



Länsstyrelsen
Stockholm

Publiceringsdatum
2023-09-12

Kontaktpersoner
Jonas Hagström
Enheten för miljöanalys
Telefon: 010-2231000
jonas.hagstrom@lansstyrelsen.se

Jovana Jönsson
Tyresås Vattenvårdsförbund
c/o Stockholm Vatten och Avfall
Telefon: 08-522 120 00
info@tyresan.se

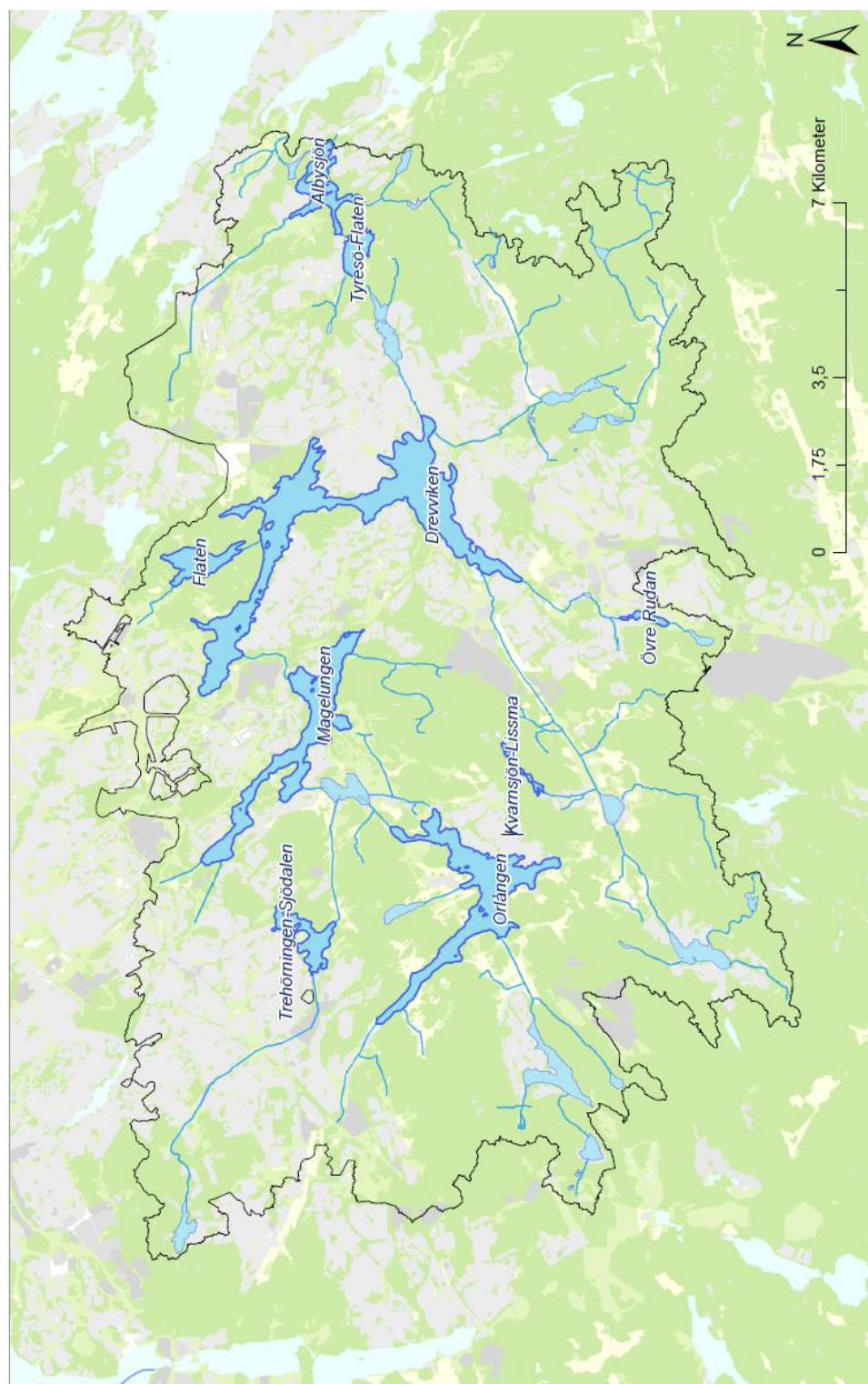


Miljögifter i abborre från sjöar i Tyresås avrinningsområde

Halter av miljögifter i abborre från sjöar i Tyresås avrinningsområde är ofta förhållandevis höga när fisken kommer från tätortspåverkade sjöar. Detta samband gäller främst för halter av organiska miljögifter som PFAS-ämnena och polyklorerade bifenyler (PCB), men inte för kvicksilver. Halterna av kvicksilver varierar stort och ser inte ut att avspegla påverkan från lokala källor. Resultaten tyder på att belastningen av kvicksilver övervägande sker via nederbörden snarare än från lokala källor. En uppföljningsstudie i sjön Orlången visar att halter av kvicksilver och organiska miljögifter som PCB och polybromerade difenyletrar har ökat i abborre från sjön på senare tid. Denna haltökning kan bero på att sjöns produktivitet minskat efter genomförda åtgärder mot internbelastning av näringsämnet fosfor år 2019.



Vy över Albysjön i Tyresö (ovan) och insamlad abborre (tv) redo att skickas för analys. Foto: Jovana Jönsson



Figur 1. Karta över Tyresåns tekniska avrinningsområde. De sjöar som ingår i denna redovisning är markerade i mörkblått. Källa: Tyresåns Vattenvårdsförbund (www.tyresan.se).

Sammanfattning av resultat

Allmänt

Inom avrinningsområdet finns en stor haltvariation av i synnerhet PFAS-ämnena i fisk och som till stor del avspeglar påverkan från tidigare utpekade påverkanskällor. Det finns höga halter av PFAS-ämnena i abborre från flera av de tätortspåverkade sjöarna. De minst påverkade sjöarna visar på jämförelsevis låga halter av dessa ämnen.

Även andra ämnen och ämnesgrupper som kvicksilver, ftalater, PCB:er, dioxinlika PCB:er, dioxiner och bromerade difenyletrar visar på stora haltvariationer inom avrinningsområdet.

Resultaten från denna undersökning bekräftar i stort den påverkansanalys som tidigare utförts av länsstyrelserna och de fem vattenmyndigheterna avseende miljögifter i sjöar och vattendrag och som finns dokumenterad i [Vatteninformationssystem Sverige \(VISS\)](#).

Resultaten från sjöarna Drevviken, Flaten och Magelungen ligger även i linje med motsvarande undersökningar utförda av Stockholms miljöförvaltning och som redovisas på Stockholms Stads miljöbarometer.

Kvicksilver

Samtliga undersökta sjöar påvisar kvicksilverhalter i abborre över Vattendirektivets gränsvärde för god kemisk ytvattenstatus i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter ([HVMFS 2019:25](#)) på 20 mikrogram per kilogram våtvikt (20 µg/kg vv), vilket är i linje med den generella bedömningen att kvicksilver är ett överallt överskridande ämne. Kvicksilverhalterna i abborre varierar stort mellan sjöarna och tycks inte relatera till eventuella lokala punktutsläpp, utan avspeglar snarare variationer i ekosystemens känslighet med avseende på faktorer av betydelse för ackumulering av kvicksilver i fisk.

PFAS-ämnena

Halter av PFAS-ämnena och i synnerhet ämnet PFOS är höga i abborre från Tyresåns tätortspåverkade sjöar. Detta berör i synnerhet de större sjöarna i sjösystemets "huvudfåra" från Östergötland, relativt högt upp i systemet, till sjöarna närmast Tyresåns mynning i Östersjön. Utöver Östergötland finns även höga halter i abborre från Magelungen, Drevviken, Tyresö-Flaten och Albysjön. För dessa sjöar visade undersökningen att halter av PFOS i muskel från abborre överstiger Vattendirektivets gränsvärde för god kemisk ytvattenstatus som är 9,1 µg/kg vv.

De högsta halterna av PFOS fanns i fisk från Östergötland (25 µg/kg vv) och Magelungen (24 µg/kg vv) och låg i dessa fall således i storleksordningen 2,5 gånger högre än gränsvärdet för god kemisk ytvattenstatus. De absolut lägsta halterna av PFOS och andra PFAS-ämnena fanns i abborre från Kvarnsjön-Lissma, som för övrigt är den enda sjön utan utpekade lokala påverkanskällor. Halten av PFOS i samlingsprovet från Kvarnsjön låg på endast 0,24 µg/kg vv och summahalten av de 11 vanligaste PFAS-ämnena låg på 0,87 µg/kg vv, vilket indikerar att lokala källor till dessa ämnen troligen saknas i detta fall och att tillförseln i huvudsak skett via nederbörden.

För de tätortspåverkade sjöarna gäller att PFOS dominerade stort i halt över alla andra analyserade PFAS-ämnena med halter över rapporteringsgränsen. För de minst påverkade sjöarna Kvarnsjön-Lissma och Övre Rudan var andelen av

allmänt förekommande PFAS-ämnen som sannolikt inte härrör från lokala källor betydligt högre.

