

TNO-rapport
TNO-MW – R 95/152

HET VRIJKOMEN VAN ASBEST BIJ BRAND

Onderzoek naar de emissie van asbestvezels door
het uiteenvallen van asbestcementproducten bij brand

TNO Milieuwetenschappen

Afdeling Analytische Chemie

Schoemakerstraat 97
Postbus 6011
2600 JA DELFT

Telefoon 015 - 69 69 00
Fax 015 - 61 68 12



auteurs:

J. Tempelman
J. den Boeft

Ingeschreven in het STERLAB-register
voor laboratoria onder no. 26 voor
gebieden zoals nader omschreven in de
erkenning.

datum:

14 september 1995

opdrachtnummer:

52673

opdrachtgever:

Staatstoezicht op de Volksgezondheid
Hoofdinspectie Milieuhygiëne
Postbus 30945
2500 GX DEN HAAG

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van de opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

TNO Milieuwetenschappen stelt zich ten doel door
middel van onderzoek en advisering bij te dragen
aan een verantwoord milieubeheer, gebaseerd op
inzicht in de relatie tussen door de mens
veroorzaakte vervuiling en de draagkracht van
het milieu, alsmede het voorkomen, behandelen
en saneren van milieuvontreiniging.

Nederlandse organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage

Samenvatting

Probleemstelling

Tijdens een brand kunnen asbestcement producten zoals golfplaten daken of gevelpanelen in kleine stukken uitvallen. Dit uiteenvallen is het gevolg van explosies die veroorzaakt worden door het koken van het in de asbestcement aanwezige water, waarbij flinters gedelamineerde asbestcement tot op honderden meters met de wind meegevoerd kunnen worden. Het grootste deel van de asbestvezels blijft gebonden in de flinters, terwijl een klein percentage in de vorm van respirabele vezels aan de lucht vrijkomt en tot directe blootstelling van het aan het brandende object grenzende gebieden kan leiden.

Experimenteel onderzoek

Ter verkrijging van kwantitatieve gegevens over de emissie zijn diverse asbesthoudende materialen op experimentele schaal door verhitting tot explosie gebracht, waarbij de concentratie aan vrijkomende asbestvezels is gemeten. Voor enkele veel voorkomende asbesthoudende materialen emissiefactoren bepaald. Deze emissiefactoren worden uitgedrukt als het aantal respirabele vezels dat tijdens een brand per m² materiaal vrijkomt. Met deze kwantitatieve gegevens kunnen verspreidingsberekeningen worden uitgevoerd waarmee bijvoorbeeld de concentratie en het concentratieverloop in een aangrenzende woonwijk kan worden berekend. De volgende conclusies zijn af te leiden:

Resultaten en conclusies

- Asbestvezels die na afloop van de explosie nog in de cement gebonden zijn kunnen hieruit mogelijk later weer worden vrijgemaakt. Uit onderzoek volgt dat een luchtstroom alleen niet voldoende is om secundaire emissie uit cementgebonden flinters te veroorzaken, maar dat daarvoor teven mechanische krachten (bijvoorbeeld door erover te lopen of te rijden) nodig zijn.
- Alleen bij snelle opwarming van asbestcementplaten tot tenminste 500 °C treedt het explosie-effect op.
- Uit verweerde asbestcement-producten, waarin vezels aanzienlijk minder goede gebonden zijn dan in een vergelijkbaar nieuw produkt, komen relatief veel vezels en flinters vrij.
- Bij nieuwe, hechtgebonden asbestcement-producten treedt minder delaminatie op en komen minder vezels vrij.
- Matig gebonden asbesthoudende materialen met een hoog asbestgehalte exploderen bij verhitting niet. Dit geldt ook voor asbesthoudende materialen met een organisch matrixmateriaal (bijvoorbeeld cellulose), waarbij slechts het matrixmateriaal verbrand en de rest intact blijft.

Praktische toepassing van de onderzoeksresultaten

Voor het beleid van hulpdiensten en beleidsverantwoordelijke instanties zijn uit de onderzoeksresultaten de volgende adviezen af te leiden:

- In de directe omgeving van het terrein is het sterk aan te bevelen om adembescherming te dragen. In de meeste gevallen zal dit toch wel gebeuren, in verband met de vrijkomende rook.
- Met de nu beschikbare gegevens kan in korte tijd het gebied, waar een primaire blootstelling boven een bepaald concentratieniveau te verwachten is (bijvoorbeeld een niveau dat overeenkomt met het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau) globaal in kaart worden gebracht; in dit gebied kan men vervolgens de bevolking waarschuwen en bijvoorbeeld de ramen en deuren laten sluiten.
- Secundaire emissie door stuklopen/rijden van de asbesthoudende flinters blijft de grootste kans op blootstelling opleveren. Vooral van de verharde oppervlakken moeten de flinters dus snel worden opgeruimd.
- Bij handmatige sanering zijn de kleinere flinters (<5 tot 8 mm) niet meer goed waar te nemen waardoor deze niet worden opgeruimd. Aanbevolen wordt om verharde oppervlakken met zuigwagens of speciale stofzuigers te reinigen.
- De reeds bestaande instructies voor de hulpdiensten kunnen grotendeels ongewijzigd blijven en waar nodig worden aangevuld met de nieuwe gegevens.

Andere calamiteiten waarbij asbest kan vrijkomen

Howel de verspreiding van asbest als gevolg van een **explosie** (dus niet door brand) geen deel uitmaakt van het onderzoek, wordt bij TNO aanwezige expertise in dit rapport beschreven omdat deze gegevens een nuttige aanvulling vormen op de thans verkregen gegevens.

Wanneer een gebouw of constructie waarin **asbestcement** is verwerkt explodeert, treedt geen delaminatie op maar wordt het plaatmateriaal in kleine massieve stukjes uiteengeslagen. Het totale breukoppervlak is kleiner dan dat bij delaminatie, zodat aangenomen kan worden dat de primaire emissie kleiner zal zijn dan bij een "asbestbrand". Doordat de stukjes massiever zijn en minder gemakkelijk beschadigd worden dan asbestcement-flinters is ook de kans op secundaire emissie kleiner dan bij een "asbestbrand". Het verspreidingspatroon van de stukjes wordt voornamelijk bepaald door de richting waarin de drukgolf zich voortplant en in veel mindere mate door de windrichting en de windsnelheid.

Wanneer er tijdens een explosie echter asbest vrijkomt dat **niet hechtgebonden** is, zoals los isolatiemateriaal, dan krijgt de wind snel vat op de lichte, volumineuze vlokken asbest. Een korte termijn atmosferisch verspreidingsmodel blijkt in de praktijk redelijk toepasbaar om de omvang van verontreinigde gebied vast te stellen. De primaire emissie is niet bekend maar waarschijnlijk veel groter dan bij een "asbestbrand". Ook de kans op secundaire emissie is veel groter.

Summary

Definition of the problem

In case of a fire in which asbestos cement (AC) products, such as corrugated sheets or panels are involved, these products will explode and fall apart into small thin flakes of delaminated asbestos cement. As a result of these loud explosions the flakes will be carried away by mechanical forces as well by the wind up to a considerable distance from the source. Most of the asbestos fibres remain tightly bond in the flakes, whereas a minority of the fibres are released from the matrix and become airborne respirable fibres. This airborne fraction may lead to a direct exposure of people in the neighbouring areas.

Experiments

In order to obtain quantitative information about the emission, several common used asbestos containing materials have been heated up to explosion on an experimental scale. By measuring the amount of emitted respirable fibres, emission factors from each material were calculated and expressed as the number of released fibres per square metre of material. These emission factors, meteorological data, etc. are put into a short-term atmospheric dispersion model which can predict the asbestos concentration to which the people in the area are exposed to.

Results and conclusions

- Asbestos fibres which remain in the cement matrix can be released. Our results show that this will happen only by a mechanical impact (people walking on it or car tires); an airstream alone will not set free the asbestos fibres from its cement matrix.
- Explosion will only take place if the material is heated up within a few seconds to at least 500°C.
- Eroded AC-sheets will emit a relatively large amount of fibres showing strong delamination.
- New, tightly bond AC-sheets show less delamination and less emission of respirable fibres.
- Moderate bond products with a high asbestos content do not explode in case of a fire. This is also the case if the asbestos is bond in an organic matrix such as cellulose.

Practical use of the results

In respect to the safety measures to be taken by fire brigade, police and local authorities, the following advice can be withdrawn from the results:

- In the direct neighbourhood of the fire it is strongly advised to wear personal airway protection, but this can be regarded as a standard protection in this area.
- Using the results from our investigation a prediction of the primary asbestos concentration in the air can be made; this can support safety instructions for the people living in the neighbourhood of the fire.
- Secondary emission from sedimentated AC-flakes remains the largest health risk. Especially from roads and pavements these flakes should be removed as soon as possible.
- Small asbestos containing flakes are easily overlooked if handpicking is used. Therefore the use of vacuumcleaners is recommended.
- There will only be some minor implications for the existing instructions for the fire brigades, police etc.

Explosions causing emission of asbestos containing materials

If a building or construction in which **asbestos cement** has been applied explodes, the AC-sheets will not delaminate but fall apart into small massive pieces which are not easily caught by the wind. Therefore the pattern of the emission cannot be predicted by the model mentioned in chapter 7, but will follow the pressure front caused by the explosion. Because of the more massive pieces in which the AC-sheet will fall apart, the risk of both primary and secondary emission of fibres will be less compared to that of an "asbestos cement fire".

If on the contrary **loosely bonded asbestos**, such as insulation material, is blown into the atmosphere the voluminous flakes are easily caught by the wind. A short term atmospheric dispersion model can be applied to obtain an indication about the contaminated area. Primary emission is unknown but can be expected to be much higher than the asbestos emission caused by an "asbestos cement fire". There proved to be a considerable risk of secondary contamination as well.

Inhoudsopgave

	blz.
1	Inleiding en doel van het onderzoek 8
1.1	Inleiding 8
1.2	Doel van het onderzoek 9
2	Aanpak van het onderzoek 10
2.1	Primaire emissie 10
2.2	Secundaire emissie 11
2.3	Onderzochte asbesthoudende materialen 11
2.4	Veiligheidsvoorzieningen 13
3	Beschrijving van de proefopstelling 14
3.1	Constructie en afmetingen 14
3.2	Luchtstromingen en ventilatievoud 16
3.3	Opstelling van de branders 17
3.4	Beschrijving experimentele procedure 18
3.5	Het vastleggen van de waarnemingsresultaten 19
3.5.1	Waarnemingsformulieren 19
3.5.2	Waarnemingsresultaten op foto's 20
4	Gebruikte methoden 21
4.1	Monsterneming bij het bepalen van de primaire emissie 21
4.2	Monsterneming bij het bepalen van de secundaire emissie 22
4.3	Analyse met behulp van fase-contrast lichtmicroscopie 22
4.4	Analyse met behulp van rasterelektronenmicroscopie en röntgenmicroanalyse 22
4.5	Het identificeren van asbest in materialen met behulp van polarisatiemicroscopie 23
4.6	Gebruik vezelmonitor 23
4.7	Berekening van de emissie uit de concentratiemetingen 23
4.8	Bepaling van de aard en de hoeveelheid asbest in de bodem 25
5	Literatuuronderzoek en inventarisatie van bestaande expertise 27
5.1	Het vrijkomen van asbest bij brand 27
5.2	Bodemonderzoek na een brand 27
5.3	Andere incidenten waarbij asbest kan vrijkomen 28
6	Resultaten van de praktijkproeven 31

6.1	Standaard asbestcement-golfplaat met 15-20% chrysotiel	31
6.2	Asbestcement-plaat met coating (Glasal dun)	32
6.3	Asbestcement-plaat met coating (Glasal dik).....	34
6.4	Asbestboard op basis van cellulose (Internit).....	35
6.5	Brandwerend asbestboard op basis van amosiet (Nobranda)	35
6.6	Bespreking en discussie	35
7	Emissieberekeningen	38
7.1	'Vertaling' van de proefresultaten naar de praktijk	38
7.2	Verspreidingsberekening voor een praktijksituatie.....	38
7.3	Toepassing door de brandweer en door andere hulpdiensten	48
8	Conclusies en aanbevelingen	51
8.1	Conclusies	51
8.2	Aanbevelingen	53
9	Referenties	58
	Verantwoording.....	60
Bijlage 10.1	Protocol voor proeven "asbestbrand" (versie 26-9-94)	
Bijlage 10.2	Registratie waarnemingen project "vrijkomen van asbest bij brand"	
Bijlage 10.3	Foto's van de proefopstelling en van de uitgevoerde proeven	

1 Inleiding en doel van het onderzoek

1.1 Inleiding

Asbesthoudende materialen verwerkt in gebouwen die in brand raken worden na enige tijd zo heet dat dit materiaal uiteen kan vallen. Asbestcementprodukten zoals golfplaten en borstweringspanelen springen bij verhitting uit elkaar in stukken van uiteenlopende afmetingen. Het asbestcement "explodeert" door het koken van water dat in het materiaal aanwezig is. Tijdens de explosie delamineert het uit lagen opgebouwde asbestcement, waarbij dunne asbestcementflinters ontstaan. Deze flinters kunnen afhankelijk van grootte en windsnelheid op grote afstand (honderden meters) van de brand terecht komen. Tijdens het delamineren van het asbestcement ontstaan relatief grote breukvlakken, waarbij respirabele asbestvezels vrijkomen. Een groot deel van de vezels blijft in de asbestcementflinters gebonden.

Wegens het ontbreken van gegevens over de bronsterkte (inclusief deeltjesgrootteverdeling), warmteproductie tijdens de brand en concentratieniveaus van asbestvezels, kunnen met asbest besmette gebieden slechts met een grote mate van onzekerheid worden vastgesteld. Vragen als:

- Hoe groot moet het af te zetten (te evacueren) gebied zijn ?
- Aan welke asbestvezelconcentraties wordt personeel van brandweer, politie en andere hulpdiensten tijdens de brand bloot staan ?
- Is de bevolking aan een te hoge asbestvezelconcentratie blootgesteld ?
- Hoe groot is het gebied dat moet worden schoongemaakt ?

zijn bij elke 'asbestbrand' relevant en kunnen in de praktijk niet of slechts met veel moeite worden beantwoord, omdat noodzakelijkerwijs afgegaan moet worden op visuele inspecties achteraf eventueel aangevuld met metingen.

Bij 'asbestbranden' ontbreekt het meestal aan inzicht hoe informatie kan worden verzameld met betrekking tot de betrokkenheid van asbest, het verspreidingsgebied, de mate van primaire en secundaire blootstelling aan eventueel verspreid asbest.

Gegevens omtrent bronsterkte, verspreiding en blootstelling zijn essentieel voor het nemen van doeltreffende maatregelen. De onderzoekresultaten moeten bijdragen aan een nadere uitwerking van een protocol voor het uitvoeren van onderzoek tijdens en na branden, waarbij asbesthoudende materialen betrokken zijn, het nemen van beheersmaatregelen en het kiezen van geschikte schoonmaakmethoden.

In opdracht van het Ministerie van VROM (Inspectie Milieuhygiëne) heeft TNO Milieuwetenschappen (afdeling Analytische Chemie) een onderzoek uitgevoerd met het doel kwalitatieve en kwantitatieve gegevens te verkrijgen over het vrijkomen van asbest bij brand. TNO maakte daarbij gebruik van de diensten (o.a. bouw testfaciliteit, ARBO-zaken, levering van asbesthoudende materialen) van Bravenboer & Scheers (Middelburg). De testfaciliteit bevond zich op het terrein van SGS Ecocare te Terneuzen. SGS Ecocare stelde analysefaciliteiten beschikbaar. Reinhold & Mahla bouwde de testfaciliteit en leverde aanvullende hand- en spandiensten.

1.2 Doel van het onderzoek

De doelstellingen van het onderzoek kunnen als volgt worden samengevat:

- Het experimenteel bepalen van kengetallen om bij een "asbestbrand" in een zo vroeg mogelijk stadium de optredende asbestconcentraties te kunnen voorspellen.
- Het vertalen van de onderzoekresultaten in praktische aanwijzingen voor hulpverlenende instanties, zodat effectieve maatregelen getroffen kunnen worden om de blootstelling aan asbest zo gering mogelijk te doen zijn. Dit geldt zowel voor de primaire als voor de secundaire emissie.

Behalve door brand, kan asbest ook door een explosie vrijkomen. Omdat de verspreidingsmechanismen van verschillende asbesthoudende materialen bij een explosie soms sterk verschillen van die bij een "asbestbrand", wordt hierop in hoofdstuk 5 nader ingegaan.

2 Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek is gericht op het bepalen van de primaire en secundaire bronsterkte voor een aantal veel toegepaste asbesthoudende materialen. Als primaire bronsterkte beschouwt men de hoeveelheid respirabele asbestvezels die tijdens de brand in de lucht wordt verspreid, terwijl de secundaire bronsterkte wordt veroorzaakt door het opnieuw in suspensie komen van gedeponeerde asbestvezels en de emissie die het gevolg is van het verpulveren van stukjes asbesthoudende materialen door mechanische inwerking.

Het experimentele onderzoek dat in een speciaal gebouwde testruimte wordt uitgevoerd, bestaat concreet uit de volgende onderdelen:

- Het bepalen van *primaire emissie* van respirabele vezels tijdens brand en
- het bepalen van *secundaire emissie* afkomstig van gedelamineerd asbestcement en
- het afleiden van de gegevens betreffende de sedimentatiesnelheid en afmetingen van de flinters die bij de explosie vrijkomen.
- een case-study

Uiteindelijk moeten hieruit gegevens worden afgeleid die kunnen worden vertaald in concrete instructies voor de hulpdiensten, zoals brandweer en politie, bij het bestrijden en/of voorkomen van asbestemissie. Daarnaast kunnen de gegevens meer inzicht geven betreffende het verspreidingsgebied, de te verwachten asbestconcentraties en de te volgen opruimstrategie.

De reeds aanwezige kennis en expertise is in de volgende rubrieken ingedeeld en geïnventariseerd:

- Literatuuronderzoek met betrekking tot het vrijkomen van asbest bij **brand**.
- Inventarisatie van uit eerder onderzoek verkregen gegevens met betrekking tot **explosies** waarbij asbest is vrijgekomen.

2.1 Primaire emissie

Om het blootstellingsrisico voor bewoners van gebouwen in de omgeving van een 'asbestbrand' te kunnen bepalen, is het nodig om de emissie (bronsterkte), transmissie (verspreiding) en immissie (concentratie) van vrijgekomen respirabele asbestvezels met redelijke nauwkeurigheid te kunnen bepalen.

Er is nauwelijks informatie beschikbaar over de hoeveelheid respirabele vezels die vrijkomen (primaire emissie) tijdens 'asbestbranden'. Meetresultaten van asbestconcentraties (immissies) tijdens branden zijn eveneens niet beschikbaar.

Om de emissiefactor voor een bepaald type materiaal te kunnen bepalen wordt een proefstuk met een bekend oppervlak in een testopstelling tot explosie gebracht door het materiaal met een brander in korte tijd sterk te verwarmen. De vrijkomende asbestvezels van respirabele afmetingen worden met een luchtstroom afgevoerd. Door in deze luchtstroom de vezelconcentratie tijdsgeïntegreerd te bemonsteren, kan de emissie per vierkante meter materiaaloppervlak worden bepaald.

2.2 Secundaire emissie

Vanuit stukken/flinters asbesthoudend materiaal die op allerlei oppervlakken (straten, trottoirs, tuinen, daken van gebouwen, bomen en struiken etc.) zijn terecht gekomen kunnen, al dan niet onder invloed van mechanische inwerking, opnieuw vezels vrijkomen. Duidelijk is dat mechanische invloeden (verkeer, belopen etc.) de asbesthoudende flinters verkleinen, waarmee opnieuw breukvlakken worden gevormd. Ongebonden of vrijwel ongebonden vezels kunnen opnieuw van oppervlakken vrijgemaakt worden en in de lucht worden verspreid.

Na het uitvoeren van de onder 2.1 beschreven explosie-proef is met een ventilator lucht over de gesedimenteerde flinters en brokstukken geleid om na te gaan of hierbij opnieuw vezels aan de lucht zouden vrijkomen. Uiteraard kan met deze proef slechts een deel van het vrij complexe mechanisme van secundaire emissie worden nagebootst.

Uit eerdere, o.a. door TNO uitgevoerde, onderzoeken is gebleken dat de route van de secundaire emissie in een met asbest besmet gebied wellicht de meest risicovolle is. Wanneer asbest via het schoeisel in een woning terecht komt, dan kan het hier door activiteit binnenshuis verder worden verspreid, waarna een langdurige blootstelling kan optreden. Deze vorm van besmetting kan in de huidige proefopstelling moeilijk worden gekwantificeerd, omdat zeer veel factoren van invloed zullen zijn op het transport, het vrijkomen uit de matrix en de verspreiding van de asbestvezels. Uit de reeds beschikbare onderzoekgegevens uit de praktijk kan echter al worden afgeleid dat het snel opruimen van gesedimenteerde asbesthoudende materialen na een brand van het grootste belang is. In hoofdstuk 8 zal nader worden ingegaan op de verschillende methoden die daarbij gehanteerd kunnen worden.

2.3 Onderzochte asbesthoudende materialen

Het onderzoek richtte zich in eerste instantie op die asbesthoudende materialen die in de bouw het meest zijn toegepast namelijk golfplaat en vlakke beplating. Asbestcement golfplaat is vrijwel steeds in de vorm van dakbedekking toegepast. Vlakke platen worden aangetroffen als gevelpanelen, als dakleien en als gevellen. In de standaardbouw (zoals schoolgebouwen en flats) zijn de vlakke platen vaak

als zogenaamde sandwichpanelen verwerkt: d.w.z. een asbestcementplaat, een isolatielaag (meestal PUR-schuim), en weer een asbestcementplaat. In de praktijk betekent dit dat het totale oppervlak aan asbestcement dan twee keer zo groot is dan vanaf de buitenkant van een gebouw zichtbaar is. Dit gegeven is van belang bij het inschatten van het totale oppervlak aan asbestcement.

