Nr C 744
Februari 2023

Sammanfattning av undersökningar i Oxundaåns vattensystem 2013-2022

Magnus Karlsson & Joakim Hållén

ivl
SVENSKA MILJÖINSTITUTET

Författare: Magnus Karlsson & Joakim Hållén
Medel från: Gränges AB & Autoliv Sverige AB
Fotograf: Magnus Karlsson
Rapportnummer C 744
ISBN 978-91-7883-476-1
Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2023
IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Sediment som förorenats av historiska utsläpp från antropogena verksamheter är vanliga i industrialiserade delar av världen och utgör ett potentiellt hot mot akvatiska ekosystems funktion. Studier där fisk används som bioindikator har visat sig användbart för att bedöma ekologiska effekter av förorenade områden. Mer eller mindre av en slump upptäcktes osedvanligt höga halter av PCB, en grupp av kemikalier med vid tillämpning under 1900-talet, i fisk från Oxundasjön, Upplands Väsby och Sigtuna kommun, hösten 2013. Detta blev startpunkten för ett omfattande utredningsarbete vid IVL Svenska Miljöinstitutet för att klarlägga omfattning, orsaker, spridning och biologiska effekter av den konstaterade föroreningssituationen. Sedan 2020 pågår en så kallad huvudstudie, där tidigare industriella verksamhetsutövare i Upplands Väsby tätort efter ett föreläggande från Upplands Väsby kommun utreder ansvarsfrågor och behov av riskreducerande åtgärder. I syfte att tillhandahålla ett kunskapsunderlag som underlättar den framtida prövningen av ärendet har IVL sammanställt följande rapport som sammanfattar alla undersökningar och utredningar som genomförts mellan 2013 och 2022. Delar av resultaten från undersökningarna har även nyligen publicerats i en vetenskaplig tidskrift[1].

Genom åren har följande organisationer bidragit med medel som finansierat de utredningar som genomförts: Oxunda Vattensamverkan, Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, Sigtuna och Upplands Väsby kommuner, Naturvårdsverket, Holmboda gård, Norrvatten. Föreliggande kunskapssammanställning har finansierats av Autoliv Sverige och Gränges genom Geosyntec Consultants.

Vid IVL har förutom författarna till denna rapport Tomas Viktor, docent Mikael Malmæus, fil. dr Anna Palm Cousins, Katarina Hansson, Hannes Waldetoft och personal vid det organiska laboratoriet i Göteborg deltagit i arbetet. Externa parter som deltagit i utredningarna är: Inger Abrahamsson; prof. Per Jonsson, JP Sedimentkonsult; fil dr Niklas Johansson, Melica Biologkonsult; fil dr Olof Sandström, NordMiljö samt prof. Lars Förlin med kollegor vid Göteborgs universitet.

Vi vill framföra ett stort tack till Einar Olsson och andra medlemmar i Rosersbergs och Sigtuna fiskevårdsföreningar som bistått vid fiskinsamlingar samt Anna Åhr, tidigare miljöplanerare vid Upplands Väsby kommun, Jan Franzén, tidigare kommunekolog vid Sigtuna kommun, och fil dr. Håkan Johansson, tidigare miljöanalytiker vid Länsstyrelsen Stockholm, vilka inledningsvis var starkt bidragande till att få igång ett ambitiöst undersökningsprogram.

[1] Hållén, J., Malmaeus, J. M., Johansson, N., & Karlsson, O. M., 2022. Using a dynamic mass balance model to predict fate and transport of PCBs in a polluted boreal lake in Sweden. Science of The Total Environment, 853, 158522.

Innehållsförteckning

Inledning 5

Sammanfattning av genomförda datainsamlingar 5

PCB-förekomst i vatten 7

Passiv provtagning 7
Aktiv provtagning 10
Konventionell vattenprovtagning 11

Förekomst i sediment 14

Förekomst i luft 19

Förekomst och effekter i organismer 21

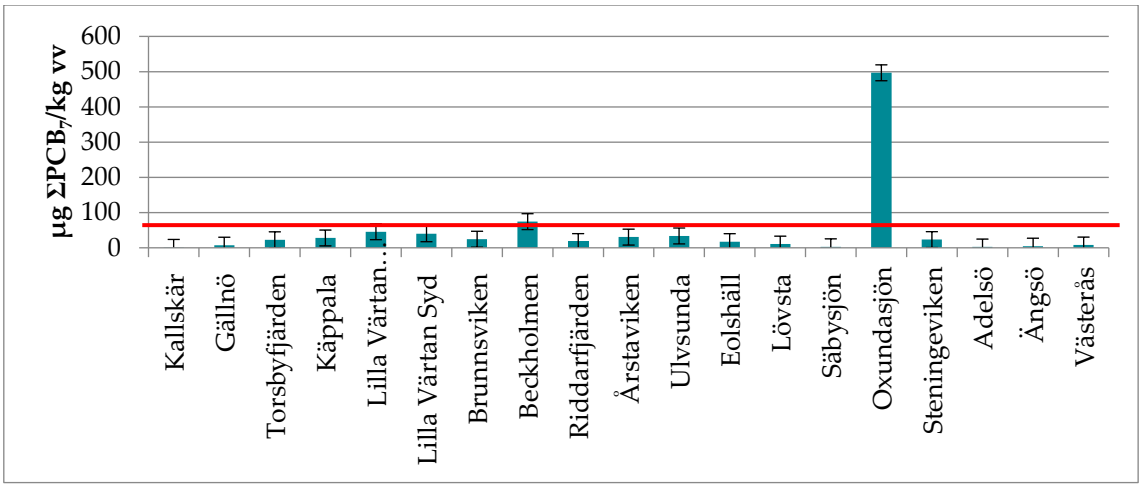
Prediktiv modellering 25

Ordlista 28

Referenser 30

Inledning

Under hösten 2013 upptäcktes inom ramen för ett regionalt miljöövervakningsprojekt i östra Svealand (Karlsson & Viktor, 2014a) oväntat höga halter av polyklorerade bifenyler (PCB) i fisk från Oxundasjön (**Fig. 1**). Detta blev startpunkten för ett omfattande utredningsarbete i syfte att klarlägga omfattningen av föroreningssituationen. IVL Svenska Miljöinstitutet (IVL) har genom åren utfört ett antal undersökningar av PCB-förekomsten i vatten, sediment, luft och organismer i Oxundasjön med omgivningar. Undersökningarna har utförts inom ramen för olika projekt med delvis olika syften och finansiärer. I det följande ges en översiktlig redovisning av samtliga genomförda undersökningar vid IVL fram till och med 2022. Det huvudsakliga syftet har varit att sammanställa ett faktaunderlag inför framtida bedömning av eventuellt behov av riskreducerande miljöskyddsåtgärder.



Figur 1. **Halter av ∑PCB7 i abborre från olika lokaler i Östra Svealand. Röd linje markerar EU:s gränsvärde för saluföring av insjöfisk. Från Karlsson & Viktor, 2014a.**

Sammanfattning av genomförda datainsamlingar

Efter upptäckten av de höga PCB-halterna i abborre (*Perca fluviatilis*) hösten 2013 genomfördes omgående nya fiskinsamlingar för att säkerställa att de uppmätta resultaten inte var en engångsföreteelse eller att något fel begåtts i den analytiska proceduren. Fiskinsamlingar gjordes även i angränsande vattenområden till Oxundasjön uppströms (Fysingen och Edssjön) respektive nedströms (Roserbergsviken och längre ut i Mälaren) (Karlsson, 2014a; Karlsson 2014b, Karlsson & Viktor, 2014b; Karlsson et al., 2014). Resultaten från de kompletterande fiskinsamlingarna bekräftade att PCB-halterna är höga i Oxundasjön och att även förhöjda halter förekommer nedströms i Oxundasystemet men däremot inte i de uppströms liggande sjöarna Fysingen och Edssjön.

Nästa steg för att bedöma omfattningen av PCB-föroreningen blev att genomföra sedimentprovtagningar i Oxundasjön och angränsande vattenområden (Karlsson, 2014a; Karlsson, 2014b; Karlsson, 2014c; Karlsson et al., 2014). Dessa visade att praktiskt taget hela Oxundasjöns ackumulationsbottenareal håller höga halter av PCB och att det finns en gradient med ökande halter mot sjöns södra ände där Väsbyån mynnar. Även i Rosersbergsviken där Oxundasjöns utflöde Marängsån mynnar uppmättes förhöjda PCB-halter som snabbt klingar av längre ut i Mälaren. Inte heller i de uppströms belägna sjöarna var PCB-halterna i närheten av vad som uppmätts i Oxundasjön. En hypotes som inledningsvis lades fram var att orsaken bakom PCB-kontamineringen var att det skett en dumpning av PCB-haltigt avfall i Oxundasjön. Därför genomfördes en sonarkartering av sjöns bottnar i juni 2014 (Jonsson, 2014). Några tecken på att det skett dumpningar upptäcktes emellertid inte. Därefter fokuserades det därpå följande utredningsarbetet mot de huvudsakliga tillflödena Väsbyån respektive Verkaån.

Passiva vattenprovtagare sattes ut på olika platser i Väsbyån uppströms respektive nedströms Upplands Väsby tätort (Karlsson & Johansson, 2015; Karlsson et al., 2015) och det konstaterades att det sker en ökning PCB-koncentrationerna i Väsbyåns vatten under rinnsträckan genom tätorten. Koncentrationsökningen kunde med hjälp av de passiva provtagarna ringas in till ett område i höjd med kvarteret Messingen i centrala Upplands Väsby. Fortsatta provtagningar (Karlsson et al., 2015) gav vidare vid handen att PCB-koncentrationerna i det andra större tillflödet till Oxundasjön, Verkaån som avvattnar sjön Fysingen och dess avrinningsområde, låg på bakgrundskoncentrationer och ger ett marginellt bidrag av PCB till Oxundasjön. Det visades även (Karlsson et al., 2016) att PCB-koncentrationerna i utflödet från Oxundasjön är väsentligt högre jämfört med tillflödena samt att PCB-koncentrationerna även är förhöjda i Roserbergsviken men däremot inte längre ut i Mälaren eller i råvattenintaget till Görvälns vattenverk ytterligare nedströms i Mälaren (Karlsson, 2021). Provtagning i en dricksvattenbrunn vid Holmboda gård vid Oxundasjöns norra strand har heller inte påvisat förhöjda PCB-koncentrationer i grundvatten. Däremot har förhöjda PCB-halter uppmätts i brunnar i centrala Upplands Väsby (Hållén & Karlsson, 2017). PCB-koncentrationer i vatten har följts upp med ett löpande kontrollprogram med kvartalsvis provtagning i transekten Väsbyån-Oxundasjön-Marängsån-Rosersbergsviken-Skarven (Kairo) som alltjämt pågår (Hållén et al., 2017; Karlsson & Hållén, 2018; Karlsson & Hållén, 2019; Hållén & Karlsson, 2020; Hållén & Karlsson, 2021; Karlsson & Hållén, 2022).

Provtagningar har även genomförts i luft vid Oxundasjön och centrala Upplands Väsby (Hållén et al., 2017, Hållén & Johansson, 2018). De har visat på PCB-halterna i luften vid Oxundasjön och kvarteret Messingen i centrala Väsby är tydligt förhöjda jämfört med bakgrundsvärden i Sverige.

Kompletterande biologiska undersökningar (Karlsson, 2016; Hållén et al., 2017) av PCB-halter i fisk, signalkräfta (*Pacifastacus leniusculus*) och mink (*Neovison vison*) har givit en samstämmig spridningsbild. Olika ekotoxikologiska studier av abborres hälsotillstånd och fortplantningsförmåga (Sandström & Abrahamsson, 2017; Viktor, 2017; Förlin et al., 2019) indikerar överlag att fiskhälsan är god men ger också samstämmiga indikationer på att fortplantningsförmågan hos abborre kan vara nedsatt.

Med stöd av utökade sedimentundersökningar och datering av sedimentkärneprofiler (Jonsson, 2017; Hållén & Karlsson, 2018) har massbalansberäkningar och prognoser för framtida utveckling av miljötillståndet givet olika åtgärdsscenarier genomförts (Karlsson et al., 2016 ; Hållén, 2016; Hållén et al., 2022). De indikerar att om inga åtgärder vidtas kommer det ta storleksordningen 30 år för PCB-koncentrationerna i systemet att minska i så pass hög grad att halterna i fisk kommer att understiga saluföringsgränsvärden.

