


# Utredning av kunskapsläget angående rening av rökgaser vid krematorier

Ingvar Wängberg  
B1883  
Januari 2010

Rapporten godkänd  
2010-01-13



John Munthe  
Dr

<b>Organisation</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB	<b>Anslagsgivare för projektet</b>  Naturvårdsverket
<b>Adress</b> Box 5302 400 14 Göteborg	
<b>Telefonnr</b> 031-725 62 00	
<b>Rapportförfattare</b> Ingvar Wängberg	
<b>Rapporttitel</b> Utredning av kunskapsläget angående rening av rökgaser vid krematorier	
<b>Sammanfattning</b>  <p>Kunskapsläget angående rening av rökgaser vid krematorier har utretts utifrån resultat från mätningar vid krematorier och vad som är känt genom litteraturen angående kvicksilvers egenskaper och reaktivitet med selen. Utredningen har initierats av den debatt som pågått under lång tid och som till viss del kommit att fokuseras kring kvicksilvers fysikaliska egenskaper i rökgassammanhang. Bland annat har det befarats att kvicksilver från krematorier inte kan renas på traditionellt vis, på grund ämnets förmåga att diffundera ut genom ugn och rökgaskanalens väggar. Dessa farhågor har gett förespråkare för en alternativ reningsmetod, selenmetoden, ett visst gehör. Selenmetoden tillämpas nu som enda reningsmetod för kvicksilver vid 9 krematorier i Sverige. Tillgänglig kunskap om kvicksilver visar dock att det inte finns någon grund för antagandet att kvicksilver i betydande mängd orenat kan avgå från krematorier via diffusion. Därmed finns inte några belägg för att traditionell reningsmetod, d.v.s. rening med aktivt kol, inte fungerar tillfredsställande. Det finns även övertygande experimentella belägg för att kvicksilver och selen i gasfas inte reagerar med varandra. Därför saknas förutsättning för att selenmetoden skall fungera på det sätt som föreslagits.</p> <p>Dock har man vid de flesta krematorier valt att installera traditionell reningsteknik. Vid utgången av 2009 har moderna ugnar och avskiljning av kvicksilver med kolfilter hittills installerats vid 41 av landets 66 krematorier. Eftersom dessa installationer inkluderar merparten av de större anläggningarna sker idag 82 % av alla kremeringar vid krematorier med effektiv rökgasrening. Den totala reningseffekten kan uppskattas till nära 80 %.</p>	
<b>Keywords</b> Krematorier, Rening av kvicksilver i rökgaser, Quicksafe	
<b>Bibliografiska uppgifter</b> IVL Rapport B1883	
<b>Rapporten beställs via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

## Innehållsförteckning

Inledning .....	2
Tillämpade reningsmetoder vid svenska krematorier .....	3
Olika reningsmetoders effektivitet.....	4
Diskussion .....	6
Slutsatser .....	7
Referenser.....	7

Bilagor 1 - 4

## Inledning

Vid kremering avgår metalliskt gasformigt kvicksilver ( $Hg^0$ ) från amalgam i de avlidnas tänder. I avsaknad av reningsutrustning följer kvicksilvret med rökgaserna ut i fria luften. I samband med internationella överenskommelser för att minska utsläpp av kvicksilver (OSPAR och HELCOM) har man även uppmärksammat kvicksilverbidraget från krematorier. Det totala utsläppet av kvicksilver är förhållandevis lågt i Sverige och uppskattades år 2001 uppgå till 650 kg, varav bidraget från krematorier beräknades till 17 % (110 kg) [1]. Uppmärksamheten kring kvicksilverutsläppen gav tyvärr också upphov till en del oro bland allmänhet och krematorieanställda. Även om oron i stort är obefogad är det lätt att förstå att många människor utgick ifrån att diskussionen om reningsåtgärder handlar om att skydda närmiljön och de människor som vistas där. Vilket vanligtvis är fallet när det gäller utsläpp av andra giftiga metaller och förorenande ämnen. Att påverkan på människor som bor nära krematorier eller industrier med kvicksilverutsläpp oftast är ringa är dock väldokumenterat [2, 3]. Det speciella med metalliskt kvicksilver i atmosfären är att det har relativt lång uppehållstid (ca 1 år) innan det till slut oxideras och deponeras till mark och vattenytor. På så vis blir depositionen av kvicksilver från olika mänskliga och naturliga källor mer eller mindre jämt fördelad och drabbar även områden långt ifrån utsläppskällorna. Sedan industrialismen har mängden kvicksilver i miljön ökat och det är den ökande trenden man önskar stoppa med hjälp av de internationella överenskommelser som nämns ovan. I många större krematorier har nya ugnar med optimerad förbränning och utrustning för rening av rökgaser installerats. Det handlar om relativt stora investeringar, men å andra sidan uppnås en avsevärd minskning av utsläpp av kvicksilver och andra föroreningar.

I slutet av 1980-talet lanserade företaget Emcoplete AB en alternativ metod som sägs rena rökgaser från  $Hg^0$  på ett kostnadseffektivt sätt. Den så kallade Quicksafe metoden går ut på att selen i en träampull läggs på kistan innan den förs in i kremeringsugnen, selenet förgasas och antas reagera med  $Hg^0$  varvid kvicksilverselenid bildas. Initialt fick metoden mycket kritik eftersom någon reningseffekt inte kunde påvisas vid praktiska tester utförda på krematorier. Nyligen har dock metoden fått ett visst erkännande i och med Miljööverdomstolens dom angående krematorieverksamheten i Landskrona församling [4]. Domstolen slår fast att även om det inte på ett tillfredsställande sätt går att fastställa selenmetodens effektivitet kan det ändå anses visat att den utgör BAT (Best available technology) för rening av kvicksilver. I domen jämföras selenmetoden med traditionell rening, d.v.s. med hjälp av kolfilter, och man skriver att även den metoden kan anses utgöra BAT trots att man inte heller i det fallet på ett tillfredsställande sätt lyckats fastställa metodens effektivitet.

