



LUND UNIVERSITY

Metallanalyser av svetsrök. Lägesrapport september 1975

Malmqvist, Klas; Johansson, Gerd; Akselsson, Roland; Johansson, Thomas B

1975

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Malmqvist, K., Johansson, G., Akselsson, R., & Johansson, T. B. (1975). *Metallanalyser av svetsrök. Lägesrapport september 1975*. (Nuclear Physics Report (Avser arbete under anslag nr 74/109 från Arbetarskyddsfonden); Vol. LUNP 7508). [Publisher information missing].

Total number of authors:

4

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Nuclear Physics Report
LUNP 7508
September 1975

METALLANALYSER AV SVETSRÖK

Lägesrapport september 1975

Klas Malmqvist

Gerd Johansson

Roland Akselsson

Thomas B. Johansson

Avser arbete under anslag nr 74/109
från Arbetarskyddsfonden

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
1. Sammanfattning	1
2. Inledning	3
3. Provtagnings- och analysteknik	4
4. Beskrivning av utförda arbetsplatsundersökningar	5
5. Jämförelse mellan Battelleimpaktor, undertrycksimpaktor och filter	8
6. Mängder och ämnesfördelningar	12
7. Partikelstorleksfördelningar	14
8. Mangan i blod	25
9. Uppförande av analysanläggning för PIXE-analyser i Lund	28
10. Referenser	30
11. Appendix A	
11.1 Provtagningsteknik	A1
11.2 Analysteknik	A4
11.3 Referenser	A10
12. Appendix B; Provtagningsbeskrivning	B1
13. Appendix C; Resultattabeller	
14. Appendix D; Mängder och ämnesfördelningar	D1
15. Appendix E; Kritisk genomgång av litteraturen beträffande bestrålningskammare för PIXE-arbeten.	

SAMMANFATTNING

Svetsrök har uppsamlats med Battelleimpaktor, undertrycksimpaktor och filter på tre olika typer av svetsarbetsplatser. De upptagna proven analyserades med protoninducerad röntgenstrålning vid Niels Bohr institutet i Köpenhamn.

Under en av undersökningarna togs blodprov på svetsare för att bestämma halten av Mn i blodet. Analysen av dessa prover utfördes med flamlös atomabsorptionspektrofotometri.

Fyra olika metoder undersöktes i nära anslutning till svetsstället:

Svetsning med belagd elektrod
TIG
Plasmasvetsning
Hårdlödning

Därvid registrerades 10-20 element, de flesta med maximal förekomst på partiklar med diameter $< 1 \mu\text{m}$. Exempel på element är Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn och Cd. Genomgående kunde urskiljas olika tendenser för olika element vad gäller benägenheten att förekomma på små partiklar. För Ti, Cr, Fe och Ni ökar normalt relativa förekomsten med partikeldiametern medan det omvända gäller för Mn, Cu, Zn, As och Cd.

En teoretisk modell för adsorption och kondensation på ytan av partikeln har studerats och antyder att en del element, t ex Cd och As, förekommer huvudsakligen på partiklarnas yta.

De uppmätta bakgrunds nivåerna var mestadels låga ($0.3-0.8 \text{ mg/m}^3$) för de undersökta arbetsplatserna, och en förskjutning mot större partikelstorlekar kunde registreras.

På en arbetsplats har mätningar i andningszonen gjorts med filter och bärbar pumptrustning kombinerat med Battelleimpaktor. Resultaten visar på stor variation och i en del fall höga värden på expositionen. Registrerade totalrökoncentrationer från filtren var i intervallet 2 till 140 mg/m^3 . Resultatet av blodprovsmätningarna som gjordes

parallellt med andningszonsmätningarna visade ingen märkbar höjning av Mn-nivån jämfört med naturliga halter.

Utveckling och uppbyggnad av analysutrustningen pågår och beräknas färdig för utprovning samtidigt som den nya acceleratoren blir tillgänglig.

INLEDNING

Detta är en lägesrapport (aug 75) över undersökningar, som skett med anslag från Arbetarskyddsfonden. Anslaget beviljades den 12/2 1975 och avser arbete t o m december 1975. Arbetet är ej slutfört och kommer att fortsätta under hösten.

Nedan presenterade undersökningar avser att:

1. utvärdera möjligheterna att uppsamla svetsrök med kaskadimpaktor och filter för att bestämma rökens partikelstorlekssammansättning, ämnesinnehåll och totalmängd
2. tillämpa PIXE-metoden för analys av elementsammansättning av svetsröksprover
3. uppsamla svetsrök på olika typer av svetsarbetsplatser och att genom andningszonsmätningar bestämma svetsarens exponering samt med bakgrundsmätningar bestämma exponeringen för övrig personal i svetslokalen
4. utföra förberedande arbeten med flamlös atomabsorptionspektrofotometri för analys av metallinnehållet i helblod
5. utveckla en uppställning för rutinmässig PIXE-analys vid institutionen för Kärnfysik i Lund

Provtagnings- och analyssteknik

För uppsamling av svetsrök använde vi oss av följande metoder:

- Kaskadimpaktor
- Undertryckskaskadimpaktor
- Membranfilter

Blodprov togs med venkanyl av engångstyp. För närmare beskrivning av provtagningsteknik se Appendix A.

Analys av de insamlade proverna utfördes dels genom utvägning av totalmängd rök på filterna och dels genom PIXE-metoden för bestämning av grundämnessammansättningen hos filter- och impaktorprover.

Blodanalysutrustningen bestod av en atomabsorptionspektrofotometer utrustad med grafitugn för flamlös atomisering och automatisk bakgrundskompensationstillsats. Närmare beskrivning av använda analysmetoder finns i Appendix A.

BESKRIVNING AV UTFÖRDA ARBETSPLATSUNDERSÖKNINGAR

Undersökningar har utförts vid fyra olika tillfällen. En vid en mekanisk industri, en vid en mekanisk verkstad och två vid varv.

