

Utvärdering av
kvicksilvermätningar i luft
och nederbörd i samband
med EKA-projektet i
Bengtsfors

EKA projektets rapport
nr "EKA 2010: 1"

Ingvar Wängberg
IVL Svenska Miljöinstitutet

Annelie Loberg
Norconsult

B1938
Augusti 2010

Rapporten godkänd:
2010-08-17



John Munthe
Forskningschef

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Anslagsgivare för projektet EKA-projektet Bengtsfors kommun
Adress Box 5302 400 14 Göteborg	
Telefonnr 031-725 62 00	
Rapportförfattare Ingvar Wängberg Annelie Loberg	
Rapporttitel och undertitel Utvärdering av kvicksilvermätningar i luft och nederbörd i samband med EKA-projektet i Bengtsfors	
Sammanfattning <p>I EKA-projektet ingick omfattande arbetsmiljö- och omgivningskontrollmätningar. Här presenteras resultatet av en utvärdering av kvicksilvermätningarna. Inför rivningen av det gamla cellhuset inneslöt byggnaden i ett tält i syfte att skydda omgivningen från förorenat damm m.m. Åtgärden fungerade bra, mer än 3 kg kvicksilver som annars skulle avgått genom förångning och via damning togs om hand av tältets reningsanläggning. Å andra sidan blev kvicksilverhalten i tältet mycket hög. Speciella säkerhetsåtgärder och rigorös användning av andningsskydd och skyddskläder krävdes vilket gjorde rivningsarbetet mer trögarbetat. Resterande markarbeten skedde under bar himmel. Erfarenheter från projektet visar att sprinkling och täckning av förorenade jordmassor minskar spridning av kvicksilver avsevärt. Likaså kan emission av kvicksilver begränsas om saneringsarbetet utförs under den kalla årstiden eftersom avdunstningen av kvicksilver är starkt temperaturberoende. Mätningarna visade också att kvicksilverhalten i luften på EKA-tomten nu är 4 gånger lägre än innan saneringen och ligger på samma nivå som i bakgrundsluft.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Kviksilverreanering, Kviksilverreanission, Kviksilver i luft, EKA-projektet	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B 1938	
Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se , e-post: publicationservice@ivl.se , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Förord

I samband med sanering av förorenade byggnader och markytor i EKA-projektet i Bengtsfors företogs ett omfattande mätprogram av kvicksilver på EKA-tomten och på två närliggande platser. Inledande mätningar startades i december 2003 och arbetet har sedan dess pågått med varierande intensitet fram till och med våren 2010. Mätningarna ingick i EKA-projektet som del av arbetsmiljö- och omgivningskontrollen med fokus på saneringsperioden 2006 - 2008.

Följande personer har deltagit i arbetet med kvicksilvermätningarna under utförandefasen:

Mätningarna på plats i Bengtsfors utfördes av kommunens miljökontrollanter, Johan Fogelström, Sabina Kolodynska och Annelie Loberg, i samarbete med Katarina Lennartsdotter Parkkonen, Norconsult, Therese Steinholtz, Empirikon och Ingvar Wängberg, IVL Svenska Miljöinstitutet.

Kvicksilverprov har analyserats på IVL av Ulla Hageström, Pia Spandow och Elsmari Lord.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	3
2	Mätningar och mätmetodik	4
3	Resultat.....	7
4	Diskussion och slutsatser	11
5	Referenser.....	12

Bilaga 1. Emission av kvicksilver vid rivningen av cellhuset på EKA-tomten i Bengtsfors

Bilaga 2. Uppskattning av spridningen av metalliskt kvicksilver till luft i samband med sanering på Eka-tomten i Bengtsfors

1 Inledning

Kvicksilver är ett giftigt grundämne med låg smältpunkt och kokpunkt (-38.9 resp. 356.6 °C). Metallen är flytande vid rumstemperatur och förekommer som en utspädd gas i atmosfären. Vulkanisk aktivitet och erosion av kvicksilverhaltiga mineraler i berggrunden utgör naturliga källor för kvicksilver. Naturliga så väl som mänskliga emissioner av kvicksilver utgörs till övervägande del av kvicksilverånga, det vill säga kvicksilveratomer (Hg^0). Utsläpp av partikulärt kvicksilver och oxiderat gasformigt kvicksilver förekommer också fast i mindre grad. Det här har stor betydelse för hur kvicksilver sprids i naturen. Till skillnad från andra metaller som i luft bara förekommer i partikulär form och därför i hög grad deponeras nära källan kan kvicksilver transporteras långa sträckor innan det till slut oxideras och faller ner på mark och vattenytor. Kvicksilver har därför kommit att betecknas som en global förorening. Stenkol innehåller kvicksilver i varierande grad och eftersom förbränning av kol är en stor energikälla i många länder utgör kolkraftverk den enskilt största kvicksilverkällan. Men det finns även andra källor varav de största är metallurgisk industri, cementproduktion och sopförbränning. Det globala antropogena utsläppet av kvicksilver för år 2005 har uppskattats till 1480 ton (AMAP/UNEP report, 2008) vilket bedöms vara ca 2 gånger större än den naturliga emissionen. Mänskliga utsläpp av kvicksilver leder till att ämnet anrikas i naturen. Risken med detta är ökad bildning av metylkvicksilver vilket kan tas upp i näringskedjan och i förlängningen skada människor djur. Ett tydligt tecken på den här faran är de förhöjda halter av kvicksilver i insjöfisk som upptäckts i Skandinavien, Kanada och Nordamerika. Faran med kvicksilverutsläpp tas på stort allvar och genom internationella konventioner (CLRTAP, HELCOM och OSPAR) förbinder sig medlemsstaterna att minska alla utsläpp av kvicksilver.

Tidigt började man använda kvicksilver i många tekniska applikationer och industriella processer. Ett exempel på det senare är produktion av klor-alkali, där metalliskt kvicksilver utgör katoden i en elektrolytisk cell för framställning av natrium- och kaliumlut varvid väte och klor också utvinns. En nackdel med metoden är att stora mängder kvicksilverhaltigt avfall bildas. Flytande kvicksilver kan även läcka ut från processen och en del av kvicksilvret avgår genom avdunstning. I början kände man inte till miljöriskerna med kvicksilver och var därför inte så noga med att ta hand om avfall och kvicksilverspill på ett bra sätt. Avfallet dumpades ofta på fabriksområdet vilket är orsaken till att så stora mängder kvicksilver påträffades på EKA-tomten vid saneringen.

I det följande redovisas resultatet från en utvärdering av de kvicksilvermätningar som ingick i EKA-projektets arbetsmiljö- och omgivningskontroll. Av erfarenhet vet man att arbete med kvicksilverförorenade jordmassor kan ge upphov till höga kvicksilverhalter i luft vilket kan vara kritiskt ur arbetsmiljösynpunkt och medföra spridning till omgivningen. Det handlar dels om gasformigt kvicksilver (Hg^0) men rivning av byggnader och hantering av jordmassor ger även upphov till damm och därmed risk för spridning och exponering av partikelbundet kvicksilver. Syftet med utvärderingen är att dokumentera den miljöpåverkan som saneringen gav upphov till. Dessutom kommer arbetsmiljöaspekter i avseende på kvicksilver att diskuteras.

2 Mätningar och mätmetodik

De olika typer av kvicksilvermätningar som har gjorts visas i Tabell 1. Som en viktig del i EKA-projektet ingick även provtagning av kvicksilver i grundvatten. Resultatet från dessa mätningar redovisas på annan plats.

Kvicksilverdeposition

Kvicksilverdeposition bestäms genom att samla in nederbörd och torrdeposition med hjälp av bulkprovtagare. Proven skickades till IVLs laboratorium för bestämning av den totala kvicksilvermängden (Hg_{tot}) i respektive prov. Vid analysen oxideras proven med brommonoklorid varefter kvicksilvret reduceras med tenn(II)klorid och Hg^0 drivs av och detekteras med CVAFS (cold vapour atomic fluorescence spectrometry). Utifrån respektive insamlares öppningsarea kunde kvicksilverdepositionen (enhet: $\mu g m^{-2} mån^{-1}$) räknas ut. Metodens detektionsgräns är $<0.001 \mu g m^{-2} mån^{-1}$.

