

**SAMMENHENG MELLOM KVIKKSØLVEKSPONERING
OG URINUTSKILLELSE**

GJENNOMGANG AV EN DEL NYERE LITTERATUR

Nils Wandel og Finn Levy

HD 889/83

INNHALDSFORTEGNELSE

	side
1. Innledning	3
2. Litteraturoversikt	5
3. Diskusjon	21
4. Samlet vurdering	23
5. Oversikt over kvikksølvkontroller	24
6. Referanseliste	25

1. INNLEDNING

For rutinemessig kontroll av arbeid med kvikksølv (Hg) benyttes ved Yrkeshygienisk institutt hovedsakelig undersøkelse av kvikksølvutskillelsen i urin (U-Hg), som en indikator på kvikksølvopptaket. Kun i et fåtall tilfeller er det blitt utført luftmålinger.

I de senere år har en stor andel av instituttets rutinekontroller av kvikksølvopptak kommet fra oljeindustrien (Tabell 1). Det har skjedd i samarbeid med Oljedirektoratet (OD). De har gitt operatørselskapene pålegg om å sende inn urinprøver av alle som deltar i prøvetaking fra borehullene når kvikksølv benyttes som fortrenningsvæske. Det er spesialarbeidere som utfører dette og de benyttes av flere ulike operatørselskaper. Vi har funnet relativt høy kvikksølvutskillelse (U-Hg > 500 nmol/l) hos flere av disse operatørene på platformene. I mange tilfeller skriver det høye opptaket seg fra prøvetaking som operatørene har utført andre steder enn på norsk sektor i Nordsjøen.

Et operatørselskap (Norwegian Gulf Exploration Company A/S) har i forbindelse med at det ble funnet høye U-Hg-verdier (> 500 nmol/l) gjort en nøyere vurdering av kontrollopplegget og har kommet til at det bør etableres en mer pålitelig kontrollmetode.

I deres rapport: "Report on handlings of mercury offshore during testing of 35/82" av 14. desember 1982 i brev til Yrkeshygienisk institutt konkluderes det med følgende:

1. Urinary analyses done by both Yrkeshygienisk institutt in Oslo and the Laboratory of Public Analysts in Aberdeen were compared and found to be consistent. Thus, the high levels of urinary mercury reported appear to be correct.

2. Pre-testing for urinary mercury was apparently done too soon after a previous exposure by the affected personnel for the mercury to appear in their urinary systems.
3. Urinary analysis for mercury exposure is only useful for indicating exposure over a broad period of time. As such, it is not a reliable biological indicator for transient personnel who move between different installations and who are under the control of many different operators.

Det er derfor aktuelt å vurdere nærmere i hvilken grad urinprøver er egnet for kontroll av personer som har med korttidsarbeid sterkt varierende risiko for kvikksølv-eksponering.

For vurdering av forurensning i arbeidsatmosfæren legges hovedsakelig de administrative normer utarbeidet av Direktoratet for arbeidstilsynet til grunn. Den administrative norm for kvikksølv er $0,05 \text{ mg/m}^3$ (1981). I praksis benytter Yrkeshygienisk institutt 500 nmol/l urin som en "biologisk grenseverdi" for når opptaket har vært så stort at vedkommende av yrkesmedisinske grunner bør tas helt vekk fra arbeid med kvikksølv. På gruppebasis er det en rekke undersøkelser som viser sammenheng mellom kvikksølvutskillelsen i urin og kvikksølvinnholdet i arbeidsatmosfæren. Vi skal i denne rapport gi en oversikt med korte utdrag fra en del av de sentrale undersøkelsene som er publisert i de senere år.

2. LITTERATUROVERSIKT

2.1 MERCURY EXPOSURE EVALUATIONS AND THEIR CORRELATION WITH URINE MERCURY EXCRETION

Z.G. Bell et al.

