

Zobowiązany

KOMENDANT GŁÓWNY
PAŃSTWOWEJ STRAŻY POŻARNEJ

nadbryg. Andrzej BARTKOWIAK

Gaszenie pożarów wewnętrznych



**MATERIAŁ REKOMENDOWANY
PRZEZ KOMENDĘ GŁÓWNA
PAŃSTWOWEJ STRAŻY POŻARNEJ**

mgr inż. Szymon Kokot

Materiały dydaktyczne przeznaczone do realizacji „Szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych”

| | |
|--|------------|
| WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SYMBOLI, SKRÓTÓW I OZNACZEŃ..... | 4 |
| OD AUTORA..... | 5 |
| Wstęp..... | 8 |
| 1. Zasady BHP podczas działań..... | 10 |
| 1.1. Zagrożenia..... | 10 |
| 1.1.1. Dym..... | 10 |
| 1.1.2. Ciepło..... | 15 |
| 1.1.3. Ograniczona widoczność i przeszkody..... | 20 |
| 1.1.4. Inne zagrożenia..... | 20 |
| 1.2. Przegrzanie organizmu i poparzenia oraz sposoby zapobiegania..... | 21 |
| 1.3. Środki ochrony indywidualnej oraz wyposażenie ratownika i roty kierowanych do działań podczas pożarów wewnętrznych..... | 23 |
| 1.4. Pozostałe zasady bezpiecznych działań..... | 25 |
| 2. Pożar wewnętrzny i jego rozwój..... | 31 |
| 2.1. Czworokąt spalania..... | 31 |
| 2.1.1. Paliwo..... | 33 |
| 2.1.2. Utleniacz..... | 33 |
| 2.1.2.1. Wpływ tlenu na rozwój pożaru – reguła Thorntona..... | 36 |
| 2.1.3. Ciepło..... | 37 |
| 2.1.3.1. Ciepło spalania..... | 40 |
| 2.1.4. Wolne rodniki..... | 44 |
| 2.2. Sposoby transportu ciepła w pożarze..... | 44 |
| 2.3. Granice palności/wybuchowości..... | 47 |
| 2.4. Spalanie płomieniowe i bezpłomieniowe..... | 51 |
| 2.5 Spalanie dyfuzyjne i kinetyczne..... | 55 |
| 2.6. Spalanie materiałów w różnych stanach skupienia w warunkach pożaru wewnętrznego..... | 56 |
| 2.7. Wybrane parametry pożaru:..... | 58 |
| 2.7.1. Moc pożaru..... | 58 |
| 2.7.2. Gęstość strumienia promieniowania cieplnego..... | 63 |
| 2.7.3. Temperatura samozapłonu gazów pożarowych..... | 63 |
| 2.8. Wpływ zmian temperatury na objętość warstwy zadymienia..... | 65 |
| 2.9. Model strefowy pożaru, w tym płaszczyzna neutralna..... | 67 |
| 2.10. Etapy rozwoju pożaru w pomieszczeniu..... | 69 |
| 2.10.1. Pożar kontrolowany przez paliwo..... | 70 |
| 2.10.2. Pożar kontrolowany przez wentylację..... | 71 |
| 2.11. Wentylacja (wymiana gazowa) w pożarze. Tor wymiany gazowej. Prąd grawitacyjny..... | 72 |
| 2.12. Rozwój pożaru a zmiany: ciśnienia, temperatury, ciepła, stężeń gazów oraz widoczności..... | 76 |
| 2.13. Zjawiska pożarowe..... | 79 |
| 2.13.1. Rozgorzenie..... | 79 |
| 2.13.1.1. Rozgorzenie wywołane wentylacją..... | 85 |
| 2.13.2. Wsteczny ciąg płomienia..... | 90 |
| 2.13.3. Zapłon gazów pożarowych..... | 98 |
| 2.13.4. Uderzenie aerodynamiczne oraz pożar napędzany wiatrem..... | 104 |
| 2.14. Pożar pomieszczenia a pożar obiektu..... | 110 |
| 3. Rozpoznanie pożaru metodą BE-SAHF..... | 112 |
| 3.1. Budynek..... | 114 |
| 3.2. Środowisko (wiatr i inne czynniki)..... | 127 |
| 3.3. Dym..... | 132 |

| | |
|---|------------|
| 3.4. Tor wymiany gazowej | 138 |
| 3.5. Ciepło | 145 |
| 3.6. Płomień | 148 |
| 3.7. Od rozpoznania do działań | 149 |
| 4. Techniki operowania prądami gaśniczymi, poruszania się oraz przeszukania . | 152 |
| 4.1. Woda jako środek gaśniczy podawany z prądownic wodnych..... | 152 |
| 4.2. Natarcie bezpośrednie, pośrednie i łączone oraz działania w obronie. Działania połączone. | 167 |
| 4.3. Teoria chłodzenia gazów pożarowych..... | 170 |
| 4.4. Techniki operowania prądami wodnymi | 178 |
| 4.4.1. Pulsowanie (krótkie i długie pulsy prądem rozproszonym) | 183 |
| 4.4.1.1. Krótki puls | 184 |
| 4.4.1.2. Długi puls | 186 |
| 4.4.2. Ołówkowanie | 188 |
| 4.4.3. Malowanie | 189 |
| 4.4.4. Omiatanie | 190 |
| 4.4.5. Działanie prądem zwartym | 191 |
| 4.5. Pułapki wodne (inwersja warstw pożarowych i odparowanie nadmiaru wody w kontakcie ze strefą spalania). | 197 |
| 4.6. Sprawianie linii gaśniczych. | 201 |
| 4.7. Postępowanie podczas otwierania drzwi w budynku objętym pożarem..... | 207 |
| 4.8. Ocenianie temperatury warstwy podsufitowej w pomieszczeniu zadymionym..... | 213 |
| 4.9. Współpraca w rocie i przemieszczanie się w pomieszczeniach zadymionych. | 215 |
| 4.10. Wprowadzanie linii gaśniczej i wycofywanie się z linią gaśniczą..... | 218 |
| 4.11. Przeszukiwanie pomieszczeń..... | 220 |
| 4.11.1. Przeszukiwanie pomieszczeń z użyciem kamery termowizyjnej | 232 |
| 4.11.2. Przeszukiwanie pomieszczeń z linią gaśniczą | 237 |
| 4.11.3. Przeszukiwanie pomieszczeń bez linii gaśniczej | 244 |
| 5. Taktyka działań gaśniczych..... | 247 |
| 5.1. Działania wewnętrzne – natarcie i obrona..... | 252 |
| 5.1.1. Natarcie wewnętrzne | 252 |
| 5.1.2. Obrona wewnętrzna | 253 |
| 5.2. Działania zewnętrzne – natarcie i obrona. | 254 |
| 5.2.1. Natarcie zewnętrzne..... | 254 |
| 5.2.2. Obrona zewnętrzna | 275 |
| 5.3. Działania połączone..... | 277 |
| 5.4. Oddymianie pomieszczeń..... | 279 |
| 5.5. Wentylacja taktyczna..... | 279 |
| 5.5.1. Antywentylacja (izolowanie pożaru) | 282 |
| 5.5.2. Wentylacja grawitacyjna: pozioma i pionowa | 285 |
| 5.5.3. Wentylacja hydrauliczna: podciśnieniowa i nadciśnieniowa | 287 |
| 5.5.4. Wentylacja mechaniczna: nadciśnieniowa i podciśnieniowa..... | 292 |
| 5.5.5. Wentylacja sekwencyjna | 304 |
| 5.5.6. Wentylacja – podsumowanie | 305 |
| 5.6. Zabezpieczanie wydzielonej przestrzeni (strefy) oraz zabezpieczenie bezpośredniego otoczenia strażaka (obszaru)..... | 306 |
| Postówie | 308 |
| Bibliografia | 309 |
| Spis zdjęć, rysunków i tabel..... | 314 |

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SYMBOLI, SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

| | |
|------------------|---|
| BHP | Bezpieczeństwo i Higiena Pracy; |
| CMC | Critical Mixture Composition – Krytyczny Skład Mieszaniny; |
| CFVF | Critical Fuel Volume Fraction – Krytyczne Stężenie Masowe Paliwa; |
| CFD | Computational Fluid Dynamics – Obliczeniowa Mechanika Płynów; |
| DGW / GGW | Dolna Granica Wybuchowości / Górna Granica Wybuchowości; |
| FOV | Field of View – Pole Widzenia; |
| HP | High Pressure – Wysokie Ciśnienie; |
| LC | Lethal Concentration – Stężenie Śmiertelne; |
| NIST | National Institute of Standards and Technology – Krajowy Instytut Standardów i Technologii; |
| NFPA | National Fire Protection Association – Krajowe Stowarzyszenie Ochrony Przeciwpożarowej; |
| OSHA | Occupational Health and Safety Organization – Organizacja Bezpieczeństwa i Higieny Pracy |
| OUO | Ochrona Układu Oddechowego; |
| PCV | Polichlorek Winyłu; |
| RHR / HRR | Heat Release Rate / Rate of Heat Release – Szybkość Wydzielania Ciepła, inaczej Moc Pożaru; |
| SFPE | Society of Fire Protection Engineers - Towarzystwo Inżynierów Ochrony Przeciwpożarowej; |
| UL FSRI | UL Firefighter Safety Research Institute – Instytut Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków UL; |
| KP/KW | punkt przejścia między pożarem Kontrolowanym przez Paliwo a pożarem Kontrolowanym przez Wentylację; |
| UHP | Ultra High Pressure – Ultrawysokie Ciśnienie; |
| ZGP | Zapłon Gazów Pożarowych; |

„Całość jest czymś więcej niż sumą części.”

– Arystoteles (384 p.n.e. – 322 p.n.e.)

Szanowny czytelniku.

Trzymasz w rękach materiał dydaktyczny opracowany w celu wsparcia procesu nauczania podczas realizacji programu szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych. Ów program jest efektem wieloletnich starań w kraju a pośrednio, również produktem licznych procesów, jakie miały miejsce na przestrzeni ostatnich kilku dekad w wielu miejscach na świecie.

Gaszenie pożarów jest zadaniem stawianym przed strażakami od początku istnienia tego zawodu. W miarę rozwoju cywilizacyjnego i postępu technicznego katalog zadań strażackich rośnie, a ratownicy PSP, OSP, ZSP, WSP i innych podmiotów ratowniczych zmuszeni są nieustannie rozwijać się, aby nadążać za tym postępowaniem. Można powiedzieć, że ten, kto się nie rozwija ten nie stoi w miejscu a właściwie cofa się względem przyspieszającego świata. Dlatego wciąż powtarzam, że:

***„Pierwszą powinnością strażaka jest ratować życie.
Kiedy tego nie robi, pierwszą powinnością strażaka jest szkolić się”.***

Gaszenie pożarów było, jest i zawsze pozostanie kwintesencją strażackiej pracy. Jest wpisane w nazwę naszego rzemiosła. Straż POŻARNA – służba ratująca na wysokości, zwalczająca zagrożenia chemiczne, działająca na wodzie i pod nią, ratująca z wypadków, udzielająca pierwszej pomocy, strzegąca społeczności całego świata przed wszelkimi zagrożeniami, w tym również tymi nowymi. Jednak od zawsze walcząca z pożarami. Zmieniają one swe oblicze, a jednocześnie pewne rzeczy pozostają niezmiennie – poznajemy jedynie nowe szczegóły znanych już nam fundamentalnych prawd naukowych rządzących pożarami. A co leży u podstaw współczesnego podejścia do tej tematyki? Na czym zatem opiera się sztuka zwalczania pożarów wewnętrznych w obecnych czasach?

W 1866 roku James Braidwood, szkocki oficer uznany za twórcę miejskich departamentów straży pisał w swej książce „Fire Prevention and Fire Extinction” o wielu aspektach ważnych w dzisiejszych czasach. Szczególną uwagę przykuwa dziś jego przypominanie o konieczności ograniczania dostępu tlenu do pożaru podczas działań gaśniczych. W 1917 roku brytyjski uczoney William Thornton udowodnił swoimi badaniami bezpośredni wpływ ilości powietrza na ilość wydzielonej energii cieplnej w procesie spalania. Dziś owe lekcje stanowią jedno z najważniejszych zasad walki z pożarami wewnętrznymi.

Lata 40-te, 50-te i 60-te ubiegłego stulecia obfite były w badania nad pożarami i mechanizmami gaśniczymi wody. Amerykański Komendant Wojskowej Straży, Lloyd Layman zwracał uwagę na skuteczność gaśniczą wody podawanej w formie rozproszonej, wprowadzając niezwykle skuteczną taktykę natarcia pośredniego do zwalczania pożarów na okrętach, później zaadoptowaną do walki z pożarami w budynkach. Jednak prawdziwy przełom miał dopiero nastąpić.

Istnieje w międzynarodowym środowisku pożarniczym zgoda, że u podwalin współczesnej sztuki zwalczania pożarów leży przede wszystkim praca wykonana w końcu lat 70-tych przez naszych szwedzkich kolegów po fachu. Inżynier Krister Giselsson i strażak Mats Rosander zaczęli wówczas wprowadzać szereg konceptów, uznawanych dziś za absolutny elementarz walki z pożarami wewnętrznymi. Zwrócili uwagę na palność dymu, zaprojektowali pierwszą prądownicę dedykowaną do chłodzenia pożarów wewnętrznych (TA FogFighter), rozpoczęli międzynarodową dyskusję, która zaowocowała zdefiniowaniem zjawisk pożarowych i wieloma badaniami na ich temat. Nie ma wątpliwości, że ich praca ocaliła tysiące żyć na całym świecie, zarówno strażackich jak i należących do osób poszkodowanych w pożarach.

W latach 80-tych młody wówczas angielski strażak, Paul Grimwood, zaczął wdrażać owe szwedzkie metody w działaniach London Fire Brigade, do której należał. Kolejne dekady jego działalności do dnia dzisiejszego przyniosły ogromny rozwój metodyki zwalczania pożarów wewnętrznych w całej swej rozpiętości. Dziś, w piątej dekadzie swej strażackiej działalności, dr Grimwood pomimo przejścia na emeryturę nadal pracuje dla straży pożarnej jako ekspert ochrony przeciwpożarowej. Jedną z najważniejszych rzeczy, jaką zawsze podkreślał, jest unifikacja nomenklatury i dokładne definiowanie stosowanych pojęć. W ten sposób, rośnie globalne zrozumienie wyzwań walki z pożarami, a ogólnoświatowa wymiana doświadczeń staje się możliwa i o wiele łatwiejsza, szczególnie w dobie Internetu.

Również wieloletnie działania amerykańskiego National Institute of Standards and Technology przyniosły w ostatnich dekadach ogrom nowej wiedzy na temat rozwoju pożarów w równych budynkach i okolicznościach. W latach 70-tych Hugget badał prawdziwość badań Thorntona i powstała krzywa rozwoju pożaru z charakterystycznymi trzema fazami. Później, stojący na czele zespołu badawczego NIST Fire Laboratory Dan Madrzykowski odtwarzał przebieg pożarów śmiertelnych w skutkach dla strażaków, badał pożary obiektów przemysłowych oraz magazynowych, określając ich wytrzymałość, dając strażakom wiedzę i świadomość niejednokrotnie chroniącą ich przed śmiercią i pozwalającą działać skuteczniej. Jednym z najistotniejszych wniosków był ten mówiący o niezwykle silnym oddziaływaniu wiatru na środowisko pożaru wewnętrznego.

Trzeba zaznaczyć, że Szwecja nigdy nie wypuściła raz chwyconej pałeczki pierwszeństwa. Profesor Stefan Svensson, dr Stefan Särndqvist czy inżynier Lars Axelsson to światowe ikony dzisiejszego pożarnictwa, nieustannie zapewniające rozwój tej rozrastającej się dziedziny poprzez publikacje, szkolenia czy warsztaty.

W innej części świata, amerykański Komendant Straży Pożarnych, Ed Hartin, od wielu lat aktywnie rozwija dziedzinę, pisząc artykuły, szkoląc w wielu krajach świata, popularyzując wiedzę ratowniczą i prewencję społeczną. Pomimo skończonych 60 lat aktywnie uczestniczy w ćwiczeniach gorących, co miałem przywilej widzieć na własne oczy podczas Międzynarodowych Warsztatów Instruktorów Pożarniczych w Belgii w 2015 roku. Ponad cztery dekady swych doświadczeń i wniosków opisuje na swoim ogólnodostępnym blogu, którym określam mianem współczesnej encyklopedii walki z pożarami.

Australijczycy John McDonough i Shan Raffel od ponad dekady przemierzają kontynenty kształcąc kolejnych strażaków i dzieląc się wiedzą. W 2013 roku szkolili w Olsztynie przedstawicieli szkół i ośrodków szkolenia PSP, dając nowy rozpęd tej dziedzinie pożarnictwa, który doprowadził do jej dynamicznego rozwoju w naszym kraju. Wraz z Grimwoodem i Hartinem wydali oni w 2005 roku książkę zatytułowaną „3D Firefighting”, będącą dziś najbardziej kompleksową i wpływową pozycją literaturową na świecie w omawianej dziedzinie.

Ostatnia dekada należy niewątpliwie do Instytutu Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków UL w USA. Dyrektor Instytutu, dr Steve Kerber, wraz zespołem przeprowadził setki eksperymentów pożarowych, opisując je na tysiącach stron. Są to aktualnie najważniejsze i najbardziej szczegółowe badania nad środowiskiem pożarów wewnętrznych, wykonywane z punktu widzenia strażaków, dostępne za darmo dla wszystkich na świecie. Darmowa wiedza, dostępna poprzez literaturę i programy e-learningowe bez wątplenia zrewolucjonizowała taktykę zwalczania pożarów na całym świecie.

W Polsce fala wyjazdów do Szwecji w celu uczenia się z tamtejszych doświadczeń miała miejsce w latach 90-tych. Maciej Maczkowski z SGSP wykonał wiele pracy w naszym kraju, wdrażając nowe spojrzenie na walkę z pożarami. Nasze drogi skrzyżowały się pod koniec lat 90-tych i mam dziś zaszczyt nazywać go moim mentorem – człowiekiem, który zaszczerpił we mnie pasję i miłość do straży.

W moim rodzinnym Olsztynie Marek Engiel, Komendant a później Naczelnik Ośrodka Szkolenia wdrażał zdobyte w Szwecji doświadczenia, niejednokrotnie rozwijając i udoskonalając je. Wiele się nauczyłem trafiając do Ośrodka Szkolenia KW PSP w Olsztynie w roku 2008.

Tym wstępem chciałem zaznaczyć jedną ważną według mnie rzecz. Wszystkie wymienione tu osoby, a także wiele niewymienionych, poza ogromną wiedzą, charakteryzują się też mentorską postawą. Są nie tylko nauczycielami – są również a może przede wszystkim wychowawcami kolejnych pokoleń strażaków. Dają wiedzę, zaszczerpiają pasję, krzewią postawy zaangażowania, odpowiedzialności i skromności. Ta ostatnia jest niezbędnym elementem rozwoju pozwalającym zauważać, że posiadana przez nas wiedza nie jest ostateczna i że nauka nie kończy się nigdy, tak jak postęp i rozwój nigdy nie zatrzymują się, aby na nas poczekać. Chciałbym w tym miejscu oddać hołd wszystkim tym, którzy – na świecie i w kraju – dodali swoją cegiełkę do tego fundamentu, jakim jest istniejący w kraju program szkolenia, sieć trenerów i leżący przed

Tobą szanowny Czytelniku skrypt. Bądź pewny, że to nie koniec budowy systemu kształcenia skutecznych i bezpiecznych strażaków. Pamiętaj też, że możesz dołożyć swoją cegiełkę i kontynuować to ważne dzieło, kiedy wielu z nas zabraknie.

Jest dla mnie wielkim zaszczytem móc podzielić się z polskim strażakiem swoją wiedzą. Mimo, że jestem samodzielnym autorem tej publikacji, chcę podkreślić, że „sięgam gwiazd” jedynie dlatego, że mogłem stanąć na barkach gigantów, którzy kroczyli tą drogą przede mną. Mając szczęście i przywilej spotkać osobiście wielu wymienionych powyżej ludzi, składam im podziękowania za ukształtowanie we mnie zamiłowania do pożarnictwa i podzielenie się swoją wiedzą, a także wsparcie w moim dążeniu do osobistych celów na ścieżce samodoskonalenia.

Dziękuję moim dotychczasowym przełożonym i współpracownikom za to, że pozwalali mi się rozwijać i dali szansę dołożyć mój wkład do poprawy stanu wyszkolenia strażaków. Uważam za punkt honoru wyrazić również podziękowania skierowane do kadry kierowniczej PSP różnych szczebli, od moich bezpośrednich przełożonych do ścisłego kierownictwa PSP, za podejmowanie decyzji skierowanych na rozwój i wsparcie systemu kształcenia profesjonalnych kadr, działających skutecznie i bezpiecznie.

Nade wszystko dziękuję moim najbliższym, wspierającym mnie i nadającym znaczenie mojemu życiu. Tylko dzięki Wam wszystko ma sens.

Szymon Kokot
4 maja 2018, Olsztyn

Wstęp

Niniejszy skrypt jest materiałem pomocniczym przeznaczonym do wykorzystania przez słuchaczy podczas realizacji „Programu szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych” zatwierdzonego przez Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej w 2015 roku. Materiał zawiera zebrane treści pozwalające na kompletną realizację wszystkich zagadnień wymienionych w programie.

Celem przedmiotowego szkolenia jest przygotowanie słuchacza do skutecznego i bezpiecznego prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych podczas pożarów wewnętrznych oraz podniesienie poziomu jego świadomości odnośnie zagrożeń wynikających z pracy w środowisku popożarowym. Słuchacz, po ukończeniu szkolenia, powinien:

a) w sferze poznawczej:

- scharakteryzować zagrożenia występujące podczas gaszenia pożarów wewnętrznych,
- omawiać sposoby bezpiecznego zachowania podczas gaszenia pożarów wewnętrznych,
- wyjaśniać mechanizm procesu spalania oraz dynamikę rozwoju pożarów wewnętrznych,
- wyjaśniać zjawiska związane z wymianą gazową i przepływami w środowisku pożaru wewnętrznego
- rozpoznawać i interpretować zewnętrzne i wewnętrzne oznaki pożaru wewnętrznego oraz dobierać sposoby postępowania w oparciu o wynik rozpoznania,
- wyjaśniać oddziaływanie środków oraz technik gaśniczych na środowisko pożaru wewnętrznego,
- interpretować informacje pozyskane w trakcie rozpoznania do sformułowania poprawnego zamiaru taktycznego podczas gaszenia pożarów wewnętrznych.

b) w sferze praktycznej:

- identyfikować zagrożenia występujące podczas gaszenia pożarów wewnętrznych,
- stosować zasady i sposoby bezpiecznej pracy, w tym umiejętnie dobierać i poprawnie używać środki ochrony indywidualnej oraz inne ochrony,
- stosować środki i techniki gaśnicze w sposób bezpieczny i skuteczny podczas gaszenia pożarów wewnętrznych,
- zarządzać środowiskiem pożaru wewnętrznego poprzez kreowanie warunków wymiany gazowej oraz prowadzone działania gaśnicze,

c) w sferze motywacyjnej mieć ukształtowane postawy:

- odpowiedzialności za zdrowie i życie swoje i innych,
- odpowiedzialności za stan techniczny sprzętu,
- odpowiedzialności za rozwój własnej wiedzy i umiejętności w sferze gaszenia pożarów wewnętrznych,

Ukończenie szkolenia jest również warunkiem dopuszczenia do udziału w szkoleniu instruktora zajęć z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych. Dlatego pośrednio, niniejszy materiał stanowi również podstawę doskonalenia zawodowego instruktorów zajęć podczas szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych.

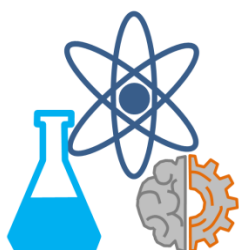
Tworząc niniejsze opracowanie przyświecał mi jeden główny cel: opisać w sposób możliwie kompleksowy a jednocześnie przystępny ogrom treści, jakie składają się na dziedzinę gaszenia pożarów wewnętrznych. Działiałem jednocześnie w poczuciu obowiązku wynikającego z pełnienia roli edukatora i popularyzatora. Oddaję Tobie Czytelniku całą wiedzę, jaką dysponowałem w zakresie tematycznym przewidzianym przez niniejszy skrypt. Niejednokrotnie tworzenie treści było dla mnie przyczynkiem do rozwoju. Dlaczego uważam, że tematyka wymagała tak dokładnego opisanego? Różnorodne zjawiska towarzyszące pożarom wewnętrznym sprawiają, że dzisiejsze środowisko takiego pożaru jest miejscem bardzo niebezpiecznym. Zachodzi w nim wiele zjawisk, które strażacy muszą dobrze zrozumieć, jeśli chcą prowadzić działania bezpiecznie i skutecznie. W wyniku powszechnego wprowadzenia do użytku codziennego tworzyw sztucznych doszło do niemal całkowitego zniknięcia materiałów pochodzenia naturalnego z naszych domów, miejsc pracy czy zakładów produkcyjnych. Wszechobecne plastiki, pianki czy laminaty oraz inne produkty syntetyczne wzmagają zagrożenia występujące w pożarach. Zwiększone zagrożenie bierze się z większej gęstości obciążenia ogniowego (wyższe ciepło spalania materiałów

sztucznych w porównaniu z materiałami naturalnymi), wzmożonej dymotwórczości, większej dynamiki rozwoju pożarów oraz zwiększonego wpływu wszelkich czynności strażaków na pożar.

Mając na uwadze obecny niezadowalający stan literatury, a także bezprecedensowy, narodowy projekt budowy zunifikowanej bazy trenażerów, koniecznością stało się stworzenie opracowania zawierającego szeroki zakres treści. Gaszenie pożarów wewnętrznych wydaje się działaniem relatywnie prostym, jednak u jego źródeł leży zaawansowana fizyka i chemia procesów, które mają miejsce. Samo już spalanie jest skomplikowanym procesem fizykochemicznym. Ograniczenie tego procesu elementami konstrukcyjnymi powoduje szereg konsekwencji, które tysiące badaczy na całym świecie zgłębiało dekadami. Zmiany w występujących w naszych wnętrzach materiałach jeszcze bardziej przyspieszyły dynamikę i złożoność tego procesu. A gdy zaczniemy podawać wodę do pożaru sprawy komplikują się jeszcze bardziej.

Niniejsze opracowanie łączy w sobie wyniki najnowszych badań nad środowiskiem pożaru, wnioski i obserwacje ze zdarzeń oraz ćwiczeń, a także rezultaty dyskusji międzynarodowych w gronie eksperckim oraz zasady inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Celem jego jest zebranie i przedstawienie praktycznych uproszczonych informacji i wytycznych do prowadzenia działań gaśniczych w obiektach.

Pamiętając o uwarunkowaniach systemowych w materiale zawarto treści zarówno dla uczestników szkoleń jak i dla instruktorów. W treści zawarte są pewne informacje, metody działania czy prawidłowości. Jeśli czytelnik chciałby poznać zagadnienie w większym szczególe, wówczas może zapoznać się z treściami zamieszczonymi polu takim, jak to poniżej:



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

W takim polu znajdą się naukowe podstawy twierdzeń zawartych w treści. Jak twierdzi opis w nagłówku ramki, są to treści nadprogramowe. Jeśli jednak Czytelnik ma chęć zgłębić zagadnienie lub szuka naukowego dowodu na zawarte w treści tezy, w tych fragmentach opracowania znajdzie szczegółowy opis wraz z odniesieniem do materiałów naukowych. Zapoznanie się z treściami znajdującymi się w takich polach zalecane jest przede wszystkim dla instruktorów prowadzących zajęcia z omawianej tu dziedziny. Pominięcie tych treści nadal gwarantuje przerobienie całego materiału przewidzianego programem szkolenia.

W treści opracowania znajdą się również ramki, takiej jak ta poniżej. Zawarte w niej treści są podsumowaniem zagadnienia i kwintesencją wyciągniętą z treści. Niejednokrotnie są tłumaczeniem dowodów naukowych na język prostych do wdrożenia zasad walki z pożarami wewnętrznymi.

W tym polu Czytelnik znajdzie podsumowanie najważniejszych zagadnień, streszczenie fragmentu, opis zjawiska lub definicję. Czasem w tym polu znajdzie się też ważny przepis lub sugerowana metoda postępowania. Opanowanie treści znajdujących się w takich ramkach jest absolutnie niezbędne.

1. Zasady BHP podczas działań

Powszechnie wiadomo, że zwalczanie pożarów wewnętrznych wiąże się ze znacznym stopniem ryzyka. Niniejszy rozdział przybliży główne zagrożenia oraz przedstawia techniki, metody i sposoby ograniczania negatywnych skutków tychże zagrożeń. Świadomość zagrożeń jest jednym z najważniejszych czynników pomagających unikać niepożądanych sytuacji, w tym wypadków. Pozwala też na ochronę zdrowia strażaków w perspektywie ich wieloletniej służby.

Ostatnie lata przyniosły ogromny postęp w dziedzinie ochron osobistych, badań dotyczących wpływu wykonywania zawodu na zdrowie strażaków jak też zmiany w dynamice rozwoju pożarów. Regularne odświeżanie wiedzy, doskonalenie umiejętności i zapoznawanie się z wynikami badań naukowych we wspomnianych obszarach może znacząco poprawić bezpieczeństwo ratowników.

1.1. Zagrożenia

Wśród najistotniejszych zagrożeń pojawiających się podczas zwalczania pożarów wewnętrznych, jak również podczas szkoleń w tej dziedzinie, należy wymienić obecność **dymu**, ciepła czy ograniczoną widoczność. Zwalczanie pożarów wiąże się również z ekspozycją na inne zagrożenia, które podsumowano pod koniec niniejszego podrozdziału. Dla usystematyzowania tematyki należy przytoczyć następującą definicję z przepisów branżowych [1]:

Strefa zagrożenia – rozumie się przez to obszar, w którym występuje zagrożenie dla życia lub zdrowia.¹

1.1.1. Dym.

Dym jest jednym z rezultatów procesu spalania. Owo pojęcie używane jest najczęściej w ogólnym ujęciu do nazywania widzialnych, gazowych produktów spalania. W rzeczywistości widzialny efekt owego procesu to coś więcej niż gazy. W skład **dymu** wchodzić mogą:

- ciała stałe (cząstki sadzy, atomy węgla, smoły itd.),
- ciecze (w tym aerozole, czyli rozpylone ciecze zawieszone w gazach),
- gazy, stanowiące główny składnik dymu. Jednym z tych gazów jest powietrze, zawierające w swoim składzie znaczną ilość azotu.²

Dym – gazowe produkty rozkładu termicznego lub pirolizy, a także spalania całkowitego i niecałkowitego, w których rozproszone są małe cząsteczki gazowe, ciekłe (pary) oraz stałe (np. sadze). W dymie może być obecne również powietrze a także inne gazy i mieszaniny gazów.

Dym ma właściwości toksyczne, jest palny, charakteryzuje się najczęściej wysoką temperaturą i ma zdolność rozprzestrzeniania się (rozpylania) oraz przenikania przez szczeliny. Główne zagrożenia wiążą się z toksycznością, temperaturą, palnością oraz ograniczeniem widoczności.

¹ § 2. 9) Rozporządzenia MSWiA z dnia 16 września 2008 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 2008 nr 180 poz. 1115) [1]

² Ciekawostka: Nisse Bergstrom z MSB Sando Fire College, jeden z uznanych, doświadczonych szwedzkich instruktorów, aktywnych w latach 80-tych, 90-tych i 2000-ych definiował podczas szkoleń dym, jako „brudne powietrze, które można zobaczyć”.

Według definicji SFPE Handbook of Fire Protection Engineering:
„**Dym** jest mieszaniną **(1) cząstek stałych** składających się z sadzy, półlotnych związków organicznych (SVOC) i stałych związków nieorganicznych; oraz **(2) - cząsteczek niestałych** składających się z bardzo lotnych związków organicznych (VVOC), lotnych związków organicznych (VOC) oraz płynnych i gazowych związków nieorganicznych.” [21]

W innym miejscu dym definiowany jest jako „**Całość produktów spalania pożarowego, składająca się z cząstek stałych i ciekłych oraz par.**”



Wśród gazów wchodzących w skład dymu należy wymienić przede wszystkim te mające szkodliwy wpływ na organizm ludzki:

- **Tlenek węgla** (CO) – będący produktem niepełnego spalania paliw zawierających atomy węgla w atmosferze ubogiej w tlen. Jest gazem palnym o szerokim zakresie palności. Nie posiada koloru ani zapachu. Stężenia rzędu 1500 ppm (0,15% stężenia objętościowego) są uznawane za zagrażające życiu. Tlenek węgla ma działanie duszące poprzez wysoką zdolność trwałego łączenia się z hemoglobina we krwi, przez co utrudnia łączenie się cząstek tlenu z hemoglobina i dotlenianie organizmu, powodując uszkodzenie układu krążenia i ośrodkowego układu nerwowego.
- **Cyjanowodór** (HCN), powstający podczas niepełnego spalania materiałów takich, jak wełna, jedwab, nylon czy poliuretan. Wydzielany jest podczas spalania odpadów komunalnych, paliw oraz tworzyw sztucznych. Warto zaznaczyć, że obecny jest również w dymie papierosowym.

Tlenek węgla w połączeniu z cyjanowodorem powodują efekt synergii, to znaczy wzmacniają wzajemnie swoje oddziaływanie (zasada synergii, zapisywana symbolicznie: $2+2=5$). CO, poza działaniem duszącym powoduje przyspieszenie oddechu, bowiem organizm próbuje zrekompensować niedobór tlenu. Powoduje to przyspieszenie wchłaniania drugiego z gazów, nasilając dynamikę wzrostu stężenia i osocznego oddziaływania HCN na organizm ludzki.

- **Dwutlenek azotu** (NO₂) oraz inne tlenki azotu, powstające w małych ilościach z różnego rodzaju tkanin oraz w większych ilościach z materiałów takich jak wiskoza. Powodują one poważne podrażnienia płuc i mogą prowadzić do natychmiastowej śmierci. Dwutlenek azotu jest bezwonny gazem, zazwyczaj o brązowym kolorze. Często cyjanowodór oraz dwutlenek azotu powstają jednocześnie podczas pożarów. Różnego rodzaju tlenki azotu, zależnie od składu, mogą mieć oddziaływanie utleniające, żrące i toksyczne.
- **Amoniak** (NH₃) powstaje podczas spalania materiałów takich jak wełna, jedwab czy nylon. W przypadku pożarów w budynkach stężenia są zazwyczaj niskie. Amoniak ma charakterystyczny zapach i już w niskich stężeniach powoduje podrażnienie śluzówek. Jest gazem bezbarwnym i rzadko produkowany jest w stężeniach stwarzających zagrożenie.
- **Chlorowodór** (HCl) powstaje podczas pirolizy pewnych materiałów izolacyjnych używanych w kablach i przewodach (np. PCV) jak również materiałów nasyconych substancjami spowalniającymi spalanie (retardantami) oraz chlorowanymi poliakrylanami. Są to substancje powszechnie stosowane w produkcji włókien oraz tworzyw sztucznych. Chlorowodór jest wysoce żrący a wdychany może powodować śmierć. Jest gazem bezbarwnym.
- **Niespalone węglowodory** powstają w procesie spalania różnorodnych związków węglowodorowych. Należy zauważyć, że obecność pierwiastków węgla i wodoru jest bardzo powszechna w składzie

chemicznym wielu materiałów naturalnych oraz tworzyw sztucznych. Dlatego – zależnie od przebiegu procesów rozkładu termicznego, pirolizy oraz spalania – związki te będą pojawiać się często. Zawierają one atomy węgla (C) oraz wodoru (H) w różnych kombinacjach i są bezbarwne. Zazwyczaj towarzyszy im powstawanie cząstek węgla (C) w postaci sadzy, odpowiedzialnych za barwienie dymu na kolor czarny. Sadza jest najczęściej produkowana podczas pożarów niedowietrzonych, czyli przebiegających przy skrajnym niedoborze tlenu. Cząstki sadzy nadają płomieniom typowy żółty kolor.

- **Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)** – węglowodory o charakterystycznej strukturze i właściwościach. Zalicza się do nich ponad 200 różnych związków, z których wiele ma właściwości rakotwórcze. Powstają w procesie niecałkowitego spalania niemal wszystkich węglowodorów. W ostatnich latach naukowcy odkryli działanie rakotwórcze szeregu nowych substancji z tej grupy, sugerując znaczne rozszerzenie listy 16 substancji, która od lat 70-tych stanowi na całym świecie podstawę do szacowania ryzyka zawodowego dotyczącego ekspozycji na kancerogeny. Wśród WWA znajdziemy między innymi: naftalen ($C_{10}H_8$), fluoren ($C_{13}H_{10}$), piren ($C_{16}H_{10}$), benzo(a)piren ($C_{20}H_{12}$) czy indeno(1,2,3-c,d)piren ($C_{22}H_{12}$), a także wiele innych.

W dymie znajdziemy też: **tlenki siarki, dioksyny, furany, benzen, formaldehyd, fosgen, akroleinę, cząstki stałe (popioły lotne), aerozole czy związki metali**. Skład chemiczny dymu zależy od warunków spalania: składu paliwa, ilości ciepła, dostępności tlenu i innych gazów (np. azotu z powietrza), wilgotności powietrza itd. [2], [3], [4]



Oficjalny symbol zagrożenia rakotwórczego zgodny z „Globalnie zharmonizowanym systemem klasyfikacji i oznakowania chemikaliów”³

W ostatnich latach na całym świecie stwierdza się wyraźnie zwiększone ryzyko zachorowania na szczególnie rodzaje nowotworów wśród strażaków. [5] Powszechnym staje się trend stosowania dodatkowych ochron przez strażaków w celu zminimalizowania tego ryzyka (maseczki pyłowe, rękawice nitrylowe lub bawełniane pod rękawicami pożarniczymi).

Pierwszym i najskuteczniejszym krokiem profilaktyki nowotworowej są dobre nawyki higieny osobistej oraz czynności, jakie mogą wykonywać sami strażacy, bez znaczącego nakładu środków finansowych i skomplikowanych zmian organizacyjnych!



Aby uniknąć negatywnego wpływu na zdrowie czynników⁴ obecnych w środowisku pożaru, należy znać zagrożenia i stosować **odpowiednie środki ochrony indywidualnej (ŚOI)**⁵. Głównym zagrożeniem dla zdrowia w pożarach są gazy zawarte w dymie. Dlatego po ugaszeniu pożaru, do czasu całkowitego przewietrzenia, wszelkie prace wewnątrz powinny być wykonywane w zabezpieczeniu **aparatem powietrznym butlowym (APB)**, chyba że dokonano pomiarów stwierdzających brak występowania szkodliwych substancji wewnątrz pomieszczeń (na tym etapie głównie tlenu węgla, ale nie tylko). W wyniku pożaru dochodzi również do produkcji bardzo dużych ilości cząstek stałych (popiołów lotnych) obecnych

³ <https://en.wikipedia.org/wiki/Carcinogen>

⁴ Czynniki niebezpieczne i szkodliwe – rozumie się przez to czynniki, które mogą spowodować schorzenie, obniżenie sprawności organizmu a także uraz ciała lub śmierć; [1]

⁵ Środki Ochrony Indywidualnej strażaka — rozumie się przez to urządzenia lub wyposażenie przewidziane do noszenia bądź trzymania w celu ochrony strażaka przed zagrożeniami, które mogą mieć wpływ na jego bezpieczeństwo i zdrowie; [1]

w dymie pożarowym. Strażacy poruszając się w zadymieniu gromadzą duże ilości owych cząsteczek na swoich ubraniach. Dodatkowo, już po ugaszeniu pożaru owe cząstki unoszą się w powietrzu. Często widać je w smudze światła ze strażackiej latarki. Są też bardzo widoczne podczas robienia zdjęć na pogorzeliści, niemal zawsze powodując brak możliwości zrobienia dobrego zdjęcia (trudność w złapaniu ostrości, ślady cząstek na zdjęciach zamazujące obraz i odbijające światło flesza). Są to dowody na to, że nawet po ugaszeniu i przewietrzeniu pogorzeliści oraz stwierdzeniu braku obecności gazów szkodliwych dla zdrowia, owo środowisko nadal stwarza zagrożenie dla dróg oddechowych (wdychanie cząstek stałych i ich osadzanie się w płucach) oraz trudno usuwalnym zabrudzeniem skóry. Dlatego zaleca się również korzystanie z maseczek pyłowych w celu zapobiegania przedostawaniu się do płuc cząstek stałych pochodzących z procesu spalania w momencie zakończenia użytkowania sprzętu ochrony układu oddechowego, a przed zdjęciem zabrudzonych dymem i cząstkami stałymi ubrań specjalnych. Dodatkowo, w celu ochrony skóry przed zabrudzeniami zaleca się stosowanie jednorazowych rękawiczek nitrylowych lub bawełnianych pod rękawicami pożarniczymi, szczególnie podczas szkoleń z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych.

ADRIAN SOCHA FOTOGRAFIA

CZY WIESZ ŻE... 60%

#zdrowy_rakownik

STRAŻAKÓW UMIERA NA RAKA?

BADANIA WYKAZAŁY, ŻE RYZYKO ZACHOROWANIA PRZEZ STRAŻAKÓW NA NOWOTWÓR JEST W NIEKTÓRYCH PRZYPADKACH DWUKROTNIE WIĘKSZE NIŻ U INNYCH LUDZI.

Okres rozwoju nowotworu potrafi osiągnąć 25 lat. Oznacza to, że choroba może ujawnić się dopiero na emeryturze.

Na nowotwór coraz częściej chorują strażacy z niewielkim stażem służby. Często zdarza się, że nie przekraczają wieku 30 lat.

Zródło: badania NIOSH (OSI) i Krajowy Rejestr Nowotworowy (Finlandia)

AKCJE WSPIERA:

projekt i druk: **Strazackie Gadzety.pl**

www.cfbt.pl

**JAK ZAPOBIEGAĆ NOWOTWOROM?
TRZYMAJ SIĘ TYCH ZASAD!**

Używaj aparatów powietrznych, jeśli nie ma takiej konieczności stosuj maseczki przeciwpylowe na miejscu akcji

Wypierz ubranie po akcji, nie zapomnij o rękawicach i kominarce

Umyj lub przetrzyj mokrymi chusteczkami twarz, kark, szyję i ręce bezpośrednio po działaniach

Oczyść wstępnie swój sprzęt bezpośrednio po działaniach, na miejscu akcji

Wyczyść sprzęt użyty w działaniach, w tym hełm, również od wewnątrz

Wyczyść kabinę samochodu gaśniczego

Waż przysnąć jak najszybciej po akcji

Wyczyść sprzęt użyty w działaniach, w tym hełm, również od wewnątrz

Nie przechojwaj brudnych ubrań w domu, ani w samochodzie

Wychyć się regularnie

Ubrania specjalne przechowuj z dala od "czystych" pomieszczeń mieszkalnych

Nie pal tytoniu

W razie potrzeby używaj kremów z filtrem UV

#zdrowy_rakownik

AKCJE WSPIERA:

projekt i druk: **Strazackie Gadzety.pl**

www.cfbt.pl

Fot. 1: Ulotka uświadamiająca strażaków opracowana przez cfbt.pl – inicjatywę na rzecz pożarnictwa, wspierającą wysiłki Państwowej Straży Pożarnej w profilaktyce nowotworowej wśród strażaków.




Fot. 2: Maseczka pyłowa i rękawice nitylowe używane podczas szkolenia z użyciem ognia w celu zabezpieczenia przed ekspozycją na cząstki stałe i zabrudzenia. (Fot.: OS KW PSP w Olsztynie)



Fot. 3: Zamiast rękawic nitylowych można stosować rękawice bawełniane, które charakteryzują się lepszą oddychalnością i mniejszą retencją (zatrzymywaniem) potu na dłoniach. Na zdjęciu widać zanieczyszczenia, jakie strażak zgromadził w ciągu działań. Jednocześnie dzięki użyciu rękawic bawełnianych zabezpieczył skórę dłoni przed ekspozycją na owe zanieczyszczenia.

1.1.2. Ciepło

Požary generują znaczne ilości ciepła. Dokładnie ten proces wyjaśniony jest w dalszej części skryptu. Z punktu widzenia bezpieczeństwa i zagrożeń należy pamiętać, że duże ilości ciepła powodują wzrost temperatury i wynikające z tego dodatkowe zagrożenia.

 Ciepło wnika w materię (**przewodnictwo**) i powoduje wzrost jej temperatury. Przy odpowiednio długiej ekspozycji może powodować np. przenikanie przez ubranie specjalne strażaka. Zależnie od dynamiki tego procesu może dochodzić do różnych niepożądanych zdarzeń. Jednym z zagrożeń jest **przegrzanie organizmu** (hipertermia). Skutkiem jego będzie odwodnienie, które jest dodatkowym zagrożeniem dla

zdrowia. Inną negatywną konsekwencją mogą być poparzenia. W związku z postępującą poprawą jakości ochron osobistych strażaków dochodzi do tego, że strażacy pracują bliżej zagrożenia i są dłużej ekspozowani na oddziaływanie ciepła. W dawnych latach jakość ubrań specjalnych była niska a strażacy nie stosowali np. kominiarek. Wielu z nich oceniało poziom zagrożenia za pomocą ciepłą odczuwanego na płatkach uszu, które są dosyć wrażliwym miejscem na ciele. Obecnie wysoki poziom zabezpieczeń izoluje zmysł czucia u strażaków, niejednokrotnie ekspozując ich na wyższe ryzyko. Paradoksalnie, mimo lepszych ochron strażak nadal narażony jest na poparzenie. Ochrony osobiste (rękawice, ubrania specjalne) wykorzystują puste przestrzenie (tzw. poduszki powietrzne) w celu uzyskania lepszej izolacji. W momencie, kiedy strażak zaczyna odczuwać dyskomfort termiczny w danym miejscu na ciele (np. dłoń, ramię) zazwyczaj jest za późno, bowiem temperatura będzie nadal rosła i może powodować **poparzenia**.

Wśród skutków przegrzania organizmu znajdują się **zagrożenia natury kardiologicznej**. Narażenie na ekstremalne gorąco i wysiłek fizyczny podczas gaszenia pożarów aktywuje płytki krwi, co zwiększa tworzenie się zakrzepów, upośledza funkcje naczyniowe i sprzyja niedokrwieniu mięśnia sercowego i urazom u zdrowych strażaków. Obecnie badania próbują wyjaśnić związek między gaszeniem pożarów a ostrym zawałem mięśnia sercowego u strażaków w celu prowadzenia skuteczniejszej profilaktyki. [6]

Temperatura głęboka ciała rośnie nadal przez kilka do kilkunastu kolejnych minut po ustąpieniu warunków prowadzących do przegrzania organizmu (hipertermii). Odpowiednie chłodzenie organizmu może zapobiec negatywnym skutkom przegrzania oraz późniejszym długofalowym komplikacjom zdrowotnym.




Aby uniknąć negatywnego wpływu ciepła na organizm, należy unikać przegrzania i odwodnienia.


Jedną z ważniejszych rzeczy jest regularne uzupełnianie płynów. Przygotowując się do ćwiczeń czy idąc na służbę, strażak powinien regularnie pić wodę w niewielkich ilościach. Dobrą zasadą jest wypijanie jednej dużej butelki wody (1,5l) w ciągu dnia oprócz innych spożywanych płynów. Należy też unikać spożywania nadmiaru kawy. Czując przegrzanie (dłuższe działania w podwyższonej temperaturze oraz pierwsze reakcje organizmu) strażak powinien wycofać się z działań, zgłosić przełożonemu ów fakt i rozpocząć proces schładzania organizmu. Wśród objawów przegrzania można wymienić: osłabienie organizmu, bóle i zawroty głowy, nudności (i wymioty), zaburzenia widzenia, zaburzenia świadomości, obrzęki stóp i okolicy kostek, przyspieszenie akcji serca, zaburzenia oddychania. Skutkiem może również być utrata przytomności.


Schłodzenie w przypadku przegrzania nie może być gwałtowne i zależnie od pory roku może przebiegać inaczej. W ciepłych miesiącach należy zdjąć z siebie kurtkę ubrania specjalnego i zsunąć spodnie, odstawiając uda. Duże powierzchnie ciała skuteczniej wymieniają ciepło, co pomaga w schłodzeniu. Jednym ze sposobów stosowanych przez instruktorów jest również moczenie dłoni w wodzie ze względu na ich silne ukrwienie. Usunięcie się ze światła słonecznego w cień również pomoże skuteczniej obniżyć temperaturę ciała. W chłodnych miesiącach należy uważać na zbyt szybkie schłodzenie organizmu, aby uniknąć szoku termicznego. Rozpięcie kurtki jest dobrym sposobem na rozpoczęcie stopniowego schładzania organizmu. Powinno nastąpić również uzupełnienie płynów.


Aktywność fizyczna czy korzystanie z sauny pomaga przygotować organizm na funkcjonowanie w podwyższonej temperaturze w połączeniu z wysiłkiem, poprzez poprawienie potliwości. Dodatkowo znajomość budowy i funkcjonalności wykorzystywanych ochron osobistych pozwoli zapobiec poparzeniom związanym z przenikaniem ciepła i uniknąć zagrożenia. Przykładowo, powodowanie ściśnięcia warstw ubrania w danym miejscu, np. poprzez bardzo mocne zaciągnięcie pasków ramiennych uprząży aparatu powietrzno-butlowego (APB) może lokalnie spowodować pogorszenie skuteczności ochrony. Z tego samego powodu należy unikać dotykania lub klepania (np. w celu zawołania lub zwrócenia uwagi) po ramieniu podczas pracy w gorącym dymie lub w obecności silnego promieniowania cieplnego. Stosowanie dedykowanej dla strażaków bielizny termalnej pod ubraniem specjalnym jest zalecanie i praktykowane przez strażaków na całym świecie. Jest również często sugerowane przez producentów. Należy pamiętać, że zgodnie z przepisami branżowymi, strażak ma obowiązek stosować się do instrukcji obsługi dostarczonej

przez producenta⁶. Ponadto Komenda Główna PSP dopuściła stosowanie tego typu bielizny zamiast ubrania koszarowego pod ubraniem specjalnym.

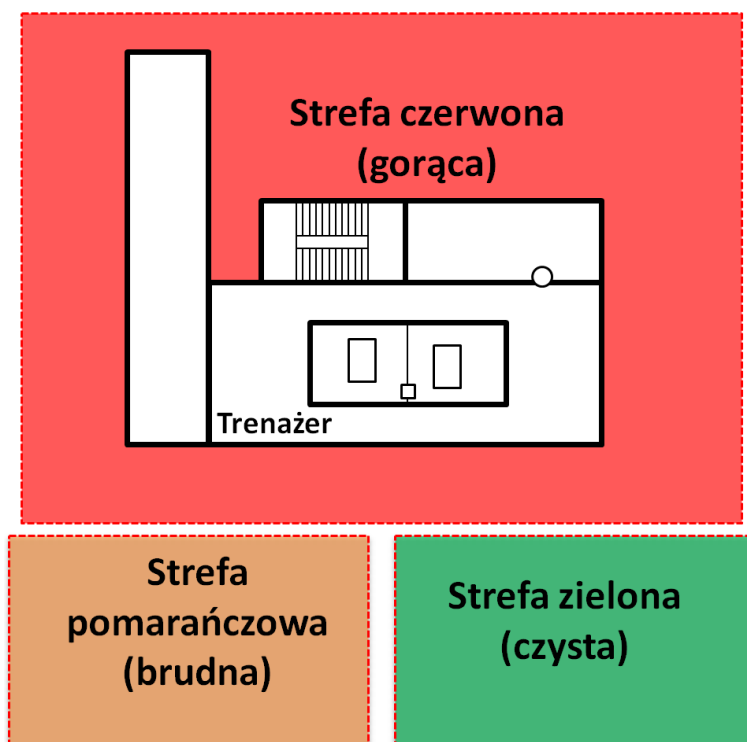
 Kolejnym zagrożeniem wynikającym z obecności ciepła jest fakt **rozszerzania granic palności** gazów pożarowych w wyniku wzrostu ich temperatury. Do tego kumulacja ciepła wywołana jego ciągłą produkcją w pożarze doprowadzi z czasem do podwyższenia temperatury we wnętrzach. Ciała stałe zaczną wydzielać gazy pożarowe (odgazowywać). Gazy pożarowe będą zwiększać swą temperaturę, mogąc nawet osiągać temperaturę samozapłonu, czyli samoczynnego rozpoczęcia reakcji spalania w wyniku zgromadzenia wystarczającej ilości ciepła.

 Strażacy mogą – a nawet muszą! – bardzo skutecznie przeciwdziałać wzrostowi temperatury gazów pożarowych poprzez stosowanie odpowiednich technik operowania prądami gaśniczymi opisanych w dalszej części skryptu. Zawężą tym samym granice palności dymu i gazów pożarowych oraz wytworzą mgłę i parę wodną neutralizującą zagrożenie palnością. Zapobiegną również samozapłonowi gazów pożarowych a także powstrzymają odgazowywanie paliw.

 Podczas ćwiczeń z użyciem ognia dodatkowym zagrożeniem mogą być **nagrzone powierzchnie** elementów konstrukcyjnych obiektów do ćwiczeń, szczególnie wykonanych z materiałów charakteryzujących się dobrym przewodnictwem cieplnym (np. komory ogniowe wykonane z kontenerów do transportu morskiego). Obecność dymu wokół stanowiska w trakcie trwania ćwiczenia musi również być brana pod uwagę jako potencjalne zagrożenie dla zdrowia. Po zakończeniu ćwiczenia należy pamiętać, że przez dłuższy czas w obrębie stanowisk obecne będą szkodliwe dla zdrowia czynniki (gazy, cząstki stałe) pochodzące z procesu spalania.

 Teren prowadzonych ćwiczeń należy podzielić na 3 strefy. Pierwsza z nich (nazwana strefą gorącą lub czerwoną) to stanowisko do ćwiczeń i jego bliskie otoczenie. W trakcie ćwiczeń gorących w tej strefie mogą przebywać jedynie osoby posiadające pełne zabezpieczenie (kompletne ubranie specjalne, sprzęt OUO) i biorące udział w ćwiczeniu lub dopuszczone przez kierownika ćwiczeń, pod warunkiem posiadania ww. ochrony. Kolejna strefa (brudna lub pomarańczowa) to miejsce przejścia po ćwiczeniu i składowania zabrudzonego sprzętu oraz środków ochrony indywidualnej. Trzecią strefą jest strefa zimna lub zielona, w której słuchacze wraz z prowadzącymi dokonują omówienia przebiegu ćwiczenia, chłodzą się i uzupełniają płyny. W tej strefie unika się obecności ubrań i sprzętu zabrudzonych podczas ćwiczeń. Powyższy podział dotyczy głównie ćwiczeń w realnej skali z użyciem ognia.

⁶§ 7. Sprzętu specjalistycznego i środków ochrony indywidualnej strażak używa zgodnie z instrukcją. Podlegają one sprawdzeniu po każdorazowym użyciu oraz podczas przeprowadzania zmiany służby, a stosowane podczas szkolenia - podlegają sprawdzeniu przed rozpoczęciem ćwiczeń. [1]

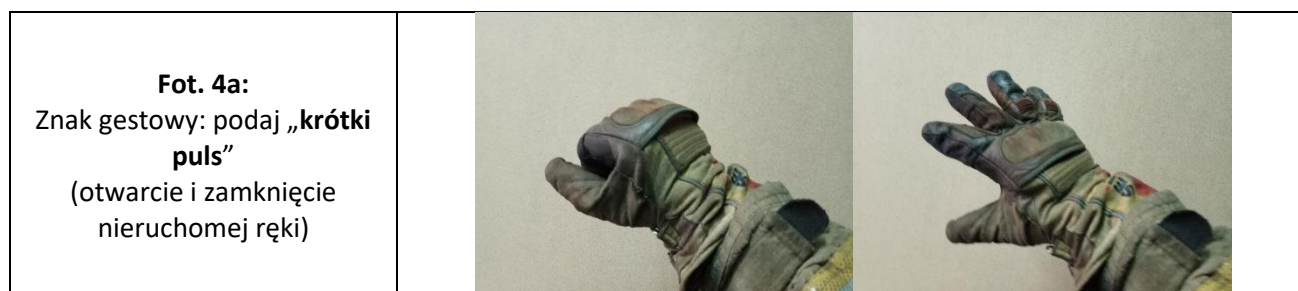



Rys. 1: Podział miejsca ćwiczeń na strefy w celu utrzymania higieny i zminimalizowania poziomu ekspozycji na czynniki szkodliwe pochodzenia pożarowego – zasada ogólna wyjaśniająca ideę funkcjonalną.

Podczas ćwiczeń trenażer (czarne obramowanie, białe tło) znajduje się w całości w strefie czerwonej. Poza strefą czerwoną znajduje się strefa pomarańczowa, w której dokonuje się składowania zabrudzonych ŚOI oraz wyposażenia. Strefa zielona znajduje się poza poprzednio wymienionymi strefami i przeznaczona jest do odpoczynku i chłodzenia organizmu po ćwiczeniu oraz do podsumowania i mówienia ćwiczeń. W razie potrzeby dyktowanej m.in. uwarunkowaniami lokalnymi strefy mogą występować w innej konfiguracji przestrzennej. Powyższy rysunek obrazuje jedynie ogólną zasadę funkcjonowania podziału miejsca ćwiczeń na strefy.

Ponadto, przed rozpoczęciem ćwiczeń prowadzący zajęcia (kierownik lub jeden z instruktorów) powinien dokonać odprawy i zapoznać słuchaczy ze znakami i sygnałami stosowanymi podczas ćwiczeń, zarówno przez prowadzących, jak i uczestników szkolenia. Powinien również omówić zasady zachowania się wewnątrz trenażera (przebieg ćwiczenia), a w szczególności zasady wejścia i wyjścia z niego podczas ćwiczeń. Odprawa powinna również informować uczestników o zagrożeniach i sposobach unikania.

Poniżej przedstawiono proponowane sygnały i znaki gestowe służące poprawie organizacji ćwiczeń z użyciem ognia. Wspomniane techniki i metody pracy opisane są w dalszej części skryptu. Autorem pomysłów i konsultantem jest dh dr hab. inż. Witold Nocoń, prof. nzw. w Pol. Śl. (OSP w Przyszowicach, powiat gliwicki). Na końcu tabeli umieszczono odnośnik do filmu obrazującego propozycje wykonania wybranych znaków gestowych.




| | |
|--|--|
| <p>Fot. 4b: Znak gestowy: podaj „długi puls” (otwarcie i zamknięcie ręki wysuwanej w przód)</p> |  |
| <p>Fot. 4c: Wykonaj technikę „malowanie” (przemieszczanie otwartej ręki w prawo i lewo)</p> |  |
| <p>Fot. 4d: Wykonaj technikę „otówkowanie” (wskazanie dwoma palcami kierunku podania wody)</p> |  |
| <p>Fot. 4e: Wykonaj technikę „omiatanie” (ruch okrężny otwartą dłońią)</p> |  |
| <p>Fot. 4f: Pytanie „czy wszystko ok.?” Odpowiedź „wszystko ok.” (fot.: OS KW PSP w Olsztynie)</p> |  |
| <p>Fot. 4g: Polecenie „zmiana ćwiczących/rotacja grupy” (fot.: OS KW PSP w Olsztynie)</p> |  |
| <p>Poniższy film obrazuje wykonanie wybranych znaków gestowych oznaczających poszczególne techniki operowania prądami gaśniczymi (CTRL+ kliknięcie śledzi łącze):</p> <p style="text-align: center;">LINK: Znaki gestowe - prądy wody (propozycja)</p> | |


Fot. 4 a-g: Umowne znaki gestowe pozwalające polepszyć komunikację podczas ćwiczeń.

Powyższe znaki gestowe są jedynie propozycją. Prowadzący i uczestnicy mogą ustalić inne znaki, pod warunkiem jasnego ich omówienia a także rozumienia i stosowania przez wszystkich uczestników danego szkolenia. Niemniej **ustalenie skutecznych sposobów komunikacji jest jedną z ważniejszych zasad bezpiecznego prowadzenia zajęć z wykorzystaniem otwartego ognia.**

1.1.3. Ograniczona widoczność i przeszkody


 Wynikająca z obecności dymu pogorszona widoczność powoduje narażenie na dodatkowe zagrożenia. Uderzenie w niewidoczne w dymie elementy konstrukcji czy wyposażenia lub wpadnięcie w otwór w podłodze to przykładowe negatywne sytuacje, jakie mogą wynikać z obecności dymu.


Duże ryzyko dla strażaków pracujących w zadymieniu wynika z możliwości uraty orientacji. Przeszukanie zadymionych pomieszczeń jest czynnością niezbędną, jednak zróżnicowanie wnętrza wynikające z przeznaczenia, funkcji i charakteru budynku oraz obecnego w nim wyposażenia powodować będzie zwiększenie prawdopodobieństwa dezorientacji oraz pomijania obszarów w trakcie przeszukania.


 Sposoby minimalizacji ryzyka wynikającego z powyższych realiów prowadzenia działań zostały opisane w dalszych rozdziałach. Obejmują one pozycje i metody pracy z linią gaśniczą, techniki przeszukania obszarów oraz techniki pomagające utrzymywać orientację w obiekcie przy ograniczonej widoczności.


1.1.4. Inne zagrożenia

Wśród innych zagrożeń można wymienić wiele przeróżnych rzeczy. Codziennie, na całym świecie strażaków zaskakują nowe sytuacje. Poniżej wymienione zostało kilka przykładów takich dodatkowych zagrożeń, z jakimi spotykamy się najczęściej.


 Jednym z poważniejszych zagrożeń jest występowanie w obiektach **butli** (lub innych pojemników) z gazami potęgującymi zagrożenia pożarowe (LPG, acetylen, tlen). [7] Niektóre z nich są palne i/lub wybuchowe, inne wzmagają proces spalania. Podczas interwencji stwierdzano też występowanie **materiałów pirotechnicznych**. W jednym z niedawnych przypadków wybuch takich materiałów ranił strażaka w oko.


 Przeciwdziałanie negatywnym skutkom polega przede wszystkim na odpowiednim rozpoznaniu i wdrożeniu zalecanego postępowania. Bezwzględne stosowanie pełnej gamy ochrony indywidualnych w każdej sytuacji bywa czasem uciążliwe (przykładowo z uwagi na warunki atmosferyczne), ale może ocalić zdrowie lub nawet życie. Unikanie tendencji do bagatelizowania zdarzeń, popadania w rutynę a nawet przejawiania pewnej nonszalancji czy brawury w działaniu to oznaki profesjonalizmu i odpowiedzialności, jakimi powinien charakteryzować się każdy strażak.

 Szereg zagrożeń powodowanych jest ze strony **konstrukcji budynku**. Dochodziło do wielu przypadków utraty stabilności konstrukcji, zarwania się podłogi czy stropu i upadku strażaka z wysokości. Przewracanie się elementów konstrukcyjnych obiektu (kominy, słupy, kolumny, ścianki, wrota itd.) niejednokrotnie powodowało kontuzje i obrażenia. Zdarzały się również przypadki odniesienia poważnych obrażeń ze strony spadającego szkła. Nowością są tzw. budynki pasywne, w których istnieje zaprojektowany przepływ powietrza pomiędzy pomieszczeniami. W naturalny sposób owe drogi wpływają na możliwość niepożądaną a często niezauważoną migracji dymu. Stanowi to nie tylko utrudnienie w prowadzeniu akcji, ale również zagrożenie wynikające z palności dymu i możliwości występowania niebezpiecznych zjawisk pożarowych.


 W celu uniknięcia upadku przez podłogę itd. należy stosować odpowiednią pozycję i technikę poruszania się. Jest ona opisana w dalszej części skryptu. Należy pamiętać o tym, że pożar nadwyręża i osłabia wytrzymałość konstrukcyjną elementów budynku i rozważyć możliwość rozkładania ciężaru ciała na większej powierzchni. Uważne rozpoznanie warunków budowlanych jest niezbędnym elementem wewnętrznych działań ratowniczo-gaśniczych i zostanie opisane w szczegółach w części dotyczącej rozpoznania metodą

BE-SAHF. Analizując tę grupę zagrożeń trzeba zauważyć, że ponownie stosowanie środków ochrony indywidualnej jest jednym z najważniejszych elementów bezpieczeństwa i zapobiegania wypadkom. Odnosząc się konkretnie do kwestii domów pasywnych, należy podkreślić raz jeszcze znaczenie rozpoznania, które pomoże wdrażać odpowiednie środki zaradcze.

 Jednym z poważniejszych zagrożeń będą same **warunki pożarowe** i ich zmienność. W wyniku poprawy technologii budownictwa oraz z powodów ekonomicznych nowopowstałe obiekty charakteryzują się coraz lepszym poziomem izolacji termicznej oraz szczelności. Niedawne badania udowodniły, że ciśnienie wewnątrz takiego budynku może rosnąć do niespotykanych dotąd wartości (powyżej 1600 Pa) co może uniemożliwić otwieranie drzwi lub powodować wypadanie okien, nawet wraz z framugami! [8] Wynikający z tego powodu brak kontroli nad miejscem zdarzenia może powodować negatywne konsekwencje. Podobne ryzyko niesie za sobą niekontrolowane funkcjonowanie systemów HVAC (grzania, wentylacji i klimatyzacji) w obiektach. Kolejnym szalenie ważnym czynnikiem jest wiatr i jego wpływ na tory wymiany gazowej oraz intensywność spalania. Wypada też wspomnieć o niepożądanym działaniu osób postronnych w tym kontekście (otwieranie drzwi lub okien).

 Te zagadnienia zostaną omówione w dalszej części skryptu poświęconej wentylacji taktycznej. Stosowanie techniki izolacji pożaru czy wyposażenia w postaci kurtyny dymowej lub lancy mgłowej to niektóre ze sposobów na opisane powyżej wyzwania.

1.2. Przegrzanie organizmu i poparzenia oraz sposoby zapobiegania.

 Praca w środowisku podwyższonej temperatury może doprowadzić do przegrzania organizmu i niebezpiecznych konsekwencji. Wynika to z faktu zaburzonej termoregulacji, która spowodowana jest brakiem możliwości zastosowania przez organizm naturalnych metod normalizacji temperatury ciała. [9]

Podczas pożaru strażak przebywa w sposób ciągły w podwyższonej temperaturze. Promieniowanie ciepłe dociera do niego od źródła pożaru i/lub od gorących gazów pożarowych. W wyniku konwekcji i przewodnictwa dym opływający go przekazuje ciepło do jego środków ochrony indywidualnej i organizmu. Mechanizm przekazywania ciepła tymi trzema drogami wyjaśniony jest w szczegółach w dalszej części opracowania.

Naturalnym mechanizmem chłodzenia organizmu jest pocenie się. Poprzez produkcję potu powierzchnia skóry pokrywa się wodą, która poprzez swoje sprzyjające właściwości fizyczne odbiera ciepło z powierzchni skóry i odprowadza do atmosfery. Warunkiem skutecznego chłodzenia organizmu jest odpowiednie nawodnienie organizmu, niska wilgotność środowiska otaczającego daną osobę oraz pewien przepływ powietrza wzmagający transfer ciepła ze skóry, poprzez krople potu, do atmosfery.

Strażak wykonując zadania w ubraniu specjalnym posiada zaburzone mechanizmy regulacji i brak możliwości skutecznego odprowadzania ciepła. W wyniku tego może dojść do przegrzania, które jest bardzo dużym zagrożeniem dla zdrowia a nawet życia strażaka. Duże znaczenie ma tu jakość ubrania i jego zdolność do „oddychania” a także rodzaj i parametry ubioru podbarierowego, czyli stosowanego pod ubraniem specjalnym (np. bielizny termalnej). Zatem zarówno przepływ powietrza jak i wilgotność wewnątrz ubrania – czynniki kluczowe w procesie termoregulacji organizmu – zależą głównie od jakości strażackich ubrań.

Nadmierne pocenie się wymaga regularnego uzupełniania płynów. Bez tego ważnego procesu organizm narażony jest na hipowolemię (wstrząs wynikający ze zmniejszenia objętości krwi krążącej w organizmie) w związku z czym zatrzymuje mechanizmy pocenia się. Dodatkowo rozpoczyna się zwiększanie lepkości krwi co jest procesem niezwykle groźnym dla zdrowia i życia! **Przegrzanie organizmu może prowadzić do zagrażającego życiu udaru cieplnego!**

Objawami przegrzania są:

- osłabienie,
- nudności,
- ból głowy,
- skurcze mięśni,

- bladość, poty i szybkie tętno (wstrząs!).



Najważniejszym elementem zapobiegania przegrzaniu jest świadomość ratowników. Muszą oni wiedzieć o występującym ryzyku i mechanizmach jego postępowania a także powodowanych objawach. Muszą nawadniać organizm – najlepiej przed ekspozycją na podwyższone temperatury (prewencyjne spożywanie określonej ilości wody podczas służby). Dobra jakość i przemyślany dobór ubrań (ubrania podbarierowego oraz ubrania specjalnego) to kolejne ważne elementy systemu zapobiegania negatywnym skutkom pracy w podwyższonych temperaturach. Jak wspomniano wcześniej, aktywność fizyczna czy korzystanie z sauny pomagają przyzwyczaić organizm i poprawić jego potliwość.

W momencie rozpoczęcia procesu przegrzania ratownik powinien być w stanie zauważyć symptomy jego symptomy. Niezwykle istotny jest też czynnik psychologiczny. Z wielu powodów strażacy mogą nie chcieć wycofać się z bezpośrednich działań: ocena kolegów i przełożonych, mit niezniszczalnego strażaka, wizerunek twardziela, adrenalina, napięcie psychiczne, zafiksowanie się na problemie, postrzeganie tunelowe itd. Strażak powinien zrozumieć, że nie reagując na pierwsze oznaki przegrzania potęguje zagrożenie dla siebie samego jak też dla swoich kolegów. Będą oni musieli ratować jedną osobę więcej – mając jednego ratownika mniej. Do tego dołączy napięcie psychologiczne wynikające z konieczności ratowania kolegi. Należy również pamiętać, że przepisy branżowe [1] nakazują zgłaszanie bezpośrednio przełożonemu wszelkich niedyspozycji psychofizycznych⁷.

Profesjonalny i odpowiedzialny ratownik nigdy nie ignoruje symptomów przegrzania organizmu!

Reakcją na oznaki przegrzania powinno być przerwanie pracy, szczególnie jeśli jest ona związana ze znacznym wysiłkiem fizycznym. Pamiętając o mechanizmach naturalnej termoregulacji, należy zmienić środowisko, w którym strażak przebywa. Odpoczynek (tzw. rehabilitacja po pracy w warunkach gorących) powinien odbywać się w miejscu o niższej temperaturze, niższej wilgotności oraz o lepszym przepływie powietrza. Zależnie od ww. warunków następuje decyzja o częściowym lub całkowitym zdjęciu ubrań specjalnych, butów itd. Należy też unikać nasłonecznienia. Wskazana jest kontrola temperatury ciała. Strażak powinien dostać do picia wodę mineralną bez gazu. **Powinien też zostać przekazany pod nadzór i opiekę personelu medycznego.** Niektóre przypadki wymagają bowiem nawet podawania dożylnego preparatów.

Na przegrzanie szczególnie narażeni są również **instruktorzy** prowadzący ćwiczenia z wykorzystaniem otwartego ognia. Zależnie od scenariusza prowadzonych ćwiczeń niektórzy instruktorzy będą przebywać do kilkudziesięciu minut w strefie oddziaływania promieniowania cieplnego oraz otoczeni będą gorącymi gazami (gazy pożarowe, para wodna). W związku z powyższym może dochodzić do częstego przegrzewania organizmu. Nawet jeśli nie będzie ono miało natychmiastowego skutku w postaci wpływu na samopoczucie czy zdrowie, to może ono mieć skutki opóźnione, szczególnie jeśli ekspozycja jest przewlekła. Dlatego w środowisku międzynarodowym instruktorów prowadzących tzw. „ćwiczenia gorące” przyjęto **zasadę 1/3/9**. Zasada ta oznacza, że instruktor może prowadzić maksymalnie **1 ćwiczenie gorące dziennie, 3 ćwiczenia gorące w tygodniu i 9 ćwiczeń gorących w miesiącu**. Za ćwiczenie gorące przyjmuje się prowadzenie 1 sesji (scenariusza) w warunkach opisanych powyżej, tzn. w ekspozycji na promieniowanie cieplne z płomienia oraz przebywanie w gazach pożarowych. Jeśli instruktor przebywa tylko w gazach sam powinien stwierdzić, czy ta sesja szkoleniowa była dla niego gorąca, czyli czy odczuł przegrzanie swojego organizmu. W celu prawidłowego nadzoru nad warunkami pracy instruktorów, ćwiczenia takie należy rejestrować. Dopisywanie dodatkowo uczestników oraz prowadzonego scenariusza pozwoli na lepszy nadzór nad warunkami pracy instruktorów oraz dokładniejsze rejestrowanie szkolenia z wykorzystaniem otwartego ognia. Scenariusze przewidziane do realizacji w dwóch pierwszych dniach szkolenia wymagają obecności dwóch instruktorów. Pozostałe scenariusze wymagają obecności 3 instruktorów. [10]

⁷ § 3. 1. 5) Kierujący akcją ratowniczą oraz prowadzący ćwiczenia lub szkolenie uwzględnia zgłaszane przez strażaków niedyspozycje psychofizyczne.
oraz

§ 56. Wychodząc ze strefy zagrożenia, strażak melduje dowódcy o zrealizowanych zadaniach i o swoim stanie psychofizycznym. [1]

Tab. 1: Przykładowa organizacja pracy trzech instruktorów w trakcie prowadzenia 5-dniowego szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych według programu zatwierdzonego przez Komendanta Głównego PSP.

| | Dzień 1 | Dzień 2 | Dzień 3 | Dzień 4 | Dzień 5 | Liczba ćwiczeń gorących |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|
| Instruktor 1 | Gorące | Zimne | Zimne | Gorące | Zimne | 2 |
| Instruktor 2 | Zimne | Gorące | Zimne | Zimne | Gorące | 2 |
| Instruktor 3 | | | Gorące | Zimne | Zimne | 1 |

1.3. Środki ochrony indywidualnej oraz wyposażenie ratownika i rotę kierowanych do działań podczas pożarów wewnętrznych.

Realizując zadania w ramach działań ratowniczo-gaśniczych podczas pożarów wewnętrznych strażacy muszą być odpowiednio wyposażeni. Istnieje szereg elementów niezbędnych dyktowanych przepisami czy przyjętą dobrą praktyką. Jest też sporo elementów przydatnych usprawniających działania lub poprawiających bezpieczeństwo. Zostaną one tu pokrótce wymienione i scharakteryzowane. Niniejsza część skupi się również na pewnych dobrych nawykach, zachowaniach czy czynnościach.

W tym rozdziale wspomniano już o szeregu awaryjnych sytuacji, w których dochodziło do negatywnych konsekwencji dla strażaków. Dynamiczna natura zdarzeń, z jakim straż się mierzy powoduje niejednokrotnie nagłe zwroty sytuacji, którym ciężko zapobiec a nawet – które czasem ciężko przewidzieć. Właśnie dlatego strażacy powinni zawsze i bezwzględnie stosować pełną gamę ochron osobistych, adekwatnych do sytuacji. Nawet jeśli czasem wydaje się, że nie występuje bezpośrednie zagrożenie strażacy powinni być ostrożni w rezygnowaniu ochron. Czasem za cenę tymczasowego dyskomfortu można zyskać ochronę w najmniej spodziewanym momencie. Autor sam miał kilka sytuacji, w których np. hełm uratował go przez urazem głowy w najmniej spodziewanym momencie. Niestety nabywaniu doświadczenia sprzyja popadanie w rutynę i tylko świadome przeciwdziałanie temu procesowi poprzez konsekwentne stosowanie ochrony osobistych może zapobiec negatywnej sytuacji.

W przepisach i praktyce BHP istnieje kanon postępowania w przypadku występowania zagrożeń. Pierwszym krokiem jest zmiana procesu, który generuje zagrożenia. Niestety natura strażackiego powołania wiąże się z reagowaniem na zdarzenia awaryjne. Pierwszy poziom ochrony nie ma tu zastosowania. Kolejnym krokiem jest odizolowanie człowieka od zagrożenia np. poprzez fizyczne bariery. Tu również nie mamy możliwości skorzystania z tej formy zabezpieczenia, jedynie w sposób doraźny i losowy. Trzecim i ostatnim środkiem ochrony jest wyposażenie pracownika w ochrony osobiste, jeśli zmiana procesu i odizolowanie człowieka od zagrożenia nie wchodzi w rachubę.

Środki Ochrony Indywidualnej są ostatnim ogniwem systemu bezpieczeństwa i higieny pracy. Z tego powodu ich stosowanie powinno być bezwzględnie respektowane wszędzie tam, gdzie występują lub mogą wystąpić zagrożenia.

Świadomość zagrożeń i odpowiednia na nie reakcja są zatem najważniejszym elementem systemu bezpieczeństwa i higieny służby.

Niezbędne podczas działań w pożarach wewnętrznych będą następujące **środki ochrony indywidualnej:**

- ubranie specjalne,
- buty strażackie,
- rękawice specjalne,
- kominiarka,
- hełm strażacki,
- aparat powietrzny butlowy (APB) ze sprężonym powietrzem i maska,
- sygnalizator bezruchu,
- radiotelefon nasobny,

- latarka.

Poprawne korzystanie z ŚOI jest najważniejszym elementem bezpieczeństwa. Szczególnie ważne jest korzystanie z ochrony układu oddechowego. Szkodliwe oddziaływanie **dymu** jest główną przyczyną zgonów w pożarach osób cywilnych. Jest też coraz częściej zauważanym i uwodnionym czynnikiem zagrożenia w pracy strażaków. Dlatego strażak nakładając maskę aparatu powinien wykonać test szczelności. Powinien również upewnić się, że automat oddechowy został dobrze wpięty w gniazdo maski, bowiem zdarzają się przypadki wypinania się w zadymieniu niedokładnie połączonych automatów. Krótkie szarpnięcie pozwoli na upewnienie się, czy połączenie zostało wykonane poprawnie. Kolejny ważny element to upewnienie się o poprawnym i trwałym przypięciu zaczepów maski do hełmu, w przypadku korzystania z tego typu rozwiązania.

Do **niezbędnego wyposażenia** można natomiast zaliczyć:

- nawodnioną linię gaśniczą zakończoną prądownicą wodną typu Turbo o wydajnościach w zakresie 100-500 L/min,
- narzędzie burzące (np. halligan, łom czy zestaw burzący halligan + młot),

Dodatkowo **pomocne** w pożarach wewnętrznych mogą okazać się:

- kamera termowizyjna,
- kliny do blokowania drzwi lub okien,
- linka (temat linek jest bardzo szeroki, niemniej jednak pewien rodzaj linki może przydać się do utrzymania kontaktu, orientacji w zadymionej przestrzeni, zabezpieczania sprzętu czy innych czynności pomocniczych),
- kurtyna dymowa.

Strażacy wykonują zadania w strefie zagrożenia w zespołach dwuosobowych, czyli w rotach. Przed wejściem do takiej strefy strażacy powinni dokonać **wzajemnej kontroli**. W ramach tej kontroli strażacy powinni sprawdzić sobie wzajemnie i wypowiedzieć na głos poziom napełnienia butli z powietrzem (ciśnienia). Odczytanie ciśnienia na manometrze kolegi jest nieco łatwiejsze a dodatkowo, jeśli przynajmniej jedna osoba pamięta o kontroli powietrza to nastąpi ono dla dwóch osób. Taki system pracy charakteryzuje się wyższym poziomem niezawodności. Podobnie wygląda sprawa kontroli szczelnego założenia kominiarki po nałożeniu na twarz maski aparatu powietrznego butlowego. Wzajemna kontrola pomaga nie zapomnieć o tym istotnym kroku a dodatkowo ten sposób pracy zdecydowanie poprawia dokładność wykonania tej ważnej dla bezpieczeństwa czynności. Niedokładne założenie kominiarki na maskę czy rękawicy naraża strażaka na poparzenia od promieniowania cieplnego, gorącego dymu czy pary wodnej wytwarzanej w wyniku prowadzenia działań gaśniczych. Kontrola szczelności maski pomoże uniknąć zbędnego tracenia powietrza i skracania możliwego czasu pracy w strefie zadymienia.

Przepisy branżowe oraz zdrowy rozsądek nakazują załączenie sygnalizatora bezruchu przed wejściem w strefę zagrożenia⁸. Strażacy powinni również okresowo sprawdzać poziom ciśnienia w butlach aparatów. Takie sprawdzenie powinno następować w pewnych istotnych momentach akcji i nie rzadziej niż 5 minut. Owe momenty to np. dojście do ogniska pożaru, wejście na inną kondygnację czy nagła zmiana warunków pożarowych. [11]

Przemieszczając się w zadymieniu strażacy powinni znajdować się jak najbliżej podłogi. Konkretnie techniki i sposoby pracy pokazane są w dalszych rozdziałach, szczególnie w ROZDZIALE dotyczącym pracy z liniami gaśniczymi. W strefie położonej nisko znajduje się najwięcej czystego powietrza a najmniej dymu, panuje najniższa temperatura i jest najlepsza widoczność. Przemieszczanie się nisko pomoże też utrzymać kontakt strażaków w rocie. Zachowanie kontaktu jest bardzo ważnym elementem bezpieczeństwa, bowiem w pożarach wewnętrznych (jak też w innych działaniach) to właśnie kolega z rotacji jest tym, który pierwszy może udzielić nam pomocy. W razie potrzeby rozdzielenia się poza zasięg wzroku, co w zadymieniu może

⁸ § 55. 1. 2) Przed wejściem do strefy zagrożenia strażak uruchamia sygnalizatory bezruchu; [1]

oznaczać odległość zaledwie paru metrów, strażacy powinni wykorzystać inne metody utrzymywania kontaktu, jak linki ratownicze, linki osobiste, narzędzia czy tzw. autorolki (samozwijalne linki osobiste).

Przeszukując pomieszczenia zaleca się wykorzystanie rąk i nóg, natomiast unikanie używania narzędzi. Nasze kończyny posiadają czucie i o wiele łatwiej jest zidentyfikować odnajdywane obiekty czy osoby w całkowitym zadymieniu. Ponadto, twarde a czasem dodatkowo ostre krawędzie narzędzia mogą powodować obrażenia wtórne. Techniki i sposoby przeszukania zostały opisane w ROZDZIALE dotyczącym poruszania się z linią gaśniczą w obiektach.

Każdorazowe wejście czy wyjście z obiektu jest zdarzeniem istotnym z punktu widzenia bezpieczeństwa i taktyki działań. Kierujący Działaniem ratowniczym powinien zarządzać wejście do obiektu osobiście lub z uwzględnieniem poziomu dowodzenia poprzez dowódców szczebla pośredniego. Powinien również być niezwłocznie informowany o każdym przypadku wyjścia strażaków ze strefy, jeśli sam tego nie zarządził. Wskazują na to również branżowe przepisy bhp⁹.

1.4. Pozostałe zasady bezpiecznych działań

Duży wpływ na bezpieczeństwo ma organizacja miejsca akcji oraz przydział ról i zadań strażakom obecnym przy zdarzeniu. W trakcie prowadzenia działań wewnątrz budynku należy prowadzić nadzór nad strażakami i śledzić ich postępy. Pomoże to w udzieleniu bezzwłocznej pomocy. Jest to zgodne nie tylko z dobrą praktyką, ale wynika również wprost z szeregu przepisów, które wypada tu wybiórczo zacytować [1]:

§ 3. 2. Bezpośredni przełożony strażaków we własnym zakresie niezwłocznie likwiduje stwierdzone lub zgłoszone zagrożenia życia lub zdrowia strażaków oraz inne uchybienia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny służby, a w przypadku braku takiej możliwości zgłasza je kierownikowi jednostki organizacyjnej Państwowej Straży Pożarnej.

§ 52. 3) Strażak uczestniczący w akcji ratowniczej **melduje dowódcy** nadzorującemu odcinek akcji ratowniczej o każdym przypadku oddalenia się i powrotu na teren tego odcinka.

§ 53. 1. Podczas akcji ratowniczej, uwzględniając poziom dowodzenia, kierujący akcją ratowniczą:

- 4) **ustala sygnały i środki alarmowe oraz odwód niezbędny do udzielenia natychmiastowej pomocy poszkodowanym i zagrożonym;**
- 5) rozpoznaje i ustala najbezpieczniejsze **drogi odwrotu lub ewakuacji;**
- 6) **nadzoruje pracę strażaków** oraz stan ich zabezpieczenia na stanowiskach szczególnie zagrożonych;

3. Dowódca nadzorujący strefę zagrożenia lub jej wydzieloną część:

- 1) **kontroluje, dla celów bezpieczeństwa, stan liczebny** podległych strażaków, w szczególności przebywających w strefie zagrożenia;
- 2) organizuje, w miarę możliwości, **pomiar czasu przebywania strażaków w strefie zagrożenia**, z wykorzystaniem urządzeń do tego przeznaczonych lub kart pracy sprzętu dla ochrony dróg oddechowych;
- 3) podejmuje decyzję o **natychmiastowych poszukiwaniach** zaginionych w strefie strażaków.

⁹§ 56. Wychodząc ze strefy zagrożenia, strażak melduje dowódcy o zrealizowanych zadaniach i o swoim stanie psychofizycznym. [1]

§ 54. 1. Rozpoznanie, wyznaczenie strefy zagrożenia oraz inne czynności ratownicze wewnątrz tej strefy są wykonywane przez co najmniej dwóch strażaków.

2. **Strażakom w strefie zagrożenia wyznacza się dwóch strażaków do asekuracji.**

§ 92. Podczas gaszenia pożaru kierujący akcją ratowniczą:

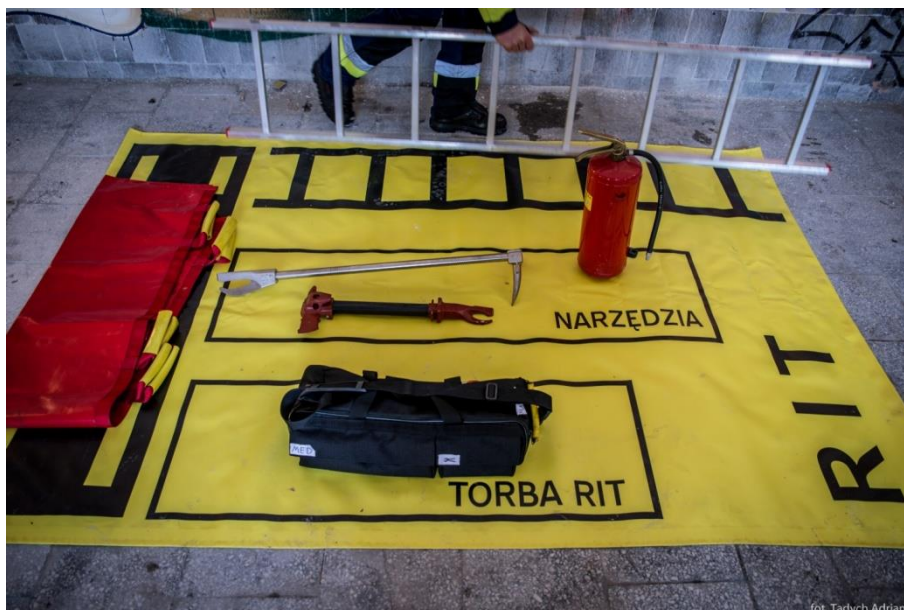
1) utrzymuje łączność i **kontroluje czas przebywania strażaka w strefie zagrożenia zapewniający bezpieczny odwrót lub ewakuację;**

3) przed przystąpieniem do akcji ratowniczej w pomieszczeniu zadymionym, **sprawdza wyposażenie strażaka** w środki ochrony indywidualnej, sygnalizator bezruchu, sprzęt oświetleniowy i w sprzęt łączności bezprzewodowej.

Dobra praktyka spotykana w różnych krajach, w tym również w Polsce, przewiduje realizację między innymi następujących elementów w celu wypełnienia powyższych przepisów:

- Co najmniej dwóch strażaków na miejscu zdarzenia przewidzianych jest jako **personel asekuracyjny**. Ich zadaniem będzie pomoc dowódcy w realizacji jego obowiązku nadzorowania pracy strażaków na stanowiskach szczególnie zagrożonych oraz przygotowanie dróg ewakuacji. Ważnym elementem będzie też gotowość do „**udzielenia natychmiastowej pomocy**”.
- Rota asekuracyjna (w razie potrzeby akcji może być to zastęp asekuracyjny) zdejmie z pojazdu **drabinę** lub drabinę, w celu ustawienia och pod oknami budynku. W razie potrzeby nagłej ewakuacji drabina będzie w odpowiednim miejscu lub będzie wymagać jedynie przestawienia, co jest znacznie krótsze niż zdejmowanie jej z pojazdu i sprawianie.
- Analogicznie, **przygotowanie sprzętu** mogącego się przydać w przypadku konieczności udzielania pomocy będzie wypełnieniem przygotowania się do „udzielania natychmiastowej pomocy”. W tym celu gromadzi się niezbędny sprzęt w wyznaczonym miejscu (np. na macie sprzętowej – patrz **fol. 4**).
- Personel asekuracyjny nie będzie angażowany w żadne **czynności**, które mogą opóźnić udzielenie pomocy lub których przerwanie może stwarzać dodatkowe trudności albo zagrożenie.
- Wyznaczony strażak (dowódca, kierowca, członek zastępu) będzie **kontrolował czas pracy** w strefie zadymienia i informował okresowo o upływającym czasie. Będzie też starał się śledzić pracę i postępy strażaków zaangażowanych w czynności, aby być w stanie z dużą dokładnością wskazać lokalizację strażaków na żądanie dowódcy.
- Szczegółowo, zagadnienia samo ratowania, asekuracji i ratowania strażaków zostały opisane w wydanej przez SA PSP w Krakowie książce pt. „Podstawy zabezpieczenia i ratowania strażaków podczas wewnętrznych działań gaśniczych”.¹⁰

¹⁰Link do książki w formacie PDF na stronie SA PSP w Krakowie: www.sapsp.pl



Fot. 5: Specjalna mata sprzętowa przeznaczona do przygotowania na miejscu zdarzenia sprzętu służącego do asekuracji strażaków wykonujących działania w strefie zagrożenia. (fot. Adrian Tadych).





Na zdjęciu widać przygotowane miejsce na nosze, drabinę, torbę z zapasową maską i butlą powietrzną dla poszkodowanego strażaka, narzędzia burzące oraz podręczny sprzęt gaśniczy. Konfiguracja sprzętu do asekuracji może być modyfikowana zależnie od potrzeb.

W poprzednich rozdziałach opisano zagrożenia wynikające z obecności w środowisku pożarowym wielu kancerogenów. W związku z tym opracowano zalecany sposób postępowania z mocno zabrudzonymi Środkami Ochrony Indywidualnej po wyjściu z pożaru¹¹. Oczywiście zależnie od pory roku wdrożenie wszystkich punktów niniejszego postępowania będzie utrudnione. Dodatkowo, opisany poniżej algorytm postępowania stworzony został dla sytuacji, w której strażak zakończył działania. W przypadku konieczności powrotu do działań lub pozostania na miejscu zdarzenia bez zdejmowania ŚOI strażak powinien przede wszystkim pamiętać o ochronie dróg oddechowych przez zapyleniem oraz o ochronie skóry (szczególnie rąk) przed zabrudzeniem.

Jak wspomniano, warunki atmosferyczne będą wpływały na realizację zalecanego sposobu postępowania. Niemniej należy dążyć do zrealizowania maksymalnie dużej liczby wymienionych poniżej etapów. W niektórych mogą pomóc drobne zamiany organizacyjne lub doposażenie strażaków w niedrogie przedmioty jak np. worki na zabrudzone ubrania, moduł do mycia rąk w zabudowie pojazdu czy roboczy dres dla uniknięcia wychłodzenia.

Mając na uwadze przedostawanie się zanieczyszczeń do kabiny załogi strażacy powinni regularnie czyścić wnętrze kabiny. Powinni również bezwzględnie unikać przewożenia zanieczyszczonego wyposażenia i środków ochrony indywidualnej w kabinie załogi. Szczególną uwagę należy zwrócić na aparaty powietrzne butlowe, które powinno się po użyciu w pożarze przewozić w skrytce sprzętowej i czyścić bezzwłocznie po powrocie do jednostki.

¹¹<https://youtu.be/TR0Do7sZFek> - „Zalecana, bezpieczna metoda zdejmowania AODO”

| | |
|--|--|
| <p>Fot. 6a:</p> <p>Strażak po wyjściu wybiera miejsce, w którym będzie się rozbierał. Bierze pod uwagę bezpieczną odległość od obiektu i zadymienia. Klęka na kolanach (odpoczynek) i rozpoczyna czynności. Na początek zdejmuje rękawice pożarnicze. (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |
| <p>Fot. 6b:</p> <p>Strażak oklepuje zdjętymi rękawicami swoje ubranie w celu wstępnego oczyszczenia go z cząstek stałych, które wyniósł na sobie z pożaru. Następnie układa rękawice pod kolanami (dobry nawyk pomagający nie zgubić rękawic podczas zdejmowania ich w trakcie działań). (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |
| <p>Fot. 6c:</p> <p>Strażak zdejmuje hełm i odkłada go na bok. Przygotowuje również półmaskę filtrującą (maseczkę przeciwpyłową). Zalecany minimalny stopień ochrony to FFP2¹². WAŻNE: aby zachować pożądany poziom higieny maseczkę należy nosić w szczelnym opakowaniu, najlepiej w zapinanej kieszeni ubrania specjalnego. (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |
| <p>Fot. 6d:</p> <p>Strażak odpina pas biodrowy aparatu, luzuje paski ramienne aparatu, następnie zdejmuje kolejno paski ramienne. Ważne, aby przy zdejmowaniu pamiętać, po której stronie przebiega przewód ciśnieniowy doprowadzający powietrze z butli do automatu oddechowego. Po zdjęciu aparatu strażak odkłada go w pobliżu siebie. (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |

¹² Klasyfikacja ochrony według normy: PN-EN 149+A1:2010 Sprzęt ochrony układu oddechowego – Półmaski filtrujące do ochrony przed cząstkami – Wymagania, badanie, znakowanie.

| | |
|---|--|
| <p>Fot. 6e: Strażak rozpina kurtkę, a następnie zdejmuje ją. Odkłada ją w pobliżu aparatu powietrznego butlowego. Następnie strażak zdejmuje kominiarkę. (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |
| <p>Fot. 6f: Otwór twarzowy kominiarki pozostanie na przewodzie ciśnieniowym doprowadzającym powietrze z butli do automatu oddechowego. Należy unikać natychmiastowego zdejmowania maski. Użyty w działaniach aparat wymagał będzie nabicia butli sprężonym powietrzem niezależnie od poziomu ciśnienia w butli po wyjściu. Owo powietrze pomoże zapobiegać ekspozycji na substancje szkodliwe pochodzące z ŚOI oraz przegrzaniu. (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |
| <p>Fot. 6g: Strażak luzuje paski od maski przytrzymując ją przy twarzy. Używa powietrza pozostałego w butli do owiania twarzy. Pomaga to rozpocząć schładzanie organizmu. Nadciśnienie w masce pozwala uniknąć ekspozycji na zanieczyszczenia. Unosząc kołnierz od ubrania podbarierowego (np. bielizny termalnej) chłodzi ciało powietrzem. (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |
| <p>Fot. 6h: Strażak zdejmuje maskę aparatu i odkłada obok. Następnie nakłada maseczkę przeciwpyłową. Może wykorzystać automat oddechowy do dalszego chłodzenia ciała poprzez owiewanie powietrzem. (fot.: Mariusz Kwiecień)</p> |  |
| <p>Dalsze kroki są zależne od poziomu przygotowania. Stanowią jednak zalecany sposób postępowania, wdrażany w wielu krajach (np. Szwecji, Niemczech, Kanadzie, Australii czy Stanach Zjednoczonych), dlatego zostaną przytoczone, jako dobra praktyka. Mogą być również stosowane podczas szkolenia ogniowego z użyciem paliw stałych w celu maksymalnego ograniczenia ekspozycji.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strażak zdejmuje całe ubranie specjalne i zakłada zapasowe ubrania robocze lub dresowe. Cały czas działa w maseczce przeciwpyłowej i rękawicach (nitrylowych lub bawełnianych). • Brudne ŚOI wkłada do worków foliowych i szczelnie zamyka. | |

- Następnie umieszcza je w skrytkach sprzętowych. **Należy unikać przewożenia zabrudzonych ŚOI w kabinie załogi!**
- Po powrocie do jednostki przekazuje ubrania do wyprania i korzysta z zapasowego zestawu ubrania.

Fot. 6 a-h: Metoda zdejmowania ŚOI pozwalająca ograniczyć ekspozycję na szkodliwe substancje powstające w pożarach.

Analizując treści zawarte w niniejszym rozdziale można zauważyć, że to właśnie **odpowiednia wiedza i umiejętności** stanowią absolutną podstawę bezpieczeństwa działań. **Świadomość zagrożeń** oraz **odpowiedzialna postawa** strażaków wpływają nie tylko na ich własne bezpieczeństwo, ale również na skuteczność działań oraz bezpieczeństwo kolegów i osób ratowanych.

Edukacja i doskonalenie, czyli zdobywanie oraz podtrzymywanie kompetencji są najważniejszymi czynnikami wpływającymi na bezpieczeństwo prowadzonych działań!

2. Pożar wewnętrzny i jego rozwój

Zagadnienia związane z pożarami wypada zacząć od podstaw, czyli od procesu spalania. W tym celu omówione zostaną warunki, które muszą wystąpić, aby proces spalania mógł zaistnieć. Na początek należy wskazać, że przez dłuższy czas funkcjonował model zwany „**trójkątem spalania**”. W miarę postępu nauki i techniki, zaczęto mówić o „**czworokącie spalania**”. Na czym polega różnica i dlaczego dodano ten kolejny element? W niniejszym rozdziale wyjaśnione zostaną zagadnienia związane z procesem spalania oraz ze zjawiskiem pożaru i jego rozwojem.

Model opisujący proces spalania stanowi podstawę zrozumienia wszelkich ważnych zjawisk, a jednocześnie wydaje się być tak prosty, że często bywa rozumiany zbyt powierzchownie. Przyjrzymy się zatem poszczególnym jego elementom, jak też postaramy się przeanalizować ich interakcje w pożarze wewnętrznym. Zgłębienie owych interakcji daje zrozumienie mechanizmów i zjawisk w pożarach i pomaga kierować się we wszystkich działaniach następującą **filozofią bezpieczeństwa**:

ROZPOZNAWAĆ – ZWALCZAĆ – ZAPOBIEGAĆ – UNIKAĆ

Zrozumienie mechanizmów przekłada się na zdolność rozumienia środowiska, w którym strażak pracuje oraz poprawia umiejętności związane z **rozpoznaniem** ogniowym, opisanym w kolejnym rozdziale opracowania. To daje podstawę do świadomych i opartych o wiedzę i umiejętności decyzji: podejmowania próby **zwalczania** zagrożeń i **zapobiegania** negatywnym zjawiskom lub **unikania** ich skutków np. poprzez umiejętne wycofanie się w momencie, gdy strażak oceni, że dynamika rozwoju pożaru przekracza jego możliwości skutecznego i bezpiecznego przeciwdziałania niepożądanym zjawiskom.

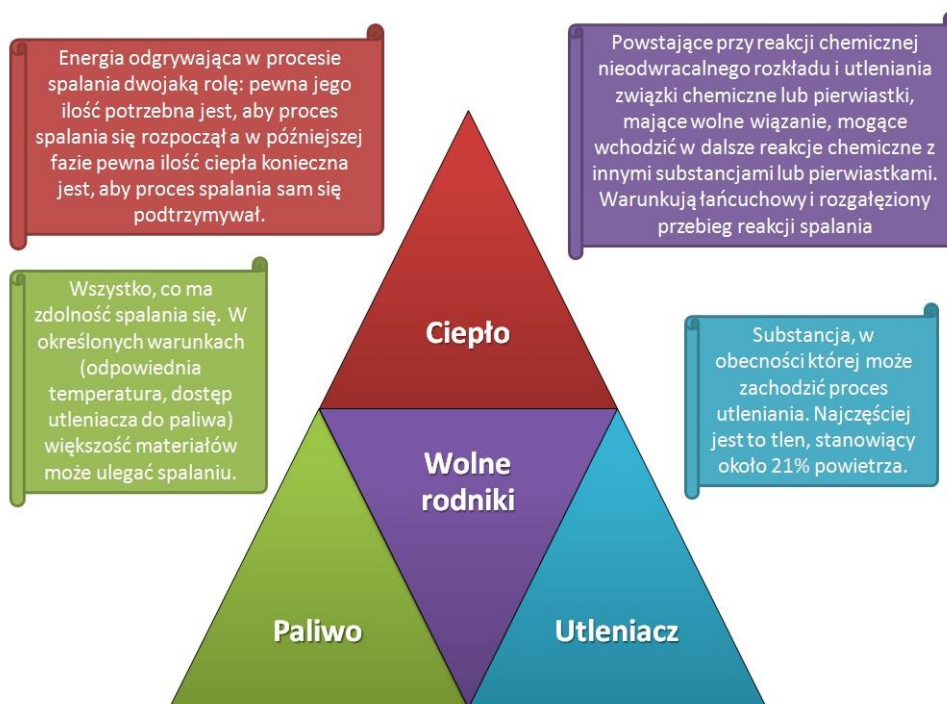
2.1. Czworokąt spalania.

Jak widać na poniższym **rysunku 2**, w skład „trójkąta” wchodzi elementy takie, jak:

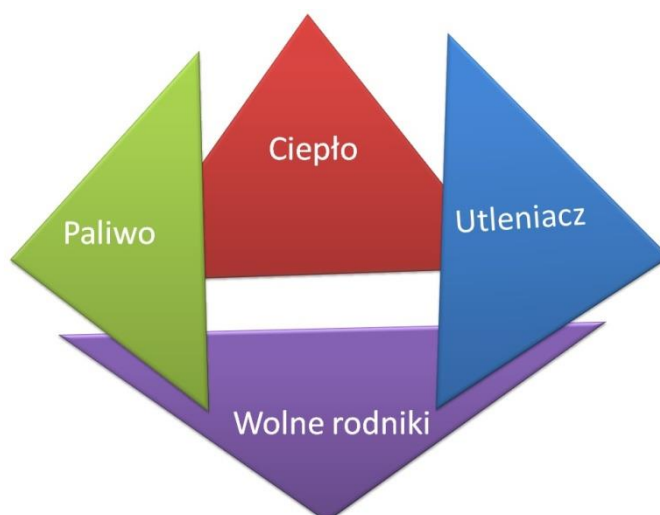
- **paliwo** – to każda substancja, mająca zdolność spalania się,
- **utleniacz** – najczęściej jest to tlen z powietrza,
- **ciepło** – odgrywające podwójną rolę: zainicjowania a następnie podtrzymania procesu,
- **wolne rodniki** – powstające w wyniku reakcji chemicznych niesparowane (nieposiadające pary) wiązania międzycząsteczkowe, sprzyjające powstawaniu rozgałęzionej reakcji łańcuchowej rozkładu i utleniania (spalania).

W literaturze, materiałach edukacyjnych czy dyskusjach najczęściej pojawia się stwierdzenie „trójkąt”, jednak często wymienia się cztery elementy procesu spalania, jak powyżej. Przed XIX wiekiem zwracano uwagę jedynie na 3 elementy procesu spalania, nie znając znaczenia obecności wolnych rodników. W momencie odkrycia sposobów zakłócania chemicznej strony reakcji spalania i dodania do ww. listy czwartego elementu, pojawił się czworokąt spalania. Niekiedy też trójkąt rysowany jest tak, jak na poniższym rysunku (rys. 2). W niektórych przypadkach, szczególnie w literaturze anglojęzycznej, pojawia się czworościan foremny (ang. *tetrahedron*). Jest to bryła, która powstałaby, gdyby w powyższym trójkącie środkowy element posłużył za podstawę, a kąty trójkąta zostały połączone w jednym punkcie (**rysunek 3**).

Co ciekawe czworościan foremny został opisany przez swego odkrywcę, Platona jako bryła opisująca ogień. W swoim dialogu *Timajos* grecki filozof napisał, że każdy żywioł można utożsamić z jedną z doskonałych (foremnych) brył, a czworościan jest właśnie symbolem ognia. Było to kilkaset lat p.n.e.!



Rys. 2: Trójkąt spalania – model uwzględniający czwarty element procesu, jakim jest obecność „wolnych rodników”.



Rys. 3: Czworokąt spalania – przestrzenne przedstawienie elementów procesu spalania, nawiązujące do kształtu trójkąta. Ten sposób przedstawiania zagadnienia jest często spotykany w literaturze obcojęzycznej.

Spalanie – jest to egzotermiczny¹³ proces reakcji chemicznej pomiędzy paliwem a utleniaczem. Najczęściej, oprócz wydzielania ciepła, towarzyszy mu wydzielanie światła oraz dymu.

Aby omówić elementy czworokąta spalania należy w tym momencie wyprzedzić nieco wynikający ze spisu treści porządek omawiania zagadnień i stwierdzić, co następuje. Mówiąc o spalaniu najczęściej mamy na myśli i **spalanie płomieniowe**, chociaż występują też inne rodzaje spalania (omówione w dalszej części **tlenie** i **żarzenie**). Aby zaistniał płomień paliwo musi się znajdować w stanie gazowym, ponieważ wtedy może mieszać się z utleniaczem (tlen z powietrza w postaci gazowej) i wchodzić w reakcję. Toteż zarówno

¹³ Przebiegający z wydzielaniem się ciepła.

ciała stałe (pochodzenia naturalnego, syntetycznego i mieszane) jak i ciecze muszą wydzielić paliwo w formie gazowej, zanim dojdzie do ich spalania płomieniowego. Mechanizmy tych zjawisk wyjaśnione są w niniejszym rozdziale, natomiast do lepszego zrozumienia poniższych treści przyjmijmy, że podczas opisywania zagadnień związanych z teorią spalania oraz rozwoju pożaru używane będzie sformułowanie „**paliwo gazowe**” lub „**gazy pożarowe**”.

Gazy pożarowe – występujące w gazowym stanie skupienia substancje i związki chemiczne, które powstają w wyniku rozkładu termicznego i/lub spalania materiałów. Mogą być palne lub niepalne. Ich skład i stężenia są w dużej mierze zależne od warunków powstawania. Gazy pożarowe najczęściej zawierają duże ilości niespalonych węglowodorów, produkowanych z paliw w procesie rozkładu termicznego i/lub pirolizy i stanowią niezbędny element do wystąpienia płomienia. Gazy pożarowe składają się zarówno z palnych jak i niepalnych substancji gazowych.

2.1.1. Paliwo.

Można ogólnie powiedzieć, że paliwem jest wszystko, co nas otacza i ma zdolność spalania. Materiały palne znajdują się właściwie w każdym miejscu. Każdy materiał ma charakterystyczne cechy, które definiują stopień jego palności. Niektóre materiały spalają się w względnie niskich temperaturach, inne w bardzo wysokich. Zgodnie z obowiązującymi przepisami¹⁴, wyróżniamy następujące **grupy pożarów**, które dzieli się ze względu na rodzaj paliwa:

- **grupa A** – pożary materiałów stałych, zwykle pochodzenia organicznego, których normalne spalanie zachodzi z tworzeniem żarzących się węgli;
- **grupa B** – pożary cieczy i materiałów stałych topiących się (zachowujących się w pożarach jak ciecze);
- **grupa C** – pożary gazów;
- **grupa D** – pożary metali;
- **grupa F** – pożary tłuszczów i olejów w urządzeniach kuchennych.

W odpowiednich warunkach spalać się może praktycznie niemal każdy materiał. Na potwierdzenie tej tezy weźmy bardzo zaskakujący przykład. Częstka wody, używana przez strażaków do gaszenia (H_2O), jak wiemy, składa się z 2 atomów wodoru i jednego atomu tlenu. Tlen jest utleniaczem, natomiast wodór jest gazem palnym, tworzącym atmosfery wybuchowe. Podczas spalania wydziela bardzo duże ilości ciepła. Jednakże wiązania między atomami tych pierwiastków są bardzo silne i potrzeba dostarczenia dużej energii, aby owe wiązania zrywać. Dlatego w standardowej temperaturze pożaru (przyjmijmy $400-1000^{\circ}C$) woda nie będzie się spalać ani ulegać rozkładowi na pierwiastki – będzie za to doskonale chłodzić (odbierać ciepło) i tym samym gasić pożar. Przyczynę tych doskonałych właściwości chłodzących wyjaśnimy poniżej. Jeśli jednak dostarczymy dużą ilość energii to dojdzie do zerwania wiązań i powstania atomów wodoru i tlenu. Przykładowo, w przypadku pożarów metali (grupa pożaru D) występujące temperatury są bardzo wysokie ($3000-5000^{\circ}C$). Dlatego takich pożarów nie gasi się wodą, bowiem wysoka energia towarzysząca reakcji spalania wystarcza do rozerwania wiązań i wytworzenia atmosfery wybuchowej poprzez rozdzielenie się tlenu i wodoru! W opisywanych warunkach powstaje wybuchowy wodór i tlenki metalu. [2]

2.1.2. Utleniacz.

Kolejnym omawianym elementem czworokąta spalania jest **tlen**. O ile jego wpływ na pożar jest oczywisty, o tyle z czasem dowiadujemy się coraz więcej na temat wpływu tlenu na proces spalania i zjawisko pożaru. Pochodzić może on z powietrza, ale również może występować w składzie chemicznym materiału

¹⁴ Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [12]

spalającego się. Przykładem takiego materiału palnego jest drewno, zawierające około 40% tlenu w swoim składzie chemicznym. [3]

Materiały palne zawierające tlen będą spalać się nieco inaczej niż materiały pozbawione tlenu lub zawierające go stosunkowo niewielką ilość. Na charakterystykę palną materiałów wpłynie między innymi stopień wymieszania materiału palnego z powietrzem lub inaczej mówiąc stopień rozdrobnienia. Jeśli weźmiemy daną ilość materiału palnego – powiedzmy belkę drewnianą o wadze 10 kg – i spróbujemy podpalić zapalniczką, to nie uda nam się rozpocząć procesu spalania. Gdy tą samą ilość drewna pociąć na wykałaczki, zapalenie od względnie małego płomienia zapalniczki jest proste a spalanie rozwinie i rozprzestrzeni się na cały materiał palny bez większego problemu. Taka jest właśnie różnica wynikająca ze stopnia rozdrobnienia, **czyli wymieszania z powietrzem**. Idąc dalej tym tropem, drewno rozdrobnione do postaci pyłu będzie spalać się najszybciej i najintensywniej – łącznie z możliwością powstania wybuchu. Stąd pył drzewny (jak również inne pyły, np. mąka, cukier-puder itp.) ma zdolność wybuchu. Pamiętając jednak o wymieszaniu z powietrzem trzeba dodać, że pył zalegający na podłożu w hałdzie będzie raczej leniwie się tlił, natomiast dopiero wzbity w powietrze stworzy chmurę wybuchową! Na koniec wypada dodać jeszcze jedną rzecz – 10 kg drewna w formie wykałaczek spali się szybciej, a belka o tej masie wymagać będzie dłuższego dostarczania tej energii w celu ogrzania do pewnej temperatury, ale również dłużej potrwa usunięcie tego ciepła z materiału (schłodzenie). Do tego zagadnienia wrócimy w **ROZDZIALE 4**, opisującym operowanie prądami gaśniczymi wody. Można jednak stwierdzić, że bez takiej ekstrakcji ciepła z materiału palnego ciężko jest cokolwiek trwale ugasić a nagrany materiał jest oczywiście bardziej podatny na nawrót spalania. [13]

Skoro niektóre materiały palne zawierają tlen w swoim składzie chemicznym, to będą spalać się łatwiej, aniżeli niektóre inne materiały. Obecność tlenu wymaganego do efektywnej reakcji spalania będzie przesądzać o charakterystyce tego procesu. W związku z tym możemy wyróżnić:

- spalanie **całkowite** – to proces spalania, w którym spaleniu ulega **cała** masa substancji,
- spalanie **niecałkowite** – kiedy spaleniu nie ulega cała masa substancji,
- spalanie **zupełne** – produktami takiej reakcji są **najtrwalsze** możliwe do uzyskania produkty.
- spalanie **niezupełne** – kiedy powstałe produkty mają zdolność dalszego reagowania i zmiany składu chemicznego.[3, 13]

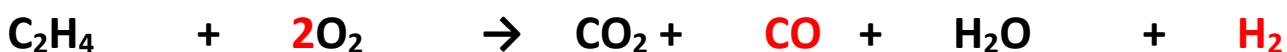
O tym, czy spalanie będzie zarówno zupełne jak i całkowite decyduje m.in. **współczynnik nadmiaru powietrza**. W przypadku węglowodorów spalanie przebiega zgodnie ze schematem (na przykładzie etenu):

Reakcja 1:

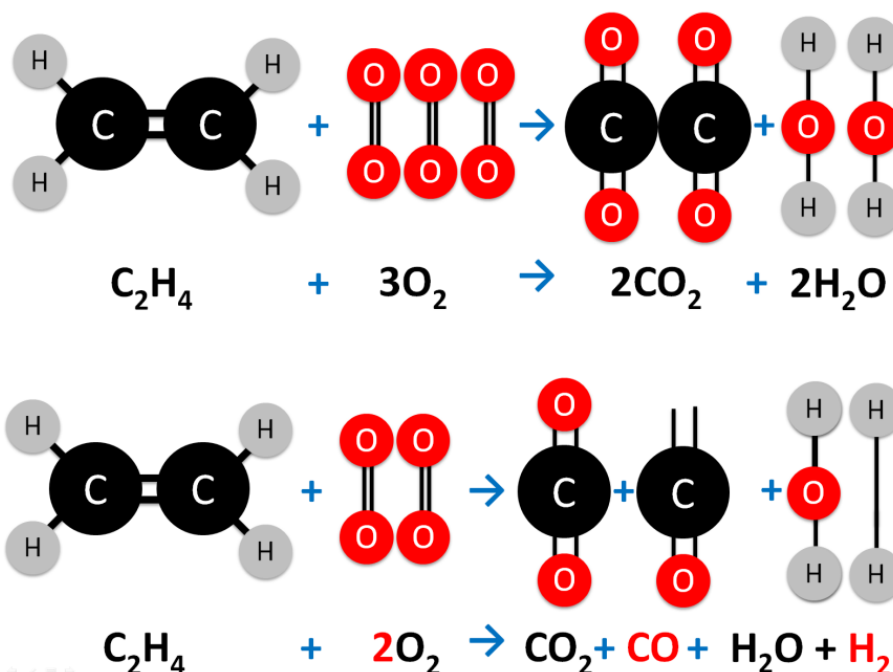


W przypadku braku wystarczającej liczby cząstek tlenu, spalanie może przykładowo przebiegać według takiego schematu:

Reakcja 2:



Powstawać będą wówczas produkty spalania, które będą miały zdolność dalszego wchodzenia w reakcję. Spalanie nie będzie zatem zupełne jak również w dużej mierze może nie być całkowite. Poniższy **rysunek** obrazuje ogólną zasadę, wyjaśnioną powyżej w formie graficznej. Należy zaznaczyć, że nie jest on wiernym idealnym odzwierciedleniem graficznym a jedynie uproszczonym sposobem wyjaśnienia opisywanej treści.



Rys. 4: Przebieg procesu spalania przy obecności odpowiedniej ilości cząstek tlenu oraz przy niedoborze tlenu. W pierwszym przypadku powstaje mniejsza liczba produktów reakcji spalania. W drugim przypadku powstaje większa liczba zróżnicowanych produktów reakcji spalania. Jednym z produktów spalania jest **tlenek węgla (CO)**, potocznie zwany czadem – jest on bardzo groźnym gazem, zbierającym regularnie śmiertelne żniwo wśród społeczeństwa.

Wypada dodać, że z chemicznego punktu widzenia ów proces przebiega w rzeczywistości przez wiele etapów pośrednich i towarzyszy mu zazwyczaj od kilkunastu do nawet kilkuset reakcji pośrednich (zazwyczaj jest to kilkadziesiąt reakcji) zanim otrzymane zostaną produkty końcowe reakcji. Dodając do tego obecność innych pierwiastków (przykładowo duże ilości azotu N – około 4/5 składu powietrza) oraz turbulentny przebieg tego procesu, można powiedzieć, że powyższa reakcja (Reakcja 1) zajdzie jedynie w kontrolowanych i starannie zaplanowanych warunkach laboratoryjnych, a w warunkach spalania spontanicznego, pożarowego kwestia przebiegu reakcji i powstających produktów jest bardzo przypadkowa! W literaturze branżowej można spotkać przykłady przebiegu całej reakcji spalania prostych związków. Weźmy przykład utleniania prostego węglowodoru, jakim jest metan (CH_4) – kompletna reakcja przebiega przez 123 reakcje pośrednie! Są to reakcje zachodzące bardzo szybko a spalanie małej ilości wspomnianej substancji trwa dosłownie krótką chwilę. [3]

Omawiając dostępność tlenu wypada zwrócić uwagę czytelnika na dodatkowe informacje. Tlen stanowi około 21% składu chemicznego powietrza. W przypadku atmosfery wzbogaconej w tlen (zawartość powyżej 21%) spalanie będzie przybierać charakter o wiele bardziej dynamiczny. Im wyższe stężenie tlenu, tym bardziej intensywne spalanie. W przypadku atmosfery bardzo bogatej w tlen (rzędu około 31%) nawet niepalny materiał, jakim jest Nomex® zacznie się intensywnie spalać. Jednak w pożarze mamy częściej do czynienia ze spadkiem stężenia tlenu poniżej wartości właściwej dla powietrza atmosferycznego. Zależnie od spalanej substancji spadek stężenia tlenu poniżej pewnej wartości powoduje brak możliwości spalania.

Wróćmy do prześledzonej przed chwilą reakcji (1). Widzimy, że węglowódor spalany w tlenie daje trwałe (ostateczne) produkty w postaci dwutlenku węgla (gaz niepalny, używany też jako środek gaśniczy) i wody (w formie pary wodnej, bowiem reakcja spalania przebiega w podwyższonej temperaturze). Mamy zatem do czynienia z reakcją **całkowitą** (spaleni uległa cała masa substancji) oraz **zupełną** (produkty reakcji są trwałe – w warunkach spalania nie powstanie z nich nic innego). Dla przykładu, gdyby zabrakło cząstek tlenu, to po stronie produktów otrzymalibyśmy cząstki tlenku węgla (CO), co widać w reakcji 2. W związku z tym mielibyśmy do czynienia z reakcją **niezupełną**, bowiem CO może dalej utleniać się do CO_2 . Jak już podkreślano, w praktyce spalanie całkowite i zupełne możliwe jest jedynie w ściśle kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. W warunkach zapalenia materiału palnego, przechodzącego później w pożar,

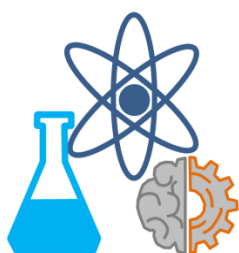
zawsze występuje niedobór tlenu do spalania wszystkich cząsteczek paliwa, dlatego po stronie produktów spalania znajdziemy całą gamę różnorodnych substancji. Ich skład chemiczny zależy będzie od składu chemicznego i właściwości fizykochemicznych spalającego się paliwa, etapu procesu spalania, dopływu powietrza, temperatury procesu spalania, wilgotności powietrza itd. Produkty będą zatem substancjami składającymi się w różnych kombinacjach z cząstek węgla (C), wodoru (H), tlenu (O), azotu z powietrza (N) i innych pierwiastków znajdujących się w paliwach (np. siarki – S czy chloru – Cl). Najbardziej powszechnymi są wszelkiego rodzaju węglowodory, które są głównym składnikiem gazów pochodzących z rozkładu termicznego i pirolizy i w głównej mierze przekładają się na palność dymu pożarowego.

Znakomita większość czytelników z pewnością wie, że doprowadzanie tlenu do ogniska pożaru sprzyja rozwojowi procesu a jego odbieranie ten proces spowalnia i osłabia jego dynamikę. Jednak związek tlenu z procesem spalania jest jeszcze bardziej ścisły.

2.1.2.1. Wpływ tlenu na rozwój pożaru – reguła Thorntona.

Już od niemal 100 lat, bowiem od roku 1917 wiadomo, że ilość ciepła wydzielanego w pożarze jest wprost proporcjonalna do ilości tlenu dostarczanego do strefy spalania. **Ciepło** jest **energią**, która jest wytwarzana w pożarze i rozchodzi się różnymi drogami. W fizyce energia jest definiowana jako **zdolność do wykonania pracy** i wyrażana jest w dżulach [J].

Wówczas, brytyjski uczyony William M. Thornton, w swoim artykule dotyczącym wpływu tlenu na **ciepło spalania** materiałów organicznych wyjaśnił, że energia cieplna wywołana ze spalania węglowodorów zależy od ilości tlenu dostępnego w procesie spalania i że niezależnie od rodzaju węglowodoru, dana ilość tlenu pozwala na wydzielenie się pewnej, stałej ilości ciepła. Ową tezę zbadano jeszcze w latach 70-tych w NIST (National Institute of Standards and Technology – Krajowy Instytut Standardów i Technologii) i potwierdzono wyniki badań Thorntona. Clayton Huggett zweryfikował wyniki pracy Thorntona, wykorzystując technikę pomiaru ciepła spalania opracowaną w NIST. W swojej pracy Huggett był w stanie dokonać pomiarów ilości wydzielającego się ciepła w celu potwierdzenia wcześniejszych ustaleń Thorntona, stąd dziś reguła ta nadal nazywana jest regułą Thorntona. W wyniku owych badań opracowano również krzywą przebiegu pożaru wewnętrznego, której przez dekady strażacy uczyli się zdobywając kwalifikacje zawodowe na całym świecie. Zostanie ona omówiona w dalszej części tekstu.



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

W wyniku przeprowadzonych w NIST w latach 70-tych pomiarów ustalono, że:

- metan (główny składnik gazu ziemnego) charakteryzuje się **ciepłem spalania** 12,54 kJ dla każdego grama tlenu (12,54 kJ/gO₂),
- średnia dla wszystkich gazów węglowodorowych wynosi 12,72 kJ/gO₂,
- dla drewna klonowego wartość ta wynosi 12,51 kJ/gO₂,
- dla wełny wartość ta wynosi 13,61 kJ/gO₂,
- średnia wartość ilości wydzielanego ciepła podczas procesu spalania dla materiałów pochodzenia naturalnego (wybrane przykłady przedstawiono powyżej) wynosi 13,21 kJ/gO₂,

Dla porównania z najczęściej spotykanymi tworzywami sztucznymi o budowie polimerowej:

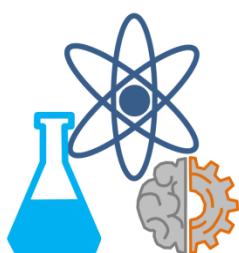
- polietylen charakteryzuje się wartością 12,65 kJ/gO₂,
- nylon-6,6 wydziela 13,23 kJ/gO₂,
- średnia wartość dla najczęściej stosowanych polimerów syntetycznych wynosi 13,02 kJ/gO₂

Przyjęto zatem, że 1 gram dostarczonego tlenu pozwoli na wydzielenie średnio **13.1 kJ ± 5%** podczas spalania paliw konwencjonalnych (wszystkich paliw na bazie węglowodorów w postaci ciekłej gazowej, syntetycznych polimerów czy paliw naturalnych).

Reguła Thorntona:
13.1 kJ/gO₂ ± 5%
lub
13.1 MJ/kgO₂ ± 5%

2.1.3. Ciepło.

Spójrzmy teraz na kolejny element czworokąta, wymieniany już kilkakrotnie w niniejszym tekście. W tym miejscu wypada zaznaczyć, że fizyka definiuje jedynie pojęcie ciepła. Zimno jest w fizyce niemierzalne – istnieje jedynie ciepło lub jego brak. Stąd w fizyce mówi się o skali temperatur mierzonej w Kelwinach (istnieją Kelwiny lub stopnie Celsjusza), która to skala nie posiada wartości ujemnych. Tzw. zero absolutne, czyli początek skali temperatur mierzonej w Kelwinach, to temperatura 0 [K] lub -273,15 [°C]. Ponownie trzeba podkreślić – mówimy albo o Kelwinach (nie o stopniach Kelwina!) albo o stopniach Celsjusza (nie o Celsjuszach).