Under senare år har medelkvicksilverhalten i nederbörd legat kring $10 ng L^{-1}$ i södra Sverige. Depositionen av kvicksilver på en bestämd plats varierar med den totala depositionen varför platser med hög nederbörd får högre deposition. Bakgrundsdepositionen i Bengtsfors kan uppskattas till i storleksordningen $7-10 \mu g m^{-2}$ per år, vilket ger $0.6 - 0.8 \mu g m^{-2}$ (eller lite mer om det råkar regna mycket) i genomsnitt per månad. Bakgrundsnivån är låg varför mätningar av kvicksilverdeposition på saneringsplatsen och dess närhet har utnyttjats som en känslig parameter för att uppskatta spridningen av kvicksilver via damning.

Tabell 1. Mätmetoder

Mätning	Metoder
Kvicksilverdeposition	Månadsprov av våt och torrdeposition insamlades med så kallade bulkprovtagare. 1. En enklare metod som bestod av en Nalgene flaska av fluoriserad HDPE användes på platser på saneringsområdet. 2. För mätning av bakgrundsdeposition användes IVLs bulkprovtagare där provet insamlas med en specialdiskad glasutrustning.
Gasformigt kvicksilver, TGM (total gaseous mercury)	1. Insamling av Hg^0 + oxiderat gasformigt kvicksilver på guldfälla. Detektionsgräns, dygnsprov: $<0.1 ng m^{-3}$. 2. Insamling av Hg^0 + oxiderat gasformigt kvicksilver med diffusiv provtagare. Detektionsgräns, dygnsprov: $<20 ng m^{-3}$. 3. Mätning av Hg^0 med ett Lumex instrument. Detektionsgräns, 10 s $<5 ng m^{-3}$.
Partikulärt kvicksilver TPM (total particulate mercury)	1. Minifälla för partikulärt kvicksilver. Detektionsgräns, dygnsprov: ca $2 pg m^{-3}$ 2. Uppsamling på 37 mm filterhållare Detektionsgräns, dygnsprov: ca $5 pg m^{-3}$

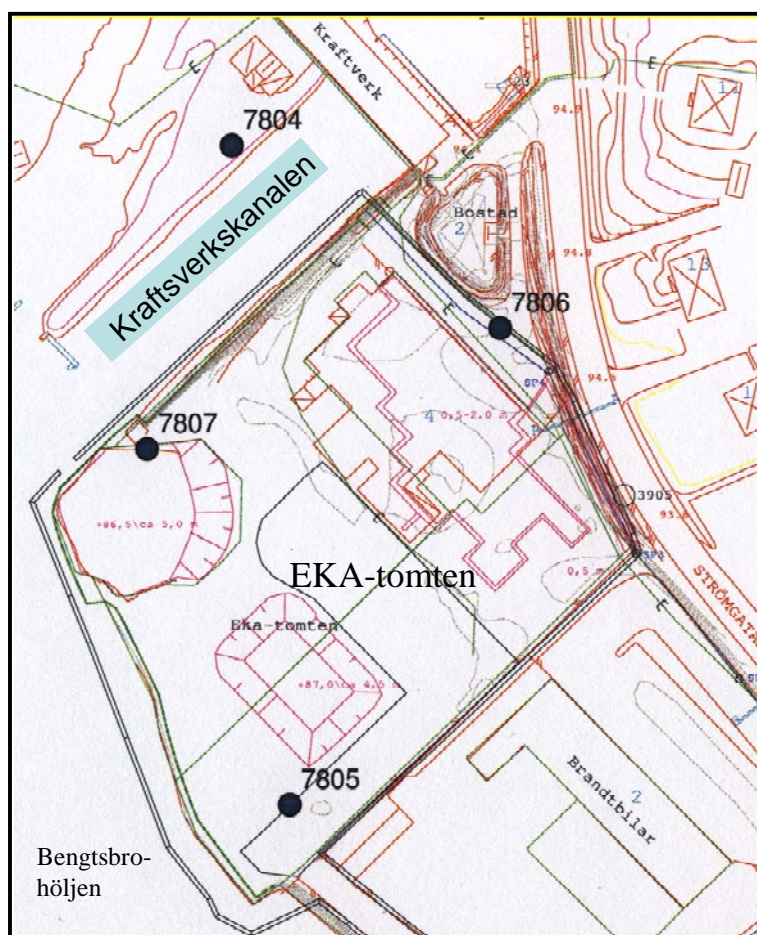
Gasformigt kvicksilver

Med totalt gasformigt kvicksilver (TGM) menas atomärt kvicksilver, Hg^0 , samt gasformiga föreningar av kvicksilver, t.ex. $HgCl_2$ som också kan förekomma i lägre halter. Likaså kan, i frånvaro av förfilter även partikulärt kvicksilver komma med. Vid mätning genom upptag på guldfälla och diffusiv provtagare detekteras samtliga Hg-specier som Hg^0 . Proven skickades till IVL Svenska Miljöinstitutet för analys. Kvicksilver mättes också med ett direktvisande instrument, Lumex RA-915+. Instrumentet mäter direkt absorptionen av Hg^0 i luften med hög tidsupplösning. Detektionsgränserna för respektive metod finns angivna i Tabell 1.

I det följande görs ingen skillnad mellan TGM och Hg^0 eftersom TGM sällan överstiger Hg^0 halten med mer än några procent. Bakgrundshalten av TGM i södra Sverige är oftast mellan 1.3 till 2.0 ng m^{-3} räknat som dygnsmedelvärde. Vid utvärderingen har högre halter tolkats som en effekt av emission av Hg^0 från EKA-området.

Partikulärt kvicksilver

Uppsamling av partikulärt kvicksilver skedde dels med minifälla som fungerar bäst vid låga halter. Minifällorna analyserades på IVL genom pyrolys varvid allt kvicksilver reduceras till Hg^0 och direkt kan detekteras med CVAFS. Vid högre halter användes en vanlig filterhållare (Savillex) för 37 mm membranfilter. Proven analyserades genom syrauppslutning och detektion av kvicksilver med CVAFS på liknande sätt som depositionsproven. En del av dessa prov analyserades även av ALS Scandinavia AB med ICP-SFMS. Partikulärt kvicksilver mätt enligt ovan benämns ofta TPM vilket syftar på att allt partikelbundet kvicksilver kommer med, vilket inte är helt korrekt då stora partiklar inte kvantitativt tas upp. Dessutom kan mätresultatet påverkas vid närvaro av höga halter av $HgCl_2$



Figur 1. EKA-tomten. Kraftverkspiren, station 7804 är en mätstation som ligger strax norr om saneringsområdet. Stationerna 7805, 7806 och 7807 är mätstationer på EKA-tomten. Station 7805 (benämnd Rörlig station) flyttades omkring på EKA-tomten under saneringen.

och liknande gasfasspecier. Det finns metoder för att mäta partikulärt Hg fraktionerat t.ex. i PM_{2.5} fraktionen varvid man dessutom eliminerar inverkan av andra kvicksilverspecier. Dock valdes här enklare metoder av praktiska skäl. Bakgrundshalten av TPM räknat som årsmedelvärde är 6 - 10 µg m⁻³, men enskilda dygnsmedelvärden kan variera en hel del. Halter upp till 70 µg m⁻³ förekommer för enstaka dygn någon eller några gånger per år.

Mätplatser

EKA-tomten visas i Figur 1. Platser för kvicksilverprovtagning anges med nummer 7804 - 7806. Två provplatser 7804 (Kraftverkspiren) och 7803 (Fältbodarna) användes som näraliggande referensstationer. Den senare låg vid Ångbåtsbryggan ca 200 meter söder om EKA-tomten (ej med på kartan). Mätningarna vid Kraftverkspiren och Fältbodarna användes som ett mått på spridning av kvicksilver till närliggande områden. Vissa mätresultat jämförs med motsvarande mätvärden från Råö. Råö är en mätstation på Onsalahalvön söder om Göteborg vilken ingår i det svenska miljöövervakningsnätet. Halterna av olika föroreningar som mäts där antas motsvara bakgrundshalterna i sydvästra Sverige.

