

# Blootstelling aan respirabele minerale vezels tijdens het aanbrengen en verwijderen van isolatiemateriaal

Jan-Paul Zock<sup>1</sup>, Saskia van de Rijt<sup>1</sup>, Bram Woltjer<sup>1</sup>, Mieke Lumens<sup>1</sup>, Ton Spee<sup>2</sup>

## Samenvatting

Glaswol en steenwol wordt in Nederland veelvuldig toegepast als isolatiemateriaal in de bouw en in de industrie. Doelstelling van dit onderzoek was het bepalen van de blootstelling aan respirabele vezels tijdens het werken met deze materialen. Tijdens het aanbrengen van isolatiemateriaal lag de blootstelling steeds onder de 0,25 vezels/cm<sup>3</sup>; ruim beneden de MAC-waarde van 2 vezels/cm<sup>3</sup>. Ook tijdens het verwijderen van glaswol of steenwol in de bouw lag de blootstelling in deze orde van grootte, echter tijdens de volledige sloop van een woning werd incidenteel een concentratie boven 1 vezel/cm<sup>3</sup> gevonden. De blootstelling tijdens het verwijderen van isolatiemateriaal in de industrie lag gemiddeld enkele malen hoger, maar steeds onder de 2 vezels/cm<sup>3</sup>. De hogere temperaturen waaraan het isolatiemateriaal daar heeft blootgestaan leiden waarschijnlijk tot meer stofvorming en daarmee tot een hogere blootstelling. Daarnaast spelen de ruwe werkmethoden tijdens het verwijderen ook een rol. We concluderen dat de blootstelling aan respirabele vezels tijdens het aanbrengen van glaswol en steenwol in Nederland in de meeste gevallen goed beheerst lijkt. Er is echter wel behoefte aan werkschriften voor het verwijderen van isolatiemateriaal.

## Summary

## Inleiding

In de Nederlandse bouwnijverheid wordt op grote schaal isolatiemateriaal toegepast. Het grootste deel van het isolatiemateriaal bestaat uit glaswol en steenwol. Deze producten bevatten minerale vezels, bindmiddelen, oliën en andere additieven. De vezels vallen onder de verzamelnaam Man-Made Mineral Fibres (MMMMF), waartoe ook onder meer keramische vezels behoren. Behalve in de woning- en utiliteitsbouw wordt ook in de industrie op grote schaal gebruik gemaakt van minerale vezels voor warmte-isolatie. Voor ovens en andere toepassingen waar temperaturen boven de 800 °C voorkomen, wordt veelal gebruik gemaakt van keramische vezels. Voor het isoleren van leidingen en vaten wordt glaswol of steenwol gebruikt. In tegenstelling tot de bouw, moet in de industrie dit isolatiemateriaal geregeld worden vervangen. Minerale vezels staan arbeidshygiënisch vooral in de belangstelling door de irriterende werking op de huid. De mate van huidirritatie hangt naast de concentratie vezels ook af van de fysische eigenschappen van de vezels [Petersen & Sabroe, 1991]. Naast de toenemende aandacht voor huideffecten is er een internationale discussie gaande over de schadelijkheid van minerale vezels na inademing [de Vuyst, 1995]. Hoewel effecten

Glass wool and rock wool are frequently applied for insulation purposes in both construction and industrial sites. In this study exposure levels to respirable fibres during application of these materials were determined. Exposure levels during installation of insulation materials ranged up to 0.25 fibres per cm<sup>3</sup>; well below the Dutch occupational exposure standard of 2 fibres/cm<sup>3</sup>. Exposure levels during removal of glass wool and rock wool in construction sites were similar as during installation, but incidentally exposure exceeded 1 fibre/cm<sup>3</sup> during demolition of a dwelling.

Exposure levels during removal of industrial insulation were on average several times higher, but still below 2 fibres/cm<sup>3</sup>. In the latter case, the materials have been exposed to high temperatures, which results in more dust release and a higher exposure. In addition, rougher work practice during removal will play a part as well. We conclude that in general exposure to respirable fibres during installation of glass wool and rock wool in The Netherlands seems to be adequately controlled. However, there is need for work practice guidelines for removal of insulation.

