



UPPSALA
UNIVERSITET

Kvicksilver

Miljögiftet vi inte får bort ur våra ekosystem

Nils Broberg

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2009
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag

Kvicksilver har använts av människor i någon form i över 3500 år, men den stora användningen kom först under den industriella revolutionen. Antropogena utsläpp samt utsläpp från vulkaner och avdunstningar från land och hav har bidragit till att det atmosfäriska kvicksilvret har fördubblats.

Det kan ta över ett år innan det atmosfäriska kvicksilvret oxideras och förs ner till marken, vilket medför att det kan förflyttas över långa sträckor. Väl i marken binder kvicksilvret bra till mårllager och andra underliggande lager i jorden, vilket medför att det lätt kan ansamlas under en längre tid utan att märkas. Kvicksilver i mark och hav kan omvandlas till flera olika former, varav flera har allvarliga toxiska effekter på ekosystemen.

Det finns flera fall när lokala utsläpp av kvicksilver har skadat miljön och människor i trakten. Även om det fortfarande kan ske storskaliga lokala utsläpp, så ligger den stora faran i det ökande atmosfäriska kvicksilvret. En stor del av kvicksilvernedfallet sker över de nordliga breddgraderna, där man tydligt kan se effekter på ekosystem och människor.

I Sverige har fortfarande hälften av våra sjöar för höga kvicksilverhalter. Det som anses orsaka detta är främst den ökande metyleringen av kvicksilver. Detta har ett samband med dagens skogsbruk, som resulterar i en ökning av syrefattiga zoner i marken. Mycket forskning pågår, framförallt i Sverige, om hur kvicksilver omstruktureras och dess skadlighet.

Flera åtgärder behöver göras, framförallt måste vi minska på det atmosfäriska kvicksilvret. Detta kan bara göras med hjälp av hårdare lagar och påföljder av utsläpp, för att komma ner till de nivåer som är möjliga med tillgänglig teknik. Mer samarbete behövs, även internationellt, för att sprida information och hjälp även till andra länder som inte klarar det själva.

Inledning

Kvicksilver har under en mycket lång tid varit känt för människan, redan 1500 f. Kr. tror man att metallen användes av våra förfäder. För ca 2500 år sedan började man använda kvicksilver för att göra amalgam med andra metaller. Användningen av kvicksilver har ökat i takt med att nya användningsområden har påfunnits. Kvicksilver har använts inom ett stort antal områden, som inom medicin och teknik. Kvicksilverkonsumtionen har varit stor under en mycket lång tid, då främst från silver och guldbrytning med amalgamer i Sydeuropa. Den storskaliga användningen började efter den industriella revolutionen (Hylander & Meili 2005).

Trots att det finns flera fall genom historien där människor tagit skada av kvicksilverförgiftning så har ändå myten om att kvicksilver är ofarligt, även hälsosamt, lyckats leva kvar. Trots att vi nu under flera årtionden har känt till att kvicksilver är farligt och till och med dödligt (det finns flera allvarliga fall där människor blivit kvicksilverförgiftade mot sin egen vetskap), har vi idag mer atmosfäriskt kvicksilver än någonsin.

Syftet med denna sammanställning är att utreda hur problemet med kvicksilver i naturen, och då speciellt med atmosfäriskt kvicksilver, har blivit så omfattande. Kvicksilvrets utsläpp, kretslopp, omvandling och toxicitet behandlas både från svenskt och internationellt perspektiv.

Hur förekommande är kvicksilver och var kommer det ifrån?

I flera tusen år har kvicksilver ansetts som en värdefull resurs och med tiden har flera användningsområden för metallen påfunnits. Även om skadligheten med kvicksilver upptäcktes redan av Pliny den äldre (död år 79 e.Kr.) har det inte funnits några restriktioner på hur kvicksilver får användas eller i vilken kvantitet förrän under senare delen av 1900-talet. Detta har i flera fall lett till allvarlig förgiftning av miljön och människor i dess omgivning i bland annat Irak, Japan och USA. Det är först när påtryckningar från allmänheten har blivit för stora som industrier och regeringar har accepterat att kvicksilver är ett miljögift och som bör kontrolleras (Hylander & Meili 2005).

Nyligen har flera undersökningar gjorts på hur omfattande kvicksilverutsläppen är från stora källor som ex. klor-alkalifabriker och andra industrier som använder kvicksilver. Även utsläpp från förbränningar av avfall och fossila bränslen har undersökts. Dessa mätningar är ofta rätt svåra och blir lätt oklara, vilket tyvärr bidrar till att det blir en underskattning av hur stora de antropogena utsläppen är. 1995 rapporterades att det globala utsläppen från avfallsförbränning var 111 ton kvicksilver, men detta tros vara en felbedömning och det riktiga värdet borde vara upp mot 5 gånger större (Hylander & Meili 2005). Detta på grund av att få länder rapporterar in hur stora mängder avfall de förbränner och ännu färre länder mäter kvicksilver i utsläppen. Ännu mindre är känt om kvicksilverutsläpp från avfall som läggs i deponier, där avsiktlig eller oavsiktlig eldning sprider utsläppen (Lindberg & Price 1999, Hylander *et al.* 2003). Detta kan vara ett stort problem med tanke på den stora mängd kvicksilver som årligen skyfflas undan som avfall. Enligt EU:s uträkningar rör det sig om 990 ton per år, fast med tanke på all data som fattas rör det sig snarare om 2000-4000 ton per år (Mukherjee *et al.* 2004).

Under 1960-talet började Sverige och Finland oroa sig för den ökande dödligheten hos fåglar som åt frön från åkrar, där utsädet blivit betesbehandlat med kvicksilver. Detta satte fart på debatten om hur farligt kvicksilver är. När man sedan upptäckte de höga halterna av

kvicksilver i fisk i närheten av våra pappers- och klor-alkalifabriker, tog det inte lång tid innan den svenska regeringen införde lagar om användning av kvicksilver. 1966 förbjöds det i Sverige att använda kvicksilver som betesbehandlande medel och 1988 förbjöds kvicksilver i alla former av bekämpningsmedel. Nu fyra årtionden senare har Sverige lyckats få bort nästan all användning av kvicksilver och ses ofta som ett ledande land för kvicksilverminskning (Hylander & Meili 2005).

Hur förflyttas och omstruktureras kvicksilver?

Kvicksilver kan förekomma i många olika former i naturen och det är inte alltid den form människan släpper ut som är farligast. Kvicksilvrets kretslopp är mycket komplicerat och många reaktioner saknar man fortfarande kunskap om. Klart är att atmosfäriskt kvicksilver bildas i form av kvicksilverånga (Hg^0), genom vulkanutsläpp och avdunstningar från mark och hav. Användningen av kvicksilver i diverse metallindustrier och vid förbränning av kvicksilverhaltigt material, har lett till att det atmosfäriska kvicksilvret ökat till över det dubbla (Gårdfeldt 2001).

