



TNO-rapport

PML 2004-A12

TNO Prins Maurits Laboratorium

Lokalisatie Maskergelaatslekkage

Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42
Fax 015 284 39 63

Datum
maart 2004

Auteur(s)
dr. ir. L.F.G. Geers
ing. J. Albers

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for Public Release
Distribution Unlimited

Rubricering

Vastgesteld door : J.F. Engelen
Vastgesteld d.d. : 24 februari 2004
(deze rubricering wijzigt niet)

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

Titel : Ongerubriceerd
Managementuittreksel : Ongerubriceerd
Samenvatting : Ongerubriceerd
Rapporttekst : Ongerubriceerd

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor Onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Exemplaar nr. : 13
Oplage : 23
Aantal pagina's : 24 (excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen : -

© 2004 TNO

AQ F06-11-9009

Lokalisatie maskerge- laatslekkage

Probleemstelling

De optimalisering van de gasmaskerpassing op het gelaat is een punt dat steeds noodzakelijk blijft om de militair zo goed mogelijk te beschermen. De aansluiting van het gasmasker op het gelaat is een zwak punt, zeker met het oog op bescherming tegen bio-agentia. Het is momenteel mogelijk een totaalbeeld te verkrijgen van lekkage (zie project PF te Velde, A-opdracht A96/KL/517). Echter, de doelstelling van dit project is het vinden van een methode voor het bepalen van de positie van lekken in een gelaatsmasker om zo probleemgebieden te kunnen identificeren. Het is een additioneel gefinancierd project naar een opdracht van het LBBKL/KPU-bedrijf.

Beschrijving van de werkzaamheden

Er is een inventarisatie gemaakt van mogelijke methoden om lekken tussen het gelaat en een gasmasker te lokaliseren. Voor iedere methode is uitgewerkt wat de voor- en nadelen zijn en wordt kort besproken wat de toepasbaarheid is. De methoden in dit rapport zijn onderbouwd met de resultaten van experimenten om de bruikbaarheid en de betrouwbaarheid van de methoden vast te stellen.

Resultaten en conclusies

Er werd een viertal methoden getest.

- Het meten van geluid dat door lekken in het masker binnenkomt.
- Het zichtbaar maken van nevel die zich bij lekken op het gezicht afzet.
- Het meten van licht dat door lekken het masker inkomt.
- Het lokaal meten van gas dat door lekken binnenkomt.



Het is gebleken dat de eerste drie methoden niet toepasbaar zijn doordat de ingewikkelde vorm en de materiaaleigenschappen van het masker de meting onmogelijk maakten. Daarnaast is er een mogelijk gezondheidsrisico voor de proefpersoon bij het gebruik van UV-licht voor het zichtbaar maken van neergeslagen nevel bij de tweede methode.

Bij de laatste methode werd gebruik gemaakt van adsorberende materie waardoor het gas werd opgenomen, de zogenaamde *samplers*. De *samplers* werden langs de binnenrand van het masker geplaatst. Er was een kunstmatig lek aangebracht boven het linkeroogglas. Het is duidelijk dat ook *samplers* die zich niet in de buurt van het lek bevonden een hoge concentratie aangaven. Dit was te wijten aan stroming binnen het masker, die zorgde voor de verspreiding van het gas naar andere *samplers*. Hierdoor is de methode in deze vorm niet toepasbaar om lekken te lokaliseren.

Als in de laatstgenoemde methode echter elektronische sensoren worden gebruikt om gas te detecteren op specifieke posities achter het masker, dan kan op ieder tijdstip de concentratie gas gemeten worden. Het

TNO-rapportnummer

PML 2004-A12

Opdrachtnummer

A01KL441

Datum

maart 2004

Auteurs

dr. ir. L.F.G. Geers

ing. J. Albers

Rubricering rapport

Ongerubriceerd

voordeel hiervan is dat direct duidelijk is wat de concentratie is op mogelijke lekposities op ieder moment van de ademcyclus. Zodoende kunnen lekken duidelijker gelokaliseerd worden. Deze methode heeft echter wel als nadelen dat ze erg duur is en dat de kabels van de sensoren door het masker heen naar buiten moeten worden gevoerd, wat de

mogelijkheid op lekken geeft.

Toepasbaarheid

De methode van lokalisatie van gelaatslekkanalen kan worden toegepast bij een volgelaatsmasker, het NBC-kapje en het bio-kapje.

PROGRAMMA

Programmabegeleider

n.v.t.

Programmaleider

n.v.t.

Programmatitel

n.v.t.

Programmanummer

n.v.t.

Programmaplanning

n.v.t.

n.v.t.

Frequentie van overleg

Met de projectbegeleider werd zesmaal gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.

PROJECT

Projectbegeleider

ir. J.F. Engelen, NATCO/LBBKL/KPU-bedrijf

Projectleider

dr. ir. L.F.G. Geers, Divisie Chemische & Biologische Bescherming, Researchgroep Fysieke Bescherming

Projecttitel

Lokalisatie maskergelaatslekkage
fase 2

Projectnummer

014.12715

Projectplanning

Start: januari 2000

Gereed: februari 2004

Projectteam

dr. ir. O. Kievit, Divisie Chemische & Biologische Bescherming, Researchgroep Detectie, Identificatie & Analytische Chemie

dr. ing. J. Albers en dr. ir. L.F.G. Geers
Divisie Chemische & Biologische Bescherming, Researchgroep Fysieke Bescherming

TNO Prins Maurits Laboratorium

is onderdeel van TNO Defensieonderzoek, waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium
TNO Technische Menskunde

Lange Kleiweg 137
2288 GJ Rijswijk
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl
www.pml.tno.nl

T 015 284 28 42
F 015 284 39 91
E info@pml.tno.nl

Samenvatting

In de literatuur over lekmetingen aan gasmaskers ligt de nadruk op het meten van een totaallek, maar niet op de positiebepaling van deze lekken. Het doel van dit project is het ter beschikking krijgen van een methode om de locatie van de lekkege tussen het gelaat en het masker te bepalen. Hiertoe is er een inventarisatie gedaan van mogelijke methoden voor de positiebepaling van lekken, waar mogelijk met ondersteuning van experimentele gegevens. Het betrof de volgende methoden:

- het meten van geluid dat door lekken het masker inkomt;
- het meten van licht dat door lekken het masker inkomt;
- het zichtbaar maken van aërosoldepositie op de huid in de buurt van lekken;
- het lokaal meten van gas dat door lekken naar binnenlekt met behulp van samplers.

