Earth, Life & Social Sciences
Utrechtseweg 48
3704 HE Zeist
Postbus 360
3700 AJ Zeist

www.tno.nl

T +31 88 866 60 00
F +31 88 866 87 28

TNO-rapport

TNO2016 R11443

Onderzoek beschermingsfactoren bij adembeschermingsmiddelen gebruikt in de asbestbranche

Datum	30 januari 2017
Auteur(s)	J. Schinkel J. den Boeft P. Tromp M. de Jonge
Goedgekeurd door	M.A.J. Rennen
Exemplaarnummer	-
Oplage	-
Aantal pagina's	34 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	
Projectnaam	
Projectnummer	060.14848

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 opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2016 TNO

Samenvatting

Deze rapportage beschrijft een gesimuleerd werkplek beschermingsfactor (SWPF) onderzoek waarin de beschermingsfactoren van de 8 meest gebruikte adembeschermingsmiddelen (ABM) in de asbestbranche zijn onderzocht.

De nieuwe ABM systemen werden, nadat de testpersoon een fittest had gepasseerd, getest in een testkamer waar voor elk systeem 11 voor de asbestbranche representatieve geprotocolleerde werkzaamheden werden uitgevoerd door 10 verschillende personen. Tijdens de proeven is de concentratie van de test aerosol zowel binnen als buiten het masker continu gemeten.

De gemiddelde beschermingsfactoren verschillen per systeem en in het geval van de onafhankelijke luchtsystemen verschilden de factoren ook per uitgevoerde activiteit. De gemiddelde beschermingsfactoren van de 8 geteste systemen variëren van 2.520 – 131.500. De 5-percentiel waarden (die in tenminste 95% van de situaties bescherming bieden) voor de gemiddelde beschermingsfactoren variëren van 1610 – 70.400. Dit onderzoek toont grote verschillen in de beschermingsfactoren voor afhankelijke en onafhankelijke luchtsystemen. Gemiddeld bieden onafhankelijke luchtsystemen een factor 10 meer bescherming. Binnen beide groepen zijn er tussen systemen onderling significante verschillen in beschermingsfactoren gemeten.

Voor het vertalen van de SWPF naar beschermingsfactoren die in de praktijk voldoende zekerheid bieden wordt geadviseerd het 5-de percentiel van de gemiddelde beschermingsfactor te gebruiken. Doordat deze waarde gebaseerd is op 10 metingen per systeem moet rekening worden gehouden met de onzekerheid bij het bepalen van deze waarde. De ondergrens van het 90% betrouwbaarheidsinterval van deze waarde geldt als de waarde die met 90% zekerheid bescherming biedt aan 95% van de gebruikers in de voor dit onderzoek geldende omstandigheden. Daarnaast is het gebruikelijk dat deze waarde wordt gecorrigeerd met een veiligheidsfactor. Hierbij moet rekening worden gehouden met de volgende aspecten: de gebruikte deeltjesgrootte van de testaerosol in deze studie is waarschijnlijk een worst-case benadering ten opzichte van de afmetingen van asbestvezels, er moet nog een passende afweging worden gemaakt voor het feit dat in dit onderzoek het passen van de maskers is gecontroleerd middels een fit-test op het daadwerkelijk gedragen masker en het feit dat er in dit onderzoek gebruik is gemaakt van nieuwe systemen die volgens voorschriften zijn gebruikt.

Inhoudsopgave

1 Inleiding ... 4
1.1 Aanleiding van het onderzoek ... 4
1.2 Beschermingsfactoren ... 4
1.3 Het onderzoek ... 8

2 Onderzoeksopzet ... 9
2.1 Achtergrond ... 9
2.2 Bezoek aan INRS en HSL ... 9
2.3 Gesimuleerde omstandigheden ... 11
2.5 De experimenten ... 18

3 Resultaten ... 20
3.1 Berekenen van beschermingsfactoren ... 20
3.2 Beschermingsfactoren voor de verschillende systemen ... 20
3.3 Gemiddelde beschermingsfactoren per activiteit voor de verschillende systemen ... 21
3.4 Beschermingsfactoren voor de verschillende systemen per persoon per activiteit 23
3.5 Relatie tussen fitfactor en beschermingsfactor ... 23
3.6 Beschermingsfactor na loskoppelen luchtslang ... 24

4 Discussie ... 25

5 Conclusie ... 29

6 Referenties ... 30

7 Ondertekening ... 31

Bijlage(n)
A Testresultaten per systeem, testpersoon en activiteit

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van het onderzoek

Met de invoering van de nieuwe grenswaarden voor asbest door het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, bestaat er bij betrokken partijen behoefte aan informatie over de feitelijke bescherming van de adembeschermingsmiddelen (ABM) die gebruikt worden tijdens het werken en verwijderen van asbest. Helaas is het niet gemakkelijk om te komen tot een eenduidige conclusie over de beschermingsfactor van ABM. Certificering en afgeleiden beschermingsfactoren zijn niet eenduidig en bovendien niet altijd relevant voor de praktijk. Hierdoor zijn de toegekende factoren misschien te pessimistisch. Maar nog altijd geldt; liever ruim voldoende beschermd dan onvoldoende beschermd.

Ter voorbereiding op de invoering van de nieuwe grenswaarden voor asbest heeft TNO in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid een onderzoek uitgevoerd naar de blootstellingen aan asbest tijdens saneringswerkzaamheden.[1] In het rapport werd onder andere gesteld dat met de huidige moderne aangeblazen filtermaskers, een beschermingsfactor van 2000 haalbaar moet zijn mits:

- de maskers conform de voorschriften worden gebruikt en onderhouden
- de dragers zich beter bewust zijn/worden van het belang van het naleven van de voorschriften (b.v. door een asbestsaneringsbranche-breed fit2fit-programma).

In hetzelfde onderzoek werd de volgende aanbeveling gedaan; “Te overwegen valt om voor de asbestbranche aanvullende eisen op te stellen door de adembeschermingsapparatuur in de praktijk te laten testen onder reële sanerings-omstandigheden (Simulated Work Place Protection Factor, SWPF).” Stichting Ascert en het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid hebben gezamenlijk invulling gegeven aan deze aanbeveling. Wat heeft geleid tot het in dit rapport gedocumenteerde onderzoek.

Dit onderzoekt moet de volgende onderzoeksvragen beantwoorden:

1. Wat is de Simulated Workplace Protection Factor (SWPF) van de meest voorkomende typen ABM (combinatie van masker en filter blower) die in Nederland in de asbestbranche worden gebruikt?
2. Welke ABM systemen voldoen aan een SWPF van ten minste 2000?
3. Zijn er verschillen in SWPF tussen ABM systemen met afhankelijke lucht en ABM systemen met onafhankelijke lucht?
4. Zijn ABM systemen met onafhankelijke lucht effectiever dan ABM systemen met afhankelijke lucht?

1.2 Beschermingsfactoren

In de arbeidshygiënische strategie is het toepassen van persoonlijke beschermingsmiddelen (w.o. adembescherming) het laatste redmiddel in een hiërarchisch stelsel van beheersmaatregelen voor risico’s. Allereerst moet gekeken worden naar beheersmaatregelen die effect hebben voor de gehele omgeving, of die minder belastend zijn voor de werknemer. Adembescherming beschermd

immers alleen de drager terwijl emissie reducerende maatregelen effect hebben op de gehele omgeving. Wanneer deze vormen van blootstellingsreductie (bronmaatregelen, collectieve maatregelen of individuele maatregelen) niet tot voldoende beheersing van risico's (lage concentraties) leiden of deze 'hogere' maatregelen technisch niet mogelijk zijn, worden persoonlijke beschermingsmiddelen toegepast. In het geval van het toepassen van adembeschermingsmiddelen moet de werkgever deze middelen ter beschikking stellen en toezicht houden op het juiste gebruik ervan. De werknemers zijn verplicht om de beschermingsmiddelen te gebruiken en de instructies omtrent gebruik op te volgen.

Het toepassen van adembeschermingsmiddelen (ABM) betekent niet dat het risico op blootstelling tot nul wordt gereduceerd. Ook bij het juiste gebruik van ABM kunnen verontreinigingen uit de omgevingslucht in het ABM doordringen. Dit komt doordat filters niet alle vezels afvangen en omdat de systemen niet voor 100% lekdicht zijn. De mate van bescherming door een ABM wordt uitgedrukt in een beschermingsfactor (verhouding tussen de concentratie buiten het masker (de werkplek) en de concentratie binnen het masker). De beschermingsfactor is o.a. afhankelijk van de constructie van de ABM, het type filter, de wijze van gebruik (o.a. onderhoud), en de afstemming op de gebruiker (de passing van het ABM).

Door het ontbreken van uniforme lijsten met toegewezen beschermingsfactoren (gekwantificeerd per type adembeschermingstoestellen) is het lastig om te komen tot een eenduidige uitspraak over dé beschermingsfactor van een bepaald ABM. Europa (de EN-normen) beschikt niet over een dergelijke lijst (Tabel C1 NEN-EN529).[6] De Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk hebben wel een lijst met beschermingsfactoren, maar er zijn verschillen tussen die twee lijsten. Op dit moment is de International Standardization Organization (ISO) een eigen (wereldwijde) lijst aan het opstellen. Naast het ontbreken van eenduidige overzichten met beschermingsfactoren maakt ook het ontbreken van een duidelijke uitleg van Nominale Protectie Factoren (NPF), Toegekende Protectie Factoren (APF), Gesimuleerde Werkplek Protectie Factoren (SWPF) en Total Inward Leakage (TIL) experimenten, het heel moeilijk om de overeenkomstige getallen te interpreteren. Dit maakt de aanwezige informatie niet eenduidig interpreteerbaar wanneer beslissingen moeten worden genomen. In het vervolg van deze paragraaf wordt de meest relevante informatie uiteengezet.

1.2.1 De nominale beschermingsfactor (NPF)

In de certificeringsfase worden ABM volgens een vastgesteld protocol getest in het laboratorium. Dit protocol is wereldwijd min of meer gelijk: de lekkage van NaCl (keukenzout of SF6) wordt gemeten in het ABM, terwijl de proefpersonen een simpel gestandaardiseerd bewegingsprotocol uitvoeren. Uit die gegevens wordt de totale inwaartse lek gemeten, ook wel bekend als TIL (Total Inward Leakage). Deze TIL kan ook worden vertaald naar een nominale beschermingsfactor (NPF). Elk type ABM heeft een vereiste voor de TIL (en dus ook voor de nominale beschermingsfactor). Deze waarde van de eis wordt gebruikt om de toegekende beschermingsfactor (APF) te berekenen. Wanneer voor een bepaald type masker de TIL niet meer mag zijn dan 0,05% zal de NPF (1/0,05%) 2000 bedragen.

