

Waarom sterven mensen in een brand?

1 Inleiding

Elke brandweerman of vrouw weet dat er mensen omkomen in een brand. Dikwijls ontbreekt echter het inzicht in waarom mensen sterven. Een brand produceert rook en hitte. Beide componenten vormen een potentiële doodsoorzaak voor mensen. In dit artikel wordt hier dieper op ingegaan. Er wordt eveneens bekeken welke implicaties deze informatie heeft op onze werkwijze. Heeft de veranderende brand een impact op deze factoren? Indien ja, welke en waarom?

2 Hitte

Een brand produceert energie. Deze energie wordt gebruikt om de omgeving op te warmen. De belangrijkste factor is het vermogen van de brand. Het vermogen van de brand wordt uitgedrukt in kW of MW. Het vermogen vertelt ons hoeveel energie, uitgedrukt in J, er elke seconde geproduceerd wordt.

Het geproduceerde vermogen wordt voornamelijk afgevoerd via convectie en straling. Een goede schatting is dat 70% van het vermogen van de brandhaard wordt omgezet in een convectief deel terwijl straling verantwoordelijk is voor de overige 30%.

2.1 Convectieve warmteoverdracht



De convectieve warmteoverdracht zorgt voor de afvoer van het grootste gedeelte van de energie die door de brand geproduceerd wordt. Convectieve warmte kan men demonstreren met het gebruik van een kaars. Hou een hand 10 cm boven de vlam zoals op figuur 1. De warmte die men voelt, is de warmte van de opstijgende lucht (rook). Door de hand ook aan de zijkant van de vlam te houden, op dezelfde afstand, kan men het verschil voelen tussen het convectieve deel en de stralingswarmte.

figuur 1 Boven de kaars voel je het convectieve deel van de warmte van de vlam. (Foto: Szymon Kokot-Góra)

Eerst wordt de convectieve warmte overgedragen van de vuurhaard op de rook. Hoe groter het vermogen van de brand, hoe

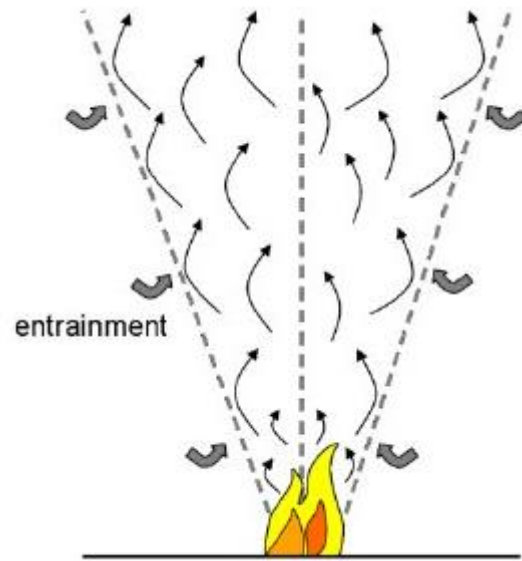
heter de rookgassen zullen zijn.

Er is echter een tweede factor die bepaalt hoe heet de rookgassen zullen worden. De hoogte van de rooklaag speelt daarbij ook een rol. Bij een brand op vloerniveau in een normale ruimte zal de rook bij het begin van brand 2,6 meter opstijgen vooraleer hij het plafond bereikt. Gedurende die verticale afstand zal er lucht bijgemengd worden (zie figuur 2). Het volume van de rook en de massa van de rook nemen continu toe tijdens deze opstijging. Hoe meer koele lucht er bijgemengd wordt, hoe lager de

eindtemperatuur van de rook zal zijn. De rook die aankomt aan het plafond zal dus minder warm zijn in een hal van 5 meter hoog dan in een keuken van 2,6 m hoog.

