djuphåla.



6. Resultat och utvärdering av efterkontrollen

6.1 Kvicksilver i grundvattnet på EKA-området

Kvicksilverhalter i storleksordningen $\mu\text{g/L}$ har uppmätts på flera platser inom EKA-området. I närheten av den plats där kloralkalifabriken låg (B-området) innehåller grundvattnet främst löst kvicksilver, inklusive i den avskärande dräneringen som behandlas separat nedan. Detta beror troligen på att grundvattnet kommer i kontakt med metalliskt kvicksilver. GV-rör 7217 speglar dessa förhållanden. På ”Udden” (A-området) och i närheten av platsen där den så kallade ”stenkistan” låg (inom både C- och D-området) är kvicksilverhalterna också höga, men här föreligger i stort sett allt kvicksilver bundet till partiklar. Det rör sig troligen här om oxiderat kvicksilver som bundits till någon form av partiklar i elektrodsлам, eller att kvicksilvret fallit ut med andra ämnen. GV-rören 325 och 7122 speglar dessa förhållanden. I GV-rör 7122 har dock kvicksilver analyserats mer sporadiskt. Även i grundvattnet inom B-området tycks kvicksilvret vara oxiderat (inte löst kvicksilverånga), men i detta fall är det troligen fråga om kvicksilver som nyligen har oxiderat på ytan av metalliskt kvicksilver och sedan gått i lösning (Ref 1.). Andra grundvattenrör som berörs i denna rapport är 7218 nära Brandts bilar och 7219 – 7221. De sistnämnda rören sitter i partikelfiltret. Av dessa är 7220 och 7221 nyligen installerade. I Figur A som i grunden visar schaktningsplanen som styrde schaktningsarbetena visas nämnda rörs lägen samt ”hot spots” för kvicksilver och dioxin.

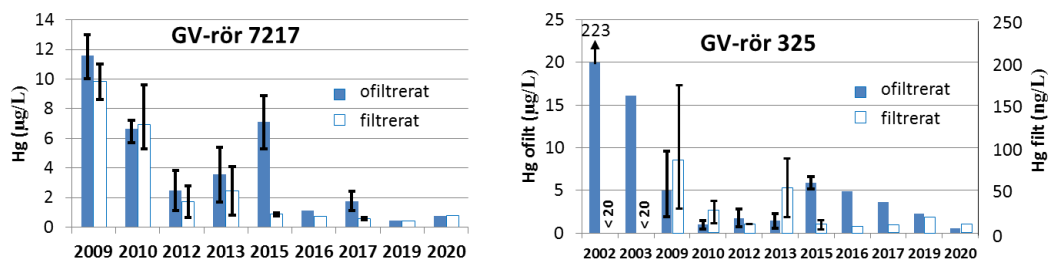


Figur A. Schaktningsplan som låg till grund för borttagandet av förorenade massor från EKA-området. ”Hot spots” för kvicksilver (Hg) och dioxin visas med pilar och lägen är markerade för de grundvattenrör i vilka halter av kvicksilver, andra tungmetaller och dioxinhalter samt vattenkemi har undersökts. Provtagningspunkten 1106 (utloppet av den avskärande dräneringen i kraftverkskanalen) är också angiven.

Generellt gäller för EKA-projektet att mätningarna före åtgärd underskattade kvicksilverhalterna i framförallt ofiltrerat vatten. Detta berodde främst på att proverna analyserades utan att först uppslutas. I synnerhet mätningar av prov med hög partikelhalt ger kraftigt underskattade värden när de inte uppslutas. De uppmätta halterna före åtgärd var trots detta höga. Höga kvicksilverhalter i



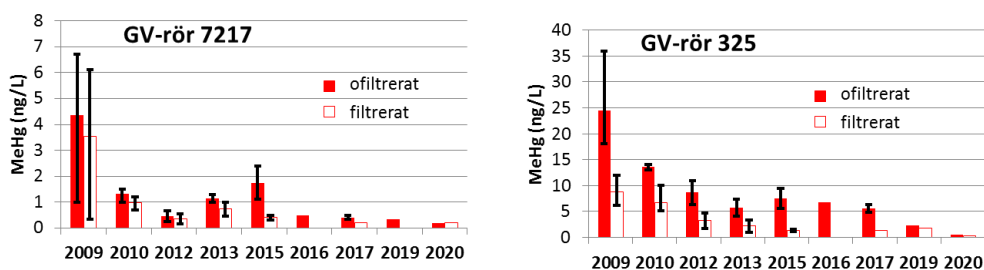
grundvattnet uppmättes även året efter att EKA-området var färdigsanerat (2009), troligen på grund av att schaktningsarbetena lett till ökad kontakt mellan grundvattnet och olika kvicksilverförekomster. Sedan dess har halterna sjunkit, med undantag för en period 2015-2016 då höga partikelhalter av okänd anledning förelåg i grundvattnet (Fig. B).



Figur B. Kvicksilverhalter (totalkvicksilver) i grundvattnet nära fabriksområdet (7217) och mellan ”Udden” och ”Stenkistan” (325). Notera olika skalor för filtrerat och ofiltrerat vatten för GV-rör 325. Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden (n = 2 – 4). I de fall variation ej visas var n = 1.

I rör 7217 förefaller kvicksilverhalterna ha stabiliserats vid c:a 1 µg/L. Denna halt är cirka tusen gånger högre än i Bengtsbrohöljens vatten (Tabell B). På grund av det låga utflödet av grundvatten i förhållandet till inflödet av vatten från uppströms liggande Lelång påverkar denna halt i grundvattnet inte kvicksilverhalten i Bengtsbrohöljens vatten påvisbart genom mätning. I GV-rör 325 har den lösta kvicksilverhalten genomgående varit låg, medan halterna av partikelbundet kvicksilver har sjunkit från mycket höga halter till ett par µg/L och lägre (Fig. B).

En liten del av kvicksilvret i grundvattnet utgörs av metylkvicksilver. Trots att halterna absolut sett är höga jämfört med bakgrundshalter i sjövattnet påverkar metylkvicksilvret i grundvattnet i än mindre grad än totalkvicksilvret halterna i Bengtsbrohöljen. Halterna är högre i GV 325 än i GV 7217, vilket troligen beror på högre organisk halt och därmed mikrobiell aktivitet i marken vid GV 325 än vid GV 7217. Liksom totalkvicksilverhalterna har metylkvicksilverhalterna i grundvattnet uppvisat en sjunkande trend (Fig. C).



Figur C. Metylkvicksilverhalter i grundvattnet nära fabriksområdet (7217) och mellan ”Udden” och ”Stenkistan” (325). Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden (n = 2 – 4). I de fall variation ej visas var n = 1.

Faktorer som kan tänkas påverka totalkvicksilverhalterna i grundvattnet är grundvattennivån, partikelhalten och utspädning med sjövattnet, det senare i synnerhet nära Bengtsbrohöljens strandlinje. Även höga grundvattenflöden borde kunna ge en viss utspädningseffekt. Det föreligger

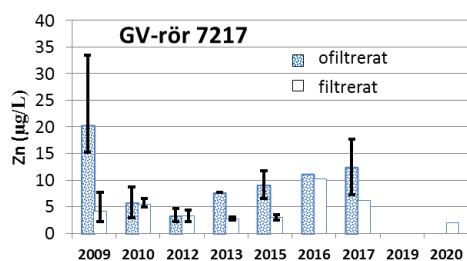
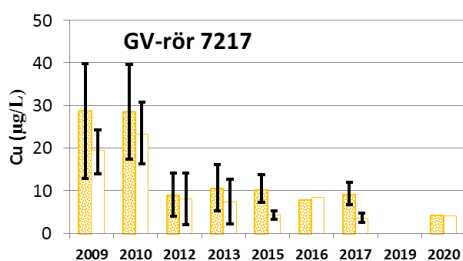
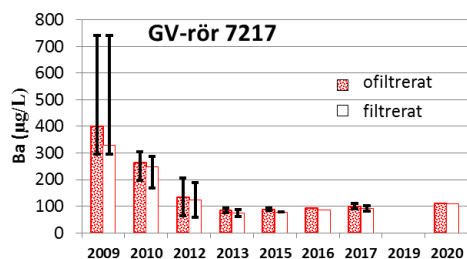
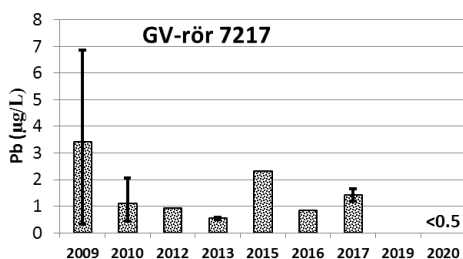


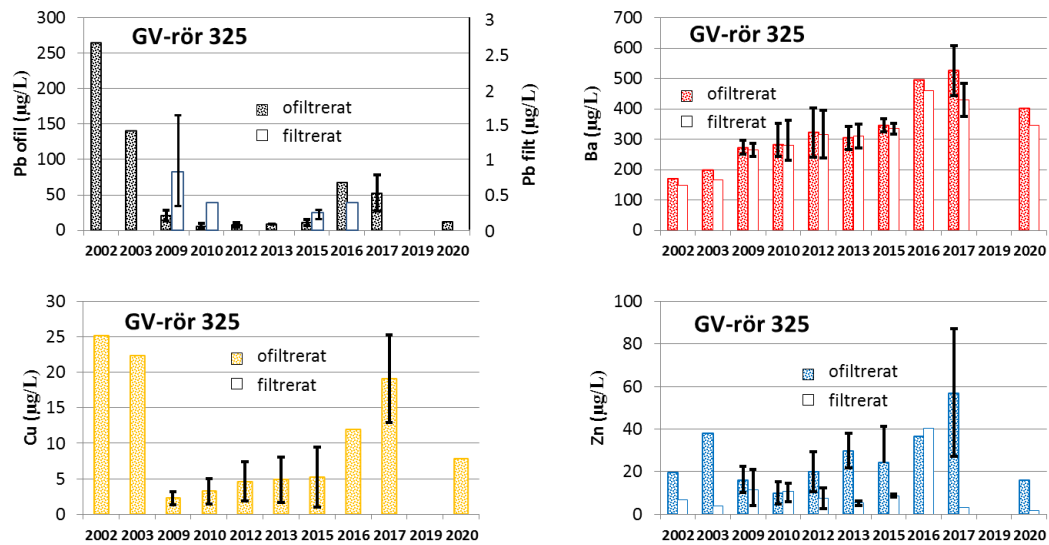
inga klara samband mellan kvicksilverhalten och dessa faktorer, ej heller när kombinationseffekter av flera eller alla dessa faktorer undersöks (multipel regression). Detta talar för att den nedåtgående tidstrenden av kvicksilverhalten i grundvattnet (Fig. B) är orsakad av minskad kontakt mellan grundvattnet och kvicksilver, en naturlig följd av avlägsnandet av c:a 90 % av kvicksilvret som fanns på området.

Vad som styr metylkvicksilverhalten är än mera komplext, eftersom mikrobiell aktivitet normalt spelar en stor roll. Det är ingen självklarhet att metylkvicksilverhalten sjunker med totalkvicksilverhalten, eftersom mikrobiell aktivitet snarare än mängden kvicksilver borde vara den begränsande faktorn. Det verkar dock som minskande totalkvicksilverhalter har lett till minskande metylkvicksilverhalter (Fig. B, C). En förklaring kan vara att huvuddelen av metylkvicksilvret bildas i kemiska reaktioner mellan oorganiskt kvicksilver (möjligen på ytan av metalliskt kvicksilver) och ämnen som avger en metylgrupp till kvicksilvret. Dock krävs troligen mikrobiell aktivitet för att producera de ämnen som tillsammans med oorganiskt kvicksilver bildar metylkvicksilver.

6.2 Övriga tungmetaller och arsenik i grundvattnet på EKA-området

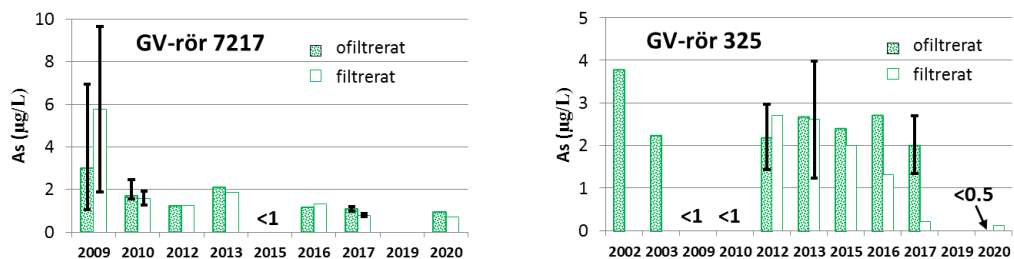
Främst bly och barium har uppvisat förhöjda halter i grundvattnet på EKA-området. Barium kan ha använts som fällningskemikalie i kloralkaliprocessen. Förklaringarna till blyförekomsten är okända. Även koppar och zink har uppvisat förhöjda koncentrationer. Generellt gäller dock att dessa metaller i jämförelse med kvicksilver uppvisar måttligt förhöjda halter (Tabell B). I jämförelse med kvicksilver är inte heller minskningen av halterna över tid lika klar (Fig. D). För de ”övriga tungmetallerna” gäller att halterna i ofiltrerat vatten troligen är underskattade till och med 2016. Först därefter uppslöts de ofiltrerade proverna. Bly är den av de nämnda metallerna som i störst omfattning är bunden till partiklar, medan barium är den metall som i störst omfattning föreligger i löst form. Barium kan emellertid fällas av främst sulfat och karbonat.





Figur D. Halter av ”övriga tungmetaller” (bly (Pb), barium (Ba), koppar (Cu) och zink (Zn) i grundvattnet nära fabriksområdet (7217) och mellan ”Udden” och ”Stenkistan” (325). Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden (n = 2 – 5). I de fall variation ej visas var n = 1. I GV-rör 325 låg kopparhalterna i filtrerat vatten genomgående under detektionsgränsen 1 µg/L. Värden saknas för 2019.

Arsenik (halvmetall) uppvisar liksom koppar och zink måttligt förhöjda halter (Fig. E, Tabell B).



Figur E. Halter av ”arsenik (As) i grundvattnet nära fabriksområdet (7217) och mellan ”Udden” och ”Stenkistan” (325). Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden (n = 2 – 4). I de fall variation saknas var n = 1. Värden saknas för 2019.

6.3 Halter av kvicksilver, övriga tungmetaller och arsenik i grundvattnet på EKA-området i förhållande till halter i Bengtsbrohöljens vatten samt bakgrundshalter för sjövattnet

I Tabell B anges bakgrundshalter för sjövattnet, halter uppmätta i grundvattnet på EKA-området och halter uppmätta i Bengtsbrohöljen för de undersökta tungmetallerna samt arsenik.

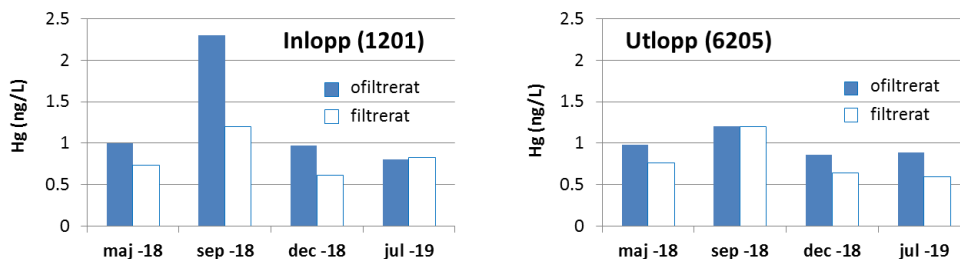


Tabell B. Halter av kvicksilver (Hg), metylkviksilver (MeHg), arsenik (As), barium (Ba), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) i angivna grundvattenrör och i Bengtsbrohöljens ytvatten (BBH). Bakgrundshalter för sjövattnet anges i kolumnen längst till höger.

	GV 325	GV 7122	GV 7217	GV 7218	GV 7219	BBH	Bakgrund
Hg (µg/L)	15.3 (0.6 - 223)	-	5.8 (0.42 - 13.0)	0.16 (0.02 - 0.4)	0.04 (0.006 - 0.11)	0.0012 (0.0009 - 0.0016)	0.001
MeHg (ng/L)	11.5 (0.19 - 36)	-	1.64 (0.19 - 6.7)	2.44 (0.35 - 5.5)	0.47 (0.14 - 1.4)	<0.06	0.05
As (µg/L)	2.48 (1.34 - 3.78)	0.64 (0.64 - 0.64)	1.83 (0.945 - 6.95)	2.28 (1.18 - 6.87)	1.19 (0.54 - 1.83)	0.91 (0.63 - 1.19)	0.2
Ba (µg/L)	326 (170 - 609)	131 (113 - 163)	214 (64 - 741)	222 (49 - 293)	31 (9 - 91)	6.2 (5.8 - 6.7)	22*
Cu (µg/L)	8.1 (1.0 - 25.3)	8.3 (1.8 - 21.6)	18.4 (4.1 - 39.8)	18.2 (1.1 - 128)	11.5 (1.8 - 39.2)	2.0 (1.6 - 2.4)	0.3
Pb (µg/L)	39.5 (3.2 - 264)	4.04 (0.39 - 19.9)	1.88 (0.33 - 6.87)	5.32 (0.71 - 38.1)	0.98 (0.23 - 2.68)	<0.5	0.05
Zn (µg/L)	25.4 (4.8 - 87.1)	16.2 (3.4 - 49.7)	11.2 (2.18 - 33.5)	59.7 (6.3 - 373)	6.9 (2.7 - 24.1)	4.7 (4.5 - 4.9)	1

*Värde framtagit för holländska sjöar.

Som väntat är kvicksilver den metall vars halter i grundvattnet på EKA-området är mest förhöjda i förhållande till bakgrundsvärdet för sjövattnet. Samtidigt kan man notera att både totalkviksilver- och metylkviksilverhalten ligger på bakgrundsnivåer i Bengtsbrohöljens vatten. Detta indikerar att EKA-området har en marginell effekt på kvicksilverhalten i Bengtsbrohöljens vatten och att samma sak gäller läckaget av kvicksilver från sedimenten i sjön, trots att dessa är påtagligt förorenade av kvicksilver. Samma slutsats kan man dra av det faktum att kvicksilverhalten i sjöns utflöde inte är högre än i inflödet (Figur F).



Figur F. Totalkviksilverkoncentrationer i ofiltrerat och filtrerat vatten i Bengtsbrohöljens inlopp och utlopp under 2018.

Inte heller de övriga tungmetallerna eller arsenik uppvisade högre halter i utloppet än i inloppen till Bengtsbrohöljen (data visas ej).

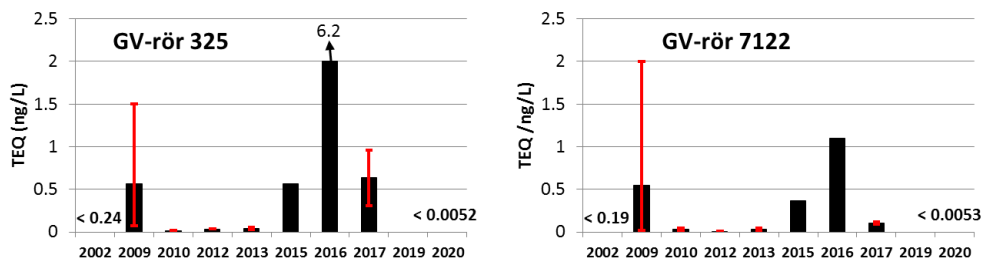
6.4 Dioxin i grundvattnet på EKA-området

Förekomsten av dioxinämnen (polyklorerade dibensodioxiner och dibensofuraner) på EKA-området förklaras av att dessa bildades på grafitelektrodena i kloralkalifabriken genom reaktioner mellan grafiten och kloridjoner. Genom dessa reaktioner bildas främst dibensofuraner med fyra eller fem kloratomer (Ref.2). Den förening som stadigt uppvisar högst halter på EKA-området är 2,3,7,8-tetraklordibensofuran (2,3,7,8-TCDF). Denna förening dominerar även i sedimenten och i fisken i Bengtsbrohöljen. Enligt SAKAB som tog hand om de förorenade massorna indikerade förekomst av grafitflagor höga dioxinhalter (Thomas von Kronhielm, pers. kom.). En viss skillnad i dioxinmönster mellan olika delar av EKA-området kan dock tyda på att kloralkalifabriken inte var den enda källan till dioxin på området. Källtermen dioxin i enheten TEQ (toxiska ekvivalenter enligt



WHO 2005) har reducerats med c:a 65 % (troligen mer) genom bortschaktningen av förorenade massor.

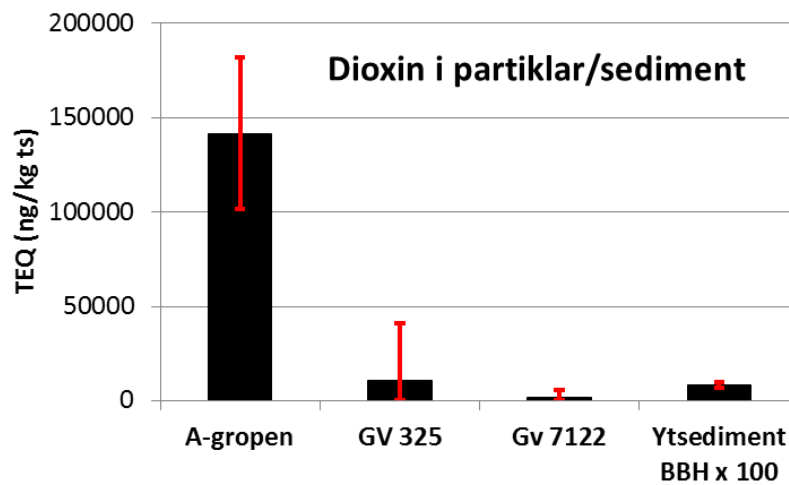
I grundvattnet tycks höga partikelhalter orsaka höga dioxinhalter. Mycket höga dioxinhalter under 2016 sammanföll med hög partikelhalt och partiklar med hög organisk halt. Dock är sambandet mellan dioxin- och partikelhalt överlag inte starkt, ej heller mellan partiklarnas organiska halt och dioxin (data visas ej). Av grundvattenrören på EKA-området som ingår i efterkontrollprogrammet är det 325 och 7122 som genomgående uppvisat högst halter. Någon tydlig minskning av dioxinhalterna över tid kan inte ses för dessa rör (Fig. G).



Figur G. Dioxinhalter uttryckt i toxiska ekvivalenter (TEQ) i ofiltrerat vatten från de indikerade grundvattenrören. Variationen kring medelvärdet visar max- och minvärden (n = 2 – 4). I de fall variation saknas var n = 1. Värden saknas för 2019.

Eftersom dioxin är starkt bundet till partiklar är sannolikt partiklars rörlighet och benägenhet att transporteras med grundvatten en faktor som styr dioxinhalterna i grundvattnet. De mest lättlösliga partiklarna kan emellertid innehålla mindre dioxin än mindre lättlösliga partiklar, vilket skulle kunna förklara otydliga samband mellan partikelhalt och dioxinhalt och att ingen tydlig nedgång i grundvattnets innehåll av dioxin kan ses. Med tanke på att både dioxinhalterna (Fig. G) och kvicksilverhalterna (Fig. B) var höga under perioden 2015 -2017 är det möjligt att kvarvarande elektroslam med högt innehåll av både kvicksilver och dioxin mobiliserades under denna period.

När både grundvattnets partikelhalt och dioxinhalt är känd kan man räkna ut partiklarnas dioxinhalt. I Figur H jämförs dioxinhalten i partiklar i GV rören 325 och 7122 efter åtgärd (från 2009 och framåt) med dioxinhalterna i partiklar från en provgrop som grävdes på A-området ("Udden") före åtgärd och med nyligen uppmätta dioxinhalter i ytsediment från Bengtsbrohöljens djuphål (2020).



Figur H. Dioxinhalter uttryckt i toxiska ekvivalenter (TEQ) i partiklar suspenderade i provgrop på A-området ("Udden") före åtgärd, i vatten från de indikerade grundvattenrören efter åtgärd, samt i ytsediment (0 – 1 cm) från den centrala och södra djuphålan i Bengtsbrohöljen 2020. Den senare halten har multiplicerats med 100 för att synas i grafen. Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden (n = 2 för A-gropen och ytsedimentet, samt 11 respektive 13 för grundvattenrören).

Av Figur H kan man utläsa att dioxinhalterna var mycket högre i provgropen på "Udden" som grävdes före åtgärd än i partiklarna i GV-rören 325 och 7122 efter åtgärd. En möjlig förklaring är att inte bara de mest lättlösliga partiklarna suspenderades i vattnet i provgropen, men avlägsnandet av dioxin från EKA-området bör ha bidragit till de lägre dioxinhalterna i grundvattenrören än i provgropen. Figur H visar också att dioxinhalterna i Bengtsbrohöljens ytsediment i de centrala delarna av sjön är ca 100 ggr lägre än i partiklarna i grundvattenrören. Med tanke på att partiklar uttransporterades med grundvatten eller genom erosion till Bengtsbrohöljen rimligen utgör en försvinnande liten del av alla partiklar som sedimenterar i sjön (se nedan) har sannolikt EKA-området i dagsläget ändå en marginell effekt på dioxinhalterna i Bengtsbrohöljens sediment. Dessutom är det rimligt att anta att partikelfiltret reducerar uttransporten av partiklar med grundvattnet.