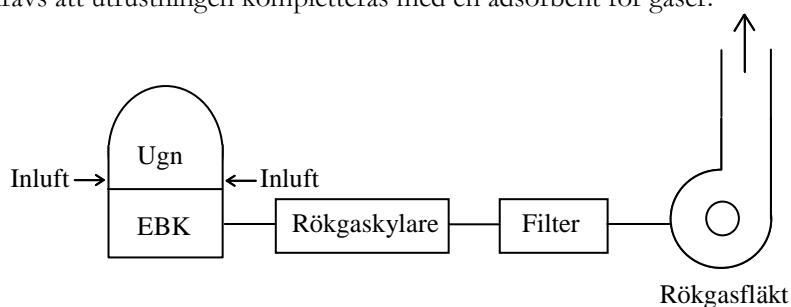
Det är olyckligt att det kommit att framstå som att det råder oklarheter kring vilka reella reningseffekter de metoder har som tillämpas för rening av kvicksilver vid våra krematorier. En anledning till den nämnda osäkerheten är förmodligen debatten för och emot selenmetoden som under lång tid pågått inom krematoriebranschen. En serie mätningar av selenmetoden respektive traditionella reningsmetoders effektivitet i avseende på kvicksilver har genomförts och kontroversen har till stor del sitt ursprung i hur utfallet av dessa mätningar skall tolkas. Det har visat sig svårt att vid korta mätserier erhålla massbalans mellan ingående och utgående kvicksilver. På grund av det har man befarat att stora mängder kvicksilver kan försvinna ut från kremeringsugnarna och eventuellt utsätta anställda och närmiljön för skada. Den rädsla som sådana farhågor kan ge upphov till bland berörda människor måste naturligtvis tas på stort allvar. Men det gäller också att se till att rädslan inte leder till oöverlagda beslut. Syftet med nuvarande rapport är att utreda och sammanfatta kunskapsläget angående rening av rökgaser vid krematorier. Som

utgångspunkt används resultat från de många mätningar som har gjorts. Dessutom presenteras resultatet av en litteraturstudie angående kvicksilvers kemiska och fysikaliska egenskaper och vilka slutsatser som kan dras från dessa i samband med rening av kvicksilver i rökgaser.

## Tillämpade reningsmetoder vid svenska krematorier

### *Traditionell reningsmetod med aktivt kol*

Enligt Naturvårdsverkets branschfaktablad om krematorieveksamhet, [1] var de flesta större krematorierna i Sverige år 2006 försedda med rökgasrening för partikel och kvicksilveravskiljning. Som nämns nedan har sedan dess reningsutrustning även installerats vid flera mindre anläggningar. Som underlag för den fortsatta redovisningen ges här en kortfattad beskrivning av den reningsteknik som tillämpas. För en mer omfattande beskrivning av de tekniker som är i bruk hänvisas till [1]. Vid de krematorier där rökgasrening införts har nya ugnar med efterbrännkammare och automatisk reglering av temperatur och syrehalt installerats. Tekniken möjliggör en optimal förbränning som gör att bildning av kolmonoxid (CO) och oförbrända kolväten minimeras. Rökgaserna kyls och partiklar avskiljs via ett partikelfilter (textilt spärrfilter) innan rökgaserna via en fläkt matas ut till en skorsten, se Figur 1. För att även avskilja gasformiga ämnen som kvicksilver och kolväten krävs att utrustningen kompletteras med en adsorbent för gaser.



Figur 1. Schematisk bild av en modern krematorieugn med efterbrännkammare (EBK), rökgaskylare och reningsutrustning.

Det vanligaste adsorbentmaterialet utgörs av aktivt kol alternativt en blandning av aktivt kol och kalk, som antingen beläggs direkt på partikelfiltret (pulvermetoden) eller ingår i ett separat reningsteg efter filtret, den så kallade bäddmetoden, i vilken rökgaserna leds genom cylindrar med aktivt kol i granulatform. Vid pulvermetoden tillsätts en portion aktivt kol vid varje kremering, alternativt för en dags behov. Bäddmetoden har kapacitet att rena kvicksilver från 10 000 kremationer varefter det aktiva kolet byts ut. I båda fallen tas kolet om hand och behandlas som farligt avfall.

Den ovan beskrivna reningsmetoden är väl beprövad och används även i andra sammanhang för rening av rökgaser. Reningsutrustning optimerad för krematorier tillverkas och saluförs av flera tillverkare. Utsläppen av stoft och CO kan minskas till mindre än 10 mg/m<sup>3</sup>, respektive 50 mg/m<sup>3</sup> (normal torr gas) och medger en avskiljning av kvicksilver bättre än 95 %. Även utsläpp av PAH och dioxiner reduceras [1].

### Ny reningsmetod med selen

Quicksafe metoden lanserades i slutet av 1980-talet av företaget Emcoplete AB som ett alternativ till traditionell rening med hjälp av kolfilter. Enligt företaget kan metoden ge tillfredsställande rening i avseende på kvicksilver ( $\text{Hg}^0$ ) utan att ombyggnation och installation av ny utrustning behöver göras varför metoden presenterades som ett lågkostnadsalternativ som framför allt kunde utgöra ett alternativ vid mindre krematorier. Vid praktiska tester kunde dock den påstådda reningseffekten inte påvisas och Quicksafe metoden förklarades i det närmaste vara verkningslös. Trots allt fanns ändå ett visst intresse för metoden bland mindre och medelstora församlingar varför testverksamheten fortsatte. Resultatet av dessa undersökningar visar dock att man ändå inte lyckats visa hur stor reningseffekten i avseende på kvicksilver blir vid tillsats av selen [5, 6]. Numera tillämpas selenmetoden dels i äldre anläggningar. I dessa, ett fåtal mindre krematorier, finns ingen rening utöver den som selen eventuellt kan åstadkomma. Selen tillsätts också till ombyggda anläggningar med traditionell rening. I dessa anläggningar kombineras tillsats av kolpulver i vissa fall med tillsats av selen. Oavsett om filtret är belagt med kolpulver eller inte utgår man från att kvicksilver uppsamlas i form av kvicksilverselenid ( $\text{HgSe}$ ) på filtret.

## Olika reningsmetoders effektivitet

I en lång rad undersökningar och rutinmässiga mätningar för att testa avskiljningsgraden av kvicksilver över kolfilter vid kremeringsanläggningar i Sverige och utomlands har det visat sig att den i de allra flesta fall är 95 % eller bättre [7 - 15]. Det kan också tilläggas att reningseffekten med aktivt kol egentligen aldrig varit ifrågasatt från något håll.

I den debatt som pågått under de senaste 20 åren har den traditionella reningsmetoden med aktivt kol dock blivit ifrågasatt av andra skäl. Bland annat hävdas att även om tester visar att kvicksilver effektivt tas upp av kolfiltret finns det omständigheter som talar för att en betydande del av kvicksilvret från amalgamet försvinner ut från ugn och rökgaskanaler genom diffusion innan det når filtret. Dessutom menar man att adsorptionen av kvicksilver till aktivt kol inte är stabil varför kvicksilver kan ånga av från kolet i väntan på transport för vidare uppärbetning. På så vis blir reningseffekten i praktiken mycket lägre än förväntat. Om däremot selen tillsätts vid varje kremering kommer diffusionen med tiden att upphöra varvid en tillräckligt hög rening av  $\text{Hg}^0$  erhålls [1]. Förespråkarna för selenmetoden har fått ett visst gehör för sina teorier trots att verkliga belägg saknas. I avsaknad av direkta bevis torde en fortsatt diskussion vara överflödigt men i och med Miljööverdomstolens dom angående krematorieverksamheten i Landskrona har selenmetoden, som sagt, fått BAT status och jämföras med traditionell reningsmetod. I domen sägs det att det finns oklarheter angående både traditionell reningsteknik och selenmetodens effektivitet. Man kan härav dra slutsatsen att domen i viss mån även ifrågasätter den etablerade metoden med aktivt kol.