Problemet ligger inte i sig i att luften har för höga kvicksilverhalter; bakgrundskoncentrationen över norra halvklotet ligger endast på strax över 0,2 biljondelar baserat på volym (Gårdfeldt 2001). Men kvicksilver kan finnas i atmosfären i över ett år, och på grund av det kan det förflyttas över långa sträckor. Detta medför att platser som inte har något naturligt kvicksilverutsläpp ändå kan förorenas. Till slut omvandlas (oxideras) kvicksilverångan (Hg^0) till vattenlöslig form (Hg^{2+}) och förs ner till marken med vattendropparna. Om kvicksilvret i luft inte utgjorde något större hot mot människan gör det markbundna kvicksilvret det i högre grad. Väl i marken kan nämligen kvicksilvret omvandlas (metyleras) med hjälp av svavelreducerande bakterier till metylkvicksilver (MeHg). (Fig 1)

Flera faktorer spelar in under omvandlingsprocessen till metylkvicksilver. Den främsta orsaken är en ökning av syrefattiga zoner i vilka de svavelreducerande bakterierna trivs bäst. Syrefattiga zoner är vanligast i fuktiga skogsområden, i närheten av bäckar och i våtmarker. Nyligen har man märkt att skogsbruket ofta kan öka metyleringsprocessen, då tunga skogsmaskiner lätt kör sönder marken och på så sätt höjer grundvattenytan (Bishop 2005)

När kvicksilver kommer ut i våra sjöar är det ett stort hot eftersom det då kan tas upp i biota. Främst gäller det metylkvicksilver, som på grund av sin fettlöslighet lätt tas upp och bioackumuleras i organismer (Skjellberg 2003). Dessutom kan metylkvicksilvret anrikas i näringskedjorna (s.k. biomagnifikation). I de högsta trofinivåerna, där bland annat vi människor befinner oss, kan halten av metylkvicksilver i vävnader vara så hög som 1800 till 80000 gånger högre än halterna i det närliggande vattnet (Clarkson 2002, Risher *et al.* 2002).

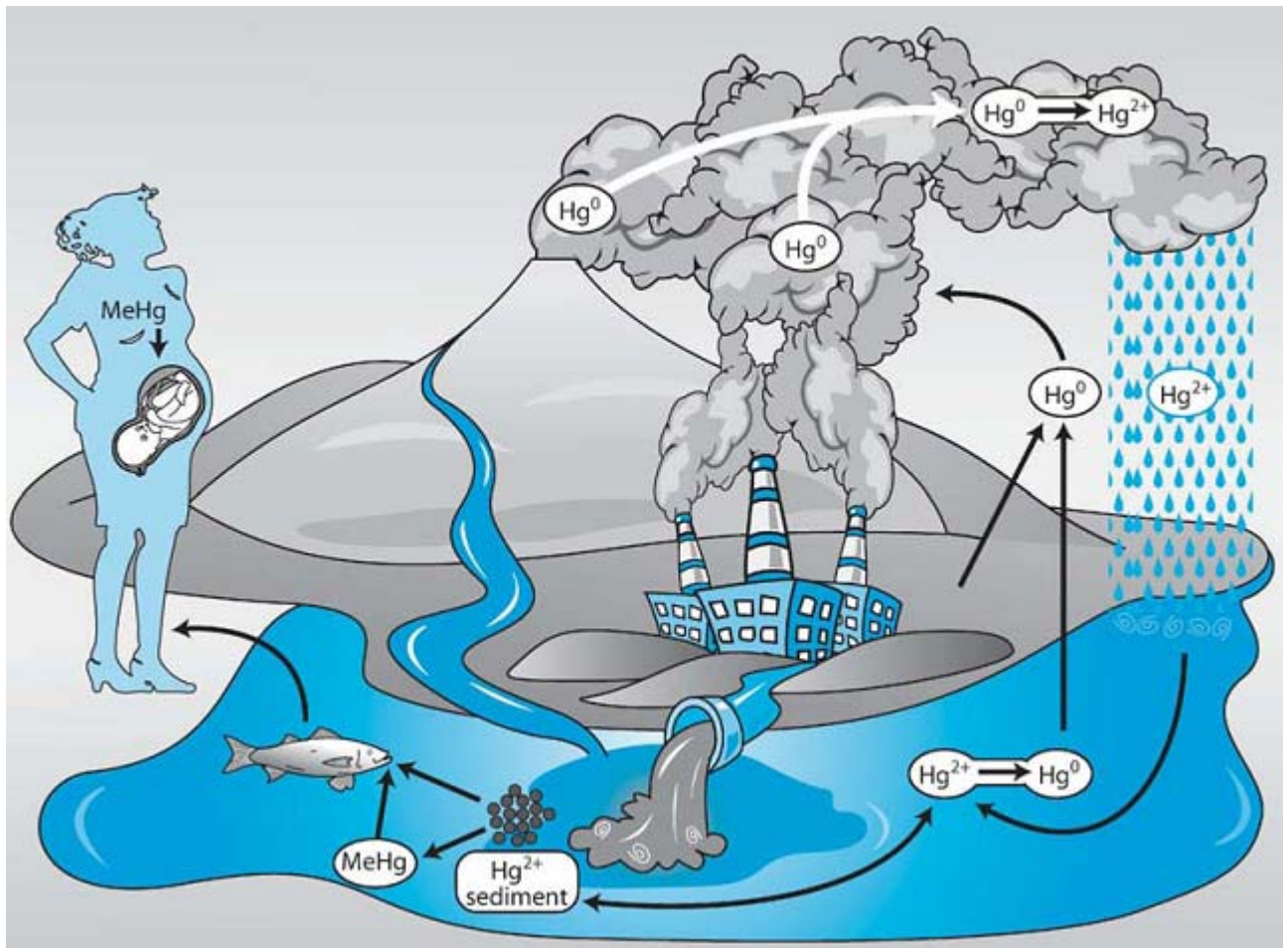


Fig.1 Förflyttning av kvicksilver i miljön. (Casarett & Doull's 2008, figuren återges med tillstånd från Knovel Support)

Hur giftigt kvicksilver är för vattenlevande organismer, beror på hur stor mottaglighet de har och hur hög dos de exponeras för. Detta gäller både på ekosystemnivå och för enskilda individer. Hur lättupptagligt och skadligt kvicksilvret är beror på dess form (Meili *et al.* 2003). Tre av de vanligaste formerna beskrivs nedan.

Kvicksilvrets former och toxicitet

Kvicksilverånga

Kvicksilverånga (Hg^0) är väldigt lättupptagligt av kroppen och runt 80 % av Hg^0 tas upp genom lungorna. Från lungorna skickas det vidare ut i blodet och därifrån runt till alla olika vävnader i kroppen. En stor del passerar även blod-hjärnbarriären och placentan, vilket inte exempelvis oorganiskt kvicksilver gör. Trots att mycket av ångan tas upp av kroppen är det inte vanligt med dödlig förgiftning av kvicksilverånga. Men om man utsätts för ångan under en längre tid så påverkas det centrala nervsystemet, vilket kan leda till skälvnningar och ökad irritation, men även avdomningar, koma och död.

Efter en vecka har ungefär 10 % av kvicksilverångan "avdunstat" från kroppen, där det som i kroppen omvandlas till oorganisk form åker ut med avföringen med en halveringstid på 1-2 månader (ATSDR, 1999; Clarkson *et al.* 2003). Att bli förgiftad av kvicksilverånga från amalgam är en väldigt liten risk och anses inte vara ett problem (Clarkson *et al.* 2003, Factor-Litvak *et al.* 2003, Horsted-Bindslev 2004).