PCB:er, dioxinliknande PCB:er och dioxiner

Summahalter av dioxiner i abborre, uttryckta i toxicitetskvivalenter (TEQ), visar på liten variation mellan sjöarna och visar inte på något mönster som tyder på direktutsläpp till vatten. Dioxinerna förekommer överlag i jämförelsevis låga halter, i storleksordningen 1–2 µg TEQ/kg vv. För PCB:er (7 kongener) och dioxinliknande PCB:er (12 kongener) syns däremot ett tydligare mönster, med högre halter i abborre från tätortspåverkade sjöar och allra högsta halter fanns i fisk från sjöarna Drevviken och Trehörningen-Sjödalen. I abborre från Drevviken fanns de högsta halterna av dioxinlika PCB:er medan de de högsta halterna av icke-dioxinlika PCB:er fanns i abborre från Trehörningen-Sjödalen. Summahalterna (normerade till 5% fetthalt) av dioxiner och dioxinlika PCB:er i abborre överskrider Vattendirektivets gränsvärde för god kemisk ytvattenstatus i två av sjöarna – Drevviken och Trehörningen-Sjödalen. Ingen av sjöarna visade på överskridande av vattendirektivets gränsvärde avseende summahalter av 6 icke-dioxinlika PCB:er, men i abborre från Trehörningen-Sjödalen är halten så pass nära detta gränsvärde att statusbedömningen i detta fall blir mycket osäker.

Ftalater

Ftalater fanns i mycket höga halter i fisk från Ornlången och det gäller samtliga av dessa substanser som analyserades. Ämnena di-(2-etylhexyl)ftalat (DEHP), diisononylftalat (DINP) och diisodekylftalat (DIDP) hittades enbart i samlingsprovet från Ornlången i halter långt över rapporteringsgränsen. Ämnet di-n-butylftalat var den enda av undersökta ftalater som hittades över rapporteringsgränsen även i de andra sjöarna, men låg högst i provet från Ornlången. Sammantaget tyder analysresultaten på att det finns en lokal utsläppskälla av ftalater i närheten av Ornlången. Det till 5% fetthalt normerade och uppmätta värdet av DEHP för fisk från Ornlången (2021) låg på 5000 µg/kg vv. Detta ligger över Vattendirektivets gränsvärde för biota (HVMFS 2019:25) på 3000 µg DEHP/kg vv. Detta gränsvärde är dock inte tillämpligt på halter i fisk eftersom det avser kräftdjur och mollusker.

Polybromerade difenyletrar (PBDE)

Även polybromerade difenyletrar (PBDE) återfanns i högsta halter i fisk från Ornlången fångad åren 2020 och 2021.

I samtliga sjöar låg summahalterna av kongenerna (28, 47, 99, 100, 153 och 154) långt över gränsvärdet för god kemisk ytvattenstatus som är 0,0085 µg/kg vv. Detta gäller oberoende av om uppmätta halter är lipidnormerade (till 5% fetthalt) eller inte och överensstämmer med bilden av att denna ämnesgrupp i likhet med kvicksilver är överallt överskridande.

Möjlig haltökning av vissa ämnen i fisk till följd av minskad produktivitet efter åtgärder mot övergödning?

Resultaten från sjön Ornlången omfattar även en uppföljningsstudie avseende effekter av minskad produktivitet i sjön på halter av vissa av de mest bioackumulerbara miljögifterna i abborre. Sjön genomgick en aluminiumbehandling hösten 2019 i syfte att binda näringsämnet fosfor till sedimenten för att på så vis minska den interna belastningen av fosfor. Resultaten visar att halter av kvicksilver, polybromerade difenyletrar, vissa

PCB:er (inklusive dioxinliknande PCB:er) och vissa dioxiner är betydligt högre i samlingsproven från åren 2020 och 2021 jämfört med fisk fångad år 2019 innan genomförd fosforfällning. Detta kan således vara belägg för en effekt av minskad produktivitet i sjön efter genomförd fosforfällning. Denna effekt kan något förenklat i huvudsak beskrivas som en minskad biologisk utspädning ("biodilution") av dessa ämnen i takt med att den totala biovolymen i sjön minskar.

Det är även värt att notera i sammanhanget att storleks- och åldersfördelningen hos fisk från Ormlången fångad 2019 är mycket lik storleks- och åldersfördelningen hos fisk från Ormlången fångad år 2021. Samlingsprovet från Ormlången år 2020 innehöll däremot i medeltal större och äldre fiskar än samlingsproven från åren 2019 och 2021. Det är sannolikt av denna anledning halter i fisk fångad år 2020 är högre än i fisk fångad år 2021.

Genomförande

Omfattning, urval och beräkningar

Från Tyresåns avrinningsområde har abborre i längdintervallet 15–20 cm insamlats från nio sjöar under åren 2019–2022 för miljögiftsanalyser. Syftet har främst varit att verifiera kemisk ytvattenstatus enligt Vattenförvaltningsförordningen, men i ett fall även att följa upp effekter av minskad eutrofiering. Från alla sjöar utom Ormlången har fisk insamlats i augusti 2022. Från var och en av dessa sjöar har muskelvävnad från 10–12 individer utgjort ett samlingsprov för miljögiftsanalyser och fetthaltsbestämning. Från Ormlången har fisk insamlats varje höst under åren 2019–2021. Varje år har ett samlingsprov om muskelvävnad från 10–12 individer tagits. Från Ormlången har således totalt tre samlingsprover analyserats. För Ormlången har syftet utöver verifiering av kemisk ytvattenstatus även varit att följa upp eventuell haltökning av de mest bioackumulerbara substanserna som kvicksilver, polybromerade difenyletrar, polyklorerade bifenylor och dioxiner i fisk till följd av minskad produktivitet efter åtgärder mot intern gödning. De sjöar som undersökts listas i Tabell 1.

Uppmätta halter av de fettlösliga organiska miljögifter som omfattas av gränsvärdena i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) kräver en särskild räkneoperation innan jämförelse med dessa gränsvärden. Uppmätta halter ska "normeras" till att motsvara ett prov med 5 % fetthalt. Av denna anledning krävs även en fetthaltsbestämning i samband med analyser av miljögifter. Denna räkneoperation benämns fortsättningsvis som lipidnormering till 5% fetthalt och då beräknas halten av det fettlösliga ämnet X på följande vis: $\text{Lipidnormerad halt av X} = \text{Uppmätt halt av X} \times \text{multipliserat med 5 och delat med uppmätt fetthalt i provet (vikt-\%)}$. Observera att kvicksilver och PFAS-ämnen utgör ett undantag från ovanstående förfarande, dvs uppmätta halter av kvicksilver och PFOS jämförs direkt med gränsvärdet utan föregående lipidnormering.

Miljögiftsanalyserna i denna undersökning är finansierade av EU-projektet LIFE Rich Waters.

Tabell 1. Sjöar i Tyresåns avrinningsområde där samlingsprover av fisk har analyserats med avseende på miljögiftsinnehåll.

Sjönamn	ID i VISS	Insamlad år	Antal samlingsprov	Syfte utöver verifiering av status
Magelungen	WA36084210	2022	1	Labbjämförelse Sthlm
Drevviken	WA27714985	2022	1	Labbjämförelse Sthlm
Tyresö-Flaten (Tyresån)	WA28494660, ingår i Tyresån WA34553904	2022	1	
Albysjön (Tyresån)	WA92407934, ingår i Tyresån WA34553904	2022	1	
Flaten	WA64410428	2022	1	Labbjämförelse Sthlm
Trehörningen-Sjödalen	WA76440182, ingår i Tyresån Balingsholmsån WA43714779	2022	1	
Övre Rudan	WA29764130	2022	1	
Kvarnsjön-Lissma	WA99480348	2022	1	Jämförelse som opåverkad referens
Orlången	WA27186406	2019–2021	3 (ett per år)	Effektuppföljning (minskad eutrofiering pga fosforfällning)

De ämnesgrupper som analyserats i fisk från sjöarna i Tyresåns avrinningsområde framgår av Tabell 2. För Orlången har enbart samlingsprovet från år 2021 analyserats med avseende på *samtliga* ämnesgrupper. Analyserna avseende samlingsprover från Orlången åren 2019 och 2020 begränsas till kvicksilver, PCB:er och dioxiner för effektuppföljning av ämnen med höga bioackumulationsfaktorer.

Tabell 2. Analyspaket avseende ämnesgrupper som analyseras i fisk från Tyresåns sjöar. Tre analyslaboratorier har anlitats.

Ämne/ämnesgrupp	Analyslab
PFAS (26 stycken)	Eurofins
Kvicksilver	SGS Analytics AB
PCB:er, ej dioxinlika	SGS Analytics AB
Polybromerade difenyletrar (PBDE)	SGS Analytics AB
Ftalater	SGS Analytics AB
Dioxiner	SGS Analytics AB
PCB, dioxinlika	SGS Analytics AB
Hexabromocyklododekan (HBCDD)	SGS Analytics AB
Fenolära substanser	ALS
Klorerade pesticider	ALS

Resultat

Biometriska data

Resultaten av åldersanalyser (otolit), längdmätningar, vägningar, samt beräkningar av konditionsfaktor enligt Fulton framgår av Tabell 3.

Tabell 3. Antal individer per samlingsprov, medelvärden av ålder (otolit), totallängd, kroppsvikt, samt konditionsfaktor enligt Fulton. Siffra inom parentes efter medelvärde anger medelfelet.

