



Nr B 2423
Augusti 2021

Metodik för integrerad undersökning av hälsotillstånd och föroreningshalter i fisk från industrirecipienter

Hannes Waldetoft, Joakim Hållén & Magnus Karlsson

Författare: Hannes Waldetoft, Joakim Hållén & Magnus Karlsson
Medel från: Boliden Mineral & Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning
Rapportnummer B 2423
ISBN 978-91-7883-301-6
Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2021**
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 antropogena utsläpp är vanligt förekommande i industrialiserade delar av världen. Det utgör ett potentiellt hot mot akvatiska ekosystems funktion. Gradientstudier i transekter från lokalt förorenade områden där fisk används som bioindikator kan användas för att bedöma förorenade sediments ekologiska påverkan. I denna studie har effekterna av historiska utsläpp till sediment och pågående utsläpp utanför ett metallsmältverk, Rönnskärsverken, undersökts genom analyser av föroreningshalter och hälsotillstånd hos abborre. Studien är en vidareutveckling av en metod som tidigare utvecklats för att bedöma miljöpåverkan utanför skogsindustrier.

Projektet har utförts inom ramen för IVL Svenska Miljöinstitutets samfinansierade forskningsprogram. Delfinansiering har erhållits från Boliden Mineral. Fil. dr Maria Wik Persson har bidragit med underlagsdata från industrin. Projektledare vid IVL har varit tekn. dr Magnus Karlsson och huvudsakliga medarbetare fil. mag. Hannes Waldetoft och civ. ing. Joakim Hållén. Därutöver har personal vid IVL:s analyslaboratorier utfört kemiska analyser på olika vävnader i fisken som samlats in. Anders Johansson & Gunnar Hedlund bistod vid fiskinsamling och Inger Abrahamsson utförde fiskprepareringen.

Det är vår förhoppning att den metod för miljöeffektbedömning som nu tagits fram ska bli ett användbart verktyg vid riskvärdering av förorenade områden i allmänhet. Metoden bör framgent även kunna användas som underlag för att bedöma om åtgärdsbehov föreligger i områden med pågående utsläpp från olika typer av industriella och kommunala verksamheter.

Stockholm i juni 2021

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary	7
Inledning	9
Bakgrund	9
Produktion	9
Miljöförhållanden i recipienten	9
Vattenkemi.....	11
Sediment	12
Biota	12
Metodik.....	17
Resultat	19
Hälsotillstånd	19
Basdata	19
Konditionsfaktor	20
Leversomatiskt index (LSI)	21
Gonadsomatiskt index (GSI).....	22
Tillväxt	23
Könsmognad	24
Halter i vävnad	25
Metaller	25
Organiska föreningar.....	30
Jämförelse mot andra svenska recipient och referenslokaler	33
Metaller	35
Organiska föreningar.....	36
Jämförelse av metodikval – Norrbotten	37
Jämförelse av metodikval – Mälardalen	39
Diskussion	41
Slutsatser.....	44
Referenser.....	45

Sammanfattning

En nyligen framtagen metodik för integrerad analys av hälsotillstånd och halter av stabila organiska föreningar i abborre, framtagen vid skogsindustrirecipienten, testades utanför ett metallsmältverk, Rönnskärsverken.

Utöver den metodik som använts utanför skogsindustrirecipienterna, där insamling fokuserades till individer mellan 15–20 cm långa, insamlades även längre individer mellan 20–25 cm. Grunden till den förändringen var att insamling även av längre individer ger ett förbättrat underlag för analys av gonader och könsmognad. Köns mogna individer behövs för sådan analys, och längre, och därmed äldre individer, tenderar att i högre utsträckning vara köns mogna (mogna för lek följande säsong).

I denna studie analyserades också polybromerade flamskyddsmedel (PBDE), något som inte gjordes vid skogsindustrirecipienterna. Anledningen är att återvinning av förbehandlade och metallrika delar från elektronikskrot sker vid Rönnskärsverken. Dessa kan innehålla flamskyddsmedel även om flertalet PDDE-er förbjudits och halterna generellt minskar i miljön.

Resultaten kring hur metodiken fungerade var positiva. Tillräckliga fiskmaterial kunde insamlas till en rimlig fiskeansträngning, där även insamlingen i det utvidgade längdintervallet resulterade i ett tillfredställande stort antal köns mogna individer.

Ett annat syfte med metodiken är att erhålla en uppfattning om ett eventuellt påverkansområdes storlek. Detta syfte visade sig kunna uppfyllas med föreslagen metod. Vid analys av förekomst av organiska föroreningar i fisken syntes tydliga föroreningsgradienter. Halterna var högst i direkt närhet till Rönnskärsverken, något lägre sydvart en bit längre ut i kustzonen och lägst vid de norrut förlagda referensområdena (två referensområden användes). Detta tyder på att metoden på ett användbart sätt kan visa på hur exponeringen i fisk avtar nedströms en påverkanskälla, samt hur halterna förhåller sig till referensområdena.

Utvärderingen av fiskhälsa visade på att denna inte är nedsatt i havsområdet utanför Rönnskärsverken. Signifikanta skillnader avseende konditionsfaktor (CF), leversomatiskt index (LSI), tillväxt och könsmognad fanns dock mellan vissa av lokalerna. De signifikanta skillnaderna var däremot inte mellan den närmast Rönnskärsverken belägna lokalen och de båda referenslokalerna samtidigt; signifikant skillnad gentemot den ena referensen men inte den andra förekom. I vissa fall förekom också signifikant skillnad referenserna sinsemellan, vilket belyste den naturliga variation som kan förekomma även mellan fisk från referensområden. Signifikanserna avseende skillnader mellan recipient- och referenslokalerna var av sådan storlek att de inte avvek betydligt från den skillnad som även kunde noteras mellan referenserna, och underskred den s.k. kritiska effektstorleken (CES). Den sammanvägda slutsatsen är därav att fiskhälsan inte är nedsatt.

Vid utvärderingen av metaller i fisken framkom att förhöjda halter, gentemot referenslokalerna, förelåg för kvicksilver och bly. Kvicksilverhalten i lokalen närmast Rönnskärsverken, normerad till abborre av konsumtionsstorlek, var i ungefärlig nivå med saluföringsgränsvärdet på 0,5 mg/kg våtvikt. För de andra undersökta metallerna (kadmium, koppar, krom, arsenik, nickel och zink) syntes inga lika tydliga haltförhöjningar i fisken från recipientlokalerna. Till exempel var arsenikhalten i fisken från den ena referenslokalen av ungefär samma nivå som den i fisken från recipientlokalerna.

Halterna av organiska föreningar och vissa tungmetaller i fisken från Rönnskär jämfördes också mot ett antal recipient- och referenslokaler i kust- och insjöområden. För de flesta ämnena var halterna från Rönnskärsverken av ungefär samma nivå som vid andra recipientlokaler, varav de flesta var skogsindustrirecipienter.

Vid jämförelse av tidigare undersökningar i området framkom generella svårigheter med att dra entydiga slutsatser om hur halterna i fisken förändrats över de senaste decennierna. Detta gäller särskilt dioxiner och PBDE, två grupper av organiska föreningar som förekommer i halter nära analysmetodernas kvantifieringsgränser och därmed är behäftade med relativt stora mätfel. Användande av olika laboratorier är också en faktor som kan påverka. Mot denna bakgrund, samt att det endast genomförts ett begränsat antal mätningar, gör att inga säkra slutsatser kan dras kring halförändringen över tid av dessa ämnen. Jämförelse mot studier som genomförts för cirka 10 år sedan ger dock stöd för att halterna av dioxinlika-PCB och kvicksilver i abborren är av samma storleksordning då som nu, samt att halterna av särskilt kadmium, arsenik, nickel och bly möjligen minskat något.

Utöver insamling och analys av fisk vid Rönnskärsverken gjordes också en separat metodikstudie avseende utvärdering av fiskhälsa. Underlaget var två dataset: ett stort fiskmaterial av abborre från tre fjällnära sjöar i Norrbotten, samt ett material från tre näringsrika sjöar i Mälardalen. Den föreslagna metodiken, med analys av ett begränsat antal individer mellan 15-25 cm långa, jämfördes mot ett större totalmaterial. Utvärdering av morfologiska index gjordes separat för det begränsade materialet och totalmaterialet. Resultaten av de båda utvärderingarna gav likartade slutsatser om fiskens övergripande hälsotillstånd. Detta visade på att den föreslagna metodiken kan vara ett kostnadseffektivt alternativ till en mer omfattande fiskinsamling, i och med att den fiskeansträngning som krävs är mindre, men att den statistiska utvärderingen ändå är tillfredställande kraftfull.

Sammantaget bedöms den vidareutvecklade metoden för utvärdering av fiskhälsa och förekomst av metaller och organiska föreningar vara ett kostnadseffektivt och användbart verktyg vid riskbedömningar utanför industrier med pågående och tidigare utsläpp.

Summary

A recently developed methodology for integrated analysis of health conditions and levels of stable organic compounds in perch, developed at forest industry receiving areas, was tested outside a metal smelter, Rönnskärsverken.

The methodology used outside the forest industry receiving areas, where the collection was focused on individuals between 15-20 cm long was complemented with individuals between 20-25 cm. The reason for this change was that the collection of even longer individuals provides an improved basis for analysis of gonads and sexual maturity. Sexually mature individuals are needed for such analysis, and longer and thus older individuals tend to be sexually mature to a greater extent (mature for spawning the following season).

This study also analyzed polybrominated flame retardants (PBDEs), which was not done at the forest industry receiving areas. The reason is that recycling of electronic scrap containing flame retardants occurs at Rönnskärsverken.

The results on how the methodology worked were positive. Sufficient materials could be collected at a reasonable fishing effort, and the collection, even in the extended length range, resulted in a good number of sexually mature individuals.

Another purpose of the methodology was to explore how a possible area of influence can be distinguished. This purpose proved to be fulfilled with the proposed method. When analyzing organic compounds in the fish, clear pollution gradients were seen. The concentrations were highest near Rönnskärsverken, slightly lower some km downstream, and lowest at the upstream reference areas (two reference areas were used). This showed that the method could, in a good way, show how the exposure in fish decreases downstream and how the concentrations relate to unaffected areas.

The evaluation of fish health showed that the health status is not reduced in the sea area outside Rönnskärsverken. Significant differences regarding fitness factor (CF), liver somatic index (LSI), growth, and sexual maturity were found. However, the differences were not between the premises closest to Rönnskärsverken and both references. Significant differences between one reference but not the other occurred. In some cases, there was also a significant difference between the references, which highlighted the natural variation that can also occur between fish from two unaffected areas. The significant differences between the receiving areas and the references were of a size not much different than from what could also be noted between the two references and fell short of the so-called critical effect size (CES). The overall conclusion is thus that the fish health is not impaired.

In the evaluation of metals in the fish, it was found that elevated levels, compared to the reference premises, were present for mercury and lead. The mercury content, standardized for perch of approximate consumption size, was at the approximate level of the marketing limit of 0.5 mg/kg wet weight at the site closest to Rönnskärsverken. No equally clear content increases were seen in the fish from the receiving area premises for the other metals examined (cadmium, copper, chromium, arsenic, nickel, and zinc). For example, the arsenic content of the fish from one of the reference premises was in the same order of magnitude as that of the receiving area's fish.

The levels of organic compounds and certain heavy metals in the fish from Rönnskär were also compared with some receiving and reference sites in coastal and lake areas. For most of the substances, the concentrations from Rönnskärsverken were approximately the same size as at other receiving area premises, most of which were forest industry receiving areas.

A comparison of previous surveys in the area revealed general difficulties in drawing credible conclusions about how levels of organic compounds in the fish have changed over the last decade. This applies particularly to dioxins and PBDE, two organic compounds that occur in concentrations close to the analytical methods' detection limits and whose measurements are associated with relatively large measurement errors. The use of different laboratories is also a disruptive factor. Against this background and the fact that only a limited number of measurements have been carried out, no conclusions are drawn about the change in content over time of these substances. However, comparison with studies conducted about ten years ago provided support that the levels of dioxin-like PCBs and mercury in the perch are of the same order of magnitude then as now and that the levels of cadmium, arsenic, nickel and lead may have decreased somewhat.

A separate methodological study, of how to evaluate fish health status, was also conducted in addition to the collection and analysis of fish at Rönnskärsverken. The basis was two datasets: an extensive fish material of perch from three lakes close to the mountain range of Scandinavia, and a fish material from three nutrient rich lakes in the Mälaren Valley. With an analysis of a limited number of individuals between 15-25 cm, the proposed methodology was compared against a more extensive total material. Evaluation of morphological indices was done separately for the limited material and the total material. The results showed that both the larger and smaller material resulted in similar conclusions about the fish's overall health. This showed that the proposed methodology can be a cost-effective alternative to a more comprehensive fish collection in that the fishing effort required is less, but the statistical evaluation is still satisfactorily robust.

Overall, the further developed method for evaluating fish health and the presence of metals and organic compounds is considered to be a cost-effective and useful tool in risk assessments outside industries with ongoing and previous emissions.

Inledning

Mellan 2018 och 2020 pågick projektet "Kontrollprogram för fibersediment" (Waldetoft et al., 2020), som syftade till att utveckla en för pappers- och massaindustrin branschgemensam metod att på ett kostnadseffektivt och ekologiskt relevant sätt övervaka föroreningsituationen i vattenområden utanför industrier där det avsatts föroreningar i sediment. Som effektvariabel valdes fiskarten abborre (*Perca fluviatilis*) som under decennier använts inom svensk miljöövervakning (Sandström et al., 2005), dels för att undersöka biologiskt upptag av föroreningar, dels för att bedöma toxiska effekter. Under projektets gång föddes tanken att den tillämpade metodiken borde vara användbar inte bara utanför skogsindustrier, utan generellt där det finns eller har funnits verksamheter vars utsläpp lett till förhöjda halter av olika föroreningar i omgivande miljö. I föreliggande projekt har vi vidareutvecklat metoden och testat den i Skelleftebukten för en recipient till ett metallsmältverk, Rönnskärsverken. Syftet har varit tvåfalt:

- 1) testa om en vidareutveckling av metoden med insamling av större fisk leder till förbättrade möjligheter att bedöma av eventuell påverkan på fiskens fortplantningsförmåga.
- 2) testa hur användbar metoden är i ett förhållandevis öppet kustområde där den historiska föroreningsbelastningen främst utgjorts av olika metaller.

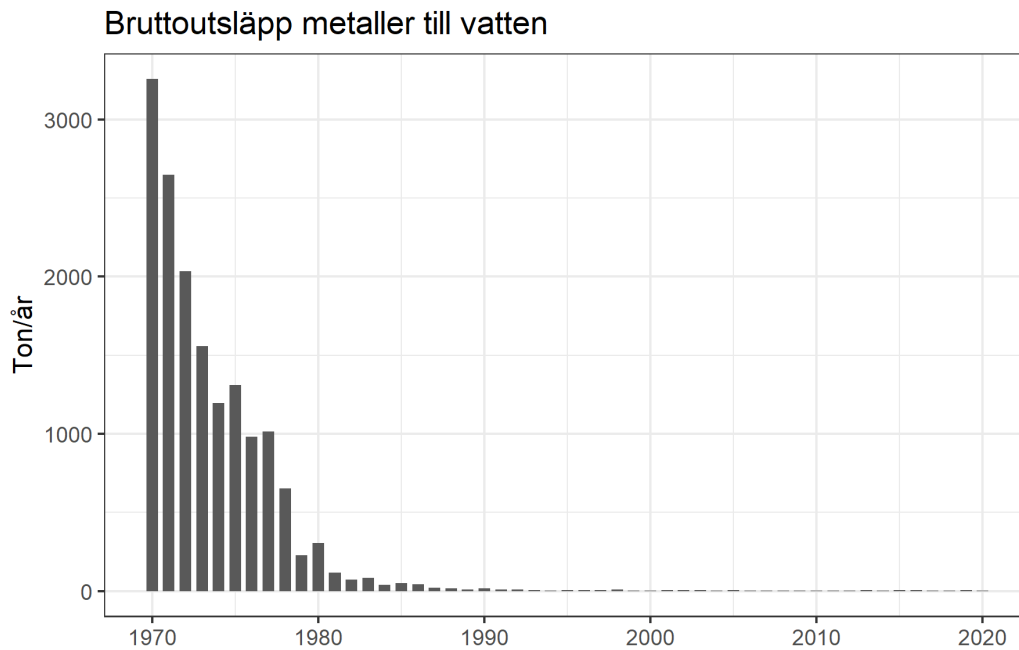
Bakgrund

Produktion

Rönnskärsverken är ett smältverk grundat i slutet av 1920-talet, beläget i Skelleftehamn utanför Skellefteå tätort. Som råvaror utnyttjas anrikade metallkoncentrat från framför allt svenska gruvor, liksom återvinningsmaterial i form av kopparskrot och restprodukter av olika slag bland annat de metallrika delarna från förbehandlat elektronikskrot. De huvudsakliga produkterna som framställs är koppar, zinkprodukter, bly, silver och guld. Som biprodukter får även man en rad andra metallföreningar samt svavelsyra och svaveldioxid liksom järnsand, som även använts som fyllnadsmaterial vid industriområdet.

Miljöförhållanden i recipienten

Verksamheten ger upphov till utsläpp till luft och vatten av olika metaller och organiska föreningar. I en historisk kontext har utsläppen från Rönnskärsverken minskat väsentligt. Sedan 1970-talet har exempelvis utsläppen till vatten av metaller minskat med mer än 99,9 % (**Fig. 1**).



Figur 1. Metallutsläpp (Cu+Pb+Zn+As+Cd+Hg) till vatten från Rönnskärsverken 1970-2020.

