

NR 2009;43(5)

Prøvetaking av inhalerbart melstøv

Kristian Kruse og Wijnand Eduard

*Avdeling for kjemisk og biologisk arbeidsmiljø
Statens arbeidsmiljø institutt
Oslo, Norge*

ARBETE OCH HÄLSA

|

VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 978-91-85971-12-1

ISSN 0346-7821



GÖTEBORGS
UNIVERSITET



Statens
arbeidsmiljøinstitutt

Arbete och Hälsa

Skriftserien Arbete och Hälsa ges ut av Arbets- och miljömedicin vid Göteborgs universitet. I serien publiceras vetenskapliga originalarbeten, översiktsartiklar, kriteriedokument, och doktorsavhandlingar. Samtliga publikationer är refereegranskade.

Arbete och Hälsa har en bred målgrupp och ser gärna artiklar inom skilda områden.

Instruktioner och mall för utformning av manus finns att hämta på Arbets- och miljömedicins hemsida <http://www.amm.se/aoh>

Där finns också sammanfattningar på svenska och engelska samt rapporter i fulltext tillgängliga från och med 1997 års utgivning.

Arbete och Hälsa

Chefredaktör: Kjell Torén

Redaktion: Maria Albin, Ewa Wigaeus
Tornqvist, Marianne Törner, Wijnand
Eduard, Lotta Dellve och Roger Persson
Redaktionsassistent: Cina Holmer
Teknisk redaktör: Cina Holmer

© Göteborgs universitet & författare 2009
Göteborgs universitet, 405 30 Göteborg

ISBN 978-91-85971-12-1
ISSN 0346-7821
<http://www.amm.se/aoh>
Tryckt hos Reproservice, Chalmers tekniska
högskola, Göteborg

Redaktionsråd:

Tor Aasen, Bergen
Kristina Alexanderson, Stockholm
Berit Bakke, Oslo
Lars Barregård, Göteborg
Jens Peter Bonde, Köpenhamn
Jörgen Eklund, Linköping
Mats Eklöf, Göteborg
Mats Hagberg, Göteborg
Kari Heldal, Oslo
Kristina Jakobsson, Lund
Malin Josephson, Uppsala
Bengt Järvholm, Umeå
Anette Kærgaard, Herning
Ann Kryger, Köpenhamn
Carola Lidén, Stockholm
Svend Erik Mathiassen, Gävle
Gunnar D. Nielsen, Köpenhamn
Catarina Nordander, Lund
Karin Ringsberg, Göteborg
Torben Sigsgaard, Århus
Staffan Skerfving, Lund
Kristin Svendsen, Trondheim
Gerd Sällsten, Göteborg
Allan Toomingas, Stockholm
Ewa Wikström, Göteborg
Eva Vingård, Uppsala

Innhold

Ordliste	2
Forord	2
1. Innledning	3
1.1 Kriterier for prøvetaking av aerosoler	3
1.2 Innledende forsøk med Button prøvetaker	6
2. Materiale og metoder	6
2.1 Forsøksdesign	6
2.2 Prøvetaking	7
2.3 Gravimetri	7
2.4 Dataanalyse	8
3. Resultater	8
4. Diskusjon	9
5. Konklusjoner og anbefalinger	12
6. Sammendrag	13
7. Summary	14
8. Referanser	15

Ordliste

AED	aerodynamisk diameter
GSD	geometrisk standardavvik
GSP	Kassett for prøvetaking av inhalerbar aerosol utviklet ved BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung i Sankt Augustin. (GSP = Gesamtstaub-Probenahme)
MMAD	mass median aerodynamic diameter
IOM	Kassett for prøvetaking av inhalerbar aerosol som er utviklet ved Institute of Occupational Medicine i Edinburgh
PAS6	Kassett for prøvetaking av aerosol utviklet ved Instituut voor Milieuhygiene en gezondheidstechniek i Delft, Nederland (PAS = personal aerosol sampler)
SD	standard avvik
StK	Standard aerosol kassett, ofte betegnet som Millipore kassett.
STAMI	Statens arbeidsmiljøinstitutt

Forord

Arbeidstilsynet etablerte en administrativ norm for inhalerbart melstøv i 2000. Dette var den første normen som ble fastsatt for inhalerbar aerosol fraksjon i Norge mens tidligere normer for aerosoler var basert på såkalt ”totalstøv”. Fordi undersøkelser har vist at den inhalerbare fraksjonen inneholder en større andel av luftbårne partikler enn totalstøv som måles med standard aerosolkassetten var det behov for å endre prøvetakingskassetten ved prøvetaking av melstøv.

I 2000 startet STAMI et samarbeid med Trond Markussen fra Agder BHT for å teste ut i felt en nylig beskrevet prøvetaker for inhalerbart, Button prøvetakeren for prøvetaking av melstøv. Da denne prøvetakeren ikke ga tilfredsstillende resultater ble utprøvingen fortsatt med andre prøvetakingskassetter i samarbeid med Ellen Lunde fra Arbeidstilsynet 2. Distrikt.

Lene Madsø og Kristian Kruse fra STAMI har vært ansvarlig for prøvetaking og analyse.

1. Innledning

Alvorlige helseplager som følge av eksponering for melstøv i bakeri-industrien har vært kjent lenge og er beskrevet i en rekke studier. Spesielt har bakere involvert i blanding og forming av deig en økt risiko for arbeidsrelaterte sykdommer. Epidemiologiske undersøkelser viser at arbeidsrelaterte øye/nese symptomer rapporteres av 14 til 29 %, mens respirasjonssymptomer varierer fra 5 til 14 % (Houba 1996). I en nederlandsk studie fant man at eksponering for inhalerbart støv under $0,5 \text{ mg/m}^3$ målt med PAS6 prøvetakingskassetten ga minimal risiko for sensibilisering mot melallergener (Houba et al. 1998). I Sverige fant Brisman et al (2000) økt risiko for rhinitt ved eksponering over 1 mg/m^3 for inhalerbart støv målt med IOM kassetten mens risikoen for astma var økt ved eksponering over 3 mg/m^3 . En norsk undersøkelse rapporterte at ansatte med et eksponeringsnivå over 1 mg/m^3 målt med standard aerosolkassetten hadde hyppigere luftveissymptomer (Storaas 2008).