Oorganiskt kvicksilver

Till skillnad från kvicksilverånga tas oorganiskt kvicksilver inte alls lätt upp av kroppen, bara 7-15% av det man får i sig tas upp. En del omvandlas även och utandas (avdunstar) som kvicksilverånga. Det är inte vanligt att oorganiskt kvicksilver går upp mot hjärnan och blod-hjärnbarriären utan det utsöndras oftast genom urin och avföring med en halveringstid på 2 månader. Av de organ som tar upp mest oorganiskt kvicksilver är njurarna de som utsätts hårdast, där kvicksilversalter kan inducera immunologisk *glomerulära sjukdomar (exempelvis njursvikt)* (Bigazzi 1999). Utsatta personer kan också drabbas av proteinuri (en urinsjukdom), vilket man kan bli av med efter behandling.

Metylkvicksilver

Metylkvicksilver är den form av kvicksilver som är farligast för organismer, framförallt för att det är så lättupptagligt. Detta gäller även för människor; ätandet av metylkvicksilverförgiftad fisk kan vara mycket allvarligt då 95 % av kvicksilvret i fisken tas upp av mag- och tarmkanalen och sprids ut i kroppen. Inom 30 timmar har metylkvicksilvret spridit sig genom hela kroppen till alla vävnader, varav 10 % har passerat upp till hjärnan. Kviksilver binder till tiol-grupper i t.ex. aminosyror vilket gör att det enklare kan passera blod-hjärnbarriären. Detta gör att risken för neurologiska skador ökar. 5 % av metylkvicksilvret som tas upp stannar i blodet, vilket medför att det fortsätter att transporteras under en längre tid. Till skillnad från oorganiskt kvicksilver, förs metylkvicksilver till 90 % ut av avföring och mindre än 10 % förs ut med urinen (Casarett & Doull's 2008).

Halveringstiden för metylkvicksilver är 45-70 dagar (Clarkson 2002, Risher *et al.* 2002, Bridges and Zalpus, 2005). Det största problemet med metylkvicksilverförgiftning är dess neurotoxicitet. Nervsystemets normala aktivitet påverkas på ett sådant sätt att det skadar nervvävnaden; neuronerna störs eller rent av dödas. Exponering för metylkvicksilver kan ge både direkta och fördröjda symptom, t.ex.; avdomning och kittlande runt munnen, försvagade lemmar och problem med artikulering, minnesförlust, syn och/eller intelligensförlust, okontrollerade tvångstankar och/eller tvångsmässigt beteende, huvudvärk, kognitiva- och beteendeproblem och sexuell dysfunktion. Det kan även leda till koma eller död. Individer med vissa funktionshinder kan vara särskilt mottagliga för neurotoxiner (Casarett & Doull's 2008).

Hur påverkar kvicksilver miljön?

Det finns flera kända fall där människan genom utsläpp av olika former av kvicksilver har skadat naturen och sig själv. Det mest kända fallet är Minamata, en fiskeby i södra Japan som gett namn åt Minamatasjukan.

Det hela började under tidigt 1940-tal då man märkte att ostron låg och ruttnade vid strandkanten, och att döda fiskar flöt upp till ytan. Problemen fortsatte och i början på 50-talet började fåglar falla ner från skyn, och bara några år senare 1953 kunde katterna i byn inte gå ordentligt. Sjukdomen fick namnet "the dancing cat disease", tills ett år senare då effekterna började bli synliga på människorna i byn.

Sjukdomen som senare har kallats minamatasjukan hade brutit ut, men vad var det som hade drabbat den stackars fiskarbyn? Angränsande till vattnet fanns en Chisso-fabrik som hade sitt avlopp rakt ut i havet, och 1959 slog man fast att orsaken till sjukdomen var organiskt

kvicksilver som härstammade från fabriken (Hylander & Goodsite 2006). Chisso-fabriken använde sig av två olika kvicksilversalter, HgSO_4 och HgCl_2 , i framställning av olika plastprodukter, och utan någon rening släpptes allt rakt ut i havet. Fastän man redan 1959 slog fast vad orsaken till sjukdomen kom ifrån, så dröjde det nästan upp till tio år (1968) innan kvicksilverutsläppen från fabriken stoppades. Då hade redan över hundra personer dött, och tusentals fått hjärnsador eller skador på det centrala nervsystemet från kraftig metylkvicksilverförgiftning (Tsubaki och Takahashi 1986, Takeuchi och Eto 1999).

Att kvicksilverutsläppen inte slutade redan 1959, då man visste att de var problemet för människorna och miljön i trakten, har en enkel orsak: pengar. Det var så mycket billigare att arbeta med kvicksilversalterna än med andra alternativ. Fast man kan tycka det är svårt att sätta en kostnad på människors liv och hälsa, så fortsätter detta än idag. Exempelvis kloralkaliindustrin i Europa och Amerika arbetar fortfarande med stora kvicksilverlager utan att ha någon större rening.

Vad som slutligen hände med offren i Minamata var att den Japanska regeringen betalade ut nästan 1500 miljoner amerikanska dollar i skadestånd, i aktuell valuta från 1950-talet till oktober 2004. Då hade Chisso-koncernen med Japanska regeringens stöd, lyckats släppa ut 190-225 ton kvicksilver i havet vid Minamata (Kudo och Turner 1999). Detta har bidragit till tusentals människors lidande i form av blindhet, dövhet, paralysering, svårigheter att gå, kroppsdelar som domnar bort, för att nämna några följdverkningar (Tsubaki och Takahashi 1986, Takeuchi och Eto 1999). Den akuta dödsfallsifran var 101 personer medan 800 personer dog efter en tids sjukdom (Tsubaki och Takahashi, 1986, Watts, 2001).

Vad händer på de arktiska breddgraderna?

Kvicksilver är vida känt som ett miljögift som skadar vår miljö och även kan komma att skada vår egen hälsa. Den mest allvarliga kvicksilverföroreningen sker i dagsläget vid våra nordliga breddgrader, där både ekosystem och människors hälsa är allvarligt hotade. Här finns inget naturligt utsläpp av kvicksilver och de mänskliga utsläppen är mycket små. De begränsar sig till några gruvor och smältverk i norra Ryssland, vid städerna Kola och Taymyr, samt lite förbränningsutsläpp från närliggande städer i nordöstra Sibirien (ACAP 2005). Trots detta upptäckte man redan våren 1995 att kvicksilver i luften var högt över normala värden (Schroeder *et al.* 1998), detta medför att isolerade platser som ex. Färöarna, där människorna oftast har en väldigt ensidig kost (nästan enbart från havet) kommer att få mycket negativa konsekvenser (Grandjean *et al.* 1992, 1995, 1997; Sørensen *et al.* 1999, Steuerwald *et al.* 2000).