I det följande görs en genomgång av det resonemang som bl.a. presenteras i Naturvårdsverkets branschfaktablad 2006 [1] och som delvis även kan ha legat till grund för domstolens beslut. Några av de frågor som diskuterats i det här sammanhanget är:

1. *I hur hög grad kan kvicksilver genom diffusion ornat försvinna ut ur förbränningsanläggningen via ugnsinloppet och rökgaskanaler?*
2. *Bildar selen stabila föreningar med kvicksilver i kremeringsugnen och/eller i rökgaskanalen?*
3. *Hur hårt binder kvicksilver till aktivt kol?*

Några av kvicksilvers och selens fysikaliska och kemiska egenskaper finns sammanfattade i Bilaga 1. Av framställningen framgår att kvicksilver inte diffunderar snabbare än någon annan av de gaser som förekommer i rökgaser, snarare något långsammare. Dessutom kan det visas att transport av rökgaser främst betingas av konvektion och av det stora luftgenomflödet i ugnen. Den stora mängden kvicksilver (50 % eller mer av den totala) som påstås kunna diffundera ut från ugnen och rökgaskanalen kan med andra ord inte ske med mindre än att hälften av alla andra rökgaser också skulle följa med. Genomförda mätningar av kvicksilver i ugnshallar, nära ugnar och rökgaskanaler, tyder heller inte på att något betydande kvicksilverläckage förekommer [16, 17]. Det kan också tilläggas att för att förhindra att rökgaser tränger ut genom porer i ugnsinfodringen eller genom springor vid ugnsluckorna etc. regleras trycket i moderna anläggningar så att trycket i ugnen ständigt är något lägre än lufttrycket i omgivande utrymmen. Det här innebär att läckage, i den mån det förekommer, snarare är riktat från omgivningen in till ugnen än tvärt om.

I en undersökning av anställda vid engelska krematorier rapporteras att man funnit förhöjda kvicksilverhalter i hårprov [18]. I artikeln tolkas det som en indikation på att de anställda kan vara utsatta för förhöjda halter av Hg<sup>0</sup>. I den svenska debatten har artikeln lyfts fram som en indikation på att liknande läckage av kvicksilver även förekommer i Sverige vilket anses verifiera antagandet om att stora mängder kvicksilver lämnar krematorieugnarna. Detta argument är dock inte relevant eftersom kvicksilverhalt i hår är ett mått på upptag av metylkvicksilver något som i första hand är förknippat med konsumtion av insjöfisk, se Bilaga 2.

Vid analys av Hg halter i kolresidual från krematoriet i Ystad kommer man fram till att 80 – 90 % av allt kvicksilver försvinner genom diffusion om inte selen tillsätts vid varje kremering [19]. En granskning av rapporten (se Bilaga 3) visar dock att undersökningen ger upphov till fler frågor än den besvarar.

I vissa tidiga vetenskapliga undersökningar antyds det att HgSe kan förekomma i gasfas, dock har undersökningar utförda under mitten 1960-talet visat att så inte är fallet (se Bilaga 1). Kviksilverselelid kan med andra ord inte bildas eller förekomma som HgSe-molekyler i gasfas. Därmed saknas förutsättning för att selenmetoden skall fungera på det sätt som påstås.

När selen upphettas i frånvaro av syre bildas selenånga som utgörs av selenmolekyler Se<sub>2</sub>, Se<sub>6</sub>, Se<sub>5</sub> samt Se<sub>7</sub>. Vid 700 - 1200 °C dominerar Se<sub>2</sub> vilken vid förbränning till betydande del oxideras till selendioxid (SeO<sub>2</sub>) som är ett ämne som är flyktigare än selen (sublimerar vid 315 °C). Om inte särskilda reningsåtgärder vidtas kan med andra ord betydande mängder selen i form av SeO<sub>2</sub> emitteras. En viss del av Se<sub>2</sub>, oklart hur mycket, torde dock kunna passera ut till rökgaskanalen och kondensera på rökgaskanalens väggar eller i rökgaskylaren då sådan finns. Kviksilver i gasfas kan vid låg temperatur adsorberas på fasta selenytor och det finns väl fungerande reningsmetoder som bygger på den principen [5, 20]. Hur effektiv rening man får med Quicksafe metoden i krematorier återstår dock att visa. Det påstås också att en del av kvicksilvret fångas genom upptag på fast selen på ugnens väggar. Några mätningar som bekräftar närvaro av selen på ugnsväggarna har dock aldrig redovisats. Selen torde inte kunna adsorberas i någon högre grad eftersom ugnsväggarnas temperatur under kremeringen är mycket högre än selens kokpunkt som är 685 °C.

I bilaga 4 sammanfattas resultatet av några kemiska undersökningar som främst syftade till att undersöka kolresiduals förmåga att kvarhålla avskilt kvicksilver vid lagring. Undersökningarna bekräftade att kvicksilver binds permanent till aktivt kol vilket i sig inte är förvånande med tanke på hur utbredd den reningstekniken är inom olika sektorer i samhället. Däremot visade undersökningarna att kol med undermålig förmåga att binda kvicksilver också kan förekomma i hanteringen vid krematorier.

## Diskussion

I början när effekten av selen tillsats testades vid vissa krematorier visade det sig ofta svårt att erhålla massbalans mellan in i ugnen ingående och via rökgaser utgående kvicksilvermängder. Problemet hade flera orsaker, t.ex. visste man inte alla gånger exakt hur mycket käkamalgam som ingick vilket är en förutsättning för att upprätta massbalans. Man har även haft problem att uppnå massbalans vid experiment med kistor fyllda med sågspån och tillsats av käkamalgam, d.v.s. i försök där den ingående mängden kvicksilver var känd [21]. Det här skapade en viss förvirring och idéer om att kvicksilver på något sätt kunde försvinna mellan ugn och skorsten uppkom. Trots allt redovisade många tidiga undersökningar sakligt underbyggda alternativa förklaringar såsom problem att med tillräcklig noggrannhet mäta kvicksilverflöden nära ugnen samt att tillsats av selen i sig skapade mätproblem [22]. Man konstaterade också att kvicksilvers "semi-volatile" egenskaper kan innebära att genomströmningen av kvicksilver i systemet förlängs [21 - 23]. Med andra ord, man kan mycket väl ha massbalans i avseende på kvicksilver även om det kan vara svårt att påvisa den vid enskilda mätningar. Det kan tilläggas att en del mätningar, beaktat givna felgränser, trots allt indikerar förekomst av massbalans [7, 10, 11, 13].

