



ADVIES VAN DE HOGE GEZONDHEIDSRAAD nr. 9542

Het gebruik van nitrilonderhandschoenen onder gewone brandweerhandschoenen als bescherming tegen kankerverwekkende blootstelling bij brand

In this scientific advisory report, which offers guidance to public health policy-makers, the Superior Health Council of Belgium provides a brief overview of occupational hazards for firefighters and recommendations on the possible use of nitrile butadiene rubber gloves to reduce exposure to carcinogenic substances.

Versie gevalideerd op het College van
07/12/2022¹

I INLEIDING EN PROBLEMATIEK

De Hoge Gezondheidsraad (HGR) ontving op 10 april 2019 een adviesaanvraag van de federale minister van Binnenlandse Zaken en Veiligheid over de vermeende voordelen en/of risico's van het dragen van nitrilhandschoenen onder brandweerhandschoenen ter bescherming tegen (kruis)contaminatie van brandweerhanden. Dit advies is nodig om uniforme aanbevelingen te geven aan de commandanten van hulpverleningszones, ongeacht het type brandweerhandschoenen dat wordt gebruikt.

Brandweerlieden worden blootgesteld aan verschillende specifieke beroepsrisico's. Naast acute schadelijke effecten als brandwonden worden hogere kankerincidenties onder brandweerlieden vaak in verband gebracht met herhaalde/cumulatieve blootstelling aan toxische verbindingen die bij branden vrijkomen. Om zich tegen deze contaminanten te beschermen, is een juist gebruik van de persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM) van het grootste belang.

In België worden verschillende soorten brandweerhandschoenen gebruikt. De meeste handschoenen zijn gemaakt van textiel, een minderheid bestaat uit leer. Alle handschoenen voldoen aan dezelfde Europese norm EN 659. Deze norm bevat de minimale prestatie-eisen en testmethoden voor beschermende handschoenen van brandweerlieden. Alle handschoenen bevatten een ademende laag die contaminanten tegenhoudt. Brandweerlieden komen tijdens interventies in nauw contact met deze contaminanten, door roet en het manipuleren van verkoolde materialen. Bij het herhaaldelijk aan- en uittrekken van handschoenen kan kruiscontaminatie van de handen optreden. Daarom moeten textiele handschoenen worden gewassen om zoveel mogelijk potentieel kankerverwekkende verontreinigingen te verwijderen (zie ook Richtlijn 2004/37/EG, artikel 10). Handschoenen van leer kunnen echter niet zo goed worden gereinigd. Ondanks dit feit willen sommige

¹ De Raad behoudt zich het recht voor om in dit document op elk moment kleine typografische verbeteringen aan te brengen. Verbeteringen die de betekenis wijzigen, worden echter automatisch in een erratum opgenomen. In dergelijk geval wordt een nieuwe versie van het advies uitgebracht. Opmerking: de vertaling van dit advies werd uitgevoerd door een extern vertaalbureau. De Engelstalige versie van dit advies is het brondocument.

brandweerkorpsen met leren handschoenen blijven werken, omdat zij van mening zijn dat leren handschoenen een betere bescherming tegen de hitte bieden dan handschoenen van textiel. Om zich te beschermen tegen kankerverwekkende en giftige contaminatie dragen zij handschoenen in nitrilbutadiëenrubber (NBR) onder hun lederen brandweerhandschoenen. Op 8 februari 2018 heeft het SLFP-VSOA contact opgenomen met de minister van Binnenlandse Zaken om te vragen naar het standpunt van de Federale Overheidsdienst Binnenlandse Zaken over deze kwestie. Deze heeft op 12 maart 2018 gereageerd en erop gewezen dat brandweerhandschoenen niet ontworpen zijn om in combinatie met nitrilhandschoenen gedragen te worden en dat condensatie van water in de nitrilhandschoen tot extra veiligheidsrisico's (brandwonden) kan leiden. Dit standpunt werd betwist door de IILE (*Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs*), die hierover een rapport heeft opgesteld, vergezeld van de resultaten van door het *Institut Scientifique de Service Public* (ISSeP) uitgevoerde tests (Rapport nr. 3501/2018). Om deze kwesties op een objectieve manier te beoordelen, werd in april 2019 het advies van de Hoge Gezondheidsraad gevraagd door de federale minister van Binnenlandse Zaken. De volgende vragen werden gesteld:

- Hoe kan men het belang van een direct korte termijnrisico beoordelen en vergelijken met een willekeurig lange termijnrisico?
- Wat is het belang van de risico's op kanker bij brandweerbieden die veroorzaakt worden door contaminatie van alleen de handen (beperkt lichaamsoppervlak)?
- Is het risico van kanker door contaminatie van de handen bij brandbestrijding groter dan het risico van brandwonden aan de handen?
- Kan er vanuit medisch oogpunt van worden uitgegaan dat bij brandwonden aan de handen de aanwezigheid van een gedeeltelijk gesmolten en ontbonden nitrilhandschoen geen extra risico inhoudt?
- Kan worden gezegd dat de behandeling van brandwonden niet wordt beïnvloed door de aanwezigheid van gesmolten nitril in de wonden, zoals in de studie wordt aangegeven?

Ook werd gevraagd of er alternatieve beschermende crèmes zijn die de nitrilhandschoenen kunnen vervangen. Bovendien werd gevraagd of een douche na de brand het risico vermindert dat contaminanten de huid binnendringen. Hoe snel komen deze stoffen onomkeerbaar in de huid terecht?

Om deze verschillende vragen op een wetenschappelijke basis te kunnen beantwoorden, heeft de Hoge Gezondheidsraad zich het recht voorbehouden sommige van deze vragen te herformuleren.

II CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Brandbestrijding brengt een aantal specifieke gevaren met zich mee. In het eerste deel van dit advies wordt een overzicht gegeven van zowel de acute als de chronische effecten. Brandweerlieden lopen een verhoogd risico om kanker te krijgen. **Het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) vond voldoende bewijs voor een verhoogde incidentie van blaaskanker en mesothelioom.** Er is beperkt bewijs gevonden voor prostaat-, teelbal- en darmkanker, non-Hodgkinlymfoom en kwaadaardig melanoom. Sommige studies wijzen ook op een verhoogd risico op endeldarmkanker. Deze verhoogde kankerrisico's worden veroorzaakt door blootstelling aan **meerdere kankerverwekkende stoffen tijdens branden**: Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), vluchtige organische stoffen (VOS), polychloorbifenylen (PCB's), dioxinen, furanen, ftalaten, vlamvertragers, per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS), asbest enz. Verscheidene van deze stoffen zijn ook **hormoonverstoorders**. Een juist gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) is noodzakelijk ter bescherming tegen deze schadelijke stoffen, die kunnen worden opgenomen door inslikken, inademen of via de huid. Gezien het algemeen gebruik van onafhankelijke ademluchttoestellen (SCBA) wordt **opname via de huid** als de belangrijkste blootstellingsroute beschouwd.

Tijdens de brandbestrijding worden de handen blootgesteld aan deze kankerverwekkende contaminanten. Hoewel het *stratum corneum* (de hoornlaag) op het handpalmoppervlak dikker is dan op andere anatomische plaatsen (bv. de hals), mag de huidopname via de handen niet worden genegeerd. Het is belangrijk dat de handschoenen van de brandweer **adequaat worden gedecontamineerd**, om accumulatie te voorkomen. Handschoenen van textiel kunnen regelmatig **nat worden gereinigd**, maar dit is niet mogelijk voor lederen handschoenen. Blijkbaar geven sommige brandweergroepen de voorkeur aan lederen handschoenen, omdat zij menen dat deze beter bestand zijn tegen hitte. Om contaminatie te voorkomen, dragen zij onder hun leren handschoenen ook handschoenen van nitrilbutadieenrubber (NBR). De Hoge Gezondheidsraad (HGR) werd gecontacteerd om te beoordelen of het gebruik van NBR-onderhandschoenen echter geen onaanvaardbaar extra risico vormt.

Nitrilbutadieenrubber (NBR) is geen thermoplastisch materiaal, maar een elastomeer dat niet kan smelten. Het is stabiel tot ongeveer 120 °C. Bij hoge temperaturen wordt het nitril kleverig aan de huid, zodat de contacttijd wordt verlengd en de brandwonden dieper worden. Wat brandwonden betreft, **vormen NBR-handschoenen een extra risico.** Dit acute risico moet echter worden afgewogen tegen het chronische kankerrisico van langdurige blootstelling, wat een moeilijke tot onmogelijke afweging is. Beide risico's moeten worden aangepakt. **Omdat brandwonden op de handen van brandweerlieden echter zelden in onze brandwondencentra voorkomen, acht de Hoge Gezondheidsraad het dragen van NBR-onderhandschoenen onder brandweershandschoenen aanvaardbaar als preventieve maatregel tegen kankerverwekkende blootstelling.** Langdurig contact tussen de huid en leren handschoenen met hoge concentraties kankerverwekkende stoffen is onaanvaardbaar, vooral omdat de poriën van de huid door zweten opengaan. Dit standpunt van de Hoge Gezondheidsraad is gebaseerd op een **beoordeling** die rekening houdt met de bestaande ervaring van brandweerlieden, brandwondencentra, chemici en de beperkte beschikbare wetenschappelijke gegevens. Het valt niet uit te sluiten **dat nieuwe wetenschappelijke studies dit standpunt** in de toekomst wijzigen. Het rapport besluit met enkele aanvullende aanbevelingen om de blootstelling aan kankerverwekkende stoffen te verminderen. **De mogelijkheid om (lederen) handschoenen met vloeibare CO₂ (LCO₂) te reinigen, moet worden onderzocht.**

III METHODOLOGIE

Na analyse van de vraag hebben het College en de voorzitter van het domein Chemische omgevingsfactoren de nodige expertises bepaald. Op basis hiervan werd een *ad hoc* werkgroep opgericht met deskundigen in de organisatie van hulpdiensten, toxicologie, blootstelling aan contaminanten, gezondheid op het werk, dermatologie, plastische chirurgie, behandeling van brandwonden, farmacie, polymeerchemie, etc. De experts van de werkgroep hebben een algemene belangenverklaring en een *ad hoc* verklaring ingevuld en de Commissie voor Deontologie heeft het potentieel risico op belangenconflicten beoordeeld.

Het advies berust op een review van de wetenschappelijke literatuur, zowel uit wetenschappelijke tijdschriften als uit rapporten van nationale en internationale organisaties die in deze materie bevoegd zijn (*peer-reviewed*), alsook op het oordeel van de experts.

Na goedkeuring van het advies door de werkgroep werd het advies tenslotte gevalideerd door het College.

Sleutelwoorden en MeSH descriptor terms²

MeSH terms*	Keywords	Sleutelwoorden	Mots clés	Schlüsselwörter
<i>Firefighter</i>	<i>Firefighter</i>	Brandweerman	<i>Pompier</i>	<i>Feuerwehrmann</i>
<i>Carcinogens</i>	<i>Carcinogens</i>	Carcinogenen	<i>Cancérogènes</i>	<i>Karzinogene</i>
<i>Burns</i>	<i>Burns</i>	Brandwonden	<i>Brûlures</i>	<i>Verbrennungen</i>
<i>Nitriles</i>	<i>Nitriles</i>	Nitrillen	<i>Nitriles</i>	<i>Nitrile</i>
<i>Gloves, protective</i>	<i>Gloves, protective</i>	Handschoenen, beschermend	<i>Gants de protection</i>	<i>Handschuhe, Schutzhandschuhe</i>
<i>Occupational Health</i>	<i>Occupational Health</i>	Gezondheid op het werk	<i>Santé au travail</i>	<i>Gesundheit am Arbeitsplatz</i>

MeSH (*Medical Subject Headings*) is de thesaurus van de NLM (*National Library of Medicine*) met gecontroleerde trefwoorden die worden gebruikt voor het indexeren van artikelen voor PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh>.

Lijst van afkortingen

AOP	<i>Adverse Outcome Pathways</i>
B[a]P	Benzo[a]pyreen
BDCPP	Bis(1,3-dichloro-2-propyl)fosfaat
COPD	Chronische Obstructieve Longziekte (<i>Chronic obstructive pulmonary disease</i>)
DEHP	Di-(2-ethylhexyl)ftalaat
HGR	Hoge Gezondheidsraad
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IILE	<i>l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs</i>
ISSeP	<i>Institut Scientifique de Service Public</i>
mRR	<i>Meta Risk Ratio</i>
NBR	Nitrilbutadiëenrubber
OR	<i>Odds Ratio</i>
PAK	Polycyclische Aromatische Koolwaterstof
PBDD	Polybroomdibenzo- <i>p</i> -dioxine
PBDF	Polybroomdibenzofuraan
PCB	Polychloorbifenyyl
PCDD	Polychloordibenzo- <i>p</i> -dioxine

² De Raad wenst te verduidelijken dat de MeSH-termen en sleutelwoorden worden gebruikt voor referentiedoeleinden en een snelle definitie van de scope van het advies. Voor nadere inlichtingen kunt u het hoofdstuk "methodologie" raadplegen.

PCDF	Polychloordibenzofuraan
PFAS	Per- en polyfluoralkylstoffen
POP	Persistente Organische Verontreinigende Stof (<i>Persistent Organic Pollutant</i>)
PBM	Persoonlijke Beschermingsmiddelen
PTSS	Posttraumatische Stresstoornis
SCBA	Onafhankelijke Ademluchttoestellen (<i>Self-Contained Breathing Apparatus</i>)
SIR	<i>Standardized Incidence Ratio</i>
SIRE	<i>Summary Incidence Risk Estimate</i>
SLFP-VSOA	<i>Syndicat Libre de la Fonction Publique</i> – Vrij Syndicaat voor het Openbaar Ambt
SMR	<i>Standardized Mortality Ratio</i>
SMRE	<i>Summary Mortality Risk Estimate</i>
S-PMA	S-fenylmercaptuurzuur
SRE	<i>Summary Risk Estimate</i>
VOS	Vluchtige Organische Stof
1-OHP	1-hydroxypyreen
3-MCA	3-methylcholanthreen

IV LITERATUURSTUDIE: GEZONDHEID OP HET WERK BIJ BRANDWEERLIEDEN

1 Inleiding

Brandweerlieden worden blootgesteld aan fysiek extreme omstandigheden die per type interventie sterk kunnen verschillen. Naast de acute fysieke, chemische en psychologische gevaren mogen de chronische schadelijke effecten die op lange termijn optreden, niet worden onderschat. Het is al lang bekend dat brandweerlieden een verhoogde incidentie van bepaalde vormen van kanker hebben. Tijdens hun werk worden brandweerlieden blootgesteld aan vele giftige, hormoonontregelende en kankerverwekkende verbindingen, die vrijkomen bij de verbranding van diverse materialen. De blootstelling hangt af van het soort brand (branden in bossen en wouden, structurele branden in residentiële en industriële omgevingen, enz.), de gebruikte brandbestrijdingsmiddelen (bv. PFAS-bevattende schuimen) en diverse milieufactoren. De accumulatie van deze gevaarlijke stoffen in het lichaam, die vaak persistent zijn, kan *Adverse Outcome Pathways* (AOP's) in gang zetten op verschillende niveaus van de biologische organisatie. Zo verhoogt langdurige blootstelling aan PAK's en VOS de oxidatieve stress, met eiwitschade door ROS-vorming, lipidenperoxidatie en DNA-oxidatie als gevolg. Daarom is het belangrijk dat de persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) van brandweerlieden niet alleen bescherming bieden tegen acute risico's, maar ook de blootstelling aan contaminanten beperken om een betere bescherming tegen gezondheidsrisico's op lange termijn te waarborgen. Dit korte literatuuroverzicht geeft een algemeen overzicht van de gezondheid op het werk bij brandweerlieden, met de nadruk op zowel acute als chronische effecten. Naast gezondheidseffecten worden ook blootstelling, opname en menselijke biomonitoring van gevaarlijke verbindingen besproken, naast een algemene karakterisering van de belangrijkste kankerverwekkende en hormoonontregelende stoffen die bij brandbestrijding betrokken zijn.

2 Acute effecten

Brandweerlieden kunnen geconfronteerd worden met meerdere acute gezondheidseffecten (voornamelijk trauma's, thermische letsels, ademhalingsproblemen en irritatie door rookinhalatie), omdat zij te maken krijgen met chemische en fysieke gevaren (Guidotti & Clough, 1992). Deze gevaren zijn reëel: brandweerlieden lopen driemaal meer kans om te overlijden dan de meeste andere werknemers tijdens dodelijke incidenten (Clarke & Zak, 1999). Acute effecten kunnen grotendeels in twee categorieën worden verdeeld: verwondingen en ademhalingsstoornissen.

- **Fysieke gevaren:** De mogelijke verwondingen zijn zeer uiteenlopend, maar worden voornamelijk veroorzaakt door brandwonden, vallen of geraakt worden door vallende voorwerpen. Walton et al (2003) bestudeerden 1 343 claims voor verwondingen van brandweerlieden tussen 1992 en 1999 in de VS en ontdekten dat de meest voorkomende letsels verrekkingen/verstuikingen (38 %), overbelasting (33 %), brandwonden (27 %) en snijwonden/laceraties/fracturen (22 %) waren. Een internetenquête van Hong et al (2012) vermeldt spierverrekkingen en -verstuikingen (74 %), letsels aan de ledematen (60 %), rugletsels (54 %) en brandwonden (28 %). Gehoorverlies kan ook optreden, hoewel er momenteel slechts beperkt bewijs is in vergelijking met de controlegroep (Crawford & Graveling, 2012). Het risico op brandwonden houdt verband met de taak van de brandweerman (bv. de straalpijp vasthouden, vroegtijdig binnenkomen) en de locatie en kenmerken van de brand (bv. kelderbranden) (Guidotti & Clough, 1992).

Een correct gebruik van PBM's is uiterst belangrijk om brandwonden te verminderen: bij 20 brandweerlieden vonden Kahn et al (2012) dat verkeerd gebruik en niet aaneengesloten delen van de PBM's verantwoordelijk waren voor 70 % van de verwondingen. Brandwonden bij brandweerlieden kwamen voor op voorspelbare anatomische plaatsen (gezicht 29 %, hand en pols 23 %, oren 16 %, ...) met gemeenschappelijke letselpatronen. Kim et al (2016)

bespraken de statistieken van 24 brandweermannen die tussen 2006 en 2015 in een Koreaans brandwondencentrum behandeld werden: alle patiënten hadden 2^e- of 3^e-graads brandwonden. Het gezicht werd het vaakst verbrand (25,8 %), gevolgd door de hand/pols (19,4 %), de bovenste ledematen (12,9 %) en de nek (11,3 %) als grootste groepen. Rabbits et al (2005) bestudeerden de ambulante behandeling van brandwonden van brandweerlieden in een brandwondencentrum in New York tussen 2000 en 2002 (n = 131). De meest voorkomende verbrande gebieden waren het hoofd en de nek (33,2 % en 12,2 %), gevolgd door de benen (24,7 %). Handen en armen waren goed voor respectievelijk 9,4 % en 13,5 %. Deze studie maakte melding van een verschil tussen de behandelde opgenomen en ambulante brandweerlieden: bij de opgenomen brandweerlieden waren de brandwonden voornamelijk aanwezig op de onderste ledematen. Eerder onderzochten Madden et al (1995) 746 brandweerlieden die tussen 1981 en 1991 in New York werden behandeld voor brandwonden. Uit hun statistieken blijkt dat de onderste ledematen het meest getroffen zijn, gevolgd door de handen. Dit waren ook de anatomische gebieden met de diepste brandwonden, waarvoor waarschijnlijk een huidtransplantatie nodig was. Madden et al (1995) concludeerden echter dat veel van deze brandwonden te wijten waren aan slecht of onjuist gebruik van beschermingsmiddelen. Dankzij een educatief programma werd een daling van het aantal handbrandwonden vastgesteld.