Utsläpp till havet från Rönnskärsverkens verksamhet sker på olika sätt. Huvudsakligen genom villkorsreglerade utsläpp till vatten vilka består av primärt kylvatten, processvatten som renats i två reningsverk, sanitärt vatten som renats i därför avsett reningsverk samt regnvatten som samlats upp från takavvattning, hårdgjorda ytor etc och renas i ett av reningsverken. Därutöver tillkommer en viss diffus transport via grundvattenutflöde och damning från industriområdet och slutligen till del genom villkorsreglerade utsläpp till luft varav en del faller ned i närområdet och deponeras på omgivande hav. Rönnskärsverken har utsläppsvillkor för arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd) koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), zink (Zn) och dioxiner (PCDD/Fs). Recipienten till Rönnskärsverken utgör även mynningsområde för Skellefteälven, en av Sveriges större älvar med en medelvattenföring på 160 m³/s. Även via Skellefteälven sker en betydande tillförsel av metaller och andra ämnen till recipienten. I Skellefteå stad och andra tätorter uppströms i älven finns äldre förorenade industriområden. De koncentrationer av metaller man idag mäter i recipientens vattenmassa är således en konsekvens av vattenutbyte med omgivande hav, genomströmning av älvvatten, tillförsel från Rönnskärsverken och andra lokala källor samt växelverkan med sediment. Betydelsen av det senare diskuteras nedan.

I och med hanteringen av elektronikskrot förekommer även utsläpp av bromerade flamskyddsmedel (PBDE) även om de till stor del bryts ned i de heta processerna. Utsläppen bedöms ha minskat under senare år då hanteringen av materialet utomhus minskats avsevärt samt att lagringen av skrot numer sker inomhus. I processen vid Rönnskärsverken sker även en bildning av klorerade dioxiner och furaner som för att vara en punktkälla ger upphov till relativt stora utsläpp men i förhållande till andra källor ur ett regionalt perspektiv ger ett marginellt bidrag (Karlsson & Waldetoft, 2019). I Kallholmsfjärden, intill vilken Rönnskärsverken är lokaliserat, finns fyra hamnar för fartygstrafik, varav Rönnskärsverken disponerar en, samt en lotsstation. Dessa har historiskt varit en källa för tillförsel av tributyltenn (TBT) som tidigare använts som biocid i fartygsbottenfärg. Användningen för alla typer av fartyg förbjöds inom EU 2003. En annan typ av förorening som kan kopplas till hamnverksamhet och hantering av oljelager är polycykliska

aromatiska kolväten (PAH). I Kallholmsfjärden fanns tidigare både en bitumendepå samt en oljedepå. Idag nyttjas oljedepån för lagring av kemikalier och intill Kallholmsfjärden finns förutom Rönnskårsverken ytterligare en verksamhet som hanterar metallskrot och elektronikskrot. PCB hade, fram till att användningen började förbjudas i slutet av 1970-talet, ett brett användningsområde bl.a. som tillsats i hydraul- och transmissionsolja, i transformatorer och isolatorer, färg och fogmassor. PCB är således generellt en vanligt förekommande förorening i urbana områden.

Vattenkemi

Vattenkemiska undersökningar utförs löpande i recipienten varannan månad vid sex mätpunkter (Fig. 2).



Figur 2. Havsområdet utanför Rönnskårsverken med provtagningsstationer för vattenkemi inom recipientkontrollprogrammet markerade. Recipientkontrollpunkt 5 ligger i Kallholmsfjärden.

Tidigare förelåg relativt tydliga gradienter för flertalet undersökta metaller med högre koncentrationer vid mätpunkterna närmast verksamheten. Under det senaste decenniet har emellertid koncentrationerna successivt avtagit i takt med att vidtagna miljöskyddsåtgärder vid Rönnskärsverken samt i samhället i övrigt givit önskad effekt. I Skellefteområdet finns t ex mycket svartmokka, en jordart rik på sulfidbundna metaller som man vid byggnationer och dikningsarbeten hanterar på ett helt annat sätt idag jämfört med förr. Detsamma gäller vid dikningsarbeten inom skogsbruket, snöhantering, sanering av förorenad mark m.m. De senaste åren är det enbart för koncentrationerna av zink, arsenik och kadmium som man kan urskilja tydliga förhöjningar relativt referensstationen (pkt. 6 i **Fig. 2**).

Sediment

Mätningar av halter av metaller och organiska ämnen i sediment (Cato & Sellén, 2004a; Cato & Sellén, 2004b; Sundqvist et al., 2010; Sobek et al., 2012; Troeng et al., 2017) visar på mer eller mindre tydligt förhöjda halter av flertalet metaller, samt olika bromerade- klororganiska- och tennorganiska föreningar i närområdet till verksamheten och successivt av klingande halter i Skelleftebukten med ökande avstånd från Rönnskärsverken. Påverkansområdet i sydostlig riktning sträckte sig 2003 cirka en mil ut i havet. Det har likaledes konstaterats (Cato & Sellén, 2004a), genom analyser av sedimentkärnprofiler och jämförelser mot äldre data, att metallhalterna i närområdet till Rönnskärsverken succesivt har sjunkit och att för en del av metallerna var tillförseln sannolikt som störst mellan 1940- och 1960-talet. Längre ut i Skelleftebukten är bilden mera splittrad. För några av metallerna förelåg de högsta halterna i ytsedimenten i sedimentkärnorna som insamlades 2003. Detta beror sannolikt på de bottendynamiska förhållandena i Skelleftebukten med periodvis uppvirvling och uttransport av finsediment från grundområden med erosions- transportbottnar till djupare liggande ackumulationsbottnar med kontinuerlig deposition av finmaterial (Karlsson & Jonsson, 2003).

Biota

Snäckor

Mellan 1989 och 2004 genomfördes ett antal undersökningar av metallinnehållet i snäckor på olika avstånd från Rönnskärsverken (Lindeström et al., 2009). Den generella bilden visade på högre koncentrationer i snäckor från lokaler nära Rönnskärsverken jämfört med mer avlägsna lokaler. Detta allmänna mönster stördes dock av förhållandevis stora variationer för flera metaller mellan närliggande lokaler på ett till synes ologiskt sätt. Exempelvis uppmättes högsta arsenikhalter i snäckor ca 30 km NV Rönnskärsverken. Sammantaget drogs slutsatsen att insamling och analys av metallhalter i snäckor längs kusten är ett trubbigt instrument för att spegla påverkansgraden av verksamheten vid Rönnskärsverken.

Fisk

Föroreningshalter i vävnad

Metallhalter undersöks sedan 2003 regelbundet i mindre abborre utanför Rönnskärsverken. Sedan 2012 analyseras även dioxiner, PCB och PBDE. Då 2006 års mätning jämfördes mot ett antal andra lokaler i området noterades förhöjda halter av framför allt kvicksilver och bly utanför Rönnskärsverken (Lindeström et al., 2009). Även ett antal undersökningar av föroreningshalter i sik har genomförts sedan år 2000.

År 2009 genomförde Naturhistoriska Riksmuseet (NRM) en undersökning av miljöstörande ämnen i abborre längs norra Sveriges kust (Gustavsson & Danielsson, 2010). För flertalet av de ämnen som undersöktes år 2009 konstaterades förhöjda i abborre från Kallholmsfjärden, i förhållande till referensområden längs kuststräckan. Måttlig förhöjning av dioxiner och PCB kunde noteras. Tydlig förhöjning av bromerade flamskyddsmedel (PBDE) noterades. Även halten av bly var tydligt förhöjd, med en faktor >50 vid Sörfjärden och ~12 vid Kallholmsfjärden. Kadmiumhalten var generellt sett förhöjd längs den norra kuststräckan, inkluderande Kallholmsfjärden men även referensen Rånefjärden. Kvicksilverhalten i Kallholmsfjärden var något högre än vid referenslokaler, men samtidigt markant lägre än vid flertalet andra lokaler längs kuststräckan. För koppar noterades högst halter vid Kallholmsfjärden och Sörfjärden (Olsgrundet, 4 km sydost Rönnskär). De ämnen som inte var förhöjda i recipienten var HCB, DDT, nickel, arsenik, krom och zink. Zink är dock ett essentiellt ämne som fisken kan reglera själv varför uppmätta halter inte nödvändigtvis speglar exponering.

Även år 2010 undersöktes förekomsten av miljöstörande ämnen i abborre vid Kallholmsfjärden, Olsgrundet (Sörfjärden), Byske och Rånefjärden (Sangfors & Hårdig 2011). Halterna av kvicksilver och organiska föreningar konstaterades vara tydligt högre i fisken från Kallholmsfjärden och Olsgrundet jämfört med de andra lokalerna. De organiska föreningarna var PBDE, dioxiner och PCB.

Generellt i de studier som här gått igenom så underskrider halterna av organiska föreningar i abborre från havsområdena kring Rönnskär de bedömningsgrunder och gränsvärden som finns. Detta är dock normalfallet i en mager fiskart som abborre, även om den levit i vatten med betydande antropogen påverkan. Överskridande av gränsvärden för dioxin och PCB sker i Bottniska viken i princip endast i lax (*Salmo salar*) och strömming (*Clupea harengus*), som är betydligt fetare arter. I lax pekar utvecklingen mot generellt sett avtagande halter, som i många fall är under gränsvärdena (Hållén et al., 2020). I strömming förekommer förhöjda halter, men tidstrenden sett till de senaste decennierna visar på en generell förbättring. I Hållén et al. (2020) studerades även sik (*Coregonus lavaretus*) från Bottniska viken. Samtliga sikprover hade halter av dioxin och PCB som underskred gränsvärdena.

Några tydliga tidstrender av haltutvecklingen kan inte noteras utifrån det genomgångna materialet för perioden 2000-2015. Analyserna av framför allt av dioxin och dioxinlika-PCB har haft för varierande kvantifieringsgränser för att en jämförelse mot andra år ska vara rimlig. Undantaget är kvicksilver, ett ämne som nästan alltid förekommer i kvantifierbara halter, samt att mätfele i den kemiska analysen är relativt låga. För kvicksilver var halterna i mindre abborre från Kallholmsfjärden mellan 2004 och 2010 i storleksordningen 0,15-0,40 mg/kg v v och någon uppenbar minskning kan inte synas under denna tidsperiod.

För de organiska föreningarna PBDE, samt dioxiner och PCB är det vanskligt att dra slutsatser om hur haltutvecklingen är över tid, endast baserat på ett fåtal mätningar. Anledningen är att det förekommer relativt stora mätfel i den kemiska analysen, att det kan finnas systematiska skillnader mellan laboratorier (Hållén et al., 2020) samt att analysomgångarnas och laboratoriernas olika kvantifieringsgränser försvårar jämförelser i de fall halterna är i ungefärligen samma storleksordning som kvantifieringsgränserna.

Den sammanvägda bilden av undersökningar som utförts fram till och med 2015 har varit att halterna av vissa metaller och organiska ämnen är förhöjda i fisk från recipienten till Rönnskärsverken och att påverkan sträcker sig några km utanför verksamhetsområdet. Några tydliga tidstrender om halter har ökat eller minskat över tid har inte kunnat urskiljas.

Hälsotillstånd

Under 70- och 80-talet genomfördes en serie studier om fiskhälsa, där vattnen vid Rönnskärsverken användes för undersökning av påverkan från utsläpp från metallindustri (Bengtsson et al, 1985; Bengtsson & Larsson, 1986; Mayer et al, 1988; Bengtsson 1993; Hansson et al., 1984). Den huvudsakliga målorganismen valdes till hornsimpa (*Myoxocephalus quadricornis*) men även abborre (*Perca fluviatilis*) och sik (*Coregonus sp.*) undersöktes i viss mån.

Studierna fokuserade på att undersöka eventuella samband mellan utsläpp av Rönnskärsverkens avloppsvatten och ryggradsdeformationer, ryggradens mekaniska egenskaper (styrka, elasticitet, etc.) och dess kemiska sammansättning. Deformationer avsåg sammanväxta kotor, krökningar, asymmetri, förskjutna kotor eller avvikande bendensitet. Även gälrfäständerna (utstickande "tänder" på gälbågens insida med syfte att mindre byten stannar i predatorns munhåla) i sik och hornsimpa undersöktes avseende deformationer och asymmetri.

Av siken insamlad vid Rönnskärsverkens närhet hade 3,5% (n=254) någon typ av ryggradsdeformation, medan siken insamlad vid referensområdena Holmön och Byske hade motsvarande andel på 1,5 respektive 1,0% (n=196 respektive 198). Dock så var inte skillnaden mellan Rönnskär och referenserna statistiskt signifikant. Hornsimpan visade dock på en statistiskt signifikant högre andel individer med ryggradsdeformation vid Rönnskärsverken jämfört med mindre påverkade områden (Gumboda, Kalix, Luleå och Kalajoki). Vid lokalen närmast Rönnskärsverken noterades 39,7% skadefrekvens medan de mindre påverkade områdena varierade mellan 4,3 och 23,3%. I abborre noterades en skadefrekvens på 2,9% (n=274) vid Rönnskärsverken medan abborren insamlad vid referensområdena Kalajoki och Byske hade motsvarande andel på 1,5 respektive 2,3% (n=329 respektive 347) (Bengtsson et al., 1985). I publikationen nämns inte om skillnaden i abborres skadefrekvens var signifikant.

Avseende deformation och asymmetri av gälrfäständer noterades den högsta andelen defekter vid lokalen närmast Rönnskärsverken. Där hade 24% av siken defekter medan siken vid referensområdet (Kalajoki, Finland) hade en frekvens defekta på 3,7%. Höga koncentrationer av defekta individer tycktes även sammanfalla med höga metallhalter i sedimenten. För hornsimpa fanns ingen statistiskt signifikant skillnad i asymmetri i gälrfäständer och bukfenan mellan recipient och referensområdena. Bröstfenan avvek dock signifikant, vilket överensstämde med resultat från tidigare studier.

Laboratorieförsök där hornsimpa i akvarier exponerades för ett simulerat metallhaltigt utsläpp från Rönnskärsverken genomfördes också (Bengtsson & Larsson, 1986). Det simulerade utsläppet innehöll arsenik, kadmium, koppar, bly, kvicksilver och zink. Efter ca ett års exponering röntgades fisken. Viktasymmetri undersöktes även via analys av fiskens otoliter (hörselstenar). Resultaten pekade mot att Rönnskärsverkens dåvarande utsläpp av arsenik och tungmetaller kunde framkalla en ökad förekomst av ryggradsskador i hornsimpan. Resultaten visade även på att utsläppen kan framkalla viktasymmetri mellan fiskens högra och vänstra otolit.

En jämförelse av laboratorieförsök och fältstudier (Mayer et al., 1988) visade dock på skillnad i responsmönster i ryggradens biokemiska och mekaniska egenskaper mellan den fisk som exponerats för simulerade utsläpp i laboratoriemiljö och den som insamlats i fält (vid Rönnskärsverken och referens). En trolig orsak till skillnaderna resonades vara påverkan från andra miljöstörande ämnen i fältstudien.

Hornsimpans tillväxt, gonader och kondition jämfördes mellan de individer som hade ryggradsdeformation och de som inte hade det. Inga skillnader i tillväxt noterades mellan de två grupperna (Bengtsson, 1993). Defekta individer hade en signifikant högre konditionsfaktor (CF), somatisk vikt och gonadsomatiskt index (GSI). Den övergripande slutsatsen var dock att en ryggradsdeformation inte nödvändigtvis leder till nedsatt potential för individen att föröka sig. I Hansson et al., (1984) jämfördes även maginnehållet i deformerade och friska individer. Bakgrunden var att individer med nedsatt funktion eventuellt riktar om sin diet (tex för att de för sämre rörelseförmåga). Inga signifikanta skillnader i maginnehåll mellan defekta och friska hornsimpor noterades dock.

Sammantaget visade de olika studierna genomförda på det fiskmaterial som insamlades mellan 1978 och 1982 på att Rönnskärsverkens metallhaltiga utsläpp lett till ökad skadefrekvens, men samtidigt att dessa skador inte nödvändigtvis leder till försämrad förmåga till reproduktion, tillväxt, eller insamling av föda.

År 1985 undersöktes en rad biokemiska markörer i abborre från havsområdet kring Rönnskärsverken, samt från de av Rönnskär påverkade sjöarna Ljusvattnet och Önnesmarkträsket (Larsson et al., 1985). Referensområden var sjöarna Ellisjaure och Bjännsjön, samt kustområdena Holmön och Byske. De undersökta markörerna återspeglar tre aspekter av fiskens fysiologi: hematologi (cellulära och biokemiska blodparametrar), metabolism samt osmos och jonreglering. Morfologiska index som konditionsfaktor (CF), leversomatiskt index (LSI) och gonadsomatiskt index (GSI) undersöktes inte. Resultaten visade att fisken från recipientområdena hade hämmad aktivitet av enzymet ALA-D, reducerat antal vita blodkroppar, samt något förändrad jonsammansättning i blodet jämfört med fisken från referensområdena. Även förhöjda glukosnivåer och lägre nivåer av klor i blodet noterades.

År 2010 undersöktes fiskens hälsotillstånd samt som ovan redovisats dess halter av metaller och organiska föreningar i havsområden vid Rönnskärsverken (Sangfors & Härdig 2011). Stationerna var Kallholmsfjärden, Olsgrundet samt de norrut belägna referenslokalerna Granön och Rånefjärden. Vad gällde fiskens hälsotillstånd kunde inga markanta avvikelser i recipientlokalerna påvisas. Variablerna, beskrivande syreupptagningsförmåga, immunförsvar, kondition, leverfunktion, tillväxt, könsmognad och fortplantning visade inte på några betydande skillnader mellan lokalerna.

