

Inhaleerbaar-stofmonsternemers getest

Resultaten van CEN-studie beschikbaar

H. Kromhout¹

Summary

A project within the framework of the EU programme 'Measurement and Testing' was carried out by a working group of Comité Européen de Normalisation (CEN) with the aim to examine the experimental, statistical and mathematical protocols laid down in the pre-standard for the performance of instruments used for workplace aerosol sampling. This pre-standard followed the adoption of new international sampling conventions for inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions (EN 481). The aim of the project was met by working through the tests protocols in a wind-tunnel experiment with eight types of personal inhalable aerosol samplers commonly used for workplace monitoring throughout Europe, among which the frequently in The Netherlands used PAS-6 and IOM samplers. The results of this project have led to recommendations for revising the CEN pre-standard, in order to simplify the test protocols and reduce their cost. The sampler performance data obtained in this project were affected by large experimental errors, but showed that most of the samplers (including the PAS-6 and IOM sampler) met the requirements in indoor situations. More research comparing the samplers under real-life conditions is however badly needed.

Inleiding

Elke arbeidshygiënist kent de problemen die verbonden zijn met het doen van gezondheidsrelevante aerosolmetingen. De verscheidenheid aan stofmonsternemers is groot en de verschillen in uitvoering, aanzuigsnelheid, dimensies, e.d. zullen/garant staan voor aanzienlijke verschillen in afvangstkaracteristieken en dientengevolge in gemeten concentraties. In 1993 zijn door de CEN en de ISO nieuwe conventies vastgesteld voor het meten van gezondheidsrelevante stoffracties (EN 481, Workplace atmospheres – Size fraction definitions for measurement of airborne particles). Deze conventies gelden voor respectievelijk inhaleerbaar, thoracaal en respirabel stof (aërosol). Een werkgroep van de CEN houdt zich bezig met het standaardiseren van aerosol meetapparatuur en protocollen om deze apparatuur te testen alvorens ze op de markt kunnen worden toegelaten. Recent zijn de resultaten van een Europese studie naar de haalbaarheid van het protocol 'Aërosol Sampler Performance standard' (CEN 1993) beschikbaar gekomen nadat de laatste vergadering van het project zomer 1995 plaatsvond. De 'Aerosol Sampler Performance Standard' is een ontwerp-standaard die ontwikkeld is in aanvulling op de nieuwe definities voor gezondheidsrelevante verdelingen van de deeltjesgrootte van door de lucht verspreide stofdeeltjes (EN 481). Het project heeft zich gericht op het opsporen van mogelijke problemen met de experimentele, mathematische en statistische procedures, zoals vastgelegd in de ontwerp-standaard en op het zo mogelijk aanbrengen van verbeteringen en vereenvoudigingen in het protocol. Dit doel is verwezenlijkt door het toepassen van het protocol op een

Samenvatting

Een werkgroep van het Comité Européen de Normalisation (CEN) heeft de experimentele, statistische en mathematische protocollen geëvalueerd die zijn vastgelegd in de pre-standaard voor stofmonsternemers voor respirabel stof (EN 481). Acht veelgebruikte typen zijn in een windtunnelexperiment getest. Hieronder bevinden zich de in Nederland veelgebruikte PAS-6 en IOM stofmonsternemers. Hoewel de testresultaten een grote foutenmarge vertonen, kan toch worden gezegd dat de meeste monsternemers, waaronder de PAS-6 en de IOM, in binnenklimaat situaties aan de pre-standaard voldoen. De resultaten van het onderzoek hebben wel geleid tot aanbevelingen om de CEN-pre-standaard te herzien, teneinde de testprotocollen eenvoudiger en goedkoper te maken. Nader onderzoek van de monsternemers in dagelijkse praktijksituaties is echter dringend gewenst.

Trefwoorden: stofmeten, inhaleerbaar stofmonsternemers, PAS-6, IOM, standaardisatie.

groot aantal in Europa gebruikte monsternemers voor inhaleerbaar stof. In tabel 1 staan deze vermeld. Hiermee werd indirect een tweede doelstelling gerealiseerd: het classificeren van de meest gangbare Europese inhaleerbaar-stofmonsternemers. Gezien de grote belangen van zowel producenten van deze instrumenten als onderzoekers in Europa en daarbuiten is de interesse van de buitenwacht vooral gericht geweest op dit afgeleide doel. Ook eerdere publikaties in Arbeidsomstandigheden (Jongeneelen, 1993; Kromhout & Boleij, 1993), in de Nieuwsbrief van de NVVA (Verboeket & Scheffers, 1995) en talloze telefoontjes naar de vakgroep Luchtkwaliteit van de Landbouwniversiteit bevestigden dit. Arbeidshygiënist, producenten en leveranciers van stofmonsternemers zijn blijkbaar zeer geïnteresseerd in welke stofmonsterner het beste de inhaleerbaar-stofconcentratie kwantificeert. In dit artikel zullen de voornaamste resultaten kort worden besproken. Voor een uitgebreide bespreking kan men terecht in het CEN-rapport en binnenkort te verschijnen wetenschappelijke publikaties (CEN, 1996; Kenny et al., 1996).