UNDERSÖKNING 1

Undersökningen utfördes på en medelstor mekanisk industri. Då produktionen är inriktad på rostfria artiklar förekommer huvudsakligen TIG-svetsning (ca 90%) och MIG-svetsning men även svetsning med belagd elektrod och hårdlödning med kadmiumhaltigt silverlod utfördes.

Svetsning utföres huvudsakligen i två lokaler, en mycket stor lokal med ytan $14\ 000\ m^2$ och höjden $6.5\ m$ och en betydligt mindre. I den förra lokalen förekommer svetsning i knappt halva.

Syftet med undersökningen var dels att få en uppfattning om bakgrunds-nivåns storlek och sammansättning i de båda arbetslokalerna dels att bestämma sammansättning och storleksfördelning av röken från ett par olika metoder. Uppsamlingen av röken skedde i samtliga fall med den beskrivna undertrycksimpaktorn och Battelleimpaktorn. Som slutfilter i Battelleimpaktorn användes Nucleporefilter med pordiametern $0.2\ \mu m$.

UNDERSÖKNING 2

I en mindre mekanisk verkstad uppsamlades rök dels från TIG-svetsning och dels från plasmavsvetsning. Svetsningen skedde i en lokal med ca $15\ m^2$:s yta. I samtliga fall

gjordes uppsamligen dels med undertrycksimpaktor, dels med ett milliporefilter, GSWP01300.

Svetsningen skedde med det rostfria stålet SIS 2343 (se tabell B.1 i app B) som arbetsstycke.

UNDERSÖKNING 3

Arbetsplats nummer 3 är ett varv. Samtliga prover, utom ett, är upptagna i en mycket stor hall, där sammanfogning av delar av skrovet sker. Vid undersökningstillfället var 60 plåtslagare och 91 svetsare verksamma i hallen. De aktiviteter, som förekom i lokalen, var svetsning med belagd elektrod, kolbågsmejsling, skärbränning och pulverbågs svetsning. Det använda stålet (tabell B.1 i app B) var belagt med primer International 9556 gul och de mest använda elektroderna var Philips C57, OK 48.15 och OK 33.80 (tabell B.2 i app B). Vid kolbågsmejslingen användes Gouging Carbons med diameter 6 eller 8 mm.

Flera stora portar var vid upptagningstillfället öppna. Normalt är dessa stängda under den kallare delen av året. Allmänventilation fanns längst uppe i taket ca 25 m över marknivå. Några punktutsug fanns inte men var under inmontering.

Samtliga uppmätta värden är bakgrundsvärden och kan ses som ett mått på den mängd rök en icke svetsande person utsätts för. Mätningarna är en förstudie till en större mätserie, som omfattar även andningszonsmätningar.

Röken har uppsamlats parallellt med undertrycksimpaktor och Battelleimpaktor med Nucleporefilter med pordiametern $0.2 \mu\text{m}$ som slutfilter.

UNDERSÖKNING 4

Undersökningen utfördes på samma företag och i samma hall, som har beskrivits i undersökning 3. Skillnaden var, att nu hade en del punktutsug inmonterats.

Syftet med undersökningen var, att genom filtermätningar i andningszonen bestämma svetsarens exponering för olika ämnen samt att med hjälp av impaktorupptagningar bestämma svetsrökens storlekssammansättning. Dessutom skulle mängden Mn i blodet mätas vid olika tidpunkter.

Detaljerad beskrivning av provtagningarna finns i appendix B.

RESULTAT

Resultaten från elementanalyser med PIXE, vägning av filter samt mangananalyser av blod med flamlös atomabsorption återfinns i tabellform i appendix C.

Noggrannheten vid PIXE-analyserna är 10% medan precisionen varierar med bland annat förekomst och analystid. Precisionen (en standardavvikelse) är angiven om den är sämre än 15%.

Vägningarna utfördes på en våg med angiven precision (en standardavvikelse) på 1 μ g. Inverkan från bland annat luftfuktigheten bidrar till en ökad osäkerhet. För de vikter som förekommer i våra mätningar kan totala osäkerheten uppskattas till maximalt 10%.

Noggrannheten vid Mn-bestämningarna i blod med flamlös atomabsorption är god men vi har ännu ej gjort egna mätningar av den. Precisionen, beräknad från ca 80 prov av samma blod, är 12%. Tillsatta kemikalier analyserades också.

Heparin innehöll 30 ppb medan halterna i det använda vattnet och i Triton-X-100 lösningen var lägre än detektionsgränsen 0.7 ppb. Vid våra rutiner innebar detta normalt ett tillskott av 0.3 ppb Mn från heparin och ett tillskott av högst 0.5 ppb från vatten och Triton-X-100 lösningen. Värdena i appendix C är korrigerade för tillskottet från heparin. Mn-halten hos en 0.9%-ig NaCl-lösning bestämdes före och efter passage genom den använda typen av venkanyl. Någon förhöjning kunde inte detekteras utan halten Mn var i båda fallen lägre än detektionsgränsen. Vi avser utföra liknande undersökningar med blod.

Genom en uppskattning av felkällornas storlek anser vi oss i denna undersökning kunna urskilja en förändring i Mn-halten i blod på ca 25% vid de här förekommande halterna.

JÄMFÖRELSE MELLAN BATTELLEIMPAKTOR, UNDERTRYCKSIMPAKTOR OCH FILTER

Den Battelleimpaktor som användes i undersökningarna är en väl beprövad och uttestad impaktortyp (ref 1) medan undertrycksimpaktorn ej är lika beprövad (se dock ref 2). Andra typer av undertrycksimpaktorer är dock mera uttestade (ref 3). För att utröna huruvida man får någon överensstämmelse mellan resultat vid insamling av aerosol samtidigt och på samma plats med de båda impaktorerna har i ett par av undersökningarna parallella upptagningar gjorts.