J. of Occup. Med. 15 (1973) 501-508.

Forfatterne peker på vanskeligheten med sikker bestemmelse av eksponering for kvikksølv damp. De angir at andre forskere har funnet at forholdet mellom kvikksølv i luft og urin (mg/m^3 : mg/l) kan være fra 1:1 til 1:2,5. I denne artikkel har de funnet et forhold som 1:1.

De benyttet urin samlet over 16 timer. De konkluderer med at andre som har funnet forhold på 1:25 ikke har tatt hensyn til Hg-opptak som kommer fra klær (mikro-miljø-eksponering). Spotprøver anser de som usikre som uttrykk for gjennomsnittlig opptak.

2.2 EXCRETION KINETICS AND VARIABILITY OF URINARY MERCURY IN WORKERS EXPOSED FOR MERCURY VAPOR

J.K. Piotrowski et al.

Int. Arch. Occup. Environ. Hlth. 35 (1975) 245-256.

Kvikksølvutskillelsen i en gruppe som hadde vært eksponert for Hg som før undersøkelsen fulgte en to-dels eksponential kurve med hastighetskonstantene 0,35 og 0,01 pr. dag. De fant en døgnvariasjon i kvikksølvutskillelsen i urin avhengig av eksponeringsforhold, med høyeste verdi i natt- og morgenurin.

De fikk liten variasjon i kvikksølvutskillelsesnivå ved å benytte fast tidspunkt for prøvetaking og relatere kvikksølvmengden til urinprøvens egenvekt.

2.3 MICROENVIRONMENTAL EXPOSURE TO MERCURY VAPOUR

W. Stopford et al.

Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 39 (1978) 378-384.

Luftprøver tatt i innåndingssonen hadde mange ganger høyere kvikksølvkonsentrasjon enn stasjonære prøver tatt fra arbeidsatmosfæren. Forfatterne angir at dette skyldes "mikromiljøet" av kvikksølv damp hovedsakelig fra klær og hender. Kvikksølv i blod og kvikksølvkonsentrasjon i urin korrigert for egenvekt korrelerte godt med den gjennomsnittlige "mikromiljø"-eksponering for den enkelte arbeider.

Kvikksølvinnhold i urinprøver korrigert for egenvekt viste ikke signifikant korrelasjon ($r=0,21$) med kvikksølvinnholdet i arbeidsatmosfæren. De fant også dårlig korrelasjon ($r=0,46$) mellom "mikromiljø"-konsentrasjon og egenvektkorrigert kvikksølvverdi i urin.

De fant god korrelasjon ($r=0,97$) mellom korrigerte urinverdier og kvikksølv i blod. De konkluderer blant annet med at både urinkvikksølvverdi når de er korrigert for egenvekt, og blodkvikksølvverdien gir et godt estimat for den gjennomsnittlige "mikromiljø"-eksponeringen.

2.4 BIOLOGICAL CRITERIA FOR SELECTED INDUSTRIAL TOXIC CHEMICALS; A REVIEW

R. Lawrence

Scand. J. Work Environ. & Health 1 (1975) 139-172.

Forfatteren angir at U-Hg kan benyttes til å anslå Hg-eksponering, men at det er store individuelle variasjoner. Han henviser til arbeider som indikerer at eksponering på 0,05 mg Hg/m³ på gruppebasis vil tilsvare en urinutskillelse av kvikksølv som er nærmere 250 nmol/l (50 µg/l) enn 500 nmol/l (100 µg/l). Dette bygger på publiserte data og andre utredningsgruppers konklusjon (The California Bureau of Occupational Health).

Han nevner en rekke av de usikkerheter det er i Hg-analyse.

2.5 ANALYSE AV KVIKKSØLV I BIOLOGISKE PRØVER SOM EKSPONERINGSKONTROLL

N. Gundersen og G. Mowe

HD 708/77

Yrkeshygienisk institutt, Oslo

Rapporten tar for seg YHI's rutineopplegg for kvikksølvkontroll og resultater som viser ulike yrkesgruppers utskillelsesnivå av Hg i urin. Den omtaler en undersøkelse ved tannlegekontorer hvor målingene er utført ved Yrkes- hygienisk institutt.