Dioxinhalterna i partiklarna i provgropen kan vara representativa för de partiklar som spreds från EKA-området under den period då föroreningsspridningen från EKA-området var som värst. Jämfört med dagsläget spreds då dessutom sannolikt mycket mer partiklar från EKA-området, eftersom erosionsskydden var undermåliga och partikelfilter saknades. Men även då var sedimenttillväxten i Bengtsbrohöljens centrala djuphåla inte tydligt påverkad av partikelspridningen från EKA-området (se sedimentavsnitten 6.7 - 6.9). Om man utgår från dioxinhalten i A-gropens partiklar behövs bara att 1 % av den totala sedimentationen utgörs av dessa partiklar för att förklara den högst uppmätta dioxinhalten i Bengtsbrohöljens centrala djuphåla (3 – 5 cm) år 2000. Denna halt (1300 ng/TEQ/kg ts) var 17 ggr högre än den halt (76 ng TEQ/kg ts) som uppmättes i ytskiktet (0 – 1 cm) i den centrala djuphålan år 2020. Endast detta skikt och skiktet 1 – 2 cm (91 ng TEQ/kg ts) mättes med avseende på dioxin 2020. Troligen är det i dagsläget resuspension av förorenade sediment i EKA-områdets närområde och från strandnära sediment och inte partikelspridning från EKA-området som utgör huvudkällan till dioxinet som sedimenterar över den centrala djuphålan.

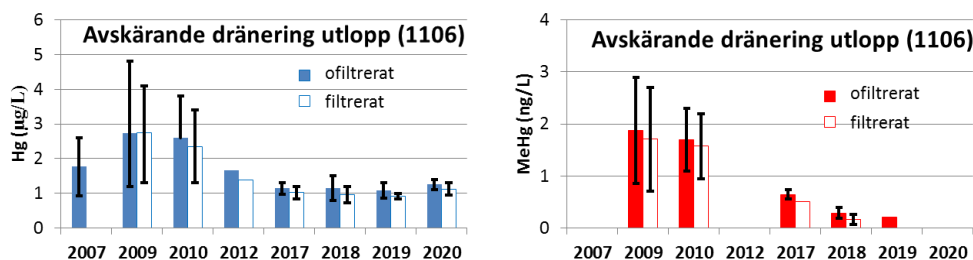


Uppgifter om dioxinhalter i Bengtsbrohöljens inlopp och utlopp efter åtgärd saknas. Sådana undersökningar utfördes emellertid före åtgärd (2001 – 2003). Dessa indikerade att dioxinföreningen 2,3,7,8 TCDF (den dioxinförening som dominerar på EKA-området) ökade vid vattnets passage genom Bengtsbrohöljen med c:a 11 mg/år. Om detta berodde främst på pågående spridning från EKA-området eller spridning från sedimenten i sjön går inte att säga.

6.5 Den avskärande dräneringen

Den avskärande dräneringen som omger det sanerade området anlades 2007 för att minska grundvattenflödet genom EKA-området under höglödesperioder. Eftersom den anlades på ungefär medelnivån för grundvattnet är dess dränerande effekt inte så stor. Den del som här diskuteras är belägen strax ovanför fabriksområdet och mynnar ut i kraftverkskanalen i punkten 1106 (Fig. A). Det årliga utflödet genom denna punkt som ligger utanför partikelfiltret ligger på ungefär 10 000 m³, vilket är i paritet med det totala grundvattenutflödet från det sanerade EKA-området till Bengtsbrohöljen/kraftverkskanalen. Huvuddelen av vattnet utgörs troligen av förbiströmning av vatten runt kraftverksdammen samt grundvatten från jordlager inom fabriksområdet. Det senare förklarar att halterna av löst kvicksilver är höga (Fig. I). Höga halter löst kvicksilver vittnar om kontakt mellan vattnet och metalliskt kvicksilver.

Liksom för GV-rör 7217 (Fig. C) som ligger i anslutning till fabriksområdet har kvicksilverhalterna i den avskärande dräneringen minskat och har stabiliserats på en liknande nivå, ca 1 µg/L. Troligen ledde schaktningsarbetena till ökad kontakt mellan grundvattnet och metalliskt kvicksilver som därefter har minskat över tid. Metylkvicksilverhalterna som också har minskat över tid är nu ca en faktor 10 högre än i Bengtsbrohöljen, att jämföra med en faktor 1000 högre för totalkvicksilvret. Överlag gäller för EKA-området att totalkvicksilverhalterna är betydligt mer förhöjda än metylkvicksilverhalterna. Därmed har det alltid varit spridningen av kvicksilver totalt sett och inte av metylkvicksilver som har varit huvudproblemet. På EKA-området föreligger mängden kvicksilver i kraftigt överskott (även efter åtgärd) i förhållande till potentialen att metylera det. När kvicksilvret sprids ut i sjön och längre ner i sjösystemet kan det metyleras och tas upp av vattenorganismer.



Figur I. Halter av kvicksilver och metylkvicksilver i filtrerat (0.45 µm) och ofiltrerat vatten i utloppet av den avskärande dräneringen i kraftverkskanalen. Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden (n = 2 – 4). I de fall variation ej visas var n = 1.

Dioxinhalterna har vid mätningar varit under detektionsgränsen och därför inte mätts regelbundet. Den senaste mätningen (2018-07-18) visade att dioxinhalten underskred 0.0043 ng TEQ/L. Däremot



har PCE och dess nedbrytnings uppmätts i dräneringsvattnet (se avsnitt om PCE, avsnitt 7), vilket rimligen förklaras av att grundvatten från fabriksområdet kommer in i dräneringen.

6.6 Partikelfiltret

Partikelfiltret består i huvudsak av 0-63 (krossad morän), ett bottenlager av stensmjöl och därunder en vävd geotextilduk. Dess relativa uppbyggnad av dessa material skiljer sig mellan olika sträckningar av filtret. Ett erosionsskydd mot Bengtsbrohöljen säkrar filtret mot erosion.

Filtrets funktion är att förhindra uttransporten av partikelbundna föroreningar. Det innehåller inga sorberande ämnen. Däremot bildas sannolikt en biofilm i partikelfiltret bestående av bakterier och arkéer och av dem utsöndrade exopolymerer som kan binda olika lösta ämnen. En ej önskvärd effekt av biofilmen är metylering av kvicksilver. Som beskrivs nedan är detta dock inte ett allvarligt problem. Ett potentiellt allvarligt problem är att filtret efterhand sätter igen som ett resultat av biofilmetablering och utfällning av järn- och manganoxider. Igensättning skulle kunna innebära att grundvattnet söker sig andra vägar än genom filtret och/eller att kanaler bildas i filtret.

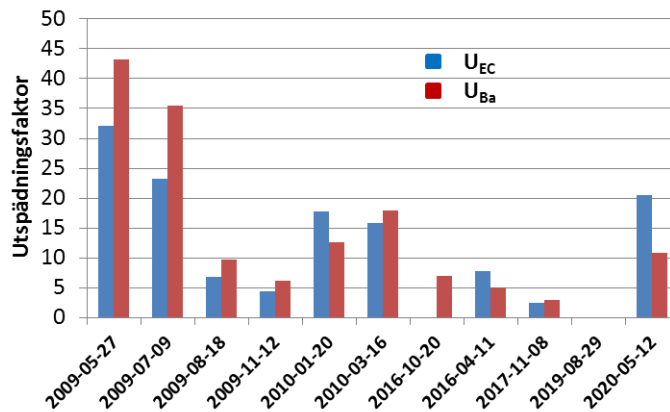
Sedan 2009 har det varit möjligt att få en uppfattning om partikelfiltrets effekt genom att mäta föroreningshalter i GV-röret 7218 strax innanför filtret och i GV-röret 7219 som är placerat i filtret (Fig, A). Ett problem är att intrång av vatten från Bengtsbrohöljen kan påverka halterna i synnerhet i GV-röret i filtret som ligger närmast sjön. För att kompensera för detta kan man utnyttja skillnader i elektrisk konduktivitet (EC) mellan GV-rören 7218 och 7219 och Bengtsbrohöljen. Det får då antas dels att vattnet i 7218 är representativt för det vatten som flödar in i filtret vid 7219 och att konduktiviteten inte ändras av passagen genom filtermaterialet. Ämnet barium (Ba) kan utnyttjas för samma ändamål, eftersom bariumhalterna är betydligt högre i grundvattnet än i Bengtsbrohöljen (BBH) och barium i liten utsträckning binder till partiklar. För att beräkna utspädningsfaktorn (U) används ekvation 1.

$$U = 1/x \quad (\text{Ekv. 1})$$

där x är andelen vatten från 7218 i 7219. Beräkningen av x ges i ekvation 2:

$$EC_{7219} = [xEC_{7218} + (1-x)EC_{BBH}] \quad (\text{Ekv. 2})$$

Filtreffekten för ett givet ämne kan sedan beräknas som skillnaden mellan uppmätt halt i 7219 och den halt man skulle få om endast utspädningen förklarar skillnaden i halt mellan 7218 och 7219. Genom att dividera denna skillnad med halten i 7218 och multiplicera med 100 får man filtreffekten uttryckt i procent. Värden på U vid de olika mätningarna i GV-rören 7218 och 7219 visas i Figur J.



Figur J. Utspänningsfaktorer vid jämförelse av den elektriska konduktiviteten (EC) respektive bariumhalten i GV-rören 7218 och 7219 och i Bengtsbrohöljen. Värden saknas för året 2019. Vad utspänningsfaktorerna visar är i vilken utsträckning halter i GV-rör 7219 har späts ut med vatten från Bengtsbrohöljen i förhållande till vattnet i GV-rör 7218.

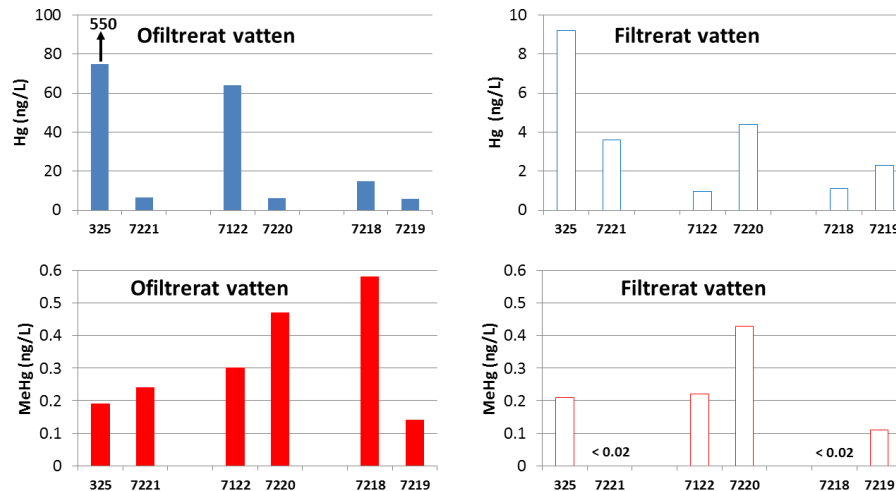
Den troligen största felkällan vid beräkning av utspänningsfaktorn är att vattnet som flödar in i filtret inte är representativt för det vatten som flödar in i GV-röret strax innanför filtret, exempelvis som ett resultat av relativt snabba förändringar i flödet av grundvatten. De högsta utspänningsfaktorerna i Figur J skulle således kunna förklaras av att vattenkvaliteten i GV-rör 7218 har förändrats (bl. a. innebärande högre EC och bariumhalter) utan att denna förändring hunnit nå GV-rör 7219. Det finns således risk att utspänningsfaktorerna underskattas eller överskattas som ett resultat av relativt hastiga förändringar i grundvattenflöden. Möjligen är det rekommendabelt att utnyttja genomsnittsvärden för utspänningsfaktorn snarare än enskilda värden vid beräkning av filtereffekten. Genomsnittet för utspänningsfaktorerna i Figur J är vid användandet av EC som indikator 14.6 och vid användandet av bariumhalterna som indikator 15.1.

Rören 7220 och 7221 installerades nyligen i filtret för att kunna göra motsvarande beräkningar av filtereffekten vid GV-rören 7122 respektive 325 (Figur A). Vid mätningar som gjordes i maj 2020 visade det sig emellertid att EC och bariumhalterna var lika höga (snarare något högre) i rören i filtret som i GV-rören innanför filtret. För 7218 och 7219 var samtidigt som tidigare EC och bariumhalten högre i GV-röret 7218 än i GV-röret 7219 vilket motsvarade en utspänningsfaktor på 20.5 enligt EC-mätningarna och 10.9 enligt bariummätningarna. En möjlig förklaring är att filtermaterialet kring GV-rören 7220 och 7221 innehåller lösliga salter, inklusive bariumsalter. Det förefaller således som att information om utspädning inte kan erhållas med hjälp av de nya rören i partikelfiltret.

Halterna av kvicksilver och dioxin var i maj 2020 mycket lägre än tidigare i GV-rören 325, 7122, 7218 och 7219. Dioxinhalten i samtliga dessa rör och i de nya GV-rören 7220 och 7221 låg under detektionsgränsen (< 0.005 ng TEQ/kg). För kvicksilver i ofiltrerat vatten låg halten lägre i filterröret än i röret innanför filtret vid samtliga tre platser. Det är anmärkningsvärt att kvicksilverhalterna i filterrören låg så lika i filtret samtidigt som halterna i grundvattnet innanför



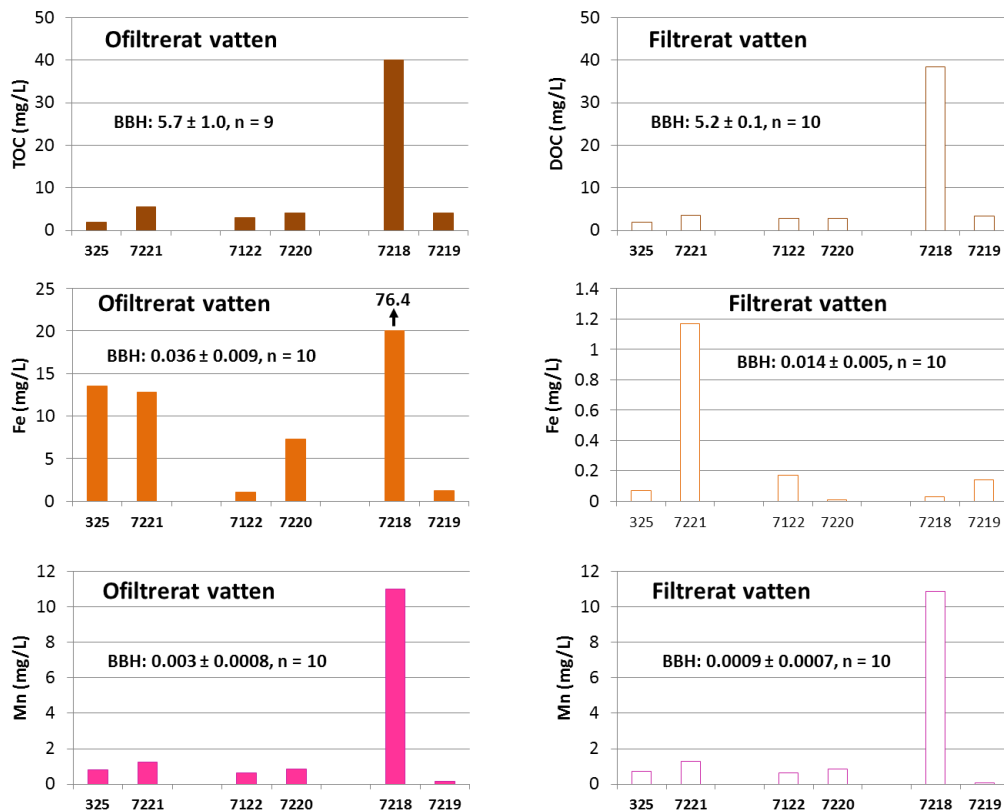
filtret varierade starkt mellan de tre platserna (Figur K). I filtrerat vatten låg emellertid kvicksilverhalterna inte genomgående högre innanför än i filtret, vilket tyder på att partikelbundet kvicksilver frigörs i filtret, troligen som ett resultat av mikrobiell aktivitet.



Figur K. Total- och metylkvicksilverhalter i ofiltrerat och filtrerat vatten (< 0.45 µm) i GV-rör innanför filtret (vänstra stapeln i respektive par) och i filtret (högra stapeln i respektive par) vid mätningar i maj 2020.

Metylkvicksilverhalterna var liksom totalkvicksilverhalterna i filtrerat vatten inte genomgående högre innanför än i filtret och det förelåg inget samband mellan metylkvicksilver- och totalkvicksilverhalterna (Figur K). Dessa iakttagelser indikerar att den mikrobiella aktiviteten och inte totalkvicksilverhalten har störst inverkan på metylkvicksilverhalten. De indikerar också att den mikrobiella aktiviteten är högre än innanför filtret, möjligen med undantag för GV-rören 7218 och 7219. I filtret sker en blandning av sjövattnet och grundvattnet, vilket troligen leder till förhållanden som liknar de i hyporheiska zoner kring vattendrag där den mikrobiella aktiviteten och metyleringen av kvicksilver ofta är högre än utanför dessa zoner (Ref. 3).

Halter av organiskt kol (TOC/DOC), järn (Fe) och mangan (Mn) i ofiltrerat och filtrerat vatten kan ge information om mikrobiell aktivitet och redox-förhållanden. I Figur L visas halter av dessa ämnen uppmätta den 17 maj 2020 i GV-rören innanför och i filtret.



Figur L. Halter av organiskt kol (TOC/DOC), järn (Fe) och mangan (Mn) i ofiltrerat och filtrerat vatten (< 0.45 µm) i GV-rör innanför filtret (vänstra stapeln i respektive par) och i filtret (högra stapeln i respektive par) vid mätningar i maj 2020. I varje delfigur anges halter (medel ± 1 standardavvikelse) som uppmätts i Bengtsbrohöljen 2017 - 2018.

Med undantag för organiskt kol var halterna genomgående betydligt högre i GV-rören än i Bengtsbrohöljen. Endast i GV-rör 7218 var halten av organiskt kol högre än i Bengtsbrohöljen. I detta rör var även järn- och manganhalterna mycket höga, där järnet var partikulärt medan manganet var löst. Även vid tidigare mätningar har organiskt kol, järn och mangan uppvisat höga halter i detta rör, men vid de tidigare mätningarna var även huvuddelen av järnet i löst form. Troligen var redoxpotentialen högre i 7218 i maj 2020 än vid de tidigare mätningarna. Eftersom vattenproverna filtrerades i fält finns igen anledning att tro att järn fälldes ut i proverna vid mätningen 2020.

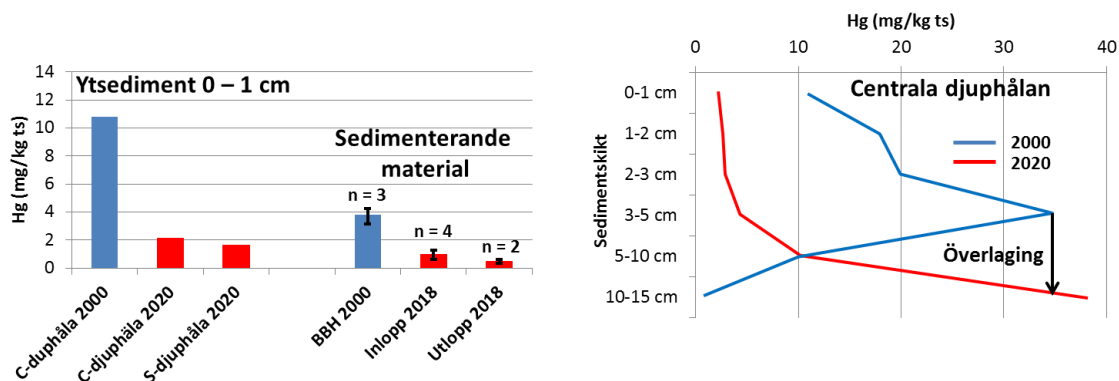
Den låga manganhalten i filtrerat vatten från GV-rör 7219 skulle kunna förklaras av en utspädning med Bengtsbrohöljens vatten. Det skulle emellertid krävas en utspädningsfaktor på 128, vilken förefaller orimligt hög jämfört med de värden som räknas fram utgående från bariumhalterna och EC (se ovan). Troligen har därför mangan oxiderats och fallit ut i filtret. Vid GV-rören 325 och 7122 tyder manganhalterna innanför och i filtret inte på att mangan fälls ut i filtret, men förekomst av mangan i filtermaterialet skulle kunna dölja att utfällning av mangan sker. Med tanke på att järnhalterna är mycket högre än manganhalterna är utfällning av järn ett större potentiellt problem än utfällningen av mangan. De järnhalter som uppmättes innanför och i filtret i maj 2020 (Figur L) tyder dock icke på någon omfattande järnutfällning i filtret. Endast vid GV-rör 7122 var den lösta järnhalten högre innanför än i filtret, vilket skulle kunna ha orsakats av järnutfällning i filtret men



också av en utspädning med vatten från Bengtsbrohöljen. Tidigare mätningar av löst järn i GV-rören 7218 och 7219 tyder emellertid på en omfattande järnutfällning i filtret (data visas ej). Man kan därför inte utesluta att järnutfällning på sikt skulle kunna leda till igensättning, i synnerhet där järnhalterna är höga innanför filtret.

6.7 Kvicksilver i sediment och sedimenterande material i Bengtsbrohöljen

Undersökningar av sediment och sedimenterande material utfördes under 2000 – 2003 i Bengtsbrohöljen. Genom att jämföra de kvicksilverhalter som då uppmättes med de som uppmättes under perioden 2018 – 2020 får man en uppfattning om hur fort kvicksilverhalterna sjunker i sjön. Som framgår av Figur M har halterna av kvicksilver sjunkit avsevärt (med c:a 80 %) mellan dessa perioder i såväl sedimenterande material som i ytsediment djuphålorna.



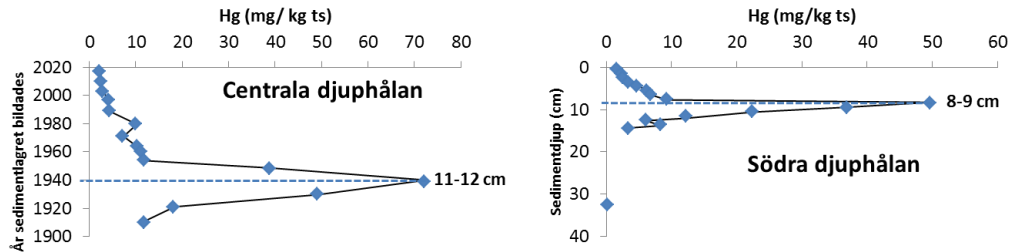
Figur M. Vänstra figuren: Kvicksilverhalter i ytsediment i Bengtsbrohöljens djuphålor (C: centrala, S: södra) år 2000 och 2020 samt i sedimenterande material i Bengtsbrohöljen år 2000 och i Bengtsbrohöljens inflöden (2302, 2303, 3001) och utlopp (3002) år 2018. Variation kring medelvärden visar min- och maxvärden. När variation saknas är n=1. Högra figuren: Kvicksilverhalter i olika sedimentskikt i Bengtsbrohöljens centrala djuphåla åren 2000 och 2020. Pilen visar att de högsta kvicksilverhalterna har överlagrats med nytt sediment.

Eftersom kvicksilverhalten är något lägre i det sedimenterande materialet än i ytsedimentet i djuphålorna kan man anta att kvicksilverhalterna i Bengtsbrohöljens ytsediment kommer att sjunka ytterligare. Man kan vidare notera att de uppmätta kvicksilverhalterna i sedimenterande material är något lägre i utloppet än i inloppet, vilket tyder på att Bengtsbrohöljen undandrar kvicksilver när vatten passerar genom sjön, åtminstone vid mättillfällena 2018 (Figur M). Även analyserna av kvicksilver i inflödande och utflödande vatten tyder på detta, eftersom kvicksilverhalten i ofiltrerat vatten var något högre i inflödet än i utflödet (Figur F). Höga flöden som orsakar resuspension av sediment borde emellertid kunna leda till ökad kvicksilvertransport till nedströms liggande vatten.

Genom att studera haltprofiler i djuphålornas sediment samt åldersbestämna sedimentskikten får man en bild av hur kvicksilverföroreningen av sjön har ändrats över tid. I den centrala djuphålan var kvicksilverhalten högst i skiktet 11-12 cm vars mittpunkt ålder bestämdes till 1939 (Figur N). Eftersom kloralkalifabriken stängdes ner 1925 har tydligen läckaget av kvicksilver från EKA-området fortsatt att öka under avvecklingen av verksamheten. Liknande förhållanden har noterats i andra undersökningar (Ref. 4). Sedimentet i den södra djuphålan åldersbestämde inte. Den högsta



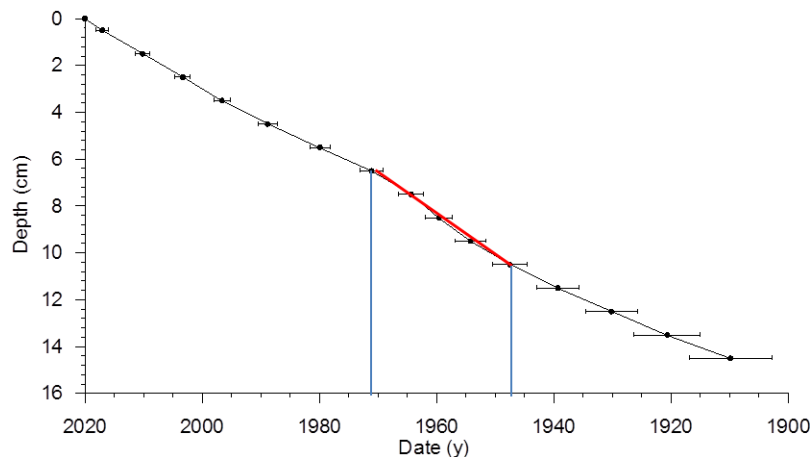
kvicksilverhalten uppmättes längre upp i sedimentkärnan (8-9 cm), vilket kan förklaras med lägre sedimenttillväxt till följd av det mindre vattendjupet.



Figur N. Kvicksilverhalter i sedimentkärnor tagna i maj 2020 från den centrala och södra djuphålan i Bengtsbrohöljen. Sedimentskikten i den centrala djuphålan bestämdes utifrån mätningar av ^{210}Pb -aktivitet.