En steg-för-steg jämförelse är ej möjlig men studerar man vilka "cut off" diametrar de olika stegen i impaktorerna beräknas ha kan man finna att steg 1 i undertryckskaskad-

impaktorn motsvaras av steg 0 t o m 2 för Battelleimpaktorn medan på samma sätt steg 2 t o m 5 i undertrycksimpaktorn motsvaras av 3 t o m 5 + slutfilter av Battelleimpaktorn. Detta innebär att om för de olika elementen summering görs i enlighet med stegnumren ovan för vardera impaktorn kan jämförelse göras mellan impaktordelarnas avskiljningsförmåga.

I tabellerna 1 a-d har för undersökning 1 sådana summeringar utförts för alla impaktorerna. Som framgår av tabellen ger steg 2 t o m 5 respektive 3 t o m 5 + slutfilter resultat som stämmer förhållandevis väl överens. Detta antyder att för partiklar $\leq 2 \mu\text{m}$ stämmer resultat från undertrycksimpaktorn med de från Battelleimpaktorn. Om emellertid steg 1 respektive steg 0 t o m 2 jämföres med varandra ger Battelleimpaktorn för så gott som samtliga element betydligt högre värden än undertryckskaskadimpaktorn. Samma resultat visar sig vid motsvarande jämförelse inom undersökning 3 som framgår av tabellerna 2 a-e. De smärre skillnader de olika impaktorerna ger vad gäller partiklar med $D_p \leq 2 \mu\text{m}$ kan delvis förklaras av inhomogeniteter i den insamlade aerosolen. Dock avviker prov 4 kraftigt vilket kan bero på att flödet i impaktor inte var riktigt, vid kontroll efter upptagningen.

Dessa resultat är anmärkningsvärda på grund av att de innebära att få stora ($D_p > 2 \mu\text{m}$) partiklar tycks avskiljas i undertrycksimpaktorn på uppsamlingsplattorna. Således måste en utsortering av stora partiklar ha gjorts innan inträdet i själva impaktorstegen.

Låt oss betrakta konstruktionen av undertrycksimpaktorn.

För att skapa ett sänkt tryck i impaktorn låter man luftströmmen först gå genom en så kallad critical orifice, dvs ett strypmunstycke med liten diameter (0.3 mm). Ur figur 1 framgår principen för hur aerosolen uppför sig vid passage av ett litet hål. Beroende på den aerodynamiska partikeldiametern hos en partikel kommer den att bete sig olika vid luftens passage av hålet. Ju tyngre en partikel är ju svårare har den att följa strömningslinjerna i luftströmmen, något som ju utnyttjas för avskiljning i impaktorn. Om partikeln har en viss kritisk storlek, kommer den då att följa en väg som innebär att den kommer i kontakt med väggarna i hålet som stryper flödet. Partiklar med ännu större D_p kommer att avskiljas genom impaktion på väggarna runt hålet. (Dessa partiklar kommer att följa de streckade banorna i figur 1.) För en teoretisk behandling av partiklars uppförande kring ett sådant hål se ref 4. Denna avskiljningsmekanism skulle eventuellt kunna förklara varför så få stora partiklar penetrerar in i lågtrycksimpaktorn. Att en sådan avskiljning verkligen sker understöds av det faktum att en gradvis igensättning av strypmunstycket brukar märkas vid provtagning.

Undersökning 4 innefattade som tidigare nämnts en upptagning av svetsrök parallellt med ett milliporefilter och en Battelleimpaktor. Totala mängden av varje ämne i impaktorn har beräknats. Dessa värden ska jämföras med dem erhållna på filtret (se tabell 3). Som framgår visar resultaten god överensstämmelse mellan impaktor och filter för de ämnen som inte förekommer i allt för små mängder. Ett undantag utgör dock kalium. De smärre variationer som i övrigt

erhålles kan förklaras med bland annat inhomogenitet i svetsaerosolen. Resultaten bekräftar tidigare goda erfarenheter av Battelleimpaktorn.

Undersökning 2 bestod av parallelluppsamling av svetsrök med undertrycksimpaktor och filter. De var placerade så nära varandra att de vid uppsamlingstillfällena kan antas registrera samma rökkoncentration. Därefter jämföres det som totalt uppsamlats, av de olika elementen, på impaktorstegen med det som uppsamlats på filtret. Resultaten av dessa jämförelser framgår av tabell 4.

Som framgår av resultaten är det genomgående mest av de olika elementen på filterproven. Särskilt markerad är denna skillnad för TIG II. Vid detta prov var svetsaerosolen betydligt tätare än för de andra två, varför de olika stegen i undertrycksimpaktorn belastades högre. Detta medför att risken för förluster av typ "bounce off" ökar markant. Efterhand som allt fler partiklar fastnar på en uppsamlingsplatta förändras underlagets egenskaper för de nya partiklar, som vidrör plattan, så att de studsar eller sliter med sig redan fastnade partiklar. Förutom att detta innebär en förändring av uppdelningen i partikelstorlek, kommer det att kunna medföra en totalförlust genom att impaktorn inte är försedd med slutfilter.

Resultaten av denna jämförelse bekräftar de som erhållits vid jämförelse mellan undertrycksimpaktor och Battelleimpaktor, vilket visar nödvändigheten att utföra ytterligare utvecklingsarbete innan användning av undertrycksimpaktorn är möjlig. Sådant arbete pågår för närvarande.

I den följande diskussionen av de erhållna resultaten kommer inte mätningarna utförda med undertrycksimpaktorn att beaktas.

MÄNGDER OCH ÄMNESFÖRDELNINGAR

Undersökningen på en medelstor mekanisk industri studerar huvudsakligen TIG- och MIG-svetsning samt hårdlödning.

En detaljerad genomgång och framställning av resultaten ges i Appendix D.

Vid analyserna av elementsammansättningen bestämdes element tyngre än Ca. I diagram D1 i Appendix D illustreras den totalt detekterade mängden rök. För TIG-svetsningen består en stor del av röken av Fe och Mn. Vidare detekteras Cr, Ni, och Mo som ingår som legeringsmetaller i det rostfria stål som svetsningen sker på.