Viktsenheter som används i rapporten

$$1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g}$$

$$1 \text{ µg} = 10^{-6} \text{ g}$$

$$1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$$

$$1 \text{ pg} = 10^{-12} \text{ g}$$

3 Resultat

Rivning av cellhuset

Resultatet av kvicksilvermätningarna presenteras här parallellt med en kortfattad beskrivning av saneringens olika delmoment. Under 2004 till 2006 företogs utökad förundersökning på EKA-tomten och dess närhet. Spårämnesförsök för att kartlägga grundvattenflöden i området genomfördes och ca 1000 jordprover togs för kartering av förekomst av föroreningar. Kraftverksdammen renoverades under 2005. Under april-maj 2006 påbörjades neddrivning av tätspons längs med Kraftverkskanalen och Bengtsbrohöljen, varvid visst schaktningsarbete utfördes för att underlätta spontningen. En del byggnader med låg förekomst av Hg och andra föroreningar revs också under våren 2006. För att skydda omgivningen från föroreningar i form av kontaminerat damm samt gasformigt kvicksilver restes ett stort tält över den gamla cellhallen. Tältbygget blev klart under sommaren och rivningen av cellhallen startades i augusti 2006.



Figur 2. Tältet över cellhallen hade en total volym av 18 000 m³ och var utrustad med en anläggning för rening av ventilationsluften



Figur 3. Den gamla cellhallens södra gavel innan rivningen. Byggnaden uppfördes i slutet av 1890-talet.

Rivningen av cellhuset skedde med hjälp av grävskopa. Rivningsmaterialet lastades i lockförsedda containrar inuti tältet och transporterades sedan till Sakab på lastbil. Tältet ventilerades med hjälp av kraftiga fläktar som sög in luft från öppningar i övre delen av tältets norra gavel. Innan utsläpp vid tältets södra gavel renades luften via partikelfilter och filter med aktivt kol som tog hand om Hg⁰, dioxiner och andra gasformiga föroreningar. Som del av arbetsmiljö- och omgivningskontrollen mättes kvicksilverhalten kontinuerligt både inne i tältet och i utluften från reningsanläggningen. En detaljerad redovisning av hur dessa mätningar gick till ges i Bilaga 1. Resultatet av mätningarna är sammanfattade i Tabell 2. Resultatet tyder på en effektiv rening av både gasformigt och partikulärt kvicksilver. I början renades Hg⁰ till 99,5 %. Effektiviteten sjönk något med tiden och blev mot slutet 90 %. I genomsnitt renades utluften med avseende på Hg⁰ till 94 %, vilket innebär att ca 3 kg kvicksilver fångades i filtret och en mindre del, 0,2 kg, släpptes ut. Reningen av partiklar uppskattades till att vara bättre än 99 % under hela saneringsperioden vilket innebär att luften från tältet renades från minst 50 kg damm innan den släpptes ut till omgivningen. Andelen kvicksilver i det avskilda dammet uppskattades till ca 130 g. Vid uträkningarna enligt ovan har emissioner i samband med transporter ut och in till tältet försummat då mätningar av Hg⁰ och partikulärt kvicksilver vid tältporten indikerade att ytterst små mängder verkade komma ut den vägen.

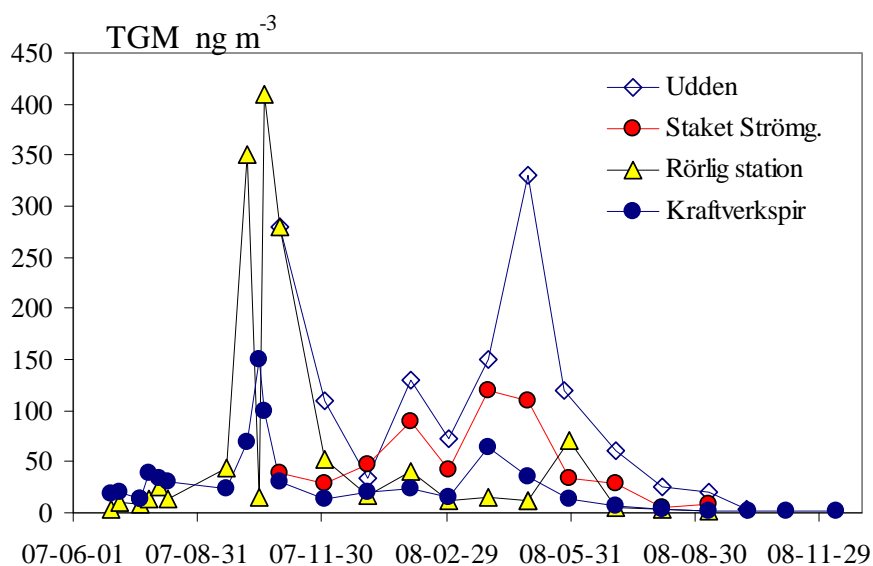
Tabell 2. Kviksilverhalter inuti tältet och i den renade ventilationsluften under arbetstid då mätningarna utfördes

	Gasformigt kvicksilver (Hg ⁰) µg m ⁻³	Partikulärt kvicksilver µg m ⁻³
Medelkoncentration i utluft	5	0,01
Min - max halter i utluft	0,3 - 13	0,003 - 0,02
Medelkoncentration inuti tältet vid filtret	85	8
Min - max halter inuti tältet vid filtret	20 - 209	0,9 - 23

Det kan konstateras att tältet fungerade mycket bra som åtgärd för att stoppa spridning av kvicksilver. Å andra sidan erhöles mycket höga kvicksilverhalter inuti tältet. Det arbetshygieniska gränsvärdet för kvicksilver är 30 µg m⁻³. Av Tabell 2 framgår att gränsvärdet överskreds i stort sett hela tiden, som mest med en faktor 7. Alla som arbetade i tältet använde andningsskydd och speciella rutiner för hantering och rengöring av skyddskläder infördes för att förhindra spridning av kvicksilver och andra föroreningar till lunchrum och kontor m.m.

Fortsatt saneringsarbete på EKA-tomten

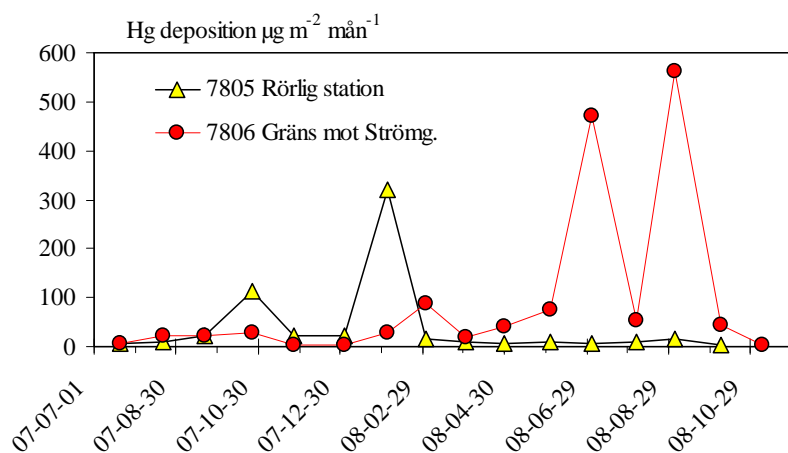
Rivningen av cellhuset blev klart i början av november 2006. Under december togs prover under cellhusets bottenplatta för att bestämma kvicksilverhalten. Under januari februari 2007 utfördes kompletterande arbeten med spontningen utmed Bengtsbrohöljen och under maj byggdes



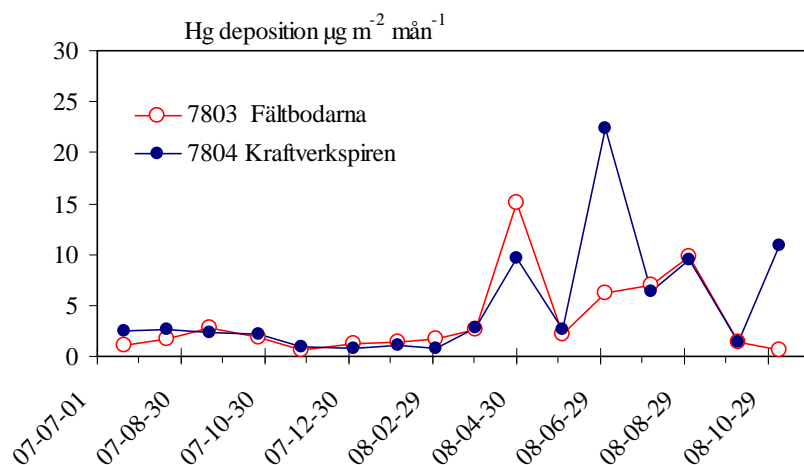
Figur 4. Resultat från TGM-mätningar på EKA-tomten och Kraftverkspiren under saneringsarbetet, juni 2007 till november 2008. Enskilda punkter i diagrammet utgörs av veckoprov och månadsprov. Observera att linjerna mellan punkterna endast är till för att markera vilka punkter som hör ihop.

reningsanläggningar för vatten vid Fältlokalen söder om EKA-tomten. I början av juni 2007 började man med schaktning av förorenade jordmassor från EKA-tomten och saneringsarbetet fortsatte fram till årsskiftet 2008/2009. Under den här tiden utfördes arbetsmiljö- och omgivningskontrollen bland annat med avseende på mätningar av TGM och kvicksilverdeposition.