Samlingsprov	Antal	Ålder (år)	Totallängd (cm)	Kroppsvikt (gram)	Konditionsfaktor (Fulton)
Magelungen	10	4,4 (0,3)	19,0 (0,2)	73 (3)	1,05 (0,03)
Drevviken	10	4,0 (0,2)	18,8 (0,3)	69 (4)	1,03 (0,02)
Tyresö-Flaten	10	3,4 (0,2)	18,9 (0,2)	74 (3)	1,09 (0,02)
Albysjön	11	3,5 (0,2)	18,4 (0,2)	70 (2)	1,12 (0,02)
Flaten	10	4,1 (0,2)	19,2 (0,2)	79 (3)	1,11 (0,03)
Trehörningen-Sjödalen	11	3,2 (0,1)	19,0 (0,1)	76 (3)	1,10 (0,04)
Övre Rudan	10	5,6 (0,6)	19,3 (0,2)	80 (3)	1,11 (0,03)
Kvarnsjön-Lissma	11	6,9 (0,5)	18,5 (0,2)	73 (3)	1,14 (0,02)
Orlången 2019	10	4,0 (0,3)	16,1 (0,4)	45 (5)	1,05 (0,03)
Orlången 2020	10	4,9 (0,3)	17,8 (0,5)	61 (8)	1,03 (0,04)
Orlången 2021	12	4,3 (0,2)	16,1 (0,3)	42 (2)	0,99 (0,02)

Av Tabell 3 framgår att det finns påtagliga skillnader i storlek och ålder mellan de olika samlingsproven. Lägst medelålder har individerna från Trehörningen-Sjödalen och högst medelålder har individerna från Kvarnsjön-Lissma. Samlingsproven från Orlången åren 2019 och 2021 är sinsemellan mycket lika i storleks- och åldersspann och uppvisar inga statistiskt signifikanta skillnader i dessa avseenden¹. Detta underlättar jämförbarheten mellan samlingsproverna ifråga om halter av miljögifter. Däremot är individerna från Orlången år 2020 i medeltal påtagligt större och äldre jämfört med samlingsproven från 2019 och 2021. Skillnaderna i dessa avseenden är statistiskt säkerställda mellan samlingsproven från Orlången 2019 och 2020². Fiskarna från Orlången åren 2019 och 2021 är påtagligt mindre i storlek än från samtliga övriga samlingsprover fastän medelåldern är i nivå med flertalet övriga samlingsprover.

¹ Tvåsidigt t-test för stickprov med olika varianser ger följande utfall:

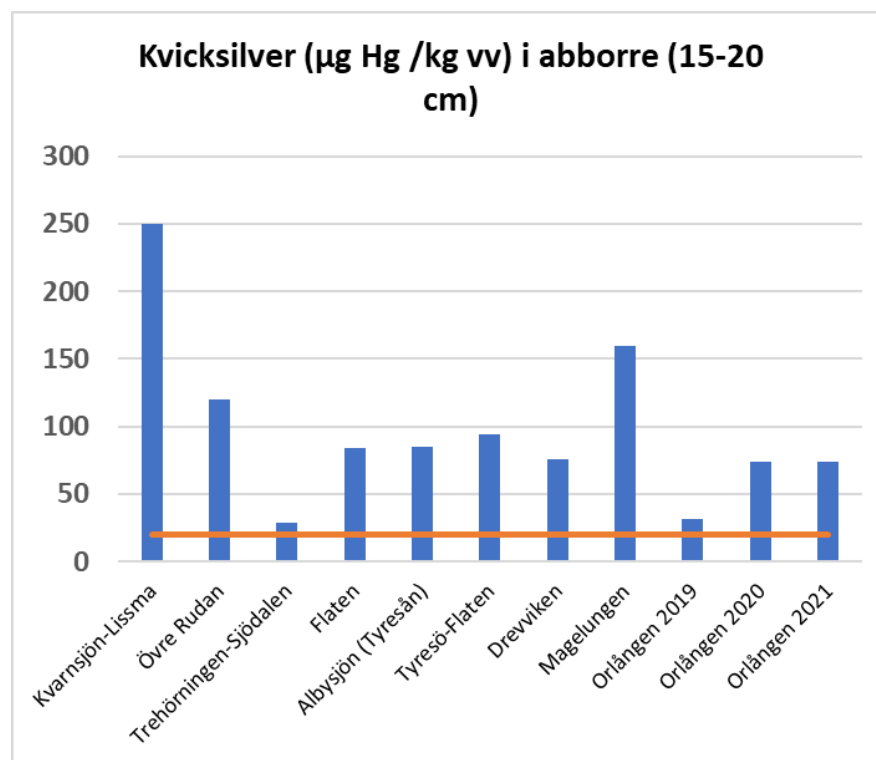
- Medellängd 2019 vs medellängd 2021: $p = 1,0$
- Medelvikt 2019 vs medelvikt 2021: $p = 0,57$
- Medelålder 2019 vs medelålder 2021: $p = 0,43$

² Tvåsidigt t-test för stickprov med olika varianser ger följande utfall:

- Medellängd 2019 vs medellängd 2020: $p = 0,02$ (signifikant skillnad på 5% konfidensnivå)
- Medelvikt 2019 vs medelvikt 2020: $p = 0,10$
- Medelålder 2019 vs medelålder 2020: $p = 0,04$ (signifikant skillnad på 5% konfidensnivå)

Kvicksilver i abborre

Alla samlingsprover visar på halter över Vattendirektivets gränsvärde för god kemisk ytvattenstatus på 20 µg/kg vv, vilket är i linje med att kvicksilver är ett överallt överskridande ämne. Inget av proven visade på halter över Livsmedelsverkets gränsvärde för saluföring på 0,5 mg/kg vv (500 µg/kg vv). Eftersom konsumtionsfisk i regel är betydligt större och äldre än den för ändamålet insamlade fisken kan kvicksilverhalterna i abborre av konsumtionsstorlek förväntas vara väsentligt högre än de i Figur 2 redovisade värdena.



Figur 2. Kvicksilverhalter i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Orangeröd linje anger gränsvärdet för god kemisk ytvattenstatus (20 µg Hg/kg vv). I samtliga fall ligger halterna under Livsmedelsverkets gränsvärde för saluföring på 500 µg/kg vv. Detta senare gränsvärde är dock inte relevant för jämförelse eftersom konsumtionsfisk generellt är äldre och större än de fiskar som ingår i samlingsproven.

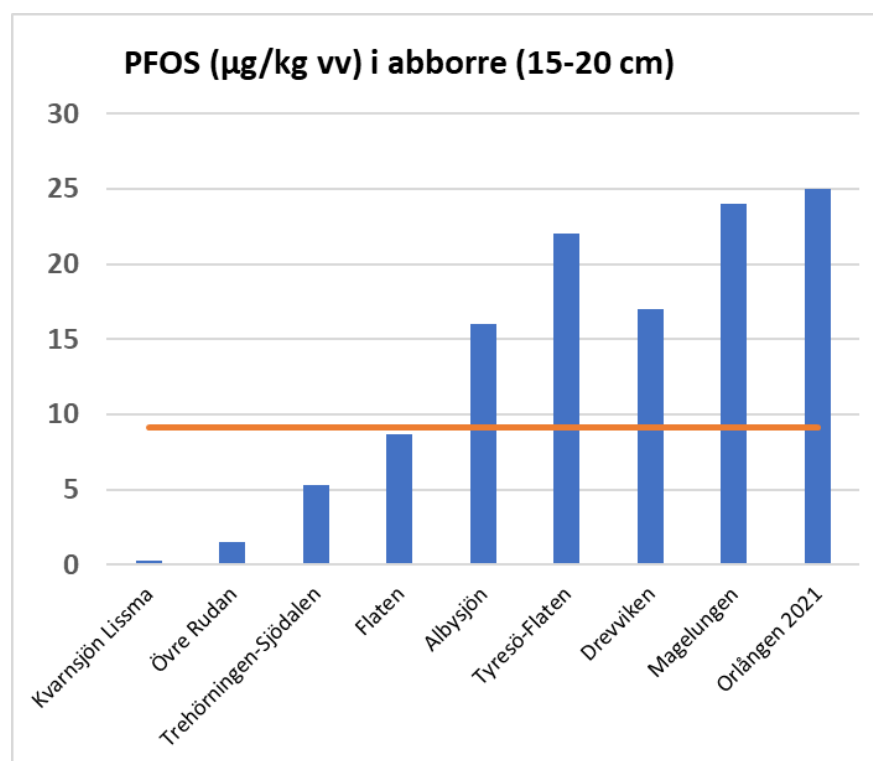
Det är svårt att göra någon direkt koppling till eventuella lokala punktkällor sett till variationen i uppmätta halter. I flertalet fall handlar det till största delen om långväga transport via nederbörd och diffusa källor. Kvarnsjön-Lissma har inga utpekade punktkällor till kvicksilver, men uppvisar ändå den högsta halten i abborre av de undersökta sjöarna. Samlingsprovet från denna sjö hade de i medeltal äldsta individerna, vilket i sig kan utgöra en av flera delförklaringar till resultatet. Markanvändningen, till exempel andelen skogsmark med avverkningar har betydelse för mängden kvicksilver som läcker ut från skogsmarken. Även sjöspecifika abiotiska faktorer som till exempel näringsrikedom, vattenfärg (humushalt), alkalinitet (motståndskraft mot försurning), jonstyrka och vattnets omsättningstid slår igenom på halter av kvicksilver i fisken ^(1, 2, 3). Dessa komplexa faktorer påverkar systemets känslighet med avseende på upptag i fisk och andra organismer.

Det finns inte utrymme i nuläget för någon utvärdering av dessa faktorer potentiella betydelse eller att i nuläget påvisa ifall det finns betydande lokala åtgärdbara punktutsläpp av kvicksilver.