Geen van de drie eerste methoden geeft echter een bevredigend resultaat. Redenen hiervoor zijn de complexe vorm van het masker en de ruimte tussen het masker en het gezicht, de eigenschappen van het maskermateriaal en mogelijke gezondheidsrisico's voor de proefpersonen. De laatste methode is niet toepasbaar omdat gebruik wordt gemaakt van samplers. Door stroming en diffusie in het masker wordt het te meten gas ook langs samplers gevoerd die niet in de buurt van lekken zitten.

Het gebruik van (elektronische) sensoren in plaats van samplers in de bovengenoemde methode biedt de mogelijkheid real-time metingen te verrichten. Hierdoor is met meer zekerheid te zeggen waar de lekken in een masker zich bevinden. Dit stuit echter op praktische problemen vanwege de uitvoer van de kabels van de sensoren door de maskerwand. Ondanks deze problemen en de hoge kosten van deze sensoren verdient het de aanbeveling ze te testen op hun bruikbaarheid in een volgend onderzoek naar de locatie van lekken in een masker.

Inhoud

Managementuittreksel	2
Samenvatting.....	4
1 Doelstelling en motivering	6
2 Meetmethoden	7
2.1 Ultrasoon geluid	7
2.2 Fluorescente aerosolen	7
2.3 Licht	11
2.4 Gas	11
3 Experimenten.....	15
3.1 Voorbereiding	15
3.2 Lekmetingen met proefkop en FM12 masker	15
4 Resultaten	19
5 Conclusies en aanbevelingen	22
6 Literatuur	23
7 Ondertekening	24

1 Doelstelling en motivering

De optimalisering van de gasmaskerpassing op het gelaat is een punt dat steeds noodzakelijk blijft om de militair zo goed mogelijk te beschermen. De aansluiting van het gasmasker op het gelaat is een zwak punt, zeker met het oog op bescherming tegen bio-agentia. Het is momenteel mogelijk een totaalbeeld te verkrijgen van lekkage (zie project *PF te Velde*, A-opdracht A96/KL/517). Echter, in dit project zal de nadruk liggen op het vinden van een methode voor het bepalen van de positie van lekken in een gelaatsmasker om zo probleemgebieden te kunnen identificeren. In een latere fase kan dan onderzocht worden wat de correlatie is tussen de positie van de lekkage en bepaalde gezichtsparameters (bijvoorbeeld baardgroei, afwijkende gelaatskenmerken) om de bescherming tegen gelaatslekke te verhogen.

In de literatuur over maskergelaatslekke wordt veelal gesproken over methoden om het totaal lek te meten van een masker, niet gespecificeerd naar de positie van de lekken in het masker. Zie bijvoorbeeld Han *et al.* (1997), die een kwantitatieve methode ontwikkeld hebben om gelaatslekke te meten met behulp van aërosolen. Het enige nadeel van deze methode is dat stromingspatronen kunnen optreden in het masker die de aërosoldeeltjes uit een lek meevoeren, waardoor deze deeltjes niet langs de detector stromen en dus niet gedetecteerd worden (streamlining). Een experiment waar een gas gebruikt wordt voor lekdetectie heeft hier minder last van, omdat een gas sterker diffundeert dan deeltjes, waardoor het effect van streamlining kleiner is.

Crutchfield en Park (1997) gebruikten een soortgelijke meetmethode, maar zij brachten lekken van bekende grootte aan op bekende posities om te zien wat het effect was van deze lekken op de totale protectiefactor. Als echter onbekend is waar de lekken zich bevinden en hoe groot ze zijn, kan dit niet worden nagegaan met deze methode.

De doelstelling van dit project is het ter beschikking krijgen van een methode om de locatie(s) van de lekkage tussen het gelaat en het masker te bepalen. Daartoe zal eerst een overzicht worden gegeven van de mogelijke methoden en hun toepasbaarheid, waar mogelijk met ondersteuning van experimentele data. Daarna worden aanbevelingen gedaan voor mogelijke toekomstige projecten met betrekking tot leklokalisatie.

2 Meetmethoden

Er zijn in dit project verschillende methoden getest voor het lokaliseren van lekken in een gasmasker. In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van alle methoden. Paragraaf 2.1 is een samenvatting van het stage rapport van P. Luja (1998) die met behulp van ultrasoon geluid heeft geprobeerd de lekken in een masker in kaart te brengen. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 ingegaan op de experimenten van dr. ir. O. Kievit (2002) binnen dit project, waarin gebruik gemaakt werd van fluorescente aërosolen. Paragraaf 2.3 behandelt kort een methode waarbij licht gebruikt wordt, en tenslotte wordt de gaslekmeting beschreven in paragraaf 2.4, waarvan de experimenten en hun resultaten uitgebreid worden behandeld in de volgende hoofdstukken.

2.1 Ultrasoon geluid

P. Luja (1998) beschrijft de toepassing van een ultrasone geluidsmeting bij de detectie van lekken in een gasmasker. Het is een snelle en eenvoudige methode die gemakkelijk toe te passen is op mannequins en proefpersonen. Op een vaste positie in het masker (tussen de oogglazen) werd een ultrasoon sensor aangebracht die de geluidsterkte registreerde van een bron die langs de rand van het masker bewogen wordt. Als er sprake is van een lek, dan zal de waargenomen geluidsterkte toenemen ten opzichte van de situatie zonder lek.

Conclusies

Deze methode is niet geschikt voor het lokaliseren van lekken om de volgende redenen.

- Het materiaal van het masker kan lokaal gaan resoneren (of in ieder geval meebewegen) waardoor de waargenomen geluidsterkte toeneemt. Dit heeft als gevolg dat resonantie van het masker onterecht als lek wordt aangemerkt.
- Elk type masker geleidt op een andere manier geluidstrillingen, dus de meetmethode is niet type onafhankelijk.
- Door interferentiepatronen die in het masker kunnen optreden, kan op de plaats van de sensor de intensiteit lager (golven die elkaar uitdempen) of juist hoger (golven die elkaar versterken) zijn dan in werkelijkheid het geval is.

De waargenomen geluidsintensiteit is afhankelijk van de lengte van de weg die het geluid aflegt van bron naar sensor (afname kwadratisch met afstand). Door de complexe vorm van het menselijk gelaat en het masker is deze weglengte moeilijk te bepalen.