Luft- og urinmålinger:

Luftgjennomsnitt $0,028 \text{ mg/m}^3$ (spredning fra 0,00 til 0,08)

Uringgjennomsnitt $22 \text{ } \mu\text{g Hg/l}$ (spredning fra 1 til 82)

Det gir et forhold L/U = 1,27

Samlet beregning av luftmålinger av kvikksølv på celledalen og arbeidernes U-Hg-verdier fra Borregaard Fabrikker viste at $0,05 \text{ mg Hg/m}^3$ tilsvarer ca. $75 \text{ } \mu\text{g/l}$ (1:1,5 luft/urin) (Mowe, upubliserte resultater).

2.6 CLEARANCE OF MERCURY (Hg-197, Hg-203) - VAPOUR INHALED BY HUMAN SUBJECTS

John B. Hursh et al.

Arch. of Environ. Hlth. 31 (1976) 304-309

Ved korttids(ca. 1/4 time) eksponering med 5 unge menn for kvikksølv damp var opptaksgraden 74%. Det ble funnet at ca. 7% ble utskilt via utåndingsluft med en halveringstid på 18 timer. Halveringstiden fra ulike organer ble bestemt til 1,7 døgn for lunger, hode 21 døgn, nyrer 64 døgn (n = 5) og hele kroppen 58 døgn.

Resultatene stemmer med at utskillelseshastigheten fra nyrene er lik for uorganiske kvikksølvforbindelser og kvikksølv damp. Kvikksølv damp blir raskt oksydert i blodet.

2.7 RADIOACTIVE MERCURY DISTRIBUTION IN BIOLOGICAL FLUIDS AND
EXCRETION IN HUMAN SUBJECTS AFTER INHALATION OF MERCURY
VAPOR

G. Cherian et al.

Arch. of Environ. Hlth. 33 (1978) 109-114

Fordeling og utskillelse av kvikksølv ble undersøkt hos fem personer i løpet av 7 dagers inhalasjon av radioaktivt kvikksølv damp. De fant at 74% av inhalert Hg opptas.

Det var liten korrelasjon mellom urinutskillelse og plasma-kvikksølv. Det indikerer at annen mekanisme enn direkte (glomerulær) filtrasjon i nyrene medvirker til urinutskillelsen ved nylig kvikksølv eksponering. Kvikksølv i blod er en bedre indikator på nylig eksponering.

De fant en halveringstid på 64 døgn fra nyrene og fra "head region" halveringstid på 21 døgn og halveringstid i blod på 3-4 dager. De konkluderer med at U-Hg-verdien reflekterer kvikksølv mengden i nyrene (depoet).

2.8 INDIVIDUAL MERCURY EXPOSURE OF CHLORALKALI WORKERS AND ITS RELATION TO BLOOD AND URINE MERCURY

G. Lindstedt et al.

Scand. J. Work Environ. Health 5 (1979) 59

Det ble foretatt to undersøkelser av kloralkalifabrikkarbeidere. I den første undersøkelsen var eksponeringen $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (36-112) og i den senere $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (15-43). Ved den høyere eksponeringen ble det funnet god korrelasjon på gruppebasis mellom luftverdier og kvikksølv i blod og urin, men ikke på individnivå.

Ved lav eksponering var det også dårlig korrelasjon på gruppenivå.

Regresjonslinjene for luft/urin-verdier (kor. egenvekt) for de to undersøkelsesdelene var svært forskjellige.

For U-Hg-analysene fant de ingen tendens til at disse reflekterer plutselige endringer i lufteksponering. Dette ble funnet for B-Hg. De antar kvikksølv i urin er et uttrykk for mengden av kvikksølv i kroppen.