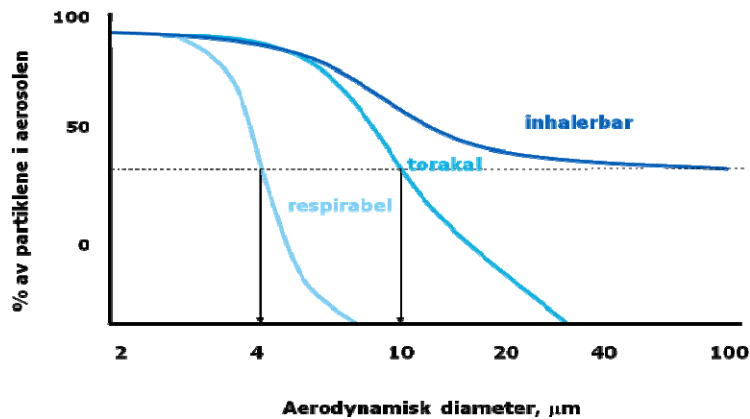
I 2000 fastsatte Arbeidstilsynet i Norge en administrativ norm for inhalerbart melstøv på 3 mg/m^3 (Arbeidstilsynet 2009). I Sverige ble samme verdi for inhalerbart melstøv fastsatt som grenseverdi samme år (Arbetsmiljöverket 2009). Dette var den første normen som ble fastsatt for inhalerbar aerosol fraksjon i Norge mens tidligere normer for aerosoler er basert på totalstøv. Undersøkelser på 90-tallet har vist at den inhalerbare fraksjonen inneholder en større andel av luftbårne partikler enn totalstøv som måles med standard aerosolkassetten. Det var derfor behov for en annen prøvetakingskassetten i prosedyren for prøvetaking av melstøv. Flere kassetter som tidligere har blitt testet for prøvetaking av inhalerbart støv ble derfor sammenlignet ved personbåren prøvetaking i bakerier.

1.1 Kriterier for prøvetaking av aerosoler

Siden slutten av 60-tallet ble prøvetaking av aerosoler utført med kassetter som suger inn luft nedenfra gjennom en 4 mm diameter åpning og med en luftstrøm på 2 L/min. En antok at slike kassetter (standard aerosolkassetten, StK) samler opp alle partikler som er suspendert i luft. Modellforsøk i vindtunnell utført i 80- og 90-årene har vist at dette ikke er riktig. Modellforsøk har også vist at vi heller ikke puster inn alle partikler som er suspendert i luft. Hva som pustes inn er avhengig av partikkelstørrelse, partikkelbevegelse, luftstrømhastigheten og retningen som luften og partiklene har i forhold til nese, munn eller insugningsåpningen (Vincent, 1989 og 1995). På grunnlag av disse resultatene ble kriterier for måling av partikler i arbeidsatmosfæren etablert (ISO 1992; CEN 1993). Kriteriene er definert for partikler opptil $100 \mu\text{m}$. Større partikler er ikke undersøkt fordi de sedimenterer for fort i vindtunnel ved lufthastigheter som er relevante for arbeid innendørs.

Når partikler inhaleres deponeres de største partiklene i nesens, partikler som er mindre enn ca $10 \mu\text{m}$ penetrerer til de nedre luftveiene, og partikler under ca $4 \mu\text{m}$

kan nå lungeblærene hvor gassutvekslingen foregår. Dette er en grov forenkling fordi det ikke er skarpe skiller i størrelsen mellom partikler som deponeres på ulike steder i luftveiene. Ved avtakende partikkelstørrelse øker andelen av den inhalerte partikler som kan nå lenger ned som vist i Figur 1. Denne figuren er også en forenkling fordi den viser omforente kriterier for helse-relevante partikkelfraksjoner som er fastsatt i CEN og ISO standarder med sikte på enhetlig prøvetaking av aerosoler i arbeidsmiljø (ISO 1992; CEN 1993) mens det finnes betydelige individuelle forskjeller.



Figur 1. Kriterier for helserelevante partikkel fraksjoner definert av CEN/ISO.

ISO/CEN konvensjonen definerer følgende partikkelfraksjoner:

- Inhalerbar fraksjon: alle partikler i en aerosol som kan pustes inn
- Torakal fraksjon: partikler som passerer strupehodet
- Respirabel fraksjon: partikler som kan nå lungeblærene

I tillegg avledes følgende fraksjoner:

- Ekstratorakal fraksjon: partikler som pustes inn, men som ikke passerer strupehodet og deponeres i nese og munn (inhalerbar – torakal fraksjon)
- Trakeobronkial fraksjon: partikler som passerer strupehodet men ikke når lungeblærene og deponeres i luftrør og bronkiene (torakal – respirabel fraksjon)

Prøvetakere bør følge disse kriteriene med en nøyaktighet på $\leq 30\%$ (NSF 2002).

Modellforsøk i vindtunnel har vist at standard aerosolkassetten (Figur 2) som har vært brukt i Norge og mange andre land i mange år samler for lite partikler i forhold til ISO/CEN konvensjonen, spesielt for partikler $> 25\ \mu\text{m}$ aerodynamisk diameter (AED). Andre kassettyper som for eksempel IOM kassetten er spesielt



Figur 2. Standard aerosol kassett.

utviklet for prøvetaking av inhalerbare aerosoler ved Institute of Occupational Medicine in Edinburgh (se Figur 4) og har vist bedre samvar med CEN/ISO kriteriene.

Prøvetakere er også sammenlignet ved parallel personbåren prøvetaking i ulike arbeidsmiljø. Fordelene med feltforsøk er at testene utføres under realistiske forhold på arbeidsplassen og at personlig prøvetaking kan benyttes. Under slike forsøk kan imidlertid ikke luft- og partikkelbevegelser kontrolleres og en vet ikke hva den riktige aerosolkonsentrasjonen er. Resultatene regnes ut i forhold til en prøvetaker som velges som referanse. Slike forsøk, som er utført i flere bransjer, viser ofte større forskjeller enn det som kan forklares ut fra modellforsøkene. For eksempel kan IOM kassetten vise opptil 4 ganger mer enn "Millipore" kassetten (Vinzents et al. 1995; Werner et al. 1996, Notø et al. 1996, Liden et al. 2000; Harper & Muller 2002). I vindtunnelforsøk er forskjellene ikke større enn 25 % for aerosoler med "normale" partikkelstørrelsesfordelinger og opptil 40 % hvis aerosoler inneholder en større andel store partikler (Kenny, L 1996).