Av Sveriges totalt 66 krematorier har idag 9 st tillstånd att använda selenampuller (innehållande 9 g selen) som enda metod för rening av kvicksilver i rökgaser [24]. Merparten av dessa utgörs av mindre anläggningar med relativt få kremeringar per år. Den rening som möjligen kan åstadkommas är upptag av kvicksilver genom adsorption till kondenserat selen på rökgaskanalens väggar. Dock saknas undersökningar som visar i vilken mån sådant upptag sker och det är okänt hur stabilt det kvicksilver-selen material är som i så fall bildas. En annan viktig fråga är hur mycket selendioxid som orenat går ut genom skorstenen och vilken påverkan det kan ha på omgivningen. Vid 2 krematorier som är utrustade med modern förbränningsteknik och partikelfilter samt avskiljning av kvicksilver med aktivt kol tillsätts även selenampuller. Vid dessa anläggningar bör hög avskiljningsgrad av kvicksilver uppnås på grund av det aktiva kolets adsorberande förmåga. Det finns dock ingen undersökning som visar hur stor del av bildat  $\text{SeO}_2$  som adsorberas på kolfiltret.

Allt tyder på att kvicksilveravskiljning med traditionell metod där aktivt kol används normalt fungerar bra. Dock visar undersökningar att det aktiva kolets kvalitet bör kontrolleras [8, 13, 25]. Till metodens fördelar hör att utsläpp av oxiderade former av kvicksilver som  $\text{HgCl}_2$  också kraftigt reduceras. Likaså renas rökgaserna även i avseende på polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och dioxiner. I slutet av 2009 hade 41 krematorier i Sverige infört rening med aktivt kol och eftersom det gäller många stora krematorier sker numera ca 82 % av alla kremeringar med den här typen av rening [24]. Varje år sker ca 67 000 kremeringar i Sverige. Ingående mängd kvicksilver har i genomsnitt antagits vara 5 g per kremering [1], men kan vara något lägre. Om 82 % av alla kremeringar antags ske med en reningsgrad av 95 % och resterande utan någon rening kan det totala utsläppet av kvicksilver från de svenska krematorierna uppskattas till 74 kg per år, vilket är en minskning med 25 % i jämförelse med en motsvarande uppskattning för år 2003 [1]. Totalt sett renas rökgaserna till 78 %. Av det kvicksilver som släpps ut härrör en mindre andel (18 %) från de 41 krematorier som har infört rökgasrening.



## Slutsatser

1. Det finns idag ingen teoretisk eller praktisk grund för antagandet att kvicksilver i betydande mängd kan diffundera genom ugn- eller skorstensväggar i krematorier.
2. Det finns inte heller några vetenskapliga belägg för att kommersiellt tillgängliga reningsmetoder baserade på adsorption av kvicksilver från rökgasen på aktivt kol inte skulle fungera tillfredsställande.
3. Tillgängliga undersökningar av kvicksilver adsorberat på aktivt kol från rökasrening i krematorier tyder på att detta kvicksilver är stabilt och kan lagras under lång tid utan avgång.
4. Det finns inga teoretiska eller praktiska belägg som visar att tillsats av selenampull vid kremering har någon avskiljande effekt på kvicksilver.

## Referenser

- [1] Branschfakta Krematorieverksamhet, Utgåva 3, januari 2006. Naturvårdsverket.
- [2] Vahter. 1991. Hälsoeffekter till följd av exponering för kvicksilver från krematorier. Institutet för miljömedicin, Karolinska institutet.
- [3] Lars Barregard, Milena Horvat, Barbara Mazzolai, Gerd Sällsten, Darija Gibicar, Vesna Fajon, Sergio diBona, John Munthe, Ingvar Wängberg, Marie Haeger Eugensson. 2006. Urinary mercury in people living near point sources of mercury emissions. *Science of the Total Environment*, 368, 326-334.
- [4] Domslut angående krematorieverksamhet i Landskrona församling Svea Hovrätt, Miljööverdomstolen.  
[http://www.tofr.info/avgoranden/Ovrig\\_mfv/090622\\_m\\_10050-08.pdf](http://www.tofr.info/avgoranden/Ovrig_mfv/090622_m_10050-08.pdf)
- [5] Solbu. 1999. Utredning om Emcoplete AB:s/Elof Hansson AB:s QuickSafe metod för rening av krematoriegaser. Erik Solbu AB.
- [6] Norsell. 2007. Rapporter framtagna 1989 - 2003 avseende krematorieteknik. Forskningsstiftelsen för Krematorieteknik.  
<http://www.skkf.se/upload/pdf/Forskningsstiftelsens%20rapport%20g%20E4llande%20krematorieteknik%201989-2003.pdf>
- [7] Mavroudis. 1999. Miljömätningar vid Kvibergs krematorium- EcoPro AB.
- [8] Johansson och Kronström. 1999. Försök avseende kvicksilverbalans över reningsutrustning och lagringsstabilitet för kvicksilver i restprodukter. EMK, Energi Miljö Konsult AB.
- [9] Tingström och Oskarsson. 2001. Emissionsmätningar vid S:t Eskils Kapellkrematorium år 2001. ÅF-Processdesign AB.
- [10] Mavroudis. 2002. Miljömätningar vid Kvibergs krematorium. EcoPro AB.
- [11] Olsson och Tornberg. 2002. Bestämning av kvicksilver avskiljning vid S:t Eskils Krematorium, Eskilstuna. Metlab miljö AB.
- [12] Persson och Hägg. 2003. Utsläppsmätningar - Hg kontinuerligt, HCl, Kolväten, kväveoxider, samt dioxiner - vid Räcksta krematorium 2003. ENA Miljökonsult AB.
- [13] Olsson. 2003. Kvicksilverutsläpp från krematorier. CIT Thermoflow AB.