Ook van twee andere asbesthoudende bouwmaterialen die vaak in gebouwen worden aangetroffen, namelijk asbesthoudend celluloseboard (type Internit) en amosiethoudend brandwerend board (type Nobranda) is het gedrag bij brand beproefd.

In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de beproefde materialen, de geschatte levensduur, de toestand van het materiaal en de herkomst.

Tabel 2.1 Overzicht van de beproefde materialen.

Type materiaal	Samenstelling	Aantal jaren gebruikt (geschat)	Toestand van het materiaal	Herkomst
golfplaat , standaard-type	15-20 % chrysotiel in cementmatrix	20-25 jaar	verweerd en met mos begroeid	uit sloop
Glasal , asbestcementplaat dik (6 mm) met éézijdige coating	10-15 % chrysotiel in cementmatrix	nieuw	nieuw uit fabriek	Eternit België
Glasal , asbestcementplaat dun (3 mm) met éézijdige coating	10-15 % chrysotiel in cementmatrix	nieuw	nieuw uit fabriek	Eternit België
Internit , asbest-celluloseboard	5-10 % chrysotiel in matrix van cellulosevezels	20-25 jaar	onbeschadigd en niet verweerd	uit sloop
golfplaat NT (asbestvrij)	bevat geen asbest	nieuw	nieuw uit fabriek	Eternit Nederland
Nobranda , amosiet bevattende brandwerende plaat	40-60 % amosiet in cementmatrix	20-25 jaar	onbeschadigd en niet verweerd	uit sloop

Opslag

Alle materialen zijn aangeleverd in de daartoe voorgeschreven dubbele polytheen zakken met het opschrift "Asbest gevaarlijk". Alleen in de container met ingeschaalde onderdruk machines zijn de materialen uitgepakt en op de gewenste grootte gebracht.

2.4 Veiligheidsvoorzieningen

Op basis hiervan is door Bravenboer & Scheers (B&S) een Werkplan opgesteld, dat door TNO is aangevuld met maatregelen ten aanzien van specifieke risico's voor de gekozen proefopstelling. Deze risico's waren:

- het werken met propaangas in een afgesloten ruimte (explosie, uitblazen vlam, beschadiging gasslangen).
- het optreden van zuurstofgebrek bij gebruik van de volle brandercapaciteit.
- de kans om in of buiten de container getroffen te worden door exploderende stukken asbestcement.
- het mogelijk onwel worden van in de container verblijvende personen door de combinatie van warmte en de inspanning van het dragen van een P3-filtermasker.
- het uitvallen van onderdrukmachines door kortsluiting, overbelasting of storing.
- het ontstaan van brand door rondvliegende hete stukken asbestcement.

Om toch zo veilig mogelijk te kunnen werken werd een gedetailleerd draaiboek opgesteld met een groot aantal borgingspunten:

- Steeds wanneer er iemand de container betrad werd deze voortdurend geobserveerd door de man buiten de container en werd via een portofoon verbinding onderhouden. Ook was er een draagbare telefoon beschikbaar voor contact naar buiten.
- Alle onderdelen van de proef zoals het bedienen van de gastoevoer, het aansteken van de branders en het opstarten van de monsterpompen werden eerst afzonderlijk en later gecombineerd "droog" geoefend.
- Vluchtroutes, de plaats van blusmiddelen enz. werden tevoren uitvoerig onderzocht voordat met de definitieve proeven werd begonnen.
- Alle persoonlijke beschermingsmiddelen werden tevoren uitvoerig gecontroleerd.

3 Beschrijving van de proefopstelling

3.1 Constructie en afmetingen

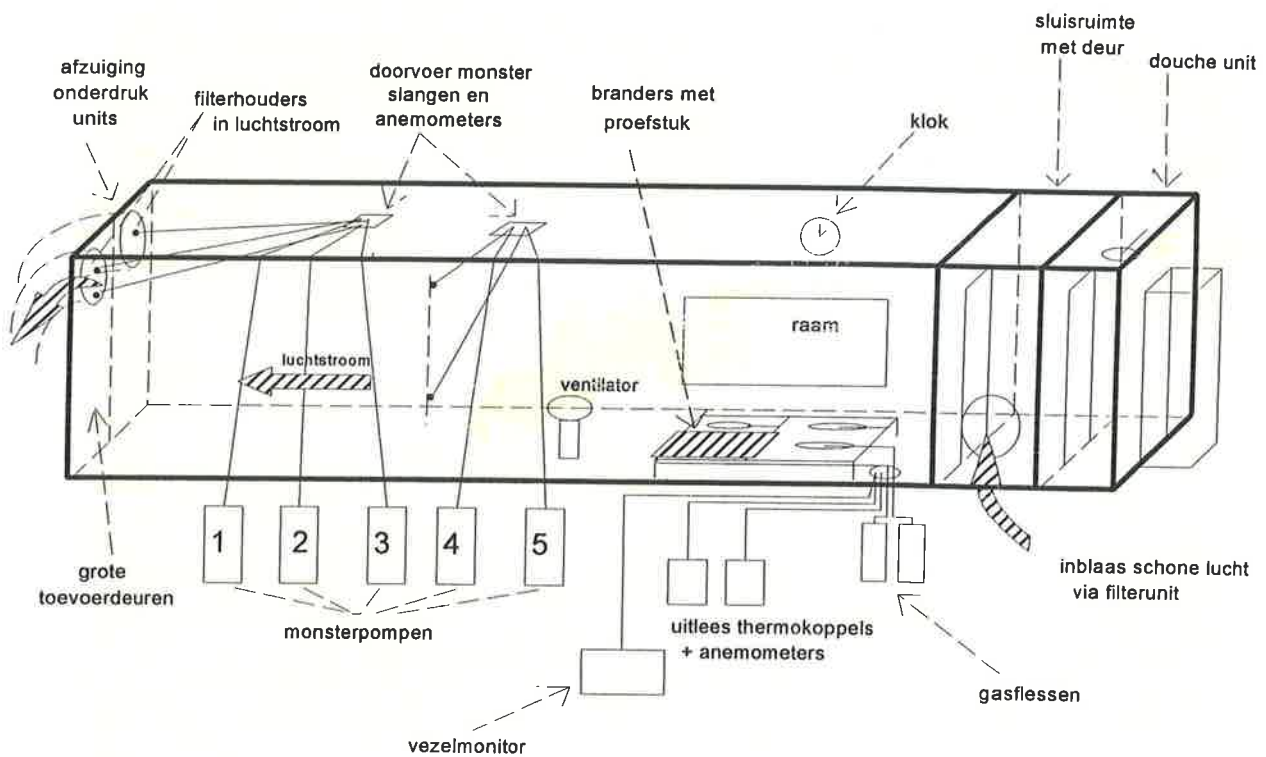
Om te voorkomen dat tijdens de experimenten asbest in het buitenmilieu kon komen, zijn deze in een gesloten containment uitgevoerd. Het containment met daarin de proefopstelling bestond uit twee aan elkaar geschakelde zeecontainers met een gezamenlijke lengte van ca. 15 meter, een breedte van 2,3 meter en een hoogte van 2,2 meter. De totale inhoud is 76 m³. Aan één van uiteinde van de container was een uit drie compartimenten bestaande decontaminatie-unit met bijbehorende regelapparatuur aangebouwd. Aan het andere uiteinde waren de bestaande deuren vervangen door plaatstalen deuren, waarin op twee hoogten twee maal twee ronde openingen (diameter 25 cm) waren aangebracht. Op de bovenste twee van de vier openingen waren slangen aangesloten die de verbinding met twee (groot formaat) onderdruk machines vormden, waarmee totaal ca. 2800 m³ lucht/ uur wordt afgezogen. De slangen waren zodanig aangebracht dat ook de (grote) proefstukken asbesthoudende materialen via de deuren in het containment konden worden gebracht. Tijdens de experimenten waren de kieren met tochtstrippen en tape afgedicht. Ter hoogte van de decontaminatie-unit was een derde onderdruk machine in omgekeerde richting geplaatst, waarmee gefilterde buitenlucht werd ingeblazen. Hierdoor ontstond er in het containment een gedefinieerde luchtstroom in de richting van de achterwand.

Tegenover de plaats waar de brandertafel staat opgesteld, was in de wand van de container een raam (ca. 0,5 m x 1,5 m) aangebracht. Voor het doorvoeren van diverse leidingen en kabels waren zowel in de zijwand als in het dak van het containment op verscheidende plaatsen openingen aangebracht. Tijdens de experiment waren deze openingen door middel van tape afgedicht.

Om tussen de verschillende experimenten het containment relatief eenvoudig te kunnen schoonmaken en omwille van de brandveiligheid waren de wanden, bodem en plafond van het containment inwendig met dunne staalplaat bekleed. Op de plaats waar de container aan elkaar was gemonteerd, is de doorstroombiameter enigszins verkleind.



Figuur 3.1 Deel van het containment met onderdrukmachines en (HEPA)filterunits aan de 'voorzijde'.



Figuur 3.2 Schematisch overzicht van de proefopstelling.

Toelichting:

Een in de container geplaatste halogeenlamp zorgde voor voldoende licht om met korte belichtingstijden foto's te kunnen maken. De camera bevond zich voor het raam en was zodanig scherp gesteld dat zowel het proefstuk als de tegen de achterwand bevestigde klok (met secondewijzer) tegelijk in beeld waren. Op deze manier konden de verschijnselen als functie van de tijd worden vastgelegd.

De grote ventilator die op de vloer van het containment staat is in de tweede fase van de proef gebruikt om na te gaan in hoeverre een luchtstroom secundaire emissie vanuit de gesedimenteerde flinters kan te veroorzaken.

Zowel in het midden van de container als in de afzuigkanalen aan de achterzijde waren filtersondes geplaatst, waarmee de asbestconcentratie in de lucht tijdsgeïntegreerd kon worden bemonsterd door met behulp van buiten de container geplaatste pompen lucht door de filters aan te zuigen. Door de meetpunten op verschillende afstanden van het proefstuk te plaatsen ontstond de mogelijkheid verschillen in concentratie en/of vezelgrootteverdeling te detecteren. Met het doel de vezelconcentratie ook registrerend te kunnen meten, is getracht hiervoor een direct registrerende vezelmonitor in te zetten.

De temperatuur van de onder- en bovenzijde van het proefstuk, dat op de brandertafel was aangebracht, is met behulp van thermokoppels gemeten en geregistreerd.

3.2 Luchtstromingen en ventilatievoud

Met de anemometers die zowel in het midden van de container als in de afzuigkanalen waren aangebracht is de luchtsnelheid registrerend gemeten en kon ook het afgezogen debiet worden berekend. De aanzuigsnelheid van de filtersondes in de kanalen was zo ingesteld dat deze gelijk was aan de luchtsnelheid in het betreffende kanaal (isokinetische bemonstering).

In tabel 3.1 zijn de belangrijkste kwantitatieve gegevens betreffende de luchtstroming in het containment weergegeven.

Tabel 3.1 *Kwantitatieve gegevens betreffende de luchtstroming in het containment.*

luchtsnelheid rechterafzuigkanaal	8 m/s
afgevoerde debiet via het rechter afzuigkanaal	1249 m ³ /uur
luchtsnelheid linker afzuigkanaal	10 m/s
afgevoerd debiet via het linker afzuigkanaal	1562 m ³ /uur
totaal afgevoerd debiet	2811 m ³ /uur
inhoud van de proefruimte	76,2 m ³
ventilatievoud	16,4 wisselingen/uur
gebruikte ventilatoren	Barkman Bestovent 2 stuks groot model voor afzuig, 1 klein model voor inblaas

3.3 Opstelling van de branders

Met behulp van stalen constructiemateriaal werd een brandertafel gebouwd. De brandertafel bestond uit twee open horizontale vlakken, waarvan de bovenstaande de ondersteuning van het plaatmateriaal vormde en het ca. 15 cm lager gelegen niveau aan aanvankelijk twee en later vier thermisch beveiligde gasbranders plaats bood. Dit laatste niveau was, met het oog op warmtetoever en vlamcontact in hoogte verstelbaar. De branders waren elk, via dubbelwandige gewapende gas-slang, met een van een reduceerventiel voorziene propaan-gasfles verbonden. De gasflessen stonden buiten het containment opgesteld. Het gasverbruik is door weging van de gasflessen bepaald.

Voor het meten van temperaturen van de proefstukken werden twee thermokoppels gebruikt.

De branderopstelling werd qua afmetingen zodanig ontworpen, dat de diverse plaatmaterialen overeenkomstig de praktische afmetingen konden worden onderzocht. In eerste instantie werd verondersteld dat twee branders toereikend zouden zijn.

Tijdens de testexperimenten bleek dat de dimensies qua plaatmateriaal en brandercapaciteit niet voldoende waren om het plaatmateriaal tot explosie te brengen. Uit het op ware grootte schaal beproeven van het plaatmateriaal bleek dat het enige waarneembare effect het verdampen van het in het plaatmateriaal aanwezige water was. Ook door het bijplaatsen van twee extra branders en het verkleinen van de afstand tussen branders en plaatmateriaal werd het beoogde effect niet bereikt. Na een serie oriënterende proeven bleek een explosie uitsluitend op te treden wanneer een proefstuk van ca. 40 cm x 40 cm binnen enkele seconden tot ca. 500°C werd verhit. Door de gas(voor)druk te verhogen, waardoor een grotere vlam werd verkregen, en het materiaal vrijwel boven op één brander te leggen, kon de benodigde warmtetoevoer worden verkregen.

Tijdens bovengenoemde experimenten bleek dat de aan de 'voorzijde' van het containment, de voor het transport benodigde ingeblazen lucht zodanig turbulent was dat door de luchtstroom het vuur werd gedoofd. Door de brandertafel aan één zijde van een soort windscherm te voorzien kon dit probleem worden verholpen. De gas(voor)druk bleek vrij kritisch. Een hoge vlamtemperatuur vraagt om een relatief groot gasdebiet. Een te groot gasdebiet bleek eveneens de vlammen te kunnen doven. Mogelijk was ook de beschikbaarheid van voldoende zuurstof een beperkende factor.

Op grond van de testexperimenten werd een procedure/draaiboek opgesteld die garant stond voor het zonder onderbreken kunnen aflopen van een experiment.

3.4 Beschrijving experimentele procedure

Taken en taakverdeling

De proeven werden steeds door twee personen uitgevoerd; één "regisseur" buiten het containment en één "uitvoerder" die tijdens de proef in de container verbleef. De taken waren als volgt verdeeld:

"regisseur":

- draaiboek en tijdschema volgen en regisseren
- het voortdurend observeren van de "stoker" door het aangebrachte raam (staalglas)
- bediening gastoevoer, monsterpompen en vezelmonitor
- fotograferen en het registreren van bijzonderheden
- bewaking veiligheidsschema

"uitvoerder"

- aansteken en afregelen van de brander(s)
- plaatsen van het proefstuk
- observeren van de effecten die tijdens en na de explosie optreden
- plaatsen en verwisselen van filters
- plaatsen van anemometers en thermokoppels
- het verzamelen van flinters en inpakken asbestafval
- het na afloop tot "asbestvrij" reinigen van de container (in deze fase kan de "regisseur" daarbij helpen)

Meer details zijn beschreven in bijlage 1 "PROTOCOL VOOR PROEVEN "ASBESTBRAND" versie 29-6-'94.

3.5 Het vastleggen van de waarnemingsresultaten

3.5.1 Waarnemingsformulieren

Op een waarnemingsformulier (zie bijlage 2) worden alle voor het onderzoek essentiële gegevens genoteerd. De volgende parameters zijn geregistreerd:

1e deel van de proef, de bepaling van de primaire emissie

- Type materiaal, afmetingen proefstuk, herkomst.
- De opwarmtijd die nodig is voor de explosie, de temperatuur.
- De visueel waarneembare effecten.
- Posities en codering van de genomen monsters, doorgezogen volumina, bemonsteringstijd en gebruikte meet- en registratieapparatuur.
- De nummers en instellingen van de genomen foto's en/of dia's.

en bij het 2e deel van de proef, de bepaling van de secundaire emissie:

- een schatting van de hoeveelheid vrijgekomen flinters, de afstand en de afmetingen daarvan – opnieuw de posities en codering van de tweede serie genomen monsters, doorgezogen volumina, bemonsteringstijd en gebruikte meet- en registratieapparatuur etc.
- de visueel waarneembare effecten

3.5.2 Waarnemingsresultaten op foto's

Voorafgaand aan het experiment

Om de resultaten goed vast te leggen zijn de visueel waarneembare effecten zo veel mogelijk op foto's of dia's vastgelegd. Voorafgaand aan het experiment werd de beginsituatie van elk proefstuk op foto vastgelegd en werden de belangrijkste kenmerken beschreven.

Tijdens het experiment

Door de in de containerwand aangebrachte ruit werden alle verschijnselen fotografisch vastgelegd. Voor het maken van de opnamen was een camera met winder beschikbaar waarmee snel opeenvolgende verschijnselen werden vastgelegd. Het tijdstip van een gebeurtenis werd vastgelegd door het 'meefotograferen van een klok met centrale secondewijzer (zie figuur 3.4)

Na afloop van het experiment

Ook nu is weer een foto van het proefstuk gemaakt om de beschadigingen en het geëxplodeerde oppervlak vast te leggen. Ook de testopstelling, het overzicht van de proeflokatie en de gesedimenteerd flinters zijn op foto vastgelegd. De meeste foto's zijn opgenomen in bijlage 10.1. Ook zijn een aantal foto's en afbeeldingen in de betreffende hoofdstukken opgenomen.

4 Gebruikte methoden

4.1 Monsterneming bij het bepalen van de primaire emissie

Direct voor de afzuigkanalen die zich aan de achterzijde van de container bevonden, zijn filtersondes aangebracht waarmee isokinetisch luchtmonsters zijn genomen. Er zijn zowel monsters voor lichtmicroscopische analyse (op cellulose-ester filters) als voor analyse met REM/RMA (op Nuclepore-filters met goudcoating) genomen. In het midden van de container zijn op drie verschillende hoogten monsterpunten opgesteld, zodat eventuele verschillen in vezelconcentratie en/of afmetingen van de vezels meetbaar zijn als functie van de afstand tot het proefstuk en de hoogte in de container (zie ook fig. 3.2). Voorafgaand aan elke proefneming is een blanco monsterserie genomen om een eventueel aanwezige achtergrondconcentratie aan asbestvezels te bepalen. De monsterneming op alle punten wordt gestart op het moment dat de brander is ontstoken en het proefstuk op de brander wordt geplaatst. De monsterneming wordt tot ca een uur na de explosie voortgezet. Proefondervindelijk is gebleken dat binnen deze periode de bij de explosie vrijgekomen "asbestwolk" door ventilatie is afgevoerd. Uit de gemeten tijdsgeïntegreerde asbestconcentratie in de luchtstroom kan dus de totale emissie aan inadembare asbestvezels die bij de explosie is vrijgekomen worden berekend.

Het aanzuigdebiet tijdens de monsterneming bedroeg ca. 8 liter lucht/min. De aanzuigopeningen van de filterhouders direct voor de afzuigkanalen waren zodanig gedimensioneerd, dat de lineaire snelheid overeenkwam met die van de afgezogen luchtstroom (isokinetische condities).

Gebruikte apparatuur en filtermaterialen:

- monsterpompen K+F Neuberger met kritisch capillair voor debietegeling
- monsterpompen SKC type MCS 10
- monsterpomp Gilian type Aircon 2, met constant-flow regeling
- anemometers om de luchtsnelheid te bepalen
- metalen filterhouders voor een filterdiameter van 25 mm
- aanzuigsondes met diverse diameters
- cellulose-ester membraanfilters met een poriediameter van 1,2 μm , voor LM analyse
- Nuclepore-filters met een poriediameter van 0,8 μm , voorzien van goudcoating in 25 mm cassette.

4.2 Monsterneming bij het bepalen van de secundaire emissie

Nadat het beëindigen van de meetcyclus voor het bepalen van de primaire emissie, werden de filters op alle meetpunten verwisseld. Hierna werd tenminste een uur gewacht waarna vervolgens met een op de vloer geplaatste ventilator gedurende een uur een geforceerde luchtstroom over de vrijgekomen brokstukken en flinters geleid met het doel secundaire emissie op te wekken. Hierbij werd een tweede serie luchtmonsters genomen. De overige condities en de gebruikte bemonsteringsapparatuur zijn gelijk aan die van de eerste meetserie (zie paragraaf 4.1).

4.3 Analyse met behulp van fase-contrast lichtmicroscopie

Het bemonsterde filter wordt geprepareerd met behulp van acetondamp en glyceroltriacetaat. De telling wordt uitgevoerd bij fase-contrastbelichting en bij een vergroting van 500x, conform NVN 2939 [11]. Met deze lichtmicroscopische methode kan geen onderscheid gemaakt worden tussen asbestvezels en andere vezelvormige bestanddelen; gezien de proefomstandigheden is dit van minder belang.

apparatuur:

- Leitz Dialux microscoop met NPL Fluotar 40x phaco objectief en Walton-Beckett graficule.

4.4 Analyse met behulp van rasterelektronenmicroscopie en röntgenmicroanalyse

Bij een vergroting van 2000x en een versnellingsspanning van 20 kV wordt het bemonsterde filter systematisch afgezocht naar vezels. Van de aangetroffen vezels wordt met behulp van RMA een elementspectrum opgenomen. Aan de hand van de kenmerkende morfologie en elementsamenstelling kunnen de vezels worden geïdentificeerd. Vezels tot een minimum diameter van ca. 0,2 μm kunnen op deze wijze worden herkend. Bovendien kunnen met deze techniek nauwkeuriger vezelgrootteverdelingen gemaakt worden. Dit kan van belang zijn bij berekenen van de transportafstand door de lucht. De bepaling wordt uitgevoerd conform VDI/DIN 3492.

Deze methode is gebruikt voor identificatie van de asbestvezels en voor het bepalen van de grootteverdelingen van de vezels.

apparatuur:

- Camscan 4 DV Rasterelektronenmicroscop
- Tracor TN 5500 systeem voor röntgenmicroanalyse.