Det kan være flere forklaringer til disse forskjeller:

- Partikler som er større enn 100 μm og som kan inhaleres fanges opp med større effektivitet av IOM kassetten enn andre kassetter. Det er ikke kjent hvilken andel av partikler som større enn 100 μm som kan pustes inn.
- Meget store partikler som ikke kan inhaleres kan fanges opp av kassetter som har en horisontal innsugningsåpning, for eksempel IOM prøvetakeren, og fører til en overestimering
- Modellforsøk har vært utført med høyere lufthastighet (typisk 0,5 –2 m/s) enn det som er vanlig innendørs hvor lufthastigheten er nærmere 0,1-0,3 m/s (Lidén & Harper 2006), og inhalerbarhets-effektiviteten under "calm air conditions" er sannsynligvis høyere enn CEN/ISO kriteriene (Aitken et al 1999).
- CEN/ISO kriteriene forutsetter at aerosolen er homogen, dvs konsentrasjonen er lik uansett luftstrømsretning. Denne forutsetningen holder ikke for arbeid hvor støvkilden er foran arbeidstakeren og kan føre til overestimering for prøvetakere med horisontal inlet (Witschge et al 2004).

Det var derfor betydelig tvil om hvilke prøvetakere som bør brukes for prøvetaking av inhalerbart melstøv. Et viktig utgangspunkt var undersøkelsene

fra Houba og medarbeidere (Houba 1996; Houba et al. 1998) som danner det viktigste grunnlaget for den nye melstøvnormen i Norge og som ble utført med såkalte PAS6 kassetter. Denne kassetten har også fungert forholdsvis bra for prøvetaking av inhalerbart støv i modellforsøk (se diskusjon). Vi valgte derfor å teste forskjellige kassetter med PAS 6 kassetter som referanse.

1.2 Innledende forsøk med Button prøvetaker

I samarbeid med Agder BHT ble en såkalt Button prøvetaker sammenlignet, se Figur 3A, med standard aerosolkassett i et bakeri i Kristiansand. I Button prøvetakeren suges aerosolen inn gjennom et halvkuleformet gitter med åpninger på ca 400 μm . Prøvetakeren er lite retningssensitiv og gitteret hindrer prøvetaking av større partikler. Vi fant ingen forskjell mellom Button sampler og standard aerosolkassetten. I midlertid ble det observert tetting av hullene i gitteret til Button prøvetakeren som må antas å ført til for lave verdier, se Figur 3B. Button samplere ble derfor vurdert som ikke egnet for prøvetaking av melstøv og ble ikke undersøkt videre.



Figur 3. Button prøvetaker. Figur 3A viser kassetten og Figur 3B viser tetting av gitteret med melpartikler.

2. Materiale og metoder

2.1 Forsøksdesign

Ulike prøvetakingskassetter ble sammenlignet parvis med såkalte PAS6 kassetter (personal aerosol sampler med en innsugningsåpning med $\text{\O} 6 \text{ mm}$ som er rettet nedover). PAS6 kassetten er laget ved STAMI (AME avdelingen). IOM, GSP og 25 mm diameter standard aerosolkassett (StK) ble inkludert i studien. GSP og StK kassetten er fremstilt i elektrisk ledende plast, mens IOM kassetten som ble benyttet var fremstilt i rustfritt stål. Kassetten ble sammenlignet ved personbåren prøvetaking av bakere, særlig under arbeidsoppgaver hvor mel håndteres. Prøvetakingskassetten er vist i Figur 4.



Figur 4. Prøvetakingskassetter inkludert i undersøkelsen.

Styrkeberegninger viste at minst 20 par var nødvendig for å kunne detektere 20 % avvik fra vinkelkoeffisient = 1 i en lineær regresjon med $p=0,05$ og 80 % styrke forutsatt at PAS6 varierer fra $1-5 \text{ mg/m}^3$, og at den testede prøvetakeren har et standardavvik på $0,3 \text{ mg/m}^3$ rundt regresjonslinjen. Vi tok sikte på 30 par per sammenligning for å tåle tap ved forsøket, totalt $90 = 3 \times 30$ prøvetakinger.

2.2 Prøvetaking

Prøvetakingen ble gjennomført ved to bakerier i Oslo. For å sikre at eksponeringen hovedsakelig bestod av melstøv ble prøvetakingen utført ved blanding av deig og utbaking. Det ble lagt vekt på å få med både lave og høye konsentrasjoner i målingene av hensyn til regresjonsanalysen. Prøvetakingstiden varierte mellom 1 – $1\frac{1}{2}$ time. For GSP målinger ble det benyttet SKC high flow pumpe med en volumstrøm på 3,5 l/min. For de andre prøvetakere ble det benyttet PS101 pumper (utviklet og bygget ved STAMI) og en volumstrøm på 2,0 l/min. Siden bakeren er nær støvkilden ved disse oppgavene vil støvkonsentrasjonen kunne variere over korte avstander. Kassetene ble montert vekselvis på høyre og venstre skulder slik at eventuelle systematiske forskjeller ble jevnet ut.

Det ble benyttet teflon filtre (Gelman Sciences, PALL, TefloTM) pga lav følsomhet for fuktighet og stabil vekt. I GSP prøvetakeren ble 37 mm diameter filter benyttet med $2 \mu\text{m}$ porestørrelse, og i de andre kassetene 25 mm diameter filter med $3 \mu\text{m}$ porestørrelse.

