

Comment les personnes décèdent sur les incendies?

1 Introduction

Chaque pompier sait que des personnes meurent des suites d'un incendie. Cependant, ils ne comprennent souvent pas comment il se fait que des personnes viennent à mourir. Un feu produit de la fumée et de la chaleur. Ces deux composantes sont une cause potentielle de décès pour les êtres humains. Cet article approfondit cette question. Il prend également en compte les implications de cette connaissance pour nos méthodes de fonctionnement. Le changement de comportement du feu influence-t-il ces deux facteurs? Si oui, comment et pourquoi cela a-t-il un impact?

2 La chaleur

Un feu produit de l'énergie. Cette énergie est utilisée pour chauffer l'environnement. Le facteur le plus important est la puissance du feu ou le taux de dégagement de chaleur (HRR). Le HRR de l'incendie est généralement mesuré en kW ou en MW. Le HRR nous indique la quantité d'énergie, mesurée en J, produite chaque seconde.

Le HRR de l'incendie est principalement transféré par convection et rayonnement. Une bonne estimation est que 70% du HRR est transféré dans une partie convective tandis que le rayonnement représente les 30% restants.

2.1 Transfert de chaleur par convection

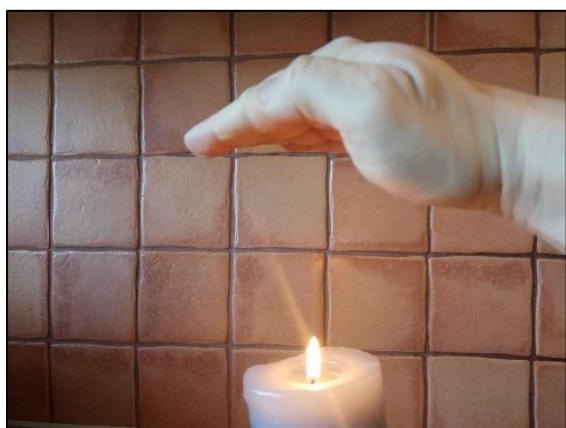


Image 1 Au-dessus de la bougie, on sent la partie convective de la chaleur produite par la flamme. (Photo: Szymon Kokot-Góra)

Le transfert de chaleur par convection est responsable du plus grand transfert d'énergie produit par le feu. La chaleur convective peut être facilement démontrée en utilisant une bougie. Tenez votre main à 10 cm au-dessus de la bougie comme le montre l'image 1. La chaleur ressentie est celle de l'air qui monte (fumée). En tenant votre main sur le côté de la bougie, à une distance similaire, vous pouvez sentir la différence entre la partie convective et la chaleur rayonnante.

Principalement, la chaleur convective est transférée du feu à la fumée. Plus le HRR du feu est élevé, plus la fumée sera chaude.

Cependant, il existe un autre facteur qui détermine également la chaleur de la fumée. La hauteur de la couche de fumée y joue un rôle. Un feu de pavillon au niveau du sol dans une pièce de taille normale fera initialement monter de la fumée à 2,6 mètres avant de toucher le plafond. Pendant cette ascension, de l'air sera mélangé à la fumée (voir image 2). Le volume et la masse de fumée augmenteront tous deux de façon continue pendant l'ascension. Plus l'air qui se mélange à la fumée est froid, plus la température finale de la

fumée sera basse. Par conséquent, la fumée arrivant au plafond d'un entrepôt de 5 mètres de haut sera moins chaude que dans une cuisine de 2,6 mètres.

À l'étape suivante de l'incendie, une couche de fumée s'est formée. Supposons que la couche de fumée dans un appartement typique ait un mètre d'épaisseur, alors la fumée provenant du sol ne montera que d'un mètre et demi. Cela signifie que moins d'air est mélangé et que la fumée sera plus chaude. En dehors de cela, le taux de dégagement de chaleur du feu aura sûrement augmenté par rapport à la phase de naissance. Ainsi, d'avantage de chaleur est ajoutée tout en mélangeant moins d'air frais. Il en résulte une fumée plus chaude qu'au début de l'incendie.