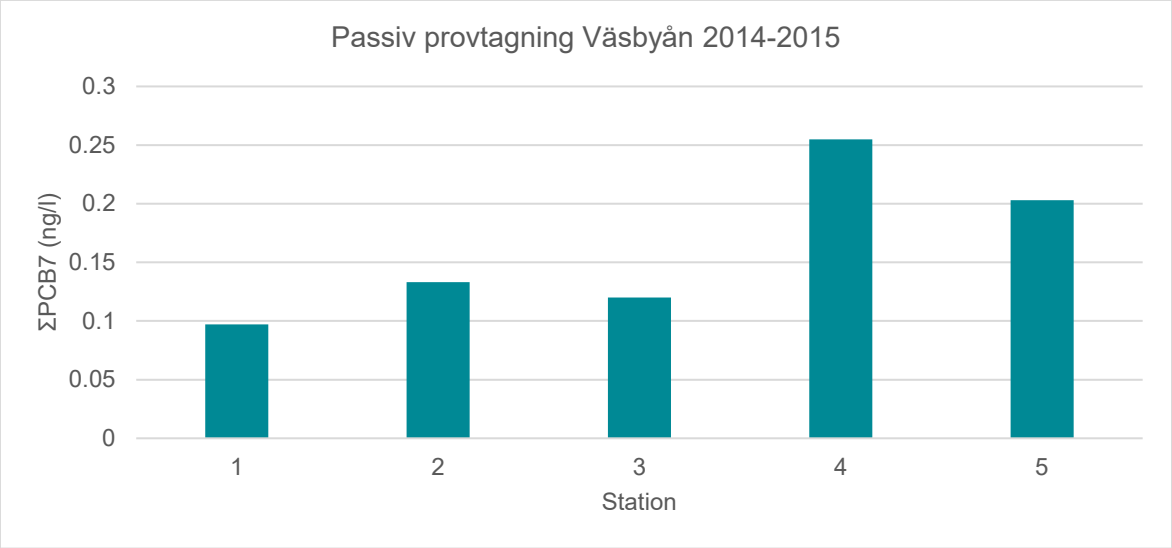
PCB-förekomst i vatten

Passiv provtagning

Vid årsskiftet 2014/2015 placerades under en månad passiva provtagare ut i Väsbyån (**Fig. 2**) försedda med SPMD (Semi Permeable Membrane Devices), ett membran innehållande ett lipofilt ämne, i vilket opolära (hydrofoba) organiska ämnen likt PCB, lätt löser sig. Med passivprovtagare erhålles ett semikvantitativt approximativt värde på PCB-koncentrationen i omgivande vatten. Metodiken är framförallt användbar för att jämföra mätpunkter sinsemellan.

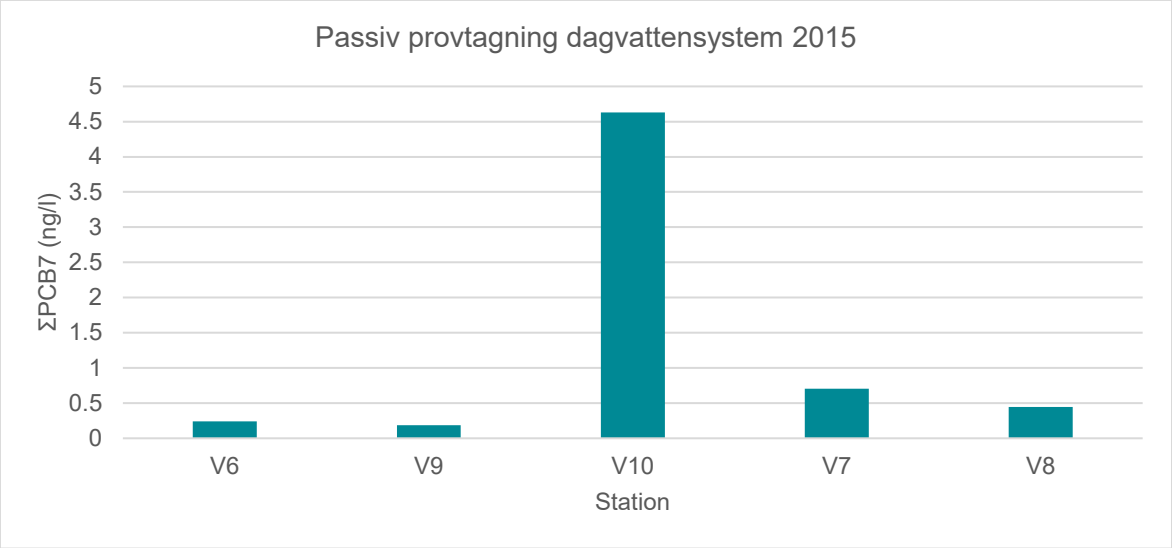
Figur 2. **Positioner för passiva provtagare i Väsbyån december 2014- januari 2015.**

Mellan station 3 och station 4 uppmättes en ökning av PCB-halterna i Väsbyån (**Fig. 3**), vilket indikerar att det mellan dessa punkter finns en lokal PCB-källa som bidrar till haltförhöjningen.



Figur 3. **Estimerad koncentration av ∑PCB$_7$ (ng/l) vid provtagning med passiva provtagare december 2014 – januari 2015.**

I juli-augusti 2015 genomfördes en ny mätkampanj med passivprovtagare. De högsta PCB-koncentrationerna uppmättes i en dagvattenbrunn i den södra delen av Messingenområdet (**Fig. 4**). Vid detta tillfälle var provtagarna placerade i dagvattensystemet i anslutning till Väsbyån i centrala Upplands Väsby (**Fig. 5**).

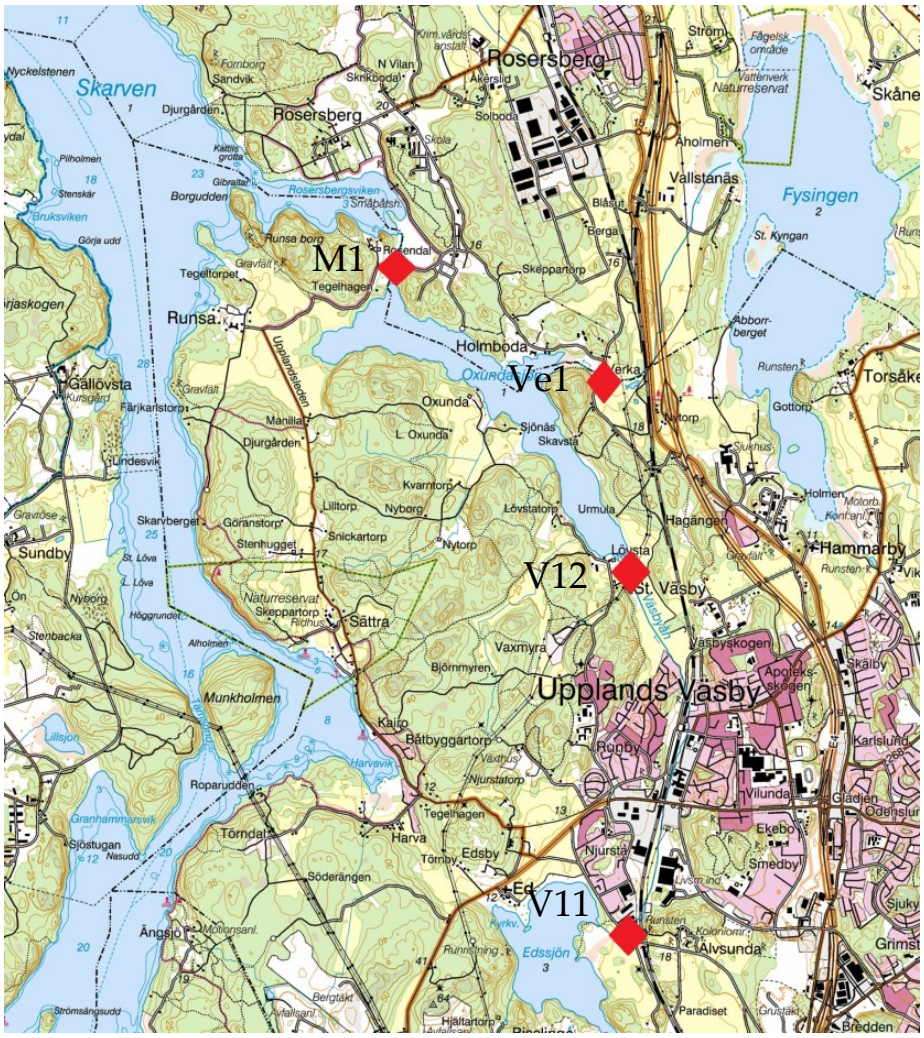


Figur 4. **Estimerade halter av lösta PCB indikatorkongener vid passiv provtagning juli-augusti 2015.**

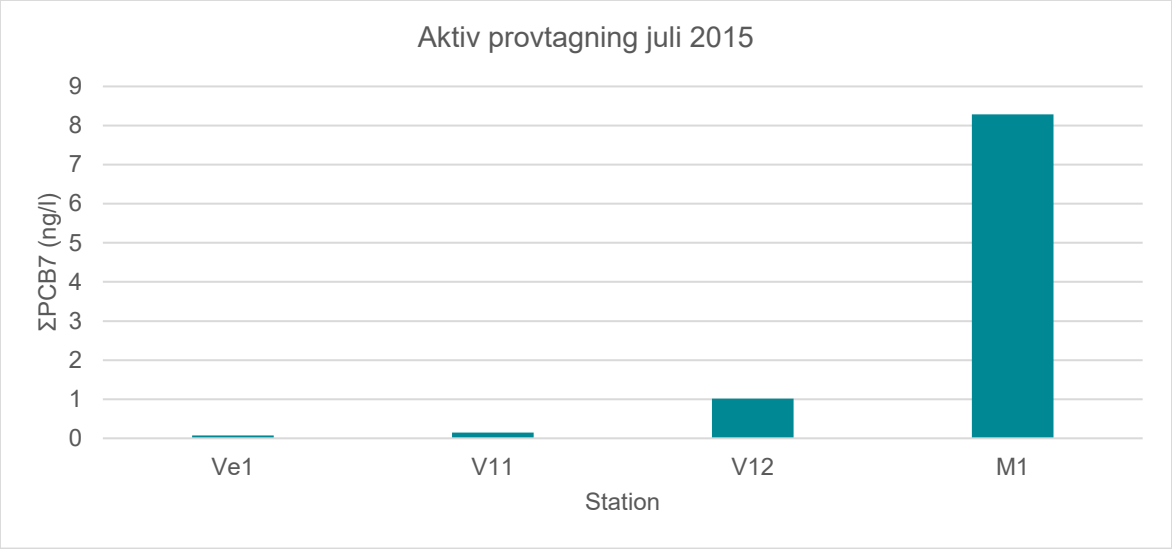
Figur 5. **Positioner för passivprovtagare i dagvattensystemet i centrala Upplands Väsby juli-augusti 2015.**

Aktiv provtagning

Så kallad aktiv provtagning är en metodik som medger att mycket låga totalhalter av olika ämnen kan detekteras i och med att en större volym vatten pumpas genom filter och polymerer till vilka aktuella föreningar adsorberas. Metoden ger en säkrare analys av totalhalter i vatten jämfört med passiv provtagning. I juli 2015 genomfördes aktiv provtagning vid några stationer i Oxundaåns vattensystem (**Fig. 6**). Resultaten framgår av **Figur 7**. En slutsats som drogs från provtagningen var att PCB-koncentrationerna i Väsbyåns mynning och Oxundasjöns utflöde var så pass höga att det skulle vara möjligt att fortsättningsvis genomföra konventionell provtagning, vilket är enklare att utföra.



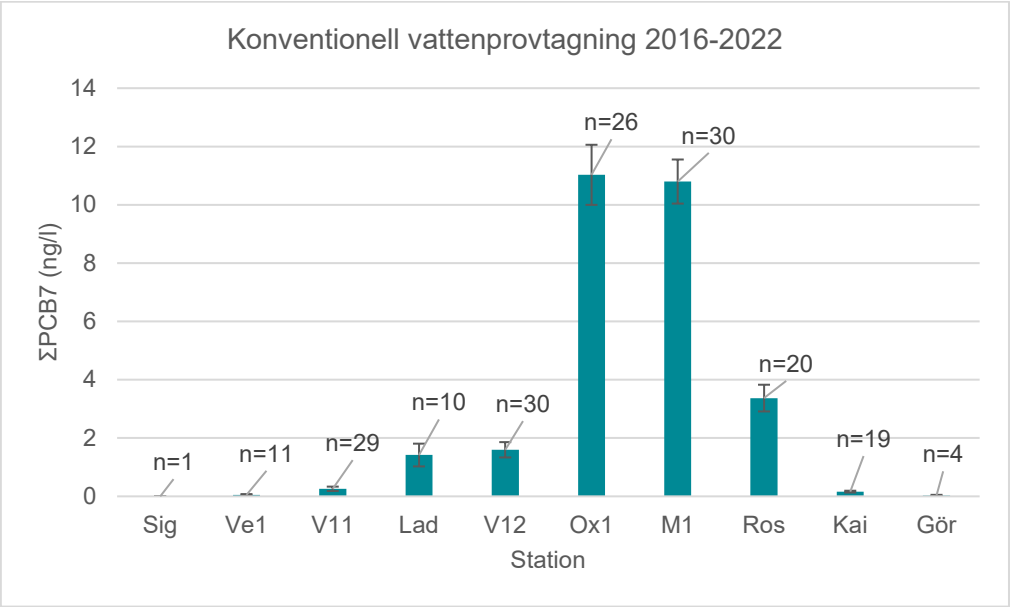
Figur 6. **Provtagningsstationer för aktiv vattenprovtagning i juli 2015.**