1.2.2 De toegekende beschermingsfactor (APF)

De Toegekende Protectie Factor (APF) is het geschatte niveau van bescherming dat het ABM biedt aan meer dan 95% van de maskers dragers op de werkplek. Onder werkplekcondities zijn beschermingsfactoren berekend door de verhouding tussen de concentratie van een verontreiniging in het ABM en van deze verontreiniging buiten het ABM te meten. Wanneer per type ABM veel van deze metingen worden uitgevoerd op verschillende locaties kan een algemeen beeld worden gevormd van de bescherming dat het type ABM biedt op werkplekken.

Het onderzoek om te komen tot een APF is erg arbeidsintensief en bovendien kan het onderzoek verschillen in opzet en uitgangspunten. In de Verenigde Staten worden APF-waarden bijvoorbeeld afgeleid onder optimale gebruikscondities (bijv. nieuwe maskers, getrainde dragers) terwijl in het Verenigd Koninkrijk onderzoek naar APF-waarden wordt gedaan onder praktijkcondities (zoals die tijdens de onderzoeken worden aangetroffen). Er zijn een relatief klein aantal onderzoeken uitgevoerd naar de APF van ABM. Bovendien zijn er praktische beperkingen aan dit type onderzoek zodat de resultaten multi-interpretabel zijn. Het is bijvoorbeeld erg lastig om verschillende maskers onder gelijke omstandigheden in de praktijk te testen. Dit heeft er toe geleid dat voor hetzelfde type ABM door verschillende landen verschillende APFs worden toegekend. In Nederland worden veelal dezelfde APFs toegekend als in Groot Brittannië.

Wanneer geen resultaten van praktijkonderzoek naar de beschermingsfactor van een specifiek ABM beschikbaar zijn, wordt de APF berekend door de beschermingsfactor eis (NPF) door een bepaalde veiligheidsfactor (tussen 5 en 50) te delen. Dit betekent dus dat in algemene zin een veiligheidsfactor van tussen de 5 en 50 wordt gebruikt om te corrigeren voor het verschil in omstandigheden bij de TIL/NPF metingen en de situatie in de praktijk. Hier wordt dan de aanname gemaakt dat omstandigheden in de praktijk zoals bijv., het niet juist gebruik van maskers, de misschien niet optimale fitting, het uitvoeren van activiteiten die wellicht leiden tot lagere bescherming (bijv. inspannende werkzaamheden of werkzaamheden in nauwe ruimten) zullen leiden tot een factor 5-50 minder bescherming,

1.2.3 Gesimuleerde Werkplek Protectie Factoren (SWPF)

Naast het afleiden van een APF volgens de standaard normeringen (van TIL naar NPF en vervolgens naar APF middels een algemene veiligheidsfactor) bestaan ook andere methoden voor het afleiden van de beschermingsfactor van ABM. Eén van die methoden is het bepalen van gesimuleerde werkplek beschermingsfactoren (Simulated Workplace Protection Factor: SWPF). Voor het bepalen van SWPF's worden metingen uitgevoerd met een redelijk aantal testpersonen. Elke meting geeft een beschermingsfactor en de groep van metingen geeft een verdeling van de beschermingsfactor. Het gemiddelde geeft bijvoorbeeld de gemiddelde beschermingsfactor weer terwijl het 5-percentiel van deze metingen de beschermingsfactor weergeeft die van toepassing is op 95% van de bemeten situaties. Om uiteindelijk de SWPF te vertalen naar een APF kunnen de resultaten van dit 5de percentiel van de gemeten SWPF wordt gebruikt om de APF te berekenen. Bovendien kan ook nog een (generieke) veiligheidsfactor (vaak dezelfde veiligheidsfactor als bij de TIL/NPF afleiding (tussen 5 en 50)) worden

gebruikt om tot een APF te komen. Hierbij is het dan wel onduidelijk waarop deze veiligheidsfactor is gebaseerd.

De APF waarden uit SWPF onderzoeken kunnen de APF waarden gebaseerd op de meer normatieve benadering (van TIL naar NPF naar APF) in de verschillende bestaande lijsten van algemene beschermingsfactoren van ABM vervangen. De APF berekend op basis van beschermingsfactoren gemeten tijdens SWPF onderzoek, zijn in de meeste gevallen hoger dan de APF toegekend op basis van de NPF. Hierdoor zijn APF factoren ook niet altijd vergelijkbaar. Het kan namelijk zo zijn dat in het ene geval een SWPF onderzoek ten grondslag aan een APF ligt en in het andere geval de APF is toegekend op basis van de NPF. In de literatuur zijn verschillende studies verschenen waarin SWPF onderzoeken worden beschreven.[2,3,4]

1.2.3.1 Gesimuleerde Werkplek Protectie Factoren (SWPF) specifiek voor de asbestbranche

De APF is een generieke beschermingsfactor voor de algemene beroepsbevolking en is niet branche specifiek bepaald. Werkplek beschermingsfactoren kunnen ook specifiek voor de asbestbranche worden onderzocht. Een dergelijk onderzoek is gericht op het bepalen van beschermingsfactoren van typische ABM gebruikt in de asbestbranche onder typische omstandigheden zoals deze voorkomen tijdens het verwijderen van asbest. In principe zal de concentratie asbest binnen en buiten het ABM gemeten kunnen worden waarbij de verhouding tussen deze concentraties de beschermingsfactor weergeeft.

Het meten van lage concentraties asbest, zoals te verwachten is in de maskers (van ABM), geeft gezien de beperkte accuraatheid en relatief hoge bepalingsgrenzen analytische problemen. Bovendien is het organisatorisch lastig om vergelijkbare praktijksituaties te vinden zodat uitslagen met elkaar vergeleken kunnen worden. Om deze twee praktische problemen te ondervangen worden gesimuleerde werkplek beschermingsfactoren (SWPF's) afgeleid gebruikmakend van een surrogaat stof i.p.v. asbest. Bovendien wordt in het SWPF-onderzoek gebruik gemaakt van een voor de asbest branche representatief bewegingsprotocol. Zo geeft het onderzoek inzicht in de beschermingsfactoren van veelvoorkomende typen ABM zoals die in de asbestverwijderingsbranche in Nederland worden gebruikt.

1.2.4 ISO normen

Er wordt al enige jaren binnen ISO gesproken over een standaard voor adembescherming die wereldwijd zal gelden. Het belangrijkste verschil met de huidige normen is dat de nieuwe ISO-norm gebaseerd is op andere uitgangspunten. In de huidige normen wordt uitgegaan van complete systemen; bij de nieuwe ISO-norm ligt de nadruk veel meer op de prestaties van de middelen en wordt veel meer rekening gehouden met menselijke factoren. Er is een aantal inspanningsniveaus opgesteld met daarbij behorende ademsnelheden en volumina. Dit betekent dat er voor lichte en zware werkzaamheden in dezelfde omgeving verschillende maskers gebruikt kunnen gaan worden. De nieuwe ISO norm is op dit moment nog in ontwikkeling en het is nog onbekend wanneer deze volledig gereed is en wanneer deze volledig geïmplementeerd en geaccepteerd wordt.

1.3 Het onderzoek

Middels een SWPF onderzoek hebben TNO en ProQares, voor 8 systemen die worden gebruikt in de Nederlandse asbestbranche, de beschermingsfactor onderzocht. De systemen werden getest in een testkamer waar voor de asbestbranche representatieve geprotocolleerde werkzaamheden werden uitgevoerd door testpersonen. Tijdens de proeven is de concentratie van de test aerosol zowel binnen als buiten het masker continue gemeten. Deze rapportage beschrijft de onderzoeksopzet, de resultaten en de conclusies van het onderzoek.

Een begeleidingscommissie is betrokken geweest bij het opzetten van het onderzoek, het becommentariëren van het bewegingsprotocol, het zien van de praktische uitvoering van datzelfde bewegingsprotocol en het becommentariëren van de rapportage van het onderzoek. De begeleidingscommissie bestond uit de volgende personen:

Peter Ploegaert	AMS Visser (leverancier ABM-middelen)
Martijn Duyvenvoorde	Dehaco (leverancier ABM-middelen)
Alexsander Haasnoot	Best (leverancier ABM-middelen)
Wim Labrijn	AST (leverancier ABM-middelen)
Jeroen Terwoert	ISZW (Rijksoverheid/toezichthouder))
Ilse van den Aker	SZW (Rijksoverheid)
Richard Frymuth	namens VAVB (asbestsaneringsbranche)
Arjan Hol	namens VERAS (asbestsaneringsbranche)
Tom Troquay	Ascert (opdrachtgever)

2 Onderzoeksopzet

2.1 Achtergrond

In Nederland wordt met behulp van de campagne “Doe jij luchtig over adembescherming?” branche breed invulling gegeven aan de passingsaspecten (fittest) van ABM. Hierdoor bestaat het vermoeden dat de generieke APF wellicht een te conservatieve indicatie van de beschermingsfactoren van de betreffende maskers geeft.

Voor effectieve bescherming met ABM zijn alle volgende aspecten van belang:

- maskers moeten conform de voorschriften worden gebruikt en onderhouden. Goed gebruik van motoren/blowers is nodig om aan de randvoorwaarden van de maskers te voldoen. Onderhoud van filters en motoren/blowers is nodig om verlies van effectiviteit van het ABM te voorkomen. In de NEN-EN 529[6] worden adviezen en richtlijnen gegeven voor het juist onderhouden van adembeschermingsmiddelen.
- een goed passend ABM is essentieel om de effectiviteit van het ABM te realiseren. Een fittest heeft als doel om te onderzoeken hoe goed een persoonlijke masker je past.
- Het is essentieel dat een correcte fittest wordt uitgevoerd. De test zal moeten worden uitgevoerd door een getraind en gekwalificeerd persoon. In het Verenigd Koninkrijk zijn protocollen opgesteld over hoe fittesten moeten worden uitgevoerd maar ook schema’s om te beslissen of een fit-tester competent is.

De beschermingsfactor die voor certificering wordt verkregen in laboratoriumsetting geeft de performance van de ABM weer tijdens het uitvoeren van een algemeen testprotocol. Om inzicht te krijgen in de beschermingsfactoren van ABM specifiek voor de asbestbranche is er in dit onderzoek gekozen voor een gesimuleerde werkplek beschermingsfactor (SWPF) onderzoek waarbij voor de asbestbranche representatieve handelingen, vastgelegd in een bewegingsprotocol, worden uitgevoerd.

2.2 Bezoek aan INRS en HSL

Om ons onderzoek zoveel mogelijk te laten aansluiten bij gangbare werkwijzen zijn bezoeken gebracht aan twee onderzoeksinstituten in Europa die ook actief zijn op het gebied van adembeschermingsmiddelen in de asbestbranche. Deze bezoeken hadden als doel om enerzijds zoveel mogelijk aan te sluiten bij bestaande initiatieven en kennis en anderzijds onze onderzoeksmethode te laten toetsen bij verschillende buitenlandse experts.