- **Chemische gevaren:** Acute effecten op de ademhaling kunnen ernstige schade veroorzaken, maar rookinhalatie gaat vaak gepaard met brandwonden en andere trauma's. Na blootstelling aan isocynaatdampen of verbranding van polyvinylchloride kunnen blijvende effecten optreden, die astma-achtige symptomen kunnen veroorzaken (Guidotti & Clough, 1992). De belangrijkste inhalatiegevaren bij bosbrandbestrijding zijn te wijten aan koolmonoxide (CO), aldehyden en respirabele deeltjes (Gaughan et al, 2008). Walton et al (2003) vonden dat verstikking/inademing slechts 3 % van de brandwondclaims vertegenwoordigde. Het aantal effecten op de ademhaling kan worden verminderd door het juiste gebruik van een onafhankelijk ademluchttoestel (SCBA). Dit specifieke gebruik van beschermingsmiddelen vermindert ook mogelijke chronische effecten op de luchtwegen. Andere mogelijke acute effecten als gevolg van chemische blootstelling zijn irritatie van de huid of de ogen.

3 Chronische effecten: kanker

Het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC, 2010b) heeft beroepsmatige blootstelling als brandweerman ingedeeld als "mogelijk kankerverwekkend voor de mens" (groep 2B). In het komende Volume 132 van de IARC-monografieën zal deze indeling echter worden bijgewerkt tot "kankerverwekkend voor de mens" (groep 1) (Demers et al, 2022). Deze nieuwe evaluatie geldt voor alle brandweerlieden (zowel beroeps als vrijwilligers, zowel mannen als vrouwen).

3.1. Risicoramingen

Er is een zeer groot aantal studies verricht naar de incidentie van kanker bij brandweerlieden. Het is logistiek onmogelijk voor de Hoge Gezondheidsraad om hier een volledige evaluatie uit te voeren. Daarom werd een selectie gemaakt van hoogwaardige reviews en grote cohort- en case control-studies (tabel 1). In deze publicaties werden verschillende soorten ramingen van het kankerrisico gerapporteerd: een overzicht staat in Bijlage 1.

Onder de geselecteerde studies werd een relatieve consensus gevonden voor de volgende kankersoorten: darmkanker, mesothelioom, teelbalkanker, blaaskanker, kwaadaardig melanoom, prostaatcancer en endeldarmkanker (tabel 2, Bijlage 1). De hoogste risicoramingen (SRE, SIR[E], SMR[E]) werden gerapporteerd voor mesothelioom, met een maximale SIR van 2,29 (Daniels et al, 2014). Voor de andere kankersoorten waren de resultaten meer tegenstrijdig. Deze raming van 7 kankersoorten is slechts indicatief: mogelijke

vertekening kan al zijn begonnen bij de selectie van de overzichtspublicaties. Elke studie volgt een andere methodologie. De beoordelingen gebruiken verschillende selectiecriteria voor de op- en afwaardering van papers. Epidemiologisch onderzoek vereist gegevens van hoge kwaliteit, en moet rekening houden met tal van mogelijke vertekeningen. Bij cohortstudies worden niet altijd alle gegevens op uniforme wijze geregistreerd/verzameld, een risico dat toeneemt naarmate de studie langer duurt (soms worden waarnemingen gedurende meerdere decennia gedaan). Daarnaast kunnen onderschattingen optreden als gevolg van het effect van gezonde werknemers, en overschattingen als gevolg van een bredere screening in bepaalde landen voor bijvoorbeeld prostaat-, borst- en darmkanker. Bovendien is het zeer moeilijk om een direct causaal verband vast te stellen tussen een bepaald type kanker en de blootstelling van brandweerlieden, gezien de vele interne (genen, levensstijl, ...) en omgevingsfactoren die een rol spelen.

Demers et al (2022) maakten bekend dat de IARC-werkgroep voor Volume 132 voldoende bewijs heeft gevonden voor een verhoogd risico op blaaskanker en mesothelioom. Beperkt bewijsmateriaal wijst ook op hogere risico's voor prostaat-, darm- en teelbalkanker, melanoom en non-Hodgkinlymfoom. Voor deze evaluatie werden in totaal 52 *cohort- en case-controlstudies*, 12 *case reports* en zeven meta-analyses in aanmerking genomen. Er is een goede overeenstemming met de "consensus"-kankers die in onze literatuurselectie zijn gevonden (tabel 2). De Werkgroep van het IARC concludeerde dat "er een causaal verband bestaat tussen beroepsmatige blootstelling als brandweerman en mesothelioom en blaaskanker" (Demers et al (2022)). Dit strookt met onze waarneming dat de hoogste risicoramingen werden gerapporteerd voor mesothelioom. Het 95 % betrouwbaarheidsinterval voor de risicoraming van mesothelioom heeft echter een ruim bereik, in tegenstelling tot blaaskanker waar het extra risico lager is, maar statistisch nauwkeuriger en met minder heterogeniteit (Demers et al, 2022) (tabel 2). Demers et al (2022) noemen blootstelling aan asbest als een aannemelijk oorzakelijk agens voor het toegenomen aantal mesothelioomgevallen bij brandweerlieden. Voor blaaskanker werden carcinogenen ("PAK's en roet") genoemd als de aannemelijke veroorzakers. Voor de andere kankersoorten werd slechts "beperkt bewijs" voor een verhoogd risico genoemd, wegens mogelijke vertekening door grotere medische bewaking/detectie, fysieke/levensstijlkenmerken of grote heterogeniteit in de ramingen van de meta-analyse. Endeldarmkanker werd niet genoemd door Demers et al (2022), terwijl in verschillende van de door ons bekeken studies associaties met brandbestrijding werden gevonden. Tegelijkertijd concludeerden Demers et al (2022) dat er beperkt bewijs was voor een verband met non-Hodgkinlymfoom, terwijl dit slechts in een minderheid van de door ons bestudeerde studies werd waargenomen. **Het belang van het komende Volume 132 van het IARC en van een grondige evaluatie voor elk type kanker kan dan ook niet worden onderschat.**

Tabel 1. Een overzicht van de geselecteerde studies en risicoramingen staat in Bijlage 1.

Studie	Type	Details
LeMasters et al (2006)	Review & Meta-analyse	32 studies (combinatie van kwantitatieve en kwalitatieve evaluatie)
Graveling & Crawford (2010)	Review	71 studies
Daniels et al (2014)	Cohortonderzoek	29 993 brandweerlieden in San Francisco, Chicago & Philadelphia (1950 - 2009)
Pukkala et al (2014)	Cohortonderzoek	16 433 mannelijke brandweerlieden in de Noordse landen (1961 - 2005)
Tsai et al (2015)	Case-control-onderzoek	3 996 mannelijke brandweerlieden in California (1988 - 2007)
Jalilian et al (2019)	Review & Meta-analyse	50 studies in review 48 in meta-analyse
Laroche & L'Espérance (2021)	Review	11 systematische reviews

Tabel 2. Verhoogde niveaus van kankerrisico's bij brandweerlieden. De literatuurselectie van de HGR kan worden geraadpleegd in Bijlage 1.

	Geselecteerde literatuur (HGR)	IARC Volume 132 (in druk) (Demers et al, 2022)	Hogere risicoraming + 95 % CI en heterogeniteit (Demers et al, 2022)
Prostaat	6/7 studies	Beperkt bewijs	Nog niet gegeven
Rectum (endeldarm)	5/6 studies	/	/
Maligne melanoom	5/5 studies	Beperkt bewijs	Nog niet gegeven
Blaas	4/7 studies	Voldoende bewijs	16 % (CI 8 – 26 %, $I^2 = 0$ %)
Teelbal	4/7 studies	Beperkt bewijs	Nog niet gegeven
Colon (dikke darm)	3/6 studies	Beperkt bewijs	Nog niet gegeven
Mesothelioom	3/5 studies	Voldoende bewijs	58 % (CI 14 – 120 %, $I^2 = 8$ %)
Non-Hodgkinlymfoom	/	Beperkt bewijs	Nog niet gegeven

3.2. De invloed van leeftijd

Pukkala et al (2014) bestudeerden een hoogwaardige Europese dataset van kankerincidenties onder Scandinavische brandweerlieden gedurende de afgelopen 45 jaar. Hoewel een matig verhoogd risico werd gevonden voor alle vormen van kanker samen, identificeerden Pukkala et al (2014) minder kankersoorten met een verhoogde incidentie onder brandweerlieden in vergelijking met de meeste andere studies. In het algemeen werd een aanzienlijke toename van het risico op adenocarcinoom van de longen, kwaadaardig melanoom, huidkanker en prostaatkanker vastgesteld (Bijlage 1). Deze patronen verschillen echter per leeftijdsgroep. Het verhoogd risico op prostaatkanker (SIR = 2,59, 95 % CI 1,34 - 4,52) en huidmelanoom (SIR = 1,62, 95 % CI = 1,14 - 2,23) was vrijwel geheel gelegen bij de 30 - 49 jarigen (Pukkala et al, 2014). Niet-melanome huidkanker (SIR = 1,40, 95 % CI 1,10 - 1,76), multipel myeloom (SIR = 1,69, 95 % CI 1,08 - 2,51), adenocarcinoom van de long (SIR = 1,90, 95 % CI 1,35 - 2,62) en mesothelioom (SIR = 2,59, 95 % CI 1,24 - 4,77) kwamen vaker voor bij ouderen (> 70 jaar) (Pukkala et al, 2014).

3.3. Tekortkomingen van de huidige kennis

De meeste studies die zijn uitgevoerd over brandweerkorpsen betroffen voornamelijk blanke mannen. Daniels et al (2014) vonden dat niet-blanke mannelijke brandweerlieden een lagere algehele mortaliteit hadden, met over het algemeen minder kankers. Alleen prostaatkanker bleek iets hoger te liggen. Hun bevindingen staan echter in contrast met die van Tsai et al (2015), die vonden dat brandweerlieden van een ander ras/ethniciteit (62,2 % hispanic, 27,7 % zwart) significant verhoogde risico's hadden voor 12 soorten kanker (tong, melanoom, prostaat, testikels, blaas, nier, hersenen, non-Hodgkinlymfoom, multipel myeloom, algemene leukemie, CLL en CMS), in tegenstelling tot slechts 6 soorten kanker onder blanke brandweerlieden (slokdarm/oesofagus-adenocarcinoom, niet-specifiek niet-kleincellig (long), melanoom, prostaat, hersenen, AML-leukemie). De redenen voor mogelijke etnisch-geassocieerde verschillen blijven onduidelijk en moeten verder worden bestudeerd. Goede datasets ontbreken momenteel.

Naast etniciteit is de aandacht traditioneel gericht op mannelijke brandweerlieden. De laatste jaren vinden steeds meer vrouwen hun weg naar de brandweer. Een studie van 5 000 vrouwelijke brandweerlieden in Florida gedurende 34 jaar toonde specifieke gezondheidsrisico's aan (Lee et al, 2020). Zo hadden de onderzochte vrouwelijke brandweerlieden een significant hoger risico op hersenkanker (OR = 2,54, 95 % CI 1,19 - 5,42) en schildklierkanker (OR = 2,42, 95 % CI 1,56 - 3,74), en een mogelijk hoger risico op kwaadaardig melanoom (OR = 1,68, 95 % CI 0,97 - 2,90). Daniels et al (2014) vonden een significant hogere incidentie van vrouwelijke blaaskanker (slechts gebaseerd op enkele gevallen). De helft van de kankers bij vrouwelijke brandweerlieden bleek borstkanker te zijn (Daniels et al, 2014), een van de meest voorkomende kankers onder de algemene vrouwelijke bevolking. Graveling & Crawford (2010) concludeerden dat er geen consistent bewijs bestaat voor een algemeen verhoogd risico bij vrouwelijke brandweerlieden. Eén studie meldt een

significant hoger risico op baarmoederhalskanker bij brandweerlieden (Ma et al, 2006; SIR = 5,24, 95 % CI 2,93 - 8,65). Het is duidelijk dat meer onderzoek nodig is om de specifieke risico's bij vrouwelijke brandweerlieden te objectiveren.

4 Niet-kankerachtige chronische effecten

4.1 Endocriene verstoring

Verhoogde niveaus van meerdere chemische stoffen (bv. PAK's, brandvertragers, dioxinen/furanen, ftalaten), zoals waargenomen via menselijke biomonitoringgegevens, wijzen ook op verhoogde risico's voor endocriene ziekten. De risico's kunnen worden geraamd op basis van de gegevens en programma's voor menselijke biomonitoring. De effecten van hormoonverstoring kunnen zeer divers zijn en zijn soms moeilijk te identificeren, enkele voorbeelden: Stevenson et al (2015) concludeerden dat brandweerlieden worden blootgesteld aan zowel oestrogene als anti-oestrogene middelen, mogelijk ftalaten. Dit kan leiden tot gezondheidsrisico's door verstoring van de hormoonhomeostase. Caban-Martinez et al (2022) constateerden een positieve correlatie tussen PFAS's met zowel lange als korte ketens, PFHxS en PFBS en de *body mass index* van brandweerlieden. Trowbridge et al (2022) ontdekten dat bij vrouwelijke brandweerlieden een verdubbeling van het gehalte aan brandvertrager bis(1,3-dichloor-2-propyl)fosfaat (BDCPP) gepaard ging met een daling van 2,88 % van het thyroxinegehalte (T_4).

4.2 Cardiovasculaire risico's

Guidotti & Clough (1992) noemen twee belangrijke risico's voor hart- en vaatziekten bij brandweerlieden:

- (1) De gedocumenteerde aanwezigheid van hoge mate van cardiovasculaire stress tijdens de reactie op alarmen en brandbestrijding (150 - 160 slagen/min tijdens de brand) als gevolg van angst, stress en inspanning.
- (2) De hoge concentraties koolmonoxide in de rook.

Guidotti & Clough (1992) vermelden dat niet consequent is aangetoond dat brandweerlieden een verhoogd risico lopen om aan hartziekten te sterven, hoewel dit vaak wordt aangenomen. Bovendien tonen meerdere studies zelfs een verminderd risico op coronaire hartziekten en kransslagaderaandoeningen aan (Crawford & Graveling, 2012). Dit is waarschijnlijk te wijten aan de selectieprocedures, aangezien brandweerlieden vaak als gezonder worden beschouwd dan de algemene bevolking. In het algemeen worden leefstijlfactoren in verband gebracht met hoge bloeddruk (hypertensie), eerder dan beroepsfactoren. Zo vond de studie van Bates (1987) weliswaar een verhoogde SMR voor coronaire hartziekte bij de brandweerlieden van Toronto (SMR = 1,73, 95 % CI 1,12 - 2,26), maar roken zou een belangrijke potentiële *confounder* kunnen zijn. Byczek et al (2004) vonden een verhoogde aanwezigheid van zwaarlijvigheid, lage lipoproteïnen met hoge dichtheid, hoge lipoproteïnen met lage dichtheid en hogere totale cholesterolwaarden bij brandweerlieden in vergelijking met de algemene bevolking. Deze factoren verhogen het individuele risico op hart- en vaatziekten en het daarmee samenhangende risico op morbiditeit, samen met andere factoren zoals bijvoorbeeld leeftijd, geslacht, familiegeschiedenis of diabetes mellitus. Vooralsnog kan geconcludeerd worden dat het bestaande onderzoek niet overtuigend is om een duidelijk causaal verband vast te stellen tussen het beroep van brandweerman en cardiovasculaire problemen (Crawford & Graveling, 2012).

4.3 Longziekten

Ter bestrijding van chronische ademhalingsziekten is het dragen van een ademluchttoestel essentieel. Een cohortstudie uitgevoerd door Mathias et al (2020) over 5 jaar bij 662

brandweerlieden (mannelijk, $38,1 \pm 7,7$ jaar oud, BMI $28 \pm 3,9$ kg/m²) in Virginia (VS) toonde een afname van de longfunctie (geforceerd expiratoir volume FEV₁; geforceerde vitale capaciteit FVC; FEV₁/FVC). Het verlies aan longfunctie was twee tot vier keer groter dan de verwachte afname in dezelfde periode bij de algemene bevolking. Mathias et al (2020) merkten op dat hun resultaten meer uitgesproken waren dan in soortgelijke andere studies, wat gedeeltelijk te wijten kan zijn aan de oudere gemiddelde leeftijd van de brandweerlieden, en het te snel uittrekken van het ademluchttoestel.

Pedersen et al (2018) voerden een landelijke cohortstudie uit bij 11 968 Deense mannelijke brandweerlieden. Vergeleken met andere mannelijke werknemers liepen de Deense fulltime brandweerlieden een significant hoger risico op astma (SIR = 1,58, 95 % CI 1,32 - 1,88). Dit verhoogde risico kon niet in verband worden gebracht met de duur van het dienstverband, maar werd niet gevonden bij de vrijwillige brandweerlieden. Bovendien kon een verhoogd risico op chronische obstructieve longziekte (COPD) niet worden aangetoond, mogelijk als gevolg van de relatief jonge leeftijd van de bestudeerde cohorten. Rajnoveanu et al (2022) onderzochten de bestaande studies naar het voorkomen van COPD bij brandweerlieden. De meeste studies meldden geen significante toename van de diagnose COPD. Daarom blijft het verband tussen COPD en beroepsmatige blootstelling bij brandweerlieden onduidelijk, zonder rampzalige gebeurtenissen zoals de instorting van de WTC-torens of bosbranden. Opgemerkt werd dat sommige studies een risico van vertekening inhouden als gevolg van het "gezonde-werknemer-effect".

4.4 Geestelijke gezondheidstoestanden

Brandweerlieden worden vaak blootgesteld aan levensbedreigende ervaringen, waardoor ze tot hun psychologische grenzen worden gedreven. Verschillende factoren verhogen de stress: grote rampen, hoge fysieke en psychosociale eisen, bedreiging van de eigen veiligheid, getuige zijn van letsel en dood van collega's en slachtoffers, blootstelling aan chemische stoffen, enz. Vooral het redden van slachtoffers is een stressvolle en emotioneel zware activiteit. De meeste studies richten zich op posttraumatische stressstoornis (PTSS), depressie, angst, (alcohol)misbruik en slaapproblemen (Vargas de Barros et al, 2012; Cook & Mitchell, 2013). De prevalentieniveaus van psychische problemen worden over het algemeen hoger geschat dan in de algemene bevolking en variëren van 6,5 % tot 37 % (Cook & Mitchell, 2013). Zelfmoord is helaas een mogelijk gevolg van deze psychische problemen, hoewel het verband met werkstress niet altijd met zekerheid kan worden vastgesteld.