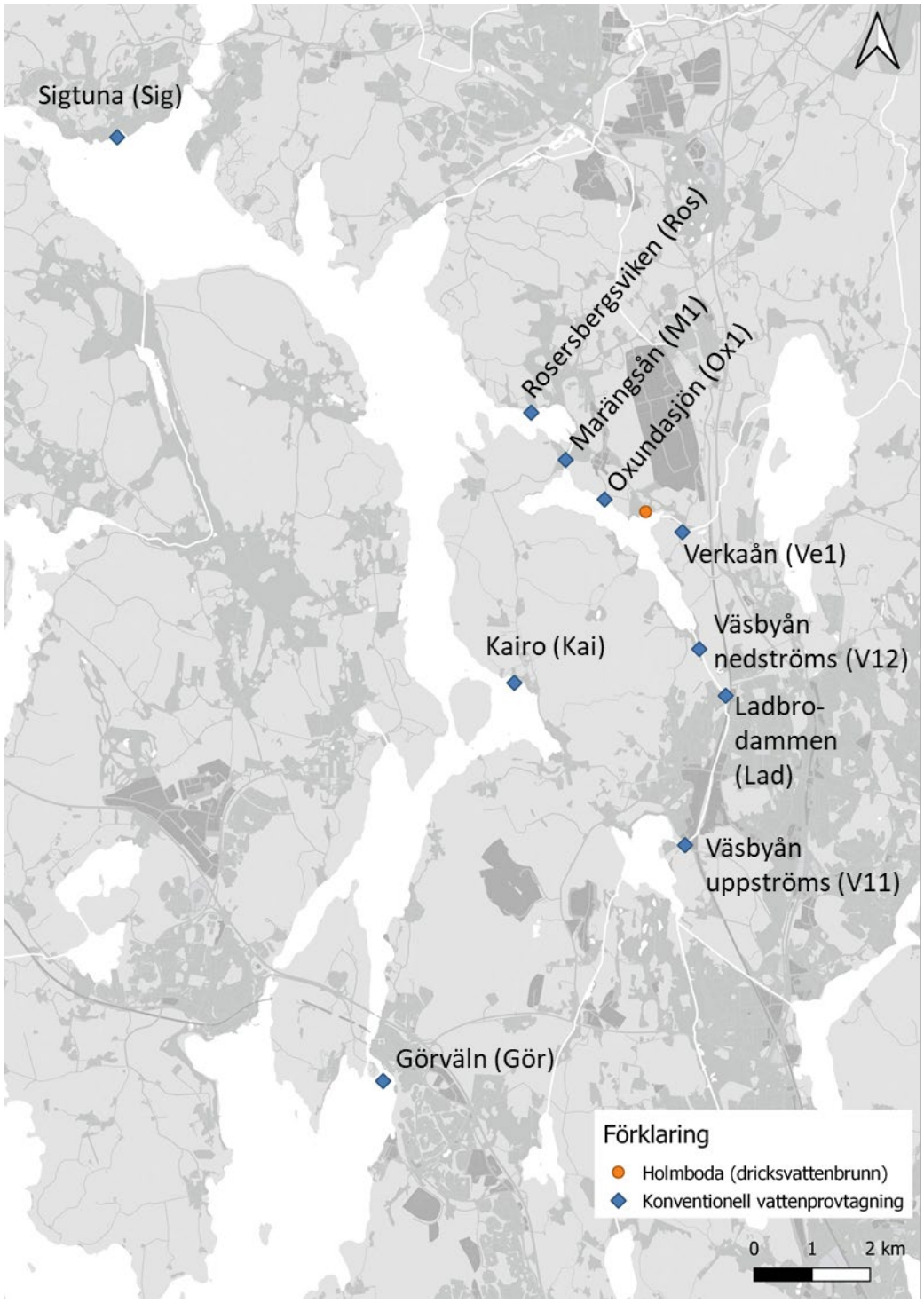
Figur 7. **Uppmätta totalhalter av PCB indikatorkongener vid aktiv provtagning juli 2015.**

Konventionell vattenprovtagning

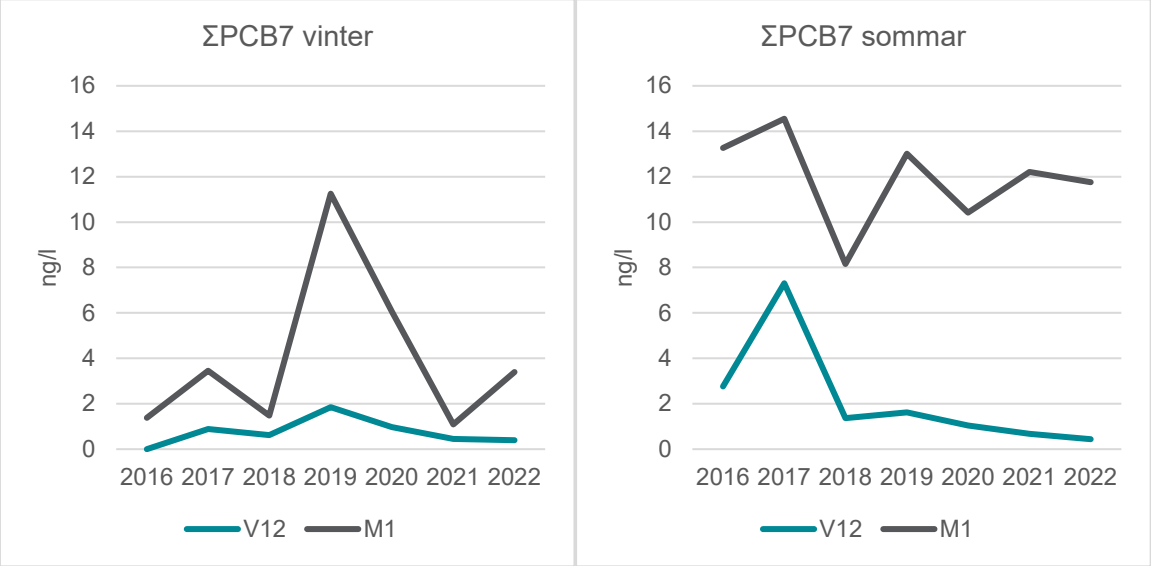
Kvartalsvis (höst, vinter, sommar, vår) insamling och analys av ytvatten från Oxundasjön och angränsande vattenområden uppströms respektive nedströms i avrinningsområdet (**Fig. 9**) har pågått sedan 2016 och pågår alltjämt. Vid varje provtagningstillfälle har 5 liter vatten samlats in i glaskärl och skickat till IVLs laboratorium i Göteborg för analys av koncentrationer av PCB_7 (**Fig. 8**). I **Figur 10** visas tidstrender avseende $\sum PCB_7$-koncentrationer 2016-2022 i Väsbyån nedströms Upplands Väsby tätort (V12) samt Oxundasjöns utflöde Marängsån (M1) vinter (februari) respektive sommartid(augusti) .



Figur 8. **Genomsnittliga $\sum PCB_7$-koncentrationer i vatten 2016-2022. . Felstaplar visar medelvärdets standardavvikelse. n = antal analyser per station.**



Figur 9. **Karta som visar samtliga provtagningspunkter för konventionell vattenprovtagning.**



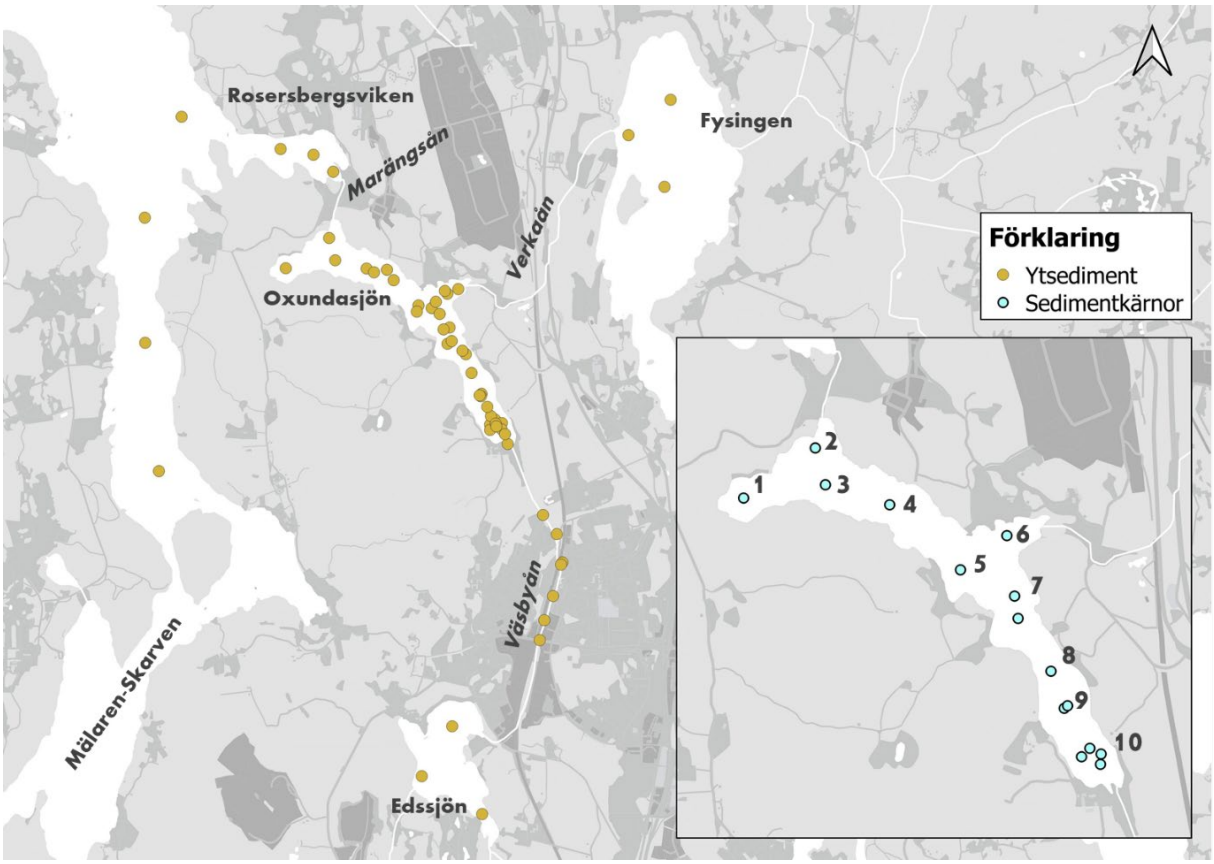
Figur 10. **Tidstrender 2015–2022 avseende ∑PCB$_7$-koncentrationer sommar (augusti) respektive vinter (februari) i punkterna V12 respektive M1.**

Sammantaget pekar de konventionella vattenprovtagningarna mot att:

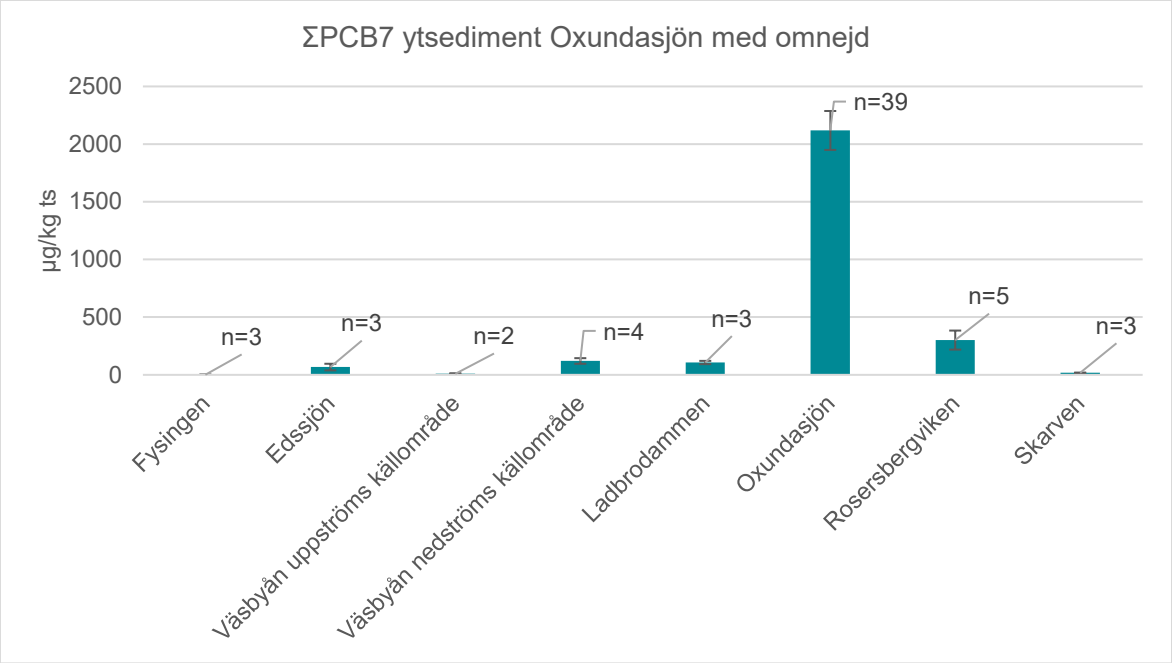
1) Det är väsentligt högre PCB$_7$-koncentrationer i det vatten som rinner ut ur Oxundasjön än i det som rinner in till sjön, vilket indikerar att det sker ett läckage av PCB från Oxundasjöns sediment till vattnet.
2) Koncentrationerna av PCB$_7$ är också förhöjda i Roserbergsviken där Oxundaån mynnar. Längre ut i Mälaren avtar koncentrationerna snabbt, och förhöjda PCB-koncentrationer har inte uppmätts i råvattenintaget till Görvälns vattenverk.
3) PCB$_7$-koncentrationerna i Väsbyån är högre nedströms Upplands Väsby tätort jämfört med uppströms.
4) PCB$_7$-koncentrationerna i Ladbrodammen, en dagvattendamm dit en andel av Upplands Väsby tätorts dagvatten avleds, är inte så höga att de kan förklara koncentrationsökningen i Väsbyån nedströms tätorten.
5) PCB$_7$-koncentrationerna i Verkaån, det andra större tillflödet till Oxundasjön ligger på bakgrundsnivåer. Detsamma gäller PCB$_7$-koncentrationerna i en grundvattenförsörjd gårdsbrunn vid Holmboda gård vid Oxundasjöns norra strand som således inte kontaminerats av sjövatten från Oxundasjön.
6) Det finns en årstidsvariation med generellt högre PCB-koncentrationer på sommaren jämfört med vintertid. Detta förklaras sannolikt av att rörligheten och utflödet av PCB från sediment och mark ökar med ökad temperatur.
7) Det finns en statistiskt säkerställd tendens till sjunkande koncentrationer över tid av ∑PCB$_7$ i tillflödet Väsbyån till Oxundasjön men däremot inte i utflödet Marängsån.