In een volgende fase van de brand, heeft er zich een rooklaag gevormd. Stel dat de rooklaag in een appartement één meter dik is, dan zal de rook (vanop de grond) nog slechts anderhalve meter opstijgen. Er wordt dan minder lucht bijgemengd en de rook zal dus warmer zijn. Daarnaast is het dikwijls zo dat het vermogen van de brand is toegenomen in vergelijking met de start van de brand. Er wordt dus meer warmte toegevoerd terwijl er minder koude lucht wordt bijgemengd. Dit resulteert in hetere rook dan in het begin.

De hete rooklaag is nu een warmtebron geworden. Ze zal haar warmte afgeven aan andere objecten. De rooklaag wordt begrensd door wanden: het plafond en de muren. De rooklaag is warmer dan die wanden. Er zal een convectieve warmteoverdracht zijn van de rook naar de wanden. Terwijl de rook naar buiten stroomt, zal deze hierdoor een stuk afkoelen. De wanden zullen tegelijkertijd opwarmen. Naarmate de wanden opwarmen, zullen ze minder warmte opnemen vanuit de rooklaag. De convectieve warmteoverdracht is namelijk proportioneel met het temperatuurverschil (ΔT) tussen de rooklaag en de wand. De wanden zullen op hun beurt warmte afvoeren via straling en geleiding.



figuur 2 Terwijl de rook opstijgt, wordt meer en meer lucht bijgemengd. Dit heet entrainment in het Engels. (Figuur: Edward Johnson)

Het is mogelijk om de overdracht van warmte via convectie te berekenen:

$$\dot{Q} = h \times A \times \Delta T \quad [kW]$$

Wanneer de stromende rook een opening tegenkomt, zal de rook naar buiten stromen. Deze stroom vertegenwoordigt een volume, een massa aan rook die verdwijnt uit het gebouw. Dit stemt overeen met een behoorlijke hoeveelheid energie die uit het gebouw verdwijnt.

Wanneer de rooklaag zakt tot op een halve meter van de grond, dan zullen brandweerlui die de binnenaanval doen gedeeltelijk in de rook zitten. Het gedeelte van hun lichaam dat in de rook zit, zal warmte ontvangen. Eigenlijk gedraagt de oppervlakte van het lichaam (A) dat in de rook zit zich op dezelfde manier als de wanden die de rooklaag begrenzen. De rooklaag zal warmte afgeven aan de kledij van de brandweerlui. De hoeveelheid warmte zal afhankelijk zijn van het temperatuurverschil tussen hun kledij en de rook. De warmte zal in de kledij via geleiding overgebracht worden naar het lichaam.



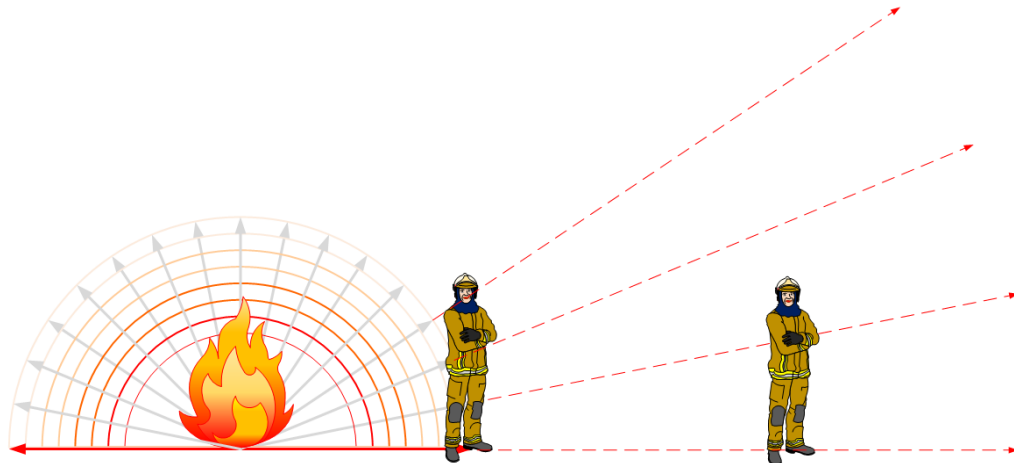
Indien de rook tot op de grond komt, dan zullen de slachtoffers die daar liggen de gevolgen van de warmteoverdracht rechtstreeks voelen op hun lichaam. Hun kledij heeft namelijk erg weinig bescherming. Hetzelfde geldt voor slachtoffers die aan een raam staan, in de uitstromende rookgassen. Zij zullen ook warmte ontvangen van de rook. Een bijkomend probleem hier is dat de convectieve warmteoverdracht ook afhankelijk is van de snelheid van de stromende rook via de convectiecoëfficiënt h . De convectiecoëfficiënt is afhankelijk van een hele reeks zaken waaronder de snelheid. Hoe sneller de rook stroomt, hoe meer warmte ze zullen te verwerken krijgen.