Vid mätning på bakgrundsroken, långt från källor, visar sig totalnivån detekterad rök vara ca 30% av den vid TIG-svetsningen detekterade. Vid studium av elementsammansättningen framgår att denna skiljer sig kraftigt från den vid TIG-svetsning, och detta tyder på att den i lokalen också förekommande svetsningen med belagd elektrod har en dominerande inverkan på bakgrunds-nivån, trots att den förekommer i mindre kvantitet.

Prov togs på hårdlödning för bestämning av främst Cd-halten i den bildade aerosolen. Totalkoncentrationen detekterad rök var låg men röken innehöll stor andel Cd, 24%, varför Cd-koncentrationen var så hög som $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Arbetsstycket

sem användes vid lödningen innehöll 84% Cu medan Cu-halten i röken endast var 1.6%. Detta kan antas bero på den låga arbetstemperaturen vid processen jämfört med kokpunkten för Cu, medan däremot Cd och Zn har kokpunkter i närheten av arbetstemperaturen och därmed också har större tendens att bilda aerosol.

En undersökning gjordes på en mindre verkstad med TIG- och plasmavetsning. Både TIG- och plasmavetsningen ger upphov till W och Th i röken då de använda elektroderna består av dessa ämnen och alltså lämnar bidrag till röken trots att de är av typen icke-förbrukad elektrod. En tydlig skillnad mellan metoderna vid svetsning på samma arbetsstycke finner man för halten Mn i röken, som är betydligt högre vid plasmavetsning.

Undersökningen på varv inleddes med en förstudie där huvudsakligen bakgrunds aerosolen studerades. Ingående resultatgenomgång finns i Appendix D. På arbetsplatsen användes nästan uteslutande belagd elektrod men även metoder som kolbågsmejsling och skärbränning förekom. Av upprepade prover på samma plats framgick att andelen Fe steg då kolbågsmejsling förekom jämfört med svetsning enbart med belagd elektrod. Normalt innehöll röken dessutom följande element K, Ca, Ti, Mn, Cu och Zn. Totalmängden detekterad rök var i intervallet 0.3-1.4 mg/m³.

Varvsundersökningen utökades därefter med mätningar i svetsares andningszon kombinerat med bakgrundsmätningar för att erhålla en bild av expositionen för svetsrök.

Av tabell D2 appendix D framgår totalt detekterade mängden

rök som vid jämförelse visar sig utgöra ca 50-70% av totalmängden rök bestämd genom vägning av filter (se appendix C). Totalkoncentrationen bestämd genom vägning ligger i intervallet 2 till 140 mg/m³.

Studerar man expositionen för svetsarna finner man att den varierar kraftigt dels mellan olika svetsare och dels mellan olika arbetsuppgifter för samma svetsare. Dessa kraftiga variationer kommer sig av byten mellan olika arbetsplatser och arbetsställningar. Trånga utrymmen utan utsugsanordning medför en mycket hög rökkoncentration i andningszonen.

Element som detekterats är K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu och Zn och sammansättningen liknar den vi fann för bakgrunds aerosolen, som vid detta andra provtagningstillfälle hade något lägre totalkoncentration rök än vid det första till följd av en ökad ventilation i lokalerna.

PARTIKELSTORLEKSFÖRDELNINGAR

För att karakterisera en aerosol fordras kännedom om totalkoncentrationen av de ingående elementen, ungefär vilken form de ingående partiklarna har samt vilka partikelstorlekar som förekommer i aerosolen. Dessa kunskaper är särskilt viktiga vid en bedömning av de hygieniska risker, som är förknippade med inhalation av ifrågavarande aerosol.

Partikelstorleken, angiven som den aerodynamiska partikeldiametern D_p , bestämmer var i luftvägarna inhalerade partiklar deponeras och också i vilken grad. Depositionens beroende av D_p har bestämts med hjälp av teoretiska beräkningar och experimentella resultat (ref 5) och framgår av

figur 2 vilken visar att för partiklar med $D_p < 1 \mu\text{m}$ sker den huvudsakliga depositionen i alveolerna. Detta medför en ökad möjlighet för de element som förekommer på dessa partiklar att snabbt absorberas i blodet. För att möjliggöra en partikelstorleksanalys för den undersökta svetsröken har våra undersökningar bland annat omfattat ett antal provtagningar med den beskrivna Battelleimpaktorn, varvid en uppdelning av de i svetsröken ingående partiklarna erhållits.

Vid studium av resultaten framgår att de olika elementen i svetsröken visar olika tendenser vad gäller fördelning mellan stora och små partiklar i aerosolen. Det ligger då nära till hands att försöka finna en koppling mellan svetsprocessens förlopp och de fysikaliska egenskaperna hos de olika elementen. Svetsprocessen (ref 6) är naturligtvis beroende av vilken speciell metod som är aktuell men gemensamt för de studerade processerna är uppvärmning av arbetsstället till hög temperatur för att möjliggöra sammanfogning eller sönderdelning (skärbränning). Vid svetsning med belagd elektrod är temperaturen i ljusbågen $5000-6000^{\circ}\text{C}$. För TIG-svetsning uppgår den till $10000-15000^{\circ}\text{C}$ och för plasmavetsning till $25000-30000^{\circ}\text{C}$. Dessutom har undersökts skärbränning med syreacetylenlåga (3000°C) samt hårdlödning med kadmiumlegerat silverlod vid vilken uppvärmning sker med syreacetylenlåga (arbetsstyckets temperatur $600-800^{\circ}\text{C}$).

De angivna temperaturerna är ungefärliga och varierar med svetsparametrar som ström, spänning och avstånd och vinkel mellan elektrod och arbetsstycke.