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Jedną z ważniejszych cech przesądzających o palności danego ciała jest **inercja termalna (bezwładność cieplna)**. Właściwość ta decyduje o szybkości nagrzewania się danego ciała oraz o jego palności (bądź niepalności), inaczej mówiąc opisuje sposób reagowania ciała na zmiany temperatury. Inercja termalna jest pierwiastkiem kwadratowym ilorazu trzech właściwości danego ciała:

- **przewodności** termalnej (k),
- **gęstości** danego ciała (ρ) – grecka litera „ro”,
- **pojemności** cieplnej (c).

$$I = \sqrt{k\rho c} (\text{W}^2\text{s}/\text{m}^4 \cdot \text{K}^2)$$

Z powyższych parametrów wypada zwrócić dodatkowo uwagę na **pojemność cieplną**. Ów parametr będzie jeszcze nam towarzyszył przy rozważaniach na inne tematy. Pojemność cieplna danego ciała mówi nam, ile ciepła może ono pochłonąć, aby ogrzać się (podnieść swoją temperaturę) o 1 stopień. Jeśli mówimy o pochłonięciu danej ilości ciepła (**J**) przez daną jednostkę masy ciała (**kg**) w celu podniesienia temperatury o jedną jednostkę (**K**), wówczas mamy do czynienia z tzw. **ciepłem właściwym**, zwanym inaczej „masową właściwą **pojemnością cieplną**” ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$). Pojemność cieplna jest jednym z parametrów pozwalających określać skuteczność gaśniczą różnych środków gaśniczych, działających na zasadzie odbierania ciepła

(gaszenie może odbywać się na wiele różnych sposobów – poprzez oddziaływanie na jeden lub kilka elementów czworokąta spalania).

W warunkach pożaru ciepło dostarczane jest do materiałów na drodze promieniowania lub konwekcji, rzadziej w drodze przewodzenia. Mechanizmy te wyjaśnione są w dalszej części rozdziału. Natomiast zależnie od wartości inercji termalnej danego ciała, dana ilość ciepła spowoduje nagrzanie powierzchni tego ciała do jakiejś konkretnej temperatury w danym czasie. Im wartość inercji większa, tym nagrzewanie trwa dłużej. W niektórych przypadkach inercja termalna ciała jest tak duża, że zapalenie ciała jest niemożliwe. W innych przypadkach, ta sama dawka promieniowania cieplnego zapali dane ciało już po krótkim czasie. Zatem, jak wspomniano wcześniej, zależnie od wartości inercji termalnej, różne ciała będą się różnie zachowywać w trakcie ekspozycji na promieniowanie cieplne. W tabeli poniżej można zapoznać się z przykładowymi ciałami i ich właściwościami wpływającymi na inercję.

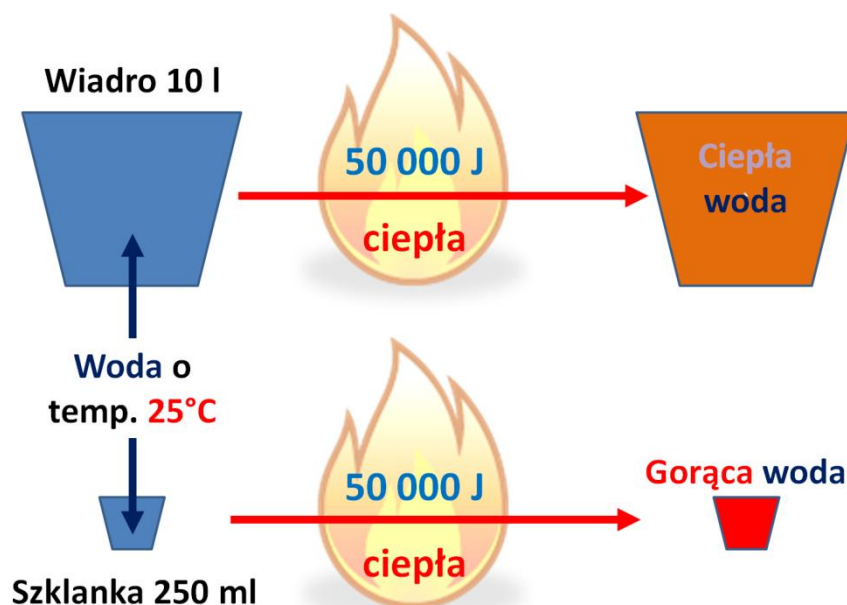
Nie jest celowe, aby zapamiętywać owe wartości czy nawet poszczególne parametry, jednak krótka analiza poniższej tabeli pozwoli zrozumieć z czego wynika charakterystyka palności danego materiału. [2]

Tab. 2: Charakterystyka właściwości palnych różnych materiałów.

| Materiał | Przewodność termalna k (W/mK) | Pojemność cieplna c (J/kg·K) | Gęstość ρ (kg/m ³) | Inercja termalna $k\rho c$ (W ² s/m ⁴ ·K ²) |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|
| Płyta wiórowa | 0,14 | 1 400 | 600 | 120 000 |
| Płyta pilśniowa drewniana | 0,05 | 2 090 | 300 | 32 000 |
| Poliuretan | 0,034 | 1 400 | 30 | 1 400 |
| Stal | 45 | 460 | 7 820 | 160 000 000 |
| Drewno sosnowe | 0,14 | 2 850 | 520 | 210 000 |

Ciepło właściwe – ciepło potrzebne do zwiększenia wartości temperatury jednostki ciała o jeden stopień [J/kg·K]

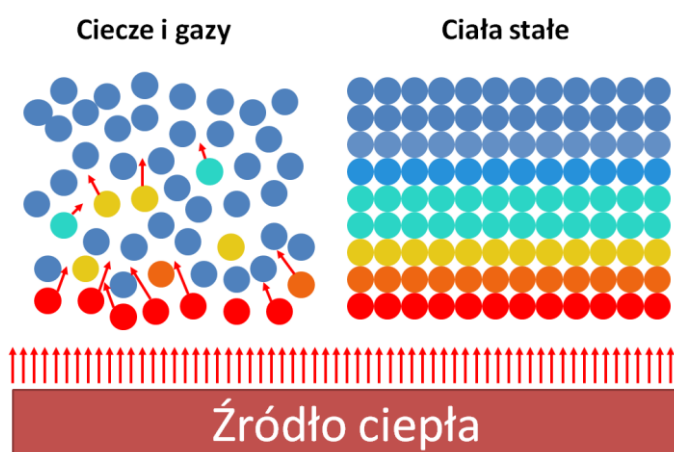
Zatem jaka jest różnica między ciepłem a temperaturą? Jako pierwszy przykład rozpatrzmy wodę. Wiadro wody napełnione do poziomu 10 litrów porównajmy ze szklanką wody napełnioną do poziomu 250 mililitrów. Załóżmy pewne uproszenie tzn. przyjmijmy, że woda w każdym z naczyń ogrzana jest równomiernie i ma jednolitą temperaturę w całej swojej objętości. Jeśli woda w wiadrze ma temperaturę 50°C a woda w szklance 100°C to potocznie powiemy, że w szklance woda jest cieplejsza. Poprawnie należałoby stwierdzić, że ma ona wyższą temperaturę! Woda w szklance wchłonęła 2 razy więcej ciepła do każdej cząsteczki, w celu osiągnięcia swojej temperatury, aniżeli woda w wiadrze. Natomiast w wiadrze znajduje się 40 razy więcej wody niż w szklance, a więc ilość ciepła dostarczona w celu ogrzania całej ilości wody w wiadrze do 50°C musiała być 20 razy większa niż ta dostarczona do szklanki.



Rys. 5: Różnica pomiędzy ciepłem a temperaturą. Ciepło jest energią a temperatura jest stanem osiąganym przez daną substancję w wyniku oddziaływania tej energii (gaz, ciecz lub ciało stałe).

Jak widać ilość danej substancji ma wpływ na to, jak ciepło wpływa na jego temperaturę. Jeśli porównać taką samą ilość dwóch różnych substancji – przykładowo wody oraz rtęci – można zauważyć kolejną zależność. Wartość **ciepła właściwego** wody wynosi 4186 (J/kg·K) a rtęci 140 (J/kg·K). Widzimy zatem, że wartość dla wody jest w przybliżeniu 30 razy większa – a zatem dla ogrzania tej samej ilości wody potrzeba blisko 30 razy więcej energii cieplnej aniżeli do ogrzania rtęci. Dostarczając taką samą ilość ciepła do obu cieczy (zakładając brak strat ciepła do otoczenia) rtęć podgrzejemy do znacznie wyższej temperatury!

Na koniec należy stwierdzić, że ogrzewanie się ciał zależy od ich właściwości fizycznych. Ciecze i gazy mają zdolność do mieszania się, więc ciepło będzie rozchodzić się w danej materii głównie w ten sposób. W ciałach stałych cząstki nie przemieszczają się względem siebie, więc rozchodzenie się ciepła następować będzie w drodze przewodnictwa (mechanizm opisany poniżej). W związku z tym ciała stałe nagrzewać się będą stopniowo, ciepło wnikać będzie w nie i ogrzewać kolejne warstwy a dynamika tego procesu zależy będzie od charakterystycznych właściwości tego ciała.



Rys. 6: Nagrzewanie się materiałów w różnych stanach skupienia. Kolor czerwony oznacza cząsteczki gorące a kolor niebieski – zimne. Pozostałe kolory to cząstki o różnych pośrednich stanach kumulacji ciepła. Ciecze i gazy charakteryzują się możliwością przemieszczania się cząsteczek, więc ciepło rozchodzi się głównie na zasadzie mieszania. Ciała stałe mają bardziej zwartą budowę a ciepło przenika w drodze przewodnictwa w głąb materii, w miarę jak kolejne warstwy zwiększają swą temperaturę. Mechanizmy te zostały zdefiniowane dokładnie w kolejnych rozdziałach.

Ciepło gromadzące się w substancjach przekłada się zatem na osiąganą przez nie temperaturę, a sam ten proces zależy od właściwości danej substancji (lub mieszaniny substancji), jak też od stanu skupienia. Ciecze i gazy mają zdolność mieszania się i ich nagrzewanie może przebiegać w miarę równomiernie w całej objętości, podczas gdy w ciałach stałych rozchodzenie się ciepła ma miejsce jedynie na drodze przekazywania ciepła między sąsiadującymi cząsteczkami. Dlatego w ciałach stałych miejsce wystawione na oddziaływanie ciepła ogrzeje się jako pierwsze a potem ciepło rozejdzie się na dalsze obszary tego ciała – zależnie od jego przewodnictwa.

Drewniany patyk prędzej zacznie się palić, niż całkowicie się ogrzeje, podczas gdy metalowy pręt nagrzej się cały, ale raczej nie zapali. Oczywiście istnieją materiały, które po podgrzaniu zmieniają stan skupienia na ciekły (topią się) a następnie parują – substancje te mają właściwą sobie temperaturę topnienia (na tym samym poziomie jest temperatura krzepnięcia – procesu odwrotnego) oraz parowania (i procesu odwrotnego – skraplania). Przykładowo dla wody są to odpowiednio 0°C (ok. 273,15 K) i 100°C (ok. 373,15 K). Jednak woda jest substancją niepalną, a wiele substancji zachowujących się podobnie (topiących się i odparowujących) jest palnych – przykładowo szereg tworzyw sztucznych czy parafina. Inne substancje (drewno, niektóre tworzywa sztuczne, gumy) zwęglają się nie przechodząc przez ciekły stan skupienia. Zależnie od zachowania w pożarze, substancje są ogólnie klasyfikowane do różnych **grup pożarów**, co wspomniano wcześniej.

Niezależnie od tego, z punktu widzenia procesu spalania i pożaru, każda podgrzewana substancja zanim ulegnie spalaniu płomieniowemu musi przejść w stan skupienia gazowy. Płomień jest bardzo rozgrzaną przestrzenią gazową, w której miesza się (lub jest wstępnie wymieszane) paliwo gazowe z powietrzem (w tym z tlenem). Ciepło występujące w czworokącie spalania jest energią, która doprowadza do niszczenia wiązań międzycząsteczkowych, uwalniając gazowe paliwo, które następnie może się spalać.

2.1.3.1. Ciepło spalania

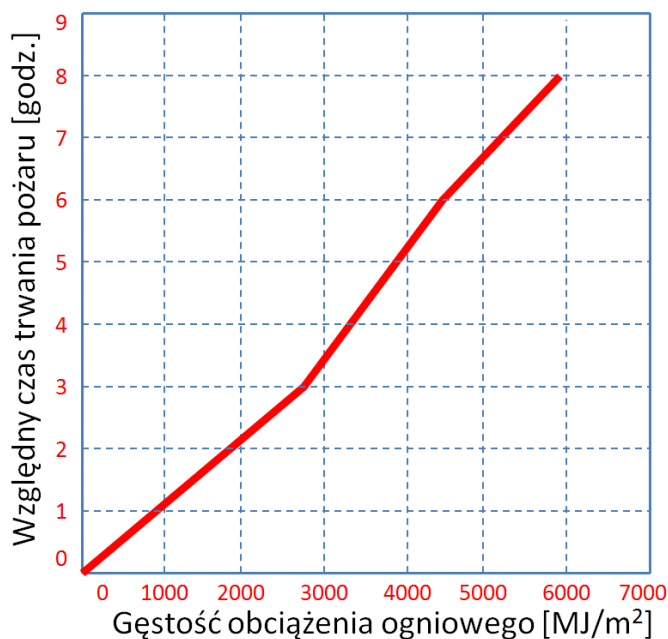
Ciepło spalania to ilość ciepła, jaka wydzieli się przy spaleniu jednej jednostki masy tego materiału przy całkowitym spalaniu. Jest to parametr charakterystyczny dla danej substancji czy materiału. Jeśli porównamy dane z poniższej tabeli to zobaczymy, że taka sama masa danego paliwa (1 kg) wydzieli różną ilość ciepła [MJ] przy całkowitym spalaniu. Kolejnym wnioskiem może być taki, że paliwa pochodzenia organicznego zawierają w sobie na ogół mniej potencjalnej energii uwalnianej na drodze spalania, aniżeli materiały pochodzenia syntetycznego. Często różnica ta jest dwukrotna lub nawet większa!

Tab. 3: Ciepło spalania różnych materiałów pochodzenia naturalnego oraz syntetycznego. [14]

| Lp. | Rodzaj materiału | Q _c – Ciepło spalania w MJ/kg | Lp. | Rodzaj materiału | Q _c – Ciepło spalania w MJ/kg |
|-----|------------------------------------|--|-----|----------------------------|--|
| 1. | Acetylen | 50 | 18. | Polistyren i wyroby (PS) | 42 |
| 2. | Aluminium (proszek, folie) | 31 | 19. | Polipropylen (PP) | 43 |
| 3. | Bawełna (zgrempowana i wyroby) | 17 | 20. | Polietylen i wyroby (PE) | 42 |
| 4. | Butan | 46 | 21. | Ropa naftowa | 41 |
| 5. | Drewno (zawartość wilgoci do 12 %) | 18 | 22. | Smola | 35 |
| 6. | Heksan | 48 | 23. | Smary | 41 |
| 7. | Jedwab naturalny (surowiec) | 21 | 24. | Siano | 15 |
| 8. | Koks | 29 | 25. | Szmaty (średnio) | 19 |
| 9. | Metan | 57 | 26. | Tekstyli | 19 |
| 10. | Naftalen | 40 | 27. | Tlenek węgla | 10 |
| 11. | Opony gumowe | 32 | 28. | Wełna (surowiec) | 23 |
| 12. | Papier | 16 | 29. | Wełna oczyszczona i wyroby | 21 |
| 13. | Parafina | 62 | 30. | Węgiel brunatny | 22 |
| 14. | Pianka poliuretanowa (PU) | 26 | 31. | Węgiel kamienny (średnio) | 32 |
| 15. | Płyta wiórowa | 18 | 32. | Wodór | 143 |
| 16. | Polichlorek winylu | 21 | 33. | Wosk parafinowy | 47 |
| 17. | Poliester | 31 | 34. | Zboża (ziarno) – średnio | 16 |

W pożarze ilość ciepła wydzielanego podczas spalania materiałów będzie zależeć między innymi od ich właściwości fizykochemicznych. Charakterystycznym parametrem opisującym owe właściwości jest właśnie **ciepło spalania**. Pokazuje ono potencjalną ilość energii możliwej do wydzielenia podczas spalenia jednostki masy danego paliwa. Wiadomo już też, że o faktycznej ilości wydzielonego ciepła ostatecznie zdecyduje dostępność tlenu potrzebnego do reakcji spalania. Często spotykanym w literaturze parametrem opisującym pomieszczenia pod względem pożarowym jest **gęstość obciążenia ogniowego**. Z wcześniejszych rozważań wynika jednak, że ów parametr ma znaczenie pośrednie, bowiem mówi o potencjalnej energii zawartej w paliwach, możliwej do uwolnienia po spaleniu całej ich masy – co w praktyce w pożarach jest rzadko spotykane. Niemniej przy dobrym dostępie powietrza, w pomieszczeniach o wyższej gęstości obciążenia ogniowego pożary będą przebiegać intensywniej. Dodatkowo, z większej ilości paliwa powstanie więcej gazów pożarowych w drodze rozkładu termicznego (pirolizy), a zatem warstwa zadymienia będzie zazwyczaj bogatsza w paliwo w formie gazowej. Zasadniczo, wysoka wartość gęstości obciążenia ogniowego oznacza również dłuższy czas trwania pożaru. Doskonale obrazuje to wykres zaczerpnięty z normy dotyczącej obliczania gęstości obciążenia ogniowego, na którym widać wzrost względnej długości trwania pożaru wraz ze wzrostem gęstości obciążenia ogniowego.

Gęstość obciążenia ogniowego – jest to energia cieplna, wyrażona w megadżulach, która może powstać przy spaleniu materiałów palnych znajdujących się w pomieszczeniu, strefie pożarowej lub składowisku materiałów stałych, przypadająca na jednostkę powierzchni tego obiektu, wyrażoną w metrach kwadratowych. [MJ/m²] [14]



Rys. 7: Zależność czasu trwania pożaru od gęstości obciążenia ogniowego. (opracowanie własne na podstawie: PN-B-02852:2001) [14]

Czy te różnice w potencjalnej energii, jaką zawierają w sobie substancje i jaką mogą uwolnić w drodze spalania powodują, że pewne materiały będą spalały się z wydzieleniem większej ilości ciepła lub w wyższych temperaturach? To zależy!

Często słyszy się taki komentarz, niemniej powinien on być zawsze opatrzony wyjaśnieniem: od czego to zależy i w jaki sposób? Wyjaśnijmy zatem: wiemy już, że różne substancje charakteryzują się różnymi właściwościami decydującymi o ich palności (Tabela 1). Niektóre zapalą się od razu od otwartego ognia, inne wymagają długiego nagrzewania, jeszcze innych nie sposób zapalić. Załóżmy jednak, że rozpatrujemy jedynie te materiały, które mogą ulegać spalaniu w warunkach pożaru np. mieszkania. Wiemy już też, że to udział tlenu (około 1/5 składu powietrza w naszej atmosferze) będzie decydować o ilości ciepła wydzielonej podczas spalania.

W **ROZDZIALE 2.9.**, który opisuje rozwój pożaru wewnętrznego, szczegółowo wyjaśnione są zagadnienia związane z obecnością lub niedoborem wystarczającej ilości powietrza, które w danym momencie rozwoju pożaru niezbędne jest do spalania obecnych wówczas paliw. W większości dzisiejszych pożarów występuje taki moment, gdzie paliwa jest zbyt dużo, aby powietrze docierające do strefy spalania mogło wystarczyć do spalania całości wydzielających się paliw. Wówczas wydzielanie ciepła jest opóźnione – tlen musi najpierw dotrzeć do paliwa, aby mógł wejść z nim w reakcję. Jest to związane z dynamiką rozwoju pożaru i jest konsekwencją opisanych powyżej informacji związanych z gęstością obciążenia ogniowego. Jak pokazuje wykres na **rysunku 7**, większa potencjalna energia mogąca się wyzwolić w procesie spalania spowoduje wydłużenie czasu trwania pożaru.

Należy jednocześnie dodać, że materiały pochodzenia naturalnego na ogół w wyniku ogrzania produkują paliwo gazowe dwa razy wolniej niż materiały pochodzenia syntetycznego, tzn. mniejszą masę paliwa gazowego w jednostce czasu (jest to pewne uproszczenie). Jednocześnie w przypadku paliw syntetycznych potrzeba najczęściej dwa razy mniej paliwa gazowego, aby mógł zaistnieć płomień (ponownie, jest to pewne uproszczenie). Oznacza to, że materiały syntetyczne będą rozkładać się szybciej, produkować więcej gazów pożarowych, które o wiele łatwiej będą się spalać. Oznacza to również, że dostępny tlen będzie zużywany szybciej a rozwój pożaru będzie intensywniejszy, aniżeli w przypadku obecności materiałów pochodzenia naturalnego.

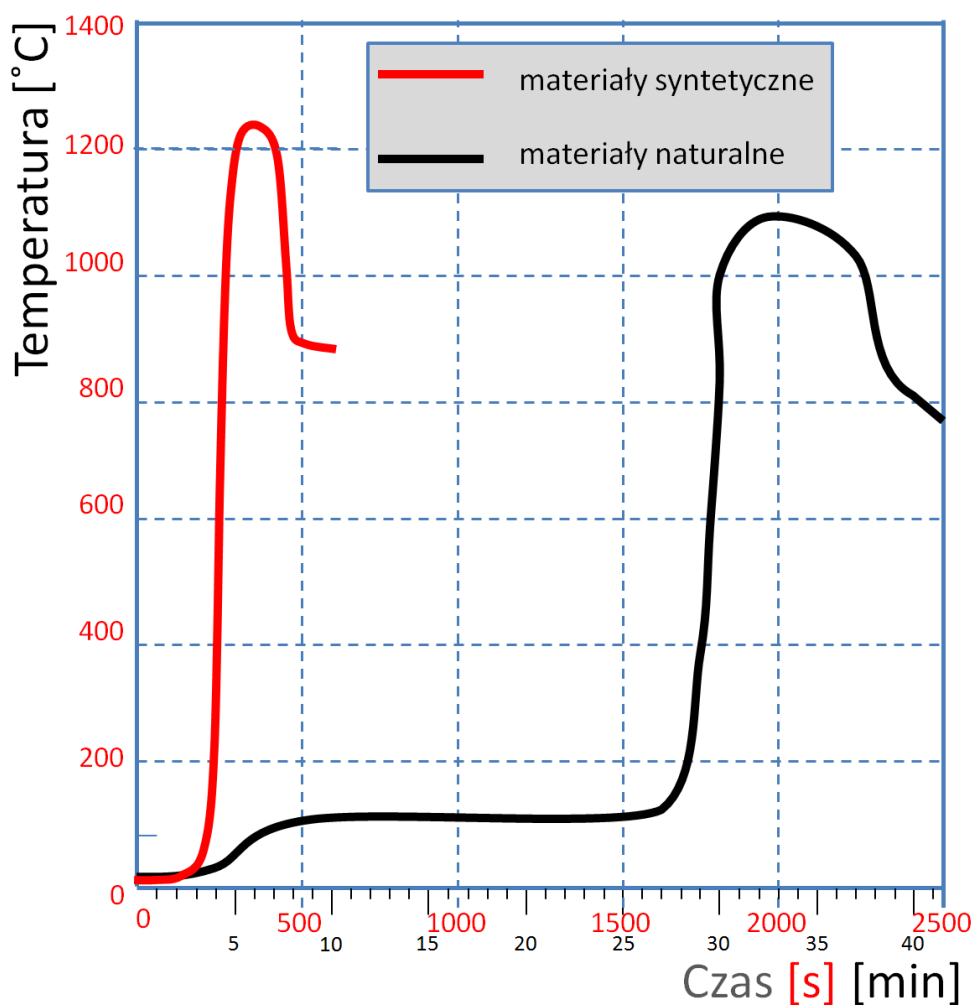
Patrząc na dzisiejsze wyposażenie wewnątrz zauważymy, że w przeważającej większości wypełnione są produktami wykonanymi z materiałów syntetycznych: płyty wiórowe z zawartością kleju oraz syntetyczną okleiną, pianki w meblach tapicerowanych obite sztucznymi tworzywami, dywany z włókien syntetycznych, plastikowe obudowy sprzętu audiowizualnego itd. Patrząc kilkadziesiąt lat wstecz nasze wnętrza mieszkalne czy miejsca pracy zawierały więcej produktów pochodzenia naturalnego: drewniane meble, tkane dywany, materace z naturalnych produktów.

W badaniach przeprowadzonych w roku 2008 w UL Firefighter Safety Research Institute (Instytut Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków UL)¹⁵ przeprowadził badania porównawcze dwóch wymienionych powyżej rodzajów wyposażenia wewnątrz i ich zachowania podczas pożaru. Główną różnicą była zaobserwowana dynamika rozwoju pożaru. Pożary eksperymentalne przeprowadzono w pomieszczeniach o wymiarach 3,6 x 3,6 m i wysokości równej 2,4 m. Otwór imitujący wejście i dostarczający powietrze do pożaru miał rozmiary 2,4 m szerokości oraz 2,1 m wysokości i usytuowany był symetrycznie pośrodku jednej ze ścian. W obu pomieszczeniach zgromadzono podobne ilości paliw (m.in. sofa, dywan, fotel, szafka, lampka, stolik, telewizor, zabawki itd.). [15] Przy względnie dobrym dostępie powietrza pożary te rozwijały się diametralnie różnie, co widać na poniższych wykresach. (**rysunek 8**).

Kolorem czarnym zaznaczono uśredniony przebieg pożaru z udziałem materiałów naturalnych, charakterystycznych dla lat 70-tych. Widzimy, że dopiero po około 25 minutach (1500 sekund) pożar zaczął wyraźnie się rozwijać, temperatury zaczęły rosnąć i doszło do zjawiska rozgorzenia. Pożar osiągnął maksymalną temperaturę zbliżoną do 1100°C.

Kolorem czerwonym zaznaczono uśredniony przebieg pożaru z udziałem materiałów syntetycznych, charakterystycznych dla czasów obecnych. Można zauważyć, że już po niespełna 3 minutach (200 sekund) pożar zaczął rozwijać się bardzo dynamicznie i wkrótce doszło do zjawiska rozgorzenia. Maksymalne temperatury w tym pożarze były wyższe (przekroczyły 1200°C).

¹⁵ UL (Underwriters Laboratories) jest instytucją doradczą i certyfikującą w dziedzinie bezpieczeństwa z siedzibą w Northbrook, Illinois. Utrzymuje biura w 46 krajach, w tym w Polsce. UL została założona w 1894 roku i brała udział w analizie bezpieczeństwa wielu nowych technologii minionego stulecia, w szczególności powszechnego przyjęcia do użytku energii elektrycznej i opracowywaniu norm bezpieczeństwa dla urządzeń elektrycznych i komponentów. UL zapewnia w zakresie bezpieczeństwa certyfikaty, sprawdzanie, testowanie, kontrolę, audyt, doradztwo i usługi szkoleniowe dla szerokiej gamy klientów, w tym producentów, detalistów, strategów działalności, organów regulacyjnych, firm usługowych, jak i konsumentów indywidualnych. UL to jedna z kilku firm zatwierdzonych do wykonywania badań bezpieczeństwa przez amerykańską agencję federalną Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (OSHA), która zatwierdza krajową listę tego typu podmiotów. Jedną z komórek organizacyjnych UL jest Firefighter Safety Research Institute (Instytut Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków). W ciągu kilku ostatnich lat UL FSRI wygrał szereg konkursów na granty federalne przyznawane na badania nad środowiskiem pożaru oraz metodami prowadzenia działań przez strażaków. Obszerne i kompleksowe raporty z tego typu badań są powszechnie dostępne i stanowią podstawę rozwoju i doskonalenia taktyki działań gaśniczych ogromnej i wciąż rosnącej liczby straży pożarnych na całym świecie. Więcej informacji można znaleźć na stronie www.ulfirefightersafety.com



Rys. 8: Porównanie przebiegu testów pożarowych z udziałem wyposażenia wewnątrz składającego się z materiałów pochodzenia naturalnego (lata 70-te) oraz z udziałem wyposażenia wewnątrz składającego się z materiałów pochodzenia syntetycznego (lata obecne). (opracowanie własne na podstawie [15])

Badania te potwierdzają opisywane powyżej tezy. Stwierdzono w nich przede wszystkim, że pożary obecnie różnią się od tych sprzed kilku dekad dynamiką rozwoju. Materiały naturalne spalają się wolniej, produkują mniej ciepła w jednostce czasu oraz mniej dymu, który jest główną przyczyną zgonów w pożarach. Dym jest też obecnie o wiele bardziej bogaty w paliwo, toteż stwarza większe zagrożenie również dla strażaków. Czasy osiągnięcia zjawiska rozgorzenia pokazują, że obecnie mieszkańcy mają mniej czasu na uniknięcie zagrożenia dla zdrowia i życia, aniżeli kiedyś. Można też stwierdzić, że zazwyczaj moment przybycia strażaków następuje już po wystąpieniu zjawiska rozgorzenia (a zatem po osiągnięciu maksymalnej mocy pożaru) w przeciwieństwie do pożarów występujących w latach minionych, przebiegających z przeważającym udziałem materiałów naturalnych.

W porównaniu do lat minionych, pożary obecnie rozwijają się i rozprzestrzeniają szybciej, produkują więcej ciepła i dymu oraz osiągają wyższe temperatury. O wiele szybciej następuje także zjawisko rozgorzenia. Dzisiejsze pożary reagują również szybciej i bardziej dynamicznie na dostęp powietrza.

DZISIEJSZE POŻARY STWARZAJĄ WIĘKSZE RYZYKO DLA SPOŁECZEŃSTWA ORAZ STRAŻAKÓW ANIŻELI POŻARY SPRZED KILKU DEKAD Z POWODU POWSZECHNEJ OBECNOŚCI MATERIAŁÓW SYNTETYCZNYCH.

2.1.4. Wolne rodniki.

Ostatnim elementem omawianego czworokąta spalania są **wolne rodniki**. Jak wspomniano wcześniej, spalanie jest reakcją zachodzącą pomiędzy paliwem a utleniaczem. W wyniku tej reakcji dochodzi do niszczenia struktury spalającego się materiału na poziomie molekularnym. Ten nieodwracalny proces rozkładu termicznego i spalania to reakcja chemiczna, w której paliwo, utleniacz oraz inne obecne związki (azot i inne gazy z powietrza, składniki dymu itd.) przechodzą szereg reakcji składowych, w wyniku których powstają nowe związki chemiczne. O ile w spalaniu zupełnym mamy do czynienia trwałymi produktami (CO_2 , H_2O i inne związki poboczne) to w warunkach pożaru owe produkty będą inne, jak również będzie możliwe ich uleganie dalszemu spalaniu (wchodzenie w dalsze reakcje) i tworzenie innych produktów.

Przytoczony został wcześniej przykład spalania metanu, który osiąga końcowe produkty przechodząc przez 123 reakcje pośrednie. [3] W trakcie tego procesu, przebiegającego bardzo szybko, dochodzi do łączenia i rozłączania się kolejnych cząsteczek. Każdy pierwiastek charakteryzuje się tzw. „wartościowością” czyli cechą, mówiącą o tym, ilema wiązaniami chemicznymi dany pierwiastek może łączyć się z innymi. Niektóre pierwiastki mają jedną stałą liczbę określającą wartościowość, inne mogą mieć różne liczby wartościowości, zależnie od pierwiastka, z którym tworzą związek. Jeśli przyjrzymy się cząsteczce wody (H-O-H) to widzimy, że każdy atom wodoru (H) ma jedno wiązanie, natomiast atom tlenu (O) ma dwa wiązania. (zobacz rysunek 4). Jeśli jeden atom wodoru zostanie zabrany, wówczas powstaje związek chemiczny: H-O - a atom tlenu ma jedno wolne wiązanie. Oznacza to, że powstał wolny rodnik – połączenie szukające pary. W ten sposób na poziomie chemicznym rozpoczyna się łańcuchowa, rozgałęziona reakcja, dzięki której rozkład substancji i wiązanie się atomów oraz związków w inne związki jest możliwe dzięki tym wolnym, niesparowanym wiązaniom międzyatomowym. Zatem **wolne rodniki** to powstające przy reakcji chemicznej nieodwracalnego rozkładu i utleniania związki chemiczne lub pierwiastki, mające wolne wiązanie i mogące wchodzić w dalsze reakcje chemiczne z innymi substancjami lub pierwiastkami. Warunkują one łańcuchowy i rozgałęziony przebieg reakcji spalania. W mechanizmie spalania fazy gazowej najaktywniejszymi wolnymi rodnikami są -H , -OH oraz -CH_3 . Do występowania wolnych rodników wymagana jest wysoka temperatura, stąd jej obniżenie powoduje nagłą likwidację płomienia (następuje to skokowo a nie w sposób stopniowy).

Dlaczego w modelu spalania pojawiły się wolne rodniki? Ponieważ naukowcy odkryli, że w procesie spalania duże znaczenie ma rozgałęziona reakcja łańcuchowa. W ślad za tym powstały środki gaśnicze, mające zdolność „wyłapywania” wolnych rodników i wiązania się z nimi, zanim wejdą w reakcję z kolejnymi cząsteczkami. Dzięki temu proces spalania jest zakłócany, bowiem nie ma cząsteczek i związków chemicznych jak też energii niezbędnej do samoczynnego podtrzymania procesu spalania. Poprzez wyeliminowanie tego elementu procesu spalania osiąga się przerwanie całego procesu. Gaszenie polega bowiem na odebraniu jednego lub kilku elementów czworokąta. Środkami gaśniczymi wpływającymi na zabranie tego elementu czworokąta są halony (gazy gaśnicze, wycofane z uwagi na szkodliwość dla warstwy ozonowej atmosfery), zamienniki halonów (inne gazy gaśnicze, wprowadzone zamiast halonów) oraz proszki gaśnicze. [13]

2.2. Sposoby transportu ciepła w pożarze.

Skoro pożar jest zjawiskiem dynamicznym, przechodzącym kolejne fazy rozwoju i przebiegającym w czasie, również wydzielane ciepło powinno być wyrażane w funkcji czasu. Ciepło wydzielane w danym czasie (przykładowo w jednostce czasu, jaką jest sekunda) jest **mocą**. Podobnie w pożarze, dana ilość ciepła w czasie [J/s] jest rozumiana jako moc tego pożaru [W]. Inaczej nazywa się **szybkością wydzielania się ciepła** (z angielskiego „Heat Release Rate” – HRR lub „Rate of Heat Release” – RHR). Transport ciepła następuje na trzy sposoby, które opisano poniżej. Warto zapamiętać, że transfer ciepła następuje „od cieplego do zimnego”.

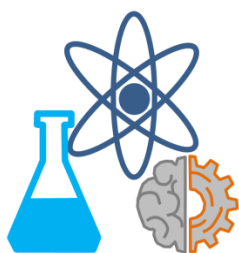
- **przewodzenie** – jest to przenikanie ciepła przez ciała stałe poprzez drgania cząsteczek. Niektóre ciała stałe przewodzą ciepło lepiej, inne gorzej. O tej zdolności mówi nam parametr, jakim jest przewodność termalna, wspomniana już wcześniej przy omawianiu różnego rodzaju paliw (**patrz tabela 2**). Jako przykład można podać pieczenie kiełbaski nad ogniskiem – drewniany patyk nie poparzy nas w ręce niezależnie od czasu pieczenia, natomiast metalowy pręt już po krótkim nagrzewaniu stanie się gorący

na utrzymanym końcu. Przewodnictwu cieplnemu ciał stałych towarzyszy jeszcze dodatkowe zjawisko rozszerzalności. Istnieje rozszerzalność objętościowa – zwiększanie wymiarów we wszystkich kierunkach oraz rozszerzalność liniowa – charakteryzująca elementy o podłużnym kształcie. Niektóre materiały charakteryzują się wysoką wartością rozszerzalności cieplnej, towarzysząca zazwyczaj wysokiemu przewodnictwu. Przykładowo konstrukcje stalowe wykonane z podłużnych elementów o dobrym przewodnictwie i względnie wysokiej rozszerzalności liniowej w pożarach narażone są na szybkie poddanie się i awarie lub katastrofę budowlaną, bowiem elementy rozszerzają się wzdłuż, wyginają, skręcają, ścinają połączenia itp. W ten sposób budowane są duże hale np. magazyny, supermarkety czy warsztaty. W pożarach przewodzenie nie odgrywa głównej roli dla mechanizmu rozwoju i rozprzestrzeniania, natomiast odpowiada za nagrzewanie się materiałów palnych oraz za odbieranie ciepła z pożaru przez materiały konstrukcyjne a po ugaszeniu pożaru – za oddawanie ciepła. **Rysunek 6** pokazuje mechanizm rozchodzenia się ciepła w ciałach stałych w drodze przewodzenia (prawa część rysunku). Część ciepła oddawana jest do atmosfery w przypadku materiałów mających dobre przewodnictwo, jednak w budynkach występuje zazwyczaj więcej warstw, w tym warstwy termoizolacyjne mające zatrzymywać ciepło w budynku. Gromadzenie się ciepła w materiałach konstrukcyjnych oznacza też możliwość ich niszczenia! Podanie wody na rozgrzane materiały może spowodować szok termiczny i jeszcze szybsze niszczenie materiału. [2, 3, 13, 15, 16, 17]

- **konwekcja** – jest to transport ciepła wraz z masą, zachodzący w cieczach i gazach (w fizyce ciecze i gazy traktowane są jak płyny o różnych gęstościach z uwagi na zbliżoną mechanikę zachowania). **Rysunek 6** pokazuje mechanizm rozchodzenia się ciepła w cieczach i gazach w drodze konwekcji (lewa część rysunku). Zazwyczaj ruch ten (mieszanie) wynika z różnicy gęstości powodowanej różnicą temperatur. Istnieje też wymuszony transfer ciepła z masą, powodowany czynnikiem zewnętrznym (mieszaniem mechanicznym, oddziaływaniem strugą gazu). Transport ciepła w drodze konwekcji zależy od właściwości danego płynu czy gazu: **przewodnictwa cieplnego, gęstości oraz lepkości**. Wpływ na niego ma też przepływ (jego prędkość i charakter) a także geometria powierzchni, na którą oddziałuje (rozmiary oraz kąt nachylenia względem przepływu). Opływając daną powierzchnię, ciepło z przepływającej masy przekazywane jest tej powierzchni. Może to być powierzchnia palna kanapy, ściana działowa czy też ubranie na człowieku. Im szybszy przepływ tym większa ilość przekazywanego ciepła. Dlatego łatwiej jest wysuszyć mokre włosy suszarką, aniżeli siedząc w pomieszczeniu z podgrzany powietrzem. A skoro ciepło wędruje od obszaru o wyższej temperaturze do obszaru o niższej, to również, dlatego ręka wystawiona za okno podczas jazdy samochodem zamarznie tym bardziej, im szybciej jedzie ów samochód (temperatura powietrza niemal zawsze jest niższa niż temperatura ciała)! W pożarach bardzo duża ilość ciepła wydzielanego podczas spalania transportowana jest na drodze konwekcji: tworzy się tzw. kolumna konwekcyjna ognia (KKO), czyli przestrzeń istniejąca wokół płomienia i w nim, w której zachodzi transport ciepła spowodowany zmianą gęstości płynu (w naszym przypadku chodzi o gazowe produkty spalania oraz powietrze zasysane do KKO) wynikającą ze zmian temperatury. Z uwagi na mniejszą gęstość względem powietrza (i powstającą tzw. **siłę wyporu** tj. tendencję do przepływu w kierunku przeciwnym do przyciągania ziemskiego), gorące gazy pożarowe będą gromadziły się w górnych częściach pomieszczeń i w miarę możliwości wędrowały ku górze (np. po wydostaniu się na klatkę schodową). Jeśli nie mają możliwości wędrowki ku górze, wówczas będą się rozpylać na boki. Stąd różne efekty towarzyszące rozprzestrzenianiu się zadymienia. O efekcie kominowym mówimy wówczas, gdy wędrujące w górę gorące gazy (a zatem ogrzana masa) tworzą pęd (będący iloczynem masy i prędkości), czyli potocznie mówiąc wytwarzają tzw. cug. Wówczas dochodzi do zasysania mas gazów (zazwyczaj powietrza) znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie opisywanego przepływu. Zasysanie zwiększa masę przepływającego płynu i może obniżyć jego temperaturę (a zatem zmniejszyć prędkość), jeśli zasysany płyn (w naszym przypadku powietrze) ma niższą temperaturę. Innym efektem, towarzyszącym pożarom w obiektach, jest tzw. „efekt grzyba” czyli rozchodzenie się dymu na boki po osiągnięciu najwyższego punktu, do którego dym może się rozprzestrzenić. Kształt obszaru zadymionego przypomina grzyb – z wąskim pionowym trzonem i szerokim poziomym kapeluszem. Efekt ten jest zauważalny, gdy dym wydobywa się z mieszkania usytuowanego nisko w bloku na klatkę schodową –

najpierw dym wędruje głównie ku górze po klatce schodowej, a po ociągnięciu ostatniego piętra zaczyna rozptywać się na boki i wypełniać korytarze. [2, 3, 13, 15, 16, 17]

- **promieniowanie** – jest to transport energii cieplnej na drodze fal elektromagnetycznych. Odmienne od przewodzenia i konwekcji nie wymaga ośrodka (środowiska), w którym zachodzi transport ciepła (przykładowo promienie słoneczne wędrują na Ziemię przez próżnię w przestrzeni kosmicznej). W jednolitym środowisku promieniowanie rozchodzi się równomiernie we wszystkich kierunkach – promieniście, tj. pokrywając się z promieniem wyimaginowanej kuli, w centrum której znajduje się źródło promieniowania. Ów sposób transportu ciepła staje się dominującym w pożarach, kiedy średnica ogniska pożaru wzrasta ponad około 0,3 m. Promieniowanie odpowiada wtedy za szybkość rozwoju i rozprzestrzeniania się pożaru w pomieszczeniach. Poprzez mechanizm promieniowania, obiekty oddalone od ogniska pożaru mogą ulegać nagrzaniu do temperatury samozapłonu. W pożarach zewnętrznych promieniowanie odpowiada za rozprzestrzenianie się pożarów np. w lasach czy między budynkami. Powstająca w płomieniu znaczna ilość ciepła przekazywana jest w drodze promieniowania do otoczenia. Większa część tego promieniowania emitowana jest przez maleńkie cząstki stałe sadzy, powstające niemal zawsze przy spalaniu dyfuzyjnym (tzn. takim, gdzie paliwo i utleniacz nie są wstępnie wymieszane i musi dojść do ich wymieszania – dyfuzji – zanim osiągnięte zostaną stężenia paliwa i tlenu zdolne wytworzyć czy podtrzymać zjawisko spalania). Spalaniu cząstek sadzy towarzyszy charakterystyczne żółtawe światło. Jak już sugerowano wcześniej, każdy materiał charakteryzuje się pewnym ciepłem spalania jak również pojemnością cieplną – obie cechy charakterystyczne można powiązać ze zjawiskiem promieniowania. Ciepło spalania wskazuje na ilość energii, która wydzieli się podczas pożaru i będzie transportowana do otoczenia na 3 wymienione sposoby (przewodzenie, konwekcja i promieniowanie). Pojemność cieplna wskaże, ile ciepła (głównie w drodze promieniowania) przyjmie dany materiał, zanim jego temperatura wzrośnie o daną wartość. Promieniowanie cieplne rozchodzi się poprzez tzw. **strumień ciepła**. Definiowany jest on jako prędkość przepływu ciepła, będąca stosunkiem danej ilości ciepła do jednostki czasu [J/s] lub [W], jest więc formą transportu ciepła w drodze promieniowania. W literaturze spotyka się również pojęcia “szybkość wydzielania się ciepła” lub “moc pożaru” na określenie tej dynamiki towarzyszącej emisji ciepła. Można w uproszczeniu powiedzieć, że ilość promieniowania cieplnego powiązana jest z wielkością płomienia – im większy płomień, tym większe promieniowanie. Aby lepiej rozumieć i obrazować dynamikę tej formy transportu ciepła, wprowadzono parametr zwany **gęstością strumienia ciepła**. Jest to strumień ciepła padający na daną powierzchnię, inaczej nazwany gęstością promieniowania cieplnego [W/m²]. [2, 3, 13, 15, 16, 17]



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Przeanalizowanie naukowego podejścia do transferu ciepła może dać bardzo praktyczne wnioski. Zagadnieniem, na które wypada zwrócić uwagę jest przede wszystkim transport ciepła w drodze konwekcji. Kiedy gorące gazy przemieszczają się w pożarach wewnętrznych mogą powodować poważne skutki i być przyczyną śmiertelnego zagrożenia. Zrozumienie tego procesu pomoże lepiej rozpoznawać i skuteczniej przeciwdziałać ryzyku. [16] [17]

W termodynamice transfer ciepła w drodze konwekcji do obiektu opływanego przez gaz lub ciecz, w których owo ciepło zostało zgromadzone, oblicza się z następującego wzoru:

$$\dot{Q} = hA(T_a - T_b)$$

gdzie:

\dot{Q} – ilość ciepła transferowanego w jednostce czasu [J/s] lub [W];

h – współczynnik transferu ciepła [W/m^2K];

A – rzut pola powierzchni obiektu, który jest opływany, do kierunku przepływu [m^2];

T_a – temperatura powierzchni opływanego obiektu [K];

T_b – temperatura opływającego gazu lub cieczy [K].

Skupmy się na transferze ciepła związanym z wędrowką gazów pożarowych. W zależności od natury przepływu, przy stałej temperaturze (ilości zgromadzonego ciepła) gazów, ilość ciepła przekazywanego do opływanego obiektu będzie różna. Po pierwsze będzie ona tym większa, im bardziej owa powierzchnia będzie wystawiona na oddziaływanie przepływu. Jeśli powierzchnia będzie równoległa do kierunku przepływu to transfer będzie najmniejszy. Jeśli będzie ustawiona prostopadłe to transfer będzie największy. Dodatkowo, szybkość tego przepływu będzie miała najbardziej zauważalne znaczenie:

- dla konwekcji naturalnej, współczynnik h wynosić będzie: **od 5 do 25**
- dla konwekcji wymuszonej, współczynnik h wynosić będzie: **od 100 do 500**

Przy powolnych przepływach współczynnik (mnożnik) wynosić będzie 5. W momencie, kiedy opływany obiekt znajduje się w przepływie przyspieszonym, współczynnik może osiągać wartości 50 lub nawet 100. W przypadku silnego wiatru lub wentylacji naciśnieniowej, współczynnik może osiągać wartości rzędu kilkuset. Im większa różnica temperatur (w praktyce, im gorętsze gazy pożarowe), tym transfer ciepła jest większy.

Jeśli gorące gazy opływają jakąś powierzchnię (w tym osobę poszkodowaną lub strażaka) to transfer ciepła do tej powierzchni będzie tym większy, im:

- bardziej prostopadłe do kierunku przepływu usytuowana jest ta powierzchnia;
- większa jest różnica temperatur pomiędzy tą powierzchnią a opływającym ją gazem;
- większa jest prędkość przepływu tego gazu.

Wszelkie czynności mogące spowodować przyspieszenie przepływu gazów pożarowych skutkować będą zwiększeniem transferu ciepła do opływanych przez ten gaz powierzchni, również do ciała osoby poszkodowanej czy strażaka.

2.3. Granice palności/wybuchowości.

„Często przez okna te nie widać jeszcze płomieni, a tylko wydobywają się przez nie kłęby brunatnego dymu z rdzawym odcieniem, co jest dowodem niekompletnego spalania się dla braku tlenu i obecności w dymie jako składników – węglowodorów. Owóż te gazy przy najmniejszym doływie świeżego powietrza łatwo wybuchają płomieniem i mogą niespodziewanie dotkliwie poparzyć niebacznego prądownika.” [18]

- inż. Józef Tuliszkowski, 1909

Sięgając do klasyków naszego pożarnictwa, możemy zauważyć jak wcześnie kwestie różnorodnych zagrożeń powodowanych przez pożar zaprzętały głowy osób parających się naszą profesją. Na tym etapie rozważań wiemy już, że istnieją niezbędne elementy procesu spalania: paliwo, utleniacz, ciepło oraz wolne rodniki. Zastanówmy się teraz ile potrzeba poszczególnych elementów, aby ów proces mógł przebiegać. Będzie to konsekwencją obserwacji poczynionych przez inżyniera Józefa Tuliszkowskiego ponad wiek temu.

Skoro mówimy o tym, że potrzeba zarówno paliwa jak i tlenu do spalania, to nasuwa nam to wniosek, że muszą one występować w określonych proporcjach. Wiemy też, że paliwo musi być w stanie skupienia gazowym, a zatem wnioskujemy, że utleniacz i gazowe paliwo muszą się mieszać, aby doszło do spalania. Zawartość jednego gazu w innym nazywamy **stężeniem**. Najczęściej mówimy o stężeniu masowym (stosunek masy składnika do masy mieszaniny) lub objętościowym (stosunek objętości składnika do sumy objętości składników mieszaniny przed ich zmiesaniem). Aby uniknąć nadawania miana, w celu przedstawienia jedynie wzajemnego stosunku dwóch wielkości, wykorzystuje się **stężenie procentowe**.

Przykładowo, stężenia procentowe służą najczęściej do scharakteryzowania składu powietrza. I tak, w skład powietrza wchodzi następujące gazy:

Tab. 4: Skład powietrza w atmosferze ziemskiej. Praktyczną informacją jest ta, że w skład powietrza wchodzi 21% tlenu, który w pożarach odgrywa rolę utleniacza. [19] W skład powietrza wchodzi też 78% azotu, który nie jest palny i służy jako **balast termalny**.

| Składnik | Stężenie | Zaokrąglenie |
|------------------------------------|-----------|--------------|
| Azot (N) | 78,084% | 78 % |
| Tlen (O) | 20,946% | 21% |
| Argon (Ar) | 0,934% | 1% |
| Dwutlenek węgla (CO ₂) | 0,0360% | |
| Neon (Ne) | 0,00181% | |
| Hel (He) | 0,00052% | |
| Metan (CH ₄) | 0,00017% | |
| Krypton (Kr) | 0,00011% | |
| Wodór (H) | 0,00005% | |
| Ksenon (Xe) | 0,000008% | |

Balast termalny – jest to substancja, która w danych warunkach nie ulega spalaniu (jest niepalna lub nie ma w danej chwili i w danych warunkach dostępu do odpowiedniej ilości tlenu). Balast termalny będzie odbierał ciepło z układu i nagrzewał się, ale nie będzie się spalał. Jest to zatem każda substancja, która w danych warunkach zakłóca proces spalania.

Aby gazy palne wymieszane z powietrzem mogły się spalać, ich stężenia muszą zawierać się w pewnych granicach. Wartości charakteryzujące owe granice są specyficzne dla poszczególnych pierwiastków czy związków chemicznych czy substancji. Zakresem palności lub wybuchowości nazywamy taki przedział wielkości stężenia substancji w mieszaninie z powietrzem, w którym istnieje możliwość nastąpienia spalania lub wybuchu. Ów przedział wielkości stężenia opisywany jest za pomocą parametrów zwanych **granicami**.

Granicami palności/wybuchowości nazywa się najmniejsze lub największe możliwe zawartości palnego składnika w mieszaninie z powietrzem, przy których występuje możliwość wystąpienia zapłonu i inicjacji procesu spalania. Najczęściej granice wyrażane są w %.

Dolna Granica Wybuchowości/Palności- jest to najniższe stężenie palnego składnika w mieszaninie z powietrzem, przy którym możliwy jest już zapłon i rozpoczęcie procesu spalania.

Górna Granica Wybuchowości/Palności- jest to najwyższe stężenie palnego składnika w mieszaninie z powietrzem, przy którym możliwy jest jeszcze zapłon i rozpoczęcie procesu spalania. [20]

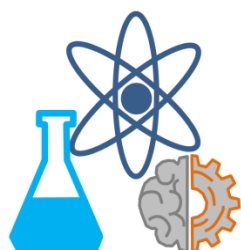
Granice zależą od różnych czynników i nie są parametrami stałymi. Na ich zmiany będzie wpływać: temperatura, ciśnienie czy skład mieszaniny, w tym szczególnie poziom stężenia tlenu a także obecność składników inertnych (czyli niepalnych). Jednak w celu umożliwienia porównania właściwości palnych różnych substancji najczęściej granice wybuchowości/palności podaje się dla warunków normalnych.¹⁶

Cytowany na wstępie Józef Tuliszkowski, w swej książce sprzed ponad 100 lat, bardzo celnie i wymownie opisał problematykę zagrożeń występujących przy spalaniu niecałkowitym i niezupełnym, czyli w warunkach niedoboru tlenu. Owo zrozumienie fundamentalnego wpływu dostępu tlenu do strefy spalania na dynamikę rozwoju pożaru i obecne zagrożenia nie uległo dezaktualizacji przez te lata, a wręcz nabrało nowego znaczenia w erze wszechobecnych syntetyków w naszych domostwach czy miejscach pracy, co wstępnie wykazano we wcześniejszych podrozdziałach (patrz **ROZDZIAŁ 2.1.2.1.** i **rysunek 8**).

W poniższej tabeli zestawiono przykładowe wartości stężeń opisujących zakresy palności/wybuchowości dla różnych substancji i pierwiastków spotykanych w przemyśle oraz działaniach straży pożarnych. Jak można zaobserwować zakresy wybuchowości dla różnych substancji mogą się dosyć mocno różnić.

Tab. 5: Przykładowe wartości stężeń Dolnej i Górnej Granicy Wybuchowości/Palności dla niektórych substancji. [21]

| Substancja | DGW [%] | GGW [%] | Substancja | DGW [%] | GGW [%] |
|-------------|---------|---------|------------------|---------|---------|
| Aceton | 2,6 | 13 | Metan | 5,0 | 15,0 |
| Acetylen | 2,5 | 100 | Naftalen | 0,88 | 5,9 |
| Amoniak | 15 | 28 | Propan | 2,1 | 9,5 |
| Benzen | 1,3 | 7,9 | Propylen | 2,4 | 11 |
| Benzyna | 1,2 | 7,1 | Tlenek propylenu | 2,8 | 37 |
| Cyjanowodór | 5,6 | 40 | Tlenek węgla | 12,5 | 74 |
| Etan | 3,0 | 12,4 | Toluen | 1,2 | 7,1 |
| Etylen | 2,7 | 36 | Wodór | 4,0 | 75 |



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

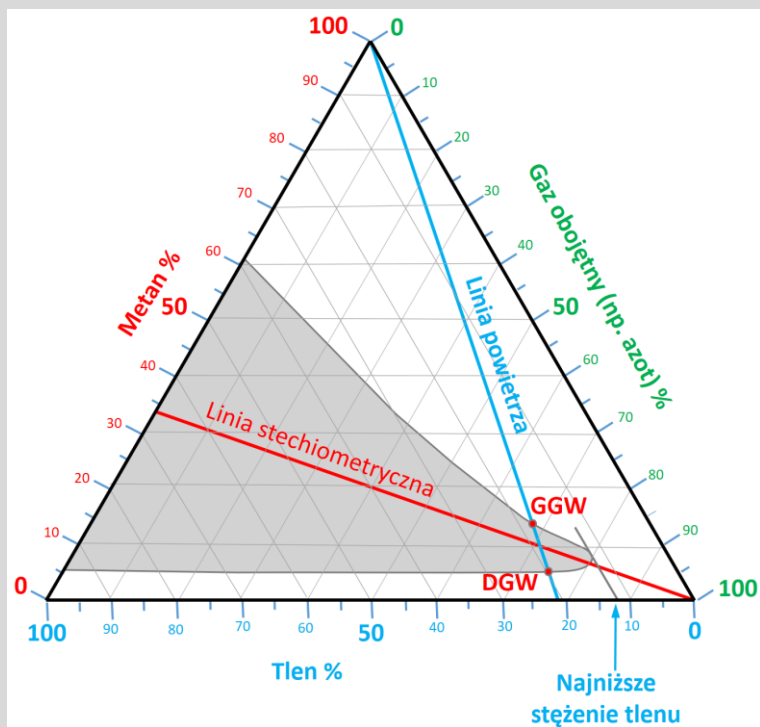
Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Między tlenem, gazem obojętnym i gazem palnym występują zależności wpływające na zakres palności/wybuchowości. Wyjaśnia je poniższy diagram dotyczący tlenu, azotu i metanu.

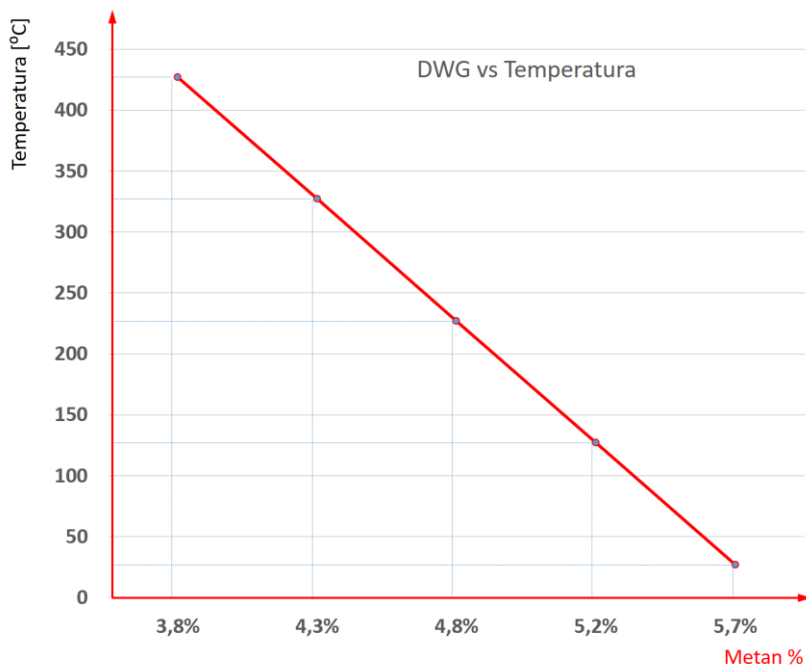
Na pierwszy rzut oka diagram wydaje się skomplikowany, ale to jedynie pozorna trudność. Niebieska linia to linia stężenia tlenu, biegnąca od 21% do 0%. Linia czerwona to linia stężenia stechiometrycznego gazu palnego w mieszaninie z powietrzem. Pokazuje ona mieszaninę idealną, w której spalanie będzie całkowite. Szary obszar to różne **palne** mieszaniny: tlenu, gazów palnych oraz pasywnych (zwanymi **balastem termalnym**). Ów szary obszar interesuje nas najbardziej, w szczególności po prawej stronie niebieskiej linii powietrza. Granice palności są na poziomie odpowiadającym warunkom normalnym oraz występuje wystarczające do spalania stężenie tlenu. Gdy wzrośnie stężenie paliwa wówczas mieszanina może stać się niepalna (stężenie powyżej GGW). Jeśli jednak ilość paliwa się zmniejszy (gazy zostaną odprowadzone) mieszanina może ponownie wejść w zakres palności. Pamiętajmy też, że na granice wybuchowości danej substancji wpływ ma również temperatura – im jest ona wyższa tym zakres jest większy (wyższa górna

¹⁶ Warunki normalne dla obliczeń termodynamicznych to ciśnienie 1 atmosfery (101 325 Pa) oraz temperatura 25°C.

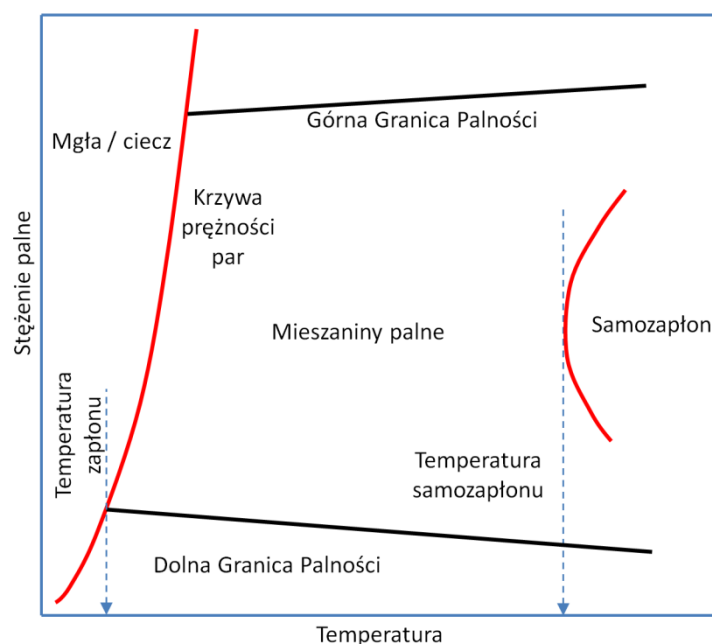
i niższa dolna granica wybuchowości). Pośrednio oznacza to, że w wyższej temperaturze potrzeba mniejszej ilości paliwa, aby spalanie miało charakter ciągły. Jednak poszerzenie się granic palności nie jest aż tak istotne jak to, że wraz ze wzrostem temperatury w pożarach wewnętrznych wzrasta powstawanie produktów pirolizy, co przekłada się na łatwiejsze osiągnięcie przez owe gazy zakresu palności.



Rys. 9: Diagram palności (wybuchowości). Poszczególne linie pokazują zawartość **tlenu**, **gazu obojętnego** (azotu lub np. pary wodnej czy CO₂) oraz **gazu palnego (tu: metan)**. Widoczna Górna i Dolna Granica Wybuchowości/Palności (DGW i GGW). (opracowanie własne na podstawie [21])



Rys. 10: Zależność poziomu Dolnej Granicy Wybuchowości od temperatury gazów na przykładzie metanu. Im wyższa temperatura substancji, tym mniej jej potrzeba, aby uległa zapaleniu i aby spalanie trwało. (opracowanie własne na podstawie [2])



Rys. 11: Wpływ temperatury na granice palności par palnych w mieszaninie z powietrzem przy stałym ciśnieniu początkowym. (opracowanie własne na podstawie [21])

Powyższe **rysunki** pokazują zależność granic wybuchowości/palności od temperatury. **Rysunek 10** obrazuje konkretny przykład gazu palnego – metanu (CH_4). Jest to związek zwany węglowodorem, ponieważ składa się z cząsteczek węgla i wodoru. To dobry przykład i często przytaczany, bowiem jak już wspomniano wcześniej w dymie pożarowym znajduje się wiele różnych węglowodorów, które są główną przyczyną palności dymu. Widzimy, że wraz ze wzrostem temperatury dolna granica palności obniża swą wartość, a zatem łatwiej jest ów gaz zapalić. Dlatego im dym jest gorętszy, tym łatwiej ulega spalaniu. [22]

Rysunek 11 pokazuje ogólną zasadę wpływu temperatury na zakres palności palnych par. Wzrost temperatury powoduje rozszerzanie zakresu palności (obniżanie DGW i podwyższanie GGW). Na rysunku widać też **temperaturę zapłonu**. Jest to parametr mówiący o najniższej dla danego ciała temperaturze, przy której możliwy już jest zapłon od punkтового bodźca. Inaczej mówiąc, w tej temperaturze występują gazy palne o stężeniu równym DGW. Poniżej tej temperatury widnieje pole oznaczone komentarzem „mgła”, bowiem wykres stworzono dla par palnych cieczy a poniżej krzywej prężności par występuje ciekły stan skupienia (mgła jest aerozolem). W pewnym momencie wzrost temperatury spowoduje osiągnięcie wartości, przy której następuje samoczynny zapłon (samozapłon) – w mieszaninie paliwa z powietrzem zgromadzono tyle ciepła, że spełniono wszystkie warunki do zaistnienia procesu spalania. Tę temperaturę nazywamy **temperaturą samozapłonu**.

Im wyższa temperatura dymu tym łatwiej dochodzi do zapoczątkowania procesu jego spalania, co może mieć bardzo niebezpieczne konsekwencje dla osób poszkodowanych, strażaków oraz obiektu i mienia.

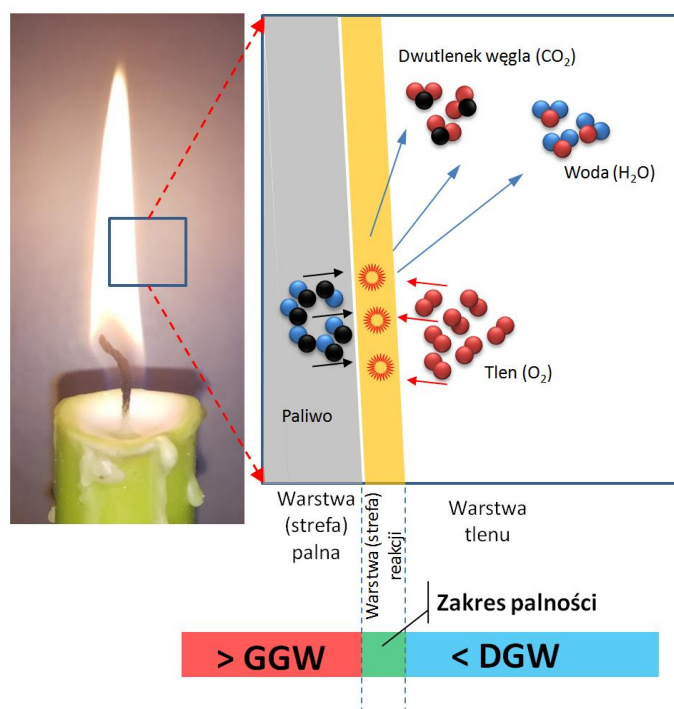
Dla każdej substancji palnej można wyznaczyć również idealne proporcje w mieszaninie z powietrzem, które spowodują, że każda cząstka palnej materii otrzyma odpowiednią ilość cząstek powietrza (tlenu). Wówczas spalanie będzie bardzo efektywne – przebiegnie z wydzieleniem możliwie najwyższej temperatury oraz ciśnienia. Takie stężenie nazywamy **stężeniem stechiometrycznym**.

2.4. Spalanie płomieniowe i bezpłomieniowe.

Wspomniano już, że paliwa muszą przejść w stan gazowy, aby doszło do **spalania płomieniowego**. Wówczas mogą się one mieszać z utleniaczem. Wiemy też, że muszą mieć odpowiednie stężenie – w zakresie palności – aby mogło dojść do reakcji spalania płomieniowego.

Oznacza to, że płomień jest przestrzenią **gazową**. Wewnątrz tej przestrzeni znajduje się paliwo gazowe. Poziom stężenia tego paliwa wewnątrz płomienia wynosi na ogół 100%, czyli z pewnością powyżej GGW dla większości węglowodorów. Na zewnątrz tej przestrzeni znajduje się powietrze. W tym obszarze stężenie paliwa wynosi 0% czyli z pewnością poniżej DGW dla węglowodorów. Zatem można skonkludować, że spalanie zachodzi na styku tych stref. Wokół płomienia znajduje się cienka strefa reakcji, w której dochodzi do utleniania paliw. Efektem tego procesu jest promieniowanie cieplne. Poziom promieniowania jest tym wyższy im większa jest powierzchnia płomienia (czyli m.in. im wyższy jest płomień). Płomień musi posiadać również odpowiednią temperaturę, aby mógł istnieć. Dlatego skuteczne odebranie ciepła ze strefy reakcji spowoduje nagłe (skokowe) zlikwidowanie płomienia. Może do tego dojść poprzez wchłonięcie ciepła przez substancje lub obiekty znajdujące się w obrębie płomienia.

W wyniku wysokiej temperatury w strefie reakcji płomienia dochodzi do podgrzania cząstek węgla, które emitują wówczas światło widzialne. Płomień o najniższej temperaturze emituje światło o barwie czerwonej. W miarę wzrostu temperatury barwa przechodzi w pomarańczową i żółtą a następnie niebieską, która pojawia się w bardzo wysokich temperaturach. **UWAGA: obecność pewnych substancji może zabarwiać płomień na inne kolory.** Na ogół jednak barwa płomienia może pomóc oszacować jego temperaturę, a zatem warunki spalania.



Rys. 12: Budowa płomienia: wewnątrz przestrzeni gazowej płomienia znajduje się strefa paliwa, na zewnątrz płomienia znajduje się powietrze (tlen) a spalanie zachodzi we względnie wąskiej przestrzeni na styku tych dwóch stref, zwanej strefą reakcji. Paliwa o stężeniach zawierających się w zakresie palności znajdują się właśnie w strefie reakcji (opracowanie własne na podstawie [2]).



Fot. 7: Nakrywając płomień od góry sitkiem wykonanym z niepalnego materiału i likwidując tym samym górną część płomienia można zaobserwować pustą przestrzeń wewnątrz płomienia oraz strefę reakcji wokół tej przestrzeni.



Fot. 8: Wprowadzając balast termalny (metalowe pręciki sitka) obniża się temperaturę płomienia i doprowadza do jego likwidacji. Paliwa są nadal zdolne do spalania – zapalenie płomienia ponad sitkiem powoduje powstanie drugiej strefy reakcji.

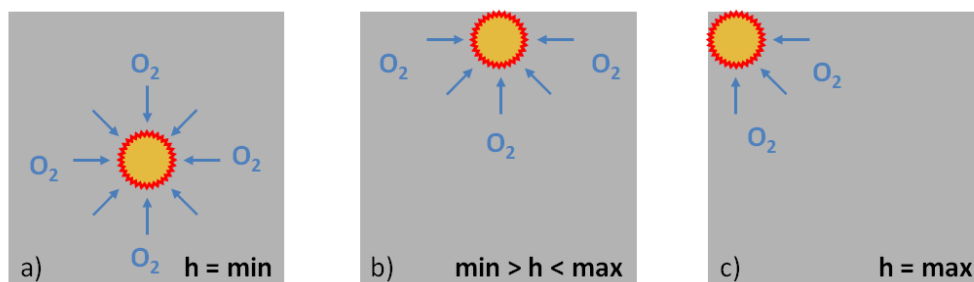
Powierzchnia płomienia, a zatem również ilość ciepła transmitowanego w drodze promieniowania od tej powierzchni, będzie zależęć głównie od dwóch czynników:

- od ilości paliwa produkowanego w jednostce czasu, bowiem owo paliwo będzie szukać kontaktu z tlenem, aby wchodzić w reakcję utleniania (spalania);
- od dostępu powietrza do strefy reakcji znajdującej się wokół płomienia.

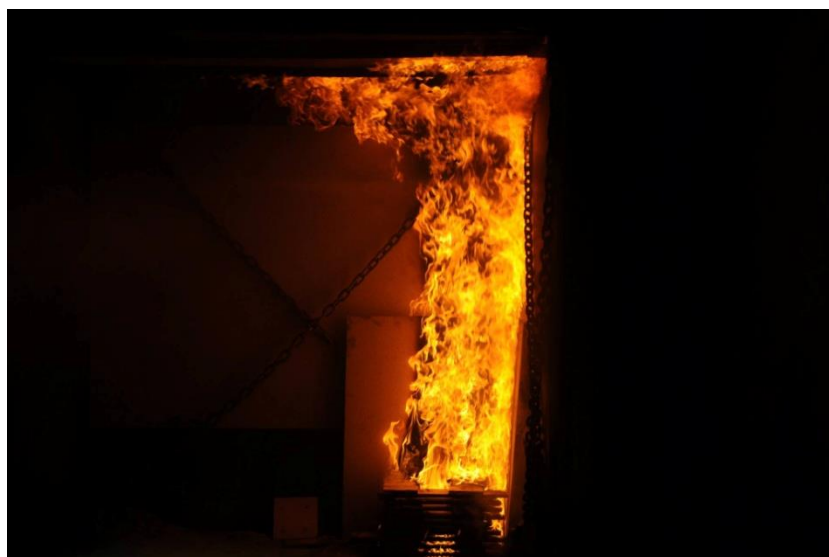
Ten drugi czynnik wymaga dodatkowego komentarza. Zależnie od usytuowania strefy spalania, dostęp tlenu do strefy reakcji może być utrudniony. Zasada ta została zobrazowana na **rysunku 9**. Jeśli spalanie rozpoczyna się w miejscu, gdzie nie ma fizycznych barier (np. na środku pokoju) to dostęp tlenu wystąpi z każdej strony (**przypadek a na rys. 9**). Wówczas płomień osiągnie minimalną możliwą wysokość. Jeśli spalanie ma miejsce przy ścianie, to z jednej strony dostęp tlenu jest wydłużony. Aby produkowane paliwo gazowe miało dostęp do wymaganej ilości utleniacza, płomień (strefa reakcji) musi się wydłużyć. Płomień będzie miał wtedy większą wysokość (**przypadek b**). Jeśli spalanie ma miejsce w rogu pomieszczenia, to dostęp tlenu do strefy spalania jest jeszcze bardziej ograniczony a płomień musi mieć jeszcze większą wysokość, aby produkowane paliwo mogło wejść w reakcję z tlenem. W ostatnim przypadku, wysokość płomienia będzie najwyższa z możliwych. Również największa będzie dawka promieniowania, jaką płomień wyśle do innych paliw (**przypadek c**). Należy dodać, że w praktyce na wielkość płomienia wpłynie także fakt odbierania ciepła przez ścianę w początkowej fazie spalania. W momencie nagrzania ściana zacznie sprzyjać wydłużaniu się płomienia z przyczyn opisanych powyżej.

Przy spalaniu płomieniowym utleniacz oraz paliwo są w tym samym stanie skupienia (gazowym), dlatego spalanie płomieniowe nazywamy również **spalaniem homogenicznym**.

Pożary rozpoczynające się w narożniku pomieszczenia będą rozwijały się i rozprzestrzeniały najszybciej, bowiem paliwo gazowe szukając kontaktu z utleniaczem zwiększać będzie powierzchnię strefy spalania. Konsekwencją tego będzie wzrost poziomu promieniowania cieplnego generowanego przez płomień.



Rys. 13: Zależnie od usytuowania ogniska pożaru dostęp tlenu do strefy spalania będzie różny, co przełoży się na wysokość płomienia jak również na dynamikę rozwoju pożaru.



Fot. 9: Przykładem pożaru rozpoczynającego się w rogu i rozwijającego dynamicznie jest pożar ćwiczebny w komorze ogniowej. Pożary ćwiczebne prowadzone są celowo w taki sposób, aby rozwój pożaru był dynamiczny a zajęcia praktyczne pozwalały na sprawniejszą realizację celów dydaktycznych. Dodatkowym czynnikiem przyspieszającym rozwój pożaru jest obecność paliwa na ścianach. Płomień rozprzestrzenia się pionowo w górę kilka razy szybciej, aniżeli w bok i kilkanaście razy szybciej aniżeli w dół. [2]

Oprócz spalania płomieniowego wyróżnić możemy również **spalanie bezpłomieniowe**. Jest to taki rodzaj spalania, w którym utleniacz i paliwo są w różnym stanie skupienia. Utleniacz jest w fazie gazowej, natomiast paliwo pozostaje w stanie skupienia stałym. Ze względu na różne stany skupienia taki rodzaj spalania nazywamy **spalaniem heterogenicznym**. W ten sposób spalają się głównie materiały pochodzenia naturalnego, które zdolne są wytwarzać zwęgloną warstwę. Spalanie przebiega wewnątrz materiału i jak wspomniano nie towarzyszy mu obecność płomienia. Tempo uwalniania paliw gazowych i rozprzestrzeniania się strefy spalania jest małe, natomiast z uwagi na niedobór tlenu jednostka masy wyprodukuje więcej dymu, chociaż spalanie płomieniowe ze względu na niższą dynamikę rozwoju produkuje ogólnie mniej dymu, kiedy patrzymy na całość procesu a nie na jednostkę masy spalającego się materiału. Spalanie bezpłomieniowe przebiega w niższych temperaturach niż spalanie płomieniowe. Można je dodatkowo podzielić na:

- **żarzenie** – spalanie bezpłomieniowe z wydzielaniem światła widzialnego (żaru);
- **tlenie** – spalanie bezpłomieniowe bez wydzielania światła widzialnego.

W pożarach mamy do czynienia na ogół ze wszystkimi rodzajami spalania. Dobrym przykładem pojedynczego paliwa, które może spalać się zarówno płomieniowo jak też żarzyć oraz tlić jest drewno.



Fot. 10: Spalanie płomieniowe, tlenie oraz żarzenie drewna w kominku.

2.5 Spalanie dyfuzyjne i kinetyczne.

O dynamice procesu spalania oraz temperaturze tego procesu zdecyduje też wymieszanie z powietrzem. Jeśli paliwo jest wstępnie wymieszane z powietrzem to proces spalania może następować sprawniej a jego szybkość zależy od reakcji pomiędzy paliwem i utleniaczem. Jeśli nie jest wymieszanie to szybkość i sprawność procesu spalania będą dodatkowo zależeć od szybkości mieszania się paliwa z utleniaczem.

Spalanie dyfuzyjne – to taki rodzaj spalania, w którym paliwo nie jest wymieszane z utleniaczem. Parametry procesu spalania (szybkość, temperatura itd.) zależą od skuteczności i szybkości procesu mieszania (**dyfuzji**) paliwa i utleniacza. Jest to proces zazwyczaj przebiegający wolniej i przy niższych temperaturach. Charakteryzuje się barwą płomienia sugerującą niższą temperaturę – czerwoną, pomarańczową lub żółtą.

Spalanie kinetyczne – to taki rodzaj spalania, w którym paliwo jest wstępnie wymieszane z utleniaczem. Parametry procesu spalania (szybkość, temperatura itd.) zależą od szybkości reakcji paliwa i utleniacza. Jest to proces zazwyczaj przebiegający szybciej i przy wyższych temperaturach. Charakteryzuje się barwą płomienia sugerującą wyższą temperaturę – jasną, fioletową lub niebieskawą.

Przy spalaniu dyfuzyjnym mamy często do czynienia z **płomieniem turbulentnym**. Oznacza to, że jego powierzchnia jest nieregularna i zmienia się stosownie do turbulencji i zawirowań występujących w nim przepływach gazów.

Przy spalaniu kinetycznym mamy często do czynienia z **płomieniem laminarnym**. Oznacza to, że jego powierzchnia jest regularna a przepływy następują w sposób uporządkowany.



Fot. 11: Porównanie płomienia turbulentnego (po lewej) i laminarnego (po prawej) uzyskanych w wyniku spalania gazu LPG. Gaz po lewej stronie wydobywa się z dyszy a następnie miesza, co wprowadza turbulencje (spalanie dyfuzyjne). Gaz po prawej stronie wydobywa się z dyszy po wstępnym wymieszaniu z powietrzem, stąd jego laminarny przebieg i widocznie wyższa temperatura (niebieska barwa) towarzyszące spalaniu kinetycznemu.

Aby kontynuować dalsze rozważania należy w tym momencie zauważyć, że zarówno spalanie dyfuzyjne jak i kinetyczne występują również w pożarach wewnętrznych. Gazy pożarowe będące składnikiem **dymu** należy traktować zupełnie tak samo jak każdy inny gaz palny (np. propan lub butan). Różnica polega jedynie na tym, że **dym** nie ma określonego jednolitego składu i z punktu widzenia procesu spalania jest gazem zanieczyszczonym (wilgocią, gazami obojętnymi, cząstkami stałymi itd., inaczej mówiąc **balastem termalnym**). Niemniej zupełnie jak przy spalaniu gazów typu LPG, w pożarach wewnętrznych może dochodzić do analogicznych zjawisk: pożarów strumieniowych (jet fire), pożarów błyskawicznych (flash fire) czy wybuchów. Mają one jedynie inne nazwy, które zostaną usystematyzowane w dalszej części materiału natomiast ważne jest zrozumienie, że mechanizmy i zjawiska zachodzące w pożarach wewnętrznych są analogiczne do scenariuszy z udziałem gazów palnych.

2.6. Spalanie materiałów w różnych stanach skupienia w warunkach pożaru wewnętrznego.

Jak wspomniano na wstępie paliwa spalają się w pożarach wewnętrznych po przejściu w gazowy stan skupienia. Najczęściej mamy do czynienia ze **spalaniem ciał stałych** i im poświęćmy najwięcej uwagi.

W uproszczeniu, istnieją trzy etapy spalania ciał stałych:

- ogrzanie materiału;
- rozkład termiczny;
- spalanie.

Paliwa muszą się najpierw **ogrzać**, czyli pochłonąć ciepło i podnieść swoją temperaturę. W pewnym momencie zaczyna dochodzić do ich **rozkładu termicznego**, czyli produkcji paliw gazowych. Istnieje kilka możliwych scenariuszy tego etapu. Następnie uwolnione i ogrzane paliwa gazowe zaczynają się **spalać**.



Rys. 14: Etapy spalania ciał stałych, występujące również w pożarach wewnętrznych.

Z powyższego rysunku możemy wywnioskować, że ciała stałe występujące w pożarach wewnętrznych będą się zachowywać na dwa sposoby. Część paliw ulegać będzie zwęgleniu i emitować gazy. Są to ciała, które w warunkach pożaru nie przechodzą przez stan skupienia ciekły.

Inne materiały w momencie ogrzania zaczynają się topić. W pożarach zachowują się jak ciecze to znaczy płyną i kapią (zostało to zaznaczone podczas omawiania grup pożarów w **ROZDZIALE 2.1.1**. Takie ciała nie tworzą warstwy zwęglonej a ich odgazowanie następuje w procesie odparowania, zupełnie jak przy cieczech. Niezależnie od sposobu reakcji na kumulację ciepła i wzrost temperatury danego materiału, efektem podgrzania jest emisja gazowych paliw. Owe paliwa są składnikiem **gazów pożarowych**. Powstają one w wyniku rozkładu termicznego, pirolizy lub odparowania paliwa, występujące w gazowym stanie skupienia, gotowe do spalania, jednak nadal posiadające wysoką zawartość energetyczną. Wchodzą w skład dymu i mogą spalać się z wydzielaniem dużych ilości energii cieplnej.

Ciała stałe, które nie podlegają topnieniu, przechodzą w pożarach etap rozkładu termicznego lub pirolizy. Zarówno **piroliza** jak i **rozkład termiczny**, to nieodwracalny rozkład chemiczny danej substancji pod wpływem oddziaływania ciepła. Różnica jest taka, że **rozkład termiczny następuje w obecności tlenu, natomiast piroliza następuje bez obecności tlenu**. Wpływa to na rodzaj produktów takiego rozkładu, niemniej mechanizm jest analogiczny – energia cieplna wnikająca w materiał niszczy jego strukturę i powoduje uwalnianie gazowych produktów. Natomiast ważne jest podkreślenie, że owo zjawisko może zachodzić bez obecności tlenu. Zrozumienie tego faktu pomoże postępować zgodnie ze wspomnianą wcześniej filozofią (**ROZPOZNAWAĆ – ZWALCZAĆ – ZAPOBIEGAĆ – UNIKAĆ**) i będzie miało wpływ na pożądane zachowanie strażaków podczas przemieszczania się w budynkach objętych pożarem.

Osiągnięcie pewnej temperatury (różnej dla poszczególnych substancji, ale na ogół zawierającej się w przedziale **150-250°C**), powoduje niszczenie wiązań pomiędzy cząsteczkami i ulatnianie się paliwa w formie gazowej. Jest to paliwo, które posiada dużą potencjalną energię, ponieważ nie uległo jeszcze spalaniu. Wzbogacając warstwę zadymienia może prowadzić do spalania się dymu i gazów pożarowych z wydzielaniem dużych ilości ciepła. „Dym z pirolizy”, czyli **produkty rozkładu termicznego**, ma najczęściej jasną barwę, bowiem względnie niska temperatura, słabe prądy konwekcyjne i stosunkowo nienaruszona struktura ciała stałego ulegającego rozkładowi termicznemu powodują, że do produktów gazowych przedostaje się niewielka ilość sadzy, barwiącej dym na ciemny kolor.

Dla większości substancji można też wyznaczyć parametr **temperatury samozapłonu**. W momencie nagromadzenia pewnej wystarczającej ilości ciepła dana substancja zaczyna automatycznie się spalać – możliwe jest to bez udziału płomienia zapalającego czy iskry. Energia zapłonu została osiągnięta i substancja spala się. Dotyczy to zarówno ciał stałych jak i gazów (większość cieczy palnych w tej temperaturze występuje jako gaz z uwagi na przekroczoną temperaturę parowania). Tu ponownie wartości są różne dla poszczególnych substancji czy ich mieszanin, ale można umownie wskazać przedział 500-600°C dla samozapłonu gazów pożarowych (w tym około 600°C dla tlenku węgla – CO), 300-470°C dla różnych gatunków drewna, 220-470°C dla cieczy palnych, około 230°C dla papieru, 350-570°C dla większości tworzyw sztucznych.

Jeśli chodzi o **ciecze** oraz **gazy** ich zachowanie w pożarach to należy stwierdzić, że spotyka się je w pożarach wewnętrznych o wiele rzadziej niż ciała stałe. Niemniej obowiązuje tu analogiczna zasada. Ciecze muszą osiągnąć gazowy stan skupienia, zanim zaczną się spalać. Dzieje się to w drodze odparowania. Jak wspomniano, niektóre ciała stałe przejawiają takie zachowania w warunkach pożarowych. Gazy już są w odpowiednim stanie skupienia, ale najczęściej musi dojść do ich uwolnienia ze zbiorników lub innych

miejsz przechowywania. Mechanizmy spalania gazów zostały wyjaśnione w części dotyczącej granic palności w sposób wystarczający dla celów niniejszego opracowania. Należy jedynie przypomnieć, że w warunkach pożaru na palność wpływ ma temperatura i balast termalny.

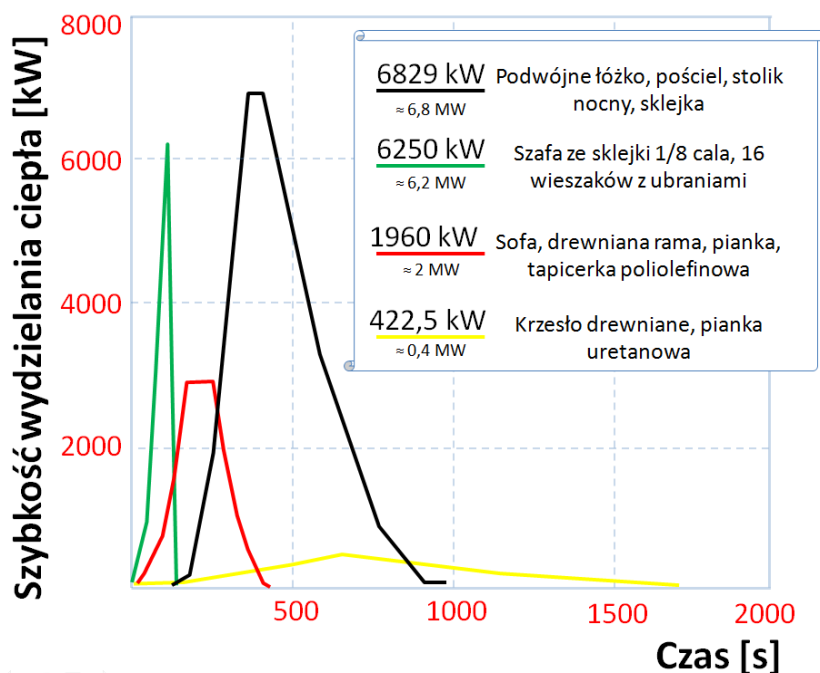
2.7. Wybrane parametry pożaru:

Aby móc w pełni rozumieć pożary wewnętrzne, a także płynnie poruszać się po tematyce ich gaszenia, należy przyswoić wiedzę z zakresu kilku wybranych parametrów pożarowych. Zostanie ona pokrótce przedstawiona w tym podrozdziale.

2.7.1. Moc pożaru

Jednym z ważniejszych parametrów opisujących pożary wewnętrzne jest ich moc. Mocą pożaru nazwiemy **szybkość**, z jaką dany pożar w danym momencie **wydziela energię cieplną**. Wiemy już, że energię mierzymy w dżulach [J]. Energia wydzielana w czasie jest właśnie mocą. Mianem mocy są waty [W]. Moc można również przedstawiać jako określoną liczbę dżuli na sekundę [J/s].

W uproszczeniu można powiedzieć, że w praktyce pojedyncze, niewielkie elementy wyposażenia osiągają podczas spalania moc rzędu kilkudziesięciu do kilkuset kilowatów [kW]. Większe elementy i całe pomieszczenia płoną osiągając moc od kilku do nawet kilkunastu megawatów [MW]. (patrz **rysunek 15**). Płonące budynki generują moc rzędu od kilkudziesięciu do kilkuset MW.



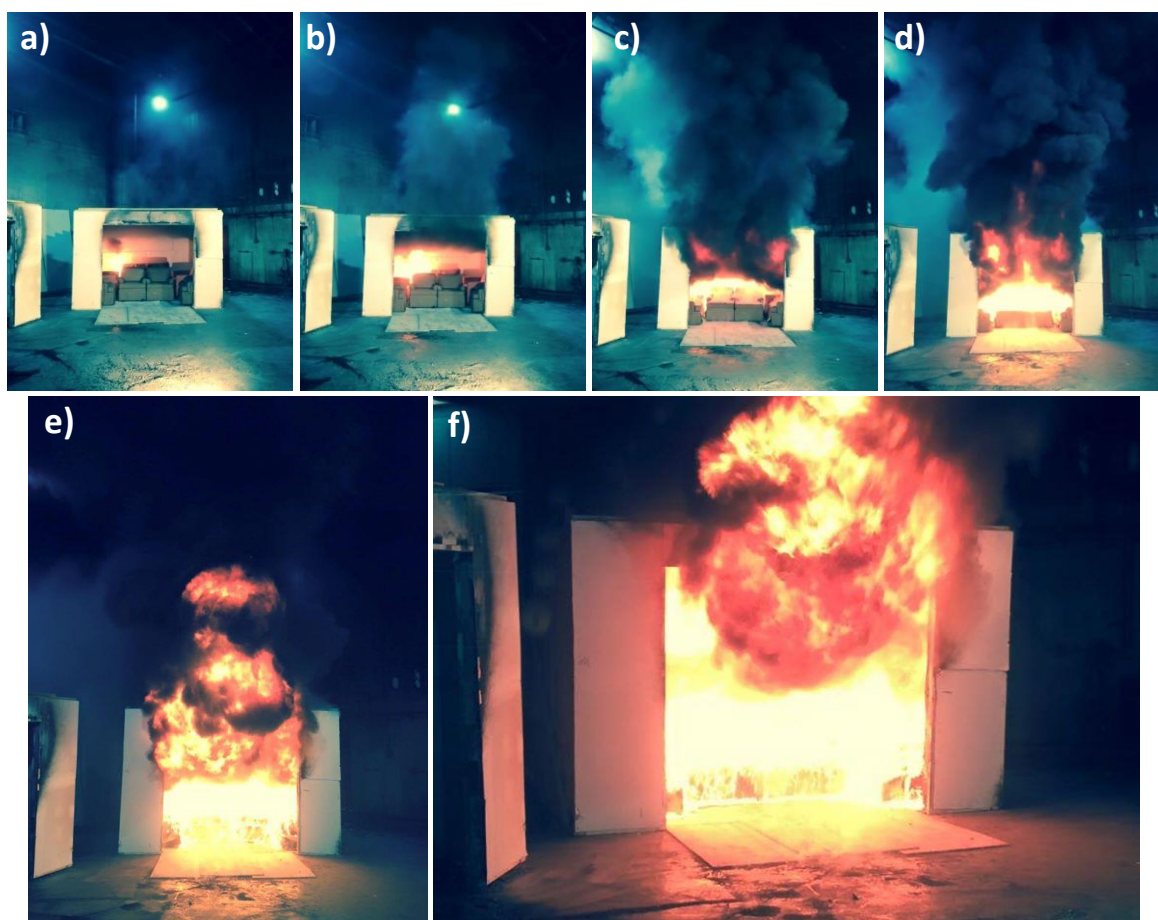
Rys. 15: Porównanie przebiegu swobodnego spalania (przebiegającego z udziałem niezbędnego tlenu) różnych elementów wyposażenia wnętrza wraz z podaniem ich szczytowej wartości szybkości wydzielenia się ciepła (szczytowej mocy pożaru). [23]

W dalszych rozdziałach zajmiemy się problematyką gaszenia pożarów wodą. Warto jednak już zauważyć, że pożar jest zjawiskiem przebiegającym w czasie (stąd mowa o energii cieplnej wydzielanej w jednostce czasu), zatem również gaszenie będziemy opisywać parametrami odnoszącymi się do czasu. Prądy gaśnicze charakteryzuje się często podając ich wydajność w litrach na minutę. Konkluzja jest taka, że znając lub oszacowując moc pożaru należy dopasować odpowiednią wydajność prądów gaśniczych.

Moc pożaru zależy będzie od kilku czynników:

- rodzaju spalanych paliw;
- gęstości obciążenia ogniowego oraz usytuowania paliwa;
- dostępu utleniacza do strefy spalania i charakteru przepływu (naturalny kontra wymuszony);
- bieżąca moc pożaru zależna będzie także od aktualnego stadium rozwoju pożaru.

W ostatnich UL FSRI przeprowadził badania nad wentylacją nadciśnieniową, stosowaną przez strażę pożarną w budynkach mieszkalnych. [24] W ramach tych badań dokonano eksperymentów mających oszacować wpływ dostępu tlenu na maksymalną szybkość wydzielania ciepła przez pożary. W tym celu porównano dwa pożary eksperymentalne w identycznym pomieszczeniu (powierzchnia 3,65 x 3,65 m, wysokość 2,45 m, otwór w ścianie około 2,1 x 2,4 m). W pierwszym przypadku zbadano przebieg pożaru w zwyczajnie umeblowanym pomieszczeniu a w drugim zbadano przebieg przy znacznej nadwyżce mebli tapicerowanych, charakteryzujących się wysokimi wartościami mocy pożaru podczas spalania. Na serii zdjęć poniżej widać przebieg drugiego eksperymentu. (**fot. 12**)



Fot. 12 a-f: Przebieg eksperymentu, w którym umieszczono znaczną nadwyżkę mebli, osiągając bardzo zawyżoną wartość gęstości obciążenia ogniowego. Widać, że płomień rozciąga się i wędruje znacząco poza pomieszczenie. Zgodnie z przedstawionymi wcześniej informacjami (**rozdział 2.4.**) nadmiar paliwa powoduje zwiększenie powierzchni płomienia. Na powyższych zdjęciach pożar osiąga stadium, w którym znaczna część płomienia występuje poza pomieszczeniem. Przyczyną tego jest właśnie wspomniana konieczność zwiększenia strefy reakcji powodowana nadwyżką paliw gazowych i niedoborem tlenu w pomieszczeniu. [24] (dzięki uprzejmości UL Firefighter Safety Research Institute)

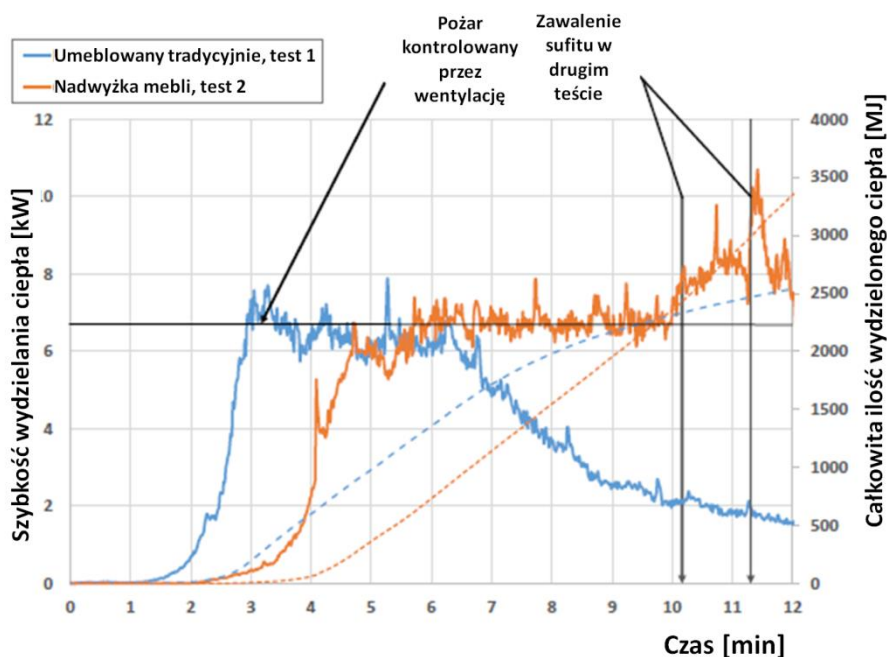
Paliwo widoczne na powyższych zdjęciach ma potencjał do osiągnięcia szczytowej wartości mocy pożaru na poziomie około 20 MW, gdyby dostęp powietrza był swobodny. Otwór o wymiarach około 2,1m x 2,4 m ograniczył szczytową wartość mocy pożaru do około 8 MW, co widać na wykresie (**rysunek 16**)

Porównując przebieg obu testów zauważono, że szczytowe wartości mocy pożaru były zbliżone. W drugim przypadku, pożar rozwijał się wolniej a pełną moc osiągnął później. Obrazuje to **Tabela 6** oraz **rysunek 16**.

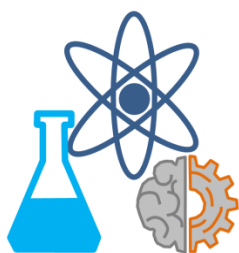
Tab. 6: Porównanie dynamiki rozwoju dwóch eksperymentów podczas badania wpływu wymiany gazowej na moc pożaru. [24]

| Eksperyment | Czas do pełnego rozwoju | Średnia moc przy pełnym rozwoju [kW] |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Umeblowany tradycyjnie | 02:56 | 6458 (≈6,5 MW) |
| Nadwyżka mebli | 05:46 | 6779 (≈6,8 MW) |

Powyższa tabela potwierdza informacje pochodzące z normy dotyczącej gęstości obciążenia ogniowego [14] oraz **Regułę Thorntona**: dynamiką pożaru steruje dostęp tlenu natomiast większa ilość paliw powoduje wydłużenie czasu trwania pożaru. W omawianych testach, w drugim przypadku osiągnięcie stadium pełnego rozwoju pożaru zajęło nieco dłużej, co wynikało z utrudnionego dostępu tlenu do strefy spalania z powodu licznych przeszkód (mebli) na drodze napływu powietrza w dolnej strefie pomieszczenia. Dodatkowo, po około 10 minutach trwania drugiego testu doszło do naruszenia konstrukcji i zawalenia się sufitu, co spowodowało odpływ gazów w górę i łatwiejszy napływ powietrza. Skutkiem tego była intensyfikacja pożaru po wystąpieniu zawalenia sufitu.



Rys. 16: Ocena wpływu wymiany gazowej na moc pożaru. Tradycyjnie umeblowany pokój osiągnął stadium pełnego rozwoju po niespełna 3 minutach (test 1). Pokój z nadwyżką mebli osiągnął owo stadium po niespełna 6 minutach (test 2). Maksymalna moc pożaru, jak również średnia moc pożaru była w obu przypadkach zbliżona, co udowadnia kluczowy wpływ dostępu tlenu na proces spalania pożarowego. Oznacza to, że pożar był w tym stadium **kontrolowany przez wentylację**, co wyjaśniono w dalszej części opracowania. Łączna ilość ciepła wydzielonego w tych pożarach oznaczona jest linią przerywaną i wyskalowana na prawej osi pionowej. Dłuższy czas trwania pożaru w teście 2 skutkowało większą wartością całkowitej ilości wydzielenego ciepła. Zmiana profilu wentylacji w wyniku zawalenia się sufitu pozwoliła na lepszy dopływ powietrza do strefy spalania i osiągnięcie wyższej mocy pożaru. Mechanizm owej zmiany zostanie wyjaśniony poniżej w części dotyczącej **strefowego modelu pożaru**. [24] (dzięki uprzejmości UL Firefighter Safety Research Institute).



UWAGA! NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Prowadzone w Holandii od kilku lat badania nad środowiskiem pożaru pozwoliły na wypracowanie szeregu uproszczeń dotyczących rozpoznania warunków pożarowych. [26] Akademia Pożarnicza opracowała w oparciu o wyniki swoich badań materiał, mający uprościć język nauki i uczynić go przystępnym dla strażaków, którzy codziennie, w trybie pilnym, muszą podejmować decyzje ważące na życiu i zdrowiu obywateli oraz ich mieniu i środowisku. Poniżej przedstawione zostaną pokrótce owe rozważania a wyciągnięte z nich ogólne wnioski posłużą do opisywania kolejnych zagadnień.

U podstaw tej teorii leżą dokonania badaczy japońskich, którzy w końcu lat 40-tych minionego stulecia badali pożary w pełni rozwinięte (po rozgorzeniu). Kunio Kawagoe wraz ze swoim zespołem badał moc pożaru drewnianych stosów przy różnych otworach wentylacyjnych i wypracował następujące równanie, opisujące zależność mocy od wielkości otworów wentylacyjnych:

$$q_c = 0.09 A_w H^{1/2} \Delta H_c \text{ [MW]}$$

gdzie:

q_c - szybkość wydzielania się ciepła [MW]

$A_w H^{1/2}$ - tzw. współczynnik otworu (inaczej współczynnik wentylacji, A_w jest to powierzchnia otworu wentylacyjnego natomiast H to jego wysokość),

ΔH_c - ciepło spalania danego paliwa [MJ/kg]. [27]

Na podstawie tego równania można obliczyć moc pożaru przy danej geometrii otworu doprowadzającego powietrze oraz określonej wartości ciepła spalania paliwa. Trzeba pamiętać, że owo równanie dotyczy fazy pożaru po rozgorzeniu (mowa więc o pożarze kontrolowanym przez wentylację). [28]

Rozpatrzmy trzy sytuacje. W pierwszej otworem wentylacyjnym będą drzwi do pomieszczenia a w drugim okno, w którym wypadła szyba. Trzecia sytuacja będzie połączeniem wymiany gazowej przez drzwi i okno (wówczas sumujemy pola powierzchni otworów a z wysokości wyciągamy średnią). Najczęściej spotykane wymiary tych otworów to

- przypadek 1: 1,95 x 0,85 dla drzwi, zatem pole powierzchni A_w wyniesie 1,67 m² a wartość $A_w H^{1/2}$ równa będzie 2,31;
- przypadek 2: 1,20 x 0,70 dla okien, zatem pole powierzchni A_w wyniesie 0,84 m² a wartość $A_w H^{1/2}$ równa będzie 0,92;
- przypadek 3: pole powierzchni A_w wyniesie 2,5m², a wartość $A_w H^{1/2}$ równa będzie 3,13;
- do obliczeń przyjmujemy wartość ciepła spalania 20 MJ/kg (nieco większa od drewna, dużo mniejsza od wielu tworzyw sztucznych wykorzystywanych w wyposażeniu pomieszczeń),
- za pomocą W oznaczmy szerokość otworu wentylacyjnego [m] w **tabeli 7** poniżej.

Wyniki obliczeń (wartości zaokrąglone) przedstawia poniższa tabela.

Tab. 7: Etapy obliczeń zależności szybkości wydzielania się ciepła od warunków wentylacji (wymiany gazowej) w pożarze.

| | H [m] | W [m] | Aw [m ²] | H ^{1/2} | A _w H ^{1/2} | q _c [MW] |
|---------------------|----------|----------|-------------------------|------------------|---------------------------------|------------------------|
| Drzwi | 1,95 | 0,85 | 1,67 | 1,4 | 2,31 | 4,2 |
| Okno | 1,2 | 0,7 | 0,84 | 1,1 | 0,92 | 1,7 |
| Drzwi + okno | 1,575 | --- | 2,5 | 1,25 | 3,13 | 5,7 |

Wniosek: otwarcie drzwi i/lub wybite (wypadnięcie) okna spowoduje dostarczenie do strefy spalania powietrza w ilości wystarczającej do uzyskania mocy pożaru między około 1,7 MW a 5,7 MW. Dla porównania można dodać, że znormalizowane pożary w komorach ogniowych osiągają moc około 1,5 MW (zabudowane 2 ściany i sufit plus stosik) lub 2,8 MW (zabudowane 3 ściany, podłoga i sufit plus stosik). [29]

Wracając do opracowania holenderskiego [26] materiał opracowany do użytku służbowego zawiera zalecenia oparte o szereg uproszczeń. Pierwszym z nich jest oparcie kalkulacji mocy pożaru o następujący wzór, zaczerpnięty z literatury branżowej, dotyczący pożaru w pełni rozwiniętego (po rozgorzeniu):

$$Q = 1,5 \times A \times (h)^{1/2} [\text{MW}]$$

gdzie:

Q – szybkość wydzielania się ciepła [MW]

1,5 – tzw. współczynnik otworu (inaczej współczynnik wentylacji), wynikający z równania Bernoulliego opisującego przepływ cieczy przez pojedynczy otwór. Uwzględnia fakt, że w powietrzu znajduje się 21% tlenu, co odpowiada 23% masowym a każdy kg tlenu wydziela 13,1 MJ ciepła. Założone natężenie przepływu wynosi 0,5 kg/s. Równanie zakłada całkowite zużycie tlenu do procesu spalania, co tworzy margines bezpieczeństwa w tej metodzie szacowania.

A – pole powierzchni otworu wentylacyjnego

h – wysokość otworu wentylacyjnego. Dla przedstawionego poniżej szacowania przyjęto wartości między 1 a 4 m, co również pozwala uwzględnić margines bezpieczeństwa. [30]

W wyniku obliczeń opartych o owe założenia stwierdzono, że 1m² powierzchni otworu doprowadzającego powietrze do pożaru przełoży się na szybkość wydzielania się ciepła między 1,5 a 3 MW.

Na każdy

1 metr kwadratowy (m²)

powierzchni otworu doprowadzającego powietrze do strefy spalania pożar wydzieli pomiędzy

1,5 a 3 MW

mocy w przestrzeni mieszkalnej, przy **standardowym** wyposażeniu oraz wielkości i wysokości pomieszczeń. Owa metoda szacowania będzie pomocna przy podejmowaniu decyzji odnośnie wyboru rzędu wielkości wydajności linii gaśniczych (środków technicznych, metody, techniki) użytych do natarcia na pożar.

2.7.2. Gęstość strumienia promieniowania ciepłego

Promieniowanie jest głównym mechanizmem transportu ciepła w pożarach wewnętrznych odpowiadającym za rozwój (wzrost dynamiki) i rozprzestrzenianie (przyrost geometryczny) zjawiska. Źródłem promieniowania jest powierzchnia płomienia, jak wyjaśniono wcześniej, ale może nim być też gorąca warstwa zadymienia. Dodatkowo, po pewnym czasie jakiś udział w emisji promieniowania będą też miały różne nagrzane powierzchnie, w tym elementy konstrukcyjne.

Promieniowanie wysyłane jest ze źródła **promieniście**, czyli jednakowo we wszystkich kierunkach. Energia podróżująca ze źródła wędruje w tzw. strumieniu. Przeszkody lub zmiany stanu skupienia po drodze wpływają na ów strumień, najczęściej go zakłócając. Zależnie od ilości ciepła przypadającego na jednostkę przekroju poprzecznego strumienia (ośrodką, przez który strumień wędruje), mówimy o pewnej wartości **gęstości strumienia promieniowania ciepłego**. Mianem tej wielkości są waty na metr kwadratowy [W/m^2]. Zatem, możemy w oparciu o dotychczasowe wiadomości stwierdzić, że jest to ilość energii cieplnej [J] transportowana w jednostce czasu [s] przez jednostkę powierzchni lub padająca na ową jednostkę powierzchni [m^2].

Gęstość strumienia promieniowania ciepłego jest jednym z parametrów wykorzystywanych do opisu zjawiska **rozgorzenia**. Upraszczając, istnieją pewne uśrednione wartości tego parametru dające pogląd na poziom promieniowania, jakiego oddziaływanie na powierzchnię danego paliwa jest potrzebne, aby zaczęło się ono spalać:

- **10 kW/m²**– dochodzi do zapalenia materiałów łatwo zapalających się, jak zasłony czy gazeta,
- **20 kW/m²**– wyposażenie wnętrz np. meble tapicerowane,
- **40 kW/m²**– materiały trudne do zapalenia, np. drewno grubsze niż 1,5 cm. [23]

Uzupełniając komentarz do **rozdziałów 2.7.1. i 2.7.2.** należy dodać, że ciepło wydzielane w pożarze odgrywa kluczową rolę, bowiem w wyniku jego oddziaływania dochodzi do uwalniania paliw gazowych i produkcji kolejnych dawek ciepła, rozwijając pożar w stronę rozgorzenia. Niegdyś czyniono wiele kalkulacji mających na celu szukanie odpowiedzi na pytanie czy w danych warunkach dojdzie do zjawiska rozgorzenia. Dziś, w erze paliw syntetycznych, w każdym standardowo umeblowanym pomieszczeniu znajduje się taka ilość paliw (i potencjalnie zawartego w nich ciepła uwalnianego w procesie spalania), która przy wymaganym dostępie tlenu doprowadzi do zjawiska rozgorzenia. Czasem wystarczy do tego 1 mebel! (np. tapicerowana sofa wypełniona pianką poliuretanową).

W dzisiejszej erze powszechnie występujących paliw syntetycznych w każdym standardowym pomieszczeniu zgromadzona jest znacznie większa ilość paliwa, aniżeli ta, która potrzebna jest do wywołania zjawiska rozgorzenia w przypadku powstania pożaru w tym pomieszczeniu.

2.7.3. Temperatura samozapłonu gazów pożarowych

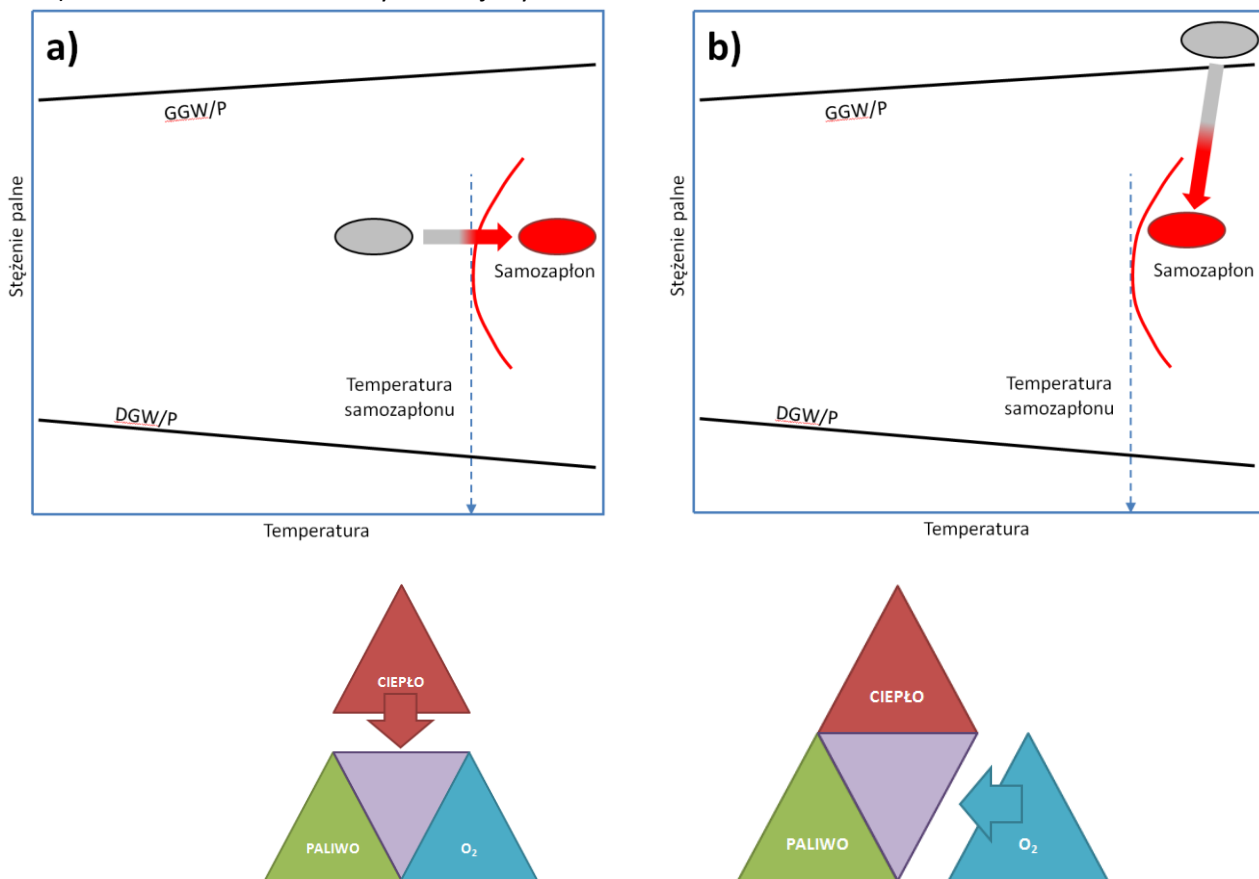
Kolejnym ważnym parametrem opisującym istotny aspekt współczesnych pożarów wewnętrznych jest temperatura samozapłonu gazów pożarowych. **Samozapłon** to takie zapoczątkowanie procesu spalania, które bierze się z dostarczenia do trójkąta spalania brakującego elementu, jakim jest ciepło lub tlen – przy założeniu, że pozostałe elementy są obecne w odpowiednich ilościach.

Temperatura samozapłonu to taka temperatura, w której dana substancja ulega automatycznemu zapoczątkowaniu procesu spalania bez źródła w postaci iskry lub płomienia.

Kiedy **paliwo i tlen** są obecne to do zamknięcia trójkąta spalania potrzebna jest **energia**. Zapoczątkowanie procesu spalania może przebiegać na trzy sposoby:

- **zapłon** – w wyniku oddziaływania punktowego bodźca (płomień, iskra) – np. zapłon gazu ziemnego na kuchence gazowej od iskrownika,
- **zapalenie** – w wyniku kumulacji ciepła w materiale do przekroczenia granicy, w której osiągnięto minimalny poziom samoczynnego rozpoczęcia reakcji spalania, np. zapalenie się kawałka drewna leżącego na płycie grzewczej,
- **samozapalenie** – automatyczny proces rozpoczęcia procesu spalania w wyniku kumulacji ciepła w materiale, wywołanej procesami biologicznymi – np. samozapalenie w hałdzie zawilgoconego pyłu węglowego spowodowane egzotermicznymi procesami gnilnymi. [3]

Kiedy obecne jest **paliwo i ciepło**, samozapłon może nastąpić w wyniku dostarczenia **tlenu**. Często owo zjawisko można obserwować podczas pokazu zjawisk pożarowych w małej skali z wykorzystaniem domków. [25] Wydobywające się z pomieszczenia, rozgrzane gazy wchodzą w kontakt z powietrzem a po chwili następuje ich samoczynny, spontaniczny zapłon i wędrowka czoła reakcji (płomienia) do wnętrza pomieszczenia lub utrzymywanie się procesu spalania poza otworem bez przejścia do wnętrza pomieszczenia. Drugi przypadek zazwyczaj pojawia się w momencie bardzo dynamicznego wypływu gazów z otworu i niemal całkowitego wypełnienia pomieszczenia gazami pożarowymi (brak możliwości wystąpienia spalania płomieniowego wewnątrz z powodu znacznego przekroczenia poziomu GGW obecnych tam paliw). Omawiane tu mechanizmy obrazuje rysunek 17.



Rys. 17: Mechanizmy samozapłonu gazów pożarowych: a) poprzez kumulację ciepła i wzrost temperatury przy obecności wystarczającej ilości paliwa i utleniacza oraz b) przez wymieszanie z powietrzem i wejście w zakres palności przy obecności paliwa i wystarczającej ilości ciepła. W obu przypadkach po zmianie warunków przekroczony jest poziom temperatury samozapłonu gazów pożarowych (porównaj z **rys. 11**).

Jak już wspomniano w **ROZDZIALE 2.6.** temperatura samozapłonu gazów pożarowych wynosi około **500-600°C**, niemniej jest to uproszczenie, bowiem skład chemiczny (a zatem również właściwości fizykochemiczne) dymu jest zmienny. Natomiast w większości badanych przypadków jest to rząd wielkości

temperatur, w których gazy pożarowe zaczynają się spalać płomieniowo. Potwierdzeniem tej tezy będą informacje zawarte w opisie zjawiska **rozgorzenia**, który znajduje się w dalszej części opracowania.

2.8. Wpływ zmian temperatury na objętość warstwy zadymienia.

Istnieje zależność między temperaturą gazów a ich objętością, wynikająca z tzw. **równania stanu gazu doskonałego (równania Clapeyrona)**. Owo prawo gazowe opisuje zależności pomiędzy temperaturą, ciśnieniem i objętością gazu doskonałego. Równanie w dużym przybliżeniu opisuje również gazy rzeczywiste. Równanie ma następującą postać:

$$pv = nRT$$

gdzie:

p – ciśnienie,

v – objętość,

n – liczba moli gazu opisująca liczbę jego cząsteczek,

R – uniwersalna stała gazowa,

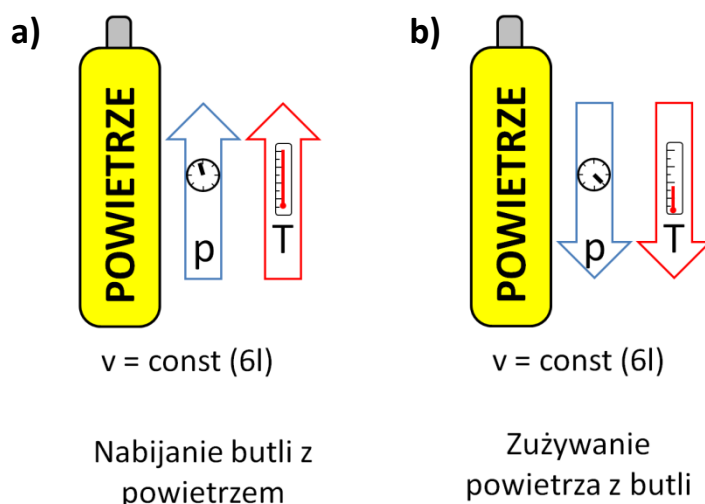
T – temperatura bezwzględna (wyrażona w °C). [30]

Uprościmy teraz owo równanie, aby pokazać istotne zależności występujące w pożarach. Załóżmy, że rozpatrujemy konkretną ilość (objętość) gazu, który ma ustalony skład chemiczny. Parametr **n** będzie wówczas stały. To samo dotyczy parametru **R**. W dalszych rozważaniach oba będą na razie pominięte. Zatem można w uproszczeniu powiedzieć, że dla danej ilości gazu występuje ścisła zależność między jego ciśnieniem, objętością i temperaturą. Można w uproszczeniu powiedzieć, że:

$$pv \sim T$$

Zatem iloczyn (wynik mnożenia) ciśnienia (p) i objętości (v) gazu będzie proporcjonalny do jego temperatury (T). Wyjaśnijmy to na przykładzie częstym w praktyce strażackiej, patrząc jednocześnie na powyższy uproszczony wzór (w kolorze niebieskim).

Podczas nabijania butli z powietrzem do aparatu ochrony układu oddechowego dochodzi do **wzrostu ciśnienia w stałej objętości**. Skutkiem tego jest **wzrost temperatury** gazu odczuwalny na płaszczu butli. W momencie zakończenia napełniania butli osiągnięte ciśnienie wynosi najczęściej około 300 atmosfer. Z czasem butla stygnie do temperatury otoczenia. Ciśnienie w butli spada, najczęściej o kilkanaście do dwudziestu kilku atmosfer. Podczas oddychania powietrzem z butli aparatu w trakcie działań dochodzi do spadku ciśnienia w zbiorniku o stałej objętości. Konsekwencją tego jest spadek temperatury butli do poziomu znacznie poniżej temperatury otoczenia. Czasem jest to powodem kondensowania się wilgoci obecnej w powietrzu i zamrażania zaworu butli! Z pewnością każdy strażak słyszał o takich przypadkach. (**rysunek 18**).



Rys. 18 a-b: Zmiany ciśnienia powodujące zmiany temperatury podczas użytkowania butli ze sprężonym powietrzem.

Ten sam efekt można uzyskać poprzez np. włożenie do lodówki napompowanego balonu z powietrzem. Po pewnym czasie, w wyniku schłodzenia powietrza wewnątrz balonu, dojdzie do częściowego skurczenia balonu, ponieważ zawarte w nim powietrze zmniejszyło swoją objętość i ciśnienie a dodatkowo gumowe ścianki napierają na skumulowane wewnątrz balonu powietrze. To samo dzieje się z butelką np. z olejem spożywczym. Postawiona niedaleko kuchenki podczas gotowania gromadzi ogrzane powietrze. Następnie jest zamykana i chowana do lodówki. W wyniku spadku temperatury dochodzi do zmniejszenia ciśnienia i objętości powietrza w butelce. Skutkiem tego jest często obserwowane zapadnięcie się miękkich ścianek butelki do wewnątrz. Otwarcie butelki towarzyszy zasysaniu powietrza do wnętrza.

Dokładnie te same zależności występują podczas pożarów z gazami pożarowymi. W miarę ogrzewania gazy pożarowe rozszerzają się. Dodatkowo, wzrost ich objętości potęgowany jest ich ciągłą produkcją w trakcie procesu spalania. Dopóki trwa spalanie płomieniowe dopóty produkowane będzie ciepło. Jego transport w drodze promieniowania oraz konwekcji będzie zwiększał temperaturę gazów i powodował ich rozszerzanie. Ponadto, zgodnie z przedstawioną powyżej teorią występować będzie tendencja do wzrostu ich ciśnienia. Na faktyczny poziom owego nadciśnienia zasadniczy wpływ będzie miało to, czy gazy pożarowe będą miały ujście, czy kumulować się będą w jakiejś ograniczonej fizycznie (elementami konstrukcyjnymi) przestrzeni. Nadciśnienie powodowane przez gorącą warstwę zadymienia będzie zależne od jej grubości jak również temperatury. Zazwyczaj osiąga wartości około **15 Pa** dla standardowych pomieszczeń mieszkalnych, rzadko przekracza wartość **30 Pa**. Jest to ciśnienie, z jakim dym wypływa z pomieszczenia, mając ku temu swobodne warunki. [2]

Kiedy pomieszczenie jest zamknięte, wówczas gazy nie mają możliwości odpływu i ciśnienie zaczyna wzrastać. W przypadku pomieszczenia z nieszczelnościami (szczeliny wokół drzwi lub okien, kratki wentylacyjne) ciśnienie może osiągać wartości rzędu **120 Pa**. W przypadku pomieszczenia zupełnie szczelnego, nadciśnienie może osiągnąć wartości rzędu **700 Pa**. Jest to ciśnienie mogące spowodować pęknięcie szyby. Jeśli pożar ma warunki, aby rozwinąć się do tego stopnia w szczelnym pomieszczeniu, wówczas może dojść do samoczynnego dotlenienia pożaru. Zjawisko wypadania szyb jest dodatkowo spotęgowane nagrzewaniem szyby od jednej strony a wystawieniem na temperaturę otoczenia z drugiej strony. Fakt postępu technologicznego i coraz skuteczniejszego izolowania pomieszczeń (szczelne pomieszczenia, dobra izolacja termalna utrudniająca przewodzenie ciepła i jego transport na zewnątrz pomieszczenia) powodują szereg utrudnień w pracy strażaka.