Sedimenttillväxten (c:a 1mm/år) tycks ha varit tämligen konstant över tid, med undantag för en period från slutet av 40-talet till i början av 70-talet då en viss ökning av denna tycks ha ägt rum (Figur O). Troligen har därför partikelspridning från EKA-området inte i någon större omfattning påverkat sedimenttillväxten i sjön, i enlighet med förda resonemang i avsnittet om dioxin i grundvatten. Följaktligen går det inte att på något enkelt sätt genom mätningar komma fram till i vilken utsträckning åtgärderna på EKA-området har minskat partikelspridningen till Bengtsbrohöljen.

Figur N visar tydligt att kvicksilverhalten i partiklar som sedimenterade ner till djuphålor minskade över tid långt före åtgärderna på området hade påbörjats. Minskningen i de sedimenterande partiklarnas kvicksilverhalt verkade emellertid ske något långsammare åren före än åren efter åtgärderna på EKA-området. Från skiktet 2 – 3 cm som avsattes åren 2002 – 2008 till skiktet 1 – 2 cm som avsattes 2008 – 2014 minskade kvicksilverhalten med 0.24 mg/kg ts (minskning med 9 %) i den centrala djuphålan. Eftersom minskningen var större (0.41 mg/kg ts = 16 %) mellan 1 – 2 cm skiktet och 0 – 1 cm skiktet (det senare avsattes 2014 – 2020) tycks kvicksilverhalten minskat i snabbare takt efter att EKA-området åtgärdats. Motsvarande värden från den södra djuphålan ger en liknande bild. Minskningen var där 0.25 mg/kg ts (10 %) mellan 2 – 3 cm och 1 – 2 cm skiktet och 0.61 mg/kg ts (27 %) mellan 1 – 2 och 0 – 1 cm skiktet. Med tanke på att resuspension av sediment från grundare områden av sjön samt partiklar från Lelång utgör huvuddelen av sedimentationen över de centrala djupare delarna av sjön borde effekten av en minskad uttransport av kvicksilver från EKA-området ”spädas ut”. En mer säker tolkning av värdena ovan är att kvicksilverhalten i Bengtsbrohöljens sediment överlag har minskat snabbare efter än före åtgärden, vilket skulle kunna bero på en minskad uttransport av kvicksilver från EKA-området, men också på exempelvis förändringar i utspädningen av halterna.

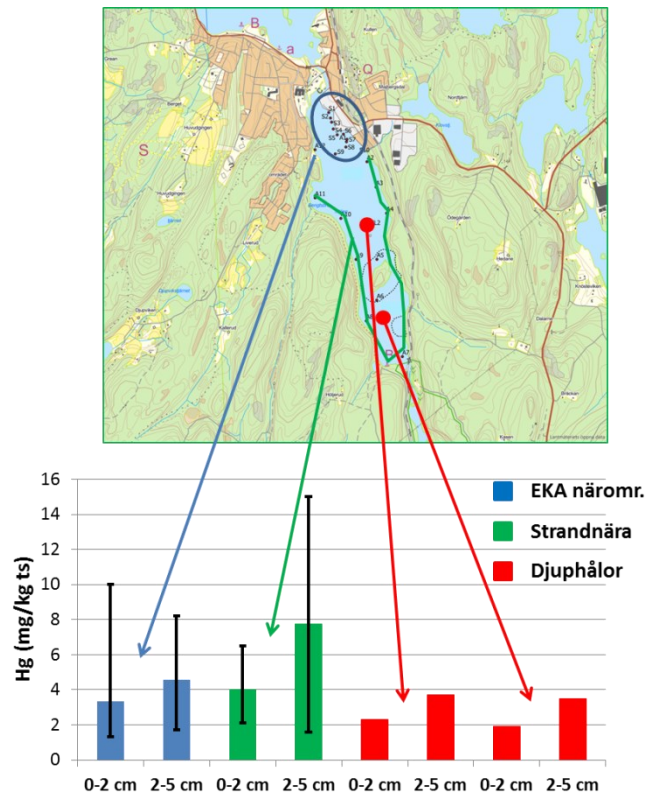


Figur O. Sedimentdjup avsatt mot ålder baserat på ^{210}Pb -mätningar för den centrala djuphålan i Bengtsbrohöljen. Av kurvan kan man utläsa att sedimenttillväxten har varit tämligen konstant från i början av 1900-talet till. Något högre sedimenttillväxt tycks ha ägt rum från i slutet av 40-talet till i början av 70-talet nutid.

Kvicksilverhalter har även analyserats i ytsediment (skikten 0 – 2 respektive 2 – 5 cm) utanför EKA-området och närmare strandlinjen runt sjön. För dessa sediment finns emellertid inte helt jämförbara värden från tiden före åtgärderna på EKA-området, främst på grund av att analyserna då avsåg 0 – 10 cm skikt, men också på grund av att valda platser för analys då inte innefattade mer strandnära sediment och att platserna för analys av sediment inom närområdet inte var exakt de samma som de som valdes vid undersökningarna efter åtgärden.

Man får en intressant inblick i hur kvicksilverhalterna i Bengtsbrohöljens sediment utvecklas över tid genom att jämföra halterna i ytsediment från närområdet med de i de mer strandnära sedimenten och med de halter som uppmätts i djuphålornas ytsediment. Det framgår dels att i) halterna inte är högre i EKAs närområde än på andra platser i sjön, ii) att kvicksilverhalterna är högre i de strandnära sedimenten än i djuphålorna och iii) att halterna är högre i 2 – 5 cm skikten än i 0 – 2 cm skikten (Figur P). De högre halterna i de strandnära sedimenten än i djuphålorna förklaras rimligen av att överlagringen med renare sediment sker långsammare i grundare områden. De lägre halterna i 0 – 2 cm skikten än i 2 – 5 cm skikten är i linje med att kvicksilverbelastningen har minskat över hela sjön. Detta är ingen självklarhet, eftersom sedimenten i EKAs närområde skulle kunna utgöra en sekundärkälla till fortsatt kvicksilverbelastning, i synnerhet vid höga flöden som orsakar sedimentresuspension.

Att halterna inte är högre i EKAs närområde än på andra platser i sjön är ytterligare en indikation på att läckaget av kvicksilver från EKA-området har varit litet under en längre tid. Därmed har en utjämning av halterna mellan olika platser kunnat ske. En praktisk konsekvens är att det knappast är meningsfullt att sanera sedimenten utanför EKA-området. I Bilaga A är de platser utmarkerade där sedimentprov togs för kvicksilveranalyser under 2019 och kvicksilverhalten anges för varje plats. Möjligen finns en tendens att kvicksilverhalterna i sediment från de södra delarna av sjön är något lägre än närmare EKA-området, något som också noterades vid en undersökning år 2000. Även längs västra sidan uppmättes i förhållande till de övriga platserna något lägre kvicksilverhalter år 2019.



Figur P. Kvicksilverhalter i ytsediment (0 – 2, 2 – 5 cm) på olika platser i Bengtsbrohöljen. Proven togs under senare halvan av 2019 och första halvan av 2020. Variationen kring medelvärdena visar min- och maxvärden (n= 10-12). Från respektive djuphåla togs endast ett prov.

Som nämnts tidigare har läckage av metylkvicksilver från EKA alltid varit ett mindre problem än totalläckaget av kvicksilver. När kvicksilvret kommer ut i Bengtsbrohöljen kan det emellertid metyleras av mikroorganismer, vilket leder till anrikning av kvicksilver i vattenorganismerna. Nästan allt kvicksilver i fisk utgörs av metylkvicksilver (Ref 5).

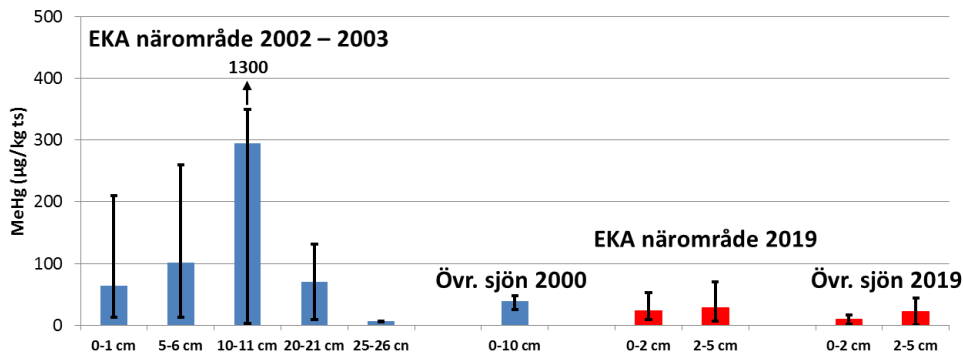
Mycket höga metylkvicksilverhalter uppmättes i sediment från EKAs närområde 2002 – 2003 (Figur Q). Även andelen av totalkvicksilvret som utgjordes av metylkvicksilver var i vissa prov anmärkningsvärt hög, inte minst med tanke på de höga totalkvicksilverhalterna. I ett prov var metylkvicksilverhalten 1300 µg/kg ts (totalkvicksilver: 16 mg/kg ts), vilket är 1000 – 10 000 ggr högre än bakgrund. Andelen metylkvicksilver av totalkvicksilver var i detta prov 8 % mot normalt 0.1 – 1 %.

I fem sedimentprover tagna år 2000 från andra delar av sjön var metylkvicksilverhalterna lägre än i närområdet (Figur Q), men ändå betydligt högre än bakgrundshalter för ostörda sediment. Proven bestod av 0 – 10 cm skikt. Halterna i sedimentets ytskikt (0 – 1 cm) eller strax därunder kan ha varit högre. Till skillnad från sedimenten i närområdet förelåg ett tydligt positivt samband mellan metylkvicksilver- och totalkvicksilverhalterna [$r^2 = 0.98$ ($P < 0.005$)] och endast en svag men



signifikant tendens att andelen metylkvicksilver av totalkvicksilver, i genomsnitt 0.34 (0.31 – 0.43) %, minskade med ökad totalkvicksilverhalt.

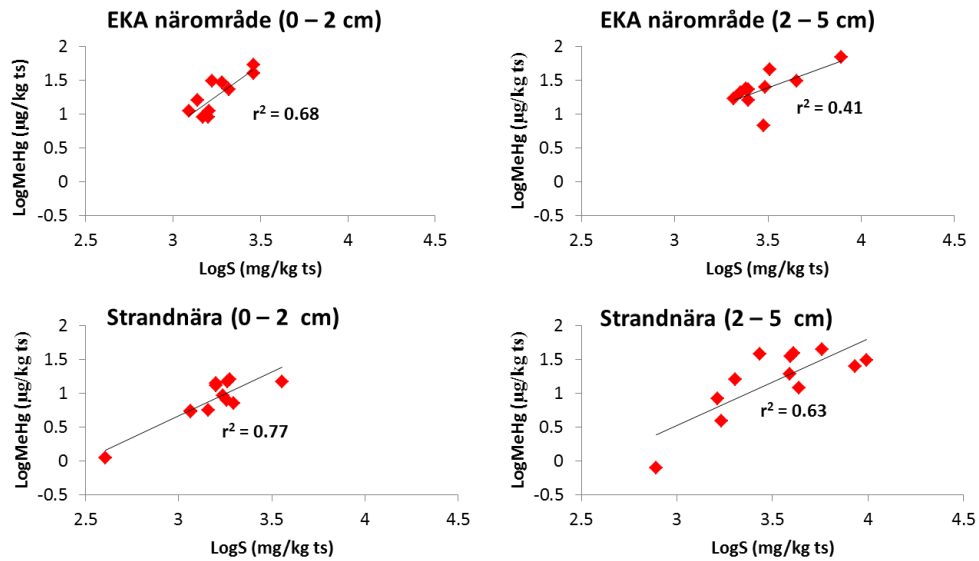
Jämfört med undersökningar 2002 – 2003 (före åtgärd) låg metylkvicksilverhalten i EKAs närområde lägre år 2019 (efter åtgärd). Halterna utanför EKAs närområde skiljde sig inte lika mycket åt mellan före och efter åtgärd. De är dock inte helt jämförbara, dels för att inte samma sedimentskikt analyserades och dels för att de prover som analyserades efter åtgärd låg närmare strandlinjen. (Figur Q).



Figur Q. Metylkvicksilverhalter i olika sedimentskikt i EKAs närområde och utanför detta för (blåa staplar) och efter åtgärd (röda staplar). Variationen kring medelvärdena visar min- och maxvärden (n = 2 – 8 för 2002 – 2003, n = 4 för 2000 och n = 10 – 12 för 2019).

Faktorer som normalt sett styr förekomsten av metylkvicksilver i sediment är totalkvicksilverhalten, halten organiskt kol, svavelhalten och järnhalten. Det föreligger emellertid inga enkla linjära samband mellan dessa faktorer och metylkvicksilverhalten i sediment. Höga halter av organiskt kol stimulerar den mikrobiella aktiviteten och därmed kvicksilvermetyleringen, men det organiska materialets egenskaper påverkar i vilken utsträckning det ger upphov till mikrobiell tillväxt. Näringsämnen som kväve och fosfor kan dessutom påverka mikroorganismernas förmåga att tillväxa på det organiska materialet. Svavel och järn påverkar kvicksilvrets benägenhet att metyleras men också metylkvicksilvrets rörlighet i sediment (Ref. 6 och 7).

En troligen bidragande orsak till att metylkvicksilverhalten i Bengtsbrohöljens sediment var lägre efter än före åtgärderna är att svavelhalten i sedimenten har minskat över tid, vilket beror på minskad atmosfärsdeposition av svavel och inte på åtgärderna på EKA-området. En annan faktor som påverkar svavelhalten är den organiska halten, eftersom hög organisk halt gynnar sulfatreduktion och därmed fastläggningen av svavel. I sedimentproverna som togs efter åtgärd mättes svavelhalten och denna var positivt korrelerad med metylkvicksilverhalten (Figur R).



Figur R. Metylkviksilverhalt avsatt mot svavelhalt i sedimentskikt från EKAs närområde (n = 10 för varje skikt) och längs Bengtsbrohöljens strandlinje (n = 12 för varje skikt). Värdena har loggats på grund av att de föreföll vara lognormalfördelade. Samtliga regressioner är signifikanta (P < 0.05). Sedimentproven togs i augusti (EKAs närområde) respektive i november (strandnära) 2019.

6.8 Övriga tungmetaller i sediment och sedimenterande material i Bengtsbrohöljen

Av Tabell C framgår att utöver kvicksilver även bly och koppar uppvisar förhöjda halter i Bengtsbrohöljens ytsediment relativt bakgrundshalter, dock icke tillnärmelsevis lika mycket som kvicksilver. Troligen är även bariumhalten något förhöjd. De tungmetaller som uppvisat förhöjda koncentrationer på EKA-området är just kvicksilver, bly, barium och koppar.

Tabell C. Koncentrationer (µg/g ts) av angivna ämnen i Bengtsbrohöljens sediment. Sedimentproverna togs 2019 – 2020.

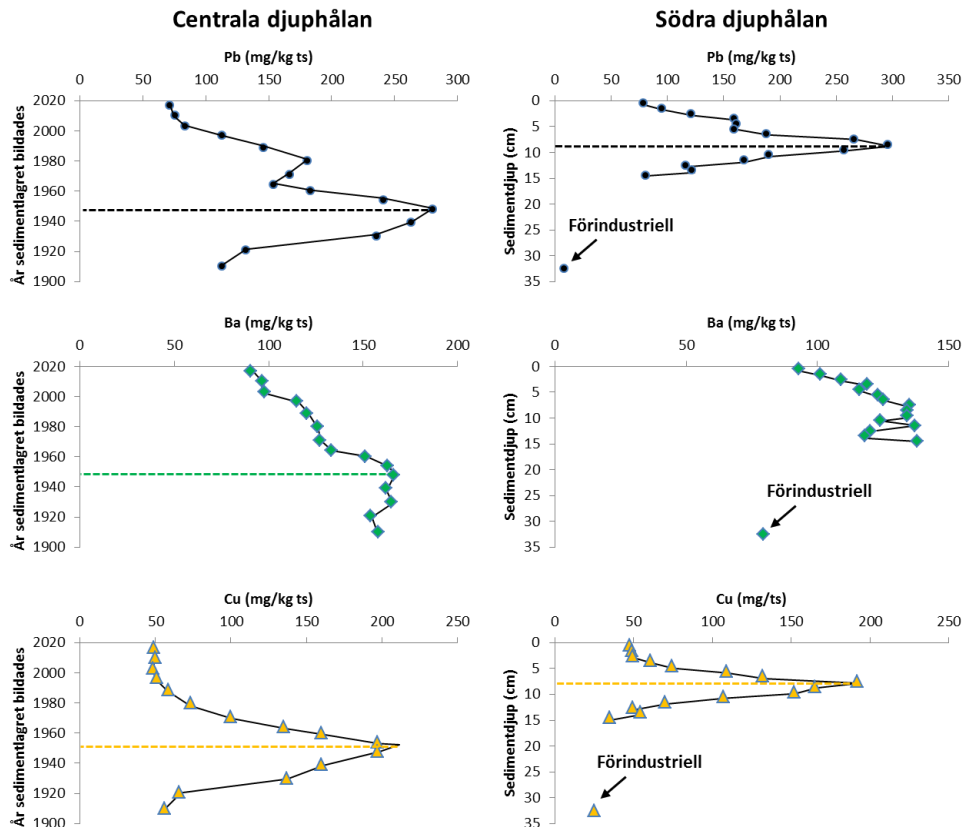
	Centrala djuphålan			Södra djuphålan			Utanför EKA		Strandnära		Bakgrundshalt*
	Ytan	Max	Förindustr.	Ytan	Max	Förindustr.	Medel	Max	Medel	Max	
Skikt	0-1 cm	**	30-35 cm	0-1 cm	**	30-35 cm	0-2 cm	0-2 cm	0-2 cm	0-2 cm	
As	8.9	14.6	2.2	6.8	14.0	1.2	6.0	13.2	10.1	14.8	8
Ba	91	166	128	92.8	138	79	90	104	92	124	***
Cd	0.60	3.36	0.41	0.63	3.10	0.27	1.22	1.61	0.92	2.09	0.3
Cr	21.3	26.3	17.5	23.4	27.8	19.8	19.7	30.4	21.5	24.7	15
Cu	49.1	197	22.7	47.4	192	25.2	42.66	62	48.69	73.5	15
Hg	2.12	72.2	<0.2	1.61	49.6	<0.2	3.36	10	4.03	6.5	0.08
Ni	17.6	22.1	19.2	17.6	22.5	11.1	18.6	22.5	18.9	25.0	10.0
Pb	71.4	280.0	27.7	78.4	296.0	8.4	103.2	220.0	104.0	133.0	5.0
Zn	131.0	392.0	147.0	137.0	339.0	83.3	186.0	400.0	161.0	262.0	100.0

*Bakgrundshalt. **Det skikt i vilket maxhalten uppmättes. ***Uppgift om bakgrundshalt saknas.

Genom att studera de vertikala haltprofilerna av de olika tungmetallerna i Bengtsbrohöljens djuphålur får man en bild över hur dessa har belastat sjön över tid (Figur S). Man ser att



tungmetallerna bly, barium och koppar uppvisar liknande haltprofiler och att deras högsta halter inträffar på samma nivåer i sedimentet. Jämfört med motsvarande haltprofiler för kvicksilver (Figur N) ligger den högsta halten för dessa ämnen något högre upp i sedimentet. Detta skulle kunna åtminstone delvis bero på att andra källor än EKA-området har påverkat dessa ämnens halter.



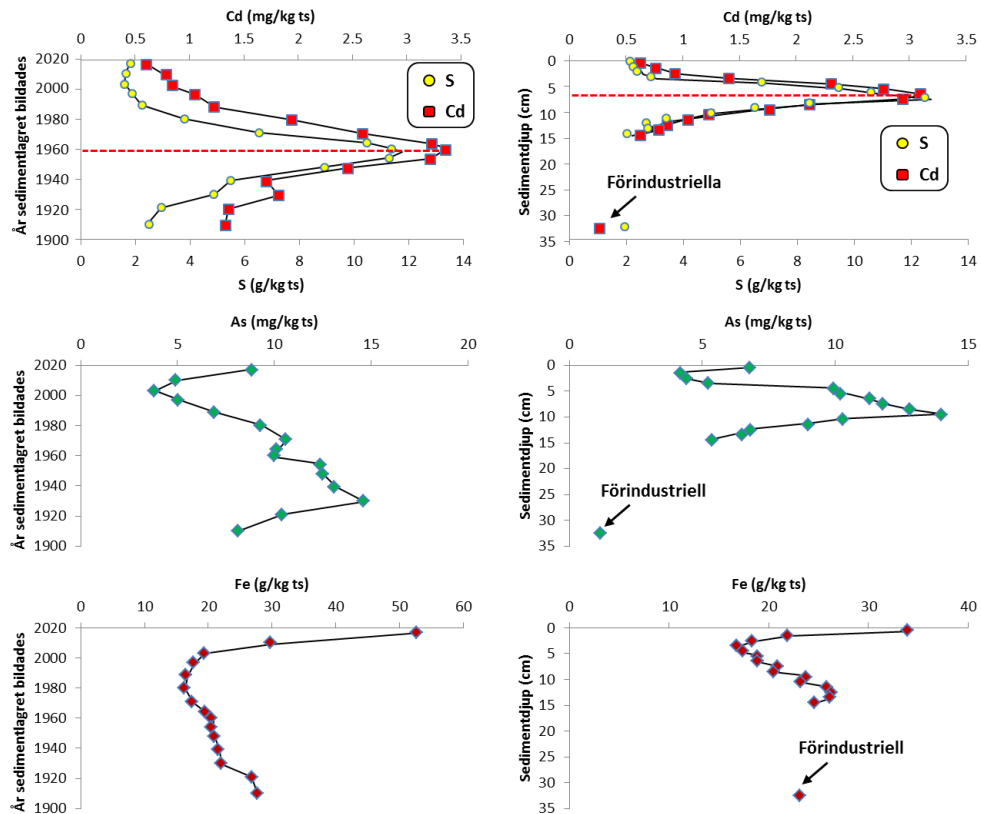
Figur S. Vertikala haltprofiler för bly (Pb), barium (Ba) och koppar i Bengtsbrohöljens centrala och södra djuphåla. Sedimentpropparna togs i maj 2020.

För tungmetallen kadmium står det klart att atmosfärsdeposition och inte spridning från EKA-området var huvudskälet till dess förhöjda halter i sedimentet. Den maximala halten för kadmium inträffade ännu högre upp i sedimentet än för bly, barium och koppar och dess halter följde tydligt svavelhalten (Figur T). Således är det förbränning av fossila bränslen och atmosfärsdeposition som är dess huvudkälla. Även urlakning från mark till följd av försurning kan ha varit en bidragande orsak till de ökande kadmiumhalterna.

Till skillnad från tungmetallerna ovan uppvisar arsenik ökande halter mot sedimentytan, vilket skulle kunna tolkas som att arsenikbelastningen av Bengtsbrohöljen har börjat öka. Det rör sig dock troligen om en ytanrikning orsakad av att arsenik binder till järnoxider. Dessa kan undergå mikrobiellt betingad reduktiv upplösning när de blir överlagrade med nytt sediment, varvid lättlösligt tvåvärt järn diffunderar uppåt och fastläggs i ytsedimentet genom att det oxideras tillbaka till trevärd järnoxid. Det är emellertid fullt möjligt att åtminstone en del av järnhaltens ökning mot ytan förklaras av en ökad tillförsel av järn till Bengtsbrohöljen. Det är ett numera välkänt fenomen



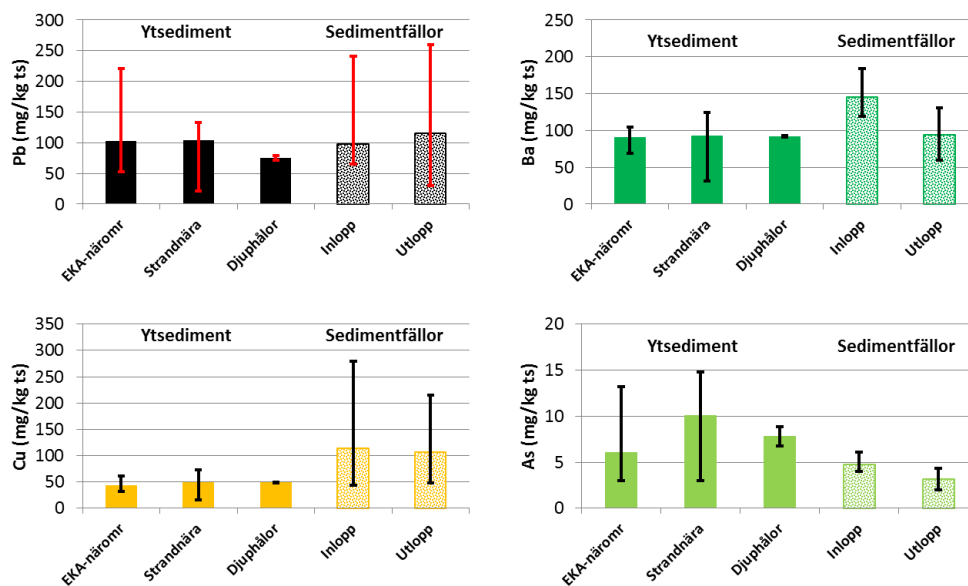
att transporten av järn från avrinningsområden till ytvatten ökar på många platser i Nordeuropa och Nordamerika (Ref. 8).



Figur T. Haltprofiler för kadmium (Cd), svavel (S), arsenik (As) och järn (Fe) i Bengtsbrohöljens centrala och södra djuphåla. Sedimentpropparna togs i maj 2020.

En jämförelse av halter i ytsediment och sedimenterande material ges för bly, barium, koppar och arsenik i Figur U. Det framgår att halterna i ytsediment och sedimenterande material är tämligen lika för dessa ämnen, möjligen med undantag för koppar som uppvisade högre halt i sedimenterande material än i ytsediment. Ett extremvärde för koppar i sedimenterande material (10 800 mg/kg ts) uteslöts. Detta värde kan rimligen inte vara korrekt och leder till misstanken att proven från sedimentfällorna på något sätt kan ha blivit kontaminerade med koppar. De något högre halterna av arsenik i ytsedimentet än i det sedimenterande materialet kan förklaras av ytanrikning av arsenik som beskrivits ovan (Figur T).