Tenslotte zal de rooklaag op haar traject naar buiten ook een heleboel warmte afgeven via straling. De rooklaag straalt warmte naar de onderliggende objecten.

2.2 Straling of radiatie

Straling is een vorm van warmteoverdracht die iedereen erg goed kent. Denk aan het gevoel van de zon op je gezicht op een warme zomerdag. Iedereen voelt de invloed van die warmtestraling. Bij een kampvuur of een open haard is deze (warmte)straling nog veel beter merkbaar. Iedereen weet ook dat de straling toeneemt als de afstand tot de warmtebron afneemt.

Bij een brand zal de vuurhaard de eerste bron zijn van stralingswarmte. De vuurhaard en het volume aan vlammen erboven zullen warmte uitstralen. De warmtestraling volgt een rechte lijn. Alles wat *zichtbaar* is voor de brand (en voor de vlammen), zal aangestraald worden.



figuur 3 Beide brandweermensen op de figuur zijn even groot, ook al lijkt dit niet zo te zijn. De brandweerman dichtst bij de vlammen krijgt veel meer stralingswarmte te verwerken. Dit is te merken aan het aantal pijlen waardoor hij geraakt wordt. Hoe verder van de warmtebron verwijderd, hoe minder stralingswarmte (pijlen). (Tekening: Bart Noyens naar een idee van James Mendoza van San Jose Fire Department)

De hete rooklaag zal ook warmte uitstralen naar objecten die het kan "zien". Dit gebeurt dan naar objecten onder deze rooklaag. In de buurt van de brand zal een zetel dus opgewarmd worden door warmtestraling van twee zijden. Er komt natuurlijk ook warmtestraling van de brandhaard. Deze is erg warm, maar de afstand tot de brandhaard is misschien vijf meter. De rooklaag zal een stuk minder warm zijn dan de

vuurhaard of de vlammen erboven. Toch kan de hoeveelheid stralingswarmte groter zijn. De afstand tussen de rooklaag en de zetel kan immers beperkt zijn tot een halve meter.

De afstand tussen de warmtebron en de ontvanger is dus een belangrijke parameter bij de warmteoverdracht via straling. Stralingswarmte (uitgedrukt in kW/m²) is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Dit betekent dat de overgedragen stralingswarmte ongeveer vier keer kleiner wordt als de afstand twee keer groter wordt. De verhouding tussen de hoeveelheid straling die ontvangen wordt en de hoeveelheid die uitgezonden wordt, noemt de *zichtfactor*. Hij wordt aangeduid met het symbool Φ . In figuur 3 is duidelijk te zien dat de brandweerman die dichterbij staat een groter stuk van de straling ontvangt dan diegene die verder staat.