Resultatet av TGM-mätningarna visas i Figur 4. Notera att halterna är angivna i enheten ng m^{-3} och är alltså mycket lägre än de halter som erhöles inuti tältet. Bakgrundshalten av TGM är $1.3 - 2.0 \text{ ng m}^{-3}$ i södra Sverige och de värden som mättes ($4 - 400 \text{ ng m}^{-3}$) är därför att betrakta som måttligt till kraftigt förhöjda. TGM-halterna var långt under det hygieniska gränsvärdet under hela perioden, men det bör påpekas att halterna i Figur 4 är medelvärden mätta ca 2 m över markplanet. Mycket högre halter kunde påträffas nära marken och speciellt i gropar med förekomst av elementärt kvicksilver, varför skyddsoverall och andningsskydd användes vid vissa arbetsmoment.



Figur 5. Månadsmedelvärden av kvicksilverdeposition uppmätt på EKA-tomten under saneringsarbetet. Medelvärdena för hela perioden var 39 och $92 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$ på Rörlig station resp. Gräns mot Strömgatan.



Figur 6. Månadsmedelvärden av kvicksilverdeposition uppmätt på referensstationerna. Medelvärdena för hela perioden var 3,6 och $4,9 \mu\text{g m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$ vid fältbodarna resp. kraftverkspiren.

Deposition av kvicksilver användes som ett mått på spridning till följd av damning. Figur 5 visar månadsmedelvärden av kvicksilverdeposition på saneringsområdet. Som jämförelse kan nämnas att bakgrundsdepositionen av kvicksilver oftast är mindre än $1 \mu\text{g m}^{-2}$ per månad. Inte helt oväntat var depositionen av kvicksilver i direkt anslutning till hanteringen av förorenade jordmassor kraftigt förhöjd under saneringen. Figur 6 visar depositionen på referensstationerna under samma period.

Även dessa mätplatser är märkbart påverkade vilket visas av att medeldepositionen av kvicksilver var 4 - 5 $\mu\text{g m}^{-2} \text{mån}^{-1}$ under mätperioden. Enligt Figur 6 är depositionen påfallande lika på de båda referensstationerna. Kraftverkspiren ligger bara ett tiotal meter ifrån saneringsplatsen varför påverkan där kunde förväntas vara högre än vid Fältbodarna. Dock påverkades troligtvis Fältbodarna även av all trafik från och till EKA-tomten. Dessutom kan den mätplatsen till viss del även ha påverkats av hanteringen kring de närliggande anläggningarna för rening av vatten.

I samband med anläggandet av dräneringen nordost om cellhallen och vid schaktning för spontning under våren 2006 lades jordmassor upp utmed kraftverkskanalen och mitt på EKA-tomten. De otäckta massorna gav upphov till förhöjd deposition av kvicksilver på Kraftverkspiren. Jordmassorna täcktes varvid spridningen av kvicksilver direkt minskade. Spridningen av kvicksilver begränsades senare också aktivt genom vattensprinkling på området. En jämförelse mellan Figur 5 och 6 antyder att spridningen av kvicksilver på så vis kunde begränsas till en relativt liten yta kring själva saneringsområdet.

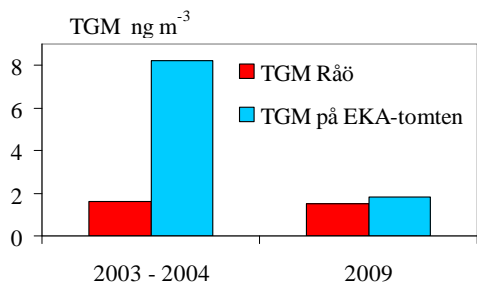
Till skillnad från spridning av partikulärt kvicksilver ger emissioner av Hg^0 i regel mycket liten lokal påverkan eftersom det snabbt späds ut och transporteras bort med vinden. Å andra sidan ger varje källa av Hg^0 ett litet bidrag till den globala poolen av kvicksilver i atmosfären. Under hösten 2007 fann man stora mängder kvicksilver under bl. a. cellhusets bottenplatta som till viss del utgjordes av små kulor av metalliskt kvicksilver. Förekomst av så stora mängder av gediget kvicksilver var något överraskande och utgjorde i första hand ett praktiskt problem. Dessutom fanns risk för större utsläpp av Hg^0 än vad man från början räknat med. För att minimera avgången av kvicksilver och inträngande av regnvatten täcktes alla ytor som inte för tillfället bearbetades med diffusionstät presenning. Man valde också att fortsätta med saneringen under vintern eftersom låg temperatur dämpar emissionen av Hg^0 . Mätningar för att uppskatta avgången av kvicksilver företogs också. Resultatet av dessa mätningar är bifogade i bilaga 2. Den totala emissionen av kvicksilver under augusti 2007 till och med juli 2008 beräknades till ungefär 1 kg. Vilket kan jämföras med 850 kg som enligt officiell statistik var den totala antropogena emissionen av kvicksilver i Sverige år 2005 (AMAP/UNEP report, 2008).

4 Diskussion och slutsatser

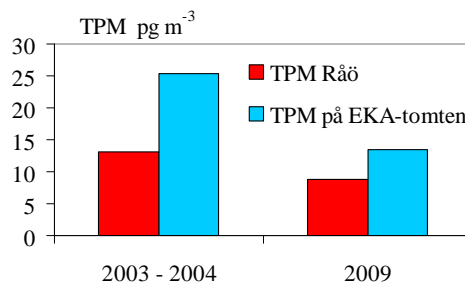
EKA-tomten är ett av det mest kvicksilverförorenade området som hittills sanerats i Sverige. Saneringsarbetet kan sägas ha varit en utmaning i många avseenden på grund av omfattningen och dess tekniskt komplicerade natur. Med tanke på kommande projekt av liknande art är det viktigt att ta till vara de erfarenheter som erhållits under projektets gång. Det här gäller även resultatet från kvicksilvermätningarna. Nedan sammanfattas de slutsatser som kan dras angående arbetsmiljö och omgivningspåverkan i avseende på spridning av luftburet kvicksilver.

Tältet över cellhallen visade sig mycket effektivt som åtgärd för att begränsa spridningen av kvicksilver och dioxin. Den kanske största fördelen var att man så gott som helt stoppade spridning av kvicksilver- och dioxin-haltigt damm vilket annars skulle ha förorenat omgivningen i direkt anslutning till EKA-tomten. Dessutom reducerades emissionen av Hg^0 med ca 3 kg. Till nackdelarna hör att man erhöll mycket höga halter inuti tältet. Speciella säkerhetsåtgärder och rigorös användning av andningsskydd och skyddskläder krävdes vilket gjorde rivningen mer trögrarbetad. Kostnaden för tältbygget och att själva tältet i sig försvårade arbetet kan också räknas som en nackdel. Man skulle möjligen kunnat bekämpa damningen genom intensiv sprinkling. Men å andra sidan hade man då behövt ta om hand förorenat vatten som annars kunnat ge upphov till problem genom ökad lakning av byggmaterialet samt av den förorenade marken på EKA-tomten. Förmodligen hade arbetsmiljön blivit bättre om rivningen gjorts under bar himmel, men man hade även i det fallet behövt använda speciella skyddskläder och andningsskydd.

Enligt de beräkningar som gjordes emitterades i storleksordningen 1 kg Hg^0 genom förångning från EKA-tomten under marksaneringen. Arbetet gav även upphov till spridning av kvicksilver genom damning. Den högsta depositionen av kvicksilver skedde av naturliga skäl på EKA-tomten. Medeldepositionen av kvicksilver där var $66 \mu g m^{-2}$ per månad under saneringsarbetets mest intensiva fas. Motsvarande deposition vid Fältbodarna och Kraftsverkspiren var endast 4 resp. $5 \mu g m^{-2}$. Vilket tyder på att spridningen av kvicksilver via damning var begränsad till ett relativt litet område kring EKA-tomten. Spridningen av partikulärt kvicksilver begränsades genom sprinkling samt täckning av de högar av förorenad jord som tillfälligt lagrades under saneringen på EKA-tomten. Täckning begränsade även avgången gasformigt kvicksilver. Stor del av saneringen av kvicksilverförorenade jordmassor företogs under den kalla årstiden vilket hämmar avgång av Hg^0 eftersom förångningen är starkt temperaturberoende, se Bilaga 2.