*in vivo* alleen bij proefdieren kunnen worden vastgesteld, geldt ook hier dat het effect afhangt van zowel de concentratie als van de fysische eigenschappen van de vezels. De afmetingen bepalen in hoeverre de vezels respirabel zijn, en daarmee hoever ze in de longen kunnen doordringen. Daarnaast wordt verondersteld dat beter oplosbare vezels een kortere verblijftijd in de long hebben en daardoor in principe minder schadelijk zijn [Searl, 1994].

In augustus 1994 is een convenant gesloten tussen vakbonden, ondernemers in het thermisch isolatiebedrijf en producenten en importeurs van glaswol en steenwol over het veilig werken met glaswol en steenwol. Daarbij zijn afspraken gemaakt voor de vaststelling van een lagere grenswaarde voor respirabele vezels, namelijk om deze terug te brengen van vijf naar twee respirabele vezels per cm<sup>3</sup> lucht. Technische ontwikkelingen maken een verlaging van de grenswaarde mogelijk. De producenten van glaswol en steenwol hebben op basis daarvan toegezegd de stofafgifte van hun materiaal met 20 procent te beperken, en in de komende jaren te streven naar een verdere reductie met nog eens 30 procent. Per 1 februari 1997 is de MAC-waarde voor vezels van glaswol en steenwol vastgesteld op 2 vezels/cm<sup>3</sup>. Dit type vezels wordt in Nederland als niet-carcinogeen geclassificeerd.

In het kader van het genoemde convenant bestond behoefte aan actuele gegevens over blootstelling aan minerale vezels tijdens werkzaamheden met glas- en steenwolhoudende producten in Nederland. Deze werkzaamheden kunnen zowel het aanbrengen als het verwijderen van isolatiemateriaal omvatten. In buiten-

<sup>1</sup> Leerstoelgroep Gezondheidsleer, Landbouwuniversiteit Wageningen

<sup>2</sup> Stichting Arbouw, Amsterdam

Correspondentie: dr. ir. M.E.G.L. Lumens, Leerstoelgroep Gezondheidsleer, Landbouwuniversiteit, Postbus 238, 6700 AE Wageningen, tel. (0317) 48 20 80, fax: (0317) 48 52 78

Werktaak	Vorm isolatie	Type isolatie	N <sub>glaswol</sub> *	N <sub>steenwol</sub> *	Concentratie**
Aanbrengen	Platen	Dak	2	2	0,01-0,23
Aanbrengen	Dekens	Dak	1	-	0,05
Aanbrengen	Dekens	Plafond	-	1	0,16
Aanbrengen	Platen	Scheidingswand	-	2	0,07-0,18
Aanbrengen	Dekens	Scheidingswand	7	-	0,01-0,09
Aanbrengen	Platen	Spouwmuur	5	6	0,01-0,11
Aanbrengen	Losse wol	Spouwmuur	1	1	0,04-0,19
Verwijderen	Platen	Dak	4	-	0,01-1,26
Verwijderen	Dekens	Dak	-	3	0,04-0,14
Verwijderen	Platen	Scheidingswand	3	-	0,01-0,05
Verwijderen	Dekens	Spouwmuur	3	-	0,06-0,15
Verwijderen	Platen	Gevelrand	2	2	0,02-0,36
Verwijderen	Dekens	Gevelrand	3	-	0,02-0,05

\* Aantal metingen  
\*\* Bereik; in vezels/cm<sup>3</sup>

Tabel 1. Overzicht van de 48 metingen in de bouwrijverheid.

landse literatuur waren wel blootstellingsgegevens bekend betreffende het aanbrengen van nieuw isolatiemateriaal, maar zover ons bekend geen gegevens betreffende het verwijderen van oud materiaal. Doelstelling van dit onderzoek was de blootstelling aan respirabele vezels bij diverse werkzaamheden met isolatiemateriaal van glaswol en steenwol te bepalen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen aanbrengen en verwijderen, zowel in de bouw als in de industrie. Aan de hand van de resultaten van deze metingen is prioriteit voor ontwikkeling van nieuwe werkmethode vastgesteld.