Uppskattningsvis är det över 200 ton kvicksilver som årligen faller ner över de arktiska breddgraderna, varav nästan allt kommer från mänskliga utsläpp. Detta är en fördubbling av vad man tidigare trott (Skov *et al.* 2004). De land som släpper ut mest kvicksilver från förbränningar och industrier är Kina, men flera länder i Syd- och Centraleuropa har också höga utsläpp. Av de länder som har högst föroreningsutsläpp och gränsar till de nordliga breddgraderna, är det USA som släpper ut mest (Hylander & Goodsite 2006). Kvicksilvret som faller ner över Arktis medför stora problem. Ett av de allvarligaste är förgiftningen i ekosystemen, som medför ett hälsoproblem för både organismer i ekosystemet och människor, även mycket pengar går förlorade genom lidande fiskeriverksamhet. Fiskerieringen i Arktis har blivit hårt drabbad av de höga kvicksilverhalterna. Till exempel Grönland som till största delen ligger i Arktis har en medelfångst de senaste 28 åren (1976-2003) på 120 000 ton av fisk och skaldjur. Om man räknar med fångsten på marina däggdjur,

så ligger Grönland på en produktion (det som är kvar efter rensning) av nästan 58 000 ton per år (FAO 2004). Baserad på denna produktion ligger den årliga inkomsten av marina produkter på 128,7 miljoner US\$. Av denna produktion går 24,5% bort på grund av för höga halter kvicksilver i de marina produkterna, vilket är en förlust på 31,5 miljoner US\$ årligen (Hylander & Goodsite 2006). Detta kan vara väldigt allvarligt då det ofta drabbar människor som redan innan har det svårt ekonomiskt ställt. Trots att detta är ett stort problem så är det inte det största när det kommer till vad kvicksilver ställer till med uppe i Arktis.

Det finns flera olika gränsvärden för kvicksilver i föda. I Sverige ligger gärnsvärdet på 0,5 mg Hg kg⁻¹f.w. (fresh weight, våtvikt) vilket är det vanligaste. Men det finns flera länder med stor fiskkonsumtion, som t.ex. Kina, Japan och Kanada, där gränsvärdet sänkts till omkring 0,2-0,4 mg Hg kg⁻¹f.w. (UNEP 2002). Trots att klara riktlinjer finns om hur mycket fisk man kan äta med för höga halter kvicksilver så är de i många fall svåra att följa. På Grönland är det den norra delen som är hårdast utsatt för kvicksilverförgiftning. Här har 80 % av befolkningen kvicksilverhalter som överstiger vad som anses skadligt av den Amerikanska regeringen (58µg Hg L⁻¹ blod). 16 % av befolkningen överstiger också WHO's gränsvärden för kvicksilverhalt i blod hos icke gravida vuxna, 200µg Hg L⁻¹ blod. Detta är ett stort problem och det finns även många fall av inlärningssvårigheter och beteendestörningar hos barn i nordvästra Grönland som man tror är kopplade till kvicksilverförgiftning. Man har under flera år med hjälp av kostrådgivare försökt ändra på de traditionella kostvanorna, vilket har lett till minskade kvicksilverhalter hos befolkningen jämfört med 1970- och 80-talet (Oostdam *et al.* 1999).

Hur är det i Sverige?

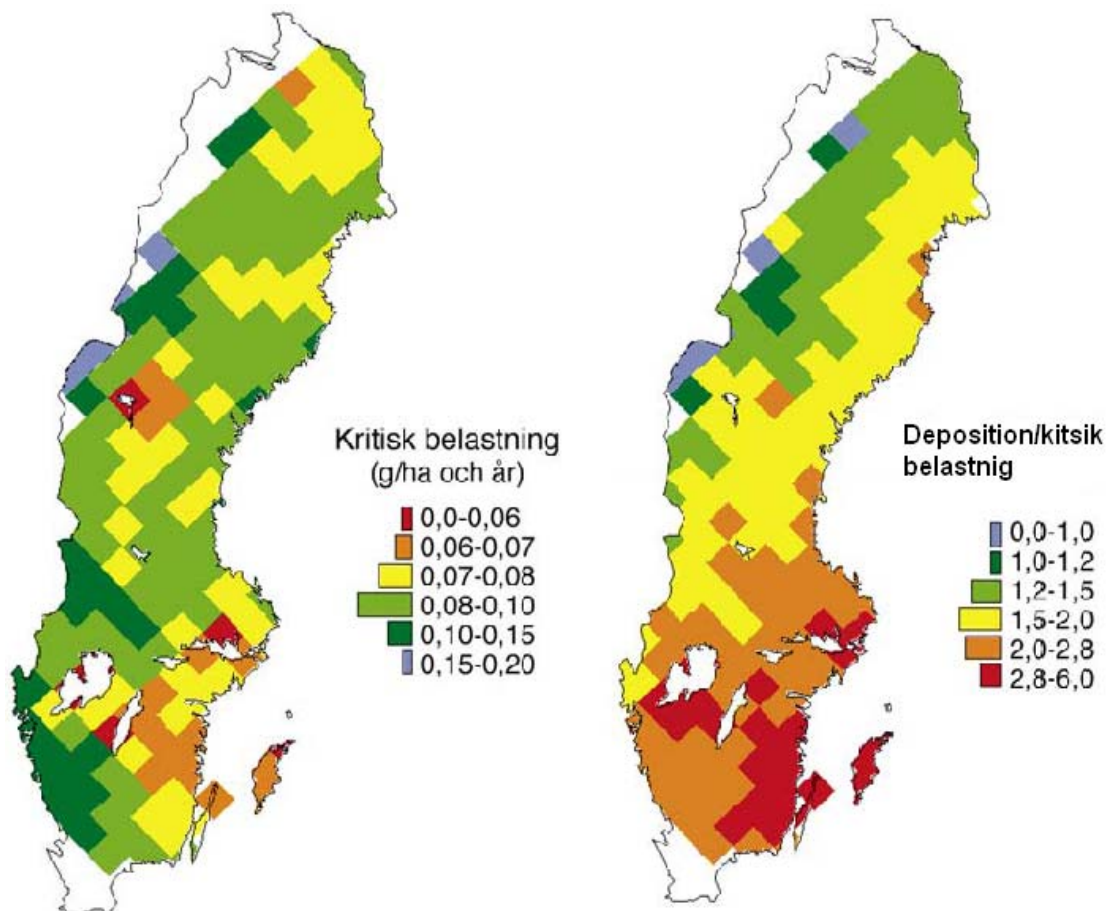
Trots att Sverige var det första land som förbjöd användningen av kvicksilver (1966) så har ändå hälften av våra 80 000 sjöar för höga halter av kvicksilver (Skjällberg 2003). Fokus låg dock i början på depositionen av kvicksilver relaterat till försurning under 1970 och 1980-talet. Det är först under det senaste årtiondet som fokus har riktats mot metylkvicksilver och hur det bioackumulerar i akvatiska ekosystem, samt hur det deponerade kvicksilvret blir tillgängligt för organismer. Svensk forskning har väsentligt bidragit till att påvisa problemen med stora mängder deponerat kvicksilver och förstå vilken roll de olika processerna har i avrinningsområdena för metylering av kvicksilver (Meili *et al.* 2003).