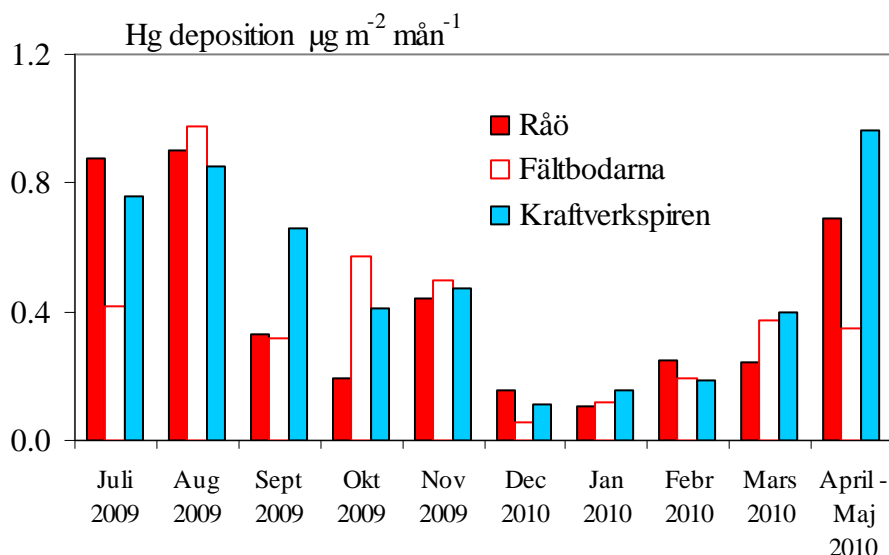


Figur 7. TGM på EKA-tomten före och efter saneringen i jämförelse med bakgrundshalter, mätt på Råö på Onsala.



Figur 8. TPM på EKA-tomten före och efter saneringen i jämförelse med bakgrundshalten, mätt på Råö på Onsala.

Huvudsyftet med saneringen var att stoppa lakning av kvicksilver och dioxin m.m. från EKA-tomten ut till Bengstbrohöljen. Men saneringen resulterade även i en sänkning av kvicksilverhalterna i luft på EKA-tomten. Figur 7 och 8 visar medelhalter uppmätta på EKA-tomten i jämförelse med motsvarande halter på Råö stationen på Onsala. Av Figurerna framgår att TGM sjunkit med en faktor 4 till följd av saneringen. Även TPM-halten verkar ha minskat varför både TGM och TPM-halterna nu kan anses motsvara de på Råö.



Figur 9. Kviksilverdeposition på referensstationerna efter saneringen i jämförelse med motsvarande mätning på Råö.

Depositionsmätningar utfördes också under 2003-2004, d.v.s. innan saneringen. Ingen förhöjd deposition av kvicksilver kunde dock påvisas. Däremot var depositionen av kvicksilver märkbart förhöjd under saneringen. En jämförelse med motsvarande data från Råö, se Figur 9, visar emellertid att kvicksilverdepositionen numera är tillbaka på samma låga nivå som innan saneringen och motsvarar den på Råö.

5 Referenser

AMAP/UNEP, 2008. Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment. Arctic Monitoring and Assessment Programme / UNEP Chemicals Branch. 159 pp.(www.chem.unep.ch/mercury/)

Bilaga 1

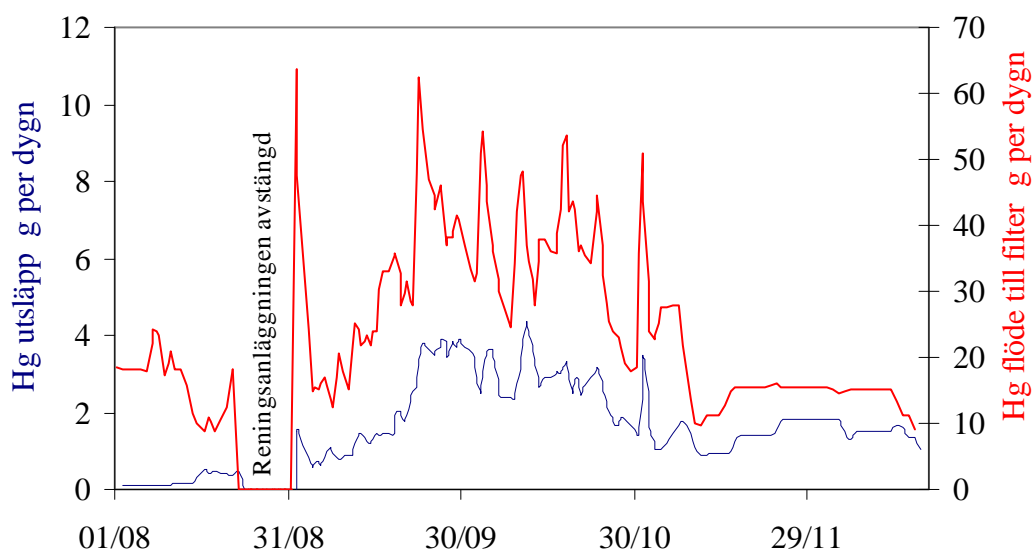
Emission av kvicksilver vid rivningen av cellhuset på EKA-tomten i Bengtsfors

För att förhindra spridning av kvicksilver och dioxin m.m vid rivningen av cellhuset restes ett tält över byggnaden. Tältet var utrustat med en luftreningsanordning bestående av filter och fläktar. Anläggningen renade ca 14 000 m³ luft per timme. Fläktarna åstadkom ett svagt undertryck inuti tältet. Ren luft utifrån sögs kontinuerligt in genom öppningar i tältets ena gavel och renades genom flera filter innan den blåstes ut vid tältets andra gavel. Fläktarna vid utblåset kan ses i figur 1. Luften renades i avseende på partiklar och gasformiga föroreningar som kolväten och kvicksilver (Hg⁰). På grund av undertycket i tältet garanterades att all utgående luft passerade reningsanläggningen. På så vis filtrerades i stort sett 100% av partiklarna bort innan



Figur 1. Miljökontrollant Annelie Loberg, Bengtsfors Kommun, mäter Hg⁰ koncentrationen i utgående renad luft.

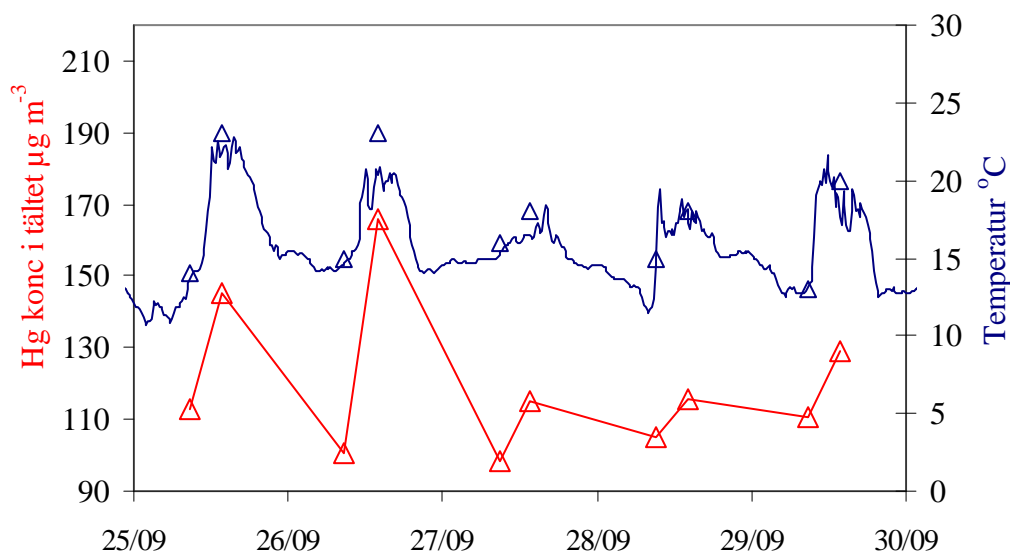
utsläpp. En mindre andel Hg⁰ passerade dock igenom. Därför ingick mätning av halten Hg⁰ i utgående luft från filteranläggningen som en del i omgivningskontrollen. Varje arbetsdag mättes Hg⁰ med hjälp av ett kvicksilverinstrument (Lumex Mercury analyzer, RA-915+). Vanligtvis gjordes två mätningar per dag, vid 9 tiden på morgonen och vid 13-14 tiden på eftermiddagen. Motsvarande mätning av Hg⁰ gjordes även vid insuget till filtret inuti tältet, dvs. innan luften renats. Med hjälp av de Hg data som samlats in kan en uppskattning av det totala utsläppet av kvicksilver göras. Eftersom inga mätningar gjordes på helger eller under nätterna har Hg⁰ halterna från dessa tider uppskattats. Vid utvärderingen



Figur 2. Kvicksilver flöden. Den blå linjen och vänster y-axel visar Hg⁰ utsläpp från tältet i g per dygn. Röd linje, höger y-axel, visar mängden Hg⁰ (g per dygn) som sugns in till reningsanläggningen inuti tältet. Observera att y-axlarna har olika skalor.