#### Methoden

##### Keuze van de meetlocaties

Door twee grote producenten van minerale wol zijn lopende bouwprojecten aangedragen, waar metingen konden worden uitgevoerd. Dit betrof nieuwbouw- en renovatieprojecten waar nieuw isolatiemateriaal werd aangebracht, of een combinatie van het verwijderen van oud materiaal en het aanbrengen van nieuw materiaal. Voor locaties in de bouw waar isolatiemateriaal alleen werd verwijderd, is contact opgenomen met een aantal sloopbedrijven. Projecten in de industrie zijn aangedragen door de Nederlandse Vereniging van Ondernemers in het Thermisch Isolatiebedrijf (VIB). Hier werd nieuw isolatiemateriaal aangebracht, of oud materiaal verwijderd in verband met onderhoud. Het totaal aan meetlocaties werd representatief geacht voor projecten in Nederland waar met glaswol en/of steenwol als isolatiemateriaal wordt gewerkt.

##### Meetstrategie

Op de locaties zijn persoonlijke metingen naar respirabele vezels uitgevoerd tijdens werkzaamheden met het isolatiemateriaal. De metingen in de bouw waren in principe taakgericht, terwijl de metingen in de industrie zoveel mogelijk de gehele werkdag besloegen. Redenen hiervoor waren dat de werkzaamheden in de bouw doorgaans kortdurend waren en bij andere werkzaamheden veel stof geproduceerd werd, zodat grote kans op vervuiling van het monster bestond hetgeen een betrouwbare analyse onmogelijk zou maken.

##### Meet- en analysemethoden

In dit onderzoek is de concentratie respirabele vezels bepaald volgens een internationaal voorgesteld protocol

[WHO, 1995]. Respirabele vezels zijn gedefinieerd als deeltjes met een langgerekte structuur, met een lengte van >5 µm, een diameter <3 µm en een lengte/diameter verhouding van ten minste 3:1.

Persoonlijke metingen in de ademzone zijn uitgevoerd met 'open face' filterhouders met een elektrisch geleidende conus waarvan de lengte driemaal de effectieve filterdiameter bedraagt, in combinatie met mixed cellulose ester membraanfilters (type AA; poriëgrootte 0,8 µm en diameter 25 mm) bij een debiet van 2,0 L/min. Het aantal vezels op het filter werd bepaald door middel van fase-contrast microscopie, uitgevoerd door een hiervoor gecertificeerd laboratorium (Fibrecount te Rotterdam). Conform het genoemde protocol [WHO, 1995] werden maximaal 100 graticules (diameter 0,1 mm) onderzocht. Als het aantal van 100 getelde vezels was bereikt, werd gestopt met tellen. Met behulp van het aantal onderzochte graticules, het aantal getelde vezels en het effectief filteroppervlak werd het totale aantal vezels in het monster geschat. In combinatie met het doorgezogen volume tenslotte werd het gemiddeld aantal vezels per cm<sup>3</sup> lucht (vezels/cm<sup>3</sup>) berekend.

##### Kwaliteitscontrole

Op 17 meetdagen is tevens een blanco meting uitgevoerd. Deze filters zijn 'blind' op dezelfde wijze geanalyseerd als de andere filters. Het aantal vezels op blanco filters mag maximaal vijf vezels per 100 graticules bedragen [WHO, 1995]. Om de precisie van de gehele meetmethode vast te stellen, zijn acht metingen in duplo uitgevoerd. Met behulp van deze sets is de gemiddelde variatiecoëfficiënt (CV) berekend.