För Ornlången har kvicksilverhalten mer än fördubblats efter år 2019, vilket kan vara en effekt av minskad produktivitet i sjön efter genomförd aluminiumbehandling av sedimenten i syfte att minska internbelastning av fosfor. Samlingsproven från år 2019 och 2021 är mycket lika i storleks- och åldersfördelning, vilket underlättar jämförbarheten mellan dessa.

PFAS-ämnen i abborre

Från Ornlången och nedströms längs Tyresåns huvudgren visar samlingsproven på halter av PFOS över Vattendirektivets gränsvärde för god kemisk ytvattenstatus på 9,1 µg/kg vv (Figur 3).

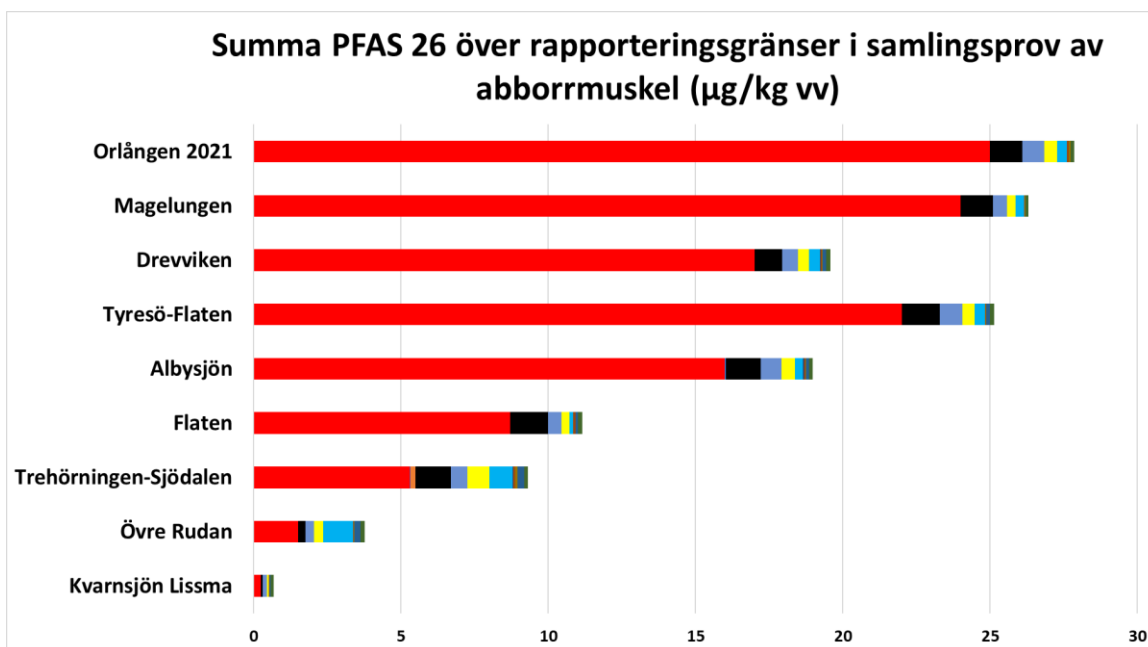


Figur 3. Halter av PFOS i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Orangeröd linje anger gränsvärdet för god kemisk ytvattenstatus (9,1 µg PFOS/kg vv). Resultaten är i god överensstämmelse med tidigare genomförd påverkansanalys och tidigare haltmätningar i fisk och recipientvatten.

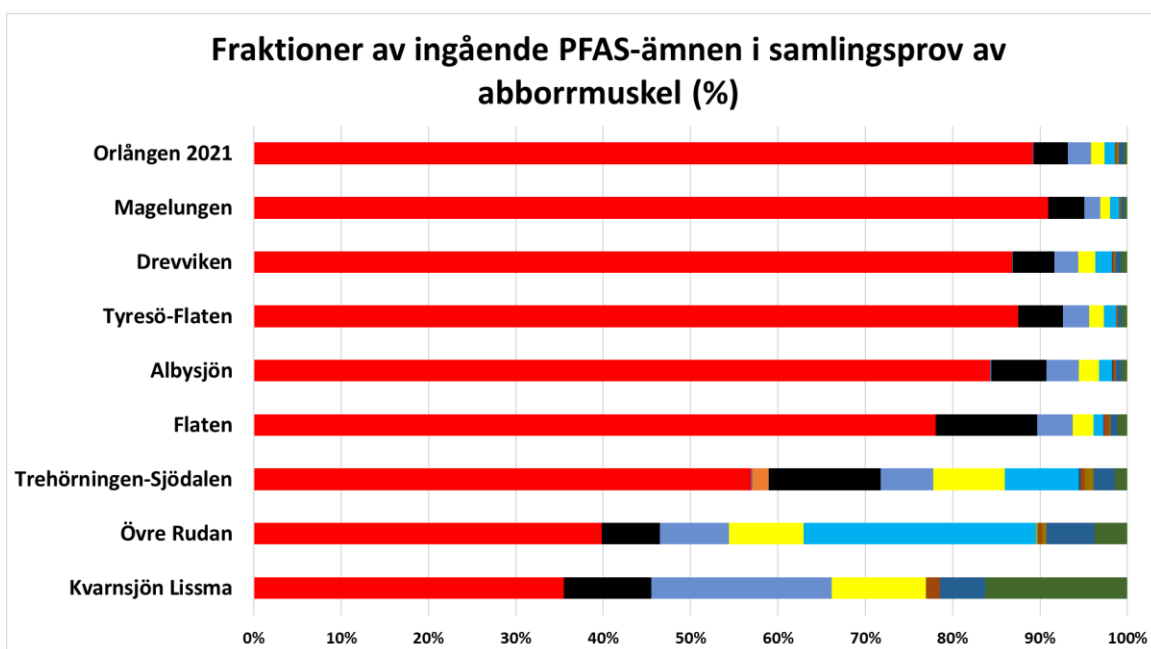
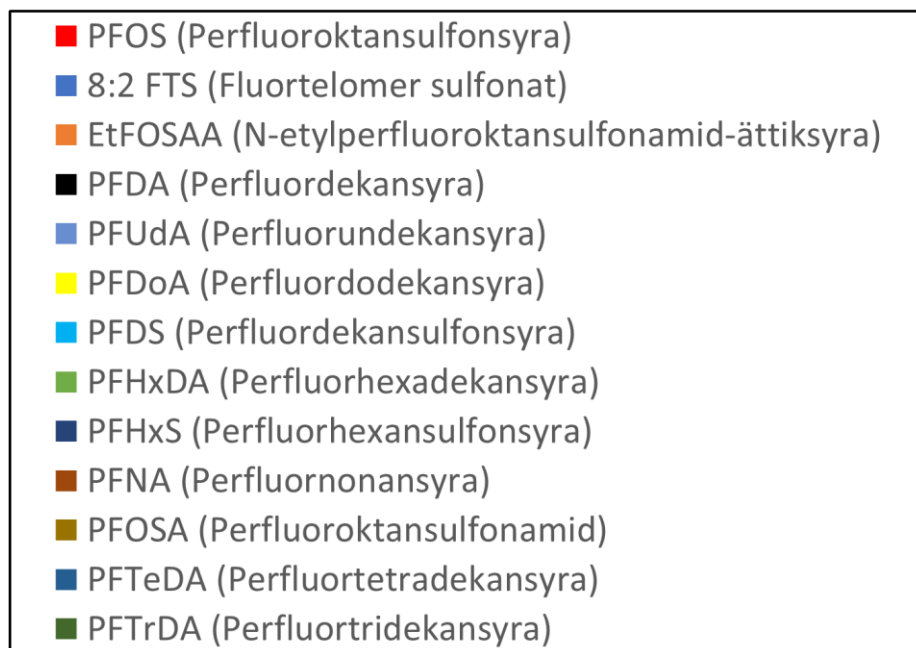
Resultaten visar även att PFOS är det i särklass dominerande PFAS-ämnet (Figur 4) och det gäller i synnerhet de sjöar som utpekats i tidigare påverkansanalyser med avseende på brandövningsplatser och andra potentiella punktkällor som deponier och avfallsanläggningar. Både Flaten och Trehörningen-Sjödalen är belägna uppströms den huvudsakliga utpekade källan till PFOS, en brandövningsplats belägen i närheten av Ornlångens östra del vid sjöns utlopp. Sett till totalhalter av de ämnen som ingår i summa

PFAS 26 är det samma sjöar som dominerar (Figur 4 och Figur 5), dvs. de högsta halterna finns i fisk från Ortlången och de lägsta halterna i fisk från Kvarnsjön-Lissma. Det är möjligt att det finns ytterligare källor till PFAS-ämnerna utöver den stora punktkällan för PFOS vid Ortlångens utlopp och som även belastar de tätortsnära sjöarna Flaten och Trehörningen-Sjödalen. Det är även möjligt att fisken vandrar mellan sjöarna högre upp i systemet och att fisk fångad uppströms större punktkällor i alla fall vid tidigare tillfällen i någon mån exponerats för PFAS-ämnerna med utsläpp längre nedströms.

Dock är det tydligt att Kvarnsjön-Lissma som valts ut som referens och som inte utpekats i påverkansanalysen med avseende på lokala punktkällor är den sjö där abborre uppvisar lägsta halterna av PFAS-ämnerna. Även sjön Övre Rudan som ligger högt upp i avrinningsområdet visar på relativt låga halter av PFAS-ämnerna i abborre. Överlag kan konstateras att resultaten gällande halter av PFAS och PFOS i synnerhet är i god överensstämmelse med tidigare genomförd påverkansanalys och även tidigare haltmätningar i fisk och recipientvatten.