2.2.1 Bezoek Health & Safety Laboratory (HSL)

Het Britse HSL heeft veel expertise op het gebied van adembeschermingsmiddelen. Op vrijdag 2 oktober 2015 hebben Jody Schinkel (TNO) en Menno de Jonge (ProQares) een bezoek gebracht aan de HSL in Buxton. Mike Clayton was gastheer en heeft jarenlange ervaring met ABM onderzoek. In Groot-Brittannië is veel aandacht besteed aan het ontwikkelen en opzetten van fit-testen. Veel protocollen

zijn ontwikkeld bij de HSL en worden internationaal gebruikt. In Groot-Brittannië heeft men na het invoeren van de fittest veel problemen gehad met de kwaliteit van de uitvoer van de fittesten. Inmiddels heeft men daar ook certificaten voor fit-testers zodat het wel of niet goed aansluiten van de maskers wordt getest door onafhankelijke specialisten (http://fit2fit.org/).

Naast ervaring met het fit-testen heeft de HSL ook ervaring met het uitvoeren van SWPF onderzoeken. Een van deze onderzoeken had betrekking op werkzaamheden uitgevoerd in de asbestbranche.[5] Helaas, werden hier erg specifieke werkzaamheden uitgevoerd en werden die werkzaamheden niet uitgevoerd volgens een (bestaand) gestandaardiseerd bewegingsprotocol. Tijdens het bezoek zijn de testfaciliteiten van de HSL bekeken en zijn onderzoeksmethoden bediscussieerd en vergeleken.

Tijdens het bezoek bleek dat een geprotocolleerd en breed SWPF onderzoek zoals beschreven in deze rapportage nog niet door de HSL is uitgevoerd. Ook is er geen gestandaardiseerd bewegingsprotocol voor de asbest branche. Wel heeft de HSL ervaring met dergelijk onderzoek en hebben ze veel ervaring bij het implementeren van landelijke fit-test programma's. Het is belangrijk van deze ervaringen te leren en ons SWPF onderzoek internationaal kenbaar te maken en zo een stap te zetten naar internationale samenwerking op dit gebied.

2.2.2 Bezoek Institut National de Recherche et de Securite (INRS)

Op dinsdag 13 oktober heeft Jody Schinkel een bezoek gebracht aan INRS in Nancy. Tijdens het bezoek werd hij door Eric Silvente en Sandrine Chazalet ontvangen. Op dat moment werd door deze personen gewerkt aan de rapportage van een onderzoek naar de beschermingsfactoren van adembeschermingsmiddelen tijdens het verwijderen van asbest. In tegenstelling tot het onderzoek zoals beschreven in deze rapportage is in Frankrijk wel tijdens een asbestsanering gemeten. Dit heeft als voordeel dat men echt weet wat er op de werkplek te verwachten is. Nadelen van een dergelijke opzet werden door de onderzoekers onderstreept. Metingen zijn veelal niet met elkaar vergelijkbaar doordat omstandigheden waaronder gemeten wordt variëren. Daarnaast leidt de analysemethode voor asbest bij de te verwachte lage concentraties in de maskers tot relatief grote onzekerheden. Daarnaast geeft deze methode slechts inzicht in de gemiddelde beschermingsfactor over de gehele meting. Hierdoor is het lastig om verschillen in uitkomsten te duiden.

Tijdens het bezoek zijn de voor- en nadelen van een praktijk onderzoek zoals gedaan door de INRS en een SWPF onderzoek zoals wij dat hier rapporteren uitvoerig besproken. Het grootste voordeel van onderzoek op de daadwerkelijke werkvloer is dat er geen aannames hoeven worden gedaan om de gesimuleerde omstandigheden (zowel bemeten omstandigheden als bemeten test-aerosol) te vertalen naar de praktijk. Zo is er daadwerkelijk asbest bemeten in omstandigheden die op de werkvloer plaatsvinden. Daar tegenover heeft een gesimuleerd onderzoek, naast dat het goedkoper is, vele praktische voordelen. omstandigheden zijn te beheersen en daardoor zijn de resultaten beter onderling te vergelijken. Ook heeft real-time monitoren het voordeel dat verschillen in resultaten beter te verklaren zijn en inzicht wordt verkregen in kritische handelingen/omstandigheden die beschermingsfactoren beïnvloeden. Daarnaast kan met een gesimuleerde stof

nauwkeuriger de beschermingsfactor bepaald worden omdat de analysemethode nauwkeuriger is en de bepalingsondergrens lager ligt. Tijdens het bezoek is er ook overlegd over het bewegingsprotocol. Vanuit de ervaring van de onderzoekers zijn de door ons voorgestelde activiteiten besproken en zijn video's van de door de onderzoekers bemeten situaties bekeken en vergeleken.

2.3 Gesimuleerde omstandigheden

SWPF staat voor Simulated Workplace Protection Factor (SWPF) onderzoek. Zoals de naam al aangeeft wordt onder gesimuleerde werkplek omstandigheden beschermingsfactoren voor ABM bepaald. Deze paragraaf beschrijft de onderzoeksmethode waarin een aantal aspecten worden gesimuleerd. Ten eerste wordt tijdens de experimenten niet met asbest gewerkt maar wordt een surrogaat stof, in de vorm van aerosolen, in de lucht gebracht. Daarnaast wordt tijdens de experimenten niet daadwerkelijk asbest verwijderd maar worden meerdere typische asbest verwijderingshandelingen gesimuleerd middels een bewegingsprotocol om daarmee het effect van de onderscheiden handelingen op de mate van bescherming te bepalen. Bovendien vinden de experimenten plaats in een proefkamer (laboratorium) in plaats van op daadwerkelijke werkplekken.

2.3.1 Surrogaat stof

Voor het SWPF onderzoek is gebruik gemaakt van een olie (Shell Ondina mineral oil) als surrogaat stof voor asbest. Deze olie is toegelaten door de Nederlandse medische en ethische commissie voor gebruik in dergelijke experimenten met proefpersonen. In combinatie met de LASKIN Aerosol generator die de olie als aerosol in de lucht brengt, heeft de olie zich bewezen als een stabiel en robuust surrogaat. Het voordeel van het gebruik van Shell Ondina als surrogaat stof is dat de stof in zeer lage concentraties bemeten kan worden. Hierdoor kunnen ook zeer hoge beschermingsfactoren accuraat bemeten worden. Daarnaast is het mogelijk om Shell Ondina real-time te meten. Dit is een voordeel omdat dit inzicht kan geven in specifieke omstandigheden (bijvoorbeeld bepaalde activiteiten) die de beschermingsfactor beïnvloeden.

De deeltjesverdeling van Ondina aerosol komt redelijk overeen met de vezeldiameter verdeling van asbest. Ervan uitgaande dat de vezels allemaal parallel gericht zijn aan de luchtstroom vormt de beschermingsfactor op basis van Ondina aerosolen een goede afspiegeling van de beschermingsfactor voor asbest. In werkelijkheid zullen de asbestvezels niet allemaal parallel gericht zijn aan de luchtstroom (mede door turbulentie in de luchtstroom) wat resulteert in een beter afvangrendement dus hogere beschermingsfactor. Hoeveel beter hangt af van de oriëntatie van de vezels.

De vezellengteverdeling geeft de situatie weer van vezels die loodrecht zijn georiënteerd aan de luchtstroom en de diameter van een rond deeltje met hetzelfde volume als de betreffende vezel (volume equivalent spherical diameter (ESD)) is een afspiegeling een gemiddelde situatie tussen parallel en loodrecht georiënteerde vezels. Zelfs als de vezels allemaal parallel aan de luchtstroom zijn georiënteerd zal het HEPA-filter in het masker anders functioneren op de sferische Ondina deeltjes dan de vezels met hoge aspect ratio's. Het is aannemelijk dat het voor een vezel lastiger is om door een filter te komen (lekken) dan een sferisch deeltje met

dezelfde diameter. Op basis van bovenstaande redenaties is het zeer waarschijnlijk dat de beschermingsfactoren, gebaseerd op Ondina deeltjes, een conservatieve (worst case) afspiegeling is van de werkelijke beschermingsfactoren voor asbest. Dit is wel op voorwaarde dat er geen andere processen een rol spelen die van invloed kunnen zijn op het afvangen van de deeltjes, zoals adsorptieprocessen.

2.3.2 Bewegingsprotocol

Dit SWPF onderzoek heeft als doel het afleiden van beschermingsfactoren voor verschillende ABM tijdens het verwijderen van asbest. Om een generieke uitspraak te doen over de verwachtte beschermingsfactor voor een ABM is het noodzakelijk om meerdere metingen uit te voeren. Daarbij zullen de omstandigheden tijdens de verschillende metingen hetzelfde moeten zijn en bovendien representatief voor de omstandigheden waarin de ABM worden gebruikt. Wanneer de verschillende ABM met elkaar vergeleken moeten worden is het bovendien cruciaal dat de omstandigheden waarin de afzonderlijke beschermingsfactoren zijn bepaald vergelijkbaar zijn.

Doordat de omstandigheden in de asbestverwijderingspraktijk erg divers zijn zullen vele praktijkmetingen nodig zijn om een representatief beeld te krijgen van de beschermingsfactoren tijdens het daadwerkelijk verwijderen van asbest. Denk alleen al aan het type materiaal dat verwijderd kan worden en neem daarnaast alle mogelijke activiteiten die kunnen plaatsvinden onder de sterk wisselende omstandigheden en locaties. Daarom is gekozen om de meest voorkomende variaties in asbest verwijderingshandelingen te bundelen in een bewegingsprotocol.

Er is onderzocht of er internationaal een bewegingsprotocol is ontwikkeld waarin representatieve asbestverwijderingshandelingen zijn beschreven. Dit bleek na bezoeken aan de HSL en INRS niet het geval te zijn. Daarom is er een bewegingsprotocol ontwikkeld. Door het projectteam is een lijst met meest voorkomende activiteiten opgesteld deze is besproken met onderzoekers van HSL en INRS. Vervolgens is deze lijst afgestemd met de begeleidingscommissie om zodoende ook de ervaring uit de verwijderingspraktijk te benutten. De begeleidingscommissie heeft na het zien van de uitvoering van het bewegingsprotocol op de testlocatie ingestemd met het bewegingsprotocol zoals beschreven in tabel 1. Dit bewegingsprotocol bevat activiteiten die zullen leiden tot afwisselende intensiteit van inspanning en tot verschil in bewegingsvrijheid. De activiteiten worden direct na elkaar uitgevoerd waardoor het uitvoeren van het protocol in totaal 30 minuten duurt.

Tabel 1. Bewegingsprotocol gebruikt tijdens SWPF onderzoek.