Een tweede belangrijke parameter is de temperatuur van de warmtebron. Bij convectieve warmteoverdracht bepaalt het temperatuurverschil tussen de warmtebron en de ontvanger hoeveel warmte er overgedragen wordt. Bij straling ligt dit een stuk moeilijker. De warmtebron zal warmte uitstralen. De hoeveelheid straling die uitgestuurd wordt, is evenredig met de vierde macht van de temperatuur in Kelvin. Dit is een stuk moeilijker te begrijpen. Algemeen geldt dat de hoeveelheid straling 16 keer groter wordt als de temperatuur in Kelvin verdubbeld. De temperatuur in Kelvin ligt 273 hoger dan graden Celsius. Een temperatuur van 400 Kelvin komt overeen met 127 °C. Een temperatuur van 800 Kelvin komt overeen met 527 °C. Wanneer de temperatuur van de rooklaag evolueert van 127 °C naar 527 °C, dan zal de stralingswarmte afkomstig van deze rooklaag 16 keer groter geworden zijn.

Elk object zal straling uitsturen. De zetel die aan het opwarmen is, zal dat dus ook doen. Als de zetel intussen een temperatuur van 77 °C (350 K) bereikt heeft, dan zal hij ook straling uitsturen. Het is echter duidelijk dat deze straling verwaarloosbaar is ten opzichte van de straling die toekomt van de rooklaag.

Het is mogelijk om de overdracht van warmte via straling te berekenen:

$$\dot{Q} = \sigma \times \epsilon \times \Phi \times T^4 \quad [kW/m^2]$$

De straling kan ook invallen op slachtoffers. Slachtoffers die op de grond liggen of slachtoffers die op een balkon staan kunnen straling ontvangen van de rooklaag en van de vlammen. In praktijk valt het voor dat slachtoffers gevluht zijn op een balkon. Ze hebben geen last van de rook maar de straling zorgt ervoor dat ze uiteindelijk toch (zwaar) verbrand geraken. Een slachtoffer dat op een balkon staat, naast uitslaande vlammen doorheen het schuifraam langs waar hij of zij gevluht is, zal brandwonden oplopen. Dit is op zich een argument voor transitional attack. Door de vlammen neer te slaan, zakt de temperatuur van de uitslaande gassen enorm. De straling zal dan snel 16 keer minder zijn. Hierdoor kunnen die slachtoffers 16 keer langer blijven staan om dezelfde dosis warmte op te lopen. Het is daarbij echter enorm belangrijk om de juiste hoeveelheid water te gebruiken. De eerste tientallen liters die de ruimte binnenkomen zullen verdampen en de energie uit de vlammen halen. De vlammen zijn eigenlijk superhete gassen. Doordat de energie uit de vlammen gehaald wordt, zullen deze gassen



heel sterk krimpen. Deze krimp maakt plaats voor de stoom die ontstaat door het verdampende water. Indien er vervolgens nog enkele tientallen liters water naar binnen gespoten worden, dan zal dat water voornamelijk verdampen tegen de wanden. Er ontstaat dan geen krimp maar wel een zeer grote hoeveelheid stoom. Deze extra stoom zal zich overal verspreiden en dan zeer onaangenaam zijn voor brandweermensen en zelfs gevaarlijk voor slachtoffers. De straalpijp afsluiten direct na knockdown van de vlammen is dus aangewezen.

3 Rook

Rookproductie hangt af van het soort brand. Vanuit het oogpunt "rookproductie" zijn er drie soorten branden te onderscheiden: smeulbranden, geventileerde branden en ondergeventileerde branden. Een smeulbrand wordt hierbij gedefinieerd als een traag verbrandingsproces met lage temperaturen en geen aanwezige vlammen. Bij een smeulbrand en bij een ondergeventileerde brand worden in het algemeen grote hoeveelheden gassen geproduceerd (tot 10 keer meer dan bij een geventileerde brand). Deze productie ligt lager bij geventileerde branden. Bij een smeulbrand hangt veel af van de grootte van de brand en de evolutie ervan. Het is mogelijk dat een sigaret ergens belandt, daar een smeulbrandje veroorzaakt maar dat deze smeulbrand niet kan groeien. Zolang de oppervlakte van de smeulbrand erg klein blijft, zal de productie aan gassen ook beperkt zijn.