Man kan tydligt se den roll metyleringen har i ekosystemen, då större delen kvicksilver i fisk är metylkvicksilver trots att oorganiskt kvicksilver är dominerande i våra sjöar. Omvandling till metylkvicksilver har skett under en längre tid, dock inte i någon större utsträckning. Men med ökande antal syrefattiga miljöer och mättade näringsrika zoner, i bäcknära områden, sediment och våtmarker har vi sett att människans ingrepp på miljön ökar metyleringsprocesserna (Meili 1997). Det är främst de svavelreducerande bakterierna som är väldigt betydelsefulla i metyleringen som trivs i de varierande grundvattennivåerna. Då de även binder mycket starkt till kvicksilver och metylkvicksilver i naturligt organiskt material (humus i mark och vatten), medför det än större rörlighet för det humusbundna kvicksilvret när nivåer ändras. Sådana grundvattenförändringar sker till exempel vid olika skogsbruksåtgärder som våtmarkskalkning, dikning och störning av mark i områden med utströmmande mark- och grundvatten (Skjällberg 2003), samt vid byggnad av dammar för elkraftverk.

En förändring av ett avrinningsområde kan leda till 10 gånger högre kvicksilvernivåer hos fisk, även fast det inte har skett någon extra tillförsel (Porvari 2003). När kvicksilver kommer ner i marken binder det ofta väldigt starkt till mårslagret och andra underliggande lager vilket medför att det kan ta en lång tid innan kvicksilvret kommer fram. Detta medför att kvicksilver kan lagras under en längre tid utan att ha någon synbar effekt, vilket kan medföra stora problem när sedan jordlagren ändras om genom exempelvis skogsbruk. Både i mårslagret och de lager under är metylkviksilver väldigt ovanligt och nästan ingen metyleringsprocess pågår. Det är först i de bäcknära zonerna och vid utströmningsområden som andelen metylkviksilver blir högre. Även om inte mycket av kvicksilvret är metylerat i våra djupare jordlager betyder inte det att kvicksilvret här är ofarligt. Laboratorie- och fältstudier har visat att mikrobiell aktivitet skadas av höjningar av kvicksilverkoncentrationen i mårslagret, och att mikrobiell aktivitet är nedsatt i områden där kvicksilverkoncentrationen är förhöjd (Bringmark och Bringmark 2001a, Bringmark och Bringmark 2001b).

Kviksilverhalten i fisk har länge varit den viktigaste orsaken till att man velat minska kvicksilverutsläppen. Men eftersom kvicksilver visat sig vara giftigt i skogsmark har nu detta också blivit en viktig del vid beräkning av kritisk belastning. Kritisk belastning innebär den mängd av en viss förorening ett ekosystem tål utan att påverkas, även långsiktigt. Efter flera undersökningar i Sverige har den kritiska koncentrationen satts till $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Just i Sverige ligger den kritiska belastningen runt $0,1 \text{ g ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, men kan variera mellan $0,05 - 0,2 \text{ g ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ beroende på var i Sverige (Figur 2, vänster). I stora delar av Sverige överstiger den nuvarande belastningen den kritiska (figur 2 höger), vilket innebär att vi har en ökad ackumulering i vårt mårslager och skogsmarkens övre skikt (Bishop och Åkerblom 2006).

Som man kan se i Figur 2 finns de högsta värdena av deponerat kvicksilver i södra Sverige. Även om halterna avtar mot norr ligger de även här ofta alldeles för högt. De höga värdena kan ibland ha att göra med lokala utsläpp som skett under tidigare år. Dock visar värdena att Sverige är rätt hårt utsatt för det luftburna kvicksilvret då inga större lokala utsläpp har skett under de senaste 20 åren. Att det luftburna kvicksilvret har så stor effekt i Sverige kan ha flera orsaker. En förklaring till att Sverige och andra länder på de nordliga breddgraderna har en högre kvicksilverdeposition, har att göra med vår barrskog. En egenskap som barrträden har är att deras krona effektivt fångar upp partiklar och föroreningar som finns i luften, med hjälp av kronans stora yta och barrens stora antal. Föroreningar och partiklar som fångas upp av barran förs ner till marken när barran ramlar av, eller sköljs av vid nederbörd. Även en viss mängd kvicksilver tillförs marken som torrdeposition. Om man jämför tillförseln av kvicksilver i barrskog mot öppen mark, så ligger barrskog 3-4 gånger högre i deposition (Munthe *et al.* 1995).



Figur 2. Kritisk belastning av kvicksilver (vänster) och hur stort nuvarande deposition i skogens mårager överskrider den beräknade kritiska belastningen (nuvarande deposition/kritisk belastning) (höger). (Bishop och Åkerblom 2006, figuren återges med tillstånd från författarna)

Redan år 1979 började Convention on Long Range Transboundary Air Pollutants arbeta för att minska de långlivade organiska föroreningarna. Detta lede till slut fram till att EG den 24 juni 1998 undertecknade Århus-protokollet, för att minska och kartlägga långväga transport av gränsöverskridande luftföroreningar. Konventionen (CLRTAP) som idag har underskrift från 51 olika länder täcker för närvarande 16 långlivade organiska föroreningar. Målet är att tillsammans sträva mot en gräns och till slut även minska och förebygga luftföroreningar, inkluderat långväga gränsöverskridande luftföroreningar. Detta kan uppnås genom utbyte och samverkan om information, forskning, övervakning och rådfrågning (UNECE 2009).

Detta till trots ligger de atmosfäriska kvicksilvrvärdena fortfarande högt runt om i världen, vad man räknar är en fördubbling av det atmosfäriska kvicksilvret globalt. Men då ligger även de Europeiska, Nordamerikanska och sydöstra Kinas värden tio gånger högre. För att kunna möta de krav som skapats genom Århusprotokollet och UNECE måste kvicksilverutsläppen alltså minska drastiskt.

Lokala utsläpp och åtgärder i Sverige

Även fast vi i Sverige var tidiga med att inse det förödande med kvicksilver, har det hunnits med flera stora lokala utsläpp som än idag förorenar vår natur. Idag undersöks det noga hur man ska kunna rena dessa platser, så vi kan uppfylla vårt miljömål giftfri miljö till nästa generation. Här nedan kommer ett utdrag av några av platserna som det arbetas med, hur mycket kvicksilver som har dumpats ut och hur mycket det kommer att kosta att rena dem.

Delångersån, Kyrksjön och Långsjön

I Hudiksvall kommun 300 km norr om Stockholm ligger Forså pappersbruk. Där producerades papper och pappersmassa från 1868 till 1983. Spillvattnet från Forså släpptes ut i Rolfstaån, en del av Delångersån som lite längre nedströms rinner ut i Kyrksjön och Långsjön. Med spillvattnet fördes stora mängder cellulosafibrer som byggde upp stora fiberbankar. Eftersom pappersmassan var behandlad med ett svampbekämpningsmedel av organiskt kvicksilver under åren 1940-1966, är fiberbankarna starkt förorenade med kvicksilver. Detta har lett till att runt 2 ton kvicksilver har runnit ut i floden från Forså. En tre kilometer lång sträcka av ån visades i en studie 1990 innehålla 640 000 m³ fibersediment, med över 100 kg kvicksilver (Braf & Johansson 1996 refererat av Hylander & Goodsite 2006).

Gäddorna i Kyrksjön hade mellan åren 1966-1970 ett medelvärde på 7,1 mg Hg kg⁻¹ våtvikt med ett högsta värde på 20,4 mg Hg kg⁻¹ våtvikt, vilket ger dem ett mindre roligt världsrekord på den högsta uppmätta kvicksilverhalten i sötvattenfisk. Trots att värdena sjönk drastiskt efter att man slutat med utsläppen, och redan 1990 var nere på 2 mg Hg kg⁻¹ våtvikt, så räknar man ändå med att det kommer att ta århundraden innan halterna är nere på ätbara värden, dvs. 0,5 mg Hg kg⁻¹ våtvikt. (Braf & Johansson 1996 refererat av Hylander & Goodsite 2006).