2.9 ZUR KLÄRUNG DER ABHÄNGIGKEIT DER Hg KONZENTRATION
IN URIN UND BLUT VON DER Hg-KONZENTRATION IN DER LUFT AM
ARBEIDSPLATZ

H. Müller, H. Schuberg, W. Verbeek

Arbeitsmed. Sozialmed. & Präventivmed. 15 (1980) 64-67

Undersøkelsen ble utført i kloralkalifabrikker med bærbare pumper og oppsamling av døgnurin fra 5 operatører over en periode på 10 arbeidsdager.

På gruppebasis fant de et forhold mellom kvikksølvkonsentrasjon i luft (mg/m^3) og kvikksølvkonsentrasjon i døgnurin som 1:1,1. Det vil si at $0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$ tilsvarer $275 \text{ nmol}/\text{l}$. Benyttes morgenurin (kl. 7) finner de et forhold på 1:1,8.

I Tyskland er MAK-verdi for kvikksølv på $100 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Forfatterne mener at en grense for akseptabelt kvikksølvinnhold i urin på $100 \text{ }\mu\text{g}/\text{l}$ ($500 \text{ nmol}/\text{l}$) er for lavt. En foreslått grense på $200 \text{ }\mu\text{g}/\text{l}$ ($1000 \text{ nmol}/\text{l}$) bør kunne benyttes for å kontrollere at eksponeringen er under MAK-verdien.

2.10 RECOMMENDED HEALTH-BASED LIMITS IN OCCUPATIONAL EXPOSURE TO HEAVY METALS

Technical Report Series 647, WHO, Geneva 1980

80% absorberes av Hg-damp i lungene. Ved svelging av Hg⁰ (metallisk) opptak < 0,01%. Hg akkumuleres i nyrer.

Halveringstider for Hg (lite kjent), dårlig fastlagt. Undersøkelse av 5 frivillige personer som ble eksponert for Hg⁰ (damp) i 15 minutter. Utskillelsen fulgte et enkelt eksponentielt forløp med en biologisk halveringstid på 58 dager (variasjon 35-90). Halveringstiden i hjernen er meget lengre.

I motsetning til tidligere WHO-rapport angis at et riktigere forhold mellom luft- og urinkonsentrasjon av Hg er 1:2-2,5, og ikke 1:3 som angitt i WHO-rapport -76. Nyere studier (78) angir at forholdet er nærmere 1:1, andre angir 1:2. I dette kriteriedokumentet benyttes siste forhold (1:2) TLV = 0,05 mg/l. Det er ikke grunnlag for at U-Hg-verdier kan benyttes til å vurdere annet enn eksponering for metallisk Hg-damp.

2.11 CIRCADIAN RHYTHMICITY OF THE URINARY EXCRETION OF MERCURY, POTASSIUM AND CATECHOLAMINES

Z. Vokac et al.

Scand. J. Work Environ. Health 6 (1980) 188-196.

Døgnvariasjon i kvikksølvutskillelse ble undersøkt i to grupper med varierende aktivitet og søvnperioder. Ingen av personene var yrkesmessig kvikksølveksponerte. Urinprøver ble samlet hver 4. time.

Den sykliske svingning i kvikksølvutskillelsen ble ikke påvirket av variasjoner i aktivitet - søvn mønsteret. Utslaget i forhold til gjennomsnittlig kvikksølvutskillelse var lavere om dagen enn om natten, med høyest verdi omkring kl. 07.00. Det var god korrelasjon (0,92) mellom konsentrasjon av kvikksølv i morgenurin og døgnutskillelsen.

2.12 ELEMENTAL MERCURY IN URINE FROM WORKERS EXPOSED TO MERCURY VAPOR

M. Yoshida & Y. Yamamura

Int. Arch. Occup. Environ. Health 51 (1982) 99-104

De har bestemt elementært kvikksølv (Hg^0) i urinprøver fra arbeidere i en termometerfabrikk hvor luftkonsentrasjoner var over $0,1 \text{ mg Hg/m}^3$. Hg^0 i urinen utgjør mindre enn 1% av uorganisk kvikksølv i prøvene.