2.3 Gravimetri

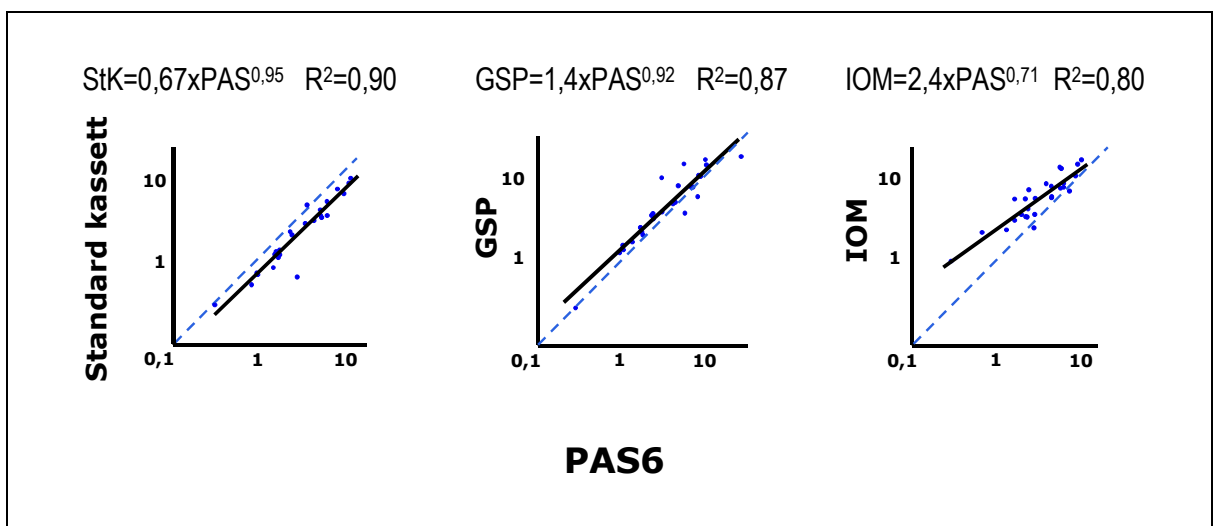
Støvvekten på filtre fra PAS6, StK og IOM ble bestemt med en S4 Sartorius mikrovekt. Filtre fra PAS6 og StK hadde en presisjon på $1 \mu\text{g}$ (standard avvik, SD), mens IOM holder veiet sammen med filter hadde en presisjon (SD) på $10 \mu\text{g}$. GSP holder ble veiet med filter på en MC 210 Sartorius semimikro vekt fordi filterholderen var for stor for å bli veid på mikrovekten. Presisjon var $0,15 \text{ mg}$ (SD).

2.4 Dataanalyse

Resultatene ble analysert ved lineær regresjon med støvkonsentrasjonen målt med henholdsvis StK, GSP og IOM som avhengig variabel og støvkonsentrasjonen målt med PAS6 som uavhengig variabel. Støvkonsentrasjonen ble \log_{10} -transformert fordi variablene var log-normal fordelte og model fit (R^2_{adj} , justert forklart varians) økte for alle tre modellene sammenlignet med modellen med ikke-transformerte data. Siden ekstreme verdier har stor innflytelse på regresjonsmodeller ble de to mest ekstreme observasjonene for hver kassetype fjernet (observasjoner hvor forholdet mellom testet kassett og PAS6 avviker mest fra median). Lineære regresjonsmodeller av log-transformerte data viser avvik fra lineær sammenheng ved at regresjonskoeffisienten b til $\log_{10}(\text{PAS6})$ er signifikant forskjellig fra 1. Det kan sees ved at den lineære regresjonsligningen $\log_{10}(\text{IOM}) = a + b \cdot \log_{10}(\text{PAS6})$ etter tilbaketransformering blir $\text{IOM} = 10^a \text{PAS6}^b$.

3. Resultater

Av totalt 90 prøvetakninger ble 6 prøvetakninger ekskludert på grunn av opplagte feil ved prøvetakning. Ytterligere 2 ekstremverdier for hver kassettsammenligning ble utelatt da det var mistanke om feilkilder under prøvetakning. Figur 5 viser resultatene som scatterplot med regresjonslinje (heltrukken linje) inntegnet. Stiplet linje viser linjen dersom kassettene hadde vært like. R^2 verdiene viser hvor godt modellen passer til målepunktene.



Figur 5. Sammenligning av tre prøvetakingskassetter i bakerier. Hver kassett sammenligning er basert på 25-27 målepunkter (2 ekstreme punkter utelatt fra hver serie).

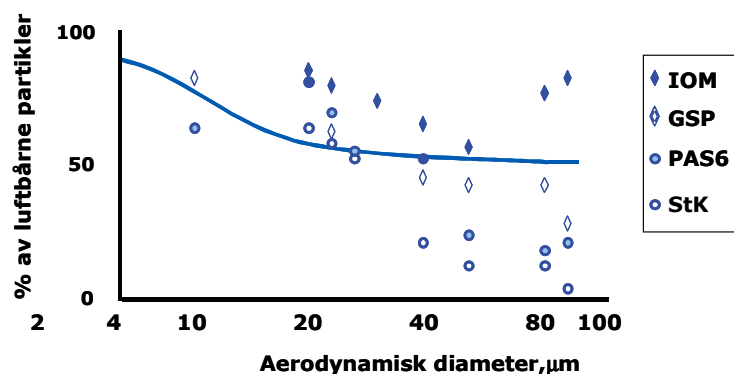
Standardkassetten underestimerte eksponeringsnivået sammenlignet med PAS6 (n=25). GSP estimerte høyere eksponeringsnivåer enn PAS6 (n=27), og IOM estimerte enda høyere støvverdier spesielt for lavere eksponeringsnivåer da regresjonskoeffisienten til PAS6 var signifikant lavere enn 1 (n=26). Tabell 1 viser sentrale mål for forholdet mellom prøvetakerne og PAS6. Presisjonen til GSP og IOM var dårligere enn PAS6 og STK fordi forholdet GSP/PAS6 og IOM/PAS6 hadde 3-4 ganger høyere standard avvik enn STK/PAS6 ($p < 0.001$, F-test).

Tabell 1. Relativ effektivitet (ratio) av StK, GSP og IOM prøvetakingskassetter i forhold til PAS6 kassetten for måling av melstøv i bakerier

Kassett	Median	Aritmetisk middelværdi	Standard avvik
StK	0,67	0,67	0,17
GSP	1,28	1,35	0,54
IOM	1,67	1,79	0,72
PAS6	1 (REF)	1 (REF)	

4. Diskusjon

For å kunne vurdere resultatene fra sammenligningen av prøvetakingskassetter ved personlig prøvetaking i bakerier er det nyttig å sammenligne med laboratorietester av de samme kassettenes. Figur 6 viser resultater fra et EU prosjekt utført i en vindtunnel som ble rapportert av Kenny et al (1997). Figuren viser prøvetakingseffektiviteten ved den laveste lufthastighet som ble benyttet i testene. Lavere hastigheter ble ikke forsøkt fordi sedimentering ville føre til uhomogen fordeling av større partikler i vindtunnelen.