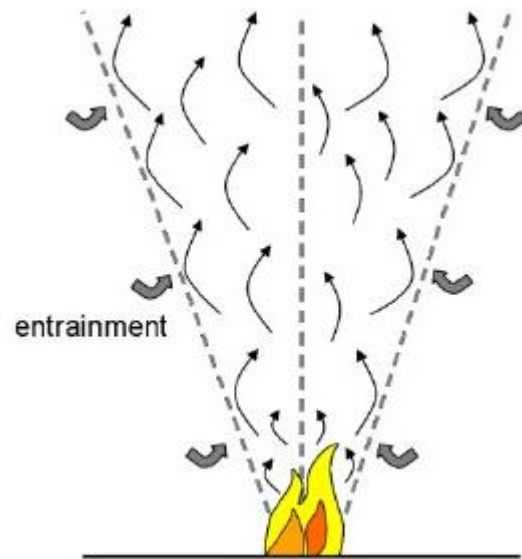


Image 2 Lorsque la fumée s'élève, de plus en plus d'air y est mélangé. Cela s'appelle l'entraînement. (Image : Edward Johnson)

La couche de fumée chaude est maintenant devenue une source de chaleur. Elle transférera de la chaleur sur d'autres objets. Celle-ci est entourée de murs et d'un plafond. Elle est plus chaude que les murs et le plafond. Il y aura un transfert de chaleur par convection de la fumée sur les murs et le plafond. Pendant que la fumée s'échappe, elle se refroidit partiellement. Les murs et le plafond chaufferont en même temps. À mesure que les murs et le plafond chauffent, ils absorbent de moins en moins la chaleur provenant de la couche de fumée. Le transfert de chaleur convectif est en effet proportionnel à la différence de température (ΔT) entre la couche de fumée et les murs et le plafond. Les murs et le plafond transfèrent à leur tour la chaleur par rayonnement et conduction.

Il est possible de calculer la quantité de chaleur transférée par convection:

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

Lorsque la fumée qui traverse un bâtiment rencontre une ouverture, elle s'échappe. Cela constitue un volume, une masse de fumée qui sort du bâtiment et qui équivaut à une quantité importante d'énergie quittant le bâtiment.

Lorsque la couche de fumée tombe à environ un demi-mètre du sol, les pompiers qui se livrent à une attaque intérieure seront partiellement dans la couche de fumée. La partie de leur corps qui se trouve à l'intérieur de la fumée absorbe la chaleur. En fait, la surface du corps du pompier (A) qui se trouve dans la couche de fumée agit à peu près de la même manière que les murs du bâtiment entourant la fumée. La couche de fumée transférera de la chaleur sur les équipements de protection du binôme. La quantité de chaleur transférée dépendra de la différence de température entre l'équipement et la fumée. La chaleur sera ensuite transférée de l'équipement au corps du pompier par conduction.



Si la couche de fumée tombe au niveau du sol, toute victime allongée ressentira immédiatement les effets du transfert de chaleur sur son corps. Les vêtements qu'ils portent offrent peu ou pas de protection. Il en va de même pour toutes les victimes qui se tiennent devant une fenêtre, dans le flux de gaz sortant. Ils recevront eux aussi la chaleur provenant de la fumée. Un problème supplémentaire ici est que le transfert de chaleur par convection dépend de la vitesse de la fumée sortante incluse dans le coefficient de transfert de chaleur par convection h . Le coefficient de transfert de chaleur par convection est déterminé par un certain nombre de choses différentes, dont la vitesse. Plus la fumée circule rapidement, plus elle transfère de chaleur.

Enfin, la couche de fumée transférera beaucoup de chaleur par rayonnement lors de sa sortie. La couche de fumée irradiera de la chaleur sur les objets situés en dessous.

2.2 Le rayonnement

Le rayonnement est une forme de transfert de chaleur bien connue de tous. Pensez à la sensation du soleil qui brille sur votre visage par une chaude journée d'été. Tout le monde peut ressentir l'effet de la chaleur rayonnante. Lors d'un feu de camp ou d'une cheminée, cela devient encore plus clair. Tout le monde sait également que la chaleur rayonnante augmente à mesure que la distance à la source de chaleur diminue.

Au niveau du feu, le foyer principal sera la principale source de chaleur rayonnante. Le foyer principal et les flammes au-dessus irradieront de la chaleur. La chaleur rayonnante se déplace en ligne droite. Tout ce qui est en vue du feu (et des flammes) sera chauffé.