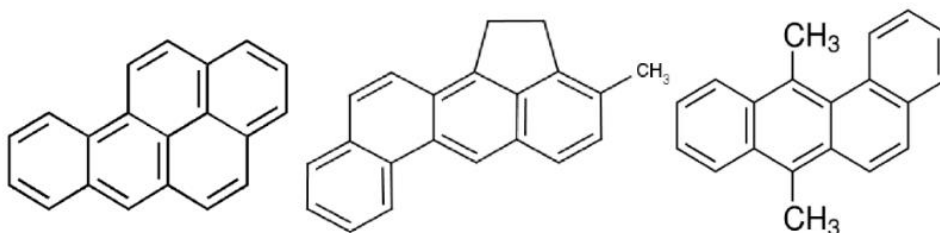
Igboanugo et al (2021) stellen dat brandweerlieden meerdere psychosociale stressoren ervaren, waaronder interpersoonlijke conflicten en zorgen over organisatorische eerlijkheid. Bij deze laatste werd een verband gevonden met verschillende gezondheidsgerelateerde uitkomsten: depressie-suïcidaliteit, niet-depressieve geestelijke gezondheidsproblemen, burn-out, alcoholmisbruik, slaapkwaliteit en fysiologische parameters en somatische aandoeningen. Cook & Mitchell (2013) noemen meerdere voorspellers van psychische problemen: jongere leeftijd, alleenstaand zijn, eerdere psychische problemen, gevoelens van onveiligheid, verwondingen, laag zelfbeeld, gebrek aan sociale steun, langere werkervaring en het bijwonen van meer traumatische gebeurtenissen, enz. Deze auteurs noemen ook twee belangrijke beschermende factoren: *coping*strategieën (praten met collega's, humor, enz.) en sociale steun (erkenning door anderen, hulp). Aangezien niet alle risico's kunnen worden vermeden, is het belangrijk dat brandweerlieden zelf de vroege tekenen van psychische problemen kunnen herkennen. Igboanugo et al (2021) suggereren dat beleid van instellingen moet worden ontwikkeld om veerkracht, eigenwaarde, sociale steun, stresshantering, een positieve kijk op de werkplek en het ontmoedigen van interpersoonlijke conflicten en pesterijen te bevorderen. Tot nu toe is er te weinig onderzoek gedaan naar de geestelijke gezondheid van brandweerlieden. Bovendien is het vergelijken van resultaten niet altijd eenvoudig, omdat de taken, werklast en organisatie kunnen verschillen tussen verschillende landen (zie ook Crawford & Graveling, 2012).

5 Blootstelling aan carcinogenen en/of hormoonontregelaars

5.1 Algemene kenmerken van de verbindingen

Tijdens interventies worden brandweerlieden vaak blootgesteld aan grote hoeveelheden potentieel (geno)toxische en kankerverwekkende stoffen die vrijkomen bij (onvolledige) verbranding. Herhaalde blootstelling en absorptie van deze verbindingen in de loop der jaren kan op lange termijn chronische gezondheidseffecten zoals kanker veroorzaken. Het valt te verwachten dat deze kwestie steeds relevanter zal worden, aangezien tegenwoordig steeds meer synthetische materialen in gebouwen worden gebruikt. Dit zorgt voor een gewijzigde blootstelling in vergelijking met het verleden, waar relatief meer hout werd gebruikt in constructies. Enkele belangrijke groepen chemische verbindingen worden hier besproken.

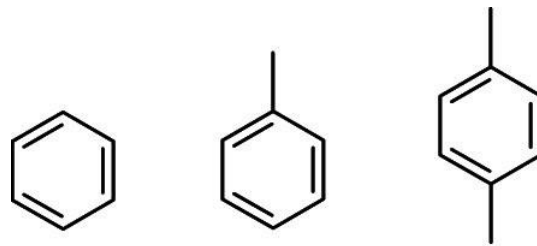
- Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's; fig. 1) worden altijd gevormd bij branden, door onvolledige verbranding van koolstof en pyrolyse van organisch materiaal. PAK's zijn dan ook wijdverbreid en worden aangetroffen in de lucht, het water, de bodem en het sediment, meestal in sporen in de buurt van hun primaire bronnen (IARC, 2010b). Meerdere PAK's zijn ingedeeld als kankerverwekkend, of waarschijnlijk en mogelijk kankerverwekkend voor de mens (groepen 1, 2A, 2B) (IARC, 2010). Daarnaast zijn ook mutagene, genotoxische en hormoonverstorende effecten bekend (Zhang et al, 2016; Stec et al, 2018). PAK's vormen de belangrijkste categorie kankerverwekkende verontreinigingen waaraan brandweerlieden worden blootgesteld. Dit wordt veroorzaakt door de bioactivatie van PAK's door specifieke cytochroom P450-isovormen in reactieve tussenproducten (diol epoxiden, chinonen, radicale PAK-kationen, enz.), die DNA in cellen/weefsels kunnen binden om DNA-adducten te vormen (Simpson & Naeher, 2010; Gao et al, 2018; Gill & Britz-McKibbin, 2020). Deze adducten induceren replicatiefouten en mutaties, die (indien niet hersteld) normale genen kunnen transformeren tot oncogenen (Gao et al, 2018). PAK's worden gecategoriseerd als persistente organische verontreinigende stoffen (POP's), aangezien zij persistent zijn in het milieu, maar bij de mens snel worden gemetaboliseerd tot kankerverwekkende verbindingen en bijgevolg worden uitgescheiden. Enkele belangrijke voorbeelden van zeer kankerverwekkende PAK's die op de PBM's van brandweerlieden zijn aangetroffen, zijn benzo[a]pyreen (B[a]P), 3-methylcholanthreen (3-MCA) en 7-12-dimethylbenz[a]antraceen (Stec et al, 2018). Niettemin is de PAK-groep zeer divers.



Figuur 1: Chemische structuur van enkele belangrijke kankerverwekkende PAK's; benzo[a]pyreen (links), 3-methylcholanthreen (midden) en 7-12-dimethylbenz[a]antraceen (rechts).

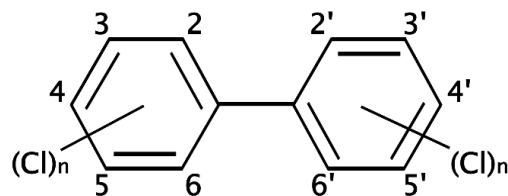
- Vluchtige organische stoffen (VOS; fig. 2) zijn gassen met een hoge dampdruk bij kamertemperatuur. Bekende voorbeelden zijn benzeen, toluen, ethylbenzeen, xyleen en styreen; dit zijn organische koolwaterstoffen. Hoewel ze grotendeels in de dampfase blijven, kunnen kleine hoeveelheden condenseren op de huid en door het lichaam worden opgenomen (Fent et al, 2020b). Antropogene VOS zijn alomtegenwoordig in huishoudelijke producten en bouwmaterialen (bv. verf) en komen derhalve vaak vrij bij branden. Sommige van deze stoffen kunnen ernstige schade toebrengen aan de menselijke gezondheid. Benzeen is een van de meest voorkomende VOS waaraan brandweerlieden worden blootgesteld. Sinds 1979 is benzeen geclassificeerd als kankerverwekkend voor de mens (IARC groep 1; positieve associaties met bijvoorbeeld verschillende vormen van leukemie,

non-Hodgkinlymfoom, longkanker in veel studies) (o.a. Loomis et al, 2017; IARC, 2018b). Daarnaast treden ook genotoxische effecten op.



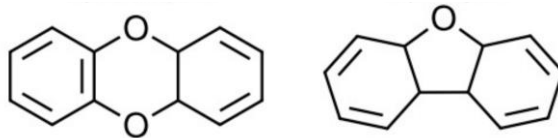
Figuur 2: Chemische structuur van enkele typische antropogene VOS; benzeen (links), toluen (midden), (para-)xyleen (rechts). Benzeen is een bekend carcinogeen.

- Polychloorbifenylen (PCB's) (fig. 3) vormen een zeer diverse groep, bestaande uit zowel dioxineachtige als niet-dioxineachtige verbindingen. PCB's zijn geclassificeerd als "kankerverwekkend voor mensen" (groep 1; IARC, 2015) en hebben hormoonontregelende effecten. PCB's veroorzaken kwaadaardig melanoom en er werden positieve associaties waargenomen voor non-Hodgkinlymfoom en borstkanker (IARC, 2015). PCB's zijn stabiele POP's die gemakkelijk oplosbaar zijn in vetten. Zij worden gebruikt in weekmakers, brandvertragende bouwmaterialen en diëlektrische vloeistoffen voor elektrische transformatoren (Baum et al, 2020). Hoewel PCB's tegen het einde van de 20^e eeuw systematisch werden verboden (VS: 1979; België: 1985), zijn zij nog steeds aanwezig als koelmiddel en vloeistof in oude transformatoren en condensatoren. Tijdens branden van deze installaties komen brandweerlieden intensief in aanraking met PCB's en nog schadelijker derivaten zoals polychloordibenzofuranen (PCDF's) of polychloordibenzo-*p*-dioxinen (PCDD's) (Kelly et al, 2002).



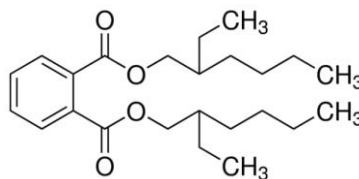
Figuur 3: Chemische structuur van PCB's. De mogelijke posities van chlooratomen op de ringstructuur zijn aangegeven met nummers.

- Dioxinen en furanen (fig. 4) worden vaak als onbedoelde bijproducten uitgestoten bij structuurbranden, samen met broomhoudende en organofosfaathoudende brandvertragers (Fent et al, 2020a). Volgens Zhang et al (2015) zijn gebromeerde vlamvertragers (PBDE's, HBCD en TBBP-A) de belangrijkste bronnen van polybroomdibenzo-*p*-dioxinen (PBDD's) en polybroomdibenzofuranen (PBDF's) in het verbrandingsproces. Naast broomverbindingen worden brandweerlieden ook blootgesteld aan polychloordibenzo-*p*-dioxinen (PCDD's) en polychloordibenzofuranen (PCDF's) (Kelly et al, 2002; Hsu et al, 2011). Dibenzodioxinen en -furanen zijn persistent in het milieu, en worden aangetroffen in de vetweefsels van zowel dieren als mensen vanwege hun hydrofobe aard en weerstand tegen het metabolisme (Van den Berg et al, 1998). Carcinogeniteit en effecten op reproductie en ontwikkeling als gevolg van hormoonontregeling zijn gemeld (Pollitt, 1999; Tang-Péronard et al, 2011). Het IARC heeft 2,3,7,8-tetrachloordibenzo-*p*-dioxine en 2,3,4,7,8-pentachloordibenzofuraan ingedeeld als kankerverwekkend voor de mens (groep 1; IARC, 2012).



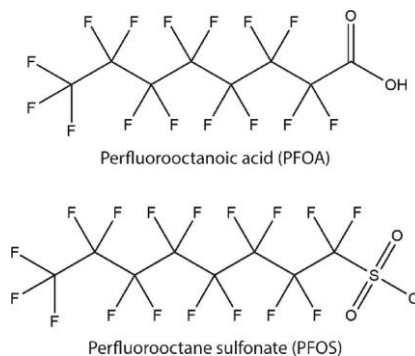
Figuur 4: Chemische structuur van dibenzo-p-dioxine (links) en dibenzofuraan (rechts).

- Ftalaten zijn esters van ftaalzuren, die meestal worden gebruikt als weekmakers van kunststoffen zoals polyvinylchloride (PVC). Zij worden vaak uitgestoten bij branden in moderne gebouwen. Een belangrijk voorbeeld is di-(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP) (fig. 5). Deze laatste wordt door het IARC geclassificeerd als mogelijk kankerverwekkend voor de mens (IARC groep 2B, IARC 2013). Alexander & Baxter (2014) vonden alarmerende concentraties DEHP op de uitrusting van brandweerlieden. Naast mogelijke kankerverwekkende eigenschappen is van DEHP bekend dat het voortplantings- en ontwikkelingstoxiciteit veroorzaakt door hormoonontregeling (Latini et al, 2004). Deze hormoonontregelende eigenschappen zijn voor veel ftalaten aangetoond (Sheikh et al, 2016).



Figuur 5. Chemische structuur van het ftalaat di-(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP).

- Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) zoals PFOA en PFOS (fig. 6) zijn nog steeds aanwezig in bepaalde soorten blusschuim, waardoor brandweerlieden worden blootgesteld (Laitinen et al, 2014). Bovendien blijven PFAS-residuen nog lange tijd na vroegere blootstelling in het lichaam aanwezig wegens de lange halveringstijd (Nilsson et al, 2022). Hoewel schuim op basis van PFOS sinds 2011 in België verboden is, worden PFAS nog steeds af en toe gebruikt om grote tankbranden in de haven van Antwerpen te blussen. PFAS zijn bekende hormoonontregelaars (bijv. Rickard et al, 2022), terwijl sommige vertegenwoordigers zoals PFOA ook zijn geclassificeerd als mogelijk kankerverwekkend voor de mens (IARC groep 2B, IARC 2016).



Figuur 6. Chemische structuur van perfluorooctaanzuur (PFOA) en perfluorooctaansulfonaat (PFOS).

- Grondstoffen in gebouwen zijn ook een punt van zorg, aangezien de vernietiging ervan tijdens branden ook een ernstige bedreiging voor de gezondheid vormt. Zo is herhaalde blootstelling aan asbest tijdens brandbestrijding een plausibele verklaring voor het verhoogde risico op mesothelioom bij brandweerlieden (Demers et al, 2022). Naast asbest zijn er tal van andere materialen, zoals teer, steenkool, olie, zware metalen, elk met hun eigen specifieke risico's.

5.2 Het meten van de blootstelling: menselijke biomonitoring

Een uitgebreid overzicht van verschillende biomarkers wordt gegeven door Barros et al (2021) om nadelige effecten als gevolg van beroepsmatige blootstelling te beoordelen (oxidatieve stress, DNA- en eiwitschade, ontsteking, stresshormonen, cardiovasculaire en longletsels, enz.) Er bestaat een verband tussen blootstelling aan brandemissies en sterk veranderde biomarkerwaarden van ontsteking (oplosbare adhesiemoleculen, tumornecrosefactor, interleukines en het aantal leukocyten), vaatschade en weefselbeschadiging (pentraxine-2, vasculaire endotheliale groeifactor en harttroponine T) (Barros et al, 2021).

Enkele typische metabolieten worden geïdentificeerd en gekwantificeerd, om de blootstelling en opname van PAK's en VOS te beoordelen:

- PAK's: Typische metabolieten die worden getarget in urinemonsters zijn 1-hydroxypyreen (1-OHP), 1-hydroxynaftaleen en meerdere isomeren van hydroxyfenantreen en hydroxyfluoreen (Stec et al, 2018; Gill & Britz-McKibbin, 2020). Naast urine zijn er ook metabolieten aanwezig in het bloed. PAK's met meer dan 4 koolstofringen worden voornamelijk in de feces geëlimineerd (Gill & Britz-McKibbin, 2020). Een andere manier om de blootstelling van de huid te kwantificeren, is het meten van PAK's rechtstreeks op de blootgestelde huid, met behulp van geschikte doekjes onmiddellijk na de interventie van de brandweerlieden.
- VOS: Om de blootstelling aan benzeen (de belangrijkste VOS) te kwantificeren, wordt zijn metaboliet S-fenylmercaptuurzuur (S-PMA) gedetecteerd in urinemonsters (Fent et al, 2014).

1-OHP heeft een halfwaardetijd van 6 - 32u met verhoogde urinaire concentraties op 6u en 20u na blootstelling (Wingfors et al, 2018; Gill & Britz-McKibbin, 2020). Vanwege deze snelle halveringstijd kan de blootstelling sterk worden onderschat wanneer het verzamelen van urinemonsters wordt uitgesteld. Jongeneelen (2014) adviseerde een beroepsmatige blootstellingslimiet voor urinaire 1-OHP van 1,0 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine, wat het "Geen waargenomen genotoxisch effectniveau" is. Het achtergrondniveau als gevolg van milieublootstelling varieert tussen 0 en 0,5 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine, terwijl het "laagst waargenomen genotoxisch effectniveau" 1,9 $\mu\text{mol/mol}$ is (Jongeneelen, 2014). Een andere interessante biomarker is 8-hydroxydeoxyguanosine, aangezien dit een indicator is van oxidatieve DNA-schade die in verband kan worden gebracht met biogetransformeerde PAK's (Gill & Britz-McKibbin, 2020). PAK-DNA-adducten zijn ook voorgesteld als biomarkers voor intoxicatie en door PAK's geïnitieerde carcinogenese door blootstelling aan rook. Immunohistochemische studies op weefselbiopten zijn echter onpraktisch voor biomonitoring, en het gebruik van leukocyten om PAK-DNA-adductvorming na blootstelling te meten, lijkt minder gevoelig (Gill & Britz-McKibbin, 2020).

Ook additieve en synergetische effecten moeten in aanmerking worden genomen. Gezien de vele vraagtekens en onzekerheden die hiermee gepaard gaan, wordt deze kwestie momenteel in veel studies buiten beschouwing gelaten. Laitinen et al (2012) hebben in hun studie over de beoordeling van meervoudige blootstelling van brandweerlieden het additieve effect voor kankerrisico's voor verschillende VOS berekend met behulp van de gevarenindexmethode. De gevarenindex was $0,39 \pm 0,21$ voor blootstelling in de conventionele simulator en $0,06 \pm 0,01$ in de moderne simulator. Deze waarden liggen onder de drempel van 1.

Zoals hierboven beschreven worden brandweerlieden in recentere gebouwen blootgesteld aan verschillende andere verbindingen dan PAK's en VOS. Alexander & Baxter (2014) vonden alarmerende niveaus van de weekmaker DEHP op beschermende kleding, zijnde 52 tot 875 keer hoger dan enige PAK-concentratie. Deze stoffen werden in de meeste eerdere studies

buiten beschouwing gelaten. Deze auteurs bepaalden de concentraties van PAK's en ftalaten in de drie lagen van de handschoenen (buitenste laag, snijweerstand; middelste laag, vochtbarrière; binnenste laag, isolatie). De PAK-concentraties in de middelste laag waren hoger dan in de buitenste laag, terwijl PAK's in de binnenste laag vrijwel afwezig waren. Voor de ftalaten (en DEHP in het bijzonder) kon een dalende gradiënt worden vastgesteld van de buitenste naar de binnenste lagen. Er werd gesuggereerd dat de ftalaten in de binnenste laag het gevolg zouden kunnen zijn van kruiscontaminatie. Niettemin blijft de aanwezigheid van DEHP in de binnenlaag zorgwekkend, aangezien deze lipofiele stof waarschijnlijk goed door de huid wordt opgenomen. Beschermingsmiddelen moeten daarom regelmatig worden gereinigd volgens een adequaat protocol.

5.3. Wijze van blootstelling en opname

Brandweerlieden worden langs verschillende wegen blootgesteld aan kankerverwekkende stoffen (inademing, inslikken, absorptie). De meeste studies wijzen echter op absorptie via de huid als belangrijkste route (Fent et al, 2014; Stec et al, 2018). Om de risico's en de doeltreffendheid van beschermingsmiddelen te kwantificeren, blijft menselijke biomonitoring essentieel.

5.2.1 Opname door de huid

De huidabsorptie van chemische verbindingen kan door meerdere factoren worden beïnvloed (bv. fysisch-chemische eigenschappen van de verontreiniging, dikte van het *stratum corneum*, dichtheid van zweetkanalen/haarfollikels, vochtigheid, wrijving, temperatuur, ...). Daarom is het belangrijk om (1) de resterende blootstelling op de huid te kwantificeren wanneer de PBM's correct worden toegepast, en (2) de verschillen in absorptiesnelheid tussen verschillende anatomische huidplaatsen te kwantificeren.