Figur 6. Prøvetakingseffektivitet av aerosolkassetter i forhold til en isokinetisk prøvetaker (referansemåte=100%). Testene ble utført i en vindtunnel ved lufthastighet = 0,5 m/s (etter Kenny et al 1997). Kurven viser CEN/ISO kriteriene for en ideell inhalerbar aerosolkassett.

Sammenligning av prøvetakingskassetene i vår undersøkelse i bakerier (se Tabell 1) viser de samme relative forhold mellom kassetene som går frem av Figur 6, IOM > GSP > PAS6 > StK. Figuren viser at GSP samsvarer best med CEN/ISO konvensjonen for inhalerbar støvfraksjon med noe lavere prøvetakingseffektiviteten for partikler med aerodynamisk diameter (AED) > 40 µm, IOM kassetten samler opp for mange partikler med AED > 20 µm, PAS 6 samler opp for få partikler med AED > 40 µm, og StK samler opp for få partikler med AED > 25 µm.

Prøvetakingskassetene forventes derfor å vise forskjeller som er avhengige av partikkelstørrelsesfordelingen i aerosolen. Partikkelstørrelsesmålinger ble ikke inkludert i denne undersøkelsen, men en svensk undersøkelse viser partikkelstørrelsesfordelingen av aerosoler når bakere utførte delvis de samme oppgavene som i vår undersøkelse (Burdorf et al 1994). I den svenske undersøkelsen har ca 85% av aerosolmassen partikkelstørrelse AED ≤ 30 µm. For disse partiklene har PAS6 og GSP kassetene tilfredsstillende oppsamlingseffektivitet. En bør derfor forvente at GSP og PAS6 kassetene viser henholdsvis ca. 5% og 10% lavere støvkonsentrasjon enn en ideell inhalerbar prøvetaker i bakerier. Partikler med AED > 20 µm tilsvarer ca 35 % av aerosolmassen i bakerier og for denne partikkelfraksjonen har IOM kassetten høyere prøvetakingseffektivitet for. SStøvkonsentrasjon målt med IOM kassetten forventes derfor å være 10 til 15 % høyere enn målt med en ideell inhalerbar prøvetakings kasset.

Forskjellene mellom IOM, GSP og PAS6 som ble funnet i denne feltundersøkelsen av bakere er imidlertid vesentlig større enn forventet basert på vindtunnelforsøk. Liknende funn er rapportert i flere undersøkelser (Vinzents et al. 1995; Werner et al. 1996, Notø et al. 1996, Liden et al. 2000; Harper & Muller 2002; Lidén & Harper 2006). Flere mulige årsaker er nevnt i innledningen; (1) CEN/ISO-kriteriene for inhalerbar aerosol forutsetter at eksponering er uavhengig av vindretning, noe som ikke er sannsynlig når bakeren ofte jobber med støvkilden foran seg, (2) kassetter som prøvetar horisontalt har en mye større prøvetakingseffektivitet for store partikler når luftstrømmen utenfor kassetten har samme retning som i kassettenes innsugningsåpning enn når luftstrømsretningen avviker betydelig, (3) lufthastigheten i inneluft er generelt lavere enn 0,5 m/s (Lidén & Harper 2006) og Aitken et al (1999) viste at inhalerbarhetseffektiviteten av partikler med AED 10-50 µm i "calm air" er høyere enn CEN kriteriene for inhalerbar aerosol ved rolig arbeid (puste volum < 10 L/min), og enda høyere ved tyngre arbeid (puste volum > 10 L/min). Forsøk i en "calm air chamber" med støvkilden foran prøvetakeren viste at IOM kassetten målte 33-59% høyere støvkonsentrasjoner i forhold til inhaleringseffektivitets-kurven beskrevet av Aitken et al (1999) for "calm air" prøvetaking mens standard aerosolkassetten målte 31-65% lavere konsentrasjoner for aerosoler med MMAD (mass median aerodynamic diameter) 5 til 15 og GSD = 2 (Witschge et al 2004).

Samlet sett synes det sannsynlig at IOM kassetten viser for høye verdier og at PAS6 kassetten viser noe for lave verdier. GSP kassetten har litt lavere prøvetakingseffektivitet enn en ideell inhalerbar prøvetaker for inhalerbar aerosol

i vindtunnelforsøk, men kassetten forventes å ha for høy prøvetakingseffektivitet når støvkilden er foran prøvetakeren på grunn av en horisontalt rettet innsugningsåpning. Fordi forskjellen mellom GSP og PAS6 kassetten var vesentlig større enn forventet på grunnlag av laboratorietester i en vindtunnel er effekten av støvkilden foran prøvetakeren sannsynligvis større.

I vår undersøkelse minsket forskjellen mellom IOM og GSP kassetten som prøvetar aerosoler horisontalt og PAS6 kassetten som har innsugningsåpning rettet nedover ved økende støvkonsentrasjon, se Figur 5. En mulig forklaring for dette er at bidraget fra et fåtall partikler som er mye større enn 100 µm fra eksponeringskilden ("projektiler") som lettere kommer inn i en horisontalt enn en vertikalt nedoverrettet prøvetakingskassetten kan ha relativt mindre effekt når støvkonsentrasjonen er høyere. Det er mindre sannsynlig at den avtakende forskjellen mellom IOM/GSP og PAS6 kassetten kan forklares med ulik partikkelstørrelsesfordeling ved lav og høy støvkonsentrasjon. En norsk undersøkelse av bakere som blander deig har vist at aerosolen inneholder mer grovstøv når støvkonsentrasjonen er høyere (Laila Årdal, Haukeland sykehus i Bergen, personlig informasjon), og resultater fra laboratorietester i en vindtunnel predikerer da en større forskjell ved økende støvkonsentrasjon (Kenny et al 1997).