Bilaga 1

räknades Hg emissioner per dygn fram, resultatet visas i figur 2. Blå linje är emission (utsläpp) till omgivningen. Röd linje visar Hg emission från byggnadsmaterial inuti tältet. Dessa värden räknades fram med hjälp av Hg mätningarna framför insuget till reningsfiltret. Av figur 1 framgår att emissionen av kvicksilver inuti tältet och därmed utsläppen varierade med tiden. Kvicksilveremissionen från byggmaterial ökade under rivningsarbete och varierade också med vilka delar av byggnaden som revs. Vid ställen med höga halter av kvicksilver i rivningsmaterialet kunde Hg^0 halten stiga till över $200 \mu g m^{-3}$. Temperaturen i tältet påverkade också i hög grad avgången av gasformigt kvicksilver. Temperatur och Hg^0 halter i tältet under en arbetsvecka i september visas i figur 3.



Figur 3. Hg^0 halter i tältet (röda trianglar) under sista veckan i september 2006. Blå linje visar utomhustemperatur och blå trianglar visar temperatur inuti tältet mätt i samband med Hg-mätningarna. De lägsta Hg^0 -halterna är mätta vid 9-tiden på morgonen efter att rivningen vanligtvis pågått en till två timmar.

Slutsatser

Med hjälp av de emissionsvärden som visas i figur 2 kunde det totala utsläppet av Hg^0 till luft uppskattas till ca 200 g. Mängden är förmodligen något överskattad eftersom den är baserat på Hg-mätningar under dagtid när rivningsarbete pågick. Den totala emissionen av kvicksilver från byggnadsmaterial inuti tältet kunde uppskattas till ca 3 kg varav merparten avskiljdes i filteranläggningen. Avskiljningsgraden av Hg^0 var vid start bättre än 99% men sjönk med tiden till ca 90%. I genomsnitt avskildes 94% av allt gasformigt kvicksilver. Avskiljningen i avseende på partikulärt kvicksilver samt övriga partikelbundna föroreningar kan uppskattas till bättre än 99% under hela saneringen. Medelhalten damm under dagtid då rivningsarbete pågick var $3.4 mg m^{-3}$. Andelen kvicksilver i dammet var högt och varierade mellan 0.02 - 0.80 % med ett medelvärde på 0.24 %. Med hjälp av en konservativ beräkning, där det antogs att dammhalterna endast var $20 \mu g m^{-3}$ under nätter och helger, uppskattades mängden partikulärt kvicksilver som avskiljdes till i storleksordningen 130 g.

Uppskattning av spridningen av metalliskt kvicksilver till luft i samband med sanering på Eka- tomten i Bengtsfors

För Eka-projektet

Ingvar Wängberg

IVL Svenska Miljöinstitutet

Arkivnummer: U2352

Anneli Loberg
Sabina Kolodynska

Bengtsfors kommun

Rapporten godkänd:
2008-10-15



John Munthe

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	1
Inledning	2
Mätmetod.....	3
Resultat och diskussion	6
Slutsats.....	8

Inledning

Under saneringsarbetet fann man stora mängder kvicksilver under betongplattan där cellhuset stod. Senare upptäcktes även betydande mängder kvicksilver på en del andra platser på Eka-tomten. Delvis förekom kvicksilvret i så riklig mängd att metalliskt flytande kvicksilver i form av små kulor påträffades. I de flesta jordmassor var halterna dock inte lika höga.

I samband med saneringsarbete av kvicksilverförorenade jordmassor kan kvicksilver spridas på 3 olika sätt:

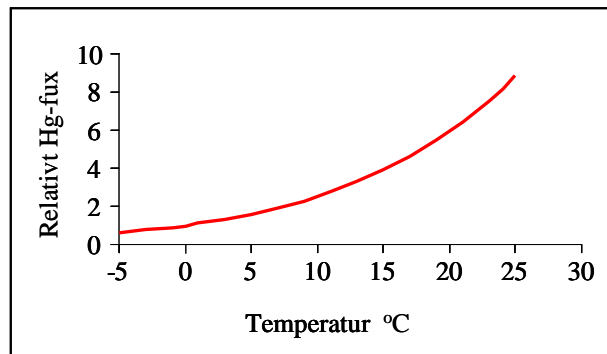
1. Via urlakning i samband med nederbörd
2. Via damning vid hantering av jord
3. Via förångning av kvicksilver

Höga halter av Hg(tot) och MeHg i grundvattenprov visar att spridning via (1) har förekommit på området. Speciellt löser sig divalenta former, d.v.s. oxiderat kvicksilver lätt i vatten och kan på så vis transporteras ut till Bengtsbrohöljen. Metalliskt kvicksilver har även en viss löslighet i vatten varför det också kan spridas på samma sätt. I båda fallen fås en lokal påverkan (anrikning av kvicksilver i bottensediment i Bengtsbrohöljen) men en påverkan av hela vattensystemet nedströms kan också befaras. Spridning enligt (1) kan minskas om kontaminerade ytor skyddas från urlakning. I det aktuella fallet begränsades läckage av kvicksilver innan grävningsarbetet startades genom spontning mot Bengtsbrohöljen. I slutfasen av saneringen installerades ett filter mot Bengtsbrohöljen och ett horisontellt tätskikt för att minimera spridning av eventuella kvarvarande rester av kvicksilver och andra miljögifter.

Damning, uppstår då torra jordmassor grävs upp och transporteras etc. Damning av kvicksilverförorenade jordmassor har främst lokal påverkan och kan motverkas genom täckning och sprinkling eller genom annan dammbegränsning.

Metalliskt kvicksilver avger kvicksilver i form av ånga, s.k. gasformigt metalliskt kvicksilver ($\text{Hg}_{(g)}$). De flesta flytande ämnen avdunstar i större eller mindre utsträckning, beroende på ämnets ångtryck. I jämförelse med t.ex. vatten sker den här processen mycket långsamt för kvicksilver eftersom ångtrycket av kvicksilver är 10.000 - 20.000 gånger lägre än för vatten*. Men i övrigt sker avdunstningen på samma sätt. Det betyder att den ökar med ökande temperatur och luftväxling. Eftersom luftväxling (god ventilation) är en förutsättning för att kvicksilvret skall avgå i större mängd är täckning en metod att begränsa emissionen. I väntan på sanering var därför förorenade ytor täckta med presenning. Eftersom avdunstningen av kvicksilver är temperaturberoende blir avgången av kvicksilver lägre under den kalla årstiden. Figur 1 visar emission av kvicksilver vid olika temperaturer relativt vid 0 °C. Av figuren framgår att avgången är en faktor 6 gånger högre vid en marktemperatur av 20 °C i jämförelse med vid 0 °C.

*Ångtrycket av kvicksilver uttryckt som en koncentration är 14 mg m^{-3} vid 20 °C vilket kan jämföras med 17 g m^{-3} som är ångtrycket för vatten vid samma temperatur.



Figur 1. Temperatures betydelse för avdunstning av metalliskt kvicksilver.