4.5 Het identificeren van asbest in materialen met behulp van polarisatiemicroscopie

De gebruikelijke methode voor de bepaling van de aanwezigheid van asbest in materialen als asbestcement of andere bulkmonsters is polarisatiemicroscopie. Met deze techniek kunnen de vezels worden geïdentificeerd door bepaling van de morfologie en kenmerkende optische eigenschappen als brekingsindex, dubbelbreking, dispersie en het gedrag in gepolariseerd licht. De methode is beschreven in de referenties [14] en [15].

apparatuur:

- Olympus stereomicroscop met zoomobjectief
- Zeiss polarisatiemicroscop

4.6 Gebruik vezelmonitor

Getracht werd om het verloop van de vezelconcentratie in de container te volgen met behulp van een registrerende vezelmonitor van het fabrikaat Mie-systems die voor dit doel door het RIVM ter beschikking was gesteld. Het werkingsprincipe van dit apparaat berust op het selectief meten van verstrooid laser-licht aan vezels die in een oscillerend elektrisch veld worden gericht. Met behulp van een kleine aanzuigpomp wordt een geringe luchtstroom door de meetkuvet van het apparaat geleid. Omdat het om veiligheidsredenen niet gewenst was het apparaat in de container te plaatsen, werd deze buiten de container opgesteld en werd een korte aanzuigslang door de containerwand gevoerd. Helaas bleek de capaciteit van het aanzuigpompje onvoldoende groot om, tegen de in de container heersende onderdruk in, lucht aan te zuigen. Dit probleem bleek niet in korte tijd oplosbaar te zijn. Omdat de inzet van dit apparaat als optioneel werd beschouwd en niet van essentieel belang was voor het experiment is besloten deze monitor niet verder toe te passen.

4.7 Berekening van de emissie uit de concentratiemetingen

Om de totale hoeveelheid respirabele asbestvezels dat bij een explosie vrijkomt te bepalen wordt er van de vrijkomende "asbestwolk" een over de tijd geïntegreerd monster genomen van de lucht die uit de container wordt afgevoerd. De monsters die als basis voor deze analyse dienen zijn isokinetisch bemonsterd in de twee af-

voerkanalen van de proefcontainer. De per tijdseenheid door de kanalen afgevoerde hoeveelheid lucht werd daarbij bepaald door met behulp van een gecalibreerde anemometer de gemiddelde lichtsnelheid te meten. Bij de berekening van de benodigde monstertijd is aangenomen dat de vrijkomende asbestvezels zo fijn zijn, dat een snelle menging optreedt en de deeltjes de luchtstroom volgen. Om te controleren of deze aanname juist was werden ook in het midden van de container een aantal meetpunten geplaatst. Bij een slechte menging zou er dan een significant verschil moeten zijn tussen de asbestconcentratie in het midden van de container en die in de afgezogen lucht aan het eind. Een verschil in vezelgrootte tussen deze meetpunten zou wijzen op sedimentatie van vezels gedurende het transport. Uit de eerste proeven bleek al spoedig dat zowel de concentraties als de vezelgrootte in het midden en aan het eind vrijwel gelijk waren, zodat de gekozen berekeningsmethode toepasbaar was. Hoewel op grond van het ventilatievoud in de container werd berekend dat een bemonsteringsduur van 60 minuten ruimschoots voldoende moest zijn om tijdens het passeren van de gehele "wolk" deze voor tenminste 99,9% te bemonsteren, is dit ook gecontroleerd door aansluitend aan de eerste bemonstering een tweede uit te voeren. In deze tweede serie zijn inderdaad geen asbestvezels meer aangetroffen.

De hoeveelheid asbestvezels van respirabele afmetingen kan nu worden berekend als het aantal vezels dat per vierkante meter materiaal vrijkomt. Voor deze eenheid is gekozen omdat zowel de brandweer als milieudiensten bij een brand altijd het oppervlak zullen schatten, waarbij zo mogelijk een bouwtekening kan worden gebruikt om tot een betrouwbare schatting te komen. De berekende emissie kan vervolgens in een verspreidingsmodel worden ingevoerd (zie ook hoofdstuk 7).

Voor het berekenen van de emissie wordt de volgende formule gebruikt:

$$E = \frac{Q \times C_{gem.}}{A}$$

C_{gem} = de gemiddelde asbestconcentratie in vezels/m³ in de deelstroom gedurende de proefperiode

Q = de totale hoeveelheid afgevoerde lucht over dezelfde periode in m³

A = het oppervlak aan proefmateriaal dat binnen deze periode is geëxplodeerd in m²

E = het totaal aantal respirabele vezels dat bij explosie per m² materiaal momentaan vrijkomt

Randvoorwaarden

De formule geldt alleen als:

- De vezels met de lucht in de container goed gemengd zijn.
- De monsternemingsduur zodanig lang is dat de gehele concentratiepiek in de meting is betrokken.

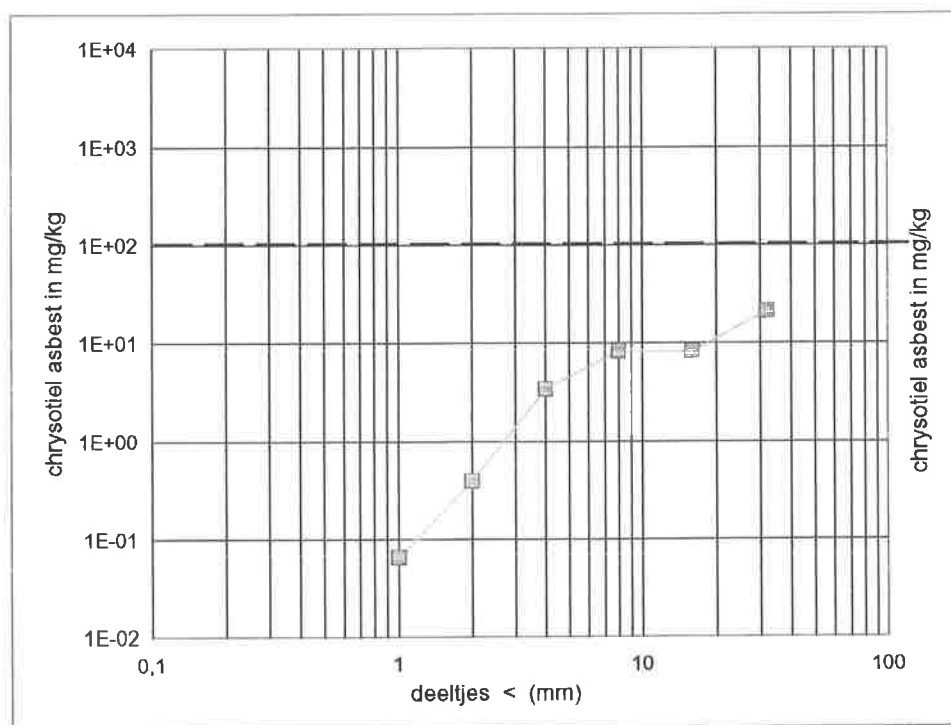
4.8 Bepaling van de aard en de hoeveelheid asbest in de bodem

Een methode voor het systematisch bepalen van de aard en de hoeveelheid asbest in verontreinigde bodem wordt momenteel ontwikkeld in een parallel lopend onderzoek dat eveneens in opdracht van de Hoofdinspectie wordt uitgevoerd. Deze methode is in concept gereed en is al toegepast in een praktijksituatie waarbij de bodem als gevolg van een "asbestbrand" was verontreinigd. In hoofdlijnen kan de methode als volgt worden beschreven:

- Door middel van visuele inspectie wordt eerst een globale indruk verkregen van de omvang van het verspreidingsgebied en de mate van verontreiniging.
- Op basis van deze gegevens, aangevuld met de via het atmosferisch verspreidingsmodel berekende contouren (zie hoofdstuk 7) wordt de omvang van het verontreinigde gebied meer in detail vastgesteld.
- Gebruikmakend van de voor bodemonderzoek geldende bemonsteringsstrategieën (zie ref.[16][17]) wordt een aantal meetlokaties geselecteerd. Op de geselecteerde plaatsen wordt, afhankelijk van de gewenste steekproefgrootte, een nauwkeurig bepaald bodemoppervlak systematisch afgezocht naar flinters asbesthoudend materiaal die vervolgens worden verzameld.
- Vervolgens wordt een monster genomen van de toplaag, de bovenste 1 tot 2cm (afhankelijk van de grondsoort, de vlakheid van de bodem enz.) van het geselecteerde oppervlak. Bij monsterneming vanaf een glad verhard oppervlak kan een veegmonster worden genomen.
- Het grondmonster wordt in het laboratorium gedroogd en vervolgens in diverse zeeffracties verdeeld. De zeeffracties $>500 \mu\text{m}$ worden met behulp van een stereomicroscop systematisch afgezocht naar stukjes asbesthoudend materiaal die vervolgens gewogen worden. De toegepaste vergroting neemt toe naarmate de onderzochte fracties fijner worden. Van elke fractie wordt steeds een representatief aantal deeltjes onderzocht met polarisatiemicroscopie (zie ook 4.5) om na te gaan of deze inderdaad asbest bevatten en het type asbest vast te stellen. De totale hoeveelheid aan asbesthoudende deeltjes in elke fractie wordt door weging bepaald.
- De zeeffractie kleiner dan $500 \mu\text{m}$ wordt verder gescheiden door middel van sedimentatie van het in water gesuspendeerde monster. Aangezien in deze

fractie ook de eventueel aanwezige losse asbestvezels bepaald moeten worden, wordt deze fractie onderzocht met behulp van rasterlektronenmicroscopie in combinatie met röntgenmicroanalyse. Hiermee zijn ook de losse asbestvezels eenduidig te karakteriseren en te kwantificeren.

Het asbestgehalte wordt uitgedrukt in mg/kg grond (of eventueel in mg/m² grondoppervlak). Het resultaat wordt weergegeven in een grafiek; op de x-as staat de korrelgrootte van de asbestdeeltjes/grondfractie en op de y-as het asbestgehalte (cumulatief). Beide assen hebben een logarithmische schaal. Deze vorm van presentatie geeft snel een inzicht in de aard en de omvang van de asbestverontreiniging.



Figuur 4.1 Analyseresultaat van een bodemmonster met asbestcement-flinters en asbesthoudende conglomeraten die bij een brand zijn vrijgekomen (voorbeeld).

5 Literatuuronderzoek en inventarisatie van bestaande expertise

5.1 Het vrijkomen van asbest bij brand

In de literatuur [3] worden geen kwantitatieve gegevens aangetroffen over de hoeveelheden asbest die tijdens een brand kunnen vrijkomen. Wel zijn er vele voorschriften in omloop over hoe er tijdens en na een brand moet worden opgetreden. Deze voorschriften zijn voornamelijk gebaseerd op de ervaringen van de brandweer en die van andere hulpdiensten zoals GGD's en Milieudiensten en zijn vooral gericht op het snel opruimen van de vrijgekomen asbestcement-flinters.

Bij het maken van verspreidingsberekeningen is het van belang de parameters die daarop van invloed zijn zo goed mogelijk te schatten [3]. De warmteinhoud van een brand, doorgaans uitgedrukt in mW, is van grote invloed op de z.g. pluimstijging. Bij grote branden zullen de vrijkomende deeltjes tot op grote hoogte verticaal worden meegevoerd. Dit betekent dat bij een grote brand de transportafstand van de vrijkomende rookgassen en deeltjes aanzienlijk groter zal zijn dan bij een kleine brand. Het is dus van belang om snel een schatting te maken van de omvang van een brand. In de praktijk gebeurt dit al door de brandweer die een indeling in klassen kent waarop o.a. de inzet van materieel wordt gebaseerd. Waarschijnlijk is deze indeling voldoende nauwkeurig om in het globale verspreidingsmodel te gebruiken. Er zijn echter ook aanwijzingen dat de warmte-output op het moment van het uiteenvallen van de asbestcement nog heel gering is [10]. De warmte kan pas opstijgen als het dak verdwenen is. Hierop zal in hoofdstuk 7 nader worden ingegaan.

Uit eigen ervaring is gebleken dat eenvoudige verspreidingsberekeningen redelijk tot goed correleren met achteraf uitgevoerde visuele waarnemingen in het veld. Deze methode is onder andere getoetst bij een grote brand van de papierfabriek Roermond [8]) en een brand van een grote opslagloods van een chemische fabriek te Weert (zie ook 5.2).

5.2 Bodemonderzoek na een brand

Naast het uitvoeren van de proeven in de beschreven testopstelling zijn ook in de praktijk aanvullende onderzoeken uitgevoerd. Deels om de bevindingen in de praktijk te controleren en deels om de nog ontbrekende gegevens aan te vullen. Belangrijke gegevens zijn verkregen uit onderzoek van een terrein na een brand in het voorjaar van 1995, waarbij asbestcementflinters waren vrijgekomen. Kort na de brand werd het terrein tot twee maal toe schoongemaakt door middel van 'hand-

picking'. Samen met het RIVM werd ter plaatse een onderzoek ingesteld met het doel de volgende vragen te beantwoorden:

- Is er nog een restverontreiniging met asbesthoudend materiaal aanwezig, en zo ja, wat zijn dan de concentraties?
- Wat is de grootte van de aangetroffen asbesthoudende deeltjes?
- Hoe goed is is het terrein schoongemaakt? Gezien de herhaalde schoonmaakacties en de daarop aansluitende inspecties mag verondersteld worden dat hiermee tevens de grens bereikt is van wat met 'handpicking' mogelijk is.
- Komt het waargenomen verspreidingspatroon van de flinters enigszins overeen met het via het TNO-pluimmodel (zie hoofdstuk 7) voorspelde gebied?
- Is de eerste versie van de door TNO ontwikkelde bepalingsmethode voor asbest in de bodem geschikt om de (rest)verontreiniging te bepalen en het saneringsresultaat te toetsen?
- Hoe kunnen een visuele inspectie en een gerichte monsterneming van de bodem het best gecombineerd worden?
- Is de restverontreiniging alleen in de uiterste toplaag aanwezig of zijn er ook vezels die op dieper gelegen plaatsen terecht komen?

Het blijkt dat er ook na het herhaald (handmatig) schoonmaken van het terrein nog restanten asbesthoudend materiaal worden aangetroffen. Het gaat daarbij vooral om flintertjes die met het blote oog niet of moeilijk waarneembaar en/of herkenbaar zijn (< ca. 8 mm). Er werden echter ook zichtbare restanten aangetroffen. Aan handpicking is dus duidelijk een grens. Waar deze saneringsgrens ligt is niet precies vast te stellen omdat allerlei factoren die de visuele waarneming beïnvloeden, zoals ondergrond, lichtomstandigheden, etc.

Het verspreidingsgebied blijkt, het beperkt aantal meetpunten in aanmerking genomen, inderdaad goed overeen te komen met de berekende contour. Het gesedimenteerde asbest blijft in de uiterste toplaag van de bodem aanwezig en migreert vrijwel niet naar dieper gelegen plaatsen. De gebruikte methode (zie 4.8), die nu in concept gereed is, blijkt goed toepasbaar. Wel moet de methode nog gevalideerd worden. Meer details over dit onderzoek zullen beschreven worden in het binnenkort te verschijnen rapport 'Asbest in de bodem' fase 2 en 3.

5.3 Andere incidenten waarbij asbest kan vrijkomen

De afgelopen jaren is door TNO bij een aantal "asbestincidenten" onderzoek verricht. Het gaat hierbij vooral om explosies waarbij asbesthoudend materiaal vrijkwam. Aan de hand van een tweetal van deze incidenten kan een indruk worden verkregen van de manier waarop asbesthoudend materiaal bij een explosie wordt verspreid.

Explosie van de vuurwerkfabriek Culemborg [9]

In 1991 explodeerde de toenmalige vuurwerkfabriek Culemborg. Zowel in de opslagbunkers als in de loodsen was veel asbestcement plaatmateriaal verwerkt. Bij deze zeer zware explosie werden de platen in kleine stukjes uiteen geslagen en over de omgeving verspreid. Er zijn aanmerkelijke verschillen met een "asbestbrand":

- De verspreide stukjes hebben voor het merendeel dezelfde dikte als de oorspronkelijke plaat waaruit ze zijn losgeslagen. Er treedt dus nauwelijks delaminatie op.
- Het verspreidingsgebied van de stukjes wordt vooral bepaald door de fysische omstandigheden bij de explosie en in veel mindere mate door de windrichting en de windsnelheid. Figuur 10.18 in bijlage 10.1 toont een luchtfoto van de geëxplodeerde vuurwerkfabriek te Culemborg, kort na het ongeval. In het besneeuwde landschap zijn in verschillende richtingen elipsvormige "lobben" te zien van materiaal dat bij de explosie is vrijgekomen. De richting van de drukgolf is voornamelijk bepaald door de constructie van de geëxplodeerde opslagruimte.
- Omdat de verhouding oppervlak/massa van de massieve stukjes veel kleiner is dan die van gedelamineerde asbestcementflinters, worden deze ook minder ver door de wind meegedragen.
- Omdat er geen delaminatie optreedt, is het totale breukoppervlak aanmerkelijk kleiner dan dat van de bij een brand vrijkomende flinters. Omdat op basis van het huidige onderzoek wordt geconcludeerd dat de primaire emissie aan respirabele vezels ongeveer evenredig is met het totale breukoppervlak, kan worden aangenomen dat de primaire emissie bij een explosie geringer is dan bij een "asbestbrand" van een vergelijkbaar oppervlak aan asbestcement.
- De stukjes zijn vrij massief en worden minder gemakkelijk via schoeisel binnengelopen dan met flinters het geval is. In Culemborg zijn in een drietal woningen concentratiemetingen met REM/RMA uitgevoerd om een mogelijke secundaire emissie te bepalen. Hoewel er op de aangrenzende terreinen veel stukjes asbestcement werden aangetroffen is in geen enkele woning een verhoogde asbestconcentratie aangetroffen.

Explosie bij DSM in het Botlekgebied in 1991

In tegenstelling tot de bovengenoemde explosie te Culemborg kwam hierbij slecht gebonden asbest vrij. Er zijn enkele overeenkomsten en veel verschillen met een "asbestbrand" waarbij asbestcement betrokken is, namelijk:

- De volumineuze massa bevond zich als isolatiemateriaal rond de getroffen opslagtank en werd door de explosie in kleine plukjes uiteen geslagen en direct door de vrij sterke wind meegevoerd.

- Proefondervindelijk werd vastgesteld dat zowel de richting als de concentratie-gradiënt goed met een atmosferisch verspreidingsmodel kan worden beschreven. Dit komt waarschijnlijk doordat de vrijgekomen plukjes zeer volumineus waren (een grote oppervlak/massa verhouding). Alleen deze eigenschap komt overeen met die van asbestflinters.
- Te verwachten is dat de primaire emissie vele malen hoger is geweest dan die van een "asbestbrand" met asbestcement.
- De secundaire emissie van de plukjes asbesthoudend materiaal bleek, vooral in natte toestand, bijzonder groot te zijn. In een aantal aangrenzende gebouwen bleek dat al na 24 uur stukjes asbesthoudend materiaal via het schoeisel waren ingelopen.

Wanneer de effecten van een brand en een explosie worden vergeleken dan kunnen globale conclusies worden getrokken zoals vermeld in tabel 5.1:

Tabel 5.1 Een vergelijking van de belangrijkste effecten bij een "asbestbrand" en die van een explosie van een gebouw of constructie waarbij asbesthoudende materialen vrijkomen.

	ASBESTBRAND	EXPLOSIE GEBOUW
ASBESTCEMENT		
primaire emissie	matig	gering
toepasbaarheid atmosferisch verspreidingsmodel	redelijk	niet toepasbaar
kans op secundaire emissie buiten het directe ongevalsgebied	aanwezig (bij mechanische beschadiging)	gering
bijzonderheden	delaminatie	geen delaminatie
SLECHT GEBONDEN ASBESTHOUDENDE PRODUCTEN (B.V. AMOSIETBOARD)		
primaire emissie	gering	waarschijnlijk groot
toepasbaarheid atmosferisch verspreidingsmodel	wordt niet verspreid	redelijk
kans op secundaire emissie buiten het directe ongevalsgebied	gering	zeer groot
bijzonderheden	terrein van de brand wel verontreinigd	ook terrein explosie ernstig verontreinigd
VRIJWEL ONGEBONDEN ASBEST (B.V. SPUITASBEST, LOSSE ISOLATIE)		
primaire emissie	waarschijnlijk groot *	zeer groot
toepasbaarheid atmosferisch verspreidingsmodel	redelijk	redelijk
kans op secundaire emissie buiten het directe ongevalsgebied	gering	zeer groot
bijzonderheden	terrein van de brand sterk verontreinigd	ook terrein sterk verontreinigd

* Dit is een veronderstelling die (nog) niet experimenteel is bevestigd.

6 Resultaten van de praktijkproeven

6.1 Standaard asbestcement-golfplaat met 15-20% chrysotiel

De gebruikte plaat is verweerd en met mos begroeid. Er wordt één proefstuk van ca. 40 x 40 cm op de brander gelegd. Om een snelle opwarming te bewerkstelligen, is de plaat met de "golven" dwars op de stromingsrichting van de lucht gelegd. Na 15 seconden treedt de eerste explosie op, daarna volgen nog verscheidene andere explosies, waarbij de plaat met luide knallen in stukken en stukjes uiteen spat. Uiteindelijk is een stuk van ca. 10 x 20 cm uiteen gevallen. Gezien de heftigheid van de verschijnselen is, in tegenstelling tot bij de proeven met vlakke plaat, slechts één proefstuk om eventuele overbelading van de filters te voorkomen.