Förekomst i sediment

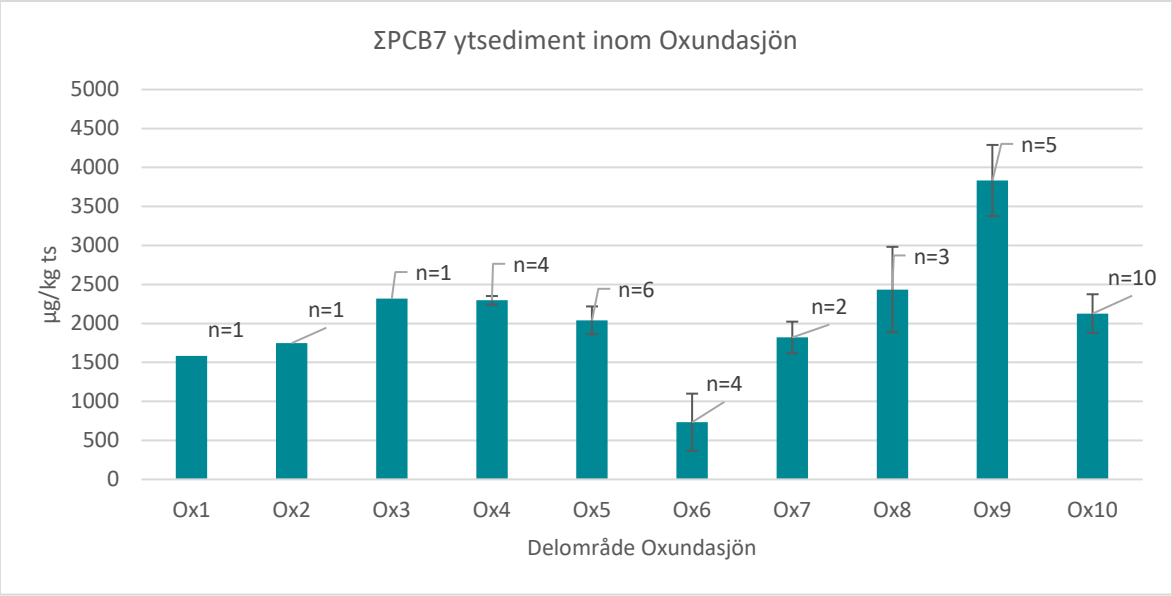
Sedimentundersökningar har genomförts med olika syften, dels yttäckande provtagning för att bedöma den areella utbredningen av PCB-kontamineringen, dels i sedimentkärneprofiler för att bedöma den temporala utvecklingen. Samtliga sedimentprovtagningsstationer framgår av **Figur 11**. I **Figur 12** visas hur halterna av $\sum PCB_7$ i ytsediment varierat mellan olika vattenområden medan **Figur 13** visar hur halterna varierat inom Oxundasjön. I **Figur 14** visas en typisk sedimentkärneprofil avseende $\sum PCB_7$-halter i ackumulationssediment från Oxundasjön.



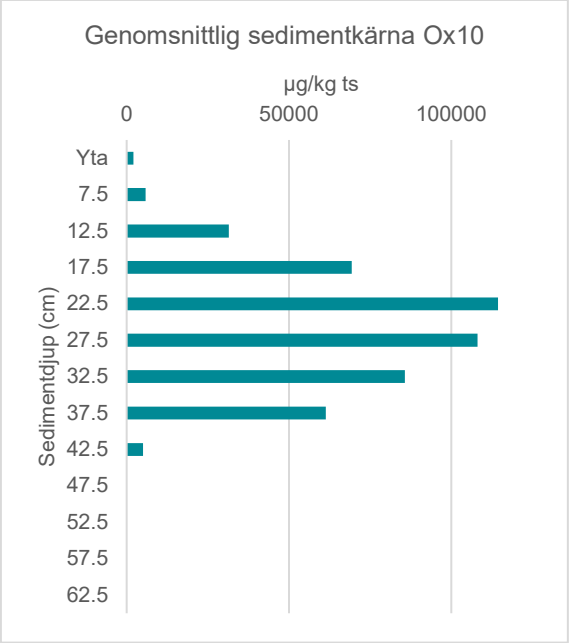
Figur 11. **Positioner för sedimentprovtagningsstationer.**



Figur 12. **Genomsnittliga halter av ∑PCB$_7$ i ytsediment från undersökta vattenområden. Felstaplarna visar medelvärdets standardavvikelse. n = antal analyser per station.**



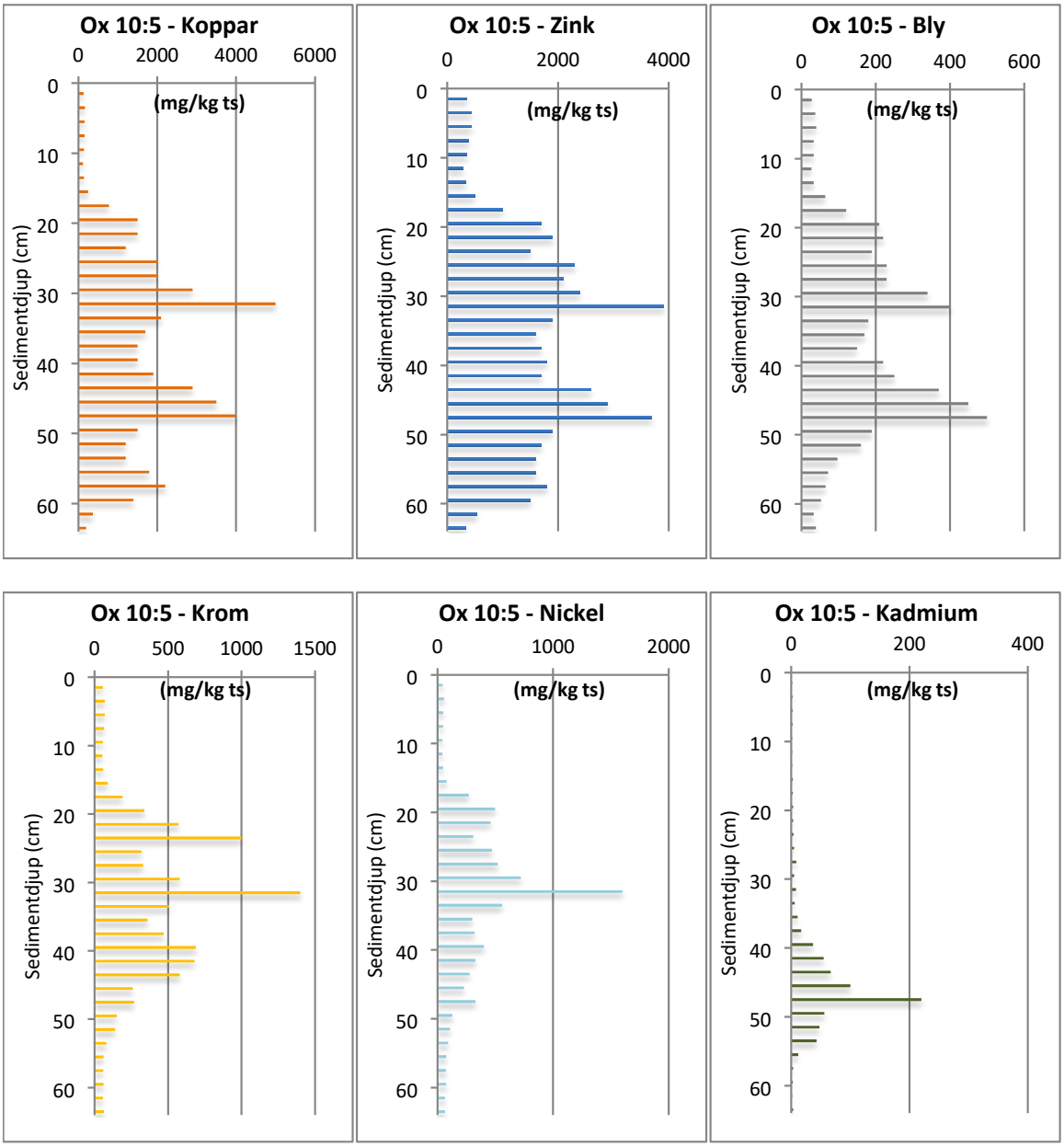
Figur 13. **Variation i halter ∑PCB$_7$ i ytsediment inom Oxundasjön. Felstaplarna visar medelvärdets standardavvikelse. n = antal analyser per station.**



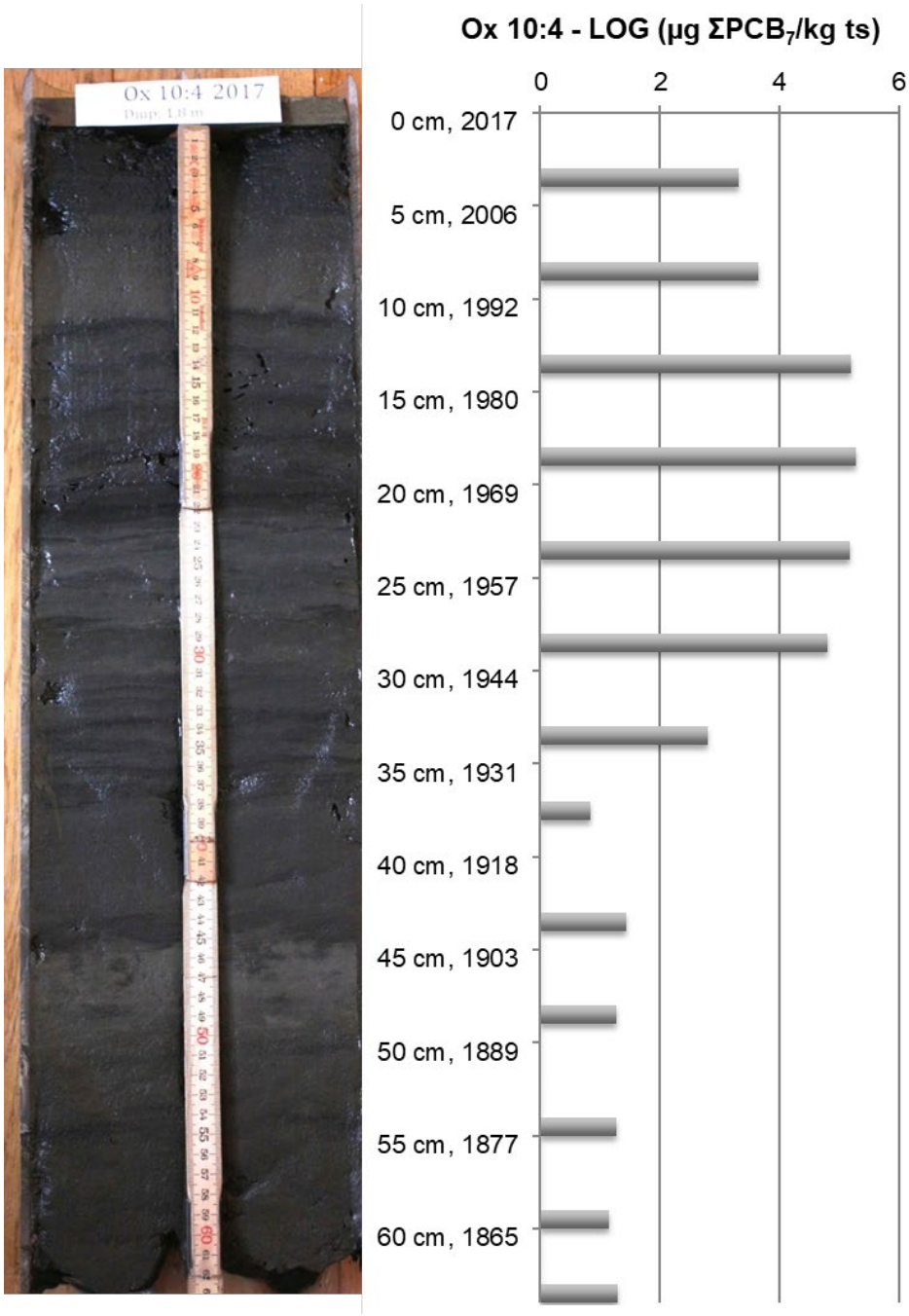
Figur 14. Typiska sedimentkärneprofiler över ∑PCB$_7$-halter i södra delen av Oxundasjön.