Pleil et al (2014) analyseerden ademmonsters na brandbestrijdingsoperaties in Chicago (VS) met behulp van gaschromatografie-massaspectrometrie (GC-MS). Aangezien de brandweerlieden onafhankelijke ademhalingsstoestellen (SCBA) droegen, werd blootstelling door inademing uitgesloten, en werden veranderingen in de uitgeademde lucht volledig toegeschreven aan blootstelling van de huid en penetratie van deeltjes door de persoonlijke beschermingsmiddelen. De niveaus voor sommige aromaten met één ring (vooral benzeen) en PAK's (bv. naftaleen, het meest vluchtige PAK) waren enigszins verhoogd, maar nog steeds lager dan in soortgelijke experimenten met onderhoudspersoneel van de luchtmacht (blootstelling aan vliegtuigbrandstof). De via de adem overgedragen concentraties varieerden van lage niveaus (delen per triljoen per volume, pptv) tot 100 delen per miljard per volume (ppbv). Daarom werd geconcludeerd dat PBM's van brandweerlieden vrij effectief zijn om blootstelling van de huid te voorkomen (Pleil et al, 2014). Vergelijkbare resultaten werden verkregen door Fent et al (2013; 2014), die concludeerden dat de PAK's en benzeen waarschijnlijk via de huid het lichaam binnenkwamen. Voor organische koolwaterstoffen, zoals benzeen, kan echter ook een (zeer klein) deel van de blootstelling plaatsvinden via uitgassing, ingeademd bij het verwijderen van de PBM.

In een ander experiment gebruikten Baum et al (2020) siliconen polsbandjes onder de PBM's om de blootstelling aan PAK's te beoordelen. Hoewel er een achtergrondverontreiniging was door blootstelling aan diesilverbranding, waren de PAK-niveaus na brandincidenten consistent verhoogd. Met name de concentraties van PAK's met een lager molecuulgewicht (met 2 - 3 ringen, bv. naftaleen, fenantreen, acenaftyleen) waren 42 % hoger na brandinterventies (Baum et al, 2020; gemiddelde concentratie ca. 10 ppb). Ook Levasseur et al (2022) gebruikten siliconen polsbandjes om de blootstelling van brandweerlieden aan chemische stoffen buiten diensttijd (achtergrond) en tijdens diensttijd te kwantificeren. Er werden meer dan 130 SVOS geïdentificeerd. Gebleken is dat de blootstelling aan broomhoudende brandvertragers, organofosfaatesters en PAK's verband houdt met

brandbestrijding (0,5 tot 8,5 maal hogere blootstelling tijdens de dienst). Ook de blootstelling aan PFOS was 2,5 keer hoger bij brandinterventies tijdens de dienst.

In de experimenten van Wingfors et al (2018) werd aangetoond dat de totale PAK-concentraties binnen beschermende kleding 150 keer lager waren dan daarbuiten. Deze auteurs merkten ook op dat de meest en minst vluchtige verbindingen werkbeschermingsfactoren van ongeveer 100 hadden, terwijl stoffen met een gemiddelde vluchtigheid (bijvoorbeeld fluoreen, fenantreen en antraceen) werkbeschermingsfactoren van meer dan 1 000 hadden. Concluderend: Een grote vermindering van de blootstelling kan worden bereikt door het gebruik van beschermende uitrusting. Toch bereiken kleine hoeveelheden PAK's de huid door het binnendringen van de PBM's tijdens interventies.

Niet alle delen van de huid absorberen evenveel chemische verontreinigingen. In hun studie naar de blootstelling van de huid aan PAK's bij brandweerlieden stelden Fent et al (2013; 2014) de nek vast als het meest blootgestelde deel van de huid. Dit was waarschijnlijk te wijten aan het lagere niveau van huidbescherming dat de kappen boden. De mediane PAK-niveaus op de hals varieerden van 40,4 en 53,8 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ vóór tot 52,0 en 62,8 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ na de interventie. De blootstellingsniveaus op de handen waren aanzienlijk lager (15,9 en 23,7 $\mu\text{g}/\text{m}^2$). De hals maakt 2 % uit van de totale lichaamsoppervlakte (0,042 m^2 van 2,1 m^2 ; d.w.z. 2x de oppervlakte van de palm van een hand), terwijl de handen slechts 0,11 m^2 (5,2 %) vertegenwoordigen. In het algemeen namen de PAK-niveaus op de huid na blootstelling af per anatomisch gebied: nek > scrotum > gezicht > hand & arm (Fent et al, 2013; 2014). Veel niveaus bleven onder de minimaal detecteerbare concentratie. Met uitzondering van de nek verschilden de concentraties na blootstelling niet significant van de niveaus vóór blootstelling (Fent et al, 2013). Ofwel was de blootstelling beperkter door een betere bescherming, ofwel werden de PAK's sneller door de huid geabsorbeerd vóór de periode van verzameling/bemonstering na de blootstelling. Dit laatste lijkt minder waarschijnlijk, gezien de experimentele resultaten van Vanrooij et al (1993). Deze auteurs onderzochten de absorptie van PAK's op verschillende anatomische plaatsen van de huid door het aanbrengen van koolteerzalf. Zij controleerden (1) de oppervlakteverdwijning door het meten van de PAK-fluorescentie, en (2) de urine-uitscheiding van 1-OHP. Na 45 minuten waren de gemiddelde absorptiesnelheidsconstanten voor PAK's 0,036 en 0,037 voor de enkel en de hand (palmair), en 0,053, 0,065, 0,070 en 0,135 voor de lies, het voorhoofd, de onderarm en de schouder (Vanrooij et al, 1993: tabel 3). Bovendien waren de urinaire uitscheidingscijfers van 1-OHP na toepassing van koolteerzalf op de romp over het algemeen hoger dan na toepassing op de handen. Hetzelfde geldt voor de cumulatieve hoeveelheid uitscheiding van 1-OHP, met gemiddelden van 7,7, 10,8, 11,3, 13,9 en 14,6 nmol na toepassing op respectievelijk de hand, de romp, de onderarm, de kuit en de nek (Vanrooij et al, 1993: tabel 4). In het algemeen schatten Vanrooij et al (1993) dat 20 - 56 % van een lage PAK-dosis na 6 uur door de huid wordt geabsorbeerd.

In tegenstelling tot de bevindingen van Fent et al (2013, 2014) maten Stec et al (2018) de hoogste hoeveelheden PAK's op de handen (tussen 300 en 600 mg/m^2) na blootstelling. In deze laatste studie werd een (worst case) risicokarakterisering (1 op 100 000 inwoners) geschat met behulp van kankerhellingsfactoren. Aangenomen werd dat brandweerlieden (leeftijd: 70 jaar) hun beschermende uitrusting 2 dagen per week, 50 weken/jaar gedurende 40 jaar dragen. De huidabsorptie werd verondersteld 20 % te bedragen. Er is echter geconstateerd dat de huidabsorptie lager is op de handen dan op de hoofdhuid, de oksels en het voorhoofd, vanwege de dikkere huid. Uit PAK-niveaus gemeten op de handen van brandweerlieden werd een hogere risicokarakteriseringsratio van 25 berekend (Stec et al, 2018). Dit betekent dat tot 25 brandweerlieden per 100 000 kanker kunnen krijgen door gecontamineerde handen. In dezelfde studie werd geschat dat tot 350 brandweerlieden kanker kunnen ontwikkelen als gevolg van PAK-concentraties die op kleding zijn gedetecteerd (Stec et al, 2018). Er zij echter op gewezen dat er slechts bij 4 brandweerlieden (waaronder 1

instructeur en 3 stagiairs) huidveegmonsters zijn genomen, waardoor er variabiliteit is ten opzichte van andere studies.

In hun onderzoek naar de blootstelling van brandweerlieden vonden Laitinen et al (2010) dat de hoeveelheid PAK's op de handen met 80 % afnam wanneer onder de brandweerhandschoenen (katoenen) onderhandschoenen werden gebruikt. De gemiddelde concentraties op de handen daalden van 48 ng/cm² (n = 12) tot 8,7 ng/cm² (n = 8). Ter vergelijking: de totale gemiddelde blootstelling in de brandweersimulator bedroeg 1 200 ng/cm². In Frankrijk schrijft de "*Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales*" voor dat wegwerp- of wasbare onderhandschoenen (nitril of katoen) onder brandweerhandschoenen moeten worden gedragen tijdens brandtrainingen en -interventies (opruim- en controlefase) om een betere preventie en bescherming te verkrijgen (CNRACL, 2017; ANSES, 2019). Helaas hebben de CNRACL en ANSES geen verdere gegevens of evaluaties verstrekt.

De absorptie door de huid van VOS, en van organische koolwaterstoffen in het bijzonder, moet ook in aanmerking worden genomen. De meeste van deze stoffen vervliegen echter voordat ze de huid kunnen binnendringen. Het belangrijkste voorbeeld, benzeen, kan worden gemeten in de adem, en de metaboliet S-PMA wordt gevonden in de urine. Terwijl de benzeenconcentraties na blootstelling significant verhoogd waren in de ademmonsters van Fent et al (2014), bleven de sporen in de urine onder de minimale detectiegrens van 8,5 µg/g. De ademniveaus na blootstelling (mediaan 19 µg/m³) waren vergelijkbaar met die van niet-rokende automonteurs (mediaan 19 µg/m³ na 4 uur werken) en werknemers van de Amerikaanse luchtmacht die brandstofsysteemen onderhouden (gemiddelden 1,9 - 50 µg/m³). Ook de urinaire niveaus (mediaan 62 µg/g) waren vergelijkbaar met niet-rokende asfalteerders (mediaan 110 µg/g) en niet-rokers zonder beroepsmatige blootstelling (mediaan 67 µg/g) (Fent et al, 2014). Wanneer benzeen in contact komt met de huid, vormt het *stratum corneum* van de opperhuid de belangrijkste barrière voor diffusie. Nadat het de lederhuid is binnengedrongen, bereikt het de bloedstroom en wordt het door het hele lichaam getransporteerd. De dermale dosis is een product van de flux (permeabiliteitscoëfficiënt x concentratieverschil), het blootgestelde huidoppervlak en de duur van de blootstelling (Kalnas & Teitelbaum, 2000). Hanke et al (1961) vonden een gemiddelde snelheid van 0,4 mg/cm²/h voor benzeenabsorptie op de menselijke onderarm, een maximumwaarde berekend voor een volledig bevochtigde huid. Blank & McAuliffe (1985) hebben gemeten dat de gemiddelde flux van benzeen door de epidermis (in vitro) van met benzeen verzadigde lucht (31 °C) ongeveer 1,0 µl cm⁻²h⁻¹ bedroeg. Maibach & Anjo (1981) concludeerden op basis van hun experimenten dat de handpalm van resusapen meer dan het dubbele absorbeert van de onderarm, en dat meervoudige blootstelling resulteert in meer absorptie dan een enkele blootstelling van gelijke totale tijd. Het is echter niet mogelijk de waargenomen palmaire absorptie bij resusapen rechtstreeks op de mens toe te passen, aangezien hierover geen literatuur beschikbaar is. Maibach & Anjo (1981) voegden daaraan toe dat de occlusieve methode van Hanke et al (1961) de absorptiesnelheid meer dan 10x kan hebben verhoogd. Ook de fysieke omstandigheden van de omgeving zijn van invloed op het absorptievermogen van de huid. Franz (1984; zoals geciteerd in Fent et al, 2014) vond dat de dermale absorptie van benzeendamp 2,5 tot 7,5 keer hoger was bij 100 % relatieve vochtigheid, vergeleken met 40 % relatieve vochtigheid. Daarnaast vond Franz (1984, zoals geciteerd in Fent et al, 2013) ook dat de absorptie van in water opgelost benzeen veel hoger was dan die van in toluen opgelost benzeen. Bijgevolg kan een zweterige huid de benzeenabsorptie via de huid verder vergemakkelijken. Het is waarschijnlijk dat bij toenemende temperaturen de permeatiesnelheid van de huid ook toeneemt (Fent et al, 2015). Het openen van de poriën, meer zweten en een hogere bloedstroom dragen hier waarschijnlijk aan bij. Uitgaande van een epidermale dikte voor de hals die vergelijkbaar is met die van de onderarm (75 µm), schatten Fent et al (2015) dat benzeen binnen 6 minuten in de bloedstroom kan worden opgenomen, met een geschatte permeatiecoëfficiënt van 0,08 cm/u bij normale temperaturen.

5.2.2 *Opname door inademing*

Het gebruik van ademluchttoestellen is van het grootste belang om zowel acute als chronische gezondheidseffecten als gevolg van de inademing van toxische verontreinigingen te voorkomen. Door een positieve druk in het gelaatsstuk te handhaven, wordt de brandweerman beschermd tegen schadelijke gassen tijdens de interventie. Hoewel het verschijnsel "overademen" kan optreden bij grote lichamelijke activiteit, blijft de mate van bescherming zeer hoog (Burgess & Crutchfield, 1995). De PBM's van de brandweerlieden raken echter gecontamineerd tijdens de brandinterventies, waarna uitgassing kan optreden. Daarna, tijdens het uittrekken van de PBM's en het zich verplaatsen in gesloten voertuigen met de gecontamineerde apparatuur, kan blootstelling plaatsvinden door inademing (Fent et al, 2015). Baum et al (2020) ontdekten dat er een significant verschil bestaat in PAK-uitstoot tussen brandweeruitrusting die recentelijk bij een brand is gebruikt en PBM's die dat niet hebben gedaan. De uitgassing komt voornamelijk voor bij moleculen met een laag moleculair gewicht. Met uitzondering van bv. naftaleen (twee ringen, semi-vluchtig) zijn de meeste PAK's te zwaar om te verdampen. VOS zijn dominant tijdens uitgassing, vooral benzeen en propaan zijn overvloedig aanwezig bij structuurbranden (Fent et al, 2015). De laatstgenoemde auteurs hebben 25 minuten na de voltooiing van de inspectie uitgassing gemeten. Voor styreen, benzeen, 1,4-dichloorbenzeen, aceton en cyclohexaan werd een > 5-voudige toename van de concentraties gemeten in vergelijking met de achtergrondniveaus. Deze toename was statistisch significant voor de 3 laatstgenoemde moleculen. Alle afgevoerde VOS-concentraties (de meeste < 25 ppb) bleven echter ver onder de grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling op korte termijn. Bovendien was de bijdrage van de uitgassing van brandweerkledij (n = 2) aan de totale blootstelling niet waarneembaar in de latere studie van Fent et al (2020b). Om het risico van inademing echter te beperken, kan het raadzaam zijn (1) de ademluchttoestellen pas te verwijderen als alle andere PBM's zijn uitgetrokken, (2) de gecontamineerde kleding tijdens het vervoer uit de buurt van de brandweerlieden te houden en (3) na het verwijderen zo snel mogelijk te douchen.

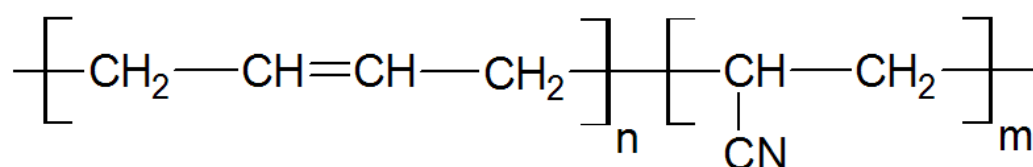
5.2.3 *Blootstelling door functietoewijzing/aanvalstactiek*

Fent et al (2020b) onderzochten of de functietoewijzing en de aanvalstactiek van brandweerlieden tijdens gecontroleerde woningbranden van invloed waren op de hoeveelheid blootstelling aan PAK's en VOS. Het bleek dat binnenaanvals- en searchbrandweerlieden meer blootgesteld waren dan buitenaanvalsbrandweerlieden (2-voudige uitgedemde benzeenconcentraties vs. 1,4-voudige). Bovendien resulteerde een overgangsaanval in 50 %, 36 % en 20 % minder opname van pyreen, fenantreen en fluoreen in vergelijking met een binnenaanval (Fent et al, 2020b). Bij overgangsaanvallen wordt het water van de buitenkant van de structuur aangebracht voordat wordt overgegaan op een binnenaanval, waarbij de structuur wordt betreden om water te sproeien. De blootstelling van het commando/pomppersoneel is waarschijnlijk voornamelijk het gevolg van inademing.

V ALGEMENE ASPECTEN VAN HANDSCHOENEN VAN NITRILBUTADIEENRUBBER (NBR)

1 Chemische eigenschappen

Nitrilbutadieenrubber (NBR, CAS 9003-18-3, ook bekend als nitrilrubber of acrylonitril-butadieenrubber) is een elastomeer dat ontstaat door copolymerisatie van butadieen en acrylonitril (bv. Hertz et al, 1995) (fig. 7). Het heeft vele toepassingen in de industrie, en wordt vaak gebruikt als afdichtingen die in contact komen met olie (Treadingham et al, 2011). De oliebestendigheid hangt grotendeels af van het acrylonitrilgehalte, dat kan variëren van 15 tot 50 % (hoog nitril > 45 %, gemiddeld nitril 30 – 34 %, laag nitril < 30 %) (bijv. ERIKS, 2022; Polymerdatabase, 2022). Naarmate het acrylonitrilgehalte toeneemt, worden sommige eigenschappen zoals dichtheid, verwerkbaarheid, uithardingsnelheid, hardheid, gasdichtheid en compatibiliteit met polymeren met een hoger polair gehalte verbeterd, terwijl het gedrag bij lage temperatuur, de veerkracht, de compressie enz. daarentegen negatief worden beïnvloed (Pazur et al, 2014). Hoe hoger het nitrilgehalte, hoe hoger de weerstand tegen aromatische koolwaterstoffen (Polymerdatabase, 2022). Het acrylonitrilgehalte in 7 NBR-handschoenen van verschillende merken werd gemeten door Phalen et al (2007), met gemiddelden tussen 12,7 en 29,9 %.



Figuur 7: Chemische structuur van acrylonitril-butadieenrubber (NBR) (Bron: polymerdatabase.com).

De gerapporteerde bedrijfstemperaturen variëren van ondergrenzen tussen -35 en -25 °C tot bovengrenzen tussen 100 en 120 °C voor de verschillende NBR-samenstellingen (Coronado et al, 2014; ERIKS, 2022; Polymerdatabase, 2022). Treadingham et al (2011) vermelden een maximale gebruikstemperatuur T_{\max} van 125 °C. T_{\max} is de temperatuur waarbij een afname van de mechanische prestaties wordt waargenomen, d.w.z. een afname van 50 % van de rek na een verouderingsperiode van 1 000 uur. Bijgevolg wordt NBR boven 100 – 120 °C "kleverig", waardoor de handschoenen meer aan de huid blijven kleven. Daarna treedt degradatie op vanaf 200 °C. LanXess (2014) vermeldt dat de ontbranding en decompositie inderdaad plaatsvinden boven 200 °C. Bij thermische vernietiging en verbranding komen koolmonoxide/dioxide, waterstofcyanide, lachgas en roet vrij (SIBUR, 2011).

Geconcludeerd kan worden dat normale NBR-handschoenen stabiel zijn bij gebruik in een bepaald temperatuurbereik, tot ten minste 100 °C.

2 Handschoenpermeatie

Connor (1999) onderzocht de permeabiliteit van verschillende handschoenmaterialen (nitrilrubber, latex, polyurethaan en neopreen) voor 18 antineoplastische geneesmiddelen, zowel hydrofiele als hydrofobe, die gedurende 30, 60, 90 en 120 minuten werden blootgesteld. Alle materialen bleken in het algemeen ondoordringbaar voor elk geneesmiddel. Slechts in enkele monsters werd als gevolg van gebreken een geringe permeatie vastgesteld.

Phalen et al (2007) onderzochten de invloed van het acrylonitrilgehalte in NBR-wegwerphandschoenen op de permeatieweerstand van waterige oplossingen van captan. De genormaliseerde doorbraakdetectietijd (NBT) nam 120 minuten toe voor elke toename van 5 % acrylonitril, terwijl de permeatiesnelheid in stationaire toestand (SSPR) afnam. De

gemiddelde SSPR varieerde van 0,002 tot 0,40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, terwijl de NBT's varieerden van 35,9 min tot 420 min (Phalen et al, 2007).