Figur 4. Summahalter av detekterade PFAS-ämnerna i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från sjöar i Tyresåns avrinningsområde. I figuren redovisas enbart summan av de PFAS-ämnerna som redovisats i halter över rapporteringsgränsen. Totalt har 13 PFAS-ämnerna detekterats i halter över rapporteringsgränsen. Resultaten är i god överensstämmelse med tidigare genomförd påverkansanalys och tidigare haltmätningar i fisk och recipientvatten.



Figur 5. Den procentuella andelen av detekterade PFAS-ämnen i samlingsprover (N = 10–12) av abbormuskel från sjöar i Tyresåns avrinningsområde. I figuren redovisas enbart summan av de PFAS-ämnen som redovisats i halter över rapporteringsgränsen. Totalt har 13 PFAS-ämnen detekterats i halter över rapporteringsgränsen. Notera att mönstret avviker markant för tre av sjöarna högre upp i avrinningsområdet där i synnerhet andelen PFOS är lägre (de tre nedersta staplarna).

PCB:er, dioxinliknande PCB:er och dioxiner i abborre

Lipidnormerade (till 5% fetthalt) summahalter av sex icke-dioxinlika PCB:er (PCB 6) ligger relativt högt i flertalet tätortsnära sjöar (Figur 6) och allra högst i

Trehörningen-Sjödalen, där halten i samlingsprovet ligger något under gällande gränsvärde (125 µg PCB 6/kg vv) för god ekologisk status.

I princip samma mönster syns för lipidnormerade summahalter av PCB 7, dock med ett mindre tillskott av PCB-kongen (ämne) nr 118 i Trehörningen-Sjödalen och Tyresö-Flaten (Figur 7).

Eftersom lipidnormering innebär ökad osäkerhet i haltbestämningen är det intressant att även jämföra med icke-lipidnormerade halter (Figur 8) för att få en troligen säkrare uppfattning om haltvariationen mellan sjöar och år.

Sannolikt finns lokala punktkällor till dessa ämnen, i synnerhet i Trehörningen-Sjödalen som trots att den är den mest näringsrika sjön av de undersökta visar på de högsta uppmätta PCB-halterna.

I likhet med kvicksilver har samlingsproven från Orlången år 2020 och 2021 högre halter av PCB 7 än samlingsprovet från år 2019, vilket stärker misstanken att en generell haltökning av de mest bioackumulerbara ämnena har skett efter att sjöns näringsrikedom minskat.

Mot bakgrund av detta är det rimligt att försöka källspåra och åtgärda punktkällor till PCB i Trehörningen, eftersom halter av PCB i fisk riskerar att öka i takt med att sjön blir mindre näringsrik efter genomförda och kommande åtgärder mot övergödningsproblematiken i sjön.

För summan av 17 dioxiner och furaner, uttryckta i toxicitetskvivalenter (WHO-PCDD/F-TEQ, lower boundary³), syns relativt liten haltvariation mellan sjöarna (Figur 9). För bästa jämförbarhet redovisas icke-lipidnormerade halter i Figur 9. Samlingsprovet från Drevviken uppvisade högsta summahalter av dessa ämnen. Även i detta fall ser halterna ut att öka i Orlången år 2020 och 2021 jämfört med 2019.

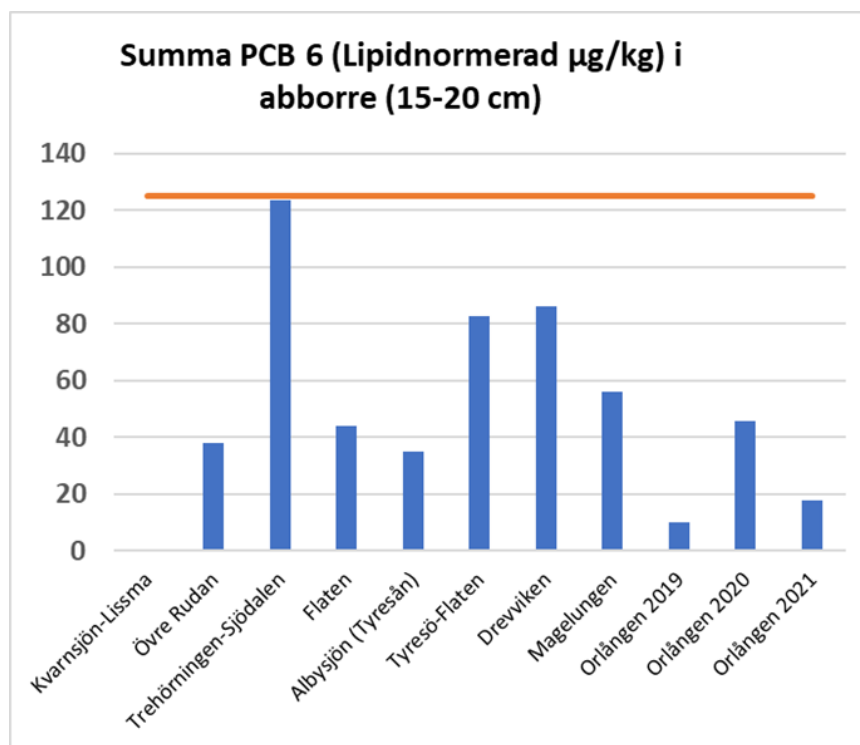
För summan av 12 dioxinlika PCB:er, uttryckta i toxicitetskvivalenter (WHO-PCB-TEQ⁴, lower boundary), men ej lipidnormerade, syns ett liknande mönster som för PCB7 (Figur 10), med högsta halter i Trehörningen-Sjödalen. Även i detta fall är halterna högre i Orlången år 2020 och 2021 jämfört med 2019.

För den totala summan av dioxiner och dioxinlika PCB:er (WHO-PCDD/F-PCB-TEQ⁵: ng/kg lipidnormerad) som ska jämföras med gränsvärdet för god kemisk ytvattenstatus syns ett liknande mönster avseende haltvariationen mellan sjöarna (Figur 11). I detta fall har dock samlingsprovet från Drevviken den högsta summahalten. För både Drevviken och Trehörningen-Sjödalen ligger de lipidnormerade halterna något över gränsvärdet 6,5 ng TEQ/kg vv. Resultaten visar tydligt på betydelsen av lokala punktkällor och lokala diffusa källor till dessa ämnesgrupper och att Trehörningen-Sjödalen, Drevviken samt Tyresö-Flaten verkar vara de mest påverkade sjöarna. Även i detta avseende utmärker sig samlingsprovet från Kvarnsjön-Lissma med de lägsta halterna.

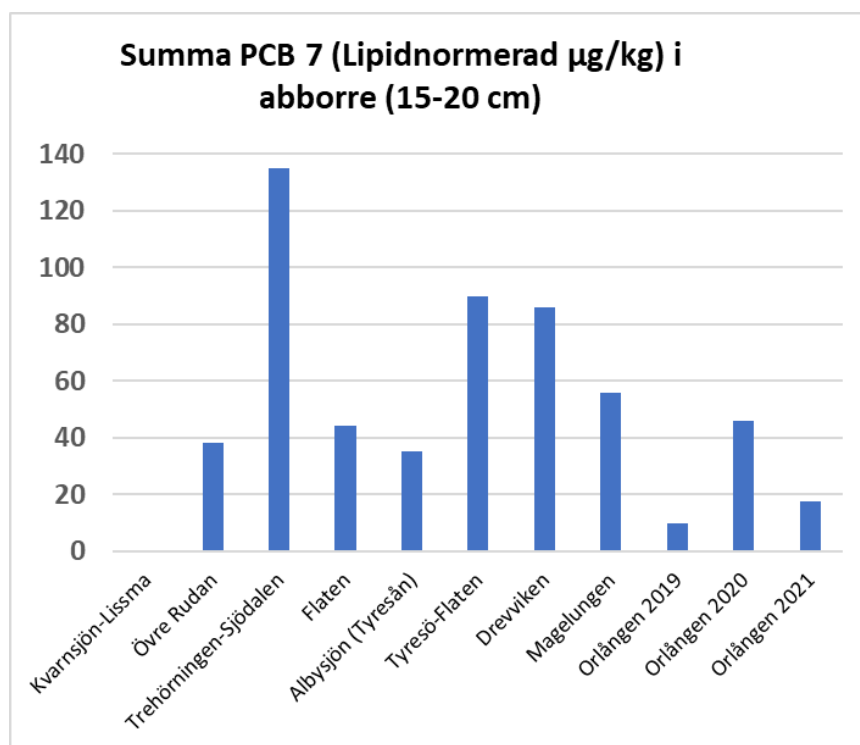
³ WHO-PCDD/F-TEQ utgör summan av de toxiska ekvivalenterna hos de 17 viktigaste dioxinerna och furanerna. TEQ beräknas genom att multiplicera mängden av varje kongen med en faktor (toxicitetskvivalensfaktor, TEF) som återspeglar dess relativa toxicitet jämfört med den mest toxiska dioxinen, 2,3,7,8-TCDD. "Lower boundary" anger summan av enbart detekterade värden, medan "upper boundary" (ej redovisade i resultaten) anger summan av detekterade värden och mindre-än-värdena (detektionsgränsen. "Upper boundary" utgör ett "worst case"-scenario där halterna har antagits ligga strax under detektionsgränsen på samtliga kongener.