Badania przeprowadzone w Finlandii w dobrze izolowanych pomieszczeniach mieszkalnych pozwoliły na zaobserwowanie nadciśnienia rzędu **1800 Pa (0,018 bar)**! Jest to jednocześnie wartość ciśnienia, która w trakcie ćwiczenia uniemożliwiła na dłuższą chwilę dwóm strażakom otwarcie drzwi! [32]

Zgodnie z przedstawionymi zależnościami, znaczny wzrost ciśnienia i objętości nastąpi w momencie spalania się pewnej objętości gazów pożarowych. Nawet jeśli ów proces jest szybki i krótkotrwały to spowoduje tak intensywny wzrost temperatury a w konsekwencji ciśnienia i objętości gazów, że może nawet dochodzić do uszkodzenia konstrukcji. Skrajnym przypadkiem jest zjawisko wybuchu gazów

pożarowych, opisane w dalszej części opracowania. Teoretycznie, jeśli występuje stężenie bliskie stechiometrycznemu i dochodzi do spalania kinetycznego mieszaniny gazów palnych z powietrzem, wówczas nadciśnienie może osiągać wartości rzędu **8 bar (800 000 Pa)**! Jest to jednak przypadek skrajny i teoretyczny – w praktyce nadciśnienie sięgnie nieco ponad wartość, przy której podda się element konstrukcyjny (np. okno przy 2-7 bar lub przegroda z płyty kartonowo-gipsowej przy 3-5 bar). [2]

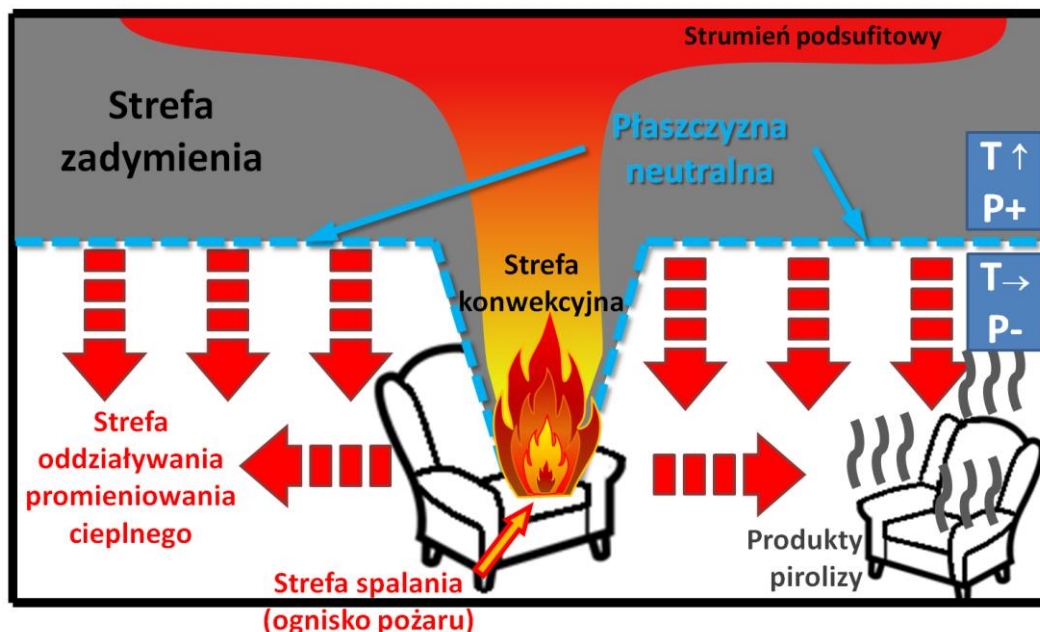
Analogicznie, schładzanie gazów spowoduje ich skurczenie. Przykłady na to zjawisko zostały podane powyżej (balon i butelka z olejem w lodówce). To samo dotyczy gazów pożarowych (i wszystkich innych gazów!) Ulegają one skurczeniu wraz ze spadkiem temperatury. Im większy ów spadek, tym większe skurczenie. Szczególnie duży spadek temperatury warstwy zadymienia następuje w momencie kontaktu z dobrze rozdrobionymi kropelkami wody. Okazuje się, że efekt skurczenia jest bardzo duży. Jest on tym większy, im lepsze odparowanie wody bez nadmiaru produkcji pary wodnej. Osiąga się to podając wodę w sposób zamierzony i przewidziany za pomocą urządzeń dobranych do sytuacji. Tematyce tej poświęcony jest **rozdział 4** niniejszego skryptu.

Aby odpowiednio zgłębić problematykę rozwoju i rozprzestrzeniania się pożarów wewnętrznych należy przede wszystkim zrozumieć, że pożary są zjawiskami w dużej mierze opierającymi swą dynamikę na **ciśnieniu oraz przepływach**.

Osiągnięcie odpowiedniego poziomu zrozumienia owych kluczowych zagadnień ułatwia rozpoznanie, usprawnia decyzje oraz pomaga lepiej kontrolować środowisko pożaru podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

2.9. Model strefowy pożaru, w tym płaszczyna neutralna.

W celu usystematyzowania wiedzy i terminologii używanej do opisywania pożarów stworzono tzw. model strefowy pożaru. Zostanie on przybliżony w niniejszym podrozdziale. Model strefowy, zgodnie z nazwą, opisuje strefy, jakie występują w pożarze wewnętrznym jednego pomieszczenia. Przedstawiony został na poniższym rysunku:



Rys. 19: Model strefowy pożaru pomieszczenia.

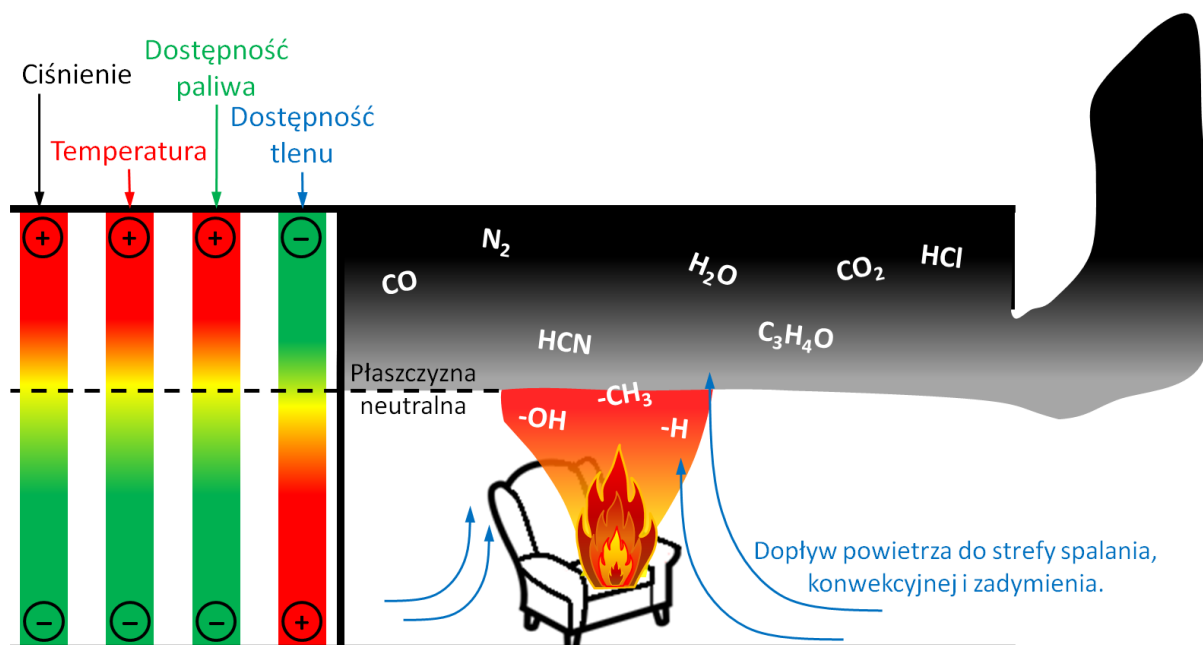
W miejscu, gdzie spalanie ma swój początek znajduje się **ognisko pożaru** oraz **strefa spalania**. Jest to miejsce, w którym wystąpiły wszystkie konieczne warunki, aby zaistniał proces spalania płomieniowego:

występuje paliwo w formie gazowej, jest dostęp utleniacza, obecna jest niezbędna ilość ciepła i powstają wolne rodniki, warunkujące łańcuchowy przebieg reakcji egzotermicznego utleniania.

Nad strefą spalania znajduje się **strefa konwekcyjna**. W niej występuje płomień, następuje ruch gazów i transport ciepła w drodze konwekcji. W tym obszarze można wyróżnić również **Kolumnę Konwekcyjną Ognia (KKO)**, w skład której wchodzi strefa spalania oraz strefa konwekcyjna. Z tej strefy następuje emisja ciepła w drodze promieniowania i wysłanie go do wszystkich wyeksponowanych w linii prostej powierzchni. W skład KKO, zależnie od stadium rozwoju pożaru i wielkości płomienia, może również wchodzić tzw. **strumień podsufitowy** (ang. *ceiling jet*), czyli płomień będący kontynuacją płomienia ze strefy spalania, charakteryzujący się względnie szybkim przepływem.

W obszarze pod sufitem występuje **strefa zadymienia**. Jest to obszar, w którym zadymienie rozptywa się po pomieszczeniu w strefie podsufitowej. Może w niej również występować płomień, zakrzywiający się na suficie i wędrujący w stronę, z której napływa powietrze do strefy spalania. W tej strefie panuje nadciśnienie. Jest ona oddzielona od kolejnej strefy tzw. **płaszczyzną neutralną**. Dawniej nazywano ów element modelu strefowego strefą neutralną, niemniej słowo „płaszczyzna” lepiej oddaje charakter zagadnienia. Jest to bowiem płaszczyna styku pomiędzy strefą zadymienia a strefą wolną od zadymienia. Strefa zadymienia jest również źródłem promieniowania cieplnego. Ciepło promieniujące od niej może dostawać się do paliw nawet w znacznym oddaleniu od strefy spalania, wliczając to miejsca poza pomieszczeniem objętym pożarem. W tej strefie panuje najwyższa temperatura, która wzrasta wraz z rozwojem pożaru do momentu osiągnięcia szczytowej wartości temperatury dla danego pożaru. Dlaczego w jednym pomieszczeniu możliwe jest zarówno występowanie podciśnienia jak i nadciśnienia? Bowiem różnica temperatur w tych obu obszarach sięga nawet kilkuset stopni!

Ostatnią strefą jest **strefa oddziaływania promieniowania cieplnego**, zwana inaczej **strefą wolną od zadymienia**. Jest to obszar, w którym znajdują się paliwa wyeksponowane na oddziaływanie promieniowania cieplnego. W tej strefie panuje podciśnienie oraz wędruje w niej powietrze zasysane do strefy spalania. Temperatura w tej strefie utrzymuje się na względnie równym poziomie. Jednak w miarę rozwoju pożaru przybywa dymu, zatem pogłębia się strefa zadymienia, obniża płaszczyna neutralna a strefa oddziaływania promieniowania cieplnego zmiesza swą wysokość. Na poniższym rysunku nr 20 kolor zielony oznacza względnie niski poziom danego parametru (oznaczony również znakiem -) a kolor czerwony oznacza poziom względnie wysoki (oznaczony również znakiem +).



Rys. 20: Obecność tlenu i paliwa a także poziomy ciśnienia i temperatury podczas pożaru w pomieszczeniu. W strefie podsufitowej występuje **nadciśnienie**, **wysoka temperatura**, **duża zawartość paliwa** (mieszanina bogata) oraz **niska zawartość tlenu**. W strefie przy podłogowej występuje niewielkie **podciśnienie**, **niska temperatura**, **brak paliwa** oraz **wysokie stężenie tlenu** (czyli bliskie standardowej wartości stężenia tlenu w powietrzu równej 21%). (opracowanie własne na podstawie [2]).

2.10. Etapy rozwoju pożaru w pomieszczeniu.

W momencie, kiedy dojdzie do rozpoczęcia procesu spalania w pomieszczeniu istnieje kilka możliwych scenariuszy (rysunek 21). Rozwój i rozprzestrzenianie pożaru zależą w dużej mierze od czynników wynikających z **czworokąta spalania**, mianowicie **paliwa** oraz **utleniacza**. W pożarach wewnętrznych, gdzie dostęp utleniacza do strefy spalania może być dyktowany poprzez fizyczne bariery i istniejące w nich otwory (ściany, drzwi, okna itd.) dochodzić będzie najczęściej do sytuacji, w której dynamika rozwoju i rozprzestrzeniania pożaru dyktowana będzie łączną powierzchnią oraz usytuowaniem otworów, przez które może zachodzić **wymiana gazowa**. Na tym etapie niezwykle ważne będzie usystematyzowanie pojęć używanych w niniejszym materiale. Owe pojęcia będą używane w kolejnych rozdziałach skryptu zgodnie z przyjętymi poniżej znaczeniami. Są one spójne pojęciami używanymi obecnie na całym świecie i wynikają z definicji tworzonych przez bezpośrednich autorów owych pojęć. [33] Niektóre z tych pojęć zostaną dodatkowo rozwinięte w dalszej części opracowania.

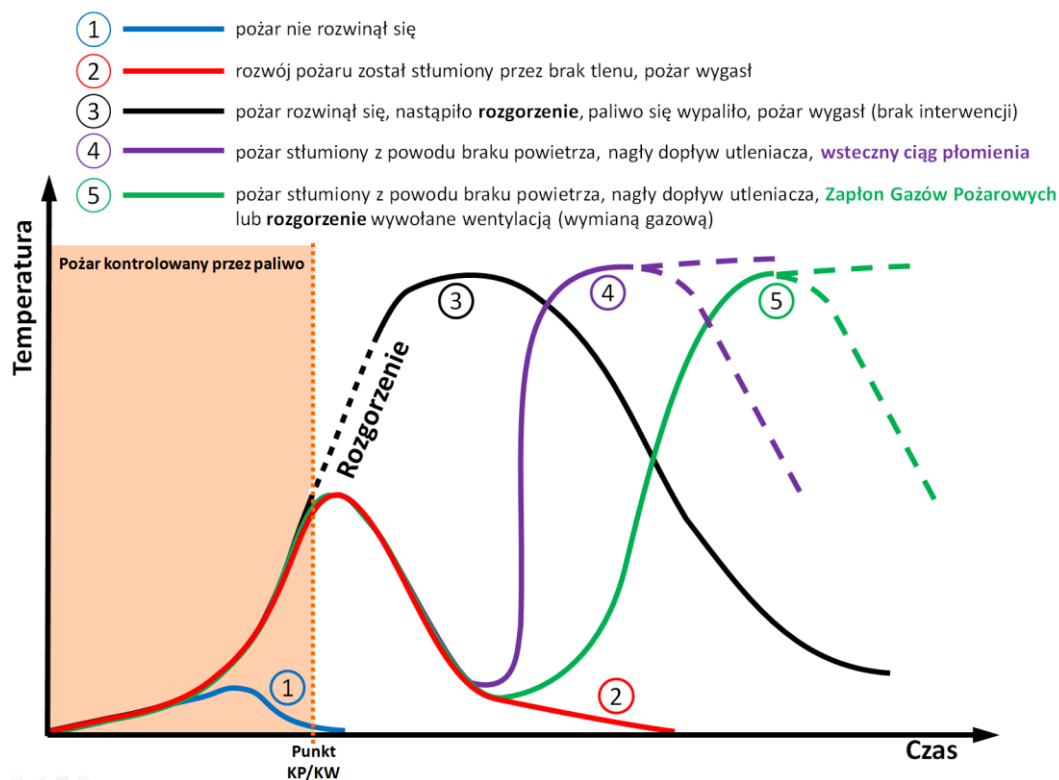
Wymiana gazowa – to dopływ powietrza do pożaru i odpływ gazów pożarowych i dymu od pożaru. Zależy od łącznej powierzchni oraz wzajemnego usytuowania otworów (drzwi, okien, klap itd.).

Wymiana gazowa to inaczej wentylacja.

Konkretne warunki wymiany gazowej w danej sytuacji to **profil wymiany gazowej** lub **profil wentylacji**.

Wentylacja pożarowa to ogólna nazwa czynności podejmowanych przez strażaków w celu sterowania wymianą gazową. Może oznaczać izolowanie pożaru, tworzenie warunków do grawitacyjnej (naturalnej) wymiany gazowej, wentylację wymuszoną (nadciśnieniową lub podciśnieniową) i inne.

Wentylacja taktyczna to dyktowane obranym **zamiarem taktycznym** czynności z zakresu **wentylacji pożarowej**.



Rys. 21: Możliwe scenariusze rozwoju pożaru, zależnie od panujących warunków (opracowanie własne na podstawie [2]).

Poniżej omówione zostaną kolejno możliwe scenariusze przedstawione na powyższym rysunku:

- 1) Pożar może nie rozwinąć się poza stadium początkowe, jeśli usytuowanie paliwa temu nie sprzyja. Jak wspomniano wcześniej, jeżeli paliwo nie jest odpowiednio usytuowane czy rozdrobione, wówczas spalanie może samoczynnie się zakończyć, zanim dojdzie do niekontrolowanego zjawiska pożaru. Przykładowo, jeśli zapalą się śmieci w koszu, a ma on metalowe ścianki i nie stoi w pobliżu innych paliw (firanki nad nim, fotela obok niego itd.) to dojdzie do wypalenia się śmieci i **wygaśnięcia** ognia. Wówczas, to charakterystyka paliwa zdecydowała o tym, że nie doszło do eskalacji zjawiska. Jest to w całości **pożar kontrolowany przez paliwo**.
- 2) Pożar rozwija się poza stadium początkowe, następuje przejście w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację**. Pożar **wygasa samoczynnie**, bez interwencji zewnętrznej z powodu braku dopływu tlenu mogącego podtrzymać proces wydzielania ciepła. Niewystarczający dopływ tlenu do strefy spalania był przyczyną samoczynnego wygaśnięcia pożaru.
- 3) Nieograniczony rozwój pożaru. Następuje **rozgorzenie**, któremu towarzyszy przejście w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację**. Pożar rozwija się dalej swobodnie i osiąga maksymalne parametry możliwe w danych warunkach. Następuje wypalenie się paliwa i pożar samoczynnie wygasa, bez interwencji zewnętrznej.
- 4) Pożar, jak w przypadku 2) rozwija się poza stadium początkowe, następuje przejście w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację**. Następnie dochodzi do stworzenia warunków dostępu utleniacza do **strefy spalania** (np. osoby postronne lub strażacy otworzyli drzwi do pomieszczenia, nastąpiło wypadnięcie szyby itd.). Dochodzi do zjawiska **wstecznego ciągu płomienia** (opisane w dalszej części). Zależnie od warunków, owo zjawisko może spowodować, że pożar będzie w pełni rozwinięty lub po wypaleniu się zgromadzonego paliwa gazowego jego parametry ponownie spadną. Na powyższym rysunku owe możliwe warianty oznaczone są liniami przerywanymi.
- 5) Pożar, jak w przypadku 2) rozwija się poza stadium początkowe, następuje przejście w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację**. Następnie dochodzi do stworzenia warunków dostępu utleniacza do miejsca **występowania gazów pożarowych** (porównaj z przypadkiem 4). Dochodzi do **zapłonu gazów pożarowych**, które może doprowadzić do rozgorzenia wywołanego wentylacją (wymiana gazową). W zależności od wariantu, podobnie i w tym przypadku może dojść do powstania pożaru w pełni rozwiniętego lub do spalania się gazowych paliw bez osiągnięcia przez pożar stadium pełnego rozwoju. Zarówno przypadku 4) jak i 5) będzie to uzależnione od faktu obecności pewnej ilości paliw gotowych do zapalenia/zapłonu i spalania płomieniowego, co utożsamiamy z pożarem w pełni rozwiniętym.

2.10.1. Pożar kontrolowany przez paliwo

Zakładając, że opisane wcześniej warunki dotyczące paliwa (rozdrobienie, wzajemne ułożenie itd.) są sprzyjające i spalanie będzie się rozwijać w pożar, możemy wyróżnić dwa charakterystyczne stany. Prześledźmy je na przykładzie wariantu numer 5).

Na początku procesu spalania o charakterze pożarowym (tzn. spalanie w przypadku braku reakcji w postaci próby gaszenia przerodzi się w pożar) możemy mówić o „**pożarze kontrolowanym przez paliwo**” (umownie: **KP**, zobacz **Rys. 22**), co oznacza, że na dynamikę spalania wpływa jedynie charakterystyka paliwa (ilość, palność, stopień rozdrobienia, wzajemne ułożenie, ciepło spalania) a nie dostęp powietrza. Jest to takie stadium, w którym w porównaniu z bieżącą dynamiką i ilością wydzielanego ciepła tlenu jest wystarczająco dużo, aby utrzymać ten poziom. W warunkach sprzyjających dalszemu rozwojowi, w miarę powiększania się strefy spalania, ilość dopływającego powietrza zaczyna być niewystarczająca do utrzymania wciąż rosnącej dynamiki rozwoju pożaru i wydzielania wciąż rosnących ilości ciepła. Pożar wciąż przyspiesza swój rozwój, produkując coraz większe ilości dymu, bowiem rośnie strefa spalania. Zadymienie powoduje

obniżenie się płaszczyzny neutralnej, tym samym ograniczając przestrzeń, poprzez którą do pożaru dociera tlen z powietrzem.

Punkt przejścia z **pożaru kontrolowanego przez paliwo** do **pożaru kontrolowanego przez wentylację** (zwany umownie **punktem KP/KW**) jest krytycznym momentem w rozwoju pożaru wewnętrznego. Od tej pory wszelkie czynności związane ze zmianą profilu wentylacji będą miały istotny wpływ na dynamikę rozwoju i rozprzestrzeniania pożaru.

Pamiętajmy, że w praktyce to właśnie czynności wykonywane przez strażaków (otwieranie/zamykanie drzwi, wybijanie okien itd.) powodują największe zmiany w procesie wymiany gazowej w pożarach wewnętrznych.

2.10.2. Pożar kontrolowany przez wentylację.

„Ten, kto kontroluje powietrze, kontroluje pożar.”

– James Braidwood, 1866

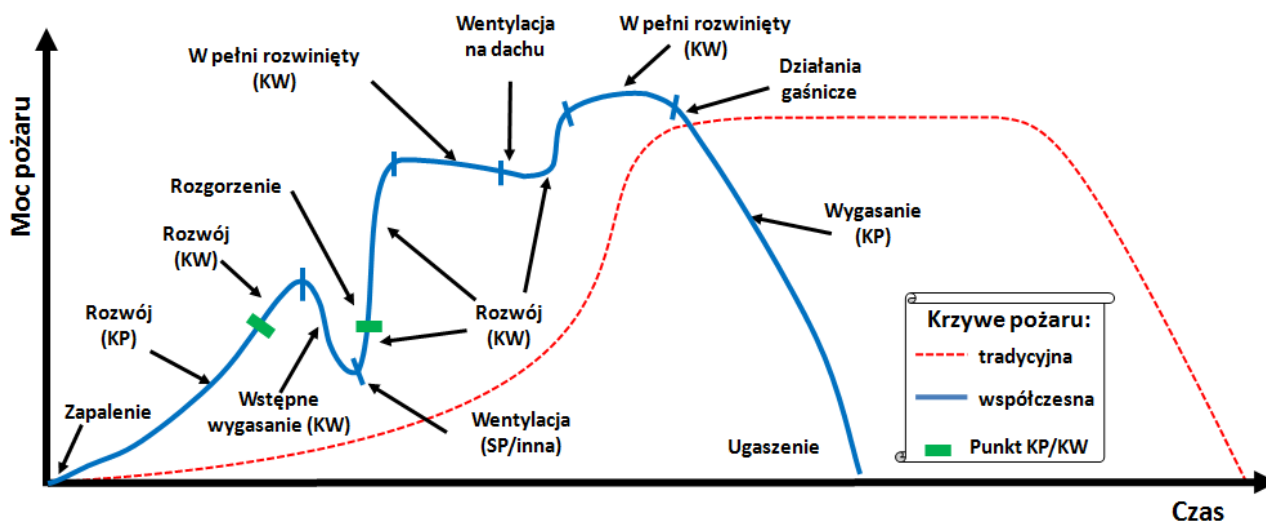
W pewnym momencie dochodzi do stanu, w którym dynamika rozwoju zaczyna być kierowana przez ilość dopływającego powietrza. Mówimy wówczas o „**pożarze kontrolowanym przez wentylację**” (umownie: **KW**, zobacz **Rys. 22**). Występujący w tym okresie niedobór tlenu spowodowany jest właśnie dużym zapotrzebowaniem na ten element trójkąta spalania, co wynika z wydzielania dużych ilości ciepła, zbliżając pożar do momentu wystąpienia zjawiska rozgorzenia. Dzieje się to przy intensywnym odpływie gazów pożarowych od strefy spalania, stąd burzliwy przebieg wymiany gazowej i widoczne turbulencje płaszczyzny neutralnej, będącej poziomą granicą między strefą zadymienia a strefą wolną od dymu. Ta cecha charakterystyczna zachowania się dymu (płaszczyzny neutralnej) może posłużyć, jako jedna z oznak pożaru, służąca do rozpoznania warunków pożarowych i fazy pożaru. Pojawienie się turbulencji w obszarze płaszczyzny neutralnej zwiastuje moment zmiany charakteru procesu spalania i na ogół (choć nie zawsze) zapowiada zbliżający się moment wystąpienia zjawiska rozgorzenia. Z jednej strony przyrastająca strefa zadymienia napiera w dół w wyniku ciągłej produkcji dymu i jego termicznej ekspansji (zwiększania objętości w wyniku wzrostu temperatury) a z drugiej strony powietrze napływa z większą dynamiką dyktowaną rosnącym zapotrzebowaniem na tlen w strefie spalania. Te dwa przeciwstawne przepływy gazów prowadzą swego rodzaju walkę o przestrzeń, bowiem fakt istnienia procesu spalania w głębi pomieszczenia oddziałuje intensywnie tak na jeden jak i drugi przepływ.

W tym momencie wróćmy na chwilę do **ciepła spalania**. Skoro jedne materiały wydzielają go więcej od innych to albo wydzielą to ciepło szybciej albo spalanie będzie trwać dłużej – a wszystkim kierować będzie dostęp tlenu (lub mówiąc ogólnie – powietrza). Skoro mowa o pożarze wewnętrznym to proces spalania umiejscowiony jest w pewnej kubaturze zamkniętej z istniejącymi otworami (drzwi, okna, szyby wentylacyjne itd.), które są drożne (otwarte) lub też nie (zamknięte). Oznacza to, że w praktyce łączna powierzchnia otworów doprowadzających tlen do pomieszczeń będzie miała bezpośredni wpływ na dynamikę rozwoju pożaru. Patrząc na to z jeszcze innej strony – pożary z udziałem materiałów syntetycznych będą szybciej zużywać dostępny tlen i będą charakteryzować się większym zapotrzebowaniem na tlen, dlatego szybciej będą przechodzić w stan pożaru kontrolowanego przez wentylację. I tu kolejna uwaga – obecnie każdy pożar to zjawisko przebiegające z przewagą materiałów syntetycznych. Odmiennie sytuacja wyglądała około 50 lat temu, kiedy większość wyposażenia stanowiły materiały naturalne (drewno, bawełna) lub nieznacznie przetworzone. Dziś wiele z materiałów to pochodne ropy naftowej, nazywane zresztą przez niektórych strażaków „benzyną w formie ciała stałego”. Dzisiejszy pożar – w odróżnieniu od pożaru „naszego dziadka” – przebiegał będzie bardziej intensywnie i szybciej przechodził w stan pożaru kontrolowanego przez wentylację, większy będzie też wpływ wszelkich zmian dokonywanych w tzw. **profilu wentylacji** (otwieranie drzwi, wybijanie lub wypadanie okien). W połączeniu z istniejącą w budownictwie tendencją do „otwierania przestrzeni”, czyli łączenia pomieszczeń, likwidowania ścian działowych itd., zmniejsza się szansa na to, że pożar zostanie ograniczony do jednego pomieszczenia i ulegnie znacznemu stłumieniu właśnie w wyniku

braku tlenu (scenariusz 2 na **rysunku 21**). Wypada w tym miejscu dodać, że istnieje też skrajny stan pożaru kontrolowanego przez wentylację, zwany „**pożarem niedowietrzonym**” lub niedotlenionym. Ów stan sprzyja występowaniu zjawiska „backdraftu”, czyli „wstecznego ciągu płomienia” i zostanie opisany w dalszej części.

Wspomniane w **ROZDZIALE 2.1.2.1.** badania prowadzone w NIST w latach 70 tych doprowadziły do stworzenia krzywej pożaru wewnętrznego, która jest powszechnie znana wszystkim osobom zainteresowanym tematyką pożarów wewnętrznych. Jest to krzywa, która opisuje 3 fazy pożaru, uwzględniając **rozgorzenie**, jako przejście z I do II fazy. Jednak mając na uwadze wspomnianą prędkość zużycia tlenu w pożarze, jak też wpływ zmian w profilu wentylacji, można skonkludować, że owa krzywa jest już nieco przestarzała. Ową hipotezę potwierdziły kolejne badania nad zjawiskiem pożaru wewnętrznego, które były prowadzone na przestrzeni ostatnich lat w Instytucie Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków firmy Underwriters Laboratories (UL Firefighter Safety Research Institute).

W oparciu o badania dokonane w UL FSRI stworzono współczesną krzywą pożaru, odzwierciedlającą obecne odkrycia badawcze. Poniżej można zobaczyć zestawienie tych dwóch krzywych – nazwanych umownie **tradycyjną** i **współczesną**. Warto dodać, że punkt na krzywej współczesnej (kolor niebieski), w którym dochodzi do wentylacji po wstępnym wygasaniu najczęściej jest momentem, w którym pożar występuje w stanie **niedowietrzonym**, stwarzając ryzyko wystąpienia nagłych, niepożądanych zjawisk w momencie dopływu tlenu. Na rysunku poniżej takim zjawiskiem jest **rozgorzenie wywołane wentylacją**. Występuje w momencie pojawienia się dopływu powietrza, kiedy straż pożarna („SP” na **Rys. 22**) udrożni drzwi czy okna lub też gry nastąpi to w inny sposób (wypadnięcie szyby, działanie osób postronnych itp.).



Rys. 22: Porównanie krzywej pożaru: współczesnej i tradycyjnej. Wyszczególnienie charakterystycznych momentów w rozwoju współczesnego pożaru. Współcześnie pożary rozwijają się szybciej z uwagi na powszechne występowanie materiałów syntetycznych oraz są bardziej podatne na zmiany w profilu wymiany gazowej (opracowanie własne na podstawie [34]).

2.11. Wentylacja (wymiana gazowa) w pożarze. Tor wymiany gazowej. Prąd grawitacyjny.

Wyjaśniliśmy nieco wcześniej pojęcie **wymiana gazowa**. Możemy też zauważyć, że odgrywać będzie ona kluczową rolę we współczesnych pożarach z powodu obecności paliw syntetycznych. W tej części skupimy się na dokładnym wyjaśnieniu tego zagadnienia. Będzie ono miało również kluczowe znaczenie dla opisanego w dalszej części opracowania **wentylacji taktycznej**.

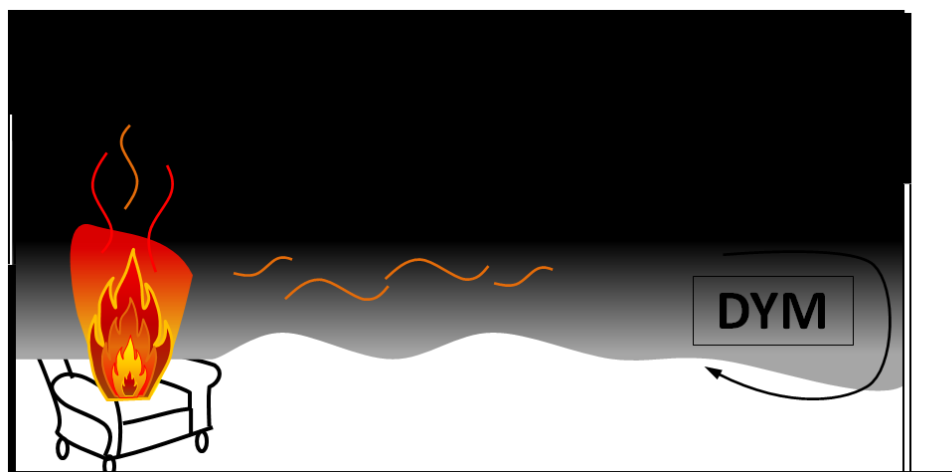
We współczesnej krzywej pożaru (**rysunek 22**) można wskazać kilka momentów, w których wymiana gazowa odgrywa ważną rolę. Po pierwsze każdy współczesny pożar przebiegający w pomieszczeniach z ograniczonym dopływem świeżego powietrza osiągnie moment, w którym nastąpi jego stłumienie z powodu niedoboru tlenu. Po drugie każde dopuszczenie tlenu – czy to wypadnięcie szyby czy otwarcie drzwi przez strażaków – spowoduje ponowną intensyfikację procesu spalania. Można na tym etapie wskazać kilka

prawidłowości: im większy otwór tym szybszy i silniejszy efekt (i odwrotnie), im krótsza droga od otworu do ogniska pożaru tym szybsza reakcja (i odwrotnie), im wyżej usytuowany otwór tym łatwiejszy odpływ gazów pożarowych a trudniejszy dopływ tlenu (i odwrotnie) aczkolwiek zależy to oczywiście od wysokości usytuowania płaszczyzny neutralnej. Na krzywej widać też moment wycięcia otworu w dachu, powodującego kolejny rozwój pożaru. Można też dodać, że ograniczenie dopływu tlenu na każdym etapie pożaru kontrolowanego przez wentylację spowoduje spadek intensywności procesu spalania – zmniejszenie ilości wydzielającego się ciepła. Podobny efekt, na każdym etapie tego pożaru, przyniesie podanie wody na palące się materiały palne. Cytując Profesora Stefana Svenssona z Revinge Fire College w Szwecji: „nic tak dobrze nie robi na pożar, jak woda”.

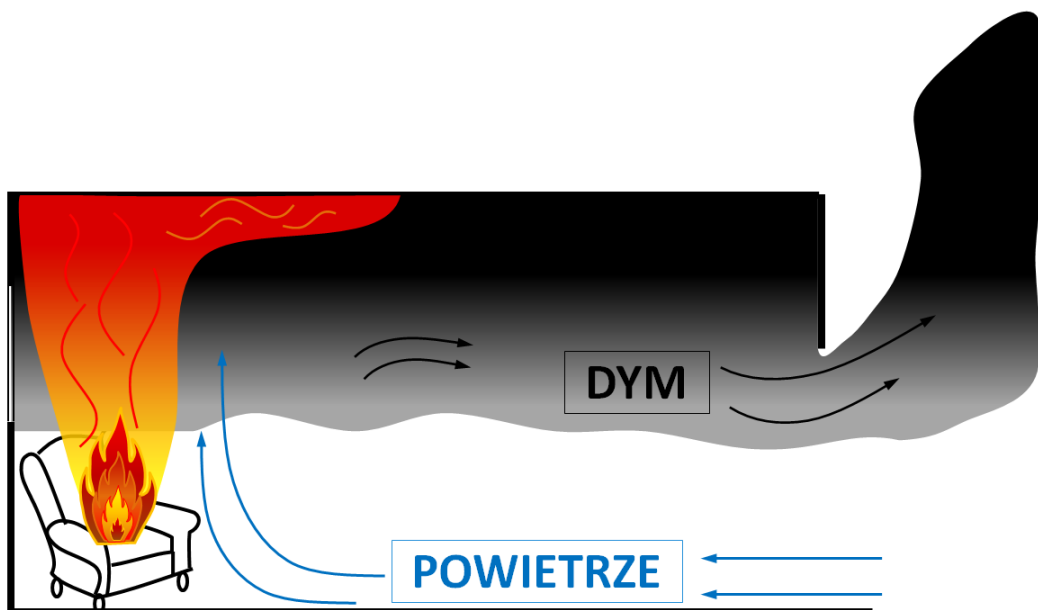
Tor wymiany gazowej (ang. „air track”) lub ścieżka przepływu (ang. „flow path”) to pojęcia używane na świecie zamiennie do opisanego jednego konceptu. Przyjmijmy, że będziemy używać pierwszego sformułowania, pamiętając, że drugie ma podobne znaczenie i może również pojawić się w tekście.

Tor wymiany gazowej jest to **przeźródź**, w której następuje ruch powietrza w stronę pożaru oraz ruch gorących, unoszących się (lżejszych od powietrza) produktów spalania od pożaru na zewnątrz pomieszczenia lub obiektu. [35, 36]. Jest to jeden z elementów rozpoznawanych podczas tzw. rozpoznania metodą BE-SAHF, opisanego w trzecim rozdziale. Co do zasady, dym oddala się od strefy spalania a powietrze wędruje ku tej strefie wyniku oddziaływania **prądu grawitacyjnego**. Jednakże w praktyce na ruch tych gazów wpływają otwory, przeszkody i geometria przestrzeni. Na poniższych rysunkach (**rysunki 23-27**) przedstawiono kilka typowych torów wymiany gazowej oraz przedstawiono ich krótką charakterystykę. Do tej tematyki wrócimy w szczególności podczas omawiania procesu rozpoznania warunków pożarowych metodą BE-SAHF w kolejnym rozdziale.

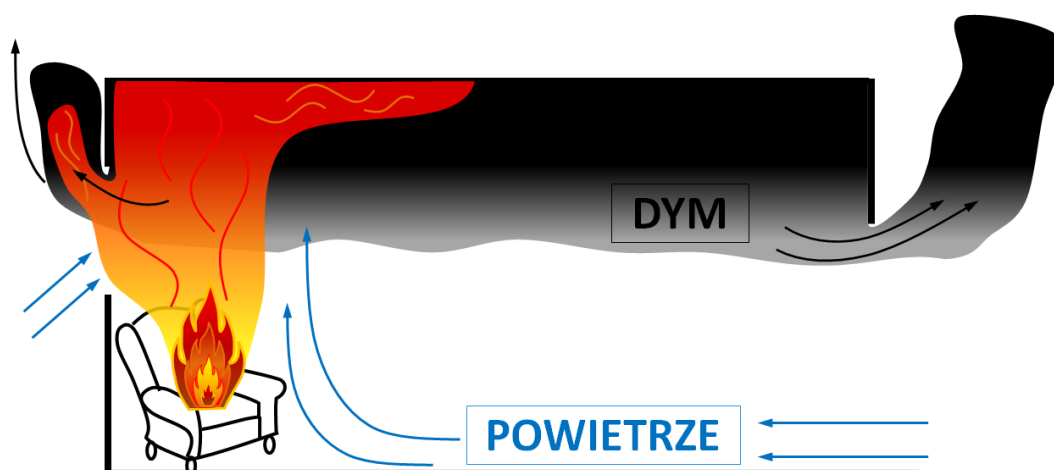
Przeźródź gazów w pożarach jest zjawiskiem kluczowym. Przeźródź istnieje **samoczynnie** w wyniku różnicy gęstości, spowodowanej różnicą temperatur. Przeźródź powoduje **wymianę gazową**, jeśli istnieje otwór doprowadzający powietrze (**wlot**) i odprowadzający gazy pożarowe (**wylot**). Uwaga: może to być **ten sam otwór!** Dlatego podczas pożarów rozróżnia się w danym otworze przeźródź **jednokierunkowe** i **dwukierunkowe**. Owo rozróżnienie stanowi **podstawę rozpoznania** warunków pożarowych!



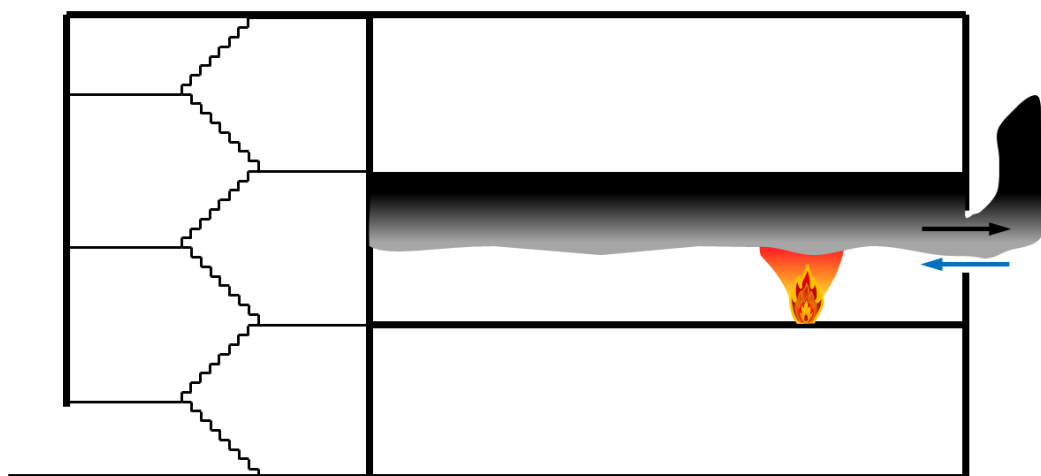
Rys. 23: Wymiana gazowa w pożarze i jej tor: **pożar nieodwietrzony**. Brak napływu powietrza i odpływu dymu, czyli brak **wymiany gazowej** (wentylacji). Jest to sytuacja, w której mogą powstać warunki do wystąpienia zjawiska **wstecznego ciągu płomienia**.



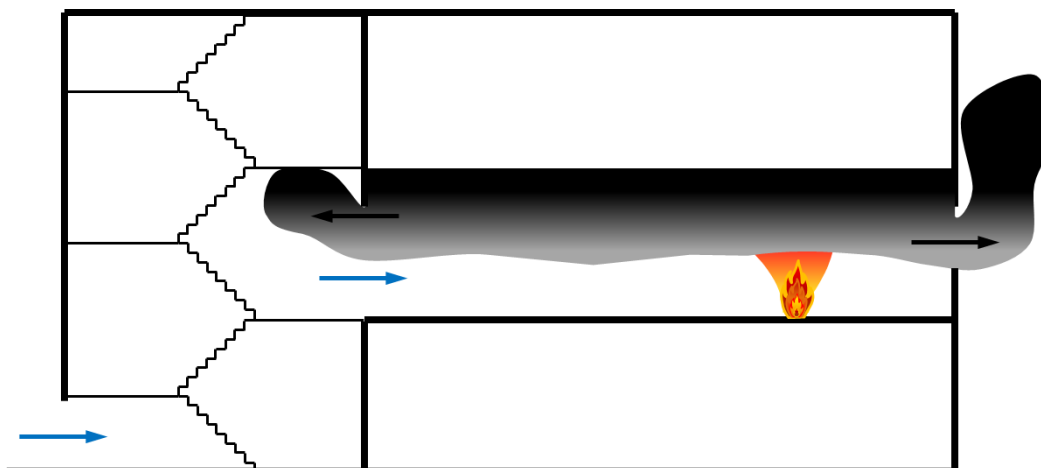
Rys. 24: Wymiana gazowa w pożarze i jej tor: **przepływ dwukierunkowy**. Obecny jest jeden otwór, w którym występuje napływ powietrza i odpływu dymu. Jest to sytuacja, w której mogą powstać warunki do wystąpienia zjawiska **rozgorzenia**.



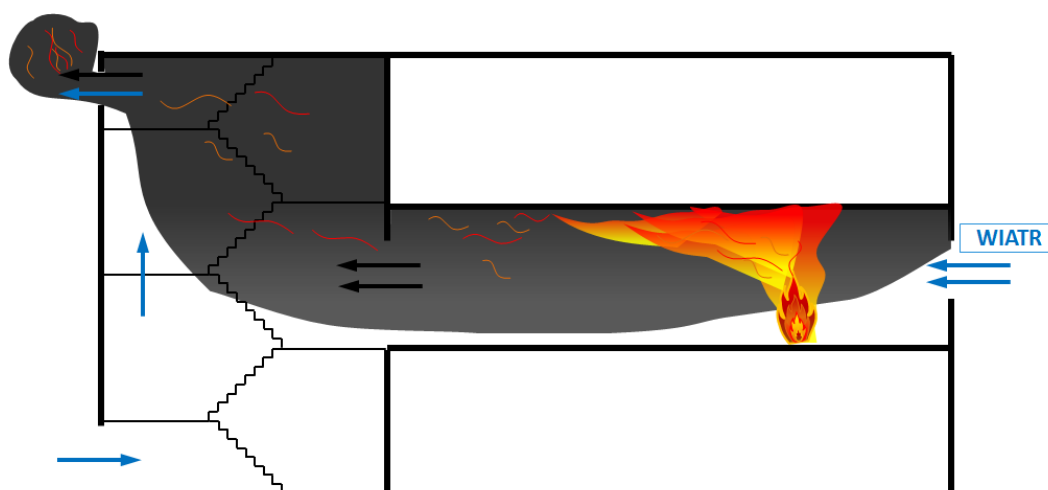
Rys. 25: Wymiana gazowa w pożarze i jej tor: **przepływ dwukierunkowy przez dwa otwory**. Jest to sytuacja, w której mogą powstać warunki do wystąpienia zjawiska **rozgorzenia**.



Rys. 26: Wymiana gazowa w pożarze, przedstawiona w układzie przestrzennym pomieszczeń. W otworze okiennym występuje **przepływ dwukierunkowy**.



Rys. 27: Wymiana gazowa w pożarze, przedstawiona w układzie przestrzennym pomieszczeń. W otworze okiennym występuje **przepływ jednokierunkowy**.

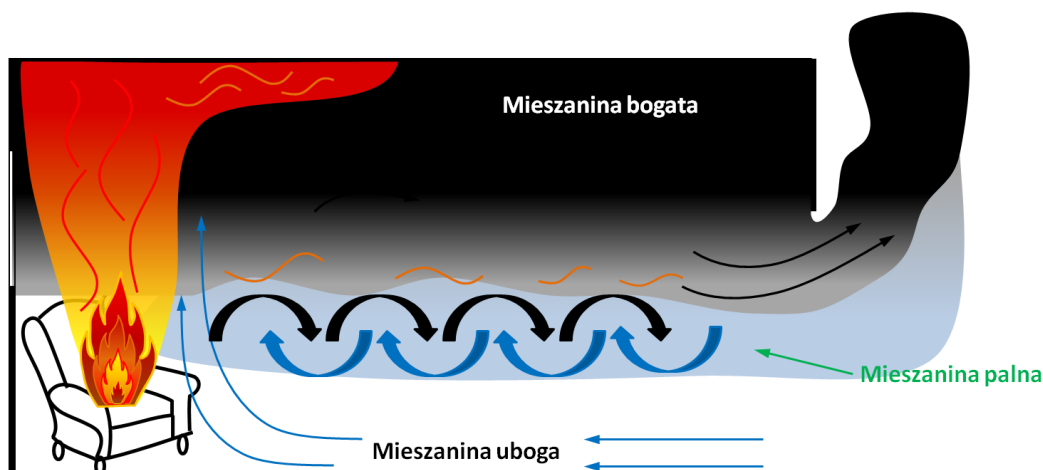


Rys. 28: Wymiana gazowa w pożarze, przedstawiona w układzie przestrzennym pomieszczeń. W otworze okiennym występuje **przepływ jednokierunkowy wymuszony** powietrza, z powodu obecności wiatru (zobacz ROZDZIAŁ 2.2. i opis zjawiska konwekcji). W drzwiach między mieszkaniem a klatką schodową również następuje **przepływ jednokierunkowy wymuszony** dymu. W drzwiach do klatki schodowej występuje **przepływ jednokierunkowy** powietrza, natomiast w oknie na górze klatki schodowej występuje **przepływ jednokierunkowy wymuszony** powietrza i dymu. W związku z dynamicznym mieszaniem się powietrza z dymem w całej objętości mieszaniny może dochodzić do spalania płomieniowego.

Prąd grawitacyjny jest zjawiskiem występującym podczas wymiany gazowej, odgrywającym rolę szczególnie podczas zjawiska **wstecznego ciągu płomienia**. W dynamice płynów prąd grawitacyjny jest zazwyczaj poziomym przepływem, który jest wywołany różnicą gęstości, stąd też prądy grawitacyjne są czasami nazywane „prądami gęstości”.

Rysunek 29 pokazuje mechanizm powstawania mieszaniny palnej przy wstąpieniu **prądu grawitacyjnego**. Kiedy w pożarze powstają dwa przeciwstawne do siebie przepływy, wówczas na ich styku dochodzi do mieszania. Powoduje to powstawanie palnej mieszaniny gazów pożarowych z powietrzem na styku tych przepływów. Jest to przestrzeń, w której może nastąpić spalanie płomieniowe. Na ogół w takich warunkach i na tym etapie pożaru (płomień sięga sufitu, występuje **strumień podsufitowy**, gazy pożarowe są nagrzane, istnieje dostęp tlenu) zaczyna dochodzić do pojawiania się płomieni na styku warstwy zadymienia i powietrza, co jest potwierdzeniem istnienia mieszaniny palnej w tym obszarze. Pamiętajmy, że gazy pożarowe są gorące a powietrze ma temperaturę otoczenia. Z **rysunku 11** pamiętamy, że wzrost temperatury powoduje rozszerzenie granic palności. Mieszanie się gorących gazów z powietrzem powoduje obniżenie ich temperatury, niemniej nadal mają one podwyższoną temperaturę względem otoczenia.

W rezultacie palność otrzymanej mieszaniny jest zawsze kwestią płynną, bowiem zależy od stężenia gazów i temperatury mieszaniny, niemniej na pewno względem gazów palnych występujących w temperaturze pokojowej owa palność jest podwyższona.



Rys. 29: Prąd grawitacyjny. W momencie wystąpienia dwóch przeciwstawnych przepływów dochodzi do turbulencji i mieszania na ich styku. Powoduje to powstawanie mieszaniny palnej w tym obszarze.

2.12. Rozwój pożaru a zmiany: ciśnienia, temperatury, ciepła, stężeń gazów oraz widoczności.

Podczas rozwoju pożaru następują zmiany parametrów mających istotne znaczenie dla bezpieczeństwa zarówno osób postronnych jak i strażaków. Do tych parametrów należą będą:

- **Ciśnienie gazów**, wpływające na ich tendencję do rozprzestrzeniania się. Rośnie ono wraz ze wzrostem temperatury dymu. Im gazy są gorętsze, tym ich ciśnienie wyższe, a także zwiększa się ich objętość (zobacz **ROZDZIAŁ 2.8.**).
- **Temperatura gazów** oraz ilość wydzielającego się **ciepła**, które zdecydują o palności gazów oraz zagrożeniu z ich strony dla osób postronnych oraz strażaków. W miarę rozwoju pożaru temperatura na ogół wzrasta do osiągnięcia pewnego maksymalnego poziomu. Moc pożaru natomiast zmaleć w wyniku powstania deficytu tlenu, co wyjaśniono we wcześniejszych rozdziałach (zobacz **ROZDZIAŁY 2.7.1. i 2.10.2.**).
- **Stężenie gazów**, w szczególności tlenu oraz tlenku węgla, które są najtrafniejszym wskaźnikiem warunków gwarantujących przeżycie. W miarę rozwoju pożaru **stężenie tlenu** spada. Zależnie od warunków może ono osiągać różne poziomy. W każdym przypadku są to poziomy szkodliwe dla zdrowia i zagrażające życiu:
 - Pomiędzy 20,9% - 14,4% stężenia O_2 w powietrzu efekty nie są znaczące.
 - Przy stężeniach O_2 rzędu 14,4% - 11,8% następuje przyspieszenie oddechu i tętna, nieznaczne obniżenie zdolności wykonywania złożonych czynności psychomotorycznych, oraz pamięci krótkotrwałej, wpływ na zdolność oceny sytuacji, zredukowana zdolność do wykonywania pracy.
 - Przy stężeniach O_2 rzędu 11,8% - 9,68% następuje degradacja wyższych procesów umysłowych (zdolności człowieka do kreatywnego korzystania z posiadanej wiedzy) i kontroli nerwowo-mięśniowej, utrata zdolności krytycznej oceny i woli, przyćmienie zmysłów. Zachowanie emocjonalne może być nacechowane letargiem, obojętnością, ekscytacją, euforią lub halucynacjami, zależnie od cech indywidualnych. Znaczny wzrost tętna oraz przyspieszenie oddechu (zobacz **ROZDZIAŁ 1.1.1.** i opisany efekt synergii). Przy stężeniu około 10% tlenu uszkodzony przejdzie do następnego stadium niedotlenienia,

co ma ścisły związek również z poziomem COHb (karboksyhemoglobiny)¹⁷ lub cyjanku we krwi.

- o Przy stężeniach O₂ rzędu 9,6% - 7,8% następuje nagłe pogorszenie zdolności oceny sytuacji i rozumienia wiodące do utraty przytomności i zatrzymania oddechu a następnie zatrzymania krążenia w momencie śmierci. [21]

Stężenie **tlenku węgla** (CO) rośnie najczęściej wraz ze spadkiem tlenu (jest on zużywany w procesie spalania wytwarzając między innymi tlenek węgla). W pożarze rozwiniętym, stężenie CO osiąga poziomy przewyższające 10 000 ppm (1% stężenia). Zależnie od cech indywidualnych stężenie tlenu węgla powodujące pełną „niesprawność” (utratę przytomności i w efekcie śmierć) w określonym czasie plasuje się w następujących przedziałach¹⁸:

- o Stężenie około 0,1% spowoduje niesprawność w czasie około 17 minut.
- o Stężenie około 0,2% spowoduje niesprawność w czasie około 8 minut.
- o Stężenie około 0,3% spowoduje niesprawność w czasie około 6 minut.
- o Stężenie około 0,4% spowoduje niesprawność w czasie około 4,5 minut.
- o Stężenie około 0,5% spowoduje niesprawność w czasie około 3,5 minut.
- o Stężenie około 0,6% spowoduje niesprawność w czasie około 3 minut.
- o Stężenie około 0,7% spowoduje niesprawność w czasie około 2,5 minut.
- o Stężenie około 1% spowoduje niesprawność w czasie około 2 minuty.

Są to jedynie wartości pozwalające wyrobić sobie orientację odnośnie szkodliwości tlenu węgla przy określonym poziomie ekspozycji (zużycie powietrza zanieczyszczonego tlenkiem węgla), bowiem przy wyższych stężeniach utrata przytomności następuje po kilku wdechach.

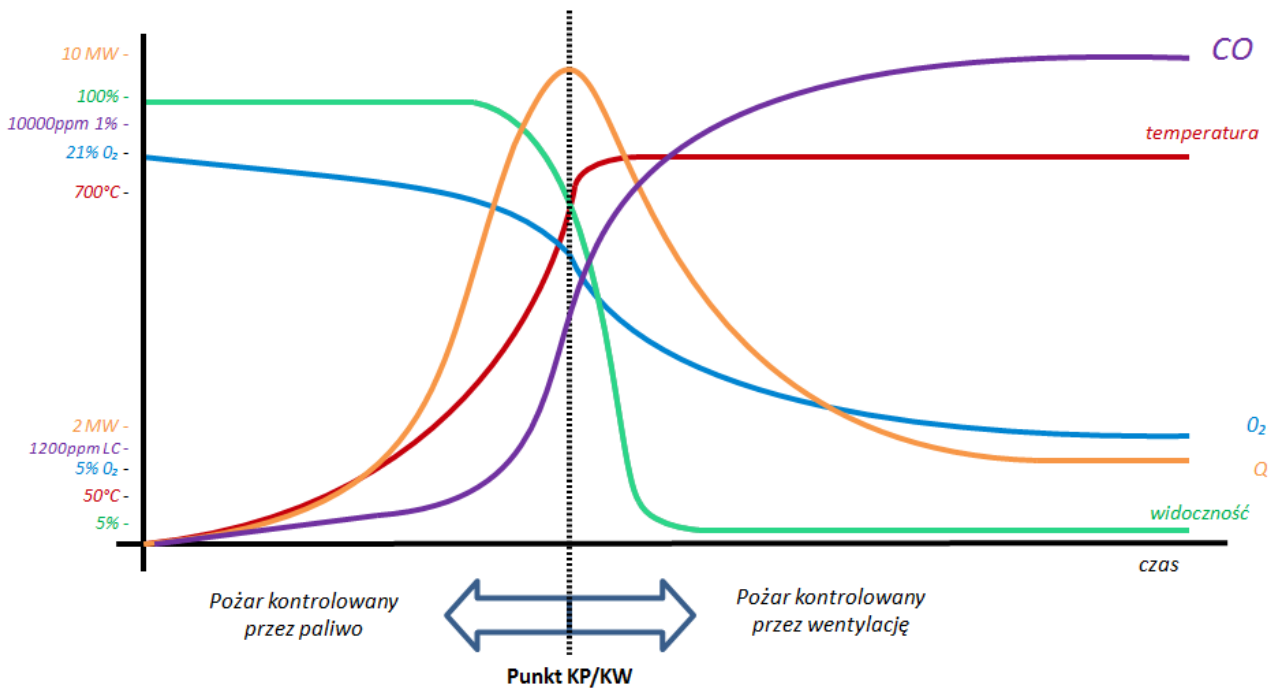
- **Widoczność**, która wpłynie na zdolność osób postronnych do samodzielnej ewakuacji oraz na zdolność strażaków do sprawnego wykonywania zadań: przeszukania oraz operowania prądami gaśniczymi. Należy dodać, że jest to również parametr uśredniony, bowiem widoczność kształtuje się różnie zależnie od wysokości patrzenia (np. zerowa widoczność na poziomie 1,7 m i widoczność na odległość ok. 2-3m przy podłodze na pewnym etapie rozwoju pożaru).

Przedstawiony poniżej **rysunek 30** obrazuje wzajemne zależności wspomnianych parametrów w trakcie rozwijającego się pożaru w danym pomieszczeniu. Jak można zaobserwować, przejście z **pożaru kontrolowanego przez paliwo** do **pożaru kontrolowanego przez wentylację** (osiągnięcie **punktu KP/KW**) jest charakterystycznym momentem pogorszenia się warunków i wzrostu zagrożeń, zarówno dla osób postronnych, jak i dla strażaków.

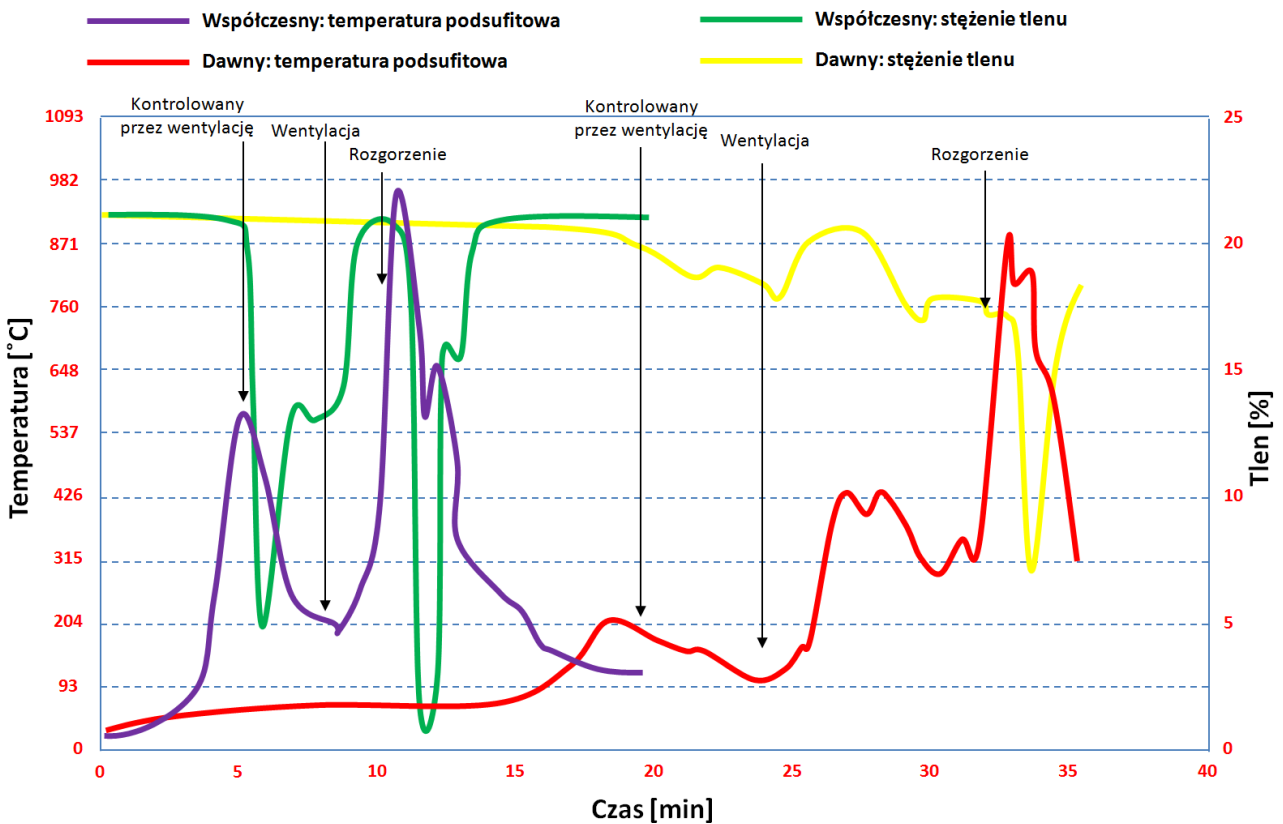
Na **rysunku 31** widać różnice pomiędzy pożarem współczesnym (udział głównie materiałów syntetycznych) oraz dawnym (udział głównie materiałów pochodzenia naturalnego). Zmiany temperatury zbiegają się ze zmianami stężenia tlenu (tlen zużywany na produkcję ciepła podnosi temperaturę). Pożar współczesny o wiele szybciej chodzi w stan pożaru kontrolowanego przez wentylację. Osiąga też wyższe temperatury maksymalne.

¹⁷ Karboksyhemoglobina jest połączeniem hemoglobiny z tlenkiem węgla, do 300 razy trwalszym, aniżeli połączenie hemoglobiny z tlenem. Jej obecność w krwiobiegu i wspomniana trwałość tego związku powoduje brak możliwości dystrybucji tlenu w organizmie i w konsekwencji niedotlenienie organizmu skutkujące uduszeniem. [21]

¹⁸ 30% karboksyhemoglobiny przy zużyciu powietrza 50 L/min dla 70-kg osoby wykonującej ciężką pracę jak np. bieganie.



Rys. 30: Zmiany różnych parametrów w trakcie rozwoju pożaru w pomieszczeniu: **temperatury**, **mocy pożaru**, stężenia **tlenu**, stężenia **dwutlenku węgla** oraz **widoczności**. Osiągnięcie przez pożar punktu KP/KW powoduje wyraźne zmiany tych istotnych parametrów (opracowanie własne na podstawie [37]).



Rys. 31: Porównanie wybranych parametrów (temperatura, stężenie tlenu, czas) przebiegu pożarów: współczesnego (paliwa syntetyczne) oraz dawnego (paliwa naturalne). Wartości temperatury wynikają z konwersji (stopnie Farenheita na stopnie Celsjusza, skok o 200 °F) i mają wartość przybliżoną. (opracowanie własne na podstawie [15]).

2.13. Zjawiska pożarowe.

Na tym etapie wypada przypomnieć, że niebezpieczne zjawiska pożarowe określane są w literaturze, jako „*rapid fire progress*” – nagłe rozprzestrzenienie pożaru. Zazwyczaj ich wystąpienie wiąże się z przejściem pożaru w fazę w pełni rozwiniętą, jednak nie zawsze. Niektóre z nich zauważane były już dawno, inne zostały zrozumiane i opisane na przestrzeni ostatnich dekad. Również wspomniane w tym rozdziale zmiany w wyposażeniu wnętrz miały wpływ na kształtowanie się owej wiedzy. Wśród zjawisk zawierających się w tym pojęciu, naukowcy i badacze wyróżnili z czasem 3 zasadnicze zjawiska:

- **Rozgorzenie** (*flashover*).
- **Wsteczny ciąg płomienia** (*backdraught* lub *backdraft*).
- **Zapłon Gazów Pożarowych** (*Fire Gas Ignition*) jako grupa kilku zjawisk związanych z palnością dymu. [38, 39]

Wymienione zjawiska różnią się między sobą mechanizmem powstawania, jednak wszystkie związane są z palnością dymu. Jeśli chodzi o samo zjawisko wstecznego ciągu płomieni, to jest ono o wiele rzadziej występującym zjawiskiem niż dwa pozostałe a z uwagi na swą dynamikę i przebieg stwarza bardzo duże zagrożenie. O ile zjawiska rozgorzenia i pewne formy zapalenia gazów pożarowych dają się zaobserwować w ćwiczebnych komorach ogniowych, o tyle uzyskanie zjawiska backdraftu jest trudne, a brak obycia z nim dodatkowo potęguje niesione zagrożenia. Wykorzystanie obiektów w małej skali pozwala jednak na zaobserwowanie przebiegu zjawiska backdraftu (tzw. domki dla lalek). [25]

2.13.1. Rozgorzenie

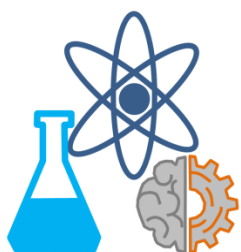
Niekontrolowany proces spalania może przerodzić się w pożar. Jeśli ułożenie paliwa (np. wyposażenia wnętrza, mebli czy materiałów palnych) jest odpowiednie i nie zostaną podjęte próby gaszenia w pożaru zarodku, doprowadzi to do rozwoju pożaru.

W miarę produkcji ciepła i promieniowania wytwarzanego przez płomień, kolejne porcje materiałów palnych zaczynają przechodzić etapy związane ze spalaniem ciał stałych. Najpierw dany materiał **ogrzewa się**. Po osiągnięciu pewnej temperatury, zazwyczaj około 150-250°C dla większości materiałów, zaczyna się proces **rozkładu**, który polega na termicznym niszczeniu materiału i ma charakter nieodwracalny. Temu etapowi towarzyszy wydzielanie się **produktów rozkładu termicznego** z paliw znajdujących się w pobliżu. Owe produkty na ogół przybierają postać „jasnego dymu”. Ze względu na stosunkowo niską temperaturę, w porównaniu z temperaturą pożaru w pełni rozwiniętego, gazy te nie są bardzo gorące, dlatego unoszą się relatywnie powoli. Mogą być zaciągane z napływającym powietrzem do strefy spalania i unoszone do strefy podsufitowej, wzbogacając mieszaninę gazów pożarowych z powietrzem znajdującą się w tym górnym rejonie.

Równoległe do tego procesu, strefa spalania stopniowo powiększa się, emitując ciepło rozchodzące się na drodze przewodzenia, promieniowania i konwekcji (unoszenia). Ciepło zawarte w dymie wędruje do strefy podsufitowej na drodze konwekcji i rozprzestrzenia się we wszystkich możliwych kierunkach, szukając ścieżki najmniejszego oporu. W przypadku braku możliwości swobodnego rozptywania się, dym i zgromadzone w nim ciepło zbierają się pod sufitem do momentu, aż wysokość warstwy zadymienia jest wystarczająca, aby dym zaczął wypływać np. przez górną część otwartych drzwi lub okna. Obecność gorącej warstwy zadymienia w strefie podsufitowej potęguje ilość ciepła **promieniowanego** do paliw w danym pomieszczeniu, nieobjętych jeszcze spalaniem płomieniowym. Jeśli istnieje **dopływ powietrza** do tego pomieszczenia, to powietrze to będzie powodować ciągły wzrost wydzielanego w strefie spalania ciepła, powiększanie się strefy spalania i w konsekwencji zwiększenie dawki **promieniowania**, jaka trafia do pozostałych paliw (elementów wyposażenia). W miarę otrzymywania dawki promieniowania cieplnego ze strefy spalania i ze strefy podsufitowej nawet najbardziej oddalone materiały zaczynają przechodzić etapy ogrzania się i rozkładu termicznego. Wzrost strefy spalania powoduje w pewnym momencie wzrost wysokości płomienia do jego zakrzywienia się na suficie (**strumień podsufitowy**). Nie jest to zawsze widoczne dla strażaka obserwującego pożar z pewnej odległości, natomiast przebywając blisko strefy spalania i obserwując strefę spalania z poziomu poniżej granicy zadymienia można prześledzić moment, w którym

płomień dosięga sufitu. Pojawienie się płomienia na suficie i jego wędrówka w poszukiwaniu tlenu powoduje wzrost temperatury warstwy podsufitowej i emitowanego z niej ciepła. Dodatkowo powietrze zasysane do kolumny konwekcyjnej nie ma możliwości szybkiego i skutecznego spalania się ze względu na osiągniętą w tym momencie dynamikę procesu spalania i szybki przepływ gazów pożarowych i powietrza w pomieszczeniu (przyspieszoną wymianę gazową). Powietrze trafia do strefy zadymienia niesione siłą konwekcji i podgrzewane w czasie tej wędrówki. W strefie zadymienia owo powietrze pozwala na spalanie się paliwa i to między innymi powoduje ten nagły wzrost temperatury pożaru, obserwowany wkrótce po zetknięciu się płomienia z sufitem. Opisywane tu spalanie się paliwa w warstwie zadymienia nie jest tym samym, czym jest strumień podsufitowy, chociaż najczęściej ma swój początek w owym płomieniu będącym kontynuacją **Kolumny Konwekcyjnej Ognia** (zobacz **ROZDZIAŁ 2.9.**). Dochodzi do „oderwania się” płomienia od strumienia podsufitowego i jego wędrówki wraz z odpływającymi gazami. Można powiedzieć, że płomień przetacza się (ang.: *roll*) ponad (ang.: *over*) głowami strażaków, stąd zjawisko znane jest jako **rollover**. Jest ono opisane w dalszej części opracowania (**ROZDZIAŁ 2.13.2.**).

Emisja produktów rozkładu termicznego, o charakterystycznym jasnym kolorze, z większości materiałów palnych w pomieszczeniu jest oznaką zbliżającego się bardzo szybko zjawiska **rozgorzenia**. Na początku procesu spalania możemy mówić o „**pożarze kontrolowanym przez paliwo**”, co oznacza, że na dynamikę spalania wpływa jedynie charakterystyka paliwa (ilość, palność, stopień rozdrobnienia, wzajemne ułożenie), a nie dostęp powietrza. W miarę powiększania się strefy spalania, ilość dopływającego powietrza zaczyna być niewystarczająca do utrzymania wciąż rosnącej dynamiki rozwoju pożaru. W pewnym momencie dochodzi do stanu, w którym dynamika rozwoju zaczyna być kierowana ilością dopływającego powietrza. Dzieje się to przy intensywnym wyptywie gazów pożarowych przez otwory wentylacyjne, stąd burzliwy przebieg wymiany gazowej i widoczne turbulencje płaszczyzny neutralnej. Mówimy wówczas o przejściu do „**pożaru kontrolowanego przez wentylację**”. Najczęściej około tego momentu zmiany charakteru procesu spalania dochodzi do zjawiska **rozgorzenia**, bowiem niedobór tlenu spowodowany jest właśnie ogromnym zapotrzebowaniem na ten element trójkąta spalania, co związane jest z wydzielaniem dużych ilości ciepła, zbliżając pożar do momentu wystąpienia opisywanego zjawiska. O wystąpieniu rozgorzenia zdecyduje wówczas fakt istnienia stałego dostępu powietrza do strefy spalania. Jeśli dostęp istnieje, rozgorzenie nastąpi (pod warunkiem obecności wystarczającej ilości paliw). Jeśli dostępu nie ma to dojdzie do stłumienia pożaru. Przypomnijmy też, że istnieje skrajny stan pożaru kontrolowanego przez wentylację, zwany „**pożarem niedowietrzonym**” lub niedotlenionym. Ważny do rozpoznania moment przejścia z jednego do drugiego stanu określany jest mianem **punktu KP/KW**.



UWAGA!

NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Rozgorzenie w literaturze naukowej opisywane jest głównie za pomocą dwóch parametrów. Pierwszym z nich jest **temperatura gazów pożarowych w strefie podsufitowej**. Według danych literaturowych musi ona wynosić około 500-600°C, aby mogło dojść do zjawiska rozgorzenia. Najczęściej temperatura ta oscyluje około poziomu 600°C w momencie wystąpienia zjawiska rozgorzenia. Niemniej według pomiarów wystąpienie zjawiska rozgorzenia możliwe jest w zakresie temperatur 450-771°C. [2]

Drugim z parametrów opisujących rozgorzenie jest **gęstość strumienia promieniowania cieplnego** na poziomie podłogi. Najczęściej wartość tego parametru określana jest jako 20 kW/m². Według danych z badań, parametr ten może wahać się w zakresie 15-33 kW/m². [2, 40, 41, 42]. **Tabela 8** zawiera porównanie poziomów tego parametru wraz z opisem rezultatu ich oddziaływania.

Według różnych źródeł, **rozgorzenie** to:

| | |
|-------------------------------|--|
| ISO: | nagle przejście do stanu całkowitego zajęcia pożarem powierzchni materiałów palnych w pomieszczeniu. [40] |
| NFPA 921-2004 | przejściowa faza rozwoju pożaru wewnętrznego, podczas której powierzchnie wystawione na oddziaływanie promieniowania cieplnego osiągają temperaturę zapłonu mniej więcej równocześnie a pożar rozprzestrzenia się nagle przez przestrzeń [pomieszczenia] skutkując w objęciu pożarem całego pomieszczenia lub w całkowitym zajęciu się ogniem przestrzeni lub pomieszczenia. [41] |
| NFPA Fire Protection Handbook | niemal jednoczesny zapłon wszystkich palnych materiałów w zamkniętym pomieszczeniu, gdy większość powierzchni zostaje nagrzana do temperatury, w której palne gazy wydzielane z paliw są wystarczająco gorące, aby ulec zapłonowi. Zazwyczaj zjawisko występuje przy temp. około 600°C oraz strumieniu ciepła na poziomie podłogi równym 1,8 Btu/s-ft ² (20 kW/m ²). [42] |

Tab. 8: Poziom gęstości promieniowania cieplnego oraz odpowiadający mu rezultat. [43]

| Poziom gęstości strumienia promieniowania cieplnego [20 kW/m ²] | Reakcja |
|---|---|
| ≈1 | Typowy strumień promieniowania słonecznego w bezchmurny dzień padający na powierzchnię ziemi. Może spowodować oparzenia słoneczne po około 20-30 minutach ekspozycji. |
| 2,5 | Typowa ekspozycja strażaka w środowisku pracy (około 2,5 razy więcej od promieniowania słonecznego). |
| 4,5 | Niechroniona ludzka skóra dozna poparzeń drugiego stopnia po około 30 sekundach ekspozycji (około 4,5 razy więcej od promieniowania słonecznego) |
| 6,4 | Niechroniona skóra ludzka dozna bólu po 8 s ekspozycji, powstawania pęcherzy po 18 s ekspozycji oraz poparzeń drugiego stopnia (około 6,4 razy więcej od promieniowania słonecznego) |
| 10 | Niechroniona skóra ludzka dozna poparzeń drugiego stopnia po około 10 sekundach ekspozycji (około 10 razy więcej od promieniowania słonecznego) |
| 13 | gazowe produkty rozkładu drewna zapalają się od kontaktu z płomieniem (około 13 razy więcej od promieniowania słonecznego) |
| 16 | Niechroniona skóra ludzka dozna nagłego bólu i powstawania pęcherzy po 5 s ekspozycji oraz poparzeń drugiego stopnia (około 16 razy więcej od promieniowania słonecznego) |
| 20 | Niechroniona skóra ludzka dozna poparzeń drugiego stopnia w czasie krótszym od 4 s. Jest to poziom odpowiadający warunkom na początku zjawiska rozgorzenia w pomieszczeniu (około 20 razy więcej od promieniowania słonecznego) |
| 80 | Niechroniona skóra dozna natychmiastowych poparzeń drugiego stopnia. Jest to poziom odpowiadający w pełni rozwiniętemu rozgorzeniu w pomieszczeniu (około 80 razy więcej od promieniowania słonecznego) |
| 84 | Gęstość strumienia promieniowania cieplnego określona w normie NFPA 1971 do testowania właściwości ochrony termalnej ubrań strażackich. |
| 170 | Maksymalny poziom gęstości strumienia promieniowania cieplnego w pomieszczeniu zmierzony przez NIST po rozgorzeniu podczas badań (około 170 razy więcej od promieniowania słonecznego) |

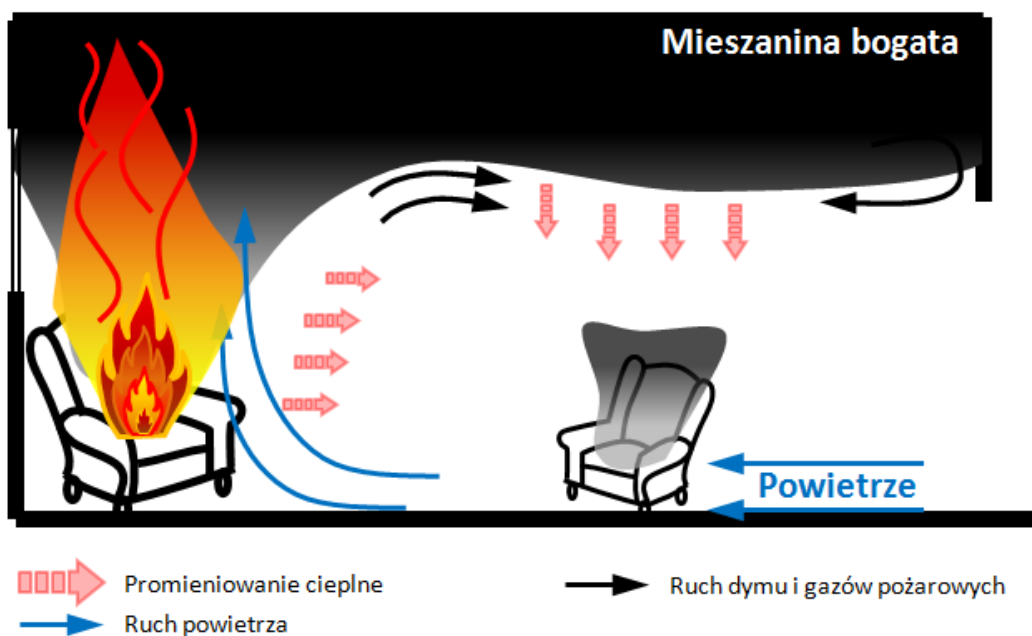
Zależnie od geometrii przestrzeni, w której dochodzi do pożaru, różny może być przebieg zjawiska pożaru wewnętrznego. Wpływ będzie też miała konfiguracja paliwa oraz profil wentylacji.

Warstwa gorących gazów może rozprzestrzeniać się po całej powierzchni pomieszczenia (kubatury) i zapalać się. Przyjmuje to formę pożaru błyskawicznego (ang. „flash fire”) czyli dynamicznego spalania mieszaniny palnych gazów z powietrzem. Najczęściej nie prowadzi to do podtrzymania procesu spalania i ma charakter epizodyczny (w przeciwieństwie do rozgorzenia, które jak wspomniano powyżej prowadzi

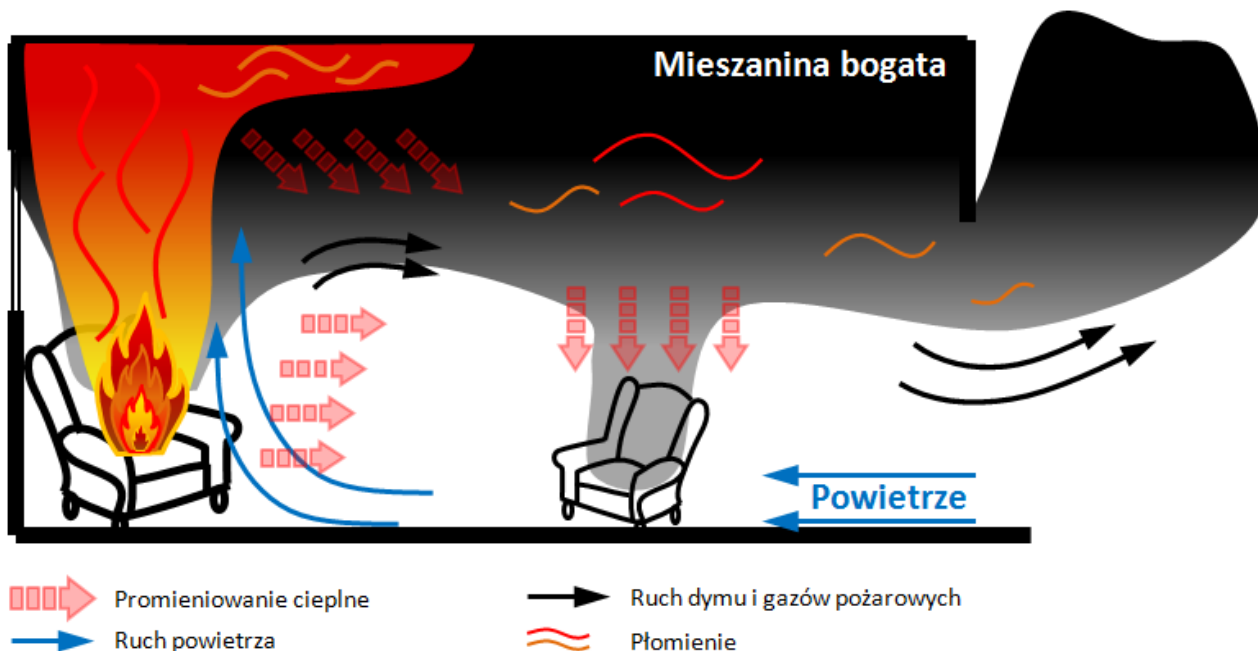
do powstania pożaru w pełni rozwiniętego). Innym możliwym scenariuszem jest też powstanie zakrzywionego na suficie płomienia, czyli **strumienia podsufitowego**. Takie scenariusze nie są charakteryzowane jako rozgorzenie, chyba że skutkują w całkowitym zajęciu się paliw usytuowanych na poziomie podłogi. Owe scenariusze klasyfikuje się jako **zapłony gazów pożarowych (ZGP)**. Mogą one występować w pomieszczeniach o różnych kształtach i rozmiarach oraz wysokościach.

W ostatnich latach badacze pogłębiają swoje zrozumienie problematyki i zaczynają zwracać uwagę na zjawisko **pożaru wędrującego** (ang.: „travelling fire”). Pewne układy przestrzenne wnętrz, mianowicie przestrzenie podłużne (korytarze, hale, tunele) lub przestrzenie o większej kubaturze (powierzchnia przekraczająca 150 m², wysokość pomieszczeń przekraczająca 4 m) sprzyjają zjawisku przemieszczania się pożaru z mniejszą prędkością względem prędkości wędrówki strefy reakcji w gazach pożarowych, charakterystycznej dla zjawiska **rozgorzenia**. Średnia prędkość przemieszczania się owej strefy spalania dla zjawiska **rozgorzenia** wynosi ponad 8 m/s. W przypadku **pożarów wędrujących** z uwagi na wypadkową profilu wentylacji, konfiguracji paliwa oraz geometrii kubatur ustala się proces spalania charakteryzujący się prędkością przemieszczania się (wędrówki pożaru) wynoszącą około 30 mm/s (3cm/s lub 0,03m/s). Dla porównania, prędkość przemieszczania się gorących gazów w **strumieniu podsufitowym** wyniesie zazwyczaj około 0,5 m/s dla większych powierzchni np. biurowych lub około 2-6 m/s dla mniejszych pomieszczeń w obiektach mieszkalnych.

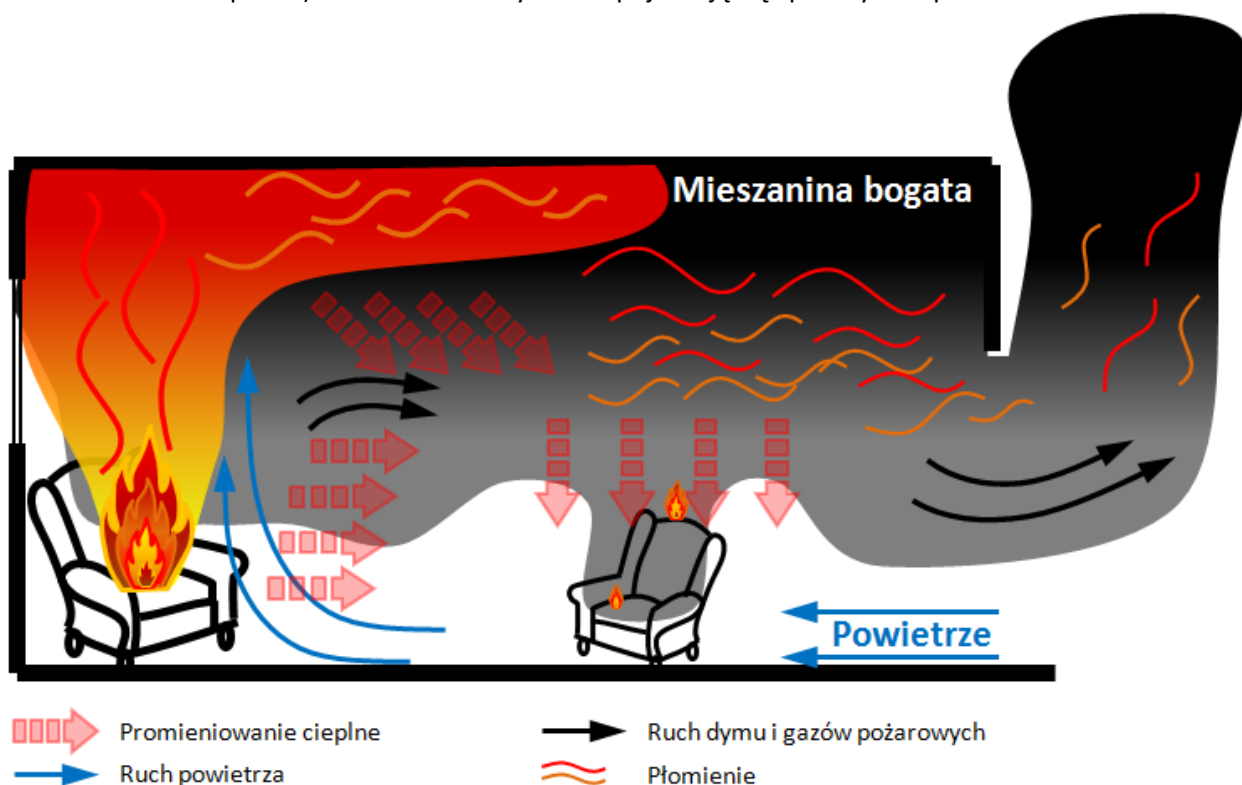
W dużych otwartych przestrzeniach wewnętrznych nie dochodzi do zjawiska **rozgorzenia** w rozumieniu definicji klasycznej, natomiast miejsce ma **przemieszczanie się (wędrówka) pożaru** w tempie około 15-25 m²/min. [44, 45]



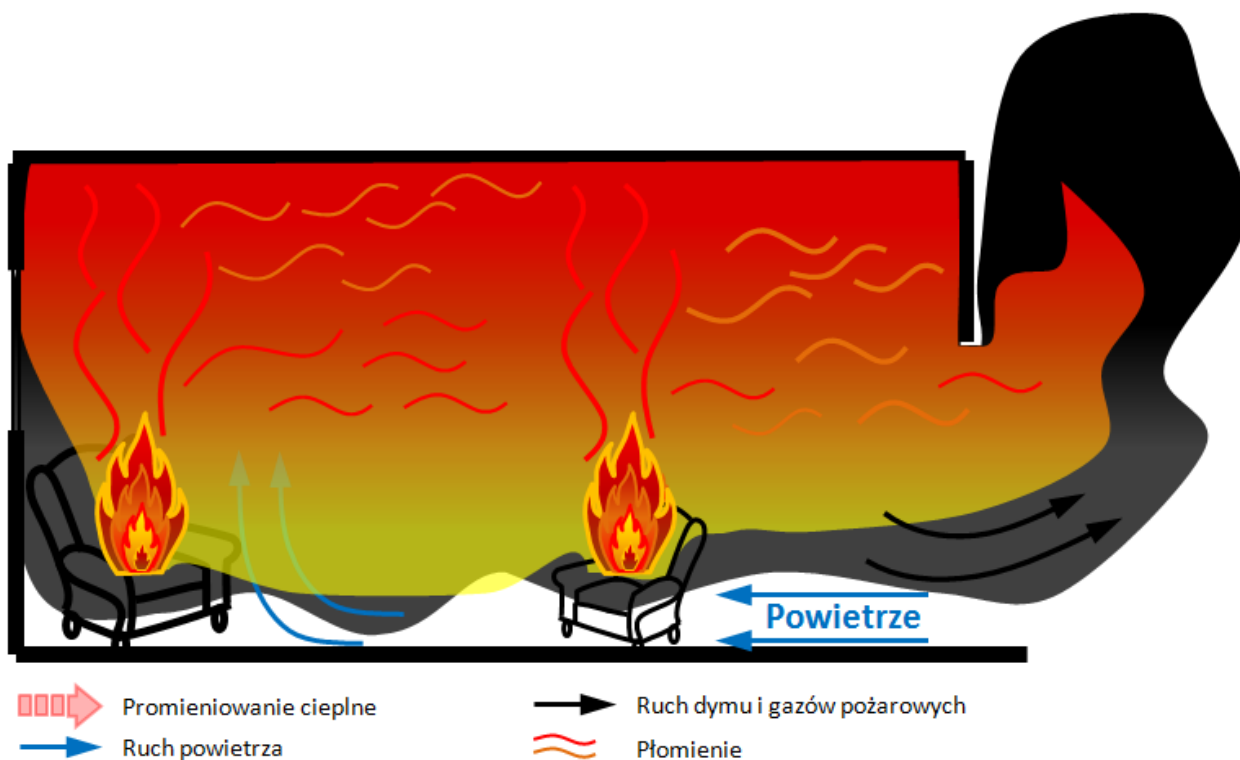
Rys. 32: Pożar w fazie **początkowej**. **Strefa spalania** powiększa się, gorące gazy kumulują się i migrują w warstwie podsufitowej. Promieniowanie pochodzące z płomieni oraz strefy zadymienia ogrzewa i zaczyna **rozkładać termicznie** paliwa w pomieszczeniu. Dostateczny dopływ powietrza sprzyja rozwojowi pożaru.



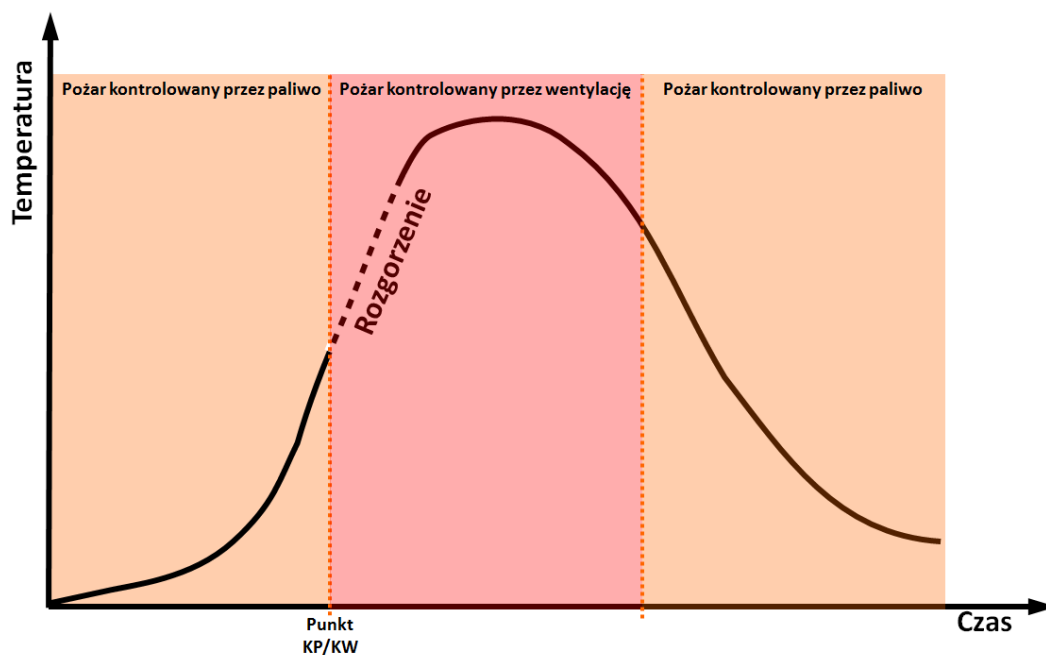
Rys. 33: Pożar rozwija się a płomień sięga sufitu tworząc **strumień podsufitowy**. Zwiększa to zarówno poziom promieniowania jak i szybkość przepływu gazów pożarowych. Z uwagi na kumulację gazy zaczynają wypływać z pomieszczenia. Powietrze doptywa do strefy spalania pozwalając na wzrost dynamiki pożaru. Nagrzanie paliw powoduje ciągłą produkcję gazów (niespalone, ogrzane węglowodory w gazowym stanie skupienia). W warstwie zadymienia pojawiają się sporadyczne płomienie.



Rys. 34: Pożar zbliża się do osiągnięcia **punktu KP/KW** (przejęcia w **pożar kontrolowany przez wentylację**). **Strumień podsufitowy** zwiększa swą objętość, produkcja oraz przepływ gazów przyspieszają. W gazach pożarowych, również poza pomieszczeniem, coraz wyraźniej pojawiają się wędrujące płomienie (płynące z gazami pożarowymi w kierunku wylotu). Płaszczyzna neutralna zachowuje się turbulentnie. Na paliwach oddalonych od strefy spalania pojawiają się pierwsze płomienie. Rozpoczyna się zjawisko **rozgorzenia**.



Rys. 35: Rozgorzenie: niemal jednoczesne stanięcie w ogniu wszystkich palnych powierzchni w pomieszczeniu następujące w wyniku spalania się gazów pożarowych.



Rys. 36: Schemat przebiegu rozgorzenia. Porównaj z rysunkiem 21.

Jeśli w pomieszczeniu dojdzie do zjawiska rozgorzenia, wówczas pożar osiągnie stan pełnego rozwoju. W przeciwieństwie do niektórych innych zjawisk jest to zawsze wynikiem rozgorzenia. Mówimy wtedy, że **pożar** jest w **pełni rozwinięty**. Osiąga maksymalną możliwą dla danego pożaru temperaturę i jeśli nic nie zmieni się w warunkach (profil wentylacji czy podawanie wody) to pożar ustabilizuje się na danym poziomie i będzie trwał do momentu wypalenia się paliw.

ROZGORZENIE

Emisja produktów rozkładu termicznego, o charakterystycznym jasnym kolorze, z większości materiałów palnych w pomieszczeniu jest oznaką zbliżającego się bardzo szybko zjawiska **rozgorzenia**.

Towarzyszy temu intensywny wypływ gazów pożarowych przez otwory wentylacyjne, powodując burzliwy przebieg wymiany gazowej i widoczne turbulencje płaszczyzny neutralnej.

Pożar przechodzi w stan pożaru kontrolowanego przez wentylację a zapotrzebowanie na tlen do reakcji spalania wzrasta lawinowo.

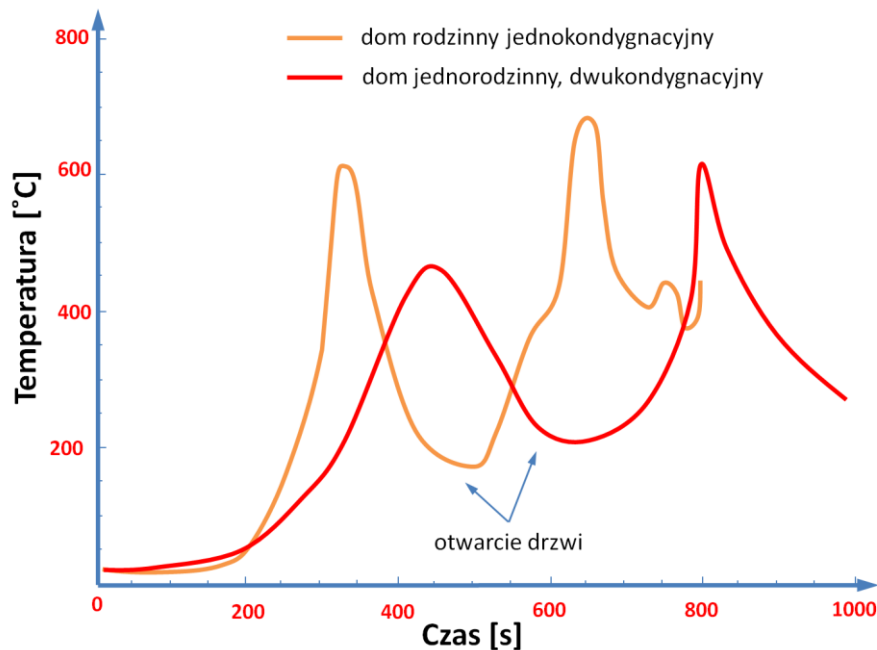
Dochodzi do momentu, w którym kumulacja ciepła w pomieszczeniu wzrasta lawinowo. Nagrzewają się ciała stałe oraz gazy. Gazy stopniowo zaczynają się spalać płomieniowo, co powoduje dalsze przyspieszenie wchłaniania ciepła przez paliwa stałe. Dochodzi do rozwoju spalania płomieniowego w całym pomieszczeniu. Płomieniowo spalają się ciała stałe oraz gazy. Płomień sięga poza pomieszczenie. Nastąpiło **rozgorzenie**.

2.13.1.1. Rozgorzenie wywołane wentylacją

Wspomniano wcześniej o większych gęstościach obciążenia ogniowego dzisiejszych paliw, wynikających z większej wartości ciepła spalania. Z tego powodu we współczesnych pożarach niemal zawsze dochodzi do deficytu powietrza dopływającego do strefy spalania. Ma to miejsce szczególnie wtedy, gdy istnieje ograniczony dostęp tlenu do strefy spalania np. pożar przebiega przy zamkniętych drzwiach i oknach, zużywając cały dostępny tlen z mieszkania.

Niemal 100 lat temu udowodniono, że dana ilość tlenu biorąca udział w spalaniu spowoduje wydzielenie stałej ilości ciepła, niemal niezależnie od rodzaju materiału palnego (zobacz **ROZDZIAŁ 2.1.2.1.**). Z tego powodu w sytuacji, kiedy pożar rozwija się, spalanie ma charakter bardziej intensywny niż w dawnych latach, rozwój pożaru jest bardziej dynamiczny, a zużywanie tlenu szybsze. Doprowadzi to do wystąpienia sytuacji, w której w pomieszczeniu nagromadzona zostanie duża ilość ciepła w stosunkowo krótkim czasie. Spowoduje to rozkład termiczny większości ogrzanych już wtedy paliw i dojście do momentu, w którym deficyt tlenu spowoduje przygaśnięcie pożaru. Jeśli w tym momencie zostanie stworzony dopływ powietrza, na przykład strażacy otworzą drzwi lub wybiją szybę, albo szyba sama wypadnie pod wpływem nagrzania, to zjawisko rozgorzenia może nastąpić w krótkim czasie. Porównanie dwóch krzywych pożaru na **rysunku 22** pozwoli zauważyć opisywaną różnicę w rozwoju pożaru wewnętrznego kiedyś i dziś. W związku z tym można obecnie mówić o „**rozgorzeniu wywołanym wentylacją**”. Ten duży wpływ wymiany gazowej na środowisko pożaru jest ważnym elementem, który musi być strażakom uświadamiany, bowiem ma duże znaczenie dla ich bezpieczeństwa.

W badaniach przeprowadzonych w Instytucie Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków UL (UL FSRI) dowiedziono, że pożary z udziałem paliw syntetycznych przechodzą w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację**, osiągając niejednokrotnie skrajne stadium tego stanu, zwane **pożarem niedowietrzonym**. Poniżej mówione zostaną różne aspekty zjawiska w oparciu o szereg wyników z badań naukowych. Wszystkie przytoczone poniżej badania przebiegały z wykorzystaniem paliw syntetycznych właściwych współczesnemu wyposażeniu wnętrz. Na początek przyjrzyjmy się zestawieniu przebiegów pożarów mających miejsce w dwóch różnych budynkach: jednokondygnacyjnym i dwukondygnacyjnym domu jednorodzinnym.

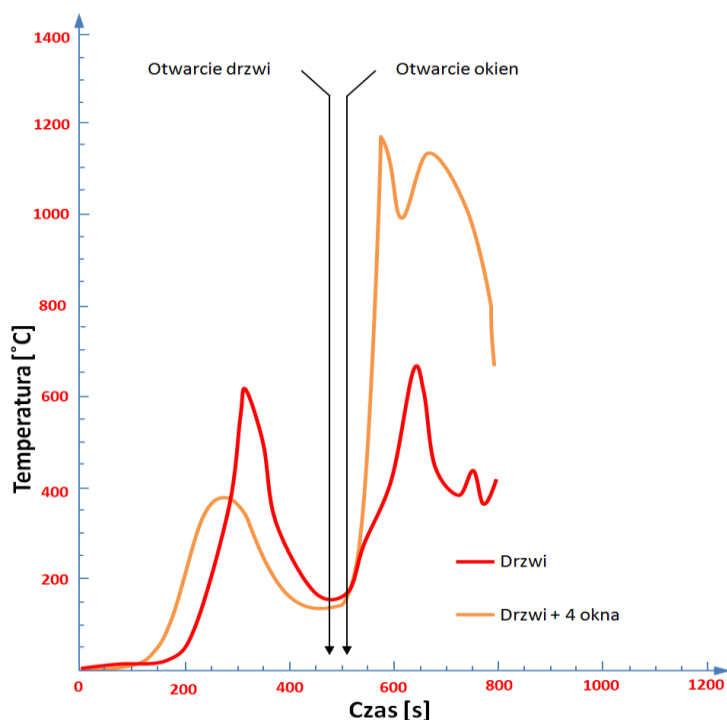


Rys. 37: Zestawienie przebiegów pożarów z udziałem paliw syntetycznych w jednokondygnacyjnym i dwukondygnacyjnym domu jednorodzinnym. **Rozgorzenie wywołane wentylacją.** (opracowanie własne na podstawie [15, 46])

Jak widać na **rysunku 37**, w obu przypadkach dochodziło wstępnie do rozwoju pożaru. Następnie pożary przechodziły w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację** i w wyniku deficytu tlenu rozpoczynało się wygasanie. Po stwierdzeniu spadku dynamiki wygasania dokonywano otwarcia drzwi. W obu przypadkach pożar reagował wzrostem dynamiki rozwoju i osiągnięciem **rozgorzenia wywołanego wentylacją**, czyli wymianą gazową. Pomiary wykonano na wysokości 1,5m od poziomu podłogi.

W kolejnych przytaczanych testach prowadzono porównanie wpływu **profilu wentylacji** na zjawisko **rozgorzenia wywołanego wentylacją**. Inaczej mówiąc sprawdzano, czy różnica w powierzchni otworów wentylacyjnych wpływa na przebieg pożaru. Na **rysunku 38** widać porównanie dwóch identycznych pożarów. W pierwszym przypadku po przejściu w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację** i wstępnym wygasaniu otwarto jedno drzwi (powierzchnia otworu wentylacyjnego równa $1,77\text{m}^2$). W drugim przypadku otwarto jedno drzwi oraz cztery okna (łączna powierzchnia wszystkich otworów wentylacyjnych równa $9,51\text{m}^2$). Pomiary wykonano na wysokości $0,3\text{m}$ od poziomu podłogi.

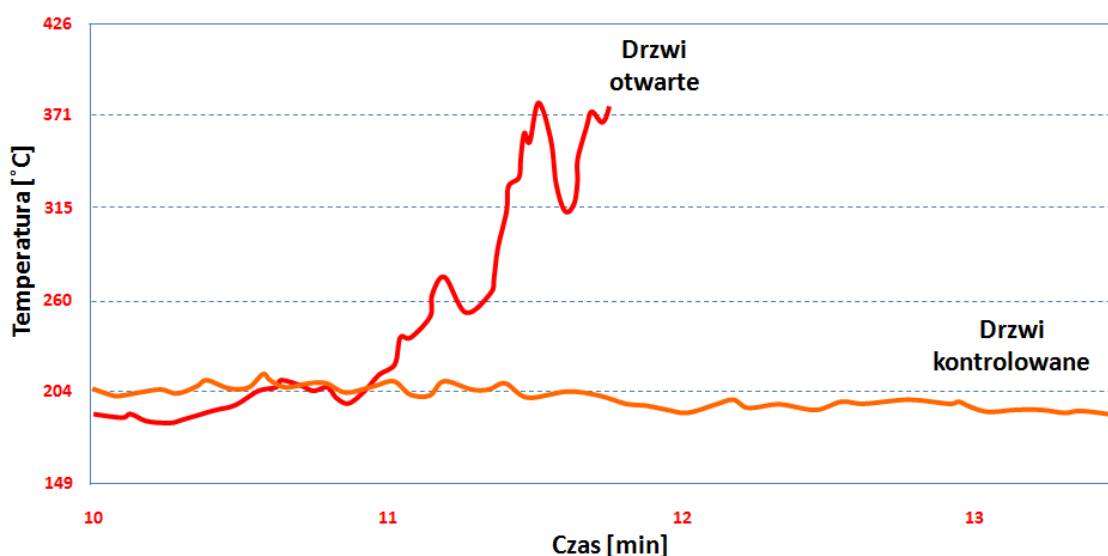
W rezultacie porównania można wyciągnąć następujące konkluzje. Po pierwsze wykonanie wentylacji (spowodowanie wymiany gazowej) spowodowało w obu przypadkach wzrost mocy pożaru i w rezultacie wzrost temperatury. Jednakże szczytowe wartości różniły się – w drugim przypadku wartość była większa o około 60%! Ważne jest też, aby zauważyć, że nawet tak duża powierzchnia otworów do wymiany gazowej **nie była w stanie** wprowadzić pożaru ponownie w stan **pożaru kontrolowanego przez paliwo**. Przeciwnie, spowodowała znacznie bardziej dynamiczny wzrost pożaru. Obserwacje i badania zjawisk pożarowych dowodzą, że po wstępnym przejściu punktu KP/KW jest to praktycznie **niemożliwe bez działań gaśniczych**.



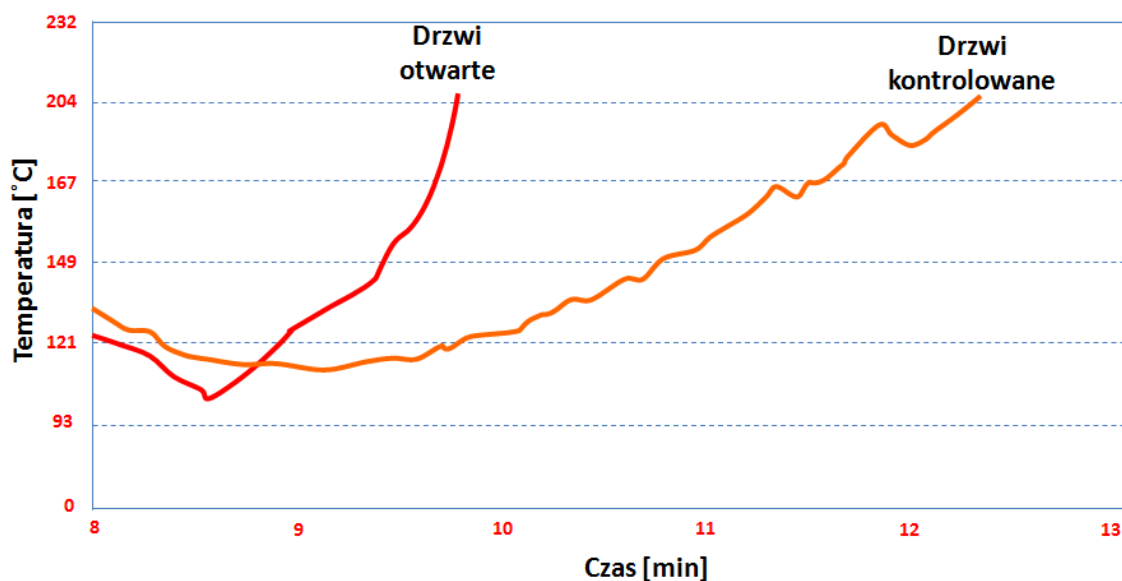
Rys. 38: Zestawienie identycznych pożarów o różnym profilu wentylacji. **Rozgorzenie wywołane wentylacją** i jego dynamika zależna od **profilu wentylacji**. (opracowanie własne na podstawie [15, 47])

W kolejnych przytaczanych badaniach podjęto próbę przeciwdziałania negatywnym skutkom powodowanym przez stwarzanie warunków do wymiany gazowej przez strażaków poprzez otwieranie drzwi do pomieszczeń czy budynków. W tym celu ponownie dokonano porównania identycznych pożarów, wprowadzając jedną zasadniczą zmienną.

Najpierw, po przejściu pożaru w fazę wstępnego wygasania dokonano natarcia i zostawiono drzwi otwarte. W kolejnym badaniu przypadku strażak pozostawiony specjalnie w tym celu przy drzwiach prowadził tzw. „kontrolę drzwi” czyli trzymał je przymknięte w stopni pozwalającym na wprowadzanie linii gaśniczej i skrajne ograniczenie dopływu powietrza do strefy spalania. Testy porównawcze wykonano w dwóch domach jednorodzinnych: jednokondygnacyjnym i dwukondygnacyjnym. Wyniki testów przedstawiają poniższe wykresy (**rysunek 39 i 40**).



Rys. 39: Zestawienie identycznych pożarów w domu jednorodzinnym dwukondygnacyjnym. W przypadku braku kontroli drzwi dochodzi do **wzrostu dynamiki pożaru**. W przypadku kontrolowania drzwi pożar powoli zmniejsza dynamikę (opracowanie własne na podstawie [34])



Rys. 40: Zestawienie identycznych pożarów w domu jednorodzinnym jednokondygnacyjnym. W przypadku braku kontroli drzwi dochodzi do **wzrostu dynamiki pożaru**. W przypadku kontrolowania drzwi również zachodzi wzrost, jednak jest on mniej dynamiczny, dając strażakom więcej czasu na dotarcie do źródła pożaru (opracowanie własne na podstawie [34])

ROZGORZENIE WYWOŁANE WENTYLACJĄ

Powszechna obecność paliw syntetycznych powoduje wzrost dynamiki przebiegu pożarów wewnętrznych. O wiele szybciej i niemal zawsze dochodzi do **wstępnego wygasania** pożaru, który wchodzi w stan **pożaru kontrolowanego przez wentylację**. Dzieje się tak przy braku drożnych otworów do wymiany gazowej (okien, drzwi itd.). Spowodowanie warunków do wymiany gazowej na tym etapie spowoduje wzrost dynamiki pożaru aż do wystąpienia **rozgorzenia wywołanego wentylacją**. Zależnie od powierzchni wymiany gazowej parametry pożaru będą się różnić. Pożar będzie tym bardziej dynamiczny, im większa łączna powierzchnia, przez którą zachodzi wymiana gazowa. Reakcja pożaru będzie tym szybsza (lub wolniejsza) im bliżej (lub dalej) od otworu wentylacyjnego znajduje się ognisko pożaru.

Niezależnie od powierzchni otworów do wymiany gazowej, po wstępnym wygasaniu z powodu niedowietrzenia praktycznie niemożliwe jest spowodowanie, aby pożar wrócił w stan **pożaru kontrolowanego przez paliwo** bez przeprowadzenia działań gaśniczych.

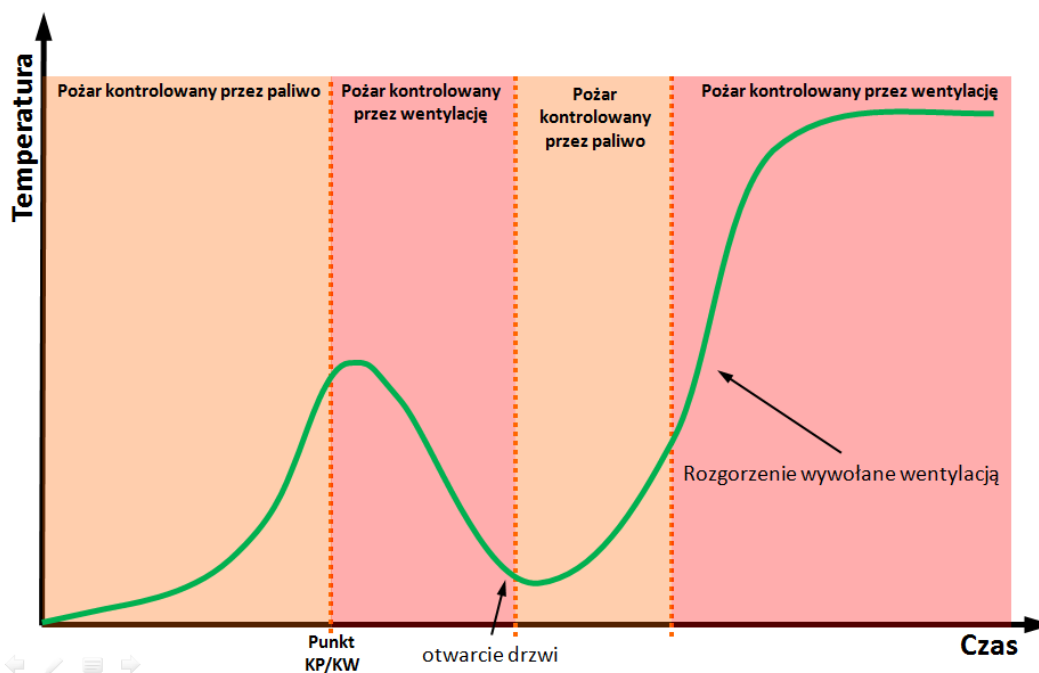
Na podstawie powyższych informacji można dokonać porównania pomiędzy tzw. działaniem tradycyjnym (pozostawianiem otwartych drzwi podczas natarcia) a działaniem polegającym na kontrolowaniu drzwi. Istnieje wiele sposobów, metod, technik czy taktyk działania. Każda z nich jest dobra, jeśli prowadzi do osiągnięcia zamierzonych celów. Jednakże znajomość ich specyfiki jest czymś, co pomoże zdecydować o wyborze w konkretnych warunkach danego zdarzenia. Poniżej wskazano główne różnice występujące pomiędzy tymi dwiema metodami działania.

Działania **tradycyjne**, czyli pozostawianie drzwi **otwartych**, powodują:

- 👍 Napływ powietrza w stronę ogniska pożaru pomagający w odnalezieniu właściwego kierunku.
- 👍 Przemieszczanie się w strefie chłodniejszego, napływającego powietrza.
- 👍 Podniesienie się płaszczyzny neutralnej i poprawę widoczności.
- 👎 Dotlenianie strefy spalania i wzrost mocy pożaru, produkcję ciepła i dymu; rozwój i rozprzestrzenianie się pożaru.

Analogicznie, działania uwzględniające **kontrolę drzwi** powodują:

- 👍 Brak dotleniaania ogniska pożaru i stabilizację zjawiska w trybie pożaru kontrolowanego przez wentylację.
- 👍 Brak możliwości wystąpienia spalania płomieniowego.
- 👎 Pracę w niskiej lub zerowej widoczności oraz względnie wyższej temperaturze¹⁹.



Rys. 41: Schemat przebiegu rozgorzenia wywołanego wentylacją. Porównaj z rysunkami 21 oraz 36.

Wpływ powietrza na rozwój pożaru strażacy zauważali już dawno. W 1866 roku, James Braidwood, uważany za twórcę pierwszego oddziału miejskiej straży pożarnej na świecie (rok 1824, Edynburg, Szkocja), pisał o tym w swojej książce. Obecnie, w erze paliw syntetycznych bardziej niż kiedykolwiek, zależność ta musi stać się absolutną oczywistością.

“Drzwi powinny być zamknięte na czas doprowadzania wody do pożaru a powietrze odizolowane najbardziej, jak się da, bowiem pożar pali się proporcjonalnie do ilości powietrza, które otrzymuje.”

“Załogi Straży Pożarnych uczone były, aby zapobiegać, kiedy to tylko możliwe, dostarczaniu powietrza do palących się materiałów. Otwarte drzwi do paleniska są tym samym dla pieca, czym otwarte drzwi wejściowe są dla płonącego budynku. W obu przypadkach dostarczają niezbędnego powietrza płomieniom.” [48]

¹⁹ Temperatura jest wyższa aniżeli podczas pracy z napływającym powietrzem. Dodatkowo, w wyniku braku odpływu gazów pożarowych obniża się płaszczyzna neutralna. Gazy mieszają się a ich temperatura uśrednia się (na różnych wysokościach temperatury wyrównują się).

2.13.2. Wsteczny ciąg płomienia

Omawiane w tym rozdziale zjawisko jest jednym z najrzadziej spotykanych scenariuszy rozwoju pożaru wewnętrznego. Niemniej tendencja do coraz lepszego termicznego izolowania pomieszczeń, jak również podnoszenia poziomu ich szczelności z uwagi na względy ekonomiczne, sprzyja powstawaniu warunków do wystąpienia tego zjawiska.

Zjawisko **wstecznego ciągu płomienia** zostało zauważone już dosyć dawno. Ponad 100 lat temu, w 1914 roku, amerykański badacz P. Steward opisywał je na łamach periodyku NFPA²⁰ (National Fire Protection Association – Krajowe Stowarzyszenie Ochrony Przeciwożarowej):

„Owe ‘wybuchy dymu’ często występują w budynkach i zazwyczaj nazywane są ‘ciągami wstecznymi’ (ang.: backdraughts – przyp. tłum.) (...) Po przyjeździe strażaków w budynku wykonywane są otwory, które doprowadzają powietrze i mieszanina powietrza z gorącymi gazami pożarowymi ulega zapłonowi na każdym piętrze, czasem z siłą wystarczającą do wypchnięcia wszystkich okien, drzwi (...)” [49]

Wprawdzie wstępnie nazywano je inaczej oraz nie rozumiano dogłębnie mechanizmów i przyczyn, niemniej trafnie łączono owe zjawiska z nagłym doprowadzeniem tlenu i dynamicznym spalaniem się mieszaniny gazów pożarowych z powietrzem. Na przestrzeni kolejnych dekad nie podejmowano badań na ten temat i dopiero w latach 80-tych ubiegłego wieku zaczęto badać wsteczne ciągi płomieni. Wykonane od tamtej pory serie badań pozwoliły na poczynienie szeregu istotnych obserwacji. Zauważono, że wśród konkluzji powtarzają się pewne elementy:

- Pożar jest **kontrolowany przez wentylację** – spalanie nie może zachodzić bez obecności tlenu z powietrza. W szczelnych pomieszczeniach bez otworów służących do dostarczania powietrza/tlenu, pożar zaczyna zmniejszać swą intensywność.
- W wyniku ogrzania paliw rozpoczyna się **piroliza** i emisja gazów pirolitycznych.
- Spalanie może przebiegać **zamkniętym** obiekcie lub pomieszczeniu, ale również w ukrytej przestrzeni.
- Następuje nagły **dopływ utleniacza**, zazwyczaj przez otwarcie lub wykonanie otworu.
- Dochodzi do **mieszania** bogatych gazów (powyżej GGW) z napływającym powietrzem.
- Dochodzi do **zapłonu** i **gwałtownego spalania** produktów pirolizy a front (czoło) płomienia zaczyna **przemieszczać** się przez pomieszczenie.
- Czoło płomienia wędruje **przyspieszając** w stronę otworu wentylacyjnego, wydostaje się z pomieszczenia, gdzie zapala wymieszane wstępnie z powietrzem gazy, skutkując powstaniem **kuli ognia i nadciśnieniem**. [39]

Tradycyjnie łączono mechanizm tego zjawiska z obecnością wśród produktów spalania tlenku węgla (CO). Jednakże szereg badań, jakie wykonano na przestrzeni kilku ostatnich dekad pozwolił na obalenie tej tezy. Wśród głównych przesłanek przemawiających za marginalną rolą owego gazu palnego w powstawaniu zjawiska wstecznego ciągu płomienia jest to, że **Dolna Granica Wybuchowości dla CO wynosi około 12%**. W pożarach niezwykle rzadko dochodzi do powstawania stężeń tlenku węgla przewyższających **stężenie 5%**. Jednocześnie, nawet rozszerzanie się zakresu palności wraz ze wzrostem temperatury nie jest w stanie zagwarantować znaczącej roli tlenku węgla w owym zjawisku.

W badaniach stwierdzono jednocześnie, że w zjawisku największą rolę odgrywa obecność niespalonych węglowodorów, wyzwalających się w procesie pirolizy. Szereg pozycji literaturowych sugeruje różne wartości procentowe udziału masowego niespalonego paliwa (produktów pirolizy) w dymie jako warunki niezbędne do wystąpienia zjawiska wstecznego ciągu płomienia. Różnice te wynikają głównie

²⁰ NFPA jest branżowym stowarzyszeniem w Stanach Zjednoczonych, zrzeszającym również członków międzynarodowych. Tworzy i rozwija standardy w dziedzinie ochrony przeciwpożarowej, które wykorzystywane i wdrażane są przez amerykańskie samorządy. Stowarzyszenie powstało w roku 1986 w wyniku inicjatywy kilku firm ubezpieczeniowych. Celem ich było wystandaryzowanie nowych naówczas systemów tryskaczowych. NFPA publikuje standardy w oparciu o podejście naukowe oraz badania, będąc popularnym źródłem odniesień w literaturze i legislacji branżowej.

z rodzaju paliwa, jakie wykorzystywano w testach. Zawartość niespalonego paliwa będzie miała również wpływ na wartość ciśnienia osiąganego przez falę reakcji oraz na wielkość powstającej kuli ognia i jej zasięg w poziomie. [50, 51, 52]

WSTECZNY CIĄG PŁOMIENIA

Podczas pożarów w **szczelnych**, dobrze izolowanych pomieszczeniach może dojść do intensywnego **nagrzania paliw** przed wystąpieniem niedoboru tlenu. W efekcie, po ustaniu spalania płomieniowego nadal produkowane są duże ilości niespalonych **produktów pirolizy**, zawierających głównie **węglowodory**.

Kiedy stworzony zostanie **dopływ powietrza** (np. strażacy otworzą drzwi) wówczas wytworzy się **prąd grawitacyjny**. Powietrze napływa do wnętrza zasysane w wyniku unoszącej się strefy zadymienia oraz w wyniku stłumionego procesu spalania przebiegającego w głębi pomieszczenia lub obiektu. Jednocześnie bogata warstwa zadymienia wydostaje się na zewnątrz. Na styku tych przepływów dochodzi do turbulencji i **mieszania** oraz wytwarzania **mieszanki palnych gazów z powietrzem** w zakresie palności. Dodatkowo, mieszanie następuje na zewnątrz pomieszczenia w obłoku wytwarzanym przed otworem wentylacyjnym.

Gdy wytworzona mieszanina wejdzie w głębi pomieszczenia w kontakt ze **skutecznym źródłem zapłonu** (żar, płomień itd.) wówczas rozpoczyna się proces spalania. Jest to w głównej mierze spalanie kinetyczne a zatem spalanie wstępnie już wymieszanych gazów i powietrza (zobacz **ROZDZIAŁ 2.5.**). W związku z tym proces ma charakter **dynamiczny**. W bardzo krótkim czasie zachodzi szereg zjawisk:

- w wyniku spalania rośnie ilość wydzielanego ciepła;
- ciepło powoduje wzrost temperatury;
- w efekcie rośnie objętość oraz ciśnienie gazów a proces spalania trwa nieprzerwanie potęgując ten efekt (zobacz **ROZDZIAŁ 2.8.**);
- płomień zaczyna wędrować w kierunku przeciwnym do kierunku napływu powietrza (stąd nazwa zjawiska: **wsteczny ciąg płomienia**);
- w związku z przebiegiem tych zjawisk w przestrzeni ograniczonej konstrukcyjnie, rozpoczyna się **przyspieszanie** strefy reakcji (płomienia).

Płomień po wydostaniu się na zewnątrz zapala zgromadzone tam produkty pirolizy, wymieszane już z powietrzem. Dający się zaobserwować efekt to **wyrzut kuli ognia** (ang. *fireball*) z pomieszczenia.

Najbardziej odpowiednią obecnie definicją zjawiska będzie zmodyfikowana definicja z badań Quintiere'a oraz Pagniego/Fleischmanna [39]:

„Ograniczona wentylacja podczas pożaru wewnętrznego może prowadzić do produkcji dużych ilości niespalonych produktów pirolizy. Kiedy nagle stworzony jest otwór, napływające powietrze tworzy prąd grawitacyjny i zaczyna mieszać się z niespalonymi produktami pirolizy, tworząc palną mieszaninę gazów w pewnych częściach pomieszczenia. Jakkolwiek źródło zapłonu, takie jak np. żar, może zapalić tę palną mieszaninę, skutkując w niezwykle gwałtownym spalaniu gazów/produktów pirolizy skierowanym na zewnątrz przez otwór i tworząc kulę ognia (fireball) na zewnątrz pomieszczenia.”