- [14] Andersson. 2006. Emissionskontroll vid krematoriet på Skogskyrkogården. Vattenfall Power Consultant AB.
- [15] Schleicher och Gram. 2008. Analyse of omkostningerne for rensning for kvicksølv på krematorier i Danmark (Miljøprojekt Nr. 1191 2008). Force Technology.
- [16] Munthe och Peterson. 1995. Kvicksilver i krematorier - ett arbetsmiljöproblem? IVL, Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning.
- [17] Wängberg, Lord. 2000. Provtagning av gasformigt kvicksilver i inomhusluft vid Kvibergs krematorium, 2000-09-22. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- [18] Maloney, Phillips & Mills. 1998. Mercury in the hair of crematoria workers. *The Lancet*, 352, p. 1602.
- [19] Åkesson. 2005. Rapport över testkörningar med selenampuller vid krematoriet i Ystad. Sammanställd på uppdrag av krematorierna i Landskrona, Ystad och Trelleborg.
- [20] Öhrström. 1995. Kvicksilvermätningar vid krematoriet i Vänersborg. Miljökonsulterna.
- [21] Öhrström och Bergström. 1991. Kvicksilverutsläpp vid Krematoriet i Limhamn, Malmö. Inverkan av Emcopleateampuller. Miljökonsulterna.
- [22] Munthe, Pleijel, Schager, Peterson och Kindbom. 1997. Emissioner av kvicksilver från kematorier - spridning, miljöeffekter och effekter av selentillsats. IVL Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning.
- [23] Johansson och Kronström. 1998. Rapport, Mätningar av kvicksilver, Limhamns krematorium, Kyrkogårdsförvaltningen Malmö. EMK, Energi Miljö Konsult AB.
- [24] Personlig kommunikation med Torbjörn Samuelsson, Energiprojekt E&S AB.
- [25] Cooper, Munthe och Sommar. 2001. Undersökning av kvicksilvers stabilitet i aktivt kol från krematorier (L01/063). IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Bilaga 1

### Några av kvicksilver och selens fysikaliska och kemiska egenskaper av betydelse i samband med förbränning

#### Kvicksilver

Tandamalgam innehåller ca 50 % kvicksilver. Vid uppvärmning avgår kvicksilvret i form av atomär ånga, (gasformigt metalliskt kvicksilver, Hg<sup>0</sup>). Kvicksilverånga är en relativt inert gas vilket innebär att den i liten grad oxideras vid förbränning. I närvaro av klor kan dock kvicksilvret oxideras till HgCl<sub>2</sub> som i rökgaser uppträder i gasform eller adsorberat på partiklar. Förmodligen är Hg<sup>0</sup> den mest dominerande specien i rökgasen men gasformigt oxiderat kvicksilver samt parikulärt bundet kvicksilver förekommer troligtvis också [1-3].

I debatten har diffusion av gasformigt kvicksilver kommit att få en viss betydelse. Diffusion av ett ämne (D) definieras enligt Ficks 1:a lag:

$$\mathbf{F} = -D \times \mathbf{g} \quad (1)$$

Där D är diffusionskoefficienten som i SI systemet har enheten m<sup>2</sup>/s, **g** är koncentrationsgradienten vilken anger hur koncentrationen av ämnet ändrar sig utefter en viss riktning i rummet, och har enheten koncentration per längdenhet (enheten g/m<sup>4</sup>). **F** är det diffusiva flödet och har enheten mängd per ytenhet och tid (g/m<sup>2</sup> s). Ekvation 1 tolkas på följande sätt: ju större koncentrationsgradienten är ju större blir det diffusiva flödet. Flödet, **F**, är en vektorstorhet och kan anta både positiva och negativa värden beroende på riktningen av **g**, men är alltid riktad från områden med hög koncentration till områden med låg koncentration.

Tabell 1 visar diffusionskoefficienterna för kvicksilver samt några andra gaser som förekommer i förbränningsgaser. Av tabellen framgår att diffusionskoefficienten för Hg är lite lägre än för de andra gaserna, vilket delvis beror på kvicksilveratomens stora radie och höga atomvikt.

**Tabell 1.** Diffusionskoefficienter i luft [4, 5]

Ämne	D (20 °C, 101325 Pa) m <sup>2</sup> /s
Hg <sup>0</sup>	1,36 × 10 <sup>-5</sup>
N <sub>2</sub>	2,03 × 10 <sup>-5</sup>
O <sub>2</sub>	2,07 × 10 <sup>-5</sup>
CO	2,05 × 10 <sup>-5</sup>
NO	2,05 × 10 <sup>-5</sup>
H <sub>2</sub> O	2,48 × 10 <sup>-5</sup>

Vid kvicksilvers kokpunkt (356 °C) är diffusionskoefficienten för kvicksilver ca 5.4 × 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s [5] och ökar ytterligare vid högre temperatur. En enkel kalkyl visar dock att diffusionen i ugnen är ytterst långsam i jämförelse med den transport av förbränningsgaserna som konvektion och den stora lufttillförseln (1-2 m<sup>3</sup>/s) ger upphov till. Förbränningsgasernas uppehållstid i ugnen är som mest några sekunder samtidigt som diffusiv transport över avstånd motsvarande ugnens dimensioner kräver minuter.

## Bilaga 1

En annan parameter som ofta nämns i sammanhanget är kvicksilvers ångtryck. Med ett ämnes ångtryck vid en viss temperatur menas det jämviktstryck som den flytande eller fasta formen av ämnet utövar genom avdunstning. Jämviktstrycket kan mätas som funktion av temperaturen om ämnet stängs in i en sluten behållare. Ångtrycket anger hur flyktigt ett ämne är, d.v.s. dess tendens att avdunsta men säger inget om det tryck det kan komma att utöva i förbrännings-sammanhang. Vid rumstemperatur (20 °C) har rent kvicksilver ett ångtryck av 0.17 Pa [6] vilket är högt i förhållande till andra metaller, men är å andra sidan lågt i jämförelse med många andra ämnen som är flytande vid rumstemperatur. Vattens ångtryck är t.ex. 2340 Pa vid 20 °C, d.v.s. mer än 10 000 gånger högre. I miljösammanhang anges  $Hg^0$  ibland som ett ämne med "semi-volatile" karaktär vilket innebär att trots att flyktigheten är mycket låg kan ämnet förekomma som en gas i atmosfären vilket har stor betydelse för hur det sprids i miljön. Den här egenskapen gör att tillfälligt höga halter av kvicksilver i rökgasen kan ge upphov till utkondensering i kylaren eller på rökgaskanalens väggar. En delmängd av kvicksilvret kan på så vis kvarhållas i systemet. Kondenserat kvicksilver ångar sedan av i långsam takt och följer då med rökgaserna vidare till kolfiltret eller i avsaknad av ett sådant ut i fria luften.

Ångtrycket för ett ämne ökar exponentiellt med ökande temperatur och är lika med omgivningens tryck vid kokpunkten. I kremeringsugnar regleras det totala trycket så att det hålls strax under atmosfärstrycket. På grund av utspädningseffekter uppstår dock aldrig jämvikt mellan flytande och gasformigt kvicksilver i ugnen, varför det i det här sammanhanget är bättre att prata om partialtrycket av kvicksilver i rökgasen. Mätning av kvicksilverhalten direkt i kremeringsugnen har inte gjorts, men medelhalten under en kremering kan möjligen komma upp till i storleksordningen  $100 \text{ mg m}^{-3}$  under en kort tid vilket motsvarar ett partialtryck av 4 - 5 Pa vid 800 °C. Partialtrycket av  $Hg^0$  i kremeringsugnar kan med andra ord aldrig bli speciellt hög.