2.2 Fluorescente aërosolen

Uitgaande van een publicatie door Oostenstad *et al.* (1990) werd een test opgezet door Kievit (2002) om de belangrijkste lekkageplaatsen te lokaliseren met behulp

van fluorescerende aerosolen. Als fluorescente stof werd onder andere 7-amino-4-methylcoumarin voorgesteld, maar het bleek niet mogelijk om hiervan een niet-giftig aerosol te genereren. Daarom is overgestapt op een waterige oplossing van natriumfluoresceïne (200 mg/l).

Vervolgens is er een drietal lampen getest:

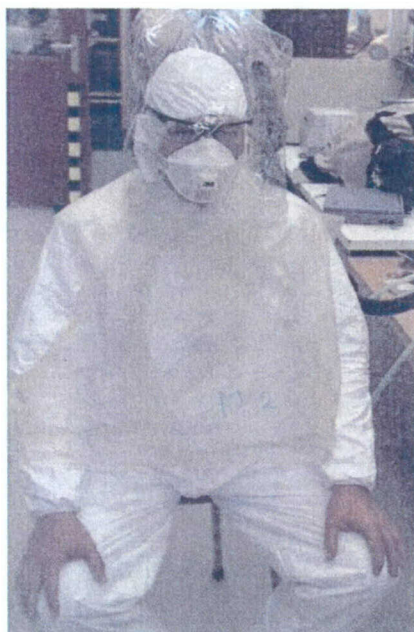
- spectroline (golflengtebereik 254 - 365 nm);
- tricktrack (bereik onbekend);
- technische unie PH-fluorlamp (golflengte 254 nm).

De test bestond uit het aanbrengen van fluorescente stof op een vinger, om dit vervolgens in een verduisterde kamer met elk van de lampen te belichten. Hierbij werden foto's genomen met een digitale camera van Nikon (Colpix99). Figuur 1 toont een voorbeeld van zo'n foto. Uit de testen bleek dat de Technische Unie lamp de beste resultaten geeft.



Figuur 1: Hand met fluorescente stof onder UV-belichting.

De eerste testen zijn uitgevoerd met een simpel mondkapje, aangezien daarmee de meeste lekkage verwacht werd. De testpersoon deed het kapje op, waarna er een ruime plastic zak over het hele hoofd geplaatst werd (zie figuur 2). Ter bescherming droeg de testpersoon een veiligheidsbril en een overall. De natriumfluoresceïne-oplossing werd met behulp van een vernevelaar versproeid en gemengd met een overmaat lucht in de zak geblazen.



Figuur 2: Testpersoon voorzien van kapje en plastic zak met fluoresceïne aerosol.

De proefpersoon werd na een blootstelling van 10 minuten in de verduisterde kamer gezet, waarna er onder UV-belichting foto's werden gemaakt. Om oogschade te voorkomen droeg de testpersoon tijdens de belichting een ondoorzichtige bril. Bij de experimenten zijn een aantal parameters gevarieerd:

- soort kapje;
- blootstellingstijd;
- toevallige en aangebrachte lekkage;
- camera instellingen.

Resultaten

De duidelijkste resultaten zijn gepresenteerd in figuur 3 en figuur 4. In figuur 3 zijn foto's weergegeven van proefpersoon 1, een roker, voor en na blootstelling aan de aerosol. Figuur 4 presenteert foto's van proefpersoon 2, een niet-roker, voor en na blootstelling. In figuur 3 is duidelijk te zien dat de lippen en plekken onder de neusgaten oplichten, zowel voor als na blootstelling aan de aerosol. Daarnaast is het contrast met de achtergrond, in dit geval de huid van de proefpersoon niet optimaal, daar de huid ook enigszins oplicht. Dit verschijnsel is vooral duidelijk in figuur 4. Uit deze foto's blijkt dat het lastig is eenduidig lekkage aan te tonen met de gevolgde methode.



Figuur 3: UV-belichting van proefpersoon 1 voor en na blootstelling aan de aërosol.



Figuur 4: UV-belichting van proefpersoon 2 voor en na blootstelling aan de aërosol.

Conclusies

Deze methode is niet geschikt voor het lokaliseren van lekken om de volgende redenen.

- Blootstelling aan het licht van een UV-lamp is schadelijk voor huid en ogen. Het is niet toelaatbaar proefpersonen meerdere malen bloot te stellen aan dit licht.
- Waarschijnlijk beïnvloedt roken de meting. Bij de rokende proefpersoon werd fluorescentie waargenomen bij de lippen en onder de neus, zowel voor als na blootstelling aan de fluorescente aërosol.
- Het contrastverschil tussen wel en niet aan fluorescente aërosol blootgestelde plekken is te laag om duidelijke verschillen aan te tonen. Naast een te lage concentratie fluoresceïne op de huid is het mogelijk dat de effectiviteit van fluores-

ceïne afneemt door interactie met stoffen die natuurlijk op de huid aanwezig zijn.

- Kwantificering van de lekken is niet mogelijk, omdat de fluorescentie lichtopbrengst afhangt van de gebruikte deeltjesgrootte en de hoeveelheid neergeslagen deeltjes. Daarnaast is de deeltjesgrootteverdeling bepalend voor de hoeveelheid neergeslagen deeltjes rond een lek, want kleinere deeltjes dringen makkelijker door lekken heen, grote deeltjes slaan eerder neer.

Het is niet zeker dat bij alle lekken ook neerslag plaatsvindt.

2.3 Licht

Met behulp van licht kan gekeken worden of er ruimte bestaat tussen het masker en het gelaat door de hoeveelheid leklicht te meten. Deze methode is echter nauwelijks bruikbaar vanwege het feit dat licht zich niet laat afbuigen. In een complexe geometrie als die van een gelaatsmasker kunnen allerlei bochten en hoeken ervoor zorgen dat het licht van de bron niet bij de sensor aankomt (zie ook Oostenstad, 1990). Daarnaast kunnen de flappen aan de binnenrand van het masker voor belemmeringen zorgen.