Resultaten test-protocollen

Het project heeft op een succesvolle manier de sterke en zwakke punten van de testprotocollen geïdentificeerd. Dit heeft geresulteerd in een aantal aanbevelingen voor de herziening van de ontwerp-standaard. De voornaamste aanbeveling is de procedures te versimpelen en de omvang van de testen te beperken, hetgeen zou kunnen resulteren in een beperkter toepassingsgebied van de standaard. De gebruikers van de standaard (producenten van stofmonsternemers) moeten dan ook op de hoogte zijn van de beperkingen van de test-protocollen. De ontwikkeling van verkorte en gevalideerde protocollen viel echter buiten dit project.

1. Vakgroep Luchtkwaliteit, Landbouwniversiteit Wageningen, Postbus 8129, 6700 EV Wageningen, tel.: 0317-484147, fax: 0317-485093.

Tabel 1. Overzicht stofmonsternemers

| Stofmonsternemer (producent) | Land | Kenmerken | Referentie |
|-------------------------------|------|---|-------------------------------|
| IOM (SKC) | UK | 2 l/min, 15 mm opening, naar voren gericht, 25 mm filter in cassette op 15 mm van de opening, alle deeltjes in de cassette worden gewogen | Mark & Vincent, 1986 |
| Seven-hole (Casella) | UK | 2 l/min, 7 openingen van 4 mm, naar voren gericht, 25 mm filter op 10 mm van de openingen, alleen deeltjes op het filter worden gewogen | Mark, 1990 |
| GSP (Ströhlein) | DE | 3,5 l/min, 8 mm conische opening, naar voren gericht, 37 mm filter in cassette op 30 mm van de opening, alleen deeltjes op het filter worden gewogen | Siekmann <i>et al.</i> , 1988 |
| PAS-6 (LUW) | NL | 2 l/min, 6 mm conische opening, naar beneden gericht, 25 mm filter op 20 mm van de opening, alleen deeltjes op het filter worden gewogen | ter Kuile, 1984 |
| PERSPEC (Lavoro e Ambiente) | IT | 2 l/min, hoefijzerachtige opening, naar voren gericht, 47 of 50 mm filter, deeltjes op het filter en in de tuit worden gewogen | Prodi <i>et al.</i> , 1988 |
| CIP-10 (Arelco) | FR | 10 l/min, naar boven gerichte opening, stof wordt verzameld in een foam in een bekertje, die gewogen wordt, eventueel kunnen verliezen in de tuit worden meegenomen | Gero & Tomb, 1988 |
| Open-face 37 mm (Millipore) | ES | 2 l/min, 35 mm opening, naar beneden gericht, 37 mm filter op 10 mm van de opening, alleen deeltjes op het filter worden gewogen | Buchan <i>et al.</i> , 1986 |
| Closed-face 37 mm (Millipore) | SE | 2 l/min, 4 mm opening, naar beneden gericht, 37 mm filter op 10 mm van de opening, alleen deeltjes op het filter worden gewogen | Buchan <i>et al.</i> , 1986 |

De resultaten van de 'performance' van de persoonlijke inhaalbaar stofmonsternemers werden sterk beïnvloed door grote experimentele fouten in het testsysteem (windtunnel), maar de verwachting is dat de resultaten zeker zullen bijdragen aan beslissingen over de manier waarop de nieuwe inhaalbaar-stof conventie in de Europese regelgeving en arbeidshygiënische praktijk ten uitvoer zal worden gebracht.