Bodźcem do szczegółowych nad zjawiskiem badań był między innymi pożar 1. kondygnacji w trzykondygnacyjnym hotelu w Nowym Jorku przy ulicy Watts, 28 marca 1994 roku. W tym pożarze **śmierć poniosło 3 strażaków**. Przebieg owego zdarzenia był niezwykle wyjątkowy i ujawnił możliwe, ekstremalne scenariusze występowania wstecznego ciągu płomienia, ponieważ wyrzut płomienia z pomieszczenia trwał **nieprzerwanie około 6,5 minuty!** Płomień objął całą klatkę schodową odcinając drogę ucieczki strażakom

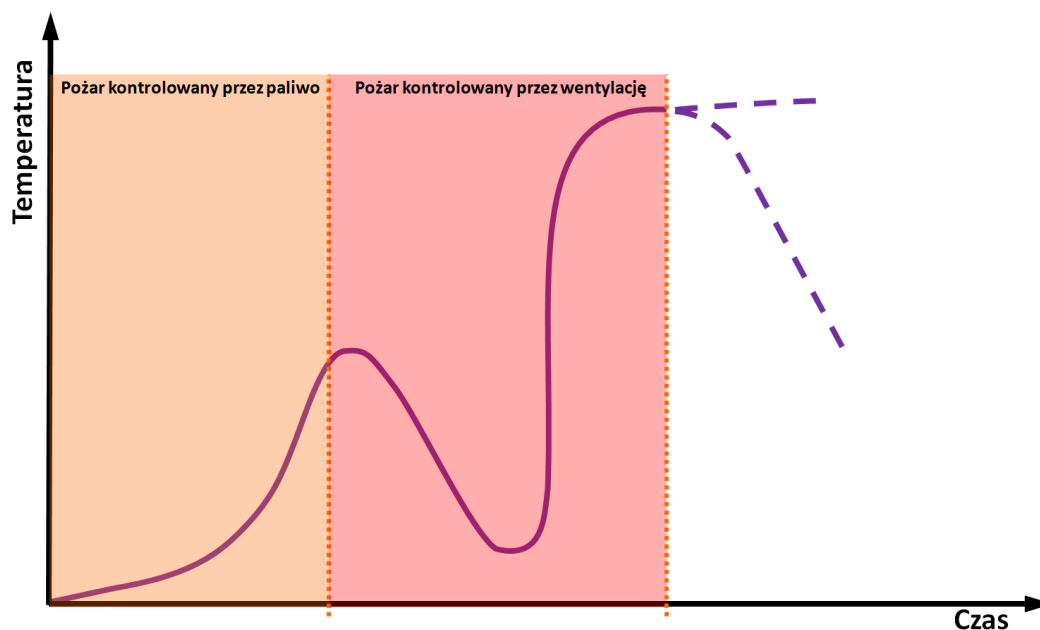
znajdującym się powyżej. Późniejsze oględziny miejsca zdarzenia pokazały, że pożar rozprzestrzenił się zaledwie na powierzchni około połowy kondygnacji. Spaleni uległy też drewniane schody prowadzące na kolejne piętra.

Jak ustalono w toku dochodzenia źródłem zapłonu był płomień palnika pilotowego w piecyku gazowym. Doszło do zapłonu worka na śmieci położonego w jego pobliżu a pożar rozprzestrzenił się na elementy wyposażenia oraz drewnianą podłogę. Pożar rozwijał się w pomieszczeniach przez około godziny zanim na miejsce zdarzenia przybyli strażacy. Wszystkie okna były pozamykane, natomiast pożar powoli dotleniał się poprzez kanał wentylacyjny okapu. W ten sposób utrzymywała się temperatura zapewniająca pirolizę paliw natomiast nie było możliwości przejścia w pożar w pełni rozwinięty. Pożar zgłoszono po dostrzeżeniu dymu wydobywającego się z komina budynku. [53].

Następujące **objawy mogą ostrzec** strażaków przed potencjalnym ryzykiem wystąpienia zjawiska wstecznego ciągu płomieni:

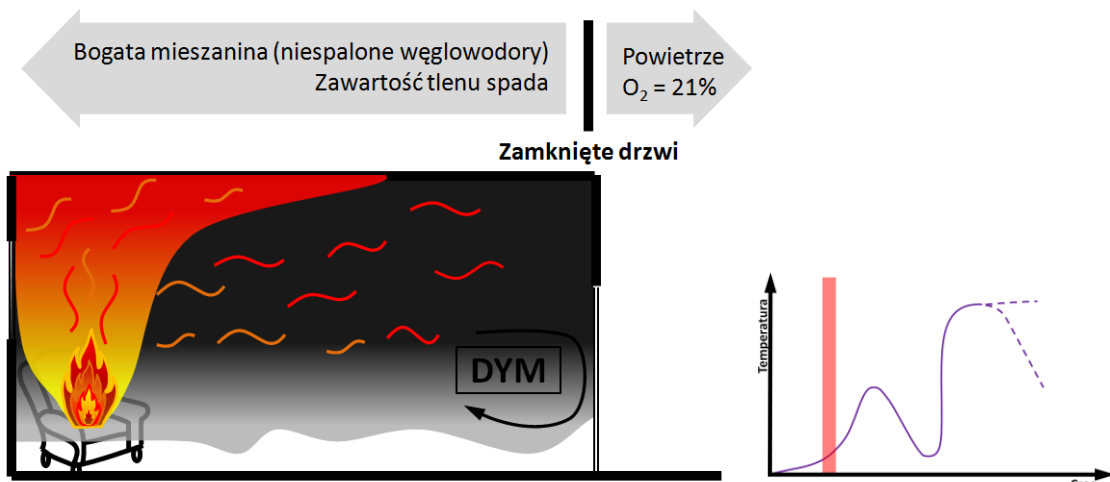
- Pożar może przyjąć **pulsujący charakter**. Okna i drzwi są pozamykane, ale dym wydostaje się ze szczelin wokół nich i zostaje z powrotem zasysany do wewnątrz. Niektóre płaszczyzny (pojedyncze szyby o dużej powierzchni) mogą „falować” (wyginać się nieznacznie) pod wpływem zmian ciśnienia wewnątrz.
- **Nie widać płomieni** w pomieszczeniu.
- Drzwi i okna są **nagrzane** (użyj termowizji!)
- **Świszczące dźwięki** pojawiają się wokół drzwi i okien. Jeśli czas trwania pożaru w odizolowanym pomieszczeniu jest dłuższy, mogło dojść do zgromadzenia się znacznej ilości palnych gazów.
- Szyby w oknach są **odbarwione** i mogą być **popękane** od ciepła.

Seria poniższych grafik (**rysunki 42-50**) obrazuje mechanizm powstawania zjawiska. **Rysunek 42** pokazuje przebieg scenariusza, w którym dochodzi do wstecznego ciągu płomieni. Linie przerywane reprezentują możliwe scenariusze – wypalenie się paliw bez przejścia w pożar w pełni rozwinięty (linia opadająca) lub przejście w pożar w pełni rozwinięty (linia przebiegająca poziomo).

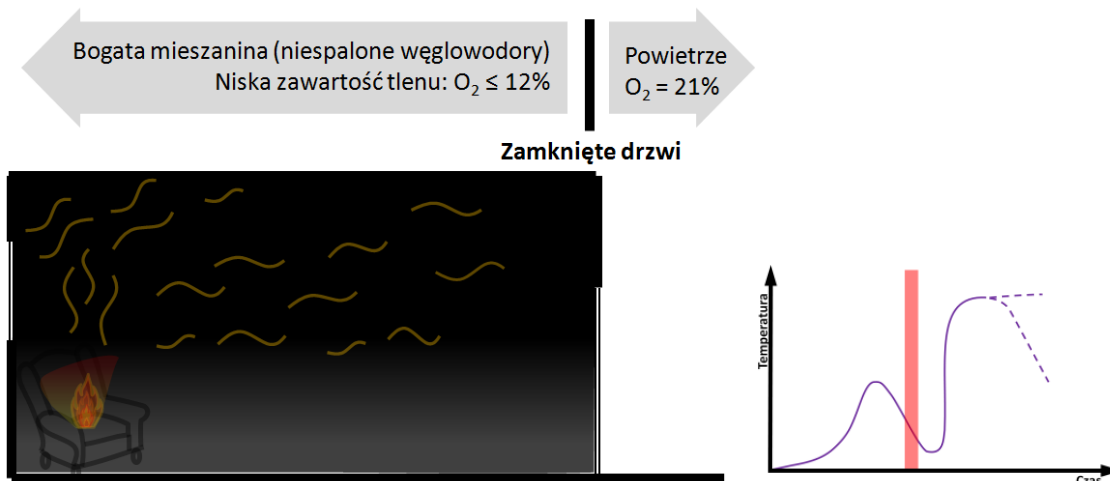


Rys. 42: Schemat przebiegu wstecznego ciągu płomieni. Porównaj z rysunkiem 21.

Jak wspomniano powyżej, rozwój pożaru w szczelnym pomieszczeniu prowadzi do zużycia tlenu (**rysunek 43**). Strefa zadymienia powiększa się, płaszczyzna neutralna obniża się, płomień zaczyna zmniejszać objętość w wyniku braku tlenu. Podwyższona temperatura powoduje rozpoczęcie procesu pirolizy i produkcję paliw (**rysunek 44**). Następnie w wyniku braku tlenu ustaje spalanie płomieniowe, temperatura stopniowo spada, a pomieszczenie jest wypełnione dymem w całości. Występuje tzw. **pożar niedowietrzony**.

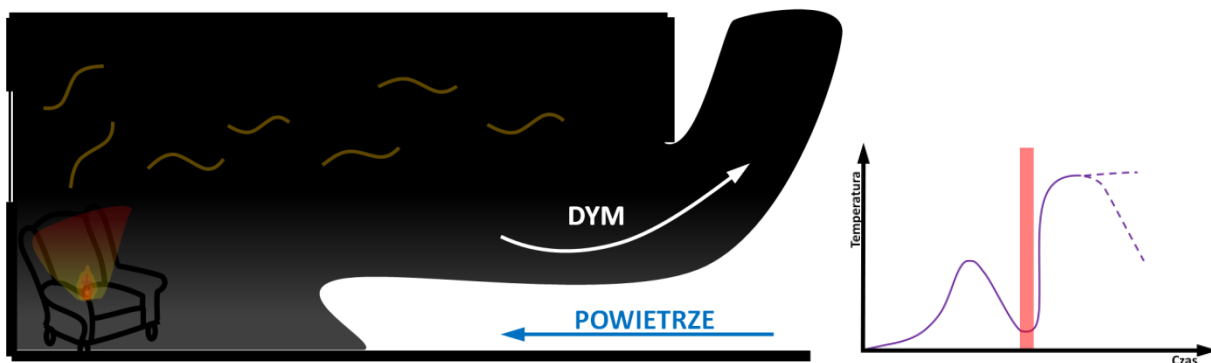


Rys. 43: Pożar w zamkniętym pomieszczeniu: zużywanie tlenu i obniżanie się płaszczyzny neutralnej.

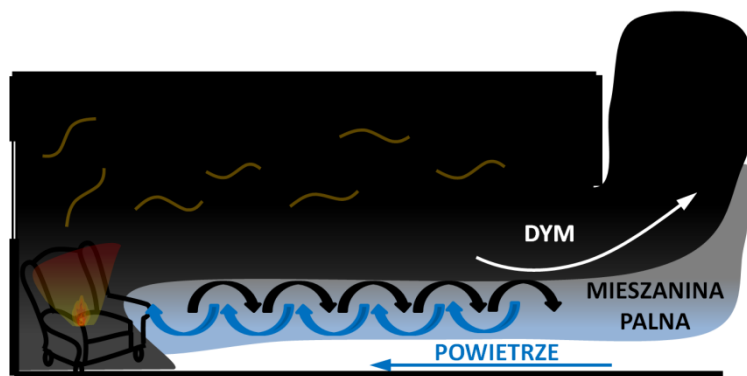


Rys. 44: Produkcja paliw wskutek ich ogrzania przy braku dopływu tlenu (piroliza).

W momencie otwarcia drzwi dochodzi do napływu powietrza. Wytwarza się **prąd grawitacyjny**, który powoduje wytworzenie pewnego obszaru mieszaniny palnej. Napływ powietrza do wewnątrz i wypływ paliw gazowych na zewnątrz (**rysunek 45**) doprowadza do powstawania turbulencji i mieszania się gazów z powietrzem na styku tych dwóch przeciwstawnych przepływów (**rysunek 46**).



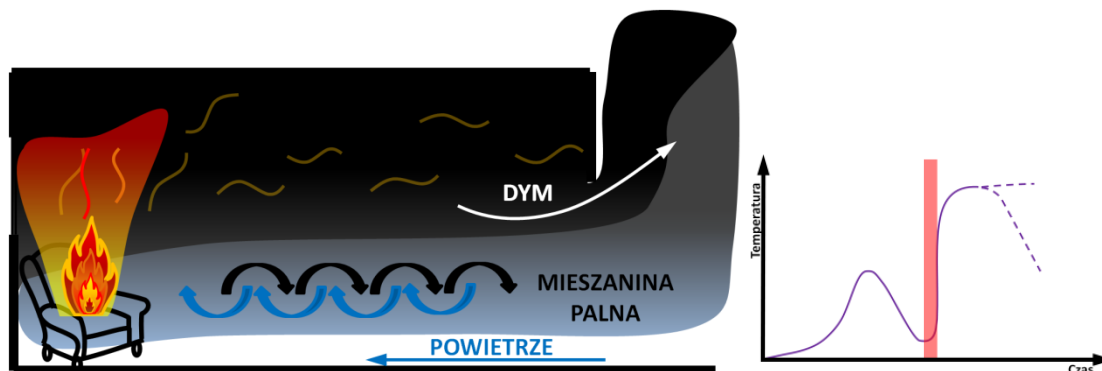
Rys. 45: Napływ powietrza i wypływ gazów pożarowych po otwarciu drzwi.



Rys. 46: Powstanie prądu grawitacyjnego powoduje wymieszanie części paliw z napływającym powietrzem.

W miarę napływu powietrza powiększa się objętość mieszaniny palnej. Prądy powietrza mogą osiągać prędkość około 1-2 m/s, niemniej zależy to od wielu czynników takich jak temperatura gazów, wysokość pomieszczenia czy geometria otworu, przez który następuje wymiana gazowa. Przykładowo, im gorętsze gazy pożarowe tym szybszy będzie napływ powietrza do wnętrza. [2]

Moment wystąpienia zapłonu będzie miał duże znaczenie dla siły (ciśnienia) zjawiska. Jeżeli do zapłonu dojdzie w momencie napływania powietrza, wówczas zjawisko osiągnie stosunkowo niewielką dynamikę, ponieważ powstanie relatywnie niewielka objętość mieszaniny palnej. Jeśli skuteczne źródło zapłonu pojawi się po pewnym czasie, a napływające powietrze zdąży „odbić się” od ściany i prąd zacznie wracać w przeciwnym kierunku, wytworzy się większa objętość mieszaniny. Pojawienie się zapłonu w tym momencie skutkować będzie o wiele bardziej intensywnym przebiegiem zjawiska.

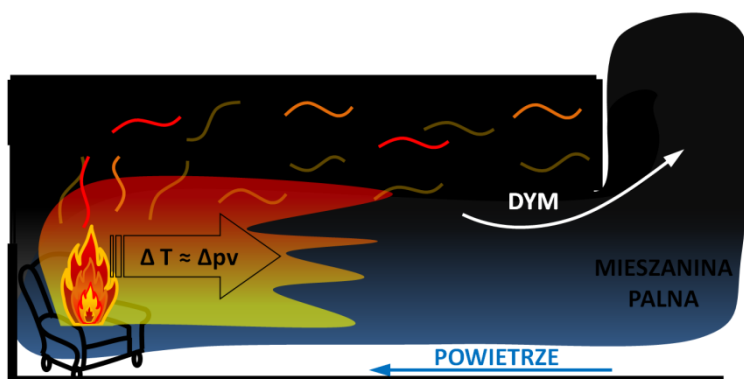


Rys. 47: Im dłuższe opóźnienie pomiędzy otwarciem drzwi a zapłonem, tym większa objętość mieszaniny palnej i większy potencjał do bardziej intensywnego przebiegu zjawiska.

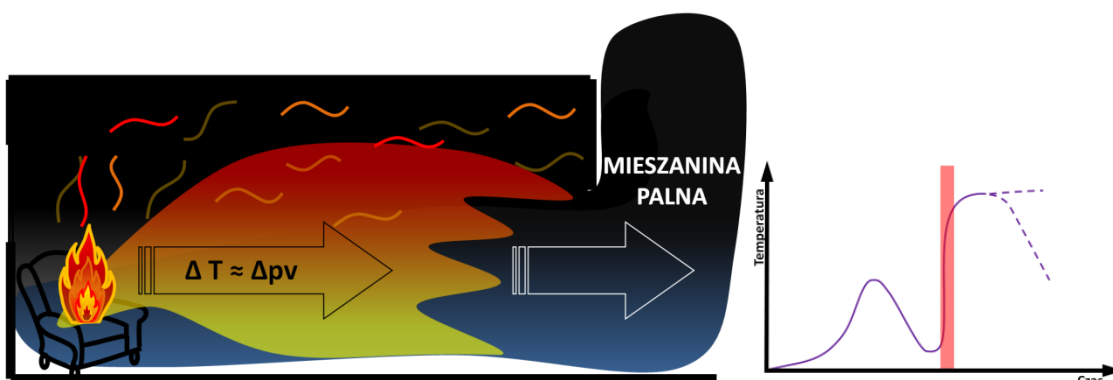
Gdy powietrze napłynie do wnętrza dojdzie do podniesienia się płaszczyzny neutralnej. Spowoduje to albo odstąpienie niewielkich płomienia (jeśli przetrwały w danych warunkach) albo odstąpienie żarzących się elementów (zobacz **rysunek 47**). Jeśli żarzenie przeszło w tlenie (zobacz **ROZDZIAŁ 2.4.**) to prędkość napływu powietrza (czyli m.in. temperatura gazów) może mieć znaczenie dla pojawienia się źródła zapłonu – im szybciej napływa powietrze, tym większa szansa na rozdmuchanie żaru i spowodowanie zapłonu mieszaniny. Jak zatem widać, **wystąpienie zjawiska zależy od wielu zmiennych**. Niemniej jednak, obserwując symptomy wskazujące na możliwość pojawienia się backdraftu, strażacy powinni spodziewać się tego i postępować tak, aby owo zjawisko wykluczać, lub aby unikać jego negatywnych skutków (w myśl zasady: **ROZPOZNAWAĆ – ZWALCZAĆ – ZAPOBIEGAĆ – UNIKAĆ**).

Kiedy palna mieszanina zostaje zapalona przez istniejące wewnątrz źródło zapłonu (zobacz **rysunek 48**), wtedy następuje gwałtowny wzrost temperatury i wyrzut kuli ognia na zewnątrz. Jak wspomniano w czerwonej ramce powyżej proces ten charakteryzuje się tym, że w wyniku rozpoczęcia procesu spalania,

w bardzo krótkim czasie fala reakcji (czoło płomienia) przyspiesza (zobacz **ROZDZIAŁ 2.8.** i rysunek 49). Powoduje to wzrost ciśnienia a całe zjawisko przypomina wybuch o mniejszej lub większej sile.

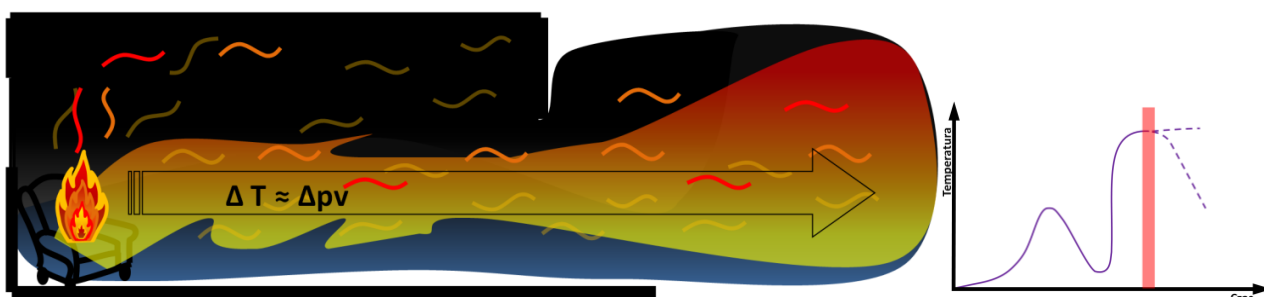


Rys. 48: Pojawienie się skutecznego źródła zapłonu powoduje powstanie płomienia oraz jego przyspieszone przemieszczanie się w kierunku otworu wentylującego.

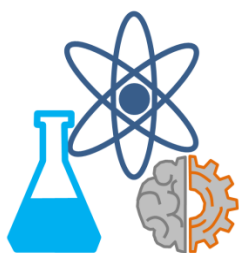


Rys. 49: W momencie rozpoczęcia się procesu spalania wewnątrz pomieszczenia, czoło **płomienia** wędruje w kierunku **wstecznym** do napływu powietrza w sposób przyspieszony. Stąd bierze się nazwa zjawiska: **wsteczny ciąg płomienia.**

Gazy pożarowe, które zaczęły się wydostawać na zewnątrz w momencie otwarcia drzwi, zdążyły się już wymieszać z powietrzem i wytworzyć „kulę” mieszaniny palnej, dlatego w momencie wydostania się płomienia na zewnątrz dochodzi do spalania w tej objętości. Wygląda to tak, jakby owa kula ognia została wyrzucona ze środka pomieszczenia. W rzeczywistości jest nieco inaczej: to płomień wędruje wzdłuż przestrzeni, w której występuje mieszanina palna a geometryczne wrażenie bierze się z opisanych powyżej faktów.



Rys. 50: Czoło płomienia wydostając się na zewnątrz zapala znajdującą się tam mieszaninę palnych gazów z powietrzem, dając efekt **wyrzutu kuli ognia** z wnętrza pomieszczenia.



UWAGA! NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

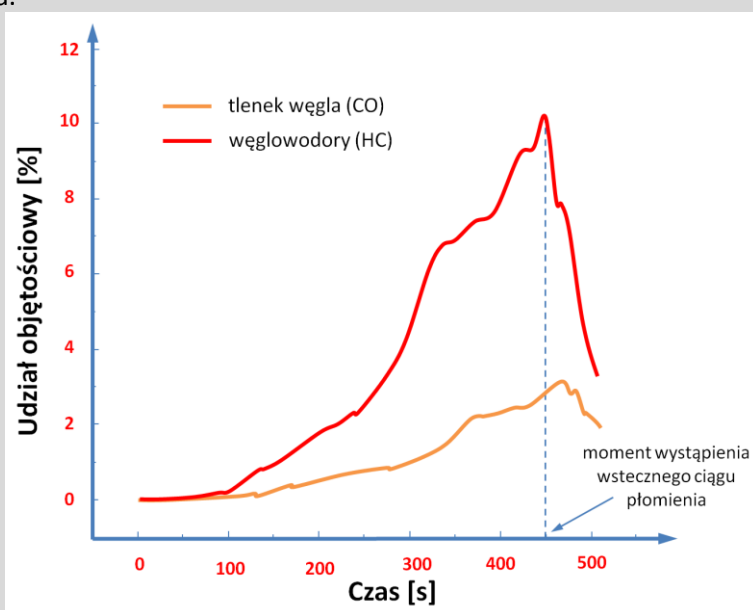
Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Zauważono, że występowanie ciągu wstecznego jest zależne od udziału paliwa w powietrzu. Jednocześnie warunki graniczne stężenia paliwa zależą od cech charakterystycznych materiału palnego. Przykładowo, badając zjawisko z użyciem n-heptanu oraz drewna, uzyskano wartości krytyczne (warunkujące możliwość wystąpienia wstecznego ciągu płomienia) udziału niespalonych gazów palnych na poziomach:

- 2,5 % dla n-heptanu,
- 8,7 % dla drewna.

Jak wspomniano w **ROZDZIALE 2.3.** do zapalenia gazu potrzebne jest jego stężenie w mieszaninie zawierające się w granicach palności charakterystycznych dla danego paliwa. Aby zbadać prawidłowości odnoszące się do zakresu palności i możliwości występowania zjawiska, badacze zaproponowali wprowadzenie parametru β odpowiadającego stosunkowi udziału niespalonych gazów w objętości do dolnej granicy palności danej mieszaniny. Mówiąc prościej parametr ten porównuje daną ilość paliwa do jego niezbędnej minimalnej ilości, która pozwala na zapalenie, czyli mówi o ile przekroczona jest wartość DGW. Z przeprowadzonej analizy wynika, że niezależnie od zastosowanego materiału, wartość współczynnika β jest bardzo zbliżona i równa ok. 1,4, co oznacza, że stężenie gazów palnych w objętości musi być co najmniej 1,4 razy większe niż dolna granica palności takiej mieszaniny. [50, 52]

Odnosząc się do mechanizmu powstawania zjawiska czy też faktycznego wpływu paliw takich jak CO i niespalone węglowodory (ang.: hydrocarbons – HC) należy przytoczyć badania wskazujące na ograniczoną rolę tlenku węgla i decydujący udział paliw będących produktami rozkładu termicznego i pirolizy. [52, 54] W badaniach prowadzonych nad tym zagadnieniem udało się ustalić, że po otwarciu drzwi do pomieszczenia (i wystąpieniu zjawiska backdraftu) udział objętościowy węglowodorów obniża się, podczas gdy poziom tlenku węgla rośnie jeszcze przez jakiś czas, aby następnie spaść. Pokazuje to, że to właśnie spalanie węglowodorów ma istotny udział w mechanizmie zjawiska wstecznego ciągu płomienia. Tlenek węgla jako gaz palny, ulega również spalaniu późniejszym etapie, jednak nie może być odpowiedzialny za mechanizm powstawania zjawiska.



Rys. 51: Poziomy CO i HC podczas pożaru, w którym występuje zjawisko wstecznego ciągu płomienia. [54]

Interesująca odmiana zjawiska miała miejsce po trzęsieniu ziemi w San Francisco w roku 1906, będącym przyczyną pożaru, który strawił 90% powierzchni miasta. Odnotowano wiele przypadków, gdzie kilka dni po pożarze ludzie otwierali nagrzane sejfy chcąc sprawdzić stan swoich dokumentów czy pieniędzy. Nagły dopływ tlenu do nagrzanego gazów wewnątrz sejfów, zawierających produkty pirolizy papieru (węglowodory), prowadził do natychmiastowego gwałtownego spalania pozostałej zawartości. [55]

W czasopiśmie Fire Engineering (styczeń, 2000), Brian White, kapitan Straży Pożarnej Nowego Jorku, przedstawił własną teorię zjawiska, które nazwał wysokociśnieniowym backdraftem. Jego zdaniem, oddziaływanie wiatru na budynek powoduje wzrost ciśnienia we wnętrzu w wyniku dostawania się powietrza do budynku przez otwory od strony nawietrznej. W takich warunkach otwarcie drzwi lub okna w innym miejscu potęguje efekt zjawiska, jakim jest wsteczny ciąg płomienia (zobacz **rysunek 28** – jest to sytuacja analogiczna z różnicą dotyczącą przebiegu rozwoju pożaru i zjawiskiem będącym rezultatem tego przebiegu). Taka zmiana warunków wentylacji powoduje wymuszony przepływ (zobacz **ROZDZIAŁ 2.2.**) i bardziej intensywne spalanie. Autor opisał też kilka sytuacji, w których nagła zmiana sytuacji była wynikiem wypadnięcia szyby od strony nawietrznej. Paul Grimwood również omówił to zjawisko w swojej książce Fog Attack. [33] Wśród udokumentowanych przypadków wstecznego ciągu płomienia można wymienić między innymi następujące zdarzenia:

- 26 lutego 1994 londyńscy strażacy wyjechali do pożaru klubu-kina w centrum miasta. W momencie przyjazdu cztery uwięzione osoby widoczne były w oknie na trzecim piętrze, zaś jedna osoba wyskoczyła z okna przed przyjazdem strażaków. Gdy sprawiana była drabina, kolejne trzy osoby wyskoczyły z okna, zaś trzy zostały w końcu wyprowadzone z budynku po drabinie. Mając informację o kolejnych uwięzionych osobach, strażacy rozwinęli linię gaśniczą w kierunku schodów wewnętrznych. Gdy dotarli do schodów 'bardzo głośny, ryczący i intensywny ogień' pojawił się w klatce schodowej i zmusił ich do wycofania. Kolejne trzy osoby wyskoczyły z trzeciego piętra zaś 17 osób ewakuowano przy pomocy przenośnych drabin i podnośnika hydraulicznego. Następnego sześciu ludzi zginęło na trzecim piętrze kina. Klasyczne odgłosy 'ryku' zaobserwowane przez strażaków nacierających przez klatkę schodową okazały się być zjawiskiem wstecznego ciągu płomienia, w którym gazy pożarowe spalały się na klatce po dotarciu tam powietrza poprzez wejście.
- 1 lutego 1996 roku w miejscowości Blaina w Walii, w godzinach porannych, pożar wybuchł w kuchni na parterze, na tyłach dwukondygnacyjnego budynku. Pierwsza grupa strażaków napotkała trudną sytuację – trójkę dzieci uwięzionych na piętrze. W budynku występowało silne zadymienie, zaś dym wydobywał się spod okapu dachu. Strażacy zdecydowali się najpierw ratować dzieci i nie podjęli żadnych działań gaśniczych. Dwie linie szybkiego natarcia (19 mm) zostały rozwinęte do budynku, ale żadna z nich nie została użyta. pięć minut po przyjeździe nastąpił backdraft. Wydobywające się płomienie widoczne były z tylnego okna kuchni i nastąpił pożar w pełni rozwinięty. Występował też wyraźny prąd grawitacyjny z dużą ilością gęstego dymu wydobywającego się frontowymi drzwiami wejściowymi. Backdraft, który wystąpił w tym pożarze, odebrał życie dwóm strażakom. Jest to jedno z najbardziej znanych na świecie studiów przypadku, wykorzystywane podczas szkoleń strażaków w wielu krajach.
- Zaledwie trzy dni później kolejny strażak zginął w wyniku backdraftu jaki wystąpił w wielkim pożarze supermarketu w Bristolu. Czterech strażaków rozpoczęło natarcie wewnętrzne. W tym czasie można było zaobserwować naprzemienne podnoszenie się i opadanie płaszczyzny neutralnej. Po około 5 minutach zaobserwowano intensywny prąd powietrza napływający do wnętrza, któremu towarzyszył efekt dźwiękowy huczącego podmuchu i zakrzywienie płomieni do wnętrza. W wyniku tego doszło do zjawiska, które określono jako wsteczny ciąg płomienia. Płomień rozprzestrzenił się w przestrzeniach otwartych jak i ukrytych (pod podwieszonym sufitem) a jego prędkość oszacowano na około 5 m/s. Fala ciśnienia wyrzuciła jednego ze strażaków. Ten przykład, cytowany w przytaczanej literaturze jako zjawisko backdraftu pokazuje jednocześnie, że często dochodzi do zjawisk mających cechy podobne do innych zjawisk. W tym przypadku, spalanie się gazów w ukrytej przestrzeni jest klasycznym mechanizmem zapłonu gazów pożarowych. Okazuje się, że książkowy, idealny przebieg zjawisk jest sprawą rzadką oraz że istnieje szereg „szarych obszarów”, gdzie pojawiające się zjawiska noszą cechy różnych zjawisk. Kluczem do zrozumienia i skutecznego unikania jest poznanie mechanizmów powstawania tych zjawisk i pamiętanie, że wszystkie one biorą się z faktu palności dymu pożarowego.

- Straż pożarna stosowała wentylację nadciśnieniową przed natarciem w pożarze domu, aby pomóc strażakom w zlokalizowaniu pożaru. Otwór wydechowy (okno) był jednak zbyt mały i nastąpił backdraft, gdy gazy pożarowe zapaliły się wzdłuż granicy bogatej/ubogiej mieszanki. Stosowanie wentylacji nadciśnieniowej w sytuacji, gdzie występują oznaki zagrożenia wystąpieniem zjawiska wstecznego ciągu płomienia powinno być traktowane jako **błąd krytyczny!**

2.13.3. Zapłon gazów pożarowych

Skoro powiedziane zostało, że mieszanina składników dymu z powietrzem jest palna (zobacz **rysunek 11**), a także omówione zostały podstawowe mechanizmy występowania zjawisk pożarowych (rozgorzenie i wsteczny ciąg płomienia) to należy w tym miejscu przyrzeć się pozostałej grupie zjawisk, zwanych **Zapłonem Gazów Pożarowych (ZGP)**.

W tym miejscu należy dodać istotny komentarz. Nazwa tej grupy zjawisk bierze się z dosłownego tłumaczenia angielskiej frazy **Fire Gas Ignition**. W języku angielskim słowo „*ignition*” oznaczać może w domyśle zarówno „zapłon” jak i „zapalenie”. W polskiej nomenklaturze branżowej terminy te mają odmienne od siebie znaczenie:

- **Zapłon** – jest to zapoczątkowanie procesu spalania poprzez kontakt paliwa z punktowym bodźcem energetycznym (iskrą, płomieniem, żarem itd.).
- **Zapalenie** – jest to zapoczątkowanie procesu spalania w wyniku kumulacji ciepła w paliwie.

Mając na uwadze różnice, jakie występują w różnych językach należy podkreślić, że grupa zjawisk określana mianem ZGP będzie uwzględniała zarówno zjawiska, do których dochodzi w wyniku oddziaływania punktowego bodźca energetycznego jak i w wyniku kumulacji ciepła w gazach. Odpowiednio, będziemy mówić o sytuacjach, w których pojawia się zapłonem np. płomienia, jak też w których proces spalania jest wynikiem kontaktu rozgrzanych gazów z utleniaczem i utrzymaniu temperatury powyżej temperatury samozapłonu po wejściu w zakres palności (**samozapłon**). Dla przypomnienia, zagadnienia te wstępnie omówiono w **ROZDZIALE 2.7.3.** (zobacz **rysunek 17 a i b**).

Przez dekady zidentyfikowano wiele zjawisk pojawiających się w pożarach wewnętrznych. Równolegle, w wyniku upowszechnienia w przemyśle oraz użytku codziennym gazów palnych będących pochodnymi ropy naftowej (LPG, gaz ziemny itd.) poznano dobrze mechanizmy zagrożeń wynikające z palności i wybuchowości owych paliw. Okazuje się, że skoro dym można traktować jak mieszaninę zanieczyszczonych gazów palnych, to będzie on w wielu przypadkach podlegał scenariuszom zdarzeń oraz prawom fizycznym analogicznym do tych, jakie powstają przy klasycznych gazach palnych. Można zatem mówić o zjawiskach, których charakterystyka wydaje się być podobna do:

- wybuchu (w tym wybuchu w przestrzeni ograniczonej – VCE oraz wybuchu w przestrzeni nieograniczonej – UVCE) – w pożarach wewnętrznych analogicznym zjawiskiem będzie wybuch **mieszanki dymowo-powietrznej** (ang. *smoke explosion* – wybuch dymu).
- pożaru błyskawicznego (flash fire) – w pożarach wewnętrznych analogicznym zjawiskiem będzie między innymi **rollover** lub inna forma spalania się mieszanki dymowo-powietrznej,
- pożaru strumieniowego (jet fire) – w pożarach wewnętrznych analogiczne efekty mogą towarzyszyć różnym zjawiskom z grupy **ZGP** (jet fire jest to płomień w kształcie strumienia powstający u wylotu gazu wypływającego ze zbiornika ciśnieniowego przez mały otwór).
- kuli ognia (*fire ball*) – w pożarach wewnętrznych analogicznym zjawiskiem będzie kula ognia powstająca w wyniku zjawiska **wstecznego ciągu płomienia**. [30, 56]

Istnieje ogólna definicja ZGP, która mówi, że jest to proces spalania gazów pożarowych istniejących w stanie palnym lub doprowadzonych do tego stanu. [55] Tak ogólna definicja pozwala zawrzeć w sobie szereg zdarzeń, które wymykają się klasycznym mechanizmom rozgorzenia czy backdraftu. Przypomnijmy, że pierwsze z nich jest zapaleniem się paliw stałych w wyniku zapłonu gazów a drugie jest wyrzutem kuli ognia spowodowanej wzrostem ciśnienia wewnątrz pomieszczenia w wyniku spalania spowodowanego napływem powietrza do pożaru nieodwietrzonego i powstaniem skutecznego źródła zapłonu wytworzonej w tym procesie mieszanki palnej.

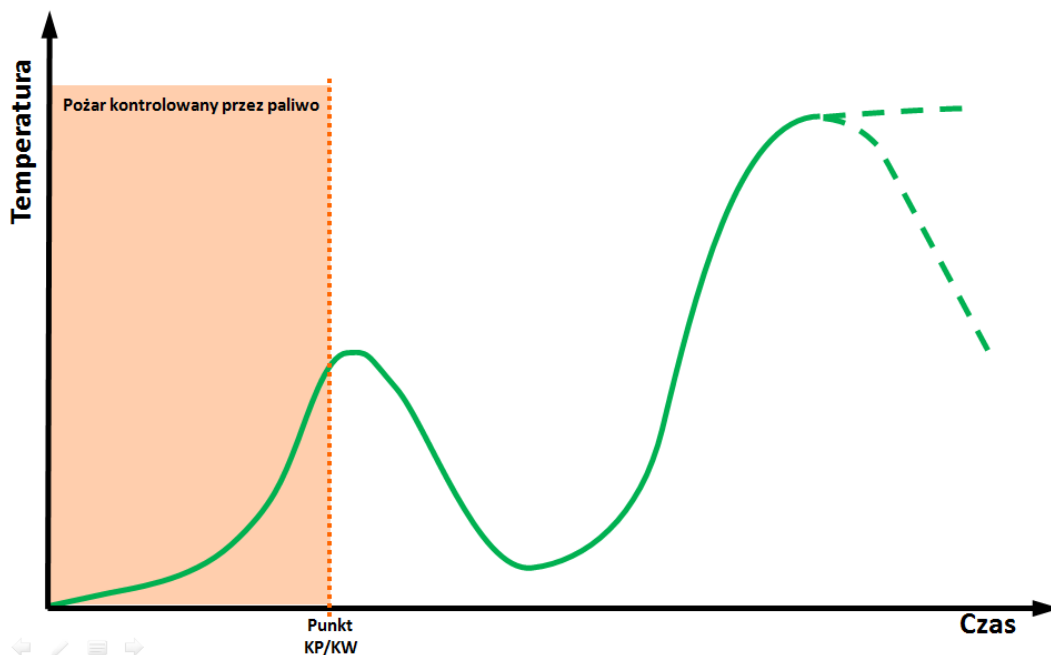
ZAPŁON GAZÓW POŻAROWYCH

Tym mianem określamy zjawisko zainicjowania procesu spalania się nagromadzonych gazów pożarowych i produktów spalania istniejących w stanie palnym lub doprowadzonych do stanu palnego. [30]

Każdy taki zapłon spowodowany jest zazwyczaj w jeden z poniższych sposobów:

- pojawieniem się źródła zapłonu we wstępnie wymieszanej mieszaninie gazów palnych powietrzem,
- przemieszczeniem się takich wymieszanych gazów w kierunku źródła zapłonu,
- przemieszczeniem się bogatej mieszaniny (o stężeniach powyżej GGW) w kierunku obszaru zawierającego tlen i źródło zapłonu,
- lub nagromadzeniem rozgrzanych gazów palnych przemieszczających się poza dany obszar i mieszających się z powietrzem a następnie ulegających samozapłonowi.

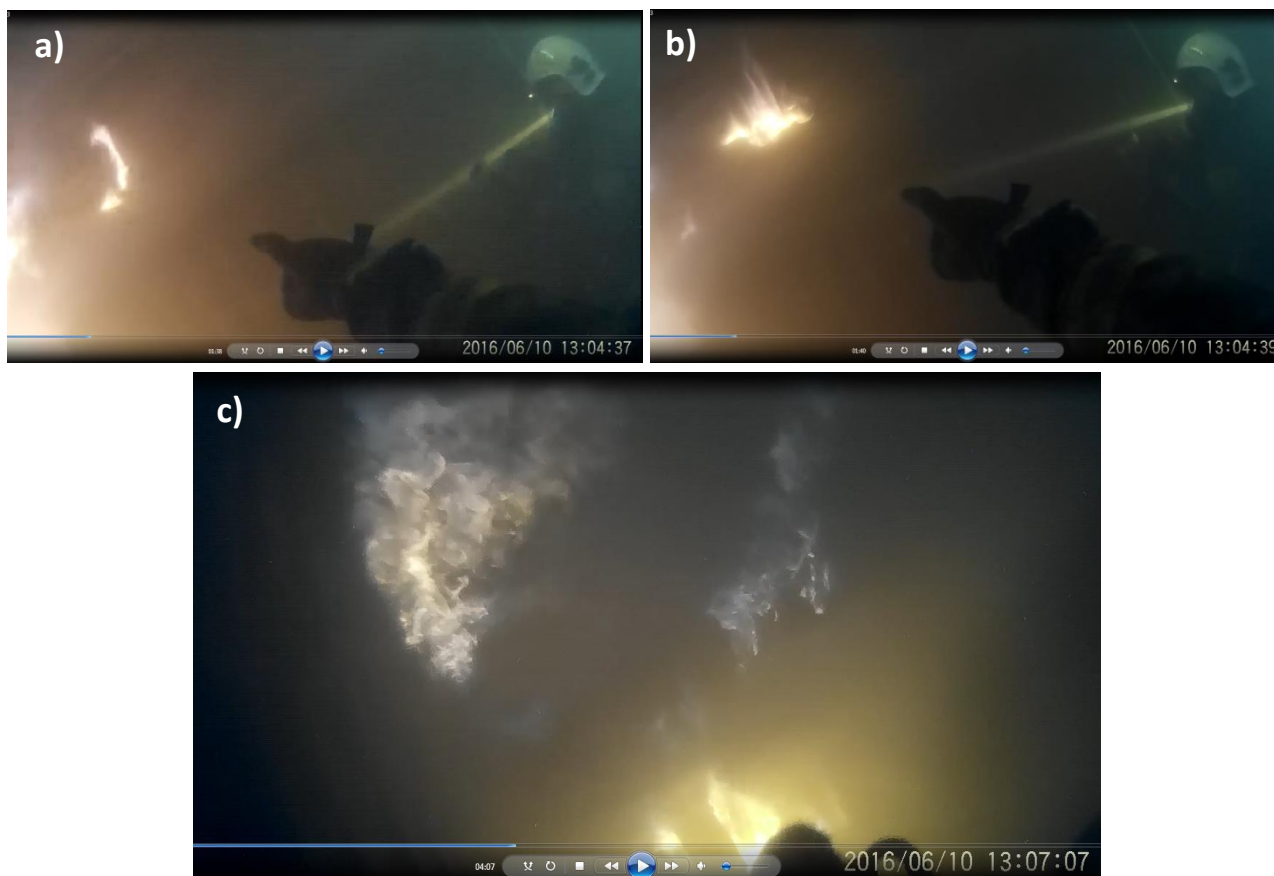
Powyższa definicja pochodzi od Dr Paula Grimwooda i została po raz pierwszy opublikowana w 2002 roku. Jest najbardziej kompletną definicją tej grupy zjawisk. W praktyce powyższe stwierdzenia oznaczają, że gazy pożarowe mogą mieszać się z powietrzem po pojawieniu się zapłonu (spalanie dyfuzyjne), być wstępnie wymieszane i następnie częściowo mieszać się z powietrzem w trakcie spalania lub też być wstępnie wymieszane z powietrzem w stężeniu zapewniającym palność w momencie pojawienia się skutecznego źródła zapłonu (spalanie kinetyczne). **ROZDZIAŁ 2.5.** opisuje szczegółowo charakterystykę tych dwóch rodzajów spalania. Dodatkowo, **ROZDZIAŁ 2.3.** omawia kwestię stężeń (stopnia wymieszania), mającą wpływ na dynamikę następującego procesu spalania.



Rys. 52: Schemat przebiegu zapłonu gazów pożarowych (ZGP). Zależnie od okoliczności, zjawisko może prowadzić do podtrzymania procesu spalania i przejścia w pożar w pełni rozwinięty (pozioma linia przerywana) lub może mieć charakter przejściowy i skutkować wypaleniem mieszaniny palnej gazów pożarowych z powietrzem a następnie powrotem do poprzedniego poziomu dynamiki spalania. Porównaj z rysunkiem 21.

Najczęściej spotykanym rodzajem ZGP jest zjawisko **rollover**. Jak wspomniano w **ROZDZIALE 2.13.1.** w pożarze, przed wystąpieniem zjawiska **rozgorzenia** w dolnej części warstwy zadymienia, czyli w okolicy płaszczyzny neutralnej, pojawiają się płomienie. Mechanizm ich powstawania został również wyjaśniony

wcześniej. Rollover jest jednocześnie najmniej dynamicznym ze zjawisk zaliczanych do grupy zjawisk klasyfikowanych jako ZGP. Zjawisko rollover może powstać w wyniku samozapłonu gazów (zamknięcie trójkąta spalania poprzez dodanie tlenu do mieszaniny) lub być efektem oderwania się płomieni od **Kolumny Konwekcyjnej Ognia** i ich wędrówki wzdłuż **płaszczyzny neutralnej** oraz wzdłuż występujących lokalnie obszarów mieszaniny gazów pożarowych z powietrzem o stężeniach zawartych w zakresie palności. Występuje też zjawisko o znacznie mniejszej dynamice objawiające się jako **oderwane od kolumny konwekcyjnej** języki ognia pełzające pod sufitem. W literaturze oraz w przyjętej nomenklaturze branżowej owo zjawisko określane jest mianem „tańczących aniołów”, „ogni żgących”, „ogniowych zjaw” czy „duchów” (tłumaczenie angielskiego terminu „*ghosting flames*”). Nie jest to tożsame ze zjawiskiem rollover, choć jest zjawiskiem zbliżonym i zaliczanym do grupy zjawisk ZGP.



Fot. 13 a-c: Uchwycone na nagraniu z kamery hełmowej zjawisko przetaczania się płomieni nad głowami strażaków, znane jako **tańczące anioły**. Na powyższych zdjęciach widać różne kształty oraz dynamikę przemieszczania się płomieni.²¹

Najbardziej dynamicznym ze zjawisk zaliczanych do grupy **ZGP** będzie **wybuch dymu**. Jest to bardzo rzadkie zjawisko o niezwykle dynamicznym przebiegu, zdolne niszczyć budynki zupełnie jak wybuch gazu palnego z instalacji lub butli. Siła wybuchy (maksymalne ciśnienie oraz szybkość przyrostu ciśnienia) będą zależęć od kilku czynników:

- szczelność kubatury, w której dochodzi do wybuchu, czyli łączna powierzchnia nieszczelności i/lub otworów, mogących odprowadzić nadciśnienie;
- proporcje mieszaniny gazów palnych z tlenem i gazami obojętymi, wpływające na stężenie mieszaniny (zobacz **ROZDZIAŁ 2.3.** i omówione tam zagadnienie **stężenia stechiometrycznego**);
- odporność elementów konstrukcyjnych budynku na oddziaływanie nadciśnienia (przykłady przedstawia **tabela 9** poniżej);

²¹<https://www.youtube.com/watch?v=izjp8g2PvB4> - „Zapłony gazów pożarowych podczas ćwiczenia demo.”

- czynniki fizykochemiczne procesu spalania, takie jak szybkość spalania (szybkość zachodzenia reakcji, zależna od stężenia mieszaniny – osiągająca najwyższą wartość dla mieszanin o stężeniach zbliżonych do stężeń stechiometrycznych) oraz współczynnik ekspansji (im wyższa temperatura osiągnięta po spalaniu tym większa ekspansja gazów i powstające nadciśnienie). [2, 57]

Wybuch dymu jest zjawiskiem, które teoretycznie może osiągać przyrosty ciśnienia równie nawet **8 bar!** Jest to wartość zdolna zniszczyć każdy element konstrukcyjny standardowego budynku.

Tab. 9: Przykładowe wartości wytrzymałości elementów konstrukcyjnych budynku na nadciśnienie. [2, 57]

| Element konstrukcji | Ciśnienie [mbar] | Ciśnienie [Pa] |
|---|------------------|----------------|
| Szklane okna | 20-70 | 2000-7000 |
| Drzwi do pokoju | 20-30 | 2000-3000 |
| Ściany o lekkiej konstrukcji (drewniany szkielet i deski) | 20-50 | 2000-5000 |
| Podwójna płyta kartonowo-gipsowa | 30-50 | 3000-5000 |
| 10 cm ściana | 200-350 | 20000-35000 |

Analizując powyższą tabelę widzimy, że różne elementy mają różne wartości nadciśnienia, jakie są w stanie wytrzymać. Siła wybiciu dymu, jaką zjawisko może osiągnąć, będzie zależała, jak wspomniano od ilości oraz rodzaju występujących w danej przestrzeni zamkniętej elementów konstrukcyjnych. Im trwalsze elementy konstrukcyjne i mniej nieszczelności, także im mniejsza łączna powierzchnia otworów, które mogą odciążyć siłę wybuchu wewnątrz zamkniętej przestrzeni, tym bardziej katastrofalne w skutkach będą efekty wybuchu dymu w zamkniętej przestrzeni. W skrajnych przypadkach skutkiem takiego zdarzenia może być całkowite zniszczenie budynku lub obiektu prowadzące do awarii lub katastrofy budowlanej, zupełnie jak w przypadku wybuchu gazu w budynku mieszkalnym.

Jak może dojść do **wybuchu dymu**? Zjawisko może wystąpić w pomieszczeniach czy przestrzeniach, gdzie zaczął się proces spalania, ale nie ma stałego dostępu powietrza, poza nieszczelnościami. W miarę wzrostu temperatury ciała stałe zaczynają emitować gazy pożarowe (proces pirolizy) a gorąca warstwa zadymienia obniża się do podłogi obejmując paliwa. Dynamika procesu spada i pożar osiąga względnie stały stan. Trwa produkcja gazów pożarowych. Sytuacja identyczna do tej zapowiadającej zjawisko backdraftu, jednak z drobną różnicą. Przez nieszczelności do pomieszczenia dostaje się tlen i zaczyna się mieszanie paliwa (produktów pirolizy i rozkładu termicznego) z tlenem. W pewnym momencie pojawia się skuteczne źródło zapłonu i dochodzi do wybuchu. Zatem wybuch dymu jest to nagłe spalanie się mieszaniny produktów rozkładu termicznego oraz pirolizy z tlenem powietrzem. Jest to proces spalania kinetycznego, w którym paliwo (gazy pożarowe) oraz utleniacz (tlen z powietrza) są ze sobą wstępnie wymieszane, co znacznie przyspiesza przebieg reakcji i nadaje jej wybuchowy charakter, pozwalając również osiągnąć wyższą temperaturę. To z kolei powoduje większy przyrost ciśnienia, bowiem każdy gaz podnosząc swoją temperaturę zwiększa swoją objętość, czyli tworzy nadciśnienie.

Cechą odróżniającą zjawisko od wstecznego ciągu płomienia jest to, że nie ma miejsca zmiana warunków wentylacji a powietrze przedostaje się przez nieszczelności. Warto pamiętać, że gorące gazy powodują powstanie nadciśnienia, niemniej, kiedy wystygną (powstrzymanie procesu spalania w wyniku braku tlenu) zaczynają się kurczyć. W tym momencie może powstać niewielkie podciśnienie i może dochodzić do sączenia się powietrza do wnętrza wypełnionego dymem. Dodatkowo niektóre paliwa (np. drewno i materiały drewnopochodne) zawierają tlen w swoim składzie chemicznym i jest on uwalniany w procesie pirolizy i rozkładu termicznego. Wybuch dymu jest również możliwy w innym pomieszczeniu, niż to z ogniskiem pożaru.

Analiza studiów przypadków na całym świecie pokazuje, że pojawia się coraz więcej zdarzeń z grupy ZGP, w tym przebiegających z dużą dynamiką. W Przeglądzie Pożarniczym opisano jeden z takich przypadków z Belgii, gdzie w wyniku wybuchu dymu zginęli 2 strażacy a 7 zostało rannych. [58] Zjawisko udaje się również zaobserwować w małej skali podczas pokazów dynamiki rozwoju pożaru za pomocą małych modeli.²² Skłania

²²<https://www.youtube.com/watch?v=40d8TscZ2pQ> - „Demonstracja zjawisk pożarowych, międzynarodowa konferencja ‘Pożary wewnętrzne’ Ryn 22.09.2015 r.”

to do konkluzji, że **świadomość i zrozumienie zagrożeń** oraz **umiejętność prowadzenia rozpoznania ogniowego** to **elementy krytyczne**, mogące przesądzać o **zdrowiu i życiu** strażaków! Temu zagadnieniu poświęcony jest cały **ROZDZIAŁ 3** niniejszego opracowania. Jednym z elementów sprzyjających wszelkiego rodzaju zapłonom gazów pożarowych, w tym wybuchom dymu, są puste ukryte przestrzenie w obiektach (patrz **fot. 14**).



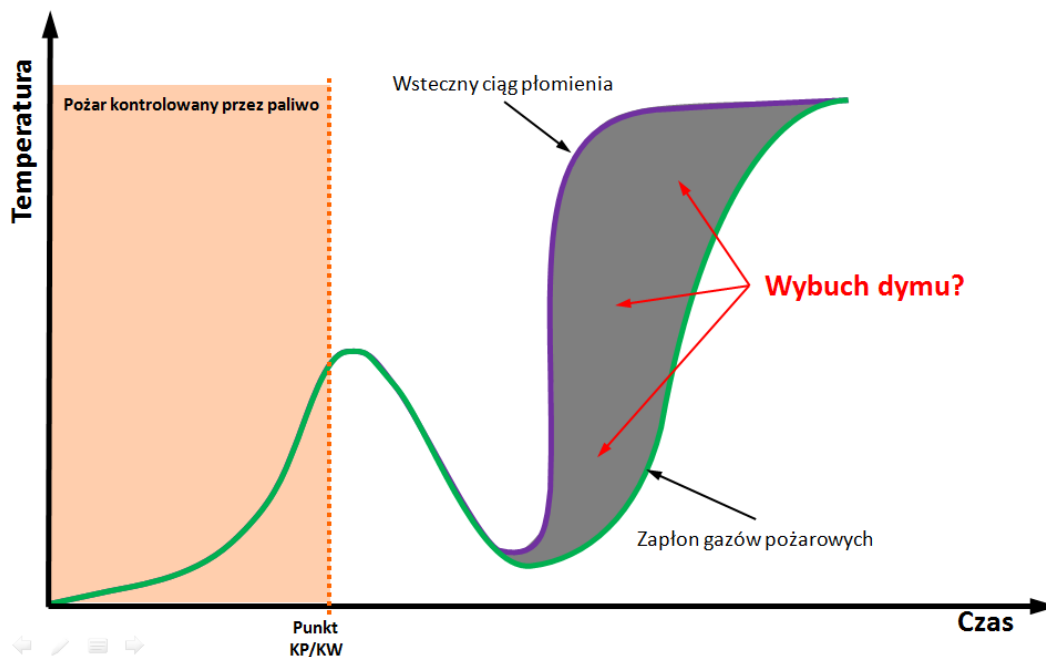
Fot. 14: Puste ukryte przestrzenie w przestrzeni dachowej dyskontu spożywczego. Zdjęcie wykonano w trakcie remontu po pożarze dachu. W momencie przedostania się dymu do przestrzeni pod połacią dachu, jego migracja jest praktycznie nieograniczona i może on rozprzestrzeniać się w bardzo dużej kubaturze. Takie przestrzenie, w których gazy pożarowe mogą się kumulować występują ponadto w różnych obszarach obiektów: szybach i kanałach wentylacyjnych czy technicznych, podwieszanych sufitach i innych obszarach, do których dym może przenikać. Zobacz też **fot. 20** oraz **fot. 21**.

Jaka jest zatem różnica pomiędzy wstecznym ciągiem płomienia a wybuchem dymu? Wyniki badań pokazały, że jest możliwe, aby podczas pożaru w zamkniętym pomieszczeniu doszło do niespodziewanego wybuchu bez zmian w profilu wentylacyjnym. [59, 60] Wybuch dymu jest zjawiskiem oddzielnym od wstecznego ciągu płomienia, który powodowany jest zmianą w warunkach wymiany gazowej (zmiana profilu wentylacji). Do wstecznego ciągu płomienia może dojść na przykład w wyniku wybicia okna lub otwarcia drzwi przez strażaków wchodzących do pomieszczenia. Ta nowopowstała ścieżka dopływu tlenu powoduje powstanie prądu grawitacyjnego wędrującego przy podłodze do miejsca, w którym napotka skuteczne źródło zapłonu a strefa reakcji (czoło płomienia) przemieści się wzdłuż wytworzonej przez oddziaływanie prądu grawitacyjnego mieszaniny palnej, dając efekt w postaci wyrzutu kuli ognia poza owo pomieszczenie.

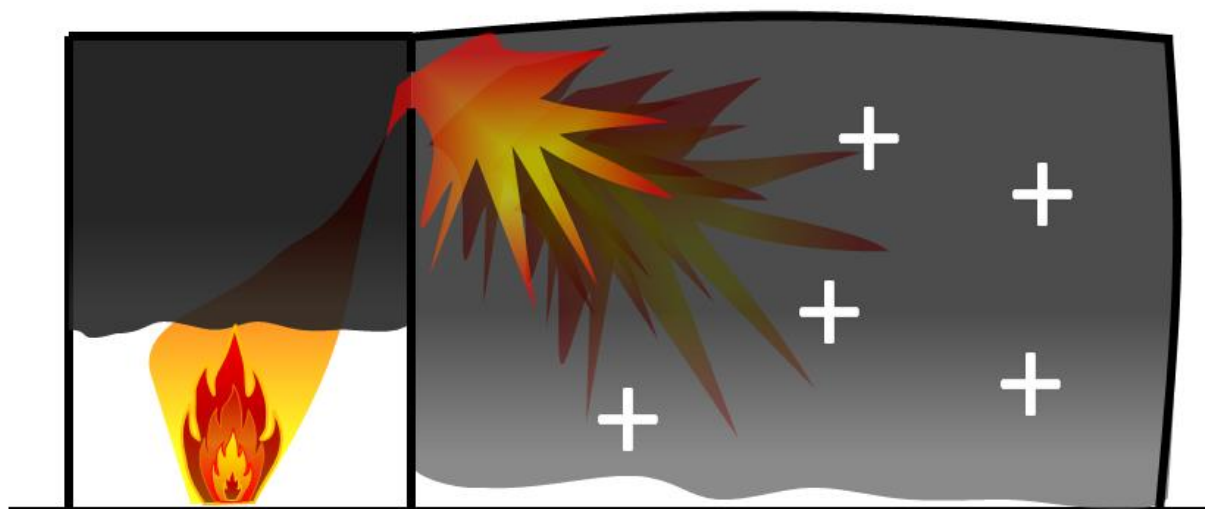
Idąc dalej tym tropem:

- czym różni się backdraft od rozgorzenia wywołanego wentylacją?
- jakie cechy charakterystyczne ma samozapłon gazów pożarowych wydostających się z otworu wentylacyjnego?
- gdzie leży różnica między rozgorzeniem a wybuchem gazów pożarowych?
- i czy to ma jakieś głębsze znaczenie?

Podstawową rzeczą, jaką musi zrozumieć i zaakceptować każdy strażak jest to, że **DYM JEST PALIWEM!** Nie ma bezpiecznego dymu. Każdy dym może się spalać. Każdy jest niebezpieczny. Zależnie od tego, w jaki sposób dojdzie do zamknięcia trójkąta spalania i wytworzenia czwartego elementu, jakim są wolne rodniki (spalanie płomieniowe), istnieje szereg możliwych mechanizmów powstawania różnorodnych, niebezpiecznych zjawisk pożarowych. Zrozumienie różnic pomiędzy tymi zjawiskami oraz ich mechanizmami pomoże strażakom lepiej pojąć zagrożenia, z jakimi wiąże się zwalczanie pożarów wewnętrznych. To z kolei pozwoli mu działać według wspomnianej filozofii: **ROZPOZNAWAĆ – ZWALCZAĆ – ZAPOBIEGAĆ – UNIKAĆ**.



Rys. 53: Palność dymu, swoboda przepływów i wynikająca z tego duża zmienność warunków powodują, że występuje wiele tzw. „szarych obszarów”, czyli sytuacji mających cechy wspólne różnych zjawisk. U podłoża ich wszystkich leży fakt, że dym jest palny. Podstawową metodą neutralizacji dymu, jest jego rozrzedzenie za pomocą mgły i pary wodnej.



Rys. 54: Gazy pożarowe, które przedostały się przez nieszczelności do sąsiedniego pomieszczenia ulegają zapłonowi od przemieszczającego się płomienia. Pojawia się nadciśnienie (symbolizowane znakiem +) mogące niszczyć elementy konstrukcji i powodujące wyptyw gazów (ewentualnie płomienia) przez nieszczelności.[2]

Wspomniano wcześniej o paliwach, które w dymie są odpowiedzialne za zjawisko wstecznego ciągu płomienia. Podobnie w przypadku ZGP, to **niespalone produkty pirolizy i rozkładu termicznego (węglowodory)** będą głównym paliwem powodującym występowanie zjawisk. Tlenek węgla, podobnie jak we wcześniej omawianym przypadku, będzie oczywiście spalał się w momencie powstania zjawiska, lecz nie będzie odpowiedzialny na mechanizm jego powstawania.

W jakich warunkach spalania możliwe jest zaistnienie zjawiska wybuchu dymu? Teoretycznie w każdym, ale skupimy się na opisanu warunków, w których jest to najbardziej prawdopodobne. Są to warunki niedowietrzenia pożaru i braku dynamicznej wymiany gazowej. Pożar musi zazwyczaj przejść w ustabilizowany stan wygasania przy zachowaniu względnie wysokiej temperatury, pozwalającej na ciągłą produkcję gazów pożarowych (około 200°C). Im wyższa jest temperatura tym bardziej prawdopodobne

wystąpienie zjawiska. Nie jest wymagany dostęp powietrza. Zjawisko to jest bardzo prawdopodobne, gdy gazy pożarowe mogą przesączać się i migrować do zamkniętych przestrzeni, strychów itd. Warto zauważyć, że podwyższona temperatura dymu nie jest warunkiem niezbędnym – doświadczenia w małej skali pozwalają wywołać zjawisko przy temperaturze dymu równej już około 40°C! Aby zapobiegać wybuchom dymu należy chłodzić i rozrzedzać gazy pożarowe (mgłą wodną, najlepiej aplikowaną lancami – bez dopuszczania powietrza). Sprawdzą się też wentylacja sekwencyjna – kolejne, metodyczne oddymianie przestrzeni odizolowanych od płonących pomieszczeń, do których dym sączył się przez nieszczelności. Źródła zapłonu stanowią zagrożenie (płomień, żar, gorąca powierzchnia), zatem należy odizolować je od gazów pożarowych – ugasić i schłodzić źródła zapłonu i/lub usunąć dym. Możliwe jest też użycie gaśnicy proszkowej. Drobin proszku będą stanowić **balast termalny** (niepalny, obniżający temperaturę mieszaniny składników dymu). Ponadto wyłapują wolne rodniki i uniemożliwiają powstanie płomienia, niezbędnego do zaistnienia omawianego zjawiska. Metody zapobiegania negatywnym skutkom zjawisk zostały opisane w dalszej części opracowania.

2.13.4. Uderzenie aerodynamiczne oraz pożar napędzany wiatrem

Niniejszy rozdział ma na celu przyjrzenie się przede wszystkim aerodynamicznym procesom wpływającym na pożar. Efekty fizykochemiczne, przekładające się na dynamikę procesu spalania, będą nieodłączną częścią tych procesów, zgodnie z tym, co opisano wcześniej (zobacz **ROZDZIAŁY 2.1.2., 2.2, 2.7.1., 2.10.2, 2.11.** oraz **2.13.1.**). Jednakże zbyt często uwadze strażaków i dowódców na całym świecie umykają pewne zjawiska typowo fizyczne, mające potem bardzo poważne konsekwencje w sferze fizykochemicznej, czyli sferze spalania i dynamiki rozwoju pożaru. Już na wstępie można dodać, że niniejszy rozdział będzie stanowił podbudowę kolejnego z rozdziałów, traktującego o **wentylacji taktycznej**.

Zacznijmy od zjawiska **uderzenia aerodynamicznego**. Owo hasło pojawia się od czasu do czasu, niemniej brak odpowiedniego ujęcia w literaturze opisującej zagadnienie powoduje, że strażacy nie potrafią na ogół wyjaśnić, na czym owo zjawisko polega. Niemniej istnieje podana niegdyś definicja zdarzenia, którą prof. dr hab. Jerzy Wolanin opublikował na łamach Przeglądu Pożarniczego. [61] Konsultacje osobiste z prof. Wolaninem, jakie towarzyszyły pisaniu tego opracowania, pozwoliły ustalić, że inspiracją do opisu zjawiska był przypadek, który miał miejsce w Bułgarii. W hali przemysłowej objętej pożarem udrożnienie komina spowodowało tak intensywny napływ powietrza, że obecne tam osoby poczuły podmuch, który niemal zwałił je z nóg! Przytoczmy zatem istniejącą definicję zjawiska.

UDERZENIE AERODYNAMICZNE

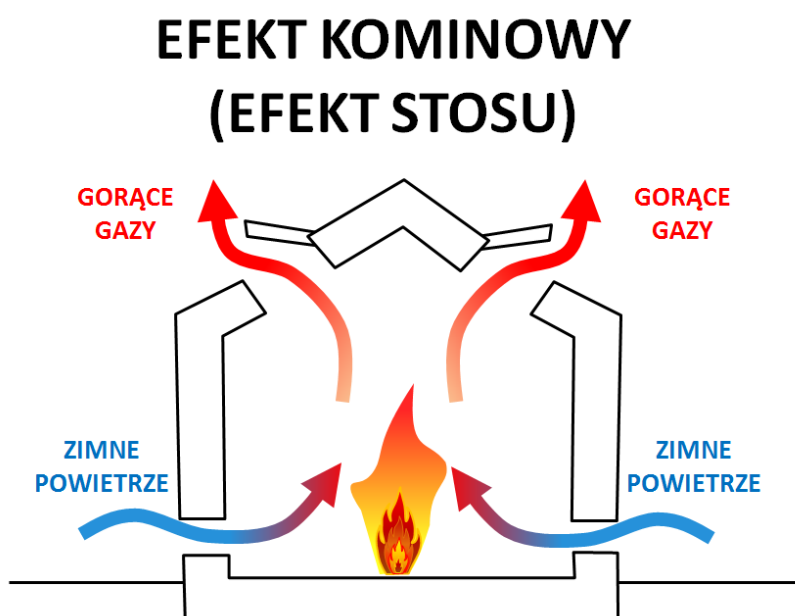
Uderzenie aerodynamiczne powstaje w wyniku naruszenia równowagi termicznej w środowisku pożaru, wywołanego niekorzystnym układem i wielkością otworów wentylacyjnych (np. **gwałtowne** otwarcie lub wybicie okna powyżej miejsca pożaru, lub okna „zanurzonego w dymie”). Objawia się gwałtownym, groźnym dla otoczenia, przemieszczaniem się masy powietrza, skurczeniem się strefy zadymienia i wypełnieniem przestrzeni powietrzem docierającym z zewnątrz, o znacznie większej gęstości, czemu towarzyszą charakterystyczne efekty dźwiękowe. [61]

Zwróćmy uwagę na istotne elementy tej definicji:

- naruszenie równowagi termicznej;
- niekorzystny układ i wielkość otworów wentylacyjnych;
- gwałtowne otwarcie lub wybicie okna;
- przemieszczenie masy powietrza;
- skurczenie strefy zadymienia i wypełnienie przestrzeni powietrzem z zewnątrz o znacznie większej gęstości;
- efekty dźwiękowe.

Zacznijmy omawianie od przypomnienia, że skupimy się na **fizycznych** aspektach zjawiska, fizykochemię spalania odkładając chwilowo na peryferie. Dokładnie, jak sugeruje to nazwa zjawiska, przeanalizujemy „uderzenie”, czyli „pchnięcie” dokonane w sposób **aerodynamiczny**, czyli poprzez ruchy mas gazów.

Uderzenie aerodynamiczne powiązane jest z tzw. **efektem kominowym**, znanym też jako **efekt stosu** (ang. odpowiednio „*chimney effect*” i „*stack effect*”). Ów efekt polega na tym, że powietrze ogrzewające się we wnętrzu obiektu zmniejsza gęstość i unosi się. Ogrzewanie następuje w wyniku obecności ciepła we wnętrzu. Dodatkowo ogrzewające się powietrze zwiększa swą objętość. Wzrasta ciśnienie w górnej części obiektu i powietrze zostaje wypchnięte na zewnątrz przez nieszczelności. Powoduje to zassanie (podciśnienie) w dolnej części przez nieszczelności chłodniejszego powietrza z zewnątrz. Ten sam mechanizm podczas pożaru jest znacznie spotęgowany w wyniku dużych różnic temperatur.



Rys. 55: Efekt kominowy, zwany czasem efektem stosu: w wyniku ogrzania gazów powstaje nadciśnienie w górnej części i podciśnienie w dolnej części obiektu, powodując ciągły grawitacyjny przepływ gazów.

Z poprzednich rozdziałów wiemy, że w wyniku spalania powstaje dym, który jest gorący. W miarę wzrostu temperatury maleje jego gęstość – cząsteczki mają więcej energii i poprzez ich dynamiczniejsze ruchy tworzą większe przestrzenie między sobą. Tworzy się strefa zadymienia, oddzielona od strefy wolnej od zadymienia płaszczyzną neutralną (zobacz **ROZDZIAŁ 2.9.**). Ta obniża się w miarę przybywania dymu, aż do momentu osiągnięcia poziomu podłogi i wypełnienia całego pomieszczenia, jeśli dym nie ma innego ujścia. Jeśli dym posiada inną drogę wędrowki to w myśl praw fizyki będzie rozprzestrzeniał się tam, gdzie występuje niższe ciśnienie.

Gorący dym, zgodnie z teorią opisaną w **ROZDZIALE 2.8.** będzie charakteryzował się nadciśnieniem i to jest przyczyną jego rozptywania się we wszystkich możliwych kierunkach (zaczynając od góry z uwagi na siłę wyporu powodowaną wyższą temperaturą i niższą gęstością, następnie na boki a na koniec w dół). Nadciśnienie powstaje, ponieważ gaz o niższej gęstości (wynikającej z wyższej temperatury) gromadzi się na górze i zanim jego masa wymiesza się z dużo chłodniejszym powietrzem będzie on musiał kumulować się w strefie podsufitowej. Zjawisko to nazywane jest stratyfikacją²³. Będzie też wskutek nadciśnienia wywierał nacisk na wszelkie elementy ograniczające go fizycznie. Jeśli w uproszczeniu pożar osiągnie stan względnie ustabilizowany, czyli nie podlega żadnym wymuszonym przepływowom (zobacz **ROZDZIAŁ 2.2.**), ani nie mają właśnie miejsca żadne zjawiska pożarowe (zobacz **ROZDZIAŁ 2.13.**), to można przyjąć, że występuje pewien stan równowagi termalnej.

²³ Stratyfikacja – podział czegoś na warstwy. Stratyfikacja termiczna – układ warstw różniących się temperaturą.

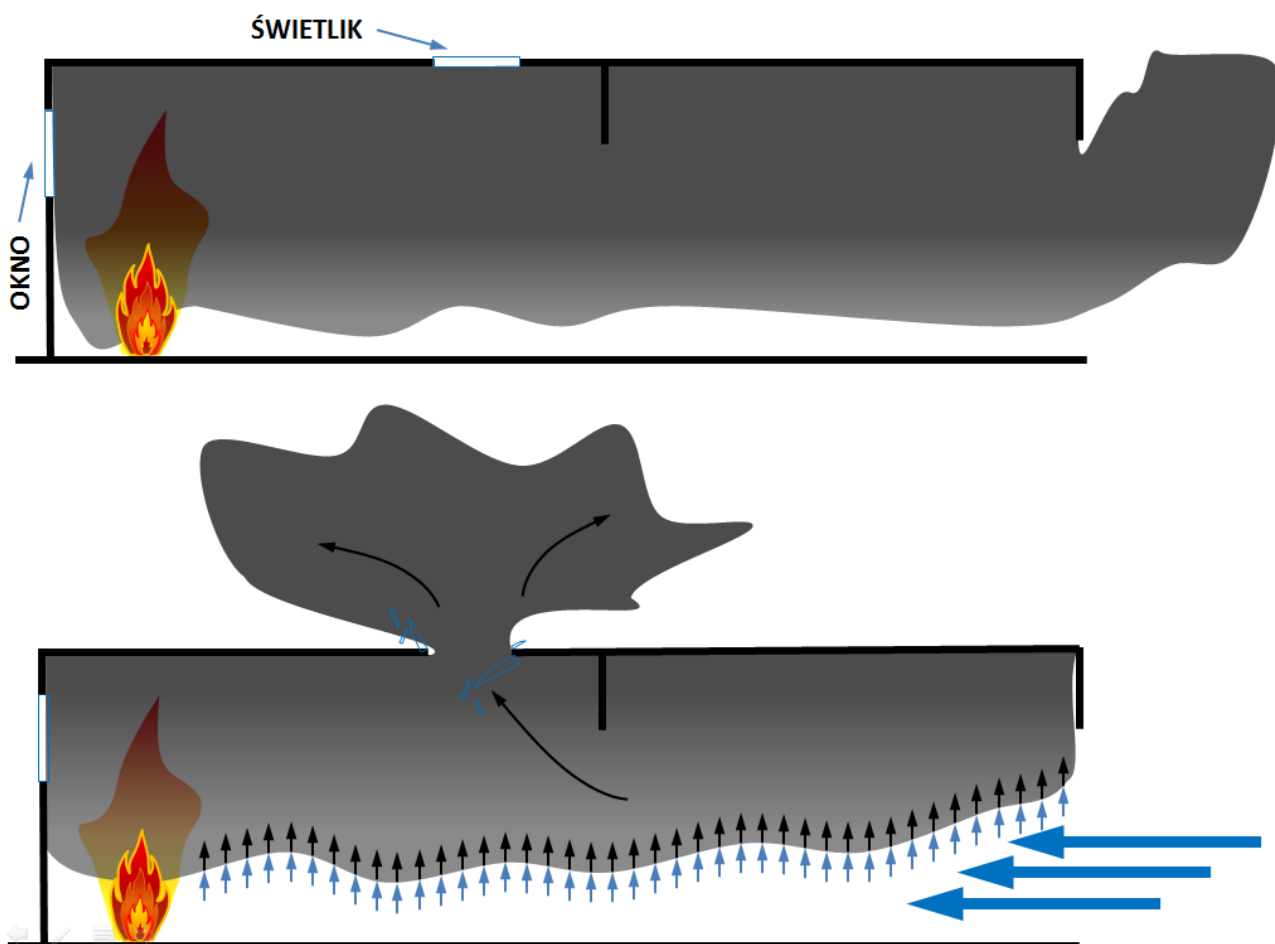
Załóżmy, że w wyniku oddziaływania pożaru dochodzi do pęknięcia szyb w świetliku. Powoduje to wydostanie się masy gorącego dymu, co doprowadza do podniesienia się płaszczyzny neutralnej. Zupełnie jak przy działaniu tłoka w silniku przy ruchu zwrotnym powoduje to wystąpienie podciśnienia poniżej płaszczyzny neutralnej i zassanie do środka masy powietrza. Jako gaz o niższej temperaturze oraz większej gęstości nie zmiesza się on nagle z dymem, natomiast będzie powodować jego szybsze wydostawanie się przez otwór. Podobna sytuacja mogłaby wystąpić, gdyby zamiast świetlika doszło do wybicia lub nagłego otwarcia okna, które jest całkowicie otoczone dymem („zanurzone” w dymie tzn. płaszczyzna neutralna znajduje się poniżej jego dolnej krawędzi). Zjawisko przedstawiono graficznie na **rysunku 55**.

Można powiedzieć, że dynamika zjawiska napędzana jest dwoma procesami:

- uchodzeniem dymu i tworzeniem w ten sposób podciśnienia oraz napływem powietrza, ze względu na różnicę temperatur oraz gęstości (prąd grawitacyjny);
- zasysanie powietrza do ogniska pożaru ze względu na jego niezbędną obecność w procesie spalania.

Zjawisko uderzenia aerodynamicznego będzie miało różną dynamikę, zależną od kilku czynników, m.in.: różnicy temperatur, różnicy poziomów wypływu dymu i napływu powietrza czy wielkości otworów: odprowadzającego dym i doprowadzającego powietrze.

W świetle wiedzy zawartej w poprzednich rozdziałach, naturalną konsekwencją doprowadzenia powietrza do strefy spalania, szczególnie przy pożarze kontrolowanym przez wentylację, będzie intensyfikacja pożaru i wzrost szybkości wydzielania ciepła (mocy pożaru). W związku z tym, jak wspomniano na wstępie rozdziału, świadomość możliwości wystąpienia tego typu zjawisk będzie jednym z fundamentów wdrażania przemyślanych i celowych algorytmów postępowania z zakresu **wentylacji taktycznej**.



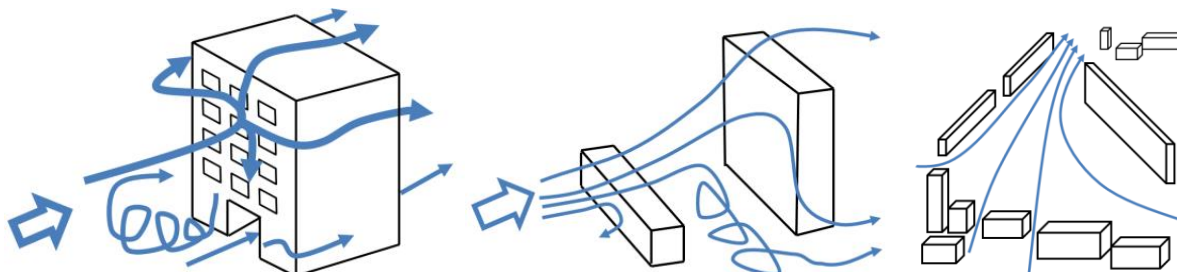
Rys. 56: W wyniku pęknięcia świetlika doszło do nagłego uwolnienia zgromadzonego, gorącego dymu, który silnie napierał na płaszczyznę świetlika. Grawitacyjne intensywne wypłynięcie dymu tworzy sferę podciśnienia poniżej płaszczyzny neutralnej, w wyniku czego dochodzi do bardzo intensywnego zassania powietrza z zewnątrz.

Analizując powyższy opis można skonstruować, że opisane zjawisko wiąże się z ruchem mas powietrza wywołanym zassaniem (podciśnieniem). Z punktu widzenia aerodynamiki ważne będzie też zjawisko wtłoczenia powietrza (w wyniku nadciśnienia), do którego dochodzi głównie w wyniku oddziaływania podmuchu wiatru. Taki pożar wewnętrzny, w którym dochodzi do intensyfikacji rozwoju i rozprzestrzeniania pożaru w wyniku oddziaływania podmuchów wiatru będzie oddzielnym zjawiskiem wymagającym zgłębienia. W niniejszym opracowaniu będzie on opisywany jako **pożar napędzany wiatrem** (ang.: *Wind Driven Fire*). Jako pożar napędzany wiatrem będziemy traktować każdy pożar, którego rozwój lub szybkość wydzielania ciepła kontrolowane są przez wiatr. Mówimy zatem o przepływie wymuszonym, w odróżnieniu od przepływu naturalnego, grawitacyjnego. Aby wystąpił pożar napędzany wiatrem w budynku musi istnieć **tor wymiany gazowej (ścieżka przepływu)**. Naukowcy badający owe zjawiska przyjmują za oznakę takiego pożaru to, że gorące gazy lub płomień wydostają się z otworu wentylacyjnego w kierunku poziomym. [62] Strażacy często nazywają taki pożar mianem „palnika”, bowiem wyrzut płomieni z okna przypomina działanie tego urządzenia. W badaniach najczęściej za taki pożar uważa się zjawisko, w którym gazy są dobrze wymieszane z powietrzem (duże turbulencje wywołane intensywnym przepływem i różnicami temperatur) a w pomieszczeniu występują porównywalne temperatury na różnych poziomach od sufitu do podłogi, rzędu co najmniej 400°C. Z powodu wymuszonego przepływu tor wymiany gazowej może być różny, niekoniecznie prosty i przebiegający jedynie w poziomie. Jeżeli nie tworzy się ścieżka przepływu przez obiekt w układzie: wlot – pożar – wylot, wówczas nie może dojść do wystąpienia pożaru napędzanego wiatrem (zobacz **rysunek 28**). Prędkości wiatru już pomiędzy 15-30 km/h mogą powodować istotne oddziaływanie na pożar.

POŻAR NAPĘDZANY WIATREM

jest to każdy pożar, którego rozwój lub szybkość wydzielania ciepła są kierowane bezpośrednio poprzez wymuszone przepływy powietrza w budynku, powodowane ruchami powietrza na zewnątrz, czyli wiatrem.

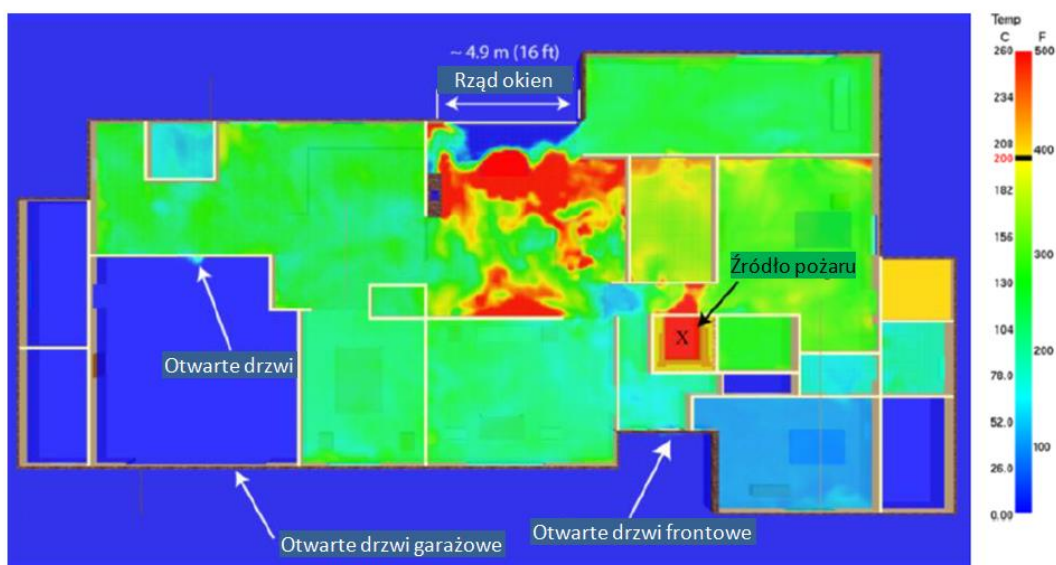
Aby przeanalizować zjawisko przyjrzyjmy się najpierw kwestii prądów powietrznych, tworzących przepływy czy ruchy powietrza, potocznie nazywane wiatrem. Owe przepływy wywołane są przez różnice ciśnień, które biorą się z różnic temperatur. Na ich przebieg dosyć mocno wpływa środowisko zabudowane. Z jednej strony zakłóca i osłabia podmuchy, gdyż budynki stanowią przeszkodę fizyczną dla przepływów. Z drugiej strony wprowadza turbulencje i zmienia lokalnie obszary ciśnienia, z uwagi na ukształtowanie między zabudowaniami i zielenią miejską kanałów do przepływu wiatru, a także ze względu na mikroklimat obszarów zabudowanych, charakteryzujący się wyższą temperaturą aniżeli otwarte przestrzenie pozbawione sztucznych obiektów. Należy dodać, że na otwartej przestrzeni wiatr nie jest niczym ograniczony i często jego oddziaływanie na pożar jest większe. Analogicznie, na pewnych wysokościach w terenach zabudowanych wiatr również nie jest niczym ograniczony, toteż podczas pożarów na wyższych kondygnacjach wiatr najczęściej stanowi dodatkowe poważne zagrożenie.



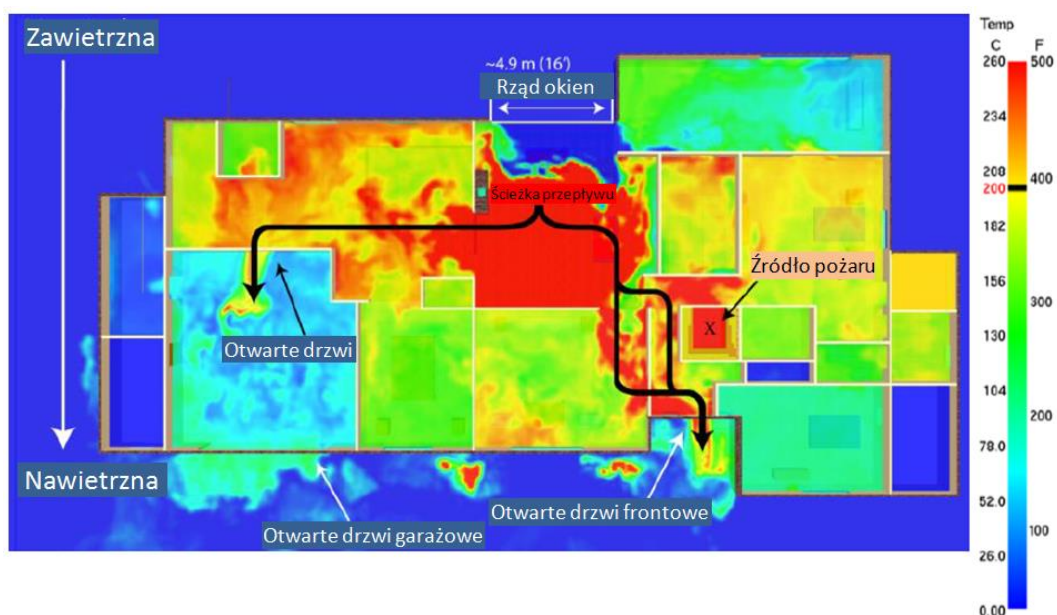
Rys. 57: Różne zjawiska związane z oddziaływaniem terenu zabudowanego na wiatr. Po **lewej:** zjawisko opływania budynków. Widać zakrzywienia przepływów oraz tworzące się turbulencje. W **środku:** powstawanie tzw. prądów poprzecznych, czyli zmiana kierunku wiatru wynikająca a napotkania dużej przeszkody. Po **prawej:** efekt Venturi, czyli przyspieszenie przepływu wynikające z przewężenia kanału, w którym przepływ ma miejsce. [63, 64]

Łatwo wyciągnąć wniosek, że zagrożenie **pożarem napędzanym wiatrem** będzie o wiele bardziej powszechne w budynkach średniowysokich i wyższych, z uwagi na łatwiejsze przemieszczanie się mas powietrza w pewnej odległości od poziomu gruntu ze względu na mniejszą liczbę budynków hamujących podmuchy wiatru. Niemniej należy zapamiętać, że do takiego pożaru może dojść również w obiekcie niskim, szczególnie jeśli nie jest osłonięty od wiatru innymi budynkami lub zielenią. Tego typu informacje, wraz z rozpoznaniem warunków wiatru, należy sprawnie zebrać w pierwszej fazie działań. Zagadnienie opisano w szczegółach w dalszej części opracowania (w szczególności w **ROZDZIALE 3.4.**).

12 kwietnia 2009 roku w Houston w Teksasie doszło do pożaru napędzanego wiatrem, w którym życie straciło dwóch strażaków. Amerykański Krajowy Instytut Standardów i Technologii (NIST) przeprowadził rekonstrukcję pożaru, między innymi wykorzystując oprogramowanie FDS, wykonujące symulacje numeryczne dynamiki rozwoju pożarów. [65] W wyniku dochodzenia udało się ustalić przebieg zdarzenia i okoliczności wypadku śmiertelnego strażaków. Zginęli oni wskutek niezwykle dynamicznego rozwoju i rozprzestrzenienia pożaru, wywołanych jak się okazało silnym wiatrem panującym w tym dniu na miejscu zdarzenia. Krytycznym momentem było wytworzenie się napędzanej wiatrem ścieżki przepływu między wnęką od strony nawietrznej a drzwiami wejściowymi od strony zawietrznej. Doszło do tego w wyniku pęknięcia wielu szyb w przeszklonej ścianie we wspomnianej wnęce na tyłach obiektu, będącej punktem widokowym na ogród. Doszło do natychmiastowego wzrostu temperatur na całej wysokości pomieszczeń wzdłuż ścieżki przepływu, gdzie kilka zespołów strażaków wykonywało swoje czynności. W symulacji FDS pozbawionej wiatru wytworzenie podobnej ścieżki nie nastąpiło. Pozwoliło to uznać wiatr za główny czynnik mający decydujący wpływ na rezultat tego zdarzenia. Na poniższych zdjęciach (**Fot. 15 i 16**) można zaobserwować zmiany powodowane przez wiatr, odtworzone za pomocą symulacji FDS.



Fot. 15: Symulowane temperatury na wysokości 1,5 metra 10 sekund po pęknięciu szyb. Eksperyment **bez uwzględnienia wpływu wiatru**. Dzięki uprzejmości NIST [65]

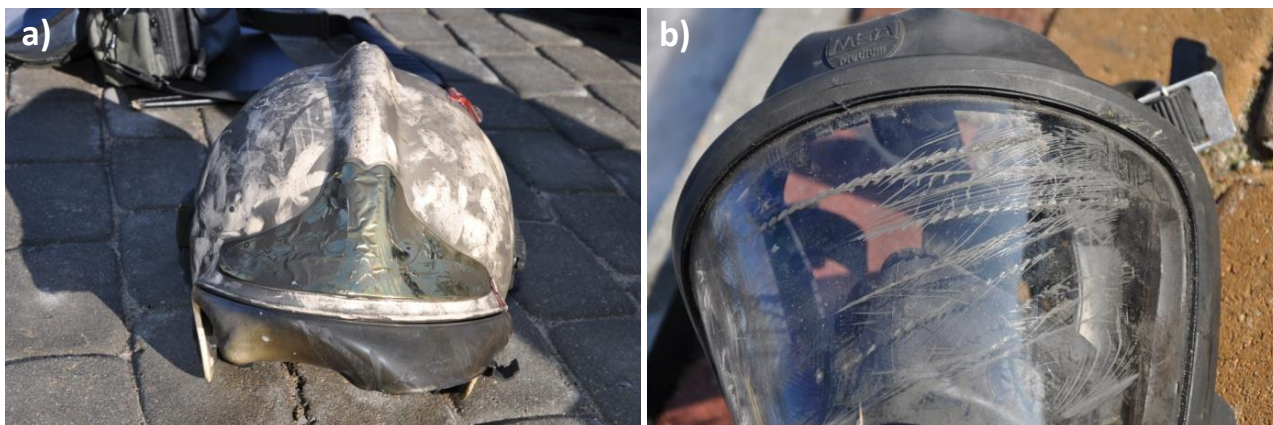


Fot. 16: Symulowane temperatury na wysokości 1,5 metra 10 sekund po pęknięciu szyb. Ekspertyza z uwzględnieniem wpływu wiatru. Dzięki uprzejmości NIST [65]

16 lutego 2015 roku w Rejczuchach (gmina Barczewo, powiat olsztyński) doszło do pożaru pustego kurnika. Strażacy przybyli jako pierwsi na miejsce zdarzenia zgłosili, że pożar ma mało intensywny przebieg. Warunki pozwoliły na wejście do wnętrza i prowadzenie działań gaśniczych. W pewnym momencie doszło do stopienia okien wykonanych z pleksiglasu a wiejący tego dnia wiatr zaczął napędzać i rozdmuchiwać pożar. Strażacy ratowali się ucieczką. Trzech z nich doznało poparzeń a dwóch kolejnych zatrucia wziewnego dymem.

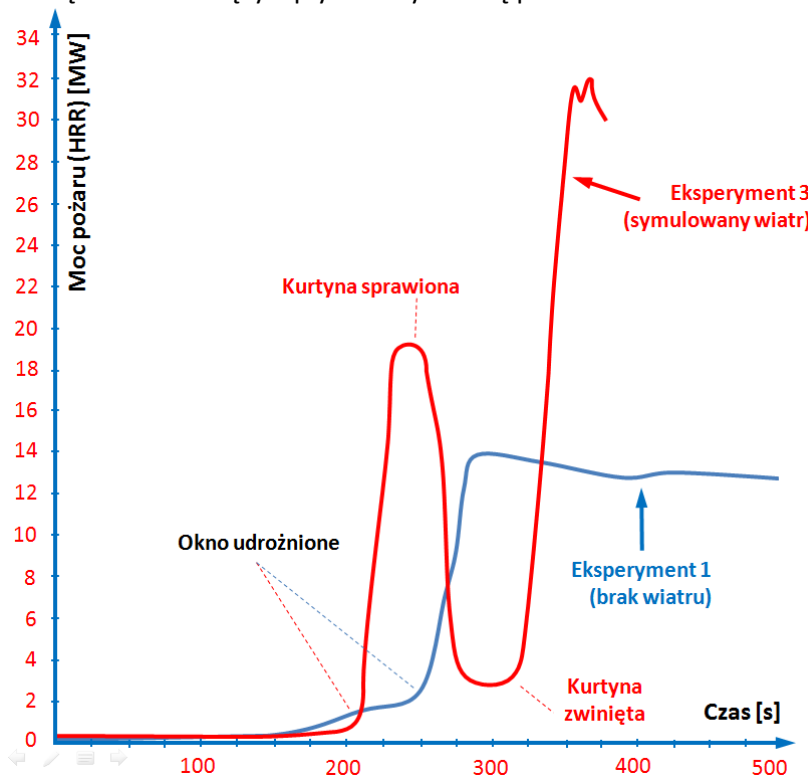


Fot. 17: Pożar kurnika napędzany wiatrem w miejscowości Rejczuchy w dniu 16 lutego 2015 r. Wytworzenie ścieżki przepływu spowodowało bardzo szybki i intensywny rozwój i rozprzestrzenienie pożaru. Analizując kierunek wędrówki dymu można stwierdzić obecność silnego wiatru oraz jego wpływ na dynamikę zdarzenia. W tym momencie, w obiekcie przebywa 3 strażaków a kolejnych dwóch znajduje się po drugiej stronie obiektu, w pobliżu wejścia w połowie obiektu, które stało się wylotem dla dużych ilości dymu. (fot. Grzegorz Szewczyk)



Fot. 18 a-b: Środki Ochrony Indywidualnej strażaków, którzy ewakuowali się z płonącego kurnika w Rejczuchach. Ślady stopionego plastiku na hełmie oraz izolacja przewodów elektrycznych przyklejona do wizjera maski pozwala wyobrazić sobie trudności, z jakimi zmierzli się strażacy w wyniku nagłego pojawienia się **pożaru napędzanego wiatrem**. W trakcie ucieczki przewody elektryczne zaczepiły i ściągnęły hełm z głowy jednego ze strażaków (fot. KM PSP w Olsztynie).

Badaniom nad wpływem wiatru poświęcono w ostatnich latach sporo uwagi, bowiem zdarzenia te mają potencjał do stwarzania śmiertelnego zagrożenia dla strażaków. [22, 62, 65] Porównując podobne zdarzenia z udziałem wiatru oraz bez niego, zaobserwowano szereg prawidłowości (zobacz **rysunek 58**). Poziomy emisji energii cieplnej są znacznie wyższe przy oddziaływaniu wiatru. W testach wykorzystano też specjalne urządzenie zwane Wind Control Device (Urządzenie do Kontroli Wiatru). Jest to specjalna kurtyna, którą strażacy mogą opuścić z wyższego piętra, aby zasłonić okno i zatrzymać wpływ wiatru na pożar. Jej użycie a następnie zwinięcie ma znaczący wpływ na dynamikę pożaru.



Rys. 58: Porównanie mocy pożarów z wystąpieniem **pożaru napędzanego wiatrem** (linia czerwona) i bez wystąpienia tego zjawiska (linia niebieska). [62]

2.14. Pożar pomieszczenia a pożar obiektu.

Skoro omówiliśmy już całość zagadnień związanych z rozwojem pożarów w pomieszczeniach, należy zamknąć całość wskazując istotne różnice, jakie występują pomiędzy pożarami w pomieszczeniach

a pożarami w obiektach. Inaczej mówiąc, niniejszy rozdział skupi się na wskazaniu istotnych różnic pomiędzy pożarem zawartości pomieszczenia a pożarem rozprzestrzeniającym się na kilka pomieszczeń i/lub elementy konstrukcyjne (pożarem obiektu) Od wymienionych poniżej prawidłowości istnieją oczywiście odstępstwa, jednakże najczęściej sytuacja wygląda w sposób tu opisany.

- **Ilość paliwa objętego spalaniem.** Pożar pojedynczego pomieszczenia najczęściej pozwoli na objęcie procesem spalania mniejszej ilości paliwa, aniżeli w przypadku pożaru kilku pomieszczeń. Jeśli dojdzie do zajęcia się palnych elementów konstrukcji, wówczas paliwa biorącego udział w pożarze będzie jeszcze więcej. W pewnej części będzie to paliwo ukryte (a zatem również pożar ukryty). Łatwiej jest gasić pożar pomieszczenia, gdzie większość spalającego się paliwa znajduje się w zasięgu prądu gaśniczego i na ogół nie wymaga znacznego przemieszczania po zajęciu dogodnej pozycji. Trudniej opanować sytuację, kiedy paliwo spala się w kilku pomieszczeniach i należy przemieszczać się, aby gasić kolejne ogniska podczas gdy te jeszcze nie ugaszone nadal produkują ciepło i gazy pożarowe.
- **Dynamika spalania** będzie większa podczas pożaru obiektu. Pożar osiągnie na ogół większą moc. W związku z tym większa ilość paliw produkować będzie gazy pożarowe. Wystąpi również zwiększone ryzyko ich przenikania w niezauważony sposób i tworzenia ryzyka powstawania zjawisk z kategorii ZGP.
- **Większa ilość wody** niezbędna będzie do ugaszenia pożaru w obiekcie. Mogą być również konieczne do zastosowania szczególne sposoby gaszenia lub wykorzystanie szczególnych rodzajów armatury (pożary ukryte). **Wyższe będą wymagane wydajności** podawania wody (ilość wody w czasie) oraz większe znaczenie będzie miał właściwy dobór armatury.
- W wyniku zajęcia się **elementów konstrukcyjnych** lub **obszarów dachowych** wystąpi większe ryzyko awarii i katastrof budowlanych podczas pożarów rozprzestrzeniających się poza pomieszczenie.
- **Różnice w ścieżce przepływu** wpłyną na podejście taktyczne do pożaru. Pożar w pomieszczeniu charakteryzuje się względnie prostą do rozpoznania i zarządzania²⁴ ścieżką przepływu. Zazwyczaj będą to jedne drzwi oraz jedno okno. Pożar w obiekcie może posiadać wiele dróg napływu powietrza i odpływu dymu. Ponadto, pożar wydostając się poza pomieszczenie może łatwiej wysyłać gazy pożarowe w obszary ukryte. O wiele łatwiejsze jest zastosowanie antywentylacji podczas pożaru pomieszczenia aniżeli podczas pożaru obiektu.
- **Siły i środki** niezbędne do prowadzenia działań podczas pożaru w pomieszczeniu są mniejsze aniżeli podczas pożaru w obiekcie. Dla pomieszczenia jest to w znakomitej większości przypadków jedna rota. Pożary obiektów mogą wiązać się z koniecznością zaangażowania nawet kilku zastępów. W tym drugim przypadku znacznie większy będzie obszar działań, nakład sił fizycznych użytych do wykonania niezbędnych czynności. Zaistnieć może konieczność dokonywania podmian oraz organizowania niekiedy skomplikowanej logistyki działań (zaopatrzenie wodne, zapas sprzętu ochrony układu oddechowego, woda i posiłki itd.). Podczas działań na większych obszarach istnieje większe ryzyko zgubienia się lub przeoczenia obszarów podczas przeszukania.

²⁴ Zarządzanie ścieżkami przepływu jest bardzo ważnym elementem wentylacji taktycznej, która będzie omówiona w ROZDZIALE 5. Pojęcie to oznacza czynności wykonywane w celu kontrolowania procesów napływu powietrza oraz odpływania dymu. Poziom trudności zależeć będzie między innymi od liczby i wzajemnego usytuowania otworów.

3. Rozpoznanie pożaru metodą BE-SAHF

Rozpoznanie jest jednym z najważniejszych elementów akcji. Odpowiednie zebranie informacji w celu wdrożenia skutecznych metod działania niejednokrotnie ma wpływ na zdrowie i życie strażaków. Przypominając sobie filozofię bezpiecznego i skutecznego działania wspomnianą kilkakrotnie w **ROZDZIALE 2** można zauważyć krytyczny wpływ rozpoznania na całość prowadzonych działań ratowniczo-gaśniczych.

ROZPOZNAWAĆ – ZWALCZAĆ – ZAPOBIEGAĆ – UNIKAĆ

Oficer Straży Pożarnej, **Shan Raffel** z Australii, na początku lat 2000 stworzył model prowadzenia rozpoznania zwany **SAHF**. Jest to akronim od Smoke (dym), Air track (tor wymiany gazowej), Heat (ciepło) oraz Flames (płomień). Słowo to czyta się w języku angielskim tak samo, jak słowo „safe”, oznaczające „bezpieczny”.

W wyniku dyskusji w międzynarodowym gronie autor zauważył pewne nieścisłości w swoim modelu, wynikające z doświadczeń kolegów z innych krajów. Pęcherze na farbie, pęknięcie szyb w oknach i podobne oznaki pożaru okazały się być nieznanymi kolegom z innych krajów. Amerykański Komendant Straży **Ed Hartin** zaproponował dodanie do modelu kolejnej litery: **B** od słowa *Building* (budynek). Według niego badanie oznak pożaru należy wykonywać w kontekście danego budynku. Jego charakterystyka wpłynie znacząco na oznaki, jakie może odczytać strażak i jest to cenna wiedza na etapie rozpoznania. Powstał tym samym model **B-SAHF**, czytany jak „be safe” czyli „bądź bezpieczny”.

U schyłku minionej dekady zaczęto zwracać uwagę na zjawisko **pożaru napędzanego wiatrem**. Badania dowiodły, że tego typu zdarzenia charakteryzują się bardzo odmiennym przebiegiem (zobacz **ROZDZIAŁ 2.13.4.**). Uplętnęło kilka lat zanim waga problemu została właściwie zrozumiana i przestano kojarzyć owe zdarzenia jedynie z pożarami w budynkach wysokich, gdzie w górnych partiach wiatr nie jest zakłócany pobliskimi budynkami. **Peter McBride**, oficer z Kanady zaproponował dodanie do modelu kolejnej litery **E** od Environment (środowisko), w celu wyodrębnienia wpływu wiatru z elementu opisanego jako tor wymiany gazowej (litera A w modelu). Uzasadnieniem jest niezwykle istotny wpływ wiatru na pożary oraz konieczność zwrócenia uwagi na ten element już od pierwszych chwil obecności na miejscu zdarzenia. [66] Obecnie, tego modelu do rozpoznania używa się w wielu krajach na całym świecie, w tym również w Europie (np. Belgia, Holandia, Anglia, Niemcy, Hiszpania np. Chorwacja).

Niniejszy rozdział omawia poszczególne elementy modelu **BE-SAHF**, podając ich znaczenie oraz sugerując współzależności pomiędzy tymi elementami, które wpływają na końcową interpretację sygnałów wysyłanych przez pożar. W tym miejscu należy jednak dodać, że **rozpoznanie jest procesem zorganizowanym, aktywnym i ciągłym**, zatem polega na zaplanowanych oraz przemyślanych sposobach działania, wymaga podejmowania inicjatywy w celu zdobywania informacji i kończy się dopiero w momencie zakończenia działań na miejscu zdarzenia. [67] Jedną z przyjętych powszechnie metod pracy jest tak zwane **rozpoznanie 360°**, czyli sprawdzenie tuż po przybyciu na miejsce zdarzenia wszystkich stron obiektu, jeśli tylko istnieje możliwość jego obejścia. Sytuacja z jednej strony obiektu może różnić się od sytuacji z drugiej strony. Dla orientacji i ułatwienia komunikacji należy używać stałego oznaczenia stron budynku. Strona A, to strona z głównym wejściem. Jeśli wejść jest więcej, to będzie to strona od ulicy dojazdowej. Wreszcie, będzie to strona z nazwą ulicy i numerem domu. Kolejne litery alfabetu oznaczają kolejne strony zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara. Dodatkowo, wykorzystując ten system oznaczenia można również odnosić się do narożników budynku co może być szczególnie pomocne przy większych obiektach (np. „punkt przyjęcia sił i środków znajduje się na rogu DA”, „ustaw drabinę mechaniczną na rogu BC”, itd.).

Dodatkowo, należy do **rozpoznania 360°** wykorzystać kamerę termowizyjną, która pomoże stwierdzić, gdzie znajduje się np. ognisko pożaru, dym oraz ewentualne osoby poszkodowane, jeśli tylko informacje te można zdobyć już na tym pierwszym etapie. Inaczej mówiąc, mając kamerę termowizyjną zobaczymy więcej. Jak mawia Shan Raffel, strażakowi do pracy potrzebne są „wiedza i czujność oraz kamera termowizyjna”. Więcej informacji na temat przeszukania z użyciem kamery termowizyjnej znajduje się w **ROZDZIALE 4.12.**

Należy jednocześnie pamiętać, że rozpoznanie sytuacji z zewnątrz pozwoli jedynie na podjęcie wstępnych decyzji. Na tym etapie niestety często brak jest informacji, które mogą spowodować podjęcie

innych decyzji a nawet szybsze uratowanie osób poszkodowanych. Jedynie działania wewnętrzne będą w stanie zapewnić gruntowny obraz sytuacji (zobacz **rysunek 59 a-b i 65**). W celu usprawnienia rozpoznania należy wykorzystywać kamerę termowizyjną **taktyczną**. Więcej na temat rodzajów kamer termowizyjnych znajduje się w dalszej części opracowania.

B – budynek: rodzaj konstrukcji (puste przestrzenie i kanały), materiały (palność, właściwości termalne), okna i szyby, przeznaczenie, stan utrzymania, itd.

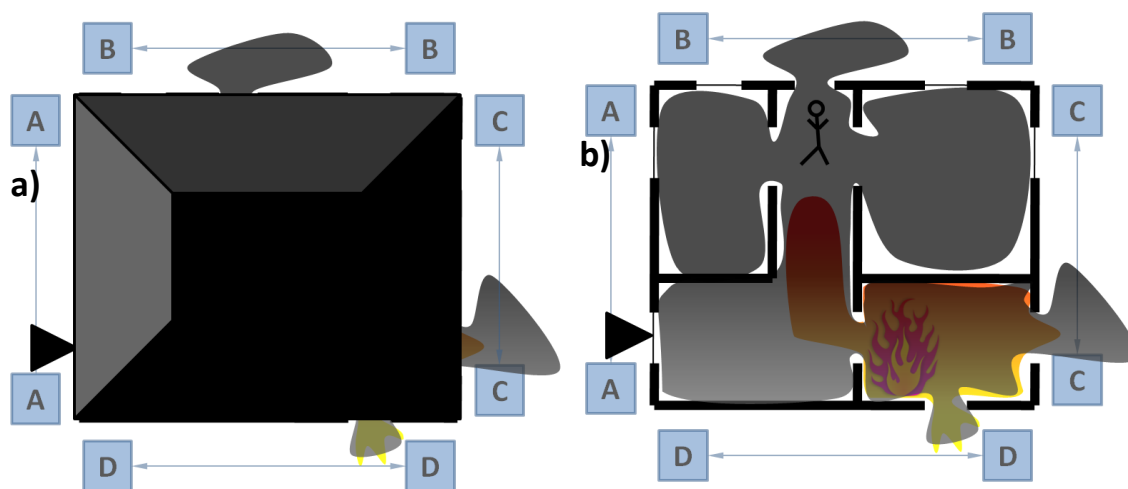
E – środowisko: WIATR!

S – dym: kolor, objętość, gęstość, ciśnienie, siła wyporu, lokalizacja, pulsacje, wysokość występowania płaszczyzny neutralnej, itd.

A – tor wymiany gazowej: rodzaj przepływu (jedno/dwukierunkowy), kontrolowany przez paliwo/wentylację, wloty oraz wyloty różnice poziomów, itd.

H – ciepło: dźwięki (skwierczenie, parowanie wody, spadanie kropli), pęcherze na farbie, pęknięcia szyb, stopione plastiki, itd.

F – płomień: widoczność, kolor, miejsce występowania (płaszczyzna neutralna?), bliskość poszkodowanych, itd.



Rys. 59 a-b: Rozpoznanie 360° polega na obejściu obiektu w miarę możliwości i obejrzeniu jego wszystkich stron. Sytuacja, jaką widzimy z zewnątrz może mocno się różnić od sytuacji wewnątrz. Rozpoznanie wstępne pozwala podjąć pierwsze decyzje. Dopiero działania wewnętrzne zapewnią prawidłowy obraz sytuacji. W celu usprawnienia rozpoznania należy wykorzystywać kamerę termowizyjną taktyczną. (zobacz też rys. 65).

Odpowiednie rozpoznanie warunków pożarowych jest podstawą do stworzenia możliwie najbezpieczniejszego i najskuteczniejszego planu działania. Bez rozpoznania nie można na przykład stosować bezpiecznie i z powodzeniem **wentylacji** taktycznej. Każdy strażak powinien prowadzić takie rozpoznanie indywidualnie, a informacje przekazywać do kierującego akcją ratowniczą oraz rotę asekuracyjną. Umożliwi to stałe aktualizowanie bieżącego rozpoznania warunków pożarowych.

W międzynarodowym środowisku pożarniczym przyjęto do stosowania pojęcie **świadomość sytuacyjna** (ang. *situational awareness*). Ogólna definicja tego pojęcia oznacza: „postrzeganie elementów

środowiska oraz wydarzeń w odniesieniu do czasu lub przestrzeni, rozumienie ich znaczenia oraz przewidywanie ich stanu po zmianie pewnej zmiennej, takiej jak czas lub oczekiwane zdarzenie”.

W odniesieniu do działań prowadzonych przez strażę pożarną definicję stworzył Dr Richard Gasaway, wieloletni badacz tego zagadnienia w środowisku pożarniczym. Definiuje on **świadomość sytuacyjną** jako:

„możliwość postrzegania i rozumienia tego, co dzieje się wokół nas w odniesieniu do mijającego czasu. Celem jest to, aby być w stanie w odpowiednim czasie przewidywać pewne zdarzenia w przyszłości w celu uniknięcia złych rezultatów”. [68]

Każda forma **rozpoznania**, a zatem zorganizowanego, aktywnego i ciągłego pozyskiwania informacji, niezależnie od przyjętej metodyki, służy zdobyciu i utrzymaniu **świadomości sytuacyjnej**.

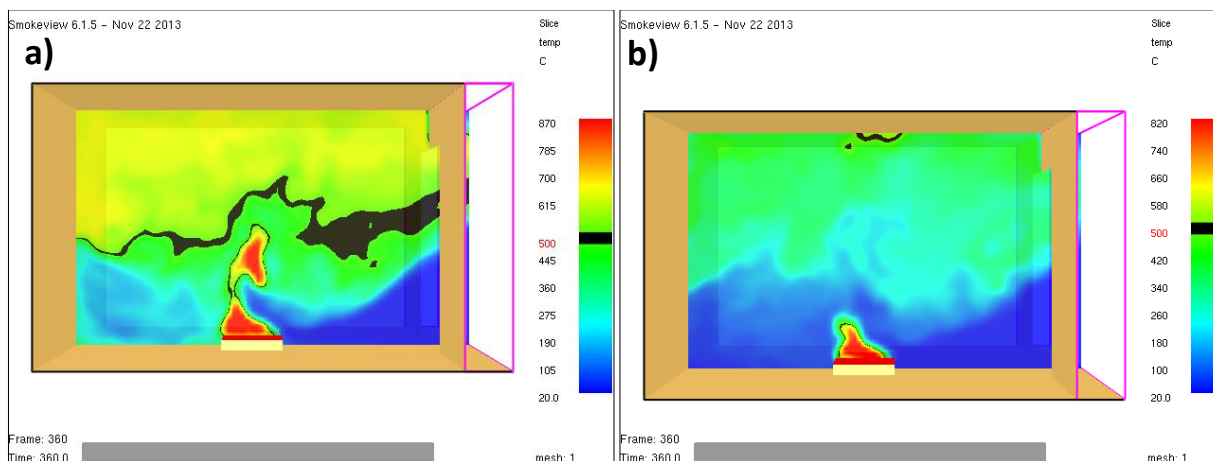
3.1. Budynek

Wspomniano wcześniej, że strażacy na całym świecie zauważyli różnice, jakie występują w możliwości rozpoznania oznak wysyłanych przez pożar. Charakterystyka budynku będzie na ogół dosyć znacząco wpływać na owe oznaki. Dlatego zanim przejdziemy do omawiania cech wynikających wprost z pożaru, omówmy najpierw jego otoczenie dla zarysowania pełniejszego kontekstu. [69]

Typ konstrukcji oraz zastosowane **materiały** będą miały zasadniczy wpływ na rozwój pożaru oraz na jego oznaki. W **ROZDZIALE 2.1.3.** wyjaśniono kwestie związane z transportem ciepła w materiałach stałych. Dlatego zależnie od wykorzystanych materiałów ciepło będzie dobrze pochłaniane i transmitowane na zewnątrz płonących pomieszczeń (hale wykonane z blachy) lub też będzie ekranowane przez dłuższy czas, jaki niezbędny jest do nagrzania na wskroś materiału konstrukcyjnego (ściany z betonu lub cegieł). Rodzaj konstrukcji będzie też miał znaczenie dla jej **odporności na pożar**, a zatem dla **bezpieczeństwa** prowadzenia działań gaśniczych wewnątrz.

Właściwości termiczne elementów konstrukcji zależne są m.in. od gęstości materiałów, z których zostały wykonane. Pojemność cieplna (ilość energii cieplnej, jaka jest wymagana, aby podnieść temperaturę 1 g substancji o 1 °C) oraz izolacyjność materiałów (w tym liczba i grubość warstw) będą miały wpływ na dynamikę rozwoju pożaru wewnątrz obiektu. Im obiekt lepiej izolowany, tym więcej ciepła pozostanie wewnątrz: wszystko będzie bardziej nagrzane, zjawisko pirolizy i rozkładu termicznego będzie bardziej zaawansowane, wyższe będą temperatury, szybsze prądy konwekcyjne itd. Z drugiej strony, rozwój pożaru może być spowolniony, jeśli materiał budowlany pochłania dużą ilość ciepła. Kiedy jednak temperatury wyrównają się, wówczas energia ta będzie zwracana do pomieszczenia, intensyfikując proces spalania. Kontakt wody (prądu gaśniczego) z taką powierzchnią będzie powodował dynamiczne powstawanie dużych ilości pary i sprzyjał występowaniu zjawiska pułapki wodnej (zobacz **ROZDZIAŁ 4.4.**) Jeśli materiały są palne, wówczas same będą produkować dodatkowe paliwa gazowe, wzbogacając warstwę zadymienia. Będą też wymagać chłodzenia przez strażaków, o czym będzie mowa w kolejnym rozdziale. Rozpoznanie charakterystycznych cech budynku powinno być wykonywane również w trakcie prowadzenia działań wewnętrznych.

Rozpoznanie przeznaczenia i sposobu użytkowania budynku może podpowiadać prawdopodobny rodzaj paliwa, a czasem również jego rozmieszczenie. Stan utrzymania budynku również wpłynie na możliwy scenariusz zdarzeń.



Fot. 19 a-b: Porównanie symulacji przebiegu pożaru testowego (moc 720 kW) w dwóch różnych środowiskach. Po lewej pomieszczenie dobrze izolowane, odpowiadające konstrukcji z lekkiego betonu, po prawej pomieszczenie nieizolowane, odpowiadające konstrukcji z blachy stalowej. Dobrze izolowane pomieszczenie będzie powodowało trudniejsze warunki prowadzenia działań wewnątrz. (fot. Stefan Svensson).



Fot. 20: Palna konstrukcja dachu dyskontu spożywczego: zagrożenie zajęciem się konstrukcji oraz migracją dymu. Zdjęcie wykonano w trakcie remontu wynikającego z pożaru konstrukcji dachowej. Dla porównania, na kolejnym zdjęciu (**Fot. 21**) pokazano również stan po remoncie. Bez znajomości podstaw konstrukcji obiektów świadomość obecności omawianych zagrożeń może nie być oczywista.



Fot. 21: Zdjęcie fasady budynku dyskontu spożywczego widocznego na **fot. 20** oraz **fot. 14**, wykonane po zakończeniu remontu wynikającego z pożaru konstrukcji dachowej. Strażacy muszą być świadomi rodzaju konstrukcji oraz wynikających z tego faktu zagrożeń.



Fot. 22 a-c: Zdjęcie elementu spalonej konstrukcji dachu, porzuconego w pobliżu budynku. Widać konfigurację elementów oraz sposób łączenia. Wykorzystano tu tzw. „płytkę kolczastą”, która doskonale łączy elementy drewniane, jednak poddana oddziaływaniu pożaru może szybko doprowadzić do **katastrofy budowlanej!**

W budownictwie coraz powszechniejsze staje wykorzystanie **plytek kolczastych** (zobacz **fot. 22 a-c**) do trwałego łączenia drewnianych elementów konstrukcji. Jest to nowoczesny element wykonany z blachy stalowej z kolcami z jednej strony. Dzięki temu tarcica budowlana, będąca materiałem posiadającym bardzo korzystną relację wytrzymałości do wagi, łączona jest w jedną płaszczyznę, co gwarantuje stabilne połączenia. Płytki pozwalają rozkładać obciążenia bardzo równomiernie, co sprawia, że połączenia pozostają praktycznie bez wpływu na wytrzymałość konstrukcji. Badania nad wytrzymałością systemów konstrukcji tarcicy budowlanej łączonej przy pomocy płytek kolczastych pokazały jednak **alarmujące trendy!** Średnio, takie połączenia ulegały utracie nośności i prowadziły do **awarii lub katastrofy budowlanej** przy osiągnięciu temperatury około 800°C, po średnim czasie ekspozycji na pożar równym 29 min i 15 s. [71, 72]



Fot. 23: Spadziste dachy kryją wiele ukrytych przestrzeni, w których może dochodzić do niekontrolowanej migracji dymu lub do pożarów ukrytych. Zdjęcie wykonane w trakcie rozbudowy budynku o dodatkowe piętro (fot. KW PSP w Olsztynie)



Fot. 24: Skutki pożaru palnej konstrukcji dachu na budynku gimnazjum w Wielbarku (powiat szczycieński) w dniach 02-03 marca 2011 roku. (fot. KP PSP w Szczytnie)



Fot. 25: Skutki pożaru palnej konstrukcji ścian, sufitu i wyposażenia w sali koncertowej budynku Szkoły Muzycznej w Elblągu w dniu 18 stycznia 2014 roku. (fot. KM PSP w Elblągu)

W rozpoznaniu **budynku** należy zwrócić uwagę na obecność, liczbę, umiejscowienie oraz budowę **okien**. Podwójne szyby w oknach są w stanie spowolnić rozwój pożaru z uwagi na dłuższy czas, jaki są w stanie wytrzymać, zanim dojdzie do ich pęknięcia i dotlenienia pożaru. Czasem można też spotkać okna o trzech warstwach szyby. Transfer ciepła przez szyby z przestrzenią powietrzną wewnątrz będzie utrudniony, co będzie miało odzwierciedlenie w odczycie obrazu z termowizji. **Obecność dymu powinna być zazwyczaj widoczna pomimo zasłon czy żaluzji. Otwarte i uchylone okna będą przepuszczały dym na zewnątrz (wyraźna oznaka zewnętrzna pożaru – patrz ROZDZIAŁ 3.3.).** Oceniając obiekt z zewnątrz należy też zadać sobie pytanie jak może zmienić się charakter pożaru w momencie wypadnięcia jednej, kilku lub wszystkich szyb? Pamiętając o metodzie szacowania mocy pożaru na podstawie powierzchni otworów wentylacyjnych (patrz **ROZDZIAŁ 2.7.1.**) można sobie wyrobić zdanie odnośnie minimalnej, niezbędnej konfiguracji natarcia na pożar lub obrony: liczbę i wydajność linii gaśniczych oraz rodzaj użytej armatury (patrz **ROZDZIAŁ 4.1.**). Jednocześnie należy zwrócić uwagę na inne cechy charakterystyczne, przykładowo kraty w oknach lub możliwe do stwierdzenia z zewnątrz połączenie funkcjonalne pomieszczeń za sprawdzanymi oknami.

Oceniając obiekt z zewnątrz należy też zwrócić uwagę na charakterystyczne kształty budynku, które mogą podpowiedzieć coś o możliwym kształcie i rozmiarach pomieszczeń wewnątrz danego budynku. Będzie to miało istotne znaczenie dla przeszukania oprowadzonego przez rotę działające wewnątrz obiektu i dokonujące przeszukania, niejednokrotnie przy zerowej widoczności. Zagadnienie rozpoznania prawdopodobnych rozmiarów i kształtów pomieszczeń zostało tu zasygnalizowane, bowiem rozpoczyna się w momencie wstępnej oceny warunków zdarzenia i badania elementu B w modelu BE-SAHF. Dokładniej to zagadnienie zostanie omówione podczas przybliżania technik i metod przeszukania, w **ROZDZIALE 4.12.**

Szczelność budynku będzie również wpływać na dynamikę rozwoju pożaru. Porównajmy pod tym względem dom mieszkalny, stodołę czy blok betonowy w budowie. Wysoka szczelność może doprowadzić do tego, że pożar się nie rozwinie. Może też sprzyjać powstawaniu sytuacji, w których istnieje zagrożenie **wstecznym ciągiem płomienia**. Strażacy z przyczyn oczywistych powinni zakładać ten drugi scenariusz. **Nieszczelności** (w tym brak np. okien w budynkach opuszczonych) wpłyną z kolei na duże prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska **rozgorzenia**, brak możliwości zarządzania przepływami oraz podatność pożaru na **wiatr**. Dodatkowo, napotykając pożar w obiekcie wykonanym z **materiałów palnych** można spodziewać się przepalenia elementów konstrukcji i **samoczynnej wentylacji**, co oczywiście spowoduje niebezpieczny wzrost dynamiki pożaru.



Fot. 26: Rozpoznanie pod kątem możliwego scenariusza rozwoju pożaru: lokal apteki (substancje palne, plastiki, wysoka toksyczność dymu), duża przeszklona powierzchnia (około 40 m²)! Rozwój pożaru zależny będzie od materiałów palnych i będzie różnił się od pożaru w mieszkaniu, gdzie gęstość obciążenia ogniowego będzie większa²⁵. Stosunkowo łatwe rozpoznanie wewnątrz zanim płaszczyzna neutralna sięgnie do ziemi. **Uwaga na pękające okna – lawinowy skok mocy pożaru.** Podejrzenie migracji dymu (i pożaru) do lokalu po lewej stronie pomiędzy szybą a ścianką działową. **Uwaga na podwieszane sufity!** Ewakuacja na poziom gruntu.



Fot. 27: Rozpoznanie pod kątem możliwego scenariusza rozwoju pożaru: Po lewej sklep spożywczy, po prawej kwiaczarnia. Podobna powierzchnia przeszklona w obu lokalach (około 15 m²). Po lewej więcej materiałów pochodzenia syntetycznego – teoretycznie bardziej prawdopodobny rozwój pożaru do wyższych wartości. Spodziewana obecność paliw niebezpiecznych (alkohole, dezodoranty, perfumy, środki czystości itd.). Po prawej spodziewana większa obecność materiałów naturalnych, trudnopalnych (rośliny), możliwe występowanie środków chemicznych ochrony roślin oraz plastików. **Możliwe połączenie pomiędzy lokalami poprzez szyby wentylacyjne, techniczne lub powyżej podwieszanego sufitu!** Ewakuacja na poziom gruntu.