Samlet sett synes PAS6 og GSP å være nærmest en ideell prøvetaker for inhalerbart støv i bakerier. Fordi GSP antagelig overestimerer støveksponeringen noe i bakerier og PAS6 kassetten viser litt for lave verdier ligger det beste estimatet for prøvetaking av inhalerbart støv i bakerier sannsynlig mellom GSP og PAS6. Av disse prøvetakingskassetten har PAS6 bedre presisjon enn GSP. Dessuten krever GSP en sterkere prøvetakingspumpe (3,5 l/min).

Men fordi det er betydelig usikkerhet om kriterier for prøvetaking av inhalerbart støv er et valid alternativ å bruke de kassetten som ble brukt i undersøkelsene som danner grunnlaget for grenseverdi/normsetting. Når dette gjøres vil avvik fra sann inhalerbar aerosol ikke ha noen effekt på risikovurderingen fordi dette avviket er "innebygget" i effektnivåene rapportert i nøkkelpublikasjonene. I Norge bør da PAS6 kassetten anvendes fordi Arbeidstilsynet har lagt undersøkelsen til Houba et al (1998) til grunn hvor eksponering over 0,5 mg/m³ målt med denne kassetten gir økt risiko for sensibilisering. Resonnementet holder ikke helt fordi den norske normen er satt 6 ganger høyere enn nivået som forebygger sensibilisering. I Sverige danner studien til Brisman et al (2000) grunnlaget for grenseverdien på 3 mg/m³ som tar sikte på å forebygge astma I denne undersøkelsen ble IOM kassetten benyttet,. Et forbehold ved den svenske grenseverdien er at den ikke beskytter mot rhinitt, siden Brisman et al rapporterte at eksponeringen da måtte være under 1 mg/m³. Selv om det er fastsatt tallmessig like kriterier for melstøv i Norge og Sverige vil et pragmatisk valg av prøvetakingskassetten føre til at i gjennomsnitt ca 80% høyere eksponering for melstøv tillates i Norge enn i Sverige fordi grunnlaget for norm/grenseverdisetting er forskjellig.

5. Konklusjoner og anbefalinger

- GSP og PAS6 kassetter vurderes å ligge nærmest en ideell prøvetaker for inhalerbar aerosol av de testede kassetene for prøvetaking av melstøv. GSP kassetter viser høyere konsentrasjoner mens PAS6 kassetten viser lave verdier i forhold til CEN/ISO kriteriene for inhalerbar aerosol, men usikkerhet om kriterier for prøvetaking av inhalerbar aerosol kompliserer evaluering av prøvetakingskassetter.
- Alternativt kan kassettypen velges som ble benyttet i sentrale undersøkelser som er lagt til grunn ved fastsettelse av administrative normer i Norge og grenseverdier i Sverige. Dersom dette gjøres tillates ca 80 % høyere eksponering for melstøv i Norge enn i Sverige, selvom normen og grenseverdien er tallmessig like.
- Ved yrkeshygieniske vurderinger i bakerier anbefales å bruke vesentlig strengere kriterier enn de administrative normer i Norge og grenseverdier i Sverige fordi normen/grenseverdien ikke forebygger for sensibilisering og rhinitt.
- Det er viktig å ta hensyn til de relative forskjeller mellom prøvetakere ved sammenligninger av måleresultater i bakerier utført med ulike kassettyper.

6. Sammendrag

Kruse K & Eduard W. *Prøvetaking av inhalerbart melstøv*. *Arbete och Hälsa*, 2009;43(5)

Arbeidstilsynet (AT) etablerte i 2000 en administrativ norm (ADN) for inhalerbart melstøv på 3 mg/m³. Dette er den første administrative norm for inhalerbart støv i Norge. Hittil har normer for aerosoler vært definert som "totalstøv". Fordi kassetten som vanligvis brukes underestimerer partikler > 20 µm er det behov for kassetter som har bedre oppsamlingseffektivitet. Flere typer er utviklet men de viser betydelige forskjeller i vindtunnelforsøk og feltstudier. Vi gjennomførte derfor en sammenlignende studie av ulike aerosolprøvetakere i bakerier hvor melstøveksponering har størst relevans.

Fire prøvetakere for inhalerbart støv (PAS6, IOM, GSP og Button) og 25 mm sort standard kassett (STK) ble inkludert i studien. I en forundersøkelse av Button prøvetakeren ble det påvist betydelig agglomerering av partikler i hullene til frontgitteret, og prøvetakeren ble derfor ekskludert fra videre undersøkelser. Personlige målinger ble utført parallelt med PAS6 som referanse i et stort og et lite bakeri. Prøvetakerne ble plassert på begge sider av brystet i innåndingssonen og plasseringen ble byttet på mellom prøvetakingene. Prøvetakingstiden varierte mellom 1 og 1½ time, og støvet ble samlet opp på et teflonfilter med 2 µm porestørrelse for gravimetrisk støvbestemmelse.

STK kassetten underestimerte eksponeringsnivået i forhold til PAS6 (STK = $0,67 \cdot \text{PAS6}^{0,95}$, $r^2 = 0,90$, $n = 25$). GSP estimerte høyere eksponeringsnivå enn PAS6 (GSP = $1,4 \cdot \text{PAS6}^{0,92}$, $r^2 = 0,87$, $n = 27$), mens IOM estimerte enda høyere eksponeringsnivå spesielt for lavere konsentrasjoner da eksponenten til PAS6 var signifikant lavere enn 1 (IOM = $2,4 \cdot \text{PAS6}^{0,71}$, $r^2 = 0,80$, $n = 27$). Presisjonen til GSP and IOM var dårligere enn PAS6 og STK fordi forholdet GSP/PAS6 og IOM/PAS6 hadde 3-4 ganger høyere standard avvik enn STK/PAS6 ($p \ll 0,001$).

Rangeringen av de andre aerosolkassetten i denne undersøkelsen er i samsvar med tidligere laboratorietester i vindtunnel. Laboratorietester har vist at GSP har den beste tilpasningen til CEN/ISO konvensjonen for inhalerbart støv ved en lufthastighet på 0,5 m/s. Konvensjonen antar imidlertid at eksponeringen er uavhengig av vindretningen hvilket er usannsynlig ved arbeid i bakerier. Dessuten inhaleres en større andel av en aerosol ved lufthastigheter som er mer realistiske for inneluft (0,1-0,3 m/s) enn de som ble benyttet i laboratorietester.