	Duur (min)	Activiteit	Beschrijving	
1	3	Zitten	Zitten en acclimatiseren	
2	2	Pakken en dragen	Kisten uit het rek pakken en verplaatsen naar de steiger. Vervolgens de kisten opnieuw oppakken van de steiger en terug zetten in het rek.	
3	2	Voorlezen	Gedurende 30 sec. voorlezen, daarna 15 sec. stilte, 30 sec. schreeuwen, 15 sec. stilte, 30 sec. voorlezen. (The rainbow passage wordt voorgelezen)#	
4	3	Sorteren / oprapen	Een kist met kleine blokjes uit het rek pakken en deze leeggooien op de grond. Vervolgens de blokjes oprapen van de vloer en terug doen in de kist. Daarna de kist terugzetten in het rek.	
5	4	Lostrekken van klittenband	Het losmaken van de uiteinden van (erg sterk) klittenband. Het is de bedoeling dat het klittenband in het midden bevestigd blijft. Klittenband is op 5 verschillende plekken (hoog, laag) in de testkamer bevestigd.	
6	3	Steiger	De steiger opklimmen en aan de andere kant weer naar beneden gaan. Deze activiteit herhalen met een kist in de handen.	

	Duur (min)	Activiteit	Beschrijving	
7	2	Kruipen	Herhaaldelijk onder de steiger door kruipen.	
8	2.5	Schroeven	Bovenhands losschroeven van 10 schroeven, de schroefgaten uitzuigen met een stofzuiger en vervolgens de schroeven weer vastschroeven.	
9	2.5	Multiplex	Til een multiplex plaat boven je hoofd en verplaats deze naar de andere kant van de ruimte en weer terug.	
10	3	Schoonmaken	Het stofzuigen van het klittenband en vervolgens met een doek schoonpoetsen van een gemarkeerd gebied.	
11	3	Zitten	Zitten	
12	2	Zitten	Zitten terwijl de luchttoevoer wordt losgekoppeld	Deze handeling geldt alleen voor de onafhankelijke luchtsytemen

[#]https://www.york.ac.uk/media/languageandlinguistics/documents/currentstudents/linguisticsresources/Standardised-reading.pdf

2.4 Gebruikte adembeschermingsmiddelen

Een SWPF onderzoek geeft inzicht in de werkplek beschermingsfactor dat een specifiek type ABM kan bieden. TNO heeft Stichting Ascert gevraagd om in samenspraak met de ABM-leveranciers aan de asbestbranche, een lijst op te stellen met ABM systemen die moeten worden onderzocht in het SWPF onderzoek. Uit de inventarisatie van stichting Ascert is onderstaande lijst van ABM naar voren gekomen. In totaal zijn er 8 verschillende systemen (5 afhankelijke lucht (masker-

blower-combinaties) en 3 onafhankelijke lucht (pressure demand valve)) onderzocht. Hieronder is een overzicht van de geteste ABM weergegeven. Systemen 2, 5 en 8 worden voorzien van lucht via compressoren (onafhankelijke lucht systemen). De andere systemen zijn voorzien van een blower-unit.

De proefpersonen hebben de geteste ABM gedragen volgens de instructiehandleidingen van de fabrikanten en na goedkeuring door de begeleidingscommissie. De enige modificatie aan het masker was het aanbrengen van een opening in het masker voor het aanbrengen van de meetapparatuur. Na modificatie van het aanbrengen van de meetapparatuur is getest op dat er absoluut geen lekkage optreedt op de plek waar de meetapparatuur het masker binnenkomt. Voor de proeven met de onafhankelijk lucht systemen is een compressor gebruikt die meer dan 900 L/min levert.

Systeem 1

Manufacturer : Scott
Type : Rff 4000 t7/vision 2
Canister : Scott pro2000 (P3 PR S L)
Blower : Proflow pf10

Systeem 2

Manufacturer : Scott
Type : Vision3
Canister : Scott proflow2000/PF10 (P3 PR S L)
Emergency breathing facility : Type RAS

Systeem 3

Manufacturer : Scott
Type : Phantom vision
Canister : Scott PF251/2 (P3 PR S L)
Blower : Battery pack

Systeem 4

Manufacturer : Paftec
Type : F-series
Canister : TM3 PS L R (P3)
Blower : Clean space ultra Paftec paf-1014
AS/NZS1716-PAPR-P2

Systeem 5

Manufacturer : Drager
Type : Panorama nova
Canister : Drager P3R PR S L (type 1140)
Emergency breathing facility : ABIL-L-1

Systeem 6

Manufacturer : Drager
Type : X-plore 6300
Canister : TM3 PRSL canister Drager Belair 33
Blower : Belair 33

Systeem 7

Manufacturer : Scott
Type : Gemini FFF
Canister : Protector RC351/13 (TM3 P S L)
Blower : Protector Powerpak 92/4 MB with hose RXBH/SA/2&

Systeem 8

Manufacturer : SPD
Type : SFERA
Canister : Sekur P3 RD
Emergency breathing facility : Diablo Amiante

2.5 De experimenten

2.5.1 Meetmethode

De experimenten zijn uitgevoerd door ProQares in Rijswijk. ProQares beschikt over een testkamer uitgerust met een systeem dat is ontwikkeld om de mate van bescherming die het ABM biedt, real-time te meten. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van Condensatie Nucleus Tellers (Portacount Model 8020A, TSI Inc. Minnesota). De beschermingsfactor (PF) wordt afgeleid uit de verhouding van aerosol concentraties binnen en buiten het masker.

Een Laskin aërosolgenerator (Model AG-E1, TEC Services Inc., MD) werd gebruikt om in de testkamer aerosolconcentraties van rond de 3.0×10^5 deeltjes/cc te creëren. Op een vast punt in de testkamer werd de aerosolconcentratie binnen de kamer tijdens het experiment continu (elke seconde) gemeten. Een ventilator in de kamer zorgde ervoor dat de concentratie zo homogeen mogelijk werd verdeeld over de testkamer.

De concentratie in het masker wordt gelijktijdig bemeten middels een monsterpunt dat is aangebracht in het binnenste masker gepositioneerd voor de mond. Het meetpunt gaat d.m.v. van een gasdichte aansluiting het masker binnen. Elke seconde wordt de aerosol concentratie in het masker gemeten door de door een batterij aangedreven Portacount. De Portacount gebruikt voor het meten van het aantal deeltjes in het masker wordt gedragen in een rugzak (zie de foto in tabel 1, behorende bij activiteit 7), en de data opgeslagen op een acquisitiesysteem.

Het gebruik van een Portacount heeft als nadeel dat het apparaat geen onderscheid kan maken tussen deeltjes die door het ABM worden doorgelaten en deeltjes die worden gegenereerd door de drager of in de perslucht aanwezig zijn. Bij gebruik van luchtslangen en aangedreven luchtzuiverende ademhalingstoestellen (PAPR), kan de gecomprimeerde ademlucht of de bewegende delen van de eerste fase drukregelaar of van de ventilatoreenheid van de PAPR, een bron van de deeltjes zijn. Voordat de testpersoon de testkamer in ging werd gecontroleerd of de concentraties deeltjes in het masker onder de drempel van 1,2 deeltjes per cc. was. Zo werd voorkomen dat deeltjes gegenereerd door een filter blower eenheid of eerste fase drukregelaar de test resultaten zouden beïnvloeden.

2.5.2 Test procedure

De ABM zijn getest door personen die ervaring hebben met het testen van ABM middels een SWPF onderzoek. De personen kunnen worden omschreven als fysiek fit. Elk van de 8 verschillende ABM zijn getest door 10 verschillende personen. De volgorde van geteste ABM was per persoon verschillend om zo een ‘leereffect’ van de testprocedure te voorkomen. Elke test is vastgelegd met een videocamera. De testprocedure zag er als volgt uit:

1. Uitleg over het onderzoek en opzetten/aantrekken van ABM en andere beschermingsmiddelen
2. Fit testen
3. SWPF meting

2.5.2.1 Uitleg over het onderzoek en aantrekken van ABM en andere beschermingsmiddelen

Ter voorbereiding op de experimenten ontvingen de personen een instructie over het onderzoek, hoe de handelingen van het bewegingsprotocol moesten worden uitgevoerd en hoe het ABM en andere persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM) moeten worden gedragen. Ook kregen ze de veiligheidsinstructies met de nodige informatie, zoals de niet - toxiciteit van de gebruikte olie. De personen droegen een wegwerpoverall, laarzen en handschoenen zoals gebruikelijk tijdens asbestverwijderingen. Alle personen ondertekenden de formulieren die nodig zijn voor de medisch ethische commissie. Nadat de personen de ABM (op basis van de door de leverancier verstrekte (gebruikershandleiding e.d.) had aangetrokken, werd een visuele inspectie uitgevoerd om te controleren of de middelen juist zijn aangetrokken.

2.5.2.2 Fit testen

Na het aantrekken van het ABM, werd volgens het HSE282/28[7] Fit Testen Protocol een fit-test uitgevoerd. Dit protocol adviseert een minimum van 7 oefeningen die elk tenminste 1 minuut moeten worden uitgevoerd. Tijdens deze oefeningen voert de persoon een dynamische beweging uit, in dit geval fietsen op een hometrainer. De oefeningen moeten ook een fysieke belasting met zich meebrengen zodat de oefeningen activiteiten en werklast simuleren.

De testpersoon moet in elk van de 7 oefeningen binnen één testperiode een fit-factor van meer dan 2000 halen. Dat wil zeggen; als bij één van de oefeningen niet een fitfactor van meer dan 2000 wordt gehaald moet de gehele test worden herhaald. Elke meting in de testkamer waarbij de SWPF is bemeten is dus uitgevoerd met personen die een masker op hebben waar bij elke oefening tijdens de fit-test een fitfactor van meer dan 2000 is gemeten.