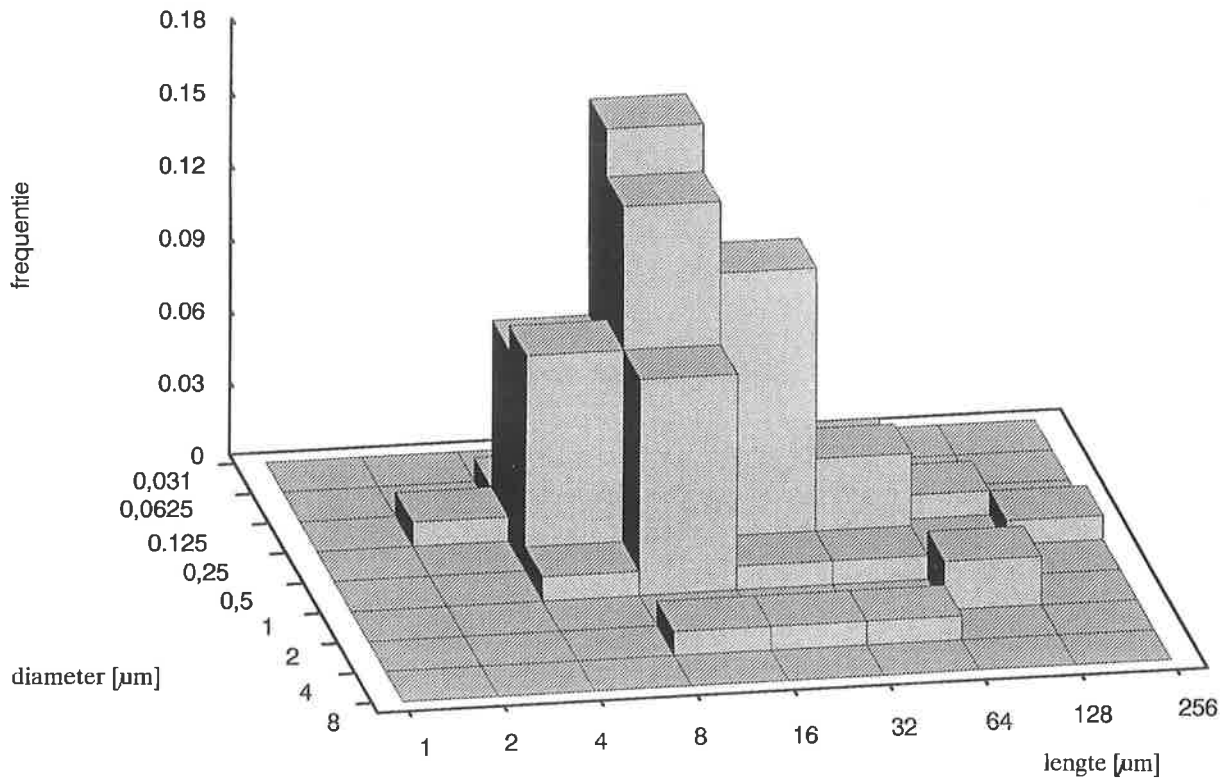
Tabel 6.1 Asbestconcentraties tijdens de proeven met verweerde golfplaat, die 15-20 gewichtsprocent chrysotiel bevat.

Situatie / proefomstandigheden	Plaats monsterneming	concentratie in vezels/liter lucht*
blanko voorafgaand aan proef	in afgezogen lucht	< 0,8
tijdens exploderen asbestcement (primaire emissie)	in afgezogen lucht	55 (41-72)
tijdens exploderen asbestcement (primaire emissie)	in midden van container	52 (40-66)
met ventilator over flinters blazen (secundaire emissie)	in de afgezogen lucht	< 0,8

* Bij deze proefcondities (de plaat bevat chrysotiel als enige asbestsoort) kan worden aangenomen dat 1 vezel/l overeenkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ lucht. Tussen haakjes is het 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven.

Afmetingen van de vrijgekomen vezels

Afbeelding 6.1 toont de vezelgrootteverdeling van de vezels die tijdens de explosie aan de lucht zijn vrijgekomen. Omdat er geen significante verschillen zijn aangetoond tussen de vezelafmetingen in het luchtmonster uit het midden van de container en die uit de afgezogen luchtstroom, zijn deze gegevens gecombineerd weergegeven. Het blijkt dat vrijwel alle aan de lucht vrijkomende vezels inadembare afmetingen hebben. Omdat er tussen de twee meetpunten die op verschillende afstanden van het proefmateriaal zijn geplaatst noch in concentratie noch in vezelafmetingen significante verschillen zijn waargenomen, kan worden geconcludeerd dat er bij de explosie vrijkomende vezels zeer homogeen in de langstromende lucht worden opgenomen.



Afb. 6.1 *Vezelgrootteverdeling van de vezels die vrijkomen bij het uiteenspatten van verweerde asbestcement golfplaat die 15-20 gewichtsprocent chrysotiel bevat.*

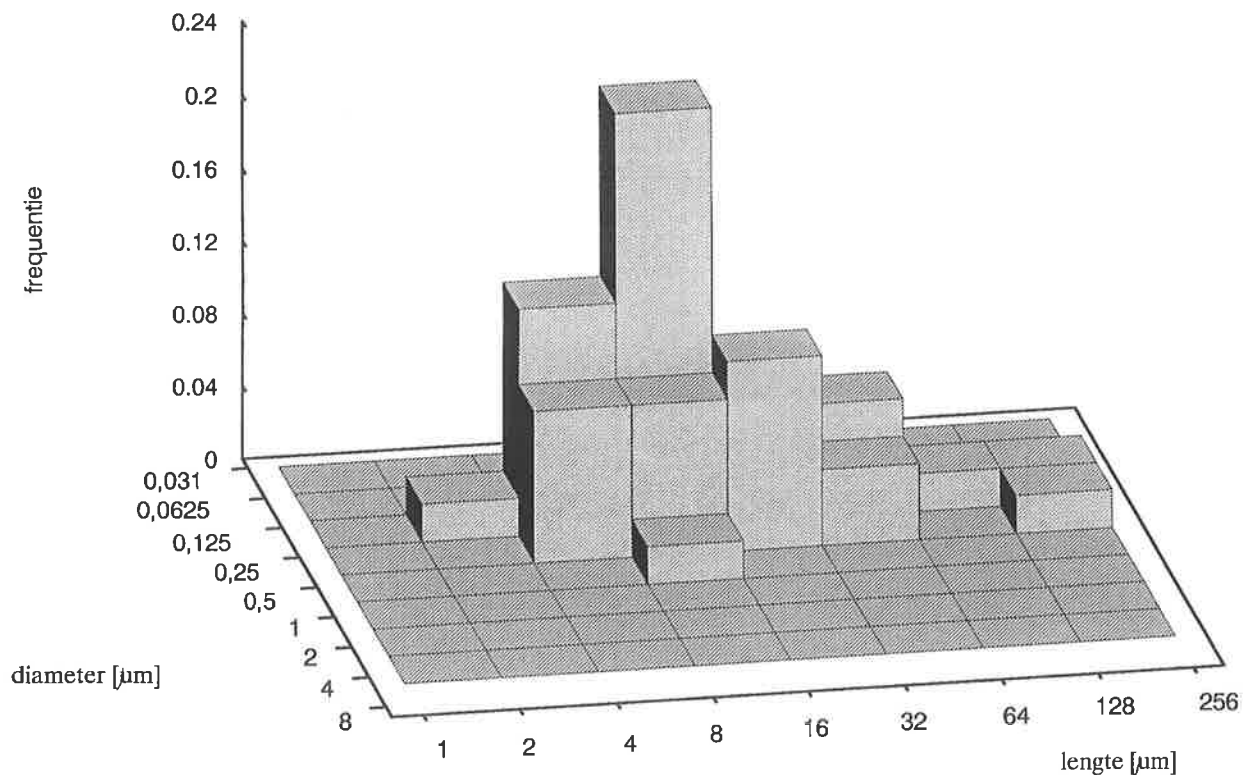
6.2 Asbestcement-plaat met coating (Glasal dun)

De merknaam Glasal (nieuw aangeschaft bij Eternit België) duidt aan dat het asbestcement onder hoge druk is geperst en tot de meest hechtgebonden asbestcementprodukten behoort. Ook zijn Glasal platen bevatten 10-15 gewichtsprocent chrysotiel en aan één zijde voorzien van een in de fabriek aangebrachte emaillecoating. Het proefstuk explodeert na ca. 30 seconden opwarmen. Een cirkelvormig gebied (rond de brander) is geheel uiteen gespat. De proef is uitgevoerd door korte tijd na elkaar twee proefstukken van 40 x 40 cm te laten exploderen. De verschijnselen bij het tweede proefstuk zijn vrijwel gelijk aan die van het eerste.

Tabel 6.2 Asbestconcentraties tijdens de proeven met dunne Glasal-plaat die 10-15 gewichtsprocent chrysotiel bevat.

Situatie / proefomstandigheden	Plaats monsterneming	Concentratie in vezels/liter lucht*
blanko voorafgaand aan proef	in afgezogen lucht	< 0,8
tijdens exploderen asbestcement (primaire emissie)	in afgezogen lucht	26 (17-38)
tijdens exploderen asbestcement (primaire emissie)	in midden van container	24 (16-35)
met ventilator over flinters blazen (secundaire emissie)	in de afgezogen lucht	< 0,8

* Bij deze proefcondities (de plaat bevat chrysotiel als enige asbestsoort) kan worden aangenomen dat 1 vezel/l overeenkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ lucht. Tussen haakjes is het 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven.



Afb. 6.2 Vezelgrootteverdeling van de vezels die vrijkomen bij het uiteenspatten van dunne Glasal-plaat (dikte 3 mm), die 10-15 gewichtsprocent chrysotiel bevat.

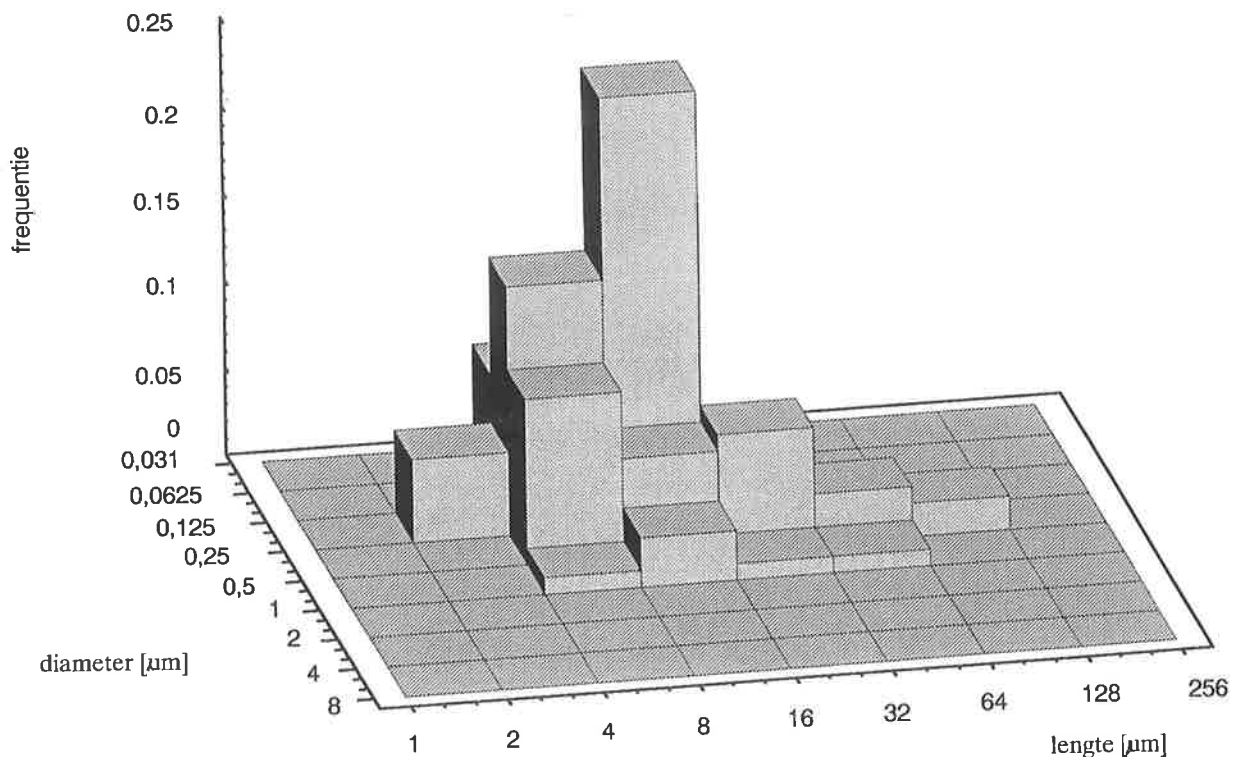
6.3 Asbestcement-plaat met coating (Glasal dik)

Achtereenvolgens zijn twee stukken plaatmateriaal van ca. 40 x 40 cm beproefd. De platen springen na 2 à 3 minuten opwarmen uiteen met opeenvolgende, heftige knallen.

Tabel 6.3 Asbestconcentraties tijdens de proeven met dikke Glasal-plaat die 10-15 gewichtsprocent chrysotiel bevat.

Situatie / proefomstandigheden	Plaats monsterneming	Concentratie in vezels/liter lucht*
blanko voorafgaand aan proef	in afgezogen lucht	< 0,8
tijdens exploderen asbestcement (primaire emissie)	in afgezogen lucht	39 (29-51)
tijdens exploderen asbestcement (primaire emissie)	in midden van container	39 (30-51)
met ventilator over flinters blazen (secundaire emissie)	in de afgezogen lucht	< 0,7

* Bij deze proefcondities (de plaat bevat chrysotiel als enige asbestsoort) kan worden aangenomen dat 1 vezel/l overeenkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ lucht. Tussen haakjes is het 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven.



Afb. 6.3 Grootteverdeling van de vezels die vrijkomen bij het uiteenspatten van dikke Glasal-plaat (dikte 6 mm) die 10-15% chrysotiel bevat.

6.4 Asbestboard op basis van cellulose (Internit)

Het proefstuk begint na ca. 3 minuten te branden. De in de plaat verwerkte cellulosevezels branden uit en er treedt geen explosie op. Het resterende plaatmateriaal behoudt zijn oorspronkelijke, vlakke structuur zonder dat asbestvezels worden vrijgemaakt.

6.5 Brandwerend asbestboard op basis van amosiet (Nobranda)

Het brandwerend board met 40 tot 60% amosiet blijkt zeer goed bestand tegen verhitting. Na 15 minuten verwarmen op een hoge vlam, waarbij de temperatuur aan de onderzijde van de plaat tot ca. 800°C oploopt, treden er geen zichtbare veranderingen op aan de plaat. De temperatuur aan de bovenzijde van de plaat wordt niet hoger dan 100°C.

6.6 Bespreking en discussie

Emissiefactoren

Voor het berekenen van de emissiefactoren is de volgende formule gebruikt (zie ook hoofdstuk 4).

$$E = \frac{Q \times C_{gem.}}{A}$$

waarin:

C_{gem} = de gemiddelde asbestconcentratie (vezel/m³) in de deelstroom gedurende de proefperiode

Q = de totale hoeveelheid afgevoerde lucht (m³) over dezelfde periode

A = het oppervlak (m²) aan proefmateriaal dat binnen deze periode is geëxplodeerd

E = het totaal aantal respirable vezels dat bij explosie per m² materiaal momentaan vrijkomt (in deze tabel is ter vergelijking de waarde voor verweerde golfplaat op 100% gesteld)

De tussen haakjes vermelde, klein weergegeven getallen geven het 95%-betrouwbaarheidsinterval aan van de microscopische analyse. Dit interval is tevens doorberekend in het eindresultaat.

Gebruikmakend van de deze formule is de vezelemissie bij explosie voor de beproefde materialen berekend en weergegeven in tabel 6.4. Op grond van deze waarnemingsresultaten kunnen de emissiefactoren van asbestcementproducten die niet beproefd zijn worden afgeleid of geschat. In hoofdstuk 7 wordt hierop nader ingegaan. Uit de vergelijking van de resultaten van respectievelijk dikke en dunne Glasal-plaat blijkt dat de emissie van twee identieke asbestcementtypen vrijwel evenredig is met de dikte van het plaatmateriaal, en dus met het totaal breukoppervlak.

Tabel 6.4 Primaire emissie van asbestcementproducten na explosie tengevolge van brand.

Produkt	$C_{\text{gem.}} \text{ (v/m}^3\text{)} \times 10^4$	Q (m ³)	A (m ²)	E (vezels) $\times 10^8$	E relatief
Glasal dikke plaat	3,7 (3-5)	3280	0,090	14 (10-20)	46%
Glasal dunne plaat	2,3 (2-4)	3139	0,10	7 (5-12)	24%
Golfplaat verweerd	6.0 (4-7)	3139	0,064	29 (20-40)	100%
Nobranda	<0,1	3139	geen explosie	<0,4	<1,5%
Internit	<0,1	3139	geen explosie	<0,4	<1,5%

Vezelgrootte

Vrijwel alle vezels die bij de explosie vrijkomen hebben inadembare afmetingen en zijn bovendien voor ca. 95% langer dan 5 µm. Vrijkomende chrysotielvezels kunnen dan ook in de categorie met equivalentiefactor 1 worden ingedeeld, terwijl voor amfibolen (crocidoliet en amosiet) een equivalentiefactor van 10 wordt aangehouden.

Bij de verweerde asbestcement golfplaat is de grootteverdeling breder dan bij de beide Glasal platen. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door het feit dat er voor het exploderen/delamineren van het zeer hechtgebonden Glasal meer energie nodig is dan bij de verweerde golfplaat. De vezels die uit het exploderende Glasal vrijkomen zijn dan ook gemiddeld korter en dunner.

De sedimentatiesnelheid van de vezels in de lucht wordt voornamelijk bepaald door de vezeldiameter. De gemiddelde diameter is bij alle beproefde materialen zodanig klein, dat deze gemakkelijk tot op grote afstand van de bron meegevoerd kunnen worden.

Delaminatie

Hoe minder hechtgebonden de asbestcement is, hoe gemakkelijker er delaminatie optreedt. Bij de verweerde golfplaat ontstaan relatief veel grote flinters die op korte afstand van de bron sedimenteren, terwijl er uit de Glasal-platen juist veel kleine flinters vrijkomen die door de wind tot op grotere afstand van de bron meegevoerd kunnen worden. Uit deze kleinschalige proeven kunnen echter slechts beperkte conclusies worden getrokken aangaande de verspreiding van de flinters. Waarnemingen uit de praktijk wijzen echter uit dat ook de fijne flinters tot op vrij grote afstand van de bron (honderden meters) terecht kunnen komen.

Secundaire emissie

Door met een ventilator een sterke luchtstroom over de in de testruimte gesedimenteerde flinters te leiden, werd nagegaan of er onder deze condities opnieuw vezels uit het materiaal loskwamen. Dit bleek echter bij geen van de onderzochte materialen het geval te zijn. Blijkbaar is een luchtstroom alleen onvoldoende om vezels uit het materiaal vrij te maken, maar zijn daarvoor ook mechanische krachten nodig. Uit eigen onderzoek is bekend dat er door het betreden of berijden van deze gesedimenteerde stukjes wel weer asbest wordt losgemaakt. In hoofdstuk 7 zal hierop nader worden ingegaan. De effecten van het betreden en berijden zijn door proeven op kleine schaal niet betrouwbaar te voorspellen, en moeten derhalve uit praktijkmetingen worden afgeleid (zie ook aanvullende onderzoek RIVM). Wel kan uit de proefresultaten worden afgeleid dat het opruimen van gesedimenteerde flinters vanaf verharde oppervlakken de hoogste prioriteit verdient.

Verspreiding en menging

De vezels die bij een explosie vrijkomen blijken zich in zeer korte tijd vrijwel homogeen in de proefruimte te verdelen. Noch in vezelconcentratie noch in grootteverdeling worden significante verschillen gevonden tussen metingen die tegelijkertijd op verschillende plaatsen in de proefruimte zijn uitgevoerd.

Nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid

In tabel 6.4 is alleen de onnauwkeurigheid van de vezeltellingen in het eindresultaat doorberekend. Er zijn een aantal andere foutenbronnen aanwijsbaar die weliswaar minder goed te kwantificeren zijn, maar toch de nauwkeurigheid van het eindresultaat nadelig beïnvloeden. Enkele van deze onnauwkeurigheden zijn:

- de visuele schatting van het aangetast oppervlak van het gebruikte proefstuk
- de beperkte schaalgrootte waarop het experiment is uitgevoerd (“vertaling” naar een werkelijke brand).

Gezien deze onzekerheden moeten de uitkomsten van de proeven eerder worden beschouwd als een grootte orde, dan als een nauwkeurige bepaling.

7 Emissieberekeningen

7.1 'Vertaling' van de proefresultaten naar de praktijk

Zoals uit de in hoofdstuk 6 vermelde resultaten blijkt, zal de primaire emissie van inadembare vezels gedurende een korte periode een concentratieverhoging tot gevolg hebben. Omdat men vrijwel altijd te laat ter plaatse zal zijn om de primaire emissie te kunnen meten, is het in principe daarom weinig zinvol om in de praktijk concentratiemetingen uit te voeren. In feite is alleen lichtmicroscopie (LM) ter plaatse toepasbaar (meetwagen). Deze techniek is echter niet specifiek voor asbestvezels en daarom ongeschikt voor toepassing in de buitenlucht, tenzij deze dienen ter controle van de opruimwerkzaamheden in de directe omgeving van asbesthoudend materiaal, bijvoorbeeld rond de brandhaard [8]. Meetresultaten van LM metingen buiten het directe terrein van de brand blijken in de praktijk vaker verwarring te zaaien dan duidelijkheid te scheppen. Meestal omdat organische vezelvormige deeltjes (delen van plantezaden enz.) een achtergrondconcentratie geven die door niet-deskundigen vaak ten onrechte als asbestvezels geïnterpreteerd worden. Toch is er behoefte om zeer snel een indruk te krijgen van de heersende asbestconcentraties tijdens en kort na de brand, en de verspreiding daarvan. De thans verkregen proefresultaten bieden de mogelijkheid om, in combinatie met een verspreidingsberekening, in vrij korte tijd de concentratiezônes in kaart te brengen. Aan de hand hiervan kunnen maatregelen worden genomen om de blootstelling aan asbest voor de hulpdiensten en de bewoners van aangrenzende woningen zoveel mogelijk te beperken.