### *Selen*

Selen är vid rumstemperatur ett fast ämne med halvledaregenskaper. Vid uppvärmning avgår selen till gasfas i form av  $Se_n$  molekyler. Vid 180 °C utgörs ångan huvudsakligen av  $Se_6$ ,  $Se_5$  samt  $Se_7$ . Vid kokpunkten (685 °C) och vid högre temperaturer består selenångan till övervägande del av  $Se_2$  [7]. Atomärt gasformigt selen,  $Se$ , uppträder först vid temperaturer upp emot 2000 °C [8]. Det är sedan länge känt att selen brinner i luft varvid selendioxid ( $SeO_2$ ) bildas. Experimentella resultat visar att selen kvantitativt kan oxideras till  $SeO_2$  i ren syrgas men vid förbränning i luft bildas en blandning av  $SeO_2$  och oförbränt gasformigt selen,  $Se_n$  [9]. Exakt hur fördelningen mellan  $SeO_2$  och  $Se_n$  är vid förbränning i krematorieugnar är oklart men förmodligen bildas betydande mängder  $SeO_2$  tillsammans med en del  $Se_2$ . Mätningar vid krematorier utan stoftavskiljning visar att en stor andel av selenet följer med rökgasen ut i fria luften [3, 10].

### *Kvicksilverselenid*

Kvicksilverselenid ( $HgSe$ ) är ett fast ämne som i liket med selen också är en halvledare. Ren  $HgSe$  är en stabil förening med en smältpunkt på 799 °C [11], den är olöslig i vatten och anses vara mindre giftig än kvicksilver. Föreningen kan bildas genom blandning av ekvivalenta mängder flytande kvicksilver och selen i pulverform. Atomärt kvicksilver i gasform tas även upp

**Bilaga 1**

på selenytor varvid HgSe kan bildas och principen kan användas för att rena Hg<sup>0</sup> i rökgaser [12, 13]. I äldre litteratur antyds det att HgSe även förekommer som en molekylär gas. Senare forskning [7, 11, 14] visar dock att så inte är fallet. Såväl optiska mätningar som masspektrometri analys av ånga över fast och flytande HgSe vid 270 - 860 °C visar att ångan består av Hg<sup>0</sup> samt Se<sub>n</sub> (som vid högre temperaturer utgörs av Se<sub>2</sub>). Slutsatsen är att molekylärt HgSe, till skillnad från fast kvicksilverselenid, inte är en stabil förening och kan därför inte bildas i gasfas. Det kan verka förvånande med tanke på att Hg och Se bildar den mycket stabila fasta föreningen kvicksilverselenid. Emellertid gäller samma sak även för andra föreningar som i likhet med kvicksilverselenid är kristallina ämnen. Den starka bindningen i kvicksilverselenid-kristallen beror på att varje Hg atom binder till 4 Se atomer och vice versa. Motsvarande bindningar kan däremot inte förekomma för HgSe molekyler. I det avseendet är fast kvicksilverselenid och det tänkta gasformiga ämnet HgSe att betrakta som olika kemiska föreningar.

**Referenser**

- [1] Mavroudis. 1999. Miljömätningar vid Kvibergs krematorium- EcoPro AB.
- [2] Tingström och Oskarsson. 2001. Emissionsmätningar vid S:t Eskils Kapellkrematorium år 2001. ÅF-Processdesign AB.
- [3] Munthe, Pleijel, Schager, Peterson och Kindbom. 1997. Emissioner av kvicksilver från kematorier - spridning, miljöeffekter och effekter av selen tillsats. IVL Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning.
- [4] Massman. 1998. A review of the molecular diffusivities of H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, and NO<sub>2</sub> in air, O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> near STP. Atmospheric Environment, 32(6), 1111-1127.
- [5] Massman. 1999. Molecular diffusivities of Hg vapor in air, O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> near STP and the kinematic viscosity and thermal diffusivity of air near STP. Atmospheric Environment, 33, 453-457.
- [6] Huber, Laesecke, Friend. 2006. Correlation for the Vapor Pressure of Mercury. Ind. Eng. Chem. Res., 45, 7351-7361.
- [7] Berkowitz & Chupka. 1966. Equilibrium Composition of Selenium Vapor; the Thermodynamics of the Vaporization of HgSe, CdSe, and SrSe. The Journal of Chemical Physics, 45(11), 4289-4302.
- [8] Holleman & Wiberg. Inorganic Chemistry (Översatt efter tysk förlaga 2001) ISBN: 0-12-352651-5.
- [9] Dutton, Janjua, Van den Steen, Watkinson. 1971. Vapour phase oxidation of selenium. Can. Met. Quart. 10, 97-104.
- [10] Öhrström och Bergström. 1991. Kviksilverutsläpp vid Krematoriet i Limhamn, Malmö. Inverkan av Emcopleteampuller. Miljökonserterna.
- [11] Brebrick. 1965. Pressures of Hg and Selenium over HgSe(c) from Optical Density Measurements. The Journal of Chemical Physics, 43(11), 3846-3852.
- [12] Solbu. 1999. Utredning om Emcoplete AB:s/Elof Hansson AB:s QuickSafe metod för rening av krematoriegaser. Erik Solbu AB.
- [13] Öhrström. 1995. Kviksilvermätningar vid krematoriet i Vänersborg. Miljökonserterna.
- [14] Goldfinger & Jeunehomme. 1963. Mass Spectrometric and Knudsen-Cell Vaporization Studies of group 2B-6B Compounds. Trans. Faraday Soc., 59, 2851-2867.

## Bilaga 2

### Kvicksilver i hårprov från krematorieanställda i England

I en undersökning publicerad i den kända internationella tidskriften *The Lancet* [1] undersöktes halten av kvicksilver i hårprov från anställda vid engelska krematorier. Medelhalten kvicksilver i hårprov från dem som direkt arbetade med kremering var 1.60 µg/g (antal försökspersoner, n = 48). Man mätte även på personal inom administrationen (n = 38) samt kyrkogårdsarbetare (n = 11) och erhöll följande Hg halter, 1.84 µg/g resp. 1.47 µg/g. Vilket kan jämföras med 0.97 µg/g hos en referensgrupp (n = 46) som ingick i undersökningen men som inte var yrkesmässigt exponerade för kvicksilver. Resultatet är dock svårtolkat eftersom kvicksilver i hår till övervägande del utgörs av metylkvicksilver vilket inte är inte kopplat till exponering för Hg<sup>0</sup> utan snarare intag av metylkvicksilver via diet, framförallt insjöfisk [2]. I artikeln nämns inget om försökspersonernas matvanor men kvicksilverhalten i hårprov från de krematorieanställda är något lägre än för en grupp svenskar som konsumerade insjöfisk mer än en gång per månad. Medelvärde av kvicksilver i hårprov från dessa (totalt 104) individer var 2.1 µg/g [3]. I den svenska undersökningen fanns även en kontrollgrupp vars intag av insjöfisk var mindre än en portion per månad. I hårprov från dem (n = 39) fann man en kvicksilverhalt av 0.5 µg/g, d.v.s. ungefär en faktor 2 lägre än hos den engelska referensgruppen. Eftersom kopplingen mellan exponering av Hg<sup>0</sup> och kvicksilver i hår är svag är det svårt att dra några egentliga slutsatser om arbetsmiljön i engelska krematorier utifrån den nämnda undersökningen.