2.4 Gas

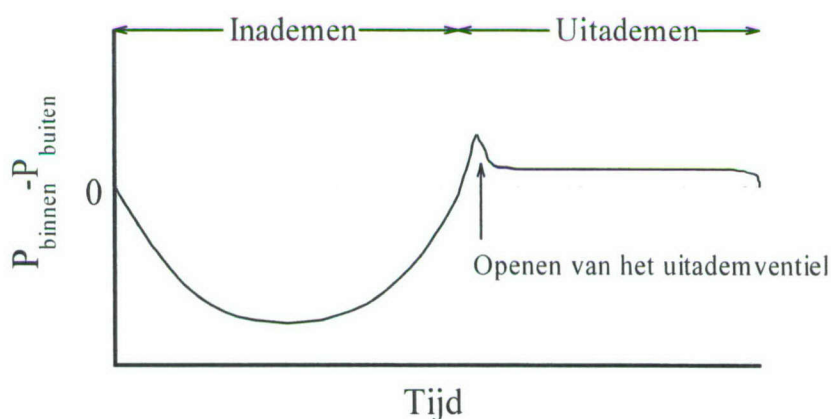
Met behulp van gasdetectie kunnen lekken ook in kaart worden gebracht. In deze paragraaf zal een aantal mogelijkheden voor dit type metingen worden beschreven. In paragraaf 2.4.1 wordt een tweetal configuraties van het meetsysteem behandeld. Vervolgens heeft men de keuze tussen sensoren of samplers. Deze keuze wordt onderbouwd in paragraaf 2.4.2. Tenslotte wordt het gebruikte testgas besproken in paragraaf 2.4.3. De beschrijving van de experimenten worden in het volgende hoofdstuk behandeld.

2.4.1 Configuratie meetsysteem

Er zijn in principe twee verschillende configuraties voor het detecteren van lekken in een masker.

- 1 Breng een gasbron aan buiten het masker en meet de concentratie binnen het masker. Door een homogene concentratie gas aan te brengen in de omgeving van de proefpersoon en aan de binnenrand van het masker de concentratie lokaal te meten kunnen lekken gelokaliseerd worden. Lekken worden op deze manier tijdens de inademfase gemeten, want het masker is dan op onderdruk ten opzichte van de omgeving en gassen lekken naar binnen.
- 2 Meet de concentratie van een gas dat de proefpersoon uitademt buiten het masker. Door lokaal langs de buitenrand van het masker de concentratie te meten kunnen lekken gelokaliseerd worden. Op deze manier worden lekken gemeten in de uitademfase, want dan is het masker op overdruk ten opzichte van de omgeving en lekken gassen naar buiten toe.

De methoden zullen niet hetzelfde resultaat geven; ten eerste omdat het drukverschil over het masker in de uitademfase veel kleiner is dan in de inademfase. Dit wordt veroorzaakt door het openen van het uitademventiel bij uitademing. Het grootste deel van de uitgeademde lucht zal dus door het uitademventiel naar buiten worden getransporteerd en een heel klein gedeelte zal door lekken verdwijnen. Bij inademing worden daardoor grotere lekken gemeten dan bij uitademing. Een en ander wordt toegelicht in figuur 5, waar een schets gegeven is van het verschil tussen de druk buiten en de druk binnen het masker als functie van de tijd, voor één ademcyclus.



Figuur 5: Verloop van het verschil in druk binnen en buiten het masker als functie van de tijd, voor één ademcyclus.

Ten tweede zullen de gemeten lekken bij in- en uitademing van elkaar verschillen omdat het masker niet wordt vastgezogen tegen het gelaat bij uitademing, waardoor de vorm en de grootte van lekken anders kunnen zijn.

Keuze

Op basis van deze argumenten is geconcludeerd dat lekmetingen plaats moeten vinden tijdens de inademfase, wat inhoudt dat sensoren dienen te worden aangebracht aan de binnenkant van het masker en dat de concentratie gemeten wordt van een gas dat zich buiten het masker bevindt.

2.4.2 Sensor of sampler?

De sensoren of samplers voor het nemen van gassamples aan de rand langs de binnenkant van een masker moeten klein genoeg zijn om de plaatsing van het masker op het gezicht niet te hinderen. Tevens moeten ze zodanig bevestigd worden dat het masker niet hoeft te worden afgenomen tussen twee metingen om ze te verplaatsen.

Er zijn grofweg twee soorten methoden beschikbaar voor de meting van de blootstelling aan bepaalde gassen. **De eerste methode** maakt gebruik van (elektronische) sensoren die on-line de gasconcentratie kunnen meten. Er zijn verschillende typen sensoren verkrijgbaar, zoals elektrochemische (zoals XS en PacSensoren van Dräger), chromatografische/spectrometrische, massa- (bijvoorbeeld de SAWRhino

van NRL) en optische sensoren (bijvoorbeeld met IR-spectrometrie). Op het gebied van de chromatografische/spectrometrische sensoren is er een interessante ontwikkeling: het Micro-Chem-Lab (μ ChemLab) on a chip van Sandia National Laboratories. Dit is een miniatuur laboratorium ter grootte van een stuiver voor de detectie van verschillende organische moleculen.

De voordelen van deze sensoren:

- het meetsignaal is *real-time*, oftewel, op ieder tijdstip gedurende een meetsessie is bekend wat de concentratie is van het gas op de positie van de sensor;
- vele agentia kunnen worden gedetecteerd met gevoeligheden tot op ppb-niveau;
- de reproduceerbaarheid van meetresultaten van de meeste sensoren is erg goed;
- de meeste apparaten worden met de computer aangestuurd en uitgelezen. Dit bespaart veel werk bij de verwerking van de meetresultaten;
- een groot deel van de sensoren is erg klein, wat ze uitermate geschikt maakt voor de toepassing onder een gasmasker.

Nadelen zijn echter:

- alle sensoren en bijbehorende meetsystemen zijn erg kostbaar;
- er moeten meerdere sensoren aangebracht worden, zodat het masker niet verwijderd hoeft te worden voor de verplaatsing van een sensor. Dit zorgt voor een redelijk grote kabelboom die uit het masker naar de analyse apparatuur moet, met als gevolg een potentieel lekprobleem bij het gat waardoor de kabel gevoerd wordt.

Bij **de tweede methode** worden samplers gebruikt. Dit zijn plakkers of pleisters met een adsorbens (bijvoorbeeld kool of tenax) erop. De pleisters kunnen bij een proefpersoon op de huid of aan de binnenrand van het masker worden aangebracht. Voor de bepaling van de dosis van de organische stof waaraan de proefpersoon is blootgesteld, wordt ook een pleister aangebracht op het masker aan de buitenkant. Vervolgens wordt de proefpersoon blootgesteld aan lucht waarin een lage concentratie van het te meten gas is aangebracht. Na een bepaalde tijd wordt het masker afgenomen en worden de pleisters verwijderd. Het adsorbens wordt vervolgens geanalyseerd met een gaschromatograaf om te achterhalen aan welke dosis de pleisters waren blootgesteld. De hoogste doses worden gemeten bij de pleisters die zich het dichtst in de buurt van lekken bevinden.