Det verkar således som att Bengtsbrohöljen har nått ett ”steady state” med avseende på ovanstående ämnen (möjligen med undantag av koppar), till skillnad från kvicksilver där halterna i sediment kan förväntas sjunka ytterligare (Figur M). Med tanke på att kvicksilverhalterna är de som är mest förhöjda förväntas det ta längre tid för kvicksilver än för de andra ämnena att uppnå ”steady state”, d.v.s. att ytsedimentet håller samma halt som det sedimenterande materialet och att strandnära ytsediment håller ungefär samma halt som djuphålornas ytsediment.



Figur U. Bly (Pb), barium (Ba), koppar (Cu) och arsenik (As) i ytsediment från EKAs närområde (0 – 2 cm), strandnära sediment (0 – 2 cm) och djuphålör (0 – 1 cm) samt i sedimenterande material i Bengtsbrohöljens inlopp och utlopp 2018-2020. Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden (EKA-näromr: n = 10, Strandnära: n = 12, Djuphålör: n = 2, Inlopp: n = 10, Utlopp: n = 4). Ett extremvärde för koppar (10 800 mg/kg ts) uppmätt i ett prov från inloppet uteslöts.

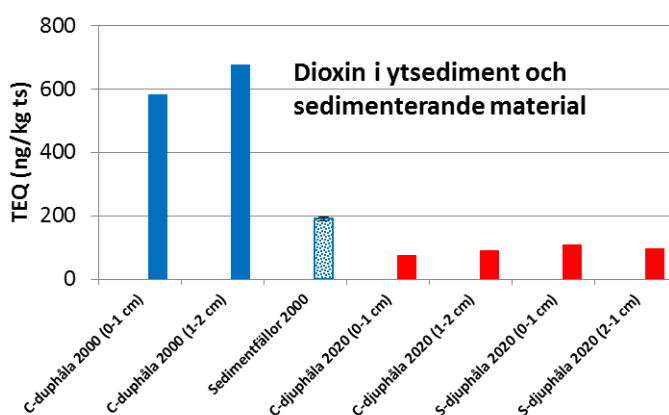
6.9 Dioxin i sediment och sedimenterande material i Bengtsbrohöljen

Efter åtgärd har dioxin i sediment mätts endast i djuphålornas ytsediment (0 – 1 cm respektive 1 – 2 cm), detta främst av kostnadsskäl. Under senare delen av år 2000 mättes dioxinhalten i sediment från EKAs närområde (0 – 20, 20 – 40 och 40 – 60 cm), utanför detta från norr till söder (0 – 10 cm), den centrala och västra djuphålans sediment (en vertikal haltprofil i varje djuphåla) och i sedimenterande material (tre sedimentfällor). I närområdet var dioxinhalterna i allmänhet högst i 0 – 20 cm skikten, men höga halter uppmättes i vissa prov ända ner i 40 – 60 cm skiktet. Halterna i 0 – 10 cm skikten utanför EKAs närområde (”övriga sjön”) innehöll dioxinhalter som var på ungefär samma nivå som i 0 – 20 cm skikten i närområdet, med undantag för några mycket höga värden i närområdet. Halterna utanför närområdet minskade från norr till söder. Dioxinhalterna i det sedimenterande materialet var lägre än i sedimentskikten 0 – 10 cm vilket tydde på en minskande trend för dioxinhalterna i Bengtsbrohöljens sediment. Till skillnad från 0 – 10 cm skikten utanför närområdet förelåg ingen tydlig nord-sydgradient för dioxinhalterna i det sedimenterande materialet. De vertikala haltprofilerna i djuphålorna indikerar minskande dioxinhalter i sedimenterande material.

I Figur V jämförs dioxinhalterna uppmätta år 2020 i den centrala och södra djuphålan i skikten 0 – 1 respektive 1 – 2 cm med dioxinhalterna i motsvarande skikt i den centrala djuphålan uppmätta år 2000, samt med dioxinhalterna i sedimenterande material uppmätta år 2000. Halterna i den centrala djuphålan ytsediment var c:a 80 % lägre 2020 än 2000. Halterna i sedimenterande material var lägre än i ytsedimentet i djuphålan vid samma tidpunkt (år 2000) men högre än i djuphålan



ytsediment år 2020. Detta visar entydigt att Bengtsbrohöljens dioxinbelastning har minskat avsevärt mellan år 2000 och år 2020, men hur mycket denna minskning har att göra med åtgärderna på EKA-området är svårbedömt. Beträffande kvicksilver verkar åtgärderna ha bidragit till minskad belastning på Bengtsbrohöljen baserat på jämförelser av kvicksilverhalterna i skikten 0 – 1, 1 – 2, 2 – 3 cm). Detta syns emellertid inte lika klart för dioxin. Generellt gäller att det är svårt att föra i bevis att åtgärderna på EKA-området har lett till minskande föroreningshalter i Bengtsbrohöljens sediment på grund av att föroreningshalterna redan före åtgärderna uppvisade en minskande trend. Vad som står klart är att föroreningshalterna på EKA-området har minskat och att övriga åtgärder på EKA-området har minskat risken för spridning av kvarvarande föroreningar, inte minst vid extrema flöden och vattennivåer.



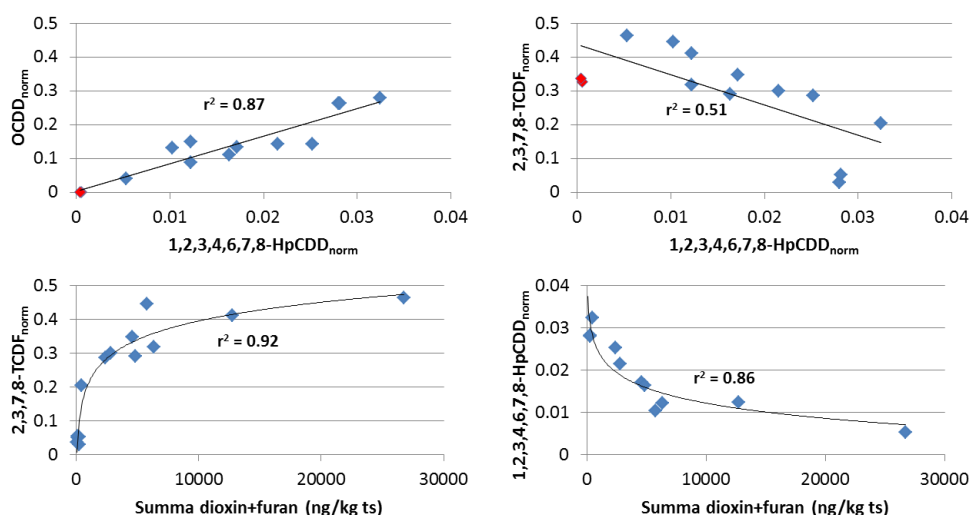
Figur V. Dioxinhalter uttryckta i toxiska ekvivalenter (TEQ) i ytsediment i Bengtsbrohöljens centrala djuphåla år 2000 (blåa staplar) och i den centrala och södra djuphålan år 2020 (röda staplar) samt i sedimenterande material år 2000 (n=3). Variationen kring medelvärden för det sedimenterande materialet (syns knappt) visar min- och maxvärden.

Det är av vikt att dioxinet som kommer från EKA-området domineras av dibensofuraner med 4 – 6 kloratomer där 2,3,7,8-TCDF uppvisar högst halter. I Bengtsbrohöljens sediment och vatten förekommer även 1,2,3,4,6,7,8,-heptaklordibensodioxin, oktaklordibensodioxin och oktaklordibensofuran som troligen har andra källor än EKA-området. De är kända föroreningar i pentaklorfenol (biocid och träskyddsmedel) (Ref. 9) men har låg toxicitet (TEF-värden) så de har relativt liten effekt på TEQ-värdet. De har dessutom relativt andra dioxinföreningar hög förekomst i luft varifrån de kan deponeras (Ref. 10). I undersökningar 2002 – 2003 av flöden in och ut ur Bengtsbrohöljen minskade dessa föreningars halter vid vattnets passage genom Bengtsbrohöljen, medan halten av 2,3,7,8-TCDF ökade. Likaså kan man se att deras relativa andel av alla dioxinföreningar i Bengtsbrohöljens sediment minskar när den totala dioxinhalten ökar, till skillnad från den relativa andelen av 2,3,7,8-TCDF som ökar (Figur W). Dessa observationer tyder på att spridning av dioxin från EKA-området förklarar huvuddelen av dioxinförekomsten i sjön (stor andel 2,3,7,8-TCDF när dioxinhalten är hög), men ligger samtidigt i linje med att dioxinföreningarna 1,2,3,4,6,7,8,-HpCDD och OCDD inte har EKA-området som huvudkälla.

De olika dioxinföreningarnas förhållande till den totala dioxinkoncentrationen och till varandra kan utnyttjas för att spåra förändringar i den andel av TEQ-värdet i sedimentet som förklaras av dioxin



som spridits från EKA-området. Det är emellertid svårt att veta om förändringar i dioxinmönstret, exempelvis vertikalt i sedimentet i djuphålorna, är orsakad av förändrad dioxinspridning från EKA-området eller förändrad internbelastning. Ett möjligt förhållande är att dioxinspridningen från EKA-området sedan länge har varit konstant och på låga nivåer, samtidigt som dioxinmönstret förändras på grund av lägre internbelastning (resuspension av sediment).



Figur W. De översta figurerna visar hur den normaliserade koncentrationen av OCDD (oktakilordibensodioxin) respektive 2,3,7,8-TCDF (tetrakilordibensofuran) förhåller sig till den normaliserade koncentrationen av 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD (heptakilordibensodioxin) i sedimentprov från Bengtsbrohöljen tagna år 2000. Den normaliserade koncentrationen är andelen av totalkoncentrationen av alla uppmätta dioxinföreningar (summa dioxin+furan). De röda datapunkterna visar värden från EKA-området före åtgärd (A-gropen). De understa figurerna visar andelen av totalkoncentrationen dioxin som 2,3,7,8-TCDF respektive av 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD utgör vid olika totalkoncentrationen av dioxiner i sedimentet.

Liksom för spridningen av kvicksilver gäller för spridningen av dioxin att effekterna av åtgärderna på EKA-området är svåra att fastställa genom mätningar i Bengtsbrohöljens sediment. Detta beror främst på att stora mängder av dessa ämnen sedan länge föreligger i sedimenten och att sedimentresuspension även före åtgärderna kan ha lett till betydligt större dioxinflöden än spridningen från EKA-området. Utförda budgetberäkningar som delvis bygger på osäkra antaganden tyder på att detta gäller för kvicksilver men mindre säkert för dioxin. Det råder emellertid inget tvivel om att spridningen av både kvicksilver och dioxin från EKA-området har minskat som ett resultat av åtgärderna. Det råder heller inget tvivel om att åtgärderna har minskat risken för kraftigt ökad spridning av föroreningar från EKA-området i samband med extrema vattenflöden och vattenstånd.

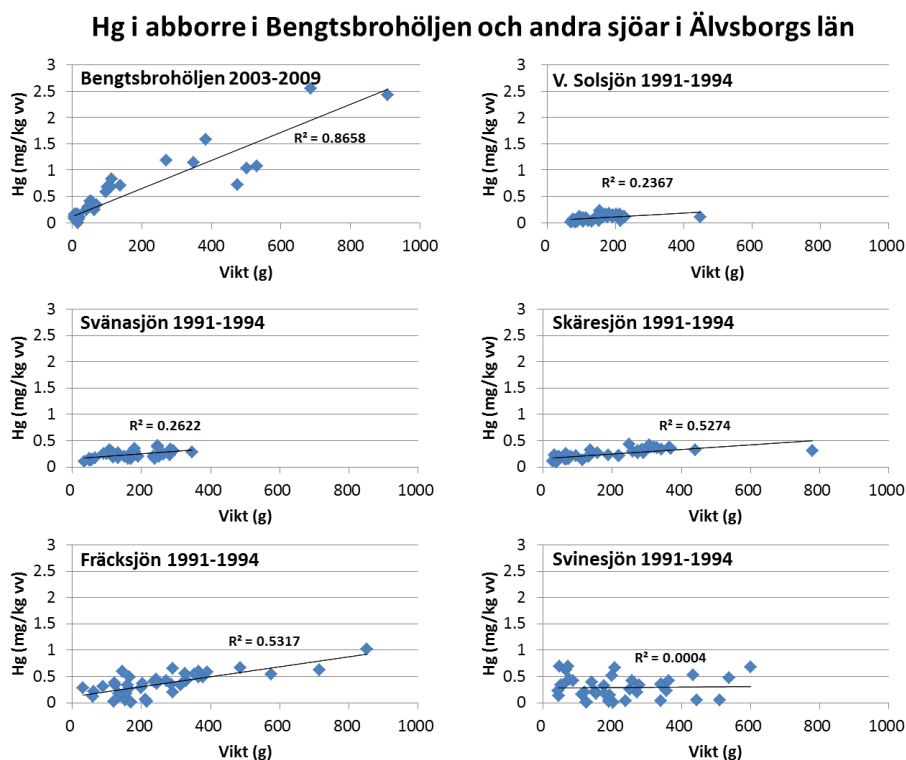
6.10 Kvicksilver och dioxin i fisk från Bengtsbrohöljen

Kvicksilver i fisk utgörs nästan fullständigt av metylkvicksilver (Ref 5.), trots att metylkvicksilver normalt sett utgör några få % eller mindre av allt kvicksilver i sediment och c:a 5 % av allt kvicksilver i vatten. Högre andel metylkvicksilver kan föreligga i syrefritt bottenvatten, men där finns inga organismer som kan ta upp det. En puls av metylkvicksilver in i det syresatta vattnet kan



ske i samband med höstcirkulationen av vattenmassan, men i Bengtsbrohöljen är volymerna av syrefritt vatten under sommarstagnationen förhållandevis små.

Vid en undersökning från tiden före åtgärderna på EKA-området kunde man vid jämförelser med andra sjöar inte se att kvicksilverhalterna i Bengtsbrohöljens fisk var högre än i dessa. Exempelvis var kvicksilverhalterna i abborre inte lägre i uppströms liggande Lelång. Vad som generellt gäller är att kvicksilverhalterna i fisk kan vara höga även i sjöar som har förorenats med kvicksilver enbart genom atmosfärdeposition, i synnerhet i sjöar med litet näringsinnehåll och därmed låg bioutspädning, och sjöar vars vatten påverkas av näraliggande våtmarker som är "hot spots" för kvicksilvermetylering. Ett problem vid jämförelser av olika sjöar med avseende på kvicksilverhalter i fisk är att fiskens storlek även inom samma art har stor inverkan på kvicksilverhalterna, inte minst för abborre som byter födoslag medan de växer. När man tar hänsyn till abborrarnas storlek står det klart att abborrarna från Bengtsbrohöljen hade betydligt högre kvicksilverhalter före/under åtgärderna än i flera andra sjöar i regionen (Figur X). Med detta inte sagt att kvicksilverhalten i fisk kan vara lika hög eller högre i vissa sjöar tillhörande de kategorier som ovan beskrivits än i Bengtsbrohöjen.

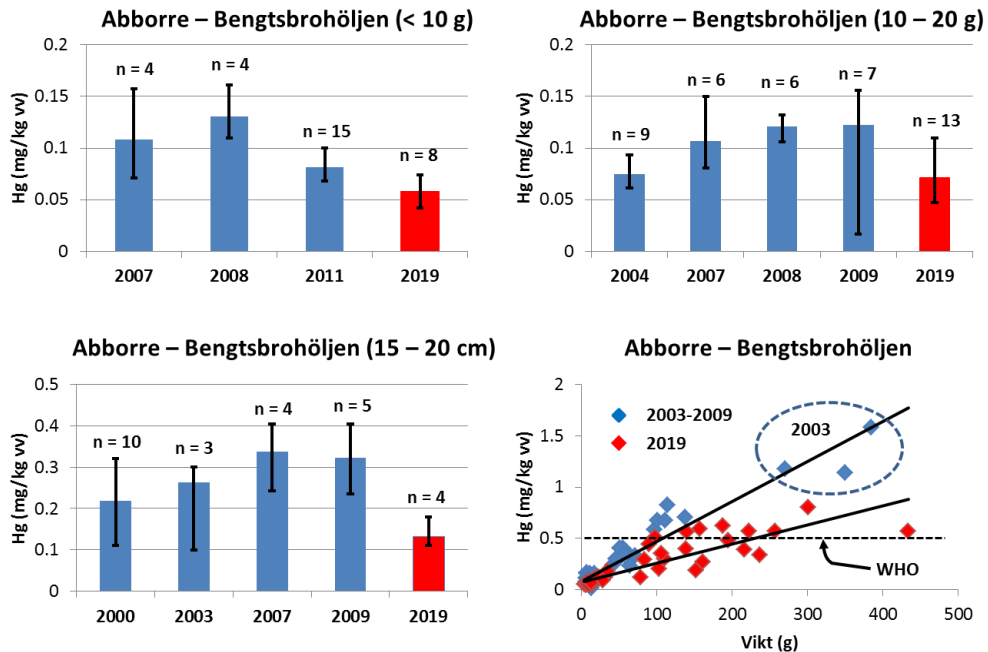


Figur X. Kvicksilverhalter i abborre avsatt mot fiskstorlek för Bengtsbrohöljen och andra sjöar i Älvsborgs län. Värdena för referenssjöarna har erhållits från Lennart Lindström, Svensk MKB.

Från kvicksilverhalterna i Bengtsbrohöljens abborrar före, under och efter åtgärderna på EKA-området framträder bilden att dessa har sjunkit (Figur Y). Dock kan man skönja en viss ökning under tiden för åtgärdsarbetena. Det förefaller inte orimligt att en tillfälligt ökad spridning av kvicksilver då ägde rum. Det kan emellertid förekomma stora haltvariationer i fisk mellan olika år som beror på olika vattenflöden och vattenstånd, och hur dessa samvarierar med temperaturen.



Exempelvis kan höga vattenstånd i kombination med hög temperatur leda till hög metylkvicksilvertransport från avrinningsområdet (Ref. 11). Minskande atmosfärsdepositionen av svavel kan ha lett till minskande kvicksilvermetylering (se avsnittet om kvicksilver i sediment). Minskade kvicksilverhalter i skandinavisk insjöfisk har satts i samband med minskad atmosfärsdeposition av svavel (Ref. 12). Dessa faktorer försvårar utvärderingen av effekterna av EKA-områdets sanering på fiskens kvicksilverhalter.



Figur Z. Kvicksilver i abborre av olika storlek från Bengtsbrohöljen. Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden. Grafen längst ner till höger visar hur kvicksilverhalten varierar med vikten för abborrar fångade under perioden 2003 – 2009 samt under året 2019. Inringade datapunkter visar kvicksilverhalt och vikt för abborrar fångade år 2003. Den streckade linjen visar WHO:s gränsvärde (0.5 mg Hg/kg vv) för konsumtion av fisk.

Abborrarna från 2019 analyserades även med avseende på selen. I samtliga fiskar förelåg selen i molöverskott i förhållande till kvicksilver. En viktig anledning till att kvicksilver är giftigt är att det binder upp selen i organismen och därmed förhindrar bildningen av livsviktiga selenoenzymer (Ref. 13). Ett tillräckligt stort överskott av selen gör att organismen trots kvicksilvret kan bilda dessa enzym. En djupare analys av de kvicksilver-selenmönster som abborrarna uppvisade ledde till slutsatsen att fisken har förmåga att öka sitt upptag av selen vid ökad kvicksilverbelastning, vilket om detta stämmer är en ny upptäckt. Fiskens kvicksilver-selenstatus har också relevans för riskerna att äta fisken. Det finns dock inga riktlinjer för hur selenhalter skall hanteras vid hälsoriskbedömningar av kvicksilver.

Dioxin har analyserats både i abborre från Bengtsbrohöljen och i öring från Höljerudsforsarna nedströms sjön. Analyserna är dock för få för att dra några slutsatser om förändringar av halterna över tid. Dioxinhalten i fisken är säkert förhöjda men inte högre än i röding från Vättern eller i sill och lax från Östersjön och ligger under livsmedelsverkets gränsvärde på 3.5 pg TEQ/g färskvikt.

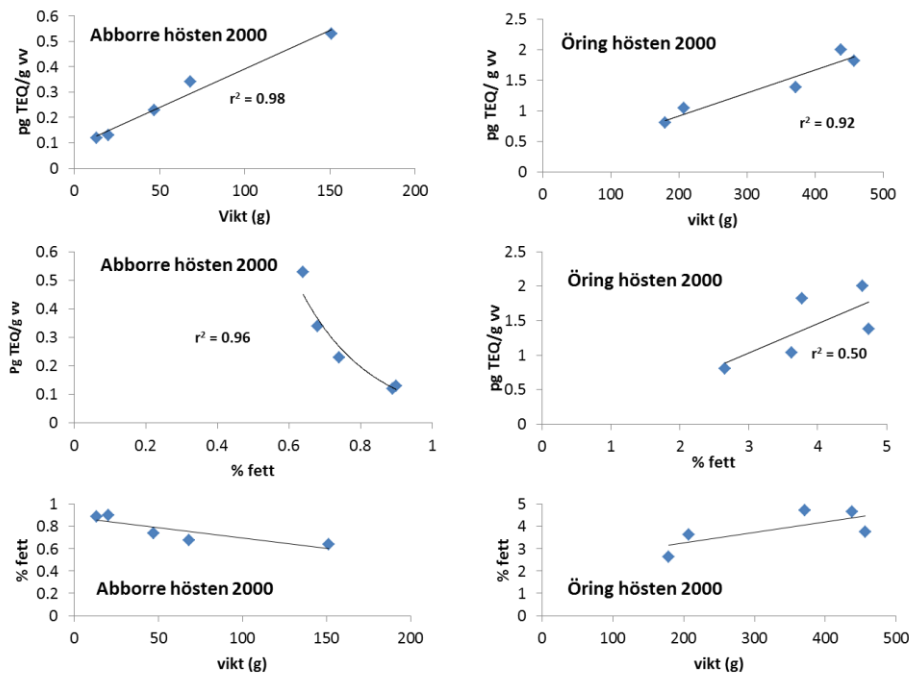


Den dioxinförening som dominerar i fisken och som orsakar huvuddelen av TEQ-värdet är 2,3,7,8-TCDF, det vill säga den dioxinförening som dominerar på EKA-området och i Bengtsbrohöljens sediment. Även PCDFs (pentaklordibensofuraner) som också kan bindas till EKA-området har detekterats, liksom 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD och i något fall OCDD som högst troligen har andra källor än EKA-området. Dessa dioxinföreningar uppvisar relativt höga koncentrationer i Bengtsbrohöljens vatten (Tabell D), vilka troligen är orsakade av atmosfärsdeposition.

Tabell D. Koncentrationer av klorerade dioxiner och furaner i ett vattenprov som togs i Bengtsbrohöljen 18-12-18 strax utanför södra delen av EKA-området ("Bryggan"). Dioxiner/furaner som låg under kvantifieringsgränsen är ej med i tabellen.

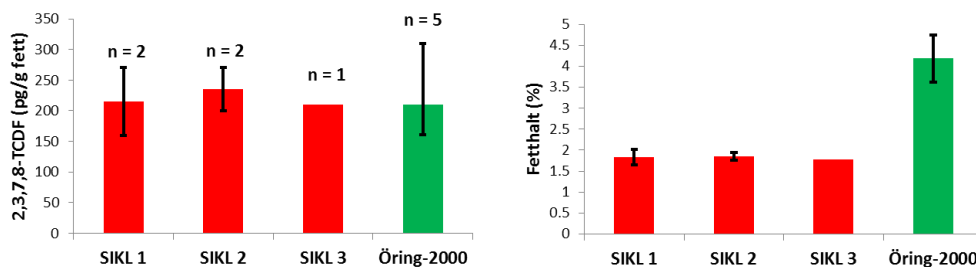
Dioxiner	fg/L	Furaner	fg/L
2,3,7,8-TCDD	9.7	2,3,7,8-TCDF	28
1,2,3,7,8-PCDD	9.1	2,3,4,7,8-PCDF	18
1,2,3,4,7,8-HxCDD	17	1,2,3,4,7,8-HxCDF	19
1,2,3,6,7,8-HxCDD	35	1,2,3,7,8,9-HxCDF	10
1,2,3,7,8,9-HxCDD	32	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	40
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	300	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	22
OCDD	680	OCDF	68

Liksom för kvicksilver ökar dioxinhalterna med fiskstorleken. Även ökad fetthalt kan öka dioxinhalten, vilket kan förklara att öring innehåller högre halter dioxin än abborre. Inom respektive fiskslag verkar dock gälla att fiskstorleken och inte fettinnehållet påverkar dioxinhalterna mest. I abborre förelåg till och med en negativ korrelation mellan dioxinhalt och fetthalt, vilket skulle kunna bero på att abborrens fettinnehåll utgörs huvudsakligen av fosfolipider som inte anrikar dioxin lika mycket som triglycerider (upplagringsfett) och att abborrens fetthalt var negativt korrelerad med vikten (Figur Å).



Figur Ä. Dioxinhalt avsatt mot vikt samt fetthalt för abborre respektive öring. I de två nedersta figurerna har fetthalten avsatts mot vikten.

Eftersom öring är en fetare fisk än abborre lämpar den sig bättre än abborre som indikator för nivåerna av biotillgängligt dioxin i Bengtsbrohöljen. Öringarna i Höljerudsforsarna borde dock inte skattas för hårt varför istället siklöja analyserades med avseende på dioxin året 2019. Något förvånande låg 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD under detektionsgränsen i sikløjorna, trots sikløjornas pelagiska liv och att denna dioxinförening uppvisar förhållandevis hög koncentration i vattnet (Tabell D). I öringarna från år 2000 som sikløjorna jämfördes med förelåg mätbara men inte särskilt höga halter av 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD. Övriga dioxiner var ej kvantifierbara i vare sig siklöja eller öring, förutom små mängder PCDF i öringarna. Högst halt i öringen uppvisade 2,3,7,8-TCDF, vilket var den enda dioxinförening som hade kvantifierbara halter i sikløjorna. Därför jämförs halterna av 2,3,7,8-TCDF i sikløjorna med de i öringarna i Figur Ä.