##### Resultaten

De gemiddelde CV van de acht duplo metingen bedroeg 32 procent (bereik 0-79%). Telling van alle blanco filters leverde zonder uitzondering nul vezels op. De monsternameduur varieerde van 20 minuten tot 6,2 uur. Een telling van één vezel op 100 graticules zou bij een monsternameduur van 20 minuten een concentratie opleveren van 0,01 vezels/cm<sup>3</sup>, hetgeen als ondergrens voor de methode is aangehouden. In tabel 1 staat een overzicht van de metingen in de bouw. In totaal betrof dit 48 metingen op 21 verschillende locaties. Zes metingen bij 'aanbrengen' zijn gedaan bij renovatieprojecten. Bij zeven metingen bij 'verwijderen' was dit verwijderen gecombineerd met het aanbrengen van nieuw materiaal. In een enkel

Werktaak	Vorm isolatie	Type isolatie	N <sub>glaswol</sub> *	N <sub>steenwol</sub> *	Concentratie**
Aanbrengen	Pijpschalen	Leidingen	-	13	0,01-0,08
Aanbrengen	Losse wol	Leidingen	-	2	0,03-0,05
Aanbrengen	Dekens	Ovens/Vaten	-	3	0,01-0,14
Aanbrengen	Platen	Dak	-	2	0,03-0,10
Verwijderen	Pijpschalen	Leidingen	4	1	0,01-0,60
Verwijderen	Losse wol	Leidingen	-	1	0,05
Verwijderen	Losse wol	Afsluiter	-	3	0,05-1,65
Fabricage	Losse wol	Matrassen	5	-	0,02-0,11
Overig	-	-	-	3	0,04-0,24
* Aantal metingen					
** Bereik; in vezels/cm <sup>3</sup>					

Tabel 2. Overzicht van de 37 metingen in de industrie.

geval vonden deze werkzaamheden geïntegreerd plaats, zodat de meting beide werkzaamheden betrof. Bij het aanbrengen van isolatiemateriaal was de blootstelling steeds laag (<0,25 vezels/cm<sup>3</sup>). Bij het verwijderen van isolatiemateriaal lagen bijna alle concentraties in dezelfde orde van grootte als bij het aanbrengen. De hoogste waarde van 1,26 vezels/cm<sup>3</sup> trad op tijdens de volledige sloop van een woning, waar glaswol uit het dak werd losgetrokken.

In tabel 2 staat een overzicht van de metingen in de industrie. In totaal betrof dit 37 metingen op 6 verschillende locaties. Net als in de bouw was de blootstelling bij het aanbrengen van isolatiemateriaal laag (<0,25 vezels/cm<sup>3</sup>). Het verwijderen leverde hier hogere blootstellingen op. De hoogste waarde van 1,65 vezels/cm<sup>3</sup> trad op bij het slopen van een kast rond een afsluiter, en het verwijderen van de verweerde steenwol daaruit. Werkzaamheden tijdens de fabricage van isolatiematrassen waren het snijden en naaien van glasdoek en slopen, en het vullen van de matrassen met losse wol. Overige werkzaamheden bestonden onder meer uit het transporteren van isolatiemateriaal en het schoonmaken van de werkplek na isolatiewerkzaamheden. Bij zowel 'fabricage' als 'overig' lag de blootstelling onder 0,25 vezels/cm<sup>3</sup>.

In tabel 3 staan de resultaten van alle metingen samengevat. Zowel de gemiddelde blootstelling als de variatie in blootstelling bij 'verwijderen industrie' was het hoogst. Als de twee hoogste waarden van >1 vezel/cm<sup>3</sup> worden weggelaten in de analyse, is de blootstelling bij 'verwijderen industrie' nog steeds statistisch significant (p<0,05) hoger dan zowel 'aanbrengen

industrie' als 'verwijderen bouw'. Door de relatief beperkte aantallen metingen was het niet mogelijk om de invloed van andere factoren zoals de vorm en het type isolatiemateriaal op de blootstelling te onderzoeken.