²⁵ Przy założeniu gęstości obciążenia ogniowego rzędu 800 MJ/m² i powierzchni 10m x 7m, szacowana szczytowa moc pożaru wyniesie 23,2 MW. Przy założeniu współczynnika skuteczności spalania K_f 0,5 realna moc pożaru wyniesie 12,6 MW przy założeniu, że wszystkie okna wypadną wskutek działania pożaru. W tym przykładzie przyjęto relatywnie niewielką wartość gęstości obciążenia ogniowego. Dla domów i mieszkań będzie ona zazwyczaj wyższa. [70]



Fot. 28: Rozpoznanie pod kątem możliwego scenariusza rozwoju pożaru: lokal na piętrze – przedszkole. W określonych dniach i godzinach spodziewana obecność dzieci (utrudniona ewakuacja, konieczność bardzo dokładnego przeszukania). Duże otwarte przestrzenie, wysokie sufity – ułatwiające rozwój i rozprzestrzenianie pożaru. Bardzo duża powierzchnia okien pozwalająca na dynamiczny rozwój pożaru. Niewykluczona ewakuacja za pomocą sprzętu z wysokości!



Fot. 29: Rozpoznanie pod kątem możliwego scenariusza rozwoju pożaru: lokal sklepu spożywczego. Połączona kubatura pomimo podzielonych okien. Duże otwarte przestrzenie, wysokie sufity – ułatwiające rozwój i rozprzestrzenianie pożaru. Bardzo duża powierzchnia okien pozwalająca na rozwój pożaru. Dwa okna są uchylone. Prawdopodobnie możliwa ewakuacja oraz działania od drugiej strony w punkcie przyjęcia towaru, który występuje niemal zawsze w tego typu obiektach



Fot. 30: Rozpoznanie pod kątem możliwego scenariusza rozwoju pożaru: lokal z tekstyliami różnego asortymentu. Powierzchnia przeszklona około 10m² – możliwy rozwój pożaru o mocy do 30MW.



Fot. 31: Rozpoznanie otworów okiennych. Okna na ostatniej kondygnacji należą do kilku pomieszczeń. Pierwsze okno z lewej (żółta powierzchnia) należy do oddzielnego pomieszczenia. Jedno skrzydło jest uchylone. Kolejne cztery okna (na zielonej powierzchni) należą do tego samego pomieszczenia (brak widocznych ścian). Jedno okno uchylone. W kolejnych czterech oknach – trzy są uchylone. Ostatnie okno jest uchylone i należy prawdopodobnie do oddzielnego pomieszczenia. W rzędzie poniżej niemal wszystkie okna posiadają kraty (ewakuacja, w tym strażaków – niemożliwa). Na poziomie gruntu kolejne okna z kratami.



Fot. 32: Rozpoznanie otworów okiennych przy wsparciu kamerą termowizyjną. Widoczny obszar o podwyższonej temperaturze i nagrzanie górnej części framugi okna. W pokazanym przypadku informację z kamery termowizyjnej można zestawzić z widocznym dymem. Gdy zadymienie nie wydostaje się przez nieszczelności, obraz z termowizji może być jedynym źródłem informacji o podwyższonej temperaturze w danym pomieszczeniu w ramach wstępnego rozpoznania 360°. (fot. Piotr Zwarycz, obiektyw.com)



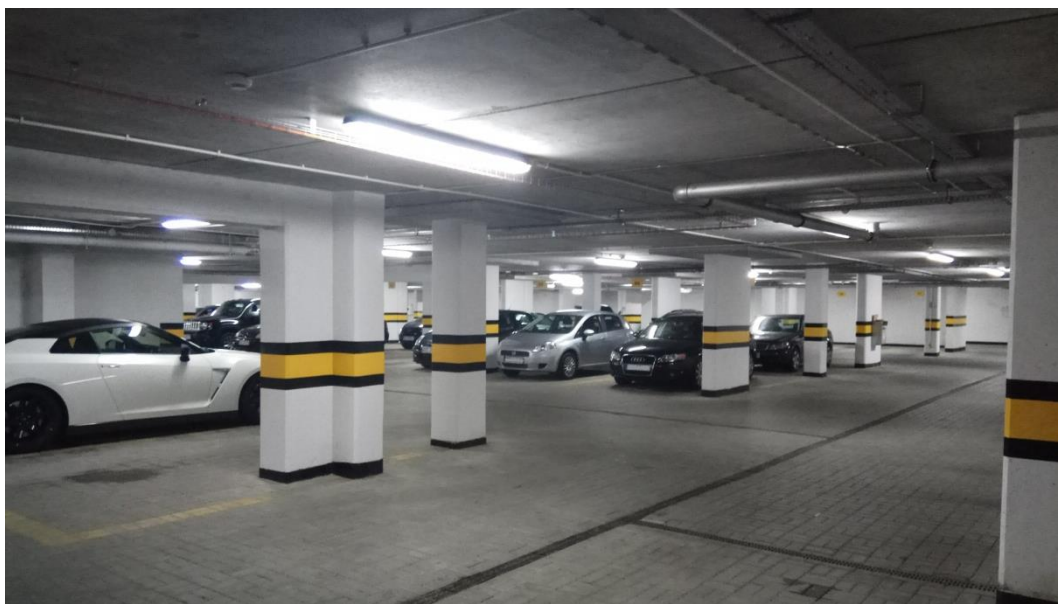
Fot. 33: Palne wykończenie wnętrz będzie znacznie komplikowało sytuację oraz prowadzone działania. Obecne na ścianach czy suficie materiały będą ulegały rozkładowi termicznemu i/lub pirolizie, wzbogacając mieszaninę o nadmiar niespalonych paliw. Ich powierzchnie będą wymagać chłodzenia lub gaszenia, co utrudni działania wewnętrzne i zwiększy ich intensywność. Nie zawsze istnieje możliwość stwierdzenia obecności palnego wykończenia z zewnątrz, jednak po podjęciu takiej informacji strażacy prowadzący działania wewnętrzne powinni ją przekazać dowódcy jako ważną informację wpływającą na ich bezpieczeństwo oraz przebieg akcji. (fot. KP PSP w Busku-Zdroju)



Fot. 34: Rozpoznanie cech charakterystycznych budynku: obiekt w remoncie. Brak dachu oraz okien. Odsonięta drewniana więźba, niestabilne elementy na poziomie dachu (komin murowany). Wokół budynku rusztowanie o częściowo palnej konstrukcji pokryte palnym materiałem (siatki). W pobliżu budynku zaparkowany samochód osobowy dodatkowo ograniczający możliwość manewrowania pojazdom pożarniczym. Obiekt całkowicie ogrodzony, z utrudnionym dostępem.



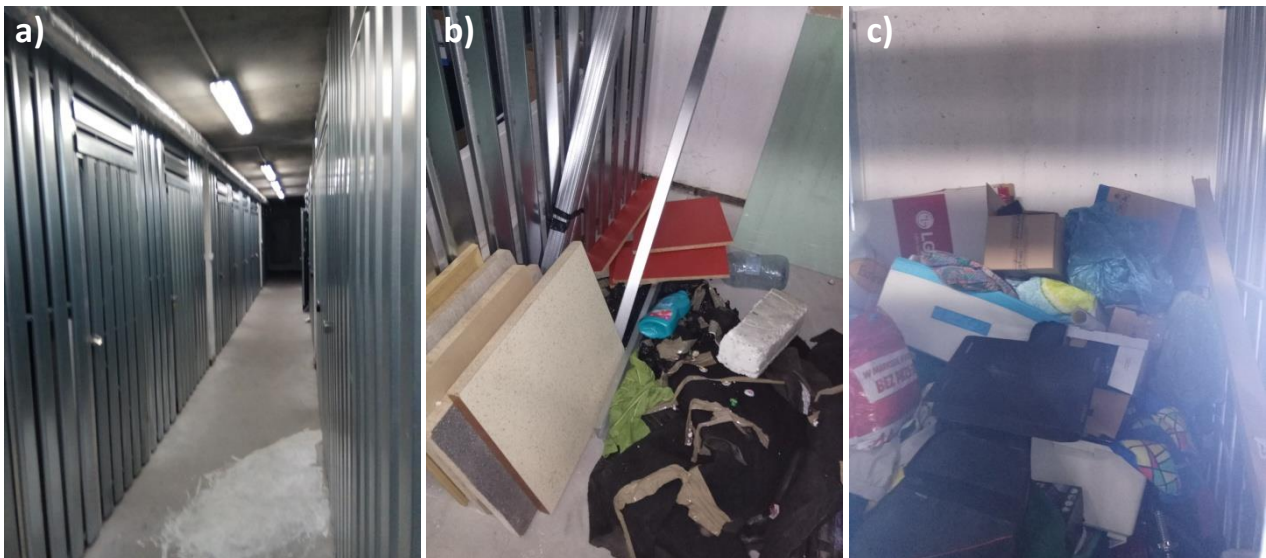
Fot. 35: Obiekt o nieuszczelnej oraz palnej konstrukcji. Duże prawdopodobieństwo przejścia w pożar blokowy, czyli pożar całego obiektu: w środku, na zewnątrz oraz elementów konstrukcyjnych. Obiekt posiada również ścianę z blachy jak w halach przemysłowych. Ten niepalny materiał dobrze przewodzi energię cieplną.



Fot. 36: Podziemny parking, zdjęcie wykonane na poziomie „- 3”. Duże przestrzenie sprzyjają swobodnemu rozwojowi pożaru, zapewniając jednocześnie sporą ilość tlenu. Podczas działań w tego typu obiektach należy zabezpieczać się przed zgubieniem i dezorientacją. Intensywność pożaru będzie bezpośrednio związana z liczbą pojazdów, co z kolei ma związek z porą doby.



Fot. 37: Skomplikowana konfiguracja współczesnego budownictwa powoduje, że dokładne rozpoznanie, w tym obejście obiektu lub obejrzenie jego różnych stron bywa niemożliwe. W związku z tym należy przede wszystkim być świadomym posiadania ograniczonej wiedzy na temat obiektu i mieć w głowie plan awaryjny na wypadek niekorzystnego obrotu sytuacji.



Fot. 38 a-c: Pożary piwnic stanowią spore wyzwanie: usytuowanie pod ziemią i najczęściej spotykany brak okien powodują prace w bardzo niekomfortowych warunkach (widoczność i komfort termiczny) a nagromadzenie paliw i swobodny rozwój pożaru oraz przepływ dymu będą utrudniać skuteczne działania gaśnicze.



Fot. 39: Zabudowa szeregowa wiąże się z ryzykiem rozwoju pożaru pomiędzy oddzielnymi domostwami w przestrzeni dachowej. Na zdjęciu zabudowa szeregowa jednorodzinna. Utrudnione jest obejście obiektu i obejrzenie jego drugiej strony, gdzie można pozyskać dodatkowe, istotne informacje. Dostęp do poszczególnych domostw (pionów) wymaga zazwyczaj pokonania jednych drzwi wejściowych. **Uwaga: na jednym z balkonów (pierwszy od prawej) brakuje balustrad zabezpieczających przed upadkiem z wysokości!**



Fot. 40: Zabudowa szeregowa wiąże się z ryzykiem rozwoju pożaru pomiędzy połączonymi obiektami. Budynki wielorodzinne posiadają oddzielne klatki schodowe a dodatkowo każde z mieszkań posiada osobne wejście. Podobnie jak przy budynkach jednorodzinnych utrudnione jest obejście obiektu i obejrzenie jego drugiej strony, gdzie można pozyskać dodatkowe, istotne informacje.



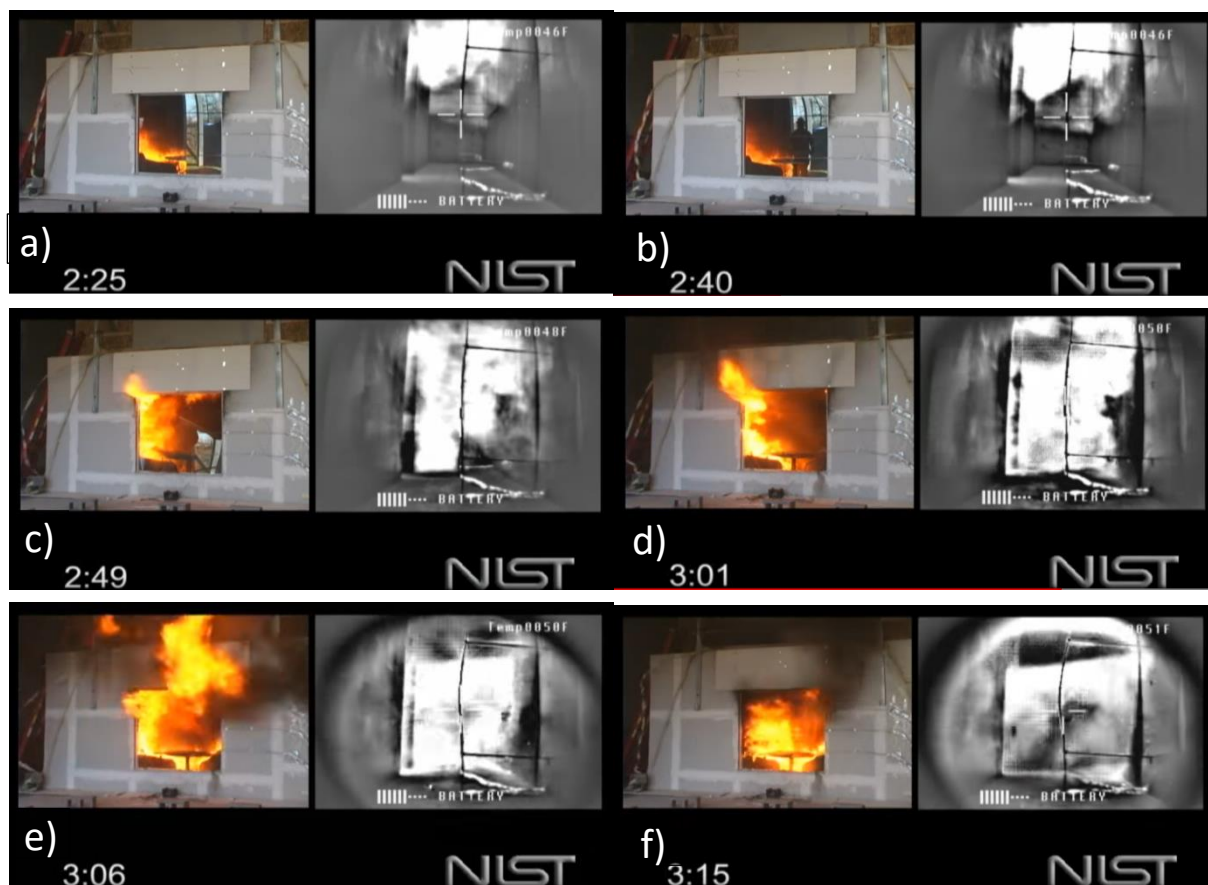
Fot. 41 a-b: Utrudnienia w korzystaniu z drabin. Po **lewej**: daszek zabezpieczający przed spadaniem przedmiotów na osoby stojące przy obiekcie uniemożliwi rozstawienie drabiny przystawnej i uzyskanie dostępu do pierwszych kondygnacji nad wejściem. Po **prawej**: bezpośrednie otoczenie budynku (plot, inny budynek, śmietniki, przyczepka) oraz rodzaj podłoża (miękki grunt) uniemożliwią sprawienie drabiny mechanicznej.

3.2. Środowisko (wiatr i inne czynniki)

Oprócz kontekstu zdarzenia, jaki nadaje pożarowi rodzaj i przeznaczenia oraz konstrukcja budynku, inne istotne czynniki wynikają też ze **środowiska** pożaru. Jednym z takich czynników środowiskowych jest **wiatr**. Wśród innych można wymienić **topografię**, bezpośrednio wpływającą na wiatr. Ponadto należy zwrócić uwagę na **temperaturę otoczenia** oraz **wilgotność powietrza**.

Kwestia oddziaływania wiatru na pożar została już omówiona w **ROZDZIALE 2.13.4.**, gdzie scharakteryzowano **pożar napędzany wiatrem**. Wspomniano również, że we wcześniejszej wersji modelu (**BE-SAHF**) element ten funkcjonował jako część elementu A (air track) czyli był częścią **toru wymiany gazowej**. Omówiono już zagadnienia związane z wpływem wiatru na dynamikę rozwoju i rozprzestrzeniania się pożaru, a teraz skupimy się na umiejętności rozpoznania zagrożenia takim scenariuszem.

Jak wspomniano w **ROZDZIALE 2.11.** przepływ gazów pożarowych jest zjawiskiem kluczowym. Przepływ wymuszony powoduje wzrost dynamiki pożaru (patrz **ROZDZIAŁ 2.2.**). Obecność wiatru będzie zakłócać przepływy i nimi kierować. Z uwagi na obecność dymu, wszelkie tego typu ruchy mas powietrza będą powodowały widoczne i dające się interpretować zmiany w zachowaniu dymu. W związku z tym obserwacja zachowania dymu będzie jednym z głównych elementów rozpoznania wpływu wiatru na pożar.

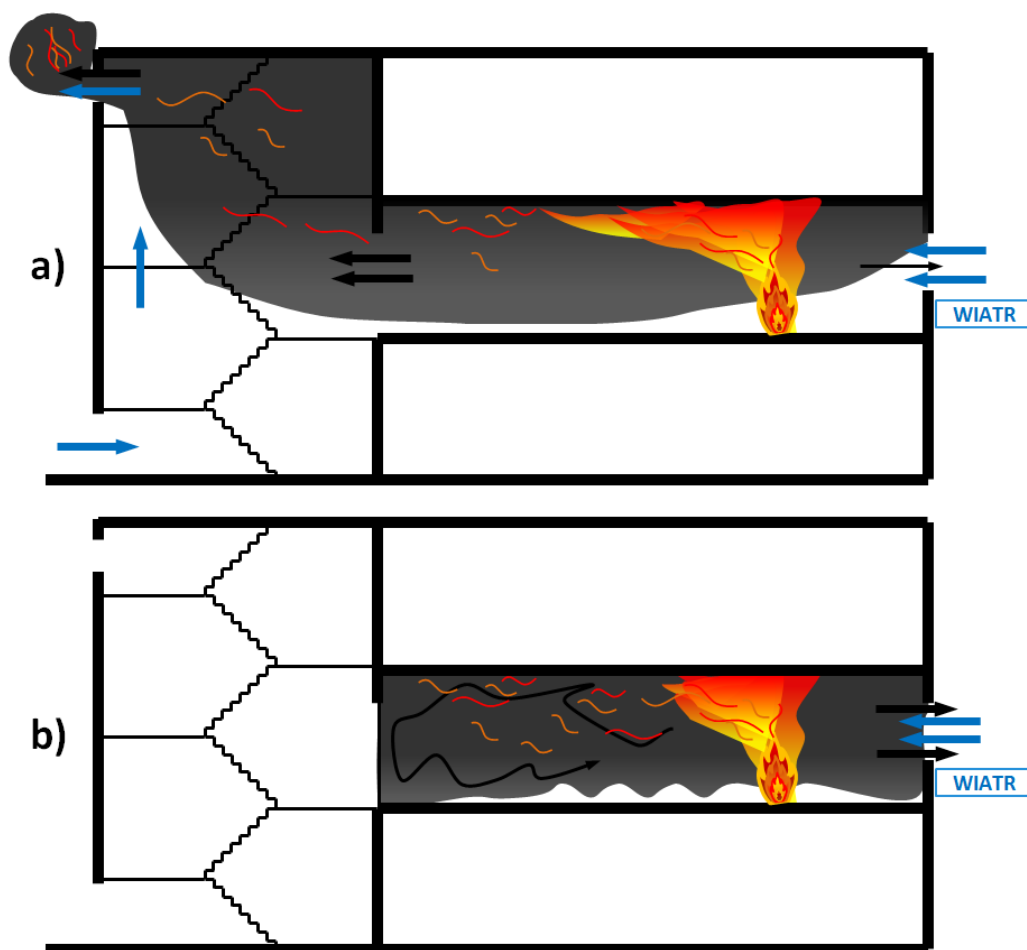


Fot. 42 a-f: Symulowany **pożar napędzany wiatrem**. Na kolejnych klatkach z filmu widać zestawienie dwóch widoków: widok z zewnątrz na okno (po lewej) i widok z kamery termowizyjnej od wewnątrz na korytarz i drzwi prowadzące do pomieszczenia z oknem (po prawej).²⁶

Pierwsze dwa zdjęcia na **fot. 42 a-f** (wykonane w 2:25 i 2:40) pokazują rozwój pożaru i warunki panujące na drodze podejścia do pomieszczenia, którą strażacy przemieszczaliby się, chcąc przeprowadzić natarcie wewnętrzne. Widać, że gorące gazy obecne są w górnej części drzwi, co oznacza, że w drzwiach panuje **przepływ dwukierunkowy**. Wiatr zasymulowano za pomocą wentylatora.

²⁶https://youtu.be/R3xPHt_WZTk?t=9m53s - Examining Fire Fighting Tactics under Wind-Driven Conditions (Pt. 3).

Zdjęcie wykonane w 2:49 pokazuje moment pęknięcia szyby w oknie w wyniku oddziaływania pożaru i wynikającą z tego tytułu zmianę warunków na drodze podejścia. Od tej pory w drzwiach do pomieszczenia objętego pożarem występuje **przepływ jednokierunkowy**. Ma to również odzwierciedlenie w przepływie występującym w oknie. W większości będzie to również przepływ jednokierunkowy, co jest **wizualną wskazówką** mówiącą o tym, że **pożar jest napędzany wiatrem**. Zdjęcia wykonane w 3:01, 3:06 oraz 3:15 pokazują te momenty, w których turbulentny płomień cofa się i wydostaje poza okno. Ponieważ pożar wytwarza ciepło, które zwiększa temperaturę gazów i powoduje wzrost ich ciśnienia, to dochodzi okresowo do wyrzutu płomienia i/lub dymu poza okno, w kierunku przeciwnym do przepływu wiatru. Spowodowane jest to zbyt małą powierzchnią drzwi w stosunku do intensywności przepływu wywołanego przez wiatr oraz pożar. Zjawisko przybiera postać swoistego pulsowania dymu/płomieni w oknie i jest bardzo wyraźnym sygnałem mówiącym o tym, że wiatr ma istotny wpływ na pożar. Obserwując przez chwilę charakter tych wyrzutów gorących gazów można wywnioskować nieco więcej. Zależnie od tego czy płomień wydostaje się nieregularnie i sporadycznie czy też okresowo pulsuje, można wnioskować, czy pomieszczenie objęte pożarem jest otwarte na pozostałą część obiektu czy lokalu, czy też drzwi do niego są zamknięte.



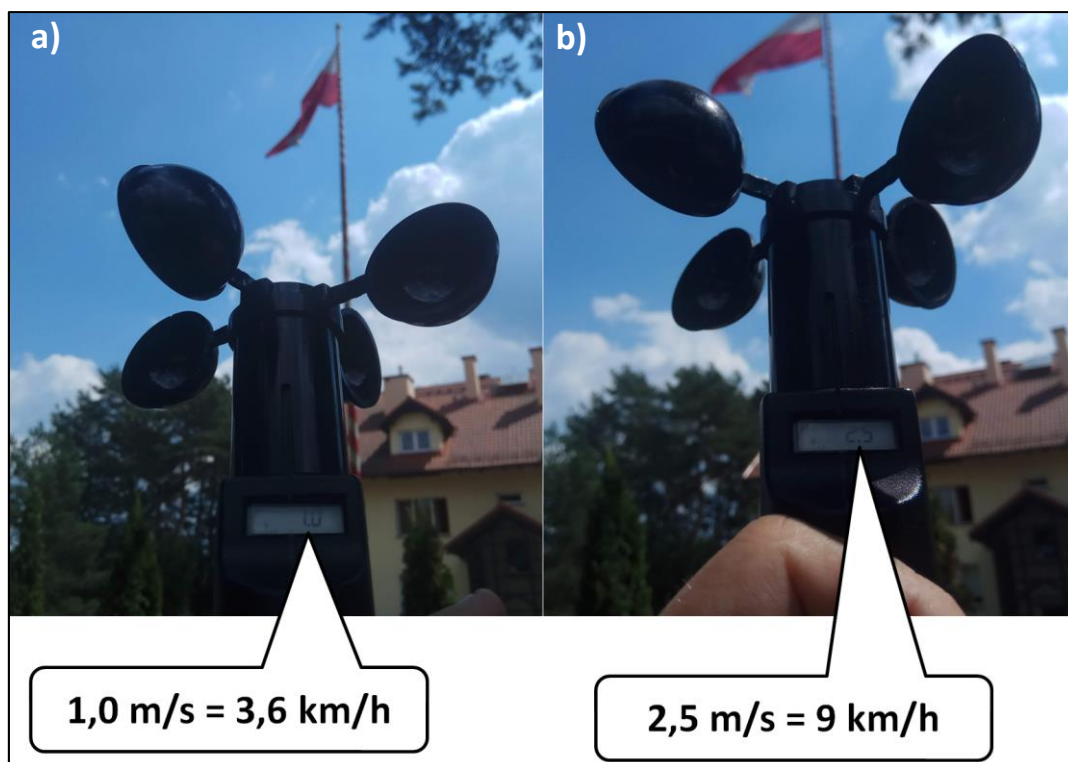
Rys. 60 a-b: Różnice w oznakach zewnętrznych **pożaru napędzanego wiatrem** w zależności od konfiguracji toru wymiany gazowej w obiekcie. Sytuacja **a)** pokazuje otwarte drzwi do mieszkania i wypływ dymu na klatkę schodową. W oknie cofanie się dymu będzie nieznaczne (jak na **Fot. 42 c-f**). Dodatkowo, zależnie od otwarcia okna na klatce, dym może być widoczny z drugiej strony (rozpoznanie 360°). Sytuacja **b)** pokazuje zamknięte drzwi do mieszkania – dym będzie wypływał tym samym otworem, którym napływa powietrze. Przepływ nie będzie dwukierunkowy (porównaj z **Rys. 24** oraz **Rys. 26**) a pulsacyjny – na zmianę dochodzić będzie do napływu powietrza i wypływu dymu. Jest to wyraźna oznaka zagrożenia ze strony wiatru. Skutki otwarcia drzwi do mieszkania będą podobne do skutków wypadnięcia okna pokazanych na **fot. 42 c-f** czyli **krytyczne pogorszenie warunków na drodze podejścia rot gaśniczych!**²⁷

²⁷https://youtu.be/Ju-Cyt_G8S8?t=17m19s - Examining Fire Fighting Tactics under Wind-Driven Conditions (Pt. 4).

Prowadząc rozpoznanie należy pamiętać o tym, że na kierunek i siłę wiatru wpływa wiele czynników (patrz rys. 57.). Wspomniano wcześniej (ROZDZIAŁ 2.13.4.), że począwszy od wiatru o prędkości około 15 km/h warunki zewnętrzne mogą mieć wpływ na pożar. Poniższa tabela 10 pokazuje prędkości wiatru oraz wywołane przez nie efekty. Widzimy, że w momencie, kiedy lekkie przedmioty zaczynają być poruszane wiatrem, wówczas zaczynają panować warunki, w których należy się spodziewać wpływu wiatru na pożar.

Tab. 10: Prędkość wiatru i wywołany efekt. [73]

| Prędkość wiatru [km/h] | Efekt |
|------------------------|---|
| 0 – 1,5 | Dym unosi się pionowo |
| 3 – 5 | Kierunek wiatru widoczny w kierunku unoszenia dymu, ale nie na wiatrowskazach. |
| 6,5 – 11,5 | Wiatr odczuwalny na twarzy. Liście poruszają się, szeleszczą. Zwykłe wiatrowskazy poruszane są przez wiatr. |
| 13 – 20 | Liście i gałązki w ciągłym ruchu. Wiatr jest w stanie poruszać lekką flagą. |
| 21 – 30 | Wiatr wzbija kurz, porusza papierkami. Poruszają się małe gałęzie. |
| 30 – 40 | Małe drzewa iglaste zaczynają się kołysać. Na wodach śródlądowych tworzą się nieregularne fale wiatrowe. |
| 40 – 50 | Poruszają się duże gałęzie, słychać świst wokół linii energetycznych. Użycie parasola staje się trudne. |

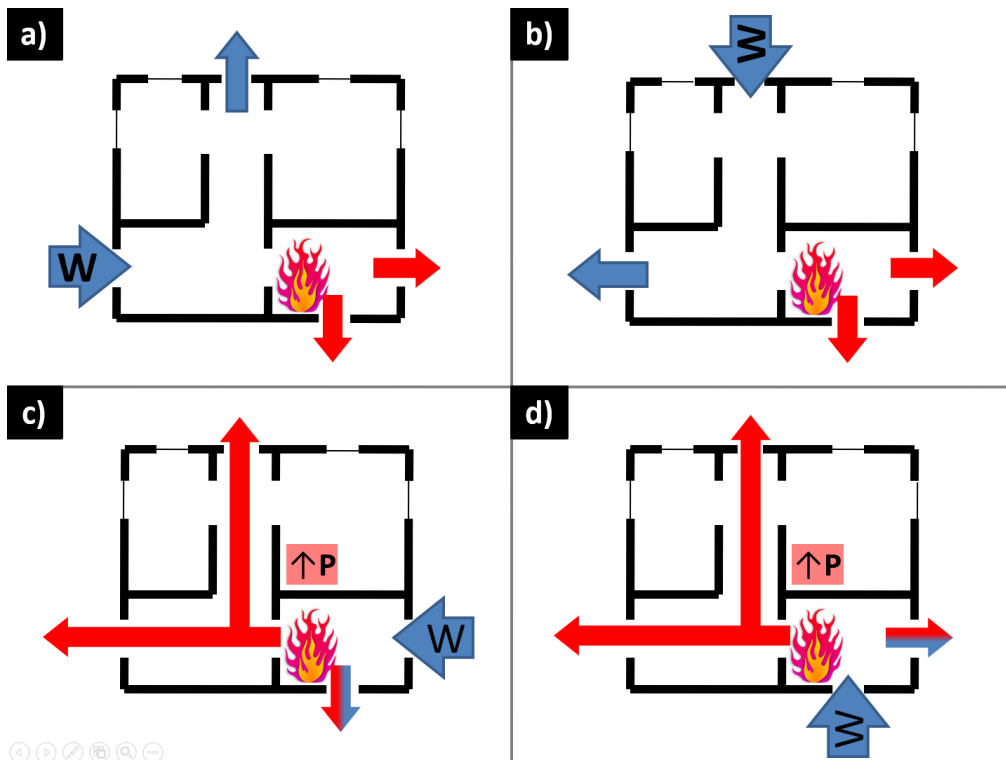


Fot. 42 a-b: Porównanie dwóch pomiarów prędkości wiatru oraz efektu w postaci oddziaływania na flagę na maszcie. Różnice w porównaniu z tabelą mogą wynikać z niedokładności pomiaru (pomiar na różnych wysokościach, opóźnienie w reakcji przyrządu), niemniej potwierdzają zasadę. Oznaki wizualne są w stanie pomóc w rozpoznaniu warunków wiatru i uzupełnić rozpoznanie o kluczowe informacje.



Fot. 43 a-b: Niektóre wysokie budynki nie są w ogóle osłonięte innymi budynkami, więc wpływ wiatru na ewentualny pożar w takich budynkach będzie większy. Również wysokość piętra, na którym dochodzi do zdarzenia ma znaczenie. Ponownie należy podkreślić znaczenie rozpoznania 360° w ramach rozpoznania BE-SAHF. Na zdjęciu po **lewej** widać rzadki, jednak prawdopodobny przypadek obecności ludzi na ścianie budynku (serwis mycia okien). Poznanie przeznaczenia obiektu (litera B w modelu BE-SAHF) pomoże przewidzieć prawdopodobny scenariusz rozwoju pożaru z uwagi na obecne paliwa, prawdopodobne powierzchnie poszczególnych pomieszczeń czy obecność przestrzeni umożliwiających wędrówkę pożaru lub dymu (np. podwieszane sufity w biurach).

Podsumowując zagadnienie należy dodać, że rozpoznanie wpływu wiatru na pożar jest elementem arcyważnym. Co więcej, zgodnie z przytoczoną definicją rozpoznania, pozyskiwanie informacji należy prowadzić w sposób ciągły, a zatem również w sposób ciągły należy monitorować kierunek i siłę wiatru. Mogą one ulegać zmianom w trakcie trwania interwencji, wpływając tym samym na warunki oraz bezpieczeństwo strażaków pracujących wewnątrz. Na **rysunku 61** przedstawiono taką samą sytuację pożarową. Ognisko pożaru znajduje się w tym samym miejscu. Dodatkowo, profil wentylacji jest identyczny (te same drzwi i okna otwarte). Sytuacja numer 1 przedstawia przepływ wiatru skierowane w stronę wejścia do budynku. Różnice w kierunku wiatru spowodują inny scenariusz zdarzenia. Jak wspomniano, do zmiany kierunku wiatru może też niekiedy dojść w trakcie zdarzenia.



Rys. 61 a-d: Wpływ kierunku wiatru na scenariusz zdarzenia. Na rysunkach widać to samo umiejscowienie ogniska pożaru oraz ten sam profil wentylacji (liczba i lokalizacja otworów). Zależnie od kierunku wiatru, przepływ gazów pożarowych i rozprzestrzenianie się pożaru będą inne. Rozpoznanie kierunku i wpływu wiatru jest absolutną podstawą rozpoznania podczas działań przy pożarach wewnętrznych. Symbolem ↑P oznaczono fakt wzrostu ciśnienia w pomieszczeniu bez wystąpienia przez nie przepływu dymu.



Fot. 44: Współczesne budownictwo mieszkalne sprzyja występowaniu nieregularności w powierzchniach czy kształtach pomieszczeń. Często jest występowanie lokali użytkowych na poziomie gruntu. Ich wyposażenie oraz konfiguracja będą powodować, że pożar będzie przebiegał inaczej, aniżeli w mieszkaniu.

Silny wiatr może również wzmacniać efekt niskiej wilgotności powietrza, jak również wysokich temperatur. W takim środowisku, spalanie przebiega nieco łatwiej. Niektóre paliwa, podatne na zawilgocenie, będą zawierały mniej wilgoci, przez co będą się łatwiej spalać. Topografia terenu jak też obecność roślinności oraz sąsiadujących obiektów będą miały wpływ na siłę i kierunek wiatru, co omówiono w **ROZDZIALE 2.13.4.** Silne wiatry są w stanie podnosić ciśnienie wewnątrz przestrzeni obudowanych (pokoje, sale, korytarze, szyby), wpływając na pożar. Mogą też wpływać na zjawiska pożarowe, na przykład „wysokociśnieniowy backdraft” opisany w **ROZDZIALE 2.13.2.** czy powodować niekorzystne rozprzestrzenianie się zadymienia, na przykład na drogi ewakuacyjne (patrz **rys. 28**) jeśli istnieje droga przepływu gazów pożarowych (drzwi i okna SA pootwierane lub występują połączenia między przestrzeniami w postaci kanałów lub szybów). [74, 75]

Temperatura powietrza może mieć wpływ na zachowanie dymu wydobywającego się z budynku, szczególnie jeśli jest bardzo zimno lub bardzo ciepło. W pierwszym przypadku dym będzie szybko stygł i tracił siłę wyporu. W połączeniu z niskim ciśnieniem atmosferycznym może powstać zjawisko inwersji warstw, co sprawi, że dym zacznie się ścielić, zamiast się unosić. Budynki, które występują w strefach klimatycznych, gdzie charakterystyczne jest okresowe występowanie niskich temperatur, są zazwyczaj dobrze izolowane, stąd odczytanie oznaki „H” w modelu BE SAHF, czyli ciepła, może być utrudnione.

Wpływ wysokich lub niskich temperatur ma też znaczenie dla samopoczucia i komfortu pracy strażaków. Przy wysokich temperaturach należy uważać, aby nie doprowadzić do przegrzania czy odwodnienia organizmu (patrz **ROZDZIAŁ 1.2.**) i stosować podmiany, zapewnić możliwość ochłodzenia się i odpoczynku oraz uzupełnienia płynów. W przypadku bardzo niskich temperatur również występują zagrożenia związane z wyziębieniem organizmu.

3.3. Dym

Dym jest najbardziej zauważalną oznaką pożaru. Po pewnym czasie obserwowania dymu w trakcie różnych pożarów, strażacy nabierają pewnej umiejętności interpretowania charakterystycznych cech dymu, przekładając to na rozpoznanie warunków ogniowych. Dym i **tor wymiany gazowej** są ze sobą ściśle powiązane. W niniejszym rozdziale skupimy się na wyodrębnieniu cech charakterystycznych dymu, aby omówić dokładnie ich znaczenie. Owe cechy, to:

- kolor dymu,
- gęstość dymu,
- objętość dymu,
- lokalizacja wydobywania się dymu,
- dynamika wydobywania się dymu, w tym siła wyporu, prędkość przepływu i występowanie pulsowania,
- wysokość płaszczyzny neutralnej w otworach lub w pomieszczeniach. [76]

Zacznijmy od tego, co widać na pierwszy rzut oka, czyli od koloru dymu. Na początek należy obalić pewien niebezpieczny mit na temat jasnego dymu. Wspomniano wcześniej, że w wyniku rozkładu termicznego lub pirolizy dochodzi do emisji gazów. Może być to para wodna, jeśli paliwo jest zawilgocone. Mogą to również być produkty rozkładu termicznego i pirolizy, w tym **niespalone węglowodory**, stanowiące podstawowe paliwo dla wielu niebezpiecznych zjawisk pożarowych (patrz **ROZDZIAŁY 2.6., 2.13.2.** oraz **2.13.3.**). Zarówno para wodna jak i produkty pirolizy będą miały kolor jasny: biały lub jasnoszary. Z tego powodu łatwo pomylić te gazy, natomiast różnica między nimi jest kolosalna! Para wodna uniemożliwia proces spalania. Niespalone węglowodory są paliwem gazowym zdolnym nawet do wybuchu! Dlatego w środowisku pożaru nie wolno lekceważyć ani ignorować dymu o żadnym kolorze, w tym w kolorze białym. Na poniższych zdjęciach (**fol. 45 a-b**), będących klatkami z filmu pokazującego fragment pożaru ćwiczebnego widać intensywną emisję gazów pożarowych z krzesła. W kilka sekund później gazy te zapalają się od płonącego elementu, który spada w pobliżu. Po krótkiej chwili następuje rozgorzenie.



Fot. 45 a-b: Emitowany przez paliwa stałe „biały dym” to w rzeczywistości niespalone produkty rozkładu termicznego i/lub pirolizy, bogate w palne węglowodory. Są niezwykle podatne na zapłon i spalają się z wydzielaniem dużych ilości energii cieplnej.²⁸

Najczęściej, w ramach jednego pożaru, można zaobserwować kłęby dymu o różnych kolorach. Są to zazwyczaj odcienie szarości, od niemal białego do niemal czarnego. Analiza tych kolorów, w połączeniu z innymi oznakami, pomoże zidentyfikować szereg ważnych informacji:

- **Czarny dym** wskazuje na wysoką zawartość paliw w mieszaninie, wynikająca z braku dostępu niezbędnego tlenu z powietrza. Tam, gdzie dochodzi do spalania płomieniowego lub żarzenia, węgiel z paliw jest uwalniany i jako sadza dostaje się do dymu, zabarwiając go na czarny lub bardzo ciemny kolor. Kiedy dostęp powietrza jest odpowiedni, większa część węgla wejdzie w reakcję z tlenem tworząc tlenek węgla i w rezultacie dym (i płomień) będzie jaśniejszy. Przyczyną obecności sadzy w dymie są silne prądy konwekcyjne wynikające z wyższych temperatur spalania płomieniowego, porywające uwolnione w trakcie rozkładu termicznego cząsteczki i unoszące je do objętości płomienia a następnie do strefy zadymienia.
- **Brązowy dym** może wskazywać na wczesne stadium pirolizy produktów drewnianych. Spowodowane jest to rozkładem ligniny i emisją substancji smolistych. Brązowy dym może również wskazywać na obecność retardantów ogniowych (substancji spowalniających spalanie). Spalające się tworzywa sztuczne, w szczególności poliuretany (pianki), mogą rozkładając się tworzyć dym o zabarwieniu żółtym.
- **Szary dym** wskazuje na to, że występuje przynajmniej częściowe spalanie płomieniowe lub żarzenie. Tam, gdzie czarny dym ze spalania płomieniowego lub żarzenia miesza się z jasnym dymem z pirolizy w rezultacie powstaje szary dym o różnych odcieniach. Dodatkowo, czarny dym, który pokonał pewien dystans może ochładzać się po drodze w kontakcie z powierzchniami i osadzać na nich cząstki sadzy, co spowoduje rozjaśnienie jego koloru. Interpretacji koloru dymu należy więc dokonywać w zestawieniu z interpretacją odległości ogniska pożaru od otworu wylotowego.
- **Biały dym**, często mylony z parą wodną, może być produkowany po ogrzaniu paliw do temperatury ich pirolizy, co skutkuje w emisji produktów lotnych. Jeśli nie ma dostępu tlenu a temperatura nadal rośnie, intensywne produkcja białego dymu będzie trwała. Biały dym może mieć bardzo wysoką zawartość paliwa i dlatego jego obecność wiąże się z poważnym zagrożeniem. **Nie może być nigdy traktowany bez należytej powagi!** Biały dym może gromadzić się w oddalonych częściach budynku i nawet jeśli ma niską temperaturę to ze względu na wysoką zawartość energetyczną pojawienie się źródła zapłonu może skutkować bardzo dynamicznym zapłonem i poważnych konsekwencjach (patrz **ROZDZIAŁ 2.13.3.**). [21, 76]

²⁸<https://youtu.be/-o6w4FjmLhw> – Demonstracja rozgorzenia.

Kolor dymu nie jest stuprocentową oznaką warunków spalania, w szczególności określania rodzaju czy ilości paliwa podlegającego spalaniu. Warunki spalania oraz prowadzone działania mogą wpływać na kolor dymu. Zmiany profilu wentylacji czy podawanie wody może powodować przepływy, turbulencje i mieszanie się gazów, tym samym wpływając na kolor dymu. Obserwując zmiany w kolorze dymu należy zawsze odnieść je do zmian innych oznak pożaru w ramach modelu BE-SAHF. Co do zasady, rozpoznanie BE-SAHF polega na interpretacji wielu lub wszystkich elementów jednocześnie w celu wyciągnięcia wniosków na temat pożaru.

Gęstość i objętość dymu będą zależały od fazy pożaru i wielkości strefy spalania, a także od odległości tej strefy od otworu wylotowego. **Lokalizacja** wydobywania się dymu może wpłynąć na te czynniki, jak również na kolejny czynnik, jakim jest **dynamika** wydobywania się dymu.

Gęstość dymu będzie tym większa, im wyższa temperatura w strefie spalania oraz w strefie zadymienia i im większa powierzchnia paliw we wnętrzu spala się płomieniowo, żarzy lub ulega rozkładowi termicznemu/pirolizie. Zależnie od powyższych czynników, wpłynie to jednocześnie na **kolor** tego dymu, co wspomniano fragment wcześniej oraz w ramce powyżej. Gęstość należeć będzie też d czasu spalania. Niewielkie ognisko pożaru, w dłuższym czasie może wyprodukować sporo gęstego dymu. Ponownie należy wspomnieć, że interpretacji oznak należy dokonywać poprzez ich wspólną analizę, a nie interpretację poszczególnych oznak oddzielnie.

Objętość dymu będzie wprost zależna od jego gęstości oraz od tego, czy produkowany dym na drogę ujścia z obiektu na zewnątrz. Im większa ilość produkowanego dymu tym większą zajmie on objętość. Dodatkowo, jeśli dym ma ograniczoną drogę ujścia, to będzie to wpływać na jego **prędkość** wypływu z uwagi na **ciśnienie**, pod jakim się będzie wydostawał. Owo ciśnienie jest wynikiem ilości wyprodukowanego dymu oraz jego temperatury a te wynikają między innymi z dostępu powietrza, czyli z **Toru Wymiany Gazowej**, który jest oddzielną oznaką rozwoju pożaru, opisaną w **ROZDZIALE 3.4**.

Dynamika wydobywania się dymu będzie wypadkową **szybkości** wypływu, **ciśnienia** i **temperatury**. Dodatkowo, **tendencja do unoszenia się** lub **ścielenia** będzie właśnie wynikiem odpowiednio wysokiej lub niskiej temperatury dymu (uwzględniając wpływ temperatury atmosferycznej opisany w **ROZDZIALE 3.2.**). dym może przemieszczać się przez ukryte przestrzenie czy kanały i pojawiać się w całkowicie niespodziewanych miejscach. W niektórych przypadkach wskazówki te są więc błędne. Zdarza się wydzielanie dużych ilości dymu przy pożarze obiektu, gdy samo ognisko pożaru jest stosunkowo niewielkie i często w miejscu zupełnie innym niż spodziewane. Co do zasady, gorący dym unosi się pionowo ku górze. Kiedy napotka poziomą przeszkodę, będzie się rozprzestrzeniał, szukając dalszych możliwości pionowej wędrówki. Im większy pokonuje dystans, tym staje się chłodniejszy. Jednocześnie stopniowo miesza się z powietrzem.

Po wydostaniu się z obiektu dym będzie unoszony przez wiatr. Obserwacja kierunku oraz dynamiki unoszenia podsunie odpowiedź na pytanie o kierunek i siłę wiatru, i będzie uzupełnieniem informacji zdobytych podczas rozpoznania dotyczącego środowiska (litera E, **ROZDZIAŁ 3.2.**).

Powyższe oznaki najczęściej składają się na kilka rodzajów wzorców wizualnych wydobywania się dymu:

- Blisko ogniska pożaru, dym wydobywa się szybko, kłębi się, jest go duża ilość i unosi się ku górze. Najczęściej jest ciemny.
- W przypadku ograniczonego dostępu tlenu pojawi się dodatkowo dym jasny, często wydobywający się z innych otworów lub części nieuszczelnności, informujący o rozkładzie termicznym.
- W oddaleniu od ogniska pożaru dym będzie jaśniejszy, mniej gorący, jego tendencja do unoszenia się powinna być mniejsza, kłębenie się będzie mniej intensywne, niższe ciśnienie wydobywania się.
- Jeśli z kolei tego typu wzorec wizualny obserwowany będzie w niewielkim obiekcie, wskazuje to na bliskość ogniska pożaru a zatem na mniej intensywne stadium rozwoju pożaru.
- Istnieją sytuacje, w których dym jest wypychany przez nieuszczelnności a następnie zasysany. Oznacza to duże prawdopodobieństwo wystąpienia **pożaru nieodwietrzonego** i powinno być traktowane jak ryzyko wystąpienia **wstecznego ciągu płomienia**.
- Rozpoznanie wizualne dymu dokonywane jest również wewnątrz obiektu przez strażaków prowadzących działania. Głównie dotyczy ono **płaszczyzny neutralnej**. Jeśli jest ona wysoko to albo

istnieje inny odpływ dymu, albo pożar jest we wczesnym stadium (mało prawdopodobne, chyba że stosunkowo niedawno doszło do np. otwarcia drzwi a pożar ponownie zaczął się rozwijać), ewentualnie źródło pożaru jest oddalone od strażaków. Jeśli płaszczyna neutralna jest nisko a do tego zaczyna falować, jest to oznaką nadchodzącego zjawiska **rozgorzenia**. Zazwyczaj poprzedzi je pojawienie się płomieni w okolicy płaszczyny neutralnej oraz odgazowywanie paliw stałych w wyniku rozkładu termicznego lub pirolizy.



Fot. 46: Pierwsze minuty pożaru hali produkcyjnej. Widoczny czarny i ciemny dym sugeruje intensywne spalanie płomieniowe. Gęstość dymu nie jest wysoka, miejscami ma jaśniejsze odcienie. Prawdopodobnie trwa rozkład termiczny paliw a do tego dym miesza się z powietrzem. Dym nie jest szczególnie gęsty a jego objętość nie jest duża – prawdopodobnie strefa spalania nie osiągnęła jeszcze znacznych rozmiarów. Jest to hipoteza spójna z czasem wykonania zdjęcia – w pierwszych minutach pożaru. (fot. KP PSP w Złotowie)



Fot. 47: Pożar w obiekcie przemysłowym. Ognisko pożaru znajduje się tam, gdzie dym wydobywa się najszybciej i unosi najbardziej dynamicznie do góry. W obserwowanym przypadku stwierdzenie tego jest utrudnione z uwagi na wiatr. Kolejnym elementem jest kolor dymu – ciemniejszy dym wskazuje ognisko pożaru. Ma dużą gęstość a o ciśnieniu i temperaturze świadczy kłębiecie się (turbulencja). Dodatkowo,

obecność płomienia potwierdza tę hipotezę. Dym w dalszej części zdjęcia jest jaśniejszy – rozpoczęła się piroliza paliw w otoczeniu ogniska pożaru a dym ze strefy spalania wymieszał się z jasnym dymem oraz powietrzem. (fot. KP PSP we Wrześni)



Fot. 48: Pożar w obiekcie przemysłowym. Pożar rozprzestrzenił się na obiekt w tylnej części zdjęcia. W okienku oznaczonym **strzałką** widać gęsty dym, wydobywający się z bardzo dużą prędkością (turbulencje) oznaczającą wysoką temperaturę. Dym skierowany jest w dół prawdopodobnie w wyniku wiatru skierowanego na ścianę budynku. Bliskość płomienia na zewnątrz obiektu oznacza wysokie ryzyko zapłonu tych gazów pożarowych. Prawdopodobnie wydobywanie się dymu ma charakter pulsacyjny co oznacza, że otwarcie drzwi do kubatury stanowiącej jedną ścieżkę przepływu z pomieszczeniem, z którego wydobywa się ten dym, oznaczać będzie intensywny i śmiertelnie niebezpieczny przepływ gorących gazów lub nawet płomieni. Jasny dym na prawo od komina oznacza pirolizę. (fot. KP PSP we Wrześni)



Fot. 49: Pożar w obiekcie przemysłowym. Częściowe ugaszenie pożaru powoduje pojawienie się „jasnego dymu”. W dużej mierze jest to para wodna. Widać jednak kłęby o zabarwieniu żółtym i o innej dynamice wydobywania się. Jest to niemal na pewno efekt pirolizy paliw, które wymagają szybkiego schłodzenia (fot. KP PSP we Wrześni)



Fot. 50: Zdjęcie po pożarze w lokalu mieszkalnym. Widoczny na ścianie ślad okopcenia wskazuje, na jakiej wysokości znajdowała się płaszczyzna neutralna. W tym pożarze, strażacy przebywający przy ziemi nie mieli ograniczonej przez dym widoczności. Jednocześnie poziom zadymienia umożliwił wydostawanie się dymu przez okno oraz dostarczanie przez nie powietrza do wnętrza (przepływ dwukierunkowy). Duża wysokość linii okopcenia wskazuje na szybkie opanowanie sytuacji przez strażaków (fot. KP PSP w Nowym Tomysłu)



Fot. 51: Płaszczyzna neutralna na wysokości około 1,3 m. Charakterystyka przepływu zbliżona do laminarnej. Oznacza to, że przemieszczanie się w kierunku ogniska pożaru jest bezpieczne, pod warunkiem chłodzenia gazów pożarowych (zobacz **ROZDZIAŁ 4.2.**). W strefie wolnej od zadymienia panuje najlepsza widoczność i najniższa temperatura. (fot. Ośrodek Szkolenia KW PSP w Olsztynie)

W trakcie rozwoju pożaru płaszczyna neutralna będzie się obniżać przy jednoczesnym wzroście gęstości optycznej dymu. Dlatego jeśli strażacy widzą:

- płaszczynę neutralną usytuowaną względnie wysoko, oznacza to wczesne stadium rozwoju pożaru lub intensywny odpływ dymu;
- jeśli płaszczyna znajduje się bardzo nisko, wówczas należy spodziewać się obecności bardzo bogatej mieszaniny gazów palnych i powietrza, sprzyjającej występowaniu niebezpiecznych zjawisk pożarowych;
- jeśli dojdzie do nagłego podniesienia się płaszczyny neutralnej, może to oznaczać zmianę profilu wentylacji. Jeśli strażacy nie spodziewali się tego i nie wynikało to z ich zamierzonych czynności, to może oznaczać zagrożenie dla ich zdrowia lub życia, z uwagi na wysokie prawdopodobieństwo wzrostu intensywności pożaru i zagrożenia wystąpieniem zjawiska rozgorzenia.
- obniżenie się płaszczyny neutralnej może oznaczać skumulowanie się gazów pożarowych i zbliżające się rozgorzenie. Zazwyczaj towarzyszy temu falowanie płaszczyny neutralnej spowodowane turbulencjami wynikającymi ze wzrostu temperatury.

Ten element rozpoznania zazębia się z kolejnym opisanym elementem, czyli **torem wymiany gazowej**, gdyż jak wspomniano elementy te są ze sobą połączone.



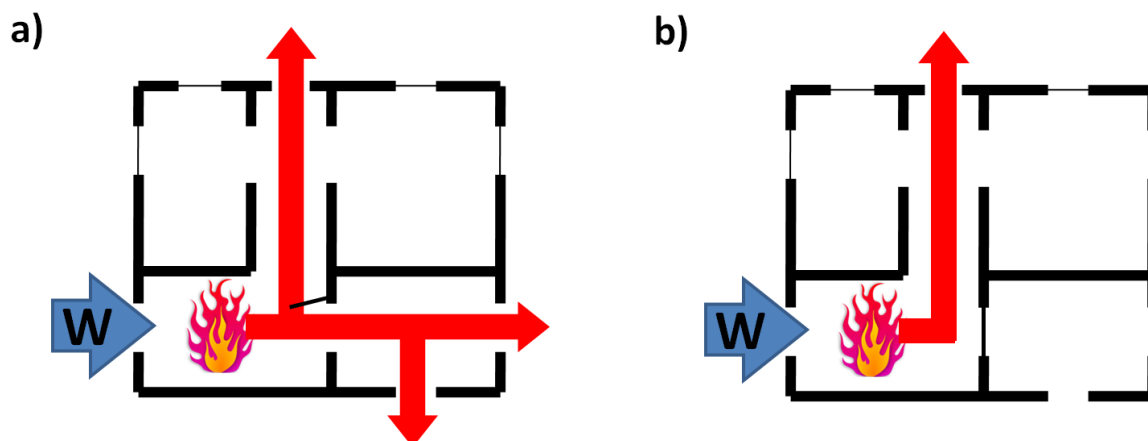
Fot. 52 a-b: Pulsowanie dymu w szczelinach wokół drzwi lub innych otworów jest sygnałem **mogącym oznaczać** występowanie warunków do powstania zjawiska **wstecznego ciągu płomieni**. Niewątpliwie jest oznaką **obecności dymu za drzwiami** i powinno być powodem **wdrożenia algorytmu postępowania**, przy drzwiach, opisanego w **ROZDZIALE 4**. (fot. KW PSP w Olsztynie).

3.4. Tor wymiany gazowej

Z dotychczasowego opisu można wyciągnąć wniosek, że tor wymiany gazowej jest elementem ściśle powiązany z kilkoma innymi. Gdyby chcieć go zdefiniować, wówczas najprostsza definicja mogłaby wyglądać następująco:

Tor wymiany gazowej jest to przestrzeń wewnątrz budynku pomiędzy otworami stanowiącymi wlot dla powietrza a otworami stanowiącymi wylot dla gazów pożarowych. Wynikający z wymiany gazowej **przepływ** to ruch gazów pożarowych i powietrza po torze wymiany gazowej. [35]

Analizując omówione już elementy rozpoznania BE-SAHF można stwierdzić, że charakterystyka toru wymiany gazowej powiązana będzie z kilkoma innymi elementami, mianowicie: **budynkiem**, **środowiskiem** oraz **dymem**. Bezpośrednio, charakterystyka będzie wynikiem konfiguracji otwartych okien, drzwi i innych otworów (jak klapy dymowe czy szyby wentylacyjne itp.) będących wlotami i wylotami dla gazów oraz – co ważne – drożności pomiędzy nimi (zobacz **Rys. 62**).



Rys. 62 a-b: Wpływ drożności toru wymiany gazowej na ścieżkę przepływu. Sytuacja a) – w wyniku oddziaływania wiatru powietrze wpływa do obiektu, napotyka źródło pożaru a następnie dym wydostaje się przez trzy otwory okienne. Sytuacja b) – doszło do zamknięcia drzwi do jednego z pomieszczeń w wyniku przepływu gazów a dym wydostaje się już tylko przez jedno okno. Możliwa jest sytuacja, w której otwór wylotowy jest niewystarczająco wydajny, aby przepływ następował w całości przez nie. Wówczas może dojść do cofania się dymu. Taka sytuacja może być spowodowana przez wiatr lub przez wentylację nadciśnieniową, jeśli otwory wylotowe są zbyt małe względem wlotowych oraz względem wydajności tłoczonego powietrza.

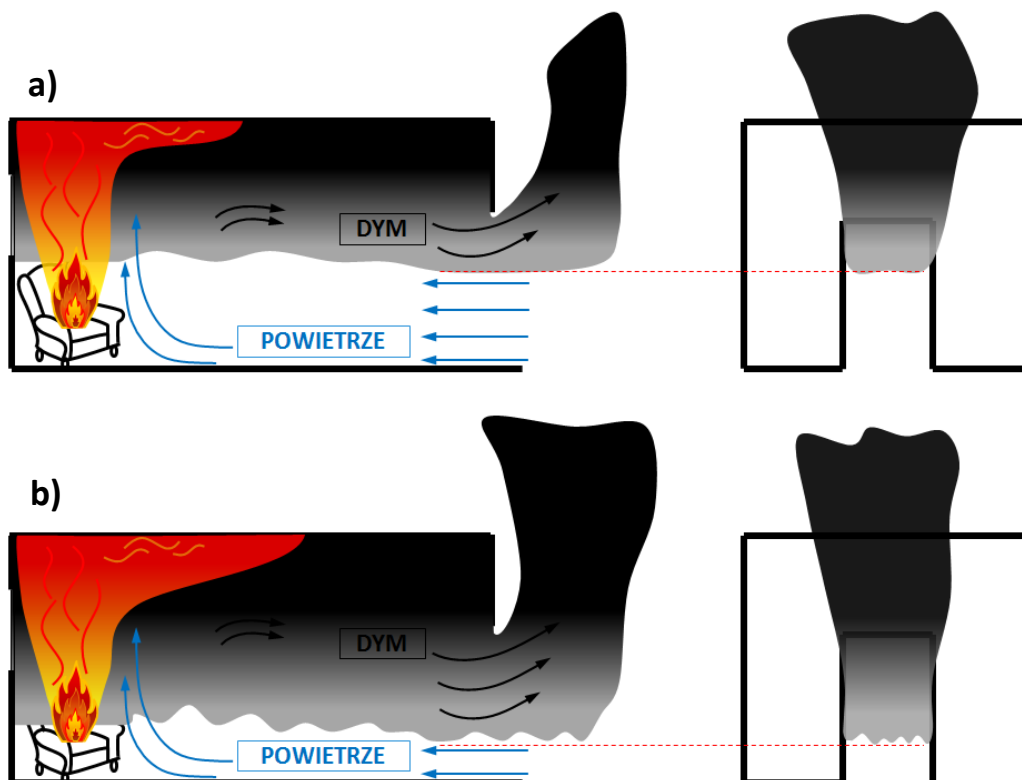
Oceniając ten element rozpoznania BE-SAHF należy zwrócić uwagę na następujące kwestie:

- czy przepływ jest jednokierunkowy czy dwukierunkowy?
- czy płaszczyzna neutralna zachowuje się turbulentnie (pożar kontrolowany przez wentylację) czy statycznie (pożar kontrolowany przez paliwo)?
- czy występują odgłosy świszczania lub zasysania powietrza?

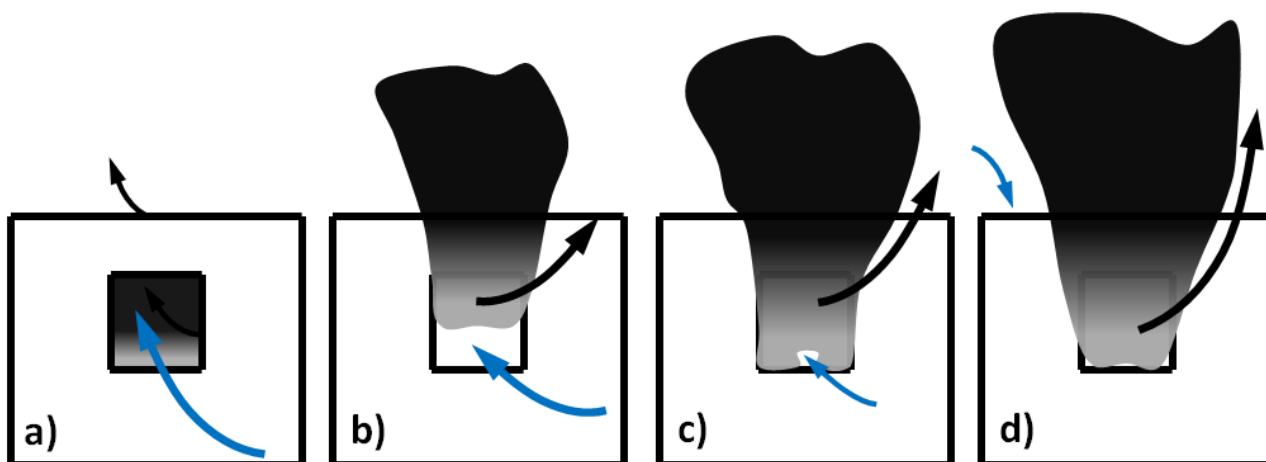
Analizując rozmieszczenie otworów oraz zachowanie dymu w nich możemy ocenić fazę pożaru jak również intensywność spalania czy kierunek rozprzestrzeniania. Będzie to podstawą do podjęcia decyzji o umiejscowieniu linii gaśniczych czy czynnościach z zakresu **wentylacji taktycznej**. W ramach oceny przeanalizujemy takie cechy charakterystyczne, jak: prędkość i kierunek przepływów, charakter przepływu (turbulentny czy stabilny), obecność pulsowania dymu czy też ewentualne efekty dźwiękowe przepływów. Powoli to zarówno ocenić aktualny stan pożaru jak również prognozować jego rozwój i rozprzestrzenienie, bowiem najczęściej uwidoczni istniejące potencjalne drogi rozprzestrzeniania.

Każdy pożar wędruje w kierunku, z którego napływa powietrze, w szczególności, jeśli jest to jedyny otwór wentylacyjny. Jeśli istnieje więcej otworów, a jeden z nich jest otworem wylotowym, wówczas wędrowka gorących gazów do niego również spowoduje rozprzestrzenianie się pożaru w tamtym kierunku. Wreszcie, gdy istnieje przepływ wymuszony (np. przez wiatr) wówczas rozprzestrzenianie nastąpi głównie zgodnie z kierunkiem przepływu (konwekcja gazów pożarowych), ale będzie również występowało wolniejsze

rozprzestrzenianie w kierunku przeciwnym (promieniowanie ciepłe). Na poniższych rysunkach (rys. 63 i 64) wyjaśniono kilka podstawowych zasad rozpoznawania **toru wymiany gazowej**.



Rys. 63 a-b: Zależnie od stadium rozwoju pożaru, wysokość płaszczyny neutralnej będzie się różnić. Jej poziom strażak będzie w stanie ocenić już z daleka, w trakcie przemieszczania się w kierunku ogniska pożaru. Jeśli zachowuje się w miarę stabilnie, wówczas mamy do czynienia z **pożarem kontrolowanym przez paliwo**. Jeśli zachowuje się turbulentnie, to oznacza **pożar kontrolowany przez wentylację**.



Rys. 64: Interpretacja toru wymiany gazowej w otworze okiennym: a) całe okno jest wlotem, b) w oknie jest przepływ dwukierunkowy stabilny, c) w oknie jest przepływ dwukierunkowy z przewagą wylotu dymu, turbulentny, d) całe okno jest wylotem. Interpretację tych sytuacji pożarowych przedstawiono w tekście poniżej.

Na **rysunku 64** możemy wyróżnić następujące sytuacje oraz dokonać ich interpretacji:

- a) Całe okno jest wlotem. Oznacza to sterowanie przepływem przez wiatr lub intensywne zassanie dymu będące zapowiedzią nadchodzącego zjawiska backdraftu. W pierwszym przypadku oznacza to również, że drzwi do pomieszczenia z tym oknem są otwarte, a dym rozprzestrzeni się po obiekcie. Być może jego ujście znajduje się z drugiej strony (rozpoznanie 360°). W drugim przypadku owo zassanie będzie

chwilowe i nastąpi zazwyczaj po wybiciu czy pęknięciu szyby a przed wyrzutem kuli ognia (zobacz **ROZDZIAŁ 2.13.2.**).

- b) W oknie występuje przepływ dwukierunkowy o charakterze stabilnym. Oznacza to, że pożar jest kontrolowany przez paliwo. Nie jest to definitywnym wskazaniem tego, czy drzwi do tego pomieszczenia są otwarte czy zamknięte, natomiast najprawdopodobniej okno to może stanowić jedyny otwór wymiany gazowej.
- c) W oknie występuje przepływ dwukierunkowy turbulentny, z przewagą wylotu dymu lub pulsacyjny. Oznacza to pożar niedowietrzony i zamknięte drzwi do tego pomieszczenia.
- d) W oknie istnieje tylko wylot dymu. Oznacza to usytuowanie pożaru poniżej tego poziomu (rozpoznanie elementu B – budynek) lub przepływ wymuszony przez np. wiatr.

W tekście wielokrotnie występują odniesienia do rozpoznania innych elementów modelu BE-SAHF. Jak już kilkakrotnie podkreślono, jedynie wspólna interpretacja oznak zewnętrznych i ich wzajemnej relacji może dać relatywnie pełny obraz sytuacji w danym momencie. Wymiana gazowa, czyli przepływ gazów pożarowych oraz powietrza, zależy będzie od tego, w jaki sposób na ów ruch gazów wpływają różnice gęstości oraz fizyczne bariery a także od wpływ wiatru lub wentylatorów. Wyróżniamy przepływy jednokierunkowe (zazwyczaj wymuszone lub grawitacyjne przy dużych różnicach temperatur) oraz dwukierunkowe. Kierunek przemieszczania się, prędkość przepływów (widoczna w dymie, niewidoczna w powietrzu), turbulencja oraz wpływ wiatru lub innych czynników wymuszających przepływy – to główne obszary, na których interpretacji należy się skupić, w zestawieniu z innymi elementami modelu BE-SAHF.

W swojej książce *Fog Attack*, Paul Grimwood, przedstawił kilka cytatów, które odnalazł w Archiwach Muzeum Brytyjskiego. Jeden z nich znajduje się już w niniejszym opracowaniu w **ROZDZIALE 2.13.1.1.** (James Braidwood, 1866). Kolejne z nich zamieszczone są poniżej oraz w dalszych rozdziałach. Wszystkie z nich pozwalają zauważyć, jak wcześnie strażacy rozumieli znaczenie zarządzania ścieżkami przepływu. Można uznać, że owo rozumienie stanowiło podwaliny czegoś co dziś rozumiemy jako **taktyczna wentylacja** (zobacz **ROZDZIAŁ 5.5.**).

"Jestem głęboko przekonany, że wiele poważnych strat, w przeszłości, można przypisać nieuzasadnionemu wybijaniu okien, w celu wejścia za pomocą drabin, kiedy można było przejść po schodach w górę i w dół, a jednocześnie do nie dopuścić do zagrożonych pomieszczeń całego powietrza, poza niewielką ilością, którą w sposób nieunikniony wpuszcza się podczas chwilowego otwarcia drzwi w celu rozejrzenia się." [77] w [33]

Sir Eyre Massey Shaw

Jednym z przykładów skomplikowanego a zarazem ciekawego toru wymiany gazowej, który przyczynił się do znacznego rozprzestrzenienia się pożaru, był pożar w Szkole Muzycznej w Elblągu w dniu 18 stycznia 2014 roku (zobacz **Fot. 53-59**). Pożar rozpoczął się w pomieszczeniu magazynowym umieszczonym na kondygnacji częściowo zlokalizowanej w gruncie. W pomieszczeniu zgromadzone było bardzo dużo materiałów palnych: mebli, papierów, tworzyw sztucznych, a także cieczy łatwopalnych. Z jednej strony obiektu na kondygnację tę można było wejść z poziomu gruntu, a z drugiej występowały okna piwniczne usytuowane tuż nad poziomem gruntu. Pożar rozpoczął się w pomieszczeniu zlokalizowanym nieopodal sali gimnastycznej. W momencie rozpoczęcia działań strażacy zaczęli podawać prądy gaśnicze przez drzwi oraz przez okno piwniczne. Wysoka gęstość obciążenia ogniowego oraz stopień zaawansowania rozkładu termicznego paliw powodowały, że działania gaśnicze przynosiły jedynie ograniczony skutek. W miarę kontynuacji działań i przybywania ma miejsce zdarzenia dodatkowych sił i środków, strażacy dokonali ewakuacji znajdujących się w obiekcie osób i prowadzili sprawdzanie pozostałych części obiektu. W momencie dotarcia do sali koncertowej, usytuowanej dwie kondygnacje powyżej, okazało się, że jest ona pełna gęstego dymu. Po chwili okazało się, że doszło do rozprzestrzenienia pożaru na palne wnętrza sali koncertowej: krzesła na widowni oraz drewniane wykończenie sali.

Oględziny dokonane po ugaszeniu pożaru pozwoliły rozpoznać przyczynę rozprzestrzenienia się pożaru. Okazało się, że w magazynku występowało zamurowane pomieszczenie, do którego prowadziło kilka niewielkich otworów: wyłom w ścianie, szyb wentylacyjny i niewielki właz usytuowany przy podłodze. Po wejściu do zamurowanego pomieszczenia okazało się, że jest ono początkiem szybu wentylacyjnego,

którego ujście znaleziono pod widownią na sali koncertowej. Przez cały czas trwania pożaru gorące gazy wędrowały szybem do sali i wydostawały się w tamtym pomieszczeniu spod krzeseł na widowni. Tym samym następowało stopniowe nagrzewanie materiałów, które owe gazy opływały. W momencie rozpoczęcia natarcia, w wyniku otwarcia drzwi, powstały **prądy konwekcyjne**, które przyspieszyły wypływ gazów na sali koncertowej (zobacz **ROZDZIAŁ 2.2.**). Gazy miały możliwość wędrowki górę, zgodnie z ich wypornością, toteż proces ten był bardzo dynamiczny. Jednocześnie same gazy już były tak gorące, że nawet mimo wędrowki przez szyb wentylacyjny, po ujściu musiały ulegać samozapłonowi, co stało się przyczyną rozprzestrzenienia się pożaru do innego pomieszczenia (zobacz **ROZDZIAŁ 2. 13.3.**). Należy dodać, że jedynie metodyczne podejście strażaków i sprawdzenie całego obiektu Szkoły Muzycznej, w tym pomieszczeń znacznie oddalonych od ogniska pożaru, pozwoliło na natychmiastowe odkrycie tej sytuacji i rozpoczęcie działań gaśniczych. Istotne jest również, że działania wiązały się z koniecznością usuwania dymu z wielu obszarów, do których ów dym zawędrował poprzez **skomplikowane przestrzenne układy szybów, połączeń i nieszczelności**. Stanowił zagrożenie nie tylko zatruciem wziewnym, ale też potencjalnie mógł zapalać się i powodować dodatkowe zagrożenia. Jego wysoka z początku temperatura powodowała też, że wstępnie nie był zauważany w wysokich pomieszczeniach, gdzie kumulował się w warstwie podsufitowej, a w miarę upływu czasu uwidaczniał się w wyniku stygnięcia i osiadania.

Powyższy przykład pokazuje, że rozpoznanie toru wymiany gazowej ma kluczowe znaczenie a czasem nie można wykluczyć również dosyć niewiarygodnych scenariuszy.



Fot. 53: Pomieszczenie, w którym powstał pożar. W ścianie naprzeciw widać otwór wentylacyjny prowadzący do sali gimnastycznej. Po prawej na dole i na górze widać otwory pozwalające na wędrowkę dymu do zamurowanej przestrzeni, w której również składowano różnorodne materiały palne. W pomieszczeniu za ścianą po prawej stronie znajdował się początek szybu wentylacyjnego, którego ujście usytuowane było pod widownią w sali koncertowej dwie kondygnacje powyżej.



Fot. 54: Widok kanałów wentylacyjnych łączących salę gimnastyczną z pomieszczeniem, w którym powstał pożar. Ślady okopcenia pokazują, którędy gazy z ogniska pożaru wędrowały do sali, tworząc ostatecznie warstwę gorących palnych gazów do około połowy wysokości pomieszczenia.



Fot. 55: Ponownie widok na pomieszczenie, w którym powstał pożar. Widać pozostałości materiałów palnych za ścianą na wprost a także inne otwory, którymi dym rozpoczął wędrówkę w oddalone obszary budynku. Znaczna gęstość obciążenia ogniowego sprzyjała wzmożonej produkcji paliw gazowych.



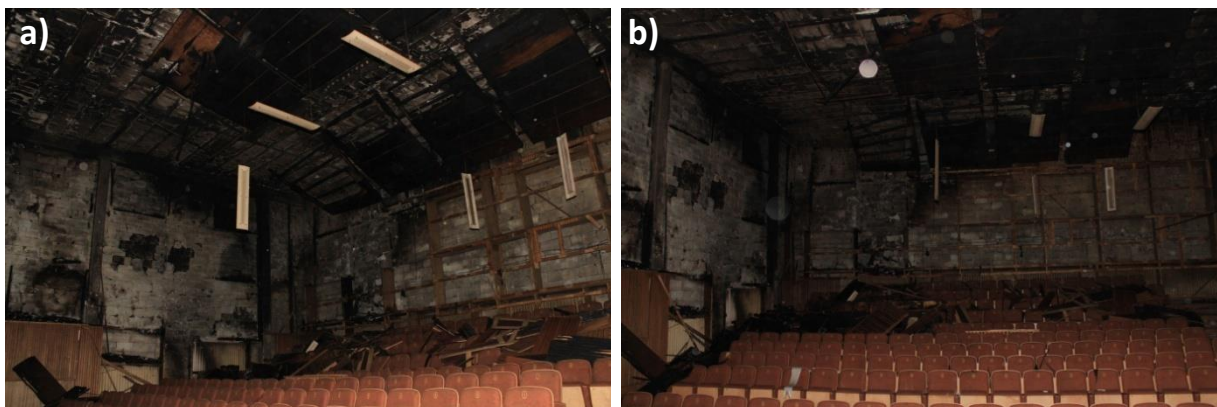
Fot. 56 a-b: Nagromadzenie dużych ilości różnorodnych materiałów palnych sprzyjało dynamicznemu rozwojowi pożaru.



Fot. 57 a-b: Początek szybu wentylacyjnego, przez który gorące gazy pożarowe wędrowały do sali koncertowej. Liczne widoczne nieszczelności były jednocześnie przyczyną pojawienia się zadymienia w różnych miejscach, często odległych od ogniska pożaru.



Fot. 58 a-b: Ujście gazów pożarowych pod konstrukcją podłogi widowni w sali koncertowej. Widoczne po prawej stronie przerwy posłużyły za ujście gazów pożarowych i ostateczne podpalenie krzeseł. Prawdopodobnie widoczne na zdjęciach rozwiązania konstrukcyjne służyć miały istnieniu naturalnej wentylacji obiekcie, w którym przewidywano obecność znacznej liczby osób.



Fot. 59 a-b: Widok zniszczeń na sali koncertowej. Łatwo rozpoznać miejsce, w którym gazy pożarowe wydostawały się spod siedzeń i ulegały samozapłonowi. Od płomieni zajęto się też palne wykończenie ścian oraz sufitu w sali koncertowej. W momencie powstania pożaru obiekt był wyłączony z użytkowania i przechodził generalny remont.

3.5. Ciepło

Jak wiadomo z **ROZDZIAŁU 2.1.3.** ciepło może przemieszczać się na jeden z trzech sposobów. Dla strażaka jednak niemal zawsze wizualną wskazówką oddziaływania ciepłą będą efekty wynikające z **przewodzenia** ciepła. Oczywiście nie mówimy tu o używaniu termowizji, którą omówiono w **ROZDZIALE 4.12.1.**, a o widzeniu efektów oddziaływania ciepła za pomocą ludzkiego wzroku. Wypada jednak zauważyć, że możliwość wykorzystania termowizji do pracy jest ogromnym usprawnieniem. Należy dążyć, żeby ten „szósty zmysł” kamery termowizyjnej był zawsze dostępny podczas rozpoznania, zarówno na zewnątrz jak też przy działaniach wewnętrznych.

W wyniku oddziaływania ciepła, strażacy mogą obserwować **oznaki** takie, jak:

- Odbarwienia oraz pęcherze na farbie;
- Zmianę kolorów szyb, pęknięcie lub „pajęczkowanie” szyb;
- Podczas algorytmu postępowania przy drzwiach (zobacz **ROZDZIAŁ 4.8.**) podanie wody na powierzchnię może powodować jej odparowanie czy też schnięcie. Jeśli drzwi dobrze przewodzą ciepło, to można nawet zaobserwować przybliżoną wysokość płaszczyzny neutralnej.
- Badanie drzwi w rękawicy lub zbliżanie (**lecz nie dotykanie!**) gołej skóry lekko odśloniętego nadgarstka do płaszczyzny drzwi lub do klamki (najczęściej może być najlepszym przewodnikiem ciepła dla wielu konstrukcji drzwi) może zapewnić informację odnośnie obecności ciepłą za drzwiami.
- Podczas wykonywania oceny temperatury warstwy podsufitowej (zobacz **ROZDZIAŁ 4.9.**) oznaką obecności ciepła będą dźwięki skwierczenia czy parowania. Obserwacja ilości opadającej wody po podaniu strzału pulsacyjnego mgły wodnej pozwoli na ocenę stopnia nagrzania dymu.

Strażak musi pamiętać, że na pojawianie się oznak pożaru związanych z oddziaływaniem ciepła wpływać będzie konstrukcja budynku, w tym jego wykończenie pełniące funkcję izolacji cieplnej. Dokonując oceny **B – budynku**, tego typu informacje należy również rozpoznać.

Nawiązując krótko do wymienionych powyżej punktów, trzeba pamiętać o następujących sprawach. Odbarwienia szyb bez widocznych płomieni za warstwą szkła, oznacza występowanie bogatej mieszaniny gazów palnych z powietrzem (występuje często zagrożenie zjawiskiem **wstecznego ciągu płomienia**). Często pojawiają się na szybach plamy wyglądające na „tłuste”, chociaż okna dwu i trzywarstwowe mogą nie pozwolić na zaobserwowanie tego zjawiska.

Pęknięcie szyb wynika z oddziaływania wysokiej temperatury na ciało niesprężyste, jakim jest szkło. W połączeniu z dużo chłodniejszym powietrzem atmosferycznym prowadzi to do powstawania naprężeń, pęknięcia aż w końcu nawet wypadnięcia okna! Jeśli towarzyszy temu opisany powyżej symptom zabarwienia szyby na ciemny kolor to niemal na pewno można się spodziewać **wysokiej temperatury** oraz **bogatej mieszaniny** w środku.

Nagły **przyrost ciepła** powinien być traktowany jak oznaka nadchodzącego **rozgorzenia**. Jeśli strażak czuje zmianę temperatury pomimo ubrania specjalnego, to oznacza, że ów przyrost jest bardzo dynamiczny

i należy podjąć **natychmiastowe działania** zmierzające do zapobiegnięcia lub uniknięcia skutków nadchodzącego zjawiska. Czasu na reakcję jest mało! Należy **chłodzić gazy** pożarowe lub **izolować** się barierami fizycznymi od źródła pożaru.



Fot. 60: Odbarwienia farby na ścianie wyraźnie wskazują na obecność znacznych ilości ciepła w budynku.
(fot. KP PSP w Gnieźnie)



Fot. 61 a-b: Odbarwienia farby na dachu mogą służyć, jako wskazówka odnośnie lokalizacji źródła ognia w obiekcie. Czasem jednak konstrukcja dachu może powodować, że wskazanie jest niedokładne. Użycie kamery termowizyjnej oraz staranność w podawaniu wody w odpowiednie miejsce zwiększają skuteczność i zmniejszają straty (fot. KP PSP w Międzychodzie, KP PSP w Ostrowcu Świętokrzyskim)

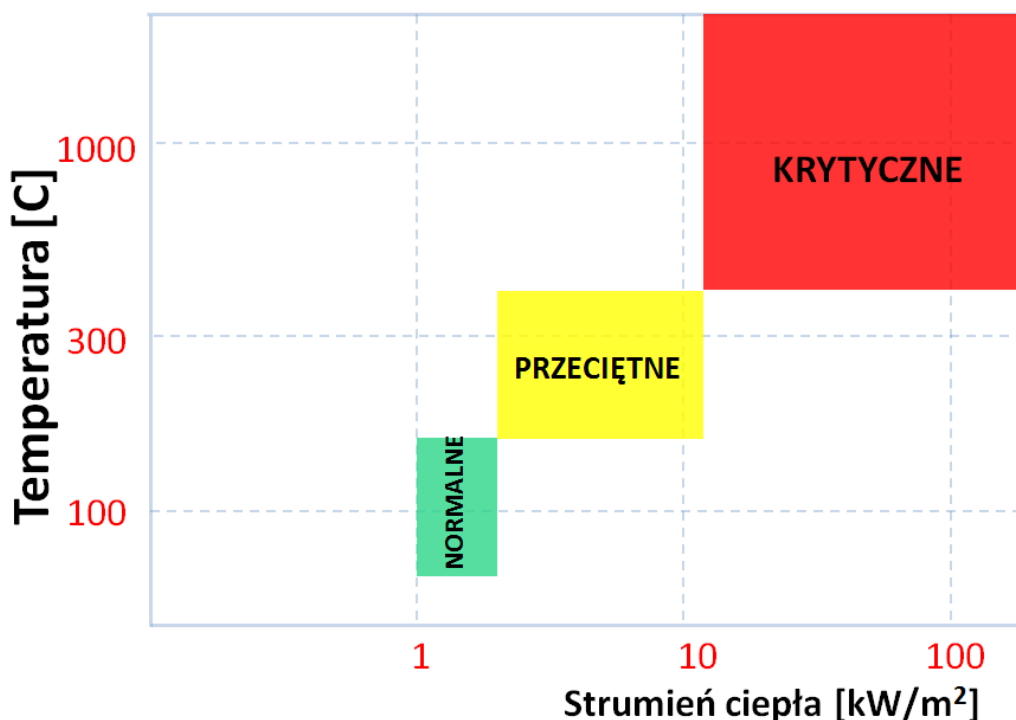


Fot. 62: Jak wspomniano w tekście, możliwość skorzystania z kamery termowizyjnej zapewni najskuteczniejsze wykrycie obecności ciepła. (fot. KP PSP w Starachowicach)



Fot. 63 a-b: Pojawienie się śladów oddziaływania ciepła może w krótkim czasie spowodować dalszy rozwój i rozprzestrzenianie się pożaru. (fot. KP PSP w Gnieźnie)

Warunki termalne mają znaczenie kluczowe zarówno dla zjawisk pożarowych, jak też dla komfortu pracy czy też warunków przeżycia strażaków jak i osób poszkodowanych. W latach 70-tych badacze stworzyli klasyfikację termalną środowiska strażackiego, która – pomimo niedoskonałości – wykorzystywana jest do dziś (**Rys. 65**). [78, 79] Jej umieszczenie w niniejszym opracowaniu ma na celu pomoc w zrozumieniu, jak temperatura i ciepło wpływają na warunki pracy strażaka. Wykorzystano temperaturę na wysokości pracy strażaka jako wskaźnik przybliżonego **transferu konwekcyjnego** do ekwipunku strażaka oraz mocy pożaru w celu oszacowania **transferu radiacyjnego** (pochodzącego od promieniowania). Z połączenia tych dwóch wartości powstaje opis graniczny trzech rodzajów warunków: normalnych, przeciętnych i krytycznych (spotykane są też nazwy, odpowiednio: warunki rutynowe, zwykłe i awaryjne – po angielsku: „*routine, ordinary, emergency*”). H. Utech, autor klasyfikacji, określa warunki **NORMALNE** jako podobne do warunków otoczenia, niewymagających żadnej ochrony. W miarę wzrostu mocy pożaru i temperatury otoczenia, pojawiają się warunki **PRZECIĘTNE** to znaczy takie, w jakich strażak pracuje w pożarze np. domu, przed wystąpieniem zjawiska **rozgorzenia**. W takich warunkach strażacy powinni być w stanie pracować 10-20 minut lub mniej więcej tyle, ile zapewnia im jedna butla powietrza w Aparacie Powietrznym Butlowym. Ostatnia klasa to warunki **KRYTYCZNE**, czyli takie, w których występuje zagrożenie dla strażaka w pełnej ochronie osobistej. Przykładowo, warunkom tym odpowiada wystąpienie w pomieszczeniu zjawiska **rozgorzenia**. ŚOI wytrzymują zaledwie kilka sekund ekspozycji na takie warunki.



Rys. 65: Graficzne przedstawienie klasyfikacji termalnej środowiska pracy strażaka. Obie osie przedstawione są w skali logarytmicznej, to znaczy, że wzrost wartości nie jest liniowy. [78]

Podsumowując należy zaznaczyć, że wykorzystanie **termowizji** jest świetnym sposobem dokonywania skutecznego rozpoznania. Dotyczy to zarówno działań na zewnątrz (zobacz **fot. 32**) jak też działań wewnątrz obiektu (zobacz **ROZDZIAŁ 4.12.1.**). termowizja pozwoli nie tylko zobrazować rozkład temperatur i źródła ciepła, ale też pomoże odnaleźć **pożary ukryte**, ułatwi obserwację i reagowanie na **prądy konwekcyjne**, a także przyspieszy odnalezienie ewentualnych osób **poszkodowanych** w zadymieniu.

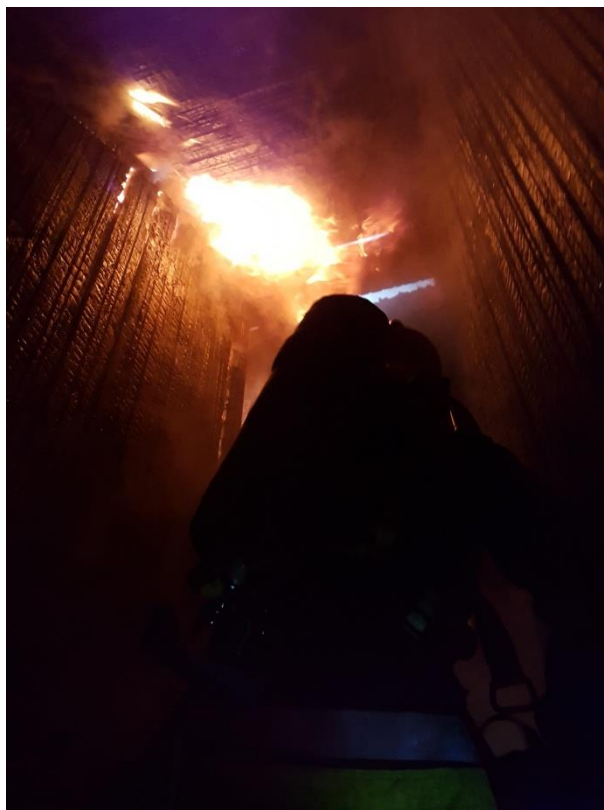
3.6. Płomień

Płomień jest najbardziej oczywistą oznaką wizualną pożaru. Chciałoby się rzec za klasykiem: „Płomień, jaki jest, każdy widzi”. [80] Obserwowanie płomienia daje bardzo jasną i wyraźną informację. Paliwa ulegają spalaniu, a zatem mają dostęp tlenu i produkują ciepło. Jeśli widać przy tym ognisko pożaru, to działania mogą najczęściej okazać się stosunkowo proste – należy podać wodę bezpośrednio na płonące przedmioty, co opisano w szczegółach w **ROZDZIALE 4**. Jednakowoż, również analiza wyglądu płomienia może nam nieco powiedzieć o przebiegu procesu spalania. Pomocne w tym będą informacje z **ROZDZIAŁU 2.4** oraz **2.5**. Analizując wygląd płomienia zwróćmy uwagę na:

- **Kolor.** Wśród najczęściej spotykanych kolorów płomieni w pożarach wewnętrznych spotkamy kolor: **żółty, pomarańczowy i czerwony**. O ile kolor płomienia może czasami wskazywać na rodzaj spalającego się materiału, o tyle częściej można na jego podstawie dokonać interpretacji charakteru (dynamiki) procesu spalania. Im płomień jest jaśniejszy, tym wyższa jego temperatura, co na ogół bierze się z lepszej dostępności tlenu do procesu spalania. Przykładowo, LPG w mieszaninie z powietrzem da płomień niebieski (z powodu obecności CO₂). Kiedy powietrze miesza się z paliwem (dyfuzja) to cząstki węgla, które nie zdążają się spalić, zabarwią płomień na żółto. Gaz palny spalający się przy deficycie tlenu wytworzy płomień w kolorze czerwonym. Można wywnioskować, że o kolorze decyduje dostęp tlenu, który równocześnie ma wpływ na temperaturę osiąganą w procesie spalania. Podobnie jest przy spalaniu ciał stałych. Obecność tlenu powoduje pojawienie się żółtego płomienia a jego niedobór jest przyczyną barwy pomarańczowo-czerwonej.
- **Kształt** czy **forma** płomienia może również sugerować rodzaj spalania. Pomarańczowo-czerwone płomienie towarzyszące spalaniu niecałkowitemu są zazwyczaj turbulентne, krótkie i rwące się. Zapalenie zgromadzonych produktów pirolizy (**ZGP**) daje bardzo jasny żółty płomień, czasami niemal

przejrzysty. Pojawianie się niebieskich płomieni w okolicach płaszczyzny neutralnej związane jest z obecnością CO osiagającego stężenia palne, mając na uwadze rozszerzenie zakresu palności wywołane podwyższoną temperaturą. Kształt czy formę płomienia można też oceniać analizując to, skąd wydobywa się płomień. Czy są to drzwi, okno czy otwór w dachu? Jaką ma wysokość? Jaki kierunek? Czy wydobywa się pionowo? A może jest ukośny lub niemal poziomy, wskazując na wymuszony wiatrem lub wentylatorem przepływ? Z ilu wydobywa się otworów? Ile pomieszczeń może się jednocześnie palić? Czy się rozprzestrzenia i w jaki sposób?

- **Objętość** płomienia wiąże się na ogół bezpośrednio z kształtem czy formą. Zależnie od okoliczności występowania płomienia objętość będzie zazwyczaj powiązana z dynamiką spalania. W warstwie zadymienia mogą pojawiać się małe, oderwane języki płomienia lub długie i ciągłe płomienie, zaczynające się w ognisku pożaru i wędrujące przez strefę podsufitową całego pomieszczenia. Pierwsze mogą oznaczać, że warstwa zadymienia może wkrótce się zapalić (**rollover**). Drugie zinterpretujemy jako **strumień podsufitowy**, czyli fazę dynamicznego rozwoju, kiedy pożar na ogół jest jeszcze kontrolowany przez paliwo.
- **Samozapłon** dymu będą znakiem ostrzegawczym. Pojawiające się na zewnątrz obiektu, towarzyszące wysokiej temperaturze dymu, mogą powodować wędrówkę płomienia do wnętrza wypełnionego palnymi gazami.



Fot. 64: Pojawienie się płomieni jest jedną z najbardziej czytelnych oznak pożaru. Oznacza przede wszystkim przynajmniej częściową dostępność tlenu, a zatem produkcję ciepła. (fot. KP PSP w Starachowicach)

Tak jak z pozostałymi oznakami metody **BE-SAHF**, ważne jest, aby po dokonaniu wstępnej oceny charakterystyki płomienia obserwować również ewentualne jej zmiany.

3.7. Od rozpoznania do działań

Zamykając rozdział dotyczący metody rozpoznania **BE-SAHF** należy przypomnieć podstawowe wiadomości dotyczące procesu decyzyjnego. Przedstawione poniżej definicje, zaczerpnięte z polskiej literatury branżowej, pozwalają na zrozumienie wagi i miejsca rozpoznania w całości procesu decyzyjnego. [81, 82, 83, 84, 85]

- **Rozpoznanie** – są to zorganizowane, aktywne i ciągłe działania prowadzące do uzyskania informacji na temat zdarzenia.

Naturalną konsekwencją przeprowadzonego rozpoznania jest wyrobienie wyobrażenia odnośnie zastanej sytuacji. To z kolei prowadzi do przewidywania możliwych konsekwencji zdarzenia, wypracowania założeń akcji oraz wydania konkretnych poleceń.

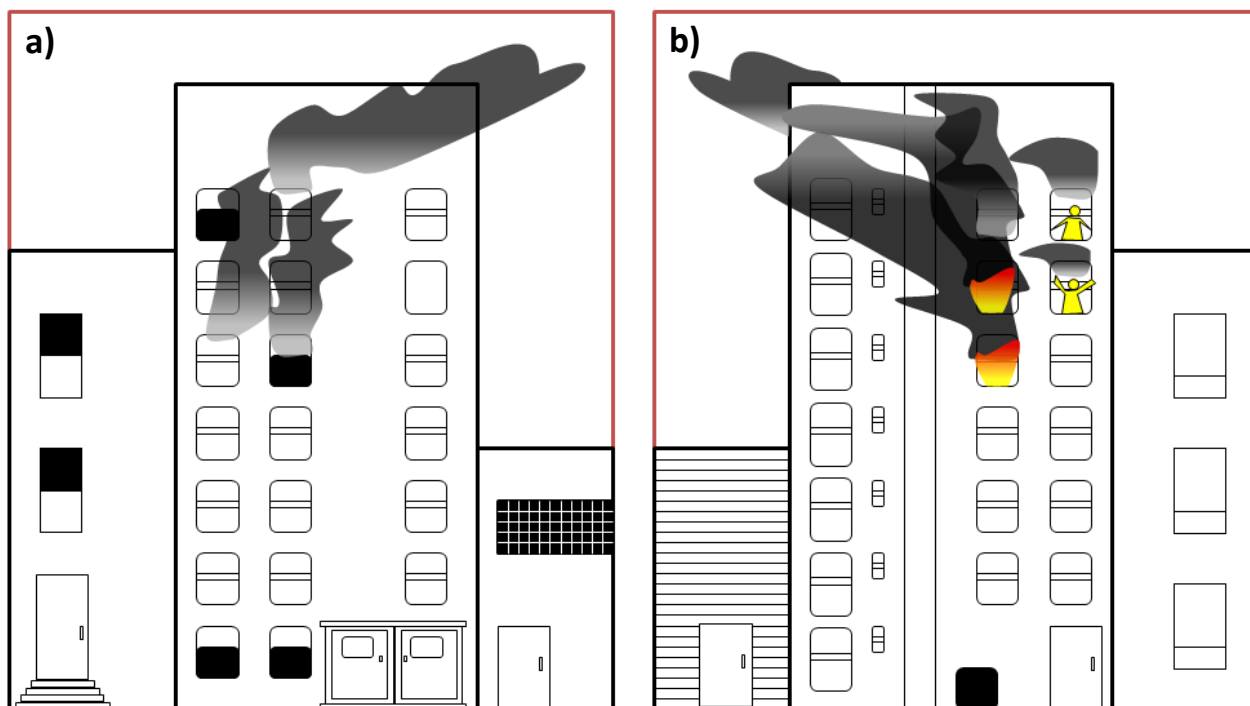
- **Sytuacja pożarowa** – stan rozwoju i rozprzestrzeniania się pożaru w danym momencie.
- **Ocena sytuacji** – analiza stanu i określenie konsekwencji wynikających z rozwoju i rozprzestrzeniania się pożaru (skutków katastrof, klęsk żywiołowych i innych występujących zagrożeń) przez kierującego działaniami ratowniczymi lub sztab akcji po przeprowadzonym rozpoznaniu.
- **Ocena możliwości** – określenie wydajności i przydatności sił i środków zgromadzonych na terenie akcji po określeniu wielkości zaistniałego zagrożenia (ocenie sytuacji).

Naturalną konsekwencją przeprowadzonego rozpoznania jest wyrobienie wyobrażenia odnośnie zastanej sytuacji. To z kolei prowadzi do przewidywania możliwych konsekwencji zdarzenia, wypracowania założeń akcji oraz wydania konkretnych poleceń.

- **Zamiar taktyczny** – określenie celów działania taktycznego, ich kolejności oraz sposobów realizacji.
- **Decyzja** – plan działania obejmujący zamiar taktyczny, zadania bojowe, główny kierunek działań i organizację dowodzenia
- **Rozkaz bojowy** – (1) polecenie (nakaz) podjęcia lub zaniechania działania podczas akcji/ćwiczeń. (2) polecenie KAR obowiązujące wszystkich uczestników akcji ratowniczej (ćw.), określające zadania bojowe oraz sposoby ich realizacji w celu ratowania zagrożonych i likwidowania pożaru, usuwania skutków katastrof, klęsk żywiołowych i miejscowych zagrożeń.

Zatem **zamiar taktyczny** jest koncepcją osiągnięcia celu końcowego i celów pośrednich. **Decyzja** jest aktem woli dowódcy, określającym wybrany, jeden z wielu wariantów prowadzenia działań w danej sytuacji, przekazywanym do wykonania uczestnikom akcji. **Rozkaz** jest zwieńczeniem procesu decyzyjnego (jego danego etapu), przekazujący decyzję kierującego działaniem ratowniczym, opartą o wypracowany zamiar taktyczny i ujętą w słowa.

Skoro rozpoznanie jest procesem ciągłym, to należy dodać, że zarówno pozyskiwanie informacji, jak też następująca po nim ocena sytuacji i możliwości powodują ciągłą konieczność aktualizacji zamiaru taktycznego, podejmowanych decyzji i wydawanych rozkazów.



Rys. 66 a-b: Widok budynku z dwóch stron (przód i tył) w momencie przyjazdu sił i środków I rzutu na miejsce zdarzenia. Możliwość poprawnego rozpoznania warunków będzie zależna od tego, czy w danym miejscu i czasie dostępna będzie informacja mająca strategiczne znaczenie, przesądzająca o podejmowanych priorytetowych czynnościach. Tzw. **rozpoznanie 360°** ma kluczowe znaczenie, szczególnie w pierwszej fazie działań, bowiem jak sugeruje powyższa ilustracja, sytuacja może różnić się diametralnie zależnie od perspektywy a szybkie i poprawne decyzje mogą mieć wpływ na zdrowie i życie ludzi. Metoda **BE-SAHF** pomaga skupić się na kluczowych elementach rozpoznania i ułatwia podejmowanie trafnych decyzji.

Środowisko pracy strażaków przy pożarach wewnętrznych jest bardzo dynamiczne i zmienne. Skuteczność wymaga podejmowania trafnych decyzji w przeciągu sekund, przy braku kompleksowych informacji. Stawką jest ludzkie życie i zdrowie, a także mienie oraz środowisko naturalne. Najważniejsze jest, aby owe trudne decyzje podejmowane były w oparciu o jak najlepsze wykszolenie. Jest to jedyny aspekt, na który my strażacy mamy bezpośredni wpływ. Wyposażenie, rozwiązania systemowe czy specyficzne okoliczności danego zdarzenia – to sprawy pozostające niejednokrotnie poza naszym bezpośrednim wpływem. Natomiast nasz rozwój i doskonalenie leżą zawsze w naszych rękach. Pamiętajmy, że świat się zmienia. Bądźmy gotowi rozwijać, a czasem rewidować swą wiedzę. Będzie to gwarancją bezpieczeństwa i skuteczności.

Nie wolno ci być amatorem, jeśli jesteś w grze ratowania życia. Jedynym prawem człowieka, jakie co najmniej należy się biednym i zagrożonym, jest bycie chronionym przed niekompetencją.

– Jan Egeland, Podsekretarz Generalny ds. Pomocy Humanitarnej ONZ (2003-2007)

4. Techniki operowania prądami gaśniczymi, poruszania się oraz przeszukania

To jest moja prądownica. Wiele jest takich samych, ale ta jest moja. Moja prądownica jest moim najlepszym przyjacielem. Jest moim życiem. Muszę opanować ją tak, jak kontroluję swe życie. Bez mnie jest ona bezużyteczna, bez mojej prądownicy ja jestem bezużyteczny. Będę używał mojej prądownicy skutecznie i sprawnie, by podawać wodę tam, gdzie jest potrzebna. Nauczę się jej wad, zalet, budowy i utrzymania. Będę strzegł jej przed uszkodzeniem, utrzymywał w czystości i gotowości. To przysięgam. [86]

– Ed Hartin, Komendant Straży Pożarnej, Central Whidbey Island

Zrozumienie zasad bezpiecznej pracy jak też mechanizmów zjawisk pożarowych, a także nauczenie się rozpoznawania i interpretowania środowiska pożaru wewnętrznego pozwala na wypracowanie zamiaru taktycznego. Zamiar taktyczny jest to określenie **celów** działania taktycznego, ich **kolejności** oraz **sposobów** realizacji. W momencie rozpoczęcia działań wewnątrz obiektu, strażacy będą wykonywać szereg czynności zmierzających do realizacji celów pośrednich i celu głównego, wynikających z decyzji dowódcy. Z tego powodu wykonywać będą szereg czynności, wśród których najczęstszymi będą:

- wprowadzanie linii gaśniczych,
- przeszukiwanie pomieszczeń,
- operowanie prądami gaśniczymi.

Niniejszy rozdział skupia się na tychże czynnościach i przedstawia zalecane sposoby ich wykonywania. Zawiera też wiedzę z zakresu technik i efektów podawania prądów gaśniczych w oparciu o podbudowę teoretyczną zawartą w **ROZDZIALE 2 i 3**.

4.1. Woda jako środek gaśniczy podawany z prądownic wodnych.

Woda jest najpopularniejszym środkiem gaśniczym i jest wykorzystywana w znakomitej większości akcji gaśniczych bez dodatków czy domieszek. Jest na ogół łatwo dostępna, jej koszt jest niewielki a dodatkowo ma doskonałe właściwości fizyczne. Istnieją różne dodatki do wody poprawiające jej skuteczność, niemniej najczęściej do celów gaśniczych wykorzystuje się samą wodę.

Skuteczność gaśnicza wody bierze się z tego, że woda bardzo dobrze odbiera ciepło. W momencie podania wody w celach gaśniczych na nagrzane paliwa (palące się lub gorące ciała stałe), bądź po wprowadzeniu jej w postaci mgły wodnej do gorących gazów pożarowych, woda przechodzi przez kilka procesów. Zostaną one wyjaśnione poniżej w celu nakreślenia teoretycznego wstępu do dalszych informacji dotyczących operowania prądami gaśniczymi.

Załóżmy, że woda przed podaniem do pożaru ma temperaturę 18°C. Jest to przeciętna temperatura używanej przez strażaków wody pochodzącej z sieci hydrantowej. [87] W momencie kontaktu z gorącym paliwem – stałym lub gazowym – woda zaczyna się ogrzewać (zwiększać swoją temperaturę). W naturze wszystko dąży do osiągnięcia stanu równowagi, toteż w miarę ogrzewania się wody paliwa będą chłodzone. Woda tym samym odbiera ciepło, które jest jednym z elementów **czworokąta spalania** i przerywa proces spalania. Zdolność do gromadzenia ciepła charakteryzuje właściwość zwana **pojemnością cieplną** lub inaczej **ciepłem właściwym**.

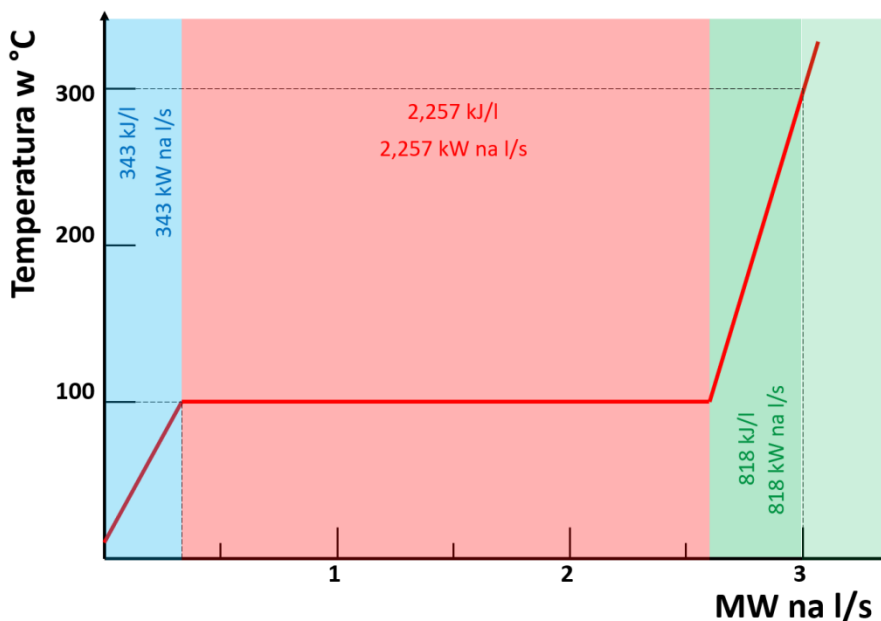
Po **ogrzaniu** się do temperatury 100°C (przy ciśnieniu atmosferycznym) woda zaczyna gromadzić energię bez zmiany temperatury. Jeśli ciepło jest nadal dostarczane (temperatura paliw jest wyższa od temperatury wody) woda będzie dążyć do **zmiany stanu skupienia** z ciekłego na gazowy, czyli zamiany w parę wodną (**odparowania**). Okazuje się, że woda musi zgromadzić bardzo dużo ciepła zanim odparuje bez zmiany temperatury. Oznacza to, że przy 100°C może występować woda jak i para wodna. Różnica jest taka, że aby zamienić wodę w parę wodną należy do niej dostarczyć dużą ilość energii w postaci ciepła. Ilość ciepła wymaganą do tego procesu określa parametr **utajonego ciepła odparowania**. Po dostarczeniu wystarczającej ilości ciepła woda zamienia się w parę wodną i dalej ogrzewa, dążąc do wyrównania

temperatury z ochładzającym się paliwem stałym lub gazowym. Parowanie jest procesem stopniowym i nie zachodzi najczęściej od razu w całej objętości wody, ponieważ wymaga znacznych ilości ciepła.

Próbując określić jakiś efekt końcowy podania wody do środowiska pożaru, czy to w celu chłodzenia gazów pożarowych czy gaszenia płonących paliw stałych, należy przyjąć szereg uproszczeń. Mechanizmy tych zjawisk są odmienne, dlatego nie sposób omawiać tych zagadnień bez szczegółowych kalkulacji i stosowania wielu zmiennych. Natomiast na potrzeby niniejszego materiału, wystarczy oszacowanie z przybliżeniem efektu stosowania wody, aby uwypuklić zasadnicze kwestie. Przyjmijmy zatem, że gazy pożarowe, które spalają się płomieniowo lub są gotowe do spalania, jednak potrzebują tlenu, mają temperaturę około **600°C**. Jak wspomniano powyżej, woda ma temperaturę **18°C**. Jeśli dojdzie do symetrycznego i proporcjonalnego wyrównania tych temperatur to efekt końcowy da temperaturę około **300°C**. Taka będzie temperatura pary wodnej i gazów pożarowych w miejscu, gdzie woda schodzi paliwa. Oczywiście wokół tego miejsca temperatura będzie inna, po chwili przepływu gazów pożarowych wymieszają tę lokalną objętość gazów i pary z innymi gazami. Niemniej, aby zrozumieć efekt działania wody w pożarze, należy mieć na uwadze ową zmienność jak też w oparciu o opisane uproszczenia szacować skutki oddziaływania naszych czynności. Wracając zatem do przyjętej średniej temperatury około 300°C, taka będzie najczęściej przyjęta wartość dla szacowania efektów podawania wody w pożarze wewnętrznym.

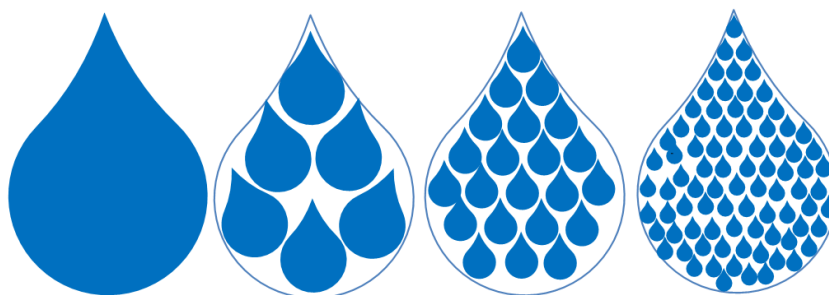
Przyglądając się ilości ciepła odbieranej na poszczególnych etapach opisanych powyżej można wyciągnąć wniosek zilustrowany na poniższej grafice (**rys. 67**): najwięcej ciepła podczas ogrzewania wody (a zatem również podczas gaszenia pożarów wodą) odbierane jest na etapie **odparowania** i jest to wartość **około 6,5-krotnie większa**, aniżeli ta odebrana na etapie ogrzewania. Stąd prosty wniosek – woda, która nie odparowała i znalazła się na podłodze zostaje wykorzystana maksymalnie do około 15% swojego potencjału. A biorąc pod uwagę również ogrzanie pary i wynikające z tego dalsze schłodzenie, to skuteczność wody, która nie odparowuje, może być faktycznie niższa niż 15%. Powiedzmy wprost – to niezwykle słaby wynik. Stąd wynika potrzeba stosowania **odpowiednich technik**, dopasowanych do sytuacji i optymalizowania zużycia wody.

Rysunek pokazuje zdolność odbierania ciepła przez wodę. Można interpretować go biorąc pod uwagę ilość wody (objętość czy masę) lub wydajność (ilość w jednostce czasu). W drugim przypadku, zamiast używania dżuli [J], odbierane ciepło wyrazimy w watach [W] czyli [J/s] a wydajność podawania wody w [l/s].



Rys. 67: Orientacyjna zdolność do odbierania ciepła przez wodę o temperaturze 18°C podawaną na pożar z intensywnością 1 l/s, przy ogrzaniu wody a następnie pary do 300°C. Dla lepszego zobrazowania transferu ciepła, na rysunku podano dane liczbowe dotyczące ilości ciepła odbieranego na kolejnych etapach: **ogrzania wody**, **zamiany wody w parę** i **ogrzania pary**. Jak widać, etap odparowania jest tym, na którym odbiór ciepła jest największy.

Mówiąc o technikach i **optymalizacji użycia wody** należy zwrócić uwagę na warunki, w jakich woda jest używana do gaszenia. Obecnie w Polsce, woda podawana jest najczęściej z prądownic typu TURBO, rzadziej z prądownic prostych. Niemniej każda z tych prądownic ma swoje zastosowanie i konkretne sposoby użycia (techniki). W celu uniknięcia szkód spowodowanych nadmiarem wody należy dążyć do podawania optymalnej ilości wody na palące się powierzchnie lub w gazy pożarowe. Dodatkowo należy dążyć do zwiększenia powierzchni mającej kontakt z paliwem, a to uzyskuje się poprzez rozproszenie prądu gaśniczego. Na poniższym rysunku (**rys. 68**) widać porównanie powierzchni biorącej udział w chłodzeniu pewnej umownej ilości wody oraz przy rozbiciu tej samej ilości wody na drobne krople. [88] Jeśli weźmiemy pewną ilość wody, to poprzez rozbicie jej na małe kropelki zwiększymy łączną powierzchnię, która może brać udział w wymianie ciepła. Im mniejsze krople, tym lepiej odparowują. W praktyce jednak zbyt małe krople nie są pożądane, o czym mówi dokładniej **ROZDZIAŁ 4.2**. Natomiast o stopniu rozdrobnienia decyduje zazwyczaj ciśnienie podawania wody oraz rozwiązanie techniczne służące do mechanicznego rozbicia wody na krople.



Rys. 68: Porównanie efektywnej powierzchni kontaktu danej ilości wody z paliwem przy różnym stopniu rozproszenia. Im większe rozdrobnienie, tym skuteczniejszy transfer ciepła, łatwiejsze odparowanie i lepsze chłodzenie.

W **ROZDZIALE 2.7.1.** przedstawiono sposób szacowania mocy pożaru w zależności od ilości powietrza dopływającego do jego ogniska w oparciu o opracowanie holenderskiej straży pożarnej przekładające wyniki badań naukowych na prosty język zasad gaszenia. W tym samym opracowaniu można również znaleźć sugerowane wartości wydajności prądów wodnych oraz ich skuteczności gaśniczej. [26] W poniższej tabeli można znaleźć sugestie dotyczące przybliżonej zdolności chłodzenia prądów gaśniczych stosowanych przez straże pożarne. Zestawiono je w poniższych tabelach, wraz z wyjaśnieniem założeń, na jakich oparto owe wartości.

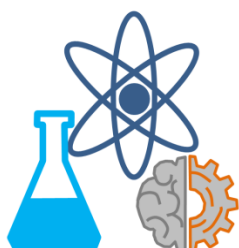
Tab. 11: Potencjalna moc pożaru. [26]

| Budynek | Referencyjna wartość gęstości mocy [MW/m ²] | Szybkość wydzielania ciepła [MJ/s] lub [MW] |
|--|---|---|
| Przeciętny dom (niska gęstość obciążenia) | 0,25 | 40 m ² = 10 |
| Przeciętny budynek komercyjny (wysoka gęstość obciążenia) | 0,5 na wysokość składowania ²⁹ | 1000 m ² = 500 (wysokość składowania 1m) |

²⁹ Wartość zaczerpnięta z Eurokodu. Jest to jedyna udokumentowana wartość. Eksperci używają czasem większych wartości tzn. 1 MW na wysokość składowania.

Tab. 12: Wymagana skuteczność chłodzenia kontra skuteczność chłodzenia linii niskiego ciśnienia i wysokiego ciśnienia³⁰. [26]

| Rodzaj prądu gaśniczego | Szacowana zdolność chłodzenia [MJ/s] lub [MW] | Porównywalna moc pożaru |
|-------------------------|---|-------------------------|
| Wysokie ciśnienie | 2,5 | średnia kanapa |
| Niskie ciśnienie | 10 | duży salon |



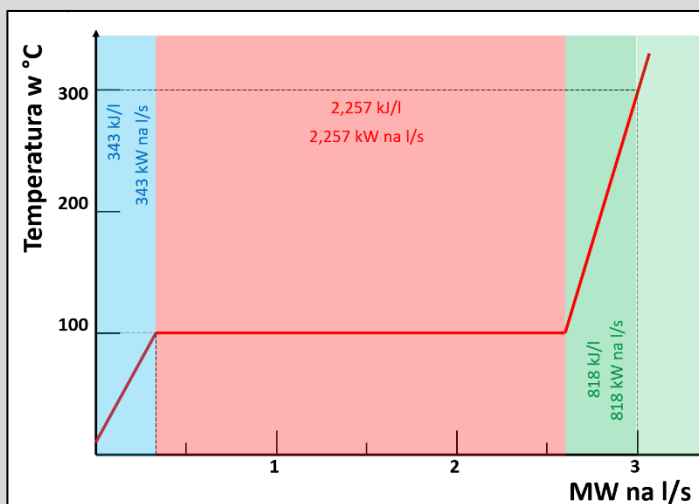
UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Spójrzmy raz jeszcze na rysunek 65 i przeprowadźmy dowód matematyczny na zaprezentowane na nim treści:

- podczas ogrzewania 1 kg (około 1 litra) wody od 18°C do 100°C, ilość pochłoniętego ciepła będzie iloczynem **ciepła właściwego wody, masy i różnicy temperatur**;
- podczas zamiany wody w parę w 100°C, ilość pochłoniętego ciepła będzie iloczynem **masy i utajonego ciepła przemiany fazowej**, w tym przypadku utajonego ciepła odparowania wody;
- podczas dalszego ogrzewania 1 kg pary wodnej od 100°C do 300°C, ilość pochłoniętego ciepła będzie iloczynem **ciepła właściwego pary wodnej, masy i różnicy temperatur**.



Rys. 67: Orientacyjna zdolność do odbierania ciepła przez wodę o temperaturze 18°C podawaną na pożar z intensywnością 1 l/s, przy ogrzaniu wody a następnie pary do 300°C.

Stosując przedstawioną powyżej metodykę obliczania ciepła pochłoniętego przez wodę podczas jej ogrzewania od 18°C do 300°C, możemy prześledzić poszczególne etapy tego procesu: ogrzanie wody, odparowanie wody, ogrzanie pary wodnej. Porównując wyniki składowe poszczególnych etapów pochłaniania ciepła przez wodę można zauważyć, że w procesie odparowania wody, nawet mimo braku wzrostu temperatury, pochłaniane jest najwięcej ciepła. Wynika to z niezwykle dużej wartości parametru, jakim jest **utajone ciepło przemiany fazowej** (a dokładnie odparowania) dla substancji, jaką jest woda.

³⁰ Praktyczne zasady szacowania są przybliżonymi wartościami i mogą się różnić zależnie od sytuacji, używanej wydajności prądów wodnych oraz skuteczności prowadzonych działań. Wartości oparte są o pożary kontrolowane przez paliwo. Szybkości wydzielania ciepła dla pożarów kontrolowanych przez wentylację są mniejsze, niemniej mogą wzrastać wraz z dostępem tlenu. Skuteczność prądu gaśniczego o wysokim ciśnieniu oparto o wartość 125 L/min (co sugeruje wykorzystanie linii o średnicy wewnętrznej 19mm). Skuteczność prądu gaśniczego o niskim ciśnieniu oparto o wartość 450 L/min. Zdolność chłodzenia oparto o wartość skuteczności (sprawności) działań na poziomie 40-50%. Porównywalne moce pożaru oparto o przeciętną kanapę oraz o salon o powierzchni około 40m².

$$\begin{aligned}
 E_{ab} &= 4,183 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg}) \times (100^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) + 2,257 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg}) + 4,090 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg}) \times (300^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}) = \\
 &= 4,183 \text{ kJ/kg} \times 82^\circ\text{C} + 2,257 \text{ kJ} + 4,090 \text{ kJ/kg} \times 200^\circ\text{C} \\
 &= 343 \text{ kJ} + 2,257 \text{ kJ} + 818 \text{ kJ} = \\
 &= 3,418 \text{ kJ} \\
 &= \mathbf{3,4 \text{ MJ}} \\
 &(\mathbf{3,6 \text{ MJ}} \text{ dla } 600^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

Należy też pamiętać, że dla paliw stałych (gaszenie bezpośrednie) i dla paliw gazowych (chłodzenie gazów pożarowych, gaszenie pośrednie i gaszenie łączone) procesy odbierania ciepła i ogrzewania się wody oraz pary wodnej przebiegać będą inaczej. Przykładowo, para wodna ogrzeje się w gazach pożarowych, jednocześnie je chłodząc. Jednak w odniesieniu do paliw stałych, chłodzenie powierzchni nastąpi na etapie ogrzania i odparowania wody, jednak ogrzewanie pary wodnej ma znikomy wpływ na odbieranie ciepła z paliw stałych, gdyż para – z uwagi na gazowy stan skupienia – w sposób naturalny oddziaływać będzie w innym miejscu (w gazach a nie na powierzchniach paliw stałych). [89]

Podczas wykorzystywania wody do celów gaśniczych, największa ilość ciepła odbierana jest przy jej **odparowaniu**. Woda, która nie odparowała została wykorzystana w stopniu mniejszym niż 15% skuteczności.

Na podstawie powyższych informacji można wywnioskować, że **wydajność wodna** ma znaczenie w pożarach i powinna być dopasowana do sytuacji pożarowej, szczególnie do mocy pożaru. Z uwagi na bezpieczeństwo strażaków należy zaznaczyć, że rzetelne podejście do kwestii bezpieczeństwa to nie tylko analiza aktualnej sytuacji. To również, a może przede wszystkim, umiejętność przewidywania niekorzystnych scenariuszy i zabezpieczania się przed nimi poprzez przemyślane i oparte na wiedzy oraz doświadczeniu decyzje. W **tabeli 12** widzimy, że skuteczność chłodnicza linii szybkiego natarcia pozwala na skuteczne gaszenie pożaru jednego średniego mebla tapicerowanego. Dla porównania, stosowanie linii tradycyjnej pozwala na skuteczne gaszenie całkiem dużego salonu. Różnica pomiędzy tymi liniami gaśniczymi jest zatem taka, że pierwsza pozwala na gaszenie pojedynczego mebla w pomieszczeniu a druga całego pomieszczenia. Między innymi z tych względów, linia szybkiego natarcia powinna być uważana jako **nieodpowiednia**, a nawet zagrażająca bezpieczeństwu strażaków, podczas gaszenia pożarów wewnętrznych.

Poprzez **skuteczne gaszenie** rozumie się takie działanie, które:

- pozwala na efektywne oddziaływanie na pożar i przezwycięzenie jego mocy;
- działanie z zachowaniem komfortu termicznego dzięki stosowaniu odpowiedniej wydajności;
- unikanie zbędnego zalewania wynikającego ze zbyt dużej wydajności.

W innych opracowaniach można znaleźć alternatywne metody szacowania minimalnej niezbędnej wydajności wodnej do gaszenia pożarów wewnętrznych. Dla obiektów mieszkalnych Paul Grimwood sugeruje następujące metody szybkiego szacowania:

- **krytyczna wydajność**, poniżej której kontrolowanie i ugaszenie pożaru może być niemożliwe, wynosi **2 L/min na każdy m²** powierzchni objętej pożarem. Jest to działanie na granicy, w skrajnie niesprzyjających warunkach termalnych a strażacy będą odczuwać bardzo intensywnie wpływ pożaru. Istnieje **duże ryzyko**, że wzmożona wentylacja czy wiatr zagrazi życiu strażaków.
- **taktyczna wydajność**, która zapewnia osiągnięcie dobrej skuteczności gaśniczej a jednocześnie umożliwia działanie przy zachowaniu komfortu termicznego strażaków, wynikającego ze zdolności prądu gaśniczego do przeciwstawiania się oddziaływaniu ciepła z pożaru, wynosi **4 L/min na każdy m²** powierzchni objętej pożarem.

- **optymalna wydajność**, która zapewnia bardzo skuteczne działanie gaśnicze i komfort termalny, a powyżej której nie rośnie skuteczność natomiast zaczynają rosnać straty wynikające z nadmiaru stosowanej wody, wynosi **6 L/min na każdy m²** powierzchni objętej pożarem. [29, 35]

Tab. 13: Zestawienie intensywności podawania wody (wydajności prądów gaśniczych) a możliwej powierzchni gaszenia w oparciu o szybką metodę szacowania wymaganej wydajności.

| Wydajność prądu gaśniczego [L/min] | Powierzchnia gaszenia dla wydajności KRYTYCZNEJ [m ²] | Powierzchnia gaszenia dla wydajności TAKTYCZNEJ [m ²] | Powierzchnia gaszenia dla SZYBKIEJ KALKULACJI [m ²] | Powierzchnia gaszenia dla wydajności OPTYMALNEJ [m ²] |
|------------------------------------|---|---|---|---|
| 100 | 50 | 25 | 20 | 16,7 |
| 150 | 75 | 37,5 | 30 | 25,0 |
| 200 | 100 | 50 | 40 | 33,3 |
| 250 | 125 | 62,5 | 50 | 41,7 |
| 300 | 150 | 75 | 60 | 50,0 |
| 350 | 175 | 87,5 | 70 | 58,3 |
| 400 | 200 | 100 | 80 | 66,7 |
| 450 | 225 | 112,5 | 90 | 75,0 |
| 500 | 250 | 125 | 100 | 83,3 |
| 600 | 300 | 150 | 120 | 100,0 |
| 700 | 350 | 175 | 140 | 116,7 |
| 800 | 400 | 200 | 160 | 133,3 |
| 900 | 450 | 225 | 180 | 150,0 |
| 1000 | 500 | 250 | 200 | 166,7 |

Analiza powyższej tabeli oraz realiów walki z pożarami wewnętrznymi pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wszystkie powyższe wartości są wartościami **szacunkowymi**. Istnieją okoliczności, które mogą istotnie wpłynąć na podawane tu wartości. Metoda jest jedynie pomocą w oszacowaniu rzędu wielkości wydajności, od którego należy wyjść, chcąc maksymalizować szanse na skuteczne działanie. Wśród czynników wpływających na owe odstępstwa znajdzie się przede wszystkim kwestia dopływu tlenu do strefy spalania, o czym wspomniano wielokrotnie w niniejszym opracowaniu.
- W tabeli zaznaczono wiersze, które odpowiadają najczęściej występującym maksymalnym **wydajnościom** stosowanych powszechnie linii gaśniczych (linia szybkiego natarcia, linia gaśnicza z odcinków, prądownice zgodne z Polską Normą).
- Wydajność 100 L/min jest często występującą w praktyce wydajnością linii szybkiego natarcia (wbrew nominalnemu przepływowi 150 L/min), ponieważ w linii o małej średnicy łatwo o znaczące straty ciśnienia, które przekładają się na straty wydajności. Oznacza to, że używanie takiej linii do gaszenia powierzchni większej niż 50 metrów będzie najprawdopodobniej zupełnie nieskuteczne. Można przyjąć, że linia szybkiego natarcia nie powinna być używana do gaszenia powierzchni większych niż około 25-30 m². Mając na uwadze fakt, że wymogi bezpieczeństwa i zdrowy rozsądek nakazują używanie od początku środków adekwatnych do sytuacji, a także pamiętając, że należy zawsze zakładać ewentualność rozwoju pożaru z pomieszczenia na mieszkanie (co oznacza co najmniej podwojenie powierzchni objętej pożarem), należy uznać, że **linia szybkiego natarcia nie jest odpowiednia do gaszenia pożarów wewnętrznych**. Strażacy używający tej linii twierdzą często, że „zawsze się udaje”. Niestety taka argumentacja nie może być fundamentem, na którym opiera się bezpieczeństwo strażaków i oznacza jedynie, że do tej pory strażacy ci nie spotkali się z sytuacją, w której z uwagi na nieskuteczny prąd gaśniczy zdrowie i życie ich oraz osób postronnych zostało zagrożone. Jednakże istnieją naukowe podstawy założenia, że taka sytuacja prędzej czy później nastąpi. Zignorowanie tego założenia jest **rażącym zaniedbaniem**.