Under 2017 genomfördes nya studier på fiskhälsan (ej metaller och organiska ämnen) i havsområdena kring Rönnskärsverken (Förlin et al., 2019). Fisket bedrevs i Kallholmsfjärden, och fisken därifrån jämfördes mot abborre insamlad vid Holmöarna; ett nationellt referensområde beläget utanför Umeå. Flertalet variabler, återspeglade reproduktionsförmåga, kondition, avgiftningsskapacitet, immunförsvar, röda blodceller, jonreglering och nervfunktion undersöktes. Avvikelse i kondition (relation mellan längd och vikt), glukoshalt och EROD-aktivitet påvisades. Slutsatsen var att fiskhälsan ansågs nedsatt i Kallholmsfjärden. Kritik mot användandet av Holmöarna som referensområde har dock framförts (Grahm & Sandström, 2020). Holmöarna anses inte vara en lämplig referens till Kallholmsfjärden på grund av deras olika miljöförhållanden. Utöver detta framfördes kritik mot att naturlig variation av olika variabler inte tagits i beaktning.

Påverkan från metallhaltiga utsläpp på fiskhälsa har även undersökts inom ramen för den kanadensiska miljöövervakningen, via ett omfattande miljöövervakningsprogram (AQUAMIN, 1996; Environment Canada, 2012; Environment and Climate Change Canada, 2016). Programmet initierades 1996 och liknar den övervakningen skogindustrirecipienter, som varit en inspirationskälla till metodiken som används i denna studie.

Övervakningen av gruvindustrirecipienter studerar med jämna intervall fisken i recipienter och referenser till aktiva eller nedlagda gruvor. Recipienten till Rönnskärsverken skiljer sig från den kanadensiska övervakningen och med att Rönnskärsverken är ett smältverk, men båda verksamhetstyperna är förknippade med metallhaltiga utsläpp i vattenmiljön.

Efter den tredje och mest nyligast utvärderade övervakningsomgången (Environment and Climate Change Canada, 2016) drogs följande slutsatser om den generella effektbilden avseende fiskens kondition och fortplantningsförmåga i gruvrecipienter:

- En minskning av fiskens kondition (konditionsfaktor) och gonader (könskörtlar) noterades i recipienter jämfört mot referenser.
- En ökning av tillväxt och leverstorlek noterades i recipienter jämfört mot referenser.

Denna bild var dock inte på något sätt entydig, utan noterades i 55-60% av gruvorna med bekräftade effekter. I flertalet fall noterades alltså exempelvis ökad kondition och minskad leverstorlek i recipienten. Den generella effektbilden skall alltså ses som den oftast förekommande vid bekräftad effekt, inte att förändringar i kondition och reproduktion alltid har den riktningen.

De ämnen som funnits associerade med effekter var: joner, metaller, kväve, suspenderade ämnen, fosfor och selen. Olika ämnen noterades och vara associerade med olika effekter. Joner och fosfor fanns leda till stimulerande effekter, medan metaller, selen och suspenderade ämnen var associerade med hämmande effekter. Vid Rönnskärsverken kan en effekt, om sådan föreligger, därav förväntas vara hämmande. De hämmande effekterna är sådana som uppstår via direkt toxicitet, förändrat habitat eller via indirekt toxicitet (konsumtion av födoorganismer som innehåller toxiska ämnen). Den förväntade effektbilden av hämmande effekter är minskad kondition och könskörtelstorlek, samt ökad leverstorlek.

Metodiken för övervakning av recipienter till gruvindustrin använder sig även den av jämförelse mot *kritisk effektstorlek* (Critical Effect Size=CES). Konceptet, som förklaras mer utförligt i Waldetoft et al. (2020), är direkt hämtat från övervakningen av skogsindustrirecipienter där det framtofs.

Metodik

Metodiken för fiskinsamling, efterföljande provberedning, kemiska- och statistiska analyser följde den nyligen framtagna metodik som utarbetats inom projektet "Kontrollprogram för fibersediment – bedömning av miljöpåverkan genom fiskundersökningar" (Waldetoft et al., 2020). Två tillägg har dock gjorts till denna undersökning:

- PBDE adderades till de organiska föreningar som utvärderats.

PBDE tillhör en av de ämnesgrupper som ingår i den mer vardagliga benämningen *bromerade flamskyddsmedel* som tillsätts till plaster, elektronik och textilier för att göra dem mindre brandfarliga. Själva ämnesgruppen varierar avseende hur många bromatomer och på vilka positioner dessa har bundit till föreningens grundstruktur. Sedan 2006 är PBDE förbjudet att använda i elektriska produkter inom EU (EU 2003), men på grund av dess persistenta egenskaper och att de kan läcka från äldre produkter förekommer de i vattenmiljön.

- Utöver insamlingen av 15-20 cm stor abborre har individer i längdintervallet 20-25 cm insamlats.

Anledningen till kompletteringen av större individer är att dessa, i högre utsträckning än individer mellan 15-20 cm är könsmogna. Fler könsmogna individer ger en bättre utvärdering av fiskens gonader och könsmognadsgrad. Målsättningen var att samla in minst 30 individer i varje längdklass vid varje lokal. Analys av metaller och organiska föreningar genomfördes endast på samlingsprover från individer mellan 15 och 20 cm. De ämnen och hälsoparametrar som undersöktes visas i **Tabell 1**.

Tabell 1. Undersökta ämnen och morfologiska index.

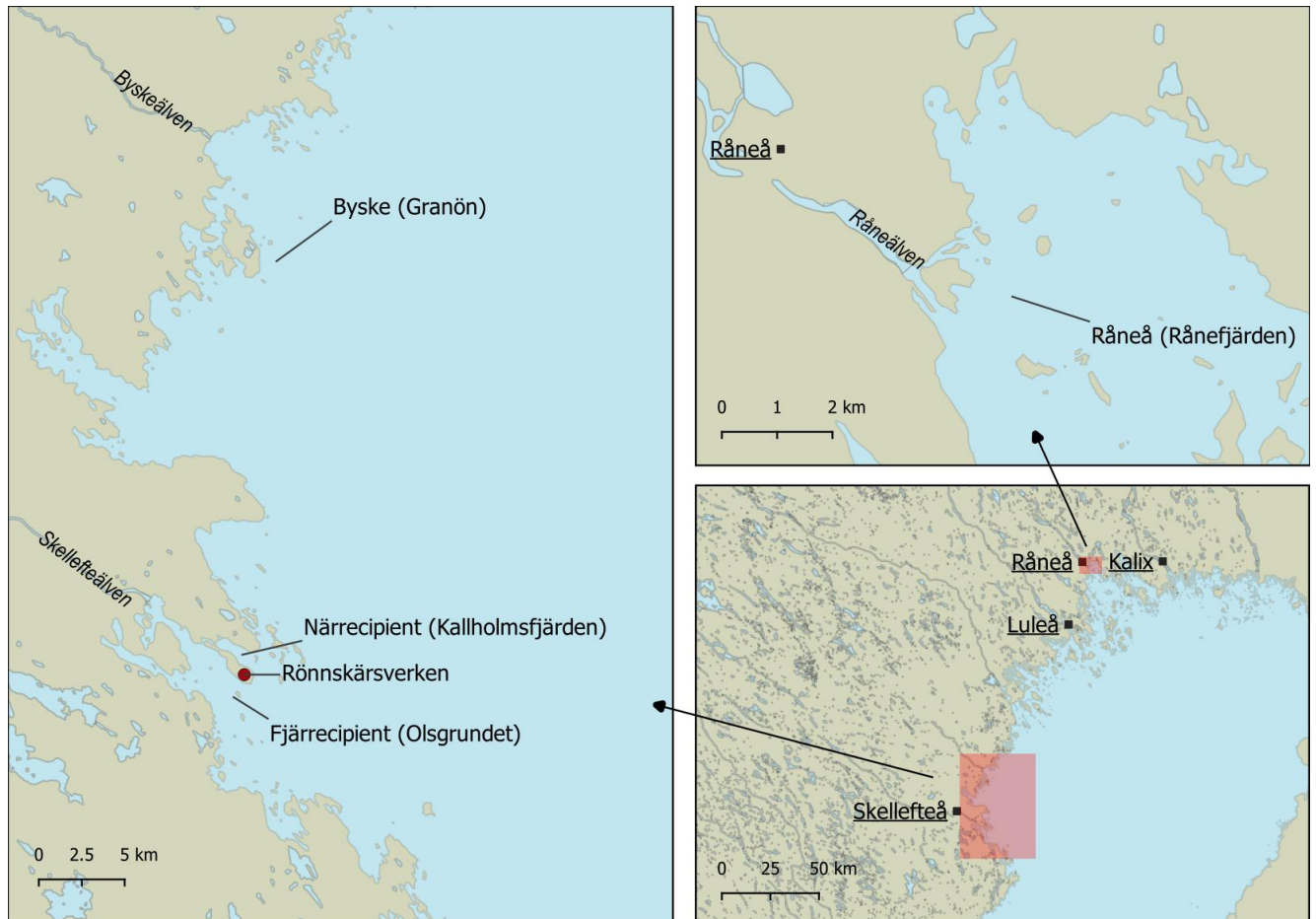
Metaller	Organiska föreningar	Morfologiska index
Kvicksilver (Hg)	PCDD/F	Konditionsfaktor (CF)
Bly (Pb)	PCB	Leversomatiskt index (LSI)
Kadmium (Cd)	HCB	Gonadsomatiskt index (GSI)
Arsenik (As)	DDT (samt metaboliterna DDD och DDE)	Tillväxt
Koppar (Cu)	PBDE* (-28,-47,-99,-100,-153,-154)	Könsmognadsgrad
Krom (Cr)		
Nickel (Ni)		
Zink (Zn)		

*Tillkommit utöver de organiska föreningar som analyserades i Waldetoft et al., 2020.

Fisket bedrevs mellan den 31:a augusti till 3:e september 2020 av personal från IVL Svenska Miljöinstitutet i samarbete med Ander Johansson och yrkesfiskare Gunnar Hedlund. Fiskelokalerna visas i **Figur 3**. Stationen närmast Rönnskärsverken ("närrecipienten") är belägen i Kallholmsfjärden (även kallad Skelleftehamnsvfjärden), ett vattenområde som idag är helt utan naturliga stränder och omgärdat av industri- och hamnanläggningar, inklusive Boliden Rönnskärs smältverk som ligger längst ut i fjärdens mynning. Stationen "fjärrecipient", belägen vid Olsgrundet i Skellefteälvens utströmningsområde, är i vattnets huvudsakliga strömningsriktning (norr till syd) från Kallholmsfjärden vilket gör den exponerad för utsläpp från Rönnskärsverken.

Olsgrundet ligger även i Skellefteälvens utströmningsområde Referensområdena var vid Byske och Rånefjärden.

Resultaten avseende halter av metaller och organiska föreningar från Rönnskär jämförs också i denna rapport mot ett urval av de stationer som inkluderades i projektet "Kontrollprogram för fibersediment" (Waldetoft et al., 2020). Dessa lokaler är från skogsindustrirecipienter och referenser i kustområden och insjöar.



Figur 3. Stationer där abborre insamlades mellan den 31:a augusti till 3:e september 2020 .

Resultat

Hälsotillstånd

Basdata

I **Tabell 2** visas morfometrin för den insamlade abborren. GSI visas endast för köns mogna individer och är uppdelat efter fiskens kön eftersom honor och hanar har betydande skillnad i gonadvikt.

Tabell 2. Morfologi för insamlad abborre i längdintervallet 15-25 cm från respektive lokal vid Rönnskårsverken. Avser antal eller medelvärden.

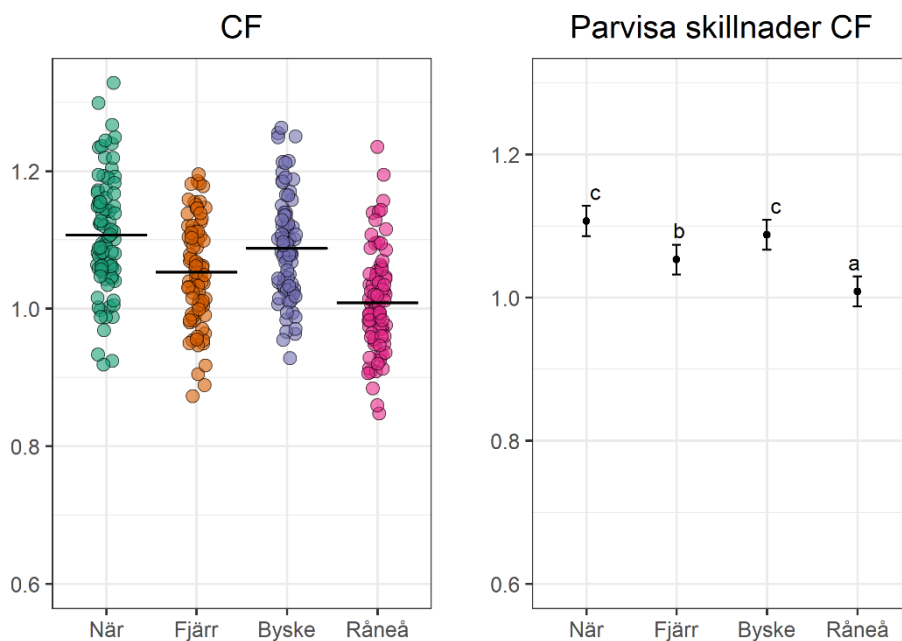
	När	Fjärr	Byske	Råneå
Kön (totalt antal)	Hona: 63 Hane: 21	Hona: 64 Hane: 21	Hona: 54 Hane: 29	Hona: 70 Hane: 13
Kön (antal köns mogna)	Hona: 24 Hane: 12	Hona: 39 Hane: 20	Hona: 18 Hane: 25	Hona: 23 Hane: 11
Längd (cm)	20	19	19	20
Vikt (g)	100	86	92	90
Ålder (år)	3,9	3,6	3,1	4,0
CF (-)	1,1	1,1	1,1	1,0
LSI (-)	1,1	1,3	1,2	1,2
GSI-hanar* (-)	7,3	7,2	7,8	7,4
GSI-honor* (-)	3,04	3,6	3,5	3,6
Tillväxt (cm/år)	5,6	6,0	6,7	5,4

*endast köns mogna individer

Konditionsfaktor

I **Figur 4** förfaller den från övriga avvikande lokalen vara Råneå med avseende på fiskens kondition (konditionsfaktor, CF). Såväl spridning som medelvärde (svart horisontell linje) är snarlika vid närrecipienten och Byske, vilket indikerar att det inte föreligger någon störning i energinlagring.

Figurens högra del redovisar konfidensintervall framtagna utefter Tukey's test för multipla jämförelser. Bokstäverna visar testets resultat av inbördes signifikanta skillnader. Tolkningen är sådan att två lokaler märkta med olika bokstäver har signifikant skilda medelvärden. Samma bokstav innebär icke-signifikant skillnad. Slutsatsen blir därav att det inte föreligger signifikanta skillnader mellan närrecipienten och Byske (som båda är märkta med "c"), och att abborrarna därifrån har högst konditionsfaktor. Abborrarna vid Råneå hade signifikant lägst konditionsfaktor, följt av de i fjärrecipienten. Kritisk effektstorlek (CES), som för CF är på $\pm 10\%$ mellan recipient och referens, överskrids då närrecipienten jämförs mot Råneå, men inte mot Byske. Eftersom avvikelser inte var gentemot båda referenserna anses ingen störning som kräver uppföljning finnas.



Figur 4. Konditionsfaktor med test av lokalvisa skillnader. Svarta horisontella linjer avser medelvärden. De parvisa skillnaderna tolkas som att lokaler märkta med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

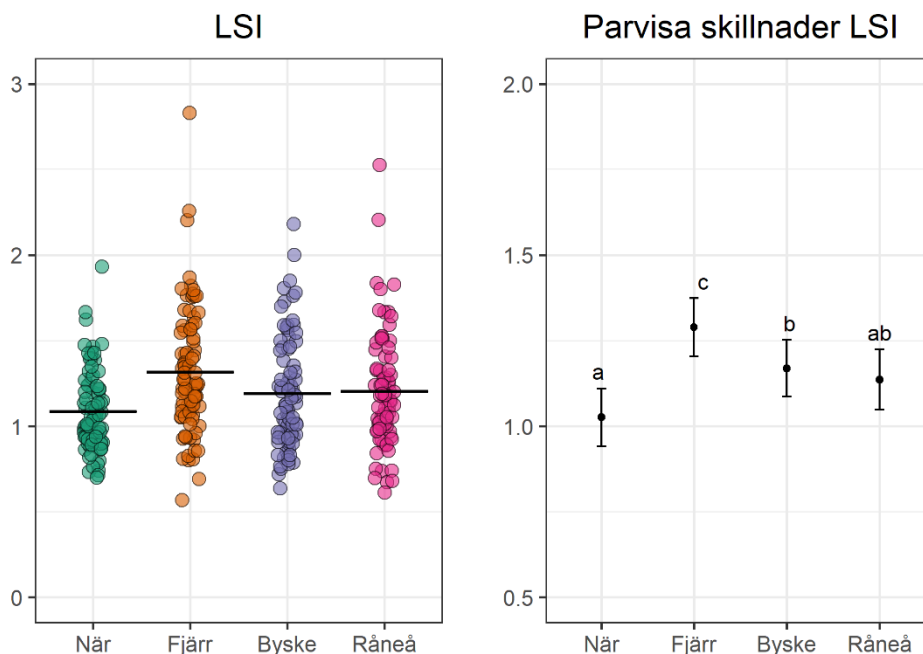
I Sangfors & Härdig (2011) noterades signifikant högst konditionsfaktor för abborren i närrecipienten och vid Byske (dock endast för honor), men de numeriska skillnaderna var små varför slutsatsen drogs att ingen störning förelåg. I ingen av studierna framkom alltså bevis för att fisken i recipienterna skulle ha avvikande kondition.

Leversomatiskt index (LSI)

För LSI noteras likartade medelvärden för de två referenserna (**fig. 5**). Fisken från fjärrecipienten hade högre medelvärde än de från referenserna, och fisken från närrecipienten hade lägre medelvärde än de båda referenserna.

