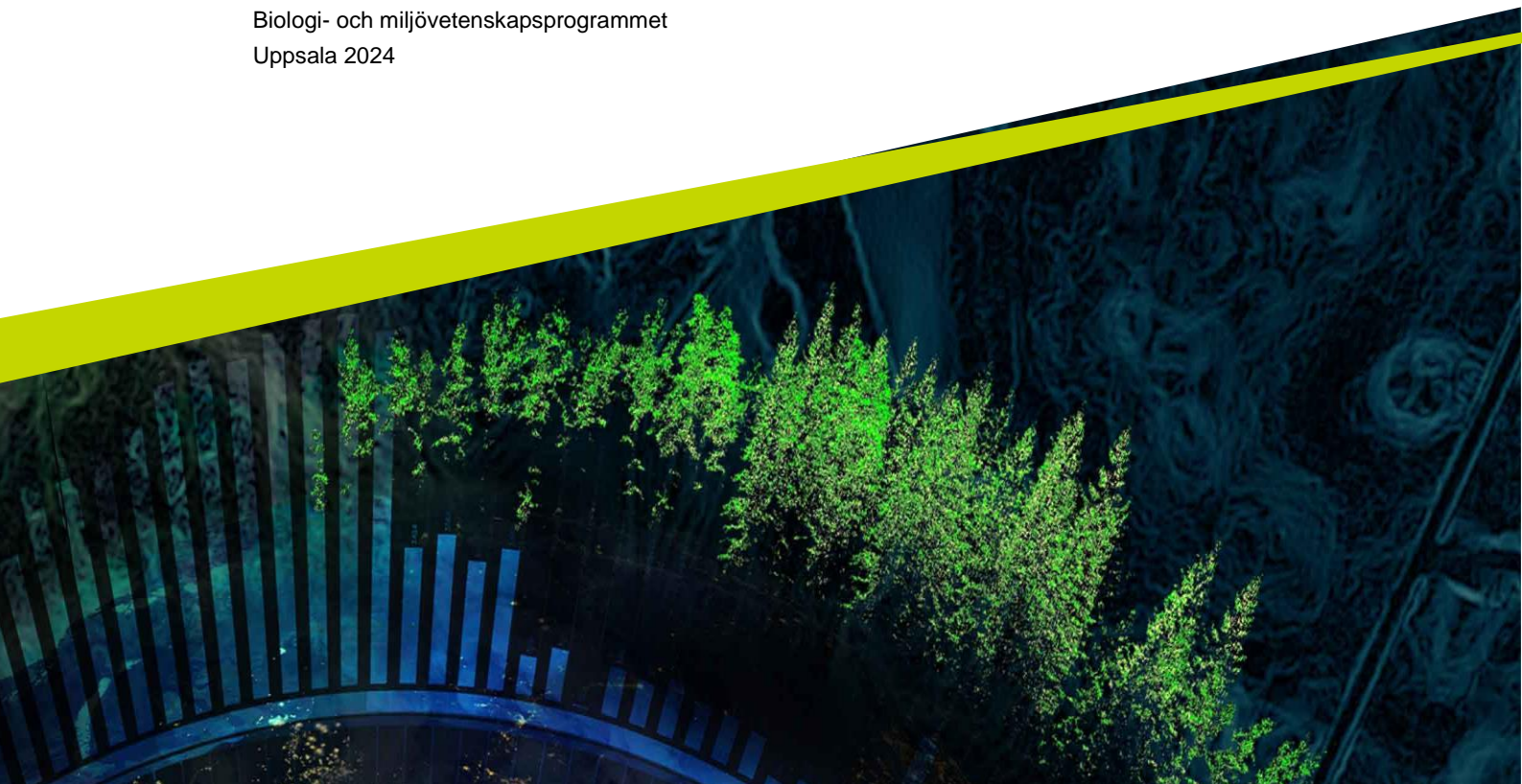




Kvicksilver i ett svenskt landskap över 30 år

Ellen Wulff

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för vatten och miljö
Biologi- och miljövetenskapsprogrammet
Uppsala 2024



Kvicksilver i ett svenskt landskap över 30 år.

Mercury in a Swedish landscape over 30 years.

Ellen Wulff

Handledare: Kevin Bishop, SLU, institutionen för Vatten och Miljö
Examinator: Karin Eklöf, SLU, institutionen för Vatten och Miljö

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Miljövetenskap
Kurskod: EX0896
Program/utbildning: Biologi- och Miljövetenskapsprogrammet
Kursansvarig inst.: Institutionen för vatten och miljö
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2024
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Nyckelord: Kvicksilver, metylkvicksilver, löst organiskt kol, vattenförling, våtmark

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för vatten och miljö

Avdelningen för geokemi och hydrologi

Sammanfattning

Föroreningar av kvicksilver är ett välkänt problem Världen över. Långvarig användning har lett till stora antropogena utsläpp som förorenar både utsläppsplats och områden långt från utsläppskällan. Syftet med denna rapport är att studera långtidsdata av totalkvicksilver (TotHg), metylkvicksilver (MeHg), DOC och vattenföring som finns tillgänglig över 30 år från fyra avrinningsområden nära Vindeln, Sverige och att undersöka eventuella samband mellan variablerna.

All data sammanställdes i Excel där även de statistiska testerna gjordes. För att analysera tidsserierna av TotHg, MeHg, DOC och vattenföring användes det statistiska testet ANOVA och t-test, båda med en signifikansnivå på 0,05. Ingen av de fyra variablerna visade några signifikanta trender över tid för alla fyra undersökta avrinningsområden, utan alla var relativt stabila med några uppgångar och några nedgångar.

Förvånande nog sågs inga tydliga samband mellan varken DOC och TotHg eller DOC och MeHg som vissa tidigare studier visat. Däremot fanns det ett klart negativt samband mellan MeHg och vattenföring för alla fyra platser som tros bero på utspädningseffekten där höga flöden ledde till lägre halter MeHg. Även sambandet mellan TotHg och vattenföring gav intressanta resultat där det fanns en stark positiv korrelation mellan de båda variablerna för de två avrinningsområden med ingen respektive liten andel våtmark. Detta tros kunna bero på att mer TotHg och organiskt material kan spolats ut från områden med en större grundvattennivåvariation. Variationen sträcker sig från djupt ner i marken där kolinnehållet är lågt till högre upp i marken där kolinnehållet är större, jämfört med områden med stor andel våtmark där grundvattennivån ofta ligger närmare markytan och inte varierar så mycket.

Nyckelord: Kviksilver, metylkvicksilver, löst organiskt kol, vattenföring, våtmark

Abstract

Mercury pollution is a well-known problem worldwide. Long-term use has led to large anthropogenic emissions that contaminate both the emission site and areas far from the emission source. The aim of this report is to study long-term data of total mercury (TotHg), methylmercury (MeHg), DOC and streamflow available over 30 years from four catchments near Vindeln, Sweden and to investigate possible relationships between the variables.

All data were compiled in Excel where the statistical tests were also performed. To analyze the time series of TotHg, MeHg, DOC and streamflow, the statistical test ANOVA and t-test were used, both with a significance level of 0.05. None of the four variables showed any significant trends over time for all four investigated catchments, but all were relatively stable with some ups and some downs.

Surprisingly, there were no clear relationships between either DOC and TotHg or DOC and MeHg as some previous studies have shown. However, there was a clear negative correlation between MeHg and flow for all four sites, which is thought to be due to the dilution effect where high flows led to lower MeHg concentrations. The relationship between TotHg and flow also gave interesting results, with a strong positive correlation between the two variables for the two catchments with no and little wetland area, respectively. This is thought to be due to greater groundwater level variation from deeper in the soil with less carbon to higher in the soil with more carbon, compared to areas with a high proportion of wetlands where the groundwater level is often closer to the surface and more stable.

Keywords: Mercury, methylmercury, dissolved organic carbon, streamflow, peatland

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning.....	7
Förkortningar	8
1. Introduktion och bakgrund	9
1.1 Introduktion	9
1.2 Bakgrund.....	9
1.3 Kvikksilver i naturen	10
1.4 Metylkvikksilver	11
1.5 Organiskt material och Hg	12
1.5.1 Ökning av organiskt material	12
1.6 Klimatförändringar	13
1.7 Syfte och frågeställning.....	13
2. Metod.....	14
2.1 Provtagningsområdena.....	14
2.2 Data.....	16
2.3 Statistik.....	17
3. Resultat	18
3.1 Förändringar av TotHg, MeHg, DOC koncentrationer och vattenföring över tid	18
3.2 Relationen mellan TotHg, MeHg, DOC och vattenföring	22
4. Diskussion	26
4.1 Analys av trender	26
4.2 Analys av samband.....	27
4.3 Metodval och felkällor	28
Slutsats	30
Referenser.....	31
Bilaga 1.....	34
Bilaga 2.....	37

Tabellförteckning

Tabell 1. Områdenas karaktär beskrivet som storlek i hektar och hur stor andel av området som består av vatten, skog eller våtmark angivet i procent (Ågren et al. 2008).....	16
Tabell 2. Ursprung flödesdata. Namn på filer och datakällor och vilka perioder data hämtats från de olika filerna för alla fyra områden (data och filer finns att tillgå från handledaren för den här kandidatuppsatsen: Kevin Bishop).	17
Tabell 3. Resultat från ANOVA testet av TotHg med medelvärde och antal inom varje period för område C2, C4 och C7.....	19
Tabell 4. Resultat från ANOVA testet av MeHg med medelvärde och antal inom varje period för område C2, C4 och C7.....	20
Tabell 5. Resultat från ANOVA test av DOC med medelvärde och antal inom varje period för område C2, C4 och C7.....	21

Figurförteckning

Figur 1. Karta över Krycklans provtagningsområde med provpunkter för vattendrag (Laudon 2019).....	14
Figur 2. Karta över en del av Krycklans provtagningsområde (Laudon et al. 2021).....	15
Figur 3. Karta över Degerö Stormyr som visar vart provplats C18 är lokaliserad (Campeau et al. 2018).	15
Figur 4. Totalkviksilver och metylkvicksilver över tid för alla fyra platser med trendlinjer, inklusive MeHg sommar (juni, juli och augusti). Textrutorna visar värden som ligger utanför graferna.	19
Figur 5. Koncentrationen av DOC (mg/l) över tid för alla fyra områden med trendlinjer...	20
Figur 6. Månadsmedelvärde av vattenföringen (mm/dygn) över tid för alla fyra områden med trendlinjer.	21
Figur 7. Förhållandet mellan TotHg och MeHg med trendlinje för alla fyra områden. Textrutorna visar koordinater för en punkt utanför diagrammet.	22
Figur 8. Relationen mellan TotHg och DOC med trendlinje för alla fyra områden.	23
Figur 9. Förhållandet mellan MeHg och DOC med trendlinjer för alla fyra områden. Textrutorna visar punkter som ligger utanför diagrammet.....	23
Figur 10. Förhållandet mellan TotHg och vattenföring med trendlinjer för alla fyra områden. Flödesvärden från april och maj är markerade som "Vårflod". Textrutorna visar värden som ligger utanför diagrammet.	24
Figur 11. Förhållandet mellan MeHg och vattenföring med trendlinjer för alla fyra områden. Flödesvärden från april och maj är markerade som "Vårflod". Textrutorna visar punkter som ligger utanför diagrammet.....	25

Förkortningar

DOC	Dissolved organic carbon
Hg	Kvicksilver
MeHg	Metylkvicksilver
Hg	Kvicksilver
TOC	Total organic carbon
TotHg	Totalkvicksilver

1. Introduktion och bakgrund

1.1 Introduktion

Kvicksilver (Hg) är en metall som finns naturligt i miljön i låga koncentrationer. Antropogena utsläpp av metallen och dess förmåga att transporteras långa sträckor i atmosfären har skapat stora miljö- och hälsoproblem världen över (Environment 2019). Förutom att Hg transporteras i atmosfären, sprids den även med vattendrag. Då Hg gärna binder till organiskt material är det troligt att mängden organiskt material i vattendragen har en inverkan på transporten av Hg och därmed även koncentrationen i akvatiska system (Ullrich et al. 2001; Eklöf et al. 2012). Efter 10 år av Minamatakonventionen som jobbar för att minska utsläppen av Hg är nu frågan om detta lett till att Hg i miljön också minskat (Environment 2019). Ett sätt att mäta detta är att göra provtagningar på ytvatten. Denna uppsats tittar på Hg data som finns tillgänglig från fyra avrinningsområden, nära Vindeln där provtagningar började göras för 30 år sedan. Det intressanta med detta och möjliga förklarande variabler presenteras i kommande inledning.

1.2 Bakgrund

Kvicksilver har tack vare sina specifika egenskaper som att den är flytande vid rumstemperatur, leder ström och gärna binder till andra metaller använts av människan till flera olika ändamål under lång tid (Lourie et al. 2003). Detta har lett till stora antropogena utsläpp till miljön. Under andra halvan av 1900-talet uppmärksammades flera olyckor och sjukdomar kopplade till Hg. Detta tillsammans med insikten att Hg spridits runtom i Världen, även långt från föroreningskällorna, gjorde att FN tog fram en global konvention mot Hg, den så kallade Minamatakonventionen. Denna undertecknades år 2013 och trädde i kraft år 2017 med målet att skydda människors hälsa och miljön från kvicksilver (Naturvårdsverket 2023).

Undersökningar från Minamatakonventionen visar att mänskliga aktiviteter har ökat koncentrationen av atmosfäriskt Hg med omkring 450 % över de naturliga nivåerna (Environment 2019). Globalt sett har utsläppen av Hg till atmosfären ökat på senare tid, trots detta har depositionen över Europa och Nordamerika minskat under samma tidsperiod.