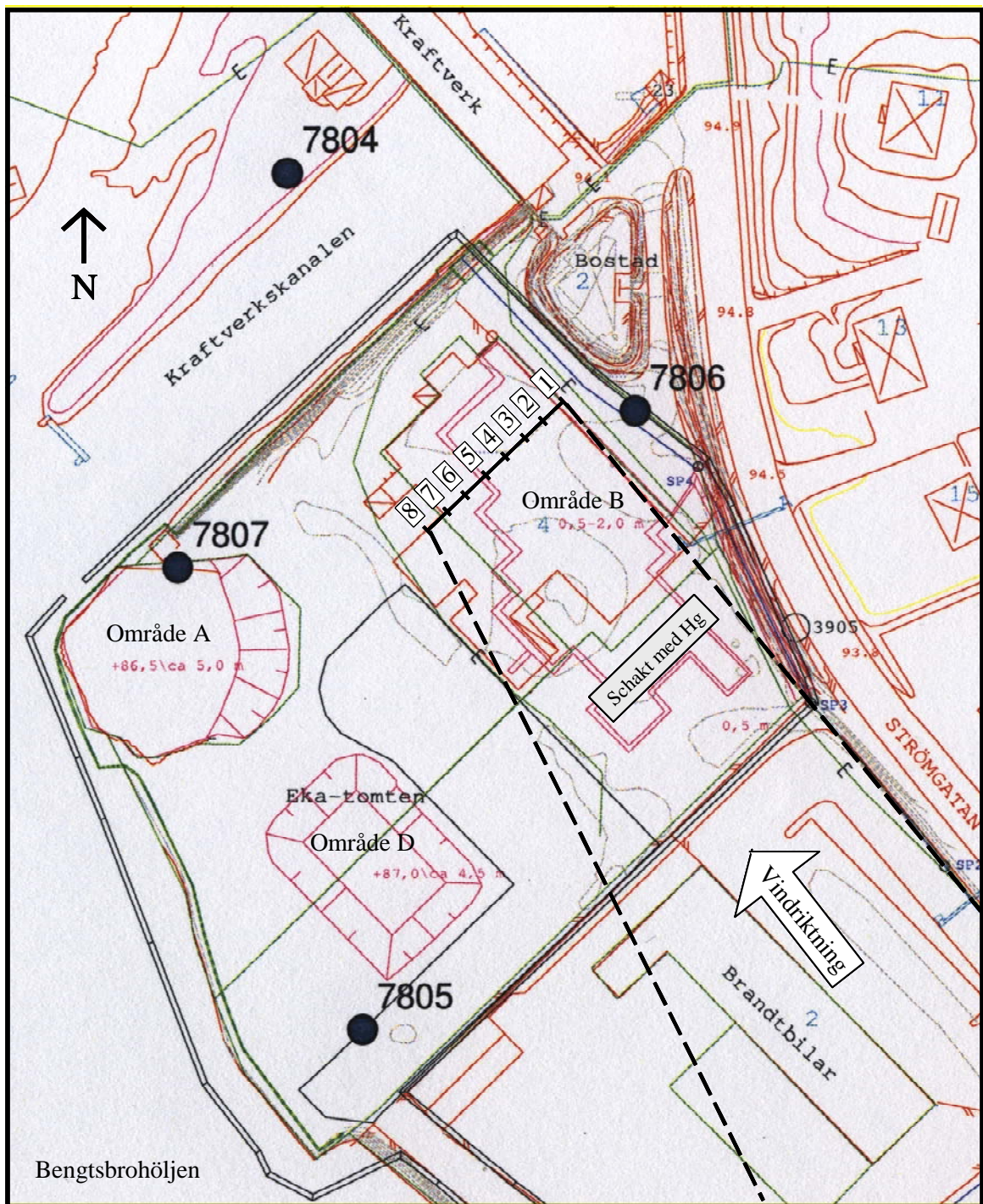
Förutom temperatur och ventilation beror avgången av gasformigt kvicksilver också på storleken av de markytor som är förorenade. För att uppskatta hur stora kvicksilvermängder det rör sig om genomfördes en mätning den 10 januari 2008.

Mätmetod

Mätmetoden som användes går ut på att mäta kvicksilverhalten på olika höjder över marken utefter en sträcka på området. Samtidigt mäts och registreras vindriktning och vindhastighet. Kvicksilver (Hg^0) mättes med hjälp av ett kvicksilverinstrument (Lumex Mercury analyzer, RA-915+). Från instrumenten erhöles kontinuerligt mätvärden med 10 s tidsupplösning som loggades av en bärbar dator. Kvicksilverinstrumentet och vindmätaren var placerad på en kärva för att underlätta transport mellan olika mätplatser, se figur 2.

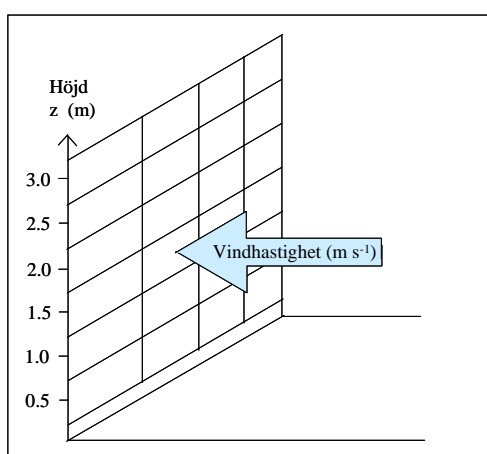


Figur 2. Lumex instrument samt utrustning för vindmätning.



Figur 3. Eka-tomten. Området gränsar till kraftverkskanalen i norr, Bengtsbrohöljen i väster, Strömgatan i öster samt till en industritomt i söder där vissa ytor också var förenade av kvicksilver som även har sanerats.

I figur 3 visas en karta över Eka-området. Kvicksilver mättes på åtta platser (numrerade 1 - 8 på kartan) utefter en ca. 33 m lång sträcka. Pilen ned till höger visar den huvudsakliga vindriktningen och de streckade linjerna anger vindsektorn under mätperioden. Fyra områden där metalliskt kvicksilver har påträffats är utmärkta på kartan. Dessa är, område A, område B, område D samt en yta som benämns schakt med Hg. Under hela saneringsarbetet försökte man hålla de här ytorna övertäckta under nätterna och även under dagtid då man inte arbetade med dem. Under mätningen var de flesta ytor med metalliskt kvicksilver utom schakt med Hg täckta med presenning. Mellan kl 12:00 och 16:15 den 10 januari 2008 mättes kvicksilverhalten på 1.0, 1.5, 2.0 och 2.5 meters höjd ovanför marken på de 8 mätplatserna. Efter att mätningen avslutats upptäcktes att loggningen av vinddata inte hade fungerat. Vid utvärderingen användes därför vinddata från en mätplats vid Eka-projektets kontor, 230 m SSO om Eka-tomten (utanför kartans gränser i figur 3).



Figur 4. Beräkning av Hg-flux. Hg flödet genom varje ruta (0.5 m^2) är lika med $0.5 \times v \times [\text{Hg}]$, där v är vindhastigheten (m s^{-1}) och $[\text{Hg}]$ är Hg-koncentrationen (ng m^{-3}).

Vid utvärderingen antogs att varje kvicksilvermätning representerade kvicksilverkoncentrationen i en 0.5 m hög och 1 m bred ruta. I figur 4 visas hur Hg-flödet genom varje ruta kan uppskattas. Vindhastigheten mättes på 3 meters höjd och räknades om till lägre höjder med hjälp av ekvation (1),

$$v = v_{\text{ref}} \ln(z/z_0) / \ln(z_{\text{ref}}/z_0) \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (1)$$

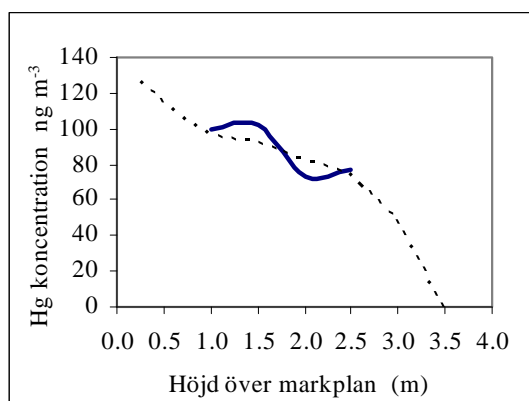
där v_{ref} är den mätta vindhastigheten vid höjden z_{ref} över marken, z är den höjd för vilken man önskar beräkna vindhastigheten och z_0 är en parameter som beskriver markytans ojämnheter.