3 Resultaten

3.1 Berekenen van beschermingsfactoren

Gedurende de experimenten is elke seconde de aerosolconcentratie zowel binnen als buiten het masker gemeten. De gemiddelde lek per activiteit is berekend volgens onderstaande formule:

$$\text{gemiddelde lek} = \frac{\text{lek 1} + \text{lek 2} + \cdots . + \text{lek n}}{\text{aantal seconden} *}$$

**aantal seconde per activiteit*

$$\text{lek1} = \frac{\text{concentratie in masker op tijdstip T=1 sec}}{\text{concentratie buiten masker op tijdstip T=1se}}$$

Vervolgens is voor elke activiteit (zie bijlage A) een beschermingsfactor (PF) berekend volgens onderstaande formule:

$$\text{gemiddelde PF} = \frac{1}{\text{gemiddelde lek}}$$

Naast de PF per uitgevoerde activiteit is ook de gemiddelde beschermingsfactor van het systeem over de het gehele experiment berekend. Dit is gedaan volgens de volgende formule:

$$\text{Totale gemiddelde lek} = \frac{\text{gem. lek activiteit 1} + \text{gem. lek activiteit 2} + \cdots + \text{gem. lek activiteit n}}{\text{aantal activiteiten} **}$$

*** aantal activiteiten was 11.*

$$\text{totale gemiddelde PF} = \frac{1}{\text{totale gemiddelde lek}}$$

3.2 Beschermingsfactoren voor de verschillende systemen

Voor elk van de 8 geteste systemen hebben 10 verschillende personen 11 activiteiten uitgevoerd gedurende het experiment. Hierdoor zijn er 880 beschermingsfactoren (8 systemen * 10 testpersonen * 11 activiteiten) beschikbaar gekomen in deze studie. Al deze 880 afzonderlijke metingen zijn gepresenteerd in Bijlage A. Op basis van deze gegevens en bovenstaande formules is voor elk systeem per testpersoon een totale gemiddelde beschermingsfactor (PF) berekend welke in Bijlage A is weergegeven als gemiddelde waarde voor de betreffende persoon. Uitgaande van een representatief bewegingsprotocol kan deze waarde gezien worden als de gemiddelde beschermingsfactor per dag. Tabel 2 geeft beschrijvende statistiek weer van deze gemiddelde beschermingsfactor. Voor elk systeem zijn 10 van deze waarden afgeleid (want 10 personen bemeten per systeem). Het 5de en 95ste percentiel in tabel 2 komt vanwege het relatief klein aantal metingen overeen met de laagste respectievelijk hoogste gemeten gemiddelde beschermingsfactor.

Tabel 2. Het 5de percentiel, het gemiddelde en het 95ste percentiel van de gemiddelde beschermingsfactoren per persoon van de verschillende geteste systemen (10 testen per systeem).

Systeem	5de percentiel	gemiddelde	95ste percentiel
1	49.600	59.100	73.400
2	70.400	121.200	358.000
3	1.610	2.520	4.510
4	1.710	2.810	6.500
5	54.900	131.500	314.000
6	15.400	22.900	43.100
7	19.400	25.000	35.000
8	21.500	67.300	238.000

Uit tabel 2 blijkt dat de hoogste beschermingsfactoren worden bemeten bij de 3 onafhankelijke luchtsystemen (systeem 2, 5 en 8). Wanneer de gemiddelde bescherming geboden door de verschillende systemen wordt bekeken, kan nog steeds gezegd worden dat de onafhankelijke systemen een betere bescherming bieden dan de afhankelijke luchtsystemen. Kijkt men alleen naar de bescherming die in 95% van de gevallen geldt (dus hoger dan het 5de percentiel) dan is de bescherming van de onafhankelijke luchtsystemen minder sterk verschillend van de bescherming door (enkele) afhankelijke luchtsystemen. De grootste spreiding in beschermingsfactoren is te vinden voor onafhankelijke luchtsystemen. Dit betekent dat de beschermingsfactoren per werknemer het meest verschillen voor de onafhankelijke luchtsystemen.

De beschermingsfactoren bleken lognormaal verdeeld te zijn. Daarom zijn gebruik makend van SAS software, de log-getransformeerde waarden gebruikt in statistische modellen om het effect van verschillende variabelen op de beschermingsfactoren te onderzoeken. Allereerst blijken beschermingsfactoren statistisch significant ($p<0.01$) afhankelijk te zijn van het gebruikte adembeschermingsmiddel. Wanneer we de middelen indelen in onafhankelijke lucht systemen (systeem 2,5 en 8) en afhankelijke luchtsystemen (systeem 1, 3, 4, 6 en 7) blijkt de gemiddelde beschermingsfactor voor de onafhankelijke luchtsystemen een factor 9.75 hoger te zijn dan de gemiddelde beschermingsfactor voor de afhankelijke luchtsystemen ($p=<0.01$).

Daarnaast blijkt binnen de groep afhankelijke luchtsystemen de beschermingsfactoren van de individuele systemen significant van elkaar te verschillen ($p<0.01$). Voor de groep van onafhankelijke luchtsystemen verschillende de beschermingsfactoren net niet significant van elkaar ($p=0.05$). De gemiddelde beschermingsfactor over de systemen verschilt in dit onderzoek niet significant ($p<0.05$) per persoon.

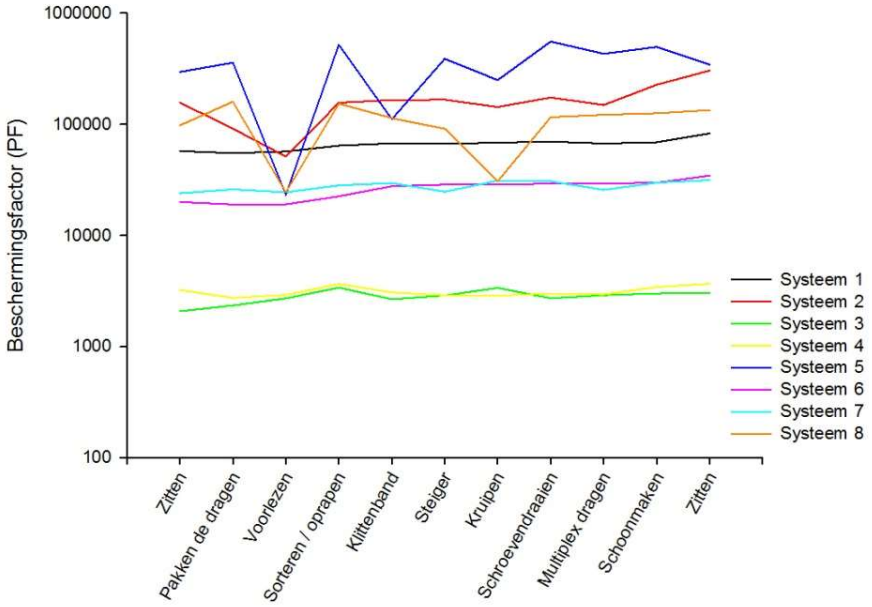
3.3 Gemiddelde beschermingsfactoren per activiteit voor de verschillende systemen

Door de gekozen proefopzet was het mogelijk om elke seconde de beschermingsfactor van de geteste systemen te bepalen. Hierdoor was het ook mogelijk om op verschillende detail niveaus de beschermingsfactor te berekenen. In paragraaf 3.2 is de beschermingsfactor gedurende de proef gepresenteerd. In deze paragraaf wordt onderzocht of de beschermingsfactoren niet alleen worden

beïnvloed door het systeem (zoals uit paragraaf 3.2 blijkt) maar wellicht ook door de verschillende uitgevoerde activiteiten.

Om het effect van uitgevoerde activiteit op de beschermingsfactor van de verschillende systemen te onderzoeken is voor elke activiteit een gemiddelde beschermingsfactor berekend volgens de getallen in bijlage A en de formules zoals beschreven in paragraaf 3.1. Alleen is de totale gemiddelde beschermingsfactor nu niet berekend per persoon over de 11 activiteiten, maar per activiteit over de 8 verschillende systemen. In totaal zijn er dus 88 metingen beschikbaar (8 systemen en 11 activiteiten. In Figuur 1 zijn voor elk systeem de gemiddelde beschermingsfactoren per activiteit weergegeven.

Figuur 1 laat zien dat vooral de onafhankelijke lucht systemen (2, 5 en 8) grotere verschillen in gemiddelde beschermingsfactoren per activiteit laten zien. Hier is vooral voorlezen en activiteit die leidt tot lagere beschermingsfactoren. Hier lijkt de vervorming van het gezicht in combinatie met een behoorlijke ademhalingspiek een belangrijkere beperkende factor te zijn. De spreiding in beschermingsfactoren tussen activiteiten is voor de onafhankelijke luchtsystemen duidelijk zichtbaar en is nauwelijks aanwezig binnen de groep afhankelijke luchtsystemen.



Figuur 1. Gemiddelde beschermingsfactoren per uitgevoerde activiteit weergegeven voor de verschillende systemen.

Hetzelfde statistische model zoals beschreven in paragraaf 3.2 is gebruikt om de effecten statistisch te toetsen. Ook op activiteitniveau blijken de onafhankelijke systemen een significant ($p<0.01$) hogere beschermingsfactor te geven in vergelijking met de onafhankelijke systemen. De gemiddelde beschermingsfactor is op activiteit niveau een factor 11.7 hoger voor de onafhankelijke luchtsystemen in vergelijking met de afhankelijke luchtsystemen. Voor de groep onafhankelijke luchtsystemen blijkt voorlezen inderdaad de enige activiteit die significant afwijkt van de andere activiteiten ($p<0.01$). De gemiddelde beschermingsfactoren per

activiteit verschillen voor onafhankelijk luchtsystemen sterk zowel binnen als tussen systemen. Voor de afhankelijke luchtsystemen verschillen de gemiddelde beschermingsfactoren per activiteit alleen sterk tussen de verschillende systemen.

3.4 Beschermingsfactoren voor de verschillende systemen per persoon per activiteit

Het hoogste detail niveau waarop de gegevens zijn gerapporteerd is op het niveau van beschermingsfactor van een systeem per taak per persoon (zie bijlage A). We hebben de beschikking over ((8 systemen * 10 testpersonen * 11 activiteiten) 880 metingen van protectiefactoren per activiteit. Tabel 3 geeft per systeem de beschrijvende statistiek weer voor de 110 bemeten beschermingsfactoren per activiteit per persoon.

Tabel 3. Het 5de percentiel, het gemiddelde en het 95ste percentiel van de beschermingsfactoren gemeten per persoon per activiteit bij de verschillende geteste systemen (110 testen per systeem).

Systeem	5de percentiel	gemiddelde	95ste percentiel
1	42.800	59.100	86.400
2	38.800	121.200	524.900
3	1.520	2.520	7.040
4	1.590	2.810	7.570
5	37.000	131.500	704.200
6	11.600	22.900	46.200
7	16.800	25.000	55.500
8	21.600	67.300	448.000

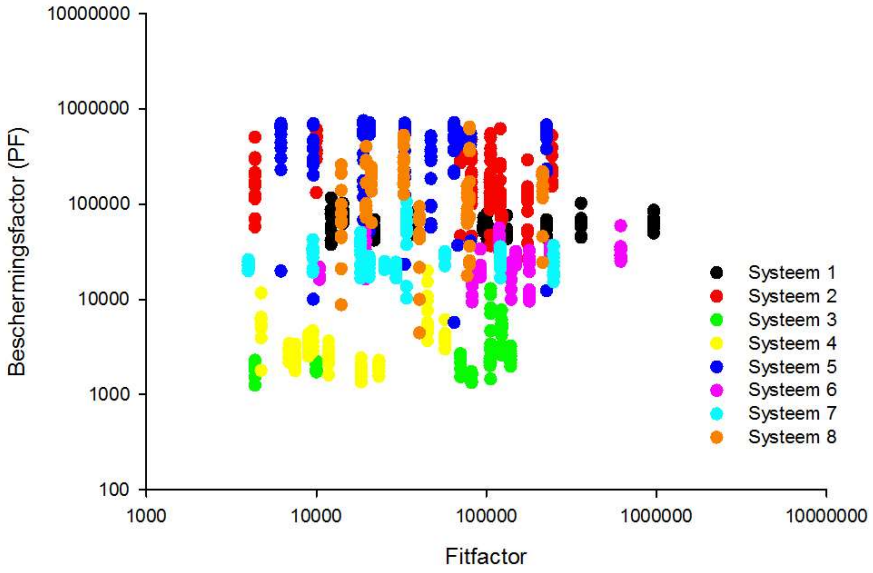
Ook nu is hetzelfde statistische model zoals beschreven in paragraaf 3.2 gebruikt om de effecten statistisch te toetsen. Ook op het niveau van de individuele beschermingsfactoren per activiteit blijken de onafhankelijke systemen een significant ($p<0.01$) hogere beschermingsfactor te geven in vergelijking met de onafhankelijke systemen. De gemiddelde beschermingsfactor op individueel niveau voor een activiteit is een factor 14.3 hoger voor de onafhankelijke luchtsystemen in vergelijking met de afhankelijke luchtsystemen.