Signifikanserna, märkta med bokstäver i figurens högra del tolkas som att fisken vid närrecipienten och Råneå har signifikant lägre LSI än övriga men att de inte kan särskiljas från varandra (eftersom båda dessa innehåller bokstaven "a" kan slutats om skillnad i populationsmedelvärde inte dras). Fisken vid fjärrecipienten hade signifikant högst LSI. Fisken vid närrecipienten hade signifikant lägre medelvärde av LSI än fisken vid Råneå.

Sammantaget, särskilt med tanke på att fisken vid både när- och fjärrecipient, som båda är exponerade för utsläpp från Rönnskärsverken avvek i olika riktningar jämfört med referenserna, tycks inte utsläpp från verket leda till avvikande leverstorlekar i abborren. CES, som för LSI är på $\pm 25\%$ mellan recipient och referens, överskreds inte.



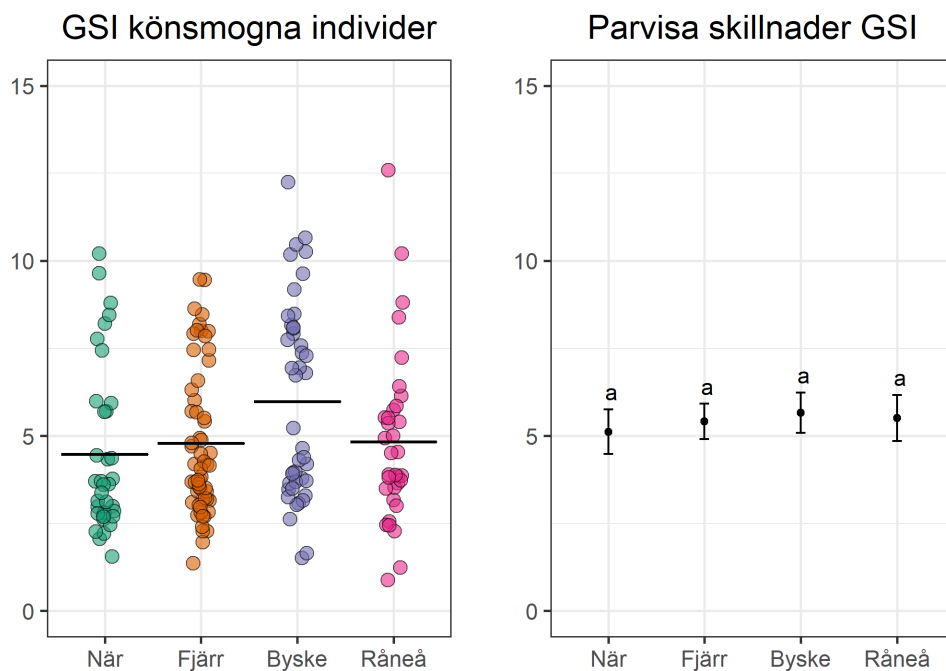
Figur 5. Leversomatiskt index (LSI) med test av lokalvisa skillnader. Svarta horisontella linjer avser medelvärden. De parvisa skillnaderna tolkas som att lokaler märkta med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

LSI visade inte på några signifikanta skillnader alls i Sangfors & Härdig (2011), medan abborren i föreliggande studie i närrecipienten hade signifikant lägre LSI än vid Byske, samt att abborren i fjärrecipienten hade signifikant högst LSI. Viss skillnad i statistisk styrka mellan de två undersökningarna kan dock föreligga (se avsnittet "Slutsatser och diskussion"). Mönstret i stickprovsmedelvärdena avseende LSI är dock snarlika mellan de två studierna, med lägst medel i närrecipienten.

Gonadsomatiskt index (GSI)

På grund av betydande biologiska skillnader avseende gonaderna vad gäller könsmogna och icke-könsmogna individer undersöks GSI endast för de individer som konstaterats vara könsmogna. För att ta skillnader mellan hanar och honor i beaktning användes kön som kontrollvariabel i regressionsmodellen.

I **Figur 6** högra del syns medelvärdena kompenserade för skillnader i könsfördelning samt signifikanstest för skillnader i dessa medelvärden. Inga signifikanta skillnader förelåg, vilket syns genom att alla lokaler är märkta med samma bokstav ("a").

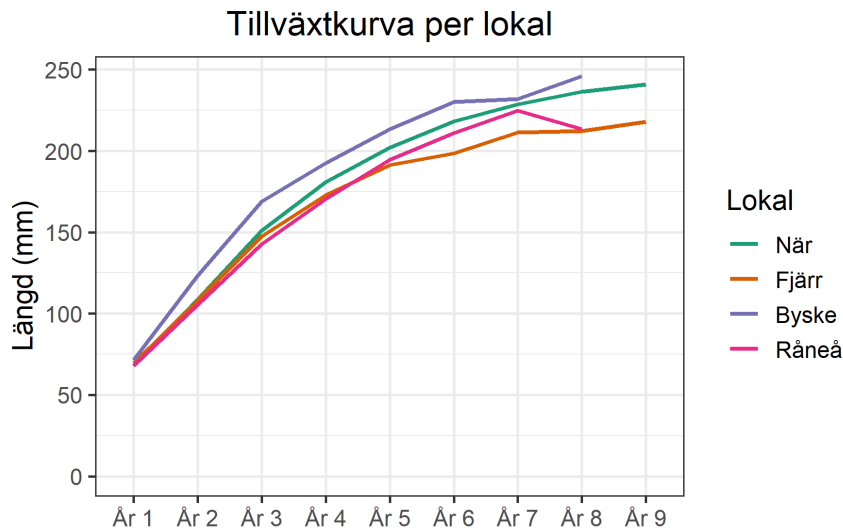


Figur 6. Gonadsomatiskt index (GSI) med test av lokalvisa skillnader. Svarta horisontella linjer avser medelvärden. De parvisa skillnaderna tolkas som att lokaler märkta med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

Det gonadsomatiska indexet (GSI) för de könsmogna honorna var i Sangfors & Härdig (2011) signifikant högre i när- och fjärrrecipient jämfört med de två referenserna. Slutsatsen var att ingen störning förelåg, eftersom gonadernas utveckling inte hämmats; alltså att GSI blivit lägre. I denna studie förelåg inga signifikanta skillnader mellan någon av lokalerna. Samma slutsats som i Sangfors & Härdig (2011) dras därför.

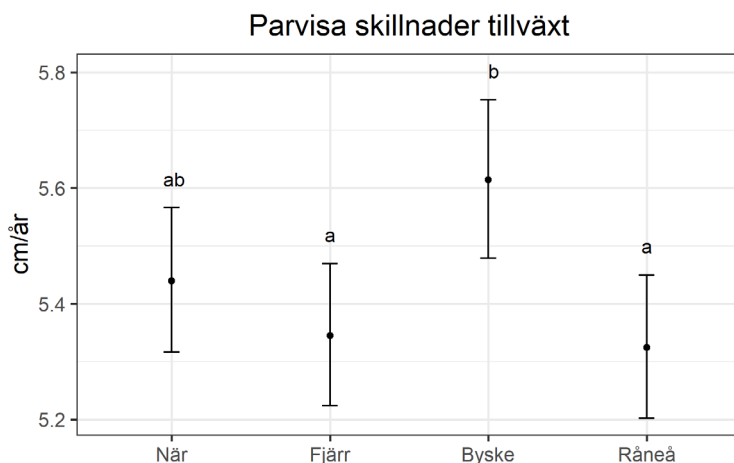
Tillväxt

Tillväxten har beräknats som fiskens längd (mm) dividerat med dess ålder (år). Tillbakaräkningen av gällock har dessutom tillhandahållit information om hur mycket varje individ växt per levnadsår. Den informationen ligger till grund för **Figur 7**. Den lokal som förefaller avvika från övriga, med högre tillväxthastighet, är Byske.



Figur 7. Genomsnittlig tillväxt (mm) per lokal för varje av fiskens levnadsår.

De parvisa skillnaderna (**fig.8**), estimerade utefter en linjär regressionsmodell som även kompenserar för åldersskillnader, eftersom tillväxthastigheten avtar ju äldre fisken blir (Waldetoft et al., 2020). Resultaten visar på att fisken i Byske hade signifikant högre tillväxthastighet än fisken i fjärrecipienten och Råneå, vilka inte hade några inbördes skillnader. Närrecipienten hamnar "mitt emellan" och kan inte särskiljas, i statistisk mening, från någon av de andra lokalerna.



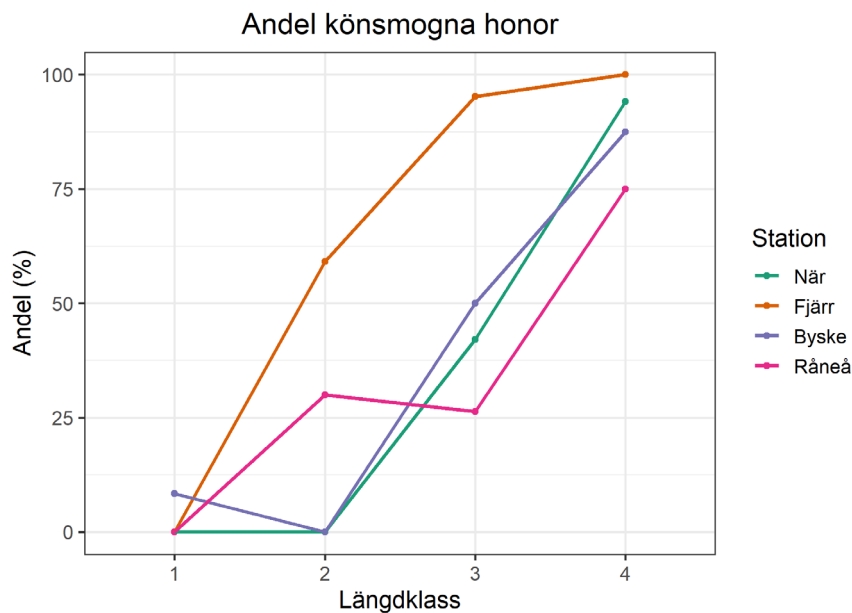
Figur 8. Parvisa skillnader i tillväxt, efter least square means och Tukey's post hoc-test. Lokaler märkta med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

I Sangfors & Härdig (2011) undersöktes tillväxten med materialet uppdelat per årsklasser. Tillväxten var något lägre för de treåriga individerna i närrecipienten jämfört med andra lokaler. I föreliggande rapport noterades alltså inte samma avvikelse för de treåriga individerna. Här syntes

likartad tillväxt över samtliga längdklasser (och därmed åldersklasser) för närrecipient, fjärrecipient och Råneå.

Könsmognad

Figur 9 redovisar andelen köns mogna honor uppdelat i längdintervallen: **1** (15,0-17,5 cm), **2** (17,5-20,0 cm), **3** (20,0-22,5 cm) och **4** (22,5-25,0 cm).



Figur 9. Andel (%) köns mogna honor per längdklass.

Den station med tydligast avvikelse från övriga var fjärrecipienten, där andelen köns mogna var högre än vid samtliga andra stationer i längdklasserna 2, 3 och 4. Det som inte talar för nedsatt köns mognad vid när- och fjärrecipienten är dels den höga andelen köns mogna vid fjärrecipienten, dels att kurvorna för närrecipienten och referensen Byske är väldigt snarlika. En störning skulle noteras genom lägre andel köns mogna honor vid när- och fjärrecipient.

Köns mognadsgraden undersöktes även för statistiskt signifikanta skillnader för längdklass 3 och 4 sammanslaget. Klasserna 1 och 2 uteslöts på grund av generellt sett väldigt låga andelar köns mogna individer. Testet bekräftar förningen som framkom av **Figur 9**. Köns mognaden i klass 3 och 4 var signifikant högst i fjärrecipienten, och de inbördes skillnaderna mellan de övriga stationerna var icke-signifikanta (**Tab.3**).

Tabell 3. Resultat av Chi-två test av andel könsmogna honor. Holm's korrigering har använts. Värdena avser p-värden. Signifikanta resultat har markerats i fetstilt.

Lokal/p-värde	När	Fjärr	Byske
Fjärr	0,042	-	-
Byske	1,0	0,034	-
Råneå	0,90	0,0024	1,0

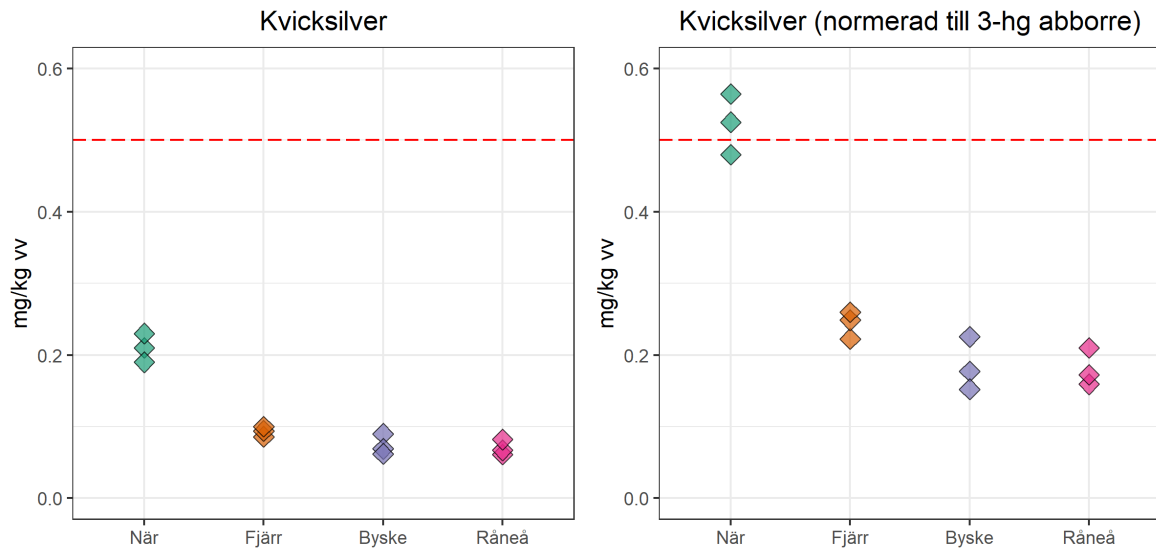
I Sangfors & Härdig (2011) kunde inte någon försenad könsmognad inte noteras vid stationerna närmast Rönnskärsverken. Så var även fallet i denna studie. Värt att kommentera är att könsmognadsgraden för honor i längdintervallet 17,5-22,5 i både undersökningarna var högst hos fisken från fjärrecipienten. Det tyder på att könsmognad inträffar något tidigare vid denna station.

Halter i vävnad

Metaller

Kvicksilverhalterna redovisas dels så som de uppmättes i fiskmuskeln, dels efter att ha normerats till fisk av konsumtionsstorlek. Normeringen utnyttjar kända samband mellan fiskens vikt och halt av kvicksilver, eftersom kvicksilver bioackumuleras, för att konvertera den uppmätta halten till att motsvara abborre av 3-hektos storlek (Sundbom et al., 2007). Normeringen ger därav en bättre uppfattning om halterna i fisk av ungefärlig konsumtionsstorlek. Snittvikten i samlingsproverna är 62 gram. I figuren (**fig.10**) har gränsvärdet för saluföring på 0,5 mg/kg vv markerats (EU, 2006). Samtliga tre mätningar från vardera station redovisas.

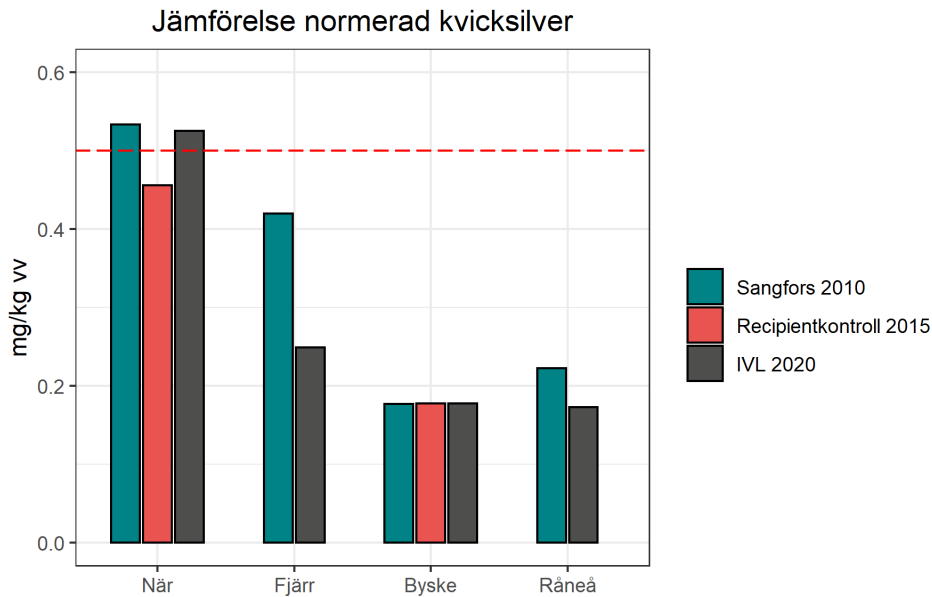
Det syns att halterna är förhöjda i abborren från närrecipienten samt att haltförhöjningen klingar av mot fjärrecipienten och de två referensområdena. När halterna normerades till att motsvara fisk av konsumtionsstorlek var kvicksilverhalten i abborren från närrecipienten i nivå med saluföringsgränsvärdet.



Figur 10. Uppmätta och till 3-hektos abborre normerade kvicksilverhalter.

Jämförelsen mot Sangfors & Härdig (2011) (**fig.11**) jämför normerade halter av deras mätning per station mot medianen av de tre mätningarna i föreliggande undersökning. Den stationsvisa variansen är dock låg för kvicksilver, vilket syns i **Figur 10**, så ett prov per station speglar sannolikt halten med relativt stor exakthet. Även mätningar från Rönnskärsverkens recipientkontrollprogram år 2015 är med som jämförelse i **Figur 11**. Samlingsproven i Sangfors & Härdig (2011) bestod av 10 individer vardera, medan recipientkontrollen analyserade 20 individer per lokal som individprov. I recipientkontrollen ingår inte fjärrrecipienten och Råneå som provtagningslokaler.