Att Oxundasjön via Väsbyån historiskt har belastats av både kommunalt och industriellt avloppsvatten från Upplands Väsby tätort är väl belagt. Utsläppen av näringsämnen och diverse tungmetaller ledde till övergödning och förhöjda tungmetallhalter i Oxundasjön. Efter 1970 har dock avloppsvatten från tätorten avletts till Käppala reningsverk istället för till Väsbyån, vilket väsentligt minskat belastningen på Väsbyåns och Oxundasjön. I en undersökning av Oxundasjöns sediment år 1971 uppmättes förhöjda halter av bland annat metallerna koppar, zink, krom och nickel. De förhöjda halterna ansågs till stor del ha sin grund i utsläpp från industrier belägna i Upplands Väsby tätort.

I syfte att datera Oxundasjöns sediment inhämtades tre sedimentkärnor från den södra delen av Oxundasjön, närmast Väsbyåns mynning. Tydliga variationer i sedimentlagerföljden avseende halter av metaller (**Fig. 15**) låg till grund för en datering av sedimenten. De daterade sedimentkärnorna jämfördes sedan med uppmätta PCB-profiler i respektive kärna och gav på så sätt en tidslinje för PCB-tillförseln till sedimenten (**Fig. 16**) och gav vid handen att den huvudsakliga tillförseln av PCB bör ha skett mellan 1950 och 1980.



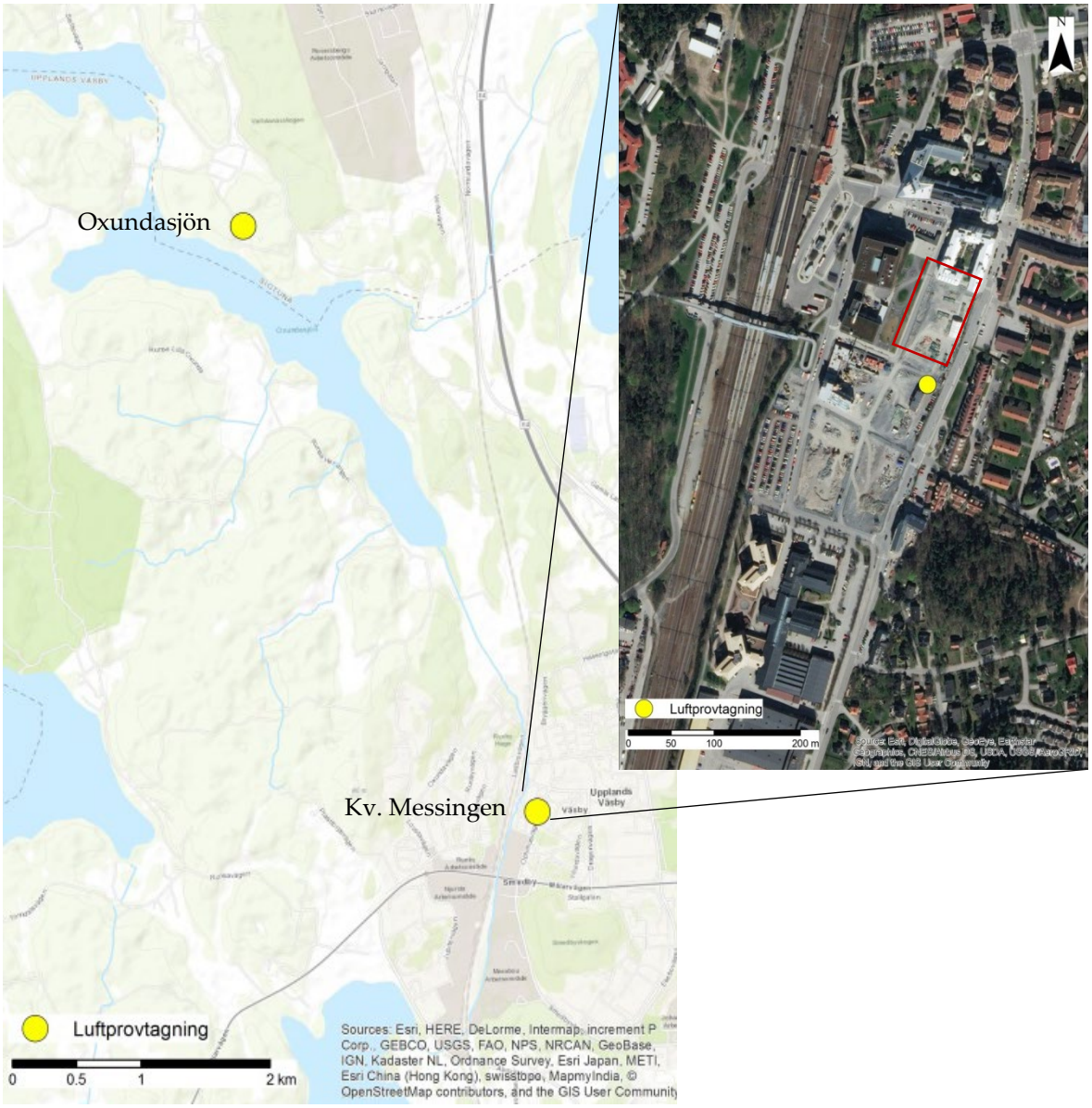
Figur 15. **Halter av koppar, bly, zink, krom, nickel och kadmium i en sedimentkärna från delområde Ox10 i den södra delen av Oxundasjön.**



Figur 16. **Daterad sedimentkärna från delområde Ox10, jämfört med uppmätta (logaritmerade) halter av PCB på olika 5 cm-djupintervall.**

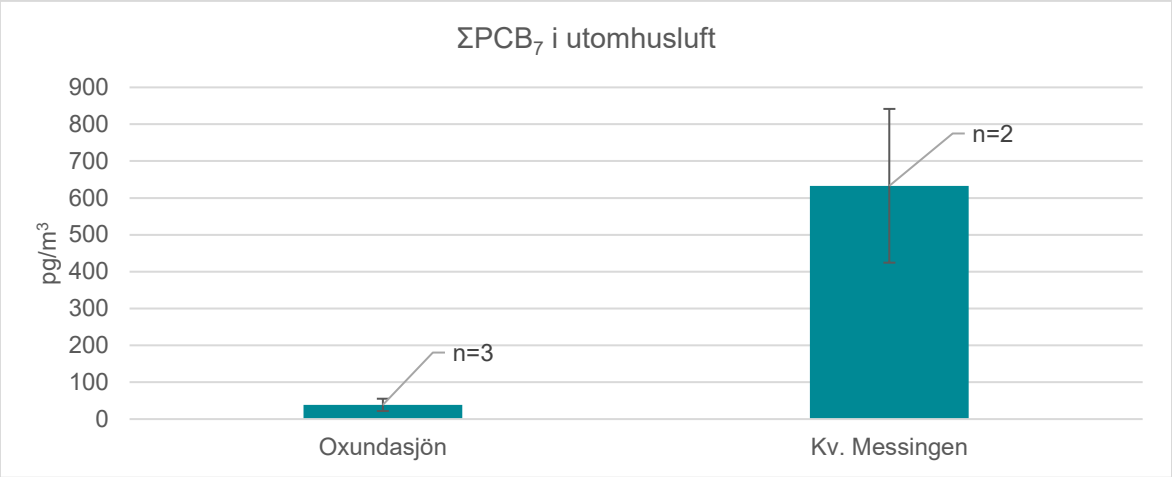
Förekomst i luft

Under 2016–2017 mättes PCB i luft vid tre tillfällen nära Oxundasjön och vid två tillfällen i centrala Upplands Väsby (**Fig. 17**). Vid Oxundasjön genomfördes även under 2016 provtagning av deposition av PCB under samma tre mättillfällen som luftprovtagning genomfördes.



Figur 17. **Platser för luftprovtagning av PCB. Vid Oxundasjön genomfördes luftmätningar under 2016. Vid Kv. Messingen genomfördes två mätningar under december 2016 – jan 2017 samt under juli 2017. Röd rektangel visar Kv. 3 i Messingen, där ca 5000 kg PCB sanerades från marken år 2016. Vid Oxundasjön genomfördes även provtagning av deposition av PCB.**

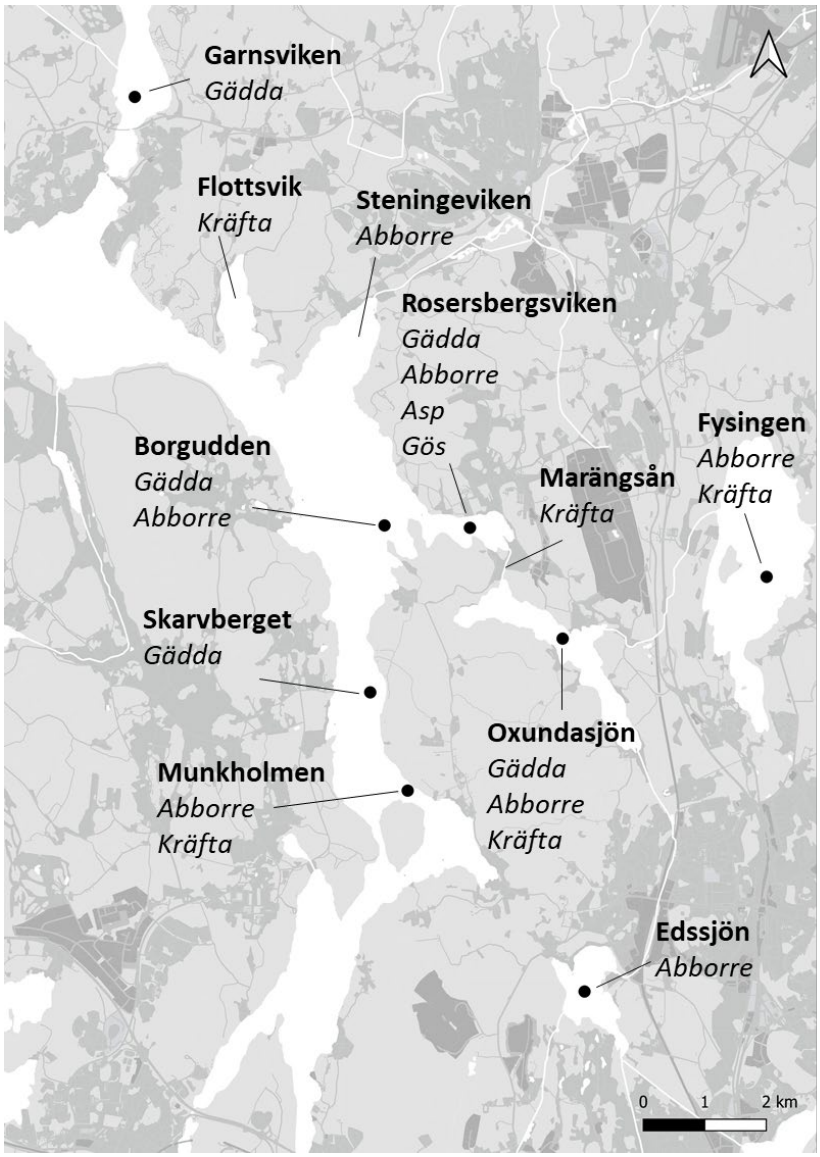
Uppmätta koncentrationer (summa gasfas och partikelfas) invid Oxundasjön var i genomsnitt 39 pg/m³ medan koncentrationerna var ca 16 gånger högre i centrala Upplands Väsby (**Fig. 18**). Uppmätta koncentrationer vid Oxundasjön var i jämförelse ca 10 gånger högre än koncentrationer som mätts upp vid en referensstation på ostkusten inom den nationella miljöövervakningen. De uppmätta koncentrationerna i tätorten var i storleksordningen 10–20 gånger högre jämfört med vad som uppmättes i centrala Stockholm 2009 med samma mätmetod. Högst koncentrationer uppmättes vintern 2016/2017 i centrala Upplands Väsby, i princip under pågående sanering av mark med höga halter PCB.