⁴ WHO-PCB-TEQ är summan av de toxiska ekvivalenterna för de 12 dioxinlika PCB:erna. Liksom dioxiner har dessa tilldelats TEF-värden som klassificerar dessa PCB-kongener efter deras toxicitet jämfört med 2,3,7,8-TCDD.

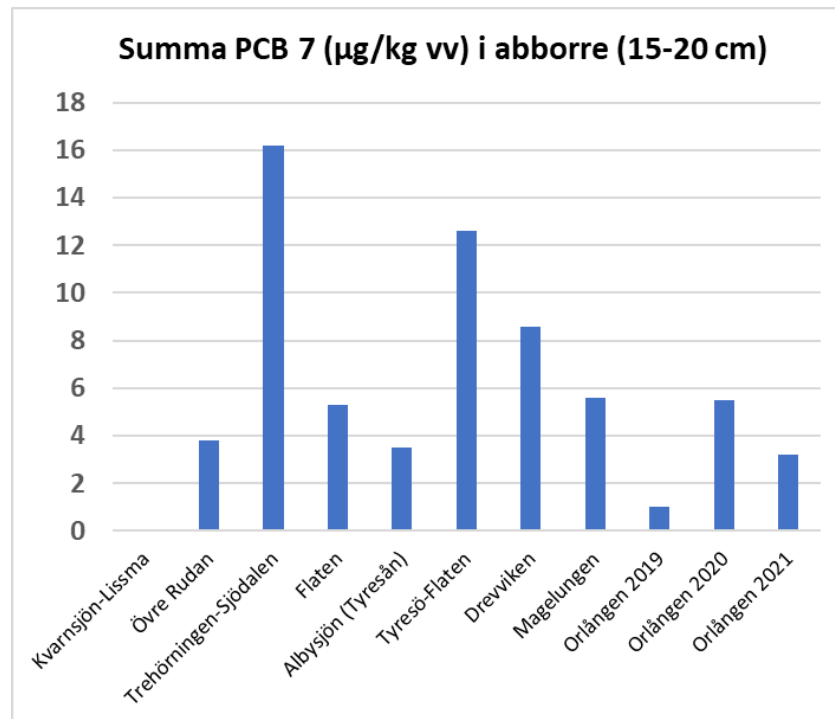
⁵ Summan av WHO-PCDD/F-TEQ och WHO-PCB-TEQ kallas den totala dioxinekvivalensen (WHO-PCDD/F-PCB-TEQ).



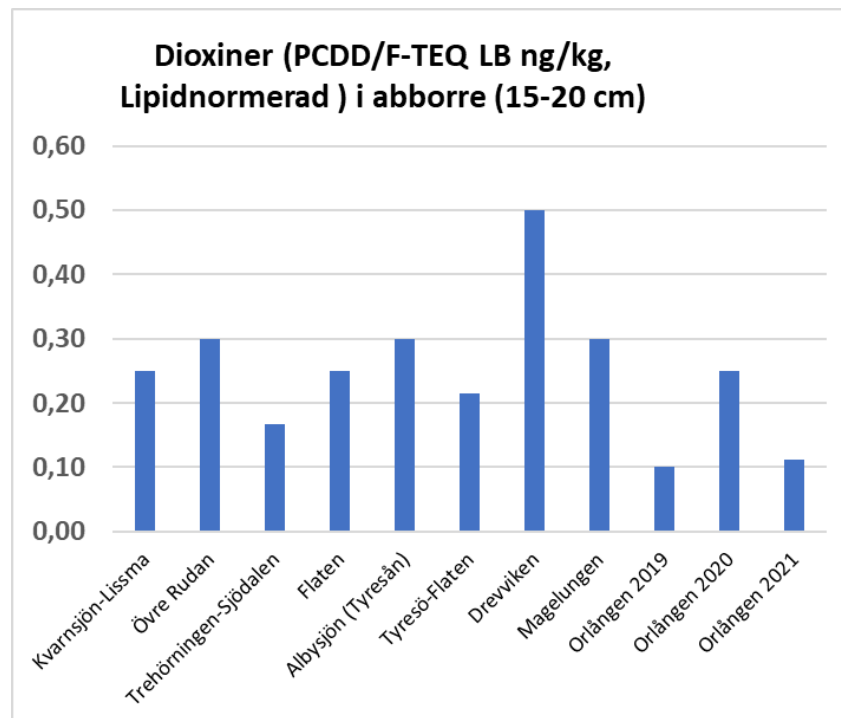
Figur 6. Lipidnormerade (till 5% fetthalt) summahalter av PCB 6ⁱ i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från åtta sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Orangeröd linje anger gränsvärdet för god ekologisk status (125 $\mu\text{g PCB/kg vv}$).



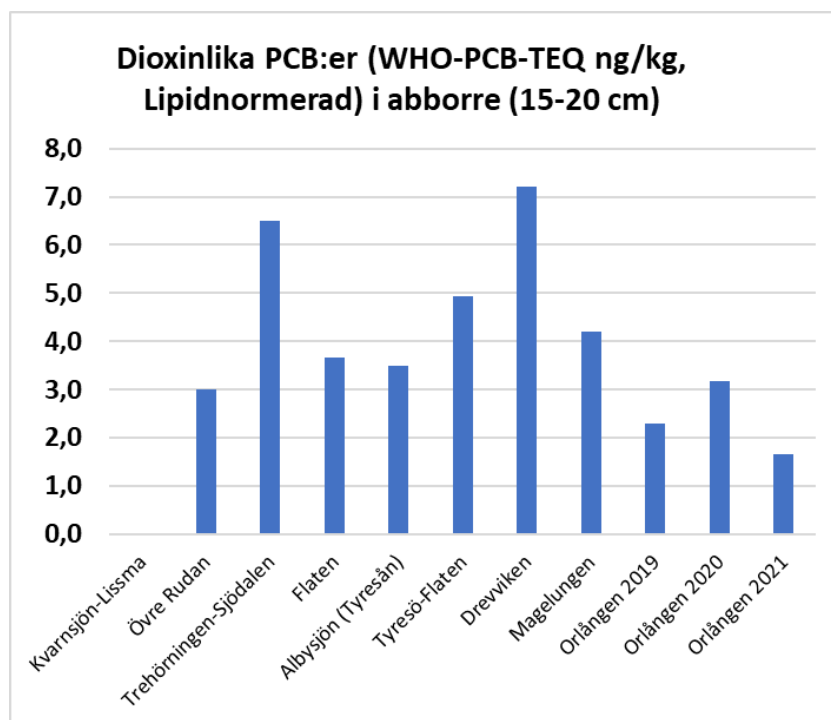
Figur 7. Lipidnormerade (till 5% fetthalt) summahalter av PCB 7ⁱⁱ i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från åtta sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Jämfört med summa PCB 6 syns ett mindre tillskott av PCB-kongen nr 118 i Trehörningen-Sjödalen och Tyresö-Flaten.



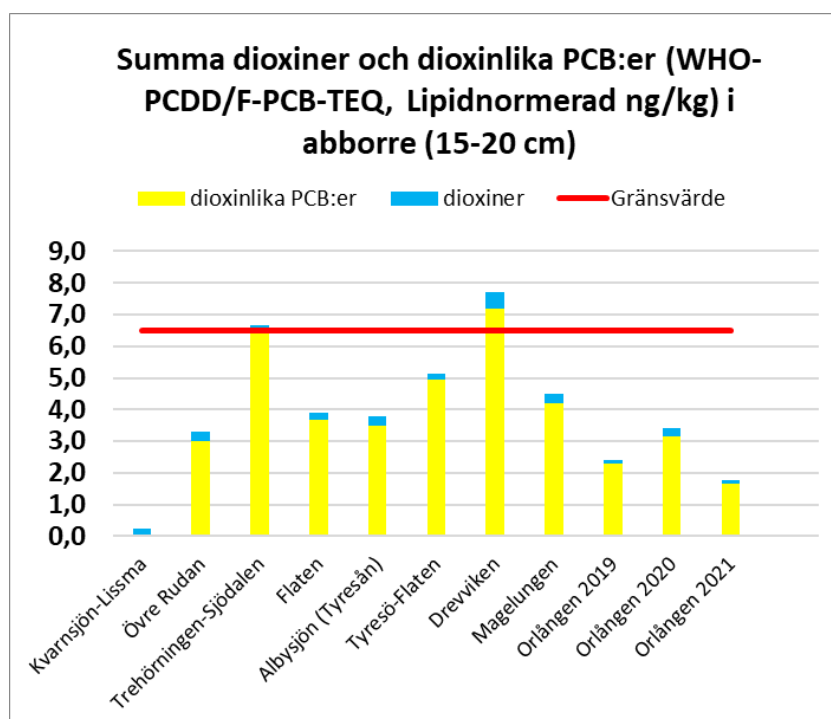
Figur 8. Summahalter (ej lipidnormerade) av PCB 7 i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från nio sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Notera skillnaderna åren 2019–2021 ifråga om Orlången.



Figur 9. Summahalter (ej lipidnormerade) av 17 dioxiner och furaner (WHO-PCDD/F-toxicitetsekvivalenter (TEQ), lower boundary) i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från nio sjöar i Tyresåns avrinningsområde.



Figur 10. Summahalter (ej lipidnormerade) av 12 dioxinlika PCB:erⁱⁱⁱ (WHO-TEQ, lower boundary) i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från nio sjöar i Tyresåns avrinningsområde.