De avslutter diskusjonen med at Hg-konsentrasjonen i blod og utåndingsluft er et generelt bedre mål (indikator) for nylig eksponering enn kvikksølv i urin. I denne studien ble det funnet at når en arbeider er midlertidig (korttids) eksponert for høyt nivå av kvikksølv damp (Hg^0), vil Hg^0 gjenfinnes i urinen meget raskt.

2.13 STATISTICAL STUDY OF THE CORRELATION BETWEEN MERCURY EXPOSURE (TWA) AND URINE MERCURY CONCENTRATIONS IN CHLORALKALI WORKERS

R. Mattiussi et al.

Am. J. of Ind. Med. 3 (1982) 335-339

Innleder med at forhold mellom Hg i luft/urin varierer fra 1:1 til 1:3 i ulike undersøkelser. De har foretatt statistiske beregninger ut fra ca. 15 000 luftmålinger og 8 000 urinmålinger. Korrelasjonskoeffisient + 0,91. 95% konfidensgrenser 0,91 til 1,45. "Nullverdi" 29 nmol Hg/l urin. En lufteksponering på 0,05 mg/m³ skulle etter disse undersøkelser tilsvare 325 nmol/l (= 65 µg/l).

2.14 REVIEW PAPER

BIOLOGICAL MONITORING OF WORKERS EXPOSED TO MERCURY
VAPOR

P. Gompertz

J. Soc. Occup. Med. 32 (1982) 141-145.

U-Hg reflekterer kun gjennomsnittlig opptak fra de siste 2-4 månedene, mens B-Hg reflekterer de siste dagers eksponering.

Refererer japansk arbeide hvor halveringstid for Hg-utskillelse i urin er bestemt til ca. 40 døgn og at U-Hg-utskillelse først kommer etter 10 dagers eksponering når verdiene ligger omkring normen (TLV $0,05 \text{ mg/m}^3$). En annen undersøkelse (Piotrowski 1975) angir en hurtig halveringstid på 2 døgn som representerer 20-30% og senere steady state i relasjon til daglig eksponering.

2.15 VARIABILITY IN URINARY MERCURY EXCRETION

G. Wallis, T. Barber

J. of Occup. Med. 24 (1982) 590-595

De angir at 50% av kvikksølv i kroppen finnes i nyrene og at det skilles ut i urin og feces.

De sammenligner døgnurin med øyeblikksprøver og finner at når en benytter morgenurinprøve og korrigerer for fortynning er korrelasjonen god. De finner tydelig døgnvariasjon i kvikksølvutskillelsen. I gjennomsnitt hadde dagprøvene 25% høyere konsentrasjon enn nattprøvene.

3. DISKUSJON

Det er rapportert stor variasjon i forholdet mellom kvikksølv i luft (L-Hg) og kvikksølv i urin (U-Hg). De fleste artikler og undersøkelser viser at det på gruppenivå er sammenheng, men forholdet L-Hg / U-Hg varierer fra 1:1 til 1:3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 / \mu\text{g}/\text{l}$). Flere undersøkelser angir at det ved rutinekontroller ikke er praktisk gjennomførbart å benytte døgnurinprøver. Undersøkelser viser at en heller kan benytte øyeblikksprøver som korrigeres for egenvekt eller kreatinininnhold.

En må være oppmerksom på at U-Hg er et uttrykk for det totale Hg-opptak, både fra arbeidsatmosfæren og det som skyldes den personlige hygiene ved arbeid med Hg. I tillegg kommer bidraget fra kosten. Dette er stort sett minimalt.

I tillegg utskilles Hg fra depoter især i nyrene, med en halveringstid på flere måneder.