Det finns ett antal långtidsstudier över kvicksilverhalten i fisk från både Nordamerika och Fennoskandia (Depew et al. 2013; Åkerblom et al. 2014; Braaten et al. 2019; Adams et al. 2023). Depew et al. (2013) fokuserade på att kartlägga den geografiska skillnaden på Hg i fisk i Kanada snarare än den tidsmässiga förändringen. Åkerblom et al. (2014), Braaten et al. (2019) och Adams et al. (2023) visar alla en generell minskning av Hg i fisk från 1960-talet till 2010-talet, troligtvis kopplad till de minskade utsläppen under samma period.

Förändringarna av kvicksilverhalten i vattendragen är inte lika välstuderade över längre tid och endast ett fåtal studier har gjorts på data från omkring ett decennium, bland annat av Eklöf et al. (2012) och Gerson & Driscoll (2016). För att kartlägga förändringen och dess drivkrafter behövs fler studier.

1.3 Kvicksilver i naturen

Kvicksilver förekommer överallt i naturen, både i luften, marken, vattnet och biota (Lourie et al. 2003). I den terrestra miljön kommer det huvudsakligen från tre olika källor (Bishop et al. 2020). Främst kommer det från atmosfäriskt nedfall av antropogent Hg, som till exempel förbränning av fossila bränslen, men även punktkällor från mänsklig aktivitet som till exempel gruvor, och naturliga källor såsom vulkanutbrott är bidragande faktorer. Hg i atmosfäriskt nedfall består av elementärt kvicksilver i gasform (Hg^0), oxiderat kvicksilver (Hg(II)) och partikulärt kvicksilver (HgP). Den största delen av Hg i marken består av Hg(II) bundet till organiskt material. Även i vattnet är större delen av Hg bundet till organiskt material (Bishop et al. 2020).

Ett stort problem med kvicksilver är att Hg^0 lätt kan förångas till atmosfären och transporteras långa sträckor med luftströmmarna tack vara sin relativt långa uppehållstid (ca. 1-2 år) (Lin & Pehkonen 1999). Detta gör att även områden som ligger långt från utsläppskällor kan bli förorenade när kvicksilvret faller ner till marken igen som torr- eller våtdeposition.

Kvicksilvrets cykel beskrivs kort av Lourie et al. (2003) som att utsläpp från naturliga och antropogena källor avgår till luften i både gas- och partikelform. Detta förorenar både naturen i närheten av utsläppskällan och transporteras långa sträckor

i atmosfären och förorenar platser långt bort. En komplikation i beräkningen av atmosfäriskt Hg är att en del av det hamnar i vegetationen, i marken eller i vattnet och kan återgå till atmosfären igen. När det faller ner till marken igen är det också svårt att avgöra om det är naturligt eller antropogent kvicksilver då det i princip är omöjligt att spåra dess ursprung. Denna långväga transport påverkar både marina och terrestra ekosystem. I de marina ekosystemen kan det oorganiska kvicksilvret omvandlas till organiskt kvicksilver, till exempel metylkvicksilver, av bakterier. Det organiska kvicksilvret kan sedan bioackumuleras i näringskedjan.

1.4 Metylkvicksilver

Metylkvicksilver (MeHg) är ett neurotoxin som bioackumuleras i näringsväven. Det kan bildas genom att en oxiderad form av oorganiskt kvicksilver (Hg(II)) metyleras (Branfireun et al. 2020). Detta sker främst av sulfat- och järnreducerande bakterier i syrefattiga miljöer, såsom våtmarker och sediment, där de bakterierna trivs. Gerson & Driscoll (2016) beskriver att det förutom tillgängligheten av sulfat eller järn även är tre andra processer som troligtvis styr bildandet av MeHg. De menar på att tillförseln av Hg(II), förekomsten av en tillgänglig kolkälla och syrefattiga miljöer också spelar en stor roll. Vikten av mikrobiell aktivitet och biotillgängligt Hg styrks av Ullrich et al. (2001) som vidare förklarar att dessa till stor del beror på pH, temperatur, tillgängliga näringsämnen och redox-förhållanden i vattenförekomsten. Sulfatets möjlighet att påverka koncentrationen av MeHg stöds av ett antal andra studier (Branfireun et al. 1999; Bergman et al. 2012).

En intressant faktor som har studerats i flera rapporter är frågan om hur vattenflödet i ett avrinningsområde påverkar koncentrationen av MeHg i vattnet (St. Louis et al. 1996; Gerson & Driscoll 2016). Rapporterna visar dock olika resultat där St. Louis et al. (1996) kom fram till att det finns en större transport av MeHg vid höga flöden, medan Gerson & Driscoll (2016) inte hittade något samband. Tidigare rapporter från område C2, C4 och C7 från 90-talet hittade en stark korrelation mellan vattenflöde och MeHg där kraftigare flöde ledde till minskad koncentration MeHg i vattendragen (Lee et al. 1995, 2000). Resultaten från en svensk studie visade att vattenföringen hade en stark positiv korrelation över tid med koncentrationen TotHg i 12 av 19 undersökta vattendrag (Eklöf et al. 2012).

En ytterligare intressant faktor som kan tänkas påverka koncentrationen av MeHg i ytvatten är temperaturen då de mikroorganismer som bildar MeHg gynnas av varmare temperaturer. Studier från område C2, C4 och C7 från 90-talet kom fram till att MeHg koncentrationen steg på sommaren när flödes hastigheten ofta var låg i vattendragen, för att sedan sjunka igen (Lee et al. 1995, 1998, 2000).

1.5 Organiskt material och Hg

Det organiska material som finns naturligt i alla vattendrag hjälper till att transportera Hg vidare i det hydrologiska systemet (Liu et al. 2011). Detta då organiska tioler bildar starka komplex med både Hg(II) och MeHg.

”Total organic carbon” (TOC) är ett mått på allt organiskt kol i ett vattenprov, det består av ”dissolved organic carbon” (DOC) och det partikulära organiska kolet i vattnet (Sillanpää et al. 2015) tillsammans. DOC är det organiska kol som finns kvar i ett vattenprov efter filtrering genom ett 0,45 µm filter.

Det starka sambandet mellan DOC och Hg beskrivet av Liu et al. (2011) styrks av Eklöf et al. (2012), vars resultat visade att TOC (i detta fall jämförbart med DOC) förklarade 61% av variationen av TotHg koncentrationer i undersökta vattendrag i Sverige. Dock hittades ingen signifikant ökning av TotHg trots signifikant ökning av TOC under samma period. Förklaringen tros vara att kvaliteten på det organiska materialet spelar större roll än mängden, men forskningen har hitintills tenderat att koncentrera sig på mängd snarare än kvalitet.

En långtidsstudie från USA visar att koncentrationen av MeHg i ofiltrerat vatten är positivt korrelerat till koncentrationen av DOC (Scudder 2010). Även dem menar att ökad komplexitet av DOC är kopplat till ökningen av i detta fall MeHg. Trots det starka sambandet visar resultaten från Gerson & Driscoll (2016) att förändringen i DOC koncentrationer inte är den huvudsakliga drivkraften för förändringen av MeHg koncentrationer.

1.5.1 Ökning av organiskt material

Flera studier från Europa och Nordamerika visar en ökning av koncentrationen av organiskt material i sjöar och vattendrag under slutet av 1900-talet och början av 2000-talet (Evans et al. 2006; Erlandsson et al. 2008; Couture et al. 2012). Förklaringarna till detta varierar. I sin studie från Storbritannien kom Evans et al. (2006) fram till att de två största bidragande faktorerna till detta är minskad deposition av sulfat och ökade temperaturer i luften, där den första anses vara viktigast. Detta stöds av Erlandsson et al. (2008) som även nämner vattenflödet som en ytterligare förklaring. Couture et al. (2012) håller med om temperaturens påverkan, men hävdar att minskat surt nedfall inte hade en speciellt stor påverkan på undersökta sjöar. Deras slutsats är att ökningen av DOC beror på en kombination av flera variabler.

En senare studie över 164 svenska vattendrag bekräftar ökningen av organiskt material från 1990-2010, men kom också fram till att det efter år 2010 verkar skett

en förändring (Eklöf et al. 2021). Deras resultat tyder på att ökningen av det organiska materialet i vattnet har avtagit efter år 2010 och snarare vänt till en minskande trend mellan 2010–2020.

1.6 Klimatförändringar

Klimatförändringarna är något som alla känner till och de förväntas bara bli värre och värre. I Sverige förväntas det bli varmare och kraftigare extremväder som både torka och kraftiga skyfall kommer bli allt vanligare (*Klimatförändringar i Sverige* u.å.). En studie från Krycklans avrinningsområde visar att den årliga lufttemperaturen där har stigit med 2,5°C mellan år 1980–2020 (Laudon et al. 2021). Datamodeller från samma studie visar samtidigt att det bara skett en ökning med 0,5°C mellan år 1891–1980.

1.7 Syfte och frågeställning

Syftet med rapporten är att analysera tidigare insamlade långtidsdata över MeHg, TotHg, DOC och vattenföring från tre vattendrag i Krycklans provtagningsområde och ett i Degerö Stormyr från de senaste 30 åren. Detta för att kunna undersöka variationer i koncentration och korrelation mellan de olika variablerna över en längre tid, vilket det inte finns så många studier på.

Frågeställningarna är:

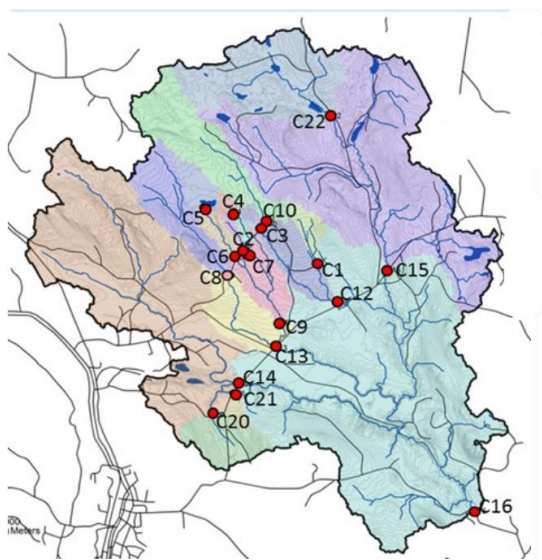
- Hur påverkas koncentrationen av TotHg och MeHg av koncentrationen DOC i vattendragen?
- Hur påverkas halten av TotHg och MeHg av vattenföringen?
- Hur har förhållandet mellan TotHg och MeHg förändrats?
- Hur har Hg koncentrationen i vattendragen förändrats över tid?

2. Metod

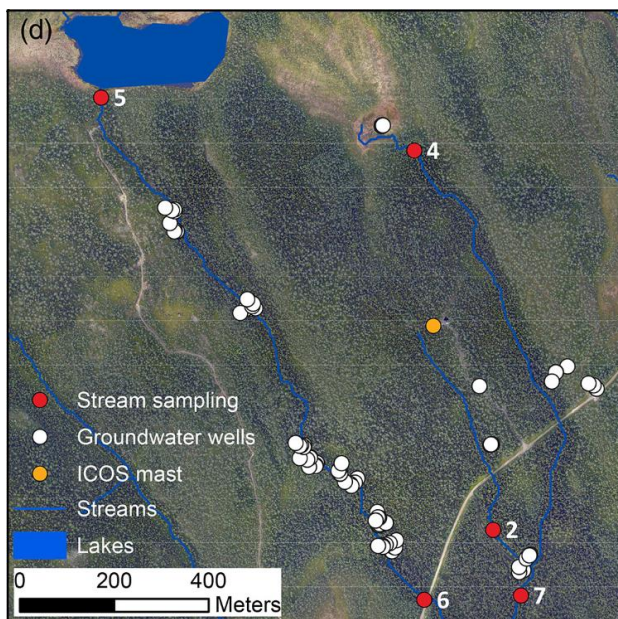
2.1 Provtagningsområdena

Krycklans avrinningsområde är ett 68 km² stort område beläget i borealt landskap i nordöstra Sverige, i närheten av Umeå. Där har det bedrivits provtagning och forskning av olika sorters miljödata sedan 1980 (Laudon et al. 2021). Från början togs prover endast på några enstaka platser inom området, men efter hand har allt fler provplatser lagts till. Proverna från vattendragen analyseras bland annat för mängd DOC, TOC och andra grundläggande parametrar som pH, men på vissa platser görs ytterligare analyser av bland annat kvicksilver.

Figur 1 visar en karta över Krycklans provtagningsområde med provplatser för vattendrag utmärkta. I figur 2 visas en närmare bild över en del av avrinningsområdet där platserna för vattenprover är utmärkta som röda prickar. I den här rapporten studerades data från plats 2, 4 och 7 närmare.

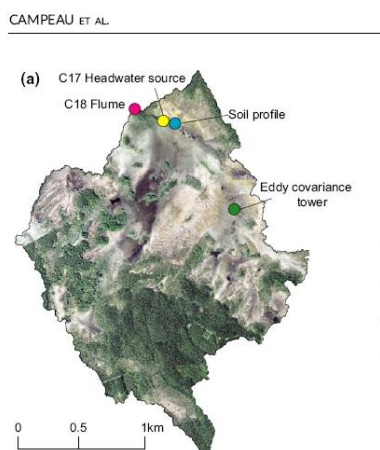


Figur 1. Karta över Krycklans provtagningsområde med provpunkter för vattendrag (Laudon 2019).



Figur 2. Karta över en del av Krycklans provtagningsområde (Laudon et al. 2021).

Degerö Stormyr (64°11'N, 19°33'E, 270 m asl) är en 6,5 km² stor myr och ligger i närheten av Vindeln (*Degerö / ICOS Sweden* u.å.). Även detta är ett område där det bedrivits vetenskaplig forskning under lång tid. I den här rapporten studeras provplats C18 från Degerö Stormyr närmare. Provplatsens lokalisering visas på kartan (figur 3).