Skoghall

Skoghall byggdes 1918 vid Vänerns strand och har under över 70 år släppt ut 100-103 ton kvicksilver, varav hälften genom vatten. Skoghall, som var en klor-alkalifabrik, arbetade med kvicksilverceller fram till 1989 då ny teknologi började användas. Ändå räknar man med att den övergivna byggnaden fortfarande är så förorenad att den ger ifrån sig 18,5 kg kvicksilver per år; 16 kg till luften och 2,5 kg till vattnet (Lundgren 2001 refererat av Hylander & Goodsite 2006). Detta har bidragit till att flera fiskarter i Väneren har så höga kvicksilverhalter att det är långt över den rekommenderade halten för konsumtion.

Planer finns på att riva byggnaden och bygga en deponi för det förorenade materialen samt den förorenade marken. Dock har ännu inget skett, för att regeringen inte har godkänt någon av planerna. Problemet ligger mycket i att man inte har tillräckligt med kunskap om hur man ska gå tillväga. Någon detaljerad budget har aldrig gjorts, men man tror att reningen skulle kunna kosta runt 16 000 US\$ (Hylander & Goodsite 2006).

Svartsjöarna

Svartsjöarna, som ligger i Hulstfreds kommun i södra Småland, har som Rolfstaån också haft problem med ett lokalt pappersbruk, Pauliströms Bruk. Även här släppte man ut stora mängder av förorenade fibrer, som har format en 260 000 m³ stor fiberbank. Här var dock inte fibermassan lika kvicksilverförorenad, i den övre delen av Svartsjöarna ligger 10-100 kg medan nedre delen hyser runt hälften av det. Problemet här ligger främst i att vattnets kemiska karaktär passar mycket dåligt, då sjön har en hög koncentration av löst organiskt material. Denna typ av vatten är mycket vanligt i boreala skogar och bidrar till en ökad kvicksilverkoncentration i fisken (Meili 1991).

På grund av detta var reningen förhållandevis dyr med tanke på den inte allt för höga kvicksilverkoncentrationen. 2004 beslöts att med hjälp av Holmen AB och Metsä Tissue börja en sanering av sjön år 2005 fram till 2008. Kostnaden har beräknats upp till 100 miljoner SEK, varav 20 % bekostas av pappersbruket medan resten betalas av statliga medel (Holmen AB 2004)

Turingen

Sjön Turingen, med utlopp i Mälaren där Stockholm stad tar det mesta av sitt dricksvatten, blev förorenad av kvicksilver under åren 1946-1966, genom ett pappersbruk i Nykvarns kommun (Projekt Turingen 2004). Under denna tid släppte pappersbruket ut runt 450 kg kvicksilver i sjön. Hur mycket kvicksilver bruket använde är inte känt, men troligtvis är det flera gånger större, då de mesta lämnade bruket genom sålda pappersprodukter.

Arbetet med att rena Turingen pågick mellan 1998-2004 och beräknades kosta över 50 miljoner SEK (Projekt Turingen 2004). Reningsarbetet innehöll många olika processer som grävandet av ny kanal, uppgrävande av förorenade sediment och rötter som sedan täcktes med syntetiskt fiber och sand. Slutligen täckte man 80 % av sjöns botten med aluminiumgel, för att reducera kvicksilverföroreningarna i vattnet genom att minska utbytet mellan sediment och sjövattnet (Hylander & Goodsite 2006).

Örserumsviken

Westervik pappersbruk liggandes i Örserumsviken (en bukt i Östersjön), startade 1915 och drevs fram till 1980. Även här släpptes spillvatten ut först helt utan rening, vilket ledde till att stora kvicksilverförgiftade fiberbankar bildades i viken. Man beräknar att 750 kg kvicksilver släpptes ut i viken (Jansson 2004). Innan bruket stängde ner 1980, grävdes 220 000 m³ av det förorenande fibret upp och las på land. Detta var det första steget mot rening av viken, där bad och fiske hade förbjudits på grund av fara för människors hälsa. Men på grund av de stora utsläppen krävdes fortsatta åtgärder, vilka utfördes 2001-2003. Slutnotan hamnade runt 15 miljoner US\$ (Hylander & Goodsite 2006).

Skogsåtgärder man arbetar med idag

Skogsbrukets påverkan av kvicksilvrets metyleringsprocess är idag inte helt klar, men det mesta tyder på att en ökning sker då skogsmaskinerna ofta bidrar till höjda grundvattennivåer. Även fast problemet först och främst ligger i det atmosfäriska kvicksilvret så har vi idag stora lager av kvicksilver i våra marker och detta måste visas stor hänsyn. Dessa problem har uppmärksammats av svenska skogsstyrelsen och slutsatsen är att hänsyn måste tas i skogsbruk med tanke på kvicksilverläckage. Skogsstyrelsen har även lagt ut flera bra tips om möjliga åtgärder för att se till att så lite läckage som möjligt sker ut i vattendragen. Man hittar råden på svenska skogsstyrelsens hemsida (www.svo.se), här nedan citerade:

o Var försiktig vid och kring fuktiga partier vid markberedning och uttransport av virke. Särskilt viktigt är detta vid utströmningsområden mot bäckar och vattendrag. Använd tillfälliga broar där vattendrag eller fuktstråk måste passeras. Lagg inte ris på ett sådant sätt att det dämmer uppströms. I det stormdrabbade området där både hyggesstorlekar och -andelar är mycket stora på sina håll är det extra angeläget att körskador på marken undviks, även om det är bråttom att få ut virket.

o Dikesrensa på så sätt att inte uttransporten av humus ökar. Skapa humusfällor för både nya och gamla dikessystem. Lagg gärna igen anslutningar från diken som inte har haft avsedd

produktionshöjande effekt.

o Undvik att göra stora hyggen i anslutning till fuktiga marker. Ju större hygget är, desto mer stiger grundvattennivån. Grundvattenfluktuationer i humusrika markhorisonter ökar risken för metylering och utlakning av kvicksilver. Vänta tio år innan ett anslutande område avverkas.

o Undvik att kalavverka fuktig mark. Ställ gärna en skärm som motverkar att grundvattnet stiger. På fuktig mark är grundvattenståndet redan nära ytan. Undvik markskador och avverka på fuktig mark helst när det är ordentlig tjäle.

o Samarbeta med övriga markägare inom samma tillrinningsområde (t ex till en sjö) dels om att hitta alternativa körvägar så att bäckar och känsliga fuktiga partier skyddas mot körning, dels om att bygga broar över vattendrag och fuktstråk som måste passeras nå-gonstans. Man kan också samarbeta om avverkningarnas förläggning i tiden så att inte de sammanlagda hyggesstorlekarna blir för stora.

Även fast problemet med kvicksilverutsläpp har hörsammats finns det fortfarande mycket att göra, inte minst mer forskning på ämnet.