### Referenser

- [1] Maloney, Phillips & Mills. 1998. Mercury in the hair of crematoria workers. *The Lancet*, 352, p. 1602.
- [2] Akagi & Naganuma. 2000. Human exposure to mercury and the Accumulation of Methylmercury that is Associated with Gold Mining in the Amazon Basin, Brazil. *Journal of Health Science*, 46(5), 323-328.
- [3] Johnsson, Sällsten, Schüts, Sjörs och Barregård. 2004. Hair mercury levels versus freshwater fish consumption in household members of Swedish angling societies. *Environmental Research* 96, 257-263.

### Bilaga 3

#### Rapport över testkörningar med selenampuller vid krematoriet i Ystad

Under 2004 gjordes en serie kvicksilveranalyser på kolresidual från krematoriet i Ystad [1]. Från början är kvicksilverhalten i residualet låg men ökar påtagligt i samband med att selenampuller innehållande 9 g selen tillsätts vid varje kremering. Effekten fortsätter även efter att man upphör med selentillsatsen, men avtar slutligen varvid kvicksilverhalten i residualet sjunker till samma nivå som innan man började tillsätta selen. I rapporten tolkas resultatet som att vid frånvaro av selen kan 80 - 90 % av den ingående kvicksilvermängden diffundera ut genom ugnens väggar eller genom väggarna i rökgaskanal och kylare. Vid en granskning av rapporten inställer sig dock en rad frågor om hur undersökningen genomfördes och om tolkningen av resultatet.

#### Försöksupplägg: provtagning och analys av kvicksilverhalter i kolresidual

Krematoriet i Ystad är utrustad med ny ugn med automatisk reglering av temperatur och syrehalt etc. Direkt efter ugnen finns en efterbrännkammare varifrån rökgaserna leds till en rökgaskylare och sedan till ett partikelfilter. Filtret belades med aktivt kol motsvarande 200 g per kremering. Vid kremering bildas i genomsnitt ca 100 g aska som uppsamlas på filtret. Tillsammans fås cirka 300 gram residual från varje kremering vilket uppsamlas i tunnor varifrån prov för analys senare hämtades.

Enligt rapporten togs cirka 100 ml prov ut från respektive tunna och skickades för analys till Bjästa Återvinning AB. Två olika uppslutningsmetoder användes, metod 1 och 2.

Metod 1: Uppslutning i kungsvatten under minst 3 dygn.

Metod 2: Uppslutning i utspädd salpetersyra (7 M) under minst 1 dygn.

Efter uppslutning späddes lösningarna och tenn(II)klorid tillsattes varvid oxiderat kvicksilver reducerades till  $Hg^0$  och avskiljdes med en ström av inert gas som leddes till ett PerkinElmer instrument (AAnalyst 400) med vilken Hg detekterades med CVAAS.

Innan man började tillsätta selen togs två prover ut från tunnor med upplagrat kolresidual som fanns vid krematoriet. De två proven som vardera härrörde från hundra kremeringar hade samlats ihop under 2002 respektive januari 2004. Resultatet av analysen visas i Tabell 1, proven benämns prov 1 och 2.

Efter att man börjat tillsätta 9 g selen vid varje kremering togs ett kolresidualprov ut som antogs representera medelvärdet av 32 kremeringar. Provet analyserades 2 gånger. Resultatet av analyserna redovisas i Tabell 1 som prov 3a och 3b.

Efter ytterligare 88 kremeringar togs ett prov ut som antogs representera medelvärdet av 120 kremeringar med selentillsats. Analysresultatet visas i Tabell 1, prov 4.

Därefter upphörde man med tillsats av selen och efter en månad togs ett nytt prov ut som antogs representera medelvärdet av ca 80 kremeringar utan selentillsats. Två analyser av samma prov gjordes vilka benämns prov 5a och 5b, resultatet visas i Tabell 1.

**Bilaga 3**

Slutligen efter ytterligare 3 månader togs kolresidualprov ut som antogs representera 300 kremeringar utan tillsats av selen. Analysresultatet visas i Tabell 1, provet benämns prov 6.

**Resultat****Tabell 1.** Erhållna kvicksilverhalter i kolresidual

Prov nr	Typ av prov	Hg halt	Hg halt
		Uppslutningsmetod 1 g / kg kol	Uppslutningsmetod 2 g / kg kol
1	Före selentillsats. Prov från tunna med residual från 2002	-	1,1
2	Före selentillsats. Prov från tunna med residual från 2004	-	2,0
3a	Efter 32 krem. med selentillsats	6,0	-
3b	Efter 32 krem. med selentillsats, ny analys	7,7	-
4	Efter ytterligare 88 krem. med selentillsats	12,0	-
5a	En månad efter avslutad selentillsats (ca 80 krem.)	10,6	26,7
5b	En månad efter avslutad selentillsats, ny analys	13,4	17,9
6	Efter ytterligare 3 mån. utan selentillsats (ca 300 krem.)	1,60	2,0

**Kommentarer**

Kvicksilvermängden i varje prov antas representera genomsnittsmängden avskilt kvicksilver från 32 upp till 300 enskilda kremeringar. Men hur representativa är dessa prov egentligen? Det enda som anges är att 100 ml prov från respektive tunna togs ut av krematoriepersonal. Inget sägs om omblandning i samband med provuttag. Endast 1 prov från varje tunna analyserades varför information om eventuella haltvariationer inom varje tunna saknas. Inga tester som verifierar hur representativt respektive prov är redovisas.

De högsta halterna av kvicksilver i residualet erhöles efter att man slutat tillsätta selen vilket är svårt att få att gå ihop med slutsatsen i rapporten där det sägs att ökningen av kvicksilverhalten i kolresidualet berodde på tillsats av selen i ugnen.

Två olika uppslutningsmetoder har använts. Av resultatet att döma ger metod 2 högre halter. I ett fall (5a) fås en 2,5 gånger högre halt med metod 2 än med metod 1. Ingen kommentar om det förhållandet ges, men av diskussion och uträkningar framgår att man utgår från att metod 1 bara uppsluter kvicksilver bundet till selen (kvicksilverselenid) och att metod 2 endast uppsluter kvicksilver bundet till aktivt kol. Därför läggs analysresultaten från de båda analyserna ihop vid den slutliga utvärderingen. På så vis anses prov 5a innehålla 37,3 g kvicksilver per kg kol.