De voornaamste positieve bevinding met de windtunnel was dat het lukte een uniform windsnelheidsprofiel te genereren. Ook bleek het mogelijk aerosolen met een goede deeltjesgrootteverdeling te creëren, met uitzondering van de allerkleinste deeltjes waar agglomeratie optrad. Ook bleken de aluminiumoxide poeders, behalve de allerfijnste, geschikt te zijn voor de testen tot en met een diameter van 100 µm. Een nieuwe berekeningsmethode werd ontwikkeld om de referentie aerosol-concentratie te schatten. Deze nieuwe gedocumenteerde methode zal op grote schaal in andere windtunnelexperimenten toegepast kunnen worden. Aan de negatieve kant moet worden gemeld dat het zeer moeilijk bleek om een aerosol met een acceptabele homogeniteit en stabiliteit te genereren in de gebruikte grote windtunnel.

Waarschijnlijk is het eenvoudiger een homogeen en stabiel aerosol te creëren in kleinere windtunnels, maar door het gebruik van een mannikin zal altijd een redelijke omvang noodzakelijk zijn. Ook bleek het roteren en het ademen van de mannikin van invloed zijn op de performance.

Een aantal factoren waarvan men dacht dat ze van invloed zouden zijn op de performance bleek nauwelijks van betekenis te zijn gegeven de experimentele fouten. Variatie tussen individuele exemplaren van de verschillende stofmonsternemers kon niet worden aangetoond en bij lage windsnelheden bleek de positie van de monsternemer op de mannikin niet van invloed te zijn op het vangstrendement. De windsnelheid daarentegen bleek van zeer grote invloed op het vangstrendement te zijn en de uitkomst van een evaluatie van een (nieuwe) stofmonsternemer zal dan ook sterk afhankelijk zijn van de gekozen experimentele windsnelheid. Dit zal voor de verschillende toepassingen (binnen/buiten) in de standaard gepreciseerd moeten worden. Het project leerde tevens dat de voorgestelde classificatie van stofmonsternemers niet hanteerbaar is gegeven de grote onzekerheden in de laboratoriumexperimenten (windtunnel).

Vergelijking stofmonsternemers

Gerealiseerd dient te worden dat de windtunnelcondities niet per se vergelijkbaar hoeven te zijn met de omstandigheden op de werkplek. Zo waren de experimenten beperkt tot goed gemengde aerosolen, met afmetingen tussen de 6 en 100 µm en bij windsnelheden van 0,5 tot 4 m/s. Op werkplekken zullen vaak grotere deeltjes voorkomen, kunnen lokale bronnen aanwezig zijn en binnen zullen de windsnelheden meestal lager zijn dan 0,5 m/s.

Een aantal van de stofmonsternemers (CIP-10, PERSPEC) ►

liet grote verliezen aan verzameld materiaal zien tussen de aanzuigopening en het filter, die potentieel voorkomen kunnen worden door speciale behandelingsprocedures. Gebruikers van deze stofmonsternemers zullen precies op de hoogte moeten worden gesteld van deze procedures voor een correcte toepassing van deze stofmonsternemers in het veld.

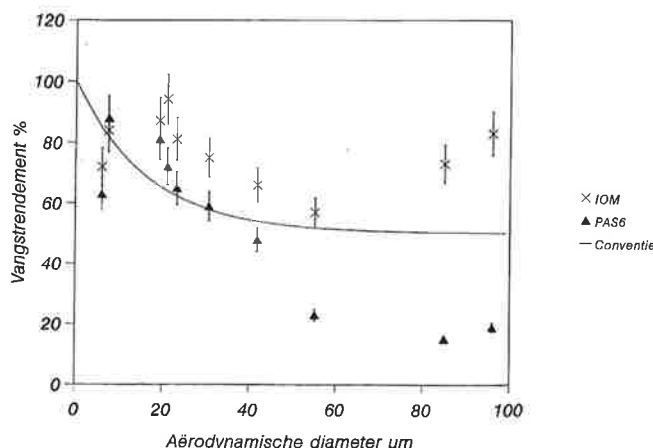
De precisie van de stofmonsternemers was in het algemeen goed te noemen (2-4%). In tabel 2 staan de stofmonsternemers gerangschikt naar mate van precisie bij verschillende windsnelheden. De PAS-6 blijkt uit deze vergelijking een grotere precisie te hebben dan de IOM. Verder blijkt dat de Seven-hole stofmonsternemer de minste precisie heeft.