Figur 3. Karta över Degerö Stormyr som visar vart provplats C18 är lokaliserad (Campeau et al. 2018).

I tabell 1 presenteras de fyra provtagningsområdena och dess karaktär.

Tabell 1. Områdenas karaktär beskrivet som storlek i hektar och hur stor andel av området som består av vatten, skog eller våtmark angivet i procent (Ågren et al. 2008).

Område	Area (ha)	Vatten (%)	Skog (%)	Våtmark (%)
C2	14	0	100	0
C4	19	0	60	40
C7	50	0	85	15
C18	312	0,2	31	69

2.2 Data

Den här rapporten har utgått från data över MeHg, TotHg, TOC och DOC, från områdena beskrivna i 2.1, sammanställt i en tidigare kandidatuppsats (Pettersson & Haglund 2023). Den ursprungliga data kommer från provtagningar av vatten från Krycklans provtagningsområde och Degerö Stormyr gjorda under en längre tid. Område C2, C4 och C7 har mätningar från år 1993–2021 och område C18 från år 2006–2021. Det saknades Hg data från början av 2000-talet och en del från 1990-talet. Nya filer letades upp av handledaren och värden för TotHg från ”SvartbergetHgSummary” lades in på C2 och C7 för åren 1993–1996. Data från början av 2000-talet fanns inte att tillgå.

Proverna från 1990-talet innehöll främst mätningar på TOC och proverna från 2000-talet främst på DOC. Tidigare studier på vattendrag i norra Sverige visar att skillnaden mellan DOC och TOC i vattenprover från detta område är väldigt liten (<5%) (Ivarsson & Jansson 1995). Detta gör dem båda jämförbara och värdet på TOC användes för DOC i de fall där det inte fanns ett mått på DOC tillgängligt.

Den flödesdata som behandlats i rapporten tillhandahölls från dataportalen SITES (Svartberget Research Station 2023c, b; a, 2024) och ett antal filer från handledaren beskrivna i tabell 2. Före år 2012 saknas stora mängder data under vinterhalvåret från område C2, C4 och C18 på grund av frusen utrustning eller fruset vatten. Efter år 2012 var bodarna där mätningarna gjordes uppvärmda. Även under sommarhalvåret saknas det värden vissa dagar, detta beror på för lågt vattenflöde för att mätningar skulle kunna genomföras.

Tabell 2. Ursprung flödesdata. Namn på filer och datakällor och vilka perioder data hämtats från de olika filerna för alla fyra områden (data och filer finns att tillgå från handledaren för den här kandidatuppsatsen: Kevin Bishop).

Område	"subfl937"	"dastpwr"	"Degero_DailyFlows 2002 2015 JLeach"	SITES
C2	jan 93 – maj 97	-	-	apr 05 – nov 23
C4	jan 93 – maj 97	-	-	jun 07 – nov23
C7	-	jan 92 – dec 07	-	jan 08 – nov 23
C18	-	-	jan 02 – apr 12	maj 12 – nov 23

Artiklar och tidigare studier om ämnena som behandlats i rapporten söktes upp via Google Scholar och Web of Science med sökord som "mercury", "terrestrial environment", "methylmercury", "mercurymethylation", "dissolved organic carbon".

En stor del av arbetet gick åt till att sammanställa all data i Excel och göra en kvalitetsanalys. Data i bearbetade filer granskades mot originaldata direkt i labb för att se så inga misstag begåtts i databearbetningen.

Flödesdatan som inte redan var i enheten mm/dygn räknades om till det utifrån arean för avrinningsområdet (tabell 1).

2.3 Statistik

De statistiska beräkningarna gjordes i Excel. Det antogs att all data var normalfördelad och för att ta reda på om det fanns någon signifikant förändring av DOC, MeHg, TotHg och vattenföring användes *envägs ANOVA* och *t-test*. Båda gjordes med signifikansnivån 0,05. Alla mätningar från C2, C4 och C7 delades upp i tre grupper om ca 10 år och jämförelser av medelvärdet för varje grupp gjordes med *ANOVA*. För de test som visade en signifikant förändring gjordes även *post hoc* tester (*t-test*) för att kontrollera mellan vilka grupper det skett en förändring. I dessa *t-test* användes signifikansnivån 0,017 då det är tre grupper som jämförs ($0,05/3 = 0,17$). C18 hade data från färre år och delades därför i två grupper som jämfördes med *t-test* och signifikansnivå 0,05.

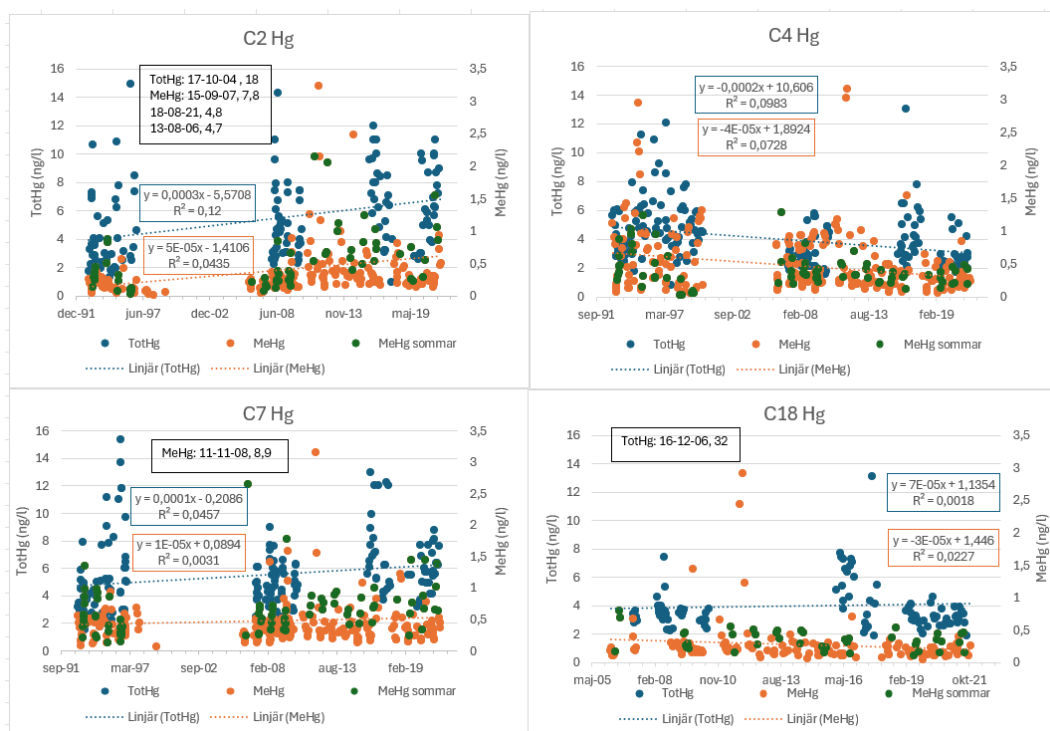
3. Resultat

3.1 Förändringar av TotHg, MeHg, DOC koncentrationer och vattenföring över tid

Koncentrationen av TotHg och MeHg följer inga generella trender för de fyra platserna över tid (figur 4). Generellt ligger värdena av MeHg under sommaren (juni, juli och augusti) lite högre än övriga, förutom i område C4 där det inte är lika tydligt.

För TotHg visade ANOVA testet att det fanns en signifikant skillnad i medelvärdet mellan grupperna i område C2 ($p < 0,001$), C4 ($p < 0,001$) och C7 ($p = 0,001$). Det efterföljande post hoc testet och jämförelser med medelvärdena (tabell 3) visade att det i område C2 inte fanns någon signifikant skillnad mellan period 1–2 ($p = 0,17$), men en signifikant ökning mellan period 2–3 ($p < 0,001$) och mellan period 1–3 ($p < 0,001$). I C4 fanns en signifikant minskning mellan period 1–2 ($p < 0,001$) och 1–3 ($p < 0,001$), samt en signifikant ökning mellan period 2–3 ($p < 0,001$). I C7 fanns inte heller någon signifikant skillnad mellan period 1–2 ($p = 0,57$), men en signifikant ökning mellan period 1–3 ($p = 0,007$) och 2–3 ($p < 0,001$). T-test för C18 (2006–2013 och 2014–2021) visade ingen signifikant förändring ($p = 0,058$).

För MeHg fanns en signifikant skillnad mellan medelvärdena för period 1, 2 och 3 i område C2 ($p < 0,001$) och C4 ($p < 0,001$), samt mellan de två perioderna (2006–2013 och 2014–2021) i område C18 ($p = 0,009$) där det sågs en signifikant minskning. Ingen signifikant skillnad sågs i område C7 ($p = 0,37$). Efterföljande post hoc test på C2 och C4 och jämförelser av medelvärdena (tabell 4) visade ingen skillnad mellan period 1–2 (C2: $p = 0,34$ och C4: $p = 0,15$) för något av områdena. För period 2–3 (C2: $p = 0,001$ och C4: $p < 0,001$) och 1–3 ($p < 0,001$ hos båda) sågs en signifikant ökning i C2 och en signifikant minskning i C4.



Figur 4. Totalkviksilver och metylkvicksilver över tid för alla fyra platser med trendlinjer, inklusive MeHg sommar (juni, juli och augusti). Textrutorna visar värden som ligger utanför graferna.

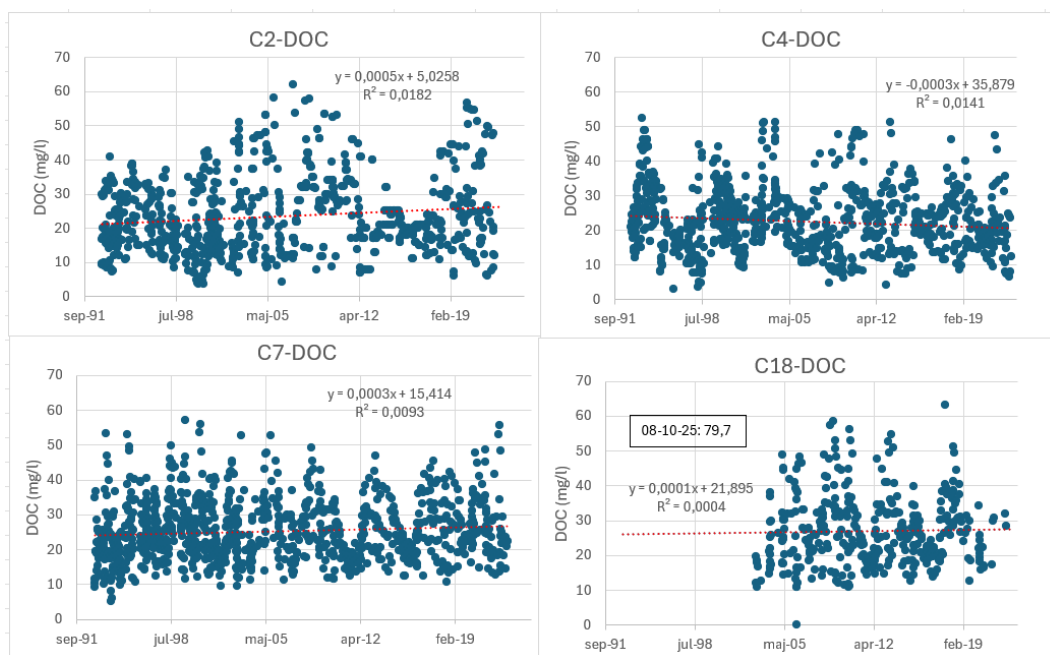
Tabell 3. Resultat från ANOVA testet av TotHg med medelvärde och antal inom varje period för område C2, C4 och C7.

	C2		C4		C7	
	Medel	Antal	Medel	Antal	Medel	Antal
Period 1 (1993–2002)	4,2	49	4,8	92	5,1	62
Period 2 (2003–2012)	5,0	43	3,1	55	4,9	55
Period 3 (2013–2021)	6,9	53	3,6	57	6,5	54

Tabell 4. Resultat från ANOVA testet av MeHg med medelvärde och antal inom varje period för område C2, C4 och C7.

	C2		C4		C7	
	Medel	Antal	Medel	Antal	Medel	Antal
Period 1 (1993–2002)	0,20	63	0,61	98	0,42	89
Period 2 (2003–2012)	0,22	94	0,51	107	0,53	128
Period 3 (2013–2021)	0,61	87	0,31	107	0,46	107

Koncentrationen av DOC visar inga tydliga långsiktiga trender för någon av platserna (figur 5). ANOVA testet kom fram till att det skett en signifikant förändring inom område C2 ($p < 0,001$) och C7 ($p = 0,048$), samt ingen signifikant förändring inom område C4 ($p = 0,1$). Efterföljande post hoc test visade att det för C2 fanns en signifikant ökning av DOC medelvärde mellan period 1–2 ($p < 0,001$) och 1–3 ($p < 0,001$), samt en signifikant minskning mellan period 2–3 ($p < 0,001$) för samma område (tabell 5). Inom C7 detekterades ingen signifikant skillnad mellan perioderna ($p > 0,017$ för alla). T-testet för område C18 (2003–2012 och 2013–2022) visade ingen signifikant skillnad ($p = 0,46$). Månadsmedelvärdena av DOC går att se i figur 6 i bilaga 1.