Jämfört mot Sangfors & Härdig (2011) syns att kvicksilverhaltens avklingning från närrecipient till referenserna var likartad för de två undersökningarna. Jämförelsen med Sangfors & Härdig (2010) samt recipientkontrollen 2015 indikerar också att kvicksilverhalten i abborren inte minskat över den senaste tioårsperioden, samt att halten i abborre av konsumtionsstorlek från närrecipienten är i ungefär samma storleksordning som gränsvärdet på 0,5 mg/kg vv.

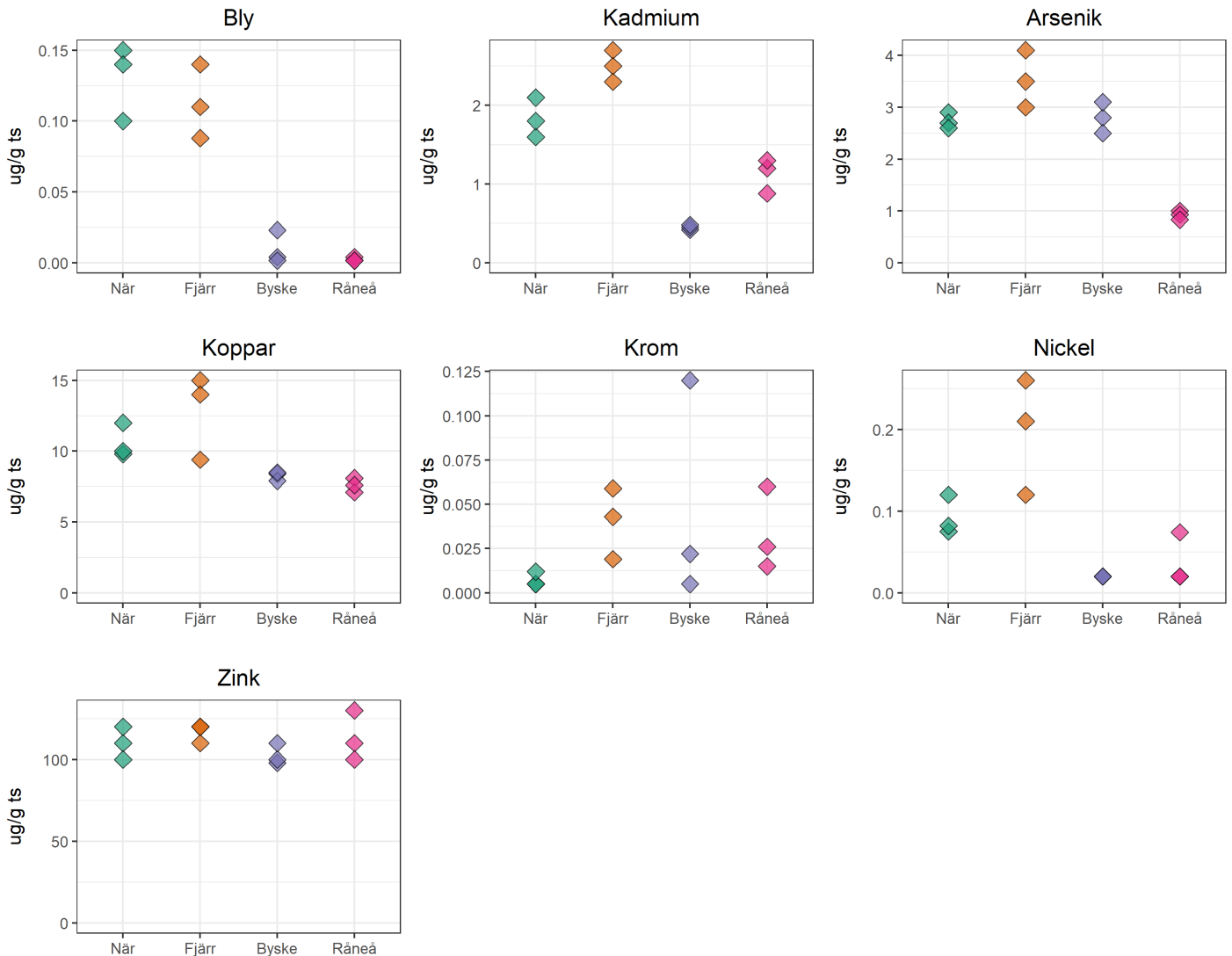


Figur 11. Jämförelse av normerade kvicksilverhalter i abborre mellan Sangfors & Härdig (2011), Rönnskärsverkens recipientkontroll och föreliggande undersökning. Sangfors & Härdig (2011) har en mätning per lokal, för IVL redovisas median av tre mätningar. Recipientkontrollen analyserade 20 individer separat. Median redovisas. Röd streckad linje anger saluföringsgränsvärdet på 0,5 mg/kg vv.

Bly- och kadmiumhalterna var högre i fisken från när- och fjärrecipienten (**fig.12**), vilket visar på en exponering av dessa ämnen från Rönnskärsverken. Arsenikhalten är förhöjd vid såväl när-, fjärr som Byske. Haltförhöjningen av arsenik vid Byske skulle eventuellt kunna förklaras av tidigare användning impregneringsmedel vid ett sågverk i området (Sangfors & Härdig, 2011).

Zink- och kopparhalterna är snarlika mellan samtliga stationer, något som till stor del kan förklaras av att dessa är essentiella ämnen; därav kan abborren själv reglera halten. Sambandet mellan exponering av koppar och zink och halten i fisk är därför svagt.

Kromhalten var i huvudsak snarlik mellan stationerna. Ett prov med avvikande höga halter noterades dock från Byske. Högst uppmätta nickelhalter var vid fjärrecipienten.

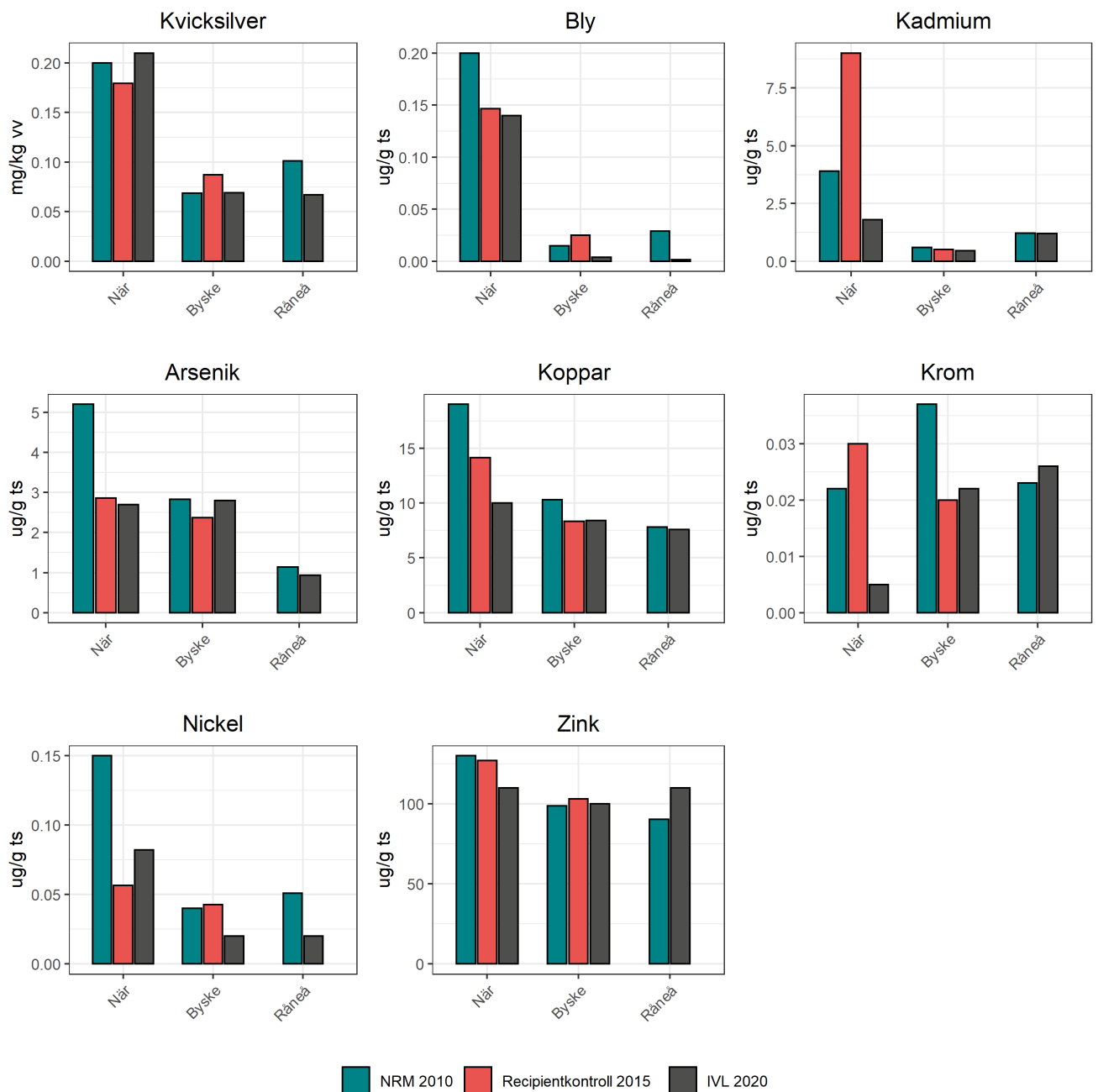


Figur 12. Halter av bly, kadmium, arsenik, koppar, krom, nickel och zink i abborre. Visar samtliga tre mätningar per lokal.

I Sangfors & Härdig (2011) analyserades alla metaller i fiskens muskel för att kunna göra jämförelser med EU:s gränsvärden för saluföring. I föreliggande undersökning analyserades samtliga metaller utom kvicksilver i fiskens lever, vilket är praxis inom svensk miljöövervakning. Det gör att eventuella gradienter går att jämföra mellan undersökningarna, men att de uppmätta metallhalterna (förutom kvicksilver) inte är jämförbara i och med att halterna normalt sett är mycket högre i lever än i muskel. I Sangfors & Härdig (2011) var samtliga analyser av bly, kadmium och nickel under analysmetodens detektionsgräns. Arsenik fanns bara i detekterbar halt vid Byske, där analysmetodens detektionsgräns tangerades. Även i föreliggande undersökning noterades högst arsenikhalt vid Byske. Zink och koppar var av likartad halt vid samtliga lokaler. Krom undersöktes inte i Sangfors & Härdig (2011). Krom har heller ingen koppling till verksamheten vid Rönnskärsverken.

I NRM:s undersökning från 2009 (Gustavsson & Danielsson, 2010) gjordes emellertid mätningar i levervävnad. Den studien undersökte miljögifter i abborre längs hela Norrlandskusten. Kallholmsfjärden (här kallad närrecipient), Byskefjärden och Rånefjärden var med bland de lokaler som provtogs för metaller. **Figur 13** visar metallhalter från NRM, föreliggande studie och

mätningar i närrecipient och Byske från Rönnskärsverkens recipientkontrollprogram. Staplarna över IVLs mätningar avser median av tre samlingsprov. Staplarna över mätningar från recipientkontrollen avser median av 20 individprover.



Figur 13. Jämförelse av metallhalter mellan undersökning av Naturhistoriska riksmuseet (Gustavsson & Danielsson 2010) recipientkontroll 2015 och föreliggande undersökning. Median av tre mätningar visas för IVLs mätningar.

I samtliga tre undersökningsomgångar var halterna av framförallt kvicksilver och bly förhöjda vid närrecipienten. Kadmiumhalten var avvikande hög i närrecipienten i recipientkontrollen 2015, vilket troligen berodde på ett kadmiumläckage från en äldre lagerplats. Detta upptäcktes 2012 och åtgärdades genom att det förorenade grundvattnet pumpades för rening till ett av Rönnskärsverkens reningsverk. Kromhalten var avvikande låg i närrecipienten i föreliggande

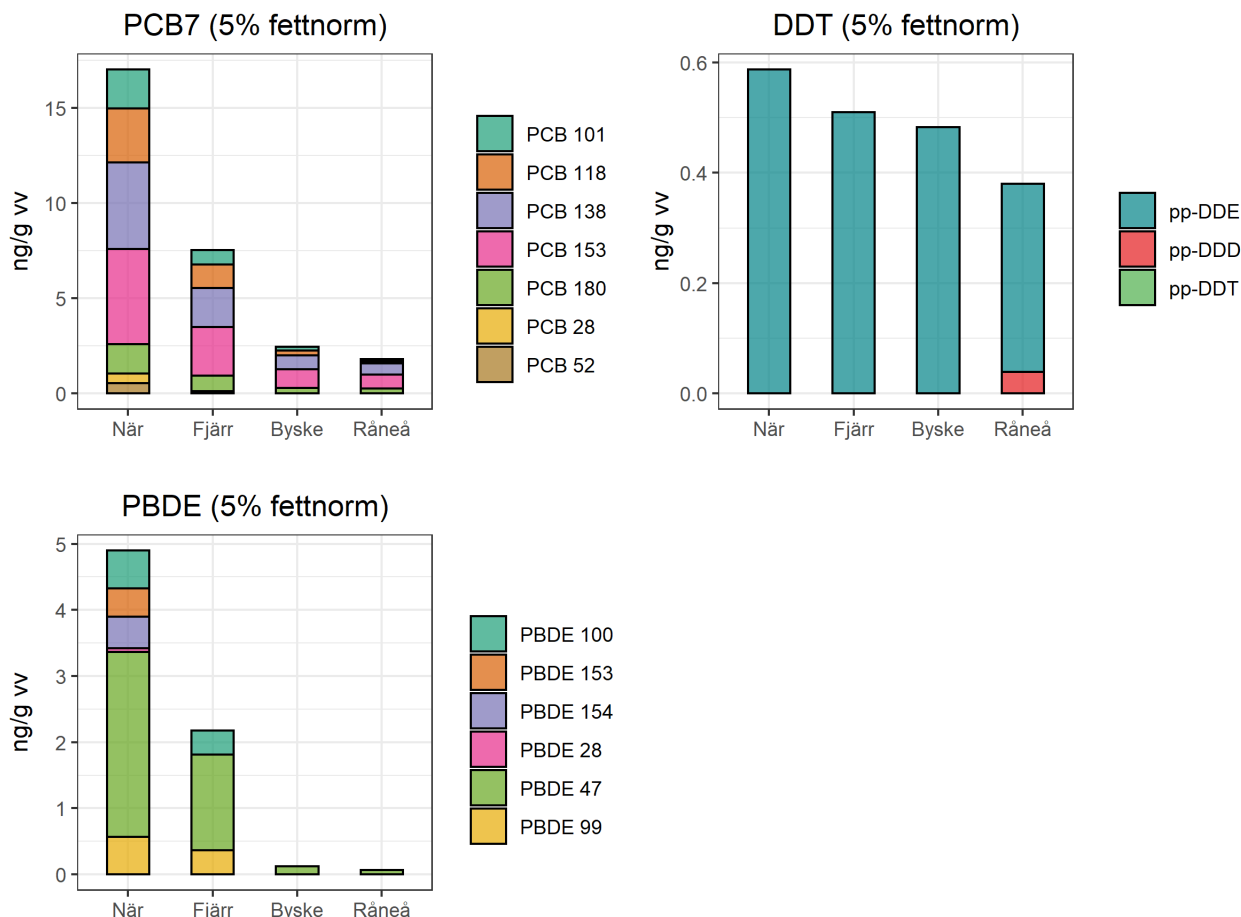
undersökning, och som nämndes ovan är krom inte en metall förknippad med utsläpp från Rönnskärsverken. En viss antydning om att en haltminskning av kadmium, arsenik, nickel och bly skett i abborren i Kallholmsfjärden under den tioårsperiod som förflutit mellan undersökningarna finns. Bland de essentiella metallerna koppar och zink var kopparhalten lägst i närrecipienten i IVLs studie medan zinkhalterna var snarlika i samtliga undersökningar. Den lägre kopparhalten tolkas inte som en exponeringsminskning just i och med att ämnet är essentiellt.

Organiska föreningar

Här redovisas halter av de organiska föreningar som undersökts. Halterna har normerats till att motsvara fisk av 5% fetthalt, utifrån en typisk fetthalt på 0,8%, i enlighet med Waldetoft et al., 2020. Detta innebär att den halt som uppmätts har multiplicerats med en faktor $5/0,8=6,3$. Normering till 5% fetthalt innebär ökad möjlighet för jämförelse mellan olika arter (EU, 2014) och rekommenderas i en vägledning från HaV (2016). Vid länsstyrelsernas senaste inrapportering av underlag för statusklassificering av Sveriges vattenförekomster har denna princip tillämpats. Att använda en typisk fetthalt vid normering istället för varje samlingsprovs uppmätta halt valdes vid normeringen för att minimera påverkan från mätosäkerhet i den kemiska analysen, vilken annars får stor påverkan på konverteringsfaktor. Denna ansats är inte allmänt vedertagen men har förankrats med Naturhistoriska riksmuseet som ansvarar för den nationella miljöövervakningen av fisk. **Figur 14** visar median av tre mätningar och **Figur 15** visar samtliga tre mätningar. Halter under analysmetodens rapporteringsgräns har antagits till noll.

För alla de undersökta föreningarna, eller summering av föreningar i samma ämnesgrupp, syns tydliga gradienter, med minskande halter på ökande avstånd från Rönnskärsverken.