De voordelen van samplers:

- de methode is zeer goedkoop;
- het masker kan volledig gesloten blijven, want er is geen kabeldoorvoergat nodig. De analyse vindt achteraf plaats;
- de samplers zijn zeer plat, wat ze uitermate geschikt maakt voor de toepassing onder een gasmasker. Met tape kunnen ze bevestigd worden tegen de binnenkant van het masker.

Nadelen zijn:

- geen real-time data. Het resultaat is een waarde voor het totale lek op een bepaalde positie gedurende het hele experiment;
- de analyse is bewerkelijk. De samplers moeten één voor één geanalyseerd worden. Weliswaar kan de analyse van meerdere monsters worden geautomatiseerd, maar de monstervoorbereiding kan veel tijd vergen.

Keuze

Gezien de hoge kosten en de constructieproblemen die elektronische sensoren geven, is gekozen voor de sampler-methode. Daarnaast is het op dit moment niet nodig over real-time data te beschikken, het is voldoende om een integraalbeeld te krijgen van leklocaties in een masker. In een later stadium kan in een ander project, indien gewenst, de tijdsafhankelijkheid van lekgroottes onderzocht worden met sensoren langs de maskerrand.

De sampler die gebruikt wordt is *activated carbon-cloth*, een geweven stof van koolstofvezel. Binnen het laboratorium waren twee geschikte typen van dit materiaal voorhanden: een wijdmazig type cloth met een hoge adsorptie capaciteit (genoemd *type 1*) en een fijngeveven rekbaar type cloth met een lagere adsorptie capaciteit, maar een grotere stevigheid (*type 2*). Type 1 cloth was een zeer teer cloth dat bij de minste of geringste aanraking uiteenviel, wat experimenten onnodig compliceerde. Daarom werd gekozen voor type 2.

2.4.3 Testchemicaliën

Het blijkt niet eenvoudig een gas te vinden dat gebruikt kan worden als test-agens voor lekdetectie *in vivo*. Veel gassen die goed aan kool adsorberen en gemakkelijk te detecteren zijn, zijn explosie- of brandgevaarlijk (bijvoorbeeld aardgas, zwavelwaterstof), milieuonvriendelijk (bijvoorbeeld CFK's) of schadelijk voor de gezondheid (bijvoorbeeld chloor, zwaveldioxide, blauwzuur).

Keuze

Uiteindelijk is gekozen voor iso-amylacetaat (iAA), een natuurlijke ester met de geur van bananen. Deze stof wordt momenteel gebruikt in het veld om na te gaan of mensen hun gasmasker goed hebben opgezet: ruikt de proefpersoon de geurstof, dan is het masker lek of staat het niet goed op het gezicht. De MAC-waarde van iAA is 100 ppm (530 mg/m³). Er moet zorg voor worden gedragen dat deze waarde niet overschreden wordt. iAA adsorbeert goed op actieve kool en is goed te detecteren met een Flame Ionization Detector (FID), een veelgebruikt en gevoelig type detector.

3 Experimenten

In dit hoofdstuk worden de experimenten beschreven voor het lokaliseren van lekken met behulp van de boven beschreven samplermethode met iAA als testgas. In paragraaf 3.1 wordt de voorbehandeling van het carboncloth en het maken van de samplers beschreven. Vervolgens geeft paragraaf 3.2 een beschrijving van de gebruikte opstelling en de experimenten. De resultaten worden besproken in het volgende hoofdstuk.

3.1 Voorbereiding

Voordat begonnen kan worden aan de gelaatslekkage metingen, moet eerst het samplermateriaal uitgestookt worden om alle mogelijk geadsorbeerde chemische componenten van de kool te verwijderen. Het cloth werd uitgestookt bij 250 °C onder voortdurende stikstofstroom gedurende 24 uur. Na controle met een Automatic Thermal Desorber¹ (ATD) bleek dat het cloth schoon genoeg was om het te gebruiken voor de lekmetingen.

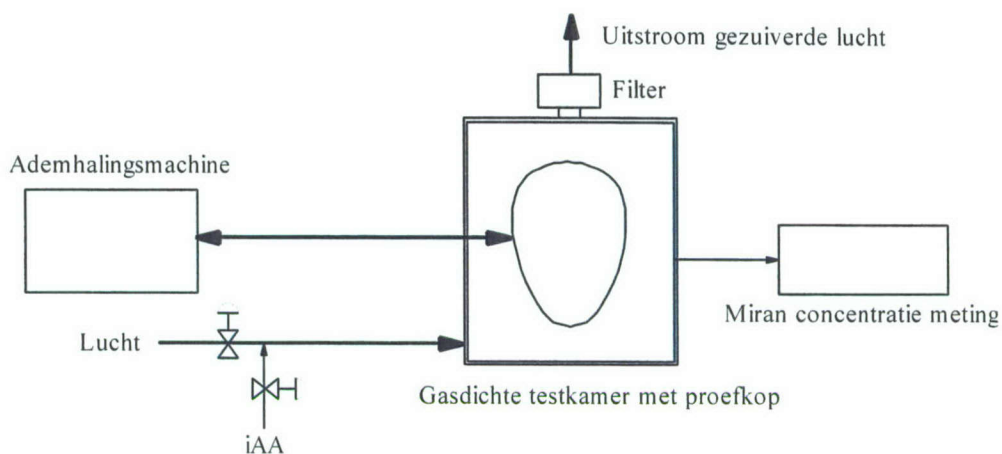
Vervolgens werd het cloth in kleine stukjes geknipt van 10x15 mm², welke met behulp van tape konden worden bevestigd op de maskerbinnenrand. De grootte van de samplers was proefondervindelijk vastgesteld na een reeks eerdere experimenten.

3.2 Lekmetingen met proefkop en FM12-masker

Meetopstelling

Om te kunnen testen of de voorgestelde meetmethode voldoet om lekken in een masker te lokaliseren, werd eerst een tweetal experimenten uitgevoerd met een proefkop voorzien van een FM12-masker met AMF12-filterbus. Hiervoor werd een opstelling gebouwd volgens het schema van figuur 6. De proefkop werd in een afgesloten kast geplaatst en aangesloten op een ademhalingsmachine. De kast werd doorstroomd met lucht met een constante, gecontroleerde concentratie iAA en een constant debiet. De uitstroom van de kast werd gezuiverd met een koolfilter in de omgeving geloosd. De concentratie in de kast werd gemonitord met behulp van een Miran.