Figur Ä. Vänstra figuren: Halt av 2,3,7,8-TCDF på fettviktsbasis i samlingsprov av siklöja från tre platser i Bengtsbrohöljen år 2019 och i öring från Höljerudsforsarna nedströms Bengtsbrohöljen år 2000. Högra figuren: Fetthalten i fiskproverna. Variationen kring medelvärdet visar min- och maxvärden. n = antal prov (för siklöja antal samlingsprov och för öring antal individuella fiskar).



Ovanstående resultat visar (Figur Å) att siklöja kan ersätta öring som indikator på dioxinbelastning. Utöver att detta sparar öringar i Höljerudsforsarna är det en fördel att analysera fisk som uppehåller sig i sjön och därmed rimligen bättre speglar förhållandena i denna. För eventuell uppföljning av hur dioxinbelastningen förändras över tid rekommenderas därför analyser av samlingsprov av siklöja i Bengtsbrohöljen istället för öring i Höljerudsforsarna.

7. Utvärdering av klorerade lösningsmedel i grundvatten inom Eka-området

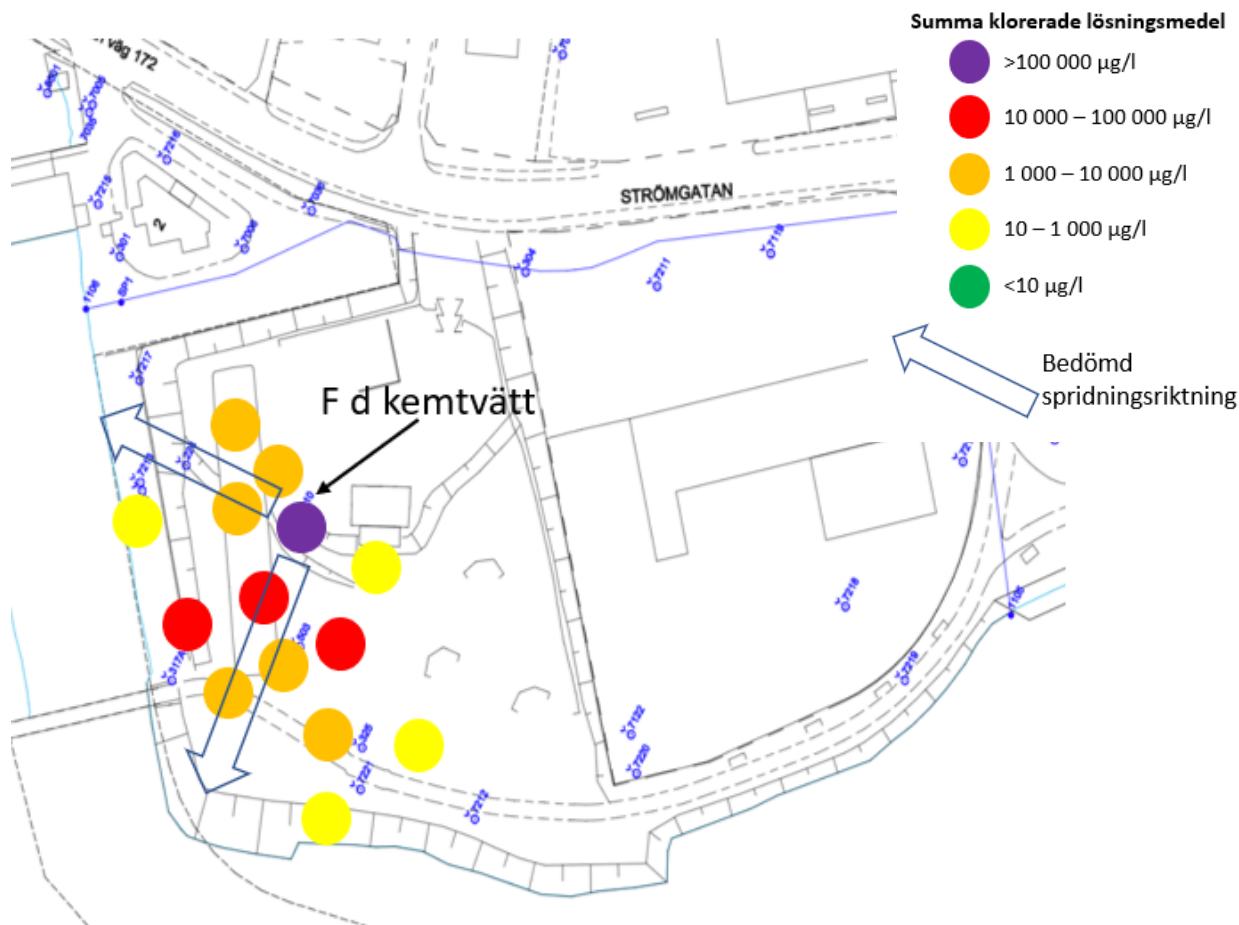
7.1 Allmän orientering

Åtgärderna vid saneringen var inriktade mot kvicksilver och dioxiner som främst förekom bundna till jordpartiklar i fyllnadsmassor. Inom området förekom även klorerade lösningsmedel som härrörde från en kemptvätt som bedrevs mellan 1955-1975 i samma byggnad som tidigare inhyste kloralkaliprocessen. Provtagningar av grundvatten och ytvatten för analys av klorerade lösningsmedel har genomförts från 2002 till 2020.

7.2 Föroreningssituationen för klorerade lösningsmedel innan åtgärder

Tidigare genomförda undersökningar (2003) innan marksaneringen identifierade ett troligt källområde (fri fas) strax söder om den f d kemptvätten. Klorerade lösningsmedel hade även spridits i grundvatten mot Bengtsbrohöljen i sydvästlig och västlig riktning. Mycket höga halter av klorerade lösningsmedel påvisades närmast den f d kemptvätten men även i grundvattenprover närmare Bengtsbrohöljen ca 50 m därifrån påvisades höga halter. De högsta halterna påvisades i moränen 4-14 m under markytan. Spår av klorerade lösningsmedel påvisades även i ytvattnet i strandlinjen.

I grundvattenproverna förekom i huvudsak moderämnet perkloreten (PCE) medan förekomsten av de naturliga nedbrytningsprodukterna trikloreten (TCE), dikloreten (DCE) och vinylklorid (VC) utgjorde mindre än 10 % med några undantag längst söderut där andelen nedbrytningsprodukter utgjorde drygt 50 %. I Figur Ö illustreras föroreningssituationen.



Figur Ö. Illustration av föroreningssituationen avseende klorerade lösningsmedel i grundvatten innan åtgärd 2002.

7.3 Genomförda avhjälpande åtgärder

Inga riktade åtgärder avseende klorerade lösningsmedel har utförts men alla fyllnadsmassor och en del morän under och invid den f d kemptvätten har bortforslats. Troligen har således en del klorerade lösningsmedel sanerats i källområdet. Utöver detta har man vidtagit åtgärder som har reducerat eller närmast eliminerat infiltrationen av nederbörd. Även grundvattentransporten genom källområdet har sannolikt reducerats genom vertikala tätande installationer. Man kan förmoda att förhållandena för anaerob naturlig nedbrytning av de klorerade lösningsmedlen har förbättrats dels genom att potentiellt giftiga ämnen som ev kan hämma nedbrytning har sanerats, dels genom att grundvattnet sannolikt blivit syrefattigare beroende på tätningsåtgärder vilket gynnar naturlig nedbrytning.

7.4 Uppföljande mätningar

7.4.1 Genomförande

Provtagning av klorerade lösningsmedel har skett i 13 grundvattenrör, i en dränering samt i två punkter i Bengtsbrohöljen. Provtagningar har skett i olika frekvenser från 2009 till 2019. I vissa rör har enstaka prover tagits medan andra rör provtagits vid 17 tillfällen. Grundvattenrören har i regel omsatts innan provtagning men vid ett tillfälle under 2019 provtogs grundvatten även innan omsättning för att utvärdera effekten av en omsättning. Proverna har genomgående analyserats m a p klorerade lösningsmedel, i enstaka prover har även eten, metan, etan och DOC analyserats.



Det har även genomförts passiva provtagningar av inomhusluft i bostadshuset som ligger ca 50 m norr om den f d kemptvätten 2017 och 2019.

Samtliga analyser har genomförts av ALS Scandinavia AB som är ackrediterad för aktuella analyser.

7.4.2 Resultat

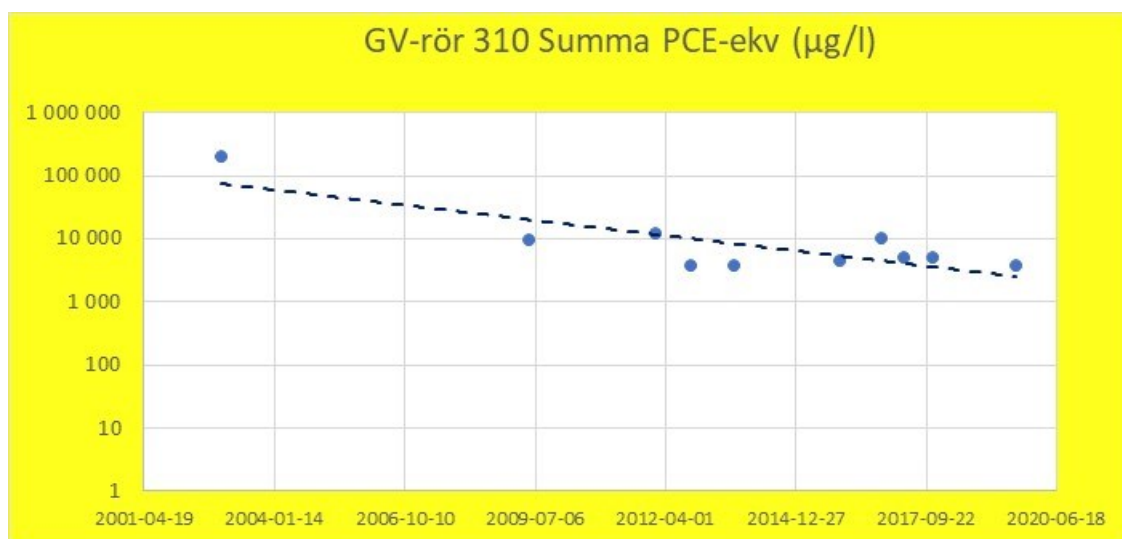
Grundvatten och dräneringsvatten

Genomförda undersökningar i grundvatten och dräneringsvatten efter saneringen visar sammanfattningsvis följande (se även Figur AA - AC):

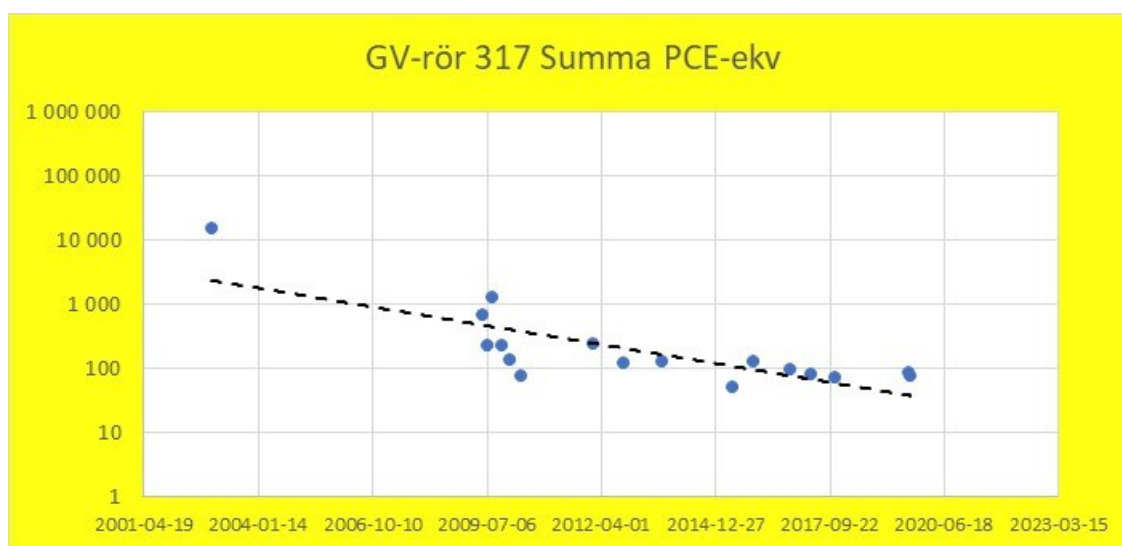
- Halterna av klorerade lösningsmedel i grundvatten har sjunkit väsentligt inom och på avstånd från det förmodade källområdet (f d kemptvätt). Halterna har sjunkit successivt över tid och är nu 10 – 100 ggr lägre än 2002 (innan marksaneringen).
- Andelen nedbrytningsprodukter (dekloreringsgrad) i grundvatten har i de flesta provtagningspunkter successivt ökat över tid och i nuläget utgör andelen nedbrytningsprodukter 50 – 90 %. Även eten påvisas vilket tyder på fullständig nedbrytning.
- I dräneringsvattnet ca 50 m norr om den f d kemptvätten har halterna av klorerade lösningsmedel varit tämligen likartade sedan 2009 (ca 100 µg/l). Enligt mätningar avleds här ca 5 000 m³ grundvatten per år. Eftersom vattnet innehåller klorerade lösningsmedel torde grundvatten från Eka-området avrinna i dräneringen.



Figur AA. Illustration av föroreningsituationen avseende klorerade lösningsmedel i grundvatten i nuläget (2019).



Figur AB. Beräknade summa-halter av uppmätta halter av klorerade lösningsmedel i grundvatten inom källområdet (f d kemtvätt). Observera den logaritmiska skalan.



Figur AC. Beräknade summa-halter av uppmätta halter av klorerade lösningsmedel i grundvatten ca 40 m sydväst om källområdet (f d kemtvätt). Observera den logaritmiska skalan.

Inomhusluft

Inomhusluften i byggnaden i norra delen av Eka-området har kontrollerats m a p klorerade lösningsmedel år 2017 och 2019. Vid mätningen 2017 påvisades spår av PCE och 1,1,1 trikloretan i två lokaler. Uppmätta halter var dock mycket låga ($<0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) och långt under ($>100 \text{ ggr}$) de relevanta humantoxikologiska lågriskvärden för skydd av människors hälsa som Naturvårdsverkets anger. Vid andra mättillfället 2019 kunde inga klorerade lösningsmedel påvisas i några lokaler. Då var dock detektionsgränserna högre ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ytvatten

Vid ett tillfälle 2019 påvisades tydligt förhöjda halter av klorerade lösningsmedel i kraftverkskanalen. Mycket tyder dock på att dessa resultat inte var representativa då inga klorerade lösningsmedel kunnat påvisas i efterföljande provtagningar. Vidare uppmättes metan i provet 2019



vilket indikerar att provet inte var ett ytvattenprov utan ett grundvattenprov och således hade en provförväxling skett i fält eller på labb.

Övrigt

Under 2019 tog man prover ur flera grundvattenrör innan och efter omsättning av grundvatten. Resultaten visar sammantaget att halterna av klorerade lösningsmedel i liten omfattning påverkades av omsättning. Inget tyder på att halterna entydigt var lägre innan omsättning än efter.

8. Slutsatser

8.1 Allmänt

Det viktigaste som åtgärderna på EKA-området har åstadkommit är att minska risken för kraftigt ökad spridning av föroreningar i samband med extrema vattenflöden och vattennivåer.

8.2 Grundvatten

8.2.1 Kvicksilver och dioxin

Både kvicksilver- och dioxinhalter i grundvatten på EKA-området har sjunkit och synes fortfarande vara i avtagande. Genom anläggningen av vertikala barriärer (förbättrat erosionsskydd, anläggning av partikelfilter) och horisontella barriärer (tätskikt) är det rimligt att anta att målen är uppnådda att kvicksilver och dioxinspridningen har reducerats med minst 90 %. Det är emellertid omöjligt att säkert fastställa detta med mätningar vare sig på EKA-området eller i Bengtsbrohöljen.

8.2.2 Klorerade lösningsmedel

Källområdet vid den f d kemtvätten har sannolikt utarmats beroende på ca 50 års spridning och de saneringsåtgärder som vidtogs i början av 2000-talet. Mängden kvarvarande PCE torde i nuläget vara liten.

Halterna av klorerade lösningsmedel i grundvattnet i området som helhet har också sjunkit radikalt (1 – 2 tiopotenser) samtidigt som andelen nedbrytningsprodukter ökar. Detta tyder på att källtermens styrka har reducerats, omsättning av grundvatten minskat och/eller förutsättningarna för naturlig nedbrytning förbättrats.

Spridningen av klorerade lösningsmedel förefaller efter åtgärderna främst ske norrut mot den anlagda dräneringen. Uppskattningsvis sprids ett halvt kilo klorerade lösningsmedel per år från området till Bengtsbrohöljen via dräneringen. De klorerade lösningsmedlen är inte långlivade i ytvatten utan avgår snabbt till atmosfären där de bryts ned fotokemiskt.

Bedömningen är att nuvarande situation långsamt kommer att förbättras ytterligare över tid, d.v.s. halterna i grundvattnet kommer långsamt att minska, spridningen minska och andelen nedbrytningsprodukter öka.



8.3 Ytvatten och sediment

Halterna av kvicksilver och dioxin i sedimenterande material och i djuphålornas ytsediment har sjunkit med ca 80 %. I mer strandnära sediment verkar emellertid halterna sjunka långsammare, vilket rimligen förklaras av långsammare överlagring med nytt sediment än i djuphålorna.

De nuvarande flödena av kvicksilver i Bengtsbrohöljen domineras helt av inflödena från Lelång och resuspension av sediment. Detta gällde dock troligen även åren före åtgärderna på EKA-området. Resuspensionen av sediment påverkar emellertid inte märkbart kvicksilverhalterna i vattnet, möjligen med undantag för perioder med extrema flöden eller vid stormar som orsakar kraftiga vattenströmmar.

Halterna av kvicksilver och metylkvicksilver i Bengtsbrohöljens vatten ligger på bakgrundsnivåer, trots klart förhöjda halter i sjöns sediment, vilket tyder på att läckaget av kvicksilver från sedimenten är lågt.

Det är oklart vad som orsakar nuvarande flöden av dioxin i och genom Bengtsbrohöljen. Föreningarna 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD och OCDD kommer troligen från atmosfärsdeposition, medan dibensofuraner med 4 – 6 kloratomer kommer från EKA-området. Partikelfiltret borde kraftigt reducera dioxinspridningen från EKA-området. Därför orsakas flödena av de sistnämnda föreningarna i dagläget troligen främst av resuspension av sediment.

Halterna av bly, barium och koppar som har uppvisat förhöjda halter på EKA-området föreligger i dagläget på nivåer i Bengtsbrohöljens sediment och vatten som ligger nära bakgrundsvärden.

Generellt gäller att föroreningshalterna i Bengtsbrohöljens sediment uppvisade en minskande trend även före åtgärderna. Detta gör det svårt att utvärdera vilken effekt åtgärderna på EKA-området har haft på föroreningsnivåerna i sjön.

8.4 Fisk

Kvicksilverhalterna i Bengtsbrohöljens fisk har sjunkit jämfört med situationen åren före åtgärd. På grund av temporala variationer i faktorer som påverkar kvicksilverhalterna i fisk och som inte kan relateras till åtgärderna på EKA-området går det inte att säga säkert vad som främst har orsakat fiskens lägre kvicksilverhalter. Dessa ligger för abborre av konsumtionsstorlek nu kring 0,5 mg Hg/kg, vilket är gränsen som enligt WHO ej bör överskridas vid konsumtion av fisk.

Selen föreligger i molöverskott relativt kvicksilver i samtliga fiskar (siklöja och abborre) som analyserades under året 2019. Detta indikerar att fisken inte tar så stor skada av kvicksilvret. Molöverskottet av selen är relevant även för hälsorisker i samband med konsumtion av fisken, men riktlinjer saknas för hur selenhalter skall hanteras vid hälsoriskbedömning av kvicksilverintag. Dioxinhalterna i fisken har troligen också sjunkit, men antalet analyser av dioxin i fisk är för få för att fastställa detta. Även före åtgärd låg de i abborre och öring lägre än 3.5 pg TEQ/kg våtvikt, vilket



är den av Livsmedelverket rekommenderade gränsen som inte bör överskridas om fisken skall konsumeras av människor.

Den dioxinförening som dominerar i fisken och som kan knytas till den tidigare spridningen av dioxin från EKA-området är 2,3,7,8-TCDF. I vattnet är koncentrationerna av 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD och OCDD i relation till övriga dioxinföreningar höga men dessa föreningar verkar tas upp i liten omfattning av fisken.

Siklöja kan i framtida uppföljningar med fördel ersätta öring som indikatororganism för dioxinexponeringen av Bengtsbrohöljens vattenorganismer.

9. Rekommendationer och förslag till uppföljningar

9.1 Skötselplan

Det sanerade området är förenat med restriktioner avseende framtida markanvändning. Dessutom ska kommunen säkerställa och följa upp att de installationer och skyddsåtgärder som finns på EKA-området är intakta, att de i nutid och framtid uppfyller kravet att säkra de föroreningsmängder som finns kvarlämnade på området. Administrativa åtgärder som gäller för området redovisas i *”Riktlinjer för tillsyns och skötsel för EKA – området”* med tillhörande bilagor.

I skötselplanen framgår bland annat:

- hur kommunen ska agera vid oförutsedda händelser som kan inverka på området och i sin tur skada eller förstöra tekniska åtgärder som installerats
- hur den årliga besiktningen ska utföras
- vilken teknisk dokumentation som finns framtagen samt var dokumentationen kan hittas
- restriktioner för området och gällande regler vid avsteg från avsedd markanvändning

Skötselplanen är ett styrande dokument och utgör tillsynsmyndighetens grund i sin tillsynsutövning. Framtida revideringar ska ske i samråd med tillsynsmyndigheten. Nedan följer de rekommendationer som har framtagits utifrån utvärdering av genomförda undersökningar.

9.2 Årliga besiktningar

Som ett absolut minimum ska EKA-området besiktas 1 ggr/år på så sätt som beskrivs i Riktlinjer för tillsyn och skötsel av EKA-området. Besiktningen omfattar bland annat kontroll av befintliga installationer, mätning av grundvattennivåer inom området samt uppföljning av vattennivåerna i Bengtsbrohöljen och Lelång.

9.3 Partikelfiltrets funktion

Det som är mest angeläget att kontrollera är partikelfiltrets funktion och läckagen av kvicksilver via den avskärande dräneringen. Det finns en risk att partikelfiltrets genomsläpplighet för vattenflöden minskar genom gradvis igensättning. Processer som kan orsaka detta är järn- och manganutfällningar och biofilmetablering.



I GV-rören 325/7221, 7122/7220 och 7218/7219 ska man mäta grundvattennivåerna regelbundet, samtidigt som man mäter vattennivån i Bengtsbrohöljen. Eventuella långtidsförändringar i grundvattengradienten över filtret kan tolkas som att filtrets genomsläpplighet har ändrats. Dessutom mäts konduktiviteten (EC) i samtliga rör samt i Bengtsbrohöljen för att kunna bedöma i vilken utsträckning sjövattnet blandas med grundvattnet i filtret. Lämpligen koordineras dessa mätningar med övriga mätningar av grundvattennivåer på området.

I de fall grundvattengradienterna skulle visa en stadig förändring bör man i nämnda rör även mäta samma ämnen (elementanalys) som tidigare i ofiltrerat och filtrerat vatten (ej dioxin och kvicksilver-IVL), samt TOC. Filtringen av vattnet skall ske i fält.

För de fall **förändringar** inträffar samordnas med Länsstyrelsen gällande utökad program, ansvar för finansiering mm.

9.4 Utflöde från EKA-området

9.4.1 Kviksilver

I utflödet av den avskärande dräneringen i kraftverkskanalen (1106) mäts kvicksilver-IVL (ej metyl) i filtrerat och ofiltrerat vatten (filtringen görs av IVL). Detta bör göras en gång om året. Om halterna överskrider 5 µg/L ska fler provtagningar utföras. Om de höga halterna består ska anledningen till detta utredas.

9.4.2 Klorerade lösningsmedel

Förekomsten av klorerade lösningsmedel i grundvattnet inom Eka-området har kontrollerats under nästan 20 år sedan 2002 fram till år 2020. Även om den genomförda saneringen inte inriktades på klorerade lösningsmedel så tyder uppföljande mätningar på att åtgärderna haft god effekt även avseende de klorerade lösningsmedlen i grundvattnet. Halterna i grundvattnet nära och på avstånd från källområdet vid den tidigare kemtvätten har minskat väsentligt samtidigt som andelen naturliga nedbrytningsprodukter ökat. Åtgärderna bedöms ha ändrat spridningsriktning av grundvattnet som i nuläget i huvudsak förefaller strömma norrut till en dränering som mynnar i Bengtsbrohöljen. Ca 0,5 kg klorerade lösningsmedel bedöms årligen spridas från området den vägen. De klorerade lösningsmedlen avgår snabbt till atmosfären och bedöms inte innebära några risker för människors hälsa eller miljön.

Mot bakgrund av resultaten rekommenderas att fortsatt uppföljning av klorerade lösningsmedel endast behöver ske i dräneringsledningen en gång per år. Så länge uppmätta halter av summa klorerade lösningsmedel understiger 300 µg/l behövs inga ytterligare åtgärder eller kontroller vidtas.

En mer generell rekommendation är att inte omsätta grundvattenrör innan provtagning för analys av klorerade lösningsmedel då det leder till onödiga kostnader för omhändertagande av förorenat vatten. Moderna metoder som bl a föreskrivs i Nordamerika med långsam pumpning av grundvattnet i filterzonen direkt till vial rekommenderas.



För de fall **förändringar sker eller att halten från utgående vatten** från dräneringsledningen **ökar** samordnas med Länsstyrelsen gällande utökat program, ansvar för finansiering mm.