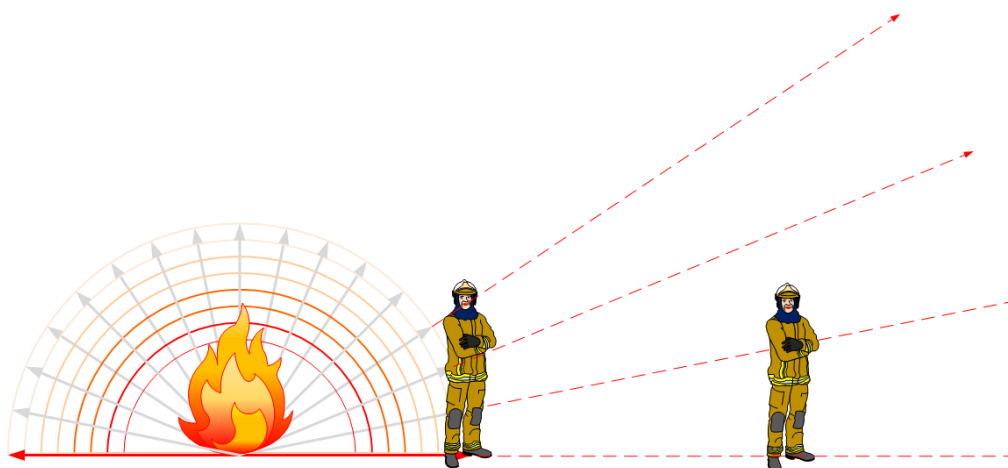


Image 3 Les deux pompiers de l'illustration sont de la même taille, même si cela ne semble pas être le cas. Le pompier le plus proche des flammes absorbera beaucoup plus de chaleur rayonnante. Ceci est illustré par le nombre de flèches frappant son corps. Plus la source de chaleur est éloignée, moins la chaleur rayonne (flèches). (Dessin: Bart Noyens basé sur une idée de James Mendoza du service d'incendie de San Jose)

La couche de fumée chaude irradiera elle aussi de la chaleur sur les objets dans sa «ligne de mire». Ce sont les objets situés sous la couche de fumée. Cela signifie qu'à proximité

immédiate du feu, un canapé sera chauffé des deux côtés. De toute évidence, le foyer principal émet également de la chaleur rayonnante. La quantité de chaleur provenant de là est généralement assez importante, mais la distance du canapé peut être de cinq mètres par exemple. La couche de fumée sera moins chaude que le foyer principal ou les flammes au-dessus. Pourtant, la chaleur rayonnante transférée de la couche de fumée sur le canapé peut être beaucoup plus élevée en raison de la plus petite distance entre les deux. Par exemple, la couche de fumée pourrait facilement se trouver à un demi-mètre du canapé.

La distance entre la source de chaleur et l'objet récepteur est un paramètre important dans le transfert de chaleur rayonnante. La chaleur rayonnante (quantifiée en kW / m²) est inversement proportionnelle à la distance au carré. Cela signifie que la chaleur rayonnante transférée devient quatre fois moins grande à mesure que la distance de la source de chaleur double. La proportion de chaleur rayonnante reçue par rapport à la chaleur rayonnante émise est appelée facteur de forme. Le symbole définissant le facteur de forme est Φ . L'image 3 montre clairement que le pompier qui se tient plus près de la source de chaleur reçoit une plus grande quantité de chaleur rayonnante que celui qui se tient plus loin.

Un deuxième paramètre important est la température de la source de chaleur. Pour le transfert de chaleur par convection, la quantité de chaleur transférée est déterminée par la différence de température entre la source de chaleur et le récepteur. Pour le transfert de chaleur rayonnante, les choses sont plus compliquées. La source de chaleur émettra de la chaleur. La quantité de chaleur émise est directement proportionnelle à la température en Kelvin à la puissance quatre. C'est un peu plus difficile à comprendre. De manière générale, la quantité de chaleur rayonnante devient 16 fois plus importante lorsque la température en Kelvin double. La température en Kelvin est de 273° supérieure à celle indiquée en Celsius. Une température de 400 Kelvin équivaut à 127 ° C. Une température de 800 Kelvin correspond à 527 ° C. Lorsque la température d'une couche de fumée augmente de 127 ° C à 527 ° C, la chaleur rayonnante provenant de cette couche de fumée sera 16 fois plus grande.

Chaque objet émet de la chaleur rayonnante. Le canapé qui chauffe, émettra donc également de la chaleur. Lorsque le canapé a atteint une température de 77 ° C (350 K), il émet également de la chaleur. Il est clair cependant que la chaleur rayonnante du canapé est négligeable par rapport à celle provenant de la couche de fumée.