- Kolumna dotycząca „**szybkiej kalkulacji**”, oparta o wydajność 5 L/min na każdy m² powierzchni pożaru, została dodana, aby ułatwić błyskawiczny dobór rodzaju linii do natarcia. Po oszacowaniu powierzchni pożaru wystarczy podzielić ją na pół i dopisać na końcu jedno „0”, aby otrzymać wartość wydajności. Przykładowo: dla 60 m² będzie to 300L/min.
- W praktyce podawanie wody w pożarze wewnętrznym wiąże się z pewnymi ograniczeniami. Nawet mając możliwość podania 400-500 L/min zazwyczaj nie będzie możliwości oddziaływania niemal jednocześnie na całą powierzchnię pożaru równą 80-100m². Układy przestrzenne mieszkań, domów, biur czy magazynów często nie pozwolą na objęcie zasięgiem prądu gaśniczego całej płonącej powierzchni. Dlatego należy rozważać używanie kolejnych linii gaśniczych podczas pożarów, w których powierzchnia jest znaczna i nie ma możliwości oddziaływania na jej znaczną część w tym samym czasie. Możliwość regulowania wydajności (np. w zakresie 100-500 L/min) pozwoli na dobranie odpowiedniej siły natarcia, mając na uwadze szacowaną powierzchnię i moc pożaru, liczbę podawanych prądów gaśniczych czy też bieżący efekt prowadzonych działań.
- Przyjętą w wielu krajach zasadą jest sprawianie drugiej linii gaśniczej (zabezpieczającej) o takiej samej wydajności, jak pierwsza linia gaśnicza, w miarę możliwości zasilanej z innego źródła. Natomiast maksymalna, potencjalna wydajność linii (pierwszej, a zatem również i zabezpieczającej) powinna być dobierana nie do bieżącego scenariusza a do najgorszego możliwego scenariusza, bowiem wycofywanie się w celu przegrupowania sił i zwiększenia skuteczności gaśniczej marnuje cenny czas i niejednokrotnie oznacza utratę kontroli na pożarem. Jest to kolejny argument, aby **nie używać linii szybkiego natarcia podczas pożarów wewnętrznych**.

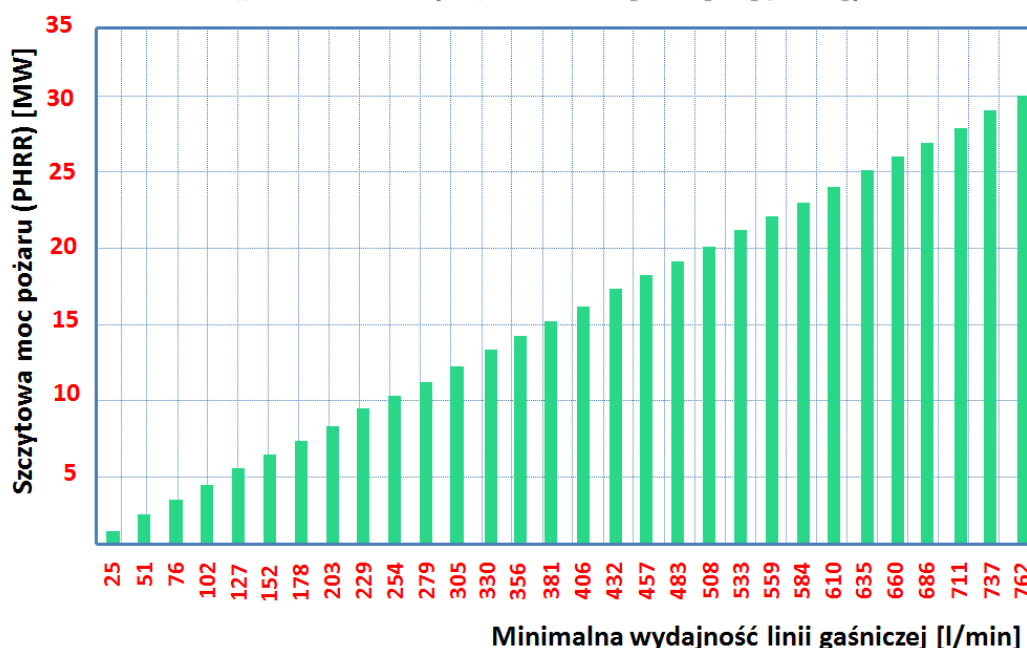
W zestawieniu danych statystycznych za lata 2001-2011 brytyjskie władze sugerowały, że około 83% pożarów nie rozprzestrzeniło się poza pomieszczenie, w którym powstał. Badania Paula Grimwooda, w których zestawiono 5401 pożary z rejonu operacyjnego dwóch departamentów: miejskiego i podmiejskiego, dane te sugerują, że jedynie 53% pożarów pozostaje w początkowym pomieszczeniu. [90] Jedna czwarta pożarów w departamencie miejskim i jedna trzecia w podmiejskim rozprzestrzeniła się na kolejną kondygnację. Gry powierzchnia przekraczała 500m² najczęściej cały budynek ulegał spaleniowi w takim pożarze. Porównanie strat i powierzchni, która ulega spaleniowi pokazywało, że większe wartości występowały w departamencie podmiejskim, pomimo porównywalnej „gęstości wydajności wodnej” na poziomie **12 L/min/m²**. Departament miejski na ogół był w stanie szybciej zapewnić większe wydajności podawanej wody w natarciu na wczesnych etapach działań. W departamencie podmiejskim często stosowano natarcie dwiema liniami szybkiego natarcia. Skutkowało to w zwiększonym zapotrzebowaniu na wodę w kolejnych etapach akcji oraz na ogół większymi stratami w wyniku pożaru. Kolejnym skutkiem relatywnie niskich wstępnych wydajności linii gaśniczych był większy nakład sił i środków niezbędnych na miejscu zdarzenia w późniejszych etapach działań (przykładowo, średnio dwa razy więcej użytych odcinków linii węzowych). Powyższe fakty dowodzą, że zapewnienie odpowiedniej ilości wody na wczesnych etapach działań gaśniczych pozwala ograniczać zarówno straty pożarowe, jak i nakład sił i środków oraz czas trwania akcji.

Nieco dokładniejszą metodą **szacowania niezbędnej wydajności prądów gaśniczych** jest uwzględnienie mocy pożaru. Danej ilości ciepła wydzielanego w jednostce czasu przeciwstawia się odpowiednią ilość wody podawaną w jednostce czasu, która jest w stanie odbierać taką ilość ciepła. Metoda jest bardziej miarodajna, aczkolwiek również opiera się o szereg uproszczeń. Zakłada się pewną średnią skuteczność operowania prądami gaśniczymi przez strażaków. Jeśli ta skuteczność, czyli poziom ich wyszkolenia, jest większa, to zwiększa się margines bezpieczeństwa. Jeśli jest mniejsza – zwiększa się ryzyko. Jak zawsze w przypadku działania straży pożarnej lepiej uwzględniać pewien margines bezpieczeństwa niż dać się zaskoczyć sytuacji. Ponownie, jest to argument za tym, aby **nie używać linii szybkiego natarcia podczas pożarów wewnętrznych**.

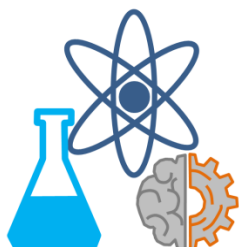
Paul Grimwood zaoferował w swej pracy doktorskiej metodę kalkulacji wymaganej wydajności wodnej prądów gaśniczych, w zależności od mocy pożaru, przyjmując szereg uogólnień. Jak widać na poniższym rysunku, pożary o mocy wyższej niż **15 MW**, zależnie od konfiguracji rozwinięć wstępnego natarcia danej jednostki, **mogą przerastać możliwości zastosowanych prądów gaśniczych, szczególnie w budynkach wysokich**. W tych bowiem budynkach występuje szereg utrudnień: większe straty ciśnienia, dłuższe linie i czas ich sprawiania, większy wpływ wiatru, a dodatkowo czasem trudności potęgowane są przez

charakterystykę budynku (przykładowo duże obciążenie ogniowe i otwarte przestrzenie sprzyjające rozprzestrzenianiu pożaru w biurach).

Maksymalna skuteczność gaśnicza wewnętrznej linii „Grimwood” (25,4 x PHRR [MW] = [l/min])



Rys. 69: Szczytowa moc pożaru i odpowiadająca jej minimalna wymagana wydajność linii gaśniczych do skutecznego natarcia na pożar. Metoda szacunkowa zakładająca szereg uproszczeń. [91]



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

W tym miejscu wypada przypomnieć o metodzie szacowania mocy pożaru na podstawie powierzchni otworów służących do wymiany gazowej, przedstawionej w **ROZDZIALE 2.7.1**. Można pokusić się o pewną kalkulację, będącą punktem odniesienia podczas natarcia na pożar. Należy podkreślić, że opiera się ona o wiele uproszczeń, dlatego jest jedynie szacowaniem a nie dokładnym określaniem ścisłych wartości.

- Przyjmijmy, że najczęściej stosowanymi wydajnościami linii gaśniczych stosowanych w kraju są wydajności 125 L/min, 400 L/min i 500 L/min. Są to realne, maksymalne wydajności prądów wodnych, uwzględniające średnicę wewnętrzną linii, straty ciśnienia i wydajności wynikające z odległości oraz wysokości oraz zastosowane prądownice.
- Zgodnie z **rys. 68** wydajność prądów gaśniczych odpowiadająca danej szczytowej mocy pożaru może być obliczona poprzez pomnożenie tej wartości przez współczynnik równy 25,4.
- Z **ROZDZIAŁU 2.7.1**, wiemy, że 1m² powierzchni otworu służącego do wymiany gazowej zapewnia powietrze zdolne wygenerować pożar o mocy od 1,5 do 3 MW.
- Powierzchnia 1 małego skrzydła okiennego wynosi około 0,8 m² (65 cm x 125 cm). Mając to na uwadze można obliczyć liczbę takich okien, które musiałyby wypaść, aby doprowadzić do sytuacji, w której dostęp powietrza zapewni moc pożaru zdolną zrównoważyć skuteczność podawanego prądu wody.
- Stosując szereg powyższych uproszczeń możemy oszacować, że wypadnięcie pewnej liczby okien spowoduje zagrożenie dla rotacji działającej prądem gaśniczym o danej wydajności. I tak:

- Dla prądu o wydajności 125 L/min ta wartość to 3 okna.
- Dla prądu o wydajności 400 L/min ta wartość to 10 okien.
- Dla prądu o wydajności 500 L/min ta wartość to 12 okien.

Analiza tych kalkulacji pozwala wywnioskować, że podczas pożaru mieszkania stosowanie linii szybkiego natarcia wiąże się z ryzykiem znalezienia się w sytuacji, w której wydajność prądu wody nie będzie w stanie przezwyciężyć mocy pożaru. Poniższa tabela przedstawia wykonane kalkulacje i etapy obliczeń.

Tab. 14: Szacowanie wymaganej wydajności prądów wody zależnie od dopływu tlenu do pożaru.

| Wydajność linii | Szczytowa moc pożaru | Min. moc / 1m ² | Max. moc / 1m ² | Min. moc / okno 0,8m ² | Max. Moc / okno 0,8m ² | Liczba okien |
|-----------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| [L/min] | x 25,4 [MW] | 1,5 MW | 3 MW | [MW] | [MW] | - |
| 500 | 19,685 | 6,56 | 13,12 | 8,20 | 16,40 | 12,3(12) |
| 400 | 15,748 | 5,25 | 10,50 | 6,56 | 13,12 | 9,84(10) |
| 125 | 4,921 | 1,64 | 3,28 | 2,05 | 4,10 | 3,08(3) |

Konkluzja jest taka, że gdy wymiana gazowa następuje przez 3 małe okna, wówczas moc pożaru może przerosnąć możliwości linii szybkiego natarcia. W przypadku korzystania z linii rozwijanej z odcinków, wymiana gazowa musiałaby być o wiele bardziej intensywna, aby przerosnąć możliwości linii gaśniczej o wydajności 400 lub 500 L/min (zależnie od stosowanej prądownicy). Dlatego **używanie LSN podczas pożarów wewnętrznych związane jest z ryzykiem i jako takie powinno być uważane za błąd krytyczny**, mając na uwadze dominację paliw syntetycznych we wnętrzach.

Jeśli w mieszkaniu lub pomieszczeniu występują co najmniej 3 okna o średniej powierzchni równej lub większej niż 0,8m² (powierzchnia małego, pojedynczego skrzydła okna), to szczytowa moc pożaru **może przerosnąć możliwości gaśnicze linii szybkiego natarcia**. Z tego powodu linia szybkiego natarcia nie powinna być uznawana za linię odpowiednią do gaszenia pożarów wewnętrznych.

Z uwagi na rosnące znaczenie wydajności prądów gaśniczych, na całym świecie zauważa się trend wykorzystywania prądownic prostych do walki z pożarami wewnętrznymi. Są to prądownice inne od tych, które od zawsze były znane w krajach europejskich. Posiadają dużo większe średnice pyszczków (wylotu wody), przez co są w stanie podawać wodę z większą wydajnością. Ze względów ergonomicznych, praca z takimi prądownicami związana jest z niższym ciśnieniem roboczym, bowiem wyższe ciśnienie powoduje znaczną siłę reakcji, która utrudnia lub uniemożliwia kontrolę podawanej wody. Poniżej przedstawiono przykład takiej prądownicy wraz z jej parametrami pracy. Jest to prądownica prosta typu *axial pipe* (osiowa) z zaworem kulowym i kaskadowymi pyszczkami o trzech różnych średnicach przekroju. Zależnie od wybranej średnicy oraz wyboru ciśnienia roboczego można uzyskać z niej szereg wydajności, które przedstawia poniższa tabela. Faktyczne, przetestowane wydajności prądownicy były nieco niższe od nominalnych danych producenta, ponieważ fabrycznie prądownica produkowana jest do pracy z nasadą 2 i ½ cala (65 mm) natomiast dla kompatybilności z polską armaturą prądownica została wyposażona w nasadę Storz 52. Faktyczne wydajności mogą być mniejsze o około 10-15%, niemniej wypada zauważyć, że są i tak dużo większe od wydajności uzyskiwanych przy ciśnieniu roboczym właściwym dla prądownic typu Turbo (6-7 bar).

Tab. 15: Parametry katalogowe wybranej prądownicy prostej o dużej wydajności przeliczone na jednostki układu CGS.

| Ciśnienie | Średnica | Wydajność (galony/min) | Ciśnienie (około) | Średnica (około) | Wydajność (litry/min) |
|-----------|--------------|------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 50 psi | 1 cal | 210 | 3,44 bar | 25 mm | 795 |
| 80 psi | 1 cal | 266 | 5,51 bar | 25 mm | 1000 |
| 50 psi | 1 i 1/8 cala | 266 | 3,44 bar | 28 mm | 1000 |
| 80 psi | 1 i 1/8 cala | 328 | 5,51 bar | 28 mm | 1241 |
| 50 psi | 1 i ¼ cala | 328 | 3,44 bar | 32 mm | 1241 |
| 80 psi | 1 i ¼ cala | 416 | 5,51 bar | 32 mm | 1575 |

To sprawia, że prądownica tego typu (umownie nazwana prądownicą o niskim ciśnieniu i wysokiej wydajności) ma swoje praktyczne zastosowanie wszędzie tam, gdzie występują trudności osiągnięcia odpowiedniego ciśnienia na puszczku prądownicy a z uwagi na intensywność spalania wymagana jest duża wydajność (np. w budynkach wysokich na górnych kondygnacjach). Trzeba też zaznaczyć, że przy tak dużej wydajności istnieje nadal możliwość operowania w wielu zakresach prądownicy przez pojedynczego strażaka lub przez rotę, bowiem siła reakcji linii węzowej (siła odrzutu) bierze się z dwóch parametrów pracy – ciśnienia na wylocie oraz intensywności podawania prądu gaśniczego. [33] Istnieje też szereg technik, dzięki którym prądownik może umiejętnie rozkładać siły reakcji, aby nie przeciwstawiać się im jedynie siłą własnych mięśni. W prądownicach typu TURBO siła reakcji zależy również od kąta rozproszenia – im większy kąt tym mniejsza siła reakcji. Porównując prądownice o niskim ciśnieniu i wysokiej wydajności z modelami dostępnymi na polskim rynku wypada zauważyć jeszcze jedno:

- krajowe prądownice z nasadami 52 uzyskują wydajność:
 - 205 L/min przy ciśnieniu 5 bar
 - i 330 L/min przy 12 bar (średnica puszki 12 mm);
- a z nasadami 75 uzyskują wydajność:
 - 360 L/min dla 5 bar
 - i 540 L/min dla 12 bar (średnica puszki 16 mm).

Po analizie parametrów i ergonomii widać, że sens posiadania tego typu prądownic jest ograniczony, ponieważ prądownice typu TURBO zapewniają w większości lepsze osiągi przy niższym ciśnieniu i możliwość dodatkowej regulacji strumienia. Ponadto korzystanie z prądu gaśniczego przy ciśnieniu 12 bar wymaga znacznego nakładu siły. Natomiast prądownice o większej wydajności, z uwagi na większe średnice wylotu zapewniają o wiele lepsze wyniki i są doskonałym uzupełnieniem prądownic typu TURBO, jako zestaw prądownic na samochodzie ratowniczo-gaśniczym. Łatwo zatem zauważyć, że jednym z kluczowych parametrów pracy, mającym znaczenie zarówno dla skuteczności działań jak i dla ich bezpieczeństwa, jest **wydajność**.

W poniższej tabeli (**tabela 16**), pochodzącej z książki z roku 1967, widzimy, że wydajność **prądu gaśniczego** jest zależna od ciśnienia na puszczku prądownicy oraz od pola powierzchni wylotu. [92] Im większa średnica wylotu puszki (dla prądownic prostych) lub pole powierzchni prześwitu („pierścienia”), przez który wydostaje się woda (dla prądownic turbo) tym więcej wody może wydostać się przez ten otwór w jednostce czasu, co daje nam większą wydajność prądownicy (L/min).

Na marginesie, można z poniższych informacji domniemywać skąd wzięty się wartości 200 L/min i 800 L/min przypisywane odpowiednio odcinkom W52 i W75 jako wydajności nominalne. Testy, pozwalające na przybliżone oszacowanie „przepustowości” odcinków o standardowych średnicach pokazały, że faktyczna wydajność jest o wiele większa a **wydajności „nominalne”, od wielu lat funkcjonujące w literaturze branżowej są znacznie zaniżone** (patrz **tabela 17**). [28] Należy przy tym dodać, że testy wykonano dla rozwinięć podobnych do tych, które występują przy pożarach wewnętrznych, czyli składających się z maksymalnie kilku odcinków W75 i W52. W przypadku długich rozwinięć, w celu dostarczania wody na znaczne odległości, wydajności tych odcinków mogą być mniejsze. Celem niniejszej informacji jest sprostowanie powszechnego mitu, jakoby 200 L/min i 800 L/min to były **graniczne** możliwości odcinków W52 i W75. Ma to istotne znaczenie dla ogólnego pojmowania spraw związanych z gaszeniem pożarów wewnętrznych, bowiem nie sposób zasilić prądownicę mogącą podawać 500 L/min z odcinka, którego maksymalna przepustowość wynosi 200 L/min! Wartości nominalne podawane w literaturze są *de facto*

mocno zaniżone i przy najczęściej stosowanych krótkich liniach gaśniczych nie oddają zupełnie realiów. Poniżej w **tabeli 17** podano nominalne oraz faktyczne (zmierzone) wydajności linii węzowych [28, 86].

Tab. 16: Porównanie wydajności prądów gaśniczych z linii o przekroju 52 mm i 75 mm, w zależności od ciśnienia i średnicy pyszcza, dane z 1967 r.

| Wielkość prądownicy [mm] | Średnica pyszcza [mm] | Ciśnienie w pyszczu [bar] | Wydajność [L/min] |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|
| 52 | 8 | 3,5 | 100 |
| | 12 | 4,5 | 200 |
| 75 | 16 | 5 | 400 |
| | 22 | 6 | 800 |

Tab. 17: Porównanie wydajności nominalnych oraz faktycznych węży pożarniczych.

| Rodzaj węża | Wydajność nominalna [L/min] | Wydajność faktyczna ³¹ [L/min] |
|-------------|-----------------------------|---|
| W52 | 200 | 1250 |
| W75 | 800 | 2500 |
| W110 | 1600 | 4100 |

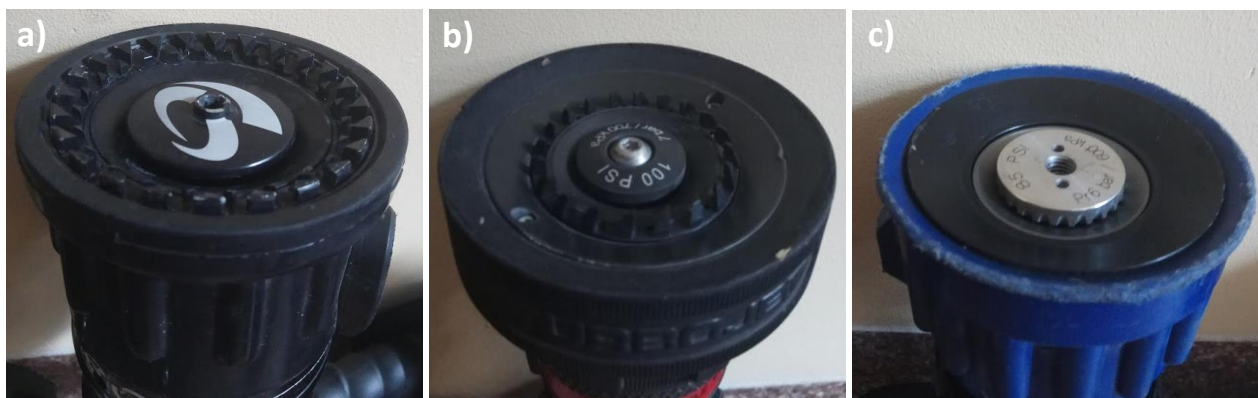
Zanim przejdziemy do technik operowania prądami, wypada przedstawić jeszcze pokrótce **budowę prądownic** typu TURBO w celu lepszego zrozumienia zagadnienia. Otóż poprzez zastosowanie elementów ruchomych, pozwalających na regulację prześwitu (mającego kształt pierścienia – patrz rysunki i zdjęcia poniżej), uzyskujemy regulację łącznego pola powierzchni wylotu wody i tym samym regulację wydajności. Jeśli zostanie ustawione ciśnienie robocze (w tym przypadku najczęściej 6 lub 7 bar na pyszczu) to uzyskamy podane przez producenta wydajności. Jeśli zaczniemy od małej wydajności (np. 100-130 L/min), a potem ją zwiększymy (do np. 300-360 L/min), to wzrośnie pole powierzchni, ale spadnie ciśnienie na pyszczu – woda ma mniejszy opór, bowiem wydostaje się przez większy otwór. Należy skompensować tę stratę ciśnienia przewidując jej skalę. Jest to o tyle ważne, że do określonych technik – szczególnie do chłodzenia gazów pożarowych – wymagane są określone parametry pracy (ciśnienie i wydajność prądu gaśniczego). Trzeba też pamiętać, że im wyższy przepływ – tym większa strata ciśnienia na pyszczu prądownicy. Operator pompy powinien znać zależności pomiędzy długością linii, wysokością podawania wody, ciśnieniem oraz wydajnością i być w stanie oszacować straty wynikające z charakterystyki danego rozwinięcia. Jednym z najczęstszych problemów wpływających na skuteczność gaśniczą prądów wodnych jest ich zbyt mała wydajność przy pożarach rozwiniętych co udowodniono powyżej.

Na **fot. 65 a-c** widać różne rodzaje konstrukcji prądownic z uwagi na element służący do wytwarzania mgły. Kiedy pod koniec lat 70-tych szwedzcy strażacy: Krister Giselsson i Mats Rosander chcieli stworzyć pierwszą prądownicę do chłodzenia gazów pożarowych, wówczas zgłosili się do różnych firm produkujących armaturę. Zauważając niepokojący trend intensyfikacji niebezpiecznych zjawisk pożarowych w pożarach wewnętrznych, który wiązali z nastającą erą tworzyw sztucznych w szwedzkich dobrze izolowanych domach z potrójnymi szybami z oknach, postanowili zmierzyć się z wyzwaniem. Przedstawili konstruktorom szereg założeń i poprosili o zaprojektowanie urządzenia, które by je spełniało. Wśród tych założeń była konieczność wytwarzania mgły o odpowiedniej wielkości kropel oraz o odpowiedniej gęstości tych kropel w wytwarzanym strumieniu wody. Pożądany efekt miał odzwierciedlać efekt tzw. „**lampy Davy’ego**” a dokładniej rzecz ujmując – „**siatki Davy’ego**”.³²Te założenia, wśród szeregu innych, miały zapewnić optymalne chłodzenie

³¹ Wydajności podane w kolumnie 3 są orientacyjne i zostały zmierzone dla długości linii około 100 m. W przypadku węża 110 wydajność została ograniczona możliwościami autopompy

³² W 1815 roku wynalazca Sir Humphry Davy stworzył model lampy, którą górnicy pracujący w kopalniach mogli wykorzystywać do pracy pod ziemią, bez obaw o śmiertelnie groźny zapłon metanu od płomienia lampy. Idea polegała na wykorzystaniu specjalnie zaprojektowanej siatki ochronnej wokół płomienia, wykonanej z materiału dobrze przewodzącego ciepło o odpowiednio gęstej strukturze. Dzięki temu, siatka ekranująca przepuszczała powietrze do wnętrza i pozwalała na spalanie paliwa i świecenie lampy,

gazów a jednocześnie umożliwić kontrolowanie płomienia i uwięzienie go w środku wytwarzanego „kielicha” mgły wodnej, w przypadku nie tyle chłodzenia gazów, co walki z płomieniami. Funkcjonalność i daleko posunięta uniwersalność były fundamentami założeń konstrukcyjnych. Nieistniejąca już dziś szwedzka firma TA podjęła wyzwanie i stworzyła legendarną prądownicę FogFighter (fot. 66). Jednocześnie inżynierowie z TA stwierdzili wówczas, że wirujący pierścień mgłowy jest jedynym rozwiązaniem technicznym, jakie umożliwiało spełnienie postawionych tej nowoprojektowanej prądownicy założeń. Dziś na rynku spotkać można dziesiątki innych rodzajów konstrukcji, jednakże najczęściej owa funkcjonalność, zrodzona w wyniku realnych potrzeb zmieniającego się środowiska pożarów wewnętrznych, została dziś najczęściej zatracona na rzecz marketingowych atrakcji, nie mających oparcia w rzeczywistych potrzebach pola walki z pożarami. Warto zawsze zadać sobie pytanie „dlaczego” coś działa tak, jak działa i krytycznie podchodzić do informacji przedstawianych w ofertach handlowych.



Fot. 65 a-c: Porównanie 3 konstrukcji prądownic typu TURBO. Po lewej prądownica, w której do wytwarzania mgły wykorzystuje się szereg żłobień w koronie. W środku, prądownica posiadająca wirujący pierścień mgłowy. Po prawej, prądownica, która posiada żłobienia na „grzybku” tj. trzpieniu służącym do regulacji wydajności. Warto zwrócić uwagę na nacechowane na prądownicach wartości ciśnienia (6 i 7 bar), które powinny być osiągnięte na puszczku prądownicy, aby zapewnić jej zaprojektowane parametry pracy. Jest to jedna z ważniejszych rzeczy, ponieważ powszechne w kraju jest wykorzystywanie **zbyt niskich ciśnień** przez kierowców-operatorów pomp!

W trakcie prowadzenia wewnętrznych działań gaśniczych przez rotę lub zastępy, operatorzy powinni być w stanie oszacować prawdopodobne straty ciśnienia i zapewnić utrzymanie odpowiedniego ciśnienia na puszczkach prądownic. Jest to niezbędne nie tylko z punktu widzenia skuteczności prądów gaśniczych, ale przede wszystkim z uwagi na bezpieczeństwo strażaków.

jednak nie pozwalała dzięki odbieraniu ciepła (balast termalny – patrz ROZDZIAŁ 2.3.) na propagację płomienia na zewnątrz i zapon metanu. W ten sam sposób „ściana” mgły w prądownicy FogFighter miała nie dopuszczać do przechodzenia płomienia na drugą stronę. Jednocześnie lampa pozwalała wykrywać obecność metanu, który powodował zmianę koloru płomienia w wyniku przedostania się gazu do wnętrza lampy, a także grożącego uduszeniem CO₂, który powodował gaśnięcie płomienia lampy.



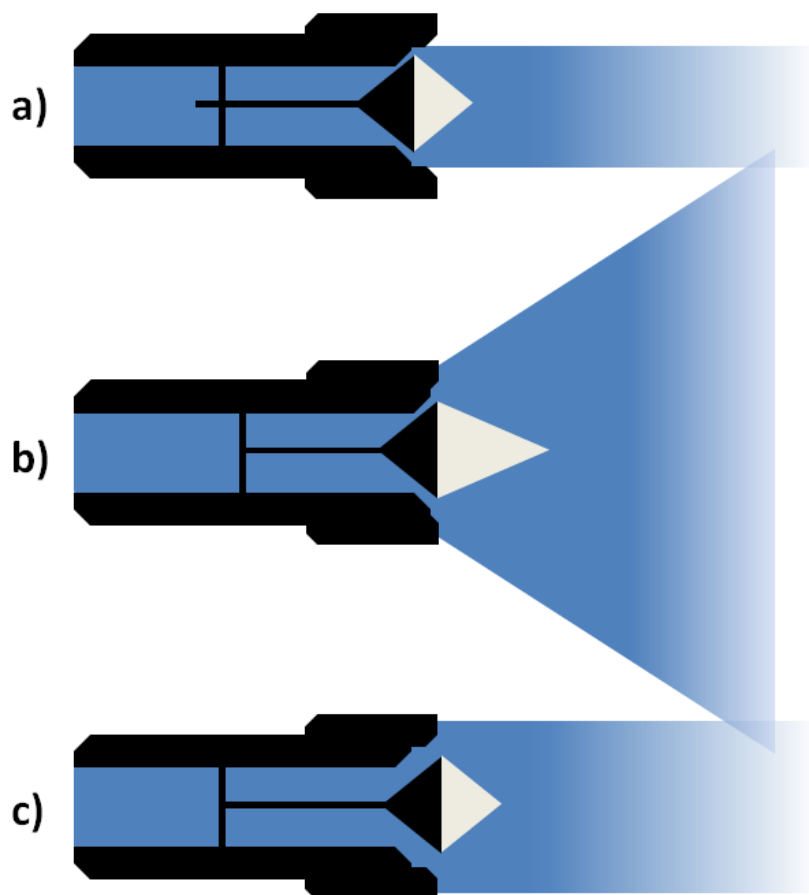
Fot. 66: Oryginalna prądownica TA FogFighter – pierwsza na świecie prądownica zaprojektowana pod koniec lat 70-tych jako narzędzie dedykowane do **chłodzenia gazów pożarowych**. Po lewej wersja bez uchwytu pistoletowego, po prawej z uchwytem. Prądownica była wyposażona w wirujący pierścień mgłowy. Wśród postawionych przez pomysłodawców wymagań, które spełniała, była prosta konstrukcja, skupiony prąd zwarty, regulowana wydajność, regulowany kat rozproszenia, możliwość przepłukania i odpowiednia wielkość kropli. [93, 94]

Wracając do budowy prądownic, należy podkreślić, że prądownice typu TURBO posiadają bardziej złożoną konstrukcję od prądownic prostych, jednak jej znajomość jest niezbędna dla skutecznego operowania prądami gaśniczymi. Przyglądając się uniwersalnej prądownicy typu TURBO powinniśmy zauważyć trzy elementy umożliwiające regulację: zawór z rękojeścią (najczęściej stosowany zawór kulowy, rzadziej występuje też zawór ślizgowy), pierścień ustawiający wydajność prądu gaśniczego oraz pierścień regulujący kąt bryłowy strumienia wody. Prądownice pozbawione tych elementów (np. bez regulacji wydajności lub z automatyczną regulacją za pomocą wbudowanej sprężyny) oferują znacznie mniejszą uniwersalność, chociaż istnieją okoliczności, gdzie mogą być używane. Poniższy rysunek (**rys 70.**) pokazuje ogólną zasadę działania prądownicy, ukazując jej ruchome elementy. Każdy strażak powinien znać budowę i zasadę działania prądownicy, której używa. Bez tego nie jest w stanie osiągnąć perfekcji w jej obsłudze, niezbędnej do skutecznej i bezpiecznej walki z pożarami wewnętrznymi.

Chcąc natomiast scharakteryzować same prądy gaśnicze należy pamiętać o następujących zagadnieniach.

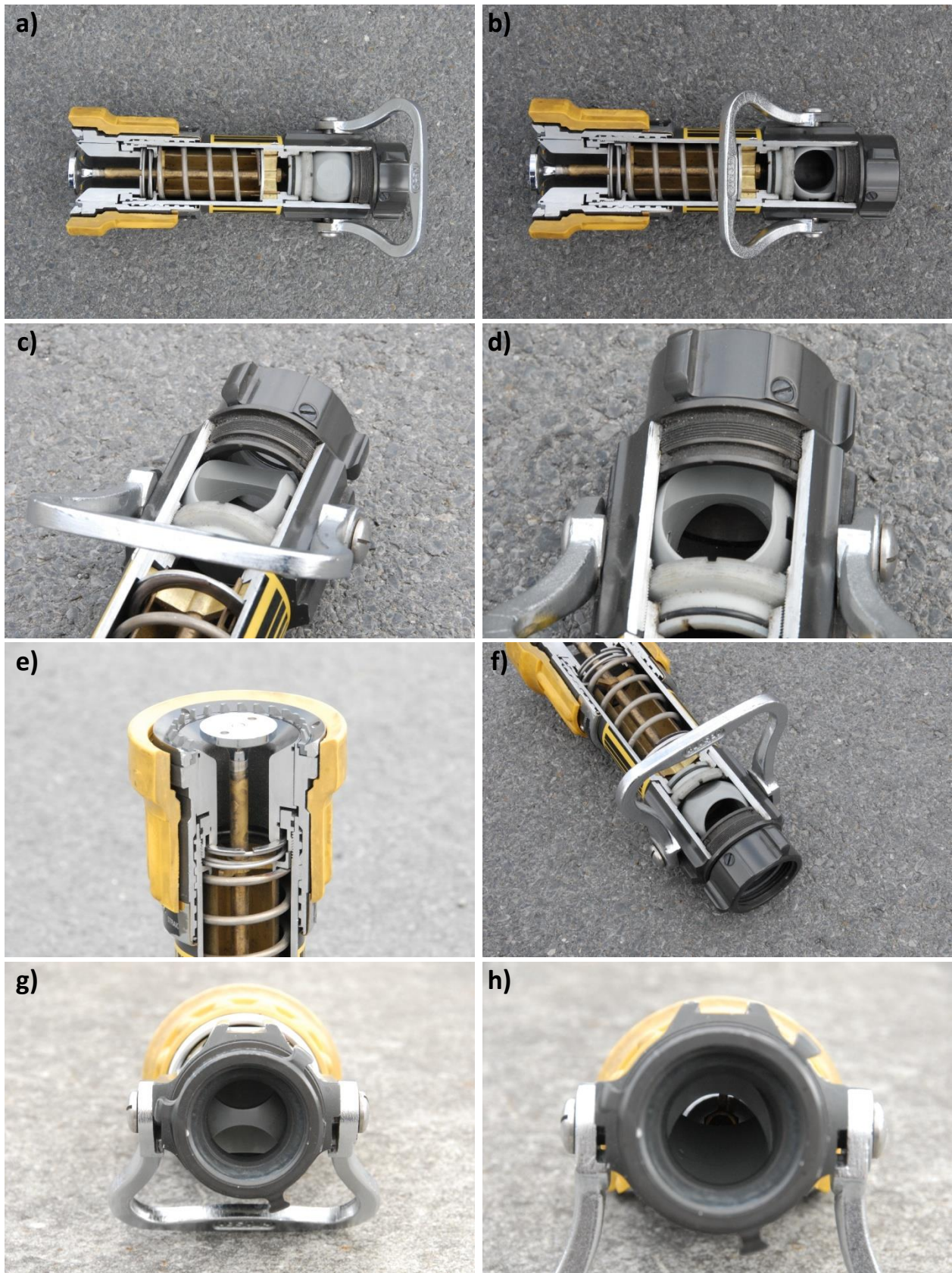
Prąd zwarty jest to prąd, którego stopień rozproszenia jest minimalny. Może być podawany z prądownic gładko lufowych typu *smoothbore* (solid stream – prąd wodny będący ciągłym słupem wody) lub z prądownic uniwersalnych typu TURBO (straight stream – prąd wodny rozbity a następnie skupiony, niebędący ciągłym słupem wody). Prądy zwarte mają największy zasięg i siłę kinetyczną oraz powodują największe siły reakcji.

Prąd rozproszony jest to prąd, który za pomocą specjalnych kształtów prądownicy jest rozbijany i kształtowany tak, aby nie był skupiony w ciągły strumień tylko rozbity na kropelki wody. Najczęściej ma on kształt stożka rozszerzającego się w miarę oddalania od wylotu prądownicy, o średnicy regulowanej za pomocą pierścienia obrotowego (prądownice wodne uniwersalne).

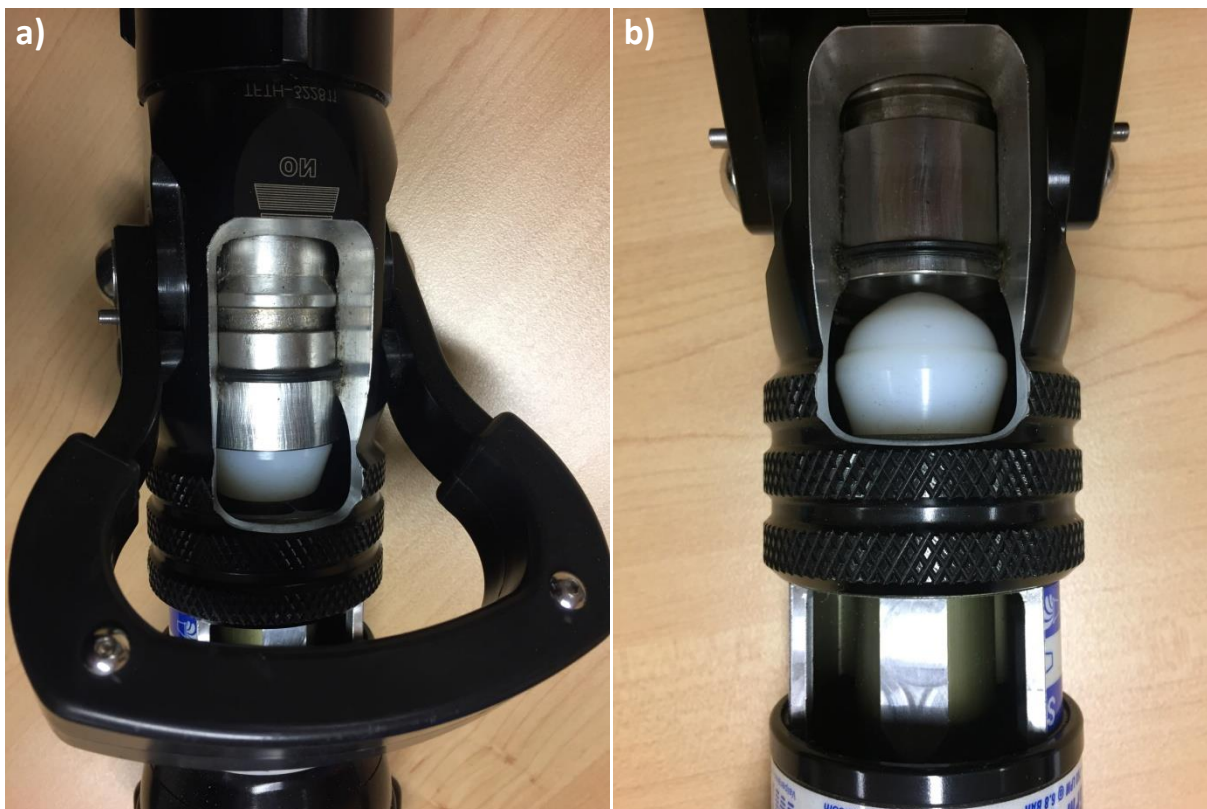


Rys. 70 a-c: Uproszczony przekrój prądownicy typu TURBO i wpływ wzajemnego ustawienia jej elementów ruchomych na charakterystykę prądu gaśniczego: **a)** niska wydajność (trzczeń wsunięty), prąd zwarty (pierścien zewnętrzny wysunięty, zakrzywia prąd gaśniczy), **b)** średnia wydajność (trzczeń częściowo wysunięty), prąd rozproszony (pierścien zewnętrzny nie wysunięty, nie zakrzywia prądu gaśniczego), **c)** wysoka wydajność (trzczeń wysunięty), prąd zwarty (pierścien zewnętrzny wysunięty, zakrzywia prąd gaśniczy).[86]

Istnieją też różne rodzaje konstrukcji prądownic typu TURBO, przykładowo prądownice **automatyczne**. Posiadają one wbudowaną sprężynę, która reguluje parametry prądu wodnego. Przykładowo, przy zbyt niskim ciśnieniu domyka wylot wody powodując utrzymanie stałego ciśnienia na pyszczku, kosztem wydajności wodnej. Pozwala to na utrzymanie zasięgu rzutu strumienia lub tworzenie dobrych kropelek wodnych (patrz **ROZDZIAŁ 4.3.**), jednak pozbawia możliwości zidentyfikowania problemów z ciśnieniem, które przełożą się na zaniżoną wydajność prądu wodnego. Poniższe zdjęcia pokazują przekroje prądownic automatycznych, jednakże pomijając wbudowaną sprężynę mogą też posłużyć do poznania budowy prądownic zwyczajnych, o całkowitej regulacji manualnej. Dodatkowym elementem godnym zauważenia są różnice w zaworach, zastosowanych w prezentowanych poniżej prądownicach. O wiele bardziej powszechnym jest zawór **kulowy** (fot. 67), o tyle można też czasem spotkać prądownice o zaworze „ślizgowym” (fot. 68), zwanym też **grzybkowym**. W tym rozwiązaniu, podobnie jak przy zaworze kulowym, występuje stopniowanie przepływu poprzez otwieranie i zamykanie zaworu. Różnica jest taka, że zawór ślizgowy może pracować poprawnie przy niepełnym otwarciu (często takie prądownice nie posiadają pierścienia regulacji przepływu), podczas gdy przy niepełnym otwarciu zaworu kulowego powstają turbulencje skutecznie zaburzające przepływ i powodujące spadek ciśnienia do poziomu, przy którym parametry pracy prądownicy są nieakceptowalne.



Fot. 67 a-h: Przekrój prądownicy TURBO z zaworem kulowym, sprężyną oraz bez rękojeści (uchwyty pistoletowego). **a)** zawór otwarty; **b)** zawór zamknięty; **c)** widok pod kątem na zawór zamknięty; **d)** widok pod kątem na zawór otwarty; **e)** przekrój pokazujący powierzchnię wylotu wody, centralny trzpień pozostaje nieruchomy a przemieszcza się obudowa; **f)** widok pod kątem na zawór półotwarty; **g)** widok od wlotu na zawór zamknięty; **h)** widok od wlotu na zawór niemal całkowicie otwarty (fot. Ronan Vinay).



Fot. 68 a-b: Przekrój prądownicy TURBO bez rękojści (uchwyty pistoletowego) z zaworem ślizgowym. **a)** zawór zamknięty – stożkowy trzpień jest dociśnięty do gniazda, nie ma drogi przepływu; **b)** zawór otwarty – stożkowy trzpień jest odsunięty od gniazda, występuje droga przepływu; (fot. Ronan Vinay).

Podsumowując należy ponownie podkreślić, że gruntowne zrozumienie teoretycznych podstaw używania wody w celach gaśniczych jak również bardzo staranne przećwiczenie wszelkich technik pracy z danym modelem prądownicy to jedyna droga do osiągnięcia perfekcji w operowaniu prądami gaśniczymi podczas pożarów wewnętrznych. Dzięki temu strażak zwiększa bezpieczeństwo własne i tych, którym niesie pomoc, podnosi skuteczność działania i minimalizuje straty wynikające z pożaru oraz oddziaływania wody.

4.2. Natarcie bezpośrednie, pośrednie i łączone oraz działania w obronie. Działania połączone.

Natarcie jest to działanie, które polega na podawaniu środków gaśniczych w celu przerwania procesu spalania. Różni się od **obrony** tym, że ta druga forma działania taktycznego skupia się zasadniczo na niedopuszczeniu do rozwoju i rozprzestrzenienia się pożaru. Najczęściej czynnikiem decydującym o wyborze konkretnej formy działania gaśniczego będzie możliwość osiągnięcia odpowiedniej wydajności prądów gaśniczych (zwanym w literaturze **intensywnością podawania środków gaśniczych**³³). Jednak czasem o tym wyborze mogą zdecydować inne czynniki, jak np. dostępność personelu do wykonania zadań priorytetowych czy też możliwość bezpośredniego oddziaływania na ognisko pożaru. **Krajowa literatura branżowa** opisuje owe formy działań taktycznych w następujący sposób:

³³ Intensywność podawania środków gaśniczych to ilość środka gaśniczego /l lub m³/, podawanego w jednostce czasu /s/ na jednostkę powierzchni /m²/ lub kubatury /m³/ obiektu. Każdy palący się materiał bądź obiekt wymaga optymalnej intensywności gaszenia, zapewniającej uzyskanie największego efektu gaśniczego w najkrótszym czasie. Warto dodać, że należy jednocześnie unikać zbyt dużej intensywności podawania środków, co pomaga uniknąć strat wtórnych wynikających z zalania. Przy gaszeniu wodą mówimy najczęściej i powierzchniowej intensywności podawania środków gaśniczych, podczas gdy przy gaszeniu innymi środkami (niektórymi rodzajami piany, gazami gaśniczymi) mówimy o objętościowej intensywności podawania środków gaśniczych. W opisywanej dziedzinie ratownictwa, potocznie przyjęło się nazywać ten parametr wydajnością prądów gaśniczych. [84, 95]

- **Natarcie** to podstawowa forma walki z pożarem polegająca na bezpośrednim działaniu w kierunku ogniska pożaru, w celu całkowitego przerwania procesu spalania. Jest to zatem aktywna forma walki, pozwalająca na osiągnięcie celu ostatecznego /likwidacji pożaru/. Cechy charakterystyczne natarcia to: duże tempo działań przebiegających niekiedy wobec realnego zagrożenia dla strażaków oraz zależność pomiędzy rozwojem pożaru a intensywnością podawania środków gaśniczych.
- **Obrona** to forma działania taktycznego polegająca na oddziaływaniu określonymi środkami na obiekty zagrożone pożarem. Są to działania o charakterze zachowawczym, mające na celu utrzymanie zastanej sytuacji do chwili przybycia następnych sił i środków.
- **Działania połączone** to forma działań taktycznych łącząca zarówno natarcie jak i obronę. W praktyce jest to bardzo często występująca forma działań taktycznych. [81, 82, 83, 84, 85]

Dotychczasowo spotykało się podział prądów na **zwarte** i **rozproszone**, a te ostatnie dodatkowo dzielono na **kropliste** i **mglowe**. [67] Sugerowało to jakoby wszystkie te rodzaje prądów gaśniczych podawane były z jednego urządzenia, jakim jest prądownica wodna uniwersalna. Jednocześnie przyjęto mówić, że prąd zwarty ma działanie **punktowe**, prąd kroplisty ma działanie **powierzchniowe** a prąd mglowy ma działanie **przestrzenne**.

W gaszeniu pożarów wewnętrznych **praktyka** postępowania dyktuje nieco inną klasyfikację. Otóż z uwagi na znaczny rozwój gałęzi ochrony przeciwpożarowej zajmującej się mgłą wodną należy zauważyć (patrz **tabela 18** i poprzedzający ją komentarz w **rozdziale 4.3.**), że prądownice wodne operujące przy ciśnieniach roboczych rzędu 6-8 bar na pyszczku prądownicy wytwarzają kropelki o spektrum rozmiarów 0,1-1 mm (100-1000 mikrometrów lub mikronów, [µm])). Dlatego bardziej zasadne jest mówienie o **prądzie rozproszonym** jako takim, który może mieć różne kąty bryłowe i unikanie sugerowania, jakoby prądownica wodna uniwersalna była w stanie wytwarzać jednocześnie prądy mglowe o znacznie mniejszym rozmiarze kropli, co w obecnych czasach jest domeną dedykowanych systemów mglowych (specjalnych dysz, systemów operujących przy znacznie wyższym ciśnieniu lub pewnego rodzaju tryskaczy mglowych).

Strażak będzie używał w pożarze wewnętrznym albo prądu zwartego albo rozproszonego, dostosowując kąt do potrzeb, o czym napisano w szczegółach w dalszej części. Jednocześnie trzeci rodzaj prądu wytwarzanego przez prądownicę uniwersalną wypada nazwać **parasolem ochronnym** lub **zasłoną wodną**, jednakże nie będzie on praktycznie nigdy wykorzystywany w pożarach wewnętrznych. W **tabeli 18** można zauważyć, że przyjęto już dosyć dawno podział prądów rozproszonych (zwanym czasem **rozpylonymi**) z uwagi na rozmiar kropelek. Dlatego proponuje się odejście od stosowania podziału na prądy kropliste i mglowe w kontekście prądów gaśniczych podawanych z prądownic uniwersalnych podczas zwalczania pożarów wewnętrznych.

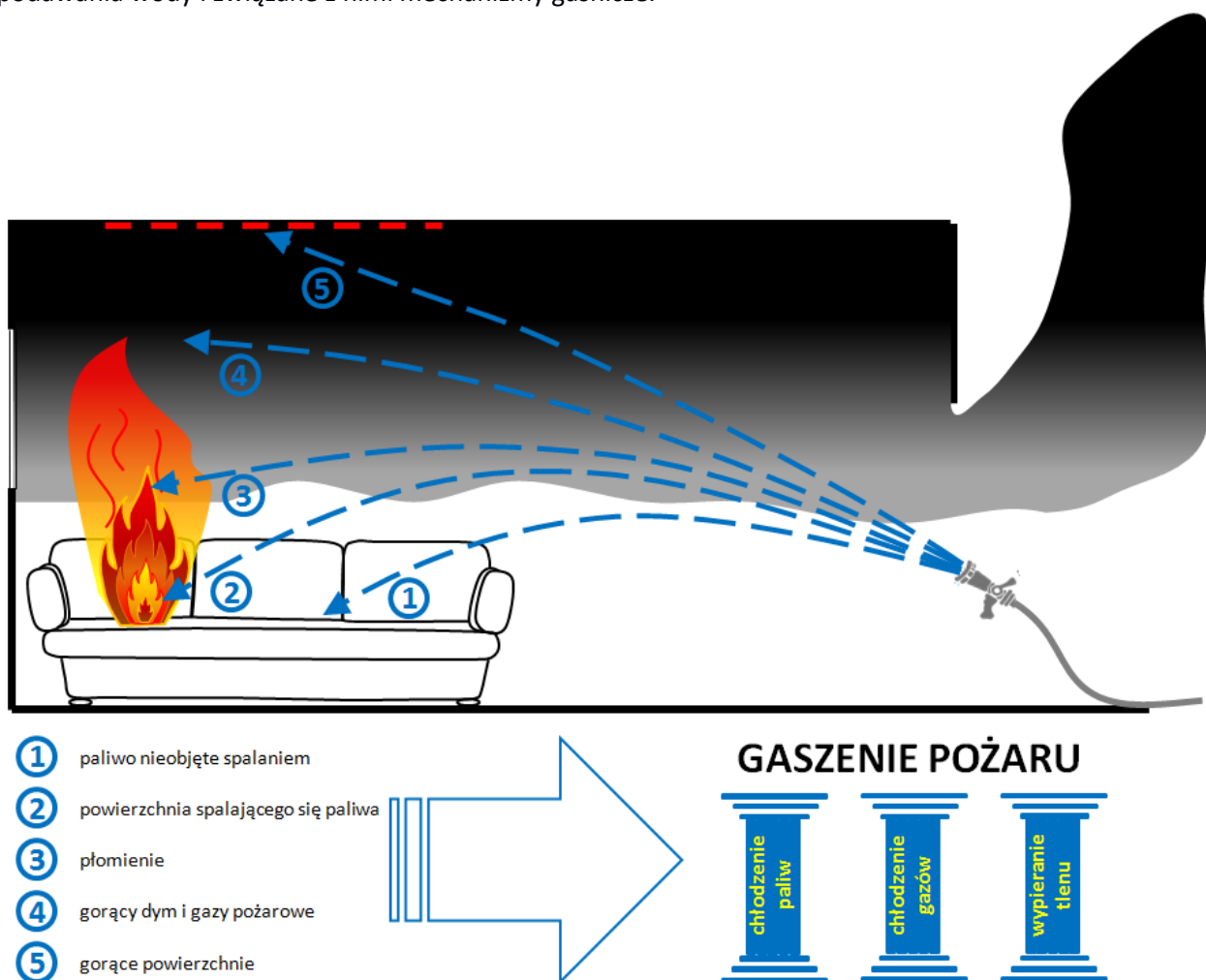
Należy też zaznaczyć, że kolejny praktyczny podział na technikę **krótkiego pulsu**, **długiego pulsu** czy **omiatania** wynikał będzie ze sposobu operowania, dyktowanego sytuacją pożarową. Natomiast podział na prądy kropliste i mglowe staje się sprawą drugorzędną, bowiem uzyskiwanie bardzo drobnych kropli w prądzie gaśniczym wymaga wyższego ciśnienia aniżeli to, które jest ciśnieniem roboczym dla prądownic uniwersalnych. Systemy wytwarzające ciśnienia o wartości 40 bar (tzw. wysokie ciśnienie – *High Pressure* – HP) czy też rzędu 150-300 bar (tzw. ultra wysokie ciśnienie – *Ultra High Pressure* – UHP) są w stanie produkować mniejsze kropelki. Nadal jednak nazywanie takich prądów gaśniczych prądami rozproszonymi jest poprawne. Jedną ze spotykanych klasyfikacji producenta sprzętu gaśniczego UHP podaje, że **normalne ciśnienie** zawiera się w przedziale do 35 bar, **wysokie ciśnienie** zawiera się w przedziale od 35 do 70 bar, natomiast **ultra wysokie ciśnienie** zawiera się w przedziale powyżej 70 bar.

Z powyższych powodów w niniejszym opracowaniu używany będzie podział prądów gaśniczych na:

- **prąd zwarty;**
- **prąd rozproszony o różnym kącie rozproszenia;**
- **parasol ochronny lub zasłonę wodną.**

W pożarach wewnętrznych, wodę podajemy na palące się **powierzchnie** lub w **gazy** pożarowe, zależnie od **sytuacji** i zamierzonego **celu**. Czasem trafia ona również w inne miejsca, celowo lub przypadkiem (**Rys. 70**). Zależnie od **celu** podawania wody możemy wyróżnić różne rodzaje **natarcia**. Dodatkowo często istnieje potrzeba podawania wody w celu **chłodzenia gazów pożarowych**, co może być traktowane jako swoisty rodzaj działań o charakterze **obrony** (zabezpieczanie ratownika, mienia, zapobieganie spalaniu gazów

pożarowych). Ogólne rozpoznanie ogniowe, jak również bieżąca analiza sytuacji pożarowej prądownika, pozwolą dobrać odpowiedni sprzęt i technikę podawania wody. Na **rysunku 71** pokazano możliwe sposoby podawania wody i związane z nimi mechanizmy gaśnicze.



Rys. 71: Możliwe sposoby podawania wody do środowiska pożaru składają się na 3 mechanizmy gaśnicze. **Chłodzenie paliw** może być zarówno gaszeniem, powstrzymywaniem pirolizy jak też zwilżaniem (zabezpieczaniem). **Chłodzenie gazów** może służyć zabezpieczeniu środowiska pracy strażaka (**inertyzacja**, czyli zubożenie mieszaniny palnej) lub gaszeniu płomieni. **Wypieranie tlenu** poprzez odparowanie wody na kilka sposobów uniemożliwia powstanie warunków do spalania płomieniowego wewnątrz pomieszczenia. [88]

Powierzchnie palne możemy gasić zarówno prądem **zwartym** jak i **rozproszonym**. Gazy pożarowe gasimy lub chłodzimy w celu zapobiegania ich spalaniu poprzez wykorzystanie głównie **prądów rozproszonych**. Istnieją techniki podawania wody w gazy pożarowe przy użyciu prądu zwartego, jednak stosowane są głównie w Stanach Zjednoczonych, gdzie używanie prądownic prostych wynika z pewnej tradycji jak i czasami z większej prostoty jej użycia oraz na ogół lepszej dostępności wody do celów pożarowych. Owszem techniki te przyniosą pozytywny rezultat w postaci mniej sprawnego schłodzenia gazów, zabezpieczenia prowadzonych działań czy ugaszenia ognia, jednak nadmiar wody spowoduje zwiększenie strat związanych z zalaniem, co wpływa też na komfort pracy strażaka. Praca w nadmiarze pary lub w mokrym ubraniu z pewnością obniży komfort pracy jak też ogólną wydolność spowodowaną przegrzewaniem się strażaka, ogólnym i miejscowym (w zmoczonych miejscach na ubraniu). Niemniej, istnieją sytuacje pożarowe, w których wykorzystanie prądownic o pożądanym ciśnieniu roboczym rzędu 7 bar na pyszczku i maksymalnej wydajności w obszarze 400-500 L/min będzie niewskazane. Przykładem takiej sytuacji pożarowej jest pożar na wysokich kondygnacjach w wieżowcu – osiągnięcie odpowiedniego ciśnienia bywa niemożliwe a wydajności mogą być niewystarczające z uwagi na wpływ wiatru na pożar lub też otwartą przestrzeń kondygnacji (dostęp tlenu do strefy spalania) i obciążenie ogniowe. Taki przypadek pożaru opisał

w swojej książce Paul Grimwood, cytując wypowiedzi oficera, który prowadził natarcie na pożar powyżej 20 kondygnacji. Wieżowiec Windsor Tower w Madrycie uległ częściowemu zawaleniu w wyniku oddziaływania pożaru, który wybuchł 12 lutego 2005 roku. Wśród przyczyn takiego obrotu sytuacji podawano brak możliwości podania skutecznych prądów gaśniczych na wysokich kondygnacjach w zestawieniu z błyskawicznym pionowym rozprzestrzenianiem się pożaru. [29]

W związku z powyższym rozróżnia się następujące **rodzaje natarcia** (działania gaśniczego):

- **Natarcie bezpośrednie** – kiedy woda podawana jest bezpośrednio na palące się powierzchnie. Przykładowe techniki operowania prądem gaśniczym to **ołówkowanie**, **malowanie** czy **działanie prądem zwartym**.
- **Natarcie pośrednie** – kiedy woda nie jest podawana na palące się powierzchnie tylko w miejsce, gdzie odparowuje i powoduje schłodzenie zubożenie gazów w tlen (obniżenie stężenia tlenu) a jednocześnie wypełnienie przestrzeni gazem obojętnym – **inertyzującym** (parą wodną). Przykładowe techniki operowania prądem gaśniczym to **omiatanie** czy **długi puls**.
- **Natarcie łączone (kombinacyjne)** – gdzie połączone są ze sobą oba wyżej wymienione mechanizmy gaśnicze. W praktyce, z uwagi na dynamiczną naturę walki z pożarami jest to najczęściej spotykany rodzaj działania gaśniczego. Przykładowe techniki operowania prądem gaśniczym to **omiatanie** czy **długi puls**. Różnica między natarciem łączonym a natarciem pośrednim polega głównie na tym, dokąd wysyłana jest woda z prądownicy i gdzie następuje odbieranie ciepła.

Z powyższego opisu wynika, że w podawaniu prądów gaśniczych (jak i we wszelkich innych działaniach) ważne jest nie tylko „co?” i „jak?”, ale przede wszystkim „dlaczego?” wykonujemy pewne czynności.

„Aby wykonywać nasz interes właściwie, niezbędnym jest dla tych, którzy go praktykują, by pojęli nie jedynie co mają robić ale dlaczego mają to robić; i cały przebieg mojego nauczania jest uformowany tak, aby do tego celu prowadzić.”

– Sir Eyre Massey Shaw, Fire Protection, 1876 [77]

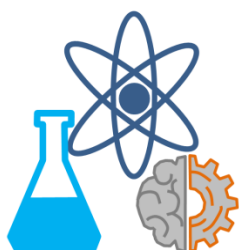
4.3. Teoria chłodzenia gazów pożarowych.

Jednym z najważniejszych fundamentów współczesnej sztuki zwalczania pożarów wewnętrznych, jaki popularyzowali już od końca lat 70-tych Krister Giselsson i Mats Rosander ze Szwecji, jest kwestia palności gazów pożarowych, ich kluczowej roli w mechanizmach powstawania groźnych zjawisk pożarowych oraz konieczności ich chłodzenia i zubożniania w trakcie wędrówki przez zadymione pomieszczenia do źródła pożaru.

Wyjaśnijmy zatem tło historyczne owych przełomowych zmian, dając Czytelnikowi możliwość zauważenia pewnych analogii z opisywanymi w niniejszym opracowaniu zagadnieniami. Wspomnianym latom 70-tych w Szwecji towarzyszyła ekspansja przemysłu meblarskiego, a niektóre firmy przerodziły się w wielkie koncerny, które później oddziaływały globalnie. W związku z przyspieszaniem masowej produkcji w przemyśle meblarskim upowszechniano tworzywa sztuczne, które zaczynały zastępować tworzywa naturalne. Jak wiadomo, tworzywa sztuczne ulegają rozkładowi pod wpływem ciepła znacznie łatwiej. Dr. Stefan Särndqvist [88] w prostych słowach tłumaczy to tak, że wszystko to, co stworzyła natura (materiały pochodzenia organicznego) ma trwałe i mocne wiązania, podczas gdy wytwory sztuczne (materiały syntetyczne) mają owe połączenia nietrwałe. Surowy klimat Szwecji wymuszał na przemyśle budowlanym udoskonalanie izolacji cieplnej budynków. Gdy dochodziło do pożarów, strażacy zaczęli napotykać często zaskakujące, niebezpieczne zjawiska pożarowe, związane z gromadzeniem się dużej ilości gazów palnych w pomieszczeniach dobrze odizolowanych, gdzie produkowane w procesie spalania ciepło w sposób długotrwały oddziaływało na obecne tam paliwa. Dlatego Krister Giselsson i Mats Rosander rozpoczęli swą misję edukacyjną strażaków. W tym celu opracowali szereg demonstracji w małej skali, aby ułatwić przybliżanie pewnych konceptów (np. akwarium Giselssona do demonstracji granic wybuchowości gazów palnych), prowadzili badania pożarowe na budynkach przeznaczonych do wyburzenia (około 100 budynków wykorzystanych do testów) oraz opracowywali techniki operowania prądami gaśniczymi za pomocą specjalnie do tego celu stworzonych narzędzi (prądownica TA FogFighter). Większość tych elementów została

ujęta w „Programie szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych” Komendanta Głównego PSP. [10] Szwedzi rozwinęli swoje techniki w oparciu o zasadę natarcia pośredniego. Owa technika, stworzona w pożarnictwie okrętowym, wymagała tworzenia dużych ilości pary poprzez podawanie wody na gorące powierzchnie i wytworzenie obojętnej (niepalnej) atmosfery. Rosander i Giselsson skupili swoje badania głównie na obniżaniu temperatury gazów, a nie na wyparciu tlenu i rozrzedzaniu gazów poprzez produkcję pary.

Jak wspomniano w **ROZDZIALE 4.1.**, budowę wspomnianej prądownicy oparto o pewne minimalne wymagania. Jednym z kluczowych wymogów była odpowiednia wielkość kropelek, w oparciu o badania Oskara Hertericha. [93] Ów niemiecki badacz zasugerował, że idealna wielkość kropelek została obliczona przez Radoscha i wynosiła 0,35 mm (350 mikronów). Obliczono ją z maksymalnej prędkości lecącej kropelki w relacji do zdolności do pochłaniania ciepła, przez ową kropelkę. Kropelka o wielkości 0,35 mm osiągnie w prądzie rozproszonym prędkość 36-43 m/s. (130-155 km/h). Ustalono zależność prędkości przemieszczania się do zdolności absorpcji ciepła. Mierzono również (badania w Stanach Zjednoczonych) owe parametry w praktyce podczas pożarów drewnianych stosów i również skonkludowano, że kropelki o wielkości zawierającej się pomiędzy 0,3 i 0,4 mm są najbardziej skuteczne. [93] Należy dodać, że owe prawidłowości wykazano dla prądownic zasilanych niskim ciśnieniem, około **7-8 bar na pyszczku prądownicy**. Badania Hertericha sugerowały jednocześnie, że pewna część wody może odparować na powierzchniach. Patrząc na zagadnienie ze strony praktycznej nie jesteśmy w stanie zupełnie tego uniknąć.



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Wykorzystanie wody w postaci rozdrobnionej na kropelki było badane przez co najmniej kilka dekad. Herterich [93] zaproponował spójną terminologię dla rozdrobnionych prądów gaśniczych z uwagi na rozmiar kropelek. Przeciętny rozmiar kropelek, który wydaje się być najbardziej odpowiedni do gaszenia pożarów wewnętrznych mieści się w przedziale 100-1000 mikronów (0,1-1,0 mm). Spektrum rozmiarów kropelek pozwala przyjąć 5 kategorii:

Tab. 18: Klasyfikacja rodzajów prądów rozproszonych według wielkości kropelek wody. [93, 95]

| LP | Nazwa (nazwa angielska) | Rozmiar | Opis |
|----|--|---------------------|-----------------------------------|
| 1. | Rozmiar koloidalny (colloidal) | < 1 mikron | Wygląda jak dym |
| 2. | Rozmiar pyłowy (dust) | 1 -10 mikronów | Wygląda jak olej lub mgła morską |
| 3. | Rozmiar drobny (fine) | 10-100 mikronów | Wygląda jak chmura lub mgła |
| 4. | Rozmiar średni (average) | 100-1000 mikronów | Wygląda jak mżawka lub deszcz |
| 5. | Rozmiar zgrubny (coarse) | 1000-10000 mikronów | Wygląda jak gruboziarniste krople |

W tabeli powyżej zaznaczono wiersz, który najbardziej odpowiada prądom rozproszonym wytwarzanym za pomocą prądownic uniwersalnych typu Turbo, pracujących na ciśnieniach roboczych rzędu 6-8 bar. Podział pomiędzy prądami kroplistymi (*spray*) i mgłowymi (*mist*) wydaje się nieco arbitralne. NFPA zasugerowała praktyczną definicję mgły wodnej (*water mist*) jako prąd rozproszony, w którego objętości 90% wody to krople poniżej 1000 mikronów (1 mm). Alternatywną definicję podał Ramdsen, sugerując zbyt dużą elastyczność definicji NFPA. Według niego, zakres rozmiarów **80-200 mikronów** jest bardziej odpowiedni dla systemów mgły wodnej.

W sferze zwalczania pożarów rozmiar pojedynczej kropli ma ogromne znaczenie przy omawianiu charakterystyki prądu rozproszonego, ponieważ opór powietrza czy gazów przed ruchem kropli jest proporcjonalny do średnicy owych kropelek. Dlatego siła nośna czy też zdolność penetracji warstwy gazu jest

zależna od spektrum wielkości kropelek. Skuteczność transferu ciepła do kropli wody z gazów pożarowych, która ma zasadnicze znaczenie dla zasadności ich stosowania w zwalczaniu pożarów, zależy również od geometrii kropli a w szczególności od stosunku całkowitej powierzchni rozpylonej cieczy do jej objętości (czyli od stopnia rozdrobnienia). Maksymalizowanie tego stosunku (stopnia rozdrobnienia) jest korzystne dla poprawy szybkiej absorpcji ciepła z otoczenia i następującego, wskutek tego odparowania kropli. Praktyczna zdolność penetracji danego prądu rozproszonego definiowana jest względnie wobec siebie wielkościami początkowej energii kinetycznej rozpylonej cieczy oraz stopniem oporu aerodynamicznego wywieranego przez otaczający gaz. Zdolność penetracji prądu rozproszonego jest większa aniżeli zdolność penetracji pojedynczej kropli, ponieważ skupisko kropelek nadaje ukierunkowanego pędu otaczającemu gazowi, zmniejszając opór aerodynamiczny dla kolejnych kropli, tworząc swego rodzaju „ścieżkę” dla nich, co skutkuje lepszą penetracją.

Coraz więcej współczesnych badań poświęconych jest interakcji pomiędzy kroplami wody a kolumnami konwekcyjnymi płomieni. Literatura sugeruje, że może istnieć pewna krytyczna szybkość wydzielania ciepła, powyżej której dana wielkość kropli nie powodowałaby ugaszenia pożaru z powodu nieosiągnięcia odpowiedniej „lokalizacji chłodzenia”. Mając to na uwadze, w licznych badaniach zauważono, że „idealne” kropelki do chłodzenia fazy gazowej jak też zwalczania płomieni zawierają się w zakresie **200-400 mikronów (0,2-0,4 mm)**.

W 1998 NIST opublikował interesujące badania (Alageel, Ewan i Swithenbank), które badały **zdolności gaśnicze mgieł wodnych oddziaływujących na kolumny konwekcyjne płomienia w pomieszczeniach**. Głównym celem było zbadanie interakcji prądów rozproszonych z płomieniem strumieniowym w warunkach ograniczonej wentylacji, przy różnych kątach prądów rozproszonych, średnic kropelek, prędkości strumienia oraz wydajności wodnych. Zaobserwowano, że stosowanie różnych kątów rozproszenia (30, 60, 75, 90, 120, 135 i 150 stopni) powodowało różne spadki temperatur, niemniej kąty w zakresie 60-75 stopni okazywały się być najbardziej skuteczne w obniżaniu całkowitej temperatury. Przy tych kątach zauważono, że graniczna wartość prędkości strumienia, którą należy przekroczyć w celu skutecznej penetracji płomienia, wynosiła 18 m/s (≈ 65 km/h). Analizowano kropelki w zakresie 100 do 600 mikronów i zauważono ponadto, że kropelki w zakresie 300 mikronów (0,3 mm) maksymalizowały efekty chłodzenia w pomieszczeniu.

W odniesieniu do natężenia przepływu (wydajności) wykazano, że dla danych wielkości pomieszczenia (wynoszących tyle samo, co standardowy trenazer ogniowy zbudowany na bazie kontenera, czyli 35m³), optymalne wydajności zawierały się w przedziale 120-180 L/min. W przypadku przekroczenia tej wydajności obserwowano odpływ wody niewykorzystanej do chłodzenia fazy gazowej i płomieni, podczas gdy poniżej 120 L/min zauważono spadek całkowitej skuteczności chłodzenia gazów. [95]

Na podstawie wcześniejszych informacji z tego rozdziału można stwierdzić, że istnieje **zależność** pomiędzy ciśnieniem, przy jakim woda podawana jest z prądownicy (ciśnienie na pyszczku czy wylocie prądownicy) a wydajnością. Dlatego bardzo ważne jest, aby użytkownik prądownicy rozumiał, że każda prądownica posiada założone przez jej konstruktorów sposoby oraz parametry pracy. W tym rozdziale skupimy się na prądownicach wodnych uniwersalnych, z regulowaną wydajnością wodną oraz regulowanym kątem rozproszenia prądu wodnego. Dla owych prądownic producent określa parametr ciśnienia roboczego, najczęściej umieszczając te informacje na prądownicy. W znakomitej większości przypadków prądownic spotykanych na krajowym rynku wartości te wynoszą **6 lub 7 bar**. Jednocześnie eksperci na całym świecie są zgodni, że w celu odpowiedniego wykorzystania możliwości prądownic uniwersalnych owo ciśnienie powinno wynosić co najmniej **7 bar**³⁴. Wówczas zapewniamy dwie szalenie istotne rzeczy:

- **wydajności** podane na prądownicy przez producenta są osiągalne (lub nieznacznie przekroczone), co pozwala na bezpieczne działanie i unikanie zagrożeń wynikających ze zbyt niskiej wydajności prądów gaśniczych, opisywanych w niniejszym opracowaniu;
- energia kinetyczna towarzysząca rozbiciu słupa wody na kropelki gwarantuje produkcję większej ilości drobnych **kropelek** o rozmiarach powodujących lepsze (skuteczniejsze) chłodzenie przy jednoczesnym zachowaniu zdolności prądu gaśniczego do penetracji warstwy zadymienia i uzyskania odpowiedniego „czasu zawiśnięcia” mgły wodnej w dymie.

³⁴<https://www.youtube.com/watch?v=ZdtYdBPu1a0> – 7 bar czyli „to jest moja prądownica”.

Praktycznym sposobem sprawdzenia zdolności prądu gaśniczego do skutecznego chłodzenia gazów pożarowych jest podanie wody na otwartej przestrzeni i obserwowanie wytworzonych kropli. Część z nich będzie bardzo duża i niemal natychmiast opadnie na podłoże, czemu będzie towarzyszył efekt dźwiękowy, ułatwiający obserwację. Część z wytworzonych kropli przemieści się na pewną odległość, zależną od ustawionego kąta rozproszenia (oraz ciśnienia roboczego, niemniej zakładamy tu pracę przy stałym i poprawnym ciśnieniu). Krople, które „zawisną” w powietrzu na **około 3-4 sekundy**, będą miały czas, aby w całości odparować w gazach pożarowych. Wykonanie tego typu testu kilkakrotnie na otwartej przestrzeni pozwoli na nabranie świadomości odnośnie efektów naszych działań w zadymieniu, gdzie nie mamy na ogół szansy na wizualne śledzenie skutków naszych czynności z uwagi na ograniczoną widoczność. Tego typu ćwiczenia stanowią podstawę nauki i doskonalenia podawania prądów gaśniczych.

Ważne jest też, aby zaznaczyć, że nawet największe wysiłki operatora nie będą w stanie zapobiec wystąpieniu zbyt niskiego ciśnienia na prądownicy, jeśli linie węzowe będą poprowadzone nieumiejętnie, niedbale lub nieprawidłowo. Unikanie załamania i ostrych zagięć to podstawowa kwestia – **każdy strażak widząc załamanie na linii gaśniczej powinien je prostować!**

Zgodnie z informacjami zawartymi w **ROZDZIALE 2.8.** zmiany temperatury gazów powodują analogiczne zmiany w ich objętości. Ogrzanie wody i zamiana w parę powoduje wzrost objętości pary. Schłodzenie gazów pożarowych powoduje zmniejszenie ich objętości. Jest dosyć powszechną informacją, że z 1 litra wody w stanie skupienia ciekłym powstanie 1700 litrów pary wodnej, czyli H₂O w stanie skupienia gazowym. Jednak tak podana wiedza **pozbawiona jest kluczowej informacji!** Otóż, zależność ta będzie prawidłowa dla pary wodnej o temperaturze 100°C. Zgodnie z **równaniem stanu gazu doskonałego (równaniem Clapeyrona)** wzrost temperatury pary wodnej będzie powodował wzrost jej objętości (zobacz tabela 19).

Tab. 19: Objętość pary wodnej wytworzonej z 1 litra wody w zależności od końcowej temperatury pary. [97]

| Temperatura, T (°C) | Objętość, V (m ³) |
|---------------------|-------------------------------|
| 100 | 1,70 |
| 200 | 2,16 |
| 300 | 2,61 |
| 400 | 3,07 |
| 500 | 3,52 |
| 600 | 3,98 |

Chłodzenie gazów pożarowych jest czynnością mającą na celu zapobieganie spalaniu się tych gazów. Z poprzednich rozdziałów wiemy, że dym będzie miał tendencję do samozapłonu, prowadzącego w konsekwencji do zjawiska rozgorzenia lub innych zjawisk, w temperaturze około 600°C. Wspomniano również, że średnia temperatura wody wynosi 18°C. Kiedy podamy wodę w postaci prądu rozproszonego w gazy pożarowe, to lokalnie – w miejscu oddziaływania kropelek – dojdzie do schłodzenia gazów pożarowych oraz ich skurczenia a także odparowania wody, ogrzania pary i wzrostu jej objętości. Co do temperatur, to w tej lokalnej objętości będą one dążyć do wyrównania, zgodnie z prawami natury. Zatem można przyjąć, że lokalnie temperatura mieszaniny dymu i pary **nie przekroczy wartości 300°C**. Dlatego z **1 litra wody podczas chłodzenia gazów pożarowych powstanie między 1700 a 2600 l pary, zależnie od warunków pożarowych**. Wielu strażaków, z którymi miałem okazję rozmawiać twierdziło, że używanie prądów rozproszonych w zadymieniu zawsze wiązało się z wytworzeniem pułapki wodnej. Zapytani o wydajność prądu, strażacy ci odpowiadali zazwyczaj, że nie zwrócili uwagi, lub używali najwyższej wydajności (400-500 L/min). Wytwarzali tym samym pułapkę wodną (opisaną dokładniej w **ROZDZIALE 4.5.**). Należy też powiedzieć, że przy większych wydajnościach występuje w prądzie rozproszonym zjawisko łączenia się małych kropli w większe, przez co zwiększa się ich masa i energia kinetyczna, nie są w stanie odparować w gazach i spowodować ich schłodzenia oraz skurczenia a następnie lądują na rozgrzanych powierzchniach, tam intensywnie odparowując.

Tab. 20: Ilość wody podawana przy pulsacyjnym strzale w zależności od ustawionej wydajności na prądownicy oraz czasu pomiędzy otwarciem i zamknięciem zaworu. Szarym kolorem zaznaczono wiersze będące krotnością 100 L/min, będące często spotykanymi ustawieniami prądownic. W innych modelach można spotkać wydajności nieujęte w tabeli (np. 130, 250, 475 L/min). Tabela pozwala ustalić przybliżony rząd wielkości dla tych ustawień.

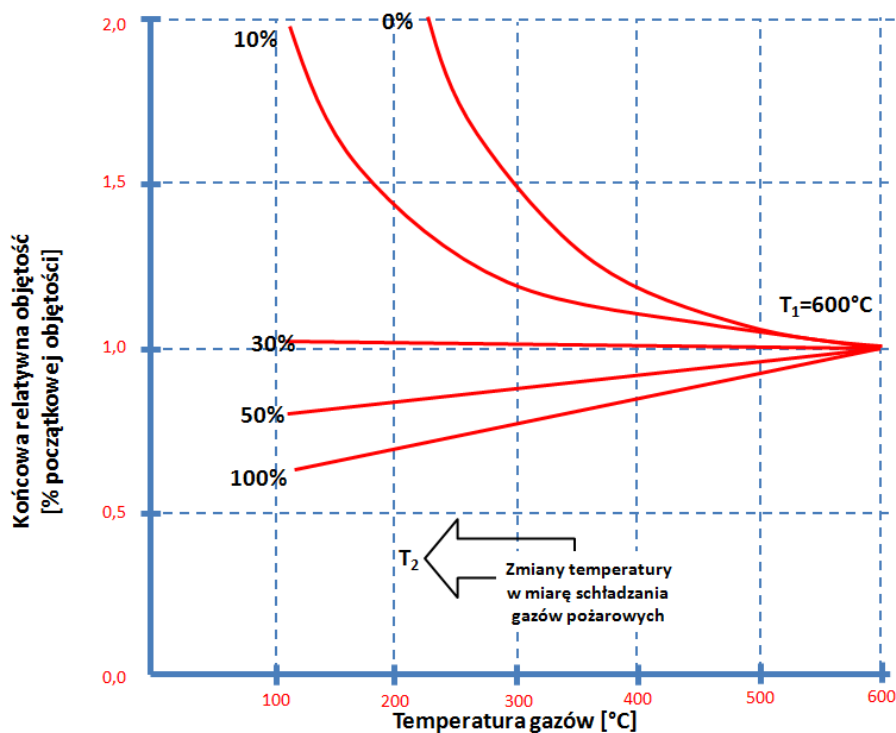
| Wydajność prądu [L/min] | Wydajność prądu [l/s] | Ilość wody podana w 0,5s [l] | Ilość wody podana w 1,5 s [l] | Ilość wody podana w 2 s [l] | Ilość wody podana w 2,5 s [l] | Ilość wody podana w 3 s [l] |
|-------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 100 | 1,67 | 0,83 | 2,50 | 3,33 | 4,17 | 5,00 |
| 120 | 2,00 | 1,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 |
| 140 | 2,33 | 1,17 | 3,50 | 4,67 | 5,83 | 7,00 |
| 160 | 2,67 | 1,33 | 4,00 | 5,33 | 6,67 | 8,00 |
| 180 | 3,00 | 1,50 | 4,50 | 6,00 | 7,50 | 9,00 |
| 200 | 3,33 | 1,67 | 5,00 | 6,67 | 8,33 | 10,00 |
| 220 | 3,67 | 1,83 | 5,50 | 7,33 | 9,17 | 11,00 |
| 240 | 4,00 | 2,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 | 12,00 |
| 260 | 4,33 | 2,17 | 6,50 | 8,67 | 10,83 | 13,00 |
| 280 | 4,67 | 2,33 | 7,00 | 9,33 | 11,67 | 14,00 |
| 300 | 5,00 | 2,50 | 7,50 | 10,00 | 12,50 | 15,00 |
| 320 | 5,33 | 2,67 | 8,00 | 10,67 | 13,33 | 16,00 |
| 340 | 5,67 | 2,83 | 8,50 | 11,33 | 14,17 | 17,00 |
| 360 | 6,00 | 3,00 | 9,00 | 12,00 | 15,00 | 18,00 |
| 380 | 6,33 | 3,17 | 9,50 | 12,67 | 15,83 | 19,00 |
| 400 | 6,67 | 3,33 | 10,00 | 13,33 | 16,67 | 20,00 |
| 420 | 7,00 | 3,50 | 10,50 | 14,00 | 17,50 | 21,00 |
| 440 | 7,33 | 3,67 | 11,00 | 14,67 | 18,33 | 22,00 |
| 460 | 7,67 | 3,83 | 11,50 | 15,33 | 19,17 | 23,00 |
| 480 | 8,00 | 4,00 | 12,00 | 16,00 | 20,00 | 24,00 |
| 500 | 8,33 | 4,17 | 12,50 | 16,67 | 20,83 | 25,00 |

Okazuje się jednak, że stopień skurczenia gazów pożarowych jest znacznie większy od stopnia rozprężania się pary wodnej, jeśli chłodzenie gazów pożarowych wykonane jest poprawnie. Ilość wody niezbędna do skutecznego schłodzenia gazów pożarowych jest niewielka, z uwagi na dużą ilość ciepła pochłanianą przez wodę zamieniającą się w parę. W rzeczywistości temperatura gazów pożarowych obniży się o większą wartość aniżeli wartość wzrostu temperatury wody zamienionej w parę, ponieważ ogrzane gazy pożarowe z powietrzem mają relatywnie niską wartość ciepła właściwego (szczególnie w stosunku do wody). **Ciepło właściwe**³⁵ wody (patrz **ROZDZIAŁ 2.1.3.**) wynosi około 4,2 [kJ/kg·K] podczas gdy dla pary wodnej ta wartość to 2,0 [kJ/kg·K] a dla dymu około 1 [kJ/kg·K]. Około 4 razy więcej energii cieplnej potrzeba, aby zmienić temperaturę wody w porównaniu do dymu. Pamiętając o ogromnej ilości ciepła pochłoniętego na zmianę stanu skupienia, możemy wywnioskować, dlaczego w momencie odparowania wody w gazach pożarowych dochodzi do tak gwałtownego skurczenia tych gazów, znacznie przewyższającego efekt rozprężenia pary wodnej.

Zatem wzrost temperatury wody (pary) nie jest proporcjonalny do spadku temperatury gazów: gazy chodzą się bardziej, niż ogrzewa się woda. Przekłada się to na znaczny spadek objętości końcowej mieszaniny gazowej w strefie podsufitowej. Jeśli jednak zbyt mało wody odparuje w gazach a zbyt dużo na powierzchniach, to efekt ekspansji pary przewyższy efekt skurczenia gazów pożarowych. Niemniej, do skutecznego schłodzenia gazów pożarowych wymagana jest relatywnie niewielka ilość wody. Mając

³⁵ Przypomnijmy, że jest to ilość energii cieplnej [J], jaką pochłonie jednostka masy danego ciała [kg], aby podnieść swą temperaturę o 1 stopień [K] i wyrażana jest w jednostkach: [J/kg·K].

na uwadze powyższe informacje oraz techniki podawania wody opisane w kolejnych rozdziałach, wynikiem takich działań powinno być uniesienie się płaszczyzny neutralnej i uniknięcie **pułapki wodnej**. Na **rysunku 72** widać zależność końcowej łącznej objętości gazów (pary wodnej i gazów pożarowych) w zależności od tego jaki procent wody odparuje w gazach a jaki na powierzchniach.



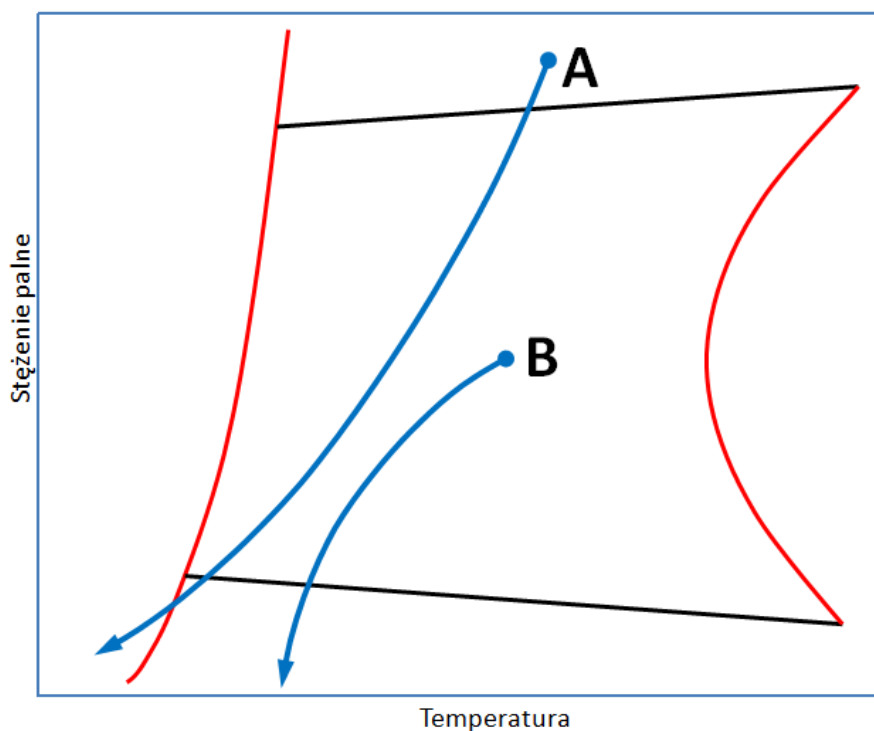
Rys. 72: Końcowa względna objętość gazu po odparowaniu wody w gazach pożarowych oraz na powierzchniach. Wartości procentowe wyrażają ilość wody odparowującą w gazach. Widać, że co najmniej około jedna trzecia wody musi odparować w gazach pożarowych, aby efekt skurczenia się gazów pożarowych nie został przewyższony przez efekt odparowania wody i rozprężenia się pary. [88, 98]

Zgodnie z przedstawionymi informacjami bardzo staranne schłodzenie gazów pożarowych spowoduje powstanie podciśnienia w pomieszczeniu. Jeśli jest to pomieszczenie otwarte (chłodzenie gazów wykonane prądownicą przez linię wprowadzoną przez rotę gaśniczą) to spowoduje to zaciągnięcie powietrza z zewnątrz do środka (mechanizm analogiczny do opisanego w **ROZDZIALE 2.13.4.** w części dotyczącej **uderzenia aerodynamicznego**, jednak mniej dynamiczny). Kiedy pomieszczenie jest szczelne a wysoce skuteczne chłodzenie gazów następuje z zewnątrz bez odpowietrzania poprzez użycie np. lancy gaśniczej, wówczas może dojść do podciśnienia zdolnego nawet wciągnąć do środka drzwi³⁶ lub okno³⁷. Mając to na uwadze należy uwzględnić taką ewentualność w zamiarze taktycznym kierującego akcją.

Schładzanie gazów pożarowych można wykonać na wiele sposobów. Podanie wody z zewnątrz, rozbicie prąd zwartego o sufit, wstrzelenie chmury proszku gaśniczego czy zamknięcie drzwi i zatrzymanie produkcji ciepła – wszystkie te czynności spowodują spadek temperatury gazów pożarowych. Jednakże w tym rozdziale mówimy o **technikach operowania prądami gaśniczymi** poprzez podawanie mgły wodnej w celu jej odparowania w gazach w jak największym stopniu, a w jak najmniejszym na powierzchniach. To był oryginalny zamysł szwedzkich pionierów tej techniki. Początkowo nazwano ją „ofensywnym natarciem” (ze szwedzkiego: „*offensiv släckning*”, z angielskiego: „*offensive extinguishment*”). Jednakże wkrótce twórcy zdali sobie sprawę, że tego typu działanie można wykonywać zarówno w natarciu, jak i w obronie. Przyjęto więc nazwę **chłodzenie gazów pożarowych** (ze szwedzkiego: „*brandgaskylning*”, z angielskiego: „*firegas cooling*” a potem w formie uproszczonej „*gascooling*”).

³⁶<https://youtu.be/ztrmC8o2UHu?t=7m52s> – Lanca gaśnicza Mist-er Kiler – skuteczność chłodzenia mgły wodnej.

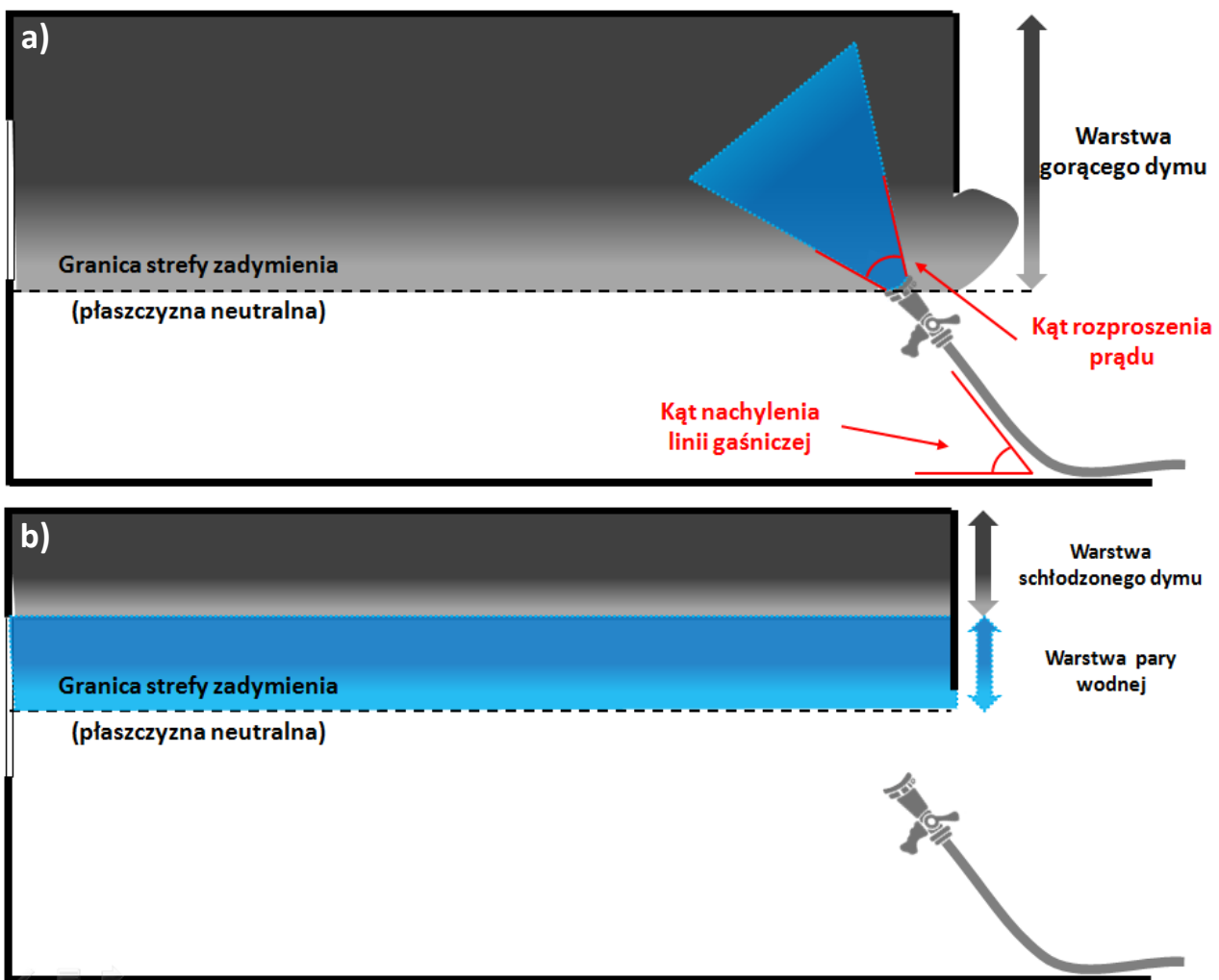
³⁷<https://youtu.be/UlswluNE-2A> – Schłodzenie gazów i wciągnięcie szyby.



Rys. 73: Zjawiska zachodzące w gazach pożarowych podczas **chłodzenia gazów pożarowych**. Z jednej strony dochodzi do obniżenia temperatury gazów poniżej ich temperatury (krzywa A, początkowo gazy w stanie niepalnym z uwagi na stężenie powyżej GGW, ryzyko zapalenia przy dostępie powietrza). Z drugiej strony dochodzi do obniżenia stężenia palnego poprzez dodanie gazu obojętnego w postaci pary wodnej oraz mgły wodnej (krzywa B, początkowo gazy w stanie palnym z powodu stężenia w zakresie palności dla danego zakresu temperatur). W różnych sytuacjach pożarowych przebieg takiej krzywej może być różny: zaczynać się i kończyć w różnych miejscach tego wykresu. Chłodzenie gazów pożarowych jest skuteczne, jeśli krzywa kończy się poza obszarem palności, wyznaczonym czarnymi liniami i czerwonymi krzywymi. Porównaj z **rysunkami 11 i 17** [37, 99]

Zgodnie z oryginalnym zamysłem twórców metody i technik, niniejsze opracowanie będzie nazywało chłodzeniem gazów pożarowych (lub w skrócie chłodzeniem gazów) obniżanie temperatury gazów poprzez używanie mgły wodnej z prądownicy uniwersalnej celu zabezpieczenia och przed spalaniem poprzez schłodzenie oraz rozrzedzenie (inertyzację), co przedstawiono na **rysunku 73**. Dla utrzymania konsekwencji w nazewnictwie, inne sposoby obniżania temperatury gazów pożarowych, w tym podane na początku poprzedniego akapitu, nazywane będą schładzaniem gazów pożarowych, aby odróżnić je od technik, sposobu i celu operowania prądem gaśniczym, które są przedmiotem niniejszego rozdziału. Chłodzenie gazów pożarowych wykonuje się najczęściej w celu zabezpieczenia trasy przemieszczania się przez zadymione pomieszczenia podczas natarcia na pożar, zanim rota dotrze do miejsca, z którego może przeprowadzić skuteczne natarcie na ognisko pożaru, wykorzystując walory posiadanego sprzętu (np. zasięg prądu zwartego i wyższą wydajność w miarę potrzeby).

Na kolejnym rysunku (**rys. 74 a-b**) widać uproszczone objaśnienie mechanizmu opisanego powyżej. Część A pokazuje pomieszczenie wypełnione dymem do pewnego poziomu. W dym podawany jest prąd rozproszony (mgła wodna). Część B pokazuje schematycznie uproszony efekt prawidłowego podania wody w gazy pożarowe. Rezultatem jest znaczne skurczenie się objętości gazów pożarowych i odparowanie wody, która podczas zamiany w parę wodną znacznie zwiększa swoją objętość (rozpręża się). Nawet pomimo tego znacznego przyrostu, efekt końcowy objętości gazów pożarowych wraz z parą wodną jest korzystny (objętość jest mniejsza a płaszczyzna neutralna się podnosi), bowiem technikę wykonano poprawnie: woda odparowała w znacznej części w gazach i w niewielkiej na powierzchniach.



Rys. 74 a-b: Uproszczone, schematyczne objaśnienie prawidłowo wykonanego **chłodzenia gazów pożarowych**. W części A widzimy moment podania wody w gorące gazy pożarowe i płaszczyznę neutralną na wysokości górnej krawędzi drzwi. Prawidłowe wykonanie techniki powoduje bardzo znaczące skurczenie się gazów pożarowych, powodujące uniesienie się płaszczyzny neutralnej, nawet pomimo znacznego wzrostu objętości pary wodnej w wyniku odparowania wody, co widać w części B. [100]

Chłodzenie gazów pożarowych, jako każda technika, ma też swoje ograniczenia. Będzie bardzo skutecznie głównie w małych pomieszczeniach. Literatura podaje, że granicą skuteczności techniki dla standardowej wysokości pomieszczeń (do 4 m) jest powierzchnia do **około 70m²**. [60] Należy pamiętać też o tym, że gazy pożarowe przepływające w wyniku konwekcji, poruszają się ze średnią prędkością około **1 m/s**. Mając na uwadze głębokość zasięgu naszych pulsów mgły wodnej musimy pamiętać, aby chłodzenie było **stałym procesem a nie odosobnionym punktem w algorytmie postępowania**. Regularne ćwiczenia pod okiem wykwalifikowanego instruktora pozwolą strażakom na nabranie świadomości odnośnie skutecznego chłodzenia gazów pożarowych. Należy jeszcze raz przypomnieć, że **chłodzenie gazów nie jest gaszeniem!** Jak również nie jest celem samo w sobie. Jest drogą do celu, którym jest zaatakowanie ogniska pożaru. Ugaszenie pożaru jest najskuteczniejszą formą schładzania gazów pożarowych. Ponadto, gazy pożarowe należy chłodzić również wtedy, kiedy sytuacja pożarowa zmusza przodownika rotę do podjęcia **decyzji o odwróceniu**.

Podana tu granica skuteczności techniki dotyczy głównie **krótkiego pulsu** (patrz **ROZDZIAŁ 4.4.1.1.**). Wynika ona z tego, że w większych kubaturach, z uwagi na bliski zasięg mgły istnieje możliwość wędrowki gazów pożarowych w stronę strażaków oraz w stronę wejścia wokół obłoku wystrzelonej z prądownicy mgły. Stwarza to zagrożenie w postaci obecności palnych, gorących gazów za plecami strażaka. Technika **długiego pulsu** (patrz **ROZDZIAŁ 4.4.1.2.**) może pozwalać na skuteczniejsze działania w nieco większych pomieszczeniach, niemniej brak jednoznacznych danych potwierdzających tę hipotezę. Z punktu widzenia dostępnej wiedzy wydaje się ona być zasadna, niemniej wymaga zbadania i zalecana jest ostrożność przy stosowaniu wspomnianej techniki w opisywanych sytuacjach. Jednym ze sposobów zwiększenia skuteczności

i bezpieczeństwa podczas stosowania tej techniki, jest podawanie wody przez sztyk stanowisk (kilka prądów gaśniczych usytuowanych obok siebie). [67]

Chłodzenie gazów pożarowych jest to podawanie mgły wodnej w gorące gazy pożarowe tak, aby jak największa jej część odparowała w gazach, a jak najmniejsza na gorących powierzchniach. Takie działanie pozwala osiągnąć cel, jakim jest zabezpieczenie strażaków przed spalaniem się gazów pożarowych oraz przed ich oddziaływaniem termicznym na strażaka oraz na paliwa w drodze promieniowania i konwekcji. Owo zabezpieczenie uzyskuje się poprzez schłodzenie gazów w wyniku odparowania wody oraz poprzez rozrzedzenie (obniżenie stężenia gazów i tlenu) mieszaniny dymowo-powietrznej za pomocą mgły wodnej i pary wodnej. Chłodzenie gazów pożarowych wykonuje się za pomocą prądownic wodnych uniwersalnych, pracujących przy odpowiednich ciśnieniach (7 bar na puszczku prądownicy), podając wodę w określony sposób, opisany w dalszej części opracowania, zależny od sytuacji pożarowej i geometrii pomieszczeń.

Na koniec należy dodać, że w praktyce poprawnie wykonane chłodzenie gazów pożarowych powoduje skurczenie się objętości gazowej jedynie lokalnie. Nie oddziałuje na całą objętość gazową, bowiem miejsce podania mgły wodnej jest ograniczone jak również pożar jest zjawiskiem dynamicznym i zanim powstanie opisywany wcześniej efekt, nastąpi znacząca zmiana w wartościach gazowej wynikająca z produkcji w ognisku pożaru ciepła i przemieszczających się gazów pożarowych. Niemniej, opisana tu teoria ma zastosowanie i pomaga zrozumieć, dlaczego i w jaki sposób działać, aby działać skutecznie i bezpiecznie.

4.4. Techniki operowania prądami wodnymi

Wspomniano wcześniej, że skuteczne i świadome używanie wody wynika z gruntownego zrozumienia procesu spalania i rozwoju pożaru oraz z starannego wyćwiczenia technik operowania prądami gaśniczymi, opartego o znajomość używanej prądownicy. Na **rysunku 70** streszczono możliwe sposoby podawania wody do środowiska pożaru, które składają się na 3 mechanizmy gaśnicze. W tej części zostaną omówione poszczególne techniki stosowane w celu podawania wody na wspomniane sposoby i uzyskania omawianych efektów gaśniczych. Jednocześnie sugerowane są przedziały dotyczące wydajności, które w danej sytuacji pożarowej oraz przy danej technice przynoszą optymalne efekty. Przy każdej z opisywanych technik zostaną dodatkowo opisane okoliczności stosowania danej techniki. Niektóre są technikami gaśniczymi, inne służą do poprawy bezpieczeństwa. Ważne jest, aby strażak umiejętnie interpretował środowisko pożaru i dobierał właściwe narzędzie, jego ustawienie i technikę operowania. Dobrze opanowana technika operowania może kilkukrotnie zwiększyć skuteczność gaśniczą prądu wodnego (np. z 20% do 80%)! [97]

W niniejszej części omówione zostaną następujące techniki podawania wody:

- dla prądownicy **typu TURBO**:
 - krótki puls,
 - długi puls,
 - ołówkowanie,
 - malowanie,
 - omiatanie,
 - podawanie prądu zwartego z dużą wydajnością.
- dla prądownicy **prostej o niskim ciśnieniu i wysokiej wydajności**:
 - omiatanie,
 - uderzanie w sufit i podłogę (tzw. "bat" - z ang. "the whip")

Zacznijmy od omawiania **prądownicy uniwersalnej**, z której podawana będzie woda w znakomitej większości przypadków podczas pożarów wewnętrznych. Na koniec części poświęconej technikom operowania prądami zostanie również omówiona prądownica prosta.

Na poniższych zdjęciach widać szereg ustawień prądownicy oraz ich wpływ na wzajemne ustawienie elementów ruchomych. Pierścień regulacji wydajności wpływa na zwiększenie łącznego pola powierzchni wylotu wody (analogicznie do prądownic prostych z różnymi puszczkami), natomiast **pierścień regulujący kąt**

rozproszenia prądu nie wpływa na wydajność – nadaje kształt strumieniowi wody o danej wydajności, który już wydostał się z prądownicy. Niezależnie od tego, czy jest to prąd zwarty, rozproszony, czy tzw. „parasol” – będzie on posiadał ustawioną wydajność w L/min przy założeniu, że ciśnienie jest odpowiednie. Wynika to z praw hydromechaniki i zostało potwierdzone doświadczalnie. [28]

W wielu prądownicach typu TURBO występuje dodatkowo funkcja przepłukania – „flush”. Ustawienie prądownicy na tę funkcję powoduje maksymalne wysunięcie trzpienia i często umożliwia jego niewielkie ruchy na bok, zależnie od producenta oraz modelu. Funkcja ta pozwala na pozbycie się z wnętrza prądownicy zanieczyszczeń stałych (małych kamieni itp.) o wielkości do kilku milimetrów. Mimo faktu, że funkcja „flush” umożliwia stworzenie maksymalnego pola wylotu dla danej prądownicy, jej używanie do podawania prądów w celach gaśniczych jest niewskazane, bowiem prądy nie zachowują regularnych kształtów i pozbawione są walorów wymaganych dla prądu gaśniczego. [86]



Fot. 69 a-b: Po lewej: prądownica ustawiona na przepływ 115 L/min i prąd rozproszony. Po prawej: prądownica ustawiona na funkcję przepłukania („flush”) i prąd rozproszony. Przemieszczanie się trzpienia zmienia łączną powierzchnię wylotu dla podawanej wody (widoczną pod elementem z nacechowanym ciśnieniem roboczym prądownicy w barach oraz jednostkach PSI), co działa niezależnie od pierścienia regulującego kształt wydostającego się strumienia wody. [86]



Fot. 70 a-b: Po lewej: prądownica ustawiona na przepływ 115 L/min i prąd zwarty. Po prawej: prądownica ustawiona na funkcję przepłukania („flush”) i prąd zwarty. Przeszczanie się trzpienia zmienia łączną powierzchnię wylotu dla podawanej wody (widoczną pod elementem z nacechowanym ciśnieniem roboczym prądownicy w barach oraz jednostkach PSI), co działa niezależnie od pierścienia regulującego kształt wydostającego się strumienia wody. [86]

Na początek należy doprecyzować kwestie pracy z linią gaśniczą. Na elementy pracy z linią składają się: **pozycja** prądownika, **chwyt**, **technika** operowania, **współpraca** w rocie. Wszystkie te elementy są ze sobą wzajemnie powiązane i wynikają z celu, w jakim podawana jest woda oraz wymaganej techniki operowania prądem gaśniczym. Istnieje kilka możliwych pozycji pracy i zależnie od fizjonomii dany strażak może preferować którąś z nich bardziej od innej. Strażak przemieszczając się może przyjąć pozycję kucającą („kaczy chód”), klęczeć na dwóch kolanach, klęczeć na jednym kolanie lub przemieszczać się z jedną nogą wysuniętą do przodu w celu badania powierzchni z przodu i utrzymywania ciężaru z tyłu. Wybór konkretnej metody nie jest błędem, ani problemem, pod warunkiem, że strażak jest w stanie pracować skutecznie i bezpiecznie. Pewne pozycje są w sposób naturalny bardziej ergonomiczne od innych (klęczenie, klęczenie na jednym kolanie z wysuniętą do przodu nogą), jednak zdarzają się indywidualne cechy fizjonomiczne, które wpływają na komfort pracy. Przykładowo, spotykałem strażaków po operacjach kolana, którym dyskomfort sprawiało klęczenie, natomiast dobrze radzili sobie w „kaczym chodzie”. Przyjmując pozycję pracy – stojącą, pochyloną, klęczącą, kucającą itp. – strażak powinien w **miarę możliwości** utrzymywać głowę poniżej linii dymu. Pozwala to na zachowanie widoczności strefy przy podłodze (droga przemieszczania, osoby poszkodowane, przeszkody) i uniknięcie negatywnych skutków nagrzania hełmu i głowy. Szczegółowe objaśnienia zostały zawarte w podpisach do poniższych zdjęć.



Fot. 71: Prądownik powinien trzymać prądownicę wysoko i wysuniętą przed siebie, aby mógł operować w zasięgu wzroku elementami regulującymi prąd gaśniczy i zachować ergonomiczne warunki pracy. W chwycie prądownicy wyróżnimy rękę trzymającą (na zdjęciu ręka prawa) oraz rękę operującą (na zdjęciu ręka lewa). Zasada ergonomii mówi, że odcinek wężowy znajduje się po stronie ręki trzymającej – w przeciwnym razie chwyt jest mało stabilny, a siły reakcji działają w poprzek ciała, co powoduje większe zmęczenie i może prowadzić do nadwyrężenia. Na zdjęciu pokazano chwyt ręki trzymającej za rękojęć prądownicy – na kolejnych zdjęciach pokazane zostaną również inne chwyt. Chwyt za rękojęć ułatwia przemieszczanie się z linią gaśniczą do przodu (stanowi punkt zahaczenia ręki). [86]



Fot. 72 a-b: Wysunięcie prądownicy dalej przed siebie pozwala na łatwiejsze celowanie prądem w różne miejsca (na boki, do góry, za siebie), bowiem dużą część ruchu uzyskuje się przemieszczając samą końcówkę linii gaśniczej. W ten sposób unika się pracy całym ciałem i męczącego wychylania się na boki w celu skierowania prądu gaśniczego w pożądaną stronę. Dłoń ręki trzymającej znajduje się przed łącznikiem, w podchwycie, a dodatkowo odcinek jest dociskany do ciała łokciem. Ręka operująca w pełni wyprostowana jest w stanie sięgnąć do wszystkich elementów regulujących prąd gaśniczy. W przypadku konieczności przemieszczenia się można prądownicę chwycić ponownie za rękojęć, a po zajęciu pozycji wrócić do chwytu za linię gaśniczą. Taki chwyt pozwala uniknąć problemu „cofającej się linii” pokazanego na kolejnym zdjęciu (**fot. 73**). [86]



Fot. 73: Chwyt za rękojeść w połączeniu z siłami działającymi na linię gaśniczą (ciężar przemieszanej linii, siła reakcji spowodowana podawaniem prądu gaśniczego) może powodować cofanie się linii względem ciała strażaka i coraz bardziej kurczowe i niewygodne trzymanie linii. **Należy tego za wszelką cenę unikać!** Prądownik operujący za pomocą chwytu za rękojeść powinien co jakiś czas poprawiać linię wysuwając ją do przodu względem własnego ciała do pozycji pokazanej na **fot. 71 i 72**. Praca w powyższej pozycji jest bardzo nieergonomiczna a kierowanie prądu w wybranym kierunku wymaga pracy całego ciała. [86]



Fot. 74: Pozycja z nogą wysuniętą do przodu – pozwala na badanie przestrzeni przed strażakiem i uniknięcie dziur w podłodze, ostrych obiektów, lepsze przeszukanie. Cały ciężar ciała spoczywa na tylnej nodze. [86]



Fot. 75: Utrzymanie pewnej długości wyprostowanego i nawodnionego odcinka za strażakiem pomaga mu w utrzymaniu prądu gaśniczego, bowiem stanowi podparcie i opór dla sił działających w okolicach prądownicy i skierowanych w stronę autopompy. Będzie to ważne przy stacjonarnym podawaniu wody z dużą wydajnością. [86]

4.4.1. Pulsowanie (krótkie i długie pulsy prądem rozproszonym)

Opisane poniżej dwie techniki podawania prądów gaśniczych są technikami, które stosuje się głównie w celu **chłodzenia gazów pożarowych**. Mogą być wykorzystane również do tłumienia płomieni, niemniej trzeba z całą stanowczością zaznaczyć, że co do zasady, **chłodzenie gazów pożarowych ma na celu zapobieganie występowaniu płomienia w gazach pożarowych!!!** Jak wiemy z wcześniejszych rozdziałów (m.in. 2.13.) występowanie płomieni w warstwie gazów pożarowych może szybko doprowadzić do nagłego rozprzestrzenienia pożaru. Celem chłodzenia gazów pożarowych jest **zapobieganie takiej sytuacji!** Należy pamiętać, że zwiększanie wydajności i zmniejszanie kąta rozproszenia, powoduje istotne zmiany w charakterystyce prądu:

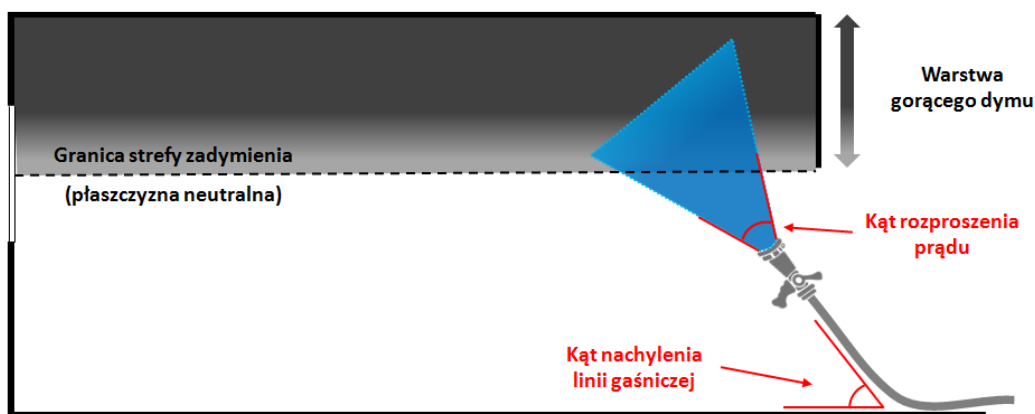
- przy krótkim pulsie, z uwagi na większy kąt rozproszenia oraz mniejszą wydajność, krople są mniejsze a ich zasięg bliższy oraz szerszy,
- przy długim pulsie, z uwagi na mniejszy kąt rozproszenia oraz większą wydajność, krople są większe a ich zasięg dalszy oraz węższy.

Warto jeszcze odnieść się do samych nazw techniki, pochodzących z języka angielskiego. Zupełnie jak w języku polskim słowa „krótki” („*short*”) oraz „długi” („*long*”) mogą oznaczać zarówno czas trwania, jak i odległość. Doprecyzujmy, że zasadniczo w nazwach tych technik chodzi o **odległość podawania wody**.

Opisywane wcześniej różnice widać na zdjęciach i rysunkach, które ilustrują opisywane techniki w kolejnych rozdziałach. Owa świadomość zmiennej charakterystyki prądów wodnych zależnie od ustawienia prądownicy w sposób zalecony do wykonania konkretnej techniki **uzyskiwana jest poprzez ćwiczenia na otwartej przestrzeni** i pomaga doskonalić technikę operowania, umożliwiając odparowanie jak największej części podawanej mgły wodnej w **gazach pożarowych**, co jest fundamentalnym elementem tych czynności, mających zapewnić strażakom bezpieczeństwo w skrajnie niekorzystnych warunkach natarcia na pożar wewnętrzny.

4.4.1.1. Krótki puls

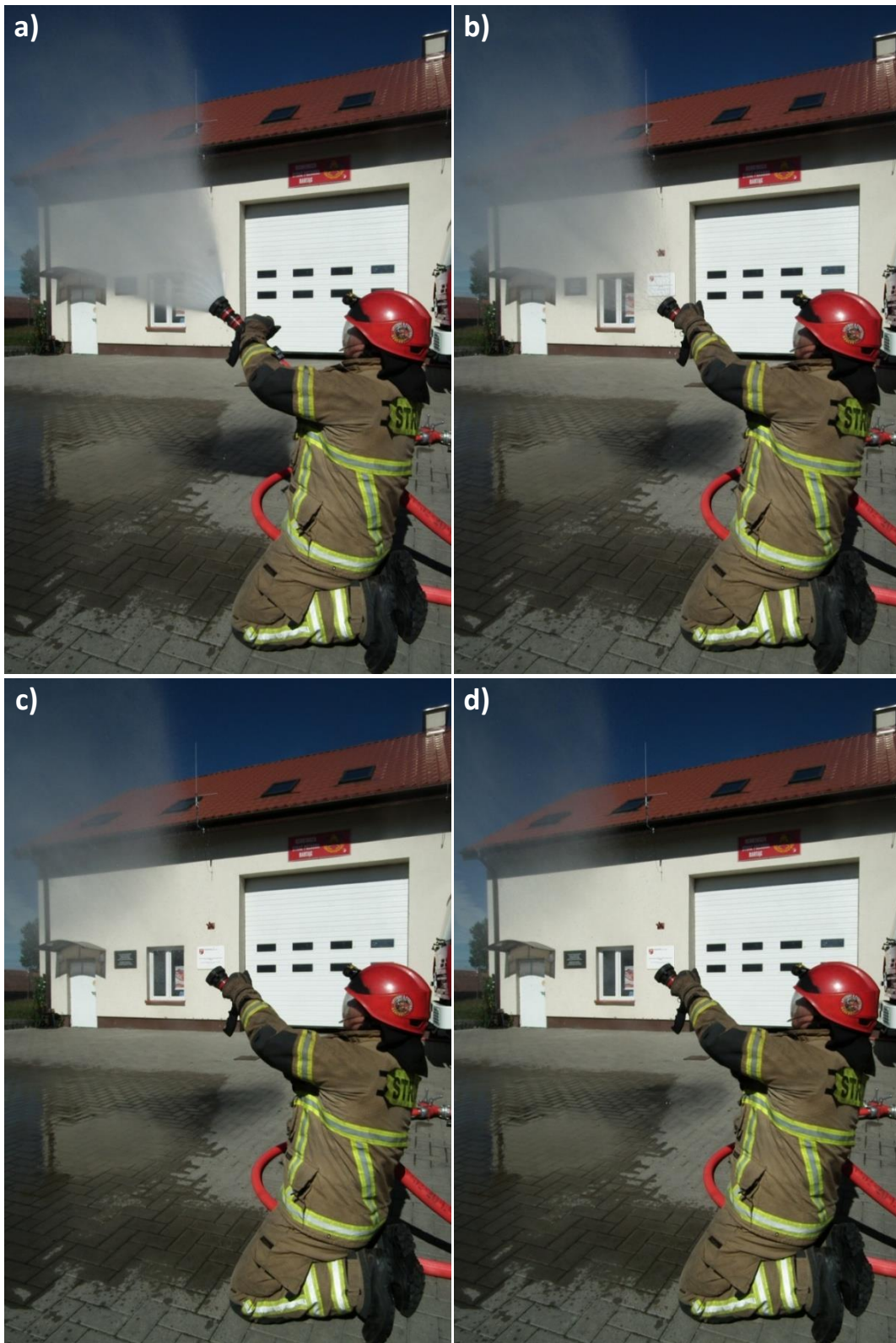
Stosując technikę **krótkiego pulsu**, prądownik ustawia prądownicę na niską wydajność– w granicach 100-150 L/min. Technika ta jest właściwa do stosowania w przestrzeniach o standardowej wysokości sufitu (zazwyczaj około 2,5 m, maksymalnie do około 4m) i stosunkowo niewielkich pomieszczeniach– typowych dla mieszkań, domów, biur czy innych podobnych miejsc (tzw. „mieszkaniówka”). Niewielka ilość wody podawana pulsacyjnie ma na celu schłodzenie gorących gazów pożarowych, wprowadzenie do nich mgły wodnej i odparowanie jej – co pozwala zapobiec spalaniu się gazów pożarowych. Należy pamiętać, że w celu osiągnięcia dobrych parametrów mgły wodnej, ciśnienie na prądownicy musi wynosić co najmniej tyle, ile wskazuje producent (zazwyczaj **6 lub 7 bar**, może być nieco więcej). Wówczas kropelki mgły mają odpowiedni, niewielki rozmiar, są w stanie zawisnąć w dymie przez co najmniej 3-4 sekundy i mają czas na efektywne odparowanie. Poprzez szybkie, impulsywne otwarcie i zamknięcie zaworu prądownicy, trwające około $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ sekundy, prądownik wystrzeliwuje niewielką ilość wody w przestrzeń przed sobą, po czym bezzwłocznie przemieszcza się naprzód i powtarza czynność. Liczbę strzałów (pulsów) pomiędzy przemieszczaniem się powinien dostosować do kubatury pomieszczenia, mając na uwadze konieczność podania wody w całą objętość dymu znajdującego się w jego pobliżu. Stosowanie małych ilości wody pozwala na uniknięcie powstawania tzw. pułapki wodnej, czyli wprowadzenia zbyt dużej ilości pary w warstwę podsufitową i zepchnięcie gorącego dymu w dół na strażaków. Strażak musi trzymać prądownicę na wysokości wzroku (dobrać odpowiedni kąt nachylenia linii gaśniczej), aby woda trafiała w całości w zadymienie. Dodatkowo kąt rozproszenia powinien zapewniać podawanie całej wody w zadymienie (dolna krawędź stożka prądu gaśniczego powyżej linii zadymienia, górna krawędź nie dalej niż pionowo nad prądowniką). Ze względu na cel stosowania, nie jest to technika gaśnicza, a **technika zabezpieczająca** strażaka podczas przemieszczania się do miejsca, w którym można podjąć działanie gaśnicze. Ważna zasada operowania prądem gaśniczym to unikanie podawania wody w to samo miejsce. Wielu strażaków ma nawyk wykonywania podwójnego pulsu w jedno miejsce („psik-psik”). **Jest to błąd**. Jeśli sytuacja faktycznie tego wymaga to można prądownicę otworzyć na sekundę. Podwójny strzał w to samo miejsce jest oznaką słabego opanowania pracy z prądownicą.



Rys. 75: Technika krótkiego pulsu prądem rozproszonym. Praca w pomieszczeniach mieszkalnych, biurach (tzw. „mieszkaniówka”). Prądownica trzymana wysoko (na wysokości wzroku), kąt rozproszenia ustawiony tak, aby cała woda trafiała w zadymienie (mniejszy niż kąt prosty). Krótkie podanie prądu o niskiej wydajności (np. 115 L/min) ma na celu zabezpieczenie bezpośredniego otoczenia prądownika i uniknięcie powstania nadmiaru pary (pułapki wodnej).

Na **rysunku 75** można zobaczyć ideę prawidłowego **chłodzenia gazów pożarowych** za pomocą techniki **krótkiego pulsu**. Widzimy, że zaznaczono na nim dwa istotne kąty: kąt nachylenia linii gaśniczej do podłoża (chodzi o ostatnią część linii przed prądownicą) oraz kąt rozproszenia prądu (na rysunku pokazany jak płaski przekrój przestrzennego, bryłowego kąta stożka strugi wodnej). O ile mówi się o pewnym punkcie wyjścia dla tych kątów (kąt nachylenia 45°, kąt rozproszenia 60°), o tyle należy pamiętać, że woda musi być podana przed nacierającą rotę, a nie nad nią; wypadkowa kątów musi być dostosowana do geometrii pomieszczenia i strefy

zadymienia i powodować podawanie wody w gazy pożarowe, ale nie na sufit i nie na ściany (należy tego unikać o ile się da); gazy pożarowe należy chodzić i bezzwłocznie przemieszczać się do przodu, bowiem prądy konwekcyjne będą powodowały napływanie gazów pożarowych ze strefy spalania, wypychając schłodzone i zubożnione gazy, szczególnie gdy strażacy nie kontrolują drzwi (patrz **ROZDZIAŁ 5.5.1.**).



Fot. 76 a-d: Przy pulsacyjnym podawaniu wody, ilość mgły wodnej wytworzonej z jednego strzału jest niewielka, co pozwala uniknąć powstawania nadmiaru pary. W miarę potrzeby prądownik zwiększa ilość aplikowanej mgły.