¹ Dit apparaat desorbeert bij hoge temperatuur de chemicaliën van het sample, waarna een gaschromatograaf met een FID de componenten van elkaar scheidt en detecteert.



Figuur 6: De proefopstelling voor een maskerlekttest met behulp van iAA en samplers.

Op het masker op de proefkop werden 9 samplers langs de binnenrand geplakt met Coroplast PVC-tape. De samplers waren $10 \times 15 \text{ mm}^2$ groot, waarvan $12 \times 10 \text{ mm}^2$ blootgesteld werd aan de lucht in het masker. De rest van het oppervlak was bedekt door de tape. In figuur 7 en figuur 8 is te zien hoe de samplers bevestigd waren aan de maskerrand. Daarnaast werd 1 sampler bevestigd aan de buitenkant op de filterbus, naast de luchtinlaat voor de bepaling van de totale blootstelling.

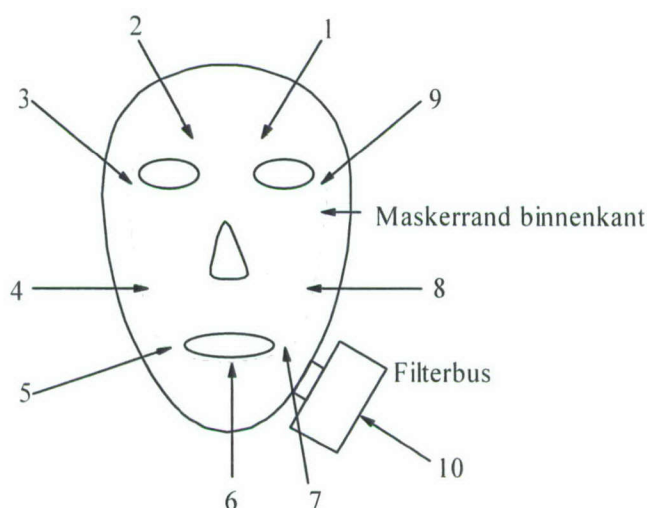


Figuur 7: Het masker met een uitvergroting van een sampler.



Figuur 8: Bevestiging van de sampler aan de rand van het masker.

De posities van de samplers zijn weergegeven in figuur 9. Er is voor gezorgd dat de afstand tussen naburige samplers ongeveer gelijk was voor de hele maskerrand.



Figuur 9: Posities van de samplers in het masker (vooraanzicht).

Meting

Er werden twee metingen gedaan waarbij een kunstmatig lek van bekende grootte werd aangelegd. Bij één werd een strip van 10 mm breed en 0,7 mm dik tussen de maskerrand en de proefkop aangebracht. Dit is een relatief groot lek. Vervolgens werd bij de tweede proef een kleiner lek aangelegd met een strip van 10 mm breed en 0,2 mm dik. In beide gevallen werd de strip aangebracht bij samplepunt 1.

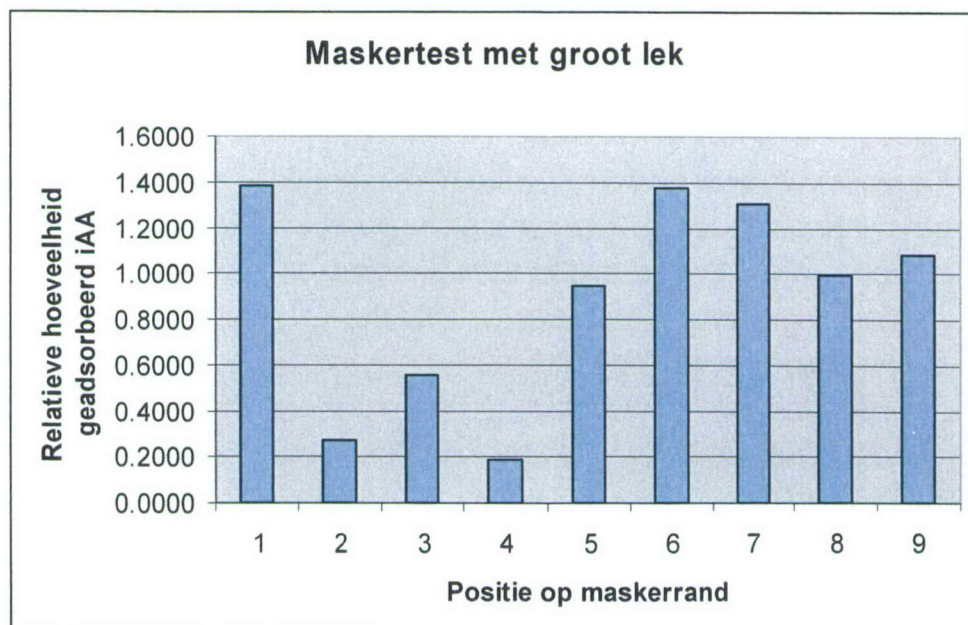
In beide experimenten werd de opstelling aangestroomd met een debiet van 50 l/min lucht met een concentratie iAA van ongeveer 200 mg/m³. Nadat de kop in de testkamer geplaatst was, werd 10 min gewacht om de concentratie iAA constant te krijgen in de ruimte. Daarna werd gedurende 10 min de ademhalingsmachine aangeschakeld om de ademhaling te simuleren. De ademhalingsmachine maakte 20 slagen per minuut met een slagvolume van 1,5 liter.

Na de meting werd met behulp van een pincet de tape van de samplers verwijderd en vervolgens werden de samplers stuk voor stuk in afgesloten proefbuisjes gedaan voor analyse met de ATD.