Figur 11. Lipidnormerade (till 5% fetthalt) summahalter (WHO-TEQ) av dioxiner och dioxinlika PCB:er i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från nio sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Orangeröd linje anger gränsvärdet för god kemisk ytvattenstatus (6,5 ng TEQ/kg vv). De högsta halterna finns i abborre från Drevviken och Trehörningen-Sjödalen och ligger där något över gränsvärdet.

Hexabromocyklododekan (HBCDD) i abborre

För hexabromocyklododekan (HBCDD) låg samtliga analysresultat under rapporteringsgränsen ($<2 \mu\text{g/kg vv}$), vilket kan jämföras med gränsvärdet på $167 \mu\text{g/kg vv}$. Med inrapporterade fetthalter (ca 0,5 %) ligger rapporteringsgränsen ändå långt under gränsvärdet trots att den i detta fall skalas upp med ungefär en faktor 10 med hänsyn till att uppmätta värden ska normeras till 5% fetthalt.

Ftalater i abborre

Ftalater fanns i mycket höga halter i fisk från Ornlången och det gäller samtliga av dessa substanser som analyserades. Ämnena di-(2-etylhexyl)-ftalat (DEHP), di-isononylftalat (DINP) och di-isodekylftalat (DIDP) hittades enbart i samlingsprovet från Ornlången i halter långt över rapporteringsgränsen.

För DEHP låg de flesta analysresultat under rapporteringsgränsen ($<10 \mu\text{g/kg}$), med undantag för samlingsproven från Ornlången 2021 ($900 \mu\text{g/kg}$) och Övre Rudan ($11 \mu\text{g/kg}$).

Det lipidnormerade (till 5% fetthalt) värdet av DEHP i fisk från Ornlången (2021) låg på $5000 \mu\text{g/kg vv}$. Detta ligger över Vattendirektivets gränsvärde för biota (HVMFS 2019:25) på $3000 \mu\text{g DEHP/kg vv}$. För Övre Rudan innebär motsvarande lipidnormering en halt på omkring $110 \mu\text{g/kg}$, dvs. långt under gränsvärdet för DEHP.

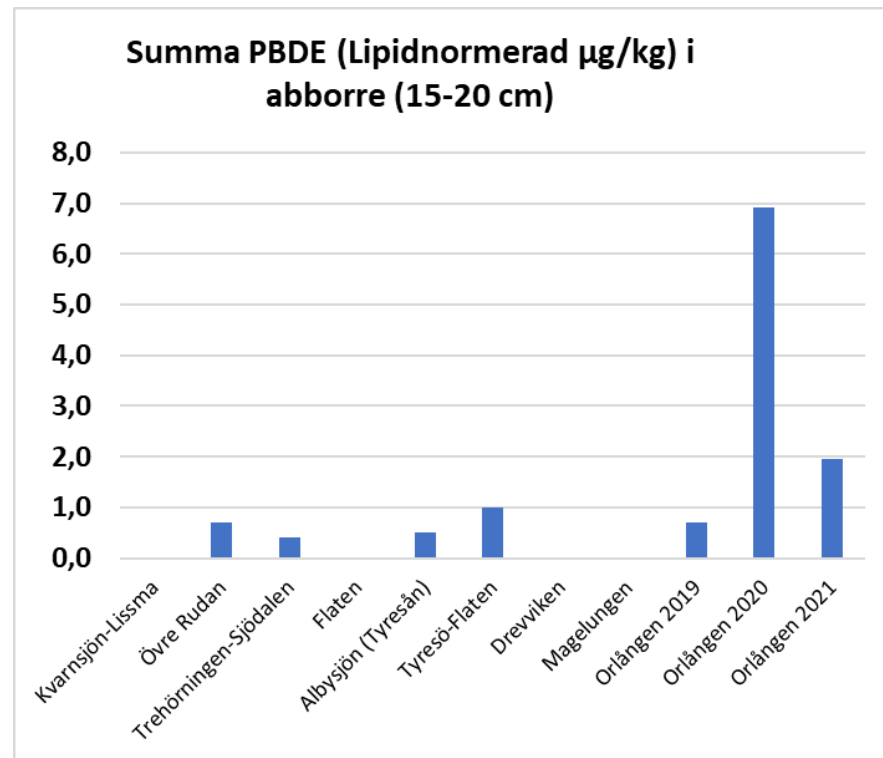
Gränsvärdet för DEHP är dock inte tillämpligt på halter i fisk eftersom det avser kräftdjur och mollusker. De höga halterna i fisk från Ornlången motiverar dock en särskild undersökning av halter av DEHP i mollusker för fastställande av den kemiska ytvattenstatusen med avseende på detta ämne.

Ämnet di-n-butylftalat var den enda av undersökta ftalater som hittades över rapporteringsgränsen även i de andra sjöarna, men låg högst i provet från Ornlången. De mest tätortspåverkade sjöarna visar på högsta halter av detta ämne som i likhet med övriga detekterade ftalater används som mjukgörare i plaster. Sammantaget tyder analysresultaten på att det finns en eller flera lokala utsläppskällor av ftalater i närheten av Ornlången.

Polybromerade difenyletrar (PBDE) i abborre

För polybromerade difenyletrar (PBDE), som i likhet med kvicksilver klassas som ett allmänt överskridande ämne med dålig status överallt, kan vi dessvärre konstatera att rapporteringsgränsen på $0,05 \mu\text{g/kg vv}$ inte håller måttet eftersom gränsvärdet för biota är $0,0085 \mu\text{g/kg vv}$. Merparten av kongenerna i flertalet samlingsprov uppvisar halter under $0,05 \mu\text{g/kg}$. Till detta kommer att gränsvärdet ska jämföras med lipidnormerade halter. En lipidnormering av denna rapporteringsgräns till 5% fetthalt ger ungefär en faktor tio att multiplicera med, så att rapporteringsgränsen hamnar på omkring $0,5 \mu\text{g/kg}$ (5% fv). Rapporteringsgränsen blir i praktiken mer än 50 gånger högre än biotagränsvärdet, vilket inte kan anses godtagbart på sikt. För de fall halter av kongener funnits över rapporteringsgränsen varierar summahalterna av PBDE6 mellan $0,05$ och $0,83 \mu\text{g/kg vv}$, vilket översatt till 5 % fetthalt blir mellan $0,4$ och $6,9 \mu\text{g/kg}$ (5% fv). Detta lipidnormerade haltintervall ligger 50–800 gånger högre än biotagränsvärdet $0,0085 \mu\text{g/kg vv}$. Högsta summahalter uppmättes i

samlingsprovet från Tyresö-Flaten. I proverna från Kvarnsjön-Lissma, Flaten, Drevviken och Magelungen uppmättes inga halter över rapporteringsgränsen (Figur 12). Liksom ifråga om kvicksilver, PCB:er och dioxiner har fisken från Ortlängen åren 2020 och 2021 högre halter av PBDE:er jämfört med fisken från Ortlängen år 2019, vilket återigen sannolikt är kopplat till minskningen i sjöns produktivitet efter 2019.



Figur 12. Lipidnormerade summahalter av polybromerade difenyletrar (kongenerna med nummer 28, 47, 99, 100, 153 och 154) i samlingsprover (N = 10–12) av abborrmuskel från nio sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Endast resultat med halter över rapporteringsgränsen redovisas. Den vanligast förekommande kongenen med halter över rapporteringsgränsen var nr 47 (2,2',4,4'-TeBDE). Övriga förekommande kongener med halter över rapporteringsgränsen var nr 99, 100, 153 och 154.

Klorerade pesticider och fenolära substanser i abborre

De prover som skickades till ALS laboratorium för analyser av klorerade pesticider och fenolära substanser gav för samtliga ämnen analysresultat med värden under rapporteringsgränserna (Bilaga 3).

De flesta av de analyserade ämnena har gränsvärden i HVMFS 2019:25 för vatten, men endast en handfull av dessa ämnen har motsvarande gränsvärden för biota. De analyserade ämnen som har biotagränsvärden är hexaklorbutadien, dikofol, pentaklorbensen, hexaklorbensen, heptaklor och dess epoxider. Bland analyserade ämnen utan biotagränsvärden kan nämnas nonylfenoler, bisfenol A, pentaklorfenol och klororganiska bekämpningsmedel som DDT och DDE.

Det finns en dold problematik gällande rapporteringsgränserna givet att lipidnormering av data annars bör genomföras innan jämförelse med biotagränsvärdet i HVMFS 2019:25. Eftersom fetthalten i regel ligger på

omkring 0,5% innebär en lipidnormering till 5% fetthalt att analysresultaten ska multipliceras med en faktor på omkring 10 innan jämförelse med biotagränsvärdet.

För hexaklorbutadien är biotagränsvärdet 55 µg/kg vv medan rapporteringsgränsen i detta fall legat på 5 µg/kg vv. Rapporteringsgränsen på 5 µg/kg vv skulle vid 0,5% fetthalt och normaliserat till 5% fetthalt motsvara <50 µg/kg. Detta ligger mycket nära biotagränsvärdet och innebär i slutänden en stor osäkerhet om halter under rapporteringsgränsen verkligen ligger under biotagränsvärdet.

För dikofol innebär detta att rapporteringsgränsen på 10 µg/kg vv vid 0,5% fetthalt och normaliserat till 5% fetthalt skulle motsvara <100 µg/kg. Detta ligger dessvärre långt över biotagränsvärdet, vilket innebär total osäkerhet ifråga om gränsvärdet klaras. Samma problematik finns även för hexaklorbensen och heptaklor inklusive dess epoxider.