9.5 Fiskundersökning

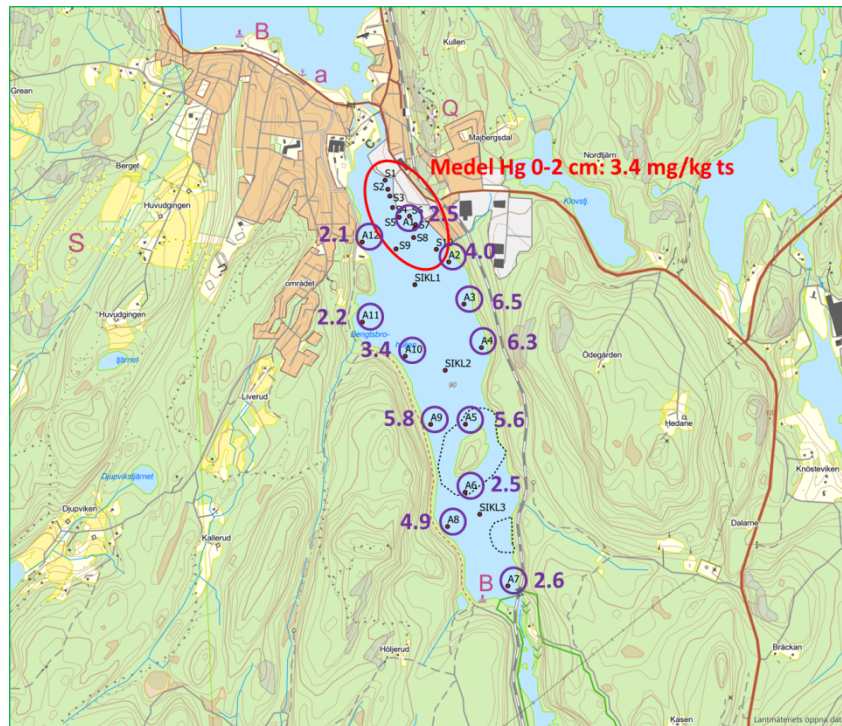
Om det finns bidragsmedel att söka för uppföljande fiskundersökningar vore det önskvärt för vattensystemet att följa upp kvicksilver- och dioxinhalter i Bengtsbrohöljens fisk. Dioxinhalten skulle då kunna mätas i tre samlingsprov av siklöja, kvicksilverhalten i 10 abborrar (ej samlingsprov) (10-20 g) och i 10 abborrar av konsumtionsstorlek (100 g och uppåt). De enskilda fiskarna vägs och mäts. Förslagsvis analyseras fisk vart femte år.



Referenser

1. Amyot, M. et al. Dark oxidation of dissolved and liquid elemental mercury in aquatic environments. *Environ. Sci. Technol.* **2005**, 39 (1), 110-114.
2. Xu, Y. et al. Patterns and levels of PCDD/F in a Chinese graphite electrode sludge. *Chinese Sci. Bull.* **2000**, 45, 1471-1476.
3. Creswell, J. E. et al. Factors controlling temporal and spatial distribution of total mercury and methylmercury in hyporheic sediments of the Allequash Creek wetland, northern Wisconsin. *J. Geophys. Res.* **2008**, 113, G00C02.
4. Elert, M. et al. Kvicksilver i Rolfstaån – Delångersån (Hudiksvall): Undersökningar och modellering av ackumulation och transport. *Naturvårdsverket Rapport 4868*.
5. Bloom, N. S. On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissue. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **1992**, 49 (5), 1010-1017.
6. Regnell, O. et al. Linking cellulose fiber sediment methyl mercury levels to organic matter decay and major element composition. *Ambio* **2014**, 43, 878-890.
7. Regnell, O. och Watras, C. J. Microbial mercury methylation in aquatic environments: A critical review of published field and laboratory studies. *Environ. Sci. Technol.* **2019**, 53 (1), 4-19.
8. Björnerås, C. et al. Widespread increases in iron concentration in European and North American freshwaters. *Global. Biogeochem. Cy.* **2017**, 31 (10), 1488-1500.
9. Henriksson, S. et al. Uptake and bioaccumulation of PCDD/Fs in earth worms after *in situ* and *in vitro* exposure to soil from a contaminated saw mill site. *Sci. Tot. Environ.* **2017**, 580, 564-571.
10. Lohmann, R. och Jones, K. C. Dioxins in air and deposition. A review of levels, behaviour and processes. *Sci. Tot. Environ. Sci.* **1998**, 219, 53-81.
11. Regnell, O. et al. Mercury in a boreal forest stream – role of historical mercury pollution, TOC, temperature, and water discharge. *Environ. Sci. Technol.* **2009**, 43, 3514-3521.
12. Braaten, H. F. W. et al. Five decades of declining methylmercury concentrations in boreal foodwebs suggest pivotal role for sulphate deposition. *Sci. Tot. Environ. Sci.* **2020**, 714, 136774.
13. Spiller, H.A. Rethinking mercury: the role of selenium in the pathophysiology of mercury toxicity. *Clin. Toxicol (Phila)*. **2018**, 56 (5), 313-326

Bilaga A - Provtagningspunkter sediment



Kviksilverhalter (mg kg/ts) i ytsediment (0 – 2 cm) på olika platser i Bengtsbrohöljen. Röd elips visar EKAs närområde. Där togs proverna i augusti 2019. De strandnära proverna (blå cirklar) togs i november 2019.



Nätprovfiske i Bengtsbrohöljen 2019

2019-11-21

Nätprovfiske i Bengtsbrohöljen 2019

Rapportdatum: 2019-11-21
Version: 1.0
Projektnummer: 3876

Uppdragsgivare: Bengtsfors kommun, 666 21 Bengtsfors

Utförare: Medins Havs och Vattenkonsulter AB
Företagsvägen 2, 435 33 Mölnlycke
Tel +46 31-338 35 40 | <http://www.medinsab.se> | Org nr 556389-2545

Författare: Ragnar Bergh

Kvalitetsgranskare: Carin Nilsson

Medverkande: Ragnar Bergh och Mikael Forssén

Bilder: Omslagsbilden föreställer fisk vid Bengtsbrohöljen 2019.

Allt bildmaterial i rapporten omfattas av © Medins Havs och Vattenkonsulter AB, om inte annat anges

Innehållsförteckning

Inledning	4
Metodik.....	4
Resultat.....	6
Vattenförhållanden.....	6
Fångstresultat	6
Statusklassificering med EQR8.....	6
Yttre skador och missbildningar	7
Jämförelse med tidigare provfisken.....	7
Slutsats	9
Referenser.....	10
Bilaga 1. Resultatsidor provfiske 2019.....	11
Bilaga 2. Nätinformation provfiske 2019.....	14

Inledning

På uppdrag av Bengtsfors kommun har Medins Havs och Vattenkonsulter AB under 2019 undersökt fiskfaunan i sjön Bengtsbrohöljen. Syftet med provfisket var att studera effekter av saneringen som utfördes 2005-2008 efter EKA Chemicals kloralkalifabrik i Bengtsfors. Sammanlagt fyra provfiskena har utförts i Bengtsbrohöljen varav två före och två efter saneringen. Målsättning vid de utförda provfiskena har varit att beskriva fisksamhällets tillstånd vid given tidpunkt och påvisa eventuella förändringar.

Metodik

Provfisket utfördes under perioden 2019-08-26 till 2019-08-29 av Medins Havs och Vattenkonsulter AB. Undersökningarna utfördes i enlighet med den standardiserade metoden SS-EN 14757:2015 samt Havs- och Vattenmyndighetens handledning för miljöövervakning (SIS 2015, Havs- och Vattenmyndigheten 2016). Provfisket omfattade 40 bottensatta översiktsnät av typen Norden12. Nätens placering och djup valdes för att i möjligaste mån överensstämma med provfisket 2012. Till skillnad från tidigare provfiskena användes 2019 inga pelagiska nät vid provfisket. Detaljerad information för respektive lagt nät redovisas i Bilaga 2. I samband med provfiskena utfördes mätningar av vattnets temperatur, siktdjup och syreförhållanden. Resultaten av dessa mätningar redovisas tillsammans med beräknade index och fångstresultat från årets provfiske i Bilaga 1.

Efter genomfört provfiske rapporterades resultaten till datavärden, Sveriges lantbruksuniversitet. Samtliga primärdata finns att hämta från sjöprovfiskedatabasen NORS hos datavärden (SLU).

Resultaten av de utförda provfiskena utvärderades enligt Havs- och Vattenmyndighetens bedömningsgrunder (Havs- och vattenmyndigheten 2019). Beräknad klassificering av ekologisk status enligt indexet EQR8, försurningsklassificering enligt AindexW5 och näringsklassificering enligt EindexW3 utfördes av datavärden SLU. I syfte att kunna studera statusklassförändringar beräknades även statusklass

Utvärdering av nätprovfiske

Vid klassning av ekologisk status avseende fisk används indexet EQR8. Indexet används för att påvisa generell påverkan. Indexet sammanväger åtta delparametrar som beräknas från fångsten i ett standardiserat provfiske med bottensatta nät. De parametrar som ingår är bland annat: antal inhemska arter, fisksamhällets diversitet, andel fiskätande abborrfisk och kvoten mellan abborre och karpfisk.

Vid klassning av försurningspåverkan används indexet AindexW5. Fem delparametrar sammanvägs, däribland antalet mört per nät, geometrisk medellängd av mört och andel karpfiskar.

Vid klassning av näringspåverkan används indexet EindexW3. Tre delparametrar ingår: Andel potentiellt fiskätande abborrfiskar, antal fiskar per nät och geometrisk medellängd av abborre.

för fisket enligt Naturvårdsverkets gamla bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). Detta då EQR8-beräkningar ej finns tillgängliga för tidigare provfisken i Bengtsbrohöljen.



Figur 1. Foton från nätprovfiske i Bengtsbrohöljen 2019. Överst till vänster: Mätning och vägning av fisk. Överst till höger: Nätupptag. Nederst till vänster: Lake. Nederst till höger: Siklöjor.

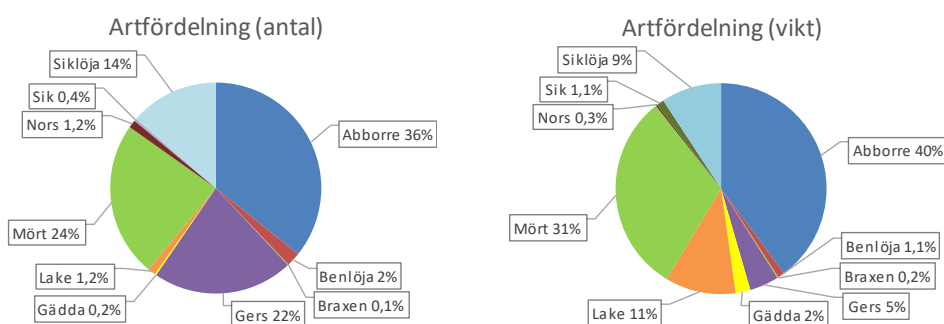
Resultat

Vattenförhållanden

Vid provfisket noterades vattnets temperatur, siktdjup och syreförhållanden vid sjöns djuphåla. Mätningarna visade på ett temperatursprångskikt på cirka 10–12 meters djup. Syremätningarna visade att hela vattenpelaren var syresatt och att ingen syrebrist i bottenvattnet förelåg. Siktdjupet var 4,1 meter.

Fångstresultat

Sammantaget under årets provfiske i Bengtsbrohöljen fångades 10 arter vilket bedöms som artrikt. Fyra arter var antalsmässigt dominerande i fångsten, abborre, mört, gers och siklöja (Figur 2). Övriga arter förekom mer sparsamt (lake, löja, braxen, sik, gädda och nors). Den genomsnittliga fångsten per nätansträngning var 20,9 individer eller 953 gram fisk per nät. En art upptagen på artdatabankens rödlista ingick i fångsten. Arten lake (*Lota lota*) är på rödlistan klassad som nära hotad (Artdatabanken 2015).



Figur 2. Artsammansättning redovisat som procent av totalantal och totalvikt i Bengtsbrohöljen 2019.

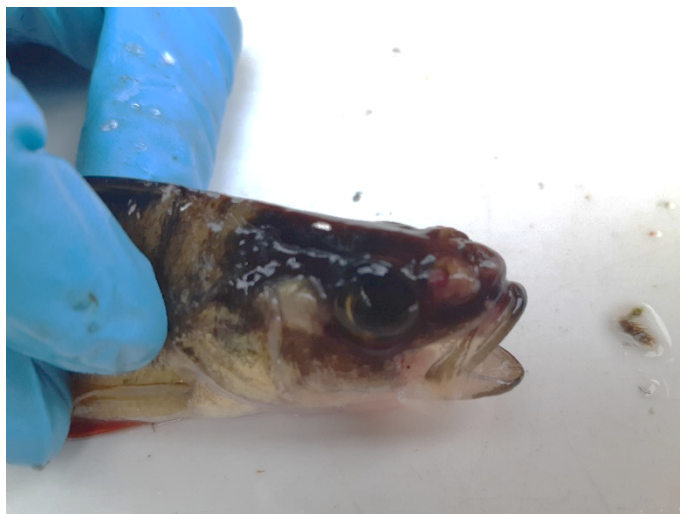
Statusklassificering med EQR8

Klassificering av ekologisk status enligt indexet EQR8 (Havs- och vattenmyndigheten 2019) indikerade god status för Bengtsbrohöljen 2019. Av de ingående parametrarna för statusklassning med fiskindexet EQR8 var det få som avvek nämnvärt från framräknade referensvärden. Referensvärdena beskriver förväntat resultat av en opåverkad sjö med Bengtsbrohöljens naturgivna förutsättningar såsom djup, storlek och geografiskt läge. Fler arter fångades än förväntat och artdiversiteten avvek från referensvärden. Surhetsindexet AindexW5

och näringsindexet EindexW3 gav hög status. Sammantaget indikerar resultaten att Bengtsbrohöljen 2019 var artrik med hög diversitet och utan försurnings- eller näringsämnespåverkan.

Yttre skador och missbildningar

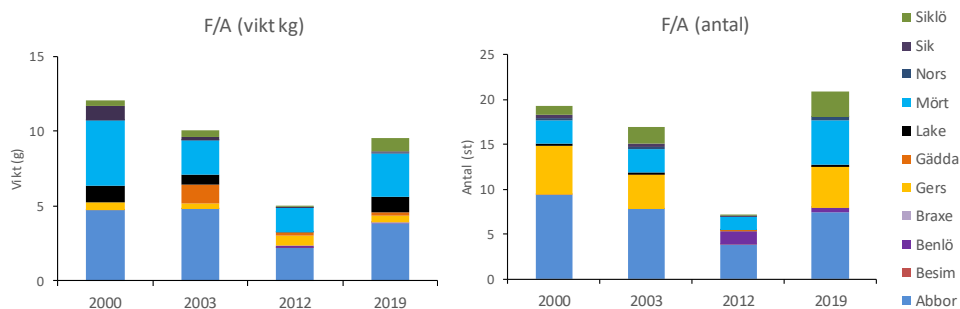
Vid provfisket noterades inga ryggradskrökningar vilket observerats vid tidigare provfisket (Engdahl och Nilsson 2003). En abborre med någon form av skada/sjukdom fångades dock. Abborren uppvisade någon form av bölder på nosen (Figur 3). Orsak till skadan/sjukdomen är oklar.



Figur 3. Abborre med skada/sjukdom från provfisket i Bengtsbrohöljen 2019.

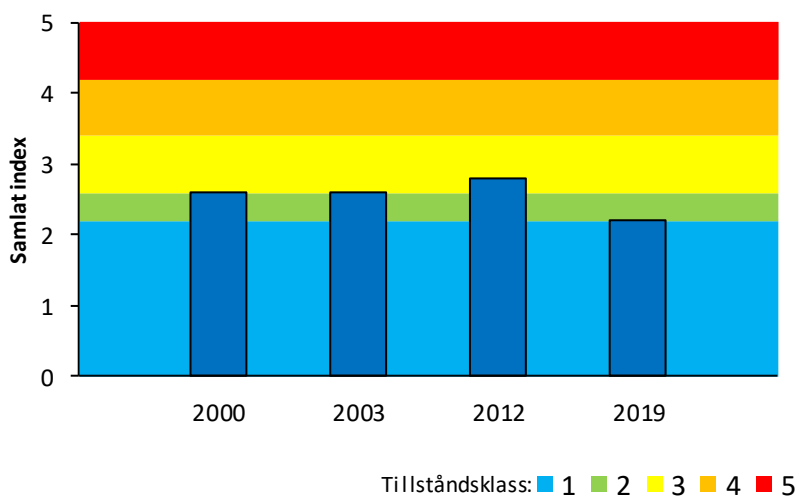
Jämförelser med tidigare provfisket

Bengtsbrohöljen har provfiskats vid tre tidigare tillfällen, 2000, 2003 och 2012. Inga påtagliga skillnader på fisksamhälle vid de olika provfiskena noterades. Artsammansättningen har varit mycket lik och i samtliga provfiskena har abborre varit den vanligast förekommande arten (Figur 4). Vid provfiskena 2000 och 2003 fångades ingen löja vilket har gjorts vid de två senare provfiskena. Årets provfiske skiljde sig från tidigare provfisket dels då bergsimpa ej ingick i fångsten dels då en braxen fångades för första gången vid ett provfiske i Bengtsbrohöljen. En möjlig tendens till att beståndet av siklöja ökat anades då det vid årets provfiske var fler siklöjor per nät samt att de sammantaget utgjorde en större andel av totalfångsten. Skillnaden var dock inte så stor att slump kan uteslutas. Det provfiske som urskiljer sig mest var provfisket 2012 då fångst per nätansträngning var betydligt lägre jämfört med övriga provfisket (Figur 4). Troligen är förklaringen till detta att provfisket 2012 utfördes senare på året (24e-29e september) vid en lägre vattentemperatur (12,4 °C). Enligt handledningen rekommenderas standardiserade provfisket inte utföras vid vattentemperaturer lägre än 15 °C då fiskarnas aktivitetsmönster kan vara anorlunda (Havs- och vattenmyndigheten 2016).



Figur 4. Fångst per ansträngning (F/A) för samtliga provfisken gjorda med bottensatta nät i Bengtsbrohöljen. Redovisat i antal fiskar och biomassa.

I syfte att kunna jämföra sjöns tillstånd utifrån provfiskena beräknades tillståndsklass enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder från 1999. Utifrån fem delparametrar beräknas ett samlat index. Tillståndsklass bestäms utifrån det samlade indexet på en femgradig skala där tillståndsklass 1 indikerar ett rikt och diversit fiskesamhälle och tillståndsklass 5 ett art- och fiskfattigt fiskesamhälle. Provfiskena 2000 och 2003 bedömdes båda till tillståndsklass 3 men var på gränsen till tillståndsklass 2. Provfisket 2012 fångades minst fisk och beräknades till tillståndsklass 3. Årets provfiske gav lägst samlat index och låg på gränsen mellan tillståndsklass 1 och 2 (Figur 5).



Figur 5. Tillståndsklass enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder från 1999 för provfisken genomförda i Bengtsbrohöljen.

Slutsats

Resultaten från årets provfiske visade att sjön hyser ett artrikt och diverst fisk-samhälle. Fiskfaunan kan betraktas som normal för en relativt djup och näringsfattig sjö. Statusklassificering med EQR8 resulterade i god status utan indikationer på surhets- eller näringspåverkan. Resultatet visar på liknande förhållanden som tidigare utförda provfisken. Ingen tydlig påverkan från föroreningar har kunnat konstateras vare sig vid provfisket 2019 eller vid tidigare provfisken. Inte heller kan någon tydlig skillnad på provfiskeresultat skönjas mellan provfisken utförda före eller efter sanering.

Referenser

- Artdatabanken 2015. Rödlistade arter I Sverige 2015. Artdatabanken SLU, Uppsala.
- Emanuelsson, A. 2012. Nätprovfiske i Bengtsbrohöljen 2012. Norconsult AB.
- Engdahl, A & Nilsson, P-A. 2003. Nätprovfiske i Bengtsbrohöljen 2003. Medins Sjö- och Åbiologi AB.
- Havs- och vattenmyndigheten. 2016.Handledning för miljöövervakning. Programområde: Sötvatten. Undersökningstyp: Provfiske i sjöar. Version 1:4, 2016-09-08.
- Havs- och vattenmyndigheten 2019. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering avseende ytvatten. HVMFS 2013:19. Konsoliderad elektronisk utgåva 2019-01-01.
- MELICA 2000. Provfiske i Bengtsbrohöljen och Fillingsjön. Delrapport 2.
- Naturvårdsverket 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Sjöar och vattendrag. Rapport 4913.
- SIS 2015. Svensk Standard, SS-EN 14757:2015. Vattenundersökningar- provtagning av fisk med översiktsnät.
- SLU 2019. Resultat samt beräknade index från årets provfiske och provfisket 2000. Data sammanställd av Anders Kinnerbäck, Sveriges lantbruksuniversitet.

Bilaga 1. Resultatsidor provfiske 2019

Bengtsbrohöljen

Nätprovfiske Sida 1

Koordinat: 654781/129551

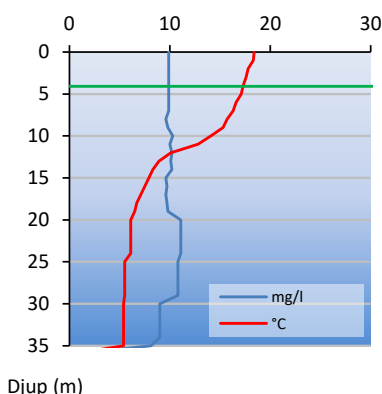
Datum: 2019-08-26

Lokalinformation / fältnoteringar

Huvudflodsområde: 108 Göta älv
 Län: 14 Västra Götaland
 Höjd över havet (m): 90

Organisation: Medins Havs och Vattenkonsulter AB
 Personal: R. Bergh/M. Forssén
 Sjöyta (ha): 110
 Max djup (m): 37
 Medeldjup (m): 20
 Siktdjup (m): 4,1

Temperatur och syrgasprofil



Kommentar:

Bengtfors ligger vid Bengtsbrohöljens norra ände, i övrigt utgörs sjöns omgivning huvudsakligen av skog. Maxdjupet i sjön uppgår till 37 meter och medeldjupet cirka 20 meter. I samband med provfisket noterades siktdjup, vattnets temperatur och mängden löst syrgas. Mätningarna visade ett temperatursprångskikt mellan cirka 10 och 12 meter. Mätningarna visade även att hela vattenpelaren var syresatt och att ingen syrebrist i bottenvattnet förelåg. Siktdjupet var 4,1 meter.

Nätansträngning och fångst per ansträngning (antal individer) för respektive djupzon

Bottensatta nät

Djupzon:	<3 m	3-5.9 m	6-11.9 m	12-19.9 m	20-34.9 m
Antal nät:	8	6	10	8	8
Abborre	13,63	10,83	11,9	0,75	0
Benlöja	2,25	0	0	0	0
Braxen	0,13	0	0	0	0
Gers	2,50	2,83	7,7	8	0,25
Gädda	0,13	0	0,1	0	0
Lake	0	0	0	0,13	1,13
Mört	22	2,5	0,8	0	0
Nors	0	0	0	0,38	0,88
Sik	0	0	0,1	0,13	0,13
Siklöja	0	0	0	2,38	11,88
F/A TOTALT:	41	16	21	12	14,25

Fångstresultat

Bottensatta nät

Art	Antal		Antal/nät	Vikt		Vikt/nät	Medelvikt
	(st.)	(%)		(g)	(%)		
Abborre	299	35,8	7,5	15167	40	379	51
Benlöja	18	2,2	0,5	404	1	10	22
Braxen	1	0,1	0,03	70	0	2	70
Gers	180	21,5	4,5	1704	4	43	9
Gädda	2	0,2	0,1	864	2	22	432
Lake	10	1,2	0,3	4124	11	103	412
Mört	199	23,8	5,0	11729	31	293	59
Nors	10	1,2	0,3	101	0	3	10
Sik	3	0,4	0,1	422	1	11	141
Siklöja	114	13,6	2,9	3519	9	88	31
TOTALT:	836	100	20,9	38103	100	953	1237

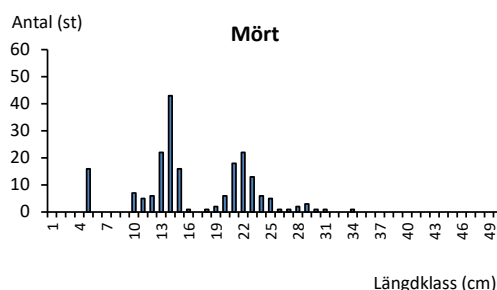
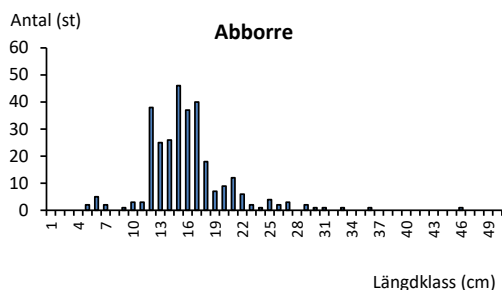
Bengtsbrohöljen

Nätprovfiske Sida 2

Koordinat: 654781/129551

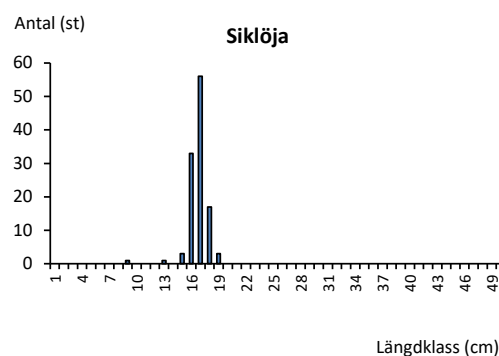
Datum: 2019-08-26

Längder



Länggdata (mm)

Art	Medel	Största	Minsta	Antal
Abborre	156	460	46	299
Benlöja	144	186	103	18
Braxen	190	190	190	1
Gers	92	124	58	180
Gädda	337	532	142	2
Lake	370	483	280	10
Mört	163	331	47	199
Nors	124	146	108	10
Sik	263	309	235	3
Siklöja	163	190	82	114



Statusklassning

Fiskparametrar i EQR8	Index värde	Referensvärde	P-värde	Z-värde
Inhemiska arter (antal)	10	6,8	0,04	2,08
Artdiversitet (antal)	4	2,4	0,01	2,79
Artdiversitet (vikt)	3,62	2,8	0,3	1,04
Relativ biomassa inhemiska arter (F/A)	953	789	0,68	0,41
Relativt antal av inhemiska arter (F/A)	20,9	24,7	0,77	-0,29
Medelvikt i totala fångsten	45,6	35,8	0,66	0,45
Andel fiskätande abborrfiskar	0,3	0,37	0,72	-0,36
Kvot abborre/karpfiskar	1,2	1,3	0,98	-0,03

EQR8

0,52

Klassning:

God status

P-värde Klass 1	P-värde Klass 2	P-värde Klass 3	P-värde Klass 4	P-värde Klass 5
0,0045	0,77	0,22	0,0022	8,2E-07

AindexW5

Värde: 1,0

Klassning: **Hög status****EindexW3**

Värde: 1,0

Klassning: **Hög status**

Kommentar/Bedömning

Bengtsbrohöljens fisksamhälle var artrikt. Vid provfisket fångades tio arter varav abborre, mört och gers var talrikast, följt av siklöja. Övriga arter förekom mer sparsamt. Av de i indexet EQR8 ingående delparametrarna avvek endast två nämnvärt från de framräknade referensvärdena. Dessa gällde antal arter och individernas fördelning mellan arter då Bengtsbrohöljen var artrikare och fördelningen jämnare jämfört med referensvärden. Sammantaget klassificerades Bengtsbrohöljen ha god status enligt EQR8 utifrån resultaten 2019. Surhetsindexet AindexW5 och näringsindexet EindexW3 gav hög status vilket visar att försurnings- eller näringsämnespåverkan ej föreligger.