Diskussion

I över 3000 år har någon form av kvicksilver använts av människan, i över 2000 år har vi känt till att kvicksilver har farliga egenskaper både för människan och miljön. I dag har vi mer atmosfäriskt kvicksilver än någonsin (Gårdfeldt 2001). Orsakerna till att kvicksilver har ökat är många, men skulle även kunna sammanfattas som ekonomisk lönsamhet. Flera katastrofer och nyare forskning under 1900-talet har till trots inte lyckats stoppa utflödet av kvicksilver i vår natur. Så länge lönsamheten är mycket större med att använda kvicksilverlegeringar istället för andra kemikalier, samt att straffen är så låga eller brist på straff, kommer vi inte kunna minska kvicksilvret i naturen.

Efter flera stora internationella fall med kvicksilverutsläpp (t.ex. Minamata) har världen börjat få upp ögonen för allvaret med kvicksilver. Men det är först när allmänheten har tryckt på som industrier och regeringar har agerat (Hylander & Meili 2005). Trots att forskning och åtgärder börjar beaktas så har vi flera tusen år av utsläpp att ta hand om. Även fast åtgärder börjar ske, eller har skett ett tag i vissa länder (ex. Sverige), är det många länder som har väldigt låg/ingen kontroll (Hylander & Meili 2005). Stor del av problemet är även att mycket av utsläppen är atmosfäriska, vilket medför att det kostar mycket att rena, men framförallt så sker inte nedfallet där utsläppen är (Schroeder *et al.* 1998).

På grund av den långa tid som kvicksilverutsläpp pågått har vi även en ökad mängd kvicksilver i marken. Med ökande syrefattigazoner i marken genom bland annat ett aktivt skogsbruk, ökar metyleringsprocessen hos kvicksilver (Meili 1997). Metylkvicksilvret utgör ett alvarligare hot för både människan och naturen. I och med en ökning av metylerat kvicksilver, överstigs nu den kritiska belastningen i flera delar av landet (Bishop och Åkerblom 2006).

Problemet med kvicksilver är i dag är både hanteringen och kunskapen. Ur hanteringsynpunkt måste det formuleras klarare regler om vad som är tillåtet, och för påföljder när reglerna inte följs. Många fattiga länder saknar idag helt förmågan att åtgärda sina problem med kvicksilver, och så länge rikare länder inte heller agerar, är det svårt att motivera för andra länder att göra åtgärder. En övergripande plan behövs som gäller för alla länder, där man kan hjälpas åt att både sanera natur och hjälpa till ekonomiskt så att kvicksilvret kan renas innan det kommer ut i naturen. För att kunna sannera vår natur krävs även mer forskning om kvicksilvrets kretslopp och dess omvandlingar.

Det kvicksilverhot som vi har idag kan bara åtgärdas genom att försöka få bukt med de atmosfäriska utsläppen. Den atmosfäriska depositionen har ökat från 2 till >20-faldigt de senaste århundradena (Porvari 2003), mycket på grund av mänsklig påverkan genom fabriksutsläpp, förbränning av kol och andra fossila bränslen, och allt detta utan att ta ansvar för någon rening.

Med dagens kunskaper bör vi kunna både minska det atmosfäriska kvicksilvret samt kunna minska metyleringen av kvicksilver. Detta är viktigt både för jordens natur men även om vi vill kunna äta insjöfisk i framtiden utan att vara rädda för farligt höga halter kvicksilver i fisken. Även om det behövs mer forskning inom ämnet finns det idag tillräckligt för att kunna angripa många problem. Den information som finns måste spridas så att en framtida övergripelig plan kan verkställas. Framför allt måste EU och andra stora organisationer börja ta sitt ansvar.

Tack

Tack till studenterna: Lilja Gunnarsson, Camilla Boberg och Peter Andersson för bra opponeringar, tack även Anna-Kristina Brunberg som har handlett litteraturarbetet. Jag vill även tacka Kevin Bishop och Staffan Åkerblom för att jag kunnat använda en av deras bilder.

Referenser

- ACAP. 2005. Assessment of mercury releases from the Russian Federation. Copenhagen, Denmark: Russian Federal Service for Environmental, Technological and Atomic Supervision and Danish Environment Protection Agency for Arctic Council WWW-dokument 2005-03-01
http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/Publications/2005/87-7614-539-5/html/helepubl_eng.htm. Hämtat 2009-05-09
- ATSDR. 1999. Toxicological Profile for Mercury. Agency for Toxic Substances and Disease Registry pp. 1–485. Atlanta, Georgia WWW-dokument 2009-02-17
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.html>. Hämtat 2009-05-02
- Bigazzi, P.E. 1999. Metals and kidney autoimmunity. *Environ Health Perspect* 107: 753–565.
- Bridges, C.C., Zalpus, R.K. 2005. Molecular and ionic mimicry and the transport of toxic metals. *Toxicol Appl Pharmacol* 204: 274–308.
- Bishop, K. 2005. Svavel och körspår sätter fart på kvicksilvret. WWW-dokument 2005-05-09: http://www-miljo.slu.se/dokument/notiser/MA9_05.pdf. Hämtad 2009-05-16
- Bishop, K. & Åkerblom, S. 2006. Skogsbruk och kvicksilverproblemet i mark och vatten: En översikt av kunskapsläget. Department of Environmental Assessment Swedish University of Agricultural Sciences.
- Braf, L. & Johansson, J-Å. 1996. Kviksilver och organiska miljögifter i Rolfstaån–Delångersån. Rapport, vol 1, Länsstyrelsen i Gävleborg, Gävle, Sverige
- Bringmark, L. & Bringmark, E. 2001a. Soil Respiration in relation to small-scale patterns of lead and mercury in mor layers of southern Swedish forest sites. *Water Air Soil Pollution: Focus*. 1: 395-408.
- Bringmark, L. & Bringmark, E. 2001b. Lowest effect levels of lead and mercury on decomposition of mor layer samples in a long-term experiment. *Water Air Soil Pollution: Focus*. 1: 425-437.
- Casarett & Doull's 2008. *Toxicology, The Basic Science of Poisons*. 7:e uppl. pp. 947-952. University Distinguished Professor and Chair Department of Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics University of Kansas Medical Center Kansas City, Kansas
- Clarkson, T.W. 2002. The three modern faces of mercury. *Environ Health Perspect* 110:11–23.
- Clarkson, T.W., Magos, L., Myers G.J. 2003. The toxicology of mercury—Current exposure and clinical manifestations. *The New England Journal of Medicine* 349:1731–1737.
- FAO. 2004. FAO Fishstat Plus. WWW-dokument: hämtat av Hylander, L. 2006
<http://www.fao.org/fi/statist/fisoft/fishplus.asp>. Hämtat 2009-05-08
- Factor-Litvak, P., Hasselgren, G., Jacobs, D., Begg, M., Kline, J., Geier, J., Mervish, N., Schoenholtz, S. & Graziano, J. 2003. Mercury derived from dental amalgams and neuropsychologic function. *Environ Health Perspect* 111:719–723.
- Grandjean, P., Weihe, P., Jørgensen, P.J., Clarkson, T., Cernichiari, E. & Viderø, T. 1992. Impact of maternal seafood diet on fetal exposure to mercury, selenium, and lead. *Arch Environ Health* 47:185–95.
- Grandjean, P., Weihe, P., Needham, L.L., Burse, V.W., Patterson, Jr D.G., Sampson, E.J., Jørgensen, P.J. & Vahter, M. 1995 Effect of a seafood diet on mercury, selenium, arsenic,