Av de ämnen som ingår i berörda analyspaket och som har biotagränsvärden är det enbart pentaklorbensen som har en godtagbar rapporteringsgräns sett till behovet att kunna jämföra lipidnormerade värden med gränsvärdet i HVMFS 2019:25 ifall halter under rapporteringsgränsen ska säkerställa att miljö kvalitetsnormen kan följas för ämnet ifråga.

Sammanfattning av effektuppföljningsstudien i Orlången

Av de ovan redovisade resultaten har redan framgått att fisken fångad 2019, kort innan behandling mot interngödning genomförts, uppvisar lägre halter av samtliga ämnen med hög bioackumulerbarhet jämfört med fisk fångad 2020 och 2021. I detta fall avsåg uppföljningen ämnena/ämnesgrupperna kvicksilver, PCB7, dioxinlika PCB:er, dioxiner, samt polybromerade difenyletrar. Resultaten visar även på andra effekter: Av Tabell 3 framgår att fisken fångad år 2020 i medeltal var större och äldre än fisken fångad 2019 och 2021 och är därför inte rakt av jämförbar med dessa samlingsprover. Fisken fångad 2020 visade på högre halter av PCB:er, dioxiner och PBDE:er än fisken fångad år 2021. Även detta kan förväntas i och med att fisken fångad 2020 var både större och äldre och därför bör ha hunnit ackumulera mer av dessa ämnen. Dock är det stor likhet i ålders- och storleksfördelning mellan samlingsproven från 2019 och 2021, vilket innebär att det i synnerhet är dessa som ska jämföras med varandra för utvärdering av effekten av minskad produktivitet. Resultaten ger således belägg för de teoretiska resonemangen^(4,5) om att en lyckad åtgärd mot internbelastning med minskad produktivitet i en sjö kan ge oönskade sidoeffekter i form av haltökning av de mest bioackumulerbara substanserna, bland annat till följd av minskad utspädning i biomassan. Detta innebär att systemets känslighet för miljögifter kan öka och belyser vikten av att anlägga ett helhetsperspektiv vid åtgärder. Det ger ytterligare incitament för att så långt möjligt åtgärda all slags extern belastning av näringsämnen och miljögifter innan åtgärder mot internbelastning av fosfor påbörjas för att i största möjliga mån undvika oönskad haltökning av t ex kvicksilver i fisk.

Skillnader i utfall av fetthaltsbestämning mellan analyslaboratorierna.

Det finns en påfallande skillnad mellan analyslaboratorierna ifråga om fetthaltsbestämning av samlingsproven från respektive sjö (Tabell 4). Vi kan konstatera att det är stor spridning i resultat mellan analyslabben såväl för varje

samlingsprov som totalt sett. Man kan även se att resultaten från laboratorium A och laboratorium B uppvisar större överensstämmelse med varandra per samlingsprov än med resultaten från laboratorium C. Fetthaltsbestämningen utförd av laboratorium C visar på mycket stor variation mellan samlingsproverna, från mindre än 0,1% till 1,6%. Detta är ett spann som inte återfinns i resultaten från de andra analyslabben. Resultaten från laboratorium B kan (trots ett värde under rapporteringsgräns) sägas uppvisa minst variation. Det totala medelvärdet på 0,56 % ligger närmast medelvärdet för laboratorium A.

Tabell 4. Inrapporterade fetthalter i viktprocent från tre analyslaboratorier vid analyser av samlingsprov (N=15) av abborre insamlad hösten 2022 från 8 sjöar i Tyresåns avrinningsområde. Gulmarkerade värden är inrapporterade som "mindre än", dvs halter under laboratoriets rapporteringsgräns, men har inkluderats i statistiken utan ytterligare transformering efter borttagning av "<".

Sjönamn	Lab A	Lab B	Lab C	Medel (+/- SD)
Albysjön	0,67	0,5	0,1	0,42 (0,29)
Drevviken	0,66	0,5	0,1	0,42 (0,29)
Flaten	0,81	0,6	0,1	0,50 (0,36)
Kvarnsjön Lissma	0,49	0,6	1,1	0,73 (0,33)
Magelungen	0,61	0,5	0,15	0,42 (0,24)
Trehörningen-Sjödalen	0,45	0,6	0,16	0,40 (0,22)
Tyresö-Flaten	0,44	0,7	0,49	0,54 (0,14)
Övre Rudan	0,68	0,5	1,6	0,93 (0,59)
Orlången (2021)	0,40	0,9	0,67	0,66 (0,25)
Medel (+/- SD)	0,58 (0,14)	0,60 (0,13)	0,50 (0,54)	0,56 (0,05)

Diskussion

Med undantag för kvicksilver kan Trehörningen-Sjödalen antas vara den mest utsatta för föroreningsbelastning från olika lokala källor. Beträffande just kvicksilver ser det inte ut som att det finns betydande lokala källor i Trehörningens närområde. Bland de undersökta sjöarna är halten av kvicksilver i samlingsprovet från Trehörningen-Sjödalen den lägst uppmätta.

Sjön har dock varit kraftigt övergödd och var fortfarande mycket näringsrik när fisken insamlades trots nyligen genomförda åtgärder mot intern gödning. Dessutom har sjön en mycket kort hydrologisk omsättningstid jämfört med andra sjöar i Tyresåns avrinningsområde.

Båda dessa faktorer kan ha bidragit till att kvicksilverhalten i abborre från Trehörningen-Sjödalen är lägre än i andra sjöar utan lokal påverkan. Givet dessa förutsättningar är det något oroväckande att halter av PCB:er och dioxiner ligger högt i denna sjö, i synnerhet som halterna av dessa ämnen kan förväntas öka om sjöns produktivitet minskar på sikt. Lokala källor till PCB:er och dioxiner i Tyresåns tätortsnära sjöar och vattendrag behöver utredas vidare. Detta gäller även ämnesgruppen PFAS, även om enstaka stora punktkällor är identifierade och som ger tydligt avtryck på PFAS-sammansättningen i samlingsprover från Magelungen, Drevviken, Tyresö-Flaten och Albysjön. Utöver identifierade brandövningsplatser finns ett antal deponier med potentiellt betydande utsläpp av PFAS-ämnena.

Effektuppföljningsstudien av fisk från Ormlången före och efter åtgärden mot internbelastning av fosfor indikerar en tydlig haltökning av de mest bioackumulerbara miljögifterna i abborre och påvisar ett behov av fortsatta effektuppföljningsstudier i samband med att fler liknande projekt genomförs i andra sjöar i framtiden. Resultaten från Ormlången visar även på vikten av ett helhetsperspektiv innan åtgärder mot interngödning genomförs och att inte enbart fokusera på näringsämnen – all slags åtgärdbar externbelastning av olika ämnen bör åtgärdas i förväg.

Resultaten har även påvisat behov av vägledning kring hur fetthaltsbestämning ska hanteras i och med att det är relativt stora osäkerheter förknippade med dessa analyser och i förlängningen hur detta hanteras i samband med lipidnormering (till 5% fetthalt) av uppmätta halter av fettlösliga ämnen i fiskmuskul (gäller dock ej Hg och PFOS) för jämförelse med biotagränsvärden i HVMFS 2019:25. Denna osäkerhet i fetthaltsbestämning innebär en ytterligare osäkerhetsfaktor i samband med bedömning av kemisk och/eller ekologisk status när ett till 5% fetthalt normerat mätvärde för ett ämne jämförs med dess biotagränsvärde i HVMFS 2019:25.

Referenser

1. Sonesten, L. et al. (2003). *Catchment Area Composition and Water Chemistry Heavily Affects Mercury Levels in Perch (Perca Fluviatilis L.) in Circumneutral Lakes*. Water, Air, and Soil Pollution volume 144, pages 117–139
2. Lindeström, L. & Tröjbom, M (2006). *Kviksilver i fisk. Resultat från en inventering i Stockholms län 2004*. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 2006: 07.
3. Åkerblom, S. & Johansson, K. (2008). *Kviksilver i svensk insjöfisk – variationer i tid och rum*. Institutionen för miljöanalys, SLU. Rapport 2008:8.
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Biodilution>
5. Jonsson, P. et al. (2000). *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(4), 183.

Slutnoter till figurtexter

ⁱ Dessa 6 kongener (enskilda substanser inom ämnesgruppen) är: nr 28 (2,4,4'-TriCB), nr 52 (2,2',5,5'-TeCB), nr 101 (2,2',4,5,5'-PeCB), nr 138 (2,2',3,4,4',5'-HxCB), nr 153 (2,2',4,4',5,5'-HxCB), nr 180 (2,2',3,4,4',5,5'-HpCB).

ⁱⁱ Utöver de 6 ovannämnda kongenerna tillkommer här nr 118 (2,3',4,4',5-PeCB) som även räknas in bland de dioxinliknande PCB:erna (nedan).

ⁱⁱⁱ Dessa 12 kongener är: nr 77 (3,3',4,4'-TeCB), nr 81 (3,4,4',5-TeCB), nr 105 (2,3,3',4,4'-PeCB), nr 114 (2,3,4,4',5-PeCB), nr 118 (2,3',4,4',5-PeCB), nr 123 (2',3,4,4',5-PeCB), nr 126 (3,3',4,4',5-PeCB), nr 156 (2,3,3',4,4',5-HxCB), nr 157 (2,3,3',4,4',5'-HxCB), nr 167 (2,3',4,4',5,5'-HxCB), nr 169 (3,3',4,4',5,5'-HxCB), nr 189 (2,3,3',4,4',5,5'-HpCB).