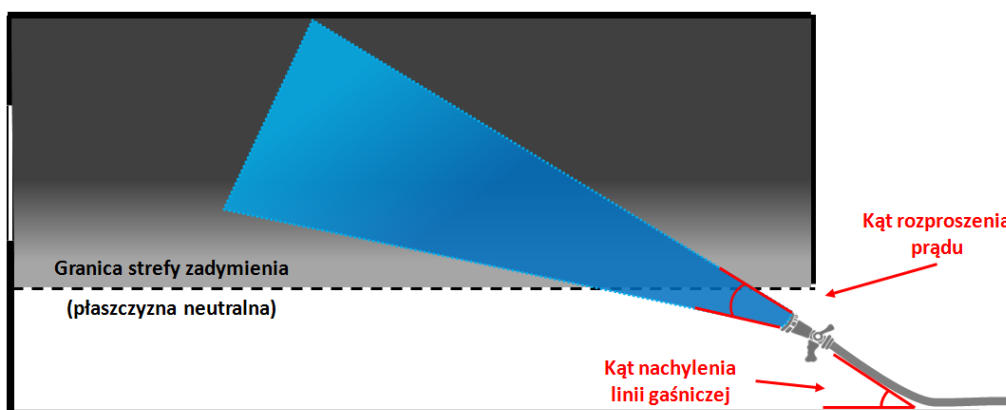


Fot. 77: Poprawne wykonanie **krótkiego pulsu**. Prądownica uniesiona jest wysoko – cała woda trafia w zadymienie. Kąt rozproszenia jest mniejszy od kąta prostego, a strzał wycelowany jest w przestrzeń bezpośrednio przed prądownikiem. Zdjęcie zrobiono podczas dłuższego otwarcia prądownicy w celu uchwycenia kątów, stąd nadmiar mgły w górnej części zdjęcia. Podczas podawania pulsacyjnego objętość wytworzonej mgły jest mniejsza (prawdopodobna objętość zaznaczona przerywaną niebieską linią). [86]

4.4.1.2. Długi puls

Technika **długiego pulsu** jest podobna do opisanej powyżej. Jej cel jest taki sam – **chłodzenie gazów pożarowych**, natomiast różnić się będą szczegóły wykonania. Przede wszystkim technika będzie właściwa dla większych pomieszczeń (wyższe sufity, większa powierzchnia podłogi) jak magazyny, hale produkcyjne, większe warsztaty itp. (umownie nazwane „**przemysłówką**”). Ponownie należy pamiętać, że w celu osiągnięcia dobrych parametrów mgły wodnej, ciśnienie na prądownicy musi wynosić co najmniej tyle, ile wskazuje producent (zazwyczaj 6 lub 7 bar, może być nieco więcej). Wydajność prądu gaśniczego stosowanego do tej techniki powinna zazwyczaj oscylować w granicach 200-250 L/min. Ze względu na większą kubaturę pomieszczenia i objętość zgromadzonego dymu, należy w strefę zadymienia podać większą ilość wody i wystać ją na większą odległość. Z uwagi na większą objętość, strefa zadymienia nie zareaguje tak dynamicznie, jak w przypadku „mieszkaniówki”, dlatego podanie długiego pulsu powinno być wydłużone i wiązać się z płynnym otwarciem oraz zamknięciem zaworu w celu uniknięcia zbędnych uderzeń hydraulicznych na linii. Można przyjąć, że prądownik powinien poświęcić 1 sekundę na otwarcie, 1 sekundę na aplikację wody i 1 sekundę na zamknięcie prądownicy. W czasie podawania wody nie należy przemieszczać prądu gaśniczego poziomo ani pionowo (omiatać prądem gaśniczym), aby unikać zbędnego mieszania warstwy zadymienia z warstwą wolną od zadymienia. Liczbę powtórzeń należy dobrać do kubatury pomieszczenia i objętości schładzanych gazów pożarowych. Kąt nachylenia prądu gaśniczego powinien być mniejszy niż przy krótkim pulsie, a prąd powinien być wycelowany mniej więcej w przekątną pomieszczenia (spojenie ściany i sufitu po przeciwległej stronie pomieszczenia – patrz **rysunek 76**). Kąt rozproszenia również powinien być mniejszy niż przy krótkim pulsie i wynosić około 30°. Dla ułatwienia można odpowiedzieć, że jego średnica w odległości około 3 m od prądownicy powinna wynosić około 1 m. Ze względu na cel stosowania, nie jest to technika gaśnicza a **technika zabezpieczająca** strażaka podczas przemieszczania się

do miejsca, w którym można podjąć działanie gaśnicze. Podczas zmiany wydajności w prądownicach typu TURBO dochodzi najczęściej do zmiany kąta rozproszenia. W niektórych modelach, wraz ze zwiększeniem wydajności do wykonania **długiego pulsu** prąd zawęża się (efekt pożądany), a w innych rozszerza (efekt niepożądany). Każdy strażak powinien dokładnie poznać na ćwiczeniach prądownice używane w jego jednostce, aby w warunkach bojowych uniknąć zbędnych trudności z regulacją, mogących prowadzić do sytuacji niebezpiecznych (nieskuteczne chłodzenie gazów pożarowych, wytwarzanie nadmiaru pary itp.). Podczas trudnych warunków pożarowych można rozważyć zwiększenie wydajności prądu, co może zwiększyć zasięg długiego pulsu, jednak z uwagi na powstawanie większych kropli negatywnie wpłynie na skuteczność odparowania podawanej wody.



Rys. 76: Technika długiego pulsu prądem rozproszonym. Praca w pomieszczeniach produkcyjnych, halach, magazynach (tzw. „przemysłówka”). Prądownica trzymana niżej (celuje w przekątną pomieszczenia), kąt rozproszenia ustawiony tak, aby cała woda trafiała w zadymienie. Długie podanie prądu o średniej wydajności (np. 230 L/min) ma na celu zabezpieczenie dużej kubatury naprzeciw prądownika a powstanie pułapki wodnej jest mniej prawdopodobne z uwagi na dużą kubaturę strefy zadymienia.



Fot. 78: Poprawne wykonanie **długiego pulsu**. Prądownica uniesiona jest wystarczająco wysoko – cała woda trafia w zadymienie. Kąt rozproszenia jest mniejszy od kąta dla krótkiego pulsu i wynosi około 30°, a strzał wycelowany jest w przekątną pomieszczenia po przeciwległej jego stronie. Prądownica jest wysunięta do przodu, co umożliwia swobodne celowanie prądem gaśniczym a jednocześnie pozwala na pełną regulację prądownicy.



Fot. 79: Poprawne wykonanie **długiego pulsu** z innej perspektywy, pokazujące wydłużony zasięg mgły wodnej. Widać, że cała woda skierowana jest i trafia w warstwę zadymienia – powyżej głowy prądownika. Dzięki odpowiedniemu kątowi rozproszenia uzyskiwany jest zasięg. Z drugiej strony unikanie zbyt małego kąta rozproszenia pozwala uniknąć łączenia się kropelek mgły w większe krople i zbyt szybkiego opadania w dolnej części prądu lub przelatywania przez dym i zatrzymywania się na ścianach czy suficie (bez efektywnego chłodzenia) w górnej części prądu.

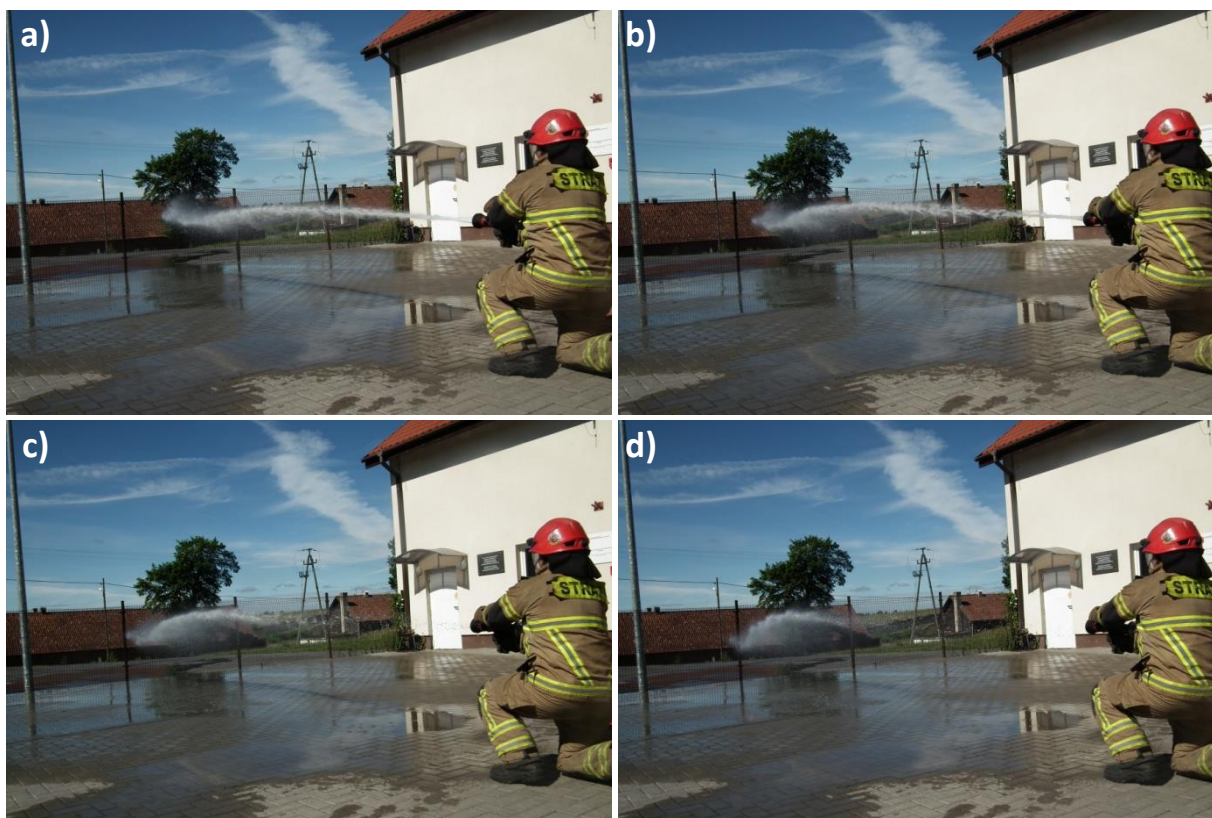


Fot. 80: Poprawne wykonanie **długiego pulsu** z innej perspektywy, pokazujące prąd gaśniczy na tle obiektu symulującego dużą halę np. magazynową – wydajność, zasięg i kierunek podawania są dobrze dobrane, a wykonanie tej techniki pozwala na sprawne wprowadzenie bardzo skutecznie chłodzącej mgły wodnej w znaczną część strefy zadymionej.

4.4.2. Ołówkowanie

Technika **ołówkowania** (ang. *penciling*) polega na krótkich strzałach prądem zwartym wycelowanych w konkretne miejsca i ma na celu zgaszenie zarzewi ognia lub schłodzenie rozgrzanych paliw poniżej temperatury, w której rozpoczyna się emisja gazów pożarowych (temperatury pirolizy, wynoszącej dla większości paliw około 200°C). [8] Technika ołówkowania pozwala na wykorzystanie zalety prądu zwartego,

jaką jest zasięg i umożliwia kontrolowane podawanie wody z dużą dokładnością oraz unikanie zalewania pomieszczeń i potęgowania dodatkowych strat wynikających z zalania. Zaleca się korzystanie z wydajności najniższej, analogicznie do techniki krótkiego pulsu, a zatem w granicach 100-150 L/min. Pozwala to na oszczędzanie wody, unikanie zalewania oraz zminimalizowanie uderzeń hydraulicznych, wpływających na zmęczenie prądownika oraz eksploatację autopompy. W miarę potrzeby można oczywiście zwiększyć wydajność. Omawiana technika, zależnie od okoliczności, pozwala na podawanie wody zarówno na powierzchnie pionowe jak i poziome paliw znajdujących się w środowisku pożarowym. Poniższe zdjęcia obrazują technikę ołówkowania. Z uwagi na fakt podawania wody bezpośrednio na palące się powierzchnie, technika ta zaliczana jest do technik **natarcia bezpośredniego**. **Ciekawostka:** technika ołówkowania nie była wśród technik opracowanych przez szwedzkich pionierów w latach 70. i 80. a została dodana do kanonu technik operowania prądami przez strażaków amerykańskich, którzy tą techniką (jednakże wykonywaną w nieco inny sposób) kompensowali braki możliwości stosowania innych technik wynikające z powszechnego stosowania prądownic prostych.

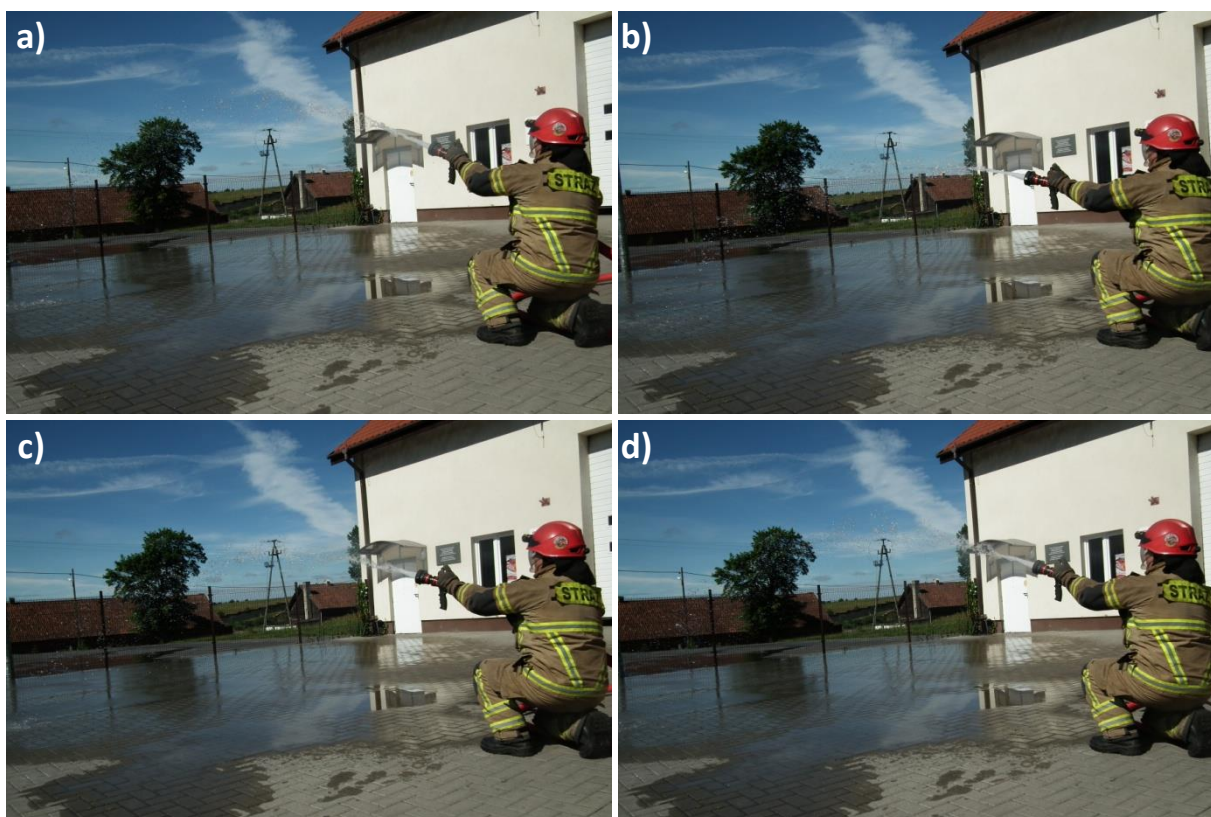


Fot. 81 a-d: Technika **ołówkowania**, czyli podawanie krótkich strzałów prądem zwartym w celu gaszenia zarzewi ognia i chłodzenia nagranych paliw do temperatury poniżej temperatury pirolizy. Z uwagi na możliwe uderzenia hydrauliczne zaleca się wykonywanie tej techniki na najniższych wydajnościach prądownic dedykowanych do pożarów wewnętrznych, czyli rzędu 100-150 L/min. [86]

4.4.3. Malowanie

Technika **malowania** polega na podawaniu prądu zwanego przy niepełnym otwarciu prądownicy, w celu gaszenia zarzewi ognia lub częściowo w celu chłodzenia nagranych powierzchni palnych i zabezpieczenia przed spalaniem, tudzież powstrzymania emisji gazów pożarowych. Stopień otwarcia zaworu prądownicy zależy od odległości, na jaką prądownik chce wystać wodę. Umiejętne i płynne operowanie stopniem otwarcia prądownicy pozwala na zwilżanie paliw zarówno blisko jak i w pewnej odległości od miejsca pracy strażaka. Technika umożliwia chłodzenie zarówno poziomych jak i pionowych powierzchni a woda w tej technice podawana jest łobem, czyli tor lotu ma kształt łuku (w porównaniu z ołówkowaniem, gdzie tor lotu przypomina bardziej linię prostą). Podobnie jak przy ołówkowaniu, zaleca się

rozpoczęcie od wydajności rzędu 100-150 L/min. Z uwagi na fakt podawania wody bezpośrednio na palące się powierzchnie, technika ta zaliczana jest do technik **natarcia bezpośredniego**.



Fot. 82 a-d: Technika **malowania**, czyli wysyłanie lobem niewielkich ilości wody przy niepełnym i płynnie zmienianym otwarciu prądownicy w celu chłodzenia nagrzaných powierzchni palnych. [86]

4.4.4. Omiotanie

Technika **omiotania** polega na podawaniu prądu rozproszonego (choć można też mówić o omiotaniu prądem zwartym, które jednak jest rzadziej stosowane) i jest techniką typowo gaśniczą. Ustawienia prądownicy odpowiadają ustawieniom przy technice **długiego pulsu** – około 200-250 L/min (w razie potrzeby możliwe zwiększenie do wyższych wydajności, np. 300-500L/min), kąt rozproszenia około 30°. Po otwarciu prądownicy strażak rozpoczyna ruch prądem gaśniczym, odwzorowujący dany kształt. Najczęściej jest to rysowanie okręgu (litera „O”), chociaż czasem spotyka się w literaturze i źródłach propozycje innych kształtów (np. technika ZOT czy też TOZ, proponująca wybór kształtu zależnie od powierzchni gaszonego pomieszczenia). [28] Ważne jest, aby aplikację wody rozpocząć od najwyższych warstw, gdzie temperatura jest najwyższa, a odparowanie najbardziej skuteczne. Następnie chłodzone są obszary w bocznej części pomieszczenia, kolejno dolna jego część i ponownie boczna, po czym następuje zamknięcie okręgu i powrót w górną strefę. Ważne jest, aby wykonywać pełny ruch prądu gaśniczego tak, aby woda trafiała we wszystkie obszary, a zatem koło musi być pełne, a woda powinna zraszać zarówno sufit, ściany (meble i inne wyposażenie) i podłogę (dywan lub inną palną powierzchnię). Szybkość ruchu i liczba powtórzeń (a zatem łączny czas podawania wody i jej zaaplikowana ilość) zależą będą od kubatury pomieszczenia i obserwowanego na bieżąco efektu działania prądu gaśniczego. Z uwagi na powstawanie dużej ilości pary wodnej wydostającej się z gaszonego pomieszczenia, technikę należy wykonywać nie wchodząc do pomieszczenia gaszonego, a raczej z pewnej niewielkiej odległości od jego progu, aby umożliwić zbliżenie pyszczka prądownicy i skuteczne podanie wody do wnętrza przy jednoczesnym zachowaniu bezpiecznej odległości. Z uwagi na fakt, że celem techniki nie jest podanie wody bezpośrednio na palące się powierzchnie, a raczej chłodzenie wnętrza i wypieranie tlenu, technika ta jest powszechnie zaliczana do technik **natarcia pośredniego**, a w niektórych podręcznikach stanowi główny przykład takiego natarcia. Przyczyną tego jest fakt, że w latach 50-tych, amerykański komendant straży pożarnych w marynarce

wojennej Lloyd Layman, opracował tę technikę w celu skutecznego zwalczania pożarów na okrętach, dając jej właśnie taką nazwę (natarcie pośrednie, ang. „*indirect attack*”). [101, 102]

W rzeczywistości, z uwagi na oddziaływanie zarówno na gazy pożarowe jak i na palące się lub pirolizujące powierzchnie, technika ta jest techniką **natarcia kombinacyjnego (łączonego)**.



Fot. 83 a-d: Technika omiatania. Pomimo możliwości zastosowania różnych wzorów ruchu podczas podawania wody, najprostszym sposobem jest wykonywanie ruchów w kształcie litery „O”.

4.4.5. Działanie prądem zwartym.

Działanie za pomocą **prądu zwartego o dużej wydajności**, najczęściej stosowane przy działaniach zewnętrznych, wymaga odpowiedniego przygotowania z uwagi na duże siły reakcji, jakie oddziałują na linię gaśniczą i prądownika w wyniku wyrzutu skupionej strugi wody z prądownicy. Stosunkowo łatwo operuje się prądem gaśniczym o dużej wydajności przy pozycji klęczącej, gdzie siadając okrakiem na odcinku lub przyciskając go do ziemi jedną nogą uzyskuje się stabilność. Wyzwaniem jest działanie w pozycji wyprostowanej, mogące powodować duże zmęczenie przy wydłużonym czasie działania. Podstawową koniecznością jest zapewnienie odpowiedniego ułożenia odcinka. Należy dążyć do tego, aby za strażakiem odcinek był wyprostowany na długości przynajmniej 3 m i aby nie posiadał wyraźnych załamań oraz łuków. Odcinek powinien leżeć prosto w linii podawania prądu gaśniczego, bowiem wszelkie łuki powodują przenoszenie sił i oddziałują na strażaka trzymającego linię gaśniczą.

Tego typu działania można prowadzić zarówno przy użyciu prądownic typu turbo jak i przy użyciu prądownic prostych o niskim ciśnieniu i wysokiej wydajności. Na początek omówmy **prądownicę typu Turbo**. W połączeniu z ciśnieniem panującym w linii gaśniczej (powinno ono wynosić 6-7 bar zależnie od modelu prądownicy w celu zapewnienia wydajności deklarowanych przez producenta sprzętu) odcinek uzyskuje sztywność, co pomaga w jego stabilizacji i przeciwdziałaniu siłom generowanym na prądownicy. Odpowiednie rozstawienie lekko ugiętych nóg zwiększa stabilność pozycji, a oparcie odcinka na biodrze i dociśnięcie ręką daje łatwość operowania, co pokazano na zdjęciach poniżej.



Fot. 84 a-d: Technika **podawania prądu zwartego o dużej wydajności**. Ułożenie odcinka oraz pozycja opisane w tekście powyżej umożliwiają swobodną pracę w wydłużonym czasie i minimalizację wysiłku fizycznego wkładanego w operowanie prądem gaśniczym.

Jak wcześniej wspomniano, **prądownice proste o niskim ciśnieniu i wysokiej wydajności** różnią się od dostępnych na naszym rynku prądownic prostych znacznie większą wydajnością przy wyraźnie niższym nominalnym ciśnieniu pracy. Owa charakterystyka pracy uzyskiwana jest poprzez większą powierzchnię (średnicę) pyszczka prądownicy. Obsługa prądownicy wymaga opanowania odmiennych technik pracy. Ze względu na niższe ciśnienie i duże siły reakcji prądownicy odcinek węzowy będzie podatny na załamywanie się tuż za łącznikiem. Aby tego uniknąć należy pamiętać o kilku miejscach podparcia odcinka jak również o posiadaniu pewnej odległości wyprostowanego odcinka za strażakami operującymi prądownicą, podobnie jak przy podawaniu wody z dużą wydajnością przy prądzie zwartym i prądownicy typu TURBO. Należy też pamiętać, że prądownica oferuje szereg wydajności, a co za tym idzie również całą gamę sił reakcji oddziaływujących na nią i na strażaków. Jedynie solidne przeciwiczenie operowania prądami gaśniczymi daje pewność skuteczności i ergonomii działań. Należy pamiętać, że występujące siły reakcji przekładają się na minimalną liczbę osób obsługujących taką linię gaśniczą bezpiecznie i skutecznie (1-3 osób). [86]

Jednym z przykładów działań stwarzających potrzebę użycia podobnej prądownicy może być przytoczony wcześniej pożar wieżowca Windsor Tower w Madrycie w roku 2005. Nacierający powyżej 20 piętra strażacy twierdzili, że ich prądy o wydajności około 500 L/min nie robiły większego wrażenia na tym dynamicznie rozwijającym się pożarze! Powodem tego było dodatkowe zwiększanie dynamiki pożaru przez silny wiatr panujący wokół górnych kondygnacji budynku. Istotną rolę odegrała też wysoka gęstość obciążenia ogniowego występujących w obiekcie paliw. [29]



Fot. 85: Prądownice typu smoothbore czasami produkowane są w tzw. systemie kaskadowym. Mają wtedy kilka nakręcanych na siebie puszczków o różnych średnicach. Na zdjęciu widać prądownicę z 3 puszczkami, pracującymi przy 2 ciśnieniach nominalnych, co daje łącznie 6 możliwych wydajności przy pełnym otwarciu zaworu kulowego i zapewnia szeroką gamę zastosowań. Tego typu korpus, posiadający uchwyty z dwóch stron, nosi nazwę „playpipe” i jest najczęściej używany przy pożarach przemysłowych.



Fot. 86: Inna prądownice typu smoothbore: odkręcana rączka (uchwyt pistoletowy) oraz wymienne puszki o różnych średnicach (od ½ cala do 1 cala) i charakterystykach wypływu, w tym puszki kaskadowe.

Podobnie jak przy pracy prądem zwartym prądownicą typu TURBO, w celu zapewnienia ergonomii i skuteczności, wymagane jest zastosowanie pewnych technik odwołujących się do mechaniki ciała, zdolnych zastąpić użycie zwykłej siły fizycznej. Balans ciężarem ciała oraz wykorzystanie ciężaru odcinka w połączeniu z ułożeniem linii i odpowiednimi chwytami znacznie ułatwia zarówno operowanie stacjonarne jak i przemieszczanie się z linią. Co więcej, również przemieszczanie się z otwartym prądem gaśniczym przy ciągłym podawaniu wody (tzw. agresywne natarcie) staje się wówczas o wiele łatwiejsze. Ten sposób działania jest popularny w wielu amerykańskich departamentach. W naszym kraju może być przydatny n. przy pożarach w wieżowcach lub obiektach przemysłowych. Należy jednak pamiętać, że **wysoka wydajność wymusza sprawną organizację zaopatrzenia wodnego.**



Fot. 87 a-b: Chwyt i pozycja pracy prądownicą o niskim ciśnieniu i wysokiej wydajności. Odcinek za strażakiem jest wyprostowany i leży w linii podawania prądu gaśniczego. Nogi strażaka są lekko ugięte, a ciężar spoczywa w większości na nodze ustawionej z tyłu (w tym przypadku prawej). Odcinek opiera się o podłoże, biodro strażaka (jest tu dodatkowo dociskany ręką) i jest trzymany drugą ręką – oto wspomniane w tekście kilka punktów podparcia, ważnych dla utrzymania linii i zapobiegania załamaniu się jej za łącznikiem przed prądownicą.



Fot. 88 a-d: W przypadku pracy w pozycji niskiej zastosowanie mają te same zasady jak w przypadku pozycji stojącej. Dodatkowym punktem podparcia może być kolano nogi wysuniętej do przodu (zdjęcia na górze: z lewej strony pozycja pracy, z prawej strzałkami zaznaczone punkty podparcia zapobiegające wyginaniu i łamaniu linii z powodu siły reakcji). Gdy trzeba celować wyżej i podnieść odcinek w górę, odrywając od punktu podparcia na kolanie wysuniętej nogi, istnieje tendencja do załamывania się odcinka, widoczna na zdjęciu po prawej na dole. Strażak musi o tym pamiętać i poprzez wielokrotne ćwiczenia umiejętnie zapobiegać załamывaniu się linii gaśniczej. [86]

W celu podawania wody stosuje się najczęściej technikę **omiatania prądem zwartym** tj. kreślenia prądem gaśniczym kształtu koła. Analogicznie jak przy technice omiatania prądem rozproszonym, woda trafia w strefę podsufitową, rozbijając się przy tym na względnie duże krople, następnie uderza w ścianę, w podłogę i ponownie w ścianę. Mechaniczne rozbijanie prądu zwartego o dużej wydajności powoduje powstawanie dużych kropeł – ich zdolność szybkiego odparowania jest znacznie mniejsza, jednak z uwagi na spore ilości wody, skuteczność gaśnicza jest zadowalająca. Problemem jest natomiast nadmiar stosowanej wody i zalewanie gaszonych pomieszczeń.



Fot. 89 a-d: Technika **omiatania prądem zwartym**. Przy dynamicznych ruchach powstają kropelki wody dodatkowo chłodzące gazy pożarowe, chociaż ich jakość (rozdrobnienie) jest znacznie gorsza, niż w przypadku prądu rozproszonego z prądownicy TURBO. W technice ważne jest szerokie omiatanie prądem gaśniczym, aby woda trafiała na wszystkie 4 powierzchnie przed nacierającą rotą (sufit, 2 ściany i podłogę).

Inną popularną techniką działania jest technika polegająca na **uderzeniu prądem gaśniczym naprzemiennie w sufit i podłogę**, zwana po angielsku „the whip” czyli „bat”. Ruch prądownicy i prąd wodny przypominają smaganie batem. Uderzenie w sufit powoduje rozbicie kropli i zraszanie przestrzeni przed rotą nacierającą (choć należy ponownie przypomnieć, że jakość, czyli rozdrobnienie kropli jest gorsza niż w przypadku prądownic typu TURBO). Uderzenie w podłogę pozwala zmieść sprzed przemieszczającej się rotę wszelkie kawałki gruzu, niewielkie elementy wyposażenia, itp. tym samym ułatwiając przemieszczanie się.

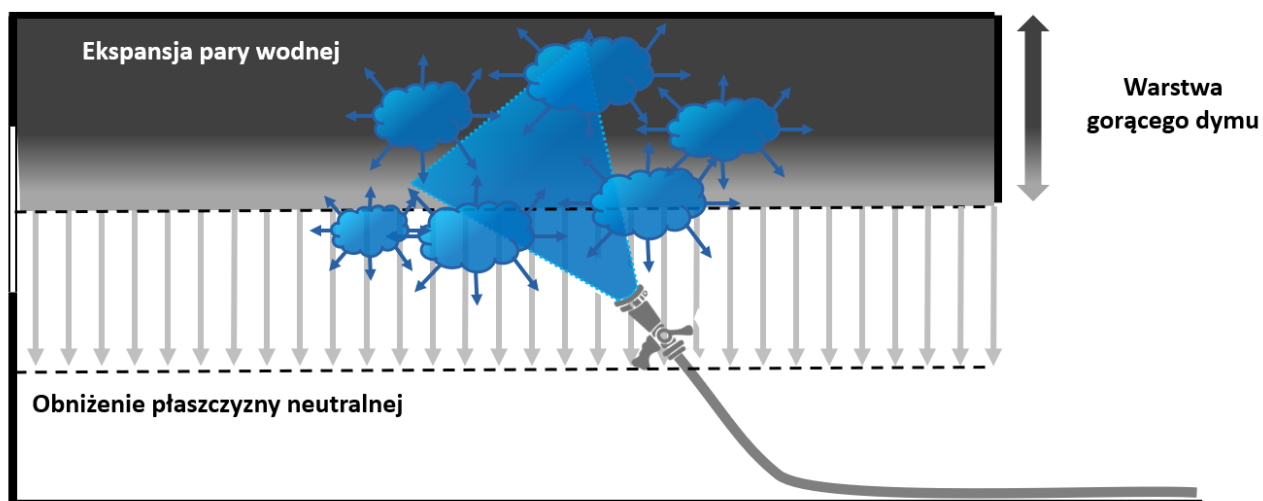


Fot. 90 a-d: Technika **uderzania batem**. Poprzez operowanie prądem zwartym w górę i w dół uzyskujemy efekt uderzeń w sufit i podłogę, przez co gasimy górne partie pomieszczeń, rozbijamy wodę na krople mające pewną zdolność chłodzenia gazów pożarowych jak również zmiatamy sprzed nacierającej rotę przeszkadzającą w przemieszczaniu się obiekty.

4.5. Pułapki wodne (inwersja warstw pożarowych i odparowanie nadmiaru wody w kontakcie ze strefą spalania).

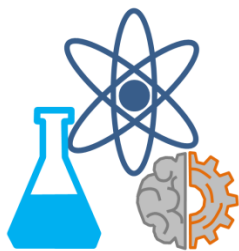
Mając na uwadze dotychczasowe informacje oraz techniki i sposoby działania możemy przeanalizować dwie sytuacje, w których wytwarzamy nadmiar pary podczas działań gaśniczych. Sytuacje, w których nadmiar pary obniża komfort pracy strażaków lub powoduje poparzenia ekspozowanych części ciała (twarz i szyja pod kominiarką, nadgarstki przy niedokładnie założonych rękawicach itd.), nazywamy **pułapkami wodnymi**. Analizując praktyczną stronę zwalczania pożarów wewnętrznych możemy wyróżnić dwa rodzaje takich pułapek. [86]

Pierwsza z nich dotyczy techniki chłodzenia gazów pożarowych. W trakcie wędrówki do miejsca, z którego widać ognisko pożaru i z którego można podawać środki gaśnicze strażacy stosować będą technikę pulsowania, podając mgłą wodną w warstwę zadymienia. Powoduje to schłodzenie pewnej objętości gazów pożarowych w ich otoczeniu i wprowadzenie niewielkiej ilości czynnika obojętnego (niepalnej pary i mgły wodnej), co zapobiega spalaniu gazów pożarowych. Zależnie od temperatury gazów pożarowych powstająca para może mieć różną objętość. Wiemy też z przytoczonego wcześniej prawa gazowego (zobacz **ROZDZIAŁ 2.8.**), że obniżając temperaturę gazu powodujemy zmniejszenie jego objętości. Mamy zatem do czynienia z dwoma zjawiskami – wprowadzeniem pary wodnej zwiększającej objętość warstwy podsufitowej i schłodzeniem gazów pożarowych zmniejszającym objętość tej warstwy. Jeśli zsumowany efekt jest ujemny – warstwa zadymienia (płaszczyzna neutralna) podniesie się. Jeśli jest dodatni – warstwa obniży się. Ten drugi przypadek nazywamy **inwersją warstw**, czyli **pułapką wodną**. Inwersja oznacza „odwrócenie” lub „zamiannę”. Zatem wprowadzenie zbyt dużej ilości wody, zamieniającej się w parę, może spowodować obniżenie warstwy podsufitowej, co w uproszczeniu można opisać jako zmianę miejsca występowania (przepchnięcie) warstwy gorących gazów ze strefy podsufitowej do strefy przebywania strażaków (przypodłogowej). Lub mówiąc inaczej takie działanie spowoduje niekorzystne przemieszczanie się mas rozgrzanych gazów pożarowych, najczęściej zaburzając poziomy podział strefy zadymienia i strefy wolnej od zadymienia (tzw. stratyfikację termiczną). Zostało to przedstawione w uproszczeniu na **rysunku 77**.



Rys. 77: Mechanizm powstawania pułapki wodnej (tzw. inwersja warstw pożarowych)

Negatywnymi konsekwencjami takiego scenariusza są: utrata widoczności, przebywanie w obszarze oddziaływania wysokiej temperatury, przenikanie przegrzanej pary przez nieszczelności obrania i osadzenie się na wizjerze maski i hełmu. Poniższa **tabela 21** pokazuje, jak dwie wybrane wydajności prądów rozproszonych: 100 L/min oraz 500 L/min oddziałują na warstwę podsufitową, zależnie od panującej temperatury. Do obliczeń przyjęto około 1-sekundowe podanie wody oraz współczynnik jej efektywnego wykorzystania na poziomie 74% (założono, że tyle wody trafia do warstwy zadymienia i odparowuje). Widać z niej, że użycie niskiej wydajności do chłodzenia gazów pożarowych zazwyczaj przyniesie pozytywny efekt w postaci obniżenia całkowitej objętości gazów i pary, podczas gdy podawanie wody w celu chłodzenia gazów pożarowych z dużą wydajnością spowoduje niemal zawsze inwersję warstw.



UWAGA! NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Zamianie wody w parę towarzyszy **ekspansja termalna**. Wykorzystując równanie gazu doskonałego możemy obliczyć objętość pary powstającej z 1l wody, zależnie od jej temperatury:

$$pV = nRT$$

W powyższym równaniu p jest ciśnieniem w paskalach (Pa), V – objętością w m^3 , n – liczbą molową cząsteczek gazu, R – uniwersalną stałą gazową (8,314 J/kg K), a T – temperaturą w kelwinach (K). Po przekształceniu równania dla wyliczenia V otrzymujemy następującą postać:

$$V = \frac{nRT}{p} [m^3]$$

Masa molowa wody wynosi 18 g/mol. Stąd w 1 kg (litrze) wody znajduje się 55,55 moli. Ostateczną objętość pary wodnej określi zatem jej końcowa temperatura (patrz **tabela 19**). Wyjaśnijmy mechanizm powstawania pary i związane z tym ryzyko. W tym celu musimy przyjąć **szereg założeń i uproszczeń**, które opisane zostały poniżej:

- Rozproszony prąd gaśniczy podany w sposób pokazany na **rysunku 73** do średniej wielkości pomieszczenia (ok. 50 m^3) zawierał będzie około 16 m^3 kropelek wody.
- Trwający 1 sekundę strzał z takiego prądu, przy wydajności 100 L/min, spowoduje zamianę około 1,6 litra wystrzelonej wody na kropelki podawane w strumieniu prądu gaśniczego.
- Załóżmy, że jedna “jednostka” rozgrzanego powietrza (gazów) o temperaturze 538°C waży 0,44 kg i zajmuje objętość 1 m^3 . Ta jednostka powietrza zdolna jest do odparowania 0,1 kg (0,1 l) wody, która w postaci pary (wytworzonej w założonej temperaturze w pomieszczeniu na granicy rozgorzenia) zajmować będzie objętość 0,37 m^3 .
- Podawany prąd rozproszony – według wcześniejszych założeń – zajmował będzie 16 takich jednostek powietrza o podanej temperaturze.
- Oznacza to, że w objętości zajmowanej przez kropelki prądu gaśniczego istnieje możliwość odparowania 1,6 kg (16 x 0,1 kg) czy też 1,6 litra wody, czyli dokładnie tyle, ile znajduje się w podanym przez 1 sekundę strzale prądem rozproszonym.
- Zakładamy, że ta ilość wody odparowuje w gazach pożarowych zanim dotrze do ścian i sufitu, maksymalizując tym samym efekt chłodzenia w strefie podsufitowej. Odwołując się do obliczeń według prawa gazowego, chłodzone gazy będą zmniejszać swoją objętość. Jeśli każda jednostka powietrza w strefie oddziaływania prądu rozproszonego zostanie schłodzona do temperatury około 100°C to jej objętość spadnie do 0,46 m^3 . Z 16 m^3 w całej strefie oddziaływania objętość gazów spadnie do 7,36 m^3 . Do tego należy dodać 5,92 m^3 pary wodnej wytworzonej w temperaturze 538°C.
- Zatem jeden tylko strzał prądem rozproszonym wykonany w sposób opisany powyżej spowoduje zmniejszenie ogólnej objętości gazów z 50 m^3 do 47,28 m^3 . 34 m^3 nie podlegają bowiem żadnemu oddziaływaniu, natomiast w pozostałych 16 m^3 dochodzi do opisanych powyżej procesów chłodzenia gazów i odparowania mgły. Stąd 34+7,36+5,92 = 47,28 m^3 . Do tych obliczeń założono 100% skuteczność odparowania wody. W tabeli poniżej przyjęto natomiast **bardziej realny wskaźnik 74%**.

- Jeśli nawet nastąpi dopływ powietrza z zewnątrz to będzie on minimalny (ok. 0,9 m³) i nie spowoduje zniwelowania podciśnienia, czyli nie doprowadzi do tzw. **inwersji warstw**, czyli sprowadzenia rozgrzanych gazów pożarowych wymieszanych często z gorącą parą wodną w niższe obszary pomieszczenia (potocznie zjawisko nazywamy **pułapką wodną**). Poniższa tabela pozwala zobrazować opisane właśnie założenia i prześledzić prawidłowości rządzące teorią chłodzenia gazów pożarowych. Zakłada się skuteczność gaśniczą na poziomie 74% oraz 16 m³ objętości strumienia prądu gaśniczego.

Tab. 21: Końcowa objętość gazów (dymu i pary) podczas chłodzenia gazów pożarowych, w zależności od wydajności prądu gaśniczego oraz temperatury gazów. [29, 103]

| Temperatura układu | Wydajność [l/s] | 1/16 jednostka objętości mgły wodnej [m ³] | Ilość wody używana przy skuteczności 74% | Objętość pary [m ³ /jedn. . obj.] | Skurczenie gazów [m ³] | Objętość gazów po interakcji z mgłą wodną [m ³] | Objętość wytworzonej pary wodnej [m ³] | Σ Ekspansji+ skurczenia [m ³] | Wynik w pomieszczeniu 50 [m ³] | Wynik podania mgły wodnej | Zmiana względem stanu początkowego [m ³] |
|------------------------------|-----------------|--|--|--|------------------------------------|---|--|---|--|---------------------------|--|
| a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l |
| Wydajność 100 [L/min] | | | | | | | | | | | |
| 200 | 1,67 | 0,10 | 0,08 | 0,17 | 0,79 | 12,62 | 2,66 | 15,28 | 49,28 | Kontrakcja | -0,72 |
| 300 | 1,67 | 0,10 | 0,08 | 0,20 | 0,65 | 10,42 | 3,22 | 13,64 | 47,64 | Kontrakcja | -2,36 |
| 538 | 1,67 | 0,10 | 0,08 | 0,28 | 0,46 | 7,36 | 4,56 | 11,92 | 45,92 | Kontrakcja | -4,08 |
| 600 | 1,67 | 0,10 | 0,08 | 0,31 | 0,43 | 6,84 | 4,91 | 11,74 | 45,74 | Kontrakcja | -4,26 |
| 700 | 1,67 | 0,10 | 0,08 | 0,34 | 0,38 | 6,14 | 5,47 | 11,60 | 45,60 | Kontrakcja | -4,40 |
| 800 | 1,67 | 0,10 | 0,08 | 0,38 | 0,35 | 5,56 | 6,03 | 11,59 | 45,59 | Kontrakcja | -4,41 |
| Wydajność 500 [L/min] | | | | | | | | | | | |
| 200 | 8,33 | 0,52 | 0,39 | 0,83 | 0,79 | 12,62 | 13,29 | 25,91 | 59,91 | Ekspansja | 9,91 |
| 300 | 8,33 | 0,52 | 0,39 | 1,01 | 0,65 | 10,42 | 16,10 | 26,52 | 60,52 | Ekspansja | 10,52 |
| 538 | 8,33 | 0,52 | 0,39 | 1,42 | 0,46 | 7,36 | 22,79 | 30,15 | 64,15 | Ekspansja | 14,15 |
| 600 | 8,33 | 0,52 | 0,39 | 1,53 | 0,43 | 6,84 | 24,53 | 31,37 | 65,37 | Ekspansja | 15,37 |
| 700 | 8,33 | 0,52 | 0,39 | 1,71 | 0,38 | 6,14 | 27,34 | 33,48 | 67,48 | Ekspansja | 17,48 |
| 800 | 8,33 | 0,52 | 0,39 | 1,88 | 0,35 | 5,56 | 30,15 | 35,72 | 69,72 | Ekspansja | 19,72 |

Widzimy, że chłodzenie gazów z małą wydajnością (tu 100 L/min) daje efekt pozytywny dla większości sytuacji pożarowych (ostatnia kolumna). Warto nadmienić, że temperatura 800 jest praktycznie nieosiągalna z dwóch przyczyn. Po pierwsze w takiej temperaturze dym ulega samozapłonowi w kontakcie z powietrzem, więc występuje płomień, a nie dym. Jest to też temperatura, w której ciężko strażakowi pracować. Po drugie, podanie wody schłodzi gazy, więc mając to na uwadze ciężko sobie wyobrazić końcowy efekt w postaci temperatury 800°C, skoro właśnie doszło do schłodzenia.

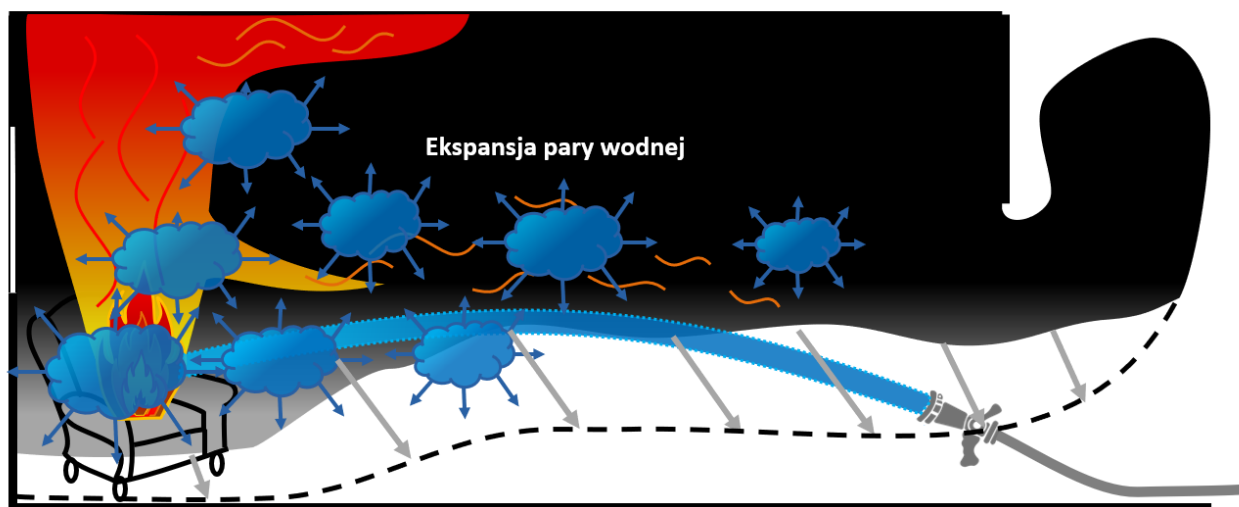
Stosowanie wysokich wydajności (tu 500 L/min) prowadzi do powstawania nadmiaru pary wodnej i **inwersji warstw**. Warto zauważyć, że podawanie wody z mniejszą wydajnością, jednak w dłuższym czasie może doprowadzić do podobnych efektów.

Drugi przypadek zjawiska pułapki wodnej dotyczy podawania dużych ilości wody w ognisko pożaru.

W wyniku takiego działania dochodzi do bardzo intensywnego odparowania dużych ilości wody. Powstająca para wodna przemieszcza się w stronę od ogniska pożaru do wylotu (skąd strażacy prowadzą natarcie). Przemieszczanie się pary przebiega na całej wysokości pomieszczenia, zarówno w strefie przypodłogowej jak i podsufitowej. W trakcie przemieszczania się para wodna częściowo miesza się z gazami pożarowymi a częściowo wypiera je w kierunku dostępnych otworów wylotowych z pomieszczenia. Istnieje też prawdopodobieństwo lokalnego zapalenia się przemieszczających się obszarów gazów pożarowych, jeśli nie uległy wymieszaniu z parą lub przepchnięcia języków płomienia z ogniska pożaru w stronę strażaków (**rys. 78**). Jeśli strażacy znajdują się w pobliżu, to zostają ogarnięci przez szybko przemieszczające się gazy pożarowe oraz parę. Wypada wspomnieć, że im szybciej przemieszcza się gaz, tym większe ilości ciepła przekazywane są do powierzchni, z którymi ma styczność. Z kolei para wodna wchłoneła znaczne ilości ciepła

przy zmianie stanu skupienia (**utajone ciepło parowania**) i podczas kontaktu z chłodniejszymi powierzchniami będzie owo ciepło oddawać. Dlatego tego typu działanie spowoduje większą niż normalnie ekspozycję strażaków na ciepło, które dodatkowo potęgowane jest zaburzeniem podziału termicznego na dolną strefę chłodną i górną gorącą. Tak w pierwszym, jak i w drugim przypadku pułapki wodnej, podawanie wody z dużą ostrożnością, szczególnie w przypadku wysokich temperatur w pożarze, nabiera kluczowego znaczenia dla bezpieczeństwa strażaków. Jeśli natomiast gaszenie odbywa się z zewnątrz, wówczas można wykorzystać owo zjawisko na korzyść strażaków i wytwarzając duże ilości pary chłodzić środowisko pożaru, wprowadzając jednocześnie duże ilości pary wypierającej tlen niezbędny do spalania.

Doskonałe opanowanie technik operowania prądami gaśniczymi jest skutecznym sposobem na uniknięcie zagrożeń powodowanych przez **pułapki wodne**, czyli wytworzenie zbyt dużych ilości pary wodnej i zachwianie równowagi termicznej w pożarze wewnętrznym.



Przemieszczenie granicy mieszaniny dymowo-parowej. Możliwe przesunięcie płomienia.

Rys. 78: Mechanizm powstawania pułapki wodnej (tzw. inwersja warstw pożarowych)

4.6. Sprawianie linii gaśniczych.

Jedną z ważniejszych rzeczy w natarciu na pożar jest odpowiednie przygotowanie linii gaśniczych. Co do zasady, linie nienawodnione sprawnia się do granic strefy zagrożenia a następnie nawadnia się je i wprowadza do strefy. Tradycyjnie odcinki węzowe przewozi się w skrytkach pojazdów zwinięte w podwójny krąg. Jest to jednak sposób, który nie ułatwia szybkiego sprawiania linii. Istnieją natomiast proste zabiegi, które pomagają w takim zarządzaniu rozwinięciem, aby minimalizować nakład pracy i czas.

Linie doprowadzane do granicy strefy można rozwijać z tzw. **harmonijki**. Linia złożona w **zygzak**, zapakowana w **torbę** lub **noszak** węzowy, pozwala na rozwinięcie kilku odcinków przez **jedną osobę**. Najczęściej torby czy noszaki zawierają 2-3 odcinki, co daje około 40-60m linii węzowej. Odcinki rozwijają się same i są połączone, zatem nakład niezbędnych sił jest minimalizowany. Wykonanie tego samego rozwinięcia z odcinków zwiniętych w podwójne kręgi wymaga więcej czasu i nakładu pracy. Często wykonywane jest przez dwie osoby. W harmonijkę można zwinąć zarówno odcinki W-75, stanowiące linię główną, jak i odcinki W-52 lub też W-42, stanowiące linie gaśnicze. Do wprowadzania nawodnionych odcinków linii gaśniczych do strefy stosuje się natomiast tzw. **pakiet węzowy**, znany jako „**Cleveland Lay**” lub potocznie jako „**ślimak**”. Dołączanie do tych wstępnie przygotowanych linii docelowej armatury – rozdzielaczy i prądownic, pomaga skracać czas rozwinięcia. Jak to zawsze bywa, nakład pracy poświęconej na przygotowania procentuje podczas działań.



Fot. 91: Odcinek W-75 zwinięty w harmonijkę z podłączonym rozdzielaczem – szybka linia główna. (fot.: Arkadiusz Frankiewicz)³⁸



Fot. 93: Odcinek W-75 o długości 40 m zwinięty w harmonijkę w kasetonie. Element wyposażenia ciężkiego samochodu specjalnego z drabina mechaniczną SCD-42 (fot.: Krzysztof Brzozowski)

³⁸<https://www.youtube.com/watch?v=d-BOBVfxkZA> – Szybkie patenty: linia główna z harmonijki.

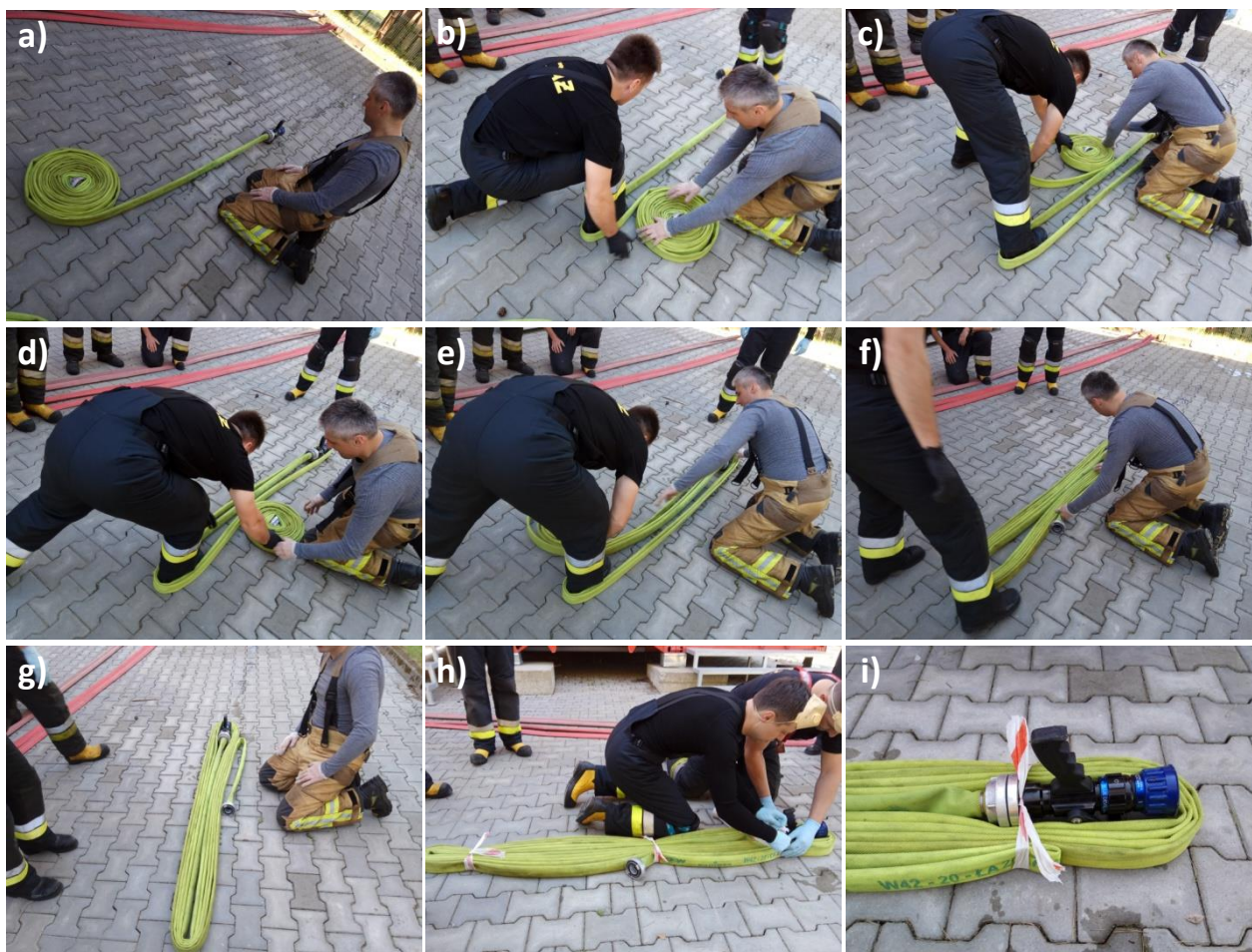


Fot. 93: 3 odcinki W-42 o łącznej długości około 60 m zwinięte w harmonijkę w kasetonie (fot.: Arkadiusz Frankiewicz)



Fot. 94: Odcinki węzowe przygotowane do szybkiego sprawienia przewożone w skrytce samochodu gaśniczego: kaseton z węzami zwiniętymi w harmonijkę oraz pakiet węzowy „Cleveland Lay”, zwany potocznie „ślimakiem” z prądownicą. Odcinki związane są fragmentami taśmy do oznaczania terenu akcji. (fot.: Arkadiusz Frankiewicz)

Jak wspomniano, pakiet węzowy „Cleveland Lay” wykorzystuje się na granicy strefy bezpiecznej i strefy zagrożenia (zadymionej), czyli np. na spoczniku klatki schodowej przed wejściem do płonącego mieszkania. Ta metoda ma następujące zalety: pozwala na **zgrupowanie na relatywnie niewielkiej przestrzeni zapasu nawodnionej linii gaśniczej, dające się łatwo przemieszczać i wprowadzać do wnętrza budynku**. Poniższe zdjęcia (fot. 95-99) pokazują sposób przygotowania oraz metodę pracy ze „ślimakiem”.



Fot. 95 a-i: Przygotowanie pakietu węzowego. Zwinięcie odcinka w pojedynczy krąg i podłączenie prądownicy ułatwiają przygotowanie pakietu. Wykonanie czynności we dwie osoby jest również znacznym ułatwieniem. Jedna z osób może użyć nogi wstawionej w zwijany odcinek dla dalszego ułatwienia pracy. Następuje owinięcie pierwszej długości odcinka z podłączoną prądownicą dookoła aż do wykorzystania całego odcinka. Końcówkę odcinka można pozostawić tak, aby dała się łatwo wyciągnąć o podłączyć. Tak sprawiony pakiet, zawiązany taśmą do oznaczania terenu akcji, po nawodnieniu z odpowiednim ciśnieniem (zazwyczaj wystarczy około 3-4 bar) napętni się wodą a taśmy ulegną zerwaniu. Ważne jest, aby pamiętać o zamknięciu zaworu prądownicy w momencie przygotowywania pakietu, aby uniknąć niekontrolowanego wypływu po podaniu wody na daną linię z rozdzielacza.



Fot. 96: Przygotowany pakiet węzowy ma długość około 2-2,5 m. Ważne, aby wiązanie obejmowało prądownicę, która jako ciężki element może wypaść z pakietu podczas transportu i utrudniać sprawne przygotowanie pakietu do prac. Zazwyczaj pakiet należy związać (lub zabezpieczyć w inny sposób) w trzech miejscach, aby uniknąć jego rozpadania się w trakcie transportu.



Fot. 97 a-b: Jeden z wygodniejszych sposobów transportu pakietu węzowego to przeniesienie go na butli od aparatu. Zalety tej metody to wygodne i ergonomiczne rozłożenie ciężaru oraz posiadanie wolnych rąk. Można też pakiet przenosić na ramieniu, jeśli dystanse do pokonania nie są znaczne. (fot.: Rafał Laskowski)³⁹

³⁹ „29.08.2018 – Ćwiczenia w budynkach wysokościowych”, [artykuł na stronie KM PSP w Warszawie](#)



Fot. 98 a-h: Sprawianie Cleveland: podłączenie pakietu do linii węzowej; rozciągnięcie pętli przed napełnieniem; nawodnienie linii; wstawienie nogi do pętli dla uniknięcia poplątania odcinków węzowych; sprawdzenie prądownicy; wypuszczenie powietrza z linii gaśniczej; ustawienie prądownicy; zwilżenie drzwi w celach diagnostycznych.



Fot. 99: Jeśli istnieje zapas odcinka przed spiralą, to można spiralę wciągnąć do pomieszczenia. Jest to szczególnie wskazane, gdy okaże się, że za pierwszymi drzwiami nie ma zadymienia a granica strefy zagrożenia znajduje się dalej w głąb obiektu.

4.7. Postępowanie podczas otwierania drzwi w budynku objętym pożarem.

Wykonując czynności ratownicze podczas pożarów wewnętrznych strażacy muszą się liczyć z **obecnością dymu w pomieszczeniach**. Opisane dotychczas zagadnienia pozwalają na uzmysłowienie sobie zagrożeń, jakie wynikają z obecności dymu oraz dają zrozumienie mechanizmów powstawania groźnych zjawisk sugerując jednocześnie metody zapobiegania niebezpiecznym sytuacjom. Przedstawione poniżej sposoby postępowania podczas otwierania drzwi w budynku, w którym podejrzewa się lub potwierdzono występowanie pożaru, mają na celu poprawę bezpieczeństwa strażaków, a także mogą zapobiegać niebezpiecznym zjawiskom, takim jak **rozgorzenie, wsteczny ciąg płomienia** czy **zapłon gazów pożarowych** (patrz **ROZDZIAŁ 2.13.**).

Przed otwarciem drzwi rota ma do wykonania pewne zadania w z podziałem na role. Poniższa tabela (**Tab. 22**) przedstawia zadania pomocnika i przodownika przygotowujących się do otwarcia drzwi, za którymi może występować zadymienie lub pożar. Zamieszone w dalszej części zdjęcia wyjaśniają dodatkowe aspekty tego elementu prowadzonych działań.

Tab. 22: Podział zadań w rocie podczas otwierania drzwi w obiekcie, w którym występuje pożar.

| Zadanie | Przodownik | Pomocnik |
|--|------------|----------|
| Przenoszenie armatury | V | V |
| Sprawdzenie zamknięcia drzwi (forsowanie) | | V |
| Sprawdzenie prądownicy | V | |
| Sprawianie pakietu | V | V |
| Odpowietrzenie i ustawienie prądownicy | V | |
| Zaczepienie pętli na klamce (opcjonalnie – na drzwiach wewnętrznych) | | V |
| Zgłoszenie gotowości do wejścia | V | V |
| Podanie wody na drzwi (diagnostyka) i/lub zbadanie drzwi kamerą termowizyjną | V | |
| Podanie strażaków wody nad drzwi | V | |
| Otwarcie drzwi w celu umożliwienia podania wody | | V |
| Podanie wody do środka, ocena sytuacji (w tym użycie termowizji) | V | |
| Zamknięcie drzwi | | V |
| Decyzja odnośnie dalszego postępowania (powtórzenie lub wejście) | V | |
| Po podjęciu decyzji o wejściu wprowadzanie linii do wnętrza | V | V |
| CIĄGŁA KOMUNIKACJA | V | V |

Od momentu rozpoczęcia rozwinięcia zaczyna się współpraca strażaków w rocie. Aby była skuteczna strażacy muszą się **komunikować**. Oprócz regularnego ćwiczenia rozwinięć i współpracy w rocie oraz technik operowania prądami gaśniczymi ważne jest, aby strażacy ustalili i stosowali sposoby komunikacji (hasła i komunikaty), które posłużą do koordynacji ich współdziałania.

Opisany powyżej podział ról na ma celu zminimalizowanie zagrożeń dla strażaków i usprawnienie pracy. Przed otwarciem każdy ze strażaków skupia się na swoich zadaniach, a następnie zgłasza partnerowi z rotę gotowość do dalszego działania. Dopiero, gdy obaj strażacy są gotowi, mogą przejść do dalszego postępowania. Opisany poniżej algorytm ma na celu z jednej strony ułatwienie strażakom opanowania zalecanych sposobów pracy, toteż nie zawiera wiele wersji postępowania. Z drugiej strony zalecany jest zdrowy rozsądek u unikanie wykonywania zbędnych lub nieprzynoszących efektu czynności.

Podanie wody nad drzwi, nazywane często „zawieszeniem mgły” ma na celu **zabezpieczenie bezpośredniego otoczenia strażaków** (w literaturze angielskiej zwane jako „*buffer zoning*”, patrz **ROZDZIAŁ 5.6.**). Dzięki tym czynnościom obszar wokół wejścia zostaje zabezpieczony przed oddziaływaniem pożaru. Uzyskuje się to przez zawieszenie mgły w obszarze nad drzwiami, gdzie mógłby wydostać się gorący dym, mogący ulegać samozapłonowi. **Najczęściej** przodownik wykonuje w tym celu **dwa strzały** pulsacyjne mgły. Ważne jest, aby woda **nie była podawana w ten sam obszar**. Czasem jednak wystarczy jeden puls, np. w wąskim korytarzu. Strażak musi **ocenić** daną sytuację i **dostosować** do niej swoje postępowanie.

Jednocześnie część mgły wystrzelonej i zawieszanej mgły nieuchronnie zwilży powierzchnie wokół drzwi i nad nimi. Pozwoli to na schłodzenie tych obszarów i również wpłynie na zabezpieczenie bezpośredniego otoczenia strażaków. Jeśli za drzwiami znajdują się gorące gazy pożarowe, to ich wypływ z drzwi może doprowadzić do zapłonu. Opisane powyżej czynności mają na celu zapobieżenie takiej ewentualności.

Mniej więcej w połowie drugiego pulsu nad drzwi pomocnik uchyla je, a przodownik kieruje prądownicę do środka oddając wydłużony strzał. Zależnie od kierunku otwierania się drzwi będzie to wyglądało różnie, niemniej obowiązuje zasada: **przodownik zajmuje pozycję od strony klamki a pomocnik od strony zawiasu**. Po oddaniu strzału, w tkacie którego przodownik dokonuje również rozpoznania warunków wewnętrznych, pomocnik zamyka drzwi. Na podstawie rozpoznania przodownik podejmuje decyzję o dalszych krokach. **Każda decyzja podejmowana jest przy zamkniętych drzwiach**. Strażacy powtarzają sekwencję tyle razy, ile razy uzna to za stosowne przodownik, który na bieżąco ocenia warunki pożarowe. Używanie prostych komend jak: „gotów?” – „gotów”, „jeszcze raz!” – „ok., jeszcze raz” czy „wchodzimy” – „ok., wchodzimy” pozwoli na dobrą koordynację współpracy.

Pomiędzy każdym otwarciem drzwi należy odczekać, aby wstrzelona mgła mogła spenetrować wnętrze i wymieszać się z gazami pożarowymi, jednocześnie odparowując. Zaleca się, aby odczekać od 5 do nawet 20 sekund przed kolejnym otwarciem drzwi. [100, 104, 105]

Jeśli okaże się po pierwszym otwarciu, że wewnątrz nie ma zadymienia, to przodownik przekazuje taką informację pomocnikowi („czysto, wchodzimy”). Pomocnik zajmuje miejsce za przodownikiem wzdłuż linii gaśniczej i razem wprowadzają ją do środka bez dodatkowych czynności jak np. zawieszenie mgły.

Należy też odnieść się do często dyskutowanej kwestii zawieszania mgły. Wydaje się, że po podaniu mgły do wnętrza nie powinno dochodzić do jakiegokolwiek istotnego wydobywania się dymu, a tym bardziej po powtórzeniu tej czynności kilkakrotnie. Rzeczywiście taki będzie najczęściej scenariusz. Za każdorazowym zawieszaniem mgły stoi prostota metody i brak wielu wariantów, co ułatwia jej opanowanie przez strażaków. Nie jest błędem ani nie wyrządzi szkody podanie mgły pulsacyjnie, co spowoduje użycie ilości wody równej mniej około szklance wody w formie rozdrobnionej. Może to jednak zapobiec negatywnym skutkom pożaru. Wydaje się zatem sensowne, aby za każdym razem zawieszać mgłę przed otwarciem drzwi. Bardziej doświadczeni strażacy będą potrafili sprawniej ocenić sytuację i zdecydować, czy owo zawieszenie mgły będzie niezbędne. Rozpatrzmy zatem argumenty za i przeciw wykonywaniu tego elementu w **Tabeli 23**.

Tab. 23: Wady i zalety zawieszania mgły nad drzwiami przed ich otwarciem.

| Zalety | Wady |
|---|---|
| Schłodzenie i zinertyzowanie gazów wypływających po otwarciu drzwi. | Dym rzadko się pojawia, szczególnie w przypadku drzwi do budynku. Trudne jest zgranie w czasie. |
| Schłodzone zostają powierzchnie. | Niewielki efekt, szczególnie daleko od ognia. |
| Przygotowuje strażaków do pracy z zadymieniem, wymusza sprawdzenie prądownicy. | Wydaje się bezcelowe, kiedy nie występuje zadymienie. |
| Jest częścią spójnej metody, której dzięki temu łatwiej się nauczyć. | Sprzyja szkoleniu ludzi na pamięć i zachowaniom zbyt automatycznym, pozbawionym refleksji. |
| Jest techniką zapobiegawczą w obliczu nieznanego scenariusza, więc lepiej to wykonać. | Powoduje, że ubrania strażaków zostają zamoczone przed wejściem do pożaru. |

Podsumowując powyższe rozważania należy stwierdzić, że zawieszenie mgły musi być zależne od panujących warunków. Jeśli **jest** dym lub podejrzewamy, że **może się pojawić**, wówczas zawieszamy mgłę. W przeciwnym razie można ów krok pominąć. Ważne jest, aby strażacy działali świadomie i nie pomijali istotnych elementów metody tam, gdzie mogą się one okazać kluczowe dla ich bezpieczeństwa lub skuteczności działań. Seria poniższych zdjęć pokazuje wykonanie omawianych technik. Pokazano na nich zarówno drzwi lewe jak i prawe, otwierane do środka jak i na zewnątrz (4 warianty). Do tego pokazano inne elementy towarzyszące tej metodzie pracy, omówione wcześniej w tekście.



Fot. 100 a-d: Wiązanie węzła krawatowego z użyciem taśmy alpinistycznej na klamce drzwi otwierających się do wewnątrz, jako jeden z przykładów usprawnienia pracy podczas otwierania drzwi.⁴⁰

⁴⁰ Zobacz też: „Skrypt do szkolenia z ratownictwa wysokościowego realizowanego przez ksrg w zakresie podstawowym”. Link bezpośredni.

Strażacy **nie powinni ściągać rękawicy z dłoni do badania drzwi**. Jadąc do pożaru należy zakładać, że ten pożar faktycznie wystąpił. Wszystkie drzwi traktować należy jako potencjalnie groźne a stosując odpowiedni algorytm postępowania można owo założenie potwierdzić lub wykluczyć. Niedokładne założenie rękawicy po jej zdjęciu w trakcie działań może sprzyjać poparzeniom, co potwierdza praktyka.



Fot. 101 a-d: Postępowanie przy drzwiach lewych (zawiasy po lewej stronie) otwieranych do wnętrza. Pomocnik znajduje się przy zawiasach a przodownik po stronie klamki. Pomocnik zakłada na klamkę taśmę alpinistyczną z wykonanym węzłem krawatowym. Tym samym stwarza możliwość odpowiedniego otwarcia przodownikowi do podania prądu wody, bez tracenia kontroli nad drzwiami. Po zgłoszeniu gotowości rota przystępuje do działań. Przodownik podaje mgłę nad drzwiami. Następnie pomocnik otwiera drzwi, stale kontrolując stopień otwarcia. Przodownik pochyla prąd gaśniczy o wnętrza i podaje strzał pulsacyjny, dobierając czas jego trwania do obserwowanych warunków. Następnie przerywa podawanie i wycofuje prąd gaśniczy z framugi, na co pomocnik niezwłocznie zamyka drzwi za pomocą taśmy. Następuje moment oczekania, aby wstrzelona mgła mogła schłodzić gazy i odparować. W tym czasie przodownik analizuje informacje z rozpoznania, podejmuje decyzję i komunikuje się z pomocnikiem. Pada hasło: „jeszcze raz / wchodzimy / czysto”, po którym pomocnik potwierdza odebranie informacji (powtarza hasło) następuje dalsze działanie, zależnie od decyzji podjętej przez przodownika na podstawie rozpoznania. Należy pamiętać, że może być konieczne, aby sekwencję powtórzyć kilka razy (w praktyce nawet do 5-7 razy!). Niezwykle ważne jest też to, że nawet po wielokrotnym powtórzeniu nie ma gwarancji, że wejście będzie bezpieczne. **Każdorazowo decyzję należy podejmować w oparciu o ocenę sytuacji i rozpoznanie i brać pod uwagę wszystkie scenariusze.** Decyzja o braku możliwości wejścia będzie podstawą do obrania innej taktyki działania (patrz **ROZDZIAŁ 5.**).



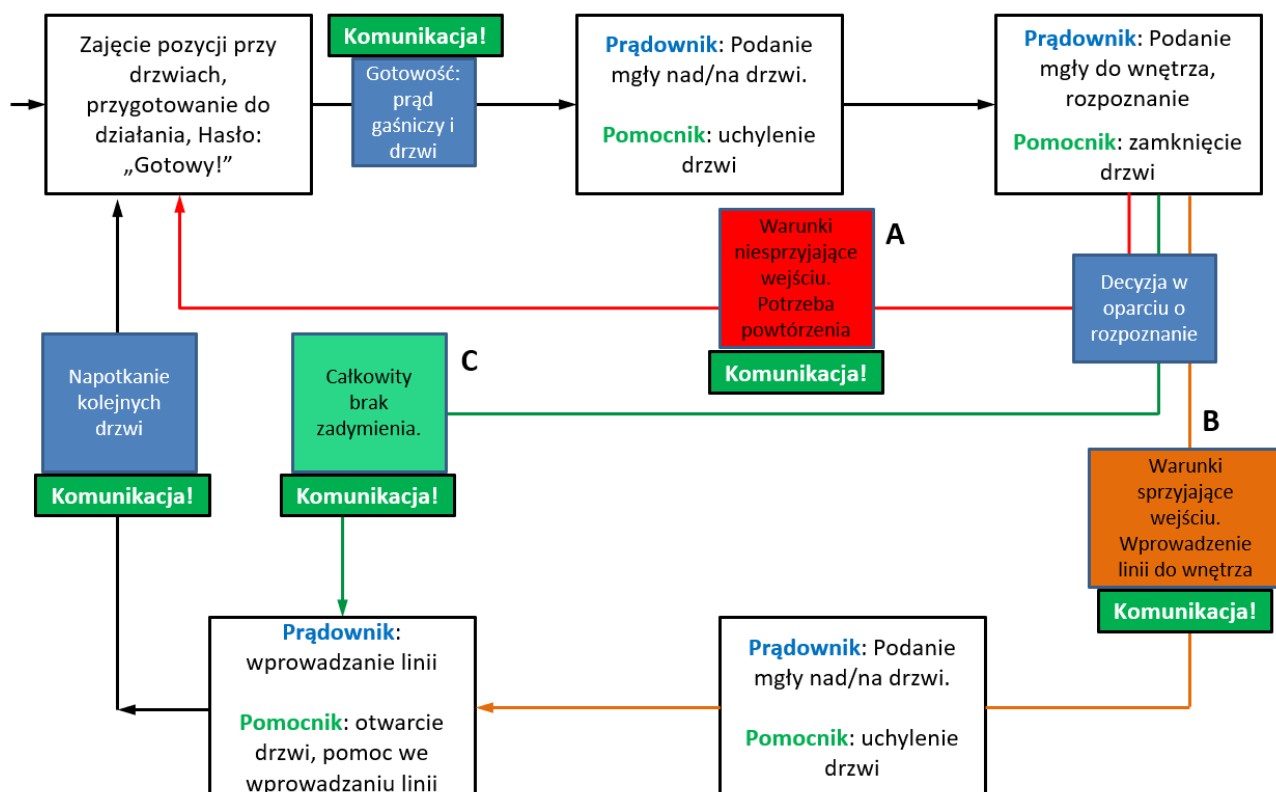
Fot. 102 a-d: Postępowanie przy drzwiach prawych (zawiasy po prawej stronie) otwieranych do wnętrza. Konsekwentnie przodownik zajmuje miejsce po stronie klamki a pomocnik po stronie zawiasów. Po zaczepieniu taśmy i przygotowaniu prądownicy następuje odtworzenie algorytmu postępowania: zawieszenie mgły nad drzwiami – otwarcie drzwi – strzał do wnętrza i rozpoznanie warunków – zamknięcie drzwi – podjęcie decyzji o dalszym postępowaniu, zależnie od wyniku rozpoznania.



Fot. 103 a-d: Postępowanie przy drzwiach lewych (zawiasy po lewej stronie) otwieranych na zewnątrz. Po ustawieniu prądu gaśniczego strażacy zgłaszają gotowość wyciągniętym kciukiem. Pomocnik wykorzystuje ciało do kontrolowania stopnia otwarcia drzwi.



Fot. 104 a-d: Postępowanie przy drzwiach prawych (zawiasy po prawej stronie) otwieranych na zewnątrz. Widać wyraźne wysunięcie przodownika w przód oraz balansowanie ciężarem ciała przez przodownika.



Rys. 79: Algorytm postępowania przy drzwiach w budynku, w który wystąpił pożar. Zależnie od wyniku rozpoznania (A, B lub C) strażacy realizują wybrane czynności. Liczba powtórzeń zależna jest od bieżącej sytuacji pożarowej stwierdzonej w rozpoznaniu.

Zaproponowane w tym rozdziale sposoby postępowania służą zminimalizowaniu ryzyka wynikającego z palności dymu i jego tendencji do przepływania z obszaru o wyższym ciśnieniu (wnętrze obiektu) do obszaru o niższym ciśnieniu (na zewnątrz obiektu) po otwarciu drzwi. Schłodzenie dymu i wymieszanie go z mgłą wodną i parą wodną może zapobiec zjawiskom takim jak **wsteczny ciąg płomienia**, **zapłon gazów pożarowych** czy **rozgorzenie**. Dlatego w tej metodzie nie bada się drzwi ręką ani nie unika się stawiania na wprost otworu. Pierwsze spowodowane jest brakiem praktycznego uzasadnienia tej czynności i potencjalnymi problemami wynikającymi z niedokładnego zakładania ŚOI. Drugie spowodowane jest tym, że unikanie stawiania w świetle otworu miało na celu uniknięcie negatywnych skutków zjawisk pożarowych. Jednakże zastosowane postępowanie (błyskawiczne, skoordynowane otwarcie i zamknięcie drzwi połączone z zabezpieczeniem strażaków, podaniem mgły do wnętrza i rozpoznaniem) ma na celu i powoduje niezwykle skuteczne zapobieganie negatywnym skutkom wszelkich zjawisk pożarowych. W połączeniu z wysoką skutecznością wentylacji hydraulicznej (zobacz **ROZDZIAŁ 5.5.3.**) jest w stanie zapobiegać negatywnym skutkom zjawisk pożarowych, które legły u podstaw tendencji do unikania zajmowania miejsca na wprost drzwi.

4.8. Ocenianie temperatury warstwy podsufitowej w pomieszczeniu zadymionym.

W trakcie przemieszczania się przez strefę zadymiona strażak ma bardzo ograniczone możliwości rozpoznania warunków. Jednym ze skutecznych sposobów oceny sytuacji jest wykorzystanie kamery termowizyjnej, co zostało opisane w **ROZDZIALE 4.11.1.** innym sposobem, zalecanym przy braku kamery termowizyjnej, jest ocenianie temperatury warstwy podsufitowej przy pomocy prądu gaśniczego.

Taką czynność diagnostyczną wykonuje się poprzez podanie rozproszonym prądem krótkiego strzału wody w strefę nad głową. Ustawienia prądownicy są takie, jak przy technice **krótkiego pulsu**. Jeśli woda opada na ziemię i nie słychać syczenia (odparowania), najprawdopodobniej temperatura pod sufitem w tym miejscu wynosi mniej niż 100 °C. Jeśli woda nie opada i słychać syczenie, oznacza to, że temperatura wynosi

powyżej 100 °C. Do oceny efektu podania wody strażacy wykorzystują w miarę możliwości 3 zmysły: widzą, słyszą oraz czują jaki efekt daje podanie wody. Mogą **obserwować** ruchy płaszczyzny neutralnej, obecność lub brak spadających kropli oraz pojawianie się pary wodnej. Różne oznaki będą widoczne zależnie od warunków pożarowych. Za pomocą **słuchu** strażacy dowiedzą się, czy słychać spadające krople, czy też brak jest tego dźwięku. Czasem słyszalne są odgłosy syczenia, biorące się z odparowania wody na gorących płaszczyznach. Zmysł **dotyku** pozwoli odczuć spadające krople przy zerowej widoczności lub parę wodną wytworzoną po podaniu mgły wodnej.

Strażacy mogą też unieść ostrożnie rękę w rękawicy w celu zbadania stopnia nagrzania. Regularne sprawdzanie pomoże w ustaleniu zmian temperatury i da obraz warstwy termicznej. Takie rozpoznanie warunków pożarowych pomoże strażakom podjąć decyzję o konturowaniu przemieszczania się, zatrzymaniu i przeciwdziałaniu lub odwróceniu, a także dobrać technikę działania.

Na podstawie opisanej powyżej oceny warunków pożarowych przodownik roty podejmuje sytuacje o dalszych krokach:

- **kontynuacji** przemieszczania się w głąb pomieszczeń wraz z chłodzeniem gazów pożarowych,
- zatrzymania się w danym miejscu i **kontynuacji chłodzenia** gazów pożarowych w celu zapewnienia bezpiecznych warunków przemieszczania się w głąb pomieszczeń,
- **wycofania się** przy aktywnym zabezpieczeniu drogi odwrotu (patrz **ROZDZIAŁ 4.10.**) z uwagi na warunki niesprzyjające prowadzeniu natarcia wewnętrznego.



Fot. 105 a-d: Ocenianie temperatury warstwy podsufitowej za pomocą prądu gaśniczego. Przodownik zatrzymuje się. Pomocnik reaguje poprzez zatrzymanie się i zapewnienie przodownikowi swobody działania (zobacz **ROZDZIAŁ 4.9.**). Przodownik podaje **krótki puls** pionowo nad siebie. Rota za pomocą 3 zmysłów (wzrok, słuch i dotyk) obserwuje efekty podania wody. Przodownik podejmuje decyzję o dalszym postępowaniu: **kontynuacji** przemieszczania się w głąb pomieszczeń, **chodzenia** gazów pożarowych w miejscu lub **wycofania** się. (fot. Adam Czopek)

4.9. Współpraca w rocie i przemieszczanie się w pomieszczeniach zadymionych.

Aby zachować ergonomię pracy oraz odpowiedni poziom skuteczności i bezpieczeństwa, strażacy powinni opanować zarówno umiejętności wykonywania konkretnych czynności jak również **współpracy** między sobą w ramach rotacji. Jednym z kluczowych aspektów współpracy jest **komunikacja**. Powinna ona opierać się o proste i zrozumiałe hasła. Zasadniczo hasła te wydaje **przodownik rotacji**. Dobrą praktyką, znacznie usprawniającą współpracę jest **powtarzanie** haseł przez pomocnika. Nie chodzi przy tym o wypowiedzianie słów takich, jak „ok.” czy „zrozumiałem” a o faktyczne powtórzenie słów wypowiedzianych przez przodownika, co zapewnia wysoką skuteczność komunikacji i minimalizuje prawdopodobieństwo nieporozumienia (np.: „naprzód!” – „naprzód!” lub „wycofujemy się!” – „OK! wycofujemy się!”).

Sprawne i ergonomiczne przemieszczanie się z linią gaśniczą wymaga świadomego poświęcenia temu zagadnieniu uwagi podczas ćwiczeń. Zrozumienie mechaniki ciała, sił reakcji, możliwości oparcia odcinka na podłożu czy innych punktach podparcia (biodro, kolano itd.) czy też prądownicy na odcinku, przeniesienie obciążenia z mięśni małych na mięśnie duże (np. dwugłowe uda czy prostowniki) – oto elementy znacznie usprawniające pracę.



Fot. 106 a-b: Wariant pracy z linią w pojedynkę lub przy znacznym oporze: przełożenie linii pod nogą pozwoli na pomaganie sobie nogą przy przeciąganiu linii do przodu. Dzięki użyciu grupy jednych z najsilniejszych mięśni w ciele człowieka, przemieszczanie nawodnionej linii staje się znacznie łatwiejsze. Należy jednak zwrócić uwagę na **możliwość powstawania załamań na linii gaśniczej** (patrz zdjęcie z prawej), mogących w znaczący sposób ograniczać zarówno ciśnienie, jak i wydajność prądu gaśniczego.[86]



Fot. 107 a-b: Wariant pracy z linią: przełożenie linii pod nogą. W momencie zauważenia załamania na linii gaśniczej (po lewej) należy – przed rozpoczęciem podawania wody – maksymalnie pochylić linię do przodu w celu zminimalizowania powstałego załamania (patrz zdjęcie po prawej). Należy zauważyć, że prądownica jest nadal trzymana wysoko i jest odsunięta od ciała, a strażak posiada pełną możliwość regulacji i kierowania prądu na wszystkie strony. [86]



Fot. 108: Częstym **błędem przy współpracy** rotacji jest pozostawanie zbyt blisko siebie. Powoduje to podniesienie linii pomiędzy strażakami (równoległe do podłoża – porównaj z **Fot. 109**). Prądownik musi wykonać wysiłek, żeby podnieść linię do góry (odcinek ułożony jest pod niekorzystnym kątem względem ciała prądownika i względem podłoża). [86]

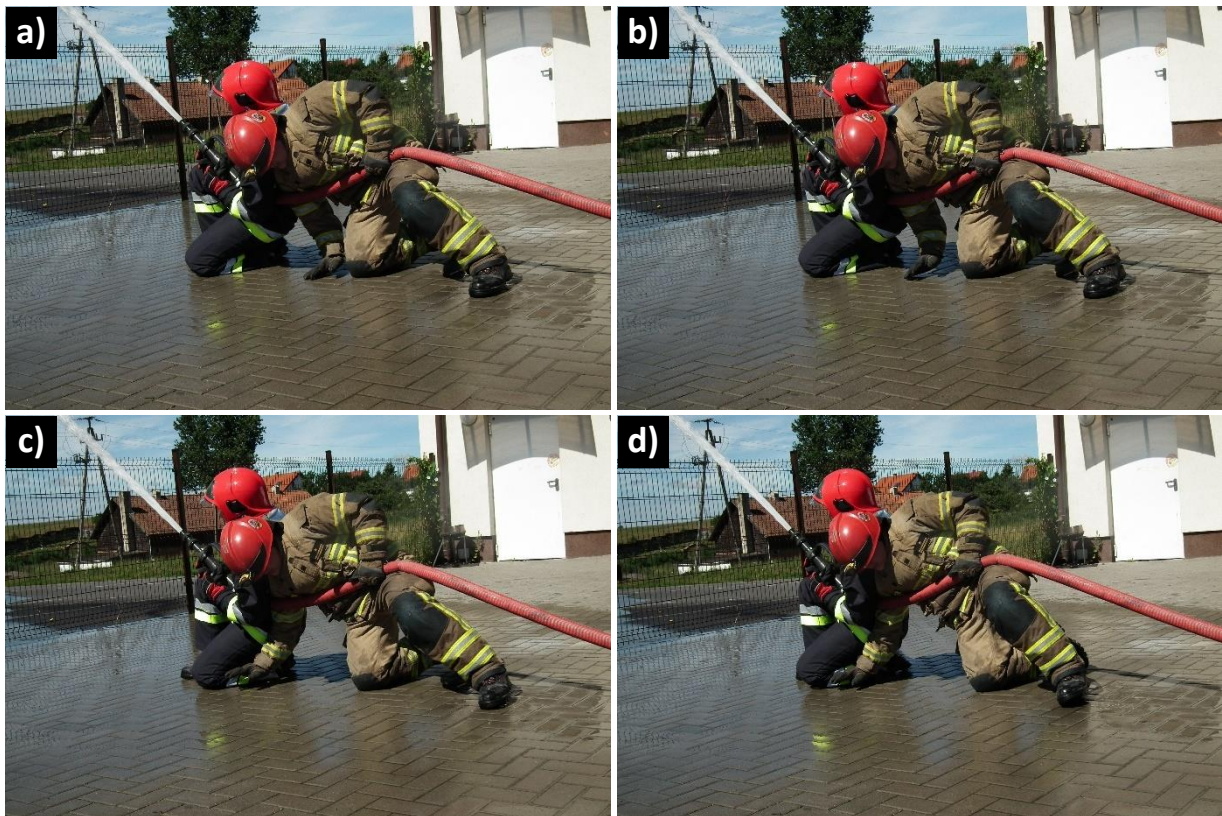


Fot. 109: Dzięki zachowaniu pewnej odległości między strażakami (na wyciągnięcie ręki), pomocnik jest w stanie docisnąć linię gaśniczą do ziemi i poprzez stworzenie łagodnych łuków na linii ułatwić przodownikowi podawanie prądów gaśniczych. Pomocnik jednocześnie jest w stanie spoglądać do tyłu. Zależnie od przyjętej zasady, strażacy mogą pracować po jednej stronie linii gaśniczej lub po dwóch stronach, co będzie miało wpływ na metodę przeszukania prowadzonego podczas przemieszczania się z linią gaśniczą. Pokazana na zdjęciu odległość jest maksymalną zalecaną odległością (nieco więcej niż wyciągnięta ręka) i jej zwiększanie może utrudnić pracę. [86]

W przypadku pracy z prądownicą o dużej wydajności i niskim ciśnieniu roboczym (smoothbore) inne będą zalecane techniki i metody współpracy. Czasami może zaistnieć konieczność podawania wody w sposób ciągły i jednoczesnego przemieszczania się z linią gaśniczą (tzw. metoda pracy „flow and go”). Wówczas zmienia się zarówno sposób operowania prądem (opisany w **ROZDZIALE 4.4.5.**) jak i współpracy. Pomocnik zajmuje miejsce bezpośrednio za przodownikiem i własnym ciałem pomaga mu prowadzić natarcie (zobacz **fot. 110 a-b** i **111 a-d**). Zmiana sposobu pracy związania jest ze znaczną siłą reakcji wytwarzana przez prąd zwarty o dużej wydajności. Na poniższych zdjęciach widać, że przodownik jest pochylony do tyłu i opiera ciężar ciała na pomocniku, który podkładając swój bark pod plecy przodownika korzysta z siły mięśni nóg w celu pchania kolegi naprzód i ciągnięcia linii gaśniczej. Przy odpowiednim wyćwiczeniu technika ta daje dużą łatwość w przemieszczaniu się z otwartym prądem gaśniczym.



Fot. 110 a-b: Przodownik opiera ciężar ciała na pomocniku. Pomocnik korzysta z siły mięśni nóg do przepychania naprzód przodownika oraz do przemieszczania linii gaśniczej. [86]



Fot. 111 a-d: Przemieszczanie się z otwartą linią gaśniczą. Przodownik opierając swój ciężar na pomocniku pracuje nogami umożliwiając przemieszczanie do przodu. Pomocnik przesuwając rękę podpierającą, a następnie przenosi ciężar ciała do przodu pchając przodownika i linię za pomocą siły mięśni nóg. Odpowiednie wyćwiczenie współpracy w tej technice umożliwia stosunkowo łatwe pokonanie znacznych sił reakcji na prądownicy powodowanych dużą wydajnością. [86]

4.10. Wprowadzanie linii gaśniczej i wycofywanie się z linią gaśniczą.

Prowadząc wewnętrzne działania gaśnicze jednym z podstawowych zadań rotacji będzie wprowadzanie linii gaśniczej. W trakcie tego wykonywane będą inne czynności, jak chłodzenie gazów pożarowych (patrz **ROZDZIAŁY 4.3. i 4.4.1.**), rozpoznanie (**ROZDZIAŁY 3. i 4.8.**) czy przeszukanie (**ROZDZIAŁ 4.11.** wraz z podrozdziałami). Wprowadzanie linii gaśniczej w głąb budynku czy obiektu i wykonywanie niezbędnych czynności wymagać będzie przyjęcia odpowiednich sposobów pracy. Dodatkowo, zależnie od obrotu sytuacji, zaistnieć może potrzeba wycofania się z uwagi na niesprzyjające warunki pożarowe. Przykładowo może dojść do wypadnięcia okna i wystąpienia **pożaru napędzanego wiatrem** (zobacz **ROZDZIAŁ 2.13.4.** oraz opisane w nim studia przypadku). W takich okolicznościach ważne jest, aby strażacy nie ulegli panice, a wykonali świadome i wyćwiczone techniki operowania prądami oraz wycofania się z linią gaśniczą. Poniższe zdjęcia ilustrują wspomniane sposoby wprowadzania i wycofywania linii gaśniczej. Wraz z przedstawionymi dotąd informacjami (patrz **ROZDZIAŁY 4.1. – 4.9.**) stanowią metody świadomej i ergonomicznej pracy wykonywanej z zachowaniem zasad bezpieczeństwa i cechującej się walorami wysokiej skuteczności.



Fot. 112 a-d: Wprowadzanie linii gaśniczej. Postęp strażaków widać po liniach na podłożu i przedmiotach w tle. W trakcie przemieszczania pomocnik przejmuje większość ciężaru linii gaśniczej. W momencie potrzeby zastosowania wybranej techniki operowania prądem przez przodownika, pomocnik zatrzymuje wprowadzanie linii gaśniczej i zapewnia odpowiednie ułożenie odcinka pomiędzy nim a przodownikiem w celu ułatwienia operowania prądami gaśniczymi. W trakcie operowania prądem przez przodownika, pomocnik uczestniczy w rozpoznaniu warunków pożarowych, sprawdzając również obszar z tyłu. Pomocnik może ścisnąć odcinek pomiędzy udem a brzuchem, w pobliżu miednicy, aby uzyskiwać dodatkową chwytność i używać pracy dużych mięśni (mięśni nóg) dla ułatwienia wprowadzania linii gaśniczej. (fot. Adam Czopek)



Fot. 113 a-d: Wycofywanie linii gaśniczej. Jak wspomniano w tekście, wycofywaniu linii gaśniczej powinno towarzyszyć aktywne zabezpieczenie przestrzeni pomiędzy strażakami a pożarem, którego rozwój stał się przyczyną podjęcia decyzji o odwróceniu. Przodownik skupia się na sytuacji pożarowej i podawaniu prądów oślanających odwrót (**pulsowanie** prądem rozproszonym, **malowanie** i **ołówkowanie**). Pomocnik skupia się na wycofywaniu linii i zapewnia odpowiednie ułożenie odcinka pomiędzy nim a przodownikiem w celu ułatwienia operowania prądami gaśniczymi. Nadmiar linii może odsuwać nogą wysuniętą do tyłu jak na powyższych zdjęciach. W momencie dotarcia do miejsca mającego taktyczne znaczenie (np. drzwi, którymi można odizolować rotę od rozprzestrzeniającego się pożaru) pomocnik informuje o tym przodownika, np. klepiąc go w butle aparatu (ale nie w ramię, aby uniknąć zwiększenia transferu ciepła przez warstwy ochronne ubrania specjalnego). (fot. Adam Czopek)

Opisane w ostatnich rozdziałach techniki i metody pracy należy nieustannie ćwiczyć. Ponadto kluczem do skutecznego działania będzie sprawna i zrozumiała komunikacja, która również nie może być dziełem przypadku i nie może być ustalana podczas zdarzenia. Ćwiczenia z wykorzystaniem materiałów wideo oraz pod okiem wykwalifikowanego instruktora powinny być przyjętą metodą budowania i utrzymywania kompetencji w tej materii.⁴¹

4.11. Przeszukiwanie pomieszczeń

Przeszukanie pomieszczeń jest jedną z najważniejszych czynności, jakie strażacy wykonują pracując przy pożarach wewnętrznych w strefie zadymienia. Niestety, na temat przeszukania istnieje niewiele opracowań w języku polskim. Organizacja, narzędzia, techniki, metody, sposoby, sytuacje – różnorodne aspekty przeszukania sprawiają, że jest to dziedzina tak szeroka, że można o niej napisać oddzielną książkę. Jak wspomniano, nie istnieją żadne opracowania na ten temat, poza nielicznymi pozycjami traktującymi zagadnienie dosyć ogólnie. [1] Niniejszy podrozdział jest próbą zebrania w całość informacji gromadzonych

⁴¹<https://www.youtube.com/watch?v=3jN2FVbpgg> – Instruktaż prowadzenia zajęć z operowania prądami gaśniczymi.

na przestrzeni lat podczas różnych form kształcenia, doskonalenia czy wymiany doświadczeń, również w gronie międzynarodowym. Są to techniki i sposoby sprawdzone wielokrotnie i udoskonalone w ramach dziesiątek godzin ćwiczeń przez grono instruktorów oraz uczestników szkoleń z terenu całego kraju. Opisywane sposoby dotyczą sytuacji, w której widoczność jest bardzo ograniczona lub zerowa. W sytuacji występowania choćby częściowej widoczności wykonanie skutecznego przeszukania będzie łatwiejsze i szybsze. Opisane sposoby mają na celu zasugerowanie sposobów postępowania podczas najtrudniejszych scenariuszy. Niniejszy rozdział skupi się na następujących zagadnieniach:

- **przeszukanie pomieszczeń z użyciem kamery termowizyjnej**, będące często spotykanym sposobem działania z uwagi na coraz częstsze dysponowanie przez jednostki tymi urządzeniami,
- **przeszukanie pomieszczeń z wykorzystaniem linii gaśniczej** – wariant bez dodatkowej linki osobistej (jako najczęściej praktykowany sposób pracy) oraz z dodatkową linką osobistą,
- **przeszukanie bez linii gaśniczej**, z wykorzystaniem liny poszukiwawczej lub bez dodatkowych przyrządów – jako **sposób ostateczny**, zaprezentowany w celu zaproponowania sposobu pracy w okolicznościach, których z przyczyn niezależnych nie można było uniknąć. Zaproponowany sposób pomaga poradzić sobie w sytuacji krytycznej i dlatego jest opisany w niniejszym opracowaniu. Dodatkowo, nie jest to jedynie sposób przeszukania, a również odzyskiwania i utrzymywania orientacji w pomieszczeniach przy ograniczonej i zerowej widoczności. Dodatkowe wyjaśnienia zawarto w przypisie dolnym na niniejszej stronie. **Należy się z nimi dokładnie zapoznać zanim skorzysta się z opisywanego sposobu!**⁴²

Należy w tym miejscu wyjaśnić kwestię dotyczącą wyposażenia strażaków podczas pożarów wewnętrznych oraz jego wykorzystania w celu utrzymania orientacji. Podstawową zasadą pracy i powodem wysyłania strażaków do wnętrza strefy zagrożenia w dwuosobowych zespołach jest możliwość natychmiastowej wzajemnej pomocy. Strażacy mają obowiązek utrzymywać **stały kontakt** podczas przebywania w strefie. Co to oznacza w praktyce?

Jeśli panuje zerowa lub bardzo ograniczona widoczność, strażacy powinni nieprzerwanie utrzymywać kontakt dotykowy lub kontakt z linią będąc w bezpośrednim sąsiedztwie (nie będąc w kontakcie fizycznym stale, jednak czując swoją obecność poprzez wspólną pracę z linią gaśniczą). Jeśli widoczność jest nieco lepsza, można w określonych warunkach dopuścić nieznaczne oddalenie się strażaka od partnera z rotacji w celu wykonania jakiejś czynności (np. otwarcie okna w celu umożliwienia wentylacji, sprawdzenie odnalezionego uszkodzonego podczas gdy partner z rotacji zabezpiecza pracę prądem gaśniczym itd.). Powinno to być jednak kierowane zdrowym rozsądkiem a strażacy powinni być w miarę możliwości w zasięgu wzajemnego wzroku co można uznać za zachowanie zasady utrzymania stałego kontaktu. Nie można wskazać wprost dystansu, na jaki strażacy mogą się rozdzielić, gdyż jak wspomniano należy tę decyzję podjąć w określonych warunkach. Można ogólnie powiedzieć, że odległość ta **nie powinna być większa niż kilka metrów**, bowiem nie powinna uniemożliwiać udzielania sobie natychmiastowej wzajemnej pomocy, co jest główną przyczyną pracy w zespole dwuosobowym. Jeśli strażak chce oddalić się na większą odległość, powinien wówczas zabezpieczyć się poprzez użycie liny. Nie zaleca się rozwijania liny w trakcie pracy z linią gaśniczą, gdyż utrudnia to pracę. Niemniej oddalenie się powinno być wykonane jedynie wtedy, kiedy istnieje możliwość zabezpieczenia drogi powrotu. Nie jest istotne, czy w danym momencie oddalania się widoczność jest idealna – strażacy pracujący w pożarze **powinni spodziewać się zarówno ognia jak i dymu**, które mogą pojawić się w każdym momencie. Powinni też spodziewać się obecności osób uszkodzonych, a także możliwości ich ratowania i ewakuacji.

⁴² Jest to sposób pracy niezalecany, niemniej autor zdaje sobie sprawę, że w wyjątkowych sytuacjach może dojść do konieczności prowadzenia tego typu działań. Jako przykłady można podać: konieczność natychmiastowego ratowania życia ludzkiego, awarię samochodu gaśniczego czy też przypadek zagubienia się strażaków i utraty kontaktu z linią gaśniczą np. w wyniku wystąpienia nagłego zjawiska pożarowego. Nie jest intencją autora zalecanie tego typu działań ani kategorię stwierdzanie okoliczności sprzyjających podjęciu decyzji o wykorzystaniu tej metody pracy. Każdorazowo, decyzję taką podejmie właściwy, obecny ma miejscu zdarzenia dowódca, po dokonaniu stosownego rozpoznania w czasie i na miejscu zdarzenia, kierując się przesłankami specyficznymi dla zastanej sytuacji, oceną możliwości oraz bilansem potencjalnych zysków i strat. W określonych okolicznościach, decyzję taką podejmą sami strażacy. Autor nie ponosi odpowiedzialności za wykorzystanie tego sposobu a jego intencją jest wskazanie potencjalnych możliwości wybrnięcia z sytuacji krytycznej. Należy również mieć na uwadze, że jedynie gruntowne przeciwiczenie prezentowanych sposobów może być przesłanką do podjęcia decyzji o ich wykorzystaniu w realnych działaniach.

Reasumując, zalecane jest zabieranie ze sobą liny, a jeszcze lepiej linek osobistych dla strażaków (od kilku do kilkunastu metrów długości), jednak ich używanie nie powinno być równoległe z używaniem linii gaśniczej: utrudnia bowiem pracę i jest zbędne, gdyż linia gaśnicza doskonale spełnia rolę oznakowania trasy przemieszczania się. Należy jednak używać liny w momencie konieczności rozdzielenia się partnerów z rotą. Alternatywnym rozwiązaniem do linki osobistej jest tzw. autorolka, zaprezentowana w dalszej części opracowania.

Istnieje kilka ogólnych zasad dotyczących przeszukania, które wypada tu przedstawić. Po **pierwsze**, przeszukanie ma na celu odnalezienie osób poszkodowanych w przestrzeniach zadymionych. Zależnie od możliwości dyktowanych liczebnością strażaków przy zdarzeniu oraz rozdziałem innych zadań, różna może być decyzja odnośnie dalszego postępowania po odnalezieniu osoby poszkodowanej. Czasem rota odnajdująca poszkodowanego wykona jego ewakuację. W innych przypadkach, może zapaść decyzja o kontynuacji działań gaśniczych i ewakuacji przez kolejną rotę, będącą w pogotowiu. Drugi przypadek może być uzasadniony np. kiedy sytuacja pożarowa wymusza kontynuację operowania prądem gaśniczym a dostępne wsparcie może dotrzeć po linii gaśniczej relatywnie szybko i ewakuować poszkodowanego w osłonie prądu gaśniczego. Innym razem, może istnieć możliwość ewakuacji poszkodowanego w pojedynkę przez strażaka charakteryzującego się wysoką tężyzną fizyczną oraz umiejętnościami, w osłonie prądem gaśniczym zapewnianej przez partnera z rotą, szczególnie gdy poszkodowany jest względnie drobnej budowy i niewielkiej wagi. Jeszcze innym razem sytuacja wymagać będzie współpracy dwóch (lub więcej!) rot w celu sprawnego usunięcia poszkodowanego ze strefy zagrożenia. Reasumując, **decyzja odnośnie taktyki działania musi zostać podjęta w czasie i ma miejscu zdarzenia**. Intencją tego opracowania nie jest wskazywanie na zasadność któregoś z wymienionych rozwiązań, a jedynie pokazanie sposobów i technik wykonywania przeszukania.

Po drugie, każde zdarzenie wymaga przyjęcia pewnej stałej metodyki działania. W momencie wejścia do działań wewnętrznych strażacy muszą dokonać **przeszukania zasadniczego (właściwego)**. Oznacza to, że w miarę możliwości przeszukanie to musi być możliwie najdokładniejsze, bowiem zwiększa to szanse na wcześniejsze odnalezienie i ewakuację osób poszkodowanych. Jednocześnie strażacy prowadzący działania wewnętrzne nie mogą zapominać o bieżącej sytuacji pożarowej. Inspektor John McDonough, starszy oficer z Departamentu Straży w Sydney (Australia), twierdzi, że w tamtejszym departamencie do zdarzeń wysyłane są zawsze co najmniej dwie rotę: gaśnicza i poszukiwawcza. Obie rotę wyposażone są w linie gaśnicze, ale ich cele i zadania są inne. Zadaniem pierwszej jest jak najszybsze ugaszenie źródła pożaru. Zadaniem drugiej jest jak najszybsze przeszukanie pomieszczeń i odnalezienie ewentualnych poszkodowanych. Rota gaśnicza nigdy nie ignoruje poszkodowanego. Rota poszukiwawcza nigdy nie ignoruje pożaru. Podobna filozofia powinna przyświecać działaniom wewnętrznym, nawet jeśli w działaniach bierze udział tylko jedna rota. Nawet jeśli naszym celem jest przeszukanie, to pamiętajmy, że szybkie ugaszenie pożaru usuwa przyczynę trudności. W krótkim czasie pozwala poprawić warunki temperaturowe, widoczności a także stężenia gazów szkodliwych oraz tlenu. W międzynarodowym gronie strażaków przyjęto mówić o tzw. „filozofii pola kukurydzy”.

FILOZOFIA POLA KUKURYDZY.

Załóżmy, że rodzic wraz z dzieckiem robią piknik na łące nieopodal pola kukurydzy. Po polu jeździ kombajn, ponieważ trwają żniwa. Nagle dziecko wbiega na pole kukurydzy i ginie z widoku rodzica. Również operator kombajnu nie będzie w stanie dostrzec dziecka wśród wysokich roślin. Rodzic nie może zawołać dziecka, gdyż jego zmysły zakłóca praca kombajnu. Rodzic ma dwa wyjścia:

- przeszukiwać pole kukurydzy nie widząc dziecka, licząc na to, że w którymś momencie uda mu się dziecko odnaleźć i wynieść z pola zanim kombajn na nie najedzie.
- zachowując ostrożność dotrzeć do kombajnu, poinformować jego operatora o problemie i zatrzymać kombajn, tym samym zatrzymując aktywne zagrożenie a następnie odszukać dziecko mając lepsze warunki działania.

W tym porównaniu rodzic jest strażakiem, dziecko osobą poszkodowaną, kombajn jest pożarem a łany kukurydzy to zadymienie. W przypadku trudnych decyzji lub ograniczonych sił i środków, najlepiej zawsze najpierw dążyć do ugaszenia pożaru [106]. Przeszukiwanie pomieszczeń bez podjęcia próby gaszenia jest stawianiem na działanie w trudniejszych warunkach, przy ciągłym zagrożeniu ze strony aktywnego pożaru i braku możliwości skorzystania ze zmysłów w celu ułatwienia odnalezienia osoby poszkodowanej. Z tego samego powodu wsparcie przeszukania wykorzystaniem termowizji znacznie zwiększa szanse powodzenia.

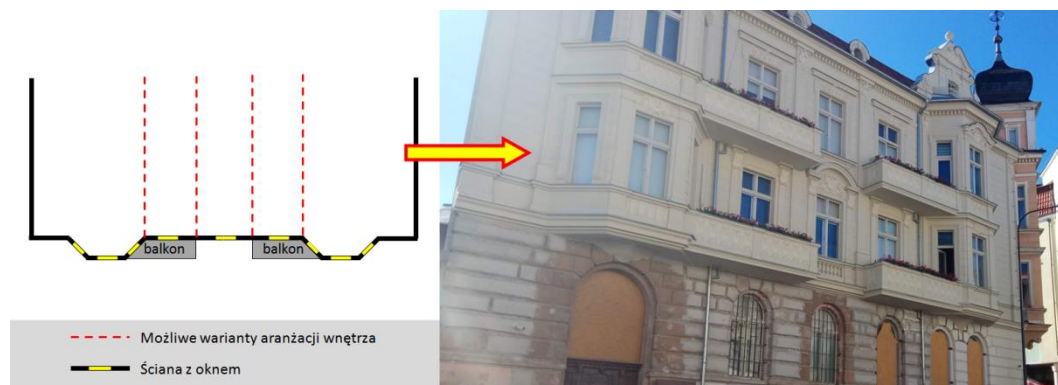
Jak mawia prof. Stefan Svensson, „Kiedy zgasisz pożar, zazwyczaj wszystkie twoje problemy same się rozwiązują”.

Po trzecie, po zakończeniu działań należy dokonać **przeszukania sprawdzającego**. Wykorzystując dobre warunki należy raz jeszcze bardzo dokładnie i metodycznie sprawdzić wszystkie miejsca objęte działaniami a czasem również ich sąsiedztwo. Bez takiego sprawdzenia **strażakom nie wolno zameldować o zakończeniu działań i opuścić miejsca zdarzenia**.

Praktycznie niezależnie od sposobu pracy istnieją pewne stałe elementy. Zostaną one opisane poniżej. Następnie, w kolejnych podrozdziałach przedstawione zostaną cechy specyficzne każdego prezentowanego sposobu.

Jedną z ważniejszych zasad przeszukania jest utrzymanie orientacji. Wysiłki skierowane na to powinny rozpocząć się jeszcze przed wejściem do obiektu. W ramach rozpoznania cech budynku (B w modelu **BE-SAHF** – patrz **ROZDZIAŁ 3.1.**) należy ocenić cechy charakterystyczne, aby z dozą prawdopodobieństwa móc przyjąć pewne założenia:

- Jaki jest to typ obiektu, o jakim przeznaczeniu i jakiej powierzchni? Czy jest to dom jednorodzinny, blok mieszkalny czy może hala magazynowa lub inny budynek? Obejrzenie gabarytów zewnętrznych (rozpoznanie 360°), rozkładu okien, kształtu budynku, liczby kondygnacji itd. może dać wyobrażenie na temat wielkości pomieszczeń, ich wyposażenia wpływającego na poziom trudności przemieszczania się, punktów orientacyjnych itd. W znakomitej większości przypadków przeszukiwane pomieszczenia mają kształt **czworokąta**. Istnieją jednak budynki, które z przyczyn estetycznych mają inne kształty zewnętrzne a co za tym idzie również inne kształty pomieszczeń. Obejrzenie budynku z zewnątrz powinno być wstępem do każdego przeszukania.



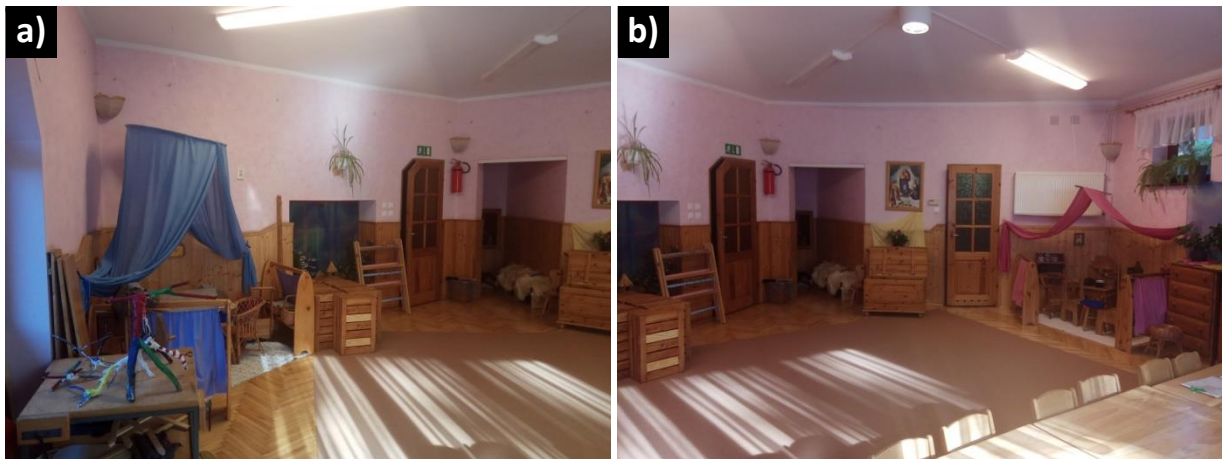
Fot. 114: Widok na budynek z zewnątrz może dać wyobrażenie odnośnie kształtu pomieszczeń. W pokazanym przypadku pomieszczenia nie są czworokątami. Dodatkowo, przerywane linie sugerują, w którym miejscu można spodziewać się ścian działowych.



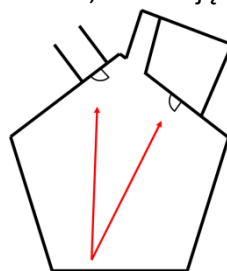
Fot. 115: Widok z zewnątrz pozwala zauważyć, że zależnie od kondygnacji pomieszczenia będą miały nieco inne kształty oraz rozkład okien, które są punktami orientacyjnymi.



Fot. 116 a-b: Widok z zewnątrz budynku pozwala zauważyć, że niektóre pomieszczenia będą miały ściany o kształcie łuku. Należy tę informację zapamiętać przed wejściem do pomieszczenia w celu przeszukania, aby uniknąć dezorientacji. Wpłyne to również na opisaną poniżej metodę liczenia ścian w pomieszczeniu. Inne budynki mogą posiadać ściany usytuowane pod innymi kątami niż kąt prosty.

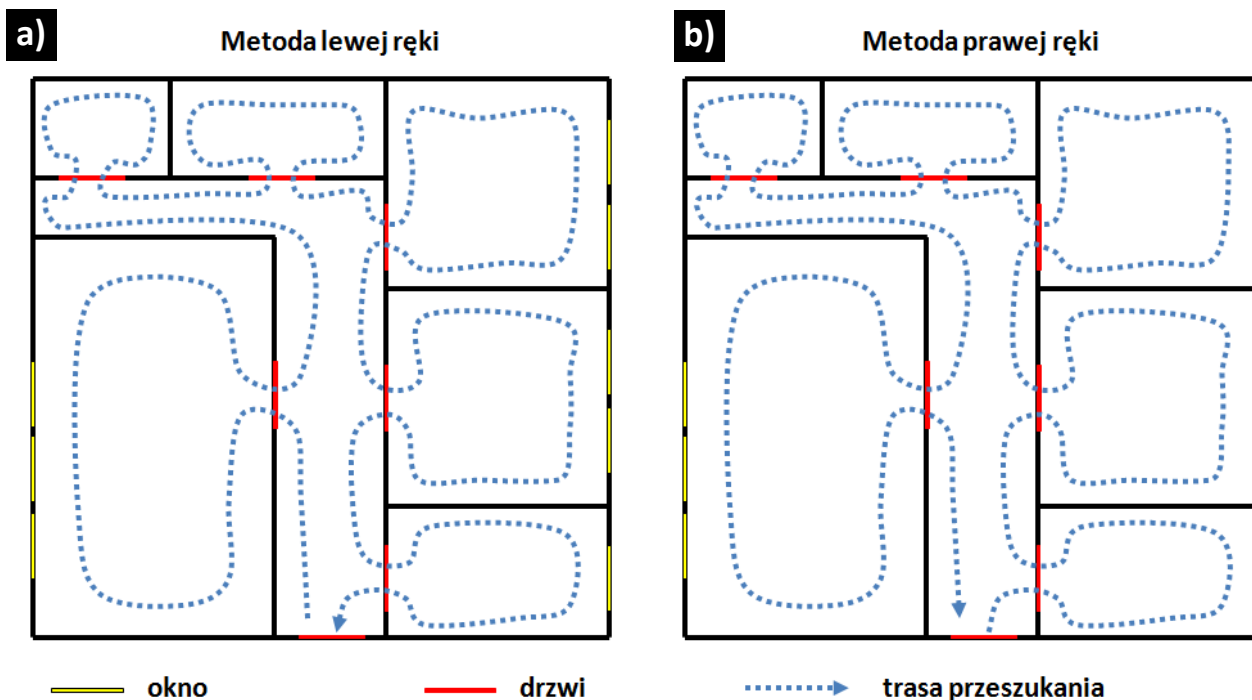


Fot. 117 a-b: Przykład pomieszczenia o kształcie innym, niż czworokąt. Pokazane na zdjęciu pomieszczenie jest salą zabaw w przedszkolu. Ma kształt pięciokąta, a do tego posiada jedną wnękę i drzwi prowadzące do kolejnego pomieszczenia, zawierającego toalety dla dzieci.



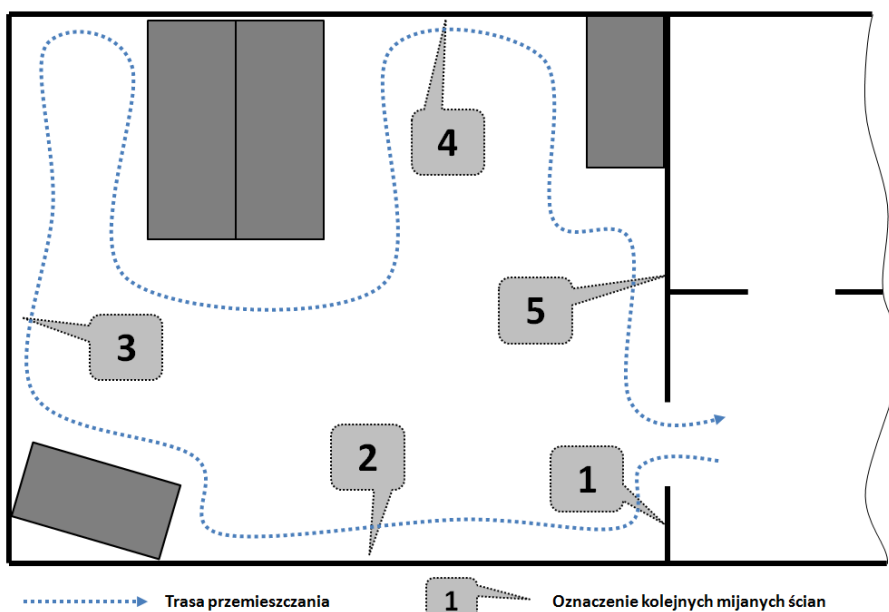
Rys 80: Kształt pomieszczenia pokazanego na **Fot. 117 a-b**. Strzałkami zaznaczono kierunki wykonana powyższych zdjęć. Nieregularna i niespodziewana konfiguracja przestrzeni może przysporzyć sporo trudności przy przeszukaniu.

- Rozpoczynając przeszukanie obiektu należy wybrać sposób oraz metodę i konsekwentnie trzymać się ich do momentu zakończenia przeszukania. Jako sposób rozumiemy tu działanie dyktowane dostępnym sprzętem (przeszukanie z linią gaśniczą i kamerą termowizyjną, bez kamery termowizyjnej z samą linią, bez linii gaśniczej z linką lub bez tych przyrządów). Jako metodę rozumiemy przyjętą kolejność postępowania. Rozróżniamy metody **prawej** oraz **lewej ręki** i metodę **wybiórczą**. Dwie pierwsze metody oznaczają, że po wejściu strażacy zaczynają się kierować wzdłuż ścian z lewej lub prawej strony i kontynuują tę metodę pracy aż do końca. (patrz **Rys. 81**). Metoda wybiórcza stosowana jest wtedy, kiedy istnieją informacje odnośnie lokalizacji osoby poszkodowanej lub źródła pożaru a celem jest jak najszybsze sprawdzenie tych wskazanych miejsc. Wówczas strażacy kierują się w owe miejsca. W przypadku nieodnalezienia osób lub źródła pożaru zaleca się, aby rozpoczęli sprawdzanie wykorzystując jedną z pozostałych metod. Przeszukując wnętrze należy w pamięci szkicować sobie jego mapę i zapamiętywać pomieszczenia i cechy charakterystyczne wewnątrz. Można też znakować przeszukane pomieszczenia znakiem na framudze (kreda czy marker) lub w inny sposób. Niektóre zagraniczne podręczniki proponują układanie np. krzesła we framudze przeszukanego pomieszczenia. Jeśli jednak pomieszczenie było zamknięte (niezadymione) przed rozpoczęciem przeszukania, to w celu uniknięcia dodatkowych strat zaleca się niepozostawianie go otwartego i zamknięcie po zakończeniu przeszukania. Warto również oznaczyć pomieszczenie np. kredą lub flamastrem, które strażak może nosić w kieszeniach ubrania specjalnego (i wykorzystywać np. również podczas działań z zakresu ratownictwa technicznego przy wypadkach drogowych itd.).

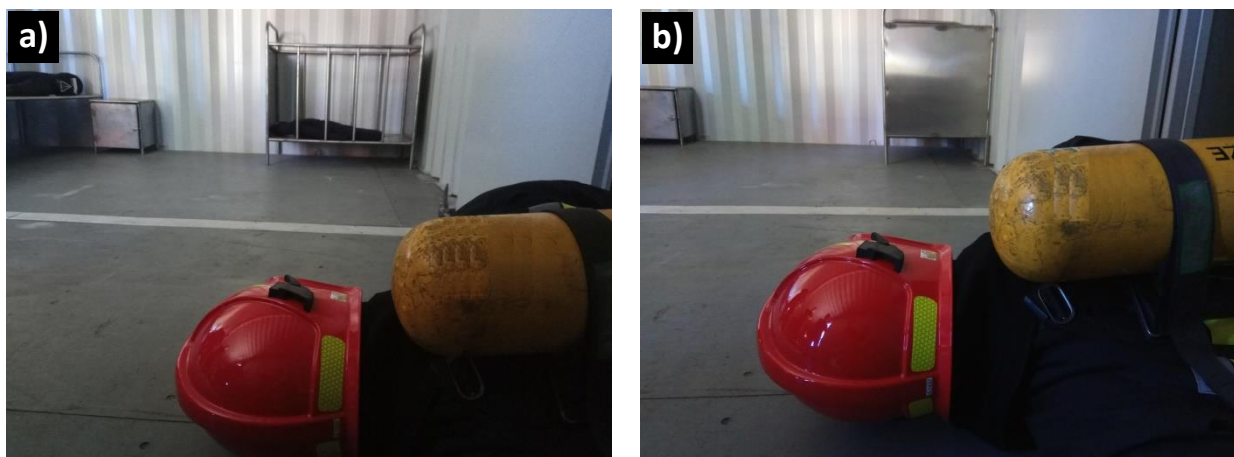


Rys. 81 a-b: Metoda lewej/prawej ręki podczas przeszukania. Po wejściu rota wybiera metodę a następnie konsekwentnie przemieszcza się mając ścianę po wybranej stronie. W razie dostrzeżenia źródła ognia lub osoby poszkodowanej strażacy podejmują odpowiednie działania, niemniej starają się zapamiętać układ wewnętrzny, aby przekazać owe informacje kolejnej rotie, która może ich podmienić. Metody te sprawdzają się jedynie wtedy, gdy strażacy wejdą i wyjdą tymi samymi drzwiami – jedynie wtedy można uznać, że całość pomieszczeń została przeszukana.

- Rozpoczynając przeszukiwanie każdego z pomieszczeń należy rozpocząć od położenia się na podłodze i obejrzenia pomieszczenia (skanowanie podłogi). Tu przyda się również latarka do oświetlenia zaciemnionych obszarów. Tego typu czynności są **zawsze komunikowane** pomiędzy członkami rot (komunikat: „*Sprawdzam podłogę!*”). Przeskanowanie pomieszczenia przy podłodze pozwoli na zidentyfikowanie wielkości i konfiguracji pomieszczenia oraz mebli, obecności poszkodowanych na podłodze czy też dostrzeżenie innych istotnych rzeczy. Tego typu czynność utrudniona jest przez strażackie ochrony (hełm i maska aparatu ograniczają zakres ruchu głowy przy podłodze), dlatego trzeba również manewrować ciałem. W związku z tym czynność wykonuje przodownik, podczas gdy pomocnik przejmuje na chwilę linię gaśniczą i pozostaje z tyłu (zobacz **Fot. 119**). Pomieszczenie nie jest przeszukane, dopóki nie zostanie całe sprawdzone. Ewakuacja poszkodowanego w trakcie przeszukania oznacza konieczność powrotu do pomieszczenia i dokończenia jego sprawdzania. Skanowanie podłogi należy wykonać również wtedy, kiedy strażacy wyposażeni są w kamerę termowizyjną. Spojrzenie z poziomu podłogi pozwoli na dostrzeżenie ewentualnych rzeczy, które mogą być niewidoczne podczas patrzenia z wyższego poziomu z uwagi na różne obiekty (zarówno wzrok jak i termowizja działają w linii prostej). („*Podłoga sprawdzona, nie ma poszkodowanych!*” lub „*czysto!*”). **WAŻNE:** jak wspomniano znakomita większość pomieszczeń ma kształt czworokąta. Zdarzają się jednak budynki, w których pomieszczenia mają inne kształty. Skanowanie podłogi może pomóc rozpoznać kształt pomieszczenia. Jest to istotne, bowiem dla utrzymania orientacji strażak powinien liczyć ściany w miarę okrążania wzdłuż nich pomieszczenia. Zwróćmy uwagę, że drzwi wejściowe do pomieszczenia dzielą ścianę, w której się znajdują, na dwie części. Toteż w praktyce, pomieszczenie o kształcie czworokąta będzie miało... **5 ścian!** (zobacz **Rys. 82**).