Nielsen & Sørensen (2012) vonden dat nitrilhandschoenen een aanzienlijk betere bescherming bieden tegen benzoëzuur dan latexhandschoenen. De maximale flux ($\mu\text{g}/\text{h}/\text{cm}^2$) was 1,8 in nitril, en 11,2 in latex. Het verschil in bescherming tussen beide handschoentypes nam echter af wanneer de concentraties benzoëzuur toenamen. De auteurs benadrukten ook dat deze handschoenen voor eenmalig gebruik hun bescherming verliezen bij herhaald gebruik, omdat de vertragingstijden voor de dunne handschoenen beperkt zijn en de accumulatie het verzadigingspunt kan bereiken.

Geconcludeerd kan worden dat nitrilhandschoenen zeer doeltreffend zijn om de permeatie van organische verbindingen gedurende kort (uren) en eenmalig gebruik te beperken. De doeltreffendheid van de bescherming hangt echter af van de NBR-samenstelling, aangezien een hoger acrylonitrilgehalte een betere bescherming biedt.

VI BRANDWONDEN (ALGEMEEN)

Brandwonden zijn een veel voorkomende vorm van huidletsel, en een nauwkeurige evaluatie van de ernst ervan is van het grootste belang om de juiste behandeling te bepalen. De incidentie van brandwonden hangt af van verschillende factoren: bv. de dikte van de huid, de vochtigheid van de lucht/huid, de temperatuur, de duur van het contact enz. Enkele algemene soorten brandwonden kunnen worden gekarakteriseerd op basis van de diepte van de wonden:

Eerste graad

Elke brandwond die beperkt blijft tot de opperhuid wordt beschouwd als een eerstegraads brandwond. Omdat de huidbarrière intact is, is de brandwond droog en rood. De pijn is beperkt. Minimale behandeling (pijnstilling en vochtinbrengende crème) of geen behandeling is nodig met een zeer snelle genezing (Greenhalgh, 2019).

Tweede graad

Een tweedegraads, of gedeeltelijke-diktebrandwond strekt zich uit tot in maar niet door de lederhuid (Greenhalgh, 2019). Omdat de epidermale barrière verloren is gegaan, vormt de wond een blaas of, indien onbedekt, scheidt deze interstitiële vloeistof af. Afhankelijk van de diepte van de brandwond in de lederhuid kan deze worden ingedeeld als oppervlakkige tweedegraads of diepe tweedegraads. In het eerste geval, aangezien de plexus dermalis van vaten en zenuwen intact is, zal de wond bloeden bij druk en zal de pijn hevig zijn. Oppervlakkige tweedegraads brandwonden genezen spontaan door re-epithelialisatie. De migratiegrens vanaf de wondrand is slechts 1 tot 2 cm, maar in deze oppervlakkige wonden prolifereren de keratinocyten in de overgebleven haarfollikels en andere huidadnexen en migreren naar het oppervlak om de wond opnieuw te epithelialiseren. Als de adnexen dicht op elkaar liggen, zoals in de hoofdhuid, verloopt de re-epithelialisatie veel sneller (binnen 4 tot 5 dagen) dan wanneer de adnexen minder dicht op elkaar liggen. Oudere patiënten hebben meestal minder haarfollikels dan jongere patiënten, zodat re-epithelialisatie kan worden belemmerd. De huid is ook dunner bij oudere patiënten, zodat de gevolgen van de brandwond groter kunnen zijn. Naarmate tweedegraads brandwonden dieper worden, blijven er minder huidadnexen over; diepere brandwonden hebben dus meer tijd nodig om te genezen en kunnen een chirurgische behandeling nodig hebben om op tijd te genezen (Greenhalgh, 2019).

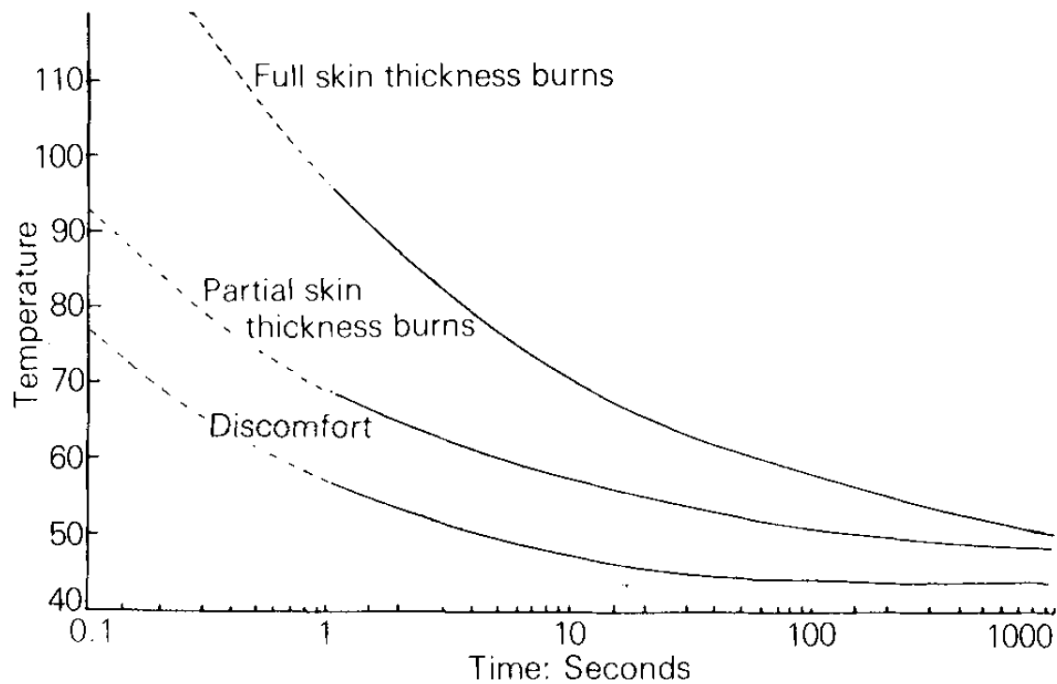
Derde graad

Een brandwond met volledige vernietiging van de lederhuid tot op het niveau van het onderhuidse vet wordt beschouwd als een derdegraads of volle-diktebrandwond (Greenhalgh, 2019). Aangezien alle vasculatuur en zenuwen van de lederhuid zijn vernietigd, treedt er geen witte verkleuring op en is de brandwond veel minder pijnlijk dan een tweedegraads brandwond. De wonden kunnen elke kleur hebben en zijn droger dan meer oppervlakkige brandwonden. De huidadnexen zijn vernietigd, dus de epitheliale migratie is beperkt tot basale cellen van de wondranden. Daarom is het grootste deel van de genezing het resultaat van granulatieweefselvorming en contractie. Kleine wonden op onbelangrijke plaatsen kunnen zonder problemen genezen, maar grotere brandwonden, vooral op belangrijke structuren, leiden tot contracturen die het functioneren belemmeren. Met voldoende tijd kan contractie de meeste wonden sluiten, maar dit leidt tot diepgaand functieverlies (Greenhalgh, 2019). Daarom hebben deze brandwonden een chirurgisch debridement en huidtransplantatie nodig.

Vierde graad

Vierdegraads brandwonden reiken tot in de spieren, botten of pezen en moeten in brandwondencentra worden behandeld, omdat daarvoor flappen of amputaties nodig kunnen zijn.

Het verband tussen de verschillende categorieën brandwonden en de temperatuur/tijdstip van contact werd gevisualiseerd door Lawrence & Bull (1976) (fig. 8). Er is een systematische review uitgevoerd door Loo et al (2018). Een algemene overeenkomst werd gevonden in alle studies die zij bekeken: de laagste temperatuur die leidde tot middernale brandwonden met een blootstellingsduur van > 10 minuten was 50 °C, de hoogste temperatuur was 100 °C die leidde tot diepe gedeeltelijke-diktebrandwonden in 10 seconden (Loo et al, 2018).



Figuur 8: Effect op de huid per blootstelling (tijd x temperatuur) (Bron: Lawrence & Bull, 1976: fig. 2)

VII OORSPRONKELIJKE VRAGEN

1 Hoe kan men het belang van een direct korte termijrisico beoordelen en vergelijken met een willekeurig lange termijrisico?

Deze vraag is zeer moeilijk te beantwoorden, omdat het vrijwel onmogelijk is een acuut risico te vergelijken met de gevolgen van chronische blootstelling. Korte termijneffecten zoals brandwonden zijn van een andere aard dan een ziekte die zich later openbaart, zoals kanker. Het verband tussen "blootstelling" en "effect" is gemakkelijker te leggen in het geval van ongevallen of acute gezondheidsproblemen (bv. CO-vergiftiging). Chronische ziekten zijn vaak multifactorieel en sommige hebben slechts een kleine kans om op te treden, terwijl korte termijrisico's optreden na een bepaald trauma. Om deze redenen wordt deze vraag niet behandeld. Optimale bescherming tegen beide risico's is vereist, maar in bepaalde gevallen moet een afweging worden gemaakt. Vervolgens moeten de resterende risico's zoveel mogelijk worden beperkt.

2 Wat is het belang van de risico's op kanker bij brandweerlieden die veroorzaakt worden door contaminatie van alleen de handen (beperkt lichaamsoppervlak)?

De totale blootstelling is veel bepalender dan alleen die van de handen. In de praktijk loopt de blootstelling niet alleen via de handen. Er moet rekening worden gehouden met verschillende opnameroutes: dermaal, peroraal, via de lucht, enz. Deze vraag zal worden geherformuleerd als: "*Wat is het belang van handcontaminatie in de totale blootstelling aan carcinogenen bij brandweerlieden?*"

3 Is het risico van kanker door contaminatie van de handen bij brandbestrijding groter dan het risico van brandwonden aan de handen?

Zie ons antwoord op de eerste vraag. Beide risico's zijn reëel en zijn door de Hoge Gezondheidsraad in dit advies in aanmerking genomen, met inbegrip van preventieve maatregelen. Het risico op brandwonden hangt af van vele factoren, zoals het soort brand, de taak tijdens de interventie en het juiste gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's). Tegelijkertijd is het risico op kanker ook multifactorieel en veel minder voorspelbaar op individuele basis. Deze vraag zal gedeeltelijk worden behandeld bij de beantwoording van de volgende vraag.

4 Kan er vanuit medisch oogpunt van worden uitgegaan dat bij brandwonden aan de handen de aanwezigheid van een gedeeltelijk gesmolten en ontbonden nitrilhandschoen geen extra risico inhoudt?

Er zal een antwoord worden gegeven op basis van deskundige expertise en literatuur.

5 Kan worden gezegd dat de behandeling van brandwonden niet wordt beïnvloed door de aanwezigheid van gesmolten nitril in de wonden, zoals in de studie wordt aangegeven?

Er zal een antwoord worden gegeven, grotendeels gebaseerd op deskundige expertise van Belgische brandwondencentra en universitaire ziekenhuizen. Het is opgenomen in het antwoord op de vorige vraag.

6 Bestaan er beschermende barrièrecremes (zoals de vuilcremes die in mechanische werkplaatsen worden gebruikt) die onder de brandweerhandschoenen op de handen van de brandweerlieden kunnen worden aangebracht en die de nitrilhandschoenen kunnen vervangen?

Deze vraag zal worden geherformuleerd als "*Zijn er andere preventieve maatregelen mogelijk om de blootstelling aan kankerverwekkende contaminanten te verminderen?*".

7 In hoeverre vermindert het nemen van een douche na een brand het risico dat contaminanten de huid binnendringen? Hoe snel worden deze huidkanker verwekkende stoffen onomkeerbaar?

Deze vragen zullen kort worden behandeld in "*Zijn er andere preventieve maatregelen mogelijk om de blootstelling aan kankerverwekkende contaminanten te verminderen?*".

VIII HERZIENE VRAGEN EN ANTWOORDEN

1 "Wat is het belang van handcontaminatie in de totale blootstelling aan carcinogenen bij brandweerlieden?"

Er zijn voldoende aanwijzingen dat beroepsmatige blootstelling bij brandweerlieden leidt tot een verhoogde incidentie van bepaalde vormen van kanker (Demers et al, 2022). Daarom is het zeer belangrijk om inademing van verbrandingsdeeltjes en gasvormige componenten te voorkomen door het dragen van een onafhankelijk ademluchttoestel (SCBA), en de huid te beschermen door een juist en maximaal gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM). Deze uitrusting is effectief (Pleil et al, 2014). Na blootstelling vonden Wingfors et al (2018) dat de totale concentraties Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK's) ca. 150 keer lager waren in beschermende kleding dan buiten. De beschermende uitrusting biedt echter geen volledige bescherming. Fent et al (2013; 2014) vonden een significant verhoogde ($P < 0,05$) ademconcentratie van benzeen na blootstelling bij brandweerlieden, wat duidt op een beperkte absorptie door de huid ondanks het gebruik van PBM's. Keir et al (2017) concludeerden dat decontaminatie van huid en PBM's na een evenement de blootstelling aan verbrandingsemissies en het bijbehorende gezondheidsrisico effectief zal verminderen.

1.1. Blootstelling per anatomisch gebied

Niet elk anatomisch gebied wordt in gelijke mate blootgesteld; dit houdt vaak verband met de verschillende efficiëntie van de persoonlijke beschermingsmiddelen. Enkele recente studies bieden meer inzicht:

Fent et al (2013, 2014) (VS): Meer dan 80 % van de brandweerlieden die deelnamen aan een vragenlijst van Fent et al (2013) rapporteerden ooit roet op hun huid te hebben gezien bij het verwijderen van PBM, en wel op het gezicht, de nek en de handen. Meer dan 50 % meldde ook roet op de armen. Daarom werden de oppervlakken van de onderarmen ($0,15 \text{ m}^2 \sim 7,1 \%$ van de $2,1 \text{ m}^2$ totale lichaamsoppervlakte van de volwassen man), de handen ($0,11 \text{ m}^2 \sim 5,2 \%$), het gezicht ($0,068 \text{ m}^2 \sim 3,2 \%$), de nek ($0,042 \text{ m}^2 \sim 2 \%$) en het scrotum ($0,054 \text{ m}^2 \sim 2,6 \%$) gescreend op PAK-niveaus na blootstelling. In totaal werden 15 brandweerlieden bestudeerd. De PAK-niveaus na blootstelling waren licht verhoogd, maar deze verhoging was slechts statistisch significant op de hals in één van de twee rondes. De rangschikking van de niveaus na blootstelling per anatomische plaats is: nek > scrotum > gezicht > hand & arm (Fent et al, 2013, 2014). In beide rondes werden mediane PAK-concentraties van $15,9$ & $23,7 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^2$ aangetroffen op de handen en $52,0$ & $62,8 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^2$ in de nek. In tegenstelling tot andere delen van het lichaam die door meerdere lagen werden bedekt, werd de nek voornamelijk beschermd door een Nomex-kap met een dubbele laag vlamwerende stof.

Stec et al (2018) (UK): Deze auteurs bestudeerden huid- en kledingmonsters van 4 brandweerlieden voor en na een trainingsoefening in een zeecontainer waarin een stuk OSB-plaat werd verbrand. De PAK-concentraties op huidveegmonsters na blootstelling waren aanzienlijk verhoogd, vooral op de handen (tot $550 \text{ mg}/\text{m}^2$), en in mindere mate op de voorkant van de hals.

Baum et al (2020) (VS): Silicone polsbandjes werden onder de PBM's gedragen. De concentraties van PAK's met een laag molecuulgewicht (naftaleen, fenantreen, enz.) waren 42 % hoger na brandinterventies, hoewel de concentraties laag bleven (stijging van ca. 7 ppb tot 10 ppb). De gemiddelde concentratie hoogmoleculaire PAK's verschilde daarentegen niet significant na blootstelling (stijging van 0,79 ppb tot 0,88 ppb).

Levasseur et al (2022) (VS): Silicone polsbandjes werden gebruikt om de blootstelling aan chemische stoffen buiten diensttijd (achtergrond) en tijdens diensttijd van 20

brandweerlieden te kwantificeren. Er werden 134 chemische stoffen gedetecteerd. De blootstelling aan PFOS tijdens de dienst was 2,5 hoger dan de blootstelling buiten de dienst. Ook de blootstelling aan PAK's, broomhoudende brandvertragers en sommige organofosfaatesters werd beroepsmatig in verband gebracht (0,5 tot 8,5 maal hoger tijdens de dienst).

Alle studies zijn het erover eens dat handen ondanks het gebruik van handschoenen gecontamineerd worden. De omvang van het probleem verschilt tussen studies: terwijl Fent et al (2013, 2014) de laagste concentraties na blootstelling vonden op de handen (n = 15), waren de handen de primaire gecontamineerde zone in Steck et al (2018) (n = 4). Wij nemen aan dat veel afhangt van de PBM's en de taak van een brandweerman tijdens de interventie. Beide studies wijzen echter op hoge risico's voor de nek, aangezien de nek minder gemakkelijk homogeen te beschermen is met PBM's.

1.2. Opname door de huid in verschillende anatomische gebieden

De absorptiesnelheid van chemische verbindingen door de huid is afhankelijk van vele factoren (bv. fysisch-chemische kenmerken van de chemische stof, vochtigheid, temperatuur, hoeveelheid zweet, dichtheid van de poriën, dikte van de huid).

Vanrooij et al (1993) hebben enkele experimenten uitgevoerd om verschillen in PAK-absorptie tussen anatomische plaatsen en verschillende individuen vast te stellen. Daarom werd op de huid op verschillende plaatsen koolteerzalf aangebracht. De volgende conclusies werden getrokken op basis van oppervlakteverdwijningsmetingen:

- In het algemeen wordt 20 - 56 % van de lage PAK-doses na 6 uur door de huid geabsorbeerd. De totale gemiddelde absorptiesnelheidsconstante (k_a) bedroeg 0,066/h.
- Metingen van de oppervlakteverdwijning tonen lage maar significante verschillen in de absorptie van PAK door de huid tussen de volgende plaatsen: schouder (0,135/h) > voorhoofd (0,065/h), onderarm (0,070/h), lies (0,053/h) > enkel (0,036/h), hand (palmaire plaats, 0,037/h).
- De verschillen tussen individuen in PAK-absorptie waren klein (7 %), vergeleken met de verschillen tussen anatomische plaatsen (69 %).

Aangenomen mag worden dat de huidabsorptie van PAK's door de handen lager is dan door de hals, aangezien de *stratum corneum* op de handpalmen dikker is. Voor de absorptie van vluchtige organische stoffen (VOS) zijn de resultaten in de literatuur moeilijker te interpreteren, aangezien voor benzeen in de experimenten vaak gebruik werd gemaakt van blootstelling aan vloeibare verdunningen.