Undersøkelser tyder på at ved arbeid med metallisk kvikksølv vil en vesentlig andel av opptaket skyldes "mikromiljøet", kvikksølvopptak fra hender og fra arbeidsklærne. Forurensede vernemasker og hansker kan også gi økt opptak.

Samlet vurdering av de foreliggende publikasjoner og egne undersøkelser tyder på at det beste estimatet mellom luft- og urinkonsentrasjon av kvikksølv er forholdet 1:1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 / \mu\text{g}/\text{l}$). Administrativ norm (AN) på $0,05 \text{ mg Hg}/\text{m}^3$ skulle etter dette på gruppebasis tilsvare et gjennomsnitt på $250 \text{ nmol Hg}/\text{l}$ urin ($50 \mu\text{g Hg}/\text{l}$ urin = $250 \text{ nmol Hg}/\text{l}$ urin).

I de aller fleste rapporter om forholdet mellom kvikksølv i luft (L-Hg) og kvikksølv i urin (U-Hg) er det gitt lite informasjon om individuelle variasjoner og gruppespredning.

Dersom en benytter de rapporterte gjennomsnittsverdier for L-Hg/U-Hg for å kunne anslå en persons eksponeringsnivå ut fra vedkommendes U-Hg-verdi, vil det grovt sett si at det er 50% sannsynlighet for at L-Hg-nivået har vært større enn den tilsvarende verdi for luftkonsentrasjon. Dersom de rapporterte resultatene kunne benyttes til å sette opp en dose-respons-kurve, kunne en få et uttrykk for sannsynlighet for at en målt U-Hg-verdi avvek fra et gitt L-Hg-nivå, som den administrative norm (AN).

Da artikkelen til R. Matiussi et al. (side 17) har data om fordelingsmønsteret av forholdet L-Hg/U-Hg-kurve kan en benytte den til å sette opp praktiske retningslinjer for å benytte U-Hg-verdier til yrkeshygienisk vurdering av eksponeringsnivået.

A Under 250 nmol/l: Over 95% sannsynlig at luftverdien ligger under AN (0,05 mg/m³).

B Over 400 nmol/l: Over 95% sannsynlighet for at luftverdien ligger over AN.

Dersom en benytter U-Hg-verdier > 500 nmol/l som yrkesmedisinsk uakseptable verdier vil antagelig sannsynligheten for at AN på 0,05 mg/m³ overskrides ligge på 99%-nivå i henhold til deres data.

For praktisk bruk ved yrkeshygienisk rutinekontroll vil vi sette opp følgende kvantitativt adskilte grupper for vurdering av biologiske prøver:

- I Verdien er så lav at den med stor sannsynlighet kan anses ikke å skille seg fra "normalområdet". Det foreligger ikke yrkesmessig eksponering.
- II Verdiene viser et økt opptak, men så lite at det er yrkeshygienisk akseptabelt.
- III Økt opptak som er så stort at det gir grunn til yrkeshygieniske og vernetekniske tiltak.

IV Så høyt opptak av det antas å kunne medføre direkte helserisiko ved lengre tids eksponering. Vedkommende bør tas vekk fra videre arbeid med stoffet.

De undersøkelser som er behandlet i denne rapporten gir godt grunnlag for at de retningslinjene som Yrkeshygienisk institutt har benyttet og anbefalt for vurdering av U-Hg-verdier fortsatt kan benyttes. Det forutsettes imidlertid at urinprøvene ikke har for stort avvik fra "normalt" kreatinininnhold (U-KR) (10-25 mmol/l). Følgende verdier vil fortsatt foreslås benyttet i sammenheng med ovenstående vurderingsgrunnlag:

- I U-Hg < 100 nmol/l
- II U-Hg 100 - 200 nmol/l
- III U-Hg 200 - 500 nmol/l
- IV U-Hg > 500 nmol/l.