### Bilaga 3

Det här är uppenbarligen fel eftersom en riktigt utförd kungsvattenuppslutning borde kunna lösa allt kvicksilver i provet. Om det alls skall vara någon skillnad mellan de båda uppslutningsmetoderna borde den med kungsvatten ge högre halter. Av Tabell 1 framgår att det blev tvärt om. Det här gör att det finns fog för att misstänka analysproblem. Att så kan vara fallet indikeras även av de stora skillnader som fås när prov 5 analyseras om (jämför prov 5a och 5b).

#### Slutsats

Bristfällig metodik för uttag av prov, allt för få analyser av kolresidual samt avsaknad av kvalitetskontroll angående både metod för provuttag och kvicksilveranalys gör att det inte går att dra några slutsatser av undersökningen.

Dock kan en reflektion göras. Även om analysresultaten i undersökning är osäkra tyder de ändå på att kvicksilver kan passera rökgaskylaren trots tillsats av selen. I andra sammanhang har det av förespråkare för selenmetoden framhållits att selentillsats gör att det mesta av kvicksilvret binds till selen redan i ugnen och fälls sedan ut i rökgaskanalen varför ytterligare reningsåtgärder inte behövs. Den här undersökningen tyder dock på att vare sig filter eller aktivt kol kan undvaras om en effektiv avskiljning av kvicksilver skall uppnås.

#### Referenser

- [1] Åkesson. 2005. Rapport över testkörningar med selenampuller vid krematoriet i Ystad. Sammanställd på uppdrag av krematorierna i Landskrona, Ystad och Trelleborg.

### Kvicksilvers bindning och lagringsstabilitet i aktivt kol

Aktivt kol, preparerat på lämpligt sätt, används för att rena gaser från kvicksilver och en rad andra ämnen i många olika sammanhang inom industrin och i samhället i övrigt. Några av dessa är, rening av rökgaser från Hg vid kolkraftverk, vid förbränning av avfall från sjukhus och i samband med termisk rening av kvicksilverförorenade jordmassor. Andra stora sektorer är rening av gasformigt kvicksilver i naturgas och rening av gaser från kvicksilver inom kemisk och metallurgisk industri. Aktivt kol används också för att avskilja gasformigt kvicksilver i andningsskydd och som adsorbent vid provtagning av kvicksilver i luft. För att få god avskiljningseffekt och lagringsstabilitet krävs dock att det aktiva kolet är impregnerat med svavel eller någon annan tillsats.

Mot bakgrund av det utbredda användandet av aktivt kol för rening av kvicksilver ter sig påståendet att lagringsstabiliteten av kvicksilver i aktivt kol är bristfällig som märklig. Dock tyder en undersökning som utfördes 1999 - 2000 på kol från krematoriet i Skövde att så kan vara fallet [1]. Analyser utförda av Bjästa Återvinning AB visade att ett kolprov (residual från 2 veckors kremering) som initialt hade en halt av 3 g Hg per kg redan efter 13 veckor hade förlorat 31 % av ursprungligt kvicksilverinnehåll. Efter ytterligare 14 veckor var allt kvicksilver borta. Mellan analyserna förvarades kolprovet inuti en förseglad platsäck i ett tomfat med lock. Av slutsatsen som görs i rapporten framgår att man utifrån erhållet resultat bedömer att risken är stor att kvicksilver i betydande omfattning kan försvinna från kolresidual under lagring vid krematorier. Dock påpekades att kolet markant ändrade färg samt att dess densitet fördubblades under lagringstiden. Dessa omständigheter ansågs innebära en osäkerhet varför ytterligare mätningar rekommenderades. Man torde i efterhand kunna ifrågasätta hur representativt kolprovet som testades var. Rapporten innehåller ingen notering om det aktiva kolets ursprung eller kvalitet.

Vid en senare undersökning av lagringsstabilitet [2] undersöktes 50 st. kolprov från Kvibergs krematorium i Göteborg. Resultatet visade att kvicksilvret var homogent distribuerat i de 9 koltunnor varifrån proven togs. Kvicksilverhalterna var mellan 1 - 5 g/kg i de flesta av de analyserade proven vilka hade lagrats från några dagar upp till 2 år. Någon tendens till minskad kvicksilverhalt med tiden kunde inte noteras. Fem av proven analyserades av 3 olika laboratorier, varav Bjästa Återvinning AB var ett, för att undersöka inverkan av olika uppslutnings och analysmetoder. Resultatet indikerade att alla analyslaboratorier mätte ungefär samma kvicksilverhalt oavsett uppberedningsteknik. Dock erhöles mycket avvikande resultat från en av de 9 tunnorna. Kvicksilverhalten i de 5 prov som analyserades var mellan 30 - 240 µg/kg, d.v.s. mer än 10 000 gånger lägre än från de andra tunnorna. Samtliga av dessa prov hade avvikande utseende och kolmaterialet misstänktes vara felaktigt.

Undersökningen ovan kompletterades med laboratorieexperiment där några av de analyserade kolprovens förmåga att binda gasformigt Hg<sup>0</sup> som funktion av temperatur testades. Alla prov oavsett lagringstid visade god adsorberande och kvarhållande förmåga i avseende på Hg<sup>0</sup> [2].

Tio av de 50 kolprov som analyserades i den första omgången analyserades på nytt 1 år senare [3]. Under mellantiden lagrades proven i plastburkar på IVLs laboratorium. Det tidigare analysresultatet erhållet oktober 2001 gav halter mellan 3.7 - 5.1 g/kg kvicksilver. När samma prov analyserades november 2002 blev resultatet 3.6 - 4.8 g/kg. Någon signifikant skillnad mellan analysresultaten för enskilda prov kunde heller inte noteras.

### Slutsatser

De undersökningar som gjorts visar att lagringstabiliteten i avseende på kvicksilver är god för de testade kolresidualen. D.v.s. materialet uppvisar ingen nämnvärd tendens att avge kvicksilver under lagring. Å andra sidan visar också de genomförda testerna att det aktiva kolets kvalitet är av avgörande betydelse.

### Referenser

- [1] Johansson och Kronström. 2000. Kontroll av lagringsstabilitet för kvicksilver i restprodukter vid krematoriet i Skövde. EMK, Energi Miljökonsult AB.
- [2] Cooper, Munthe och Sommar. 2001. Undersökning av kvicksilvers stabilitet i aktivt kol från krematorier (L01/063). IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- [3] Olsson. 2002. Undersökning av kvicksilvers stabilitet i aktivt kol från krematorier. CIT herflow AB.