Daarnaast blijkt binnen de groep afhankelijke luchtsystemen de beschermingsfactoren van de individuele systemen significant van elkaar te verschillen ($p<0.01$) ook verschillen de afzonderlijke beschermingsfactoren per systeem significant per persoon $p<0.05$). Ook voor de groep van onafhankelijke luchtsystemen verschillende de beschermingsfactoren van de individuele systemen significant van elkaar ($p<0.01$). De individuele beschermingsfactoren per activiteit per persoon verschillen echter net niet significant ($p=0.08$) van elkaar per persoon.

3.5 Relatie tussen fitfactor en beschermingsfactor

Voordat de SWPF meting plaatsvond is de testpersoon voor elk afzonderlijk systeem gefittest en voor elke oefening is een fitfactor van boven de 2000 vastgesteld alvorens het experiment gestart werd (zie paragraaf 2.5.2.2). Om te onderzoeken of de fitfactor een relatie heeft met de beschermingsfactoren zijn de opgeslagen individuele fitfactoren (n=76, 4 missende waarden) vergeleken met de verschillende beschermingsfactoren.

Op de log-getransformeerde waarden is geen significante relatie ($p<0.05$) tussen de fitfactor en de gemiddelde beschermingsfactor gevonden (n=80) en ook niet voor de individuele beschermingsfactor per systeem per activiteit (Spearmans rho =0.13, $p<0.01$, n=880). Let wel dat deze relatie is onderzocht bij fitfactors boven de 2000. De relatie tussen fitfactor en beschermingsfactor bij slechte fitting (fitfactor < 2000) is echter niet onderzocht. Wanneer de maskers goed passen (fitfactor >2000) zorgt blijkbaar een andere factor voor de verschillen die gezien worden in bescherming. In Figuur 2 worden de gegevens visueel gepresenteerd. Elk bolletje geeft een gemeten beschermingsfactor weer per persoon per taak. Deze figuur laat duidelijk zien dat de fitfactor (in deze range) niet gerelateerd is aan de gemeten beschermingsfactor.



Figuur 2: Relatie tussen fitfactor (>2000) en beschermingsfactor voor alle uitgevoerde activiteiten door de verschillende personen weergegeven per getest systeem

3.6 Beschermingsfactor na loskoppelen luchtslang

Vanuit de begeleidingscommissie kwam de vraag om de beschermingsfactor te testen van onafhankelijke lucht systemen wanneer de onafhankelijke lucht zal verdwijnen en de lucht door alleen het filter wordt gezuiverd. Daarom is na het uitvoeren van de laatste activiteit (zitten) voor de onafhankelijke lucht systemen nog twee minuten doorgemeten terwijl de luchtslang was ontkoppeld. Bij twee van de drie onafhankelijke luchtsystemen is de gemeten beschermingsfactor aanzienlijk lager na loskoppelen van de luchtslang. In tabel 4 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 4. Beschermingsfactor van de onafhankelijke luchtsystemen tijdens zitten na ontkoppeling van de luchtslang.

Systeem	5de percentiel	gemiddelde	95ste percentiel
2	68.800	159.000	475.000
5	293	1.110	15.700
8	289	2.300	118.000

4 Discussie

Veelal worden generieke APF afgeleid door standaard veiligheidsfactoren toe te passen op NPF vanuit laboratoriumtesten waarbij bepaalde specificaties (bijv. TIL) van type maskers worden getest. Deze rapportage beschrijft een onderzoek waarbij beschermingsfactoren worden afgeleid op basis van gesimuleerde activiteiten specifiek voor de asbestbranche. Tijdens dit onderzoek zijn in een testkamer onder gesimuleerde omstandigheden de beschermingsfactoren van 8 verschillende systemen onderzocht. De 8 onderzochte systemen zijn geselecteerd door Stichting Ascert als zijnde de 8 meest gebruikte systemen in de asbestbranche of als zijnde veelbelovende innovatieve systemen. De maskers zijn in het onderzoek gedragen zoals aangegeven door de leveranciers van de maskers. Door tien verschillende personen werd voor elk systeem, na een fit-test volgens het Britse protocol OC 828/28[6], het bewegingsprotocol zoals omschreven in tabel 1 uitgevoerd. Tijdens het uitvoeren van de activiteiten werd het verschil in concentratie van olie aerosolen (als surrogaat voor asbest) binnen en buiten het masker continue (elke seconde) gemeten en vergeleken.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de gemeten SWPF beschermingsfactoren over het gehele experiment erg verschillen per systeem. Van 2 van de 8 geteste systemen ligt het 5-percentiel van de gemeten SWPF onder de 2000. Van de overige 6 systemen ligt deze waarde boven de 10.000. De gemiddelde SWPF voor de verschillende systemen varieerde van 2.500 tot meer dan 130.000. Wanneer de 2 verschillende systemen worden ingedeeld in twee groepen, onafhankelijke en afhankelijke luchtsystemen, dan blijkt er een significant verschil in beschermingsfactoren te zitten. De onafhankelijke systemen beschermen gemiddeld bijna een factor 10 beter.

Wanneer de beschermingsfactoren niet worden geëvalueerd als gemiddelde per uitgevoerd experiment maar als gemiddelde beschermingsfactor per uitgevoerde activiteit blijkt dat voor de onafhankelijke systemen de beschermingsfactoren verschillen tussen de uitgevoerde activiteiten. Voorlezen leidt tot significant lagere beschermingsfactoren. Dit kan verklaart worden doordat de onafhankelijk luchtsystemen werken op basis van een overdruk, welke wordt getriggerd door een minimale onderdruk (door de LDV (Lung Demand Valve)). Bij een geringe lekkage kan deze hele korte periode van lichte onderdruk zorgen voor verontreinigde lucht binnen in het masker. Het effect van wel of geen geringe lekkage is hierdoor relatief groot. Bij de afhankelijke luchtsystemen was er nauwelijks een effect van uitgevoerde activiteit op de beschermingsfactor zichtbaar.

Wanneer de gegevens op het niveau van individuele beschermingsfactoren per persoon op activiteit niveau werden bekeken was de beschermingsfactor van onafhankelijke luchtsystemen gemiddeld een 14 hoger in vergelijking met de beschermingsfactor van de afhankelijke luchtsystemen. Daarnaast blijken de beschermingsfactoren voor een enkele activiteit significant te verschillen per systeem. Ook zien we behoorlijke spreiding van beschermingsfactoren binnen de systemen.

Uiteindelijk is de vraag hoe de gevonden beschermingsfactoren in dit rapport kunnen worden geïmplementeerd in de praktijk. In deze rapportage is op

verschillende niveaus de beschermingsfactor gepresenteerd. Uitgaande van een representatief bewegingsprotocol geeft de gemiddelde beschermingsfactor over het gehele experiment (Tabel 2) de meest representatieve beschermingsfactor voor een werknemer over een dag weer. De analyses op het niveau van gemiddelde per activiteit en individuele beschermingsfactoren per activiteit en systeem hebben laten zien dat de spreiding binnen systemen wordt veroorzaakt door verschillen per persoon en in het geval van de onafhankelijke systemen ook door de uitgevoerde activiteit.

Het is gebruikelijk dat niet de gemiddelde gemeten SWPF gebruikt wordt als uiteindelijk toegekende beschermingsfactor maar de waarde die bescherming biedt aan 95% van de gebruikers. In dat geval zal de waarde gegeven daar het 5de percentiel gekozen worden. Omdat in dit onderzoek elk systeem is getest door 10 personen betekent dit dat de beschermingsfactor die bescherming biedt aan 95% van de gebruikers de laagst gemeten beschermingsfactor in dit onderzoek betreft. Het vaststellen van het 5de percentiel op basis van 10 metingen brengt onzekerheid met zich mee. Clayton et. al. 2013[7], presenteerden factoren om rekening te houden met de onzekerheid in het afleiden van deze waarden. Hiervoor is de groepsgrootte (in dit geval 10 personen) en de spreiding in resultaten belangrijk. De berekende geometrische standaard deviatie (GSD) was voor de systemen 1 t/m 7 minder dan 2 en voor systeem 8 was de GSD 2.1. Gebruikmakend van de factoren gepresenteerd bij Clayton[7] zijn de grenzen van het 90% betrouwbaarheidsinterval (BHI) zoals weergegeven in tabel 5 berekend. Voor systeem 1 geldt dat de laagste gemeten waarde en daarmee berekende 5de percentiel van de beschermingsfactor 49.600 bedroeg. Gezien de spreiding in gemiddelde beschermingsfactoren in de 10 gemeten waarden (GSD=1.14) en de grootte van de steekproef (10 personen) zit de werkelijke waarde van het 5de percentiel met een zekerheid van 90% binnen een factor 2.19. Daarom kan gesteld worden dat met 90% zekerheid, systeem 1 voor 95% van de gebruikers in de omstandigheden zoals in dit onderzoek gelden een bescherming biedt van tenminste een factor 22.700.

Tabel 5: Berekende 90% betrouwbaarheidsinterval rondom de 5de percentiel waarde van de gemiddelde beschermingsfactor

Systeem	5de percentiel	90% BHI
1	49.600	22.700 - 108.600
2	70.400	32.100 - 154.100
3	1.610	735 - 3.520
4	1.710	781 - 3.740
5	54.900	25.100 - 120.200
6	15.400	7.030 - 33.700
7	19.400	8.900 - 42.500
8	21.500	6.230 - 74.200

Daarnaast is het gebruikelijk dat de gekozen waarde (meestal dus het 5-percentiel van de verdeling van beschermingsfactoren) niet 1 op 1 gebruikt wordt als toegekende beschermingsfactor maar dat nog een zogenaamde veiligheidsfactor wordt toegepast. Deze veiligheidsfactor wordt gebruikt om de vaak gunstige test-omstandigheden te vertalen naar de situatie die men in de praktijk zal aantreffen. Helaas is de redenatie achter de hoogte van de uiteindelijk gekozen veiligheidsfactor onduidelijk. Om tot een goede afweging te kunnen komen of een

veiligheidsfactor in dit geval nodig is en zo ja welke hoogte van de factor zal volstaan, zijn een aantal te maken afwegingen hieronder op een rijtje gezet.