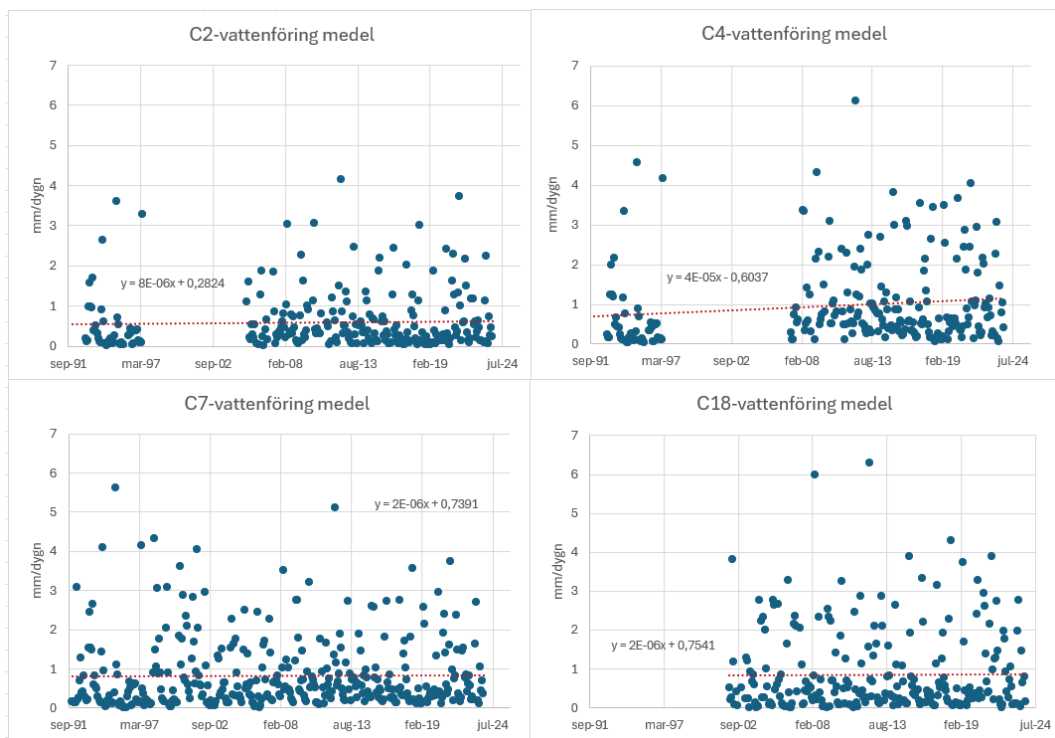


Figur 5. Koncentrationen av DOC (mg/l) över tid för alla fyra områden med trendlinjer.

Tabell 5. Resultat från ANOVA test av DOC med medelvärde och antal inom varje period för område C2, C4 och C7.

	C2		C4		C7	
	Medel	Antal	Medel	Antal	Medel	Antal
Period 1 (1993–2002)	20,2	407	22,6	461	24,9	527
Period 2 (2003–2012)	27,5	261	23,1	269	24,8	280
Period 3 (2013–2022)	23,4	236	21,4	255	26,4	254

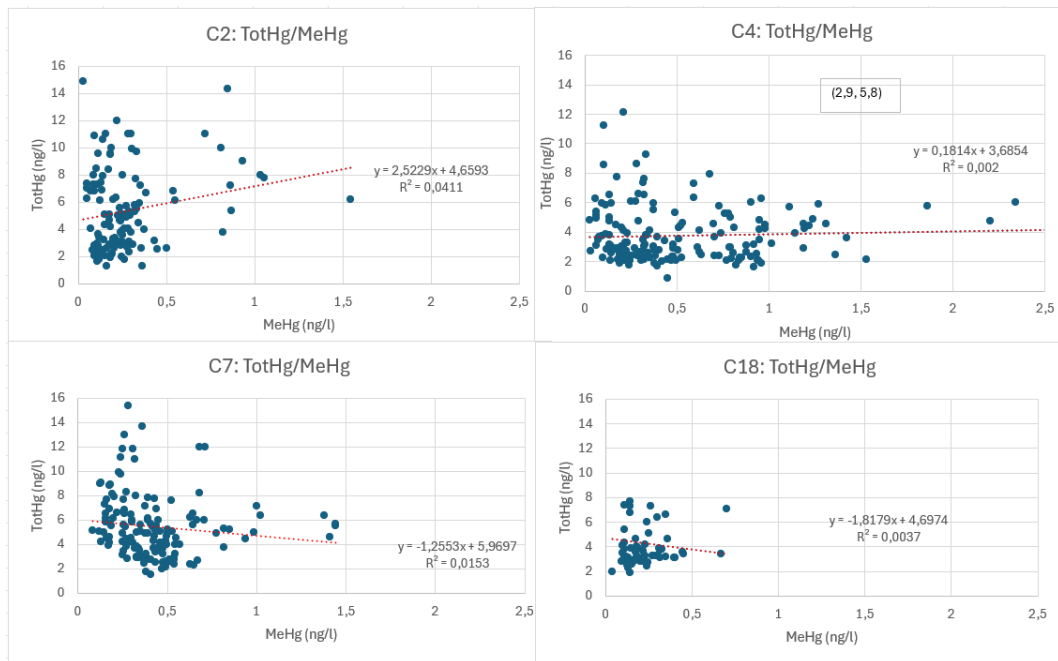
Vattenföringen uträknad som månadsmedelvärde visar inga direkta långsiktiga trender (figur 6), förutom i område C4 där det syns en svag positiv trend. I graferna syns också att det saknas data från slutet av 90-talet och början av 00-talet i område C2 och C4. Vattenföringen för varje enskild plats går att se i figur 1–5 i bilaga 1.



Figur 6. Månadsmedelvärde av vattenföringen (mm/dygn) över tid för alla fyra områden med trendlinjer.

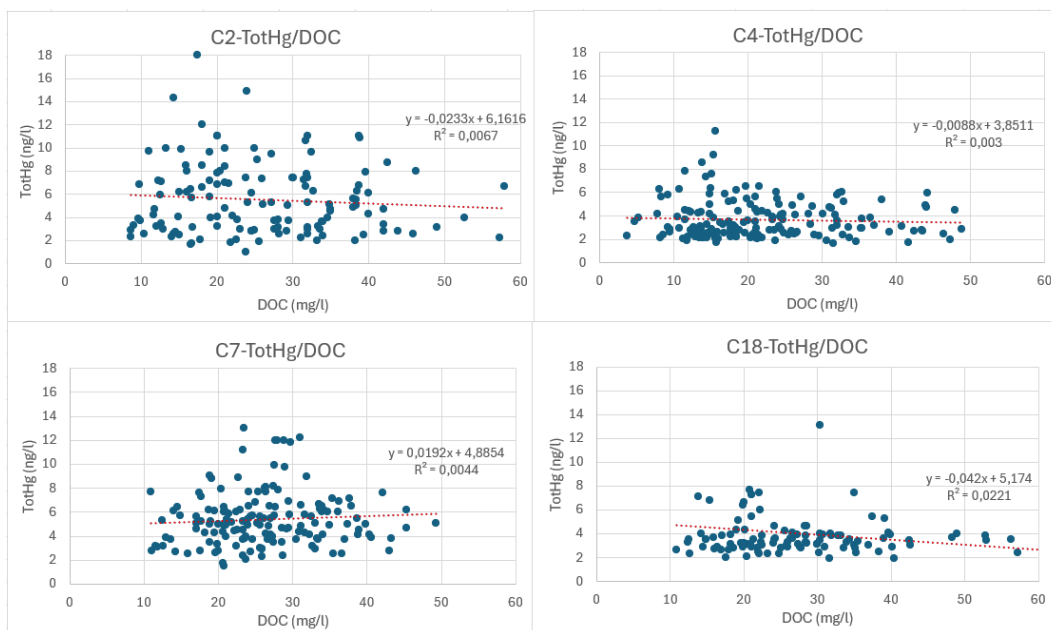
3.2 Relationen mellan TotHg, MeHg, DOC och vattenföring

Förhållandet mellan TotHg och MeHg visar ingen tydlig generell trend för de fyra områdena (figur 7). C2 visar ett positivt samband där mer TotHg leder till mer MeHg. C7 och C18 har svagt negativa samband och C4 saknar samband.

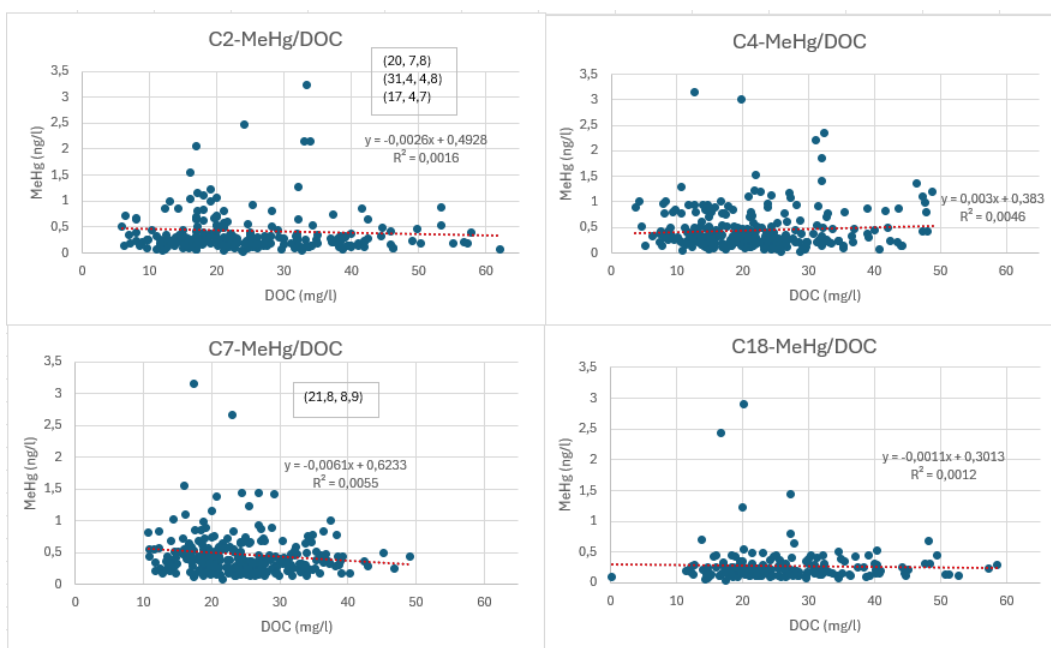


Figur 7. Förhållandet mellan TotHg och MeHg med trendlinje för alla fyra områden. Textrutan visar koordinater för en punkt utanför diagrammet.

Resultaten visar inga tydliga samband mellan DOC och TotHg (figur 8). Inte heller mellan DOC och MeHg syns några tydliga samband för något av områdena (figur 9). Alla utom C4 visar ett svagt negativt samband där mer DOC leder till mindre MeHg.

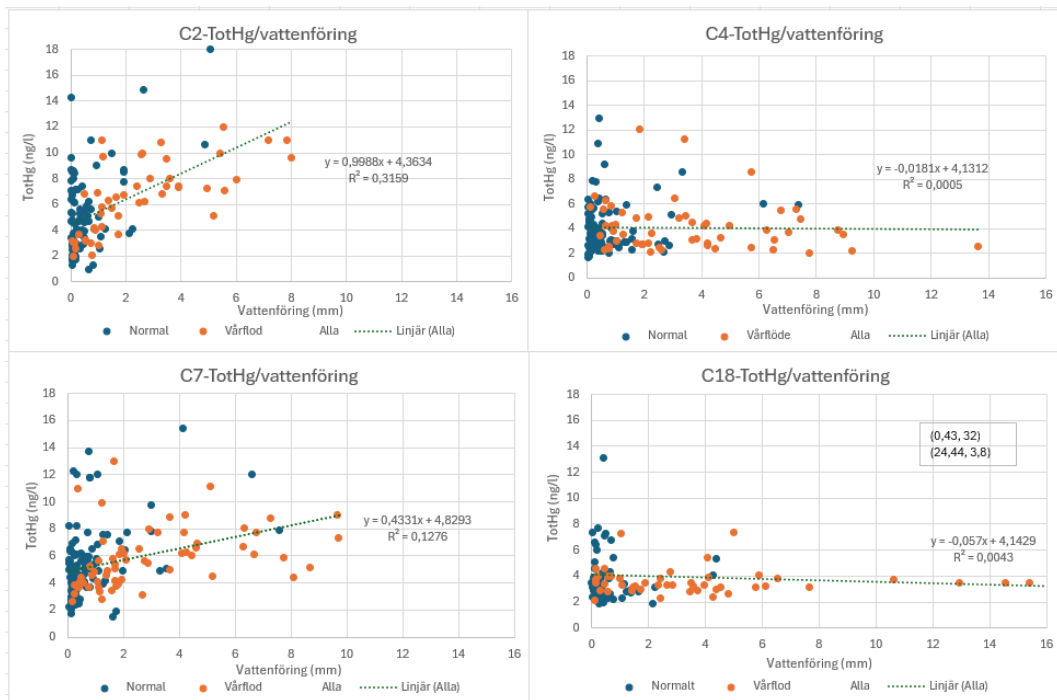


Figur 8. Relationen mellan TotHg och DOC med trendlinje för alla fyra områden.