7.2 Verspreidingsberekening voor een praktijksituatie

Invoer gegevens

Op het moment van de brand zijn er vrijwel nooit uitgebreide gegevens beschikbaar en zal men moeten volstaan met schattingen en aannames. De vragen die beantwoord moeten worden om een verspreidingsberekening te kunnen uitvoeren moeten dan ook eenduidig en beperkt in aantal zijn, in feite in de vorm van een aankruisformulier (zie tabellen 7.1 en 7.2). Sommige asbestcementsoorten bevatten 5-10 gewichtsprocent blauwe asbest (crocidoliet). Vanwege het grotere potentiële gezondheidsrisico dat aan blauwe asbest wordt toegeschreven, wordt aan crocidolietvezels een equivalentiefactor van 10x toegekend t.o.v. chrysotielvezels met dezelfde lengte. Door de emissiefactoren in **vezelequivalenten** op te geven kan deze factor worden verdisconteerd. Uiteraard dient men er bij het vergelijken met de door VROM opgestelde richtlijnen voor blootstelling (VR en MTR) rekening mee te houden dat deze waarden **jaargemiddelde concentraties** weergeven,

terwijl de als gevolg van een brand vrijkomende “asbestwolk” slechts een kortstondige piekbelasting oplevert.

Geef aan welke bouwdelen vermoedelijk uit asbestcement bestaan en schat aan de hand van tabel 7.1 het oppervlak in vierkante meters:

Tabel 7.1 Schatting van de bronsterkte bij een asbestbrand door het bepalen van het type materiaal en de hoeveelheid uitgedrukt in m².

BOUWDEEL	AANTAL M ²	EMISSIEFACTOR IN 10 ⁸ VEZELEQUIVALENTEN/M ²	TOTALE EMISSIE IN VEZELEQUIVALENTEN
DAKBEPLATING STANDAARD golfplaat 10-20% chrysotiel	..... x	29	=
DAKBEPLATING MET CROCIDIOLIET 10-20 % chrysotiel+5-10% crocidoliet	..... x	175 (zie opmerking 1) *	=
GEVELBEPLATING, 10-20% chrysotiel enkele beplating	..... x	7-14 afhankelijk van type dikte, verweringsgraad	=
GEVELPANELEN (SANDWICH), 10-20% chrysotiel, dubbel uitgevoerd	..... x	14	=
INPANDIGE AS- BESTCEMENTPLATEN	..... x	7-10 afhankelijk van type en dikte van de plaat	=
ANDER MATERIAAL TYPE 1 .....	..... x	.....	= .....
ANDER MATERIAAL TYPE 2 .....	..... x	.....	= .....
TOTALE EMISSIE			.

opmerking 1

Voor materialen die naast chrysotiel ook crocidoliet bevatten is de emissiefactor geschat uit de tijdens het onderzoek verkregen waarde voor golfplaat die uitsluitend chrysotiel bevatte. Hierbij is de volgende benadering gebruikt:

$$E_{\text{totaal}} = (E_{\text{plaat met chrysotiel}} \times 1) + \frac{\% \text{ crocidoliet}(7,5)}{\% \text{ chrysotiel}(15)} (E_{\text{plaat met chrysotiel}} \times 10)$$

De globale asbestgehaltenes die in dit type materiaal worden aangetroffen zijn tussen haakjes aangegeven. De factoren 1 en 10 zijn de equivalentiefactoren voor respectievelijk chrysotiel (vezellengtel > 5 µm) en crocidoliet (vezellengtel > 5 µm). Berekend voor dit type plaat bedraagt E dus $174 \cdot 10^8$ vezelequivalenten/m². **Dit type plaat komt in de praktijk niet vaak voor.** De platen zijn doorgaans dikker dan de standaard golfplaten en kunnen grotere afstanden overspannen. De aanwezigheid van crocidoliet is door een deskundige ook ter plaatse vrij snel vast te stellen door een breukvlak te bekijken met een stereomicroscop.

opmerking 2

Sandwichplaten bestaan uit dubbele AC-beplating van het type "Glasal dun". In de tabel is er van uitgegaan dat het buitenoppervlak wordt geschat. De totale emissie is in de tabel dus al met een factor 2 vermenigvuldigd.

De overige parameters die van belang zijn om de verspreiding te kunnen bepalen zijn in de vorm van een invulformulier weergegeven in tabel 7.2

Tabel 7.2 Overige parameters die van belang zijn voor het bepalen van de emissie en het verspreidingsgebied.

Windrichting graden									
Windsnelheid m/s									
Stabiliteitsklasse (schatting aan de hand van figuur 7.0)									
A	B	C	D	E					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Neerslag									
droog	lichte regen	regen	zware regenval	.....				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Op welke afstand (in meters) bevinden zich de eerste woningen benedenwinds t.o.v. vanaf de brandhaard ?									
< 25	25-50	50-100	100-200	200-400	400-800	800-1600	1600-3200	>3200	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Zijn er hoge obstakels (b.v. flats) aanwezig die de windrichting/windsnelheid beïnvloeden ?									
Nee	Ja (geef beschrijvende toelichting)								
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>								
Geef een indicatie van de omvang/intensiteit van de brand ?									
kleine brand <i>woonhuis</i> <i>1 ruimte</i> <i>schuurtje</i>	middelgrote brand <i>alle ruimten</i> <i>in woonhuis</i>	grote brand <i>opslaghal</i> <i>fabrieksloods</i> <i>enz.</i>		zeer grote uitlaande brand <i>meerdere gebouw</i> <i>complex, uitlaand</i> <i>complete fabriek</i>					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>					
Is er explosie/delaminatie van asbestcement waargenomen ?									
nee	ja, beperkt van omvang	ja, hevig		ja, hevig en langdurig					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>					
Tijdstip waarop de brand is uitgebroken: uur einde van de brand: uur									

Voor het bepalen van (asbest)vezelconcentraties die het gevolg zijn van de primaire vezelemissie kan een korte-termijn atmosferisch verspreidingsmodel worden gebruikt. De hieronder gepresenteerde vezelconcentraties zijn met behulp van de korte-termijn variant van het 'Nationale Model' berekend. De aanduiding korte-termijn heeft betrekking op de middelingstijd waarop de berekende vezelconcentraties betrekking hebben.

Modelbeperkingen

Aan het gebruik van verspreidingsmodellen kleeft een aantal beperkingen. Het bovengenoemd korte-termijn model is niet toepasbaar voor een receptorafstand, de afstand tussen de bron en de plaats waarvoor de concentratie op grondniveau wordt berekend, kleiner dan 100 meter. De bronhoogte dient bij voorkeur groter dan 10 meter te zijn. Een middelingstijd kleiner dan 1 uur laat het model niet toe. Het hier gebruikte model* is alleen geschikt voor gassen of deeltjes kleiner dan ca. 10 µm (zeker niet voor asbestcementflinters). Het model gaat er van uit dat indien de pluim de grond raakt, er 'reflectie aan het bodemoppervlak' optreedt. Deze veronderstelling is met name (ook voor kleine) deeltjes discutabel. Indien er geen reflectie optreedt, de deeltjes blijven bijvoorbeeld in en op allerlei obstakels achter, zullen de berekende concentraties een factor twee kleiner zijn.

De berekende korte-termijn (uurgemiddelde) concentraties zijn zeer gevoelig voor windrichtingvariaties. Dit komt tot uiting in de nauwkeurigheid van de, voor een bepaalde plaats, voorspelde concentratie. Onnauwkeurigheden van een orde grootte kunnen niet worden uitgesloten.

Schatting van de model-invoergegevens

Bronsterkte

In tabel 7.1 wordt aangegeven op welke wijze een schatting van de bronsterkte kan worden gemaakt. De (geschatte) totale primaire emissie wordt als model-invoer gebruikt. Het tijdsinterval waarop de emissie betrekking heeft moet bekend zijn.

Bronhoogte/warmte-ouput

Als bronhoogte kan in eerste instantie steeds de objecthoogte, de plaats waar de asbestcement houdende materialen exploderen, worden aangehouden. De bij een brand vrijkomende (stralings)warmte (warmte-output) veroorzaakt een pluimstijging, hetgeen tot een grotere 'bronhoogte' en daarmee tot een sterkere atmosferische verdunning leidt. Het schatten van de warmte-output van een brand blijkt een praktisch probleem te zijn. De afdeling Industriële Veiligheid van TNO Milieu en Energie hanteert als vuistregel [10] dat bij een (grote) brand gedurende de eerste 20 minuten geen bijdrage van toxische (gasvormige) stoffen op leefniveau te verwachten is. Deze vuistregel blijkt voor gassen in de calimiteiten-praktijk redelijk goed te voldoen.

* andere modellen laten wel kortere tijden toe

Bij het toepassen van deze vuistregel op de vezelemissie, die het gevolg is van delaminerend asbestcement, moeten enige kanttekeningen worden geplaatst. De periode van 20 minuten kan geen betrekking hebben op asbestcementflinters. In de praktijk kan worden vastgesteld dat vrijwel meteen na het opgang komen van het delamineerproces er asbestcementflinters in het leefmilieu (onderste meters van de atmosfeer) terecht komen. Voor wat betreft de primaire emissie van vezels, die tijdens het delamineren volledig zijn vrij gekomen, kan niet worden uitgesloten dat deze deeltjes vrijwel direct in het leefmilieu worden gebracht.

In het geval van asbestcement dakbedekking zal de brand (aanvankelijk) veelal onder de asbestcementplaten plaatsvinden, de platen schermen daardoor het vuur af. Het is waarschijnlijk dat in eerste instantie, bij het opgang komen van het delamineerproces, er niet of in een beperkte mate (stralings)warmte beschikbaar is die pluimstijging kan opwekken.

Op grond van het voorgaande wordt, om te voorkomen dat situaties te gunstig wordt ingeschat, de berekeningen zonder pluimstijging uitgevoerd. Deze aanpak resulteert dus in een conservatieve vezelconcentratieschatting.

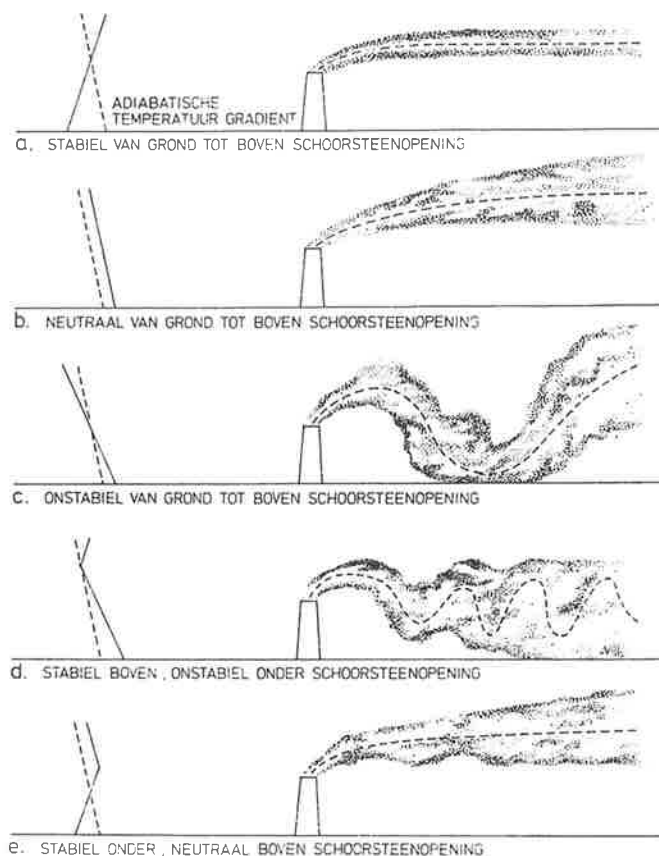
Windsnelheid/windrichting

De voor het verspreidingsmodel benodigde windsnelheid is de windsnelheid die op de plaats van de brand heerst (veelal op dakhoopte) en kan, mits er niet al te grote variatie in de snelheid optreedt, over de tijdsduur van de brand worden gemiddeld. Indien de windrichting sterk varieert, wat bijvoorbeeld bij lage windsnelheden het geval is, zal de periode waarop de berekening betrekking heeft in een aantal windrichtingen, met bijbehorende gemiddelde windsnelheid, moeten worden gesplitst.

Stabiliteit van de atmosfeer

De stabiliteit van de atmosfeer is een grootheid waarmee de toestand van de atmosfeer kan worden beschreven. De toestand kan resp. onstabiel, neutraal of stabiel zijn. In een stabiele atmosfeer wordt de verticale beweging afgeremd. Onder neutrale atmosferische condities zijn de horizontale en verticale verspreiding ongeveer aan elkaar gelijk en groter dan die tijdens stabiele condities. Onder onstabiele atmosferische condities is de verticale verspreiding zeer groot. Aan de grond kunnen onder deze condities plaatselijk hoge concentraties voorkomen.

De hoogste concentraties worden tijdens onstabiele atmosferische condities aangetroffen. Tijdens stabiele condities zijn de concentraties (relatief) het gunstigst.



Figuur 7.0 De vorm van een pluim van een schoorsteen in afhankelijkheid van het verticaal evenwicht in de atmosfeer (ontleend aan [19]).

Resultaten van de modelberekeningen

In de figuren 7.1 tot en met 7.6 worden, gebruikmakend van de geschatte emissie voor verweerde asbest-cementgolfplaat (318×10^8 vezelequivalenten gedurende een emissieduur van ca. 1 uur) en de bronhoogte behorend bij de brand in de papierfabriek "Roermond papier" die op 12 maart 1994 te Roermond plaatsvond, de berekende vezelconcentraties weergegeven.

De gebruikte windrichting en windsnelheid hebben geen betrekking op bovengenoemde situatie te Roermond. In tabel 7.3 worden de voor de verspreidingsberekeningen gebruikte modelparameters/grootheden samengevat.

Tabel 7.3 Diverse invoergrootheden gebruikt voor de verspreidingsberekeningen.

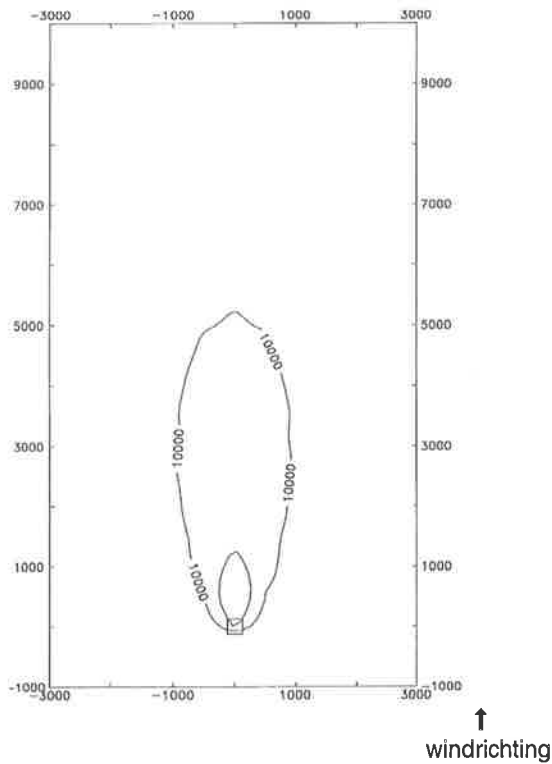
Figuur nr.	Bronsterkte [vezels/sec] x 10 ⁹	Middelingstijd ²⁾ [uur]	Windsnelheid [m/sec]
7.1	8,8	1	1,5
7.2	17,7	0,5	1,5
7.3	35,3	0,25	1,5
7.4	8,8	1	4
7.5	17,7	0,5	4
7.6	35,3	0,25	4

- 1) Bij berekeningen is uitgegaan van een verwaarloosbare warmte-output en een "neutrale" stabiliteit van de atmosfeer. Als emissiefactor is de waarde voor verwerde asbestcement golfplaat aangehouden.
- 2) 1 - uurgemiddelde concentratie
0,5 - halfuurgemiddelde concentratie
0,25 - kwartiergemiddelde concentratie

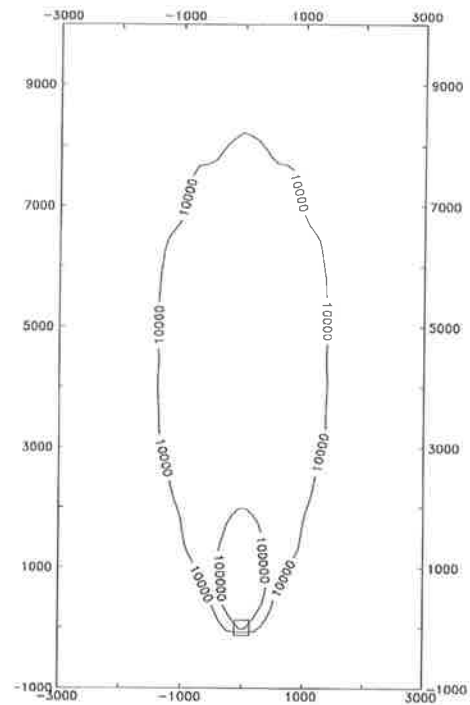
Bij het uitvoeren van de verschillende verspreidingsberekeningen is, wegens modelbeperkingen, de horizontale en verticale dispersieparameters constant gehouden. Voor het berekenen van de half uur- en kwartiergemiddelde concentraties zijn dezelfde dispersieparameters gebruikt als die voor het berekenen van de uurgemiddelde concentraties. De berekende halfuur en kwartiergemiddelde concentraties zijn strikt genomen. Dit is het gevolg van het gebruik van uurgemiddelde concentraties voor horizontale- en verticale dispersie-parameters voor respectievelijk dubbele en viervoudige bronsterkten.

Bij het weergeven van de concentratieniveaus is er voor gekozen om de contouren voor respectievelijk 10.000 en 100.000 vezelequivalenten/m³ weer te geven. Het niveau van 100.000 vezelequivalenten/m³ komt overeen met maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) voor **jaargemiddelde** concentraties.

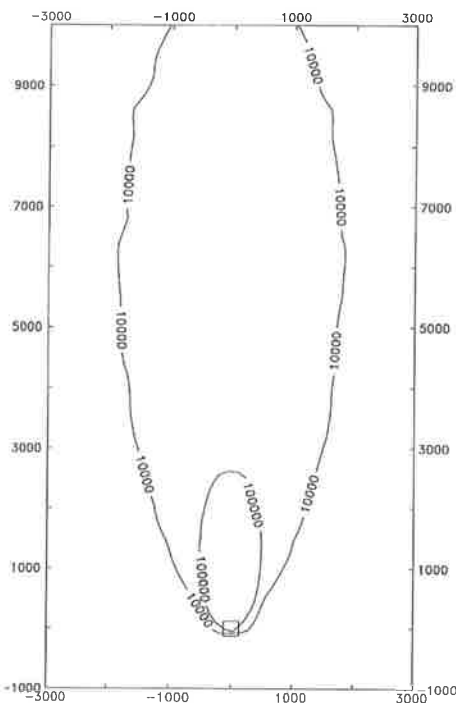
Met nadruk moet erop worden gewezen dat bij de definitie van het MTR is uitgegaan van een jaargemiddelde blootstelling. Een kortstondige blootstelling aan een overeenkomstig of zelfs hoger concentratieniveau zal dus niet leiden tot een overschrijding van deze waarden.



Figuur 7.1 Uurgemiddelde vezelconcentraties [vezel/m³] -windsnelheid: 1,5 m/sec- (linksboven).



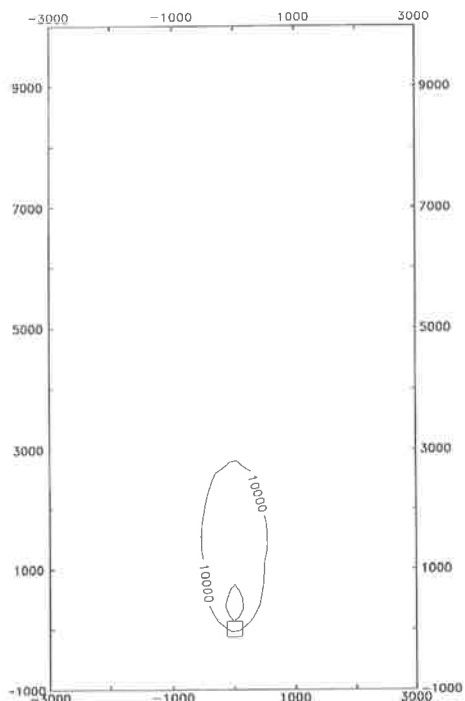
Figuur 7.2 'Half uurgemiddelde' vezelconcentraties [vezel/m³] -windsnelheid: 1,5 m/sec- (rechtsboven).



Figuur 7.3 'Kwartiergemiddelde' vezelconcentraties [vezel/m³] -windsnelheid: 1,5 m/sec- (linksonder).

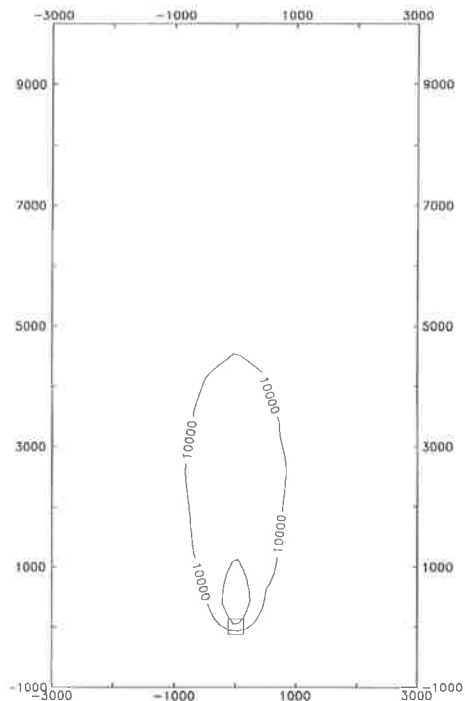
Toelichting:

- de getallen op de assen van de rechthoeken geven de afstand in meters weer.
- de getallen die in de elipsvormige contouren zijn weergegeven zijn de vezelconcentraties in vezelequivalenten/m³.
- het kleine vierkantje aan de basis van de contouren stellen de brandhaard voor
- bij het berekenen van de contouren is uitgegaan van de voor **verweerde asbestcement** bepaalde emissiefactor.
- alle berekende contouren gelden voor stabiliteitsklasse D.