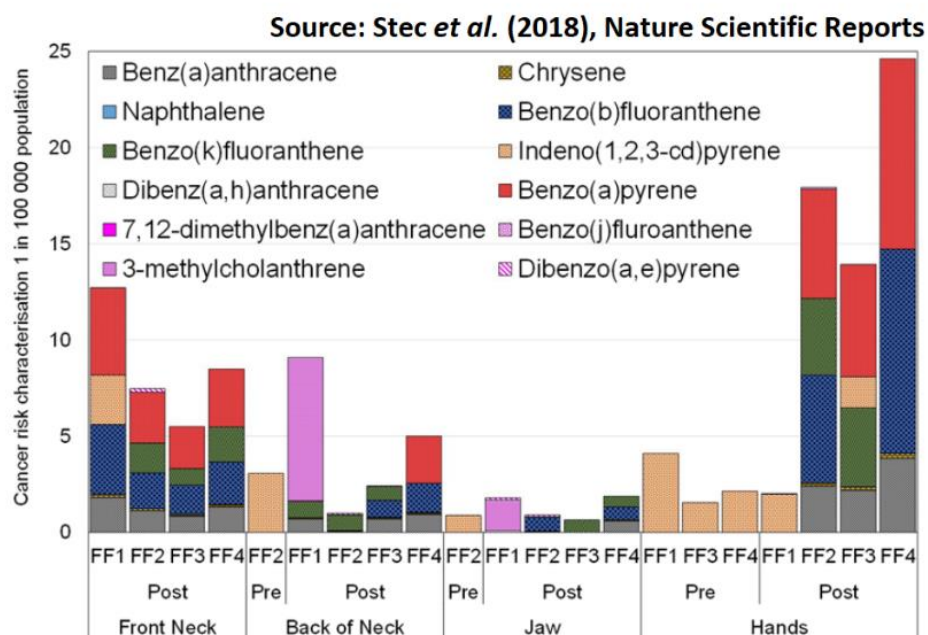
Dezer dagen worden brandweerlieden naast PAK's en VOS steeds meer blootgesteld aan andere contaminanten (bijv. Levasseur et al, 2022). Zo zijn brandweerlieden de afgelopen decennia meer blootgesteld aan PFAS dan de bevolking in het algemeen (Nilsson et al, 2022). Momenteel ontbreken gegevens om de absorptiesnelheid van al deze stoffen door de huid te kwantificeren.

1.3. Contaminatie van de handen & kankerrisico's

Het risico op kanker bij brandweerlieden wordt veroorzaakt door algemene blootstelling van het lichaam aan kankerverwekkende stoffen. De precieze invloed van de handen is moeilijk te bepalen. In de literatuur hebben alleen Stec et al (2018) een raming gemaakt (Fig. 9) op basis van hun metingen aan de handen van vier brandweerlieden na blootstelling tijdens een brandweeroefening.

In de laatstgenoemde studie werden kankerhellingfactoren (KSF) gebruikt om het kankerrisico van een levenslange blootstelling te schatten. Op basis van de Californische *Proposition 65*-wet werden de resultaten van de huid- en kledingmonsters gebruikt om de risicobeoordeling, via blootstelling van de huid, voor kankereindpunten te evalueren (Stec et al, 2018). Volgens de *EPA Guidelines for Carcinogenic Risk Assessment* werd de gedefinieerde risicofactor geschat op 1 op 100 000 gevallen van kanker per populatie. Uitgaande van (1) een dermale absorptie van PAK's van 20 %, (2) het dragen van brandweerkledij 2 dagen per week, 50 weken/jaar gedurende een carrière van 40 jaar en (3) een leeftijd van 70 jaar, schatten Stec et al (2018) dat het hoogste risico te wijten is aan dermale blootstelling. Op basis van hun metingen van PAK's op kleding werd berekend dat tot 350 brandweerlieden kanker kunnen krijgen door deze concentraties, terwijl een hogere risicokarakterisatie van 25 werd vastgesteld op basis van de PAK's die na blootstelling op de huid van de handen werden aangetroffen (fig. 9). Wel moet worden opgemerkt dat de door Stec et al (2018) gemeten PAK-concentraties op de huidmonsters duidelijk hoger waren dan in de meeste andere studies. Blootstelling aan handen kan, zoals verwacht, slechts een klein deel van het veel grotere kankerprobleem onder brandweerlieden verklaren.

Gezien de experimentele resultaten in de literatuur, maar ook de bestaande onzekerheden, kan worden geconcludeerd dat de handen van brandweerlieden worden blootgesteld aan kankerverwekkende stoffen. Zij absorberen PAK's echter minder snel dan de halsregio, die ook in hoge mate is blootgesteld. De blootstellingsniveaus kunnen worden gekoppeld aan de doeltreffendheid van de beschermingsmiddelen. Niettemin kan contaminatie van de handen niet worden genegeerd, en moet het contact met kankerverwekkende stoffen zoveel mogelijk worden beperkt om het risico op kanker tot een minimum te herleiden.



Figuur 9. Geraamde karakterisering van het kankerrisico (1 op 100 000 inwoners) via huidabsorptie voor elke gedetecteerde kankerverwekkende verbinding, gemeten op verschillende anatomische gebieden van het lichaam na blootstelling (Stec et al, 2018: fig. 6A).

2. "Kan er vanuit medisch oogpunt van worden uitgegaan dat bij brandwonden aan de handen de aanwezigheid van een gedeeltelijk gesmolten en ontbonden nitrilhandschoen geen extra risico inhoudt?"

2.1. Kan nitrilbutadieenrubber smelten?

Nitrilbutadieenrubber (NBR) is geen thermoplastisch materiaal, maar een elastomeer. Elastomeren worden verkregen door onomkeerbare verharding ("*curing*") met het tot stand brengen van een kruisverbinding tussen polymeerketens. In tegenstelling tot thermoplastische polymeren kunnen elastomeren niet smelten om opnieuw te worden gevormd. **Er kan dus geen sprake zijn van gesmolten NBR.**

NBR is stabiel en behoudt zijn eigenschappen tot ongeveer 120 °C. Boven deze maximumtemperatuur begint de degradatie. Het rubber wordt "kleverig" en zal meer "plakken" aan de huid.

In tegenstelling tot smelten ontbindt NBR wel. Bij zeer hoge temperaturen (enkele honderden graden, > 200 °C) vindt thermische vernietiging en verbranding plaats, waarbij ook giftige verbindingen zoals waterstofcyanide vrijkomen. Deze temperaturen zijn echter zo hoog dat de brandweerlieden bij dergelijke ernstige ongevallen waarschijnlijk zouden sterven, ongeacht de NBR-handschoenen.

2.2. Wat betekent dit voor de brandwonden?

Bij hoge temperaturen wordt NBR kleverig aan de huid, met als gevolg een langere contacttijd, aangezien het verwijderen van de hete handschoenen waarschijnlijk meer tijd zal vergen. De langere contacttijd met het hete materiaal is evenredig met de diepte van de brandwond. Derhalve kan worden aangenomen dat de **NBR-handschoenen een extra risico inhouden**, waardoor de ernst van de brandwonden toeneemt. Bovendien kan de wondverzorging pas beginnen nadat het gedegradeerde warme nitrilrubber is verwijderd, wat een extra complicatie kan opleveren.

2.3. Is het dragen van NBR-(onder)handschoenen een aanvaardbare preventieve maatregel?

Er moeten meerdere situaties worden beschouwd.

Direct contact van een NBR-handschoen met koude oppervlakken (zonder brandweerhandschoen)

In koude zones is er geen gevaar voor brandwonden. Hierbij bieden NBR-handschoenen een zeer goede huidbescherming tegen kankerverwekkende verontreinigingen bij het opruimen of manipuleren van blootgestelde voorwerpen of PBM's.

Uit de gesprekken is gebleken dat verscheidene Belgische brandweerlieden daadwerkelijk NBR-handschoenen dragen onder brandweerhandschoenen (zowel van textiel als van leer), met als voornaamste doel zo lang mogelijk na de interventie, wanneer de brandweerhandschoenen worden uitgetrokken, beschermd te zijn tegen contaminanten.

Direct contact van NBR-handschoen met (potentieel) hete oppervlakken (zonder brandweerhandschoen)

Elk contact met hete voorwerpen is uit den boze. Brandwonden worden verergerd door de NBR-handschoenen.

NBR-handschoenen gedragen onder brandweerhandschoenen tijdens hete interventies

Bij gecombineerd gebruik van NBR-onderhandschoenen en brandweerhandschoenen moeten twee risico's worden afgewogen:

- Het risico van blootstelling van de huid en absorptie van door het vuur uitgestoten kankerverwekkende stoffen. Gezien het belang van de handen bij brandbestrijdingstaken is het van essentieel belang dat zij tijdens interventies maximaal beschermd worden. De nitrilonderhandschoenen vormen een zeer geschikte barrière voor deze stoffen (PAK's, VOS, enz.), vooral wanneer lederen brandweerhandschoenen worden gebruikt, waarin de kankerverwekkende stoffen zich kunnen ophopen.
- Het risico van ernstiger brandwonden door langere contacttijden met de NBR-onderhandschoenen, bij ernstige incidenten waarbij de handen ondanks het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen worden verbrand.

Zowel het chronische risico van kanker als het acute risico van brandwonden zijn legitieme zorgen. Daarom is het belangrijk na te gaan hoe relevant het tweede scenario is:

- Uit de gesprekken met vertegenwoordigers van brandweerkorpsen in Brussel en Verviers is gebleken dat er in België geen gevallen bekend zijn van brandwonden aan de handen als gevolg van NBR-handschoenen voor brandweerlieden. De combinatie wordt door velen als positief beschouwd.
- In de wetenschappelijke literatuur zijn geen rapporten gevonden over brandwonden als gevolg van contact met NBR-handschoenen.
- In Noorwegen (Bergen) is één geval bekend van verbrande handen van een brandweerman die nitrilhandschoenen (NBR) droeg onder zijn brandweerhandschoenen tijdens een hete rooktraining (Kristoffersen, pers. comm. 2022). Er was een *flashover* tijdens deze oefening, en een plotselinge temperatuurstijging in de kamer deed het vocht op zijn handen koken. Achteraf werd besproken dat hij ook zonder NBR-onderhandschoenen zijn handen zou hebben verbrand, en dat de brandweerman niet de juiste dingen heeft gedaan om de temperatuur in de kamer vroeg genoeg te verlagen. Helaas is er geen schriftelijk verslag beschikbaar.
- Op basis van de ervaring van deskundigen in onze werkgroep uit Belgische brandwondencentra en universitaire ziekenhuizen blijkt dat brandwonden aan de handen van brandweerlieden eerder zeldzaam zijn. Brandwonden kwamen vaker voor in bijvoorbeeld de halsstreek. De internationale wetenschappelijke literatuur bevestigt dit beeld deels en wijst erop dat onjuist gebruik van PBM's verantwoordelijk is voor het overgrote deel van de brandwonden van brandweerlieden (bijv. Madden et al, 1995; Kahn et al, 2012). Welke anatomische regio het meest verbrand is, varieert in de verschillende studies; veel studies noemen het gezicht en de nekregio's (Kahn et al, 2012; Kim et al, 2016; Rabbitts et al, 2005 voor ambulante gevallen), terwijl andere studies de onderste ledematen aanwijzen als meest verbrande plaatsen (Madden et al, 1995; Rabbitts et al, 2005 voor opgenomen gevallen). In de aangehaalde studies varieert het percentage handbrandwonden van 9,4 % tot meer dan 20 %.

Gezien de uitstekende bescherming die NBR-onderhandschoenen bieden tegen kankerverwekkende verontreinigingen (noodzakelijk in ongewassen leren brandweerhandschoenen) en de beperkte incidentie van brandwonden aan de handen (bij correct gebruik van PBM's), acht de HGR-werkgroep het gebruik van NBR-onderhandschoenen in combinatie met brandweerhandschoenen (leer en textiel)

aanvaardbaar. Dit standpunt is gebaseerd op de huidige kennis, en kan te allen tijde worden gewijzigd indien nieuwe relevante gegevens beschikbaar komen.

Het is van het grootste belang dat de NBR-onderhandschoen altijd volledig wordt bedekt door de brandweerhandschoenen, zodat de NBR niet aan de hitte kan worden blootgesteld. Bovendien mogen de NBR-onderhandschoenen slechts eenmaal worden gebruikt, aangezien het risico van scheuren te groot is bij hergebruik, waardoor de bescherming tegen kankerverwekkende stoffen afneemt. Hoewel nitrilhandschoenen vrij stabiel zijn, kan het langzame, geleidelijke kwaliteitsverlies na verloop van tijd door verschillende factoren worden beïnvloed (zie ook Esmizadeh et al, 2021)

3. "Zijn er andere preventieve maatregelen mogelijk om de blootstelling aan kankerverwekkende contaminanten te verminderen?"

Verschillende brandweerzones hebben uitgebreide richtlijnen voor decontaminatie. De zone Vesdre - Hoëgne & Plateau heeft een instructievideo ontwikkeld over de persoonlijke procedure voor decontaminatie en het vermijden van kruiscontaminatie (link geraadpleegd op 10/11/22): <https://www.youtube.com/watch?v=sr12RV9YVGc>.

Enkele belangrijke overwegingen worden hier voorgesteld door de Hoge Gezondheidsraad. Deze paragraaf is deels gebaseerd op "*Recommendations for Protecting Fire Fighters*" in Fent et al (2013).

3.1. Alternatieven voor NBR-onderhandschoenen?

Er bestaan geen barrièrecrèmes (onzichtbare handschoenen) die een efficiënte bescherming van de handen tegen verontreinigingen onder brandweerschoenen mogelijk maken. Alternatieven zoals katoenen in plaats van nitrilonderhandschoenen (NBR) kunnen worden overwogen, maar de doeltreffendheid daarvan zal geringer zijn. Laitinen et al (2010) vonden dat de hoeveelheid PAK's op de handen met 80 % afnam wanneer katoenen onderhandschoenen werden gebruikt. Katoenen stippenhandschoenen worden gebruikt door brandweerinstructeurs in Finland, omdat ze comfortabeler schijnen te zijn. Deze handschoenen worden echter alleen gedragen als er weinig bluswater wordt gebruikt. Natte handschoenen kunnen bij incidenten tot brandwonden leiden. Vanwege dit risico en de onzekerheid of natte katoenen onderhandschoenen verontreinigingen sneller naar de huid zouden transporteren, raden wij het gebruik ervan af.

3.2. Het breedst mogelijke gebruik van ademluchttoestellen "van begin tot eind".

Om de inademing van kankerverwekkende verontreinigingen zoveel mogelijk te beperken, moet tijdens interventies zoveel mogelijk gebruik gemaakt worden van een ademluchttoestel. Werken met ademluchttoestellen is uitputtend, maar er is geen haalbaar alternatief. Het ademluchttoestel moet regelmatig worden gecontroleerd om er zeker van te zijn dat het goed functioneert. Na elke interventie moet het ademluchttoestel worden gereinigd omdat het in hoge mate aan rook en roet is blootgesteld.

3.3. Wind

Blijf bovenwinds van branden als u niet rechtstreeks bij de brandbestrijding betrokken bent.

3.4. Ventilatie

Door de brandweer geïnspecteerde verbrande ruimten moeten zoveel mogelijk worden geventileerd.

3.5. Correct gebruik van PBM's

Het is belangrijk dat alle persoonlijke beschermingsmiddelen correct worden gebruikt. De huid moet zoveel mogelijk worden bedekt om contaminatie tijdens en onmiddellijk na de interventies te voorkomen. Bijzondere aandacht moet worden besteed aan het bedekken en beschermen van de nek, aangezien deze in hoge mate blootgesteld is en de huid ervan sneller verontreinigingen lijkt te absorberen.

3.6. Bescherming van de handen tijdens brandinterventies

Brandweerhandschoenen hebben tijdens interventies drie functies: (1) bescherming tegen hitte, (2) bescherming tegen mechanische wonden en (3) het vormen van een barrière om te voorkomen dat giftige stoffen de huid bereiken. Helaas houden brandweerhandschoenen niet alle stoffen tegen, zodat de huid altijd in lichte mate wordt blootgesteld. Aangezien lederen handschoenen echter moeilijk te wassen zijn, kunnen zich in dit soort handschoenen toxische stoffen ophopen. Daarom is het belangrijk om tijdens interventies nitrilonderhandschoenen (NBR - wegwerphandschoenen) onder de lederen handschoenen te dragen. De nitrilhandschoenen moeten volledig bedekt zijn, want ze mogen niet in contact komen met warmte. Ze kunnen maar één keer gebruikt worden. Nitrilonderhandschoenen kunnen ook worden gecombineerd met textiele brandweerhandschoenen, maar de acute behoefte is hier kleiner omdat textiele handschoenen gemakkelijker kunnen worden gereinigd.

3.7. Bescherming van de handen na brandinterventies

Na de interventie is het belangrijk de nitrilhandschoenen zo lang mogelijk aan te houden wanneer u uw eigen beschermingsuitrusting verwijdert, om contact met roet en verontreinigingen te voorkomen. Ze moeten ook worden gedragen bij het opruimen in koele gebieden na de brand. De nitrilhandschoenen mogen nooit rechtstreeks in contact komen met hete oppervlakken. Als er nog een kans bestaat dat voorwerpen niet volledig zijn afgekoeld, mogen nitrilhandschoenen alleen onder een gewone brandweerhandschoen worden gedragen. Ze zijn geschikt voor eenmalig gebruik.

3.8. Bescherming tegen uitgassing na brandinterventies

Het ademluchttoestel en de kappen mogen alleen aan het einde worden afgenomen en wanneer de PBM's na een interventie worden verwijderd. Alle gebruikte PBM's moeten in een aparte ruimte worden vervoerd, fysiek gescheiden van de cabine waar de brandweerlieden tijdens hun vervoer naar de post verblijven. Gecontamineerde PBM's mogen niet worden opgeslagen in persoonlijke voertuigen of woonruimten van brandweerlieden.

3.9. Bescherming van de gehele huid na brandinterventies

De handen moeten onmiddellijk na de interventie worden gewassen. Brandweerlieden moeten roet zo snel mogelijk van de huid verwijderen. Koude natte doekjes kunnen worden gebruikt om de meest gecontamineerde gebieden eerst schoon te maken. Douchen moet koud beginnen, om de poriën te sluiten terwijl het meeste roet wordt weggespoeld. Daarna kan men verder douchen met een comfortabele warme temperatuur, om de poriën weer te openen. Het is belangrijk zeep met oppervlakte-actieve stoffen te gebruiken om PAK's efficiënt te verwijderen.

3.10. Decontaminatie en reiniging van PBM's

Het is belangrijk dat de PBM's na elke interventie worden gereinigd. Gecontamineerde PBM's mogen in geen geval mee naar huis worden genomen en moeten regelmatig professioneel worden gereinigd (zie ook ISO 15797-2).

De *National Fire Protection Association* (VS) schetst drie reinigingsniveaus (NFPA 1851 Richtlijn):

- 1) Routinereiniging/decontaminatie op het veld (elke interventie).
- 2) Geavanceerde reiniging in een geschikte industriële wasmachine (minstens twee keer per jaar).
- 3) Gespecialiseerde behandeling (chemische / biologische gevaarlijke producten).

De NFPA heeft een video gemaakt over hun "geavanceerde reinigingsprocedure" van handschoenen: <https://www.youtube.com/watch?v=R3Ozwc7UgD4>. (link geraadpleegd op

25/10/22). Sommige fabrikanten van brandweerkleding bieden gespecialiseerde wasdiensten aan: <https://sioenfire.com/nl/gebruik/wasunit-graulhet> (link geraadpleegd op 25/10/22).

De doeltreffendheid van de verschillende reinigingsmethoden loopt sterk uiteen.