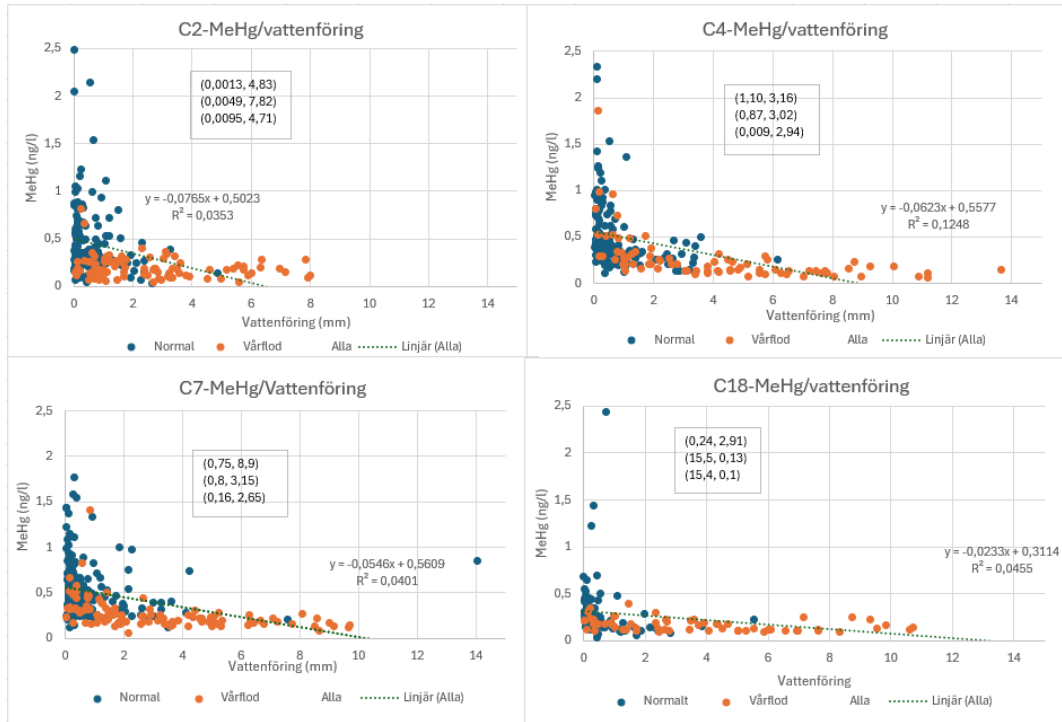
Figur 9. Förhållandet mellan MeHg och DOC med trendlinjer för alla fyra områden. Textrutorna visar punkter som ligger utanför diagrammet.

Område C2 och C7 visar positiva samband mellan TotHg och vattenföring där högre flöden leder till mer TotHg (figur 10). För område C7 och C18 syns inga tydliga samband.



Figur 10. Förhållandet mellan TotHg och vattenföring med trendlinjer för alla fyra områden. Flödesvärden från april och maj är markerade som "Vårflod". Textrutan visar värden som ligger utanför diagrammet.

Förhållandet mellan MeHg och vattenföring visar ett klart negativt samband för alla områden där högre flöde leder till mindre MeHg (figur 11). De flesta höga värdena på vattenföring förekom under vårfloden (april och maj).



Figur 11. Förhållandet mellan MeHg och vattenföring med trendlinjer för alla fyra områden. Flödesvärden från april och maj är markerade som "Vårflod". Textrutorna visar punkter som ligger utanför diagrammet.

4. Diskussion

4.1 Analys av trender

Resultaten från denna studie visar ingen gemensam trend för koncentrationen av TotHg över den undersökta tidsperioden. I område C2 och C7 ökar den något, medan den i område C4 minskar lite samtidigt som det inte går att se någon signifikant trend i område C18. Då det saknas TotHg data från flera år kan man diskutera om de trender som går att utläsa av diagrammet (figur 4) är riktigt sanningsenliga eller ej. Även om det finns data för både början och slutet av den totala tidsperioden kan de stora glappen däremellan påverka.

Koncentrationen av MeHg verkar inte heller följa någon gemensam trend för de fyra undersökta områdena. I C2 sågs en liten ökning och i C4 och C18 en liten minskning (figur 4). Utifrån resultaten från den här studien följer alltså varken koncentrationen av TotHg eller MeHg i vattendragen den minskning av Hg deposition över Sverige som konstaterats av Environment (2019).

Generellt sågs en ökning av MeHg under sommarmånaderna (figur 4) vilket även tidigare studier på område C2, C4 och C7 visat under mitten av 90-talet (Lee et al. 1995, 1998, 2000). Denna säsongsvariation fanns inte hos TotHg och en förklaring till detta skulle kunna vara att det under sommaren är högre temperatur i marken och i vattnet, vilket ökar aktiviteten hos bakterierna som bildar MeHg, precis som det nämndes i inledningen. Detta styrks av en studie på sju avrinningsområden i skogsmark i Sverige (Eklöf et al. 2015) som kom fram till att temperatur och/eller säsongsvariationer var det som främst påverkade MeHg-halten där.

Endast ett område (C2) visar en signifikant ökning av DOC från första till sista perioden så som flera tidigare studier visat (Evans et al. 2006; Erlandsson et al. 2008; Couture et al. 2012). Resultaten över det området stämmer bra överens med resultaten från Eklöf et al. (2021) som visar en minskning efter 2010, precis som för område C2 som först ökar och sedan minskar lite. Att det är just område C2 som ökar visades även i en tidigare studie över Krycklans avrinningsområde som kom fram till att DOC ökade mest i C2 och minst i C4 (Fork et al. 2020). De tror att en

förklaring till detta kan vara skillnaden i karaktär på områdena då C2 består av 100 % skogsmark och C4 av en stor andel myr (tabell 1). I skogsmarkerna varierar generellt grundvattennivån mer än i de våtmarksbeklädda områdena, vilket kan göra att mer organiskt material från de ytliga jordlagren kan dras med till vattendragen vid regn eller snösmältning.

Som jag nämnde i inledningen har tidigare rapporter främst pekat ut återhämtningen från försurning, vattenföring och ökade temperaturer som troliga anledningar till att DOC har ökat (Evans et al. 2006; Erlandsson et al. 2008; Couture et al. 2012). Det hade därför varit intressant att även kolla på sambanden mellan DOC och dessa tre för att vidare kunna koppla det till Hg koncentrationerna och se om det finns några samband. En teori är att koncentrationen av DOC har ett starkare samband med flöde i de marker med mindre andel våtmark liksom vi kunde se att C2 (100 % skogsmark) var det område som ökat i DOC.

Flödet visar inga generella trender för de fyra platserna, endast i C4 ses en svag positiv trend som lika gärna kan bero på de höga topparna i grafen och inte alls betyda att flödet ökat med åren (figur 6). Då det saknades mycket flödesdata från vintrarna innan 2012 i område C2 och C4 blev försöken till statistiska undersökningar väldigt missvisande eftersom flöde är en säsongsberoende variabel. Detta hade kanske kunnat undvikas om ett annat statistiskt test valts.

4.2 Analys av samband

Resultaten visar inget tydligt samband mellan DOC och någon form av Hg. Tidigare studier har sett starka samband mellan DOC och TotHg, även om relationen mellan dessa inte alltid är konstant över tid då kvaliteten snarare än kvantiteten på DOC verkar ha stor betydelse för hur mycket TotHg som mobiliseras (Scudder 2010; Eklöf et al. 2012). Detta tillsammans med Gerson & Driscolls (2016) teori om att det är flera faktorer som påverkar halten av MeHg i vattendrag talar för mina resultat där endast mängden DOC undersökts och visade sig inte spela så stor roll. För att få en bättre förståelse kring kopplingen mellan DOC och olika former av kvicksilver hade det varit intressant att kolla vidare på vilka olika former av DOC som dominerar och om någon av dem verkar ha en starkare koppling till Hg.

Det samband som går att se mellan TotHg och vattenföring i område C2 och C7, men som saknas för område C4 och C18 (figur 10), skulle kunna bero på områdenas karaktärer. C2 och C7 har ingen respektive liten andel våtmark, till skillnad från C4 och C18 som består av betydligt större andel våtmark (tabell 1). Under kraftiga regnfall och snösmältningen kan det därför troligtvis spolas ut mer organiskt

material med TotHg bundet till detta i område C2 och C7. Dessa har vanligtvis en grundvattennivå djupare ner i marken, jämfört med områden med mycket våtmark (C4 och C18) som även under låga flöden har grundvattennivåer närmare markytan. En tidigare studie över område C2, C4 och C7 nämner också detta som en trolig anledning till ökningen av TotHg i samband med ökade flöden (Lee et al. 1998).

Det samband som kunde ses mellan MeHg och vattenföring (figur 11) bekräftas av tidigare studier på område C2, C4 och C7 från 90-talet. Dessa visade en negativ korrelation mellan de båda variabelerna där högre flöde ledde till lägre halt MeHg (Lee et al. 1995, 2000). Deras teori är att högre flöden leder till en utspädning av MeHg halten. De högsta flödena skedde främst under våren (april/maj) då snösmältningen är kraftig.

Förhållandet mellan TotHg och MeHg visade inga generella trender för de fyra platserna. Detta var ett väntat resultat med tanke på att det inte fanns några generella trender för koncentrationen av vare sig TotHg eller MeHg över tid. Område C2 som visade ett positivt samband var det enda området som hade en signifikant ökning av både TotHg och MeHg.

Eftersom klimatet har förändrats kraftigare de senaste 40 åren än tidigare (Laudon et al. 2021) hade det varit intressant att jämföra flera av denna studies resultat med förändringar i både temperatur, nederbörd och säsongsvariationer för att leta efter mönster.

4.3 Metodval och felkällor

För de statistiska undersökningarna användes envägs ANOVA för att ta reda på om det fanns några signifikanta skillnader i medelvärdena mellan de tre perioderna som datan delades upp i för alla områden utom C18. Detta valdes just för att det var data över 30 år och jag ville dela upp den i tre grupper och undersöka skillnaden mellan dessa. För att ANOVA ska kunna användas ska observationerna inom grupperna vara oberoende av varandra samtidigt som även grupperna ska vara oberoende av varandra och variabeln som undersöks vara normalfördelad. Detta är något jag antog stämde, men missade att kontrollera innan de statistiska testerna gjordes. I efterhand upptäckte jag att kriterierna inte helt uppfylls av alla variabler som undersöktes. Fördelningen för de olika variabelerna går att se i bilaga 2 där TotHg visas i figur 1–4 i, MeHg i figur 5–8 och DOC i figur 9–12. I dessa ser man att varken TotHg eller MeHg kan anses normalfördelade, de har väldigt många mätningar inom ett litet spann och sedan några få höga extremvärden som gör att det blir lite skevt fördelat. Spridningen av DOC är mer likt en normalfördelning, men även där är det fler extra höga värden än extra låga, så kurvan är lite förskjuten.

Detta gör att de statistiska resultaten eventuellt inte är så trovärdiga som önskat. För att få en kurva som mer liknar en normalfördelning hade man kunnat logaritmera alla mätvärden och göra om alla tester utifrån de värdena.

För vattenföring som har tydliga säsongsvariationer hade det varit bra att använda någon annan form av statistiskt test än ANOVA. Ett förslag är "Seasonal Kendall" som tar hänsyn till variationer i tid.

Slutsats

Koncentrationer av TotHg, MeHg och DOC är stabila över tid. Vattenföringen har stor påverkan på både TotHg-halten och MeHg-halten i vattendragen. Vidare underökningar behövs för att förstå kopplingen mellan DOC och de olika formerna av Hg. Ytterligare studier behöver utvärdera hur den ökade temperatur under de senaste 40 åren har påverkat Hg koncentrationerna i ytvatten.