- and PCBs and other organochlorines in human milk. *Environ Res* 71:29–38.
- Grandjean, P., Weihe, P., White, R.F., Debes, F., Araki, S., Yokoyama, K., Murata, K., Sørensen, N., Dahl, R. & Jørgensen, P.J. 1997. Cognitive deficit in 7-year old children with prenatal exposure to methylmercury—neuroradiologic and electrophysiologic studies. *Neurotoxicology and Teratology* 19:417–28.
- Gårdfeldt, K. 2001. Kvicksilver från havet. *HavsUtsikt* 2:4-5
- Henry, G.A., Jarnot, B.M., Steinhoff, M.M., & Bigazzi, P.E. 1988. Mercury-induced renal autoimmunity in the MAXX rat. *Clinical Immunology Immunopathology* 49:187–203.
- Holmen AB. Metsä Tissue AB. 2004. Länsstyrelsen i Jönköpings län. Holmen och Metsä Tissue bidrar till saneringen av Svartsjöarna. WWW-dokument: 2004-04-07
<http://www.cisionwire.se/holmen/gemensamt-pressmeddelande-holmen-ab--metsa-tissue-ab-och-lansstyrelsen-i-jonkopings-lan> Hämtad:20090519
- Horsted-Bindslev, P. 2004. Amalgam toxicity—Environmental and occupational hazards. *Journal Dental* 32:359–365.
- Hylander, L.D. & Goodsite, M.E. 2006. Environmental costs of mercury pollution. *Science of the total environment* 1:352-370
- Hylander, L.D. & Meili, M. 2005. The rise and fall of mercury: Converting a resource to refuse after 500 years of mining and pollution. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 35:1-36
- Hylander, L.D., Sollenberg, H. & Westas, H. 2003. A three-stage system to remove mercury and dioxins in flue gases. *Science of the total environment* 304:137-144
- Jansson, T. 2003. The Bay of Örserum Project. Ready for remediation. The Executive Office of the Town Council of Västervik, Sweden. WWW-dokument: 2003
<http://www.vastervik.se/upload/orserum/ovikeng02.pdf> Hämtad: 2009-05-18
- Kudo, A. & Turner, R.R. 1999, Mercury-contamination of Minamata Bay: historical overview and progress towards recovery. I: Ebinghaus R., Turner R.R., de Lacerda L.D., Vasiliev O. & Salomons W. (red.), Mercury contaminated sites. Characterization, risk assessment and remediation, pp. 143–156. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Lindberg, S.E. & Price, J.L. 1999. Airborne emissions of mercury from municipal landfill operations: A short-term measurement study in Florida. *J. Air & Waste Manage. Assoc* 49:520-532
- Lundgren, T. 2001. Gamla klor-alkalifabriken i Skoghall, Hammarö kommun, Sanering av fabriksområdet, Miljökonsekvensbeskrivning. (Environmental assessment of remediation of the chlor-alkali plant at Skoghall), Envipro miljöteknik AB, Linköping, Sverige
- Meili, M. 1991. The coupling of mercury and organic matter in the biogeochemical cycle—towards a mechanistic model for the boreal forest zone. *Water Air Soil Pollution* 56:333–347.
- Meili, M., Bishop, K., Bringmark, L., Johansson, K., Munthe, J., Sverdrup, H. & de Vries, W. 2003. Critical levels of atmospheric pollution: criteria and concepts for operational modelling of mercury in forest and lake ecosystems. *Science of the total environment* 304:83-106
- Meili, M. 1997. Mercury in Lakes and Rivers. - In: Mercury and Its Effects on Environment and Biology. I: Sigel, A. & Sigel, H. (red.), Metal Ions in Biological Systems, pp. 21-51. Marcel Dekker Inc., New York
- Mukherjee, A.B., Zevenhoven, R., Brodersen, J., Hylander, L.D. & Bhattacharya, P. 2004. Mercury in waste in the European Union: Sources, disposal methods and risks. *Resources, Conservation and Recycling* 42: 155-182
- Oostdam, J., Gilman, A., Dewailly, E., Usher, P., Wheatley, B., Kuhnlein, H., Neve, S., Walker, J., Tracy B., Feeley M., Jerome V. & Kwavnick B. 1999. Human health

- implications of environmental contaminants in Arctic Canada: a review. *Science of the Total Environment* 1230:1–82.
- Porvari, P. 2003. Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. Academic dissertation, University of Helsinki och Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki.
- Projekt Turingen 2004. Projektsammanfattning. WWW-dokument: 2004-05-28
http://www.turingen.se/bilder/final_financial_report.pdf Hämtad:20090519
- Risher, J.F., Murray, H.E., Prince, G.R. 2002. Organic mercury compounds: Human exposure and its relevance to public health. *Toxicol Ind Health* 18:109–160.
- Schroeder, W.H., Anlauf, K.G., Barrie, L.A., Lu, J.Y. & Steffen, A. 1998. Arctic springtime depletion of mercury. *Nature* 394:331–332.
- Skov, H., Christensen, J.H., Goodsite, M.E., Heidam, N.Z., Jensen, B., Wåhlin, P. & Geernaert, G. 2004. Fate of elemental mercury in the Arctic during atmospheric mercury depletion episodes and the load of atmospheric mercury to the Arctic. *Environ Sci Technol* 38:2373–2382.
- Skyllberg, U. 2003. WWW-dokument: 2003
<http://www2.slu.se/forskning/fakta/faktaskog/pdf03/4S03-11.pdf> hämtad: 2009-04-06
- Svenska skogsstyrelsen WWW-dokument: 2005
<http://www.svo.se/episerver4/templates/SNormalPage.aspx?id=16120&epslanguage=SV>
 hämtat: 2009-05-05.
- Steuerwald, U., Weihe, P., Jørgensen, P.J., Bjerve, K., Brock, J., Heinzow, B., Budtz-Jørgensen, E. & Grandjean, P. 2000. Maternal seafood diet, methylmercury exposure, and neonatal neurologic function. *J Pediatr* 136:599–605.
- Sørensen, N., Murata, K., Budtz-Jørgensen, E., Weihe, P. & Grandjean, P. 1999. Prenatal methylmercury exposure as a cardiovascular risk factor at seven years of age. *Epidemiology* 10:370–5.
- Takeuchi, T. & Eto, K. 1999. The pathology of minamata disease. A tragic story of water pollution. 1:a uppl. Kyushu University Press, Fukuoka, Japan.
- Tsubaki, T. & Takahashi, H. 1986. Recent advances in Minamata disease studies. Methylmercury poisoning in Minamata and Niigata, Japan, Kodansha, Tokyo, Japan
- UNECE. 2009. WWW-dokument:2009 <http://www.unece.org/env/lrtap/>. Hämtat: 2009-05-20
- UNEP Chemicals. 2002. WWW-dokument 2002
<http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20report/final-assessment-report-25nov02.pdf>. hämtat: 2009-05-01.
- Watts, J. 2001. Mercury poisoning of thousands confirmed. *The Guardian*. WWW-dokument 2001-10-16: <http://www.guardian.co.uk/print/0%2C3858%2C4278027-103681%2C00.html>. hämtad: 2009-05-08.