Tabel 2. Stofmonsternemers gerangschikt naar aflopende mate van precisie

| 0.5 m/s | 1.0 m/s | 4.0 m/s |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| GSP | GSP | PERSPEC |
| PAS-6 | PAS-6 | GSP |
| PERSPEC | CIP10-1 | Closed-face 37 mm |
| Open-face 37 mm | Open-face 37 mm | PAS-6 |
| CIP10-1 | Closed-face 37 mm | IOM |
| IOM | PERSPEC | Seven hole |
| Closed-face 37 mm | IOM | CIP10-1 |
| Seven hole | Seven hole | Open-face 37 mm |

In figuur 1 is het vangstrendement voor de in Nederland meest gebruikte stofmonsternemers (PAS-6 en IOM) bij de voor de arbeidshygiëne meest relevante windsnelheid van 0,5 m/s weergegeven. De afvangstkaracteristiek van de PAS-6 blijkt in het gebied van deeltjes tussen de 5 en 40 µm dichter bij de conventie voor inhaleerbaar-stof te liggen dan de IOM, die in deze range duidelijk meer verzamelt dan volgens de conventie. De PAS-6 blijkt in deze windtunnelproeven grotere deeltjes (>50 µm) minder efficiënt te vangen. Dit was reeds eerder geconcludeerd uit windtunnelproeven uitgevoerd bij de Vakgroep Luchtkwaliteit (Boleij *et al.*, 1987). De IOM vertoonde in dit gebied het omgekeerde effect, wat naar alle waarschijnlijkheid terug te voeren is op impactie van grotere deeltjes op de cassette en het filter gegeven de naar voren gerichte aanzuigopening. Verder bleek voor alle stofmonsternemers het vangstrendement af te nemen met toenemende windsnelheid. Ten gevolge van de relatief grote experimentele onzekerheden heeft het vastgestelde vangstrendement een groot betrouwbaarheidsinterval voor elk van de onderzochte

Figuur 1. Gemiddelde vangstrendement voor de PAS-6 en IOM stofmonsternemers bij een windsnelheid van 0.5 m/s



Tabel 3. correctiefactoren bij twee windsnelheden noodzakelijk om een voldoende performance voor de verschillende stofmonsternemers te krijgen

| Monsternemer | Correctiefactor 0.5 m/s | Correctiefactor 1.0 m/s |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| GSP | 1.0 | 1.0 |
| PAS-6 | 1.0 | 1.25 |
| Seven hole | 1.0 | 1.2 |
| PERSPEC | 1.0 | - |
| Closed-face 37 mm | 1.0 | 1.2 |
| IOM | 0.9 | 1.0 |
| CIP10-1 | 1.1 | 1.15 |
| Open-face 37 mm | 1.15 | 1.15 |

stofmonsternemers, hetgeen leidt tot onzekerheid in de geschatte afwijking van de inhaleerbaar stof conventie (bias).

Voor elk van de monsternemers zijn op basis van het vastgestelde vangstrendement voor de onderzochte deeltjesdiameters zogenaamde bias- en nauwkeurigheds- (accuracy) plaatjes gemaakt voor de drie onderzochte windsnelheden. Dit is gedaan voor series aërosol deeltjesgrootteverdelingen met mediane aërodynamische diameters tussen de 1 en 25 µm en geometrische standaarddeviaties tussen de 1,5 en 3,5. Berekeningen in deze range leiden niet tot extrapolaties van het vangstrendement voor deeltjes groter dan 100 µm. Berekeningen zijn vervolgens uitgevoerd om te komen tot correctiefactoren voor de gemeten concentraties, die de bias verkleinen en de nauwkeurigheid vergroten. In tabel 3 staan de resultaten samengevat. Het blijkt dat bij lage windsnelheden vijf van de acht geteste stofmonsternemers de inhaleerbare fractie monstert zonder dat correcties nodig zijn. De IOM monstert onder deze omstandigheden teveel, maar gezien het feit dat dit volgens de wetgeving geoorloofd is, zou deze stofmonsternemer toch zonder correctie kunnen worden toegepast. Wanneer alleen het filter in de IOM-cassette wordt gewogen, is correctie niet nodig. Bij de hogere windsnelheid van 1 m/s monstert alleen de GSP en de IOM naar behoren. De andere stofmonsternemers beginnen onder deze condities te weinig te monstren en correctiefactoren tussen 1,15 en 1,25 moeten dan worden toegepast. Bij een windsnelheid van 4 m/s waren de resultaten voor alle stofmonsternemers zo onbevredigend, dat zelfs geen geschikte correctiefactoren konden worden afgeleid. De in de ontwerp-standaard voorgestelde classificatie in vijf klassen was niet haalbaar gegeven de grote onzekerheden in de windtunnelproeven. Van een dergelijke indeling van de acht onderzochte stofmonsternemers werd dan ook afgezien.