Allereerst zouden de resultaten van de bescherming aan aerosolen moeten worden vertaald naar de beschermingsfactor voor bescherming aan asbest. Gezien de deeltjes grootte verdelingen van Ondina en asbest is in paragraaf 2.3.1 reeds beredeneerd dat de resultaten in dit onderzoek waarschijnlijk een worst-case benadering zijn voor de beschermingsfactoren voor asbest.

Tijdens dit onderzoek is het passen van de maskers op het gezicht van de testpersonen gecontroleerd d.m.v. een fit-test alvorens de experimenten te starten.
Voor de asbest branche geldt vanaf 1 januari 2015 een verplichte fit-test. Deze verplichting heeft tot doel om de passing van de maskers en daarmee de bescherming van de saneerder te verbeteren. Een dagelijkse goede fit van het masker is niet alleen afhankelijk van het aanmeten van het juiste masker maar ook van het juist gebruik en onderhoud van het masker. De afsluiting van het masker op het gezicht kan negatief beïnvloed worden doordat de afdichtingsrand naar verloop van tijd minder soepel wordt of doordat banden niet goed of niet gelijkmatig worden aangetrokken. Op dit moment is het onduidelijk hoe deze menselijke component is ondervangen in de praktijk. Door de campagne veilig in elke vezel (http://www.abm-campagne.vezelveiligheid.nl/) is het aannemelijk dat het bewustzijn en daarmee het juist gebruik van de adembeschermingsmiddelen is verbeterd. Het feit dat fit-stations hebben besloten om de fit-testen niet uit te voeren met de persoonlijke maskers omdat deze maskers niet altijd vrij zijn van asbest, geeft aan dat het naleefgedrag nog niet optimaal is. Hierdoor lijkt een veiligheidsfactor om te corrigeren voor juist gebruik van de maskers gewenst. Deze veiligheidsfactor zal moeten corrigeren voor de afname in bescherming door het dragen van een niet goed passend masker, niet juist gebruik van het masker en/of een verouderd masker waarvan de passing niet optimaal meer is. De grootte van de afname zal beïnvloed worden door de mate van lekkage en is daardoor moeilijk te voorspellen.
Aanvullend of als alternatief zal extra aandacht aan het juist gebruik en onderhoud van de maskers de passing van de maskers in de praktijk (nog meer) verbeteren. Wanneer getest wordt met het eigen masker kan de staat van het masker worden gecontroleerd en onderdelen van het masker kunnen, indien nodig, worden gerepareerd of vervangen. Het mogelijk maken van testen met het eigen masker kan bijvoorbeeld worden bereikt door tijdens het verplichtte jaarlijkse fittesten ook een vrijgave van het eigen masker verplicht te stellen.

Niet alleen is de persoon de fit-test gepasseerd voor aanvang van elk experiment, tijdens de experimenten is ook gebruik gemaakt van nieuwe en daardoor optimaal functionerende systemen die volgens gebruiksvoorschrift zijn gebruikt. In de praktijk wordt natuurlijk niet voor elk nieuw project een nieuw systeem aangeschaft. Systemen worden gedurende langere tijd gebruikt. Om het systeem blijvend optimale bescherming te kunnen laten bieden is onderhoud van het systeem daardoor cruciaal. Op dit moment is goed gebruik en onderhoud logischerwijs verplicht maar het is onduidelijk hoe goed de naleving hiervan is. Cruciale aspecten in het onderhoud zijn bijvoorbeeld de eerder genoemde afdichtingsranden van het masker of het voorkomen van verdroogde ventielen of vuile ventielzittingen. Voor juist gebruik is het belangrijk dat compressoren of batterijen voldoende capaciteit leveren. Er is weinig bekend over het effect van deze niet optimale omstandigheden. Onderzoek van Clayton et. al uit 2002[6] geeft enig houvast voor

wat betreft het niet goed functioneren van de batterijen. Het uitschakelen van de batterij leverde een ongeveer 100x lagere beschermingsfactor op, Het gebruik van een gedeeltelijk lege batterij leverde een factor 3 reductie op de beschermingsfactor. Tegenwoordig kan met behulp van signaleringen batterijen worden vervangen op het moment dat er te weinig capaciteit wordt geleverd. Ook voor dit aspect geldt dat gegevens voor een objectieve onderbouwing voor een eventuele veiligheidsfactor ontbreken. Het is onduidelijk hoe goed maskers worden onderhouden en het effect van niet goed functionerende onderdelen van het masker op de beschermingsfactor is onduidelijk.

Het is aannemelijk dat ondanks goed initiatieven zoals de verplichtte fit-test en voorlichting, de praktijksituatie zal afwijken van de omstandigheden waarbij de gepresenteerde SWPF factoren zijn afgeleid. Echter is het onduidelijk in welke mate deze praktijksituatie afwijkt en wat de effecten van deze afwijking op de beschermingsfactor zijn. Bij een verplichtte fit-test met het eigen masker zal ook een jaarlijkse onderhoudscontrole kunnen plaatsvinden wat de kwaliteit en daarmee de beschermingsfactor van de maskers zal verbeteren. Tevens kan er ook geregistreerd worden wat de situatie in het veld is. Wat is de frequentie van niet passende of niet goed onderhouden maskers? Op deze manier wordt inzicht verkregen in de situatie in de branche en is er tevens een borging op de kwaliteit van de maskers.

Bij het ontbreken van inzicht en kennis om te komen tot een motivatie om af te wijken van de gebruikelijke veiligheidsfactoren is het verstandig vast te houden aan de huidige gebruikelijke veiligheidsfactoren. In de praktijk worden vaak veiligheidsfactoren gebruikt die variëren in de range van 5-50. De Occupational Safety and Health Administration (OSHA) in de Verenigde staten gebruikt bij het toekennen van de beschermingsfactor uit een SWPF onderzoek de beschermingsfactor waarbij slechts 5% van de metingen lager is (bescherming van 95% van de populatie) en deelt deze 5de percentiel waarde met een veiligheidsfactor van 10 of 25 om te corrigeren voor de verschillen die in de praktijk zullen voorkomen[9].

5 Conclusie

Dit onderzoek presenteert de SWPF van de meest voorkomende typen ABM (combinatie van masker en filter blower) die in Nederland in de asbestbranche worden gebruikt. De beschermingsfactoren verschillen per systeem en in het geval van de onafhankelijke lucht systemen kunnen de factoren ook verschillen per uitgevoerde activiteit. Bij voorlezen zijn de gemeten beschermingsfactoren voor onafhankelijke luchtsystemen significant lager dan bij de andere activiteiten. Bij afhankelijke luchtsystemen wordt dit verschil niet waargenomen. De gemiddelde beschermingsfactoren van de 8 geteste systemen variëren van 2.520 – 131.500. Het is gebruikelijk om de 5-percentiel waarden (die in tenminste 95% van de situaties bescherming bieden) te gebruiken als SWPF voor een bepaald systeem. Deze beschermingsfactoren variëren van 1.610 – 70.400. Houdt men rekening met de onzekerheid rondom het afleiden van deze 5de percentiel waarden dan ligt de waarde die 90% zekerheid geeft dat deze bescherming biedt in 95% van de gevallen tussen de 735 en 32.100. Dit onderzoek toont grote verschillen in de gemiddelde beschermingsfactoren voor afhankelijke en onafhankelijke luchtsystemen. Gemiddeld bieden onafhankelijke luchtsystemen ongeveer een factor 10 meer bescherming in vergelijking met afhankelijke luchtsystemen. Zowel binnen de groep afhankelijke als binnen de groep onafhankelijke luchtsystemen zijn er significantie verschillen in gemiddelde beschermingsfactoren gemeten.

Voor het implementeren van de gevonden SWPF naar een toegekende beschermingsfactor (APF) is het belangrijk met de volgende aspecten rekening te houden; de gebruikte deeltjesgrootte van de testaerosol in deze studie is waarschijnlijk een worst-case benadering ten opzichte van de afmetingen van asbest vezels. Daarnaast moet nog een passende afweging worden gemaakt voor het feit dat in dit onderzoek het passen van de maskers is gecontroleerd middels een fit-test alvorens te starten met de experimenten en het feit dat er gebruik gemaakt is van nieuwe systemen die volgens voorschriften zijn gebruikt. Wanneer juist gebruik, onderhoud en passing nog geen standaard gebruik is in de branche zal een veiligheidsfactor moeten worden toegekend die het effect van niet juiste passing, niet juist gebruik en/of slecht onderhoud weergeeft. Ons inziens ontbreekt op dit moment het inzicht wat betreft juiste passing, juist gebruikt en onderhoud voor de asbestbranche. Ook is het effect van deze factoren op de beschermingsfactoren onduidelijk. Hierdoor is een onderbouwde afwijking van de standaard (arbitraire) veiligheidsfactoren die variëren van 5-50 op dit moment niet mogelijk.

6 Referenties

1. Tempelman J, den Boeft J, Schinkel J. Onderzoek naar de blootstelling aan asbest tijdens saneringswerkzaamheden. TNO 2013 R11850. 28 november 2013.

2. Lawrence RB, Dulling MG, Calvert CA and Coffey CC. Comparison of performance of three different types of respiratory protection devices. Journal of Occupational and Environmental Hygiene; 2006 Sep:3(9): 465-74.

3. Zhuang Z, Coffey CC and Ann RB. The effect of subject characteristics and respirator features on respirator fit. Journal of Occupational and Environmental Hygiene; 2005 Dec:2(12): 641-9.

4. Cohen J. Howard, Hecker H. Lawrence, Mattheis K. Darrell, Johnson S. James, Biermann H. Arthur and Foote L. Kenneth. Simulated Workplace Protection Factor Study of Powered Air-Purifying and Supplied Air Respirators. American Industrial Hygiene Association Journal; 2001 Sep: 62:595-604.

5. Clayton, MP, Rajan-Sithamparanadarajah, B and Vaughan, NP. Performance studies on respiratory protective devices in the workplace – Part II: Towards a unified approach. Journal of International Society for Respiratory Protection; 2013 (30) 1: 1-20.

6. Normcommissie 302 094 “Persoonlijke beschermingsmiddelen”.NEN-EN 529. Respirotory protective devices – Recommendations for selection, use, care, and maintenance – Guidance document. November 2005.