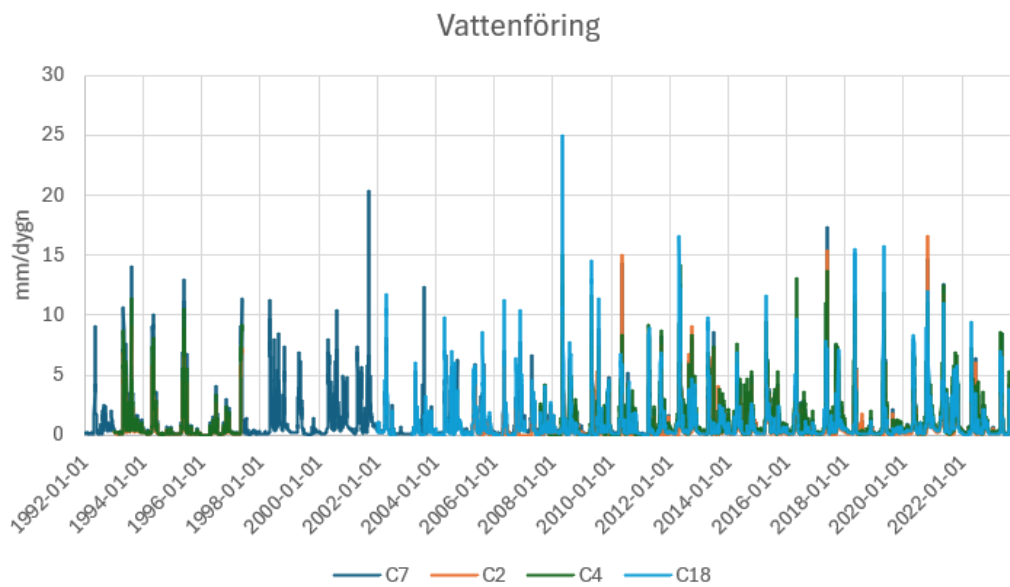
Referenser

- Adams, E.M., Gulka, J.E., Yang, Y., Burton, M.E.H., Burns, D.A., Buxton, V., Cleckner, L., DeSorbo, C.R., Driscoll, C.T., Evers, D.C., Fisher, N., Lane, O., Mao, H., Riva-Murray, K., Millard, G., Razavi, N.R., Richter, W., Sauer, A.K. & Schoch, N. (2023). Distribution and trends of mercury in aquatic and terrestrial biota of New York, USA: a synthesis of 50 years of research and monitoring. *Ecotoxicology*, 32 (8), 959–976. <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02704-0>
- Bergman, I., Bishop, K., Tu, Q., Frech, W., Åkerblom, S. & Nilsson, M. (2012). The Influence of Sulphate Deposition on the Seasonal Variation of Peat Pore Water Methyl Hg in a Boreal Mire. *PLOS ONE*, 7 (9), e45547. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045547>
- Bishop, K., Shanley, J.B., Riscassi, A., de Wit, H.A., Eklöf, K., Meng, B., Mitchell, C., Osterwalder, S., Schuster, P.F., Webster, J. & Zhu, W. (2020). Recent advances in understanding and measurement of mercury in the environment: Terrestrial Hg cycling. *Science of The Total Environment*, 721, 137647. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137647>
- Braaten, H.F.V., Åkerblom, S., Kahilainen, K.K., Rask, M., Vuorenmaa, J., Mannio, J., Malinen, T., Lydersen, E., Poste, A.E., Amundsen, P.-A., Kashulin, N., Kashulina, T., Terentyev, P., Christensen, G. & de Wit, H.A. (2019). Improved Environmental Status: 50 Years of Declining Fish Mercury Levels in Boreal and Subarctic Fennoscandia. *Environmental Science & Technology*, 53 (4), 1834–1843. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06399>
- Branfireun, B.A., Cosio, C., Poulain, A.J., Riise, G. & Bravo, A.G. (2020). Mercury cycling in freshwater systems - An updated conceptual model. *Science of The Total Environment*, 745, 140906. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140906>
- Branfireun, B.A., Roulet, N.T., Kelly, Carol.A. & Rudd, J.W.M. (1999). In situ sulphate stimulation of mercury methylation in a boreal peatland: Toward a link between acid rain and methylmercury contamination in remote environments. *Global Biogeochemical Cycles*, 13 (3), 743–750. <https://doi.org/10.1029/1999GB900033>
- Campeau, A., Bishop, K., Nilsson, M.B., Klemedtsson, L., Laudon, H., Leith, F.I., Öquist, M. & Wallin, M.B. (2018). Stable Carbon Isotopes Reveal Soil-Stream DIC Linkages in Contrasting Headwater Catchments. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123 (1), 149–167. <https://doi.org/10.1002/2017JG004083>
- Couture, S., Houle, D. & Gagnon, C. (2012). Increases of dissolved organic carbon in temperate and boreal lakes in Quebec, Canada. *Environmental Science and Pollution Research*, 19 (2), 361–371. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0565-6>
- Degerö / ICOS Sweden (u.å.). <https://www.icos-sweden.se/degero> [2024-03-27]
- Depew, D.C., Burgess, N.M., Anderson, M.R., Baker, R., Bhavsar, S.P., Bodaly, R.A. (Drew), Eckley, C.S., Evans, M.S., Gantner, N., Graydon, J.A., Jacobs, K., LeBlanc, J.E., St. Louis, V.L. & Campbell, L.M. (2013). An overview of mercury concentrations in freshwater fish species: a national fish mercury dataset for Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70 (3), 436–451. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0338>
- Eklöf, K., von Brömssen, C., Amvrosiadi, N., Fölster, J., Wallin, M.B. & Bishop, K. (2021). Brownification on hold: What traditional analyses miss in extended surface

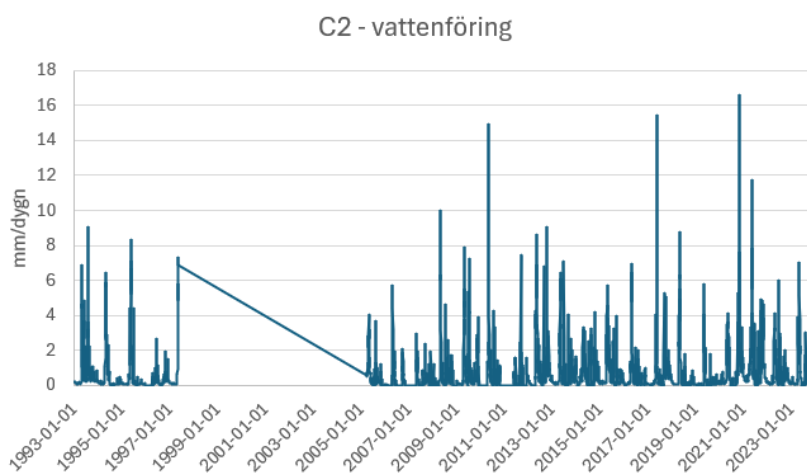
- water records. *Water Research*, 203, 117544.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117544>
- Eklöf, K., Fölster, J., Sonesten, L. & Bishop, K. (2012). Spatial and temporal variation of THg concentrations in run-off water from 19 boreal catchments, 2000–2010. *Environmental Pollution*, 164, 102–109.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.01.024>
- Eklöf, K., Kraus, A., Futter, M., Schelker, J., Meili, M., Boyer, E.W. & Bishop, K. (2015). Parsimonious Model for Simulating Total Mercury and Methylmercury in Boreal Streams Based on Riparian Flow Paths and Seasonality. *Environmental Science & Technology*, 49 (13), 7851–7859. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00852>
- Environment, U.N. (2019). *Global Mercury Assessment 2018. UNEP - UN Environment Programme*. <http://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018> [2024-04-17]
- Erlandsson, M., Buffam, I., Fölster, J., Laudon, H., Temnerud, J., Weyhenmeyer, G.A. & Bishop, K. (2008). Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate. *Global Change Biology*, 14 (5), 1191–1198. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01551.x>
- Evans, C.D., Chapman, P.J., Clark, J.M., Monteith, D.T. & Cresser, M.S. (2006). Alternative explanations for rising dissolved organic carbon export from organic soils. *Global Change Biology*, 12 (11), 2044–2053. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01241.x>
- Fork, M.L., Sponseller, R.A. & Laudon, H. (2020). Changing Source-Transport Dynamics Drive Differential Browning Trends in a Boreal Stream Network. *Water Resources Research*, 56 (2), e2019WR026336. <https://doi.org/10.1029/2019WR026336>
- Gerson, J.R. & Driscoll, C.T. (2016). Is Mercury in a Remote Forested Watershed of the Adirondack Mountains Responding to Recent Decreases in Emissions? *Environmental Science & Technology*, 50 (20), 10943–10950. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02127>
- Ivarsson, H. & Jansson, M. (1995). Sources of acidity in running waters in central northern Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution*, 84 (3), 233–251. <https://doi.org/10.1007/BF00475342>
- Klimatförändringar i Sverige* (u.å.). *Världsnaturfonden WWF*. <https://www.wwf.se/klimat/klimatforandringar-i-sverige/> [2024-05-22]
- Laudon, H. (2019). A unique infrastructure for field based research on hydrology, ecology and biogeochemistry. 2019
- Laudon, H., Hasselquist, E.M., Peichl, M., Lindgren, K., Sponseller, R., Lidman, F., Kuglerová, L., Hasselquist, N.J., Bishop, K., Nilsson, M.B. & Ågren, A.M. (2021). Northern landscapes in transition: Evidence, approach and ways forward using the Krycklan Catchment Study. *Hydrological Processes*, 35 (4), e14170. <https://doi.org/10.1002/hyp.14170>
- Lee, Y.H., Bishop, K., Pettersson, C., Iverfeldt, Å. & Allard, B. (1995). Subcatchment output of mercury and methylmercury at Svartberget in northern Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80 (1), 455–465. <https://doi.org/10.1007/BF01189695>
- Lee, Y.H., Bishop, K.H. & Munthe, J. (2000). Do concepts about catchment cycling of methylmercury and mercury in boreal catchments stand the test of time? Six years of atmospheric inputs and runoff export at Svartberget, northern Sweden. *Science of The Total Environment*, 260 (1), 11–20. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00538-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00538-6)
- Lee, Y.H., Bishop, K.H., Munthe, J., Iverfeldt, Å., Verta, M., Parkman, H. & Hultberg, H. (1998). An examination of current Hg deposition and export in Fenno-Scandian catchments. *Biogeochemistry*, 40 (2), 125–135. <https://doi.org/10.1023/A:1005926321337>

- Lin, C.-J. & Pehkonen, S.O. (1999). The chemistry of atmospheric mercury: a review. *Atmospheric Environment*, 33 (13), 2067–2079. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00387-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00387-2)
- Liu, G., Cai, Y. & O’Driscoll, N. (red.) (2011). *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury*. 1. uppl. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118146644>
- Lourie, B., Glenn, W., Ogilvie, K., Everhardus, E., Friesen, K. & Rae, S. (2003). *Mercury in the environment: a primer*.
- Naturvårdsverket (2023). *Minamatakonventionen om kvicksilver*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/internationellt-miljoarbete/internationella-miljokonventioner/minamatakonventionen-om-kvicksilver/> [2024-04-17]
- Pettersson, T. & Haglund, I. (2023). *Mercury in a Swedish landscape over 30 years*. <https://stud.epsilon.slu.se/19138/1/Pettersson-Haglund-20230629.pdf> [2024-04-20]
- Scudder, B.C. (2010). *Mercury in Fish, Bed Sediment, and Water from Streams Across the United States, 1998-2005*. DIANE Publishing.
- Sillanpää, M., Matilainen, A. & Lahtinen, T. (2015). Chapter 2 - Characterization of NOM. I: Sillanpää, M. (red.) *Natural Organic Matter in Water*. Butterworth-Heinemann. 17–53. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801503-2.00002-1>
- St. Louis, V.L., Rudd, J.W.M., Kelly, C.A., Beaty, K.G., Flett, R.J. & Roulet, N.T. (1996). Production and Loss of Methylmercury and Loss of Total Mercury from Boreal Forest Catchments Containing Different Types of Wetlands. *Environmental Science & Technology*, 30 (9), 2719–2729. <https://doi.org/10.1021/es950856h>
- Svartberget Research Station (2023a). Water balance - stream discharge from Kallkälsbäcken, Catchment 7, 2004-09-30–2023-11-13 [Data set]. Swedish Infrastructure for Ecosystem Science (SITES). https://hdl.handle.net/11676.1/adVF13uWj9IiUHOhej0T_EFk
- Svartberget Research Station (2023b). Water balance - stream discharge from Kallkälsmyren, Catchment 4, 2007-05-29–2023-11-13 [Data set]. Swedish Infrastructure for Ecosystem Science (SITES). <https://hdl.handle.net/11676.1/dLKWcvbkrEQzz2-IHiNkYxAN>
- Svartberget Research Station (2023c). Water balance - stream discharge from Västrabäcken, Catchment 2, 2005-04-06–2023-11-17 [Data set]. Swedish Infrastructure for Ecosystem Science (SITES). https://hdl.handle.net/11676.1/A_CTnQy1EXST8ux_XvoBz51C
- Svartberget Research Station (2024). Water balance - stream discharge from Degerö, Catchment 18, 2012-04-25–2023-11-23 [Data set]. Swedish Infrastructure for Ecosystem Science (SITES). <https://hdl.handle.net/11676.1/rtG6gNR3dS26m0xE8Tap9DWj>
- Ullrich, S.M., Tanton, T.W. & Abdrashitova, S.A. (2001). Mercury in the Aquatic Environment: A Review of Factors Affecting Methylation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31 (3), 241–293. <https://doi.org/10.1080/20016491089226>
- Ågren, A., Buffam, I., Berggren, M., Bishop, K., Jansson, M. & Laudon, H. (2008). Dissolved organic carbon characteristics in boreal streams in a forest-wetland gradient during the transition between winter and summer. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113 (G3). <https://doi.org/10.1029/2007JG000674>
- Åkerblom, S., Bignert, A., Meili, M., Sonesten, L. & Sundbom, M. (2014). Half a century of changing mercury levels in Swedish freshwater fish. *AMBIO*, 43 (1), 91–103. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0564-1>

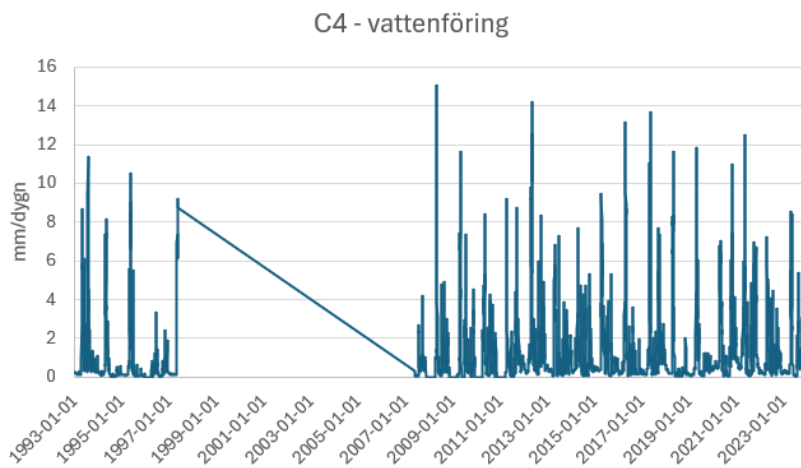
Bilaga 1



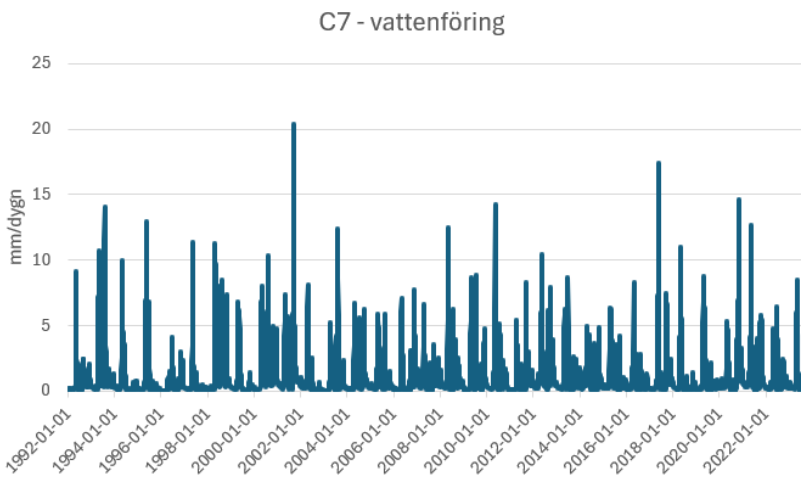
Figur 1. Vattenföringen för alla fyra områden.