Tenslotte

Het onderzoek heeft waardevolle gegevens opgeleverd die zeker aanleiding zullen geven tot bijstelling van de ontwerp-standaard. De vergelijking van de verschillende monsternemers heeft eveneens waardevolle informatie opgeleverd, maar niet het definitieve antwoord op de vraag welke van deze inhaleerbaar-stofmonsternemers de beste is. Vergelijkingen in het veld (vooral stationaire metingen) laten bijvoorbeeld veel grotere verschillen zien tussen de monsternemers dan op grond van deze windtunnelproeven verwacht zou worden. In eerder genoemde lokale bronnen, niet homogene deeltjesgrootteverdelingen en lagere windsnelheden dan 0.5 m/s op de werkplek moet de verklaring worden gezocht. Aanvullend onderzoek in de praktijksituatie is dan ook zeer gewenst. Een belangrijk resultaat is de relatief goede performance van de in Nederland ontwikkel-

de en veelvuldig toegepaste PAS-6 monsternemer. De in de windtunnelexperimenten vastgestelde precisie en afvangstkaracteristiek bij lage windsnelheid maken deze stofmonsternemer tot een geschikte keuze voor het meten van inhaleerbaar-stof in de arbeidshygiënische praktijk. De suggestie dat vervanging van de PAS-6 door bijvoorbeeld de recentere ontwikkelde IOM monsternemer noodzakelijk zou zijn, wordt op grond van dit onderzoek niet gerechtvaardigd (Jongeneelen, 1993; Verboeket & Scheffers, 1995). Andersom lijkt het niet zinvol de IOM monsternemer te vervangen door de PAS-6. Wel is het noodzakelijk bij het monsternen van inhaleerbaar-stof voortaan de op de werkplek heersende windsnelheid te meten.

Literatuur

- Boleij, J.S.M., D. Heederik, H. Kromhout, 1987. Karakterisering van blootstelling aan chemische stoffen in de werkomgeving. Pudoc, Wageningen.
- CEN, 1993. EN 481: Workplace atmospheres. Size fraction definitions for measurement of airborne particles.
- CEN, 1993. Draft prestandard: Air quality - Assessment of performance of instruments used for health-related sampling of particles at workplaces. CEN/TC137/WG3/N100.
- CEN, 1996. Pilot study of CEN protocols for the performance testing of workplace aerosol sampling instruments. In press.
- Buchan, R.M., S.C. Soderholm & M.I. Tillery, 1986. Aerosol sampling efficiency of 37-mm filter cassettes. American Industrial Hygiene Association Journal 47: 825-831.
- Gero, A. & T. Tomb, 1988. Laboratory evaluation of the CIP 10 personal dust sampler. American Industrial Hygiene Association Journal 49: 286-292.
- Jongeneelen, F., 1993. Nieuwe richtlijnen voor stofmetingen op de werkplek. Arbeidsomstandigheden 69.
- Kenny, L.C., R. Aitken, C. Chalmers, J.F. Fabriès, E. Gonzalez-Fernandez, H. Kromhout, G. Lidén, D. Mark, G. Riediger, V. Prodi, 1996. Outcome of a collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance. Accepted by The Annals of Occupational Hygiene.
- Kromhout, H. & J.S.M. Boleij, 1993. Voorbarige conclusies over richtlijnen voor stofmetingen? Arbeidsomstandigheden 69: 681-682.
- Kuile, W.M. ter, 1984. Vergleichsmessungen mit verschiedenen Geräten zur Bestimmung der Gesamtstaubkonzentration am Arbeitsplatz: Teil II. Staub-Reinhaltung der Luft 44: 211-216.
- Mark, D. & J.H. Vincent, 1986. A new personal sampler for airborne total dust in workplaces. The Annals of Occupational Hygiene 30: 89-102.
- Mark, D., 1990. The use of dust-collecting cassettes in dust samplers. The Annals of Occupational Hygiene 34: 281-291.
- Prodi, V., f. Belosi, A. Mularoni & P. Lucialli, 1988. PERSPEC: a personal sampler with size characterization capabilities. American Industrial Hygiene Association Journal 49: 75-80.
- Siekmann, H., H. Blome & W. Heisig, 1988. Probenahmesysteme: Spezielle Anforderungen und Entwicklungstendenzen. Staub - Reinhaltung der Luft 48: 89-94.
- Verboeket, M. & T. Scheffers, 1995. Hoe moeten we nu eigenlijk stof meten? Nieuwsbrief van de NVVA 6: juni 1995. ■