Det beste estimatet for prøvetaking av inhalerbart støv i bakerier vil derfor mest sannsynlig ligge mellom GSP og PAS6. Av disse foretrekkes PAS6 fordi GSP har en større måleusikkerhet og fordi denne kassetten krever en kraftigere prøvetakingspumpe (3,5 l/min.).

Men fordi det er betydelig usikkerhet om kriterier for prøvetaking av inhalerbart støv er et valid alternativ å bruke de kassetten som ble brukt i undersøkelsene som danner grunnlaget for grenseverdi/normsetting. I Norge bør da PAS6 kassetten anvendes og i Sverige IOM kassetten. En konsekvens av et pragmatisk valg av prøvetakingskassett vil føre til at i gjennomsnitt ca 80% høyere eksponering for melstøv tillates i Norge enn i Sverige, selv om det er fastsatt tallmessig like kriterier for melstøv i de to landene.

7. Summary

Kruse K & Eduard W. *Sampling of inhalable flour dust*. Arbete och Hälsa, 2009;43(5)

In 2000 the Norwegian Labour Inspection Authority established an occupational exposure limit (OEL) for inhalable flour dust at 3 mg/m³. This is the first OEL in Norway to define inhalable dust instead of total dust. Because of inconsistencies between wind tunnel experiments and field studies a comparative study of aerosol samplers was performed in bakeries.

Four inhalable samplers (PAS6, IOM, GSP and Button) and a 25 mm standard aerosol cassette (StK) were included in the study. Initial results with the Button sampler showed that the holes in the screen became clogged and this cassette was therefore excluded. Personal measurements were carried out in pairs with PAS6 as reference in a large and a small bakery. The samplers were attached on each shoulder and their position interchanged between measurements. The sampling was done for approximately 1-1½ h. Dust was collected on 2 µm Teflon filters which were analysed by gravimetry.

SAC underestimated the exposure level compared to PAS6 ($STK = 0,67 \cdot PAS6^{0,95}$, $r^2 = 0.90$, $n = 25$). GSP estimated higher exposure levels than PAS6 ($GSP = 1,4 \cdot PAS6^{0,92}$, $r^2 = 0.87$, $n = 27$), while IOM estimated even higher dust levels especially for lower exposure levels as the power of PAS6 was significantly lower than 1 ($IOM = 2,4 \cdot PAS6^{0,71}$, $r^2 = 0.80$, $n = 27$). The precision of the GSP and IOM was probably inferior to PAS6 and SAC because the ratios GSP/PAS6 and IOM/PAS6 had 3-4 times higher standard deviations than SAC/PAS6 ($p < 0.001$).

The ranking of the other aerosol samplers was in agreement with earlier laboratory tests in wind tunnel. Laboratory tests have shown that the GSP sampler had the best fit to the inhalable CEN/ISO convention at an air velocity of 0.5 m/s. This convention assumes, however, that the exposure level is independent from the direction of the air stream. This assumption seems unrealistic for bakers who often have the dust source in front of them. Furthermore, a larger aerosol fraction is inhalable at air velocities that are more realistic for indoor air (0.1-0.3 m/s) than used in laboratory tests.

The best estimate for inhalable dust sampling in bakeries seems therefore to lie between the GSP and the PAS6. The larger variability of GSP measurements and its need for a more powerful sampling pump (3.5 l/min) favour the use of PAS6 for sampling of inhalable flour dust.

Because of considerable uncertainty about criteria for sampling of inhalable aerosol a valid alternative is to use those cassettes that were applied in key studies in the occupational exposure limit documentation. Then the PAS6 cassette should be used in Norway and the IOM cassette in Sweden. A consequence of a pragmatic choice of sampling cassette is, however, that an approximately 80 % higher flour dust exposure level would be accepted in Norway than in Sweden even though the occupational exposure limit values are the same in the two countries.

8. Referanser

- Aitken RJ, Baldwin PEJ, Beaumont GC, Kenny LC & Maynardt AD (1999) Aerosol inhalability in low air movement environments. *Journal of Aerosol Science*, 30:613-626.
- Arbeidstilsynet (2009) Veiledning om administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære. Nettside (sist besøkt januar 2009). <http://www.arbeidstilsynet.no/c28864/artikkel/vis.html?tid=28880>
- Arbetsmiljöverket (2009) Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar. Nettside (sist besøkt mars 2009). http://www.av.se/dokument/afs/AFS2005_17.pdf.
- Brisman J, Järvholm B & Lillienberg L (2000) Exposure-response relations for self reported asthma and rhinitis in bakers. *Occupational and Environmental Medicine*, 57:335-340.
- Burdorf A, Lillienberg L & Brisman J (1994) Characterization of exposure to inhalable flour dust in Swedish bakeries. *Annals of Occupational Hygiene*, 38:67-78.
- CEN (1993) *Workplace atmospheres. Size fractions definition procedures for measurement of airborne particles*. EN481. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN).
- Harper, M & Muller BS (2002) An evaluation of total and inhalable samplers for the collection of wood dust in three wood products industries. *Journal of Environmental Monitoring*, 4:648-656.
- Houba R (1996) Occupational respiratory allergy in bakery workers, Relationships with wheat and fungal α -amylase aeroallergen exposure. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University. Wageningen.
- Houba R Heederik D & Doekes G (1998) Wheat sensitization and work-related symptoms in the baking industry are preventable. An epidemiologic study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 158:1499-1503.
- ISO (1992) *Air quality - Particle size definitions for health-related sampling*. ISO/DIS 7708. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO).
- Kenny LC & Ogden TL (1996) Developments in Workplace Aerosol Sampling. *Analyst* 121:1233-1239.
- Kenny LC, Aitken R, Chalmers C, Fabriès JF, Gonzalez-Fernandez E, Kromhout H, Lidén G, Mark D, Riediger G & Prodi V (1997) A Collaborative European Study of Personal Inhalable Aerosol Sampler Performance. *Annals of Occupational Hygiene* 41:135-153.
- Kromhout H (1997) Vergelijkend veldonderzoek van IOM en PAS-6 stofmonsterneemer. [Field comparison of IOM and PAS6 duat sampler]. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap* 10 (nr. 1):2.
- Lidén G; Melin B; Lidblom A; Lindberg K; & Noren J-O (2000) Personal sampling in parallel with open-face filter cassettes and IOM samplers for inhalable dust; implications for occupational exposure limits. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 15:263-276.
- Lidén G & Harper M (2006) Analytical performance criteria. The need for an international sampling convention for inhalable dust in calm air. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3:D94-D101.
- Notø H, Halgard K, Daae HL, Bentsen RK & Eduard W (1996) Comparative Study of an Inhalable and a Total Dust Sampler for Personal Sampling of Dust and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gas and Particulate Phase. *Analyst* 121:1191-1196.
- NSF (2002) Arbeidsplassluft; Vurdering av utførelsen til instrumenter for måling av konsentrasjonene til luftbårne partikler. NS-EN 13205. Oslo, Norway: Norges Standardiseringsforbund (NSF).
- Storaas T (2008) Bakers' rhinitis. Doctoral thesis, University of Bergen.
- Vincent JH (1995) *Aerosol science for industrial hygienists*. Minneapolis, USA: Elsevier.