#### Discussie

Dit onderzoek laat zien dat tijdens het aanbrengen van nieuw isolatiemateriaal, de blootstelling aan respirabele vezels van glaswol en steenwol laag is in vergelijking met de herziene MAC-waarde van 2 vezels/cm<sup>3</sup>. Tijdens het verwijderen van oud isolatiemateriaal doen zich situaties voor waarbij de blootstelling boven 1 vezel/cm<sup>3</sup> uitkomt. De prioriteit voor het ontwikkelen van nieuwe werkmethode en technische beheersmaatregelen ligt bij het verwijderen van isolatie, met name in de industrie.

De blootstelling aan minerale vezels bij het aanbrengen van nieuw isolatiemateriaal in dit onderzoek lag onder de 0,25 respirabele vezels per cm<sup>3</sup> lucht. Dit gold voor zowel de bouw als de industrie. Dit is in overeenstemming met buitenlandse studies (tabel 4). Concentraties hoger dan 2 vezels/cm<sup>3</sup> zijn, in tegenstelling tot dit onderzoek, in de literatuur wel gevonden. Mogelijke verklaringen hiervoor kunnen zijn dat andere typen werkzaamheden met andere (deels verouderde) producten waren onderzocht. In het algemeen levert het aanbrengen van losse wol de hoogste blootstellingen op [de Vuyst, 1995]. Het aanbrengen van losse wol, meestal ten behoeve van 'na-isolatie' van woningen, gebeurt in Nederland niet veel meer. Daarnaast bleek uit inventarisatie van de werkmetho-

Sector	Werktaak	N	AM	GM	GSD	BEREIK
Bouw	Aanbrengen	28	0,07	0,044	2,6	0,01-0,23
Bouw	Verwijderen	20	0,13	0,054	3,2	0,01-1,26
Industrie	Aanbrengen	20	0,05	0,033	2,3	0,01-0,14
Industrie	Verwijderen	9	0,38	0,164*	4,7	0,01-1,65
Industrie	Overig	8	0,10	0,068	2,5	0,02-0,24
Totaal		85	0,11	0,051	3,1	0,01-1,65
N	Aantal metingen					
AM	Rekenkundig gemiddelde					
GM	Geometrisch gemiddelde					
GSD	Geometrische standaarddeviatie					
*	Hoger dan zowel aanbrengen industrie als verwijderen bouw; p<0,05.					

Tabel 3. Persoonlijke blootstelling aan MMMF (in vezels per cm<sup>3</sup>), onderverdeeld naar sector en werktaak.

Referentie	Land	Toepassing	N	Conc <sup>1</sup>
Koenig, 1995	VS	Akoestische plafond isolatie	21	0,01-1,30
Schneider, 1993	Denemarken	Aanbrengen in testruimte	18	0,06-0,14
Jacob, 1992	VS	Woningisolatie	32	0,05-0,07 <sup>2</sup>
Jacob, 1992	VS	Losse wol isolatie	132	0,12-0,91 <sup>3</sup>
Marconi, 1987	Italië	Scheepsbouw	28	0,01-0,41
Esmen, 1982	VS	Vliegtuigbouw	247	0-14,8
Hallin, 1981	Zweden	Woningbouw	53	0,01-1,9

1 Bereik; in vezels/cm<sup>3</sup>  
2 95%-betrouwbaarheidsinterval van het rekenkundig gemiddelde  
3 Bereik van de rekenkundig gemiddelde waarden

Tabel 4. Concentraties respirabele minerale vezels, zoals gevonden in buitenlandse studies.

den in dit onderzoek dat platen, dekens en pijpschalen steeds met een daarvoor bestemd mes op maat werden gesneden. Uit een eerder oriënterend Nederlands onderzoek [Remijn, 1989] kwam naar voren dat het op maat zagen van isolatiemateriaal een verhoogde concentratie respirabele vezels in de lucht oplevert. Overigens kan niet worden uitgesloten dat in Nederland isolatiemateriaal soms nog op maat wordt gezaagd.