4. SAMLET VURDERING

1. På gruppebasis skulle en eksponering omkring den administrative norm på $0,05 \text{ mg Hg/m}^3$ i arbeidsatmosfæren tilsvare et gjennomsnittlig utskillelsesnivå av kvikksølv i urin (U-Hg) på ca. 250 nmol/l .
2. Som en "biologisk grenseverdi" hvor en med relativt stor sannsynlighet kan si at en person ikke har vært utsatt for eksponeringer over gjeldende administrative normer på $0,05 \text{ mg/m}^3$ kan 200 nmol/l urin benyttes.
3. Som "utluftingsgrense" kan en urinverdi over 500 nmol/l urin benyttes. Det er da er stor sannsynlighet for at vedkommende har vært utsatt for kvikksølveksponering over gjeldende AN.
4. Rutinekontroll av kvikksølv i urin kan vise om det har foreligget yrkesmessig økt opptak (U-Hg $> 100 \text{ nmol/l}$).

5. OVERSIKT OVER KVIKKSØLVKONTROLLER VED YHI

År	U-Hg nmol/l		Totalt %
	Totalantall pr. år	Herav Oljeindustri*	
1982	1305	645	49
1981	1428	519	36
1980	1680	271	16
1979	2178	112	5
1978	2174	100	5
1977	821	57	8
1976	688	-	-

* Inkluderer Avd. 28 ved SINTEF

6. REFERANSELISTE

1. Bell, Z.G. et al. Mercury exposure evaluations and their correlation with urine mercury excretion.
J. Occup. Med. 15 (1973) 501-508.
2. Cherian, G. et al. Radioactive mercury distribution in biological fluids and excretion in human subjects after inhalation of mercury vapor.
Arch. of Environ. Hlth. 33 (1978) 109-114.
3. Gompertz, P. Review paper. Biological monitoring of workers exposed to mercury vapor.
J. Soc. Occup. Med. 32 (1982) 141-145.
4. Gundersen, N. og G. Mowe. Analyse av kvikksølv i biologiske prøver som eksponeringskontroll.
HD 708/77, Yrkeshygienisk institutt, Oslo.
5. Hursh, J.B. et al. Clearance of mercury (Hg-197, Hg-203) - vapour inhaled by human subjects.
Arch. of Environ. Hlth. 31 (1976) 304-309.
6. Lawrence, R. Biological criteria for selected industrial toxic chemicals: A review.
Scand. J. Work Environ. Health 1 (1975) 139-172.
7. Lindstedt, G. et al. Individual mercury exposure of chloralkali workers and its relation to blood and urine mercury.
Scand. J. Work Environ. Health 5 (1979) 59-69.
8. Mattiussi, R. et al. Statistical study of the correlation between mercury exposure (TWA) and urine mercury concentrations in chloralkali workers.
Am. J. Ind. Med. 3 (1982) 335-339.

9. Müller, H., H. Schuberg, W. Verbeek. Zur Klärung der Abhängigkeit der Hg-Konzentration in Urin und Blut von der Hg-konzentration in der Luft am Arbeitsplatz. Arbeitsmed. Sozialmed. & Präventivmed. 15 (1980) 64-67.
10. Piotrowski, J.K. et al. Excretion kinetics and variability of urinary mercury in workers exposed for mercury vapor. Int. Arch. Occup. Env. Hlth. 35 (1975) 245-256.
11. Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals. Technical Report Series 647, WHO, Geneva 1980.
12. Stopford, W. et al. Microenvironmental exposure to mercury vapour. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 39 (1978) 378-384.
13. Vokac, Z. et al. Circadian rhythmicity of the urinary excretion of mercury, potassium and catecholamines. Scand. J. Work Environ. Health 6 (1980) 188-196.
14. Wallis, G., T. Barber. Variability in urinary mercury excretion. J. of Occup. Med. 24 (1982) 590-595.
15. Yoshida, M. and Y. Yamamura. Elemental mercury in urine from workers exposed to mercury vapor. Int. Arch. Occup. Environ. Health 51 (1982) 99-104.