Rook is een mengeling van gassen, vaste stofdeeltjes (roet) en vloeistofdeeltjes in suspensie. Er worden verschillende gassen geproduceerd. CO₂ en CO zijn twee belangrijke gassen die aanwezig zijn naast verschillende pyrolysegassen. Er worden ook stoffen zoals HCN gevormd als er stikstof aanwezig is in de brandende stof. Daarnaast is in rook meestal ook nog zuurstof aanwezig. Het gehalte aan zuurstof is echter sterk gedaald ten opzichte van de 21% die aanwezig is in lucht. De rook stijgt op als een pluim en vormt aan het plafond een rooklaag. De samenstelling van de rooklaag is niet constant. Ze wordt continu beïnvloed. Er zal in de rooklaag nog plaatselijk verbranding plaatsvinden. Dit is afhankelijk van de temperatuur en de aanwezige zuurstof. Het gehalte aan CO in de rooklaag is evenredig met de temperatuur voor brandstof gecontroleerde branden en omgekeerd evenredig met de temperatuur voor ventilatie gecontroleerde branden. De verhouding tussen de verschillende gassen in de rooklaag blijft dus evolueren. Het is een erg complex fenomeen.

4 Effecten op het menselijk lichaam

4.1 Effect van warmte

Als de huid opwarmt, ontstaat eerst een aangenaam gevoel. Denk opnieuw aan het effect van de straling van de zon op de huid. Iedereen weet echter dat er ook zoiets bestaat als zonnebrand. Elk van ons heeft al eens eerstegraads brandwonden opgelopen door te lang in de zon te liggen. Het aangename effect kan dus door lange blootstelling tot brandwonden leiden. De straling van de zon op een warme zomerdag bedraagt ongeveer 1 kW/m². Een lange blootstelling hieraan kan dus tot eerstegraads brandwonden leiden.



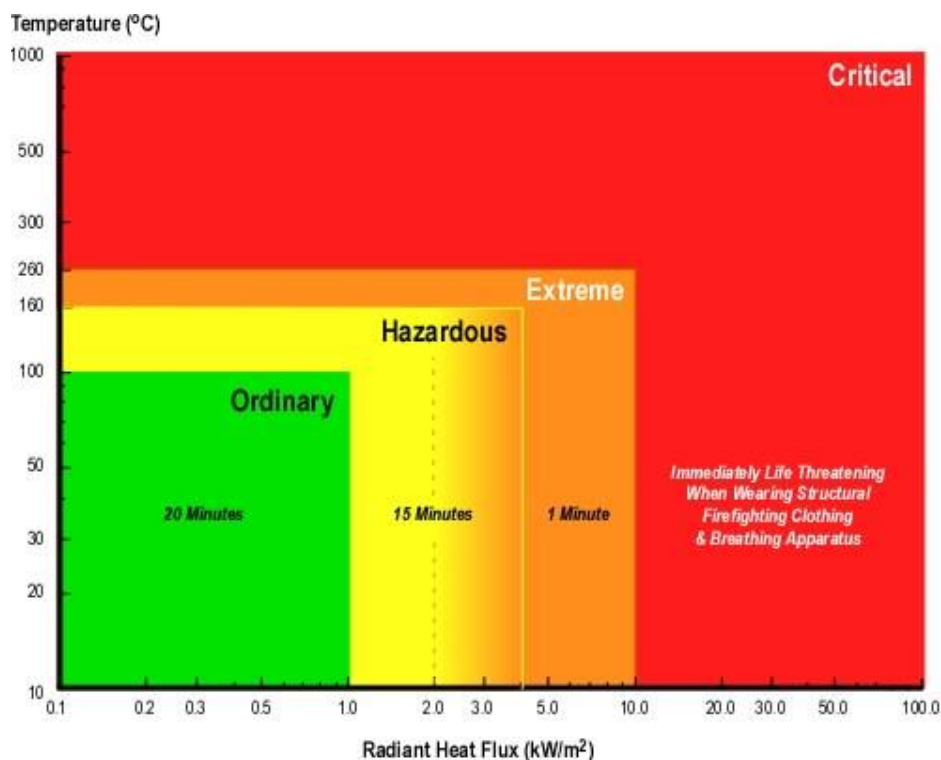
De huidtemperatuur kan verder oplopen. Dit kan door convectie of straling zoals hierboven is uitgelegd. De pijndrempel ligt ongeveer op 43°C. Als de huid warmer wordt, dan zal er pijn optreden. Hoe hoger de temperatuur en hoe groter het huidoppervlak dat aan het verbranden is, hoe meer pijn er optreedt. Deze pijn kan ervoor zorgen dat mensen uit het raam springen, ook al is het zeker dat ze de val niet zullen overleven.