7. Fit testing of respiratory protective equipment facepieces. OC 282/28. http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/200-299/282_28.pdf

8. Claton MP, Bailey AE, Vaughan NP and Rajan R. Performance of power assisted respirators during simulated asbestos removal. Ann. Occup. Hyg; 46 (1): 49-59. 2002.

9. Robert L. Hutzel and Jeff Weed, Weed Respiratory Protection Solutions (WeedRPS), LLCSimulated Workplace Protection Factor Study Using Four Clemco Industries Type-CE Supplied-Air Respirators. February, 2010 (http://www.clemcoindustries.com/images/pdfs/Clemco_SWPF_Study.pdf)

7 Ondertekening

Zeist, 15 november 2016

M.A.J. Rennen
Research Manager RAPID

J. Schinkel
Auteur

A Testresultaten per systeem, testpersoon en activiteit

(Alle gepresenteerde factoren zijn afgerond op maximaal 1 decimaal en moeten worden vermenigvuldigd met 1000).

Systeem 1

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	49.5	37.9	44.8	51.6	43.2	72.7	79.9	67.5	46.5	57.6
Pakken en dragen	56.6	42.8	46.4	41.5	43.2	58.8	86.4	61.0	44.2	43.9
Lezen	57.8	49.0	45.9	37.6	46.6	64.6	102	67.0	46.5	41.8
Sorteren / oprapen	83.7	61.4	59.9	39.5	54.1	57.8	73.4	74.0	58.8	46.8
Klittenband	69.0	58.3	70.7	59.7	55.0	54.0	72.2	74.9	57.7	50.3
Steiger	66.8	60.2	66.2	73.1	51.9	60.1	62.9	73.1	56.1	46.8
Kruipen	69.9	59.1	68.5	78.9	54.4	51.7	65.2	81.2	61.2	47.9
Schroevendraaien	71.0	56.9	57.6	83.3	55.0	57.3	64.2	82.8	68.6	53.3
Multiplex	65.6	59.2	59.6	86.9	54.7	56.1	65.8	75.3	54.8	48.3
Schoonmaken	68.1	63.5	67.8	87.9	54.6	53.0	65.1	79.5	55.6	49.9
Zitten	86.0	79.6	102	116	75.9	59.3	62.5	77.6	58.7	68.7
Gemiddelde	66.1	55.0	59.5	60.4	52.4	58.2	71.1	73.4	54.5	49.6

Systeem 2

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	179	49.9	213	449	217	74.1	200	213	502	126
Pakken en dragen	108	38.8	154	327	100	68.2	70.1	129	494	36.6
Lezen	36.9	26.6	24.5	46.5	46.1	70.3	57.7	36.6	616	170
Sorteren / oprapen	267	83.9	201	293	116	77.5	114	285	132	200
Klittenband	115	133	238	332	142	71.1	156	345	339	101
Steiger	134	119	172	329	202	72.0	171	212	364	108
Kruipen	99.0	152	164	273	133	68.2	125	180	298	87.8
Schroevendraaien	98.3	145	169	390	170	73.1	214	331	375	130
Multiplex	253	53.6	320	381	290	78.6	295	387	462	47.1
Schoonmaken	245	107	394	435	338	68.0	308	499	533	182
Zitten	620	292	525	400	474	78.5	505	549	585	157
Gemiddelde	120	70.4	127	220	140	72.5	139	167	358	93.6

Systeem 3

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	1.4	3.1	2.0	1.5	1.3	3.0	1.3	8.1	1.7	2.0
Pakken en dragen	2.3	3.7	2.1	1.8	1.4	4.2	1.5	3.1	1.9	2.1
Lezen	3.0	4.0	2.9	2.2	1.6	4.2	1.8	3.4	2.0	2.2
Sorteren / oprapen	5.6	7.6	3.2	2.4	1.7	7.7	2.1	11.2	2.2	2.2
Klittenband	2.8	4.2	2.7	2.5	1.7	5.1	2.1	2.2	1.8	2.1
Steiger	4.5	4.0	2.6	2.4	1.7	4.9	2.0	2.9	2.1	2.2
Kruipen	6.6	5.8	2.8	2.7	1.7	6.1	2.3	7.0	2.2	2.4
Schroevendraaien	4.1	4.6	2.5	2.6	1.7	5.6	2.2	1.5	2.1	2.4
Multiplex	4.3	4.7	2.3	2.5	1.7	5.4	2.1	2.9	2.1	2.2
Schoonmaken	5.2	4.8	2.5	2.7	1.7	3.3	2.0	4.7	2.2	2.4
Zitten	4.8	5.8	2.6	2.5	1.7	2.6	2.1	12.9	2.1	2.3
Gemiddelde	3.3	4.5	2.5	2.3	1.6	4.3	1.9	3.5	2.0	2.2

Systeem 4

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	3.7	1.9	3.4	3.4	4.7	1.7	6.2	5.7	1.6	4.2
Pakken en dragen	2.6	1.5	2.6	2.1	3.6	1.4	5.5	5.5	2.1	3.7
Lezen	2.5	2.0	2.9	2.5	3.1	1.4	5.2	5.1	2.6	3.5
Sorteren / oprapen	4.0	2.0	3.0	2.7	4.3	2.1	6.2	20.0	2.6	4.3
Klittenband	3.7	2.1	2.5	2.2	3.5	1.6	3.9	10.8	2.4	3.5
Steiger	3.2	1.8	2.2	1.8	2.9	1.8	11.6	4.7	2.3	3.7
Kruipen	3.7	1.6	2.4	1.8	2.8	1.7	6.4	7.6	2.7	3.0
Schroevendraaien	2.9	2.2	2.4	2.5	2.9	1.6	6.1	3.7	2.8	3.6
Multiplex	3.1	1.9	2.2	1.8	3.2	1.9	5.0	4.5	2.9	3.7
Schoonmaken	3.8	2.2	2.8	2.0	3.5	2.0	5.5	9.6	3.1	4.1
Zitten	4.3	2.3	3.1	3.2	4.6	2.4	1.8	15.3	3.6	6.1
Gemiddelde	3.3	1.9	2.6	2.3	3.4	1.7	4.8	6.5	2.5	3.8

Systeem 5

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	510	380	523	222	230	190	654	119	202	576
Pakken en dragen	421	220	378	382	444	364	539	176	287	414
Lezen	40.8	233	57.2	5.7	19.8	23.3	52.2	68.0	10.0	37.0
Sorteren / oprapen	558	221	468	719	706	641	715	288	675	494
Klittenband	550	12.3	318	661	677	712	704	339	460	515
Steiger	516	619	97.1	523	536	537	661	577	260	562
Kruipen	423	681	62.2	211	389	125	542	685	304	435
Schroevendraaien	482	490	356	362	623	575	617	755	471	574
Multiplex	433	230	287	603	658	222	554	608	390	570
Schoonmaken	530	553	185	473	647	601	678	527	378	566
Zitten	544	619	93.9	518	304	686	696	152	699	583
Gemiddelde	245	99.7	145	54.9	152	151	314	221	85.9	238

Systeem 6

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	12.5	25.5	36.4	13.8	16.2	28.9	10.0	28.6	24.7	17.2
Pakken en dragen	10.4	20.3	39.7	9.3	17.1	30.1	12.7	25.1	26.2	18.5
Lezen	9.5	16.3	32.4	11.0	17.5	29.0	15.9	25.2	22.8	19.0
Sorteren / oprapen	11.6	23.5	42.6	14.4	17.9	34.8	16.2	27.0	29.2	20.0
Klittenband	19.6	33.4	44.3	18.4	21.7	35.8	19.9	28.4	28.7	22.7
Steiger	23.8	39.1	48.8	17.9	21.4	36.9	19.5	29.0	29.2	22.1
Kruipen	25.7	41.2	46.2	17.9	21.2	26.7	20.2	35.6	30.2	21.8
Schroevendraaien	27.0	40.3	44.3	19.0	20.7	28.7	20.6	34.9	30.5	21.5
Multiplex	25.3	42.6	46.1	18.2	20.7	31.9	24.6	32.6	29.7	20.1
Schoonmaken	26.0	41.9	46.4	18.1	21.2	36.4	20.5	33.4	31.4	22.1
Zitten	32.6	50.3	56.3	22.1	20.5	34.0	20.4	59.1	31.8	33.6
Gemiddelde	17.1	30.2	43.1	15.4	19.5	31.8	17.2	30.9	28.3	21.1

Systeem 7

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	24.4	21.2	16.8	24.6	23.0	18.9	16.6	54.0	20.8	21.0
Pakken en dragen	26.0	20.0	21.8	27.6	27.5	18.5	19.2	78.3	21.9	19.3
Lezen	21.2	20.9	21.0	15.2	30.9	16.6	22.7	49.9	20.5	27.2
Sorteren / oprapen	26.0	24.7	24.0	17.3	31.0	19.6	23.4	84.1	22.4	34.9
Klittenband	23.1	23.0	27.2	18.2	31.0	19.4	42.9	106.0	22.7	30.9
Steiger	24.9	22.6	28.4	19.3	27.6	21.2	50.4	10.2	24.2	32.3
Kruipen	22.8	26.1	32.7	22.6	22.5	24.5	38.7	67.4	24.5	34.0
Schroevendraaien	28.2	23.0	25.7	29.7	28.5	18.8	36.0	55.5	22.7	34.8
Multiplex	26.0	24.5	27.4	17.2	31.6	18.9	39.2	13.6	23.8	34.8
Schoonmaken	17.2	25.0	29.8	36.0	31.0	20.2	32.2	37.6	25.0	33.8
Zitten	18.8	24.5	35.7	36.7	31.3	18.5	29.4	65.0	24.3	42.3
Gemiddelde	23.0	23.1	25.3	22.1	28.3	19.4	28.5	34.5	22.9	29.9

Systeem 8

Activiteit / ID	95	107	108	82	74	78	79	92	51	99
Zitten	36.2	211	156	159	403	421	164	530	21.6	121
Pakken en dragen	109	259	154	151	289	295	209	192	46.8	220
Lezen	25.3	20.9	17.7	24.4	86.0	88.7	243	160	4.4	154
Sorteren / oprapen	120	139	117	198	263	244	137	277	66.9	112
Klittenband	73.3	99.4	79.4	207	167	221	63.7	309	49.7	166
Steiger	173	44.4	75.6	116	87.0	185	205	167	43.3	50.4
Kruipen	23.3	8.7	90.2	45.6	72.1	93.8	216	127	9.9	33.8
Schroevendraaien	361	46.6	63.0	136	76.9	165	239	407	68.2	138
Multiplex	617	67.1	69.4	193	93.3	448	192	483	94.0	42.6
Schoonmaken	645	80.0	72.3	219	101	194	214	298	75.4	53.0
Zitten	385	63.4	131	201	96.1	470	222	231	47.8	114
Gemiddelde	70.7	39.9	66.1	94.5	114	192	167	238	21.5	77.4