Het merendeel van de metingen in de industrie bedroeg minimaal 4 uur, en het takenpakket van de werknemers bestond grotendeels uit dezelfde werkzaamheden. Dit zijn derhalve redelijke schattingen van het tijdgewogen gemiddelde over de gehele werkdag. De taakgerichte metingen in de bouw zijn niet direct te vertalen naar 8-uurs gemiddelde blootstellingen. Echter, gezien zowel de korte tijdsduur als de lage frequentie van de werkzaamheden kan worden gesteld dat het 8-uurs gemiddelde lager zal liggen. Wel is een meting met een korte tijdsduur en daarmee een klein monstervolume in de regel minder betrouwbaar. De kortste meting van 20 minuten betrof de gehele duur van de werktaak. Bij een meting van 20 minuten bij een concentratie van 1 vezel/cm<sup>3</sup> zou het filter 40.000 vezels bevatten, ofwel gemiddeld 100 per 100 onderzochte graticules. Dit maakt dat onderschatting van de blootstelling niet waarschijnlijk is. Bovendien bleek de meetmethode redelijk precies te zijn (gemiddelde CV waarde was 32%).

Tijdens het verwijderen van isolatiemateriaal in de bouw lag de blootstelling ook onder de 0,25 vezels/cm<sup>3</sup>. Tijdens de volledige sloop van een woning is echter eenmaal een concentratie boven de 1 vezel/cm<sup>3</sup> gevonden. Mogelijke oorzaken zijn de ruwe werkmethode voor het verwijderen en het enigszins verweerde materiaal. Volledige sloop van gebouwen met glaswol of steenwol vindt in Nederland nog maar op kleine schaal plaats. Grootchalige toepassing van deze producten is pas halverwege de jaren zeventig begonnen, en de gemiddelde levensduur van een gebouw in Nederland wordt geschat op 65 jaar [CBS, 1996]. Er bestaat hierdoor nog te weinig inzicht in werkmethode en blootstellingen tijdens het verwijderen van isolatiemateriaal bij volledige sloop. Een bijkomend probleem is de ad hoc benadering bij dit werk, en daardoor de onduidelijkheid hoe lang een sloper erover doet om de (op voorhand onbekende hoeveelheid) isolatiemateriaal te verwijderen. Aanbevolen kan worden om in de toekomst meer metingen te doen tijdens sloopwerkzaamheden. Metingen tijdens het verwijderen van isolatiemateriaal in de industrie leveren gemiddeld een driemaal hogere blootstelling op. Op basis van de gegevens in tabel 3 kan hierbij een overschrijdingskans van de MAC van 5 procent worden berekend. De hogere blootstelling kan worden verklaard door de hogere temperaturen waar-

aan het isolatiemateriaal heeft blootgestaan. Hierdoor heeft het zijn oorspronkelijke structuur verloren en kunnen meer losse vezels vrijkomen. Daarnaast spelen, net als in de bouw, de ruwe werkmethode die tijdens het verwijderen worden gehanteerd een rol. Om de situatie te verbeteren zou in de industrie de toepassing van losse wol kunnen worden vermeden, en vervangen door isolatiematrassen of schalen.

Mogelijke maatregelen bij de bron betreffen de fysische eigenschappen van het isolatiemateriaal. De stofafgifte wordt onder andere bepaald door het gehalte aan olie en bindmiddelen. De stofafgifte is door de producenten van minerale wol beperkt. Naast de stofafgifte is van belang in hoeverre de vezels respirabel zijn. Dit wordt bepaald door de afmetingen van de vezels. Vezels met een diameter >4-5 µm worden als niet-respirabel beschouwd [Searl, 1994], maar dit zijn juist de vezels die verantwoordelijk zijn voor huidirritatie [Petersen & Sabroe, 1991]. Daarnaast is de oplosbaarheid van de vezels van belang. Goed oplosbare vezels hebben een korte verblijftijd in de long, en kunnen daar in principe minder schade aanrichten [Searl, 1994]. Over de vraag wat er precies met het longweefsel gebeurt tijdens het oplossen van de vezels, is echter nog weinig duidelijk [Spee & Zock, 1996]. Bovendien kunnen goed oplosbare vezels leiden tot een sterkere huidirritatie. Er lijkt dus vooralsnog geen optimale samenstelling van glaswol en steenwol die zowel weinig huidirritatie veroorzaakt, als onschadelijk is na inademing.