För PCB₇ var kongensammansättningen (kongen=variant) vid varje station snarlik. Det huvudsakliga bidraget till totalhalten utgjordes av de tre kongenerna PCB 118, PCB 138 och PCB 153. För DDT utgjordes den dominerande andelen av p,p- DDE, som är en av de huvudsakliga nedbrytningsprodukterna av DDT. p,p-DDD, en annan nedbrytningsprodukt, var av detekterbar halt i abborren från Råneå. Totalhalten PBDE dominerades av kongenen PBDE 47, men vid närrecipienten var samtliga undersökta kongener av detekterbar nivå.

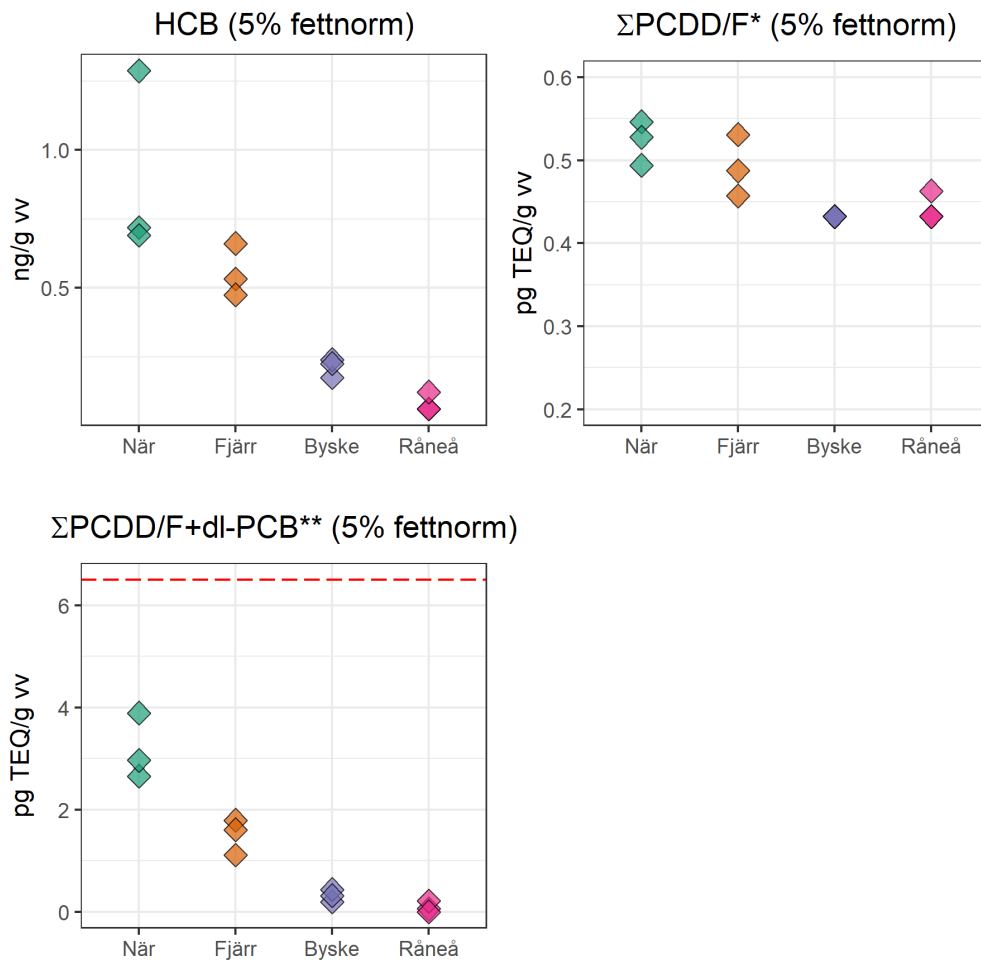


Figur 14. Median av tre mätningar av PCB7, BBDE och DDT.

För HCB (fig. 15) finns ett gränsvärde för kemisk status på 10 ng/g vv. Halten vid samtliga stationer underskrider denna gräns med stor marginal. Gränsvärdena för saluföring inom EU för PCDD/Fs är 3,5 respektive 6,5 pg TEQ/g vv då dioxinlika PCB (dl-PCB) inräknas. För Σ PCDD/F syns en viss gradient med avtagande halter, och gränsvärdet underskrids med god marginal (själva gränsvärdet visas inte i figuren då det hade försämrat läsbarheten, vilket även gäller för HCB). Halterna av Σ PCDD/F+dl-PCB visar på en än tydligare gradient, och nivåerna i närrecipienten är ungefär halva gränsvärdet.

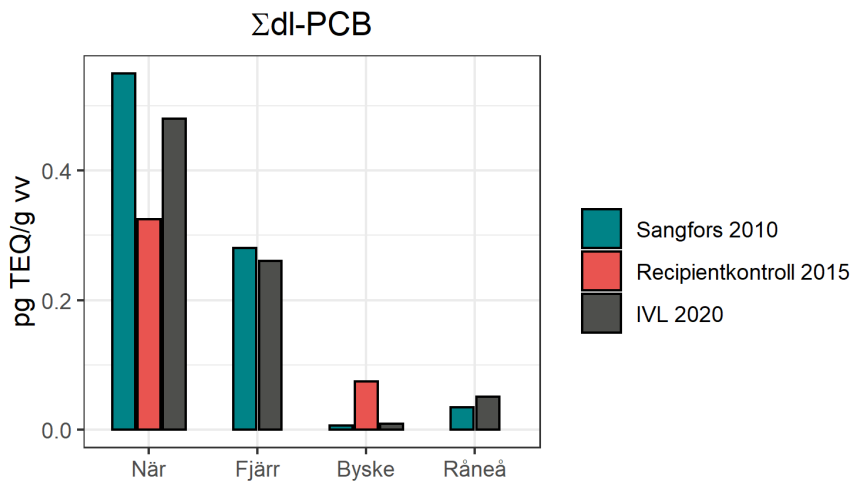
För ämnesgruppen PCDD/F var det endast i abborren från när- och fjärrecipient som det förekom detekterbar halt och denna bestod endast av kongenen 2,3,7,8-tetraCDF. Figuren redovisar halten på *medium bound* (kongener med halt under detekterbar nivå har satts till halva detektionsgränsen). Valet av *medium bound* grundar sig i att *lower bound* i kombination med fettnormering hade förstärkt skillnaderna mellan lokaler utan detekterbara halter och de med detekterbara halter orimligt mycket, eftersom halter lika med noll kvarstår vid noll efter multiplicering med konstanten för fettnormering, medan detekterbara halter blir ca 6 ggr högre. Vid Råneå avviker en punkt från de två övriga. Detta beror på att en mätning haft en något högre detektionsgräns. Generell är halterna av PCDD/F låga, vilket gör att eventuella tydligare föroreningsgradienter döljs av att analysmetoden inte kan detektera så låga halter. Dioxinlika PCB förekommer över detektionsgränserna vilket leder till att skillnaderna mellan recipient- och referenslokaler blir

tydligare när denna ämnesgrupp räknas med (redovisas därav som *lower bound*).



Figur 15. Mätningar av hexaklorbensen (HCB), dioxiner och furaner (PCDD/Fs) samt med dioxinlika-PCB adderade. *medium bound. **lower bound. Röd linje markerar gränsvärdet för kemisk status, tillika saluföringsgränsvärde, på 6,5 pg TEQ/g vv. För enbart ΣPCDD/F gäller saluföringsgränsvärde på 3,5 pg TEQ/g vv (ej markerat i figuren).

I Sangfors & Härdig (2011) analyserades PCDD/Fs, dioxinlika-PCB och PBDE, men inte HCB och DDT. **Figur 16** visar inte på någon tydlig minskning av dl-PCB i abborre under det senaste decenniet. De skillnader som syns kan till stor del bero på osäkerhet kopplat till kemisk analys och provtagning, inte faktiska haltförändringar. Det är orimligt att halten dl-PCB i abborren från Byske skulle öka flerfaldigt för att sedan sjunka igen. Just på grund den påverkan som laboratoriernas olika detektionsgränser får när halterna är så låga, vilket de var för PCDD/Fs, jämförs inte PCDD/F mellan undersökningarna. Ämnesgruppen PBDE är svåranalyserad, med betydande mätfel och möjliga systematiska skillnader mellan olika laboratorier, vilket får stor betydelse när endast två mätomgångar jämförs. Därav kan skillnader bero på andra faktorer än faktiska förändringar av halter i fisken. Av denna anledning görs ingen jämförelse av PBDE-halter.



Figur 16. Jämförelse av dioxinlika-PCB (pg TEQ/g vv) i abborre mellan Sangfors & Härdig (2011), IVL:s undersökning 2020 och Rönnskärsvetens recipientkontroll 2015. Sangfors & Härdig (2011) har en mätning per lokal, för IVL redovisas medianen av tre mätningar. Halter angivna som lower bound. För recipientkontrollen visas medel av två samlingsprov per lokal.

Jämförelse mot andra svenska recipient och referenslokaler

Här jämförs halter av miljöstörande ämnen i fisken från Rönnskär mot ett urval av lokalerna i Waldetoft et al, (2020). Lokalerna från kontrollprogrammet för fibersediment (**Fig.17**) är i figurerna sorterade utifrån nord-sydlig position. Kategorin "recipienter" innebär att stationen är recipient till skogsindustri, alternativt ett storstadsområde (Beckholmen i centrala Stockholm).

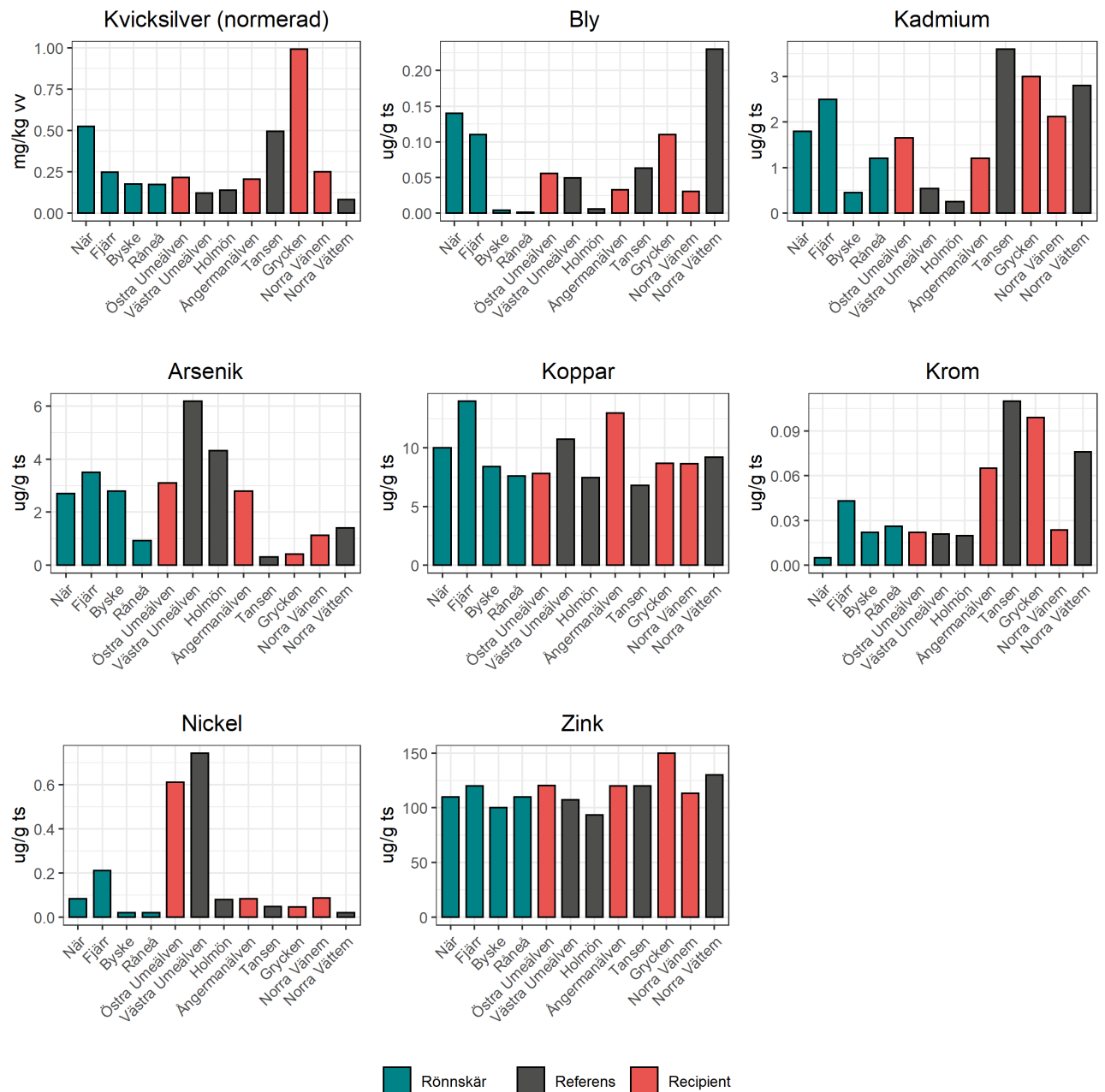
Stationerna är ett urval som speglar förekomst av miljöstörande ämnen i abborre (15-20 cm) i referenser och recipienter till pappers- och massaindustri i kustområden (Obbola, Holmön, Väja), större insjöar (Bastedalen, Gruvön) och mindre insjöar (Grycksbo). Samtliga halter redovisas normerade till att motsvara fisk med 5% fetthalt, utefter en typisk fetthalt i abborre på 0,8%. Halten av PCDD/Fs redovisas inte, utifrån tidigare för resonemang om detektionsgränsernas inverkan på jämförbarheten när halterna är låga. I **Figur 18** och **19** är "Västra- och Östra Umeälven" lokaler vid Obbola. "Ångermanälven" är recipient vid Väja pappersbruk. Tansen och Grycken är sjöar vid Grycksbo pappersbruk. "Norra Vätern" avser recipientlokal vid Gruvöns pappersbruk och "Norra Vättern" avser referenslokal vid Aspa bruk. Holmön är en referenslokal.

Utöver jämförelsen av förekomst av organiska föreningar och miljöstörande ämnen studeras metodiken som används i föreliggande undersökning, nämligen att samla in 30 individer per lokal i längdintervallen 15-20 cm och 20-25 cm, mot då ett betydligt större material utvärderas. Denna utvärdering kunde inte göras på fisken insamlad kring Rönnskärsvetken, eftersom det större materialet att jämföra mot inte finns. Istället har jämförelsen gjorts utifrån tillgång till ett stort material från ett antal fjällnära sjöar i Norrbotten och ett antal sjöar i Mälardalen.



Figur 17. Recipient- och referenslokaler som det gjorts jämförelser mot. Från Waldetoft et al. (2020).

Metaller



Figur 18. Jämförelse av metallhalter från föreliggande undersökning med ett urval av lokaler från Waldetoft et al (2020).

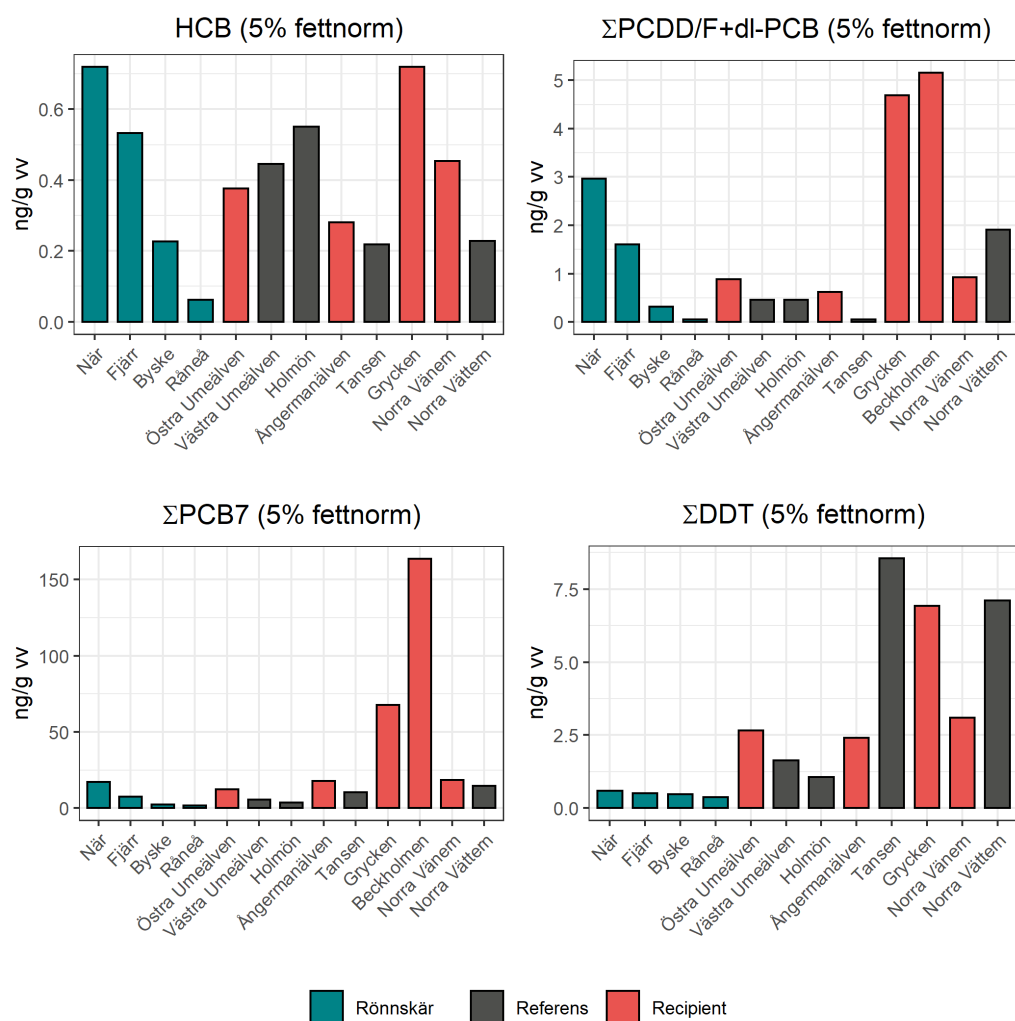
Kvicksilverhalten i abborren från närrecipienten är högre än vid flertalet skogsindustrirecipienter (fig.18). Halten var i nivå med referenssjön Tansen och lägre än recipientsjön Grycken. Dessa lokaler är dock näringsfattiga skogsjöar; en miljötyp med i allmänhet höga kvicksilverhalter i fisk.