Bilaga 2. Nätinformation provfiske 2019

Bengtsbrohöljen, Nätdata

Nätnummer	Botten/Pelagiskt	Nättyp	Nätarea	Antal maskor	X-koordinat	Y-koordinat	Startdjup	Stoppdjup
1	B	NORD12	45	12	6546071	341044	6,8	6,7
2	B	NORD12	45	12	6546028	341002	6,6	6,0
3	B	NORD12	45	12	6545893	341003	4,3	4,2
4	B	NORD12	45	12	6546055	341176	2,5	1,9
5	B	NORD12	45	12	6545901	341241	7,0	7,5
6	B	NORD12	45	12	6545849	341243	9,9	9,0
7	B	NORD12	45	12	6545703	341430	16,0	15,5
8	B	NORD12	45	12	6545548	341116	27,0	26,6
9	B	NORD12	45	12	6545462	340999	9,4	7,4
10	B	NORD12	45	12	6545434	341008	12,0	12,0
11	B	NORD12	45	12	6545350	340957	7,1	8,6
12	B	NORD12	45	12	6545203	341000	4,3	4,0
13	B	NORD12	45	12	6545251	341440	26,3	26,0
14	B	NORD12	45	12	6545349	341458	22,2	24,0
15	B	NORD12	45	12	6545409	341527	15,3	17,9
16	B	NORD12	45	12	6545886	341839	3,0	2,2
17	B	NORD12	45	12	6543890	341797	2,6	3,0
18	B	NORD12	45	12	6543769	341812	4,0	4,0
19	B	NORD12	45	12	6543632	341754	2,1	1,7
20	B	NORD12	45	12	6544030	341611	20,0	20,0
21	B	NORD12	45	12	6544140	341394	3,4	4,1
22	B	NORD12	45	12	6544190	341366	4,8	4,5
23	B	NORD12	45	12	6544267	341374	10,0	7,6
24	B	NORD12	45	12	6544356	341360	8,1	7,6
25	B	NORD12	45	12	6544231	341434	16,2	15,0
26	B	NORD12	45	12	6544393	341685	8,7	8,7
27	B	NORD12	45	12	6544329	341766	16,5	16,4
28	B	NORD12	45	12	6544239	341840	2,0	2,0
29	B	NORD12	45	12	6544353	341836	3,8	5,6
30	B	NORD12	45	12	6544596	341716	7,0	6,7
31	B	NORD12	45	12	6544739	341734	2,1	2,2
32	B	NORD12	45	12	6545103	341706	1,4	1,3
33	B	NORD12	45	12	6545204	341701	2,5	1,5
34	B	NORD12	45	12	6545077	341417	27,7	26,7
35	B	NORD12	45	12	6545143	341282	26,3	26,7
36	B	NORD12	45	12	6545024	341252	12,0	12,2
37	B	NORD12	45	12	6544726	341357	12,4	13,8
38	B	NORD12	45	12	6544621	341381	17,5	16,7
39	B	NORD12	45	12	6544655	341428	21,0	22,6
40	B	NORD12	45	12	6544781	341467	21,1	20,8



Bottenfauna i Bengtsbrohöljen 2020

2020-07-06

Nätprovfiske i Bengtsbrohöljen 2020

Rapportdatum: 2020-07-06
Version: 1.0
Projektnummer: 4005

Uppdragsgivare: Bengtsfors kommun, 666 21 Bengtsfors

Utförare: Medins Havs och Vattenkonsulter AB
Företagsvägen 2, 435 33 Mölnlycke
Tel +46 31-338 35 40 | <http://www.medinsab.se> | Org nr 556389-2545

Författare: Mikaela Sandgathe
Kvalitetsgranskare: Carin Nilsson
Medverkande: Ragnar Bergh och Mikael Forssén
Bilder: Omslagsbilden föreställer fjädermygglarven Paralauterborniella nigrohalteralis.

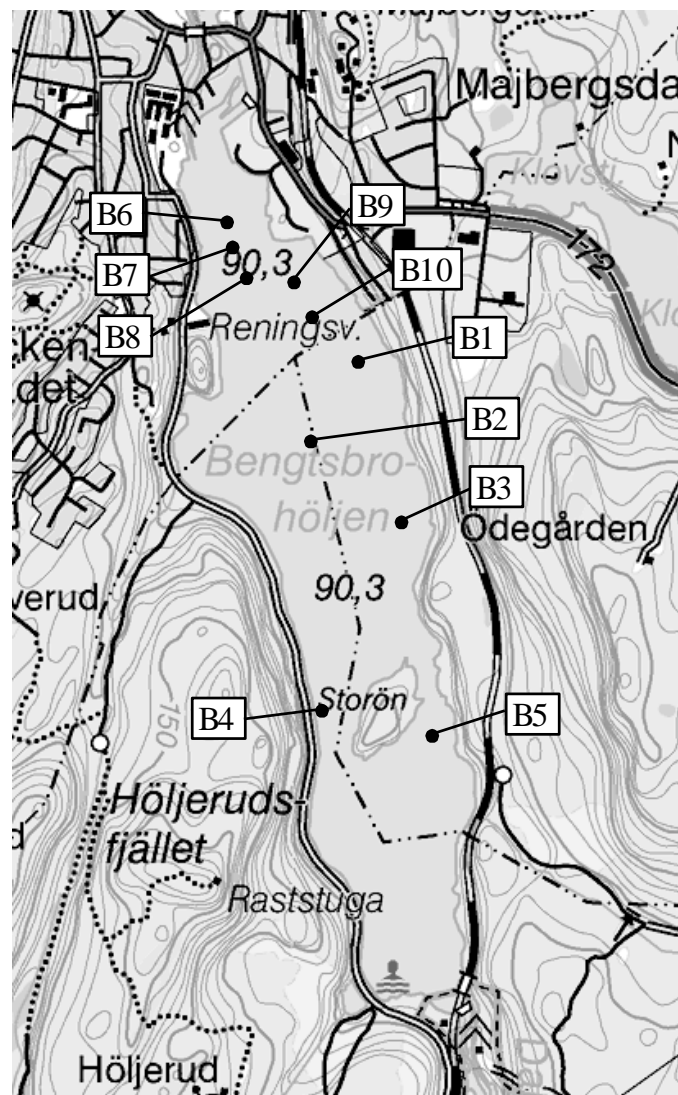
Allt bildmaterial i rapporten omfattas av © Medins Havs och Vattenkonsulter AB, om inte annat anges

Innehållsförteckning

Inledning	4
Metodik.....	5
Provtagning	5
Analys	6
Utvärdering	6
Resultat.....	8
Näringsfattiga förhållanden.....	8
Jämförelse med tidigare år	9
Mundelsskador	11
Övrigt	11
Slutsats	12
Referenser.....	13
Bilaga 1.....	14
Bilaga 2.	16

Inledning

På uppdrag av Bengtsfors kommun har Medins Havs och Vattenkonsulter AB under våren 2020 undersökt bottenfaunan i sjön Bengtsbrohöjden. Syftet med undersökningen var att studera effekter av saneringen som utfördes 2005-2008 efter EKA Chemicals kloralkalifabrik i Bengtsfors. Bottenfaunan analyserades vid två tillfällen innan saneringen och undersökningen 2020 har genomförts vid samma 10 stationer som innan saneringen för att kunna utvärdera eventuella förändringar.



Figur 1. Karta över bottenfaunaprovplatser 2020.

Metodik

Beteckningen bottenfauna avser ryggradslösa djur (insekter, fåborstmaskar, iglar, virvelmaskar, snäckor, musslor och kräftdjur) som lever på botten i vattenmiljöer. Djuren uppehåller sig i vattnet under hela eller delar av sitt liv och ger ett mått på vattenkvaliteten över denna tid.

Provtagning

Provtagningen av bottenfauna utfördes den 21 april 2020. 10 stationer i sjön undersöktes, flest närmst den före detta fabriken men även utspritt övrigt i sjön (Figur 1 och Tabell 1). I provytan på respektive station togs fem delprover med en Ekmanhämtare med provytan 0,021 m² enligt den standardiserade metoden SS 02 81 90 (SIS, 1986). Provtagningen följde även anvisningarna i Havs- och vattenmyndighetens handledning för miljöövervakning (Havs- och Vattenmyndigheten, 2016). Proverna sållades på plats genom ett såll med masktätheten 0,5 x 0,5 mm och konserverades i 95 % etanol till en slutlig koncentration av ca 70 %. De fältprotokoll som upprättades vid provtagningen redovisas i form av stationsbeskrivningar i Bilaga 1.

Lokalnummer	Provdjup (m)	Lokalkoordinat (x)	Lokalkoordinat (y)
B1	12,1	6545638	341490
B2	12,6	6545357	341354
B3	12,5	6545120	341647
B4	10,8	6544538	341394
B5	12,7	6544452	341735
B6	9,5	6546073	341085
B7	13	6545973	341087
B8	17	6545894	341148
B9	8	6545876	341298
B10	12	6545756	341349

Tabell 1. Koordinater för provtagna stationer i Bengstbrohöljen 2020. Koordinaterna är angivna i SWEREF99 TM.

Medins Havs och Vattenkonsulter AB är ackrediterat av SWEDAC i enlighet med ISO 17025 (ackrediteringsnummer 1646) samt ISO 9001 certifierat av RISE (certifieringsnummer 4609). Medins är också miljöcertifierat av RISE enligt ISO 14001 (certifieringsnummer 4609 M).

Analys

På laboratoriet sorterades djuren ut och konserverades i 70 % sprit varefter de identifierades med hjälp av preparer- och ljusmikroskop. Nivån för artbestämningarna följde minst Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (Havs- och Vattenmyndigheten, 2018). Dessutom artbestämdes fjädermygglarver (chironomidae) och gördelmaskar (Oligochaeta). Fullständig artlista redovisas i Bilaga 2.

Utvärdering

Utvärderingen följde Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (Havs- och vattenmyndigheten, 2019). Enligt bedömningsgrunderna används indexet BQI (Benthic Quality Index) för att klassa statusen med avseende på eutrofiering i sjöars profundalområden. Klassningen sker i en femgradig skala: hög, god, måttlig, otillfredsställande och dålig status. Vid föreliggande statusklassningar gjordes även en expertbedömning. I expertbedömningen vägdes kända förhållanden i och kring sjön in tillsammans med erfarenheter från andra sjöar i regionen. Dessutom beaktades ett antal andra index, framförallt O/C-index (Widerholm T. , 1999A) och (Widerholm, 1999B) och det sammansatta indexet EEI (Eutrofi-effekt-index) (Liungman & Eriksson, 2006).

Förutom statusklassningen enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter utvärderades även näringstillgång och syreförhållanden i bottenvattnet. Vid bedömningen av näringstillgång användes framförallt PTI (Profundalt Trofi-index) (Liungman & Eriksson, 2006). Näringstillgång klassades i en femgradig skala: mycket näringsfattigt tillstånd, näringsfattigt tillstånd, måttligt näringsrikt tillstånd, näringsrikt tillstånd och mycket näringsrikt tillstånd. Syreförhållandena i bottenvattnet bedömdes utifrån förekomst av indikatorarter. Syretillståndet klassades efter en femgradig skala: mycket syrerika förhållanden, syrerika förhållanden, måttligt syrerika förhållanden, syrefattiga förhållanden och mycket syrefattiga förhållanden.

Bedömningen av annan påverkan omfattade framförallt påverkan av toxiska ämnen t.ex. tungmetaller som genom sin förekomst kan skapa missbildningar hos djuren eller vara direkt dödande.

I Bedömningsgrunder för bottenfaunaundersökningar (Medin, o.a., 2009) kan man läsa om bottenfauna i allmänhet samt om de kriterier och gränsvärden som använts vid bedömningen.

Mundelsskador

Förutom diverse index har eventuell förekomst av mundelsskador bland chironomider (hos gruppen Chironomini) utgjort underlag till bedömningarna. Skador på mundelarna, som orsakas under djurets tillväxt, yttrar sig som deformationer på t.ex. mentum eller mandibler (Figur 2). Denna typ av subletala effekter är väl dokumenterade från många olika håll i samband med utsläpp av flera olika typer av miljögifter och industriavfall t.ex. tungmetaller, pesticider och DDT (Rosenberg & Resh, 1993). Ett flertal undersökningar har visat att skadefrekvensen blir större med ökad miljögiftshalt och det finns dokumenterade skadefrekvenser i påverkade miljöer från några få procent upp till nära åttio procent av populationen (Vedamanikam & Shazili, 2009). I rena och opåverkade miljöer är den här typen av skador mycket ovanliga och skadefrekvensen nära noll (Wiederholm, 1984).

Medins har i tidigare studier arbetat fram preliminära klassgränser för missbildnings-frekvensen hos sedimentlevande fjädermyggslarver inom den taxonomiska gruppen Chironomini. Skadefrekvensen har indelats i fem klasser enligt:

- Naturlig frekvens 0-1 %
- Låg frekvens 1-5 %
- Måttlig hög frekvens 5-10 %
- Hög frekvens 10-20 %
- Mycket hög frekvens > 20 %



Figur 2. Foton på mentum hos individer av fjädermyggslarver. Mentum är en central mundel som kan missbildas om djuret utsatts för miljögifter under tillväxten. Mittenbilden är en oförändrad individ medan omkringliggande är exempel på skadade mentum.

Resultat

Näringsfattiga förhållanden

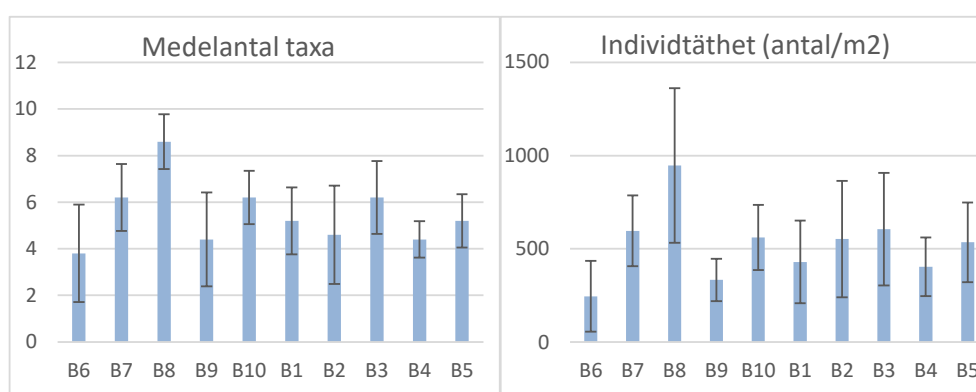
Resultatet från 2020 års bottenfaunaundersökning tyder på att Bengtsbrohöljen är en näringsfattig, på gränsen till mycket näringsfattig sjö. Låga halter av näringsämnen och en låg primärproduktion ger förutsättningar för en artrik och divers bottenfauna.

Samtliga index och parametrar tyder på goda förhållanden med hög status enligt BQI, även enligt expertbedömningen bedöms sjön till hög status. I tabell 2 visas resultat för varje station för sig. Syresituationen, med utgångspunkt från bottenfaunans krav, bedöms som syrerik på samtliga stationer i sjön.

Tabell 2. Resultat från bottenfaunaundersökningen 2020 uppdelat per station.

Lokal	Djup (m)	Totalantal taxa	Individtäthet	Diversitetsindex	BQI	O/C-index	Näringsstillstånd
B1	12,1	13	466,67	3,33 (mycket högt)	3,33 (Hög)	1,42	Mycket näringsfattigt
B2	12,6	12	600,00	2,34 (högt)	3,06 (Hög)	1,08	Mycket näringsfattigt
B3	12,5	16	657,14	3,30 (mycket högt)	3,26 (Hög)	0,71	Mycket näringsfattigt
B4	10,8	11	438,10	2,40 (högt)	3,19 (Hög)	0,45	Näringsfattigt
B5	12,7	11	580,95	2,50 (högt)	3,23 (Hög)	0,14	Näringsfattigt
B6	9,5	9	266,67	2,81 (högt)	3,20 (Hög)	1,05	Näringsfattigt
B7	13	15	647,62	2,75 (högt)	3,08 (Hög)	0,60	Näringsfattigt
B8	17	17	1028,57	3,37 (mycket högt)	3,28 (Hög)	1,32	Mycket näringsfattigt
B9	8	14	361,90	3,10 (mycket högt)	3,00 (Hög)	0,00	Näringsfattigt
B10	12	13	609,52	3,12 (mycket högt)	3,59 (Hög)	3,47	Näringsfattigt

Station B6, B7, B8, B9 och B10 ligger i norra delen av sjön, närmst den före detta fabriken. Stationerna i den norra delen uppvisade en större variation jämfört med lokalerna i den södra delen men i övrigt är resultaten likartade (Tabell 2, Figur 3)



Figur 3. Medelantal taxa per prov och individtäthet vid stationerna i Bengtsbrohöljen 2020, angivet med 95% konfidensintervall. Stationerna är sorterade från norr till söder där den nordligaste stationen är längst till vänster.

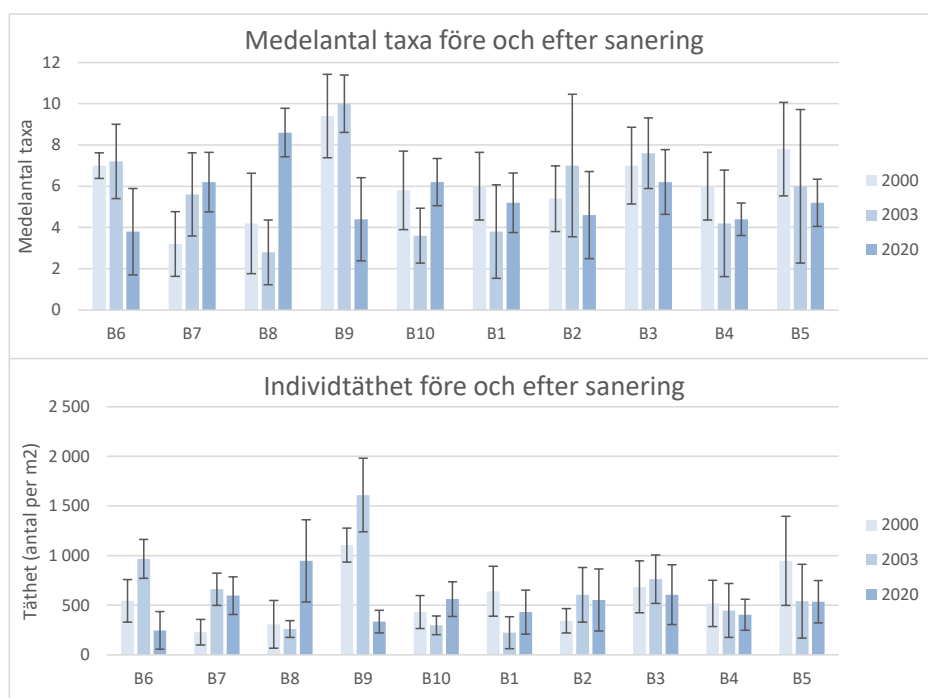
Jämförelse med tidigare år

Undersökningen 2020 visar på ett likartat resultat, jämfört med de som gjordes år 2000 och 2003. Då som nu visar resultaten på en näringsfattig miljö med hög diversitet. Viss förändring kan dock ses. Artsammansättningen har förändrats något och har därmed påverkat diversiteten i viss utsträckning. I tabell 3 redovisas medelvärden från de 10 stationerna vid de tre undersökningstillfällena.

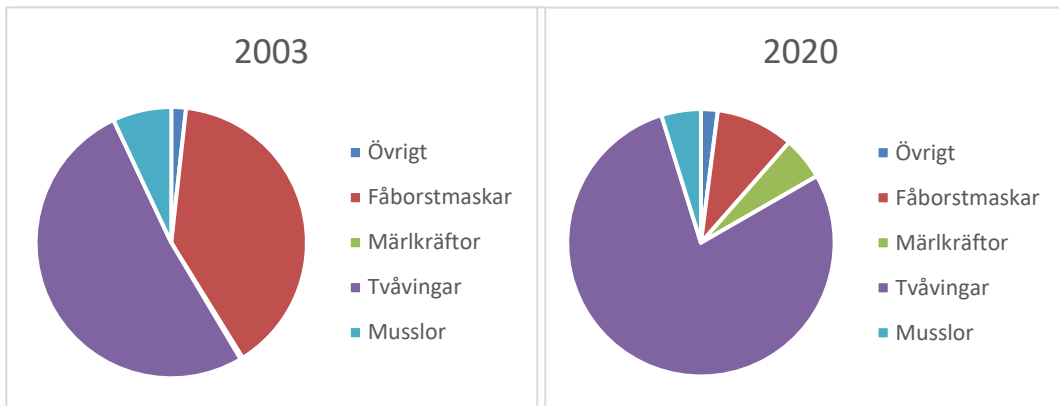
Tabell 3. Resultat från undersökningar i Bengtsbrohöljen gjorda före och efter saneringen. Värdena är medelvärden från de tio stationerna i sjön.

	2000	2003	2020
BQI	3,2	3,5	3,2
O/C-index	4	4,5	1
Diversitetsindex	3,2	3,2	2,9
Total antal taxa	14,4	14,3	13,1
Medelantal taxa	6,2	5,8	5,5
Täthet antal/m ²	574,5	637,2	565,7

I sjöns norra del har medelantal taxa och individtäthet uppvisat större förändringar på enskilda stationer, än i den södra delen av sjön. Såväl artantal som individtäthet har minskat på station 6 och 9 men ökat på station 8, jämfört med undersökningen 2003 (Figur 4). Detta kan vara ett resultat av att saneringsåtgärderna påverkat förhållandena lokalt men det kan även mycket väl bero på naturlig mellanårsvariation.

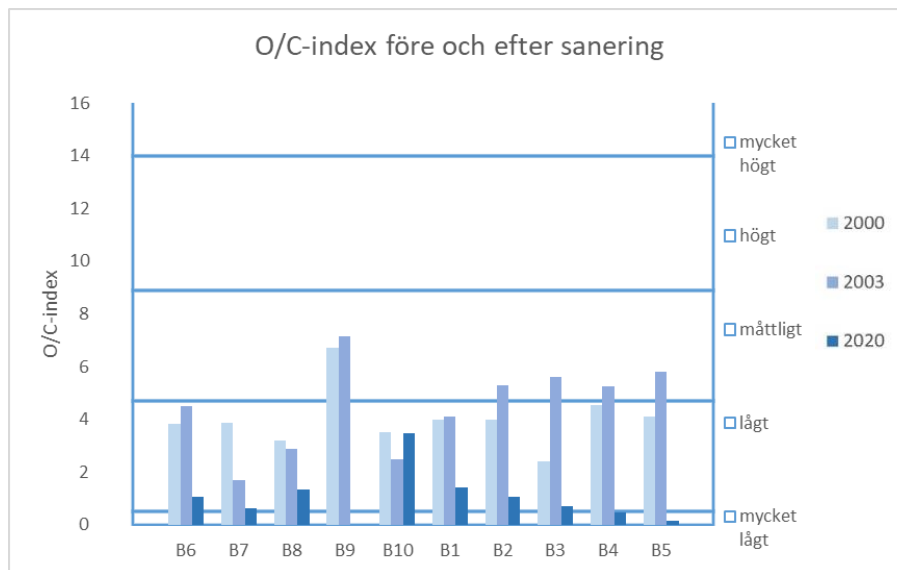


Figur 4. Medelantal taxa per prov och individtäthet vid stationerna i Bengtsbrohöljen 2000, 2003 och 2020, angivet med 95% konfidensintervall. Stationerna är sorterade från norr till söder där den nordligaste stationen är längst till vänster.



Figur 5. Fördelningen av djur över olika djurgrupper beräknat på tätheter för 2003 och 2020. År 2000 var sammansättningen i princip samma som 2003. Tvåvingar representeras i detta fall fjädermygglarver.