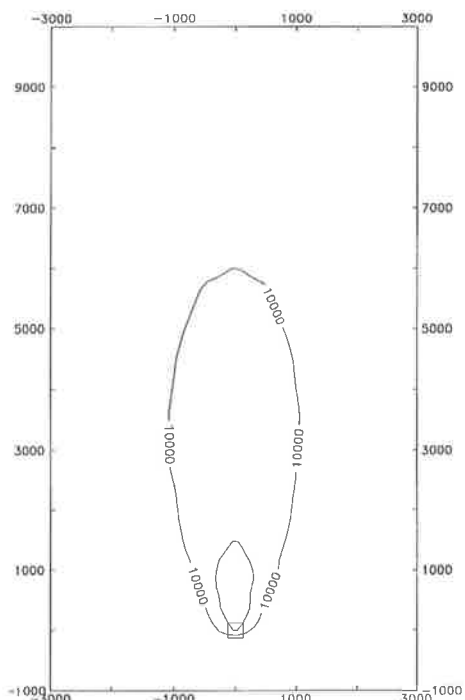


↑
windrichting

Figuur 7.4 Uurgemiddelde vezelconcentraties [vezel/m³] -windsnelheid: 4 m/sec- (linksboven).



Figuur 7.5 'Half uurgemiddelde' vezelconcentraties [vezel/m³] -windsnelheid: 4 m/sec- (rechtsboven).



Figuur 7.6 'Kwartiergemiddelde' vezelconcentraties [vezel/m³] -windsnelheid: 4 m/sec- (linksonder).

Toelichting:

- de getallen op de assen van de rechthoeken geven de afstand in meters weer.
- de getallen die in de elipsvormige contouren zijn weergegeven zijn de vezelconcentraties in vezelequivalenten/m³.
- het kleine vierkantje aan de basis van de contouren stellen de brandhaard voor.
- bij het berekenen van de contouren is uitgegaan van de voor **verweerde asbestcement** bepaalde emissiefactor.
- alle berekende contouren gelden voor stabiliteitsklasse D.

Betekenis van de berekende concentratieniveaus (conclusies)

Het voorspellen van 'absolute' (uurgemiddelde) vezelconcentratieniveaus kan slechts met een beperkte nauwkeurigheid. Dit is in het bijzonder het geval indien de combinatie van plaats en concentratieniveau dienen te worden voorspeld. Het berekeningsresultaat is erg gevoelig voor variatie in windrichting.

Indien de benodigde meteogegevens voldoende gedetailleerd (beschikbaar) zijn kan een korte-termijn verspreidingsmodel gebruikt worden voor het voorspellen (achteraf) van de plaatsen waar de hoogste vezelconcentraties zijn opgetreden.

Hoewel het gebruikte verspreidingsmodel niet geschikt is voor het modelleren van het atmosferisch transport van asbestcementflinters zijn er aanwijzingen uit de (asbestsanerings)praktijk dat in het gebied waar de hoogste uurgemiddelde vezelconcentraties worden voorspeld, ook de grootste hoeveelheid asbestcementflinters worden aangetroffen.

Voor het bepalen van het met asbestflinters besmette gebied is het daarom denkbaar dat berekeningsresultaten van een korte-termijn verspreidingsmodel worden ingezet. De resultaten, mits door deskundigen toegepast, zouden primair beslissing-ondersteunend van karakter moeten zijn.

Alvorens modellen voor bovengenoemd doel in te zetten is het wenselijk te onderzoeken welke verklaringen er kunnen worden gegeven voor het (deels) samenvallen van de gebieden met hoge vezelconcentraties en de gebieden waar veel asbestcementflinters worden aangetroffen. De fysica van vezeltransport en flintertransport verschillen in elk geval in sterke mate.

7.3 Toepassing door de brandweer en door andere hulpdiensten

Het gebruik van schademallen [18]

Voor de brandweer en andere hulpdiensten is het van groot belang zeer snel een schatting te kunnen maken van het verspreidingsgebied van zowel de respirabele vezels als van de asbestcement-flinters. Voor het bepalen van het "schadegebied" van vrijkomende vluchtige toxische stoffen worden de zogenaamde schademallen gebruikt. Deze mallen, die tot de standaarduitrusting van de brandweer behoren, kunnen worden gebruikt als een benadering van de in 7.2 berekende verspreidingscontouren. De toxiciteit in combinatie met de bronsterkte van de stof bepaald in principe de "schadeafstand". De mallen zijn berekend voor een windsnelheid van 5 m/s en een stabiliteitsklasse D van de atmosfeer. Met behulp van correctiefactoren kunnen de berekende contouren gecorrigeerd worden voor andere windsnelheden en stabiliteitsklassen.

Zoals reeds genoemd blijken respirabele asbestvezels zich bij verspreiding slechts bij benadering te gedragen als een gas. Toch zijn er een aantal verschillen die van belang zijn bij het gebruik van deze mallen, namelijk:

- De bronsterkte wordt bij vrijkomende asbestvezels niet beïnvloed door verdamping of diffusie. Alle beschikbare respirabele asbestvezels komen tijdens het exploderen van de platen vrij. De bronsterkte is dan evenredig met het geëxplodeerde oppervlak aan asbestcement en de emissiefactor die bij het betreffende type asbestcement hoort.
- De voor het gebruik van de mallen gevraagde "schadeafstand" is dus ook van deze factoren afhankelijk..

Voor asbest moet het begrip schadeafstand anders gedefinieerd worden dan de voor gassen en dampen geldende definities in het Schadescenarioboek [18]. Wij hanteren voor asbest de definitie:

De maximale afstand waar de met het model berekende concentratie aan asbest 10.000 vezequivalenten/m³ lucht bedraagt

In de praktijk zal er op het moment waarop de brand uitbreekt vaak niet bekend zijn welk type asbestcement is toegepast en wat de verweringsgraad van het materiaal is. Omdat met name de maatregelen die te maken hebben met de primaire emissie (het overtrekken van de "asbestwolk") snel genomen moeten worden, wordt in tabel 7.4 uitgegaan van "default"-waarden die gebaseerd zijn op de meest voorkomende situaties en asbesttypen, namelijk:

- verweerde asbestcement golfplaat die uitsluitend chrysotiel bevat
- windsnelheid 5 m/s, stabiliteitsklasse van de atmosfeer ingedeeld in categorie D

Afwijkingen van de meteorologische standaardcondities worden conform het Schadescenarioboek [18] met behulp van correctiefactoren gecorrigeerd.

Tabel 7.4 Benaderde schadeafstanden in meters bij het vrijkomen van asbest bij brand (windsnelheid 5 m/s, stabiliteitsklasse D).

MAL codering	schade- afstand in meters	geschat oppervlak aan geëxplodeerd asbestcement (m ²)			
		verweerde golfplaat	Glasal * 3 mm	Glasal 5 mm	Golfplaat met crocidoliet
A	500	850	3.500	1.750	140
B	1.000	2.450	10.000	5.100	400
C	2.000	7.400	31.000	15.300	1.250
D	3.000	14.000	60.000	30.000	2.300
E	5.000	32.000	135.000	67.000	5.300
F	7.000	44.000	180.000	90.000	7.300
G	10.000	100.000	420.000	210.000	17.000
H	20.000	280.000	1.000.000	570.000	46.000

* Deze platen zijn vaak als dubbelwandig sandwichpaneel toegepast, in dat geval moet het geschat oppervlak worden verdubbeld.

Correcties voor andere meteorologische omstandigheden zijn vermeld in het Schadescenarioboek, tabel 4.1.

Voor details betreffende het werken met deze mallen wordt verwezen naar het Schadescenarioboek [18].

Te treffen maatregelen

Wanneer het aldus gedefinieerde schadegebied op een kaart met een schaal van 1:25.000 is aangegeven kunnen met deze gegevens bijvoorbeeld de volgende acties worden ondernomen:

- Roep de bewoners van woningen de binnen het aangegeven schadegebied op om ramen en deuren te sluiten. Hef deze waarschuwing weer op als er geen asbest meer kan vrijkomen.
- Concentreer de eerste schoonmaakacties van bij de brand de vrijgekomen flinters, binnen de 'waarschijnlijk' contour die door de mal wordt aangegeven. Voer inspecties uit in de buitenste ('mogelijk') contour en bepaal of daarin ook nog asbestcement-flinters worden aangetroffen. Indien dit het geval is, breid dan het schoon te maken gebied uit.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

experimenteel onderzoek

1. Het explosie-effect ontstaat uitsluitend wanneer asbestcementprodukten in korte tijd (5 tot 30 seconden) tot minstens 500°C worden verhit. Bij geleidelijke opwarming tot dezelfde, of zelfs hogere temperatuur treedt het effect niet op.
2. Van drie, veelvuldig toegepaste, typen asbestcementprodukten zijn met succes kwantitatieve gegevens verzameld. Uit het onderzoek blijkt dat de hoogste primaire emissie optreedt bij verweerde golfplaten.
3. Vrijwel 100% van het aantal vrije vezels dat tijdens de explosie vrijkomt heeft respirabele afmetingen. Ca. 95% van de vezels is langer dan 5 µm (equivalentiefactor 1) en ca. 5% is korter (equivalentiefactor 0,1). De vezels zijn erg dun, meer dan 95% is dunner dan 0,5 µm. Tussen de verschillende materialen onderling bestaan verschillen in vezelgrootteverdeling: minder hechtgebonden materiaal (verweerde golfplaat) geeft zowel qua vezellengte als qua vezeldiameter een “bredere” verdeling dan zeer hechtgebonden materiaal (Glasal).
4. De vrije vezels ontstaan op het moment van de explosie en er vindt een zeer snelle menging plaats met lucht uit de directe omgeving. Dit wordt afgeleid uit het feit dat de concentratie asbest in de lucht op enkele meters afstand van het gebruikte proefmateriaal slechts weinig verschilt van die aan het eind van de container, direct in de stroom afgezogen lucht.
5. De hoeveelheid flinters die vrijkomt is afhankelijk van het materiaal. De geteste verweerde golfplaat produceerde aanzienlijk meer flinters dan de nieuwe Glasalplaat (= vlakke, dubbel geperste, asbestcementplaat met coating).
6. Aansluitend aan elke bepaling van de primaire emissie werd getracht secundaire emissie op te wekken door met behulp van een in de container geplaatste ventilator gedurende een uur lucht over de gesedimenteerde flinters te blazen. Het blijkt dat hierdoor geen vezels meer worden vrijgemaakt. Blijkbaar is hiervoor meer (mechanische) energie nodig (betreden, voertuigen). Dit gegeven kan van groot belang zijn voor de opruim-strategie na een brand.
7. Het materiaal Internit (een soort asbesthoudend hardboard op cellulosebasis) geeft bij verhitting geen explosie. De cellulose brandt uit de plaat weg en er resteert een vrij stevige plaat.

8. Brandwerende platen met 40-60% amosiet, zoals Nobranda en Pical, blijven ook bij langdurige verhitting geheel intact.

verspreidingsmodellen

9. Het voorspellen van 'absolute' (uurgemiddelde) vezelconcentratieniveaus kan slechts met een beperkte nauwkeurigheid. Dit is in het bijzonder het geval indien de combinatie van plaats en concentratieniveau dienen te worden voorspeld. Het berekeningsresultaat is erg gevoelig voor variatie in windrichting.
10. Hoewel het gebruikte verspreidingsmodel in principe niet geschikt is voor het modelleren van het atmosferisch transport van asbestcementflinters zijn er aanwijzingen uit de (asbestsanerings)praktijk dat in het gebied waar de hoogste uurgemiddelde vezelconcentraties worden voorspeld, ook de grootste hoeveelheid asbestcementflinters worden aangetroffen.
11. De schademallen die door de brandweer worden toegepast zijn bruikbaar voor het maken van een eerste schatting van de verspreidingsgebied.

secundaire emissie, schoonmaak en controle

12. Uit onderzoek blijkt dat een deel van de na een brand in de omgeving gesedimenteerde flinters zo klein is, dat deze bij het handmatig schoonmaken van een terrein niet worden waargenomen. Dit heeft consequentie voor de aan te bevelen schoonmaakmethode (zie ook hoofdstuk 8).
13. De in hoofdstuk 4.8 beschreven concept-methode voor het bepalen van asbest in de bodem, blijkt in de praktijk bruikbaar te zijn voor zowel het in kaart brengen van de verontreiniging als het controleren van schoonmaakwerkzaamheden.

aanvullende conclusies m.b.t. andere calamiteiten waarbij asbest vrijkomt

14. Wanneer asbestcement niet tengevolge van een brand maar door een **explosie** in de omgeving wordt verspreid, treedt daarbij in veel mindere mate delaminatie op. Er ontstaan vrij compacte stukjes waarvan het verspreidingspatroon voornamelijk door de richting van de drukgolf wordt bepaald. Het in hoofdstuk 7 genoemde atmosferische verspreidingsmodel is niet toepasbaar. Zowel de primaire emissie als de kans op secundaire emissie van asbestvezels zijn gering.
15. Wanneer er bij een **explosie** slecht of ongebonden asbest vrijkomt, dan blijkt dat het verspreidingspatroon van de volumineuze conglomeraten van asbest wèl redelijk voorspelbaar door toepassing van het atmosferisch versprei-

dingsmodel. Zowel de primaire als de secundaire emissie aan asbest is relatief groot.

8.2 Aanbevelingen

De ze aanbevelingen zijn opgesteld met het doel de consequenties van het onderzoek te vertalen in praktische aanwijzingen voor hulpdiensten en verantwoordelijke instanties. Deze aanbevelingen dienen te worden gezien als een **discussiestuk** en als een aanzet voor verdere uitwerking tot een praktische richtlijn.

8.2.1 De hulpdiensten

Persoonlijke bescherming

Bij middelgrote branden kunnen op korte afstand van de brand tijdens en kort na het exploderen van asbestcement piekconcentraties tot boven het niveau van het MTR en in de buurt van het actieniveau optreden. Of dit ook werkelijk gebeurt hangt sterk af van de weersomstandigheden en de plaatselijke omstandigheden.

Door het beschikbaar komen van de emissiefactoren voor verschillende typen materialen zijn snel globale verspreidingsberekeningen uit te voeren. In principe kan worden aangesloten bij de reeds bestaande werkmethoden van de brandweer (mallen met stafkaart, zie hoofdstuk 7). Zolang niet exact bekend is welke type asbesthoudend materiaal is toegepast wordt uitgegaan van het meest aangetroffen materiaal (verweerde asbestcementplaat). Zodra analyseresultaten beschikbaar zijn kunnen de maatregelen worden aangepast.

Adembescherming voor de brandweer (perslucht) is dus ook gewenst om inademing van vezels te voorkomen. Als de brand eenmaal is uitgewoed, zullen er van de losliggende flinters vrijwel geen asbestvezels vrijkomen zolang deze niet worden betreden of met voertuigen bereden. Het is dus in principe niet gevaarlijk om langs een afgezet terrein met asbestcementflinters te lopen. Dit geldt niet voor ongebonden asbesthoudende materialen (spuitasbest of losse isolatie): van deze producten kunnen ook door de wind **wèl** vezels worden vrijgemaakt.

Besmetting van besloten ruimten (brandweerauto's, kazernes, bureaus) door secundaire emissie levert in feite het hoogste blootstellingsrisico op omdat resten asbesthoudend materiaal die bijvoorbeeld in een vloermat terecht komen door het regelmatig belopen gedurende langere perioden tot emissie van asbestvezels kan leiden. Het zorgvuldig schoonmaken (b.v. schoonspuiten) van het schoeisel is dan ook van belang. Voor hulpdiensten die op wat grotere afstand opereren (zoals de politie) is het dragen van disposabele overschoenen een bruikbaar alternatief. Gebruikte voertuigen kunnen ter plekke van de brand worden schoongemaakt. Bij voorkeur

door deze eerst droog te zuigen met een asbeststofzuiger, en daarna schoon te spuiten.

Maatregelen om de emissie zo laag mogelijk te houden

Gezien de afmetingen van de vrije vezels die bij de explosie ontstaan zal het effect van een waterscherm op deze primaire emissie niet erg groot zijn. Ondanks de grote hoeveelheid waterdruppels blijft de trefkans vrij klein. Waterschermen zijn echter wel nuttig om de verspreiding van de veel grotere flinters te beperken. Gezien de optredende effecten lijkt de meest gunstige plaats daarvoor in de wind op enige afstand (5 tot 10 meter) van de exploderende platen. Op te korte afstand zullen de flinters door de kracht van de explosie door het waterscherm heen schieten. De optimale afstand kan alleen in de praktijk (brandweer) worden vastgesteld. Het beperkt houden van het verspreidingsgebied zal niet alleen het blootstellingsrisico maar ook de kosten van het opruimen aanzienlijk kunnen beperken. Bij het opruimen moet voorrang worden gegeven aan het beschermen van verharde wegen, troittoirs en speelplaatsen omdat hier de grootste kans op secundaire emissie bestaat.

Het bepalen van de grenzen van het af te zetten gebied

De grens van het af te zetten gebied wordt bepaald door het verspreidingspatroon van de flinters. In de praktijk blijkt het goed mogelijk om deze grens na de brand door middel van visuele waarneming, eventueel gebruikmakend van een atmosferisch verspreidingsmodel en/of mallen, te bepalen.

8.2.2 Omwonenden

Primaire emissie

De kans op het inademen van asbeststof dat afkomstig is van de primaire emissie (vrije respirabele vezels) bestaat vooral in de wind op de plaats waar de pluim de grond zal raken. Het sluiten van ramen en deuren en afzuiginstallaties uitzetten kan de concentratie die uiteindelijk de woning binnendringt sterk beperken. Deze maatregel hoeft maar korte tijd te gelden omdat de “wolk” vrij snel passeert. Deze waarschuwing kan weer worden ingetrokken als de brand is geblust en er dus geen asbest meer vrij kan komen.

Secundaire emissie

Ook voor de omwonenden levert besmetting van de woning door “inlopen” het meeste risico op voor een langdurige blootstelling. Er ontstaat in de woning een min of meer diffuse bron waarbij door lopen, stofzuigen, vegen enz. voortdurend vezels in de lucht worden gebracht. Ander TNO-onderzoek heeft inmiddels uitgewezen dat dit effect al bij relatief kleine hoeveelheden asbest in de woning op-

treedt. De maatregelen moeten er dan ook op gericht zijn om de flinters asbest-cement zo snel mogelijk van de verharde oppervlakken te verwijderen. Om de kans op “inlopen” zo klein mogelijk te maken heeft het de voorkeur om dit opruimen niet aan de bewoners zelf over te laten, maar hiervoor een asbestverwijderings-bedrijf in te schakelen. Zo’n bedrijf is beter te controleren dan een groot aantal particulieren, is veel beter geëquipeerd, en is ook verantwoording schuldig voor het uiteindelijk resultaat. De methode (“handpicking” of zuigwagen) zal afhangen van een groot aantal factoren zoals de bereikbaarheid, de omvang van het besmette gebied en de snelle beschikbaarheid van een speciale zuigwagen. Schoonzuigen heeft altijd de voorkeur omdat daarmee ook de niet zichtbare asbesthoudende deeltjes worden verwijderd.

Daarna zal het asbest ook van de niet verharde oppervlakken verwijderd moeten worden. Van ernstig met asbest vervuilde grond kan de toplaag meestal het best worden afgegraven. In een aantal gevallen (bijvoorbeeld zandgrond) zal het ook mogelijk zijn de grond te reinigen tot beneden het niveau van de voorlopige interventiewaarde. Ook hier geldt dat hiervoor geen algemene regel te geven is omdat de omstandigheden sterk uiteen lopen. Inspectie ter plekke blijft dus nodig. Op basis van de reeds beschikbare ervaring worden thans richtlijnen opgesteld (zie ook stukken van brandweer).

8.2.3 De verantwoordelijke instantie (gemeente of provincie)

Voorlichting aan bewoners

Een reeds door veel hulpdiensten gehanteerde standaardbrief vormt een goed uitgangspunt dat eenvoudig aan te passen is aan de lokale situatie.

Het nut van asbestconcentratieingen in de lucht

Steeds weer blijkt dat met lichtmicroscopie (LM) uitgevoerde metingen ongeschikt zijn voor asbestconcentratieingen in de buitenlucht omdat alle vezelvormige bestanddelen worden meegeteld. Ook al omdat er bij een brand vaak veel andere vezelvormige deeltjes vrijkomen of worden gevormd leiden de resultaten eerder tot verwarring dan tot inzicht. LM is hoogstens bruikbaar in de directe omgeving van de brandhaard en dan nog alleen als maximum-methode. Gezien de snelheid waarmee de “wolk” primair vrijkomende vezels ontstaat en weer verdwijnt zal de onderzoek vrijwel altijd te laat zijn om de concentratie daarvan te kunnen bepalen.

Eventueel kunnen metingen met elektronenmicroscopie na afloop van de brand nuttig zijn of in binnenruimten besmetting door secundaire emissie is opgetreden (zie RIVM-voorstel). Op deze manier kan ook de effectiviteit van een schoonmaakactie worden gecontroleerd.