- Reiniging met lucht: Een luchtstraal afkomstig van een aangepaste elektrische bladblazer werd gebruikt door Fent et al (2017). Met deze methode kon de PAK-verontreiniging slechts met een mediaan van 2 % worden verminderd. Deze methode is dus ontoereikend.
- Reiniging met droge borstel: Een industriële schrobborstel om vuil en verontreinigingen van de uitrusting te schrapen. Met deze methode kon de PAK-verontreiniging met een mediaan van 23 % worden verminderd (Fent et al, 2017). Deze methode is gemakkelijk toe te passen, ondanks haar beperkte efficiëntie.
- Natte reiniging met zeep: Meerdere protocollen zijn mogelijk. Fent et al (2017) spoelden de uitrusting voor met water, gevolgd door het besproeien met een zeepmengsel, het schrobben van de uitrusting met een industriële schrobborstel met het zeepmengsel, en het spoelen met water. Met deze methode kon de PAK-verontreiniging met een mediaan van 85 % worden verminderd (Fent et al, 2017). Aangezien PAK's in lipiden oplosbare verbindingen zijn, omgeven oppervlakte-actieve stoffen in zeep deze moleculen en bevrijden ze uit hun omgeving (Fent et al, 2017). Helaas is deze procedure tijdrovend en daarom vaak niet uitgevoerd na elke interventie, ondanks de relatieve doeltreffendheid ervan.

Een rapport van het Fins Instituut voor Gezondheid op het Werk, het Finse Nationaal Instituut voor Gezondheid en Welzijn en het Nederlandse Instituut voor Fysieke Veiligheid (IFV) (2018) liet een lagere effectiviteit zien voor de meest gebruikte waterreinigingsmethoden (maximale efficiëntie van 40 %). Mayer et al (2019) reinigden kappen in een voorladerwasmachine zonder roerwerk met een was/spoelcyclus van 55 minuten, met commerciële ARM & HAMMER Plus OxiClean-wasmiddelen. De kappen werden vier keer gereinigd. Zij stelden vast dat de doeltreffendheid van het wassen grotendeels afhangt van het soort chemische verontreinigingen: een groot percentage PAK's werd verwijderd, maar er was sprake van kruiscontaminatie tussen kappen met verschillende brandvertragers (NPBFR, OPFR, PBDE). Banks et al (2021) ontdekten dat de huidige was- en reinigingstechnieken met alleen water de SVOS niet effectief verwijderen uit de uniformen van brandweerlieden, en dat contaminatie van wasmachines en kruiscontaminatie van wasgoed kan optreden. Engelsman et al (2023) ontdekten bij een huishoudelijke voorlader op 60 °C ook kruiscontaminatie, vooral op synthetische en minder op katoenen onderkleding.

- Reiniging door ozonkamer: Volgens de fabrikanten worden vluchtige fracties in 2 - 5 minuten grotendeels gereduceerd door de afbraak door ozon en oxidatie tot CO₂ en water. De Melo Lucena et al (2021) vonden echter dat eenvoudige blootstelling van PBM's aan een ozonatmosfeer niet volstaat om een significante ozonolyse te verkrijgen. Bovendien waarschuwden deze auteurs dat pas geoxideerde PAK's nog schadelijker voor de menselijke gezondheid kunnen zijn dan de oorspronkelijke verbindingen.
- Reiniging met LCO₂: Vloeibare CO₂ wordt toegepast onder een hoge druk (ca. 53 bar) bij lage temperaturen (ca. 22 °C), zodat het de vezels van meerlaagse structuren grondig kan penetreren (Szmytke et al, 2022). De verontreinigingen in het textiel worden bijna volledig verwijderd door de CO₂. Het totale PAK-gehalte na de behandeling lag in de studie van Szmytke et al (2022) altijd onder de detectiegrens (< 0,6 mg/kg). Laatstgenoemde auteurs bevelen sterk aan dat schoonmaak met LCO₂

ten minste tweemaal per jaar wordt toegepast en na incidenten waarbij verontreiniging waarschijnlijk is. Een bijkomend voordeel is dat de PBM-kleding niet mechanisch wordt beschadigd. Bijgevolg kan deze methode een optie zijn voor het reinigen van lederen brandweerhandschoenen. Een nadeel is de hogere kostprijs in vergelijking met traditionele reinigingsmethoden met water.

Een goede decontaminatiestrategie voor persoonlijke beschermingsmiddelen bestaat uit een combinatie van verschillende maatregelen, elk met een verschillende doeltreffendheid, waarbij een zo hoog mogelijke mate van reinheid kan worden bereikt op een zo kosteneffectief mogelijke manier. Reiniging met droge borstel en natte zeep kan routinematig worden toegepast, totale decontaminatie met LCO₂ op regelmatige basis (ten minste twee keer per jaar) wordt ook aanbevolen.

IX REFERENTIES

Alexander BM, Baxter CS. Plasticizer Contamination of Firefighter Personal Protective Clothing. A Potential Factor in Increased Health Risks in Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2014;11:D43-D48.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15459624.2013.877142>>

ANSES. Risques sanitaires liés aux expositions professionnelles des sapeurs-pompiers. Rapport d'appui scientifique et technique. Demande « n°2018-SE-0066 – Pompiers ». ANSES 2019;1-154.

Available from : URL: <<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2018SA0066Ra.pdf>>

Barros, B., Oliveira, M., & Morais, S. Firefighters' occupational exposure: Contribution from biomarkers of effect to assess health risks. *Environment international* 2021;156:106704.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106704>>

Bates JT. Coronary artery disease deaths in the Toronto fire department. *Journal of Occupational Medicine* 1987;29:132–35.

Banks APW, Wang X, Engelsman M, He C, Osorio AF, Mueller JF. Assessing decontamination and laundering processes for the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons and flame retardants from firefighting uniforms. *Environmental Research* 2021;194:110616.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110616>>

Baum JL, Bakali U, Killawala C, Santiago KM, Dikici E, Kobetz EN et al. Evaluation of silicone-based wristbands as passive sampling systems using PAHs as an exposure proxy for carcinogen monitoring in firefighters: Evidence from the firefighter cancer initiative. *Ecotoxicology and environmental safety* 2020;205:111100.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111100>>

Blank IH, McAuliffe DJ. Penetration of benzene through human skin. *Journal of Investigative Dermatology* 1985;85:522-526.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12277325>>

Burgess JL, Crutchfield CD. Quantitative Respirator Fit Tests of Tucson Fire Fighters and Measurement of Negative Pressure Excursions During Exertion. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 1995;10:29-36.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/1047322X.1995.10387608>>

Byczek, L., Walton, S. M., Conrad, K. M., Reichelt, P. A., & Samo, D. G. (2004). Cardiovascular risks in firefighters: implications for occupational health nurse practice. *AAOHN Journal*, 52,66-76.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1177%2F216507990405200205>>

Caban-Martinez AJ, Lauzado Feliciano P, Oduwole S, Schaefer Solle N, Gonzalez-Umana C, Stone T et al. Abstract 25: Per- and polyfluoroalkyl substances and obesity in Florida firefighters. *Cancer Research* 2022, 82 (12_Supplement):25.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1158/1538-7445.AM2022-25>>

Clarke C, Zak MJ. Fatalities to Law Enforcement Officers and Firefighters, 1992-1997. *Compensation and Working Conditions* 1999;3-7.

CNRACL. Impacts et prevention des risques relatifs aux fumées d'incendie pour les sapeurs-pompiers. France, Bordeaux : Caisse Nationale de Retraites des Agents des Collectivités locales 2017;1-19.

Connor TH. Permeability of nitrile rubber, latex, polyurethane and neoprene gloves to 18 antineoplastic drugs. American Journal of Health-System Pharmacy 1999;56:2450-2453.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/ajhp/56.23.2450>>

Cook B, Mitchell W. Occupational health effects for firefighters: The extent and implications of physical and psychological injuries. Centre of Full Employment and Equity 2013;1-71.
Available from: URL: <<https://www.aph.gov.au/DocumentStore.ashx?id=6b768cf1-2ead-450a-8037-f03a53e8d7b2&subId=613112>>

Crawford JO, Graveling RA. Non-cancer occupational health risks in firefighters. Occupational Medicine 2012;62:485-95.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/occmed/kqs116>>

Daniels RD, Kubale TL, Yiin JH, Dahm MM, Hales TR, Baris D et al. Mortality and cancer incidence in a pooled cohort of US firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia (1950-2009). Occupational & Environmental Medicine 2014;71:388-97.
Available from: URL: <<http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2013-101803>>

De Melo Lucena MA, Zapata F, Mauricio FGM, Ortega-Ojeda FEO, Quintanilla-López MG et al. Evaluation of an Ozone Chamber as a Routine Method to Decontaminate Firefighters' PPE. International Journal of Environmental Research and Public Health 2021;18:10587.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.3390/ijerph182010587>>

Demers PA, DeMarini DM, Fent KW, Glass DC, Hansen J, Adetona O et al. Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighters. The Lancet 2022;23 :985-86.
Available from: URL: <[https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00390-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00390-4)>

Engelsman M, Toms LML, Wang X, Banks APW. Firefighter undergarments: Assessing contamination and laundering efficacy. Environmental Research 2023;216:114344.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114344>>

ERIKS. NBR.

Available from: URL: <<https://o-ring.info/en/materials/nitrile--nbr/#:~:text=About%20NBR,in%20the%20seal%20industry%20today>> [Accessed on 18/07/2022]

Esmizadeh E, Chang BP, Jubinville D, Seto C, Ojogbo E, Tzoganakis C et al. Stability of nitrile and vinyl latex gloves under repeated disinfection cycles, Materials Today Sustainability 2021;11–12:100067.
Available from : URL: <<https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2021.100067>>

Fent KW, Eisenberg J, Evans D, Sammons D, Robertson S, Striley C et al. Evaluation of dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in fire fighters. Health Hazard Evaluation Program, Report No. 2010-0156-3196. U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health; 2013.
Available from: URL: <<https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2010-0156-3196.pdf>>

Fent KW, Eisenberg J, Snawder J, Sammons D, Pleil JD, Stiegel MA et al. Systemic Exposure to PAHs and Benzene in Firefighters Suppressing Controlled Structure Fires. The Annals of Occupational Hygiene 2014;58:830-45.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/annhyg/meu036>>

Fent KW, Evans DE, Booher D, Pleil JD, Stiegel MA et al. Volatile Organic Compounds Off-gassing from Firefighters' Personal Protective Equipment Ensembles after Use. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2015;12:404-14.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1025135>>

Fent KW, LaGaurdia M, Luellen D, McCormick S, Mayer A, Chen I-C et al. Flame retardants, dioxins and furans in air and on firefighters' protective ensembles during controlled residential firefighting. *Environment International* 2020a;140:105756.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105756>>

Fent KW, Toennis C, Sammons D, Robertson S, Bertke S, Calavat AM et al. Firefighters' absorption of PAHs and VOCs during controlled residential fires by job assignment and fire attack tactic. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 2020b;30:338-49.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1038/s41370-019-0145-2>>

Finnish Institute of Occupational Health, the National Institute of Health and Welfare of Finland, Dutch Institute for Occupational Safety (IFV); Study report on the effectiveness of PPE water cleaning, 8th European Conference on Protective Clothing, 7th - 9th May 2018, Porto, Portugal.

Gao P, da Silva E, Hou L, Denslow ND, Xiang P, Ma LQ. Human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Metabolomics perspective. *Environment International* 2018;119:466-77.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.017>>

Gaughan DM, Cox-Ganser JM, Enright PL, Castellan RM, Wagner GR, Hobbs GR et al. Acute Upper and Lower Respiratory Effects in Wildland Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2008;50:1019-28.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/jom.0b013e3181754161>>

Gill B, Britz-McKibbin P. Biomonitoring of smoke exposure in firefighters: A review. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2020;15:57-65.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.04.002>>

Guidotti TI, Clough VM. Occupational health concerns of firefighting. *Annual Review of Public Health*; 1992;13:151-71.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1146/annurev.pu.13.050192.001055>>

Graveling RA, Crawford JO. Occupational health risks in firefighters. IOM 2010; Strategic Consulting Report: P530,1-256.

Available from: URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/330372/occu-health-risk-in-firefighters.pdf>

Hanke J, Dutkiewicz T, Piotrowski J. The absorption of benzene through the skin of man. *Medycyna Pracy* 1961;12:413-26.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1179/oeh.2000.6.2.104>>

Hertz DL, Bussem H, Ray TW. Nitrile Rubber – Past, Present and Future. *Rubber Chemistry and Technology* 1995;63:540-46.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.5254/1.3538754>>

Hong S, Chin DL, Phelps S, Feld J, Vogel S. Occupational injuries, duty status and factors associated with injuries among firefighters. Workplace Health & Safety 2012;60:517-23.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1177/216507991206001203>>

Hsu JF, Guo HR, Wen Wang H, Liao CK, Liao PC. An occupational exposure assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofurans in firefighters. Chemosphere 2011;83:1353-59.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.079>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 92 some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. WHO International Agency for Research on Cancer; 2010a.
Available from: URL: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 98 Painting, Firefighting, and Shiftwork. WHO International Agency for Research on Cancer; 2010b.
Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Painting-Firefighting-And-Shiftwork-2010>>

IARC. Chemical agents and related occupations. Volume 100 F. A Review of human carcinogens. WHO International Agency for Research on Cancer; 2012.
Available from: URL: <<https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100F.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 101 Some chemicals present in industrial and consumer products, food and drinking water. WHO International Agency for Research on Cancer; 2013.
Available from: URL: <<https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono101.pdf>>

IARC. . Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 107. Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. WHO International Agency for Research on Cancer; 2015.
Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/publications/media/download/5979/c395f7fad077e8a5774c72c089a212d67cc18de1.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 110 Some chemicals used as solvents and in polymer manufacture. WHO International Agency for Research on Cancer; 2016.
Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/publications/media/download/5626/38eb12059ccc7026d9c3b073e0ca7a7c667bd4c6.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: vol. 107. Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. WHO International Agency for Research on Cancer; 2018a.
Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/publications/media/download/5979/c395f7fad077e8a5774c72c089a212d67cc18de1.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: vol. 120. Benzene. WHO International Agency for Research on Cancer; 2018b.

Available from: URL: <https://publications.iarc.fr/publications/media/download/6043/20a78ade14e86cf076c3981a9a094f45da6d27cc.pdf>

Igboanugo S, Bigelow PL, Mielke JG. Health outcomes of psychosocial stress within firefighters: A systematic review of the research landscape. *Journal of occupational health* 2021;63:e12219.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12219>

Jalilian H, Ziaei M, Weiderpass E, Rueegg CS, Khosravi Y, Kjaerheim K. Cancer incidence and mortality among firefighters. *International journal of Cancer* 2019;145:2639-46.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1002/ijc.32199>

Jongeneelen, FJ. A guidance value of 1-hydroxypyrene in urine in view of acceptable occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicology Letters* 2014;231:239-48.

Available from: URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.05.001>

Kahn SA, Patel JH, Lentz CW, Bell DE. Firefighter Burn Injuries : Predictable Patterns Influenced by Turnout Gear. *Journal of Burn Care & Research* 2012;33:152-56.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1097/BCR.0b013e318234d8d9>

Kalnas J, Teitelbaum DT. Dermal absorption of Benzene: implications for work practices and regulations. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 2000;6:114-21.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1179/oeht.2000.6.2.114>

Keir JLA, Akhtar US, Matschke DMJ, Kirkham TL, Man Chan H, Ayotte P et al. Elevated Exposures to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and other Organic Mutagens in Ottawa Firefighters Participating in Emergency On-Shift Fire suppressions. *Environmental Science & Technology* 2017;51(21):12745-55.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02850>

Kelly KJ, Connelly E, Reinhold GA, Byrne M, Prezant DJ. Assessment of Health Effects in New York City Firefighters after Exposure to Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs): The Staten Island Transformer Fire Health Surveillance Project. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 2002;57:282-93.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1080/00039890209601411>

Kim H, Kang GH, Jang YS, Kim W, Choi HY, Kim JG et al. The Characteristics of Firefighter Burn Injuries in a Burn Center: A retrospective Epidemiological Study. *Journal of Korean Burn Society* 2016;19:12-15.

Available from: URL: <http://www.kburnj.or.kr/journal/view.html?volume=19&number=1&spage=12>

Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. Fire fighting trainers' exposure to carcinogenic agents in smoke diving simulators. *Toxicology Letters* 2010;192:61-65.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2009.06.864>

Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. Firefighters' multiple exposure assessments in practice. *Toxicology Letters* 2012;213:129-33.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.06.005>

Laitinen JA, Koponen J, Koikkalainen J, Kiviranta H. Firefighters' exposure to perfluoroalkyl acids and 2-butoxyethanol present in firefighting foams. *Toxicology Letters* 2014;231:227-32.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.09.007>>

Laroche E, L'Espérance S. Cancer incidence and mortality among firefighters: an overview of epidemiologic systematic reviews. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021;18:2519.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.3390/ijerph18052519>>

Latini G, Verrotti A, De Felice C. DI-2-Ethylhexyl Phthalate and Endocrine Disruption : A Review. *Current Drug Targets – Immune, Endocrine & Metabolic Disorders* 2004;4:37-40.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.2174/1568008043340017>>

Lawrence JC, Bull JP. Thermal conditions which cause skin burns. *Engineering in Medicine* 1976;5:61-63.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1243%2FEMED_JOUR_1976_005_023_02>

Lee, D.J.; Koru-Sengul, T.; Hernandez, M.N.; Caban-Martinez, A.J.; McClure, L.A.; MacKinnon, J.A.; Kobetz, E.N. Cancer risk among career male and female Florida firefighters: Evidence from the Florida Firefighter Cancer Registry (1981–2014). *Am. J. Ind. Med.* 2020, 63, 285–299.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002/ajim.23086>>

LeMasters GK, Genaidy AM, Succop P, Seddens J, Sogeih T, Barriera-Viruet H et al. Cancer Risk Among Firefighters: A Review and Meta-analysis of 32 Studies. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2006;48:1189-1202.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/01.jom.0000246229.68697.90>>

Levasseur JL, Hoffman K, Herkent NJ, Cooper E, Hay D, Stapleton HM. Characterizing firefighter's exposure to over 130 SVOCs using silicone wristbands: A pilot study comparing on-duty and off-duty exposures. *Science of the Total Environment* 2022;834:155237.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155237>>

Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, El Ghissassi F, Bouvard, V, Benbrahim-Tallaa L. et al. Carcinogenicity of benzene. *The Lancet Oncology* 2017;18:1574-75.

Available from: URL: <[https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30832-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30832-X)>

Ma F, Fleming LE, Lee DJ, Trapido E, Gerace TA. Cancer Incidence in Florida Professional Firefighters, 1981-1999. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2006;48:883-88.

Available from: URL: <<http://dx.doi.org/10.1097/01.jom.0000235862.12518.04>>

Madden MR, Mathwick M, Valentin L, Finkelstein JL, Goodwin CW. The Epidemiology and Prevention of Burn Injuries to Firefighters. *Journal of Burn Care & Rehabilitation* 1995;16:461-65.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/00004630-199507000-00016>>

Maibach HI, Anjo DM. Percutaneous penetration of benzene and benzene contained in solvents used in the rubber industry. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 1981;36:256-60.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/00039896.1981.10667633>>

Mathias KC, Elliot G, Stewart D, Denise S. Decreased Pulmonary Function over 5 years in US firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2020;62:816-19.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001944>>

Mayer AC, Fent KF, Bertke S, Horn GP, Smith DL, Kerber S et al. Firefighter hood contamination: Efficiency of laundering to remove PAHs and FRs. *Journal of Occupational and Environmental* 2019;16:129-40.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1540877>>

Nilsson S, Smurthwaite K, Aylward LL, Kay M, Toms LM, King L et al. Serum concentration trends and apparent half-lives of per- and polyfluoralkyl substances (PFAS) in Australian firefighters. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2022;146:114040.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114040>>

Pazur RJ, Cormier JG, Korhan-Taymaz K. The effect of acrylonitrile content on the thermo-oxidative aging of nitrile rubber. *Rubber Chemistry and Technology* 2014;87:53-69.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.5254/rct.13.87937>>

Pedersen JE, Petersen KU, Ebbenhøj NE, Bonde JP, Hansen J. Risk of asthma and chronic obstructive pulmonary disease in a large historical cohort of Danish firefighters. *Occupational & Environmental Medicine* 2018;75:871-76.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105234>>

Phalen RN, Que Hee SS, Xu W, Wong WK. Acrylonitrile Content as a Predictor of the Captan Permeation Resistance for Disposable Nitrile Rubber Gloves. *Journal of Applied Polymer Science* 2007;103:2057-63.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002/app.25349>>

Pleil JD, Stiegel MA, Fent KW. Exploratory breath analyses for assessing toxic dermal exposures of firefighters during suppression of structural burns. *Journal of Breath Research* 2014;8:037107.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1088/1752-7155/8/3/037107>>

Pollitt F. Polychlorinated Dibenzodioxins and Polychlorinated Dibenzofurans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 1999;30:S63-S68.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1006/rtp.1999.1328>>

Polymerdatabase. NBR – Butadiene Nitrile Rubber. 2022.