Ett elements uppträdande beror på egenskaper som smält-,

kokpunkt samt ångtryck. I tabell 5 finns smält- och kokpunkter för de element som är aktuella vid dessa undersökningar. För en del element som t ex Zn, As och Cd är smält- och kokpunkter låga i förhållande till de maximala temperaturerna vid de olika processerna.

En modell för elementens uppförande kan konstrueras, om man antar att de vid olika svetsprocesserna bildade partiklarna är sfäriska (ref 7) och uppkommer genom smältning eller förångning av olika element, som i den kraftiga temperaturgradienten invid ljusbågen snabbt övergår till vätske- och fast fas. Element med förhållandevis låga smält- och kokpunkter övergår inte lika fort till annan fas utan har till sitt förfogande ett stort antal partiklar på vars yta de sedan kondenserar.

Om man betraktar en sfärisk partikel med avseende på ett element, kallat E, och antar att detta fördelas jämnt på ytan av partikeln, med en ytkoncentration av C_y ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) och finns jämnt fördelat inuti partikeln med en viss koncentration C_o ($\mu\text{g}/\text{g}$), ges den totala koncentrationen av:

$$C_E = C_o + \frac{C_y A}{\rho V} = C_o + \frac{6 C_y}{\rho} \frac{1}{D} \quad (1)$$

där

- C_E = totala konc av elementet E
- A = partikelns yta
- V = partikelvolymen
- ρ = partikeldensitet
- D = partikeldiameter

Om medelvärdet bildas över alla de i aerosolen ingående partiklarna med antagande att de är sfäriska kan den genomsnittliga koncentrationen C_E approximativt skrivas:

$$\bar{C}_E \approx \bar{C}_o + \frac{6 \bar{C}_y}{\bar{\rho}} \left(\frac{1}{D} \right) \quad (2)$$

där - betecknar medelvärdesbildning

Parametern ρ antages vidare vara oberoende av partikeldiametern och D-värdena för de olika storleksklasserna antas vara medelvärdet av två på varandra följande cut-off-diametrar för injektorn.

Om C_E avsättes som funktion av $1/D$ i ett diagram skulle ett linjärt samband mellan C_E och $1/D$ antyda riktigheten av denna förenklade modell. Antas vidare ρ känd kan diagrammet användas för att bestämma värden på C_y och C_o . Dessutom kan en C_y -värde uppskattning av det adsorberade eller kondenserade skiktets tjocklek, l , beräknas såvida detta skikts densitet ρ' antas känd.

Koncentrationen av ett element vars förekomst följer ett sådant samband kommer som framgår av formel (2) att öka med avtagande partikeldiameter varför denna hypotes skulle kunna förklara ett sådant beroende.

En annan typ av storleksfördelning finns för vissa element i vissa undersökningssituationer, nämligen med ett lokalt minimum för medelstora partiklar, dvs det förekommer relativt mycket både på stora och små partiklar. En möjlig förklaring är att de ingående partiklarna har olika bildningsmekanismer. Det är känt att partiklar som bildas genom kondensationsprocesser normalt är relativt små (ref 8) medan mekaniskt genererade partiklar ofta har större massmediadiameter, dvs har större del av massan på stora partiklar. Dessa ämnen kan tänkas förekomma i högre grad i mekaniskt bildat damm och

stoff som t ex virvlar upp från golv och arbetsytor. Elementen har emellertid, vid svetsprocessen en tendens att förekomma i små partiklar varvid dessa partikelstorleksfördelningar erhålles.

Nedan provar vi denna modell i en genomgång med kommentarer till resultaten av de olika undersökningarna.

TIG -undersökning

Som framgår av beskrivningen omfattar denna fyra impaktorprover. I diagram 1-5 har förekomsten av ett antal element avsatts relativt totalmängden för var och en av impaktorerna. En uppdelning har gjorts i partiklar med $D_p > 1 \mu\text{m}$ (streckat i diagram) och $D_p < 1 \mu\text{m}$.

Dessutom har på samma sätt i diagram D1 i appendix D totalmängden för de olika impaktorerna differentierats i $D_p \geq 1 \mu\text{m}$ och $D_p < 1 \mu\text{m}$.

Av diagram 1-5 framgår markanta skillnader i sammansättningen vad avser storleksfördelningen. För Cr, Fe och Ni dominerar partiklar med $D_p \geq 1 \mu\text{m}$ vid alla proven medan förhållandet är det omvända för Mn och Zn.

Diagram 6-8 visar mängden av Cr, Mn, Ni och Zn avsatt relativt Fe som funktion av impaktorstegnummer, medan för Fe avsatts på samma sätt relativt totalmängden rök.

Det framgår att Fe/tot är relativt konstant.

Vidare är förhållanden Zn/Fe och Mn/Fe avtagande med ökande D_p (avtagande stegnummer) medan Cr/Fe och Ni/Fe ökar något med D_p . Iakttagelserna i diagram 1-5 ovan konfirmeras sålunda.

Hårdlödning

Prov nr 3 finns ej medtaget i diagram 6-8 vilket beror på att det skiljer sig markant från de andra tre vad avser svetsprocessen. Betraktas diagram 9 finner man just denna skillnad som består i att mycket lite rök finns på steg 1 t o m 4 medan mycket rök finns på steg 0 och 5. Vid denna provtagning utfördes som framgår av beskrivningen ovan hårdlödning med kadmiumlegerat silverlod. Vid studium av resultaten i appendix C framgår att en stor del av de små partiklarna består av Cd. Som framgår av tabell 5 har Cd mycket låga smält- och kokpunkter och är den enda metall av de vid lödningen förekommande som har kokpunkt under eller lika med arbetstemperaturen vid lödningen.