Snelle identificatie van het vrijgekomen materiaal

Het typische “knaleffect” treedt eigenlijk alleen op bij asbestcement. Asbestvrije platen barsten wel, maar delamineren niet of in veel mindere mate. Toch is het zaak snel een analyse te laten uitvoeren omdat ook crocidoliet aanwezig kan zijn. De gebruikelijke methode voor de analyse van asbestcementflinters en andere bulkmonsters is polarisatiemicroscopie (zie ook hoofdstuk 4, paragraaf 4.5). Deze relatief snelle en goedkope techniek wordt door vrijwel alle erkende asbestlaboratoria beheerst. De kwaliteit van dergelijke analyses wordt gecontroleerd door middel van een door TNO georganiseerd ringonderzoek (RIAB). Omdat de grenzen getrokken worden op basis van de concentratie in vezelequivalenten zal het al of niet aanwezig zijn van crocidoliet (equivalentiefactor 10) relatief zwaar meetellen. Het is dus van belang een stukje materiaal te karakteriseren, zodat uitgezocht kan worden welke emissiefactor het materiaal heeft.

Het schoonmaken van een verontreinigd gebied

Uit praktijkonderzoek (zie 5.2) blijkt dat met handmatige sanering, het zogenaamde “handpicking”, alleen de zichtbare flinters worden verwijderd. Flinters die kleiner zijn dan ca. 8 mm worden meestal niet meer waargenomen en dus ook niet verwijderd. Toch kunnen deze kleine stukjes vooral vanaf verharde oppervlakken, gemakkelijk via schoeisel in de woning terecht komen. Het schoonmaken met behulp van zuigwagens en/of speciale stofzuigers heeft dan ook de voorkeur. Uiteraard dient dit materieel wel geschikt te zijn voor het opzuigen van asbest.

Aangenomen kan worden dat overal waar zichtbare flinters worden aangetroffen, ook kleinere flinters aanwezig zijn. Het gehele oppervlak moet dus systematisch worden gereinigd.

Niet verharde oppervlakken zijn moeilijker schoon te maken. Ook hier geldt: zo mogelijk zuigen (bijvoorbeeld een grasveld) en anders handmatig de stukjes zo goed mogelijk verwijderen. Wanneer het terrein niet op een dergelijke manier schoon te maken is, dan moet eerst de mate van asbestbesmetting worden bepaald. Aan de hand van het resultaat kan worden besloten op welke wijze het terrein moet worden schoongemaakt.

Controle van opruimwerkzaamheden

In eerste instantie visueel, eventueel aangevuld met veeg-en stripmonsters. Een meer systematische controle is mogelijk wanneer de in 4.8 beschreven methode wordt toegepast. Deze methode is echter nog in het concept-stadium en moet nog gevalideerd worden. Zie verder onder “het nut van concentratie-metingen in de lucht”.

De controle moet onafhankelijk van het opruimbedrijf worden uitgevoerd. Ook is het van belang tevoren goede afspraken te maken over de omvang van het schoon te maken gebied, de tijd waarin dit moet gebeuren, de werkmethode, de saneringsgrenzen, de consequenties voor de bewoners enz. Ook hiervoor zijn de standaardscenario's beschikbaar, die echter wellicht hier en daar aanpassing behoeven.

9 Referenties

- [1] Lewis N.J. , Curtis M.F. *Occupational Health and Hygiene following a Fire in a Warehouse with an Asbestos Cement Roof'* Occupational Medicine (1990) Vol. 40/no. 2
- [2] Haagen R.R. van *Aandachtspunten bij incidenten met asbest (2)*. DCMR Milieudienst Rijnmond Schiedam 1993.
- [3] Noomen, P.E.M. Asbest (g)een probleem. *Een literatuuronderzoek naar asbest en de problemen bij brand met betrekking tot asbest*. Stageverslag RIVM in het kader van de studie Miliehygiëne aan de LU Wageningen, Bilthoven juli 1993.
- [4] *Asbest en Brandweer*, Regionale brandweer samenwerkingsverband Enschede, juli 1993.
- [5] Cloosterman G.W.A. *Brandweer en Asbest*, conceptrapport van de werkgroep brandweer en asbest te Roermond.
- [6] Eijkman M.H. fa. Bravenboer & Scheers, *Werkplan Asbestsanering Simulatie asbestvezels bij brand*, juni 1995
- [7] Brand F.P., Locher K., v.d. Bogaard C.J.M. *Asbest in het milieu. Informatie voor handhavers en andere betrokkenen*, Informatiebundel van het Ministerie van VROM, juni 1994.
- [8] Tempelman J., *Evaluatie van de acties tengevolge van het vrijkomen van asbesthoudend materiaal bij de brand in de papierfabriek Roermond Papier*. TNO-IMW rapport R 93/115, 15 mei 1993.
- [9] Tempelman J., *Oriënterend onderzoek naar de aanwezigheid van asbestvezels in de buitenlucht rondom de voormalige vuurwerkfabriek te Culemborg*. TNO-IMW rapport R 91/239, 15 maart 1991.
- [10] Persoonlijke mededeling D. de Weger, Afd. Industriële Veiligheid TNO Milieu en Energie.
- [11] Nederlandse Voornorm NVN 2939 *Bepaling van de concentratie aan asbestvezels met lichtmicroscopie na actieve bemonstering op een membraanfilter*, augustus 1988.
- [12] VDI 3492, *Messen anorganische faserförmiger Partikel in der Aussenluft*, Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren, April 1989.

- [13] Boeft, J. den., *Asbestconcentratie-onderzoek nabij een met asbest verharde weg in Diepenheim*, MT-TNO rapport R 87/155, 1987.
- [14] TNO-IMW werkvoorschrift IMWA/SM/009, *De identificatie van asbest in materialen*, 1991.
- [15] *Asbestos in Bulkmaterials, Sampling of identification by polarized light microscopy (PLM)*, HSE method MDHS 77, June 1994.
- [16] NVN 5860, *Afvalstoffen, bemonstering van afval*, maart 1993.
- [17] NVN 7302, *Uitloogkarakteristieken van vaste grond- en steenachtige bouwmaterialen. Monsterneming van korrelvormige materialen uit statische partijen*, mei 1995 (concept).
- [18] Jansen C.M.A. en Weger D. de TNO (IMET) *Schadescenarioboek*, tweede uitgave Ministerie van Binnenlandse Zaken, Directie Brandweer en Rampenbestrijding, Afd. Implementatie en Organisatie, 1994.
- [19] KNMI, de Bilt, *Luchtverontreiniging en weer*, Staatsuitgeverij 's Gravenhage, 1979.

Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Staatstoezicht op de Volksgezondheid
Hoofdinspectie Milieuhygiëne
t.a.v. dr. C. van den Bogaard
Inspecteur Medische Milieuzaken
Postbus 30945
2200 GX Den Haag

Namen en functies van de medewerkers

J. Tempelman	projectleider
J. den Boeft	ass. projectleider
F.J. Kruiswijk	medewerker experimenten
J. Timmner	medewerker experimenten/analyses
M.A. Godfroy	medewerker analyses
G. Schilt	medewerker analyses/dataverwerking
J.J. Tanasale	medewerker tekstverwerking / lay-out

Onderaannemer

Bravenboer & Scheers (Middelburg)
C. Hoebé en M.H. Eijkman

Faciliteiten leverende firma's

SGS-Ecocare (Terneuzen)
Rheinhold & Mahla (Terneuzen)

Periode waarin het onderzoek werd uitgevoerd

maart 1994 - augustus 1995

Ondertekening



J. Tempelman

Projectleider

Datum: 19-9-'95

Goedgekeurd door



Drs R. Bosman

Afdelingshoofd Analytische Chemie

Datum: 19-9-1995

Bijlage 10.1 Protocol voor proeven “asbestbrand” (versie 26-9-94)

1. Controleer of:

- onderdrukunits+filters(inschakelvolgorde: zuig,zuig,blaas) douhecabines
- container schoon (visueel)
- proefstukken paraat in container-gas aangesloten
- wegen gasflessen
- persoonlijke veiligheidsmiddelen in orde en beschikbaar
- portofoons; batterijen vol, kanaal kiezen: procedure communicatie oefenen.
- camera opstelling op brander 2 richten scherpstellen
- bouwlamp
- vezelmonitor paraat (?)

2. Plaats filterkopjes op juiste plaatsen (2 LM+1 REM) en (2 LM+1 REM)

3. Sluit pompen aan en stel in op 8 l/min met "dummy-filter"

4. Schakel de pompen in en draai blanko run 60 min.

5. Controleer eindflow en neem filterkopjes in

6. Plaats nieuwe filterkopjes

7. Stel af op 8 l/min en schakel pompen weer in op t=0

8. Steek brander aan, plaats thermokoppel op bovenzijde plaat. Steeds in contact blijven met 2e man die voortdurend buiten observeert. Leg proefstuk op brander t=0.

9. Wacht tot proefstuk explodeert en observeer voortdurend de brander. Wanneer uitgewerkt direct 2e stuk "ploffen"

10. Schakel pompen na 1 uur uit en neem filterkopjes in

11. Observeer en fotografeer brokstukken, verzamel monster (1 per type)

12. Monteer nieuwe filterkopjes en laat 1 uur bezinken; niet inblazen

13. Na 1 uur weer inblazen ventilator aan en secundaire emissiemeting uitvoeren. Controleer plaats ventilator. Container verlaten.

14. Bemonster gedurende 1 uur

15. Flowcontrole + filterkopjes innemen

16. Inblaasunit uit, container schoonmaken.(grof spul in plastic zak, stoffer blik, stofzuiger, nat afnemen)

Bijlage 10.2 Registratie waarnemingen project "vrijkomen van asbest bij brand"

Voorbeelden - Registratieformulieren

Blanko - luchtmonsters

Luchtmonsterneming (primaire emissie)

Luchtmonsterneming (secundaire emissie)

Blanko luchtmonsters container,
Voorafgaand aan proefserie mm5739-13 t/m 18 (dikke Glasalplaat)

Monstercode	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-501	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	14,2	start: 10.57	520	< 2
			13,8	stop : 12.04		
MM 5739-502	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	14,1	start: 11.00	512	< 0.8
			13,9	stop : 12.06		
MM 5739-503	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	14,0	start: 10.59	532	1,8 (0,2-6,6)
			13,9	stop : 12.08		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor **asbestvezels** (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Opmerkingen:

- * Alle grote en kleine proefstukken zijn uit de container verwijderd.
- * Stofzuiger laten staan
- * Vloeren en wanden nat afgenomen
- * Luchtsnelheden gecontroleerd: Rechts voor, in het midden 8 m/sec
Links voor, in het midden 10 m/sec
- * Met hittedraad-anemometer het punt 0,45 m/sec opgezocht, en op dit punt de filterkoppen op ca 40 cm voor het kanaal aangebracht.

Datum: 1 juli 1994

Uitvoerder(s): Kruiswijk/den Boeft

Type proefmateriaal: *Glascal, dikke plaat (= 5 mm)*Monsternummer: *MM 5739-1001*Conditie van het materiaal: *Nieuw aangeleverd via eternit België*Oppervlak proefstuk 1: *38 cm x 39 cm* Oppervlak proefstuk 2: *41 cm x 41 cm*Is explosie waarneembaar? ja, na 2 a 3 min sec opwarmenTemperatuur proefstuk : _____ °C Positie thermokoppel: *boven op plaat*
*910 °C, onder plaat > 1000 °*Aantal foto's: _____ dia/neg.film: *6 a 7*

Visuele waarneming, bijzonderheden: *1e proef 1e plaat "1 knal" in twee stukken; beschadigd oppervlak 20 x 20 cm² (ca. 2,5 mm diep: 2e plaat oppervlak van 2 x (10x10 cm) springt bij 1e knal/ opnieuw opstoken met coating onderkant geeft herhaalde heftige explosies*

Luchtmonsterneming primaire emissie,

Gebruikte flowmeter: L 16/630-9618

Monstercode	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Volume in l	Tijd	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-13 dit filter in Terneuzen geprep. preparaat niet goed	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	14,1		start: 12.58	niet geanalyseerd
			14,0		stop : 14.08	
MM 5739-14	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	13,9		start: 12.58	38,8 (29-51)
			13,8		stop : 14.12	
MM 5739-15	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	14,1		start: 12.58	37 (27-50)
			14,1		stop : 14.10	
MM 5739-16	LM	positie 4 midden container, boven	13,8		start: 12.59	niet geanalyseerd
			?		stop : ?	
MM 5739-17	REM	positie 5 midden container, midden	14,0		start: 13.00	39,3 (30-51)
			?		stop : ?	
MM 5739-18	LM	positie 6 midden container, onder	13,7		start: 13.00	
			?		stop : ?	

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor **asbestvezels** (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Overige opmerkingen:

Beschrijving secundaire emissie, aansluitend op meetserie MM5739-13 t/m 18
(= GLASAL 5 mm)

Ventilator aan?: *ja* positie t.o.v. proefstuk: _____

Geef aan hoe groot het uiteengespatte oppervlak is: *40 cm X 40 cm (2x) bepaald door schatting*

Geef een globale indicatie van de hoeveelheid en de afmetingen van de flinters:

Positie in container	schatting aantal flinters per m ²	schatting afmetingen flinters	codering genomen monsters *
binnen 1 m rondom proefstuk	>> 100	van 1 cm ² tot halve plt.	MM 5739-1001
midden container, bij monsterpunt	nauwelijks waar.	≤ 1 mm	MM 5739-1002
voor in container bij monsterpunt	vrijwel 0	– (leeg monsterzakje)	MM 5739-1003

Aantal foto's: *diverse* dia/neg.film _____

Luchtmonsterneming secundaire emissie, Gebruikte flowmeter: *L 16/630-9618*

Monstercode	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-19	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	13,3	start: 16.02	460	5,3 (1,7-12,3)
			13,2	stop : 17.07		
MM 5739-20	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	14,2	start: 15.59	550	< 0,7
			14,1	stop : 17.09		
MM 5739-21	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	14,1	start: 15.59	534	3,6 (1,0-9,3)
			14,2	stop : 17.07		
MM 5739-22	LM	positie 4 midden container, boven	13,1	start: 15.58	496	2,0 (0,2)
			12,8	stop : 17.10		
MM 5739-23	REM	positie 5 midden container, midden	14,0	start: 15.58	571	< 0,7
			13,8	stop : 17.12		
MM 5739-24	LM	positie 6 midden container, onder	13,8	start: 15.58	586	3,4 (0,9-9,0)
			13,5	stop : 17.14		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor **asbestvezels** (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Overige opmerkingen: Na meetserie primaire emissie eerst ca. 2 uur bezinken met inblaasunit uit. Dan de ventilator in container ingeschakeld en deze serie monsters genomen.

Datum: 3 juli 1994

Uitvoerder(s): Tempelman/den Boeft/Timmner

Blanko luchtmonsters container,
 voorafgaand aan proefserie mm5739-37 t/m 42 (golfplaat, verweerd)

Monster code	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-507	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	13,7	start: 9.46		3,1 (0,6-9,0)
					474	
			13,2	stop : 10.50		
MM 5739-508	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	14,2	start: 9.46		< 0,8
					516	
			14,2	stop : 10.51		
MM 5739-509	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	14,2	start: 9.46		niet geanalyseerd
					508	
			14,2	stop : 10.50		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor **asbestvezels** (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Opmerkingen:

* De container wordt nog niet geheel visueel schoon bevonden na de proeven van 2 juli met dunne Glasal. Voor de blanco meting begint wordt daarom nog een uur geventileerd met afzuigunits en inblaasunits aan.

* Temperatuur in container: begin : 23°C
 eind : 30°C

Datum: 3 juli 1994

Uitvoerder(s): Tempelman/den Boeft/Timmner

Type proefmateriaal: *golflaat met chrysotiel*Monsternummer: *MM 5739-1000*Conditie van het materiaal: *sterk verweerd en met mos begroeid*Oppervlak proefstuk 1: *40 cm X 40 cm*Oppervlak proefstuk 2: *slechts 1 stuk gebruikt !!*

Is explosie waarneembaar? *ja, na ca. 15 sec opwarmen is de eerste explosie; daarna nog diverse knallen (11.15 tot 11.21) na dit tijdstip om veiligheidsredenen brander uitgezet. De plaat is dan vrijwel uitgewerkt.*

Temperatuur proefstuk: _____ °C Positie thermokoppel: *onder-/boven plaat*

Aantal foto's: _____ dia/neg.film _____

Luchtmonsterneming primaire emissie, Gebruikte flowmeter: *L 16/630-9618*

Monstercode	Type	Positie	Aflezing flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-37	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	14,1	start: 11.07		57 (44-72)
					582	
			13,9	stop : 12.22		
MM 5739-38	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	14,0	start: 11.07		54,7 (41-72)
					594	
			13,8	stop : 12.24		
MM 5739-39	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	14,0	start: 11.07		60 (48-75)
			13,9	stop : 12.23		
MM 5739-40	LM	positie 4 midden container, boven	14,0	start: 11.07		52 (40-66)
			13,3	stop : 12.25		
MM 5739-41	REM	positie 5 midden container, midden	14,5	start: 11.07		22 (16-24)
			14,2	stop : 12.26		
MM 5739-42	LM	positie 6 midden container, onder	13,8	start: 11.07		48 (39-64)
			13,2	stop : 12.27		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor **asbestvezels** (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Overige opmerkingen: In verband met de grote hoeveelheid vrijkomende flinters is er slechts één proefstuk van ca 40 x 40 cm "geploft". Hierbij is een stuk van ca 10 x 20 cm weggeslagen.

De plaat is met de "golven" dwars op de luchtstromingsrichting op de brander aangebracht om te grote afkoeling te vermijden.

Beschrijving secundaire emissie, aansluitend op meetserie MM5739-37_ t/m 42_
(GOLFPLAAT)

Ventilator aan?: O ja

Geef aan hoe groot het uiteengespatte oppervlak is: *onderkant ca. 25 % ; bovenkant ca.60 weggeslagen (schatting)*

Geef een globale indicatie van de hoeveelheid en de afmetingen van de flinters:

Positie in container	schatting aantal flinters per m ²	schatting afmetingen flinters	codering genomen monsters *
binnen 1 m rondom proefstuk	50-100	variërend van 0,5 cm tot 9 cm	MM 5739-1007
midden container, bij monsterpunt	3-4	ca. 4 x 4 cm	MM 5739-1008
voor in container bij monsterpunt	2-3	van 1 tot 3 cm	
Verder door hele container veel kleine stukjes van 0,1 tot 0,5 mm			

Aantal foto's: *diverse* dia/neg.film _____

Luchtmonsterneming secundaire emissie, Gebruikte flowmeter: *L 16/630-9618*

Monstercode	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-43	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	13,9	start: 13.03	536	4,5 (1,5-11)
			13,9	stop : 14.13		
MM 5739-44	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	13,9	start: 13.03	544	< 0,8
			13,9	stop : 14.14		
MM 5739-45	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	13,9	start: 13.03	551	2,6
			14,1	stop : 14.14		
MM 5739-46	LM	positie 4 midden container, boven	14,1	start: 13.03	574	4,2 (1,4-9,8)
			13,9	stop : 14.17		
MM 5739-47	REM	positie 5 midden container, midden	14,3	start: 13.03	589	< 0,8
			14,2	stop : 14.17		
MM 5739-48	LM	positie 6 midden container, onder	13,8	start: 13.03	571	< 2,9 (0,6-8,4)
			13,7	stop : 14.18		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor **asbestvezels** (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Overige opmerkingen: **Temperatuur in container is ca 30°C**

Datum: 2 juli 1994

Uitvoerder(s): Tempelman/den Boeft

Blanco luchtmonsters container,
 voorafgaand aan proefserie mm5739-61 t/m 66 (dunne glasal-plaat, 3 mm)

Monstercode	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-513	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	14,0	start: 11.24		2,9 (0,6-8,4)
					508	
MM 5739-514	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	13,4	stop : 12.32		< 0,8
			13,9	start: 11.24	521	
MM 5739-515	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	13,8	stop : 12.32		niet genanalyseerd
			14,0	start: 11.24	524	
			13,9	stop : 12.32		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor asbestvezels (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Opmerkingen:

Temperatuur in container is ca 30°C

Datum: 2 juli 1994

Uitvoerder(s): den Boeft/Tempelman

Type proefmateriaal: Glasal-plaat, dun (3 mm)

Monsternummer: zie sec. emissie

Conditie van het materiaal: nieuw via eternit België

Oppervlak proefstuk 1: 40 cm x 40 cm Oppervlak proefstuk 2: 40 cm x 40 cm

Is explosie waarneembaar? ja, na ca 30 sec opwarmen

Temperatuur proefstuk: ___ °C Positie thermokoppels: onder- en bovenzijde plaat

Aantal foto's: diverse dia/neg.film _____

Visuele waarneming, bijzonderheden: 1E PROEF__Stukken exploderen met een harde knal al na een opwarmtijd van 30 sec. in een cirkelvormig gebied rondom de brander met een diameter van ca 25 cm.

Luchtmonsterneming primaire emissie,

Gebruikte flowmeter: L 16/630-9618

Monstercode	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezel eq./m ³
MM 5739-61	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	13,6	start: 13.44		25,5 (17-38)
					475	
			13,5	stop : 14.50		
MM 5739-62	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	13,9	start: 13.44		8,4 (13-32)
					519	
			14,0	stop : 14.52		
MM 5739-63	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	14,0	start: 13.44		21 (15-35)
					515	
			14,0	stop : 14.51		
MM 5739-64	LM	positie 4 midden container, boven	14,0	start: 13.44		24 (1635)
					542	
			13,8	stop : 14.55		
MM 5739-65	REM	positie 5 midden container, midden	14,0	start: 13.44		10 (18-39)
					550	
			13,9	stop : 14.56		
MM 5739-66	LM	positie 6 midden container, onder	14,0	start: 13.44		23 (35)
					536	
			13,2	stop : 14.57		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor asbestvezels (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Overige opmerkingen:

Oorspronkelijk werd deze meetserie begonnen met golfplaat. Toen deze na verhitting niet bleek te exploderen is direct, met dezelfde monsters, op deze Glasal-plaat overgeschakeld.