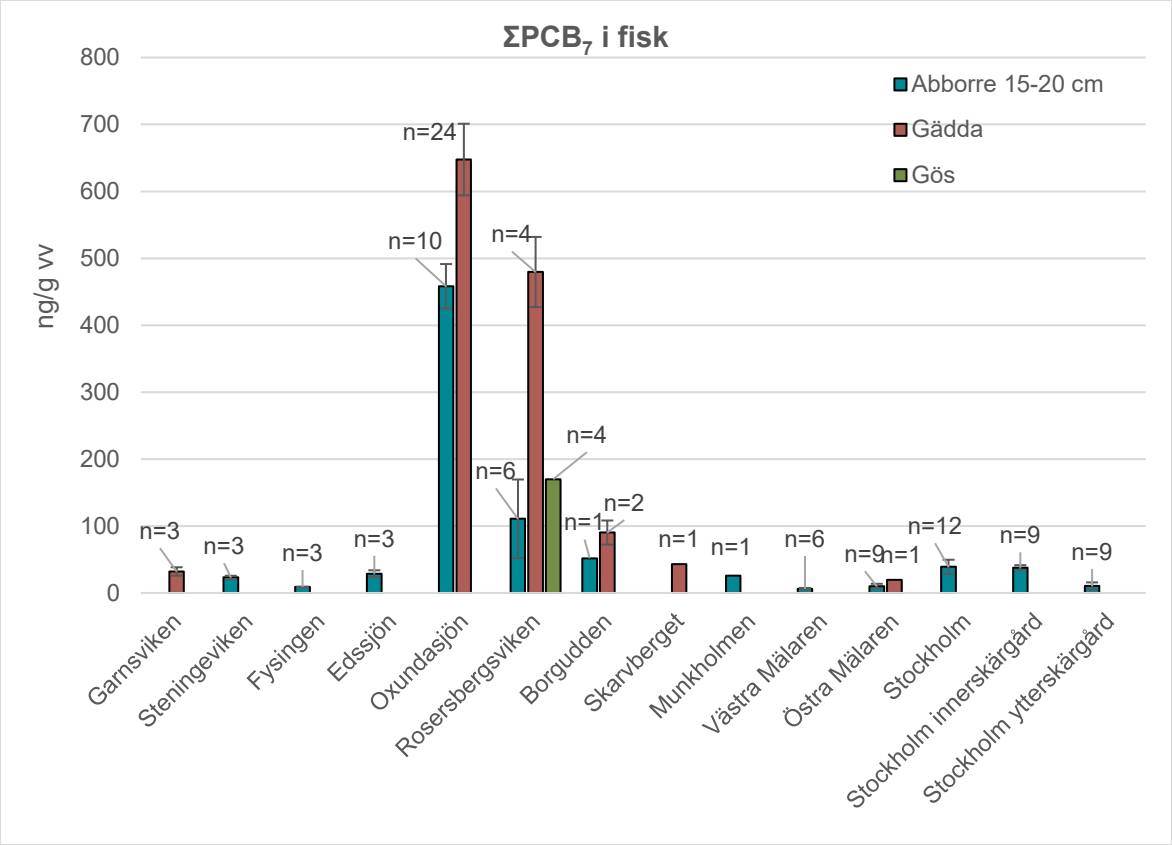
Figur 18. **PCB-koncentrationer i utomhusluft vid Oxundasjön (2016) och Kv. Messingen (2016–2017). Felstaplarna visar medelvärdets standardavvikelse. n = antal analyser per station.**

Förekomst och effekter i organismer

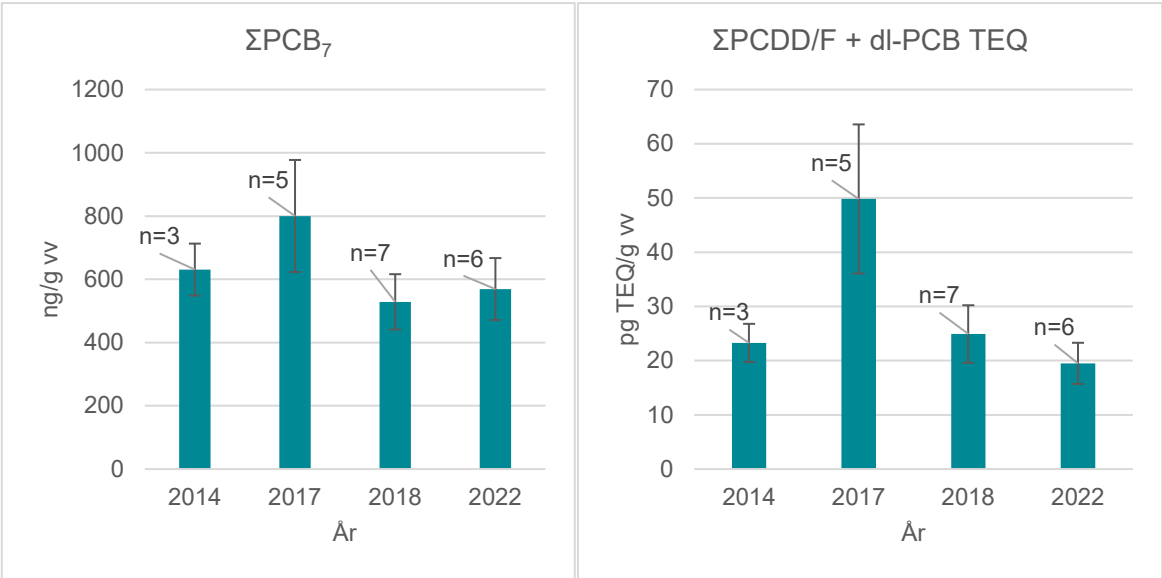
Efter den inledande undersökningen av PCB_7-halter i abborre 2013 genomfördes ett antal kompletterande undersökningar i olika delar av sjösystemet (**Fig. 19**) inkluderande olika fiskarter (**Fig. 20**), signalkräfta (**Fig. 23)** och mink (**Fig. 24).** Tekniska blandningar där PCB ingått är ofta kontaminerade av klorerade dioxiner och furaner (PCDD/Fs) som bildades oavsiktligt i tillverkningsprocessen. Tolv kongener av PCB (dl-PCB) har även dioxinlikande egenskaper. Halter av dioxinlika ämnen (PCDD/Fs + dl-PCB) har vid några tillfällen undersökts i gädda som fångats från is vintertid (**Fig. 21**). Halter av dioxinlika ämnen har vid ett tillfälle även undersökts i abborre av konsumtionsstorlek i transekten Fysingen-Oxundasjön-Rosersbergsviken (**Fig. 22**). Under 2017 analyserades även halter av metaller i några gäddor från Oxundasjön och Garnsviken (**Tab. 1**).



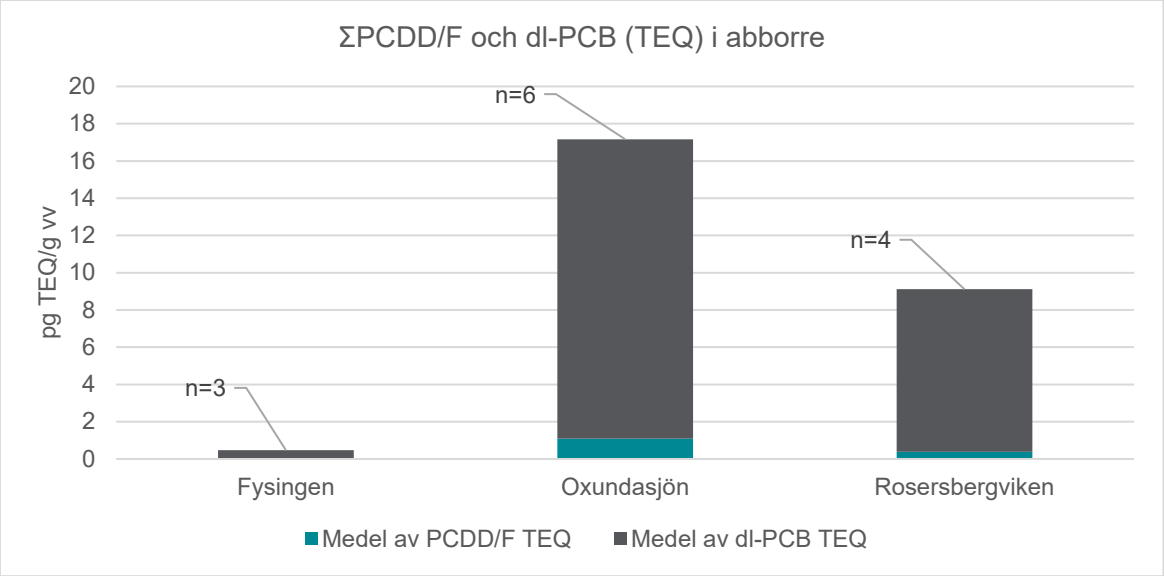
Figur 19. **Karta med lokaler där fisk och kräfta insamlats.**



Figur 20. **∑PCB7-halter i olika arter vid olika undersökta lokaler. Felstaplarna visar medelvärdets standardavvikelse. n = analyser per station.**



Figur 21. **Jämförelse ∑PCB7 och ∑TEQ (PCDD/F + dl-PCB) i gädda från Oxundasjön 2014, 2017, 2018 respektive 2022. Felstaplarna visar medelvärdets standardavvikelse. n = antal analyser per station.**



Figur 22. **∑PCDD/F TEQ respektive ∑dl-PCB TEQ i abborre från transekten Fysingen-Oxundasjön-Rosersbergsviken. Felstaplarna visar medelvärdets standardavvikelse. n = antal analyser per station.**

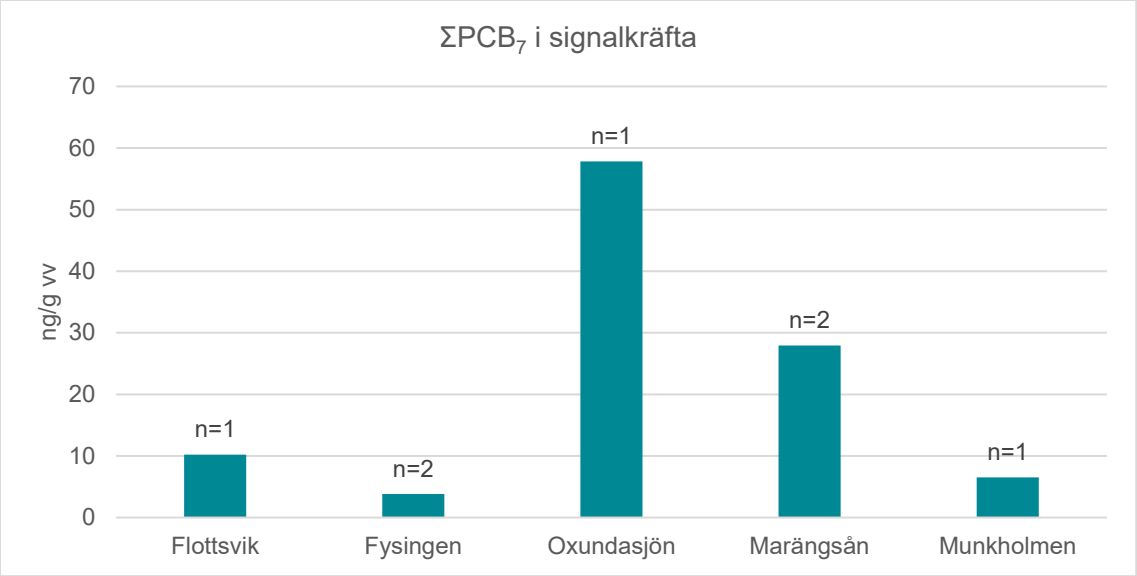
Tabell 1. **Genomsnittliga halter, samt min- och maxvärde av kvicksilver (Hg), bly (Pb) och kadmium (Cd) i gädda från Oxundasjön och Garnsviken (referens) jämte gränsvärden för saluföring inom EU (EC 1881/2006).**

Metall	Oxundasjön (n=3-6*)			Garnsviken (n=4)			EC 1881/2006
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max	
Hg (mg/kg vv)	0,34	0,16	0,52	0,56	0,29	1,2	1,0
Cd (mg/kg vv)	<0,004	-	-	<0,004	-	-	0,05
Pb (mg/kg vv)	<0,008	-	-	<0,008	-	-	0,3

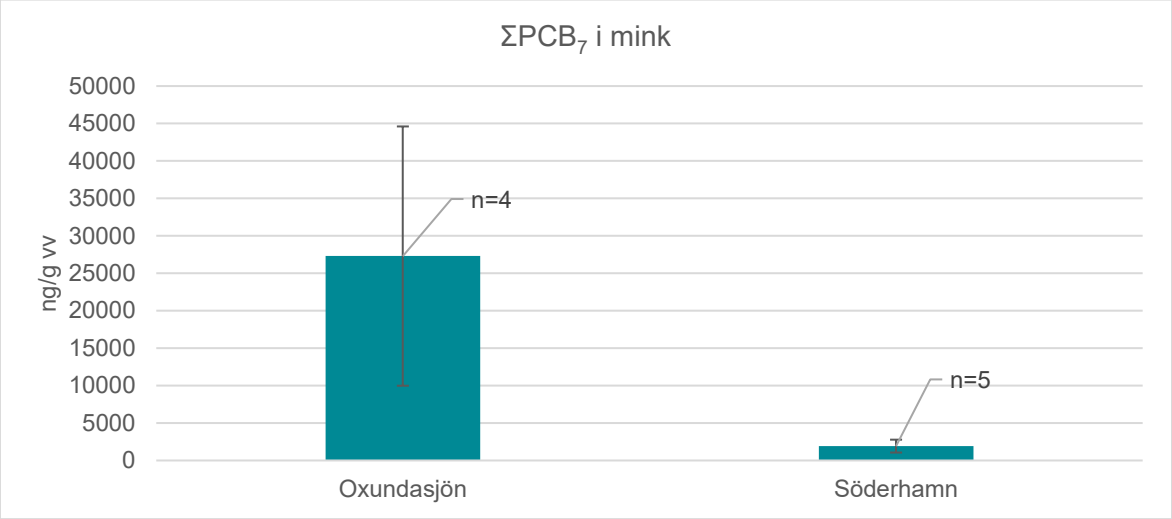
*n=3 för Cd och Pb, n=6 för Hg.