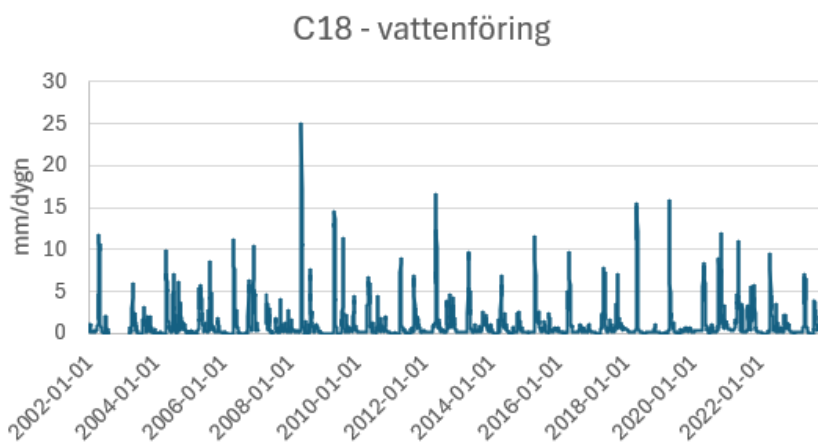
Figur 2. Vattenföring för område C2.



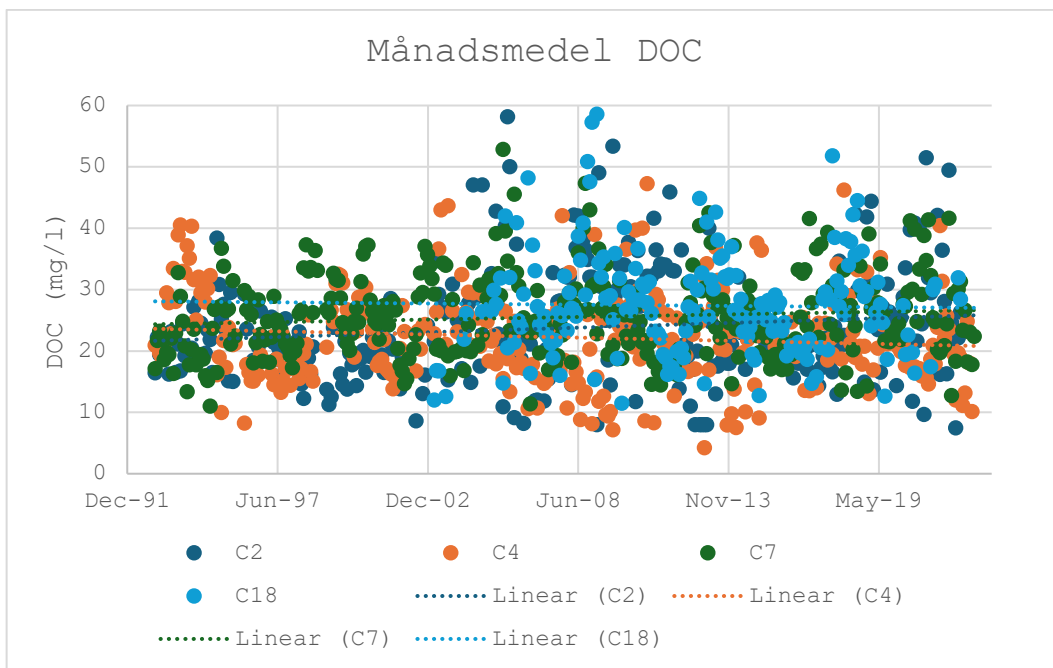
Figur 3. Vattenföring för område C4.



Figur 4. Vattenföring för område C7.

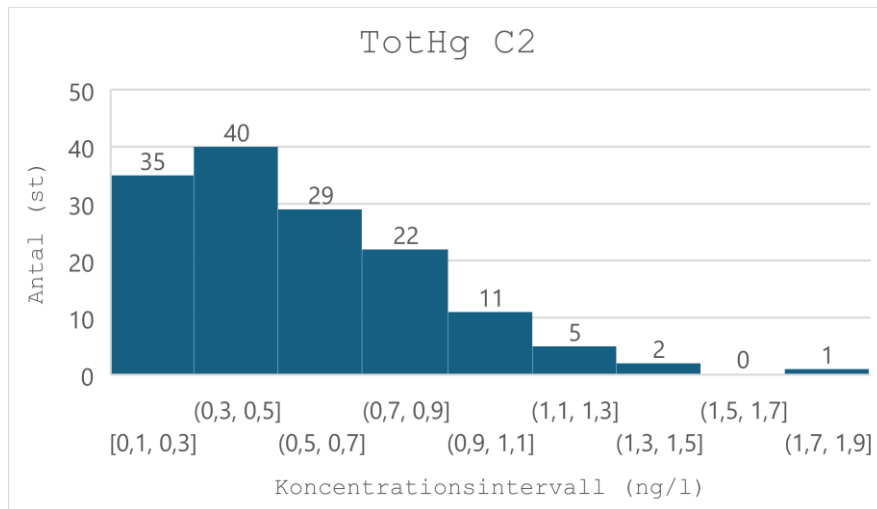


Figur 5. Vattenföring för område C18.

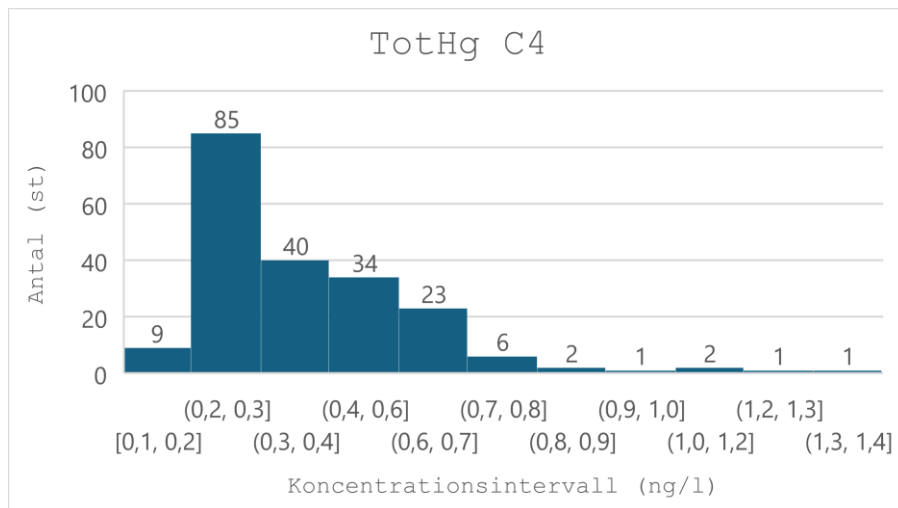


Figur 6. Månadsmedelvärde av DOC för alla fyra områden med trendlinjer.

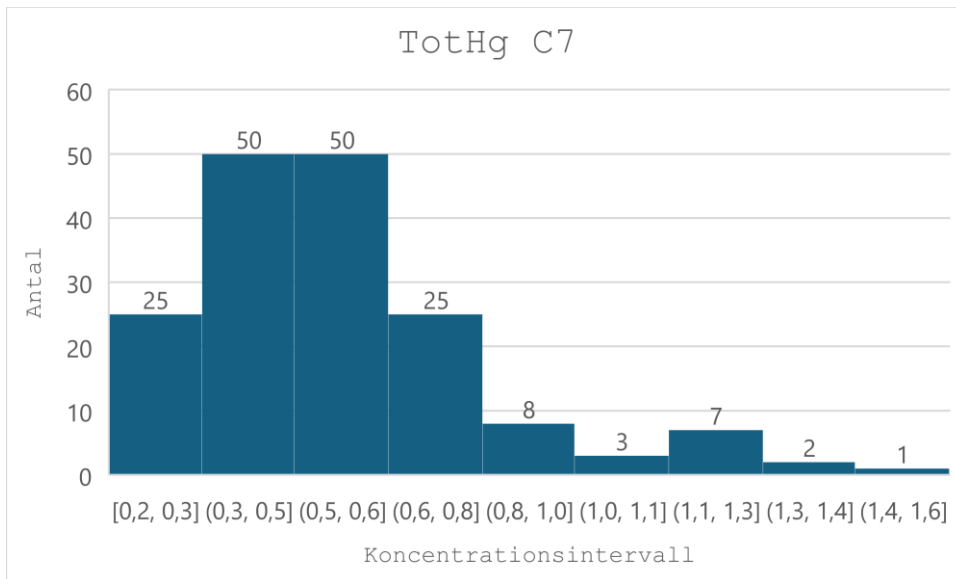
Bilaga 2



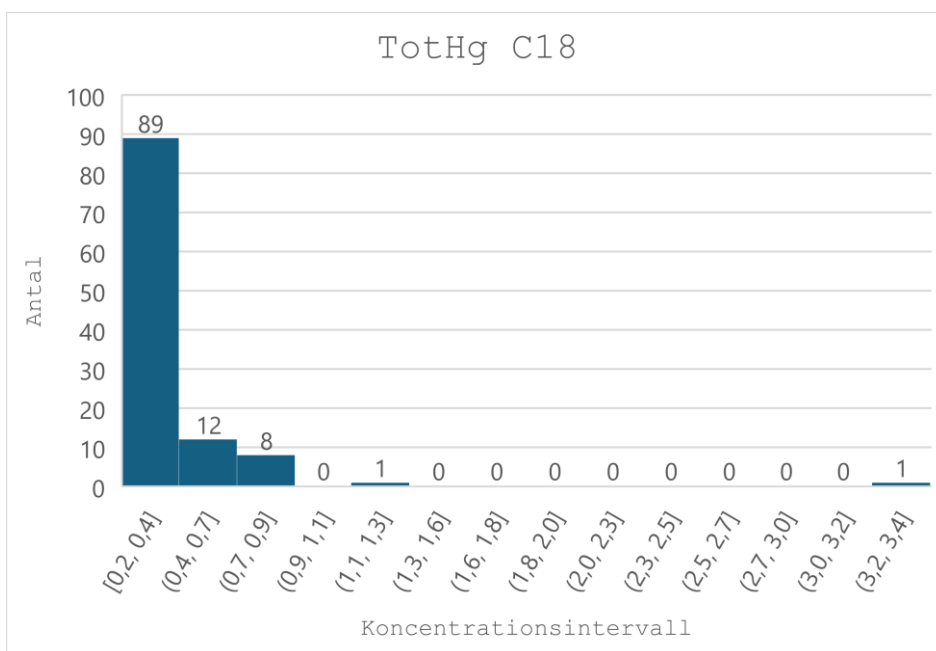
Figur 1. Histogram över TotHg för område C2. Varje koncentrationsintervall är 2 ng/l brett med start på 1,0–3,0 ng/l.



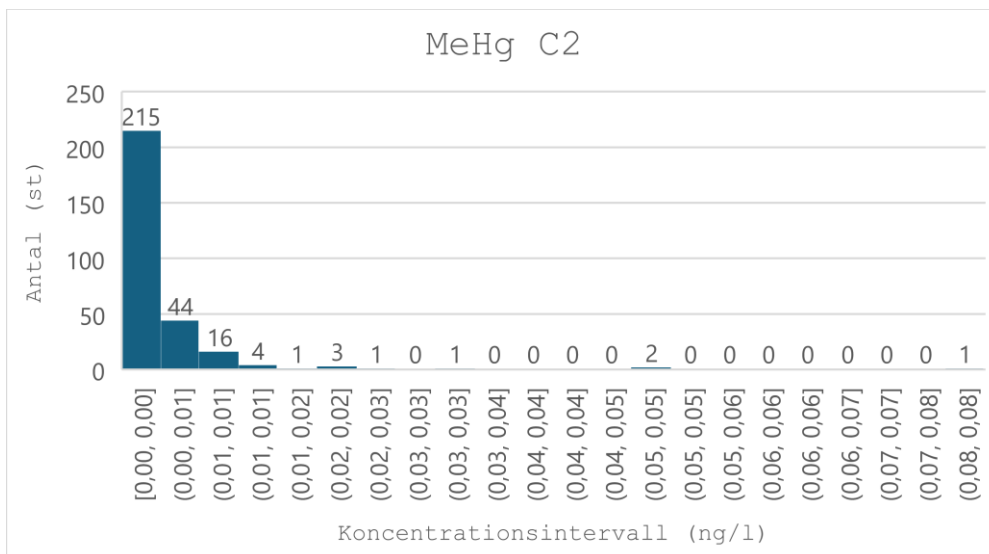
Figur 2. Histogram över TotHg för område C4. Varje koncentrationsintervall är 1,2 ng/l brett med start på 0,8–2,0 ng/l.