Från början var det tänkt att Hg-flödet i varje ruta skulle beräknas med hjälp av vinddata mätta med hög tidsupplösning på exakt samma ställen och vid samma tider som Hg-mätningarna. På grund av problem med loggning av data, som nämns ovan, beräknades istället medelvärden av Hg-flödet på olika nivåer från markplanet med hjälp av timmedelvärden av vindriktningar och vindhastigheter. Mätningen ger ett ganska exakt värde på avgången av kvicksilver från den aktuella markytan under den dag mätningen gjordes, men resultatet är svårt att generalisera för att även gälla kvicksilveravgången från övriga ytor respektive ändringar i kvicksilveravgång under saneringstiden.

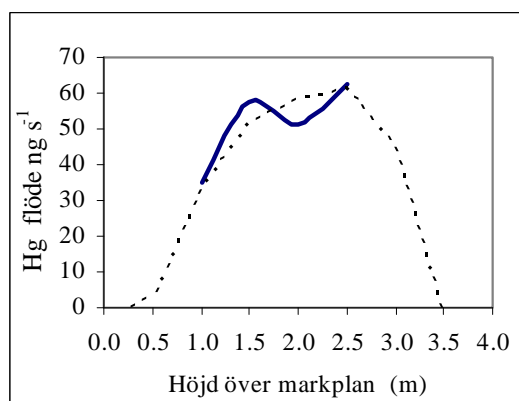
Emellertid finns ytterligare kvicksilvermätdata av att tillgå. Under augusti till oktober 2007 mättes Hg på 2 m höjd över marken med IVLs diffusiva provtagare på stationerna 7804 och 7805. Från och med oktober 2007 utökades mätningarna genom mätning på ytterligare 2 platser, 7806 och 7807, se figur 3. Månadsmedelvärden av dessa Hg-halter kan i kombination med dito vinddata samt resultatet från mätningen den 10 januari 2008 användas för att uppskatta Hg-emissionen under saneringsperioden.

6 Resultat och diskussion

Resultatet av mätningarna utefter linjen (1 - 8) visas i figur 5 och 6. Den blå linjen i figur 5 är erhållna medelkoncentrationer på olika höjd ovanför markplanet. Hg-halten är högst nära marken och minskar med stigande höjd. I avsaknad av mätningar över 2.5 meter har en uppskattning av Hg-halterna där gjorts vilket visas av den streckade linjen. Den streckade linjen har även givits en idealiserad form utifrån vad som kan förväntas vid mätning nära en emissionskälla.



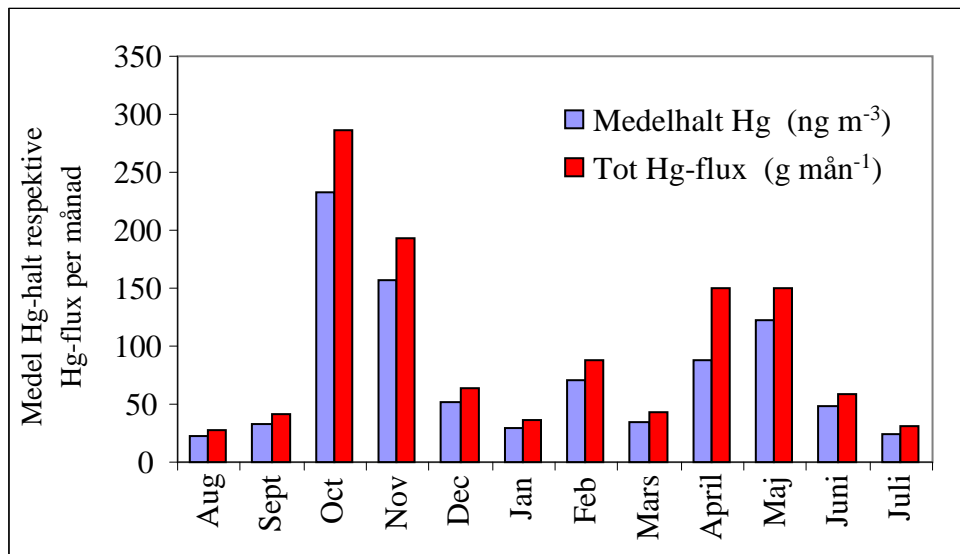
Figur 5. Hg-koncentration som funktion av höjd över marken. Blå linje härrör från medelvärden av mätningar på vardera 1.0, 1.5, 2.0 och 2.5 m över markplanet på 8 platser utmed mätlinjen.



Figur 6. Beräknade Hg-flöden som funktion av höjd över marken. Data enligt blå linje har räknats fram med hjälp av de mätdata som visas i Figur 5.

Figur 6 visar Hg-flux som funktion av höjd över marken. Den blå linjen härrör från mätningar och den streckade linjen bygger på de uppskattade Hg-halter som visas i figur 5. Medelvärdet av det totala fluxet av Hg utefter mätlinjen uppskattades till $8.5 \mu\text{g s}^{-1}$. Om endast mätdata enligt den blå linjen i figur 6 används vid uppskattningen av det totala fluxet fås en emission av $6.8 \mu\text{g s}^{-1}$, dvs. ett 20% lägre värde.

I genomsnitt ångade alltså ca. $8 \mu\text{g s}^{-1}$ kvicksilver av från markområdet som begränsas av mätsträckan (1 - 8), de streckade linjerna samt tomtgränsen i söder, se figur 3. Den markytan utgör ungefär en fjärdedel av Eka-tomten. En uppskattning ger då att det totala Hg-fluxet från Eka-tomten var ungefär fyra gånger större, dvs. i storleksordningen $30 \mu\text{g s}^{-1}$. Hur riktig den här siffran är beror som sagt på hur representativ den undersökta ytan är i förhållande till övriga ytor.



Figur 7. Medelhalter av kvicksilver mätta runt Eka-tomten under perioden aug-07 till juli-08 samt uppskattade Hg-emissioner.

I figur 7 visas resultatet från mätningar av Hg kring saneringsplatsen. Blå staplar är medelvärden från 2 eller 4 samtidiga kvicksilvermätningar med diffusiva provtagare. De högsta halterna uppmättes i oktober 2007 vilket sammanföll med att en betongplatta (tidigare golv i cellhuset) togs bort på område B och metalliskt kvicksilver upptäcktes. Hg-halten sjönk senare, förmodligen beroende på bättre täckning samt lägre utetemperaturer, men ökade igen fram på vårkanten 2008. De minskade halterna under juni och juli indikerar att saneringsarbetet givit avsett resultat. Röda staplar visar emissioner av kvicksilver i g per månad. Vid beräkningen användes de höjdprofiler, som mättes den 10 januari 2008 (se figur 5 och 6), skalade till aktuella koncentrationer i kombination med uppmätta vindhastigheter. Den totala emissionen av gasformigt kvicksilver under perioden augusti 2007 till juli 2008 kunde på så vis uppskattas till 1.2 kg.

En uppskattning av kvicksilveremissionen för perioden september 2007 - augusti 2008 har även gjorts helt baserad på mätningen den 10 januari. Vid beräkningen förutsattes att:

1. Den totala kvicksilveremissionen är $30 \mu\text{g s}^{-1}$ vid en marktemperatur av $2 \text{ }^\circ\text{C}$ och har ett marktemperaturberoende enligt figur 1.
2. Hg-emission enligt 1 gällde under dagtid vid arbete med otäckta markområden. Nattetid antogs emissionen var 10% av motsvarande på dagen.

Den totala avgången av kvicksilver till luft uppskattades, med den här betydligt råare metoden, till 1 kg. Det vill säga i samma storleksordning som beräkningen ovan. Det bör dock påpekas att de båda tidsperioderna inte exakt är de samma.

7 Slutsats

Den totala emissionen av kvicksilver till luft via förångning av elementärt kvicksilver kan antas ha varit i storleksordningen 1 kg under marksaneringen på Ekaområdet under perioden hösten 2007 till och med sommaren 2008. Förutom eventuella arbetsmiljöaspekter har emissioner av elementärt kvicksilver till luft liten lokal påverkan. Å andra sidan ger varje Hg-källa ett litet bidrag till den globala bakgrundshalten av kvicksilver i atmosfären. Som jämförelse kan nämnas att utifrån officiell statistik uppskattades den globala emissionen av antropogent kvicksilver till cirka 1500 ton för år 2005, varav det Svenska bidraget var i storleksordningen 0.85 ton (UNEP-report 2008).