Under 2016 genomfördes ekotoxikologiska undersökningar av abborres hälsotillstånd och fortplantningsförmåga i tre delstudier. Delstudie 1 omfattande ett äggkläckningsförsök i laboratoriemiljö) med abborrom som samlats in från Oxundasjön och Edssjön (uppströms referens). De framkläckta embryona hade en lägre tillväxt och förhöjd deformationsfrekvens. I delstudie 2 undersöktes hälsotillstånd och fortplantningsförmåga hos vuxen abborre genom mätning av olika morfologiska mått i vuxen abborre i transekten Fysingen-Oxundasjön-Rosersbergsviken. Mätningar gav en svag indikation på störd fortplantning i Oxundasjön. Liknande effektbild erhölls i Delstudie 3 som utöver morfologiska variabler även inkluderande ett antal biokemiska markörer för hälsotillståndet. Utöver skillnader i könsmognad förekom indikationer på en avvikande jonbalans i fisken från Oxundasjön. Sammantaget pekade alla tre studierna i samma riktning och indikerar en svag till måttlig påverkan på abborres fortplantningsförmåga.

Utöver mätningar i fisk har PCB-förekomsten även undersökts i signalkräftor (**Fig. 23)** och mink (**Fig. 24**). Halterna i kräftmuskel var väsentligt lägre än i fisk men alltjämt förhöjda i Oxundasjöns utflöde jämfört med andra lokaler. Även i minkfett förelåg förhöjda PCB-halter i individer som fångats vid Oxundasjön jämfört med referensmaterialet. Utöver dessa mätningar i organismer kan även nämnas att det under 2015 placerades ut fågelholkar runt Oxundasjöns stränder i syfta att samla in och analysera ägg från häckande sim- och dykänder. Någon äggtäkt har emellertid aldrig genomförts.



Figur 23. **∑PCB7-halter i stjärtmuskel från signalkräfta i olika delar av Oxundasystemet.**



Figur 24. **∑PCB7-halter i underhudsfett från mink fångad runt Oxundasjön jämförda mot ett referensområde i vid södra Bottenhavet (Söderhamn).**

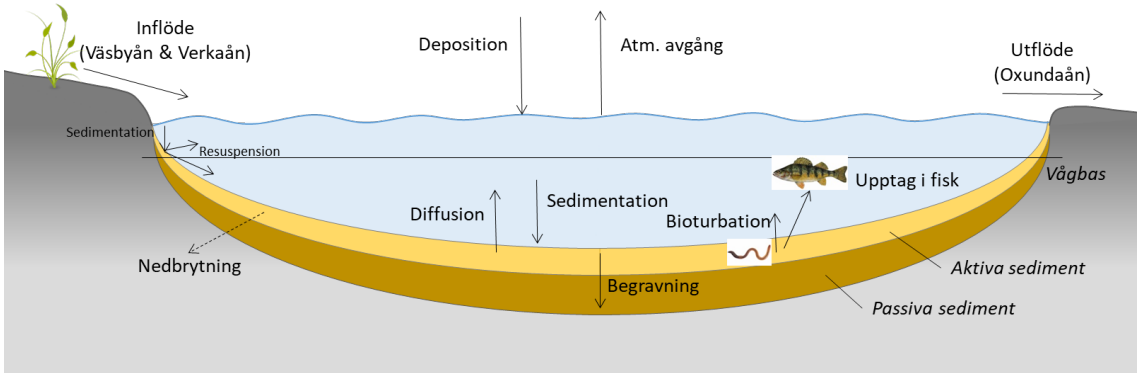
Sammanfattningsvis visar genomförda biotaundersökningar att:

- PCB-halterna i olika undersökta organismer ger en samfälld bild av tydligt förhöjda PCB-halter i Oxundasjön och närmaste nedströms belägna lokaler men att halterna klingar av längre ut i Mälaren.
- Summahalterna dioxinlika ämnen (TEQ) i fisk är exceptionellt höga, varför vissa befolkningsgrupper enligt de nationella kostråd som finns bör avstå från konsumtion.
- TEQ-halter i gädda har inte minskat under perioden 2014-2022.
- En svag till måttlig påverkan på fortplantningsfunktionen har identifierats vid ekotoxikologiska undersökningar av abborre.
- Metallhalter (Hg, Pb, Cd) är inte förhöjda i gädda från Oxundasjön.

Prediktiv modellering

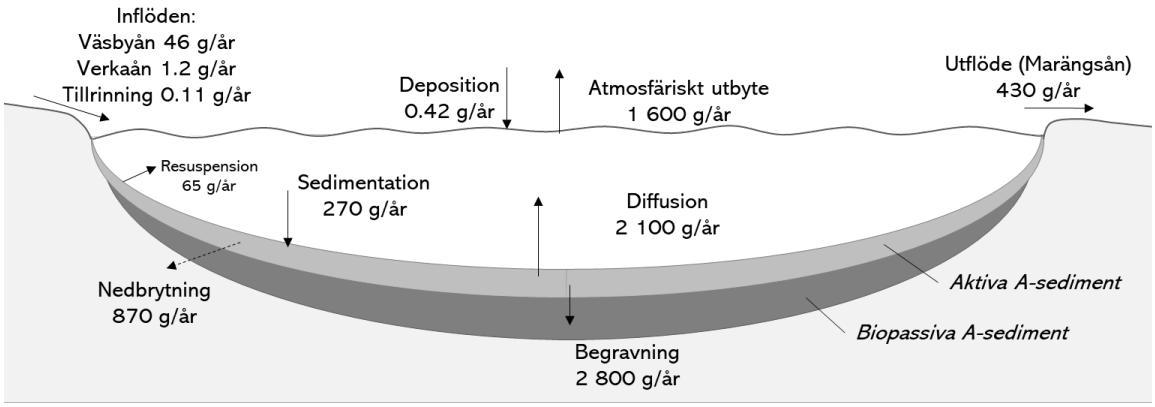
Med stöd av de data från Oxundasjön med omnejd som insamlats har massbalansberäkningar och prognoser för framtida utveckling av miljötillståndet givet olika åtgärdsscenarier genomförts.

PCB-förekomsten i sjön delades in i tre matriser: vatten, ackumulationsbottnar (A-bottnar) och erosions- och transportbottnar (ET-bottnar) och antogs karakteriseras av processerna atmosfärisk deposition och avgång, sedimentation, resuspension, diffusion (inklusive bioturbation), biologisk nedbrytning/ omvandling, begravning från aktiva sediment samt in- och utflöde (**Fig. 25**). I modellen kopplades även halter i sediment till halter i abborre (15-20 cm) enligt ett log-linjärt samband mellan PCB i sediment och abborre baserat på mätningar från ett tjugotal vattenområden i Stockholmsregionen.



Figur 25. **Konceptuell modell för massflöde av PCB i Oxundasjön.**

Massbalansberäkningarna visar att i dagsläget sker de största massflödena genom diffusion, begravning, nedbrytning och atmosfärisk avgång (**Fig. 26**). Drygt 400 g $\sum PCB_7$ tillförs årligen Rosersbergsviken och Mälaren nedströms via Oxundaån. 10 gånger så mycket PCB rinner ut från Oxundasjön jämfört med inflödet från Väsbyån, samt att ca 1 600 g årligen avgår till atmosfären. Detta visar att Oxundasjön idag fungerar som en sekundär spridningskälla för PCB till omgivningen, där det framför allt är diffusion från sedimenten (drygt 2 000 g/år) som är den drivande faktorn.



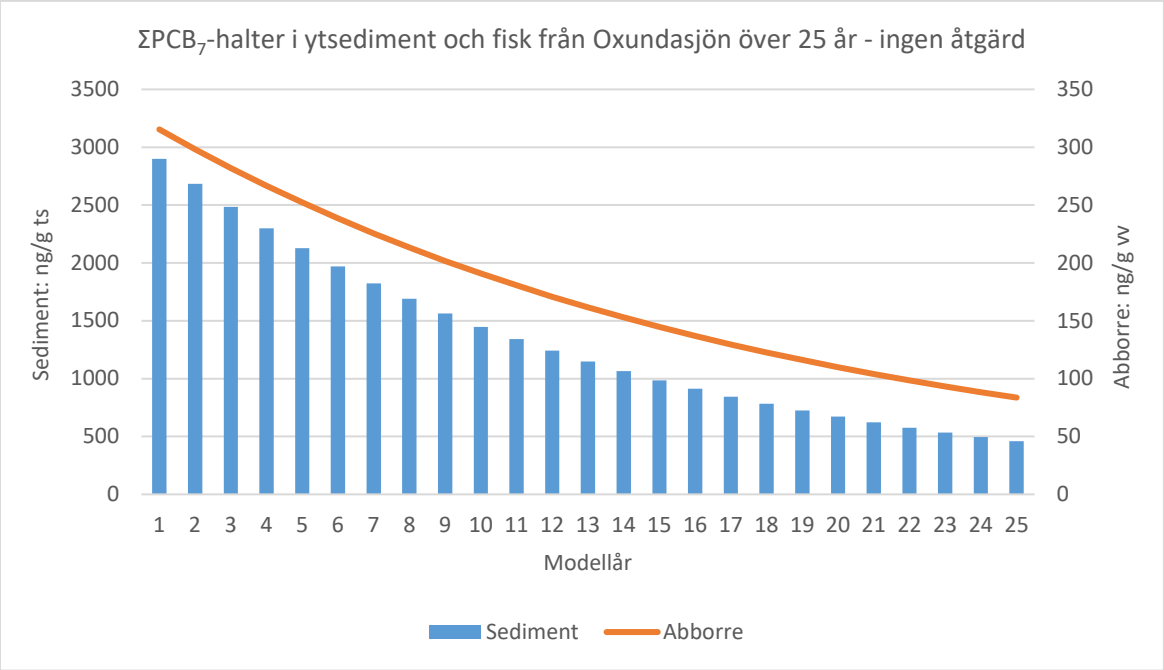
Figur 26. **Modellerade massflöden av ΣPCB_7 till, från och inom Oxundasjön.**

Tre framtidsscenarier studerades med modellen där återhämtningsförloppet gällande PCB i systemet simulerades för 25 år framåt:

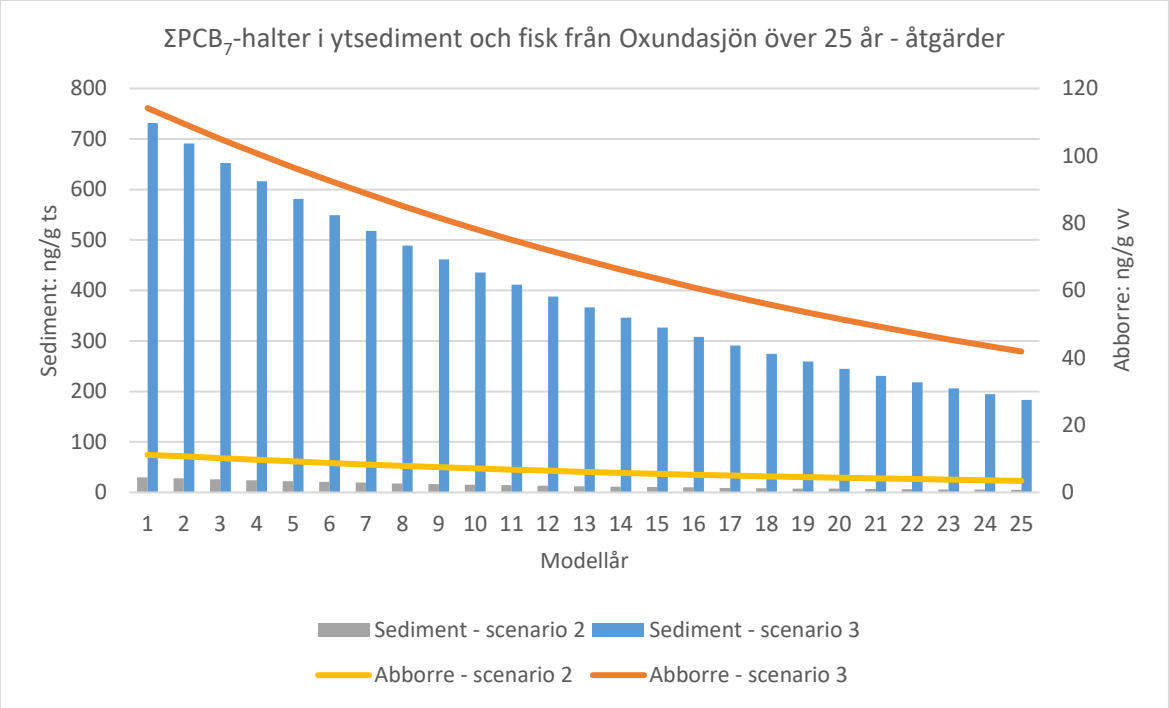
- **Scenario 1:** Ingen åtgärd, det vill säga naturlig återhämtning av systemet.
- **Scenario 2:** Muddring eller annan åtgärd av alla ackumulationssediment vilket leder till att mängden PCB i de aktiva sedimenten reduceras med 99 %.
- **Scenario 3**: Åtgärder i den södra delen av sjön som immobiliserar 75 % av den totala mängden PCB i sedimenten.