Vid årets undersökning noterades lägre tätheter av fåborstmaskar (*Oligochaeta*) och högre tätheter av fjädermygglarver (*Chironomidae*), vilka nu dominerar bottenfaunan (Figur 5). Därmed har O/C-index gått ner, vilket mäter förhållandet mellan ovan nämnda grupper. Även märkräftorna var något fler under 2020. Märkräftor är en grupp som främst förekommer i näringsfattiga vatten och som normalt uppvisar betydande mellanårsvariationer i täthet. I figur 5 kan utläsas den procentuella fördelningen av botten djuren under 2003 respektive 2020 och i figur 6 syns en jämförelse av O/C-index mellan de tre provtagningstillfällena. Vid provtagningen 2020 hade O/C-index sjunkit på alla stationer utom en, jämfört med 2003. Ingen station hade under 2020 en så pass hög andel fåborstmaskar att värdet för O/C blev måttligt högt, utan några hade istället ett värde som klassas som mycket lågt. Förändringen indikerar att det skett en oligotrofiering av Bengtsbrohöljen, från en redan näringsfattig nivå.



Figur 6. Värdet för O/C index under de tre provtagningstillfällena i Bengtsbrohöljen. Horisontella linjer är klassgränserna och stationerna är sorterade från norr till söder där den nordligaste stationen är längst till vänster.

Mundelsskador

Andelen mundelsskador som hittades vid undersökningen var få. Endast två individer hittades med skador, båda i norra delen. En hittades vid station B6 och andra vid station B9 och båda skadorna bedömdes som grova. Den totala andelen skador landande på ~2% vilket klassas som en låg frekvens men är ändå för hög för att bedömas som naturlig. Vid undersökningen 2003 var frekvensen 5,8% vilket är en måttligt hög frekvens. År 2000 beräknades ingen frekvens. Samtliga stationers resultat redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Andelen mundelsskador påträffade per station i Bengtsbrohöljen vid undersökningen 2020.

Lokal	Antal skador	Antal chironomini	Andel i %
B1	0	14	0,0
B2	0	8	0,0
B3	0	8	0,0
B4	0	6	0,0
B5	0	10	0,0
B6	1	6	16,7
B7	0	4	0,0
B8	0	8	0,0
B9	1	17	5,9
B10	0	21	0,0
Totalt	2	102	1,96

Övrigt

Likt vid provtagningen 2000 hittades tre olika sorters istidsrelikter, vitmärsla (*Monoporeia affinis*), taggmärsla (*Pallaseopsis quadrispinosa*) och pungräkan (*Mysis relicta s. lat.*). Dessa är typiska för näringsfattiga sjöar och tyder på höga naturvärden. Under 2003 hittades inte vitmärslan men de övriga två.

Materialet i proverna bestod delvis av olja av okänt slag och kol. Främst i proverna närmst samhället och den nedlagda fabriken men även i prover längre söderut. Även någon form av slagg eller bränt material förekom samt mycket små mängder myrsmalm hittades. Dock var fynden små och tycks inte påverka faunan märkvärdigt.



Figur 7. Foton på kol och slaggprodukter som observerats vid analysen av proverna. Materialet på bilderna kommer från två hugg vid station B8.

Slutsats

Resultaten från årets bottenfaunaundersökning visade att Bengtsbrohöljen, hyser ett fortsatt artrikt och diversst bottenfaunasamhälle och statusen klassas som hög, enligt BQI. Det har skett vissa förändringar av bottenfaunans sammansättning, jämfört med 2003, som kan tolkas som att förhållandena gått mot ett mer näringsfattigt tillstånd.

Andelen mundelsskador som hittades bland gruppen Chironomini har gått ner från en måttlig frekvens 2003 till en låg frekvens 2020, vilket kan ses som att miljögiftspåverkan har minskat efter saneringen. I den norra delen har medelantal taxa och individtäthet uppvisat större förändringar, än i den södra delen av sjön. Detta kan vara ett resultat av att saneringsåtgärderna påverkat förhållandena lokalt men det kan heller inte uteslutas att det är ett utslag av naturlig mellanårsvariation.

Referenser

- Havs- och Vattenmyndigheten. (2016). *Handledning för miljöövervakning. Programområde: Sötvatten. Undersökningstyp: Bottenfauna i sjöars profundal och sublitoral. Version 2:1, 2016-11-01.*
- Havs- och Vattenmyndigheten. (2018). *Havs- och Vattenmyndighetens författarsamling. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter ändring i Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2013:19) om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten HVMFS 2018:17.*
- Havs- och vattenmyndigheten. (2019). *Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering avseende ytvatten. HVMFS 2013:19. Konsoliderad elektronisk utgåva 2019-01-01.*
- Liungman, M., & Eriksson, U. (2006). *Profundalt Trofi-index (PTI) och Eutrofi-effekt-index (EEI) för bedömning av tillstånd samt för påverkansklassning av mjukbottenfauna i sjöar*. Göteborg: Medins Biologi AB.
- Medin, M., Eriksson, U., Liungman, M., Henriksson, A., Boström, A., & Råden, R. (2009). *Bedömningsgrunder för bottenfauna. Hur Medins Biologi AB klassar och bedömer bottenfauna i sjöar och vattendrag*. Göteborg: Medins Biologi AB. (www.medins-biologi.se).
- Rosenberg, D., & Resh, V. (1993). *Freshwater biomonitoring and macroinvertebrates*. Abingdon: Routledge, Chapman & Hall, Inc.
- SIS. (1986). *Svensk standard SS 02 81 90, Vattenundersökningar - provtagning med ekmanhämtare av bottenfauna på mjukbottnar*.
- Vedamanikam, V., & Shazili, N. (2009). *Observations of mouthpart deformities in the Chironomus larvae exposed to different concentrations of nine heavy metals*. Toxicological & Environmental Chemistry, 91:1, 57-63.
- Widerholm. (1999B). *Bedömningsgrunder för miljö kvalitets- Sjöar och vattendrag, bakgrundsrapport kemiska och fysikaliska parametrar*. Statens naturvårdsverk. Rapport 4920.
- Widerholm, T. (1999A). *Bedömningsgrunder för miljö kvalitets- Sjöar och vattendrag*. Statens naturvårdsverk. Rapport 4913.
- Wiederholm, T. (1984). *Incidence of deformed chironomid larvae (Diptera: Chironomidae) in Swedish lakes*. Hydrobiologia 109: 243-249.

Bilaga 1. Lokalbeskrivningar

Sjö	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen
Lokalnr.	B1	B2	B3	B4	B5
Stationens EU-CD	SE654982-129521	SE654954-129507	SE654930-129536	SE654872-129510	SE654863-129544
Huvudflod-område	108 Göta älv	108 Göta älv	108 Göta älv	108 Göta älv	108 Göta älv
Län	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland
Kommun	Bengtstorsfors	Bengtstorsfors	Bengtstorsfors	Bengtstorsfors	Bengtstorsfors
Koordinatsystem	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM
Lokalkoordinater (x)/N	6545638	6545357	6545120	6544538	6544452
Lokalkoordinater (y)/E	341490	341354	341647	341394	341735
Datum	2020-04-21	2020-04-21	2020-04-21	2020-04-21	2020-04-21
Provtagare	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén
Organisation	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB
Syfte	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning
Metodik	SS 02 81 90	SS 02 81 90	SS 02 81 90	SS 02 81 90	SS 02 81 90
Provyta (m2)	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
Antal prov	5	5	5	5	5
Provdjup (m)	12,1	12,6	12,5	10,8	12,7
Ytvattentemperatur	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Grumlighet	Klart	Klart	Klart	Klart	Klart
Färg	Klart	Klart	Klart	Klart	Klart
Trofinivå	Oligotroft	Oligotroft	Oligotroft	Oligotroft	Oligotroft
Dy	nej	nej	nej	nej	nej
Gyttja	ja	ja	ja	ja	ja
Lera	nej	nej	nej	nej	nej
Sand	nej	nej	nej	nej	nej
Myrmalm	nej	nej	nej	nej	nej
Rotad bottenvegetation	nej	nej	nej	nej	nej
Svavelväte	nej	nej	nej	nej	nej
Sedimentfärg	Brunsvart	Brunsvart	Brunsvart	Brunsvart	Brunsvart
Sublitoral/profundal	Profundal	Profundal	Profundal	Profundal	Profundal
Övrigt	Kol och olja	Kol och olja		Oljehinna och slagg	
Sjö-ID	654781-129551	654781-129551	654781-129551	654781-129551	654781-129551

Sjö	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen	Bengtsbrohöljen
Lokalnr.	B6	B7	B8	B9	B10
Stationens EU-CD	SE655026-129481	SE655016-129481	SE655008-129487	SE655006-129502	SE654994-129507
Huvudflodområde	108 Göta älv	108 Göta älv	108 Göta älv	108 Göta älv	108 Göta älv
Län	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland	14 Västra Götaland
Kommun	Bengtsfors	Bengtsfors	Bengtsfors	Bengtsfors	Bengtsfors
Koordinatsystem	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM	SWEREF99_TM
Lokalkoordinater (x)/N	6546073	6545973	6545894	6545876	6545756
Lokalkoordinater (y)/E	341085	341087	341148	341298	341349
Datum	2020-04-21	2020-04-21	2020-04-21	2020-04-21	2020-04-21
Provtagare	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén	Ragnar Bergh/Mikael Forssén
Organisation	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB	Medins Havs och Vattenkonsulter AB
Syfte	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning	annan effektuppföljning
Metodik	SS 02 81 90	SS 02 81 90	SS 02 81 90	SS 02 81 90	SS 02 81 90
Provyta (m2)	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
Antal prov	5	5	5	5	5
Provdjup (m)	9,5	13	17	8	12
Ytvattentemperatur	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Grumlighet	Klart	Klart	Klart	Klart	Klart
Färg	Klart	Klart	Klart	Klart	Klart
Trofinivå	Oligotroft	Oligotroft	Oligotroft	Oligotroft	Oligotroft
Dy	nej	nej	nej	nej	nej
Gyttja	ja	ja	ja	ja	ja
Lera	nej	nej	nej	nej	nej
Sand	nej	nej	nej	nej	nej
Myrmalm	nej	nej	nej	nej	nej
Rotad bottenvegetation	nej	nej	nej	nej	nej
Svavelväte	nej	nej	nej	nej	nej
Sedimentfärg	Brunsvart	Brunsvart	Brunsvart	Brunsvart	Brunsvart
Sublitoral/profundal	Profundal	Profundal	Profundal	Profundal	Profundal
Övrigt	Avvikande sedimentstruktur. Mycket svårsållat. Kol, olja, slagg.	Avvikande sedimentstruktur. Mycket svårsållat. Kol, olja, slagg.	Avvikande sedimentstruktur. Mycket svårsållat. Kol, olja, slagg.	Kol, olja och lite slagg	Kol och olja
Sjö-ID	654781-129551	654781-129551	654781-129551	654781-129551	654781-129551

Bilaga 2. Artlistor

Förklaring till artlista – sjöars profundal

Det. = Ansvarig för artbestämning.

Antal individer per prov av de funna arterna/taxa samt deras syrekänslighet, funktionella tillhörighet och ekologiska grupp. Vid massförekomster av enskilda taxa kan en uppskattning av tätheten för dessa ha gjorts i ett eller flera av delproven.

Mätosäkerhet för individtäthet = 10 %.

Syrekänslighet (Sy):

- 0 – taxa vars känslighet är okänd
- 1 – taxa som är tåligt mot låga syrehalter
- 2 – taxa som är måttligt känsligt
- 3 – taxa som är mycket känsligt

Funktionell grupp (Fg):

- 0 – ej känd
- 1 – filtrerare
- 2 – detritusätare
- 3 – predatorer
- 4 – skrapare
- 5 – sönderdelare

Ekologisk grupp, känslighet för eutrofiering¹ (Eg):

- 0 – taxa vars känslighet är okänd
- 1 – taxa som gynnas av kraftig eutrofiering
- 2 – taxa som gynnas av måttlig eutrofiering
- 3 – taxa som kan förekomma i både eu-, meso- och oligotrofa vatten
- 4 – taxa som förekommer främst i oligotrofa vatten
- 5 – taxa som förekommer endast i oligotrofa vatten

Raritetskategori (Rk):

- RE – Nationellt utdöd (Regionally Extinct)
- CR – Akut Hotad (Critically Endangered)
- EN – Starkt Hotad (Endangered)
- VU – Sårbar (Vulnerable)
- NT – Nära hotad (Near Threatened)
- DD – Kunskapsbrist (Data Deficient)
- Ov – Lokalt eller regionalt ovanlig

M = medelvärde
% = procentandel

¹ Värdet anger till viss del taxonets syrekrav och kan ibland vara missvisande som trofiindikator.

B1. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6545638 E: 341490

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
NEMATA, rundmaskar												
Nemata	0	0	0				1				0,2	2,0
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Stylodrilus heringianus - Claparède, 1862	3	2	3		2				1		0,6	6,1
Tubificinae (utan hårborst)	0	2	0		1	2					0,6	6,1
AMPHIPODA, märlkräftor												
Monoporeia affinis - (Lindström, 1855)	3	2	4			1			2		0,6	6,1
DIPTERA, tvåvingar												
Heterotanytarsus sp.	3	2	4			1			1		0,4	4,1
Heterotrissocladius marcidus - (Walker, 1856)	3	2	4						5		1,0	10,2
Mesocricotopus thienemanni - (Goetghebuer, 1940)	2	2	3			2		1			0,6	6,1
Monodiamesa sp.	2	3	3		1		1	2			0,8	8,2
Protanypus sp.	3	3	4		1	4					1,0	10,2
Stempellina sp.	2	2	3					1			0,2	2,0
Stictoichonomus sp.	2	2	3					1			0,2	2,0
Tanytarsus sp.	2	2	3		5	5	1		2		2,6	26,5
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0		1	2			2		1,0	10,2
SUMMA (antal individer):					11	17	3	5	13		9,8	100
SUMMA (antal taxa):					6	7	3	4	6		5,2	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B2. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6545357 E: 341354

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Lumbricidae	0	2	0				2		2		0,8	6,3
Spirosperma ferox - Eisen, 1879	3	2	3				1				0,2	1,6
Stylodrilus heringianus - Claparède, 1862	3	2	3				1				0,2	1,6
Tubificinae (med hårborst)	0	2	0		1		1				0,4	3,2
DIPTERA, tvåvingar												
Heterotrissocladius marcidus - (Walker, 1856)	3	2	4				1	1	1		0,6	4,8
Monodiamesa sp.	2	3	3					2			0,4	3,2
Procladius sp.	1	3	0					1	1		0,4	3,2
Protanypus sp.	3	3	4			1					0,2	1,6
Sergentia sp.	2	2	3					2			0,4	3,2
Stempellinella sp.	3	0	4						1		0,2	1,6
Stictoichonomus sp.	2	2	3				1	2	3		1,2	9,5
Tanytarsus sp.	2	2	3		3	5	3	14	12		7,4	58,7
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0				1				0,2	1,6
SUMMA (antal individer):					4	6	11	22	20		12,6	100
SUMMA (antal taxa):					2	2	7	6	6		4,6	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B3. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6545120 E: 341647

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utförd av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
NEMATA, rundmaskar												
Nemata	0	0	0			1					0,2	1,4
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Lumbricidae	0	2	0					2			0,4	2,9
Tubificinae (med hårborst)	0	2	0			1					0,2	1,4
Tubificinae (utan hårborst)	0	2	0		1						0,2	1,4
AMPHIPODA, märkräftor												
Pallaseopsis quadrispinosa - (G.O.Sars, 1867)	3	5	4	Ov					1		0,2	1,4
EPHEMEROPTERA, dagsländor												
Caenis luctuosa - (Burmeister, 1839)	3	2	3		1						0,2	1,4
DIPTERA, tvåvingar												
Heterotrissocladius marcidus - (Walker, 1856)	3	2	4		2				3		1,0	7,2
Mesocricotopus thienemanni - (Goetghebuer, 1940)	2	2	3						2		0,4	2,9
Monodiamesa sp.	2	3	3		1	2		5	2		2,0	14,5
Paracladopelma sp.	3	2	4			1			1		0,4	2,9
Procladius sp.	1	3	0					1			0,2	1,4
Protanypus sp.	3	3	4			2		1			0,6	4,3
Stempellinella sp.	3	0	4						2		0,4	2,9
Stictochironomus sp.	2	2	3			6	1	1			1,6	11,6
Tanytarsus sp.	2	2	3		2	1	3	2	4		2,4	17,4
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0		1	1	3		12		3,4	24,6
SUMMA (antal individer):					8	15	9	10	27		13,8	100
SUMMA (antal taxa):					6	8	4	5	8		6,2	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B4. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6544538 E: 341394

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utförd av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
NEMATA, rundmaskar												
Nemata	0	0	0		1						0,2	2,2
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Limnodrilus hoffmeisteri - Claparède, 1862	1	2	1		1			1			0,4	4,3
AMPHIPODA, märkräftor												
Monoporeia affinis - (Lindström, 1855)	3	2	4						1		0,2	2,2
DIPTERA, tvåvingar												
Heterotrissocladius marcidus - (Walker, 1856)	3	2	4				1	1	3		1,0	10,9
Mesocricotopus thienemanni - (Goetghebuer, 1940)	2	2	3			1					0,2	2,2
Monodiamesa sp.	2	3	3				1				0,2	2,2
Paracladopelma sp.	3	2	4		1		1				0,4	4,3
Polypedilum sp.	2	2	0		1	1					0,4	4,3
Protanypus sp.	3	3	4			1			1		0,4	4,3
Stictochironomus sp.	2	2	3		1			3			0,8	8,7
Tanytarsus sp.	2	2	3		3	3	2	9	8		5,0	54,3
SUMMA (antal individer):					8	6	5	14	13		9,2	100
SUMMA (antal taxa):					6	4	4	4	4		4,4	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B5. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6544452 E: 341735

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
NEMATA, rundmaskar												
Nemata	0	0	0						1	0,2	1,6	
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Potamothrix hammoniensis - (Michaelsen, 1901)	1	2	2			1				0,2	1,6	
DIPTERA, tvåvingar												
Heterotanytarsus sp.	3	2	4					1		0,2	1,6	
Heterotrissocladius marcidus - (Walker, 1856)	3	2	4		4	1		4	1	2,0	16,4	
Monodiamesa sp.	2	3	3		2			1		0,6	4,9	
Procladius sp.	1	3	0						1	0,2	1,6	
Protanypus sp.	3	3	4		1	1		1		0,6	4,9	
Stempellinella sp.	3	0	4		1		1		1	0,6	4,9	
Stictochironomus sp.	2	2	3		2	1	6	1		2,0	16,4	
Tanytarsus sp.	2	2	3		7	3	6	10	1	5,4	44,3	
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0						1	0,2	1,6	
SUMMA (antal individer):					17	7	13	18	6	12,2	100	
SUMMA (antal taxa):					6	5	3	6	6	5,2		

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B6. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6546073 E: 341085

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Spirosperma ferox - Eisen, 1879	3	2	3				1			0,2	3,6	
AMPHIPODA, märkräftor												
Monoporeia affinis - (Lindström, 1855)	3	2	4				4		3	1,4	25,0	
DIPTERA, tvåvingar												
Harnischia curtilamellata - (Malloch, 1915)	2	2	3			1	1			0,4	7,1	
Pagastiella orophila - (Edwards, 1929)	2	2	0					1	1	0,4	7,1	
Paracladopelma sp.	3	2	4				1			0,2	3,6	
Procladius sp.	1	3	0		1	1	2	1	2	1,4	25,0	
Protanypus sp.	3	3	4					1		0,2	3,6	
Tanytarsus sp.	2	2	3				2	1	1	0,8	14,3	
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0				2		1	0,6	10,7	
SUMMA (antal individer):					1	2	13	4	8	5,6	100	
SUMMA (antal taxa):					1	2	7	4	5	3,8		

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B7. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6545973 E: 341087

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Spirosperma ferox - Eisen, 1879	3	2	3		1		1				0,4	2,9
Stylodrilus heringianus - Claparède, 1862	3	2	3		1	1					0,4	2,9
DIPTERA, tvåvingar												
Apsectrotanytus trifascipennis - (Zetterstedt, 1838)	2	3	2					1	1		0,4	2,9
Heterotanytus sp.	3	2	4		1				1		0,4	2,9
Mesocricotopus thienemanni - (Goetghebuer, 1940)	2	2	3				1				0,2	1,5
Monodiamesa sp.	2	3	3		1			1			0,4	2,9
Pagastiella orophila - (Edwards, 1929)	2	2	0			1					0,2	1,5
Paracladopelma sp.	3	2	4				1				0,2	1,5
Pentaneurini	2	3	0		1		1	1			0,6	4,4
Polypedilum sp.	2	2	0				1		1		0,4	2,9
Procladius sp.	1	3	0			2	2	2	3		1,8	13,2
Protanytus sp.	3	3	4		1			1			0,4	2,9
Stempellinella sp.	3	0	4				3				0,6	4,4
Stictoichonimus sp.	2	2	3					2			0,4	2,9
Tanytus sp.	2	2	3		3	12	11	4	4		6,8	50,0
SUMMA (antal individer):					9	16	21	12	10		13,6	100
SUMMA (antal taxa):					7	4	8	7	5		6,2	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B8. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6545894 E: 341148

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
NEMATA, rundmaskar												
Nemata	0	0	0		1			1	1		0,6	2,8
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Spirosperma ferox - Eisen, 1879	3	2	3		1	1					0,4	1,9
Stylodrilus heringianus - Claparède, 1862	3	2	3			1	1				0,4	1,9
Tubificinae (med hårborst)	0	2	0		6	2	1	4			2,6	12,0
Tubificinae (utan hårborst)	0	2	0					1	2		0,6	2,8
AMPHIPODA, märkräftor												
Pallaseopsis quadrispinosa - (G.O.Sars, 1867)	3	5	4	Ov		1					0,2	0,9
ACARI, sötvattenskvalster												
Hydrachnidae	0	3	0						1		0,2	0,9
DIPTERA, tvåvingar												
Ceratopogonidae	0	0	0				1	1			0,4	1,9
Heterotanytus sp.	3	2	4		1	4					1,0	4,6
Mesocricotopus thienemanni - (Goetghebuer, 1940)	2	2	3			2	1		3		1,2	5,6
Micropsectra sp.	3	2	4		6	1		1	2		2,0	9,3
Paracladopelma sp.	3	2	4						1		0,2	0,9
Procladius sp.	1	3	0			2		1			0,6	2,8
Protanytus sp.	3	3	4				1				0,2	0,9
Stempellinella sp.	3	0	4		8				3		2,2	10,2
Stictoichonimus sp.	2	2	3		3	1	1	3			1,6	7,4
Tanytus sp.	2	2	3		13	8	4	4	5		6,8	31,5
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0			1	1				0,4	1,9
SUMMA (antal individer):					39	24	11	16	18		21,6	100
SUMMA (antal taxa):					8	11	8	8	8		8,6	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B9. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6545876 E: 341298

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
NEMATA, rundmaskar												
Nemata	0	0	0			1					0,2	2,6
AMPHIPODA, märkräftor												
Monoporeia affinis - (Lindström, 1855)	3	2	4			1				2	0,6	7,9
Pallaseopsis quadrispinosa - (G.O.Sars, 1867)	3	5	4	Ov						2	0,4	5,3
ACARI, sötvattenskvalster												
Hydrachnidiae	0	3	0			1					0,2	2,6
TRICHOPTERA, nattsländor												
Oecetis sp.	2	3	0					1			0,2	2,6
DIPTERA, tvåvingar												
Harnischia curtilamellata - (Malloch, 1915)	2	2	3							1	0,2	2,6
Mesocricotopus thienemanni - (Goetghebuer, 1940)	2	2	3		2	1				3	1,2	15,8
Pagastrella orophila - (Edwards, 1929)	2	2	0							1	0,2	2,6
Polypedilum sp.	2	2	0					2			0,4	5,3
Procladius sp.	1	3	0					1			0,4	5,3
Stempellinella sp.	3	0	4					1		1	0,4	5,3
Stictochironomus sp.	2	2	3					1			0,2	2,6
Tanytarsus sp.	2	2	3			3	8	2		1	2,8	36,8
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0		1						0,2	2,6
SUMMA (antal individer):					3	7	9	8	11		7,6	100
SUMMA (antal taxa):					2	5	2	6	7		4,4	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

B10. Bengtsbrohöljen

Provdatum: 2020-04-21 N: 6545756 E: 341349

Det. Mikaela Sandgathe, Medins Havs- och Vattenkonsulter AB

Metod: SS 02 81 90 + NV:s handbok för miljöövervakning



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

ARTER/TAXA	KATEGORI				PROV					M	%	
	Sy	Fg	Eg	Rk	1	2	3	4	5			
OLIGOCHAETA, fåborstmaskar												
Arcteonais lomondi - (Martin, 1907)	2	2	0			2					0,4	3,1
Lumbriculidae	0	2	0		3	5		2			2,0	15,6
Stylodrilus heringianus - Claparède, 1862	3	2	3			1	1				0,4	3,1
Tubificinae (med hårborst)	0	2	0		1	1	2			1	1,0	7,8
MYSIDACEA, pungräkor												
Mysis relicta s. lat. - Lovén, 1862	0	3	0			1	1				0,4	3,1
DIPTERA, tvåvingar												
Apsectrotanypus trifascipennis - (Zetterstedt, 1838)	2	3	2			1					0,2	1,6
Heterotanytarsus sp.	3	2	4		1		1				0,4	3,1
Heterotrissocladius marcidus - (Walker, 1856)	3	2	4		1	7		1			1,8	14,1
Heterotrissocladius subpilosus - (Kieffer, 1911)	3	2	5					1			0,2	1,6
Micropsectra sp.	3	2	4		1			1			0,4	3,1
Monodiamesa sp.	2	3	3		1					1	0,4	3,1
Protanypus sp.	3	3	4							2	0,4	3,1
Tanytarsus sp.	2	2	3		5	2	4	6		4	4,2	32,8
BIVALVIA, musslor												
Pisidium sp.	2	1	0		1			1		1	0,6	4,7
SUMMA (antal individer):					14	20	9	12	9		12,8	100
SUMMA (antal taxa):					8	7	5	6	5		6,2	

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Den ackrediterade verksamheten vid laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025 (2005). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.