*Il est possible de calculer le transfert de
chaleur par rayonnement:*

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

La chaleur rayonnante peut tout aussi bien être émise sur les victimes. Les victimes allongées sur le sol ou debout sur un balcon peuvent recevoir une chaleur rayonnante provenant à la fois de la couche de fumée et des flammes. Dans la pratique, on trouve souvent des victimes qui se sont enfuies sur le balcon. Ils ne sont plus impactés par la fumée, mais la chaleur rayonnante provoquera toujours des brûlures (majeures). Une victime debout sur un balcon, à côté des flammes sortant d'une grande baie coulissante



en verre, sera brûlée. C'est en soi un argument en faveur de l'utilisation d'une attaque de transition. En abattant les flammes, la température des gaz sortants diminuera considérablement. La chaleur rayonnante deviendra rapidement 16 fois inférieure. Cela signifie que la victime peut rester sur ce balcon pendant une période 16 fois plus longue, avant d'amasser la même quantité de chaleur rayonnante. Il est cependant important d'utiliser la bonne quantité d'eau lors de cette tactique. Les premières dizaines de litres entrant dans le compartiment enflammé s'évaporeront et capteront une énorme quantité d'énergie des flammes. Ces flammes sont en fait des gaz super chauds. Lorsque l'énergie est retirée de ces gaz, ils rétrécissent considérablement. La diminution du volume de gaz fait à son tour place à l'expansion de la vapeur provenant de l'eau qui s'évapore. Si d'avantage d'eau est envoyée dans la pièce après cela, elle s'évapore principalement sur les murs et le plafond. Cette fois, il n'y aura pas de diminution du volume de gaz, juste une quantité supplémentaire de vapeur qui se forme. Cet excès de vapeur se répandra partout et peut gravement gêner les pompiers et même blesser les victimes. Fermer la lance immédiatement après la diminution de la puissance du feu est donc très important.

3 La fumée

La production de fumée dépend du type de feu. Lorsqu'on regarde les incendies du point de vue de la «production de fumée», on peut distinguer trois types d'incendies: les incendies qui couvent, les incendies ventilés et les incendies sous-ventilés. Un feu qui couve est défini comme un processus de combustion lente à basse température et sans flamme. Les feux qui couvent et les feux sous-ventilés produisent généralement de grandes quantités de gaz (10 fois plus que les feux ventilés). La production de fumée est beaucoup plus faible lors des incendies ventilés. Lorsqu'il s'agit de feux qui couvent, cela dépend beaucoup de la taille du feu et de son évolution. Par exemple, une cigarette pourrait tomber quelque part, allumer un feu qui couve, mais ce feu ne pourra pas se développer. Tant que la surface du feu qui couve reste petite, la production de gaz restera également faible.

La fumée est un mélange de gaz, de particules solides (suies) et de particules liquides en suspension. Différents gaz sont également produits. Le CO₂ et le CO sont deux gaz importants dans la fumée aux côtés des gaz de pyrolyse. Lorsque de l'azote est présent dans le combustible en feu, des substances telles que le HCN se forment également. Enfin, il restera souvent une partie de l'oxygène dans la fumée. Le taux d'oxygène dans la fumée sera évidemment bien inférieur aux 21% normaux qui sont présents dans l'air. La fumée montera sous la forme d'un panache vers le plafond où elle formera une couche de fumée. La composition de la couche de fumée n'est pas fixe. Elle évolue constamment. À l'intérieur de la couche de fumée, il y aura une combustion localisée dans certaines parties. Cela dépend de la température et de l'oxygène disponible. Le taux de CO dans la couche de fumée est directement proportionnel à la température dans les feux contrôlés par le combustible et est inversement proportionnel à la température dans les feux contrôlés par la ventilation. Les taux des différents gaz dans la couche de fumée changent constamment. C'est un phénomène très complexe.



4 Les effets sur le corps humain

4.1 Effets de la chaleur

Lorsque notre peau est chauffée, nous ressentons d'abord une sensation agréable. Pensez à nouveau au soleil qui irradie sa chaleur sur notre peau. Mais tout le monde sait ce que sont les coups de soleil. Chacun de nous a subi des brûlures au premier degré parce qu'il est resté trop longtemps au soleil. Cette sensation agréable peut entraîner des brûlures dues à une longue exposition. La chaleur rayonnante provenant du soleil par une chaude journée d'été est d'environ 1 kW / m². Une exposition prolongée à ce niveau de rayonnement peut entraîner des brûlures au premier degré.