Ett försök göres här att testa den modell för ytadsorption som diskuterats ovan. I diagram 10 har relativa koncentrationer av Cd avsatts mot D_p^{-1} . En god linearitet erhålles (korrelationskoefficienten, $r = 0.98$) vilket är ett stöd för modellen men ordinatan i origo blir negativ vilket skulle betyda negativ koncentration av Cd inuti partiklarna. Detta kan antyda en viss avvikelse från den skisserade modellen men denna innehåller fler förenklingar. Antar vi att ca 50% av det totala innehållet i röken detekterats och att partikeldensiteten $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ erhålles ett värde på $C_y = 6 \text{ mg/cm}^2$. Om vidare antages att densiteten av det adsorberade ytskiktet är $\rho' = 3 \text{ g/cm}^3$ kan skiktets tjocklek uppskattas till ca 90 Å (se även tabell 6). Det bör påpekas att beräkningarna är approximativa och att resultatet enbart ger en anvisning om de storleksordningar som föreligger.

Tänkbara förklaringar till att man erhåller negativa koncentrationer av Cd inuti partiklarna kan vara, som ovan nämnts, eventuella brister i modellen men kan också delvis förklaras av ganska stor osäkerhet i angivandet av partikelstorleken.

Oaktat det negativa resultatet på C_0 visar det att C_0 troligtvis är mycket låg och att i stort sett allt Cd finns på ytan av partiklarna. Detta resultat är ur hygienisk synpunkt anmärkningsvärt, eftersom det innebär att Cd förekommer mest på små partiklar som lätt penetrerar ned i alveolerna. Att Cd finns på ytan av partiklarna bidrar till en snabb transport ut i blodet av Cd, där det förs till njurarna och andra organ som fungerar som depåer för Cd. Denna snabba absorption minskar kroppens möjlighet till borttransport av partiklarna genom makrofager och lymfa, innan skadan redan skett.

Varvsvetsning; belagd elektrod, skärbränning och kolbågsmejsling

Första delen omfattar fyra impaktorprover tagna där svetsning pågick och ett prov under pågående skärbränning av plåt. Diagram D5-D10 i appendix D visar samma tendens som för undersökning 1. För Mn och Zn och dessutom i det här fallet Cu och K gäller att största massan finns på partiklar med $D_p < 1 \mu\text{m}$ medan Fe och Ti i de flesta prov dominerar på stora partiklar ($D_p \geq 1 \mu\text{m}$).

För totalmängden detekterad rök (diagram D4) varierar förhållandet mellan små och stora partiklar från prov till prov. Prov 2, då en av källorna för uppsamlad rök var kolbågsmejsling, visar genomgående en större del stora partiklar

än de andra proven. Detta beror, med stor sannolikhet, på en annorlunda bildningsprocess för partiklarna. Verkan då svetsfogar avlägsnas med kolbågsmejsling är delvis mekanisk. Av diagram 11 framgår att Fe är det helt dominerande elementet för alla 5 proverna men att andra elements andel växer något vid minskande partikelstorlek. Anmärkningsvärt är att för impaktor 5, som tagits upp under skärning, är att andelen Fe har en relativt konstant, hög nivå genom hela partikelstorleksfördelningen. Denna process skär stål med en acetylensyrelåga vara temperatur (ca 3000°C) inte är lika hög som den vid svetsning med belagd elektrod (5000-6000°C), vilket kan vara en förklaring till resultatet.

Diagram 12 och 13 visar förhållanden mellan ett antal element och Fe. Vi finner här åter samma resultat: Zn/Fe, Cu/Fe och Mn/Fe avtar med växande D_p , vilket även gäller för As/Fe som också återfinnes i diagram 12. För Zn har Zn/Fe avsatts enbart för tre impaktorprover eftersom Zn inte återfinnes i nämnvärd utsträckning på de andra två. Detsamma gäller för Ti/Fe. Detta förhållande är annorlunda, med undantag för smärre fluktuationer, ganska konstant över hela partikelstorleksfördelningen. Det visar sig också i tabell 5 att Fe och Ti överensstämmer ganska väl vad gäller smält- och kokpunkter, medan Zn, Cu och Mn smälter och kokar vid lägre temperaturer. As sublimerar redan vid 600°C. Av diagram D5 i appendix D framgår också att K helt finns på partiklar med $D_p < 1 \mu\text{m}$. Även för K är smält- och kokpunkterna låga. (Se tabell 5.)

Diagram 14 och 15 visar att impaktorprov 2 och 5 skiljer sig från 1, 3 och 4 genom att endast en liten del av den

totalt detekterade massan återfinns på steg 4 och 5 + slutfiltret.

Som tidigare nämnts skiljer sig dessa två från de övriga genom kolbågsmejsling respektive skärbränning vilket kan förklara detta förhållande.

Test av ytadsorptions-kondensationsmodellen har i denna undersökning gjorts för elementen Zn, Cu och As, ämnen vilkas egenskaper är sådana, att modellen kan tänkas tillämpbar. Resultaten framgår av diagram 16-18. För Zn har den relativa förekomsten avsatts mot D_p^{-1} för alla 5 impaktorproven. Man finner vid studium av diagrammen att impaktorprov 1, 2 och 4 överensstämmer väl vad avser kurvornas lutningskoefficient, dvs C_y -värdena, medan C_o -värdena varierar en del. Prov 3 ger lägre värde C_y och prov 5 ett betydligt högre. Om samma antagande göres som i undersökning 1 erhålles värden på r , C_y , C_o och l som framgår av tabell 6. Prov 5 liknar Cd i undersökning 1 genom god linearitet men negativa C_o -värden medan Prov 1 t o m 4 har något lägre korrelationskoefficienter och positiva C_o -värden.

As har endast testats för tre impaktorprov eftersom det inte förekommer tillräckligt mycket på de andra två.

I diagram 17 visar det sig att även för As uppvisar prov 5 högst C_y -värden. För beräknade värden på r , C_y , C_o och l se tabell 6. Även As har god linearitet men negativa C_o -värden fås också här.

Koppardiagrammet (se diagram 18) visar enbart två impaktorprov men även här ger prov 5 högst C_y -värde men god linearitet erhålles för båda. Som framgått har genomgående högre

värden på C_y erhållits för prov 5, vilket togs vid skärbränning, som tidigare visats ha en lägre temperatur vid processen än svetsning.