Er zijn werkvoorschriften ontwikkeld voor het aanbrengen van isolatiemateriaal. Op grond van de metingen bij aanbrengen in de bouw en in de industrie lijkt de situatie goed beheerst. Uit dit onderzoek blijkt dat er nu ook behoefte bestaat aan werkvoorschriften die specifiek betrekking hebben op het verwijderen van isolatie, zodat de kans op hoge blootstelling tijdens het verwijderen van verweerd isolatiemateriaal wordt verkleind.

Het onderzoek is uitgevoerd binnen de overeenkomst inzake glas- en steenwol en is gefinancierd door de producenten van minerale wol, verenigd in MWA Benelux, en werkgevers- en werknemersorganisaties in de bouwnijverheid en industriële isolatie.

#### Literatuur

- Centraal Bureau voor de Statistiek. Maandstatistiek Bouwnijverheid. Voorburg, maart 1996.
- Esmen, N.A., Sheehan, M.J., Corn, M., et al. Exposure of employees to manmade vitreous fibers: Installation of insulation materials. Environ. Res. 28 (1982) 386-98.
- Hallin, N. Mineral wool dust in construction sites. Investigation of dust situations in connection with mineral wool insulation in buildings and ships. Bygghälsan, The construction industry's organization for working environment, safety and health. Sweden, 1981.
- Jacob, T.R., Hadley, J.G., Bender, J.R., et al. Airborne glass

- fiber concentrations during installation of residential insulation. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* (1992) 53 519-23.
- Koenig, A.R. & Axten, C.W. Exposures to airborne fiber and free crystalline silica during installation of commercial and industrial mineral wool products. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56 (1995) 1016-22.
  - Marconi, A., Corradetti, E. & Mannozi, A. Concentrations of man-made vitreous fibres during installation of insulation materials aboard ships at Ancona naval dockyards. *Ann. Occup. Hyg.* 31 (1987) 595-9.
  - Petersen R. & Sabroe S. Irritative symptoms and exposure to mineral wool. *Am J Ind Med* 20 (1991) 113-22.
  - Plato, N., Krantz, S., Gustavsson, P., et al. Fiber exposure assessment in the Swedish rock wool and slag wool production industry in 1938-1990. *Scand. J. Work Environ. Health* 21 (1995) 345-52.
  - Remijn, B. Man-Made Mineral Fibres in de bouw. II. Verwerkingstechnieken en expositieniveaus bij Nederlandse bouwbedrijven. *Tijdschr. Toegepaste Arbowetenschap* 2 (1989) 27-30.
  - Schneider, T., Husemoen, T., Olsen, E., et al. Airborne fibre concentration during standardized building insulation with bonded man-made vitreous fibre insulation material having different nominal diameters and oil content. *Ann. Occup. Hyg.* 37 (1993) 631-44.
  - Searl, A. A review of the durability of inhaled fibres and options for the design of safer fibres. *Ann Occup Hyg* 38 (1994) 839-55.
  - Spee, T. & Zock, J.P. Discussies over vezels nog niet uitgewoed. *Arbeidsomstandigheden* 72 (1996) 307-9.
  - de Vuyst, P., Dumortier, P., Swaen, G.M.H., et al. Respiratory health effects of man-made vitreous (mineral) fibres. *Eur Respir J* 8 (1995) 2149-73.
  - WHO Working group on MMMF. Recommended method for the determination of airborne fibre number concentrations by phase contrast optical microscopy (membrane filter method). Geneva, 1995.