Eerstegraadsbrandwonden, met de typisch roodgekleurde huid, zullen optreden als de temperatuur van de huid 48 °C bedraagt. Bij temperaturen van 55°C zullen tweedegraadsbrandwonden voorkomen. Dergelijke brandwonden manifesteren zich met de gekende blaarvorming. Bij hogere temperaturen zullen derdegraadsbrandwonden optreden. De huid wordt dan volledig vernietigd.

Er is natuurlijk een verschil tussen de temperatuur van de huid en bijvoorbeeld die van de rook. Het is de warmteoverdracht (via straling en/of via convectie) die ervoor zorgt dat de huid opwarmt.

Brandweermensen worden dikwijls geconfronteerd met zowel convectieve als radiatieve warmteoverdracht. Ze bevinden zich in rook met een bepaalde temperatuur én ze worden blootgesteld aan een bepaalde hoeveelheid warmtestraling (uitgedrukt in kW/m²). Het Amerikaanse NIST heeft een grafiek uitgewerkt waarbij het effect van deze twee vormen van warmteoverdracht wordt weergegeven. Daarbij is rekening gehouden met het beschermend effect van de interventiekledij.

De grafiek van NIST is weliswaar een vereenvoudigde weergave van de realiteit. Toch geeft hij een goede eerste inschatting over hoe lang brandweermensen mogen werken in bepaalde omstandigheden zonder brandwonden op te lopen.



figuur 4 Relatie tussen omgevingstemperatuur, warmtestraling en de inzettijd van brandweermensen in beschermkledij (Grafiek: NIST)

4.2 Effect van rook

Rook bevat letterlijk honderden verschillende stoffen. Toch kan het effect van rook op het menselijk lichaam beschreven worden door te kijken naar enkele belangrijke gassen en de interactie tussen deze gassen.

Rook zorgt voor een breed scala aan problemen voor de mens:

- Rook bevat irriterende stoffen.
- Rook bevat verstikkende stoffen (CO, CO₂, HCN, ...).
- Rook bevat een lagere concentratie zuurstof.

De irriterende stoffen in rook zullen de ogen en de longen prikkelen. Bij hoge concentraties zal dit echt pijn beginnen doen. Daarnaast is het zo dat rook niet al het licht doorlaat. Dit betekent dat je niet helemaal door rook kan kijken. Hoe dikker de rook, hoe minder ver je kan kijken. Deze eigenschappen maken het moeilijk om door rook te lopen. De gezondheidstoestand van de slachtoffers voor de brand zal hier ook een rol in spelen. Bejaarden en kinderen zullen de irriterende stoffen minder goed verdragen dan volwassenen in goede gezondheid. Het spreekt voor zich dat mensen met gevoelige luchtwegen sneller problemen zullen krijgen wanneer ze blootgesteld worden dan iemand die volledig gezond is.