En tänkbar hypotes är följande: vid svetsning kan ett stort antal element övergå i gasfas tillsammans med de mera lättförångade på grund av den höga temperaturen. Vid lägre temperaturer däremot, kan enbart de lättförångade elementen övergå i gasfas medan de andra föreligger i vätskefas eller fast fas och erbjuder de förgasade elementen en större möjlighet att finna partiklar vars ytor de kan kondensera på. Detta skulle innebära en ökad ytadsorption vid relativt låga arbetstemperaturer.

Troligtvis är denna form av kondensation eller adsorption på ytan av partiklar inte den enda förklaringen till att vissa ämnen förekommer mera på små partiklar än på större. Försöker man nämligen utföra motsvarande resonemang för K och Mn får man inte lika god överensstämmelse med modellen om ens någon. Se t ex diagram 19 där Mn avsatts på samma sätt för några impaktorprov. Gemensamt för alla element med tendens att dominera på små partiklar, är relativt låga smält- och kokpunkter. Förmodligen inverkar också andra faktorer som kemisk reaktionsbenägenhet och ångtryck på de bildningsmekanismer som avgör vilken partikelstorlek som är den dominerande för ett bestämt element.

I den andra delen av varvsundersökningen togs 7 impaktorprov i nära anslutning till andningszonen. Dessutom togs 2 impaktorprover för att registrera bakgrundsroökens sammansättning.

Diagram 20-24 visar åter den genomgående tendensen att K, Mn och Zn finns mest på små partiklar och Ti mest på stora. För Fe varierar storlekssammansättningen från metod till metod men särskilt markerat är dominansen av stora partiklar för impaktor 8 och 9, vilka är bakgrundsprover. En stor del av denna bakgrunds-aerosol tycks bestå av upprört damm och stoff, som har större massmediandiameter än svetsrök. Studerar man i stället diagram 25 med totalsumman av de detekterade elementen för de olika impaktorproven uppdelade i $D_p < 1 \mu\text{m}$ och $D_p \geq 1 \mu\text{m}$, framgår också här att bakgrundsimpaktorprov domineras av stora partiklar.

I diagram 26-28 är relativa mängden per impaktorsteg avsatt mot impaktorstegnumret, för alla impaktorer. Det är tydligt att impaktor 1 t o m 7 har mycket likartat förlopp med hög relativ förekomst på steg 0 och på steg 4 och 5, medan steg 1 t o m 3 är mycket lågt belastade. Jämför man sedan med impaktor 8 och 9, bakgrundsimpaktorerna, finner man förutom en stor likhet mellan 8 och 9, att här endast erhålles en svag ökning av förekomsten på steg 4 och 5 medan en stor del (ca 70%) finns på steg 0 och 1.

Diagram 29-36 uppvisar åter samma tendens vad gäller förhållanden mellan olika element och Fe. För Zn/Fe finner man på prov 1 och 3 ett annorlunda förlopp med mycket låg nivå utom för ett enda steg i impaktorn. För prov 7 har elementen avsatts i förhållande till totalmängden (se diagram 33-34) eftersom inget järn detekterats på steg 2 och 3, varför dessa förhållanden inte är direkt jämförbara med de, relativt Fe. Eftersom impaktorn 1 t o m 7 insamlats i nära anslutning till andningszonen för svetsarna ger

impaktorproven en uppfattning om vilka partikelstorleksfördelningar som förekommer i den mycket täta aerosol svetsaren inandas under svetsningsarbetet. Ur hygienisk synpunkt är detta den viktigaste storleksbestämningen eftersom svetsaren erhåller de ojämförligt högsta kvantiteterna av de ingående elementen under själva svetsningsarbetet.

Det kan emellertid påpekas att några verkligt stora skillnader i partikelstorleksfördelningens utseende för de olika elementen har inte registrerats vid jämförelse mellan bakgrunds-aerosoler och andningszонаaerosoler.

MANGAN I BLOD

Mangan i människokroppen (ref 9,10)

Mangan är ett essentiell spårämne, som absorberas dels via mag-tarmkanalen och dels via lungorna. Vår dagliga konsumtion av mangan via födan är i medeltal 3-7 mg (ref 9).

Bara en liten del, 3% (ref 10), av manganet i normal föda absorberas. Hos de flesta förgiftningsfall, som finns rapporterade, har manganet tillförts kroppen via luftvägarna. Kronisk manganförgiftning ger skador på centrala nervsystemet. Exponering för höga halter av mangan kan också orsaka en typ av lunginflammation.

Manganet, som absorberas, förs med blodet ut till olika vävnader i kroppen, där det lagras. Mangankoncentrationen är i regel högre i vävnad, som är rik på mitokondrier.

En man på 70 kg har totalt 12-20 mg mangan i kroppen.

Manganet lämnar kroppen främst via gallan ut i avföringen.

Utsöndring förekommer även via bukspottskörteln, via tolvfingertarmen och via övre och nedre tunntarmen.

Manganexponering

I diagrammen 37-44 finns åskådliggjort svetsarnas exponering för mangan under provtagningsdagarna. Som synes varierade exponeringen de olika dagarna betydligt, från ett lägsta medelvärde på 0.1 mg/m^3 till ett högsta på 3 mg/m^3 . I två fall överskreds de hygieniska gränsvärdena för mangan. Takvärdet för mangan överskreds för svetsare 3 under dag 3 och för svetsare 4 under dag 3, då dessutom medelvärdet för manganexponeringen överskred det "vanliga" gränsvärdet.