La température de la peau pourrait être chauffée davantage. Cela peut être fait par transfert de chaleur par convection ou par rayonnement comme expliqué ci-dessus. Le seuil de douleur humaine est d'environ 43 ° C. Lorsque la peau se réchauffe au-delà de ce seuil, une douleur se fait sentir. Plus la température est élevée et plus la surface qui brûle est grande, plus la douleur sera causée. Cette douleur peut même faire sauter les gens par la fenêtre, même s'il est certain qu'ils ne survivront pas à la chute.

Des brûlures au premier degré, avec la rougeur typique de la peau, se produisent lorsque la température de la peau atteint 48 ° C. À une température de 55 ° C, des brûlures au deuxième degré commenceront à se former. Ce type de brûlures se caractérise par des cloques. À des températures plus élevées, des brûlures au troisième degré se produisent. Cela signifie que la peau au point de brûlure est complètement détruite.

Bien sûr, il y a une différence de température entre la peau de quelqu'un et celle de la fumée par exemple. En raison du transfert de chaleur (radiatif et / ou convectif), la peau se réchauffe.

Les pompiers sont souvent confrontés à la fois à la convection et au transfert de chaleur rayonnante. Ils travaillent souvent à l'intérieur de la fumée d'une température particulière tout en étant exposés à une certaine quantité de chaleur rayonnante (mesurée en kW / m²). L'organisation américaine NIST a élaboré un graphique qui indique l'effet des deux formes de transfert de chaleur. Le graphique prend également en compte l'effet protecteur de l'équipement de protection.

Le graphique du NIST est bien sûr un modèle simplifié de la réalité. Pourtant, il offre une bonne estimation initiale de la durée pendant laquelle les pompiers peuvent travailler dans certaines conditions avant de se brûler.



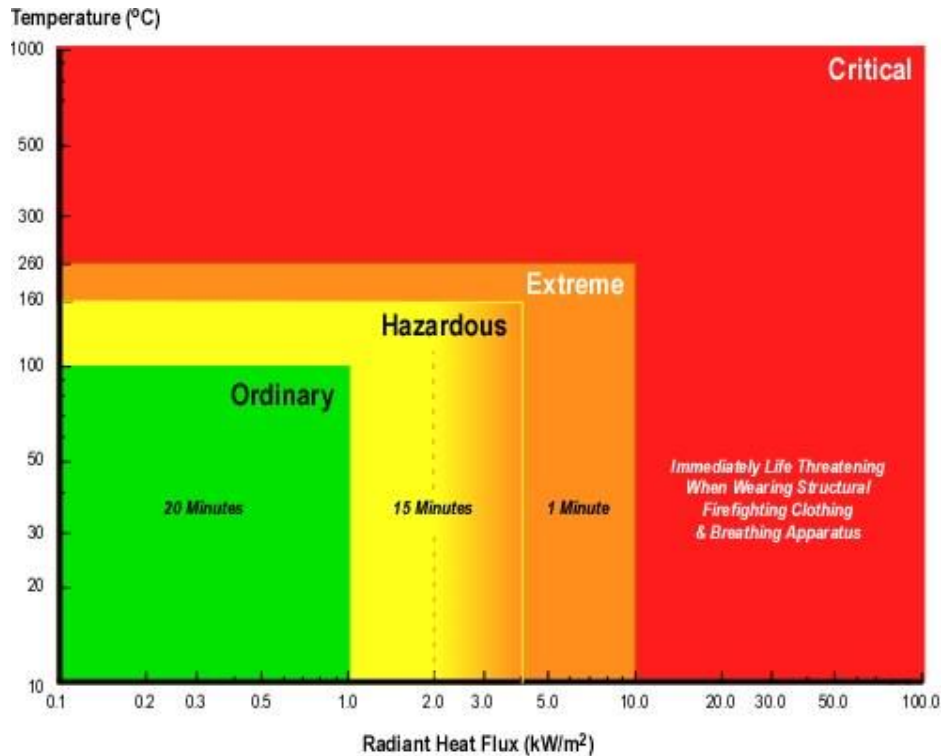


Image 4 Limite d'exposition thermique en fonction du flux de chaleur rayonnante et de la température de l'environnement.
(Graphique: NIST)

4.2 Effet de la fumée

La fumée est littéralement composée de centaines de substances différentes. Pourtant, l'effet de la fumée sur le corps humain peut être illustré en examinant certains gaz clés et l'interaction entre ces gaz.