Mensen die blootgesteld zijn aan irriterende gassen kunnen achteraf nog allerlei ziektebeelden ontwikkelen. Ze zijn met andere woorden nog niet definitief "gered". In de eerste 24 uur na de blootstelling kan er zich een ontsteking in de longen ontwikkelen die fataal kan zijn. Als een dergelijke ontsteking vermeden of behandeld kan worden, dan zijn de meeste patiënten na drie maanden volledig genezen. Het is pas als een slachtoffer het ziekenhuis verlaat dat we echt een mensenleven gered hebben. Dikwijls is dat een samenwerking tussen de brandweer, die het slachtoffer uit de brand "redt", en de medische diensten, die ervoor zorgen dat het slachtoffer blijft leven.

Rook bevat CO. In een brand loopt het CO-gehalte dikwijls op tot 5.000 à 10.000 ppm. Dit zijn erg hoge concentraties. CO bindt zich aan de hemoglobine in het bloed. De hemoglobine is de stof in het bloed die instaat voor het transport van zuurstof. Hemoglobine kan vergeleken worden met vrachtwagens die zuurstof vervoeren in onze slagaders. Als zo'n vrachtwagen geladen wordt met CO, dan kan hij geen zuurstof meer vervoeren. Indien teveel van die vrachtwagens geladen worden met CO, dan neemt de hoeveelheid toegevoerde zuurstof sterk af. De hoeveelheid opgenomen CO wordt uitgedrukt in %COHb. De opname van CO in het bloed is de belangrijkste doodsoorzaak bij brand. Bij mensen is de zogenaamde *regel van Haber* van toepassing. Haber legt uit dat het effect van CO een combinatie is van blootstellingstijd en concentratie. Vijf minuten blootgesteld worden aan 1.000 ppm heeft dan hetzelfde effect als tien minuten blootgesteld worden aan 500 ppm.

Rook bevat meestal ook waterstofcyanide. Concentraties tot 1000 ppm zijn mogelijk bij brand. HCN is ook een giftig gas, tot 25 maal giftiger dan CO. Het effect van HCN kan worden opgeteld bij dat van CO. De aanwezigheid van HCN zal ervoor zorgen dat mensen nog sneller bewusteloos geraken dan zonder de HCN het geval zou zijn. Dit verkort de



tijd waarin mensen kunnen evacueren. Daarenboven is het zo dat de regel van Haber niet van toepassing is op HCN. Mensen zullen concentraties boven de 200 ppm niet lang overleven.

Rook bevat ook hoge concentraties aan CO₂. Dit gas zorgt dat het lichaam gaat hyperventileren. Het lichaam wil namelijk de CO₂ uit het bloed hebben. De hyperventilatie zorgt ervoor dat de opname van andere, giftige gassen toeneemt.

De concentratie aan zuurstof in de rook is afgenomen. Soms schiet er van de oorspronkelijke 21% bijna niets over. Erg lage zuurstofconcentraties zijn erg gevaarlijk. Tijdens een brand is de zuurstofconcentratie dicht bij de grond dikwijls nog overleefbaar. In de rook zelf worden soms concentraties gemeten van 1% of lager. Daar komt bovenop dat de temperatuur in deze rooklaag hoog kan oplopen. Mensen die dergelijke rook inademen hebben erg weinig overlevingskansen. Er zijn gevallen beschreven waarbij mensen een deur tot een brand openen en in de uitstromende rook terechtkomen. Al na één ademteug zakten ze in elkaar.

In rook zijn ook nog andere gassen aanwezig zoals NO_x maar deze spelen meestal een beperkte rol.

Rook heeft drie effecten op het menselijk lichaam:

1. De irriterende gassen zorgen ervoor dat evacuatie bemoeilijkt wordt doordat o.a. de ogen beginnen te tranen en de luchtwegen pijn beginnen te doen. Dit kan er zelfs voor zorgen dat mensen in elkaar zakken.
2. De dosis gassen waaraan mensen blootgesteld worden kan ervoor zorgen dat ze verward worden, het bewustzijn verliezen of zelfs overlijden. CO en HCN zijn hier de belangrijkste gassen.
3. Grote dosissen aan irriterende gassen kunnen na de brand nog altijd het overlijden van het slachtoffer veroorzaken door het optreden van ontstekingen en longoedeem nadat het slachtoffer al gered is door de brandweer.