Diskussion av blodprovsresultaten

De uppmätta mängderna mangan i helblodet (se appendix C) ligger på en konstant nivå för samtliga svetsare. Någon ökning av mängden mangan i blodet efter svetsningen kan med de i resultatdelen givna analysfelen inte urskiljas. Mangan-nivån är ungefär densamma för samtliga svetsare utom svetsare 3, som tycks ha något lägre manganinnehåll i blodet. De uppmätta värdena kan jämföras med (ref 11) andra friska personer vilkas manganinnehåll i helblod varierade mellan 8 och 24 ppb. För att belysa blodanalysresultaten utväljes svetsare 3 under dag 3. Den uppmätta mangankoncentrationen i blodet är 11 ppb. Om vi räknar med att svetsaren har 5 liter blod får vi den totala manganmängden i blodet till $55 \mu\text{g}$. Mängden luft, som andades in per minut, uppskattas till 15 liter. Medelvärdet för manganexponeringen uppmättes till 1.9 mg/m^3 . Den inhaleda mängden mangan är alltså $29 \mu\text{g/ minut}$ eller 9.6 mg under

den kontrollerade tiden. Detta kan jämföras med innehållet i blodet. I figur 3 finns ett schema över vad som händer med de partiklar som inandas. Med hjälp av figur 2 kan beräknas, om aerosolens partikelfördelning är känd, hur stor del av aerosolen som avskiljs i näsa-halsregioner, i bronker och bronkioler samt i alveoler. Rester av aerosolen följer med utandningsluften. För att bestämma partikelfördelning för manganet i svetsröken användes impaktorprov nr 5 (se appendix C) och med hjälp av figur 2 bestämdes att 48% av manganet i inandningsluften avskiljdes därav hamnade 24% i alveolerna, 6% i bronkerna och bronkiolerna och resterande 18% i näsa-halsregionen. Mängden som deponerades i alveolerna var alltså 7.0 $\mu\text{g}/\text{minut}$. Att vi inte har funnit någon förhöjd manganhalt efter några timmars svetsning kan förklaras på två sätt.

1. Ingen högre halt av mangan i blodet byggs upp, ty inflöde och utflöde av Mn är lika stora
2. Inflödet av mangan till blodet är större än utflödet. Detta betyder att en förhöjd blodhalt av Mn erhålls men då vi inte uppmätt någon högre halt måste antingen höjningen vara så moderat att den inte kan mätas eller måste den försvinna på den tid som flyter mellan svetsningens avslutning och provtagningen.

För att kunna detektera eventuellt förhöjda Mn-nivåer i blod fordras en förkortning av tiden mellan avslutad exponering och provtagning och/eller en förbättring av precisionen i metoden som medger detektion av mindre höjningar än de 25% vi anser oss kunna registrera för närvarande.

Uppförande av analysanläggning för PIXE-analyser i Lund

Avdelningens acceleratorutrustning härstammande från mitten av 50-talet nedmonterades planerligt med början i maj 1974. Lokalerna har därefter ändrats, installationer av el och vatten utförts samt i övrigt iordningställt för att inrymma den nya accelerator som beställdes den 18 juli 1973 och ursprungligen beräknades anlända i december 1974. Produktionssvårigheter i USA i samband med energisituationen vintern 1974 ledde emellertid till leveransförseningar och acceleratorn anlände i juli 1975. Den installeras för närvarande i de nya lokalerna och beräknas vara i drift kring årsskiftet.

Parallellt med installationen av ny accelerator konstruerar och bygger vi en ny anläggning för PIXE-analyser i huvudsak enligt vår tidigare ansökan till fonden. En genomgång av litteraturen kring bestrålningskammare redovisas i appendix E. Kammaren har börjat byggas och beräknas vara färdig för installation samtidigt med att acceleratorn blir tillgänglig för oss. Kammarkonstruktionen är gjord med tanke på effektiva rutinanalyser i stor skala och med tillräcklig flexibilitet för att medge okonventionella prover och användandet av nya typer av detektorer, bland annat halvledarkrystaller för detektering av spridda protoner, gamma-detektorer och kristallspektrometrar för förbättrade röntgenanalysmöjligheter.

Kammaren utformas som en rektangulär låda. Under denna anbringas provväxlarutrustningen som byggts utgående från en bildväxlar mekanism. Magasinet rymmer 36 prover och

avses anslutas till en processdator. Kammaren förses med avtagbara sidor, vilket ger goda möjligheter till inkluderande av olika detektorarrangemang. Kammaren rymmer också kollimatorer för protonstrålen liksom arrangemang för att införa röntgenabsorbatorer mellan prov och detektor.

REFERENSER

1. D B Swartz, M B Denton och J L Moyers;
On Calibrating of Cascade Impactors;
Am Ind Hygiene Ass Journ (1973), 429-439
2. B Aurivillius, J Frismark;
"Konstruktion och utprovning av en undertryckskaskad-
impaktor med speciell hänsyn tagen till efterföljande
spårämnesanalys av utfälld aerosol;"
STU-RAPPORT 72, 467/4 383 (1975)
3. H Buchholz; Ein Unterdrucks-Kaskaden-Impaktor;
Staub-Reinhalt Luft Vol 30, Nr 4 (1970)
4. K Spurný, I P Lodge; Die Filtrationsmechanismen bei
analytischen Porenfiltern verfolgt mit Hilfe der
Elektronenmikroskopie, Staub-Reinhalt Luft 28
(1968), 503-506
5. Task Group and Lung Dynamics; Deposition and Reten-
tion Models for Internal Dosimetry of Human Respira-
tory Tract; Health Physics 12 (1966), 173-207
6. F Brundin; Svetsteknikens grunder;
Kompendium TLTH, (1970)
7. D F S Natusch, J R Wallace, Urban Aerosol Toxicity:
The Influence of Particle Size; Science 186, (1974),
695-699
8. Air Quality Criteria for Particulate Matter;
US Dept of Health (1969)
9. Manganese; National Academy of Sciences (1973)

10. M Tolonen; Industrial Toxicology of Manganese;
Work-environ -health; 2, (1972), 53-60
11. L R Auspaugh, W L Robinson, W H Martin och O A Lowe;
Compilation of Published Information on Elemental
Concentrations in Human Organs in both Normal and
Diseased States;
Lawrence Livermore Laboratory (1971).