N.B. De proef met golfplaat is op 3-7-94 met succes overgedaan. Temp. in container: 32 °C

Beschrijving secundaire emissie, aansluitend op meetserie MM5739-61 t/m 66
(GLASAL, DUN)

Ventilator aan?: ja nee positie t.o.v. proefstuk:
Het uiteengespatte oppervlak is: 2X 40 cm X 40 cm HIERVAN 25 CM CIRKELS
bepaald door schatting

Geef een globale indicatie van de hoeveelheid en de afmetingen van de flinters:

Positie in container	schatting aantal flinters per m ²	schatting afmetingen flinters	codering genomen monsters *
binnen 1 m rondom proefstuk	100-200	1x1 tot 10x10 cm	MM 5739-1004
midden container, bij monsterpunt	geen flinters	---	MM 5739-1005
voor in container bij monsterpunt	geen flinters	---	MM 5739-1006

Aantal foto's: _____ dia/neg.film _____

Luchtmonsterneming secundaire emissie, Gebruikte flowmeter: L 16/630-9618

Monstercode	Type	Positie	Aflezings flowmeter	Tijd	Volume in l	Concentratie vezeleq./m ³
MM 5739-67	LM	positie 1 in afzuigkanaal rechts	14,0	start: 15.15	510	niet geanalyseerd
			14,2	stop : 16.21		
MM 5739-68	REM	positie 2 in afzuigkanaal links	14,0	start: 15.15	522	< 0,8
			14,0	stop : 16.23		
MM 5739-69	LM	positie 3 in afzuigkanaal links, duplo	14,1	start: 15.15	521	niet geanalyseerd
			14,1	stop : 16.22		
MM 5739-70	LM	positie 4 midden container, boven	14,1	start: 15.15	552	3,5 (1,0-9.0)
			14,2	stop : 16.26		
MM 5739-71	REM	positie 5 midden container, midden	14,0	start: 15.15	550	< 0,8
			13,9	stop : 16.27		
MM 5739-72	LM	positie 6 midden container, onder	13,9	start: 15.15	554	niet geanalyseerd
			13,8	stop : 16.28		

* Aangenomen kan worden dat 1 vezel/l overkomt met 1000 vezelequivalenten/m³ met dien verstande dat dit alleen geldt voor asbestvezels (REM-monster) en niet voor asbest specifieke LM-waarden

Overige opmerkingen:

Temperatuur in container: oplopend van 32 tot 35°C

Kwalitatieve proeven:

Internit

Internit is een asbesthoudende plaat die bedoeld is voor binnentoepassingen. De plaat bevat een relatief groot percentage aan cellulosevezels.

Waarnemingen:

Een proefstuk van 40 x 40 cm wordt direct op de brander gelegd. Na ca. 2 minuten verkleurt de plaat bruin rondom de brander. De cellulose wordt met een duidelijk zichtbare vlam uitgestookt. De plaat explodeert niet. Als de cellulose is uitgebrand blijft er een harde plaat over die niet verder verbrokkeld.

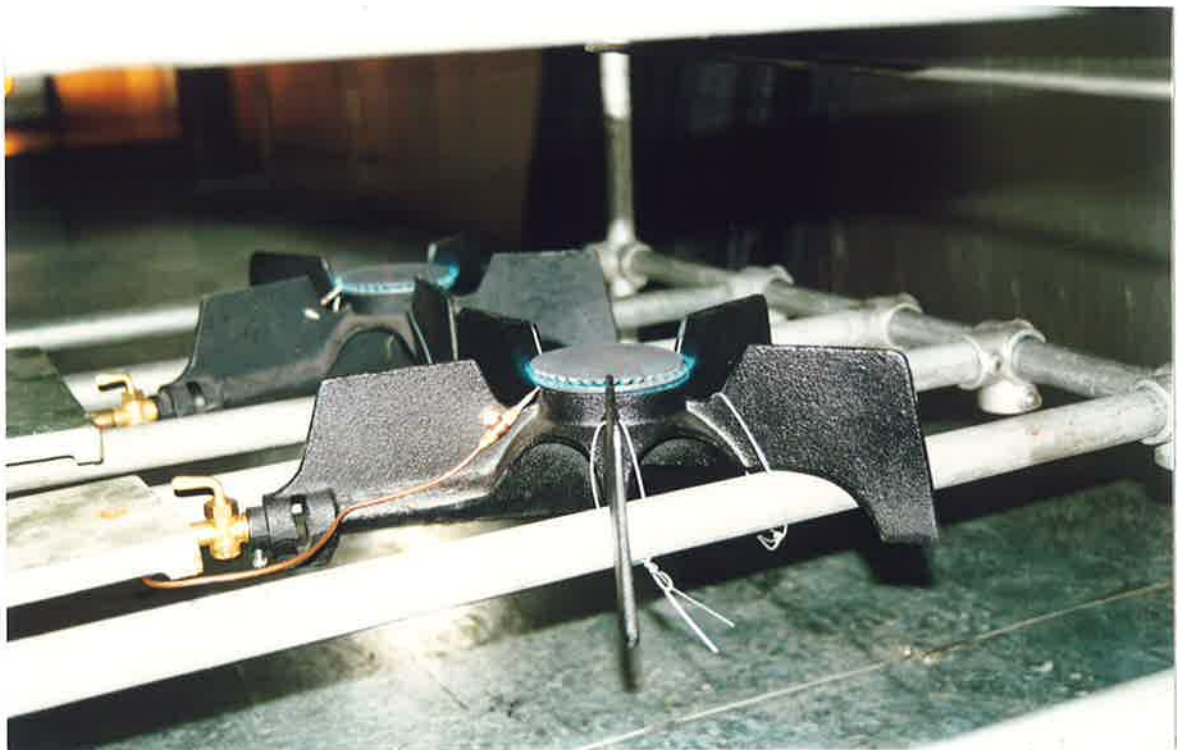
Nobranda

Nobranda is een brandwerend board dat tot 60% amosiet kan bevatten. Een proefstuk van 40 x 40 cm wordt direct op de brander gelegd. Terwijl de temperatuur aan de onderzijde van de plaat tot ca. 600°C oploopt, wordt de bovenkant zelfs na 15 minuten verwarmen niet heter dan 100°C. De plaat is volkomen vuurbestendig en explodeert niet.

Bijlage 10.3 Foto's van de proefopstelling en van de uitgevoerde proeven



Figuur 10.1 De (eerste) testopstelling, gezien vanuit de voorzijde. Aan de achterzijde bevindt zich de toegangsdeur naar de sluisruimte. In de deur bevindt zich een opklapbare “flap” om de via de achterliggende ruimte ingeblazen lucht toe te laten.



Figuur 10.2 De gebruikte propaan-branders zijn met staaldraad vastgezet op een stalen frame. Elke brander is van een terugslagbeveiliging voorzien.



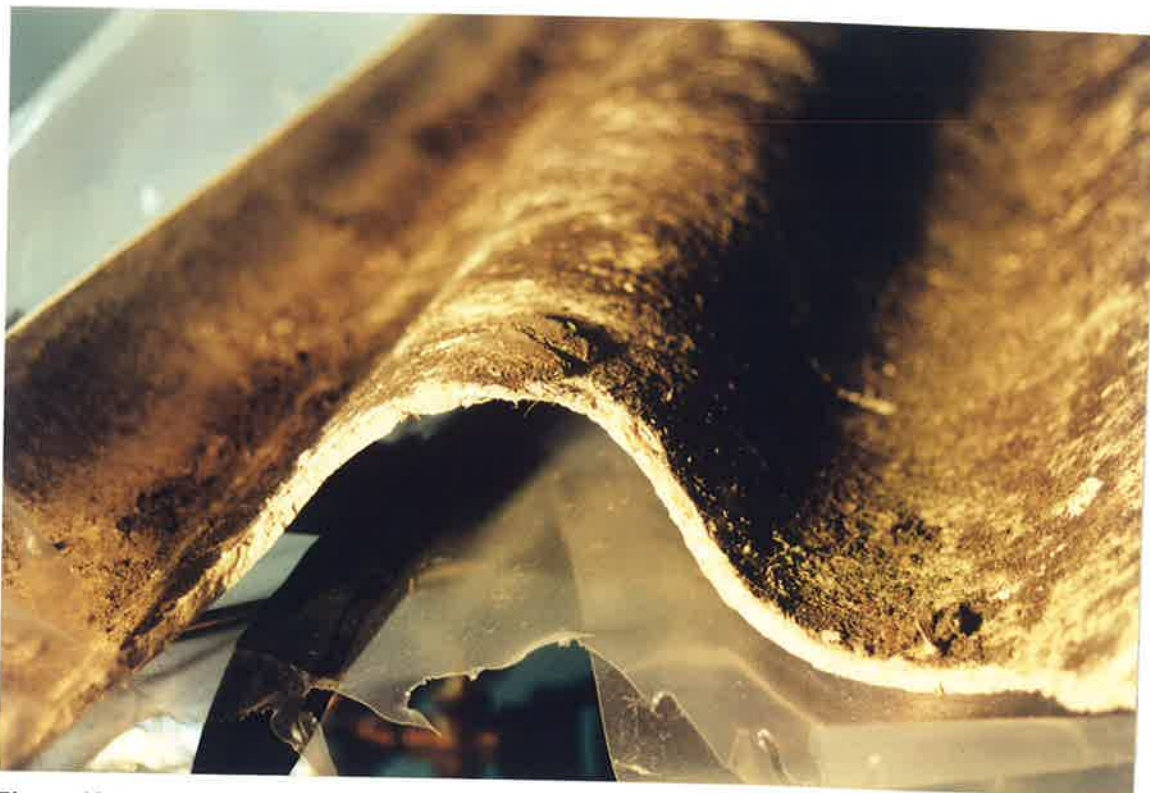
Figuur 10.3 *Overzicht van de proefruimte. Aan het uiteinde (“voorzijde”) zijn de opening waardoor de lucht via de filterunits wordt afgevoerd. Alleen de twee bovenste gebruikt en de onderste zijn afgesloten. De op de statieven geplaatste buizen met hittedraad-anemometers waarmee de luchtsnelheden zijn gemeten.*



Figuur 10.4 *“Sloepenrol” met een asbestvrije golfplaat en twee branders. De temperatuur boven- en onderzijde van de plaat wordt met thermokoppels gemeten. Later zal de branderopstelling nog diverse wijzigingen ondergaan.*



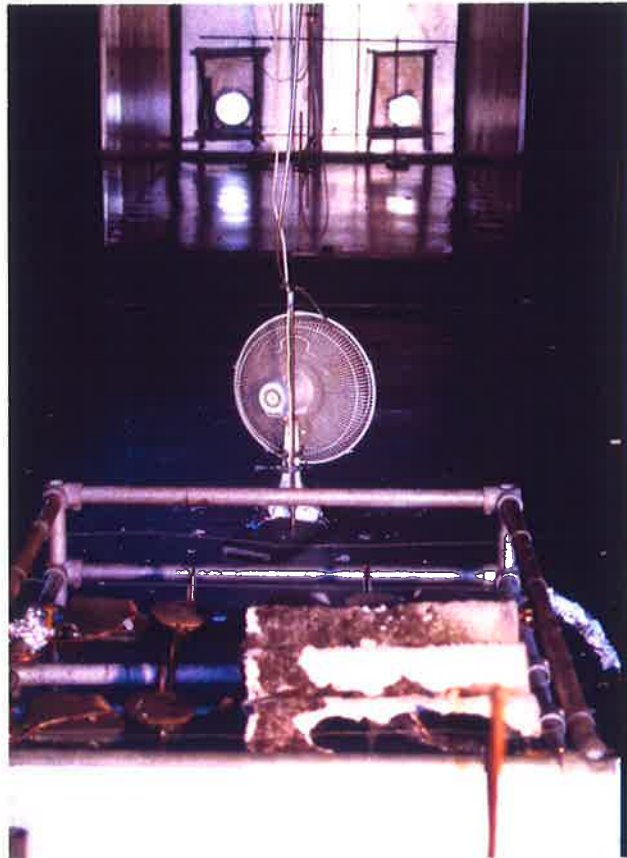
Figuur 10.5 De voor de proefnemingen gebruikte verweerde asbestcementgolflaat. Door het raam is op de achtergrond nog het statief van de camera-opstelling te zien.



Figuur 10.6 Detail van de golfplaat uit Figuur 10.5.



Figuur 10.7 Deel monsterpompen die buiten de container zijn opgesteld. De pompen zijn met slangen, die via gaten in het dak zijn doorgevoerd, verbonden met filterhouders waarmee de luchtmonsters simultaan worden genomen.

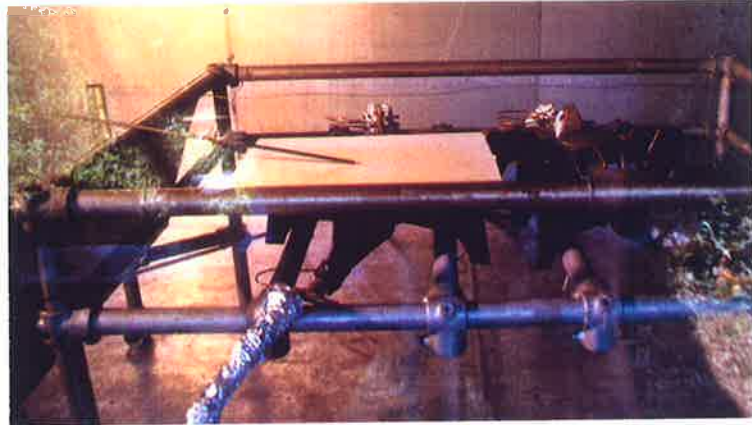


Figuur 10.8 Om na te gaan of er secundaire emissie optreedt wordt er lucht over de gesedimenteerde flinters geblazen.

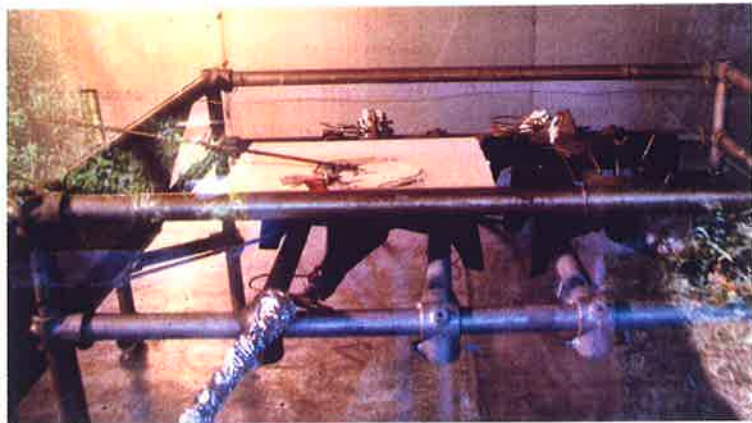


Figuur 10.9 Het aanbrengen van een proefstuk (Glascal-plaat) op de brandertafel.

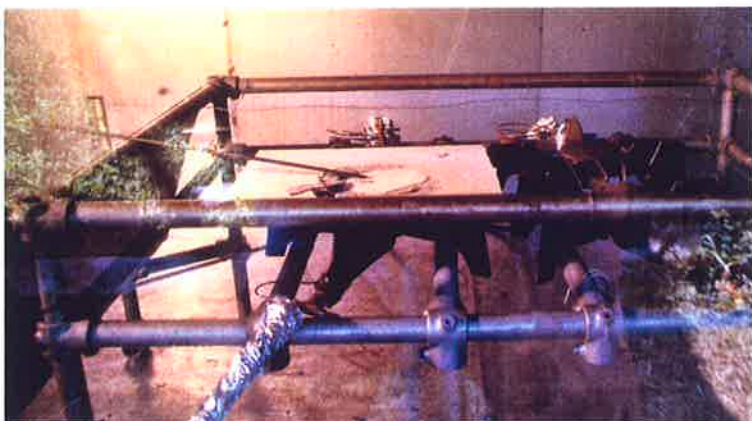
De volgende foto's zijn geselecteerd uit een serie opnamen waarbij elke seconde een opname werd gemaakt. Omdat er bij volle zon door een dikke ruit van gepantserd glas gefotografeerd is, zijn de opnamen soms wat onscherp en/of zijn er reflecties in de ruit zichtbaar. Op de achtergrond is een klok met secondewijzer zichtbaar.



Figuur 10.10 *Tijd: 14.11 35 sec. De plaat (glas) wordt opgewarmd tot ca. 500°C. Er zijn nog geen waarneembare effecten.*



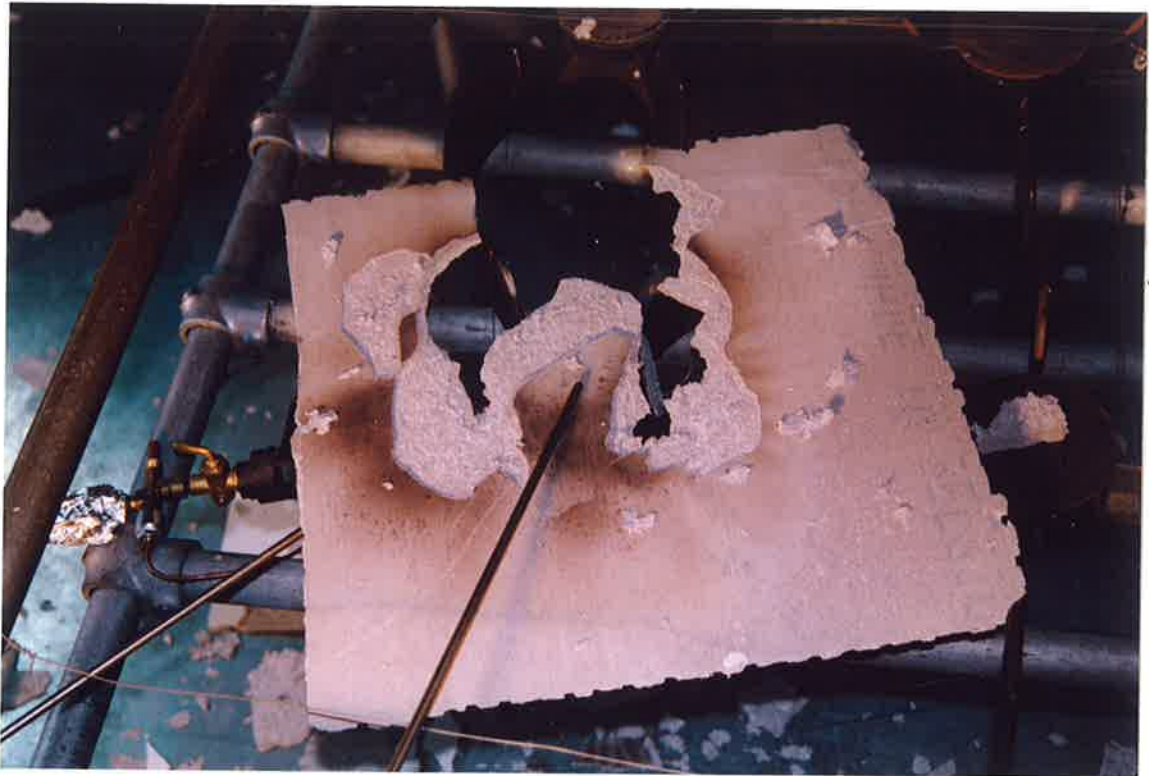
Figuur 10.11 *Tijd: 14.11 38 sec. De plaat springt met een heftige knal uiteen, waar stukken asbestcement met kracht worden weggeslingerd.*



Figuur 10.12 *Tijd: 14.11 40 sec. De proef is ten einde. Het deel van de plaat dat in korte tijd tot ca. 500°C werd opgewarmd is geheel in stukken uiteen gevallen.*



Figuur 10.13 *De plaat is in flinters uiteengespat. Onder de brandertafel bevinden zich ook nog de resten van het eerste proefstuk.*



Figuur 10.14 Uiteengespatte Glasal-plaat. Zowel aan de bovenzijde als aan de onderzijde van de plaat zijn thermokoppels aangebracht voor het meten van de temperatuur.



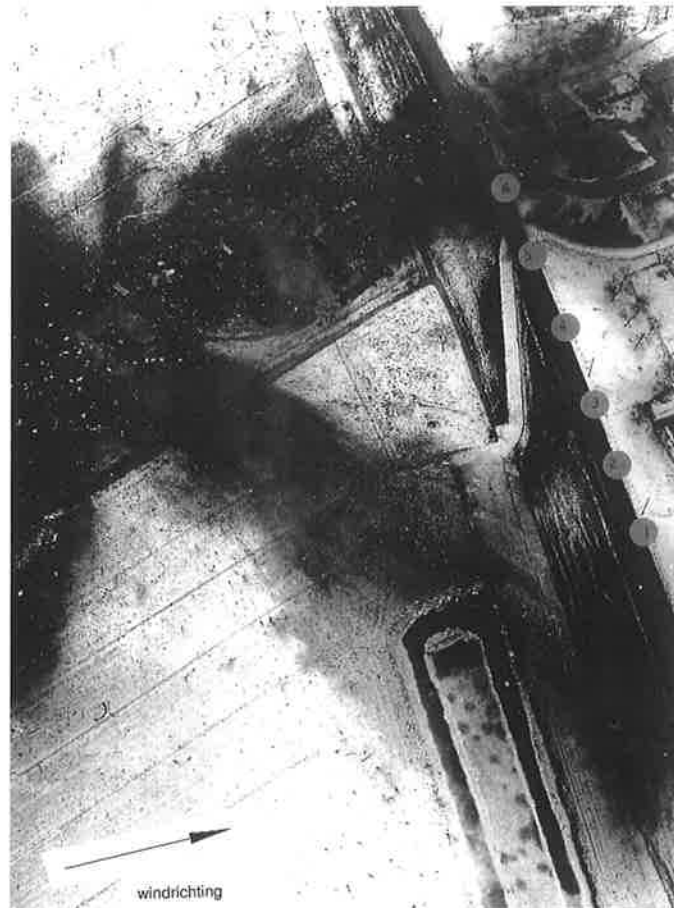
Figuur 10.15 Detailopname van de vrijgekomen stukjes en flinters..



Figuur 10.16 Overzicht van de stukken en flinters die bij het exploderen van de 5 mm dikke Glasal-plaat zijn vrijgekomen.



Figuur 10.17 Detail van de vrijgekomen flinters.



Figuur 10.18 Luchtopname van de geëxplodeerde vuurwerkfabriek te Culemborg.