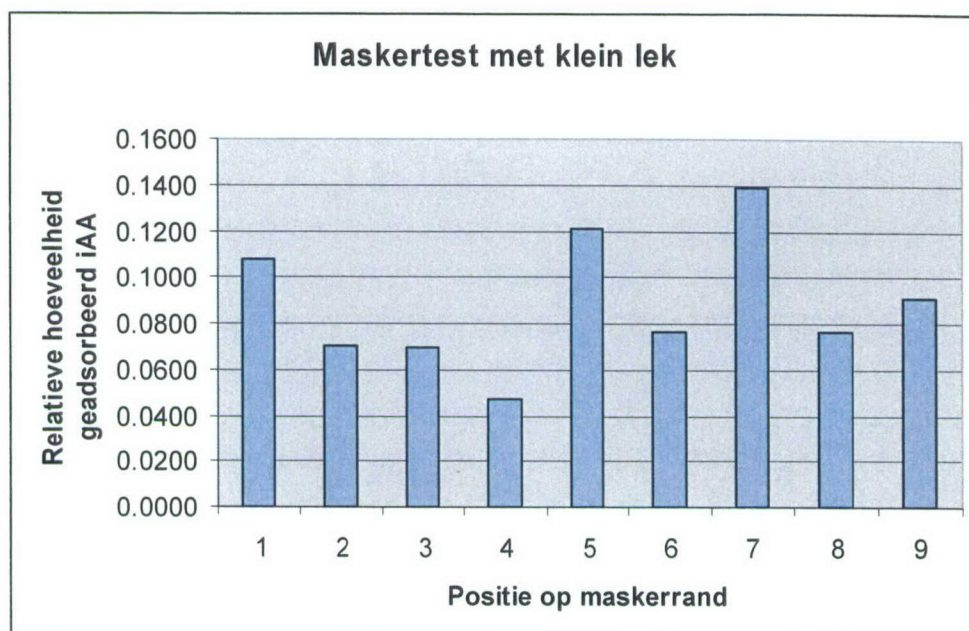
4 Resultaten

Figuur 10 toont een staafdiagram van de resultaten van de maskertest met het grote lek (strip van 0,7 mm dik) en figuur 11 van de resultaten voor het kleine lek (strip van 0,2 mm dik). Op de horizontale as staat de positie van de samplers langs de maskerrand en op de verticale as de verhouding van de geadsorbeerde hoeveelheid iAA op de samplers langs de maskerrand en de geadsorbeerde hoeveelheid iAA op de sampler die aan de buitenkant van de filterbus bevestigd was. Zodoende zijn de resultaten genormeerd op de aangeboden concentratie iAA in de kast.

Allereerst valt op dat de resultaten op posities 1, 6, 7 en 9 in figuur 10 boven 1 uitkomen. Intuïtief lijkt dit niet mogelijk, omdat de sampler aan de buitenkant zich constant in een hoge concentratie iAA bevindt, terwijl de andere samplers achter het masker zitten en zodoende minder blootgesteld zijn aan iAA. Echter, de blootstelling van een sampler aan een te adsorberen component – en daarmee de geadsorbeerde hoeveelheid van die component – hangt niet alleen af van de concentratie, maar ook van het debiet waarmee de sampler wordt aangestroomd. In het geval van een lek kan het debiet langs de sampler in de buurt van het lek zeer hoog worden, met als gevolg dat er veel iAA geadsorbeerd wordt. Bij een kleiner lek is ook het debiet kleiner, waardoor de geadsorbeerde hoeveelheid lager komt te liggen, zoals te zien is in figuur 11.



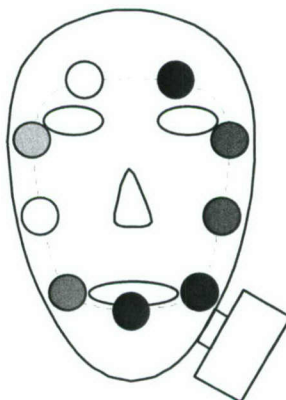
Figuur 10: Resultaten van de maskertest met een groot lek.



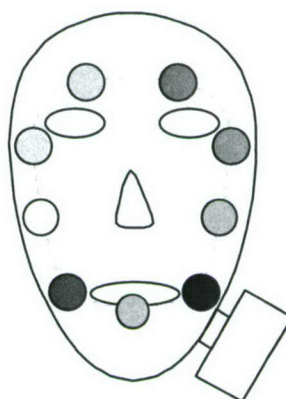
Figuur 11: Resultaten van de maskertest met een klein lek.

De sampler op positie 1 behoort de hoogste hoeveelheid iAA geadsorbeerd te hebben, gezien het feit dat zich op die positie het lek bevindt. Echter op andere posities is de geadsorbeerde hoeveelheid vergelijkbaar met die op positie 1 of zelfs hoger. Dit is zeker het geval voor de samplers op en rond de neuskap in het masker. Samplers 5 en 7 bevinden zich onder de rand van de neuskap en sampler 6 is in de neuskap voor de ademopening van de proefkop geplaatst. Aangezien iAA niet wordt afgevangen in de proefkop, bevindt zich zowel in de in- als in de uitademstroom iAA. Dat verklaart de relatief hoge uitslag voor sampler 6. De hoge uitslag van samplers 5 en 7 is waarschijnlijk te wijten aan een klein lek tussen de neuskap en de rest van het masker in de buurt van samplers 5 en 7, waardoor lucht besmet met iAA kan stromen tijdens de inadempfase en mogelijk ook tijdens de uitademfase.

In figuur 12 en figuur 13 zijn de meetresultaten van beide experimenten op een kwalitatieve manier weergegeven om trends langs de maskerrand wat duidelijker zichtbaar te maken. Elke cirkel representeert één sampler en de vulkleur geeft de relatieve hoeveelheid geadsorbeerd iAA weer. Zwart staat voor de hoogste waarde, wit voor de laagste en de grijswaarden voor alle tussenliggende niveaus. Vooral voor de kleine lekttest is bovengenoemd verschijnsel duidelijk zichtbaar: de samplers naast de mond geven een hoge uitslag. Daarnaast valt op dat vooral de samplers aan de linkerkant van het masker (in de plaatjes rechts) een hogere uitslag geven dan de samplers aan de rechterkant. Waarschijnlijk is dit te wijten aan het stromingspatroon in het masker, dat er voor zorgt dat besmette lucht vanuit het lek langs meer dan één sampler stroomt. Hierdoor is het niet mogelijk een eenduidige uitspraak te doen over de positie van een lek in een gasmaskerrand.



Figuur 12: Resultaten voor een groot lek op de sampler posities in een vooraanzicht van het masker.



Figuur 13: Resultaten voor een klein lek op de sampler posities in een vooraanzicht van het masker.

5 Conclusies en aanbevelingen

Er werd een aantal mogelijke tests besproken voor de lokalisatie van lekken in een gelaatsmasker teneinde probleemgebieden te kunnen identificeren. Er is een groot aantal factoren dat het lokaliseren van lekken compliceert, zeker als het om metingen gaat bij mensen.

Uit de ultrasoon metingen van Luja (1998) bleek dat er resonantie optrad van het maskermateriaal, wat voor interferentie zorgde met het te meten signaal. Daarnaast kon, door de ingewikkelde vorm van het masker en het gezicht, de weglengte tussen bron en meetapparaat moeilijk bepaald worden. Voor de bepaling van lekposities met licht doen zich vergelijkbare praktische problemen voor: door de ingewikkelde vorm van het masker is de kans groot dat licht dat door lekken het masker in komt niet te detecteren is.