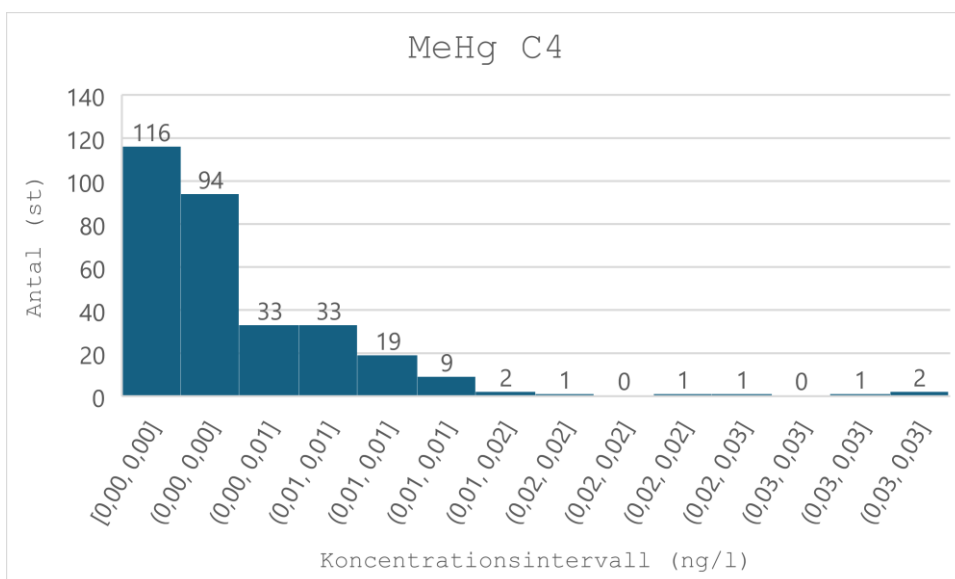
Figur 3. Histogram över TotHg för område C7. Varje koncentrationsintervall är 1,6 ng/l brett med start på 1,5–3,1 ng/l.



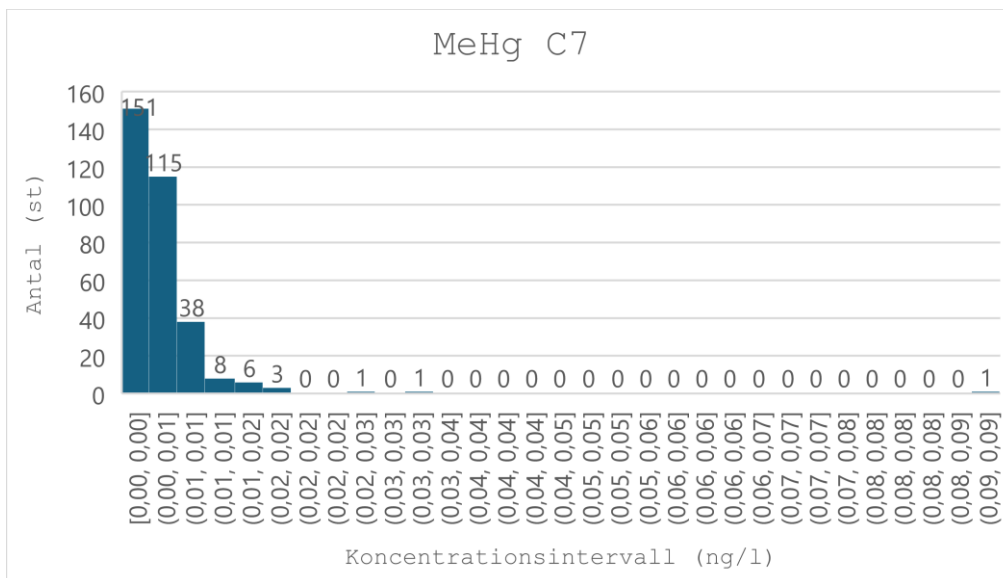
Figur 4. Histogram över TotHg för område C18. Varje koncentrationsintervall är 2,3 ng/l brett med start på 1,9–4,2 ng/l.



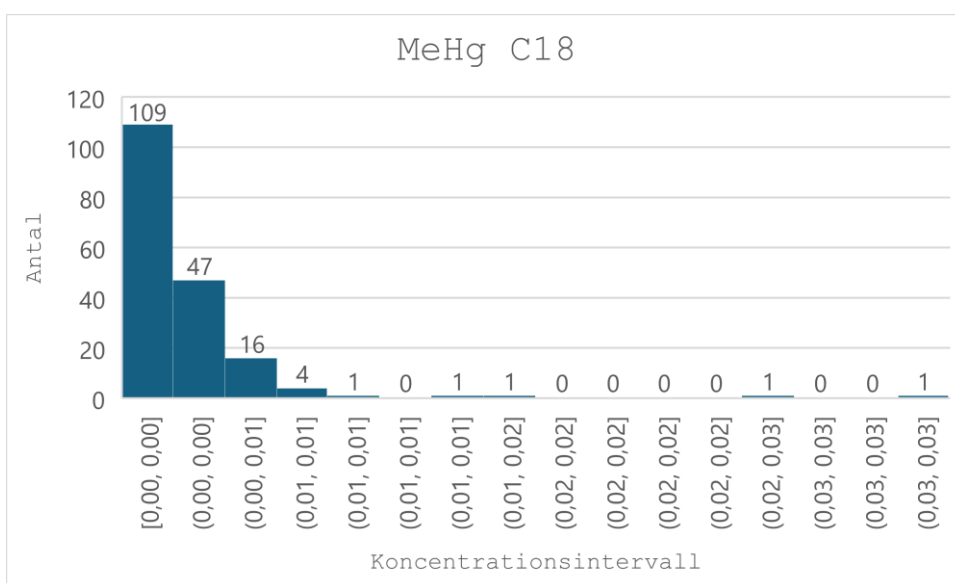
Figur 5. Histogram över MeHg för område C2. Varje koncentrationsintervall är 0,36 ng/l brett med start på 0,01–0,37 ng/l.



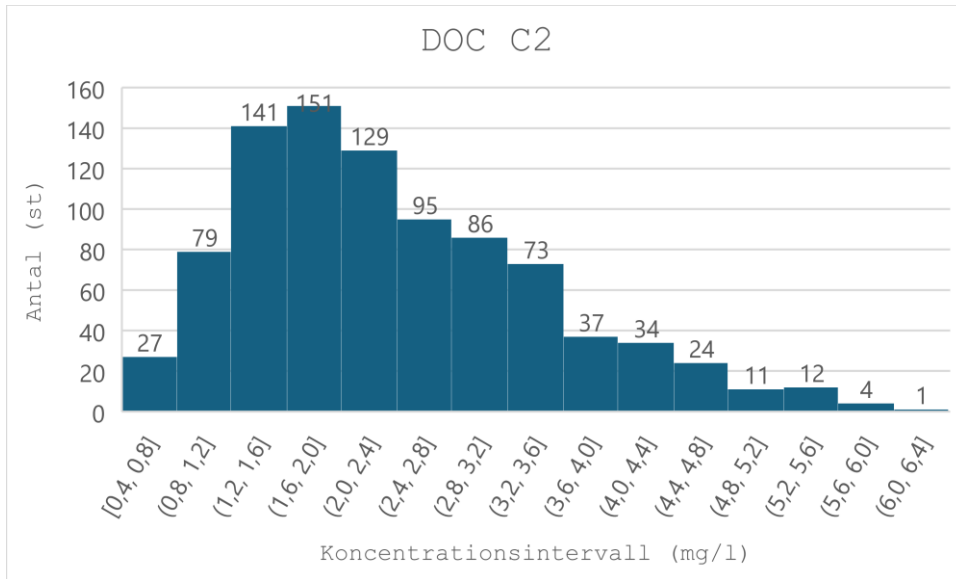
Figur 6. Histogram över MeHg för område C4. Varje koncentrationsintervall är 0,23 mg/l brett med start på 0,02–0,25 ng/l.



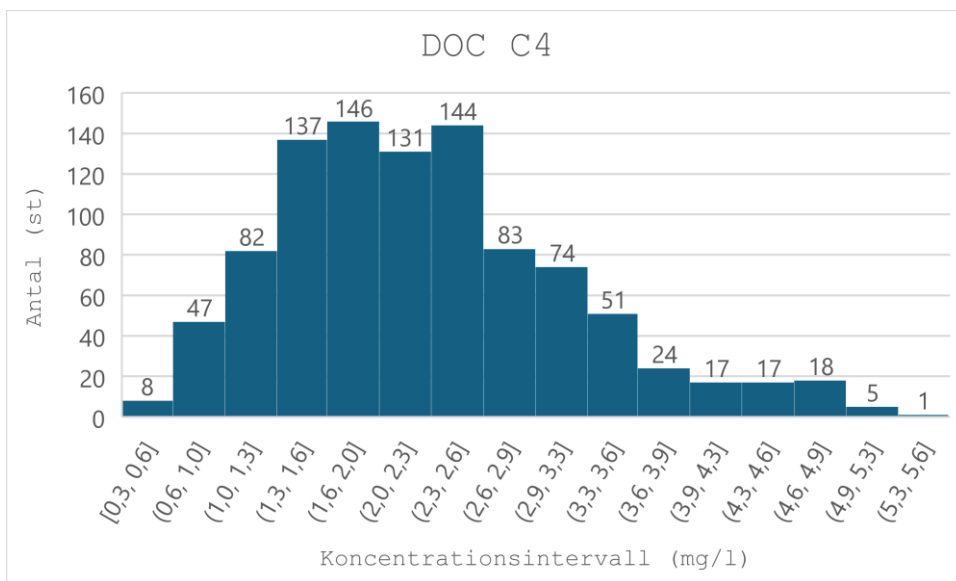
Figur 7. Histogram över MeHg för område C7. Varje koncentrationsintervall är 0,29 ng/l brett med start på 0,06–0,35 ng/l.



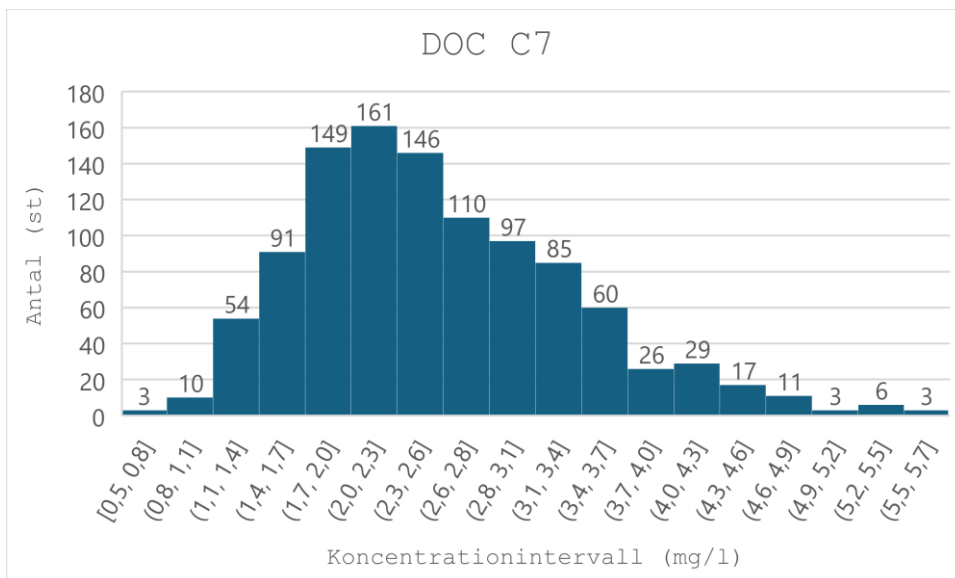
Figur 8. Histogram över MeHg för område C18. Varje koncentrationsintervall är 0,19 ng/l brett med start på 0,04–0,23 ng/l.



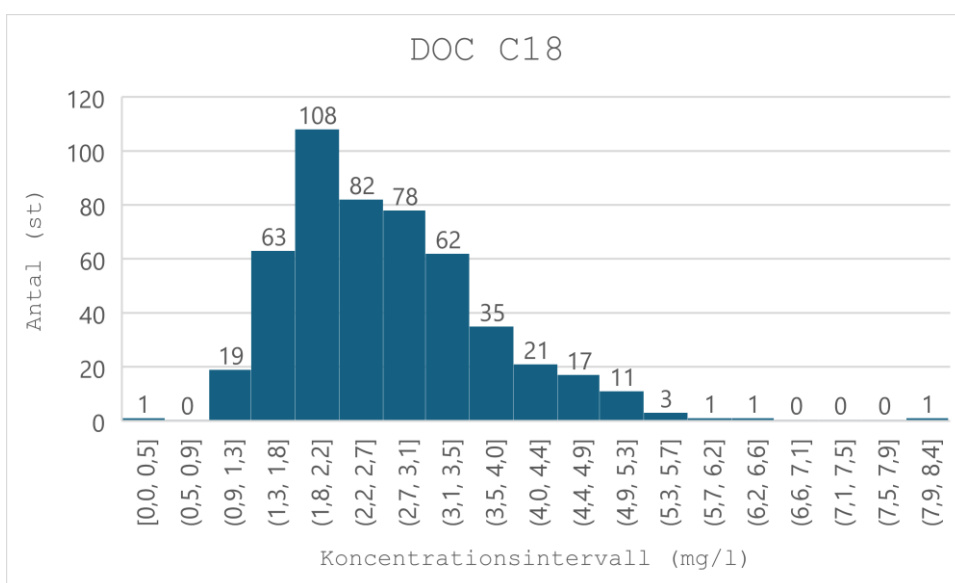
Figur 9. Histogram över DOC för område C2. Varje koncentrationsintervall är 4 mg/l brett med start på 3,6–7,6 mg/l.



Figur 10. Histogram över DOC för område C4. Varje koncentrationsintervall är 3,3 mg/l brett med start på 3,0–6,3 mg/l.



Figur 11. Histogram över DOC för område C7. Varje koncentrationsintervall är 2,9 mg/l brett med start på 5,3–8,2 mg/l.



Figur 12. Histogram över DOC för område C18. Varje koncentrationsintervall är 4,4 mg/l brett med start på 0,2–4,6 mg/l.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.