- Vincent JH (1989) *Aerosol sampling: Science and practice*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Werner M.A, Spear TM & Vincent JH (1996) Investigation into the impact of introducing workplace aerosol standards based on the inhalable fraction. *Analyst* 121:1207-1214.
- Witschge O, Grinshpun SA, Fauvel S & Basso G (2004) Performance of personal inhalable aerosol samplers in very slowly moving air when facing the aerosol source. *Annals of Occupational Hygiene* 48:351–368.

Senaste utgåvorna i vetenskapliga skriftserien ARBETE OCH HÄLSA

2006:8. M Ludvigsson, T Svensson och K Alexanderson. Begreppet arbetsförmåga – en litteraturgenomgång.

2006:9. J Montelius (red) Vetenskapligt underlag för hygieniska gränsvärden. 27

2006:10. M C Nelson (Ed) Occupational Health and Public Health. Lessons from the Past – Challenges for the Future.

2006:11. J Montelius (Ed) Scientific Basis for Swedish Occupational Standards. XXVII

2006:12. M Barnekow Bergkvist. Arbetslivsinstitutets expertgrupp för ergonomisk dokumentation - Dokument 5. Kan fysisk träning i arbetslivet förbättra muskuloskeletal hälsa? En kunskapsöversikt.

2006:13. A Korpi, J Järnberg and A-L Pasanen. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals 138. Microbial volatile organic compounds (MVOCs).

2006:14. M Oudhuis och A Olsson. Spelar värderingar någon roll för arbetsmiljön? En studie om konsekvenser vid övergång till utländskt ägande och vid generationsskiften i företag.

2006:15. A Hedlund och B Pontén. Införande av systematiskt arbetsmiljöarbete på träföretag – utvärdering av en metod, dess resultat och påverkan på arbetets attraktivitet.

2006:16 K Håkansson och T Isidorsson. Arbetsmiljöarbete och långsiktigt hållbara arbetsorganisationer. Ett delprojekt inom Arbetslivsinstitutets tema Strategier, metoder och arbetssätt för fungerande arbetsmiljöarbete SMARTA.

2006:17. J Eklund, B Hansson, L Karlqvist, L Lindbeck och W P Neumann. Arbetsmiljöarbete och effekter – en kunskapsöversikt.

2006:18. L Rose och U Orrenius. Arbetslivsinstitutets expertgrupp för ergonomisk dokumentation - Dokument 6. Beräkning av arbetsmiljöns ekonomiska effekter på företag och organisationer. En översikt av ett urval modeller och metoder.

2006:19. C Stenlund och M Torgén. Arbetsledare i processindustrin. Arbetsuppgifter, förutsättningar, psykosocial arbetsmiljö och självskattad hälsa.

2006:20. I-M Andersson, J Laring, M Åteg och G Rosén. Arbetsmiljöfrågans väg. Samverkan mellan kundföretag och företagshälsovård.

2006:21. W Eduard. Fungal spores The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals 139.

2006:22. M Björkman, I Carlsson. Känsla av sammanhang på arbetet. Vilka faktorer på arbetsplatsen och hos individen främjar arbets-terapeuters upplevelse av ett meningsfullt arbete?

2007;41:1. A Lindegård Andersson. Working technique during computerwork. Associations with biomechanical and psychological strain, neck and upper extremity musculoskeletal symptoms.

2008;42:1. P Westerholm (red.) Psykisk arbets-skada

2008;42:2. G Johanson, M Rauma. Basis for skin notation. Part 1. Dermal penetration data for substances on the Swedish OEL list.

2008;42:3. J Montelius (Ed.) Vetenskapligt Underlag för Hygieniska Gränsvärden 28. Kriteriegruppen för hygieniska gränsvärden.

2008;42:4. P Wiebert. The impact of airway-irritating exposure and wet work on subjects with allergy or other sensitivity - epidemiology and mechanisms

2008;42:5. E Månsson. Att skapa en känsla av sammanhang -om resultatet av hälsofrämjande strategier bland lärare.

2008;42:6. J Montelius (Ed.) Scientific Basis for Swedish Occupational Standards. XXVIII

2008;42:7. B Melin Experimentell och epidemiologisk forskning –relationen psykosocial exponering, stress, psykisk belastning, muskelaktivitet och värk i nacke-skuldra.

2009;43(1) J Montelius (Ed.) Vetenskapligt Underlag för Hygieniska Gränsvärden 29. Kriteriegruppen för hygieniska gränsvärden.

2009;43(2) J Weiner. Könsskillnader i ersättning vid arbetsskador? – en 10- årsuppföljning av arbetsskador 1994.

2009;43(3) G Aronsson, K Gustafsson och C Mellner. Samband mellan sjuknärvaro, sjukfrånvaro och självskattad hälsa i den yrkesaktiva befolkningen.

2009;43(4) J Montelius (Ed.) Scientific Basis for Swedish Occupational Standards XXIX. Swedish criteria Group for Occupational Standards

2009;43(5) Kristian Kruse och Wijnand Eduard Prøvetaking av inhalerbart melstøv.