Scenario 1, inga åtgärder (**Fig. 27**) indikerar att nuvarande halter i ytsedimenten, ca 3 000 ng/g ts, minskar exponentiellt till ca 500 ng/g ts efter 25 år. Avklingningen i fisk följer samma trend, där nuvarande halter, cirka 300 ng/g vv, minskar till cirka 80 ng/g vv, vilket är strax över EUs saluföringsgränsvärde. I **Figur 28** visas på motsvarande sätt återhämtningsförloppen i sediment och fisk givet de två åtgärdsscenarierna (Scenario 2, Scenario 3).

Givet naturlig återhämtning (Scenario 1) transporteras cirka 5 kg ΣPCB_7 från sjöns utlopp till Mälaren under simuleringsperioden (25 år). Under samma period transporteras cirka 18 kg ΣPCB_7 till luften på grund av utbytet mellan vatten och luft. I Scenario 2 och 3 reduceras transporterna till Mälaren till mindre än 1 kg ΣPCB_7 sett över en 25-årsperiod.



Figur 27. **Predikterat återhämtningsförlopp i Oxundasjöns ytsediment och i abborre från sjön i miljöövervakningsstorlek (15–20 cm), givet att ingen åtgärd görs.**



Figur 28. **Predikterat återhämtningsförlopp i Oxundasjöns ytsediment och i abborre från sjön i miljöövervakningsstorlek (15–20 cm). Scenario 2 motsvarar åtgärder i hela Oxundasjön medan scenario 3 avser en mindre omfattande sanering koncentrerat till sjöns södra delar.**

Sammanfattningsvis visar den beräknade massbalansen och modelleringen av åtgärdsscenarier för PCB i Oxundasjön att:

1) Sedimenten i sjön idag utgör en sekundär spridningskälla för PCB till omgivningen. Avgången av PCB från sjön sker framför allt via avgång till atmosfären från ytvatten till luft samt via vattentransport genom sjöns utlopp, Marängsån, vidare till Rosersbergsviken och Mälaren.
2) Om ingen åtgärd görs för att åtgärda de förorenade sedimenten i Oxundasjön kommer drygt 5 kg ΣPCB_7 transporteras från sjön till Mälaren de kommande 25 åren. Under samma period prognosticeras cirka 18 kg ΣPCB_7 avgå till luft.
3) Om åtgärder genomförs förväntas PCB-halterna i fisk från Oxundasjön snabbt att klinga av medan ett utdraget förlopp är att förvänta om enbart naturlig återhämtning får fortgå, där halter efter 25 år alltjämt kommer att vara förhöjda jämfört mot bakgrundsnivåer.

Ordlista

Aktiv vattenprovtagning – mätning av ett ämne eller ämnesgruppsförekomst i vatten genom att en större mängd vatten pumpas genom ett system av filter och membran

A-sediment – gyttjelera eller lergyttja på bottnar där det sker en kontinuerlig deposition av finmaterial som leder till sedimenttillväxt

Begravning – i detta sammanhang, översedimentering av till exempel en förorening som medför att det inte längre är biologiskt tillgängligt

Cd – kadmium, ett metalliskt grundämne som anses miljö- och hälsofarligt

Dagvatten – ytavrinnande vatten från hårdgjorda ytor i en tätort

Deposition – i detta sammanhang, tillförsel av ett ämne eller ämnesgrupp genom atmosfäriskt nedfall

Diffusion – spontan spridningsprocess som medför att koncentrationsskillnader inom eller mellan gaser och vätskor jämnas ut

Dioxiner – (i dagligt tal) = polyklorerade dibenzo-*p*-dioxiner och dibensofuraner (PCDD/F)

Dioxinlika ämnen – samlingsbegrepp för klorerade dioxiner och furaner och dioxinlika PCBer

Embryo – i detta fall, en fisks larvstadium innan den omvandlas till ett yngel

Gränsvärde – i detta sammanhang, maximalt tillåten halt av en förorening i ett livsmedel som skall saluföras inom EU

Halt – i detta sammanhang, andel fett (%) och föroreningsinnehåll t.ex. pg/g vv (pikogram per gram våtvikt) i fisk och ng/kg ts (nanogram per kilo torrsubstans) i sediment

Hg – kvicksilver, ett metalliskt grundämne som anses miljö- och hälsofarligt

Koncentration – i detta sammanhang, förekomsten av ett ämne/ämnesgrupp i vatten eller gasfas.

Kongen – variant av en kemisk förening. Uppstår då atomer kan binda till en molekyl i olika antal och på olika positioner

Konventionell vattenprovtagning – mätning av ett ämnes/ämnesgrupps koncentration i vatten genom att en provtagningsflaska nedsänks i ytvattnet och fylls upp

Ladbrodammen – dagvattendamm dit delar av dagvatten från Upplands Väsby tätort avleds

Marängsån – Utflödet från Oxundasjön som mynnar i Rosersbergsviken

Messingen – område i Upplands Väsby tätort där det tidigare förekommit industriell verksamhet

ng/g ts – nanogram per gram torrsubstans, en enhet för en halt efter att vatten avlägsnats

ng/g vv – nanogram per gram våtvikt, ofta använd enhet för att utrycka halter av i fisk och andra livsmedel i färskt material där vatten ingår

Passiv vattenprovtagning – vattenprovtagning genom att ett membran placeras ut i ett vattenområde under erforderlig tid, ofta en månad, så att jämvikt inställer sig med koncentrationen i vattenmiljön. Ger ett semikvantitativt mått koncentrationen av ett ämne/ämnesgrupp.

Pb – bly, ett metalliskt grundämne som anses miljö- och hälsofarligt.

PCB – polyklorerade bifenyler är en grupp av klororganiska ämnen som använts som industrikemikalier innan de förbjöds på 1970-talet och som förekommer i drygt 200 varianter (kongener). Ofta mäts inom miljöövervakning sju (PCB_7) eller sex (PCB_6) vanligt förekommande kongener, de så kallade indikator-PCB:erna. Tolv kongener av PCB har en molekylstruktur som liknar dioxins och har liknande toxikologiska egenskaper. De benämnes plana eller dioxinlika PCB:er (dl-PCB)

PCDD/Fs – polyklorerade dibenzo-*p*-dioxiner och dibensofuraner (”dioxiner”) är en grupp av oavsiktligt bildade klororganiska ämnen som förekommer i 210 kongener. De 17 av kongenerna som anses vara de mest toxiska mäts rutinmässigt inom miljöövervakning och livsmedelskontroll.

pg TEQ /g vv – pikogram TEQ per gram våtvikt, ofta använd enhet för att utrycka halt av dioxiner i fisk och andra livsmedel , jmf TEQ och ng/g vv.

Resuspension – när partiklar som sedimenterat till botten av ett vattenområde virvlas upp och återförs till vattenmassan efter påverkan från strömmar eller vågturbulens

Roserbergsviken – vik av Mälaren där utflödet från Oxundasjön via Marängsån mynnar

Sedimentation – process i vattenmiljö där partiklar genom gravitation faller till botten

Sonar – hydroakustiskt instrument som ger yttäckande bild av bottenstrukturerna i ett vattenområde

TEF - Toxic equivalency factors en viktningsmetod att relatera toxicitet hos enskilda kongener av PCDD/Fs och dioxinlika PCB:er gentemot 2378-TCDD

TEQ – toxic equivalency, uttrycker den sammanlagda toxiciteten av en blandning av dioxiner och dioxinlika ämnen genom utnyttjande av TEF-faktorer

Transekt – i detta sammanhang, en sträcka längs vilken man mäter koncentrationer eller halter av en förorening

Verkaån – ett större tillflöde till Oxundasjön som avvattnar sjön Fysingen och uppströms liggande avrinningsområde

Vågbas – det maximala djup i ett vattenområde nedtill vilken vågenergi förmår tränga ned och påverka finsediment

Väsbyån – benämning på Oxundaån under rinnsträckan mellan Edssjön och Oxundasjön

∑ – sigma, uttrycker summan av halter eller koncentrationer av en ämnesgrupp

Referenser

Förlin, L., Larsson, Å. & Parkkonen, J., 2019. Undersökning av hälsotillståndet hos PCBexponerade abborrar i Oxundasjön 2016. Institutionen för biologi och miljövetenskap Göteborgs Universitet, december 2019.

Hållén, J., 2016. PCB i Oxundasjön och Rosersbergsviken- Prediktiv modellering av återhämtningsscenarier. Examensarbete, Institutionen för ekologi och genetik, Uppsala universitet. UPTEC W 16025, ISSN 1401-5765.

Hållén, J & Karlsson, M., 2017. Undersökning av PCB och klorerade VOC i Väsbyån och Messingenområdets dag- och dricksvatten. IVL-rapport U5779.

Hållén, J. & Johansson, N., 2018. PCB i utomhusluft vid Kv. Messingen, Upplands Väsby. IVL-rapport U5933.

Hållén, J. & Karlsson, M., 2018. Sedimentdatering Oxundasjön. IVL-rapport U5908.

Hållén, J. & Karlsson, M., 2020. PCB i Oxundaåns vattensystem 2019. IVL PM februari 2020.

Hållén, J. & Karlsson, M., 2021. PCB i Oxundaåns vattensystem 2020. IVL PM januari 2021.

Hållén, J., Karlsson, M. & Hansson, K., 2017. PCB-undersökningar i Oxundasjön 2016. IVL-rapport U5846.

Hållén, J., Malmaeus, J. M., Johansson, N., & Karlsson, O. M., 2022. Using a dynamic mass balance model to predict fate and transport of PCBs in a polluted boreal lake in Sweden. Science of The Total Environment, 853, 158522.

Jonsson, P., 2014. Sonarkartering av objekt på Oxundasjöns botten. JP Sedimentkonsult rapport 2014:4.

Jonsson, P., 2017. Sedimentprovtagning och historikbedömning Oxundasjön. JP Sedimentkonsult rapport 2017:2.

Karlsson, M., 2014a. PCB i nedre Oxundaåsystemet. IVL-rapport U4925.

Karlsson, M., 2014b. Miljökemiska undersökningar i sediment och fisk från Edssjön och Väsbyån. IVL-rapport U4928.

Karlsson, M., 2014c. Kompletterande undersökning av PCB i sediment från Oxundasjön. IVL-rapport U5001.

Karlsson, M., 2016. PCB i fisk från Skarven IVL-rapport U5627.

Karlsson, M., 2021. PCB och PFAS i Görväln. IVL PM april 2021.

Karlsson, M. & Viktor, T., 2014a. Miljöstörande ämnen i fisk från Stockholmsregionen. IVL-rapport B2214.

Karlsson M. & Viktor, T., 2014b. Kompletterande analys av dioxiner, furaner och dioxinlika PCB:er i fisk från Oxundasjön. IVL-rapport U5002.

Karlsson, M. & Johansson, N., 2015. Passiv provtagning av PCB-halter i Väsbyån. IVL-rapport U5115.

Karlsson, M. & Hållén, J., 2018. PCB i Oxundaåns vattensystem 2017. IVL-rapport U5948.

Karlsson, M. & Hållén, J., 2019. PCB i Oxundaåns vattensystem 2018. IVL-PM 2019-01-24.

Karlsson, M. & Hållén, J., 2022. PCB i Oxundaåns vattensystem 2021. IVL PM februari 2022.

Karlsson, M., Sjöholm, L. & Viktor, T., 2014. Metaller och stabila organiska ämnen i Oxundaåsystemet. IVL-rapport U4769.

Karlsson, M, Johansson, N. & Malmaeus, M., 2015. Aktiv och passiv vattenprovtagning i Väsbyån. IVL-rapport U5481.

Karlsson, M., Palm Cousins, A. & Malmaeus, M., 2016. PCB i Oxundasjön - mängder och flöden. IVL-rapport U5556.

Sandström, O. & Abrahamsson, I., 2017. Tillväxt, kondition och fortplantningsförmåga hos abborre i Oxundasjön, Fysingen och Rosersbergsviken 2016. SKUTSAB rapport 2017-12-01.

Viktor, T. 2017. Mätning av bioindikatorer i fisk från Oxundasjön. IVL-rapport U5875.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se