75% van de mensen die sterven door rookinhalatie worden gevonden in andere kamers dan de kamer waar de brand begonnen is. Mensen sterven dus voornamelijk door de effecten van rook. Professor David Purser heeft een model ontwikkeld om de effecten van rook te gaan berekenen. Hij maakt een schatting van de dosis die mensen binnen krijgen: de *fractional effective dose (FED)*. Daarmee toont hij aan dat een halve seconde in een omgeving met 1000 ppm CO minder erg is dan 10 minuten in een omgeving met 100 ppm. Zodra de FED boven een bepaalde waarde komt, verliezen mensen het bewustzijn. Bij een nog hogere waarde sterven ze.

5 Eerst redden, dan blussen?

In de verschillende paragrafen hierboven staat uitgelegd hoe rook ervoor zorgt dat slachtoffers in de problemen komen. De snelste manier om hun overlevingskansen te verhogen is het verwijderen van de slachtoffers uit de rook. Om dit te bekomen, dienen de slachtoffers eerst gevonden te worden. Dit is dikwijls een erg moeilijke taak, zeker in grotere ruimtes.



De tweede manier om de overlevingskansen van de slachtoffers te verhogen, is het verwijderen van de rook. Om dit doel te bereiken dient er geventileerd te worden. Door de rook te verdunnen met verse lucht, daalt de concentratie aan irriterende en giftige gassen en stijgt de concentratie aan zuurstof. De extra zuurstof kan echter een groot effect hebben op de brand als deze nog niet geblust is.

Ventileren kan daarom zeer gevaarlijk zijn bij hedendaagse branden. Het is enkel bij een (kleine) smeulband dat dit meestal zonder gevaar kan. Bij de andere branden (geventileerd en onder geventileerd) is het belangrijk dat er voorafgaand aan de ventilatie een blussing ingezet wordt. Het is dikwijls moeilijk om te garanderen dat een succesvolle blussing wordt ingezet. Bij de start van de ventilatie is de plaats van de brand dikwijls nog niet (helemaal) duidelijk. Dan is het niet mogelijk om te ventileren zonder eerst iets aan de brand te doen. Anders is het goed mogelijk dat de brand dermate groeit dat de slachtoffers om het leven komen door de effecten van de hitte.

Om mensen te redden, moet de rook verwijderd worden. Ventilatie is hiervoor de oplossing. Om te kunnen ventileren zonder dat de toegevoerde zuurstof het brandvermogen sterk laat toenemen, moet de brandhaard eerst onder controle gebracht worden. Op die manier kunnen slachtoffers gered worden. Omwille van de veranderende omstandigheden (in vergelijking met 50 jaar geleden) kunnen we niet meer eerst redden en dan blussen. Er moet eerst geblust worden zodat we kunnen ventileren en redden (of redden en ventileren).

First, put the fire out!

6 Bronnen

- [1] *Merci B (2010) Active fire protection: Smoke and heat control, cursus tijdens de opleiding Postgraduate Studies in Fire Safety Engineering, UGent*
- [2] *Gottuk D, Lattimer B (2016) Effect of combustion conditions on species production, in SFPE Handbook of fire protection engineering*
- [3] *Purser D (2016) Combustion toxicity, in SFPE Handbook of fire protection engineering*
- [4] *Galea E (2011) Human behavior in fire, cursus tijdens de opleiding Postgraduate Studies in Fire Safety Engineering, UGent*
- [5] *Lambert K, Baaij S (2018) Brandverloop: Technisch bekeken, tactisch toegepast, 2^{de} editie*