Het gebruik van fluorescente aerosolen en een UV-lamp voor de belichting van het op de huid neergeslagen aerosol kan voor ernstige gezondheidsrisico's zorgen. Weliswaar is het mogelijk een fluorescente stof te vinden die minder schadelijk zijn voor de mens (bijvoorbeeld natrium fluoresceïne) maar de fluorescentie-licht opbrengst is doorgaans erg laag. Daarnaast kunnen allerlei stoffen die op de huid aanwezig zijn voor interferentie zorgen. Tenslotte is het belichten met UV-licht altijd schadelijk voor proefpersonen.

Van alle geteste methoden leek de methode waarbij gas gedetecteerd wordt dat door lekken naar binnenstroomt de meest belovende. Echter door het gebruik van de, weliswaar goedkope, samplers is het niet mogelijk eenduidig aan te tonen waar lekken zich bevinden. Door stroming en diffusie in het masker wordt het te meten gas ook langs samplers gevoerd die niet in de buurt van lekken zitten. Daarnaast is de geadsorbeerde hoeveelheid gas op de samplers afhankelijk van zowel concentratie als debiet langs de sampler.

Het gebruik van (elektronische) sensoren in plaats van samplers in de bovengenoemde methode biedt de mogelijkheid real-time metingen te verrichten. Hierdoor is met meer zekerheid te zeggen waar de lekken in een masker zich bevinden. Dit stuit echter op praktische problemen vanwege de uitvoer van de kabels van de sensoren door de maskervand. Ondanks deze problemen en de hoge kosten van deze sensoren verdient het de aanbeveling ze te testen op hun bruikbaarheid in een volgend onderzoek naar de locatie van lekken in een masker. Het toepassingsgebied kan daarna uitgebreid worden met het NBC- en het bio-kapje.

Hoewel een methode voor het lokaliseren van lekken nog steeds mogelijk lijkt, zal het door de complexiteit van de te gebruiken meettechnieken niet mogelijk zijn de metingen 'te velde' uit te voeren; het blijft een experiment dat in laboratorium omgeving uitgevoerd wordt.

6 Literatuur

Crutchfield, C.D. en Park, D.L.,
Effect of Leak Location on Measured Respirator Fit,
AIHA J. 58:413-417, 1997.

Han, D.H.; Willeke, K. en Colton, C.E.,
Quantitative Fit Testing Techniques and Regulations for Tight-Fitting Respirators: Current Methods Measuring Aerosol or Air Leakage, and New Developments,
AIHA J. 58:219-228, 1997.

Kievit, O.,
Lokalisatie masker-gelaatslekkage; fase 2: uitwerking,
Tussentijds voortgangsrapport, november 2002.

Luja, P.J.H.,
Ultrasonische Lekdetectie Gasmasker,
TNO-rapport PML 1998-SV8, november 1998.

Oostenstad; R.K.; Perkins; J.L. en Rose, V.E.,
Identification of Faceseal Leak Sites on a Half-Mask Respirator,
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 51(5):280-284, 1990.

7 Ondertekening



9/3/2004

dr.ir. L.F.G. Geers
Projectleider/auteur



9/3/2004

ing. J. Albers
Auteur



ir. H.F.A. Trimbos
Groepshoofd

ONGERUBRICEERD
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL) TD2004-0012	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO.	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. PML 2004-A12
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 014.12715	5. CONTRACT NO. A01KL441 (872.2661.0530.11)	6. REPORT DATE March 2004
7. NUMBER OF PAGES 24 (excl. RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 5	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Localization of face-seal leak sites		
11. AUTHOR(S) Dr. L.F.G. Geers and J. Albers		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) LBBKL/KPU-bedrijf Het Zeisterspoor 10, 3769 AP Soesterberg, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.		
15. SUMMARY (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) A number of methods is described for determining the position leaks in the facial seal of a gasmask, among which there are: measuring the transport of sounds and light through leaks, measuring the deposition of aerosols on the face near leaks, and determining the amount of a gas that leaks into the mask at specific positions within the mask by means of samplers. The first three methods are complicated by the complex shape and the material properties of the mask and by possible health risks for the test persons. The last method is complicated by the airflow in the space between the mask and the face. This airflow can transport the test gas past samplers that are not in the neighborhood of the leak. However, if electronic sensors were used instead of samplers, the gas leakage test has potential. The disadvantages are the high cost and the potential leaks near the hole through which the cables attached to the sensors are lead out of the mask.		
16. DESCRIPTORS Facial mask leakage Tracing of leaks		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF SUMMARY) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.

- 4 ex. SC-WOO
- 8 ex. HWO-KL
- 4 ex. HWO-KLu
- 5 ex. HWO-KM
- 4 ex. HWO-CO
- 1 ex. TNO-DMV, accountdirector KL
- 1 ex. TNO-FEL, Bibliotheek
- 1 ex. TNO-FEL, Directie
- 1 ex. TNO-TM, Directie
- 1 ex. Lid Instituuts Advies Raad PML
BGen. prof. J.M.J. Bosch
- 1 ex. Lid Instituuts Advies Raad PML
prof. dr. U.A. Th. Brinkman

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

- 1 SC-WOO
- 2 HWO-KL
- 3/8 LBBKL/KPU-bedrijf
J.F. Engelen
- 9 Joint Kenniscentrum NBC, Vught
Maj. M. Huisman
- 10 Directeur TNO-DMV
- 11/13 Bibliotheek KMA
- 14 TNO-PML, Directie; daarna reserve
- 15/16 TNO-PML, Informatie- en Documentatiedienst
- 17 TNO-PML, Hoofd Divisie Chemische & Biologische Bescherming
dr. M.W. Leeuw
- 18 TNO-PML, Adjunct-hoofd Divisie Chemische & Biologische Bescherming
dr. ir. M.S. Nieuwenhuizen
- 19/21 TNO-PML Divisie Chemische & Biologische Bescherming, Groep Fysieke Bescherming
ir. H.F.A. Trimbos, dr. ir. L.F.G. Geers en ing. J. Albers
- 22 TNO-PML, Business Development Divisie Chemische & Biologische Bescherming
drs. J.M. Mul (Digitale versie via Archief TNO-PML)
- 23 TNO-PML, Marketing & Communicatie (Digitale versie via Archief TNO-PML)