Koppar- och zinkhalterna var i samma storleksordning vid alla lokaler, vilket kan förväntas i och med att fisken själv kan reglera dessa essentiella ämnen. Halterna av bly var förhöjda utanför Rönnskårsverken, dock inte till samma nivå som uppmäts i norra Vättern där historisk gruvbrytning vid Zinkgruvan är en källa till metallförsel. Även kadmiumhalterna var förhöjda i Rönnskårsrecipienten, dock ej till samma nivåer som i Grycksborerecipienten som är påverkad av

historisk gruvbrytning i Falu gruva och likaledes norra Vättern. Generellt sett är kadmiumhalter högre i inlandsvatten jämfört med brackvatten till följd av att kadmiums biotillgänglighet minskar med ökande kloridkoncentrationer. Något förvånande givet den utsläppshistorik som föreligger vid Rönnskårsverken avseende arsenik, var inte arsenikhalterna i recipienten påtagligt höga jämfört mot andra recipient- och referenslokaler och lägre än vad som uppmäts i Umeälvsdeltat. Uppenbarligen spelar den mineralisering av arsenik som föreligger i Västerbottenregionens berggrund roll för arsenikhalter på flera platser längs kusten.

Organiska föreningar

Sett till halterna i både andra recipienter och referenslokaler förefaller halterna av DDT i abborren i havsområdena vid Rönnskär vara låga (**fig.19**). Halterna av PCDD/Fs och dioxinlika-PCB vid när- och fjärrecipienten i föreliggande undersökning är att anse förhöjda i relation till andra referensområden, såsom Östra Umeälven, Holmön och Tansen. Sett till andra recipienter är halterna i när- och fjärrecipienten varken avvikande låga eller höga. För PCB₇ är halterna i nivå med recipienter vid Umeälven, Ångermanälven och i Väneren. Abborren från Grycken och Beckholmen avviker med högre halter. Halterna av HCB i när- och fjärrecipienten är i ungefär samma storleksordning som vid skogsindustrirecipienter.



Figur 19. Halter, normerade till 5% fetthalt, från föreliggande studie samt från ett antal recipient- och referenslokaler från Waldetoft et al (2020).

Jämförelse av metodikval – Norrbotten

Under hösten 2020 insamlades ett stort antal abborrar i tre sjöar Norrbotten för att undersöka eventuell påverkan på fiskhälsa från gruvverksamhet (Sandström och Grahn, 2021). De morfologiska variablerna CF, LSI, GSI, könsmognad och tillväxt undersöktes i det insamlade materialet (**tab.4**).

Tabell 4. Totalt antal individer per längdintervall från de tre sjöarna.

Längdklass (cm)	Referens	Närrecipient	Fjärrecipient
15-20	14	46	21
20-25	12	5	178
25-30	90	181	38
30-35	55	44	33
>35	3	2	1
summa	174	278	271

De slutsatser som drogs i utvärderingen av totalmaterialet var:

- Signifikant högre konditionsfaktor i recipientsjöarna jämfört med referensen för båda könen. Ingen signifikant skillnad mellan när och fjärr.
- Signifikant högre LSI för könsmogna honor, icke-könsmogna och könsmogna hanar men inte icke-könsmogna honor i recipienterna jämfört med referensen.
- Signifikant lägre GSI i icke-könsmogna honor från fjärrecipienten jämfört med icke-könsmogna honor från referensen. Signifikant lägre GSI i könsmogna honor och hanar i när och fjärr jämfört med könsmogna honor och hanar i referensen. Antalet icke-könsmogna hanar var för litet för statistisk jämförelse.
- Snabbare tillväxt i när och fjärr jämfört med referensen.

Den övergripande slutsatsen var att resultaten tyder på en störning i fiskhälsa i recipienterna. Könsmognadsgraden kunde inte utredas tillfredställande i och med en allmänt försenad könsmognad i samtliga sjöar. Beräkningarna genomfördes uppdelat efter längdklass, kön och könsmognad. Jämförelse mot CES gjordes inte.

Det föreslagna kontrollprogrammet i Waldetoft et al. (2020) rekommenderar insamling av 30 individer i längdintervallet 15-20 cm från varje lokal samt 30 individer i längdintervallet 20-25 cm från varje lokal. För att jämföra resultaten då endast dessa längdklasser används, jämfört mot ett större material valdes endast individer i längdintervallet 15-25 cm ut för statistisk analys. Vid fjärrecipienten, som hade 178 individer i spannet 20-25 cm slumpades 30 individer ut. Materialet efter urvalet redovisas i **Tabell 5**.

Tabell 5. Antal individer 15-25 cm till grund för jämförelse mot totalmaterialet.

Längdklass (cm)	Referens	Närrecipient	Fjärrecipient
15-20	14	46	22
20-25	12	5	30
Summa	26	51	52

Sett till det föreslagna kontrollprogrammet var detta material mindre än det rekommenderade, särskilt antalet individer mellan 20-25 cm. På materialet i **Tabell 5** applicerades de statistiska metoder som framtagits i Waldetoft et al, (2020). I och med att jämförelse mot CES inte gjorts vid analysen av totalmaterialet, fokuserar jämförelsen av de två metoderna endast på statistiska signifikanser.

Resultaten var:

- Signifikant högre konditionsfaktor i när- och fjärrecipient jämfört med referensen. Dock små numeriska skillnader mellan referens och närrecipient.
- Signifikant högre LSI i fjärrecipient jämfört med referens. Ingen signifikant skillnad mellan när- och fjärrecipient.
- GSI och könsognad kunde inte undersökas på grund av för få individer i längdspannet 20-25 cm samt allmänt försenad könsognad. Antalet köns mogna individer var därav för litet.
- Signifikant högre tillväxt i när- och fjärrecipient jämfört med referens.

Tabell 6 sammanfattar resultaten för de två olika metoderna. Det syns att överlag var signifikanserna av de morfologiska indexen samma i de båda fallen. Den övergripande slutsatsen utifrån analysen av det mindre materialet är därmed likalydande med slutsatsen från analysen av totalmaterialet, nämligen att indikation på störning i fiskhälsa i recipientlokalerna finns.

Sammantaget pekar jämförelsen mot att insamling i enlighet med den föreslagna metodiken leder till samma övergripande slutsatser som analys av ett betydligt större material i fler längdklasser skulle ge. Könsognad kunde dock inte jämföras mellan de olika metodikerna på grund av att totalmaterialet inte uppfyllde det rekommenderade antalet individer mellan 20-25 cm, samt att könsognaden i dessa nordliga fjällsjöar allmänt verkar inträffa senare än i övriga delar av landet.

Tabell 6. Summering av signifikanta skillnader i hälsoparameterar i fisk från tre fjällnära sjöar i Norrbotten i de fall ett stort material undersöks jämfört med ett mindre material av individer 15-25 cm, enligt föreslagen metodik.

Parameter	Totalmaterial	Föreslagen metod
CF	Recipienter avviker (högre CF)	Recipienter avviker (högre CF)
LSI	Recipienter avviker (högre LSI)	Fjärren avviker (högre LSI)
GSI	Recipienter avviker (lägre GSI)	Kunde inte undersökas pga litet underlag 15-25 cm och försenad könsognad
Könsognad	Kunde inte undersökas pga allmänt försenad könsognad	Kunde inte undersökas pga allmänt försenad könsognad
Tillväxt	Recipienter avviker (snabbare tillväxt)	Recipienter avviker (snabbare tillväxt)

Jämförelse av metodikval – Mälardalen

Under hösten 2016 insamlades abborre från tre näringsrika sjöar i Mälardalen för att undersöka eventuell påverkan på fiskhälsan av tidigare utsläpp av framför allt dioxin och PCB (Sandström & Abrahamsson, 2017). De morfologiska variablerna CF, LSI, GSI, könsmognad och tillväxt undersöktes i det insamlade materialet (**tab.7**). I och med att jämförelse mot CES inte gjorts vid analysen av totalmaterialet, fokuserar jämförelsen av de två metoderna endast på statistiska signifikanser.

Tabell 7. Totalt antal individer per längdintervall från de tre sjöarna.

Längdklass (cm)	Närrecipient	Fjärrecipient	Referens
10-15	82	14	87
15-20	31	47	49
20-25	27	34	21
25-30	41	29	12
>30	28	25	5
summa	209	149	174

De slutsatser som drogs vid utvärderingen av totalmaterialet var:

- Signifikant högre konditionsfaktor för könsmogna honor i recipienterna jämfört med referensen. Högst medelvärde i fjärren.
- Signifikant lägre LSI i närrecipient för icke-könsmogna och könsmogna honor jämfört med referensen. Signifikant lägre LSI i fjärren för könsmogna honor jämfört med referensen.
- Inga signifikanta skillnader i tillväxt mellan lokalerna.
- Inga signifikanta skillnader i GSI för de könsmogna honorna. Signifikant högre GSI för hanarna i när- jämfört med fjärrecipient. Hanarna från referensen var för få för analys.
- Signifikant senare könsmognad i närrecipient jämfört med referens för en av längdklasserna och åldersklasserna (nio längdklasser och sju åldersklasser undersöktes). Signifikant senare könsmognad i fjärren jämfört med både närrecipient och referens.

Den sammanvägda bedömningen var att mönstret i de signifikanta avvikelserna inte var tolkningsbart. De avvikelser som noterades mellan fjärren och referensen men inte närrecipient och referensen, samt den avvikande könsmognaden i fjärren, visade på att fjärren avviker på ett sätt som gör tolkningar tveksamma. Den signifikanta avvikelserna i LSI tillmättes inte stor betydelse i och med att de numeriska skillnaderna ansågs vara små. För GSI tolkades resultaten som en svag indikation på störning, och att denna indikation bör tolkas försiktigt.

På materialet i **Tabell 8** applicerades de statistiska metoder som framtagits i Waldetoft et al. (2020). Inget slumpmässigt urval gjordes i det fall en längdklass vid en lokal innehållit mer än de föreslagna 30 individerna. Anledningen är att hela materialet i 15-25 cm är att anse ett fullt rimligt utfall vid fiskinsamling enligt föreslagen metodik.

Tabell 8. Antal individer 15-25 cm till grund för jämförelse mot totalmaterialet.

Längdklass (cm)	Närrecipient	Fjärrecipient	Referens
15-20	31	47	49
20-25	27	34	21
summa	58	81	70

Resultaten var:

- signifikant högre CF i fjärren än i referensen. Ingen signifikant skillnad mellan närrecipient och referens, inte heller recipienterna emellan.
- signifikant lägre LSI i recipientlokalerna än i referensen. Ingen signifikant inbördes skillnad mellan recipienterna. Ej obetydliga numeriska skillnader.
- Inga signifikanta skillnader i GSI.
- signifikant högre tillväxt i fjärr jämfört med referens samt signifikant högre i närrecipient jämfört med fjärr. De numeriska skillnaderna var dock små.
- Signifikant försenad (lägre) könsmodnad i fjärren jämfört med de andra lokalerna. Ingen inbördes skillnad mellan närrecipient och referens.

Vid analys av endast fisk 15-25 cm enligt föreslagen metod framkom stora likheter med analysen av totalmaterialet (**tab.9**). För könsmodnadsgraden var fjärren den avvikande lokalen, med senare könsmodnad i båda fallen. Störst avvikelse i konditionsfaktor var även mellan fjärr och referens i båda fallen. Vid analys av totalmaterialet tolkades resultaten av GSI som en svag indikation på störning, medan analys av 15-25 cm fisk inte gav indikation av störning. Tillväxten visade på signifikant skillnad vid analys av fisk 15-25 cm men de numeriska skillnaderna var så små att det inte tolkas som en störning. Vid analys av totalmaterialet noterades inga avvikelser i tillväxt.

För LSI var de signifikanserna lika vid analys av totalmaterial och analys av fisk 15-25 cm. Den numeriska skillnaden ansågs dock vara liten i den analys som gjordes av totalmaterialet medan den tolkades vara av mer betydande storlek vid analys av fisk 15-25 cm.

Sammantaget gav de båda analyserna svårtolkade resultat, i och med att den främst avvikande lokalen var fjärrecipienten. Vid analys av totalmaterialet tolkades resultaten som en svag indikation på störning i fortplantning (GSI och könsmodnad) i närrecipienten, medan analys av totalmaterialet snarare pekade mot en störning i LSI. Metodikerna skiljer sig dock i hänseendet att analys av totalmaterialet gjort tester uppdelat på längdklasser, kön, och könsmodnad medan den föreslagna metodiken kontrollerat för dessa skillnader i regressionsmodellen, vilket nämndes i stycket om sjöarna i Norrbotten. Mot bakgrund av de skillnader det medför anses den föreslagna metodiken fungera väl.

Tabell 9. Summering av signifikanta skillnader i hälsoparameterar i fisk från tre sjöar i Mälardalen i de fall ett stort material undersöks jämfört med ett mindre material av individer 15-25 cm, enligt föreslagen metodik.

Parameter	Totalmaterial	Föreslagen metod
CF	Fjärr avviker (hög CF)	Fjärr avviker (hög CF)
LSI	När och fjärr avviker (lägre LSI)	När och fjärr avviker (lägre LSI)
GSI	Inga skillnader (för könsmogna honor)	Inga skillnader
Könsmognad	Fjärr avviker (sen könsmognad)	Fjärr avviker (sen könsmognad)
Tillväxt	Inga skillnader	Fjärren avviker (snabbare tillväxt)

Diskussion

Under 2020 inleddes ett anläggningsarbete i hamnen vid Rönnskär, innefattande muddring av ytsediment. Sprängstensvall fylldes med muddermassorna, men tätskikt och vattenrening användes. När provtagningen för denna undersökning genomfördes rapporterade Rönnskärsverken att de inte märkt nämnvärt förhöjda metallhalter i kylvattenintagen i samband med muddringen, och Skellefteå kommuns mätningar visade på låga halter av suspenderade ämnen. Mot den bakgrunden anses inte anläggningsarbetet ha haft någon betydande påverkan på resultaten i denna undersökning. Större delen av de ämnen som undersökts i fisken är dessutom av sådan karaktär att de ansamlats i fisken under hela livstiden.

Ett av huvudsyftena med denna undersökning var att testa metodiken för recipientundersökningar utanför skogsindustrier framtagen i Waldetoft et al. (2020) även i recipienter till metallindustri. Metodiken i Waldetoft et al. (2020) kompletterades till denna undersökning med insamling även av individer mellan 20-25 cm, för bättre bedömning av gonader och könsmognad. En av slutsatserna i Waldetoft et al. (2020) var att fisk endast i intervallet 15-20 cm ofta resulterar i ett för litet material för bedömning av fiskens könsmognad och gonadutveckling.

Utfallet avseende den statistiska utvärderingen av de morfologiska indexen var positivt; ett stort nog material erhöles för statistisk utvärdering av fiskens kondition (CF), leversomatiska index (LSI), gonadsomatiska index (GSI), tillväxt och könsmognad. Jämförelse mellan lokalerna avseende dessa morfologiska index visade inte på nedsatt fiskhälsa vid när- och fjärrecipienterna Kallholmsfjärden och Olsgrundet, jämfört med referensområdena Byske och Rånefjärden. Statistiskt signifikanta skillnader förekom i vissa fall mellan recipient- och referenslokaler, men dessa kunde inte tolkas som avvikelser i fiskhälsa. Exempelvis, för konditionsfaktorn, förelåg signifikant skillnad mellan närrecipient och Råneå, men inte mellan närrecipient och Byske. Dessutom var skillnaden mellan Råneå och Byske signifikant och den numeriska skillnaden var ungefär lika stor som mellan Råneå och närrecipient. Det leder till tolkningen att den signifikanta skillnaden mellan närrecipient och Råneå ligger inom det spann av naturlig variation som även kan förekomma mellan två referenslokaler. Detta visar på hur användandet av två referenser kan underlätta tolkning av resultaten.

Ett antal stabila organiska föreningar undersöktes också. Dessa var dioxiner, PCB, hexaklorbensen (HCB), DDT (och dess nedbrytningsprodukter DDE och DDE) och PBDE. I Waldetoft et al. (2020) ingick inte PBDE i de analyserade ämnena men denna ämnesgrupp lades till i föreliggande undersökning i och med att återvinning av elektronikskrot sker vid Rönnskärsverken. Resultaten visade på en tydlig exponeringsgradient av de organiska föreningarna med högst halter i abborren från närrecipienten, lägre halter vid fjärrecipienten och lägst vid referenserna. Hur halterna av stabila organiska föreningar förändrats över tid är det däremot svårt att uttala sig om. Ett fåtal tillgängliga mätningar utförda av olika laboratorier, med stor variation i detektionsgränser i de olika analysomgångarna gör att inga slutsatser om tidstrender dras. Fortsatta regelbundna mätningar, helst analyserade av ett och samma laboratorium, kan tydligare belysa detta framöver.

Av de metaller som undersöktes var det främst bly och kvicksilver som var tydligt högre i fisken från recipientlokalerna än referenslokalerna. Detta konstaterades vara fallet även i den senaste miljökonsekvensbeskrivningen som genomfördes (Lindeström et al., 2009). Kviksilverhalten i abborre verkar, utifrån jämförelse av storleksnormerade halter, inte ha förändrats under det senaste decenniet. Blyhalterna i abborren i närrecipienten har möjligtvis sjunkit något, men fortsatta provtagningar får belysa den frågan tydligare.