- La fumée cause un large éventail de problèmes pour les êtres humains:
- La fumée se compose en partie d'irritants.
- La fumée est en partie constituée d'asphyxiants (CO, CO², HCN,...)
- La fumée réduit le taux d'oxygène.

Les gaz irritants dans la fumée affecteront les yeux et les poumons. À des concentrations élevées, ils provoqueront une véritable douleur. De plus, la fumée ne permet pas à la lumière de la traverser. Cela signifie que vous ne pouvez pas très bien voir à travers. Plus la fumée est épaisse, moins vous pouvez voir. Toutes ces caractéristiques font qu'il est très difficile pour les gens de traverser la fumée. La santé physique d'une victime potentielle d'un incendie joue également un rôle. Les seniors et les jeunes enfants succomberont plus rapidement aux effets des irritants chimiques que les adultes en bonne forme. Il va sans dire que les personnes atteintes d'une maladie réactive des voies respiratoires connaîtront des problèmes physiques beaucoup plus rapidement lorsqu'elles sont exposées qu'une personne ayant une santé normale.

Les personnes qui ont été exposées à des gaz irritants peuvent développer de nombreux problèmes de santé même après la fin de l'exposition. Ils ne sont pas encore complètement sortis de l'auberge, même une fois sortis de la fumée. Au cours des 24 premières heures après l'exposition, une inflammation des poumons peut survenir, ce qui peut être fatal. Lorsque de telles inflammations sont correctement traitées ou évitées, la plupart des victimes se rétablissent complètement dans les 3 mois. Ce n'est que lorsqu'une victime d'un feu d'habitation quitte l'hôpital que nous pouvons vraiment dire que nous avons sauvé une vie. Ce sont souvent les efforts combinés des pompiers qui «sauvent» la vie des victimes des incendies domestiques et des services médicaux qui veillent à leur survie.

La fumée se compose également en partie de CO. Dans un incendie, les taux de CO atteignent souvent 5 000 à 10 000 ppm. Ce sont des concentrations très élevées. Le CO se fixe à l'hémoglobine dans le sang. L'hémoglobine est la protéine des globules rouges qui transporte l'oxygène. L'hémoglobine peut être considérée comme un ensemble de camions transportant l'oxygène des poumons vers le reste du corps. Lorsqu'un de ces camions est chargé de CO, il ne peut plus transporter d'oxygène. Si un trop grand nombre de ces camions transportent du CO, alors l'apport d'oxygène frais est considérablement réduit. La quantité de CO est quantifiée en % COHb. Des niveaux élevés de CO dans la circulation sanguine sont la principale cause de décès des personnes prises au piège dans les incendies domestiques. Pour les êtres humains, la règle de Haber s'applique. Haber déclare que l'intoxication au CO dépend à la fois du temps d'exposition et du niveau de CO dans l'atmosphère. Cela signifie qu'une exposition de cinq minutes à une concentration de 1 000 ppm a les mêmes effets qu'une exposition à 500 ppm pendant dix minutes.

La fumée se compose également souvent de cyanure d'hydrogène. Des concentrations de 1 000 ppm sont possibles dans les scénarios d'incendie. Le HCN est également un gaz toxique et est jusqu'à 25 fois plus toxique que le CO. L'effet du HCN doit être ajouté aux effets du CO. Le HCN dans la fumée entraînera une perte de conscience des victimes encore plus rapide que ce ne serait le cas sans HCN. Cela raccourcit encore le temps que les victimes ont pour s'échapper. Enfin, il convient de noter que la règle de Haber ne s'applique pas au HCN. Les gens ne survivront pas longtemps dans des niveaux de HCN de 200 ppm et plus.

La fumée comporte également de fortes concentrations en CO₂. Ce gaz provoque une hyperventilation du corps humain. L'objectif naturel de notre corps est d'extraire le CO₂ de la circulation sanguine. Cependant, l'hyperventilation fait que les autres gaz toxiques sont inhalés encore plus rapidement.