Available from: URL: <<https://polymerdatabase.com/Elastomers/NBR.html>>

Pukkala E, Martinsen JI, Widerpass E, Kjaerheim K, Lyng E, Tryggvadottir L et al. Cancer incidence among firefighters: 45 years of follow-up in five Nordic countries. *Occupational & Environmental Medicine* 2014;71:398-404.

Available from: URL: <<http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2013-101662>>

Rabbits A, Alden NE, Scalabrin M, Yurt RW. Outpatient Firefighter Burn Injuries : A 3-Year review. *Journal of Burn Care & Research* 2005;26:348-51.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/01.bcr.0000169898.48655.7f>>

Rickard BP, Rizvi I & Fenton SE. Per- and poly-fluoralkyl substances (PFAS) and female reproductive outcomes: PFAS elimination, endocrine-mediated effects, and disease. *Toxicology* 2022;465:153031.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.153031>>

Sheikh IA, Turki R, Abuzenadah AM, Amanhour GA, Beg MA. Endocrine Disruption: Computational perspectives on Human Sex Hormone-Binding Globulin and Phthalate Plasticizers. *PLOS ONE* 2016;11(3):e0151444.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151444>>

Stec AA, Dickens KE, Salden M, Hewitt FE, Watts DP, Houldsworth PE et al. Occupational exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. *Scientific Reports* 2018;8:2467.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-20616-6>>

Stevenson M, Alexander B, Stuart Baxter C, Leung Y-K. Evaluating Endocrine Disruption Activity of Deposits on Firefighting Gear Using a Sensitive & High Throughput Screening Method. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2015;57:153-57.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000577>>

SIBUR. Krasnoyarsk Synthetic Rubbers Plant JSC. Safety Data Sheet Nitrile Butadiene Rubber (NBR). Version 2.1. 2011.

Available from: URL: <<https://www.google.be/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwinpPSmtYL5AhUhJcUKHaHSBW0QFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fsibur-int.com%2Fupload%2Fiblock%2Fa05%2Fa05daa17e1d47c5cac98de3f8396a50b.pdf&usq=AOvVaw0CoBVNjWzN7URmqbbOoLx&cshid=1658146596074133>>

Szmytke E, Brzezinska D, Machnowski W, Kodot S. Firefighters' protective clothing – water cleaning method vs liquid CO₂ method in aspect of efficiency. *Architectue, Civil Engineering, Environment* 2022;2:169-76.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.2478/acee-2022-0024>>

Tang-Péronard JL, Andersen HR, Jense TK, Heitmann BL. Endocrine-disrupting chemicals and obesity development in humans: a review. *Obesity Reviews* 2011;12:622-36.

Available from: URL: <<https://www.doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00871.x>>

Rajnoveanu AG, Rajnoveanu RM, Motoc NS, Postolache P, Gusetu G, Man MA. COPD in firefighters: a specific event-related condition rather than a common occupational respiratory disorder. *Medicina* 2022;58:239.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.3390/medicina58020239>>

Simpson CD, Naeher LP. Biological monitoring of wood-smoke exposure. *Inhalation Toxicology* 2010;22:99-103.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.3109/08958370903008862>>

Tsai RJ, Luckhaupt SE, Schumacher P, Cress RD, Deapen DM, Calvert GM. Risk of Cancer Among Firefighters in California, 1988-2007. *American Journal of Industrial Medicine* 2015;58:715-29.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002%2Fajim.22466>>

Trowbridge J, Gerona R, McMaster M, Ona K, Clarity C, Bessonneau V et al. Organophosphate and Organohalogen Flame-Retardant Exposure and Thyroid Hormone Disruption in a Cross-Sectional Study of Female Firefighters and Office Workers from San Francisco. *Environmental Science & Technology* 2022;56:440-50.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05140>>

Van den Berg M, Birnbaum L, Bosveld ATC, Brunström B, Cook P, Feeley M et al. Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for Humans and Wildlife. *Environmental Health Perspectives* 1998;106:775-92.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1289%2Fehp.98106775>>

Vanrooij JGM, de Roos JHC, Bodelier-BAde MM, JO-ongeneelen FJ. Absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons through human skin: differences between anatomical sites and individuals. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 1993;38:355-68.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15287399309531724>>

Vargas de Barros V, Martins LF, Saitz R, Bastos RR & Ronzani TM. Mental health conditions, individual and job characteristics and sleep disturbances among firefighters. *Journal of health psychology* 2012;18(3):350-58.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1177%2F1359105312443402>>

Walton SM, Conrad KM, Furner SE, Samo DG. Cause, Type, and Workers' Compensation costs of Injury to Fire Fighters. *American Journal of Industrial Medicine* 2003;43:454-58.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002/ajim.10200>>

Wingfors H, Rattfelt Nyholm J, Mangusson R, Hammar Wijkmark C. Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers. *Annals of Work Exposures and Health* 2018;62:221-31.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/annweh/wxx097>>

Zhang M, Buekens A, Li X. Brominated flame retardants and the formation of dioxins and furans in fires and combustion. *Journal of Hazardous Materials* 2016;304:26-39.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.10.014>>

Zhang Y, Dong S, Wang H, Tao S, Kyama. Biological impact of environmental polycyclic aromatic hydrocarbons (ePAHs) as endocrine disruptors. *Environmental Pollution* 2016;213:809-24.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.050>>

X SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP

De samenstelling van het Bureau en het College alsook de lijst met de bij KB benoemde experts is beschikbaar op de website van de HGR: [wie zijn we?](#).

Al de experts hebben **op persoonlijke titel** aan de werkgroep deelgenomen. Hun algemene belangenverklaringen alsook die van de leden van het Bureau en het College kunnen worden geraadpleegd op de website van de HGR ([belangenconflicten](#)).

De volgende experts hebben hun medewerking en goedkeuring verleend bij het opstellen van het advies. Het voorzitterschap werd waargenomen door **Lode GODDERIS** en het wetenschappelijk secretariaat door Stijn EVERAERT.

BUFFEL Bart	Polymeerchemie	KULeuven
CLAES Karel	Plastische chirurgie & behandeling van brandwonden	UZ Gent
DUBRUEL Peter	Polymeerchemie	UGent
GODDERIS Lode	Arbeidsgeneeskunde & toxicologie	KULeuven
HENS Luc	Humane ecologie	VITO
JACQUEMIN Denise	Plastische chirurgie & behandeling van brandwonden	CHU Liège
LAITINEN Juha	R&D en hervorming van hulpdiensten	Pelastusopisto (FIN)
MOENS Jonas	Farmacie	Antigifcentrum
RAQUEZ Jean-Marie	Polymeerchemie	UMons
SCHOETERS Greet	Milieugezondheid & toxicologie	UAntwerpen
VAN BAELEN Jonas	Farmacie	Antigifcentrum
VANDERKELEN Alain	Behandeling van brandwonden	Ex-MHKA
VANHAECKE Tamara	Experimentele <i>in vitro</i> toxicologie	VUB
VAN LAREBEKE Nicolas	Toxicologie en cancerologie	UGent

De volgende vertegenwoordigers van brandweerlieden werden gehoord:

BÉCRET Philippe	Maj. Ir.	<i>Service d'Incendie et d'Aide médicale Urgente de la Région Bruxelles - Capitale</i>
BODEUX Fabian	Adjudant	<i>Pompiers Verviers, zone Vesdre-Hoëgne-Plateau</i>

Dit advies werd vertaald door een extern vertaalbureau vanuit het Engels.

XI BIJLAGEN

Bijlage 1. Risicoramingen voor kanker bij brandweerlieden in enkele geselecteerde studies.

Kanker risico's bij brandweerlieden in verschillende studies. SRE (*Summary Risk Estimates*), mRR (*Meta Risk Ratio*, SRE in alle soorten incidentie- en mortaliteitsstudies), SIR (*Standardized Incidence Ratio*), SIRE (*Summary Incidence Risk Estimate*), SMR (*Standardized Mortality Ratio*), SMRE (*Summary Mortality Risk Estimate*), OR (*Odds Ratio*). Voor elke waarde wordt het 95 % betrouwbaarheidsinterval gegeven. Andere afkortingen: p.a. (positieve associatie), - (niet vernoemd/bestudeerd).

- **Donkerblauwe SREs:** Evaluatie als waarschijnlijk kankerrisico (LeMasters et al, 2006); **lichtblauwe SREs:** mogelijk kankerrisico; **witte SREs:** onwaarschijnlijk kankerrisico.
- **Rood:** Statistisch significant verhoogd ($p = 0,05$).
- **Groen:** positieve associatie of verhoogd risico gerapporteerd.
- **Oranje:** relatieve consensus, wanneer minstens 50 % van de publicaties die een welbepaalde kanker bespreken tot de conclusie komen dat er een statistisch significant risico bestaat of een positieve associatie.

Cancer	LeMasters et al (2006)	Pukkala et al (2014)	Daniels et al (2014)		Jalilian et al (2019)		Tsai et al, (2015)	Graveling & Crawford (2010)	Laroche & L'Espérance (2021)	Consensus
	SRE/mRR	SIR	SIR	SMR	SIRE	SMRE	OR	Association	Association	
All cancers	1.05 (1.00-1.09)	1.06 (1.02-1.11)	1.09 (1.06-1.12)	1.14 (1.10-1.18)	0.99 (0.93-1.05)	0.99 (0.92-1.06)	-	-	-	/
Buccal cavity and pharynx	1.23 (0.96-1.55)	0.92 (0.62-1.31)	1.39 (1.19-1.62)	1.40 (1.13-1.72)	1.15 (0.91-1.44)	1.21 (0.95-1.55)	-	No p.a.	No p.a.	2/6 (33%)
Esophageal	1.16 (0.86-1.57)	0.98 (0.66-1.39)	1.62 (1.31-2.00)	1.39 (1.14-1.67)	1.09 (0.87-1.37)	1.01 (0.76-1.34)	1.59 (1.20-2.09)	No p.a.	No p.a.	2/7 (28.7%)
Stomach	1.22 (1.04-1.44)	1.09 (0.91-1.30)	1.15 (0.93-1.40)	1.10 (0.91-1.33)	1.04 (0.90-1.20)	1.03 (0.92-1.15)	0.81 (0.59-1.11)	No p.a.	No p.a.	1/7 (14.3%)
Small intestine	-	1.15 (0.61-1.97)	1.15 (0.67-1.85)	1.66 (0.72-3.27)	1.27 (0.89-1.82)	-	-	-	No p.a.	0/3 (0%)
Colon	1.21 (1.03-1.41)	1.14 (0.99-1.31)	1.21 (1.09-1.34)	1.31 (1.16-1.48)	1.14 (1.06-1.23)	1.10 (0.91-1.34)	-	Modest p.a.	No p.a.	3/6 (50%)
Rectal	1.29 (1.10-1.51)	0.99 (0.82-1.19)	1.11 (0.94-1.30)	1.45 (1.16-1.78)	1.09 (1.00-1.20)	1.36 (1.18-1.57)	-	Modest p.a.	Incidence + death rate	5/6 (83.3%)
Colo-rectal	-	-	-	-	1.12 (0.99-1.27)	1.07 (0.54-2.12)	1.10 (0.93-1.31)	-	-	0/2 (0%)
Liver/Gallbladder	-	-	-	1.30 (1.06-1.57)	0.93 (0.80-1.08)	1.05 (0.79-1.39)	-	-	-	1/2 (50%)
Liver	1.04 (0.72-1.49)	0.91 (0.59-1.34)	-	-	-	-	1.07 (0.75-1.53)	-	No p.a.	0/4 (0%)
Gallbladder	-	1.45 (0.86-2.29)	-	-	-	-	-	-	-	0/1 (0%)
Pancreatic	1.10 (0.91-1.34)	1.17 (0.94-1.45)	-	-	1.09 (0.96-1.24)	1.13 (0.99-1.29)	1.10 (0.83-1.46)	No p.a.	No p.a.	0/6 (0%)
Laryngeal	1.22 (0.87-1.70)	1.06 (0.72-1.50)	1.50 (1.19-1.85)	-	0.93 (0.66-1.30)	0.74 (0.48-1.15)	0.59 (0.39-0.89)	No p.a.	No p.a.	1/7 (14.3%)
Lung cancer	1.03 (0.97-1.08)	0.97 (0.87-1.09)	1.12 (1.04-1.21)	1.10 (1.04-1.17)	0.94 (0.84-1.06)	1.00 (0.92-1.09)	1.08 (0.92-1.28)	No excess risk	No p.a.	1/7 (14.3%)
Mesothelioma	-	1.55 (0.90-2.48)	2.29 (1.60-3.19)	2.00 (1.03-3.49)	1.60 (1.09-2.34)	-	1.40 (0.89-2.21)	-	Incidence	3/5 (60%)
Malignant melanoma	1.32 (1.10-1.57)	1.25 (1.03-1.51)	-	-	1.21 (1.03-1.45)	1.33 (0.98-1.81)	1.75 (1.44-2.13)	-	Incidence	5/5 (100%)
Breast	-	-	1.26 (0.82-1.85)	1.39 (0.60-2.73)	1.02 (0.47-2.25)	2.47 (0.65-9.48)	-	-	No p.a.	0/3 (0%)
Prostate	1.28 (1.15-1.43)	1.13 (1.05-1.22)	1.03 (0.98-1.09)	1.09 (0.96-1.22)	1.15 (1.05-1.27)	1.08 (0.92-1.27)	1.45 (1.25-1.69)	p.a.	Incidence	6/7 (85.7%)
Testicular	2.02 (1.30-3.13)	0.51 (0.23-0.98)	0.75 (0.42-1.24)	0.73 (0.15-2.14)	1.34 (1.08-1.68)	-	1.10 (0.73-1.66)	p.a.	Incidence	4/7 (57.1%)
Bladder	1.20 (0.97-1.48)	1.11 (0.96-1.28)	1.12 (1.00-1.25)	0.99 (0.79-1.22)	1.12 (1.04-1.21)	1.22 (0.93-1.60)	0.99 (0.78-1.26)	Slight excess risk	Incidence	4/7 (57.1%)
Kidney	1.07 (0.78-1.46)	0.94 (0.75-1.17)	1.27 (1.09-1.48)	1.29 (1.05-1.58)	1.12 (0.93-1.36)	1.19 (0.90-1.58)	1.27 (1.01-1.59)	Not statist. significant	No p.a.	2/7 (28.6%)
Brain (and nervous system)	1.32 (1.12-1.54)	0.86 (0.66-1.10)	1.02 (0.76-1.34)	1.01 (0.79-1.27)	1.07 (0.87-1.33)	1.25 (0.96-1.63)	1.54 (1.19-2.00)	1.2 ± 0.2	No p.a.	2/7 (28.6%)
Thyroid	-	1.28 (0.75-2.05)	-	-	1.22 (1.01-1.48)	-	1.27 (0.88-1.84)	No consist. evidence	No p.a.	1/5 (20%)
Non-Hodgkin's Lymphoma	1.51 (1.31-1.73)	1.04 (0.83-1.29)	0.99 (0.85-1.15)	1.17 (0.97-1.40)	1.07 (0.96-1.20)	1.42 (1.05-1.90)	1.22 (1.00-1.50)	p.a. (+ <20%)	No p.a.	3/7 (42.9%)
Hodgkin's disease	1.07 (0.59-1.92)	-	-	-	1.12 (0.86-1.47)	1.21 (0.46-3.18)	1.15 (0.72-1.83)	No consist. evidence	Death rate	1/5 (20%)
Multiple myeloma	1.53 (1.21-1.94)	1.13 (0.81-1.53)	0.72 (0.50-0.99)	0.89 (0.64-1.20)	1.00 (0.83-1.23)	1.07 (0.83-1.37)	1.35 (1.00-1.82)	p.a.	No p.a.	3/7 (42.9%)
Leukemia	1.14 (0.98-1.31)	0.91 (0.71-1.22)	0.94 (0.77-1.15)	1.10 (0.91-1.31)	0.97 (0.85-1.11)	1.06 (0.93-1.22)	1.32 (1.02-2.02)	Modest incr. risk	No p.a.	3/7 (42.9%)

Over de Hoge Gezondheidsraad (HGR)

De Hoge Gezondheidsraad is een federaal adviesorgaan waarvan de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu het secretariaat verzekert. Hij werd opgericht in 1849 en geeft wetenschappelijke adviezen i.v.m. de volksgezondheid aan de ministers van Volksgezondheid en van Leefmilieu, aan hun administraties en aan enkele agentschappen. Hij doet dit op vraag of op eigen initiatief. De HGR probeert het beleid inzake volksgezondheid de weg te wijzen op basis van de recentste wetenschappelijke kennis.

Naast een intern secretariaat van een 25-tal medewerkers, doet de Raad beroep op een uitgebreid netwerk van meer dan 500 experts (universiteitsprofessoren, medewerkers van wetenschappelijke instellingen, praktijkbeoefenaars, enz.), waarvan er 300 tot expert van de Raad zijn benoemd bij KB; de experts komen in multidisciplinaire werkgroepen samen om de adviezen uit te werken.

Als officieel orgaan vindt de Hoge Gezondheidsraad het van fundamenteel belang de neutraliteit en onpartijdigheid te garanderen van de wetenschappelijke adviezen die hij aflevert. Daartoe heeft hij zich voorzien van een structuur, regels en procedures die toelaten doeltreffend tegemoet te komen aan deze behoeften bij iedere stap van het tot stand komen van de adviezen. De sleutelmomenten hierin zijn de voorafgaande analyse van de aanvraag, de aanduiding van de deskundigen voor de werkgroepen, het instellen van een systeem van beheer van mogelijke belangenconflicten (gebaseerd op belangenverklaringen, onderzoek van mogelijke belangenconflicten en een Commissie voor Deontologie) en de uiteindelijke validatie van de adviezen door het College (eindbeslissingsorgaan van de HGR, samengesteld uit 30 leden van de *pool* van benoemde experts). Dit coherent geheel moet toelaten adviezen af te leveren die gesteund zijn op de hoogst mogelijke beschikbare wetenschappelijke expertise binnen de grootst mogelijke onpartijdigheid.

Na validatie door het College worden de adviezen overgemaakt aan de aanvrager en aan de minister van Volksgezondheid en worden ze gepubliceerd op de website (www.hgr-css.be). Daarnaast wordt een aantal onder hen gecommuniceerd naar de pers en naar bepaalde doelgroepen (beroepsbeoefenaars in de gezondheidssector, universiteiten, politiek, consumentenorganisaties, enz.).

Indien u op de hoogte wilt blijven van de activiteiten en publicaties van de HGR kunt u een mail sturen naar info.hgr-css@health.belgium.be.