Ett annat syfte med metodiken framtagen i Waldetoft et al. (2020) var att kunna ringa in storleken av ett eventuellt påverkansområde. Detta görs genom att samla in fisk inte bara i direkt närhet till utsläppskällan utan även en vid en lokal längre bort, så kallad fjärrecipient, där fisken alltså men i mindre grad är exponerad för utsläppskällan. Vid undersökning av de organiska föreningarna DDT, HCB, PBDE, PCB och dioxiner noterades tydliga föroreningsgradienter i fisken. Halterna var högst i fisken från närrecipienten (Kallholmsfjärden), något lägre vid fjärrecipienten (Olsgrundet) och lägst vid referensområdena. Detta visar på att metodiken kan ge en uppfattning om hur halterna i fisk klingar av med ökande avstånd från utsläppspunkten. En målsättning med den framtagna metodiken var också att den skulle vara förhållandevis enkel att genomföra, samt att den efterföljande utvärderingen inte ska vara alltför komplex. En del i detta är att undersökningen ska kunna genomföras till en rimlig fiskeansträngning; alltså att antalet individer som behövs går att samla in inom loppet av några dagar. Antalet individer måste dock vara stort nog för att relevanta statistiska jämförelser ska kunna göras. Utvärdering av huruvida ett mindre fiskmaterial kan ge nästan lika säkra slutsatser som ett större material hade gjort undersöktes därför. Underlaget för den utvärderingen baserade sig på ett fiskmaterial (abborre) från ett antal fjällnära insjöar i Norrbotten samt ett material (abborre) från tre näringsrika sjöar i Mälardalen. Ur dessa stora material valdes de individer som var mellan 15-25 cm ut. Jämförelse av konditionsfaktor, LSI, GSI, könsmognad och tillväxt i enlighet med föreslagen statistisk metod i Waldetoft et al. (2020) genomfördes för det mindre urvalet. Jämförelsen av fiskhälsa baserat på det mindre urvalet och totalmaterialet resulterade i stort i samma övergripande slutsats. Detta visar på att insamling och utvärdering i enlighet med föreslagen metodik ger en rättvis bild av fiskhälsan i undersökningsområdet.

En tidigare studie vid Rönnskärsverken, utförd som en del av den nationella miljöövervakningen på uppdrag av Naturvårdsverket, mynnade ut i slutsatsen att fiskhälsan var nedsatt vid Rönnskärsverken (Förlin et al., 2019). Avvikelse mot referensen Holmöarna, som framför allt noterades för konditionsfaktorn, bedömdes som allvarliga. Kritik mot användandet av Holmöarna som referens framförs i Grahn & Sandström (2020) och utgörs av argumentet att den, i och med sitt långa avstånd från kusten, inte lämpar sig som referensområde för ett kustnära flodmynningsområde. Inom den nationella miljöövervakningen har istället Rånefjärden valts som referens till Bottenvikens skärgårdar. Den andra delen av Grahn & Sandströms (2020) kritik mot Förlin et al. (2019), grundar sig på att denna inte tagit hänsyn till naturlig variation. Exempelvis den signifikanta avvikelsen i EROD-aktivitet som i Förlin et al. (2019) bidrog till slutsatsen om nedsatt

fiskhälsa, argumenteras istället i Grahn och Sandström lägga väl inom det spann som EROD-aktiviteten inom en station kan uppvisa naturligt, varför den statistiska signifikansen inte ska tolkas för långtgående. Föreliggande studie, där två referensområden utanför Byske respektive Råneå nyttjats, ger inget stöd för att fiskhälsan är nedsatt utanför Rönnskärsverken. Ifrågasättande av metodiken i Förlin et al. (2019), men även andra studier av fiskhälsa, som exempelvis Sandström & Abrahamsson (2017) kan även göras utifrån resonemang om hur flera fysiologiska parametrar ska undersökas statistiskt för stationsvisa skillnader, för olika kön och mellan olika längdklasser.

Den övergripande idén vid formella tester (statistiska hypotestester) är att formulera en nollhypotes och en mothypotes och därefter undersöka om nollhypotesen kan förkastas till förmån för mothypotesen. Nollhypotesen formuleras oftast i dessa sammanhang som att ingen skillnad i populationsmedelvärde föreligger mellan några av stationerna och mothypotesen som att populationsmedelvärdet avviker vid minst en station. Slutsatsen dras utefter värdet på den s.k. *teststatistikan*, vanligtvis ett t-värde eller F-värde. Teststatistikans värde jämförs mot dess sannolikhetsfördelning, vilket resulterar i ett p-värde som jämförs mot den på förhand bestämda signifikansnivån. Ofta används 5% signifikansnivå. P-värde under 0,05 tolkas som att nollhypotesen förkastas till förmån för mothypotesen. Viktigt är också att p-värden resulterar i signifikant eller icke-signifikant resultat, en binär uppdelning alltså. Därav tolkas till exempel inte ett p-värde på 0,03 som mer signifikant än ett p-värde på 0,04. Läsaren av redogörelser av formella tester bör även ha i åtanke att ett 5% signifikansnivå bör tolkas som "givet att det *inte* finns någon skillnad i populationsmedelvärden, uppstår det vid upprepade oberoende studier, av ren slump, skillnader i stickprovsmedelvärden som är av så stor numerisk skillnad att slutsatsen dras att de inte uppstått av en slump, i snitt 5 av 100 gånger". Vid upprepade experiment eller tester där det inte föreligger någon skillnad mellan grupperna dras alltså en felaktig slutsats om att en skillnad finns, i genomsnitt i 5% av fallen. Denna typ av felaktiga slutsats kallas för ett *typ I-fel*.

Risken för att begå ett typ I-fel i en studie, och därmed dra slutsatsen att skillnad i populationsmedelvärde föreligger fast så inte är fallet, ökar därmed ju större antal formella tester som genomförs. Det statistiska begreppet för detta fenomen med ökande risk för typ I-fel kallas för *family-wise error rate*. Antalet hypotestester bör därför vara så få som möjlig, genom att konstruera så kraftfulla övergripande test som möjligt. Det är av denna anledning ANOVA (Analysis of Variance) används vid jämförelse av populationsmedel för mer än två grupper (ANOVA och t-test vid jämförelse av två grupper är identiska tester). Om tre grupper (tex kontrollgrupp, grupp A och grupp B) ska jämföras med t-tester kommer tre formella tester behöva genomföras: Kontroll vs A, Kontroll vs B och A vs B. Utförs dessa tre t-tester separat på 5% signifikansnivå blir den sammanvägda signifikansnivån högre än 5%. Risken att förkasta nollhypotesen när den faktiskt är sann har ökat. ANOVA:n däremot testat hypotesen om lika populationsmedel via endast ett F-test, vilket är att föredra. I det fall resultatet är signifikant kan post-hoc parvisa tester som korrigerar för ökande signifikansnivå användas för att hitta mellan vilka av grupperna skillnaden finns. Vid icke-signifikant F-test görs ingen efterföljande parvis jämförelse. För eventuella parvisa tester finns ett flertal varianter. För jämförelse av samtliga kombinationer är Bonferroni-korrigerad och Tukey's metod vanliga. I det fall ett antal grupper ska jämföras endast mot en referens (kontrollgrupp) kan Dunett's test användas.

Utöver detta kan antalet tester hållas nere genom att inte separera datamaterialet utefter en viss gruppering, utan att istället inkludera denna information som kontrollvariabel i den statistiska analysen. Analysen kommer då att hamna i kategorin *linjära modeller* och kan gå under flera benämningar, som ANCOVA (Analysis of Covariance), multipel linjär regression, eller two-way ANOVA. Gemensamt är dock att dessa kan ses som linjära regressionsmodeller. En vanlig företeelse är att analys av fisk delas upp utefter fiskens kön, exempelvis som i Förlin et al. (2019), och Sandström & Abrahamsson (2017). Ett formellt test för stationsvisa skillnader har utförts för

hanarna och ett har utförts för honorna. Förutom att öka antalet test så reduceras även testets styrka, d.v.s. testets förmåga att hitta en skillnad som faktiskt finns, eftersom antalet observationer till grund för testet reduceras kraftigt (enbart honor eller hanar istället för samtliga).

Alternativet är anpassning av en modell med både fångstlokal och fiskens kön som förklarande variabler. Tolkningen av estimaten och testerna kopplade till skillnad fångstlokalen görs då utifrån att könssammansättningen per fångstlokal är identisk; eventuella avvikelser avseende responsvariabeln (exempelvis konditionsfaktor) som är en konsekvens av ojämn könsfördelning har beaktats. Icke-signifikant estimat för variabeln kopplat till fiskens kön skulle indikera att det inte föreligger några könsmässiga skillnader avseende responsvariabeln, vilket då skulle motivera att modellen körs på nytt utan denna variabel. Det skulle ge en ökad styrka i testet av variabeln kopplat till fångstlokalen.

Fördjupning om formulering och tolkning av hypotestester samt korrigering vid multipla jämförelser finns i en bredd av statistisk litteratur, däribland (Montgomery, 2014; Mendehall et al., 2007).

Slutsatser

- Det finns utifrån undersökta biomarkörer inga indikationer på att hälsotillståndet i abborre från havsområdena kring Rönnskärsverken skulle vara nedsatt.
- Tydliga gradienter i halter av organiska föreningar noterades, med högst halter i närrecipienten, näst högst i fjärrecipienten och lägst i referenserna. Halterna i abborren från recipientlokalerna var dock inte avvikande höga i jämförelse med andra recipientlokaler i insjö- och kustområden. Tolkningen i relation till fiskens hälsotillstånd är att exponeringen i recipientlokalerna inte är tillräckligt kraftig för att leda till nedsatt fiskhälsa.
- Kvicksilver- och blyhalten var tydligt högst i abborren från recipientlokalerna. Kvicksilverhalten tycks ha varit stabil under det senaste decenniet. Övriga undersökta metaller var inte tydligt förhöjda i recipientlokalerna i jämförelse med referenserna.
- Den föreslagna metodiken har goda förutsättningar för att kunna samla in tillräckliga material för en god statistisk analys till en rimlig fiskeansträngning. Den utvidgade insamling som genomfördes, även av fisk mellan 20-25 cm, gav tillräckliga material för utvärdering av gonader och könsmodningsgrad.
- Den föreslagna metodiken kan ge en uppfattning om storleken av ett eventuellt påverkansområde från en utsläppskälla. Denna slutsats dras utifrån de tydliga gradienter med minskande halter av stabila organiska föreningar som noterades.
- Användande av två referensområden, istället för en, vid studier av fiskhälsa ger stort stöd vid tolkningen av resultaten, i och med att skillnader mellan referenslokalerna belyser storleken av naturligt förekommande variation.
- Vi bedömer att man med den vidareutveckling av metod för integrerad hälso- och föroreningsbedömning av fisk som här redovisats har erhållit ett kraftfullt och kostnadseffektivt verktyg för riskbedömningar utanför industrier med pågående och tidigare utsläpp av metaller och organiska föreningar. Metoden bör även vara applicerbar utanför större kommunala avloppsreningsverk i tätorter, vilket vi avser att testa i kommande projekt.

Referenser

- AQUAMIN Working Groups 7 and 8., 1996. Assessment of the Aquatic Effects of Mining in Canada. AQUAMIN.
- Bengtsson, B-E., Bengtsson, Å. & Himberg, M., 1985. Fish Deformities and Pollution in Some Swedish Waters., *Ambio*, Vol 14, No 1 (1985), pp 32-35.
- Bengtsson, B-E. & Larsson, Å., 1986. Vertebral deformities and physiological effects in fourhorn sculpin (*Myoxocephalus quadricornis*) after long-term exposure to a simulated heavy metal-containing effluent. *Aquatic Toxicology*. Vol 9 (1986). pp 215-229.
- Bengtsson, Å., Bengtsson, B-E. & Lithner, G., 1988. Vertebral defects in fourhorn sculpin, *Myoxocephalus quadricornis* L., exposed to heavy metal pollution in the Gulf of Bothnia. *Journal of fish biology*. Vol 33, pp 517-529.
- Bengtsson Å., 1993. Seasonal variation of mass, condition and gonadosomatic index in fourhorn sculpin (*Myoxocephalus quadricornis*). *Journal of Fish Biology*. Vol 42 (1993). pp 265-278.
- Cato, I. & Sellén, E., 2004a. Miljökemisk sedimentundersökning utanför Rönnskär 2003. SGU Rapport 2004:14.
- Cato, I. & Sellén, E., 2004b. Miljökemisk sedimentundersökning av bottensedimenten utmed Bottenvikskusten i Skellefteå kommun 2003. SGU Rapport 2004:24.
- Environment Canada., 2012. Environmental Effects Monitoring Investigation of Cause Workshop for Metal Mining. ISBN: 978-1-100-19968-9.
- Environment and Climate Change Canada., 2016. Third National Assessment of Environmental Effects Monitoring Information from Metal Mines Subject to the Metal Mining Effluent Regulations. ISBN: 978-0-660-04509-2.
- Europeiska unionen., 2006. Kommissionens förordning (EG) nr 1881/2006 av den 19 december 2006 om fastställande av gränsvärden för vissa främmande ämnen i livsmedel. *Official Journal of the European Union*. L364, pp.5-24.
- Europeiska unionen, 2003. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. *Official Journal of the European Union*, L 037. pp.19-23.
- Europeiska Unionen, 2014. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document no. 32. On biota monitoring (the implementation of EQSbiota) under the Water Framework Directive. Technical report 2014 – 083. ISBN 978-92-79-44634-4.
- Förlin, L., Sundelin, B., Gorokhova, E., Magnusson, M., Bergkvist, J., Parkkonen, J., Larsson, Å., Liewenborg, B. & Franzén, F., 2019. Effektscreening – Biologisk effektövervakning i förorenade områden längs Sveriges kust 2017–2018. Nationell miljöövervakning på uppdrag av Naturvårdsverket.

Grahn, O. & Sandström, O., 2020. Fiskens hälsotillstånd och fortplantning i havsområdet kring Rönnskärsverken Skelleftehamn 2010 och 2017. Nordmiljö.

Gustavsson, N. & Danielsson, S. 2010. Miljögifter i abborre längs norra Sveriges kust – Projekt X-151. Naturhistoriska Riksmuseet. Rapport 9:2010.

Hansson, S., Bengtsson, B-E. & Bengtsson, Å., 1984. Stomach Contents in Baltic Fourhorn Sculpin (*Myoxocephalus quadricornis* L.) with Normal and Deformed Spinal Vertebrae. Marine Pollution Bulletin. 15: 375-377.

HaV, 2016. Miljögifter i vatten – klassificering av ytvattenstatus Vägledning för tillämpning av HVMFS 2013:19. Havs och vattenmyndigheten rapport 2016:26.

Hällén, J., Waldetoft, H., Viktor, T., Ogonowski, M., Andersson, G. & Karlsson, M., 2020. Dioxiner i fet fisk från Östersjön, Vänern och Vättern. IVL rapport B2402.

Karlsson, M. & Jonsson, P. 2003. Bottenundersökning av ammunitionsdumpningsplatser i Bottniska viken 2002. ÅF-IPK rapport S118002, 40 sid.

Karlsson, M. & Waldetoft, H., 2019. Kunskapssammanställning dioxinsituationen i Östersjön. IVL PM, november 2019.

Larsson, Å., Haux, C. & Sjöbeck, M.L. Fish Physiology and Metal Pollution: Results and Experiences from Laboratory and Field Studies. Ecotoxicology and Environmental Safety. No.9 1985. pp.258-281.

Lindström, L., Löfblad, G., Löfblad, E. 2009. Miljökonsekvensbeskrivning för omprövning av verksamheten vid Rönnskärsverken. Svensk MKB.

Mayer, Foster, L., Bengtsson, B-E., Hamilton, S.J & Bengtsson Å., 1988. Effects of Pulp Mill and Ore Smelter Effluents on Vertbrae of Fourhorn Sculpin: Laboratory and Field Comparisons. Aquatic Toxicology and Hazard Assessment. Vol 10 (1988). pp 406-419.

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

Sandström, O. & Grahn, O., 2021. Fiskhälsoundersökning år 2020 i sjöar exponerade för överskottsvatten från LKABs gruvverksamhet i Kiruna. Nordmiljö rapport 11 april 2021, 14 sid.

Sandström, O., Larsson, Å., Andersson, J., Appelberg, M., Bignert, A., Ek, H., Förllin, L. & Olsson, M., 2005. Three decades of Swedish experience demonstrates the need for integrated long-term monitoring of fish in marine coastal areas. Water Qual. Res. J. Canada 40: 233–250.

Sangfors, O. & Härdig, J. 2011. Undersökning av abborre från havsområden kring Rönnskärsverken, Skelleftehamn, år 2010.

Sobek, A., Wiberg, K., Sundqvist K., Cornelissen, G. & Jonsson, P., 2012. Dioxiner i Bottenhavet och Bottenviken - pågående utsläpp eller historiska synder. Länsstyrelserna i Gävleborg, Västernorrland, Västerbotten och Norrbotten rapport 2012:7.



Sundbom, M., Meili, M. & Johansson, A.M. 2007. Kvicksilver i fisk 2006 - kartering och miljöövervakning i Stockholm. Institutionen för tillämpad miljövetenskap, ITM, Stockholms universitet. ISSN: 1653-9168.

Sundqvist, KL., Tysklind, M., Geladi, P., Hopke, PK. & Wiberg, K., 2010. PCDD/F Source Apportionment in the Baltic Sea Using Positive Matrix Factorization. *Environmental Science and Technology* 44: 1690-1697.

Troeng, H., Tjerngren, I., Öhgren, J. & Hagvall, K., 2017. Miljökonsekvensbeskrivning– till ansökan om tillstånd för utfyllnad av vattenområde vid Boliden Rönnskärs industriområde. HIFAB, Umeå, rapport 2017-06-26, 82 sid.

Waldetoft, H., Hällén, J. & Karlson, M., 2020. Kontrollprogram för fibersediment – bedömning av miljöpåverkan genom fiskundersökningar. IVL-rapport B2396.