La concentration d'oxygène à l'intérieur de la fumée est réduite. Parfois, il ne reste pratiquement plus d'oxygène sur les 21% d'origine. De faibles taux d'oxygène sont très dangereux. Lors d'un feu dans une habitation, le taux d'oxygène près du sol permet encore de survivre. À l'intérieur de la couche de fumée, des concentrations de 1% ont été mesurées. À cela s'ajoute la température élevée de la couche de fumée. Les personnes qui respirent ce genre de fumée ont souvent peu de chances de sortir vivants. Il y a eu des cas signalés, où des gens ouvrent la porte d'un compartiment en feu et se retrouvent soudain dans une épaisse fumée qui s'échappe. Même après une seule inspiration dans la fumée, elles tombent inconscientes au sol et succombent.



La fumée contient un certain nombre d'autres gaz comme les NOx, mais ceux-ci sont généralement de moindre importance.

De manière générale, la fumée a trois effets sur le corps humain:

1. Les gaz irritants entravent gravement l'évacuation des victimes. Les yeux deviennent larmoyants et les voies respiratoires commencent à être douloureuses. Cela peut même entraîner la chute des victimes.
2. Les taux de gaz auxquels les victimes sont exposées peuvent les désorienter, perdre conscience ou même mourir. Le CO et le HCN sont les gaz les plus importants à cet égard.
3. Des niveaux élevés de gaz irritants peuvent même entraîner la mort d'une victime après avoir été sauvée du feu en provoquant une inflammation des poumons et un œdème pulmonaire.

75% des victimes qui meurent de l'inhalation de fumée se trouvent dans des pièces autres que celles où le feu a pris naissance. Les victimes meurent donc principalement à cause des effets de la fumée. Le professeur David Purser a développé un modèle pour calculer les effets de la fumée. Il propose une approximation de la dose qu'une personne absorbe: la dose efficace fractionnée (FED). Avec lui, il déclare qu'une demi-seconde dans un environnement de 1000 ppm de CO n'est pas aussi mauvaise que 10 minutes dans un environnement de 100 ppm. Dès que la FED dépasse une valeur définie, les victimes perdent conscience. Lorsque la FED augmente encore plus, ils meurent.

5 D'abord sauver les victimes, puis éteindre l'incendie?

Les différents paragraphes ci-dessus expliquent comment les victimes sont affectées par les effets de la fumée. Le moyen le plus rapide d'augmenter leurs chances de survie est de soustraire les victimes de la fumée. Pour y parvenir, il faut d'abord trouver les victimes. C'est souvent très difficile, surtout dans les grands compartiments.

Une deuxième façon d'améliorer les chances de survie des victimes est d'éliminer la fumée. Pour atteindre cet objectif, les pompiers doivent ventiler. En diluant la fumée avec de l'air frais, la concentration de gaz irritants et toxiques diminuera tandis que la concentration d'oxygène augmentera. Cet oxygène supplémentaire pourrait cependant avoir des conséquences dramatiques sur l'incendie, surtout lorsqu'il n'a pas encore été éteint.

La ventilation peut donc devenir une tactique dangereuse sur les feux modernes. Ce n'est que lorsqu'il s'agit de (petits) incendies qui couvent que cela peut se faire en toute sécurité. Pour les autres incendies (ventilés et sous-ventilés), il est important qu'avant la ventilation, l'extinction soit commencée. Il est souvent difficile de garantir le succès de l'extinction. Au début de l'attaque, la position exacte de l'incendie n'est souvent pas (entièrement) claire. Il est alors impossible de ventiler sans d'abord faire quelque chose contre l'incendie. Sinon, il se pourrait bien que le feu se développe de telle manière que les victimes périssent à cause des effets de la chaleur.



Afin de sauver des vies humaines, la fumée doit être éliminée. La ventilation est la solution à ce problème. Mais pour pouvoir ventiler sans que le feu ne croisse de manière significative en raison de l'oxygène ajouté, le feu doit être éteint en premier. C'est ainsi que nous pouvons sauver des vies. En raison des conditions des incendies qui ont changé (par rapport à il y a 50 ans), nous ne pouvons plus attendre d'avantage avant de réaliser l'extinction. Le feu doit être éteint en premier afin que nous puissions ventiler et sauver des vies (ou sauver des vies et ventiler).

D'abord, réalisez l'extinction!

6 Bibliographie

- [1] *Merci B (2010) Active fire protection: Smoke and heat control, course of the Post graduate 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, course of the Post graduate Studies in Fire Safety Engineering, UGent*
- [5] *Lambert K, Baaij S (2018) Brandverloop: Technisch bekeken, tactisch toegepast, 2^{de} editie*