Rys. 82: W czterobocznym pomieszczeniu strażak mijając kolejne ściany naliczy ich 5, bowiem drzwi dzielą jedną ze ścian na 2 części. Jeśli drzwi są w rogu, wówczas strażak naliczy 4 ściany. Liczenie ścian pomaga w orientacji, niemniej konieczne jest znakowanie drzwi wejścia za pomocą narzędzia lub klina. W przypadku konieczności nagłej ewakuacji strażak liczący ściany wie, w którym mniej więcej kierunku ma się udać. Oczywiście powinien przede wszystkim mieć linię gaśniczą, po której znajdzie wyjście.



Fot. 118 a-b: Obejrzenie pomieszczenia może zapewnić szybko istotne informacje (po lewej widoczne dziecko w łóżeczku). Jednakże zależnie od usytuowania mebli zebranie informacji na tym etapie może być nieskuteczne. Dlatego należy po takim przeskanowaniu przejść do przeszukania.

- Po skanowaniu podłogi pomocnik przejmuje z powrotem linię gaśniczą a pomocnik wchodzi do pomieszczenia i sprawdza obszar za drzwiami („Sprawdź za drzwiami!” lub „Sprawdzam za drzwiami!”). Za chwilę drzwi zostaną zaklinowane w pozycji otwartej, więc sprawdzenie przestrzeni za nimi będzie trudne. Ta czynność pozwala wykluczyć obecność wnęk czy zagłębień za drzwiami oraz potencjalnych uszkodzonych. Następnie drzwi są klinowane za pomocą narzędzia lub klina. To ważna czynność, która zabezpieczy drogę odwrotu przed nieplanowanym zamknięciem a także pozwoli oznakować drzwi wejścia, które muszą jednocześnie być drzwiami wyjścia („Drzwi zaklinowane/oznaczone!”). **Dalszego przeszukania nie należy wykonywać za pomocą narzędzi!** Stwarza to ryzyko uderzenia osoby uszkodzonej i spowodowania lub pogłębienia obrażeń. Ręce i nogi strażaka najlepiej wyczują i rozpoznają odnajdywane obiekty lub uszkodzonych.



Fot. 119: Pomocnik przodownika wchodzi po pomieszczenia w celu sprawdzenia obszaru za drzwiami, podczas gdy przodownik zabezpiecza go za pomocą prądu gaśniczego.



Fot. 120: Drzwi sprawdzone i zabezpieczone a jednocześnie oznakowane za pomocą narzędzia halligan.



Fot. 121: Drzwi sprawdzone i zabezpieczone a jednocześnie oznakowane za pomocą klina (klin drewniany z pętlą własnej produkcji wykonany przez strażaków z JRG Łobez, woj. Zachodniopomorskie oraz Ośrodka Szkolenia KW PSP w Szczecinie z siedzibą w Bornem Sulinowie).

- Strażak mijający obiekty wewnątrz pomieszczenia takie jak szafki czy łóżka, powinien unikać ich przemieszczania. Wyjątek stanowi sytuacja, w której za takim meblem istnieje wnęka i trzeba go nieznacznie przesunąć, aby dokładnie sprawdzić tę przestrzeń. Wówczas po sprawdzeniu należy przywrócić mebel do wcześniejszej pozycji. Przeszukanie w okolicy mebli polega na sprawdzeniu przestrzeni **wokół** mebla: za nim (jeśli występuje taka przestrzeń), **przed** meblem, **pod** meblem, **nad** meblem lub na meblu (nie dotyczy np. szaf, na które trudno wejść) oraz **wewnątrz** mebla. (zobacz **Fot. 123 a-f**).



Fot. 122 a-b: Strażacy odnajdując mebel przeszukują przestrzeń pod nim. Zależnie od wymaganej głębokości przeszukania, może być konieczne sprawdzenie przestrzeni nogą (po prawej). Należy wtedy uważać, aby nie robić tego zbyt gwałtownie, aby nie uderzyć uszkodzonego. Sprawdzenie przestrzeni nogą daje większy zasięg, aniżeli ręką. Jeśli strażak sięga do połowy szerokości łóżka, to sprawdzając z obu stron ma pewność, że skontrolował całą przestrzeń. Linia gaśnicza leży w pobliżu i w miarę możliwości strażak utrzymuje z nią fizyczny kontakt. Na powyższych zdjęciach strażak pracuje w pojedynkę, ponieważ jest to technika przeszukania wahadłowego, wyjaśniona w **ROZDZIALE 4.12.2**.



Fot. 123 a-f: Sprawdzenie obiektów stanowiących wyposażenie wnętrza powinno przebiegać według **ustalonego schematu**. Kolejność nie jest najważniejsza, ale należy wszystkie opisane punkty. Zaproponowana kolejność na jedynie ułatwić zapamiętanie. Na początku strażak sprawdza mebel **dookoła**. Jeśli mebel wymaga odsunięcia (jak na zdjęciu) to należy go nieznacznie odsunąć, a po sprawdzeniu przestrzeni **za nim** ustawić ponownie w zastanej pozycji (pozwoli to uniknąć tworzenia bałaganu). Następnie strażak sprawdza przestrzeń **pod** obiektem. Niekiedy jest na tyle duża, że mogłoby pod nią chować się np. dziecko. W dalszej kolejności strażak sprawdza przestrzeń **nad** meblem (**na nim**). Na koniec, jeśli istnieje taka możliwość (mebel się otwiera) to należy sprawdzić również **wewnątrz** mebla. W trakcie przeszukania strażak stara się nie tracić fizycznego kontaktu z linią gaśniczą, jeśli to możliwe.



Fot. 124: Rozpoznając mebel należy mieć na uwadze jego przeznaczenie. Przykładowo, łóżka przeznaczone są do leżenia na nich, toteż przestrzeń na łóżku będzie miejsce, w którym można spodziewać się obecności osób. Jest to szczególnie uzasadnione w nocy.

- Jeśli w pomieszczeniu znajduje się łóżeczko dziecięce, to należy unikać wstawania i zagładania do niego z góry. Zarówno strażak jak i ewentualne odnalezione dziecko nie powinni przebywać w strefie zadymienia i gorąca. Przechylenie łóżeczka na siebie pozwoli na łagodne podjęcie dziecka i jego bezpieczniejszą ewakuację. (zobacz Fot. 125 a-f).



Fot. 125 a-f: Strażak odnajdując i rozpoznając łóżeczko dziecięce powinien **unikać wstawania** w celu zajrzenia do środka. W zamian, powinien powoli przechylić łóżeczko na siebie. Spowoduje to osunięcie się ewentualnie obecnego w nim dziecka w stronę podłogi. W ten sposób strażak będzie w stanie sprawdzić je pozostając blisko podłogi i uniknie przebywania w panującym wysoko zadymieniu oraz umieszczania w nim dziecka, które odnalazł w łóżeczku. Zasięg rąk oraz ewentualne pochylenie do przodu pozwolą na sprawdzenie całego łóżeczka. Strażak może wziąć dziecko w jedną rękę i ochronić własnym ciałem przed promieniowaniem cieplnym w trakcie wynoszenia go z pomieszczenia.

- Po zakończeniu przeszukania i powrocie do punktu wejścia należy zabrać narzędzie lub klin wykorzystane do zablokowania drzwi w pozycji otwartej a następnie zamknąć w miarę możliwości drzwi (zabezpieczenie przed powiększaniem strat wynikających z oddziaływania pożaru) oraz w miarę możliwości oznakowanie pomieszczenia jako przeszukane (np. za pomocą znaku na framudze wykonanego kredą lub flamastrem). W przypadku braku tego typu przedmiotów niezbędne będzie

przekazanie informacji o zakończeniu przeszukania danego pomieszczenia do kierującego akcją lub dowódcy nadzorującego odcinek bojowy.

- Pozostałe zasady postępowania zależą od przyjętego sposobu przeszukania i opisane są w kolejnych rozdziałach.

4.11.1. Przeszukiwanie pomieszczeń z użyciem kamery termowizyjnej

Termowizja jest technologią, która zyskuje coraz większe uznanie – i zastosowanie – w działaniach straży pożarnych. Nie jest to już technologia nowa, bowiem znana jest ludziom od kilku dekad. Jednak postęp technologiczny, miniaturyzacja i rozwijanie możliwości obrazowania czynią termowizję coraz bardziej nieodzownym narzędziem we współczesnym ratownictwie. Czasem jest nawet tak, że poznając możliwości tej technologii i usprawnienia wynikające z jej stosowania strażacy wręcz nie wyobrażają sobie pracy bez niej. Toteż całkiem słusznie zaczynają się pojawiać głosy, mówiące o konieczności posiadania kamer termowizyjnych w każdej JRG i na każdym Stanowisku Kierowania (KM, KW czy KG), dostępnej dla grup operacyjnych. Jednak, skoro mówimy hipotetycznie o co najmniej kilkuset urządzeniach w skali kraju i wejściu termowizji do kanonu narzędzi podstawowych, to czy wiemy wystarczająco dużo, aby wybrać odpowiednią kamerę a potem skutecznie wykorzystywać jej możliwości?

Wedle nazewnictwa naukowego, proces obrazowania w paśmie podczerwieni o średniej długości fal (zakres 9 do 14 μm) nazywamy **termografią**. Owa technologia pozwala na odbiór promieniowania cieplnego, które emitują wszystkie ciała. Następnie zamienia owe promieniowanie na obraz podobny do fotografii. Ze względu na to, że oko ludzkie najlepiej odbiera kontrasty w odcieniach szarości, właśnie taki wzór kolorystyczny mają **termogramy**, czyli obrazy z termowizji. Jest to też wymogiem stawianym przez jeden z nielicznych (o ile nie jedyny) na świecie standardów – **NFPA 1801**, opisujący kamery termowizyjne dla straży pożarnych. [107]

Czy istnieje kamera termowizyjna zdolna do wytrzymania wszystkich niekorzystnych warunków, jakie napotykają strażacy podczas swej pracy? Urządzenie elektroniczne potrafiące wytrzymać traktowanie ogniem i wodą, zabrudzenie, uderzenia mechaniczne itd.? Charakter strażackich akcji powoduje, że kamera na **pewno zostanie** zalana, nagrzana, rzucona, nadepnięta, spadnie z wysokości i będzie pracować w zapyleniu. Czy jakiegokolwiek urządzenie elektroniczne jest w stanie wytrzymać takie traktowanie?

Wspomniany standard NFPA 1801 od wielu lat stawia coraz bardziej wygórowane wymagania kamerom przeznaczonym dla strażaków. O ile nie jest w Polsce wymogiem, o tyle stanowi dobry punkt odniesienia podczas oceny faktycznej użyteczności danego urządzenia i pomaga zwrócić uwagę na istotne aspekty funkcjonalności. Trzeba zaznaczyć, że na rynku można znaleźć kamery **spełniające wymogi** tej normy lub **wykonane zgodnie z postanowieniami** tej normy, na co warto zwrócić uwagę przy wyborze kamery. Obecnie produkowane kamery, na mocy wspomnianego dokumentu oraz przyjętych standardów, spełniają na ogół poniższe wymagania:

- Kamery charakteryzują się podobną funkcjonalnością niezależnie od producenta,
- Kamery posiadają duży zielony przycisk zasilania (łatwy do zidentyfikowania, wyróżniający się pośród pozostałych przycisków),
- Istnieje możliwość zaczepienia kamery do ubrania strażackiego lub innego elementu.
- Istnieje możliwość operowania w rękawicach pożarniczych użyciem jednej ręki.
- Kamera wyświetla obrazy w trybie odcieni szarości – uproszczony tryb obrazowania, zapewniający podstawowe informacje i prosty, szybki odczyt.
- Kamera wykorzystuje odcienie kolorów: czarnego (szarości), żółtego, pomarańczowego oraz czerwonego.
- Kamera posiada ikonę ostrzegającą przed przegrzaniem (i następującym wówczas wyłączeniem kamery).
- Najczęściej kamera zawiera skalę kolorystyczną do szacowania wartości numerycznej temperatury.
- Kamera powinna posiadać obudowę zapewniającą stopień ochrony na poziomie IP 67 (pyłoszczelna, odporna na zanurzenie w wodzie do 30 minut), w przeciwnym razie mogą wystąpić przeciwwskazania do używania jej w środowisku pracy, z którym spotykają się strażacy.
- Zależnie od modelu kamera może posiadać tryb rozszerzony (tzw. *plus mode*) oferujący dodatkowe funkcjonalności.

Wspomniana norma przewiduje dosyć gruntowne sprawdzenie trwałości wykonania kamery. Testowana jest jej wytrzymałość w wysokich temperaturach. Wykonywana jest też próba ogniowa (ekspozycja na płomień palnika), test wytrzymałości na uderzenia i wibracje oraz test upadku z wysokości na betonową podłogę. Kamera jest również testowana poprzez zanurzenie w wodzie (test na wodoszczelność) a także sprawdzana jest jej odporność na korozję. Wymagania stawiane są także wyświetlaczom (odporność na przetarcia powierzchni i rysy) oraz etykietom i oznakowaniom, które muszą mieć odpowiednią trwałość. Kamera powinna również zapewniać łatwe i komfortowe chwytywanie w rękawicach pożarniczych z pozycji wiszącej (przy wykorzystaniu retractora lub paska do wieszania na szyi lub na ramieniu). Jednocześnie zapewnia to m.in. możliwość łatwego przekazywania kamery innemu operatorowi. Kolejnym elementem ułatwiającym współpracę i poprawiającym ergonomię jest rękojeść, dzięki której unika się między innymi trzymania ręki wysoko w wymuszonej i męczącej pozycji.

Wśród cech ułatwiających użytkowanie z pewnością znajdzie się duży ekran, wysoka rozdzielczość czy możliwość robienia zdjęć i/lub nagrywania filmów. Rzeczywiście, możliwość rejestracji zdjęć lub filmów pozwala na lepszą analizę zdarzeń lub ćwiczeń. Przykładowo, z tego właśnie powodu trenerzy dostarczane do szkół i ośrodków szkolenia PSP na terenie całego kraju zostały wyposażone w kamery termowizyjne z możliwością rejestracji przebiegu ćwiczeń a w programie szkolenia wpisano konieczność rejestracji przebiegu scenariuszy i analizę wybranych fragmentów w celu doskonalenia technik pracy strażaków.

Dosyć ważnym elementem ergonomii pracy jest możliwość patrzenia na ekran kamery znajdujący się na wysokości wzroku. Niektóre kamery nie posiadają takiej możliwości, co czyni pracę z nimi mniej ergonomiczną. Utrudnia to również a czasem wręcz uniemożliwia zastosowanie zalecanej techniki pracy polegającej na skanowaniu badanej przestrzeni w celu uniknięcia pominięcia pewnych obszarów z powodu ograniczonego pola widzenia (parametr o nazwie: FOV, z ang. *field of view*) kamery termowizyjnej. Pole widzenia jest ważnym parametrem – wpłynie ono bardzo na wygodę pracy a także zdolność do skutecznego przeszukania obszarów silnie zadymionych bez ryzyka przeoczenia pewnych obszarów. **Pole widzenia człowieka wynosi około 270 stopni.** Oznacza to, że kamera termowizyjna pokazuje nam zaledwie jedynie część tego, co widzimy naturalnie za pomocą wzroku. Kamery strażackie charakteryzują się polem widzenia rzędu 37 stopni w pionie oraz 50 stopni w poziomie. Niektóre kamery oferowane obecnie strażakom mają dosyć mały zakres widzenia, co znacznie wpływa na ich funkcjonalność podczas działań w całkowitym zadymieniu (ryzyko przeoczenia niewielkich obiektów: mała ręka dziecka, butla z gazem w pobliżu ogniska pożaru itd.). Tego typu elementy należy rozważać na etapie decyzji o zakupie konkretnej kamery.

Można zatem zaryzykować stwierdzenie, że środowiskiem stawiającym najwyższe wymagania strażackim kamerom będzie środowisko pożaru wewnętrznego. Zatem kamera spełniająca wymagania stawiane kamerom do pracy w tego typu środowisku będzie najbardziej uniwersalnym narzędziem, w jakie warto zainwestować. Przy tej okazji warto powiedzieć, że takie kamery posiadają najczęściej dwa tryby czułości. Wysoki tryb czułości, czyli tryb pracy z niższymi temperaturami, pozwala na obrazowanie większej ilości szczegółów w otoczeniu niższych temperatur (do około 150°C). Tryb niższej czułości, przeznaczony do obrazowania środowiska o wyższych temperaturach, włączy się automatycznie w momencie wypełnienia obrazu gorącymi obiektami i pozwoli na lepsze ich rozróżnienie. Zazwyczaj tryb umożliwi obrazowanie obiektów o temperaturze niższej niż 1000°C (w praktyce około 700°C). Zmiana trybów jest zauważalna poprzez nagłą (skokową) zmianę kolorów i odcieni na wyświetlaczu. Dodatkowo w lewym górnym rogu pojawi się trójkąt, który pozostanie tam przez cały czas pracy kamery w tym trybie. To ważna informacja, bowiem interpretacja obrazu z kamery musi uwzględniać również tryb pracy. Dodanie trzeciego trybu pracy (powyżej 1000°C) nie zawsze jest korzystne, bowiem **kamera termowizyjna nie jest termometrem** i nie powinna być tak traktowana. Jest narzędziem, które w wyniku szeregu procesów upraszcza i uśrednia informację, przekładając ją na szacowaną temperaturę. Również odczytanie konkretnej wartości temperatury z wyświetlacza nie powinno być głównym celem, bowiem ta wartość dotyczy małego obszaru położonego w centrum ekranu, oznaczonego krzyżykiem lub rombem (lub w innych trybach wyświetlania – np. tryb „najgorętszy punkt” – za pomocą dodatkowego punktu pomiarowego pojawiającego się na wyświetlaczu). Zatem wyższa wartość górnej granicy zakresu pomiarowego nie jest kluczowym parametrem. Dodatkowo, **niska czułość**, załączająca się przy wypełnieniu obrazu obiektami o tak wysokiej temperaturze, **spowoduje niską dokładność** wyświetlania i „zlewianie się” obiektów oraz „ślepotę” kamery na obiekty o znacznie niższej temperaturze. Może to być powodem przeoczenia istotnych detali. Kolejny ważny parametr związany z charakterystyką wizualną obrazu to częstotliwość odświeżania. Aby kamera

pracowała w sposób płynny dla ludzkiego oka parametr ten powinien wynosić więcej niż 30Hz, czyli niż dla zmysłu wzroku ludzkiego. Niższe wartości powodują brak płynności obrazu. Wartość 60Hz zapewnia wysoki komfort pracy.

Mając na uwadze szereg powyższych informacji należy pamiętać, że nie każda kamera termowizyjna sprawdzi się w każdej sytuacji. W związku tym należy rozróżnić dwa główne typy kamer:

- **sytuacyjne** (*situational awareness*), czyli pomagające utrzymać orientację sytuacyjną, wspierające przeszukiwanie;
- **taktyczne** (*tactical decision-making*), czyli pozwalające podejmować decyzje taktyczne w oparciu o dokładne i wyraźne termogramy i obserwację zjawisk konwekcyjnych.

Tego podziału zaczęli dokonywać sami producenci na swoje wewnętrzne potrzeby, natomiast jako pierwszy w sposób merytoryczny i metodyczny zaczął omawiać go **Andrew Starnes**, oficer straży ze Stanów Zjednoczonych, jeden ze współtwórców niezwykle interesującego projektu badawczego **Kill The Flashover**. Projekt ten opiera się na badaniu, rozumieniu i doskonaleniu trzech filarów działań podczas pożarów wewnętrznych: zarządzania przepływami, termowizji oraz dodatków do wody poprawiających jej skuteczność gaśniczą. [108]

Wracając do podziału urządzeń, kamery sytuacyjne są mniej skomplikowane i posiadają niższe parametry. Są przez to tańsze, ale zupełnie jak wszędzie indziej – „dostajesz to, za co płacisz”. Kamery taktyczne z kolei, bardziej zaawansowane, mają ujednoczony sposób wyświetlania informacji na ekranie. Pokazują stan naładowania baterii na dole ekranu, pasek temperatur w bocznej części (prawa strona) czy wynik pomiaru temperatur mierzony w punkcie centralnym oznaczonym symbolem (krzyżyk, romb itp.). Do tego w górnym lewym rogu znajduje się informacja o trybie pracy (w trybie niższej czułości pojawia się zielony trójkąt). W momencie przegrzania na ekranie pojawia się ostrzeżenie, że kamera wkrótce się wyłączy.

Na rynku pojawiło się sporo kamer sytuacyjnych. Niektóre są przeznaczone do trzymania w rękach, inne wkomponowane np. w aparat powietrzny butlowy, maskę lub nawet hełm za dodatkową opłatą. Kamery te są bardzo różne, jeśli chodzi o budowę czy wielkość, niemniej posiadają często zbliżoną funkcjonalność. Inne z kolei odstają od reszty, a wynika to głównie z tego, czy kamerę wykonano zgodnie z zapisami NFPA 1801 czy nie (kamery sytuacyjne co do zasady nie są z ową normą zgodne, jednak niektóre są wyraźnie lepsze od innych mając na uwadze istotne parametry urządzenia). **Kamery sytuacyjne służą przede wszystkim zapobieganiu dezorientacji i są podstawowym wsparciem przeszukiwania.** Z uwagi na stosunkowo niską cenę są bardziej dostępne i istnieje większa szansa wyposażenia rotę udającej się np. do wewnętrznych działań gaśniczych w tego typu kamerę. Niemniej należy bardzo świadomie podejść do możliwości tej kamery i cały czas mieć na uwadze wspomniany powyżej podział urządzeń według ich funkcjonalności. **Kamera sytuacyjna nie będzie odpowiednia do** rozpoznania warunków, przeszukiwania pomieszczeń i rozpoznania pod kątem operowania prądami gaśniczymi. Można wskazać trzy główne powody tego typu ograniczeń:

- **Niższa rozdzielczość**, na ogół rzędu 160x120 (z pewnymi wyjątkami). Daje to łączną liczbę około 19 tysięcy pikseli na wyświetlaczu, podczas gdy wymagania stawiane kamerom przez normę NFPA 1801 (rozdzielczość 320x240) dają minimalną liczbę pikseli rzędu 80 000! W efekcie patrzenie na obiekty z odległości większej niż około 2 m powoduje ograniczenie możliwości dostrzegania detali. Dla porównania, ten sam poziom detalu przy wykorzystaniu kamery z rozdzielczością 320x240 można dostrzec z około 4,5 metra. Dostrzeżenie nogi czy ręki osoby poszkodowanej lub zagrożenia z powodu obecności butli z gazem może być utrudnione – a to przecież zasadnicza różnica. Owszem, mieć kamerę sytuacyjną a nie mieć żadnej to też zasadnicza różnica, niemniej trzeba być bardzo świadomym zarówno możliwości jak i ograniczeń posiadanego sprzętu.
- Kolejnym parametrem, który jest mocno połączony z kolejnym, jest **szybkość procesora i częstotliwość odświeżania obrazu**. Większość kamer sytuacyjnych plasuje się pomiędzy 9 i 16 Hz. Nieliczne osiągają wartość 30 Hz. Ludzkie oko widzi z częstotliwością rzędu 27 Hz. Herz jest to liczba klatek na sekundę. Obraz wyświetlany z częstotliwością mniejszą niż 30 Hz będzie zatem rozmywał się lub klatkował. Przy dynamicznych ruchach, jakie niemal zawsze towarzyszą prowadzeniu działań (w szczególności wewnętrznych działań gaśniczych) spowoduje to duże ryzyko przeoczenia istotnych elementów! W połączeniu z niską rozdzielczością będzie niemal zawsze wiązało się z niedokładnym przeszukiwaniem. Znając tendencję do całkowitego opierania się o wykorzystywaną technologię u większości strażaków, niepoprawne wykorzystanie kamer sytuacyjnych może mieć fatalne skutki. Przeciwdziałać im można jedynie poprzez gruntowe przeszkolenie. Również w przypadku posiadania

przez kamerę różnych trybów czułości, wolny procesor potrzebował będzie nawet do 4 sekund na przełączenie trybu! W warunkach działań ratowniczo-gaśniczych jest to czas, którego strażak na ogół nie ma!

- Z nielicznymi wyjątkami kamery sytuacyjne posiadają **małe ekrany**. Ponownie, dostrzeżenie szczegółów będzie utrudnione lub niemożliwe. Wprawdzie wzmocnienie obrazu w przypadku niektórych kamer (technologia nakładająca kontury z obrazu tradycyjnego na obraz termowizyjny) może przeciwdziałać tym niepożądanym efektom, jednak ponownie należy zwrócić uwagę na krytyczne znaczenie dobrego wyszkolenia dla skutecznego korzystania z kamer termowizyjnych wszelkiego rodzaju.

Kamery sytuacyjne, z powyższych przyczyn, nie są zalecane do rozpoznania (w tym rozpoznania 360), podejmowania decyzji o możliwości wejścia do działań wewnętrznych, do przeszukania oraz do wsparcia operowania prądami gaśniczymi. Owszem, niektóre z nich posiadają lepsze parametry od pozostałych, lecz są to wyjątki. Do czego zatem można używać kamer sytuacyjnych? Te urządzenia sprawdzą się doskonale do zapobiegania dezorientacji, a z uwagi na niższy koszt mogą łatwiej dostępne dla większej liczby strażaków. Mogą być też używane obok kamer taktycznych, gdzie dowódca dokona rozpoznania czy przeszukania a strażak ze słabszą kamerą, pod kierunkiem dowódcy, wykona zleczone czynności mając dodatkowe wyposażenie służące utrzymaniu orientacji.

Kamery sytuacyjne często wykorzystują różne palety kolorów, które mogą wprowadzać zamieszanie. Podstawowa paleta kolorów obrazująca obszary między „zimnym” a „gorącym” (czarny, szary, biały, żółty, pomarańczowy i czerwony) jest intuicyjna i znana. Inne palety mogą mylić i powodować podejmowanie błędnych decyzji. Dodatkowo, dokładność ich pomiaru jest niska (współczynnik „*distance to spot*” czyli odległość do wielkości punktu pomiarowego wynosi 10:1 – im dalej kamera od obiektu tym większe pole mierzy i uśrednia) a pomiar dokładny tylko z bliska. Niemniej, dokładny pomiar jest mniej istotny aniżeli możliwość identyfikacji obiektu.

Na koniec warto dodać, że z uwagi na ograniczenie pola postrzegania praca kamerą termowizyjną musi polegać na skanowaniu przestrzeni, a nie patrzeniu dany punkt. Istnieją różne zalecane metody skanowania, opisane w literaturze, ale mają wspólne cechy – kamera skanuje warunki podsufitowe, następnie przestrzeń przed strażakami a potem obszar przypodłogowy. Następnie zaleca się spojrzenie za siebie. Wykonanie skanu umożliwia przesunięcie się w kolejne miejsce i ponowne skanowanie. Taka metodyczna praca pozwoli na uniknięcie przeoczenia ważnych detali. Powolne przesuwanie kamery ustalonym z góry śladem (np. rysując literę „S” lub cyfrę 3) pomoże w sprawdzeniu wszystkich istotnych obszarów. [11, 109]

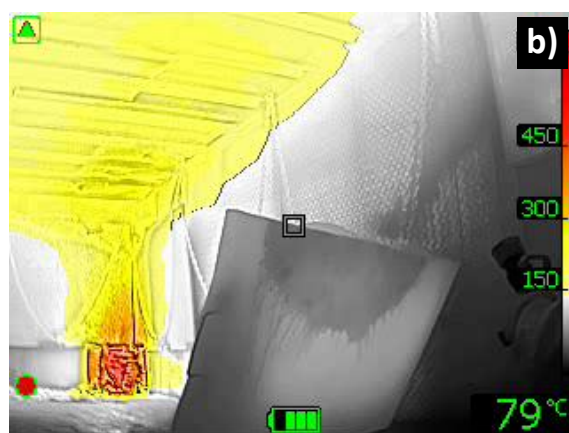
Istnieje dużo więcej informacji, jakie należałoby opisać, w celu kompleksowego omówienia zagadnienia, jednak nie sposób tego uczynić w ramach jednego rozdziału. Natomiast nie ulega wątpliwości, że jedynie gruntowne przeszkolenie pozwoli uzyskać płynność i skuteczność w wykorzystaniu termowizji.

| Tryb niskiej czułości kamery termowizyjnej. Uprozczone wskazówki do interpretacji wskazań. | | |
|---|---|---|
| ŻÓŁTY | POMARAŃCZOWY | CZERWONY |
| około 150-260°C | około 400-450°C | około 530-700°C |
| Zmiana na żółty, od jasnych odcieni do ciemniejszych | Zmiana na pomarańczowy, od jasnych odcieni do ciemniejszych | Zmiana na czerwony, od jasnych odcieni do ciemniejszych |
| Ogrzanie paliw, możliwa piroliza. Awaria maski przy około 230°C, zniszczenie tkaniny nomex przy około 300°C | Niektóre paliwa zapalają się automatycznie, możliwe zapłony gazów pożarowych (rollover), zbliża się rozgorzenie | Uszkodzenie butli aparatu, śmierć! |
| Skala temperatur zależeć będzie od producenta i modelu kamery. Są to wskazówki uśrednione, służące utrzymaniu orientacji sytuacyjnej przy korzystaniu z kamer termowizyjnych. | | |

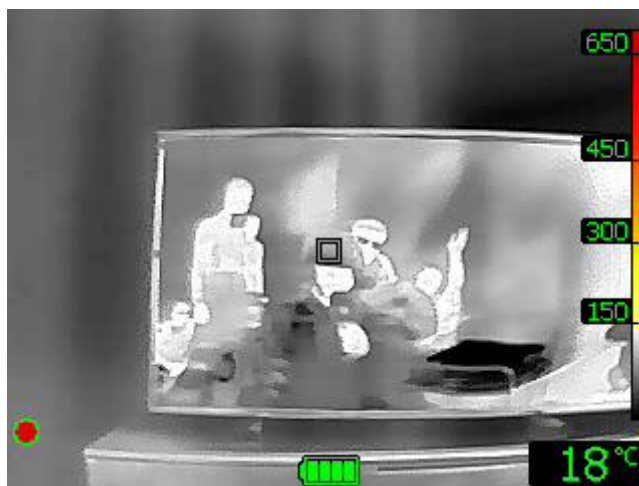
Rys. 83: uproszczony schemat interpretacji wskazań kamery termowizyjnej. [108]



Fot. 126 a-b: Klatki z kamery taktycznej: po otwarciu drzwi widać wypływ gorących gazów pożarowych. Kamera w wysokim trybie czułości. Widać też peryferyjny obrys stożka mgły, pustego w środku (prądownica z pierścieniem mgłowym).



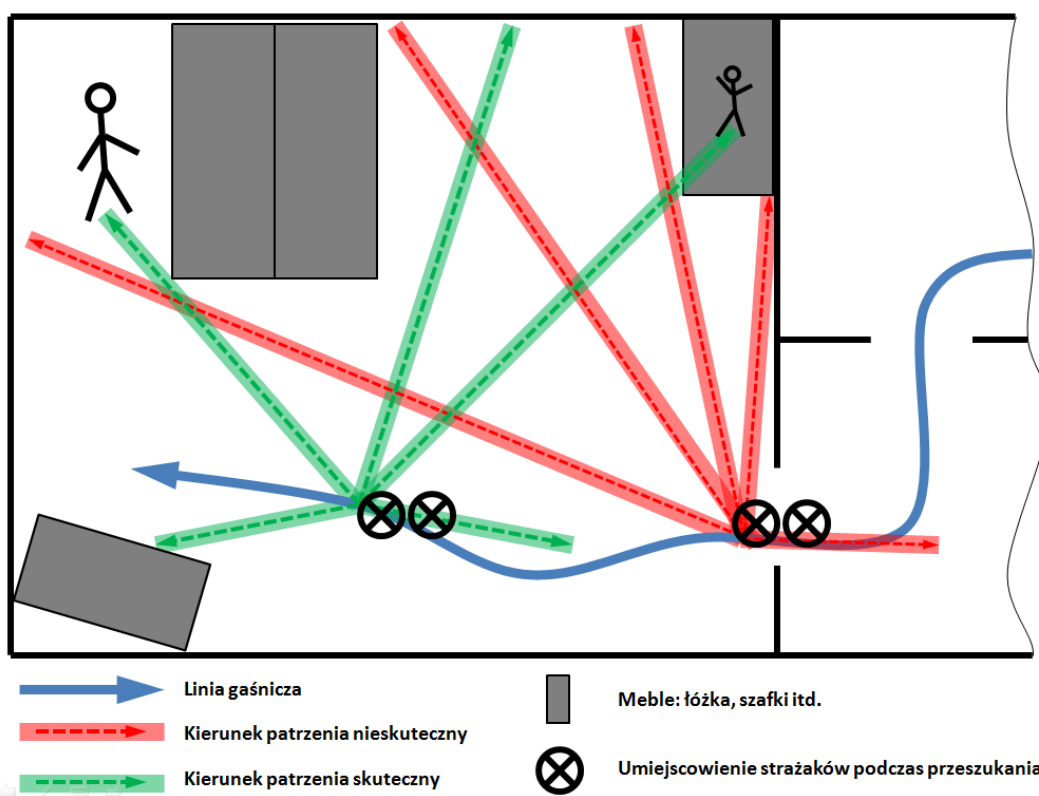
Fot. 127 a-b: różnice między wysokim (strona lewa) i niskim (strona prawa) trybem czułości. Zdjęcia wykonane w tym samym momencie, pokazujące ten sam widok.



Fot. 128: Tzw. „efekt ducha”, czyli strażacy odbijający się w gładkiej powierzchni telewizora.



Fot. 129: Po przeskanowaniu pomieszczenia przodownik pokazuje obraz z kamery termowizyjnej również pomocnikowi. Obejrzenie pomieszczenia pozwoli obu strażakom lepiej zachować orientację.



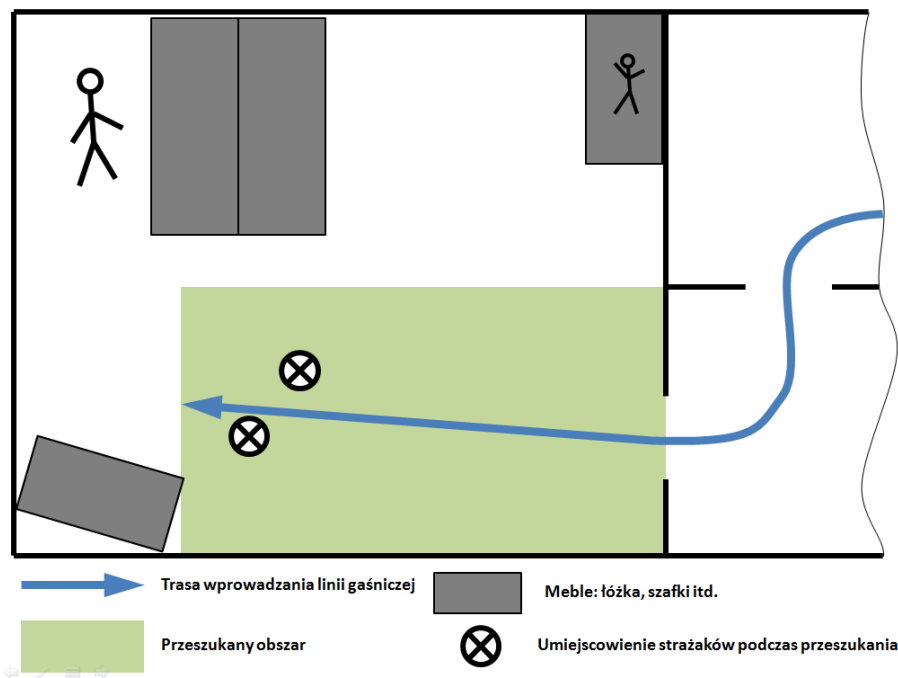
Rys. 84: Przemieszczanie się podczas przeszukania z kamerą termowizyjną i dokonywanie ponownego skanowania pomieszczenia jest niezbędne, aby upewnić się, że wszystkie zakamarki zostały sprawdzone.

4.11.2. Przeszukiwanie pomieszczeń z linią gaśniczą

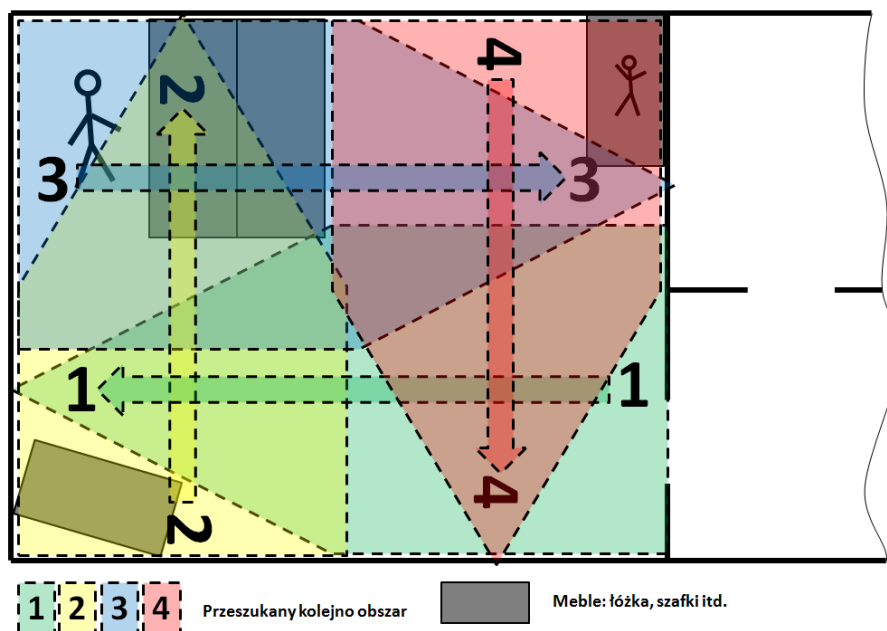
Przeszukiwanie z linią gaśniczą będzie najczęściej prowadzonym rodzajem działań. Przykłady tego typu działań można już było zaobserwować na **Fot. 122-125**. Można tu wyróżnić dwie zasadnicze metody przeszukania danego pomieszczenia. Pierwsza z nich zakłada przeszukiwanie wzdłuż ścian. Przeszukania pomieszczenia dokonuje rota. Druga zakłada przeszukiwanie tzw. wahadłowe. W tym przypadku przeszukania dokonuje jeden strażak. Poniżej zaprezentowano i omówiono oba sposoby przeszukania.

Przeszukanie wzdłuż ścian oznacza wejście roty do pomieszczenia z linią gaśniczą i kolejne sprawdzanie obszarów w danym pomieszczeniu. Wykorzystując metodę lewej lub prawej ręki strażacy rozpoczynają sprawdzanie. Jak wspomniano, zaczną od sprawdzenia przestrzeni za drzwiami (patrz **ROZDZIAŁ 4.12.**) oraz zaklinowania drzwi. Następnie przechodzą do przeszukania. Przemierzają się wzdłuż wybranej ściany, mając na uwadze następujące kwestie:

- Linia gaśnicza prowadzona jest w odległości **około 1,5 metra od ściany**. Jest to **średnia** odległość wynikająca z rozmiarów ciała ludzkiego, pozycji strażaka i dystansu, jaki tworzy jego ciało między linią gaśniczą a ścianą. Nogą utrzymuje kontakt ze ścianą, ręką trzyma i wprowadza linię gaśniczą. W razie potrzeby może ową linię szybko chwycić i wykorzystać. Niezależnie od tego, powinien co jakiś czas **schłodzić gazy pożarowe**, bowiem pracując w całkowitym zadymieniu powinien neutralizować zagrożenia wynikające z obecności dymu i gazów pożarowych. Ten sposób przemieszczania się ma na celu upewnienie się, że cała powierzchnia podłogi jest starannie przeszukana. (zobacz **Rys. 85** i **fot. 130**). Linię gaśniczą wprowadza przodownik roty, przemieszczający się przy ścianie. Stara się również badać ścianę ręką na wysokości powyżej 1m. W ten sposób może trafić na okno, parapet, grzejnik lub klamkę w drzwiach. Wykorzystując metodę **lewej ręki** przodownik używa **lewej** nogi do utrzymywania kontaktu ze ścianą i **lewej ręki do badania ściany**, natomiast **prawej ręki do wprowadzania linii gaśniczej**. Przy metodzie **prawej ręki** strony te są zamienione. Pomocnik, co opisano poniżej, przemieszcza się nieco z tyłu, po drugiej stronie linii gaśniczej. Taka kolejność gwarantuje utrzymanie odpowiedniego dystansu linii od ściany i uniknięcie przeoczenia jakiegoś obszaru podczas przeszukania.
- Drugi strażak przemieszcza się po drugiej stronie linii gaśniczej. Jego stopa zahacza o linię gaśniczą a rękę przeszukują przestrzeń po drugiej stronie pomieszczenia. Jego ciało bada kolejne 1,5 m (około) dając tym samym **około 3m szerokości przeszukania**. Dotarcie w ten sposób do ściany i wykonanie zwrotu a następnie przejście w podobny sposób wokół pomieszczenia gwarantuje przeszukanie powierzchni $6m \times 6m = 36m^2$. Jest to całkiem spory salon, który można przeszukać bez stosowania technik zwiększania zasięgu przeszukania. (**Rys. 85** i **86**)



Rys. 85: Schemat przeszukania z linią gaśniczą.



Rys. 86: Schemat przeszukania z linią gaśniczą. Widoczne obszary przeszukania nakładające się na siebie, co pozwala się upewnić, że nie pominięto żadnego fragmentu pomieszczenia.



Fot 130: Przodownik wprowadza linię utrzymując stały dystans od ściany. Stara się też co jakiś czas sprawdzać ręką ścianę na wysokości około 1m, aby wyczuwać charakterystyczne punkty (parapet, klamka drzwi itd.). Pomocnik przemieszcza się w sposób analogiczny z tyłu. Ewentualnie, może przemieszczać się na leżąco (jak na zdjęciu), aby zwiększać zasięg przeszukania. Ten sposób pracy (na leżąco) jest niewskazany w obiektach, w których można spodziewać się ostrych przedmiotów na podłodze (opuszczone budynki, squaty itd.).

- Jeśli natomiast chcemy **zwiększyć zasięg przeszukania**, wówczas należy stosować się do zasad pozwalających na utrzymanie orientacji. Niewielkie zwiększenie zasięgu można uzyskać poprzez położenie się na podłodze całym ciałem (zwiększenie zasięgu pojedynczej osoby z około 1,5 m do około 2,3 m). W celu znacznego zwiększenia zasięgu należy wykorzystać opisane poniżej techniki.

Na potrzeby opisanie owych technik wprowadza się hasło „**kotwiczenie**”. W tym przypadku oznacza to zatrzymanie się przez jednego ze strażaków w pozycji nieruchomej i powstrzymanie się od wykonywania jakichkolwiek znacznych ruchów, aby umożliwić drugiemu ze strażaków wykorzystanie ciała pierwszego strażaka, jako nieruchomego punktu orientacyjnego. Wykonanie wydłużenia zasięgu przeszukania poprzez **kotwiczenie** zostało pokazane na **Fot. 131** i wyjaśnione szczegółowo w opisie pod tymi zdjęciami.

KOTWICZENIE

W trakcie przeszukania strażacy mogą wykonywać czynności przy ograniczonej lub znikomej widoczności. W celu utrzymania orientacji a jednocześnie zwiększenia skuteczności przeszukania (dokładności, zasięgu itd.) wprowadza się pojęcie **kotwiczenia**. Pod tym pojęciem rozumiane będzie unieruchomienie strażaka, sprzętu lub zarówno strażaka jak i sprzętu, mające na celu stworzenie punktu orientacyjnego lub punktu odniesienia. Przykłady kotwiczenia opisane są w rozdziałach dotyczących przeszukania. Przykładowo, kotwiczenie linii gaśniczej dotyczy przeszukania **metodą wahadłową** natomiast kotwiczenie wykonywane przez strażaka dotyczy zarówno metody **prawej/lewej ręki** jak również przeszukania **bez linii gaśniczej**.

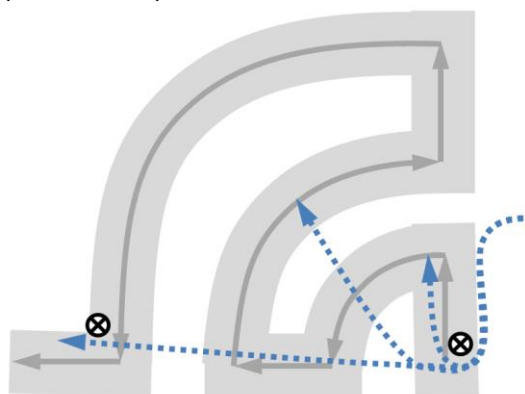


Fot. 131 Technika **kotwiczenia** wykonana podczas przeszukania z linią gaśniczą metodą **lewej ręki**. (porównaj z **Fot 130**). Przodownik rotę wydaje rozkaz zwiększenia zasięgu przeszukania. („*Zwiększamy zasięg, zakotwicz!*”) Pomocnik wykonuje kotwiczenie to znaczy pozostaje w bezruchu utrzymując kontakt z linią gaśniczą. Przodownik badając przestrzeń dłońmi przemieszcza się wzdłuż ciała pomocnika i wyczuwając kierunek ułożenia jego ciała dokonuje wydłużenia zasięgu przeszukania. Należy zwrócić uwagę, że taki sposób przeszukania pozwala sprawdzić pomieszczenie o szerokości do nawet około **6m!** Analogicznie do zasady przeszukania pokazanej na rysunku **86** pozwala to na przeszukanie pomieszczeń o powierzchni nawet do **144m²** (12 m x 12 m). Należy pamiętać, że skrajne możliwości tej metody wiążą się przede wszystkim ze znacznym czasem trwania. O wiele bardziej skutecznym i szybkim sposobem wydaje się w tym przypadku metoda **wahadłowa**, którą opisano poniżej.

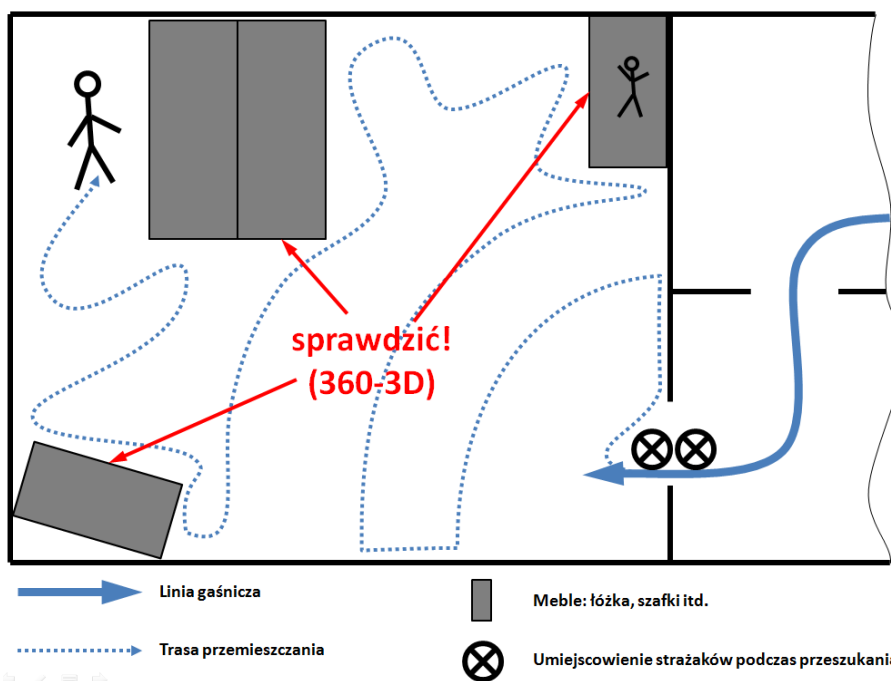
Inną metodą przeszukania z linią gaśniczą, jest **metoda wahadłowa**. Po wykonaniu czynności opisanych wcześniej (skanowanie podłogi, sprawdzenie przestrzeni za drzwiami, klinowanie drzwi) strażacy zaczynają przeszukiwanie. Przodownik wchodzi do pomieszczenia z linią gaśniczą natomiast pomocnik

pozostaje w drzwiach. Przodownik przemieszcza się około 1-1,5m w głąb pomieszczenia wzdłuż jednej ze ścian (np. tej, na którą otwarto i zaklinowano drzwi) a następnie wydaje polecenie zakotwiczenia linii. („Zakotwicz!”). Pomocnik unieruchamia linię gaśniczą, zapobiegając jej dalszemu wprowadzaniu w głąb pomieszczenia („Zakotwiczone!” lub „jest!”). Przodownik następnie przemieszcza się łukiem do usytuowanej prostopadłe ściany utrzymując wyprostowaną linię gaśniczą. Ruch ten przypomina ruch wahadła, stąd nazwa techniki. (**Rys. 87**). Następnie, po dotarciu do ściany, przodownik wydaje komendę do wydłużenia linii gaśniczej i przemieszcza się dalej w głąb pomieszczenia („Wypuść!”). Pomocnik w tym czasie kontroluje długość wypuszczonej linii gaśniczej, komunikując się z przodownikiem. Przykładowo, pomocnik może za każdym razem wydłużać linię o około 1m i przekazywać taki komunikat („Metr!”). Jak poprzednio, tak i teraz należy podkreślić, że stosowane przez strażaków hasła muszą być uzgodnione, aby były dobrze rozumiane. **Jedynie solidne przeciwiczenie gwarantuje biegiłość w wykonaniu tej, jak i innych technik.**

Podczas wykonywania tej metody strażak będzie napotykał obiekty w pomieszczeniu (głównie meble), które musi omijać. W związku z tym musi dostosowywać trasę przeszukania tak, aby nie opuścić żadnego obszaru. W tym celu będzie czasem musiał przesunąć się nieco do tyłu względem wciąganej linii, nie przerywając jednak jej naciągania. W innym momencie może być wymagane wysunięcie się naprzód względem wprowadzanej linii i sprawdzenie obszaru (zaułka, kąta itd.). Zmodyfikowany sposób przemieszczania się pokazano na **Rys. 88**, natomiast na kolejnych zdjęciach widać różne etapy przeszukania przy wykorzystaniu tej metody. (**Fot. 132 a-e**).



Rys. 87: sposób przemieszczania się w głąb pomieszczenia podczas wykorzystania metody wahadłowej przeszukania. Zasada ogólna.



Rys. 88: zmodyfikowany sposób przemieszczania się w głąb pomieszczenia podczas wykorzystania metody wahadłowej przeszukania. Omijanie przeszkód i przeszukiwanie obszarów, które łatwo pominąć.



Fot. 132 a-e: Kolejne etapy przeszukania metodą wahadłową. Ważne jest, aby sprawdzać zaułki i zakamarki, aby nie pominąć żadnego obszaru przy przeszukaniu.

Warto wspomnieć i jeszcze jednym elemencie pozwalającym usprawnienie pracy strażaków. Mowa o **lince osobistej**. Istnieje kilka różnych elementów wyposażenia, które mogą spełnić tę rolę, np.: linka, taśma czy tzw. autorolka. Wykorzystując taki dodatkowy element wyposażenia, strażak jest w stanie odłączyć się na chwilę od partnera z rotacji, bez utraty kontaktu czy orientacji. [11] Na poniższych zdjęciach przedstawiono ową zasadę pracy z wykorzystaniem autorolki. Jest to element ekwipunku osobistego strażaka, przytwierdzany najczęściej do taśmy biodrowej aparatu powietrznego butlowego. Posiada wbudowany retraktor, czyli urządzenie samoczynne zwijające na bęben luz powstały na lince. Opisywany model ma koralik stopujący rozwijanie na długości 1,25 m a całkowita długość linki wynosi 6m. (**Fot. 133 a-d**)



Fot. 133 a-d: Wykorzystanie autorolki znacznie usprawnia działanie. Można zapiąć ją na linii gaśniczej nawet w rękawicach ochronnych. Koralki występujące w wersji pokazanej na zdjęciu umożliwiają przesuwanie punktu zaczepienia wzdłuż linii bez blokowania na łącznikach czy przedmiotach leżących na podłożu. Na zdjęciach strażak odłącza się na niewielką odległość, utrzymując stały kontakt z linią gaśniczą i dokonuje sprawdzenia przylegającego pomieszczenia za pomocą kamery termowizyjnej. Autorolka pozwoli na sprawny powrót nawet przy niskiej widoczności bez dodatkowych czynności. Analogicznie wygląda praca z liną lub linką osobistą, jednak wymagają one zwijania w trakcie powrotu do partnera z rotą.

4.11.3. Przeszukiwanie pomieszczeń bez linii gaśniczej⁴³

W skrajnych przypadkach może dojść do konieczności szybkiego przeszukania pomieszczeń bez linii gaśniczej. Jest to sposób pracy **zdecydowanie odradzany** przy występowaniu zadymienia. Powszechna praktyka, jak też zdrowy rozsądek oparty o wiedzę zawodową m.in. zawartą w niniejszym opracowaniu, nakazuje posiadanie i używanie linii gaśniczej do chłodzenia gazów pożarowych, zbijania płomieni czy gaszenia bezpośredniego płonących przedmiotów w momencie przebywania w strefie zadymienia. Pamiętając jednak o uprawnieniu kierującego działaniem ratowniczym do zarządzenia odstąpienia od zasad działania uznanych powszechnie za bezpieczne **nie można wykluczyć takiej sytuacji**.⁴⁴ Ponadto, obecne przepisy w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny służby strażaków przewidują sytuację, w której strażak odstępuje od wspomnianych zasad bezpiecznego działania⁴⁵ w momencie odnalezienia w strefie zagrożenia osoby poszkodowanej i przekazaniu tej informacji do swego dowódcy. Również niespodziewane zdarzenia mogą doprowadzić w skrajnych przypadkach do obecności w strefie zadymienia strażaków bez linii gaśniczej (zawalenie się ściany czy podłogi, wybuch butli, uderzenie strażaków przez elementy konstrukcji itd.) W pożarze, gdzie żywioł trawi budynek, sytuacji awaryjnych może powstać wiele i należy być na nie przygotowanym.

Jakakolwiek byłaby przyczyna dyktująca konieczność przeszukania zadymionych pomieszczeń bez linii gaśniczej, jeżeli już dojdzie do tej niepożądanego sytuacji, zaleca się stosowanie opisanych poniżej technik postępowania, zapewniających z jednej strony utrzymanie orientacji a z drugiej dokładne działanie, zwiększające szanse na osiągnięcie celu (odnalezienie osoby poszkodowanej czy też wyjścia po utracie orientacji). **Podstawowym zabezpieczeniem takiego przeszukania powinna być wówczas lina** mocowana w punkcie wejścia i znakująca trasę przemieszczania (nie dotyczy sytuacji zagubienia się i utraty kontaktu z linią gaśniczą w zadymieniu. Na zdjęciach zawartych w tym rozdziale pokazano wykonanie technik w najgorszej z możliwych sytuacji, to znaczy również bez liny. Niemniej należy z całą stanowczością podkreślić, że **wykorzystanie liny powinno być podstawowym sposobem zabezpieczenia** w momencie braku linii gaśniczej.

Techniki działania opisane w tym rozdziale są częściowo podobne do tych, które zostały omówione już wcześniej. Występuje ta sama zasada **kotwiczenia**, która w tym przypadku ma jeszcze większe znaczenie. Jeśli po **skanowaniu podłogi** strażacy są w stanie ocenić przybliżony rozmiar pomieszczenia, to mogą wybrać jedną z dwóch poniżej opisanych metod działania. Jeśli jest to niemożliwe, zaleca się wykorzystanie drugiej metody, która pozawala na działanie na większym obszarze.

Pierwsza metoda wykorzystuje podobną zasadę jak **metoda wahadłowa**. Strażacy po wykonaniu wstępnych czynności, opisanych w **ROZDZIALE 4.12.1.** rozpoczynają przeszukiwanie. Jeden z nich (pomocnik)

⁴³ Jest to metoda pracy niezalecana, niemniej autor zdaje sobie sprawę, że w wyjątkowych sytuacjach może dojść do konieczności prowadzenia tego typu działań. Jako przykłady można podać: konieczność ratowania życia ludzkiego, awarię samochodu gaśniczego czy też przypadek zagubienia się strażaków i utraty kontaktu z linią gaśniczą np. w wyniku wystąpienia nagłego zjawiska pożarowego. Nie jest intencją autora zalecanie tego typu działań ani kategorię stwierdzanie okoliczności sprzyjających podjęciu decyzji o wykorzystaniu tej metody pracy. Każdorazowo, decyzję taką podejmie właściwy, obecny ma miejscu zdarzenia dowódca, po dokonaniu stosownego rozpoznania w czasie i na miejscu zdarzenia, kierując się przesłankami specyficznymi dla zaistniałej sytuacji, oceną możliwości oraz bilansem potencjalnych zysków i strat. Autor nie ponosi odpowiedzialności za wykorzystanie tej metody a jego intencją jest wskazanie potencjalnych sposobów wybrnięcia z sytuacji krytycznej. Należy również mieć na uwadze, że jedynie gruntowne przećwiczenie prezentowanych sposobów może być przesłanką do podjęcia decyzji o ich wykorzystaniu w realnych działaniach.

⁴⁴§ 1. Ust. 1. pkt. 7) Kierujący akcją ratowniczą lub innym działaniem ratowniczym prowadzonym przez jednostki ochrony przeciwpożarowej jest uprawniony do zarządzenia: odstąpienia od zasad działania uznanych powszechnie za bezpieczne, z zachowaniem wszelkich dostępnych w danych warunkach zabezpieczeń, jeżeli w ocenie kierującego działaniem ratowniczym, dokonanej w miejscu i czasie zdarzenia, istnieje prawdopodobieństwo uratowania życia ludzkiego, w szczególności w przypadkach, gdy: a) z powodu braku specjalistycznego sprzętu zachodzi konieczność zastosowania sprzętu zastępczego, b) fizyczne możliwości ratownika mogą zastąpić brak możliwości użycia właściwego sprzętu, c) jest możliwe wykonanie określonej czynności przez osobę zgłaszającą się dobrowolnie. [110]

⁴⁵§ 57. 1. W przypadku uzyskania przez kierującego akcją ratowniczą informacji o osobie poszkodowanej znajdującej się w strefie zagrożenia, kierujący tą akcją przyjmuje, że nastąpił stan bezpośredniego zagrożenia życia lub zdrowia ludzkiego. 2. W sytuacji uzyskania informacji, o której mowa w ust. 1, strażak podczas wykonywania czynności ratowniczych może odstąpić od zasad powszechnie uznanych za bezpieczne, po wcześniejszym powiadomieniu o tym kierującego akcją ratowniczą lub dowódcy nadzorującego strefę zagrożenia. [1]

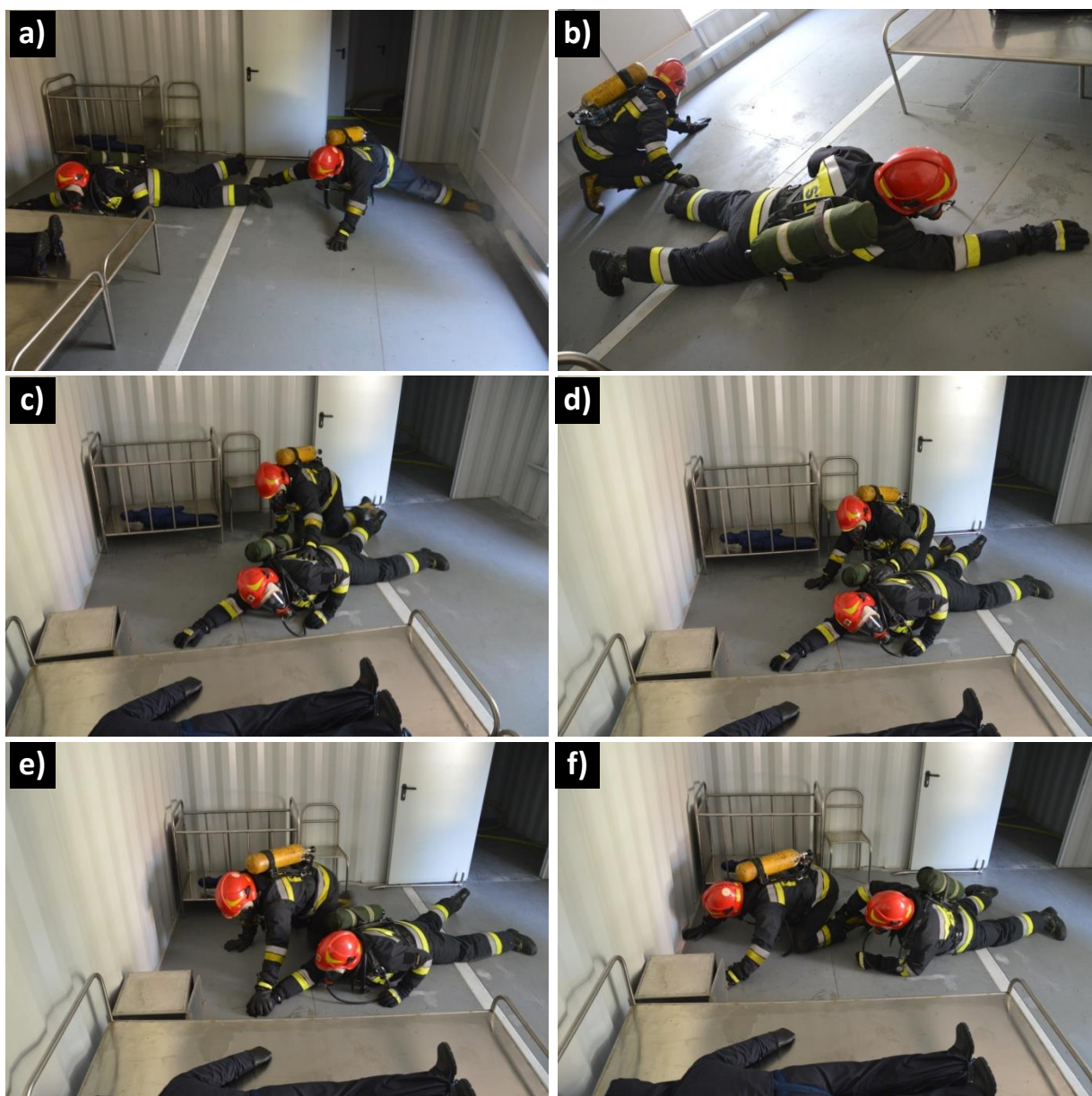
zahacza stopą o framugę drzwi (**kotwiczenie**) i wyprostowuje ciało, wykorzystując swój maksymalny zasięg. Drugi (przodownik) wyczuwając rękami ciało pomocnika przemieszcza się do wnętrza pomieszczenia i układa w sposób analogiczny, wykorzystując do zakotwiczenia swoją stopę, trzymaną przez pomocnika. W ten sposób strażacy zyskują około 4m zasięgu przeszukania. Przemieszczając się na boki ruchem wahadłowym są w stanie przeszukać większość pomieszczeń w budynkach mieszkalnych. W przypadku konieczności przeszukania zakamarków, **kotwiczenie** wykonuje przodownik, a pomocnik przemieszcza się wzdłuż niego, aby zbadać dokładnie wybrane obszary. (zobacz **Fot. 134**) Ta zasada bezpiecznego wydłużania zasięgu przeszukania została pokazana na zdjęciach opisujących kolejną technikę przeszukania bez linii gaśniczej, czyli technikę z wykorzystaniem metody lewej/prawej ręki.



Fot. 134: Przeszukanie bez linii gaśniczej z wykorzystaniem techniki wahadłowej. Strażak w drzwiach wykonuje kotwiczenie a drugi dokonuje przeszukania. Przemieszczają się ruchem wahadłowym uważając, aby nie stracić fizycznego kontaktu.

Druga z opisywanych metod nawiązuje do **metody lewej/prawej ręki**, to znaczy strażacy wybierają stronę pomieszczenia, przy której będą się poruszać i konsekwentnie kontynuują przeszukanie do momentu osiągnięcia oznakowanego punktu wejścia. Metoda polega na pracy podobnej do metody lewej/prawej ręki z linią gaśniczą. Pierwszy strażak (np. pomocnik) porusza się przy ścianie w pozycji podobnej do pozycji pracy z linią gaśniczą. Tu również w przypadku wyboru lewej strony strażak używa lewej nogi do utrzymywania kontaktu ze ścianą. Prawą ręką wówczas utrzymuje kontakt z partnerem z rotą, trzymając go za but. Drugi strażak może przyjąć taką samą pozycję pracy lub pracować na leżąco w celu wydłużenia zasięgu. W razie potrzeby dalszego wydłużania zasięgu tu również można stosować **kotwiczenie**. (zobacz **Fot. 135 a-f**) Ponownie należy przypomnieć, że w niektórych obiektach, gdzie można się spodziewać niebezpiecznych przedmiotów na podłodze, taka metoda pracy niesie się ze sobą pewne ryzyko. Wśród niebezpiecznych przedmiotów mogą znaleźć się szkła, gwoździe a w niektórych obiektach nawet tak niebezpieczne przedmioty jak igły ze strzykawkami użyte do przyjmowania narkotyków (opuszczone budynki okupowane przez osoby bezdomne lub narkomanów). Znając budynki w swoim rejonie chronionym, a także prowadząc odpowiednie

rozpoznanie (metoda BE-SAHF opisana w **rozdziale 3**) strażacy mogą uniknąć tych dodatkowych zagrożeń unikając kontaktu znacznych powierzchni ciała z podłogą.



Fot. 135 a-f: Wydłużenie zasięgu podczas przeszukania bez linii gaśniczej oraz liny za pomocą metody lewej ręki.

Na tym kończy się opis zagadnień poświęconych tematyce przeszukania. Jak wspomniano wcześniej, przeszukiwanie pomieszczeń jest słabo rozwiniętą dziedziną. Techniki, metody czy sprzęt często są improwizowane a coś, co nasi koledzy z za wielkiej wody określają mianem „kultury przeszukania” (ang. *serach culture*) jest nadal w powijakach. Jednakże wiadomo przecież, że szybkie i skuteczne przeszukiwanie ratuje ludzkie życia, a obycie z sytuacjami towarzyszącymi przeszukaniu w zerowej widoczności i nieznanym terenie może być kształtowane jedynie poprzez rzetelne i częste ćwiczenia.

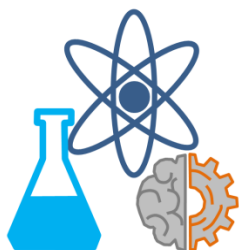
5. Taktyka działań gaśniczych

Mając już usystematyzowane podstawy dotyczące bezpieczeństwa i higieny działań, teorii rozwoju pożaru wewnętrznego, metod skutecznego rozpoznania oraz technik pracy z linią gaśniczą w rocie wewnątrz strefy zagrożenia czas zacząć układać te elementy w całość. Czymś, co pozwala łączyć wspomniane elementy w spójną całość i ukierunkować wysiłki wykonywane na miejscu zdarzenia na bezpieczne i skuteczne wykonanie zadań wynikających z rozpoznanych potrzeb i stwierdzonych możliwości działania, mając na uwadze rozwój sytuacji i pewną elastyczność w doborze sił i środków, nazywamy **taktyką działań gaśniczych**. Widniejące w Szkole Podoficerów PSP w Bydgoszczy od co najmniej kilkunastu lat hasło, opisujące to zagadnienie, brzmi:

**„Taktyka działań gaśniczych jest nauką o formach i metodach walki z pożarami, jest także nauką o strategii dowodzenia i umiejętności współdziałania.
Poznając prawa rządzące pożarem, zyskujemy wiedzę w jego zwalczaniu.
Uczymy się sztuki i mistrzostwa strażackiego zawodu – ponieważ chcemy być najlepsi.”**

– Andrzej Potrepko, Dowódca JRG SP PSP (2008).

Jedną z istotnych kwestii, jaką zajmuje się taktyka działań gaśniczych, jest zaopatrzenie wodne. Ma ono znaczenie dla ciągłości prowadzonych działań oraz możliwości osiągnięcia założonych celów taktycznych, a zatem dla bezpieczeństwa strażaków i osób postronnych. Mimo, że niniejsze opracowanie nie porusza tej kwestii warto dołożyć kropkę nad „i” do przekazanych już w **ROZDZIALE 4.** informacji.



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Istnieją obecnie proponowane przez ekspertów formuły do kalkulacji zapotrzebowania na wodę. Oczywiście nasuwa się myśl, że nie ma na miejscu zdarzenia czasu na tego typu skomplikowane obliczenia. Niemniej zauważmy, że dosyć proste kalkulacje mogą dawać ogólne wyobrażenie odnośnie rzędu wielkości i pozwolić kierującemu akcją na podjęcie pierwszych decyzji a następnie ich ciągłą ewaluację. Mogą również być pomocą w formie wydrukowanych tabel (**Tabela 23**). Przykładowo, jeśli pożar nie przekracza powierzchnią 600 m², możemy z dużym powodzeniem stosować zasadę 5 L/min na każdy m² pożaru (zobacz **ROZDZIAŁ 4.1.** oraz **tab. 13**). Powiedzmy, że mamy do czynienia z pożarem w willi, gdzie powierzchnia objęta spalaniem (pożar w pełni rozwinięty) wynosi w momencie przybycia straży pożarnej około 200 m². Prosta kalkulacja pozwoli nam stwierdzić, że sytuacja pożarowa wymaga podania 1000 L/min na ten pożar. Oznacza to, że jeśli 3 zastępy przywozły łącznie 10 m³ wody, starczy jej na 10 minut gaszenia. Czy to wystarczy, aby ugasić taki pożar? To oczywiście zależy od kilku czynników, niemniej pozostaniemy na tę chwilę przy wydajności. 1000 L/min jesteśmy w stanie podać z 2 linii gaśniczych zakończonych prądownicami typu turbo o maksymalnej wydajności 500 L/min lub z trzech linii z prądownicami o Q_{max}=400 L/min. Rodzi się jednak kolejne pytanie: czy jesteśmy w stanie za pomocą dwóch (trzech?) prądów gaśniczych jednocześnie podać wodę na niemal całą powierzchnię pożaru? [16, 89]

$$F_{\text{miesz}} = 75 \cdot A_{\text{poż}}^{0.44}$$

$$F_{\text{przem}} = 131 \cdot A_{\text{poż}}^{0.51}$$

$$F_{\text{inne}} = 61 \cdot A_{\text{poż}}^{0.57}$$

Rys. 89: Formuły do obliczania zaopatrzenia wodnego w obiektach mieszkalnych, przemysłowych i innych, oparte o przegląd literatury, wyliczenia teoretyczne, badania pożarowe oraz statystykę niemal 6000 zdarzeń w Anglii. „A” oznacza powierzchnię objętą pożarem. [16, 89]

Tab. 23: Zestawienie kalkulacji zapotrzebowania na wodę do celów gaśniczych w oparciu o przykładowe powierzchnie pożarowe. Kolorem i kursywą podano dane jedynie w celu porównania – tego typu sytuacje pożarowe nie zdarzają się lub zdarzają bardzo rzadko (np. obiekty przemysłowe o pow. 20 m²). [16, 89]

| Powierzchnia pożaru (A _{poż}) | Obiekty mieszkalne | Obiekty przemysłowe | Obiekty inne |
|---|--------------------|---------------------|--------------|
| m ² | L/min | L/min | L/min |
| 20 | 280 | <i>604</i> | 336 |
| 40 | 380 | <i>860</i> | 499 |
| 60 | 454 | <i>1057</i> | 629 |
| 80 | 516 | <i>1224</i> | 741 |
| 100 | 569 | 1372 | 842 |
| 150 | 680 | 1687 | 1061 |
| 200 | 772 | 1953 | 1250 |
| 250 | 851 | 2189 | 1420 |
| 300 | 923 | 2402 | 1575 |
| 350 | 987 | 2599 | 1720 |
| 400 | 1047 | 2782 | 1856 |
| 450 | <i>1103</i> | 2954 | 1985 |
| 500 | <i>1155</i> | 3117 | 2107 |
| 600 | <i>1252</i> | 3421 | 2338 |
| 700 | <i>1339</i> | 3701 | 2553 |
| 800 | <i>1420</i> | 3961 | 2755 |
| 900 | <i>1496</i> | 4207 | 2946 |
| 1000 | <i>1567</i> | 4439 | 3128 |
| 2000 | <i>2126</i> | 6321 | 4644 |
| 3000 | <i>2541</i> | 7773 | 5852 |
| 4000 | <i>2884</i> | 9002 | 6895 |
| 5000 | <i>3181</i> | 10087 | 7830 |

Powyższa tabela różni się wartościami od wcześniej podawanych metod kalkulacji i szacowania z uwagi na inną metodę przyjętą do ustalenia tych wartości. O ile metoda ta jest nieco bardziej dokładna (mniej dokładne metody zawierają zazwyczaj margines błędu, dlatego otrzymywane w nich wartości są zazwyczaj większe), o tyle do jej użycia wymagane są trudniejsze i bardziej czasochłonne kalkulacje. Pozwala jednak, jak pozostałe metody, z pewnym przybliżeniem ustalić **rzęd wielkości**, będący uzasadnionym celem dla decyzji podejmowanych przez dowódcę. Należy przy tym pamiętać, że dla skutecznego działania i osiągnięcia zamierzonych efektów, wymagany jest jeszcze pewien **czas gaszenia**.

Odpowiednia intensywność powierzchniowa podawania wody w natarciu jest jednym z ważniejszych elementów decydujących o skuteczności i bezpieczeństwie prowadzonych działań. O ile sytuacja pożarowa (powierzchnia pożaru, rodzaj i przeznaczenie oraz wyposażenie budynku, profil wentylacji) decydować będzie o tej wymaganej intensywności (potocznie zwanej wydajnością wodną) o tyle zazwyczaj nie będzie możliwe skuteczne podawanie wody na całą powierzchnię objętą pożarem mniej więcej w tym samym czasie. Dlatego może zaistnieć konieczność wprowadzania do działań **większej liczby prądów gaśniczych w celu skuteczniejszego pokrycia powierzchni objętej pożarem i dlatego należy zachować **dyscyplinę** podczas operowania prądami gaśniczymi i stosować się do poleceń kierującego akcją ratowniczą lub dowódcy danego odcinka bojowego, aby nie doprowadzić do zbyt szybkiego i nieuzasadnionego zużycia zapasu wody, powodując tym samym szkody wtórne wynikające z niskiej skuteczności podawanych prądów.**

Badania wykonywane w Szkole Głównej Służby Pożarniczej dowodzą, że zależnie od warunków, badana prądownica typu turbo jest w stanie pokryć wodą powierzchnię większą nawet od 100m². [111] Jest to jednak wynik osiągnięty na otwartej przestrzeni, przy sprzyjających warunkach aplikacji wody i bez czynników utrudniających osiągnięcie tak dużej przestrzeni. Czynnikiem zwiększającym powierzchnię podawania wody za pomocą prądu gaśniczego są między innymi: bliskość do linii ognia, wyższe ciśnienie oraz wydajność czy odpowiedni kąt bryłowy rozproszenia prądu gaśniczego. To nasuwa konkluzję – jeśli podajemy wodę do wnętrza obiektu na pożar w pełni rozwinięty jesteśmy mocno ograniczeni, jeśli chodzi o powierzchnię działania. Oddziaływanie termiczne każe zachować dystans i stosować mniejsze kąty rozproszenia dla osiągnięcia większego zasięgu. Oznacza to, że najczęściej w obiektach mieszkalnych nie jesteśmy w stanie działać najbardziej optymalnie wybierając po prostu największą wydajność podawanych prądów. Trzeba zatem zwiększyć liczbę linii a zmniejszyć ich wydajność, aby nie marnować wody i unikać zalewania. Do tego potrzeba większej liczby strażaków oraz żelaznej **dyscypliny**, bowiem jej brak doprowadzi do zmarnowania dużych ilości wody i szybkiego jej wyczerpania. Jest to problem zarówno taktyczny, jak i dotyczący sfery wyszkolenia. Te obszary (i nie tylko!) od zawsze są ze sobą ściśle związane.

Pamiętajmy też, że mówimy o modelowej i stosunkowo prostej sytuacji, gdzie bierzemy pod uwagę jedynie pożar i jego gaszenie. W realnych warunkach znaczenie będą też miały warunki wymiany gazowej (ile gazów odpywa z pożaru a ile powietrza do niego napływa) czy występowanie wiatru. Okazuje się, że pewne kalkulacje, uzupełnione o codzienną praktykę z walki z pożarami, mogą dać nam doskonałe wyobrażenie o potrzebach i wyzwaniach wynikających z konkretnych sytuacji pożarowych. Ponadto kalkulacje tego typu wykorzystywane są w różnych procesach z szeroko rozumianej dziedziny ochrony przeciwpożarowej – przykładowo przy projektowaniu obiektów, podczas planowania operacyjnego w rejonie chronionym czy też w trakcie długich akcji, gdyż właśnie do takich (dużych) pożarów zostały owe formuły stworzone. Przykładowo, już w roku 1925 panowie Stanzig (Austria), Fossoult (Belgia) oraz Folke (Dania) zaproponowali jedną z pierwszych formuł kalkulacji zapotrzebowania na wodę sugerując dla pożarów rozwiniętych podawanie wody z wydajnością 0,5 – 5 L/min/m² powierzchni pożaru. Zauważmy tu dwie rzeczy. Po pierwsze: ta formuła również nawiązywała do powierzchni pożaru, a zatem miała być prostą metodą szacowania. Po drugie: jest mocno nieprecyzyjna (10 x różnica możliwa dla tego samego pożaru), niemniej pamiętajmy, że była jedną z pierwszych prób usystematyzowania tej zawitej problematyki. [112]

Inną prostą metodą szacowania zapotrzebowania na wodę do celów gaśniczych zaproponowali badacze z Holandii w oparciu o eksperymentalne szacowanie skuteczności odbierania ciepła przez linie gaśnicze. [26] Powierzchnię pożaru należy podzielić na połowę, co da nam przybliżoną wartość mocy pożaru. Wówczas, mając na uwadze skuteczność chłodzenia linii gaśniczych sugerowaną w **ROZDZIALE 4. (Tab. 11 i Tab. 12)** można oszacować liczbę linii gaśniczych niezbędnych do ugaszenia pożaru. Ta metoda szacowania ma zastosowanie przy rozwiniętych pożarach obiektów o dużej kubaturze.

Dlaczego szacowanie wydajności wodnej ma znaczenie taktyczne? Oczywiście przesądzi o efektach podejmowanych w ramach akcji ratowniczo-gaśniczej. Niemniej jednak jednym z kluczowych celów spoczywających na barkach dowódcy każdej akcji jest zapewnienie strażakom **bezpieczeństwa**. Z nielicznymi wyjątkami, możliwość zapewnienia strażakom wydajności, która dla danego pożaru szacowana będzie jako

skuteczna, odegra istotną rolę w sferze bezpieczeństwa prowadzenia działań i najczęściej przesądzi o wystąpieniu (bądź też nie) strażaków do prowadzenia **wewnętrznych** działań gaśniczych.

Tab. 24: Szacowanie zapotrzebowania na wodę do celów gaśniczych (liczby linii gaśniczych, wydajności źródeł zaopatrzenia) w zależności od powierzchni pożaru, zakładanej maksymalnej mocy pożaru i rodzaju użytych linii gaśniczych. Podane przykłady sugerują, że gdy pożar przyjmuje pewne rozmiary, skuteczne jego ugaszenie nie jest możliwe z powodu nakładu sił i czasu niezbędnego do przygotowania zaopatrzenia wodnego oraz rozwinięcia. Jest to wskazówką dla kierującego akcją ratowniczą do rozpatrzenia scenariusza podjęcia działań w obronie. [16, 89]

| Rodzaj linii | Powierzchnia pożaru | Maksymalna moc pożaru | Liczba linii gaśniczych | Zapotrzebowanie wodne |
|--|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Niskie ciśnienie, 400 L/min (10 MW) | 1000 m ² | 500 MW | 50 | 20 000 L/min |
| Wysokie ciśnienie, 120 L/min (2,5 MW) | 500 m ² | 250 MW | 100 | 12 000 L/min |

Wspomniano wcześniej, że **natarcie** jest działaniem, które zmierza do podania środków gaśniczych na ognisko pożaru w celu przerwania procesu spalania (patrz **ROZDZIAŁ 4.2.**). [81, 82, 83, 84, 85] Mianem natarcia określa się najczęściej również czynności towarzyszące, jak wejście do pomieszczeń, wędrówkę w kierunku ogniska pożaru i inne czynności towarzyszące. Można zatem wyciągnąć pośredni wniosek, że jednym z ważniejszych czynników wpływających na decyzję taktyczną o wyborze formy działania pomiędzy natarciem a obroną będzie fakt możliwości zapewnienia **odpowiedniej** wydajności wodnej. [89, 90, 91] nie musi to być wydajność zdolna do zwalczania pożaru na całej powierzchni, ale powinna być wystarczająca, aby przeciwstawić się pożarowi na wycinku jego obwodu, co ustalane jest w rozpoznaniu wykonywanym zarówno przez dowódcę jak i przez strażaków prowadzących działania wewnętrzne (patrz **ROZDZIAŁ 3.**). Jednocześnie, aby uniknąć narażenia strażaków, dowódca powinien mieć na uwadze całość zjawiska pożaru oraz środowiska, w jakim ów pożar występuje, i oddziaływać adekwatnie na zjawisko (np. wprowadzając kolejne prądy gaśnicze lub prowadząc **taktyczną wentylację**, opisaną w **ROZDZIALE 5.5.**).

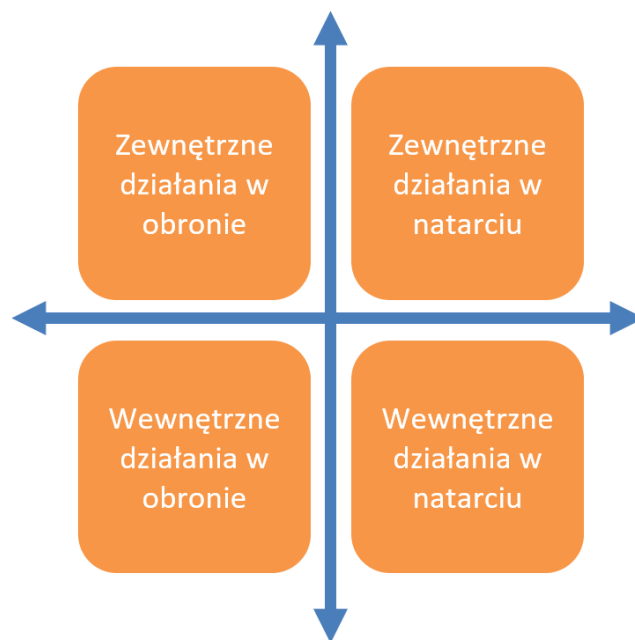
Działania w **obronie** natomiast charakteryzują się zasadniczo tym, że poprzez oddziaływanie oddziaływaniami określonymi środkami na obiekty zagrożone pożarem zmierzają do utrzymania zastanej sytuacji do chwili przybycia następnych jednostek. Są to działania o charakterze zachowawczym. Po raz kolejny łatwo zauważyć bezpośredni związek tej formy działania taktycznego z faktem możliwości zapewnienia **odpowiedniej** wydajności wodnej.

Czy jednak zawsze jest tak, że natarcie to działania wewnętrzne, podczas gdy obrona realizowana jest z zewnątrz? Otóż nie. Istnieją zarówno rozwiązania techniczne jak i sytuacje pożarowe, sprzyjające realizowaniu czynności na inne sposoby: działań w natarciu prowadzonych z zewnątrz jak również działań w obronie realizowanych wewnątrz. Holenderscy strażacy przyjęli w 2014 roku tzw. „**model kwadrantowy**”⁴⁶, opisujący wymienione podejścia taktyczne. [113] W tym modelu, graficznie przedstawionym jako 4 części (ćwiartki) kwadratu, wskazane są 4 podstawowe formy taktyczne: natarcie wewnętrzne, natarcie zewnętrzne, obrona zewnętrzna i obrona wewnętrzna (**rys. 90**).

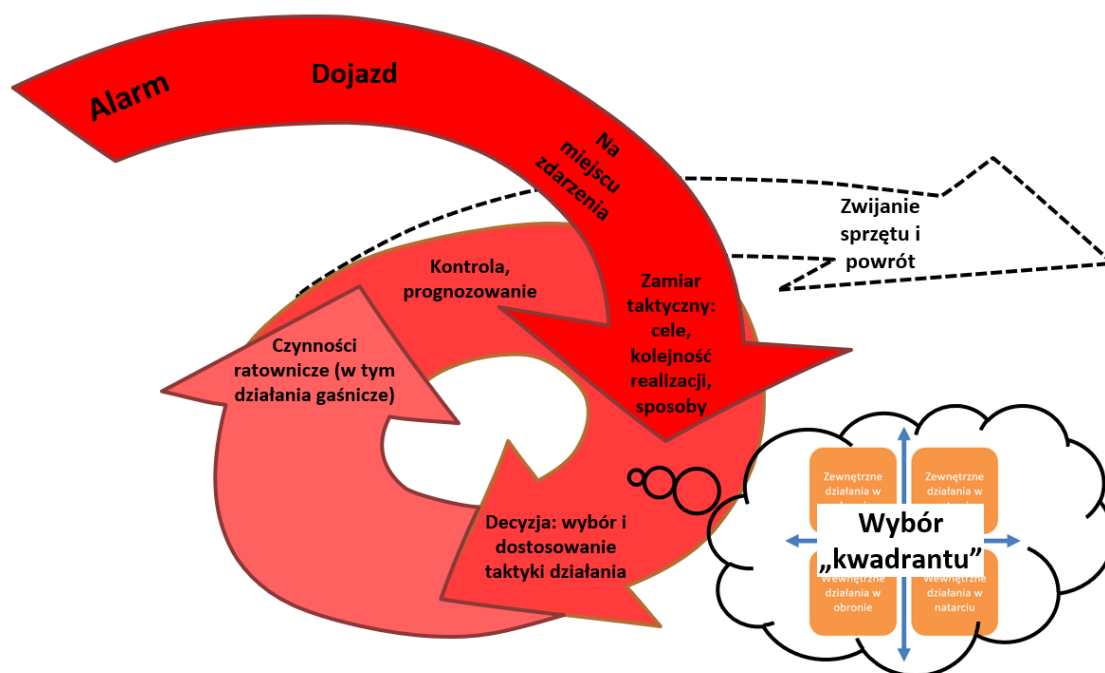
Celem wprowadzenia tego modelu było usystematyzowanie bieżącego stanu wiedzy odnośnie metod gaszenia pożarów. Jak napisano w dokumencie wprowadzającym ów model, jest to pierwszy praktyczny instrument opisujący proces decyzyjny i jest następstwem pożaru w De Punt w Holandii w 2008 r. W tym pożarze hali, w wyniku nagłego rozprzestrzenienia pożaru zginęło 3 strażaków. Późniejsze dochodzenie pozwoliło zrozumieć, że sytuacja mogła powtórzyć się w każdym miejscu kraju. Wykazało niedostateczny poziom wiedzy na temat rozwoju pożarów w obiektach o nowoczesnej konstrukcji, wzniesionych z użyciem nowych materiałów budowlanych oraz brak adekwatnego zrozumienia zasad prowadzenia natarcia w takich obiektach. Na bazie tych wniosków oraz w wyniku stwierdzenia potrzeby opracowania wspólnej, krajowej doktryny działania, holenderska akademicka pożarnicza wraz z departamentem straży opracowała wspomniany model, zawierający **ujednolicone**, sugerowane możliwości wyboru formy działań taktycznych, oparte

⁴⁶ „każda z czterech części, na jakie dzieli płaszczyznę prostokątny układ osi współrzędnych kartezjańskich” (pot. ćwiartka) [LINK](#)

o naukowe podstawy bieżącego stanu wiedzy w omawianej dziedzinie. Autorzy zaznaczyli jednocześnie, że dokument ma charakter roboczy a zawarta w nim wiedza podlega ciągłej aktualizacji wynikającej z rosnącego doświadczenia, zmian cywilizacyjnych, badań nad środowiskiem pożaru oraz międzynarodowej wymiany doświadczeń. [113]



Rys. 90: Model kwadrantowy, czyli **ujednolicone**, sugerowane możliwości wyboru formy działań taktycznych. [113]



Rys. 91: Miejsce „modelu kwadrantowego” w procesie decyzyjnym. [113, 81, 82, 83, 84, 85]

Strażak realizujący czynności ratownicze musi znać wskazane powyżej podstawy procesu decyzyjnego, wykonywanego przez dowódcę. Będzie on bowiem źródłem cennych informacji pochodzących z wykonywanego **rozpoznania osobistego**, a także winien zachować dyscyplinę wynikającą ze zrozumienia zarówno procesu spalania, mechanizmów gaszenia i ograniczania pożaru jak również omawianego procesu decyzyjnego i wybranej formy działań taktycznych. Nie powinien działać na własną rękę bez konsultacji z dowódcą, o ile to możliwe. Kolejne rozdziały zawierają charakterystykę form działania taktycznego występujących w opisywanym modelu.

5.1. Działania wewnętrzne – natarcie i obrona.

Działania prowadzone wewnątrz budynków wiążą się z podwyższonym stopniem ryzyka. Wśród głównych czynników wpływających na to należy wymienić następujące aspekty:

- Znaczne ilości **ciepła**, transportowanego w gazach pożarowych (konwekcja) pozostają w budynku, oddziałując na materiały palne oraz przebywające wewnątrz osoby, w tym strażaków. Ponadto ciepło gromadzi się w materiałach konstrukcyjnych.
- Ograniczona **widoczność** powoduje trudności w przemieszczaniu się, orientacji, zdobywaniu informacji czy wykonywaniu czynności. Z materiałów Polskiego Związku Niewidomych wynika, że „osoba tracąca wzrok traci 82% informacji płynących ze środowiska zewnętrznego. Kolejnym telereceptorem, który odbiera informacje na szeroką skalę jest słuch, jednakże jest to tylko 11% informacji.” [114] Ograniczona, czasem zerowa widoczność jest dużym utrudnieniem dla strażaków jak i osób poszkodowanych.
- **Zjawiska pożarowe**, wynikające z kumulacji gazów pożarowych we wnętrzach, stanowią dodatkowe zagrożenia.
- Występowanie **fizycznych barier** w postaci ścian, przegród itd., a także **różnic poziomów**, które utrudniają dodatkowo poruszanie się, przemieszczanie linii gaśniczej i innego sprzętu, odnajdywanie dróg odwrotu i ewakuacji czy uzyskiwanie dostępu.
- **Wytrzymałość konstrukcji** może zostać naruszona w wyniku pożaru oraz w wyniku prowadzonych działań gaśniczych.

Z wymienionych powyżej powodów, działania wewnętrzne charakteryzować się będą wyższym stopniem trudności i ryzyka. Wymusza to stosowanie szeregu rozwiązań skierowanych na podnoszenie bezpieczeństwa i skuteczności wykonywanych działań. Większość z nich została opisana w **ROZDZIALE 1.4.**, inne wynikają z technik i metod pracy opisanych w pozostałych rozdziałach opracowania.

5.1.1. Natarcie wewnętrzne

Mając na uwadze wspomniane aspekty prowadzenia działań wewnętrznych, wskazać można ich następujące cechy charakterystyczne. Prowadząc **natarcie wewnętrzne** nadrzędnym celem strażaków jest gaszenie pożaru i ratowanie ludzi. Działania wykonywane są w zadymionych, czasem płonących pomieszczeniach. Aby owe działania były względnie bezpieczne, należy dążyć do tego, aby **zgromadzone gazy pożarowe nie były w stanie się zapalić!** Muszą one być zatem chłodzone (patrz **ROZDZIAŁ 4.**, w szczególności **4.3.** i **4.4.1.**) a ich temperatura powinna być utrzymywana poniżej temperatury samozapłonu⁴⁷. Dodatkowo, podawanie mgły wodnej zamieniającej się w parę wodną inetryzuje (zobojętnia) mieszaninę palną. Udając się do działań wewnętrznych należy pamiętać, że ugaszenie pożaru znacznie ułatwia realizację pozostałych niezbędnych działań (zobacz „Filozofia pola kukurydzy” w **ROZDZIALE 4.11.**). Warto dodać, że działania z tej ćwiartki modelu są tradycyjnym modelem działania, realizowanym od zawsze przez strażaków. Polegają na wprowadzaniu linii gaśniczych do budynków, przeszukiwaniu pomieszczeń i dążeniu do podania wody na palące się obiekty, przy jednoczesnym, nieprzerwanym chłodzeniu (rozrzedzaniu) gazów pożarowych.

Realizując natarcie wewnętrzne strażacy wykonują większość czynności opisanych w **ROZDZIALE 4** oraz **5.5.**, dlatego zagadnienia te nie będą tu powtarzane.

⁴⁷ Należy przypomnieć, że gazy palne **nie posiadają** temperatury zapłonu, niemniej temperatura wpływa na ich zakres palności. Obniżanie temperatury gazów palnych utrudnia ich zapalenie. Zobacz **ROZDZIAŁ 2.3.** oraz **2.7.3.**



Fot. 136: Natarcie wewnętrzne jest formą działania taktycznego prowadzoną w najbardziej niebezpiecznych warunkach. Na zdjęciu widać zjawisko zapłonu gazów pożarowych, co oznacza, że strażacy powinni podjąć próbę zapobiegania spalaniu gazów lub rozważyć ewentualność wycofania się. (fot. Piotr Zwarycz, obiektyw.com)

5.1.2. Obrona wewnętrzna

Prowadząc **obronę wewnętrzną**, celem strażaków będzie wykonywanie czynności w obiekcie, jednak najczęściej w sąsiedztwie (poziomym lub pionowym) obszaru objętego pożarem. Zazwyczaj tego typu działania ukierunkowane są na **umożliwienie czy ułatwienie ewakuacji, zapobieganie rozprzestrzenianiu się pożaru** czy też **ograniczenie strat**. Usprawnienie ewakuacji może polegać na odizolowaniu dróg ewakuacji (zamykanie drzwi, używanie kurtyny dymowej itd.). Podobnie może wyglądać zapobieganie rozprzestrzenianiu pożaru, które dodatkowo, poza fizycznym oddzieleniem obszarów w wyżej wymienione sposoby, można też uzyskać poprzez operowanie prądami gaśniczymi. To z kolei obszar, który łączy się również z ograniczaniem strat od ognia i dymu, co jest kolejnym z prawdopodobnych zadań wykonywanych w ramach działań o charakterze obrony realizowanych we wnętrzu obiektu. Jak wspomniano na wstępie, zasadniczo będą to czynności wykonywane w sąsiedztwie ogniska pożaru, aniżeli w jego bezpośredniej bliskości.

Stabilność konstrukcji jest ponownie jednym z czynników, który przesądzi o możliwości bezpiecznego wykonania opisywanych tu zadań. Często można tu mówić o różnicy opisywanej w **ROZDZIALE 2.14.** czyli o różnicy między palącym się wyposażeniem wewnątrz a palącym się budynkiem. Zazwyczaj tego typu działania stanowią **przygotowanie do natarcia wewnętrznego** na pożar.

Realizując obronę wewnętrzną strażacy wykonują część czynności opisanych w **ROZDZIALE 4** oraz **5.5.**, dlatego zagadnienia te nie będą tu powtarzane.



Fot. 137: Obrona wewnętrzna jest formą działania taktycznego prowadzoną we wnętrzu budynku lub obiektu, jednak nie w obszarze bezpośrednio objętym pożarem. Na zdjęciu widać kurtynę dymową, której strażacy użyli, aby zahamować zadymianie klatki schodowej podczas pożaru w piwnicy. Więcej na ten temat można przeczytać w **ROZDZIALE 5.5.**(fot. Piotr Zwarycz, obiektyw.com)

5.2. Działania zewnętrzne – natarcie i obrona.

Działania zewnętrzne zasadniczo charakteryzują się niższym poziomem ryzyka, bowiem strażacy nie są wystawieni na potencjalne skutki zagrożeń, opisanych na początku poprzedniego podrozdziału. Nadal jednak powinni być uważni i mieć na uwadze bezpieczeństwo swoje oraz innych. Wśród zagrożeń obecnych na zewnątrz budynku, należy pamiętać o następujących kwestiach:

- Wokół budynku, w bezpośredniej bliskości, może występować zagrożenie od **spadających przedmiotów** (szyby, dachówki, wyposażenie wewnątrz itd.). Należy zachować ostrożność i nie dopuszczać do obecności osób postronnych w takich miejscach.
- Niektóre budynki i obiekty mają konstrukcje o niskiej odporności na ogień (i działania gaśnicze). Należy pamiętać, że w razie podejrzenia zagrożenia **zawaleniem** budynku lub jego części, należy unikać zbędnego przebywania w strefie zasięgu (zazwyczaj 1,5 x wysokość budynku).⁴⁸
- Działania zewnętrznie niekiedy wynikają z zaawansowanego stadium rozwoju pożaru. W takich przypadkach strażacy muszą pamiętać o **korzystaniu z osłon** naturalnych i sztucznych (w tym wodnych), aby w miarę możliwości unikać nadmiernej ekspozycji na promieniowanie cieplne, mogące doprowadzić do przegrzania czy poparzeń.

5.2.1. Natarcie zewnętrzne

Działania prowadzone z zewnątrz przybrać różną formę taktyczną. Jeśli mówimy o natarciu, to warto tu wprowadzić pewien koncept, który przyjęto umownie nazywać „**szybką wodą**”. Szybka woda oznacza to, że woda podawana jest na ognisko pożaru jak najszybciej po przybyciu, aby zmniejszyć dynamikę pożaru,

⁴⁸Zobacz też: „[Skrypt do szkolenia z działań poszukiwawczo-ratowniczych realizowanych przez ksrp w zakresie podstawowym](#)”. Link bezpośredni.

w trakcie szykowania rozwinięcia do wnętrza budynku (jeśli takie działanie jest w zamiarze taktycznym dowódcy). Szybkie podanie wody wykonuje się w celu poprawy warunków dla ekip udających się do wnętrza. Bardzo często natarcie zewnętrzne przeprowadza się z powodu stwierdzenia w rozpoznaniu **warunków niesprzyjających przeprowadzeniu natarcia wewnętrznego**, w celu poprawy sytuacji i umożliwienia wejścia do budynku.

Narzędzia i sposoby podania wody przed wejściem do budynku są różnorodne. Od podania wody **prądem gaśniczym** ze standardowej linii gaśniczej (52 lub 42 mm zakończonej prądownicą uniwersalną typu TURBO), poprzez wodę podawaną przez przebijaną lub przewierconą ścianę przy pomocy **lancy gaśniczej**, po wykorzystanie nowoczesnych **urządzeń przebijająco-chłodzących**, w których woda podawana jest przy ultra wysokim ciśnieniu (UHP – Ultra High Pressure) wraz ze specjalnym ścierniwem, które po przebicciu przeszkody przestaje się wydostawać a chłodzenie wnętrza odbywa się za pomocą bardzo małych kropelek wody. Poniżej zostaną omówione pokrótce wszystkie te techniki działania, wraz z towarzyszącą im taktyką.

Podanie wody z zewnątrz do palącego się obiektu jest techniką używaną w straży właściwie od zawsze. Niedawne badania pozwoliły na przeanalizowanie wielu mechanizmów towarzyszących tej technice i dały zrozumienie procesów, jakie zachodzą podczas jej używania, zapewniając tym samym podstawy do taktycznego osadzenia tej techniki w wachlarzu możliwych wyborów, jakich dokonuje dowódca. [115]

Głównymi **celami** tego typu działania są zazwyczaj:

- **poprawa warunków** wewnętrznych dla potencjalnych **poszkodowanych**;
- **poprawa warunków** pracy dla **strażaków** przed wejściem do działań wewnętrznych;
- **powstrzymanie** rozwoju i rozprzestrzeniania pożaru;
- **gaszenie** pożaru.

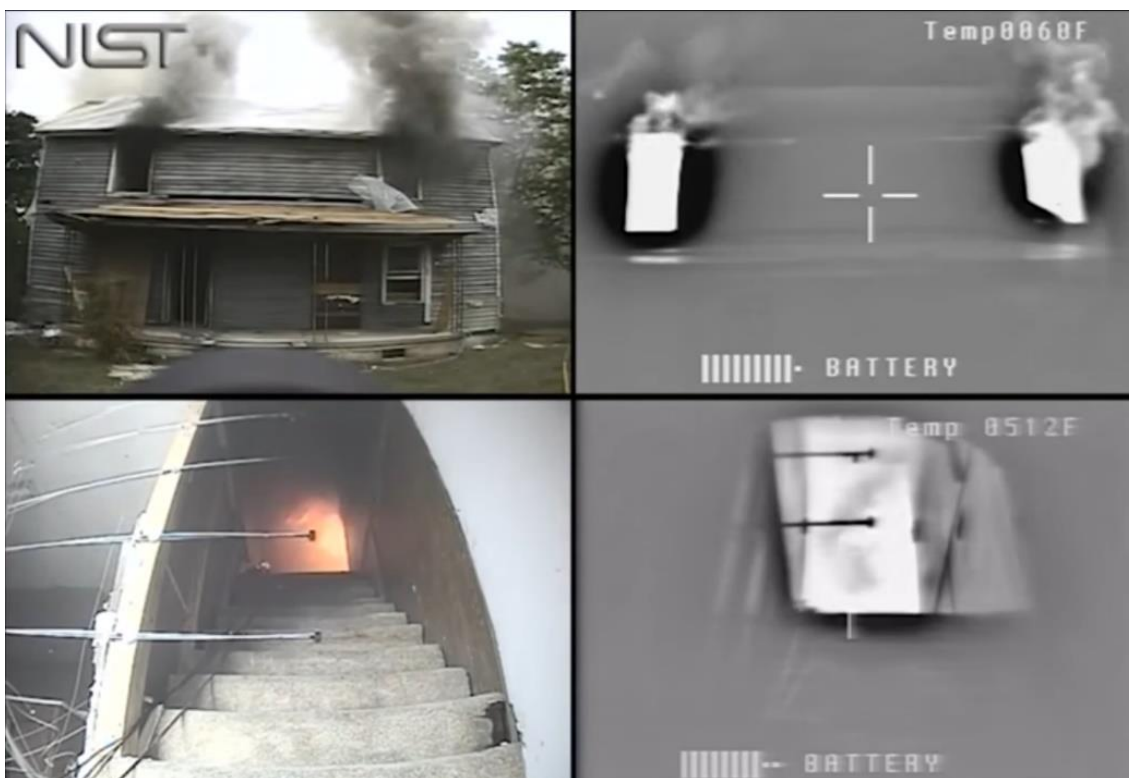
Podanie wody od zewnątrz, szczególnie przy użyciu prądu zwartego z prądownicy wodnej, zwane jest czasem „resetem” pożaru, chociaż należy przyznać, że z punktu widzenia logiki nie jest to poprawne stwierdzenie. Określenie to powszechnie używane jest w języku opisującym pracę urządzeń elektronicznych i oznacza zakończenie pracy urządzenia i ponowne uruchomienie. Nie jest to opis odzwierciedlający mechanizm mający miejsce w pożarze po podaniu wody z zewnątrz. Dlatego międzynarodowe środowisko branżowe odchodzi od używania tego określenia. Istnieje tendencja do unikania wymyślania nowych nazw, które nie zawsze są jednakowo rozumiane (wymaga to stworzenia przemyślanej i jednoznacznej definicji) na rzecz stosowania pojęć dających się zrozumieć, jak „podanie wody z zewnątrz” lub „natarcie z zewnątrz”. Jednak używanie skrótów i fraz jest popularne w środowiskach branżowych. Innym pojęciem, zapożyczonym z języka militarnego, jest „zmiękczenie celu” lub „zmiękczenie pożaru” (and. *softening the target* lub *softening the fire*). Oznacza ono wstępne natarcie przed przeprowadzeniem natarcia właściwego i wykonywane jest w celu poprawy warunków oraz zwiększenia szans na powodzenie. Tak samo w pożarze, natarcie z zewnątrz przeprowadza się przed natarciem wewnętrznym. Można zatem wnioskować, skoro mowa o natarciu (czyli podawaniu środków gaśniczych na ognisko pożaru w celu przerwania procesu spalania), że ten rodzaj działania jest właściwy dla konkretnych warunków, a także wykonywany jest w konkretny sposób. Najczęściej przebiega on w sposób zaprezentowany poniżej.

Ważnym elementem podjęcia decyzji o tego typu działaniu jest **rozpoznanie**. Jeśli widać oznaki pożaru z zewnątrz i pozwala to ocenić, że natarcie z zewnątrz będzie skuteczne, wówczas dowódca może zdecydować o sprawieniu nawodnionej linii na zewnątrz i wstępnym natarciu na pożar, podczas gdy przygotowywane jest natarcie wewnętrzne. Podanie wody do wnętrza wymaga świadomości tego, co takie działania powodują. Pierwszym ważnym aspektem zagadnienia jest to, że należy wodę podawać **prądem zwartym**. Wydaje się to wbrew logice – wszakże prąd rozproszony lepiej pokrywa powierzchnię. Jednak bierze się to z kilku ważnych powodów:

- Prąd zwarty ma większy zasięg niż prąd rozproszony z uwagi na większą energię kinetyczną skupionej strugi wody.
- Prąd rozproszony kierowany pod ostrym kątem na sufit (zobacz **Rys. 92**. Oraz **Fot. 141 i 142**) jest mechanicznie rozbijany na kropelki o szeregu różnych wielkości. Mniejsze schłodzą gazy pożarowe a większe zroszą i zwilżą materiały palne, zarówno ulegające spalaniu jak i przechodzące rozkład termiczny.

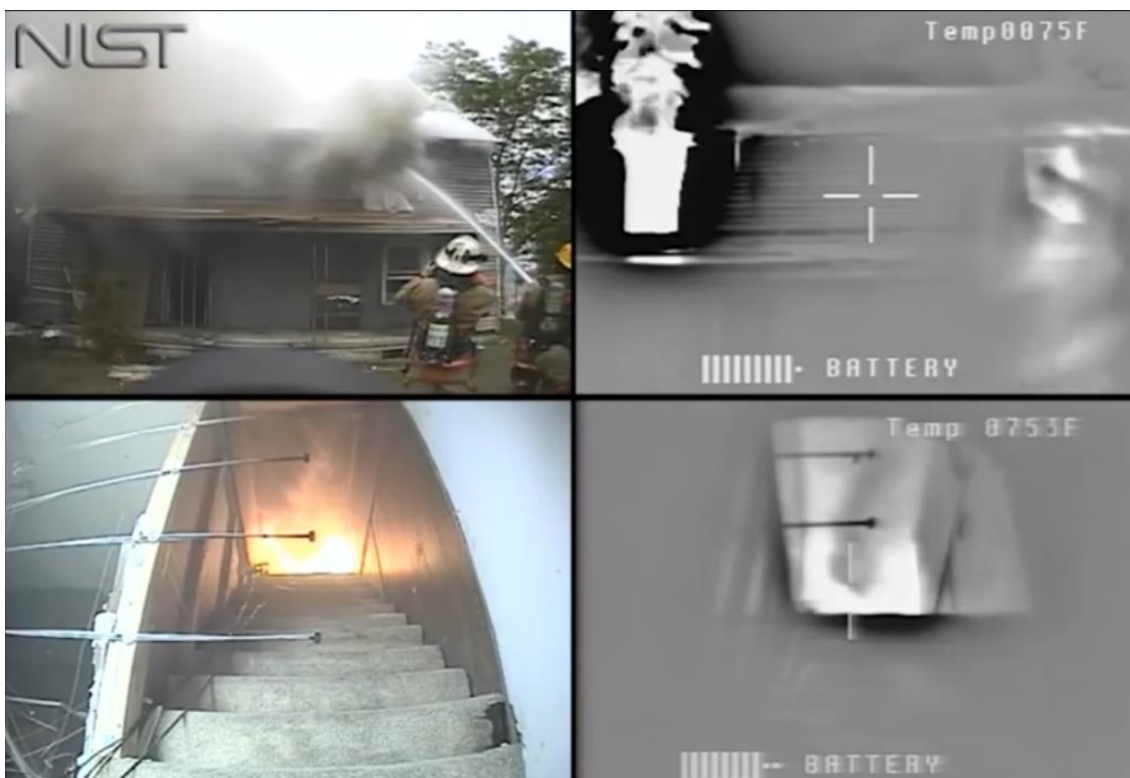
- Prąd rozproszony tłoczy mniej powietrza wraz ze strugą co powoduje mniejszy wpływ podawania wody na przepływy gazów wewnątrz pomieszczenia. Niekontrolowane wytwarzanie przepływów poprzez podawanie prądów z zewnątrz jest niewskazane.
- Prąd rozproszony powoduje zablokowanie niewielkiej części powierzchni okna, przez które jest podawany, w przeciwieństwie do prądu rozproszonego, który zakrywa większą część tego otworu. W połączeniu z większą ilością powietrza tłoczonego przez prąd rozproszony daje to niekorzystny efekt. Otwór, przez który podawana jest woda, może w trakcie używania prądu zwartego nadal służyć jako wylot dla dymu jak też dla powstającej w wyniku podania prądu gaśniczego pary.⁴⁹

Podając wodę z zewnątrz w opisany sposób, należy pamiętać, że ważna jest technika. Po pierwsze, zależnie od kąta natarcia na sufit, woda zachowa się w określony sposób. Jeśli kąt względem sufitu jest zbliżony do **kąta prostego** (woda podawana z niewielkiej odległości od fasady), wówczas energia kinetyczna powoduje **skuteczne rozbicie prądu gaśniczego** na krople o różnej wielkości. Jeśli natomiast kąt ten jest nieco bardziej **otwarty** (woda podawana jest z nieco większej odległości od fasady), wówczas woda ma tendencję do **przylegania do powierzchni sufitu** i pokonywania pewnej odległości zanim opadnie na podłogę. W praktyce oznacza to, że woda podana w ten drugi sposób nie zostanie tak skutecznie rozbita na krople i nie nastąpi tak intensywne gaszenie, jak by to mogło mieć miejsce w przypadku prądu podanego pod kątem zbliżonym do kąta prostego (zobacz **Rys. 92.** oraz **Fot. 141 i 142**). [115, 116, 117]



Fot. 138: Badania NIST nad efektem podania prądów gaśniczych przez okno do palącego się pomieszczenia. Pożar ma miejsce w dwóch pomieszczeniach na pierwszym piętrze. Górne zdjęcia pokazują widok z zewnątrz budynku: nagrany zwykłą kamerą (po lewej) i kamerą termowizyjną (po prawej). Dolne zdjęcia pokazują widok ze środka – na klatkę schodową wiodącą na pierwsze piętro (również kamera zwykła i termowizyjna). Dzięki uprzejmości NIST ⁴⁹

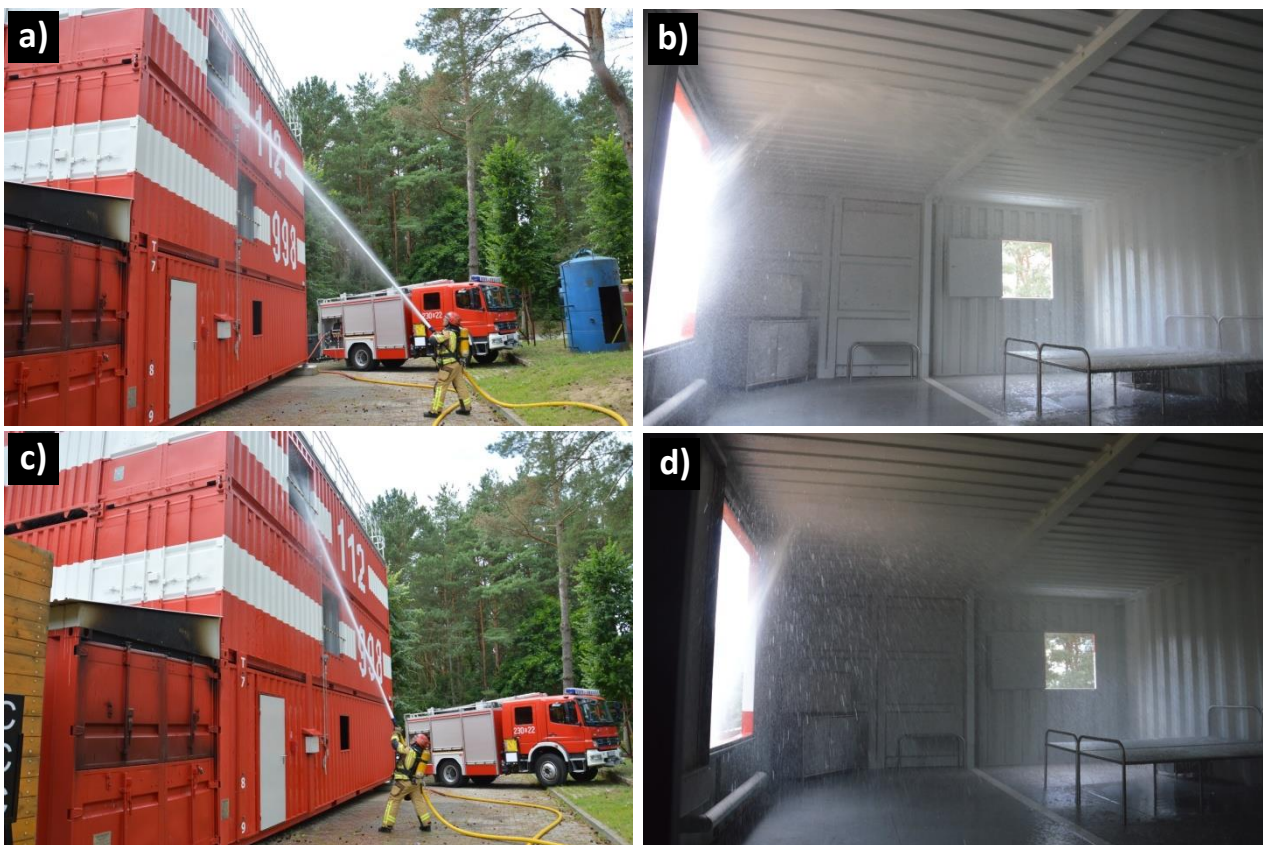
⁴⁹<https://www.youtube.com/watch?v=dag7nDCgHLY> – NIST: Hose stream comparison.



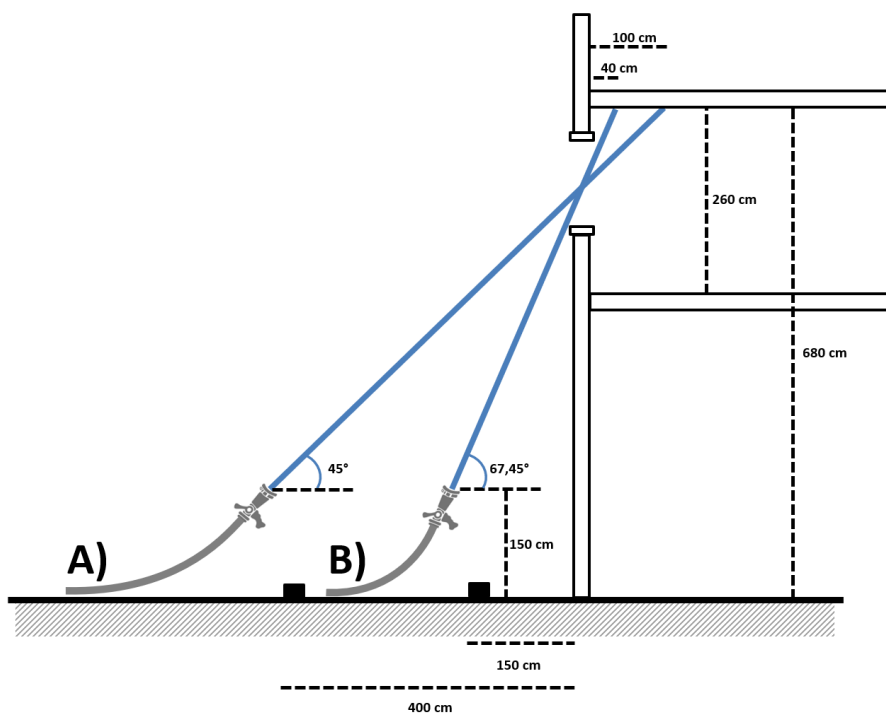
Fot. 139: Badania NIST nad efektem podania prądów gaśniczych przez okno do palącego się pomieszczenia. Około 5 sekund po podaniu prądu zwartego widać, że wewnątrz nie nastąpił zauważalny ruch gazów pożarowych. Warunki nie zostały zachwiane i nie wystąpiło niepożądane przemieszczenie gazów. Dzięki uprzejmości NIST ⁴⁹



Fot. 140: Badania NIST nad efektem podania prądów gaśniczych przez okno do palącego się pomieszczenia. Niespełna 5 sekund po podaniu prądu rozproszonego widać, że wewnątrz nastąpił znaczny ruch gazów pożarowych. Taki efekt mógłby spowodować znaczne zagrożenie dla osób znajdujących się w pomieszczeniach sąsiadujących z pożarem lub na klatce schodowej. Dzięki uprzejmości NIST ⁴⁹



Fot. 141 a-d: Natarcie zewnętrzne. Na **górnym zdjęciach** widać podanie wody z większej odległości od ściany efekt – woda przylega do sufitu (pomimo nierównej powierzchni) i nie opada równomiernie oraz niewielka jej część opada w pobliżu okna. Na **dolnym zdjęciach** widać podanie wody pod mniejszym kątem oraz jego efekt – rozbitcie strumienia na kropel jest znacznie większe a zroszenie powierzchni pełniejsze.



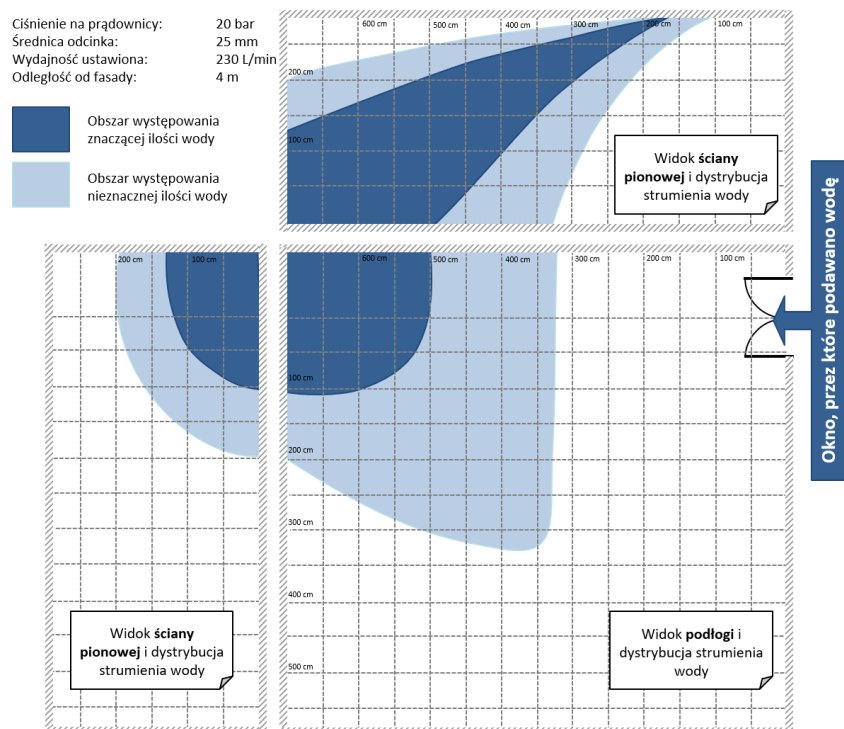
Rys. 92: Testy wykonane przez strażaków w Hiszpanii, poświęcone natarciu prądem zwartym z zewnątrz. Sposoby podawania prądu zwartego z zewnątrz. Podane na rysunku kąty podawania prądu gaśniczego zostały obliczone z wartości geometrycznych wynikających ze sposobu przeprowadzenia ćwiczenia. (opracowanie własne na podstawie [116, 117]).



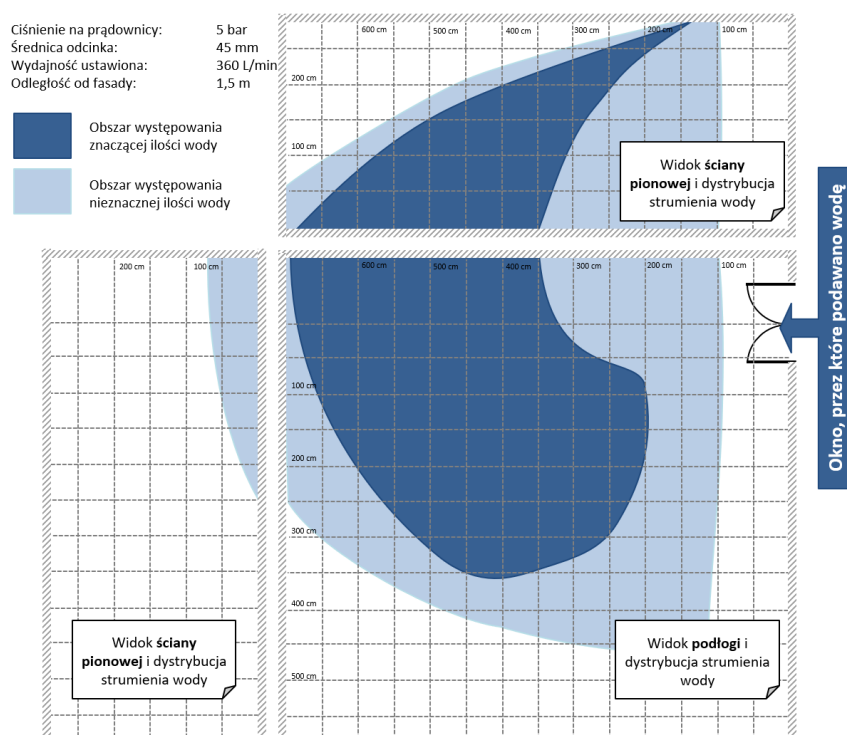
Fot. 142: Natarcie zewnętrzne, wariant A z rys. 90. Podanie wody z większej odległości od fasady powoduje przyleganie strumienia do sufitu i mniej intensywne zraszanie powierzchni poniżej. [115, 116, 117]



Fot. 143: Natarcie zewnętrzne, wariant B z rys. 90. Podanie wody z mniejszej odległości od fasady powoduje rozbicie strumienia i bardziej intensywne zraszanie powierzchni poniżej. [115, 116, 117]



Rys. 93: Diagram dystrybucji wody z większej odległości (4 m; jak na **Fot. 142**). Woda podana została z linii szybkiego natarcia przez okno znajdujące się po prawej stronie rysunku. Jak wspomniano wcześniej powoduje to bardziej dynamiczne przetłaczanie gazów. Zobacz też **Tab. 25**. (opracowanie własne na podstawie [115, 116, 117])



Rys. 94: Diagram dystrybucji wody z mniejszej odległości (1,5 m; jak na **Fot. 143**). Woda podana została z tradycyjnej linii gaśniczej. Lepsza dystrybucja wody i wyższa skuteczność są skutkiem niższego ciśnienia i korzystniejszego kąta natarcia. (opracowanie własne na podstawie [115, 116, 117])

Tab. 25: Różnice w przepływie powietrza do wnętrza pomieszczenia przez okno, wraz ze strumieniem wody. [116, 117]

| Numer testu | Ciśnienie na pompie [bar] | Średnica odcinka [mm] | Ustawiony przepływ [L/min] | Rzeczywisty przepływ [L/min] | Przepływ powietrza* [L/s] | |
|-------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|-------|
| | | | | | 4 m | 1,5 m |
| 1. | 30 | 25 | 150 | 265 | 1109 | 689 |
| 2. | 20 | 25 | 150 | 210 | 869 | 300 |
| 3. | 10 | 25 | 150 | 165 | 719 | 150 |
| 4. | 20 | 25 | 230 | 285 | 899 | 449 |
| 5. | 10 | 25 | 230 | 220 | 449 | 60 |
| 6. | 5 | 45 | 360 | 260 | 270 | 30 |

* Odległość prądownicy od fasady budynku

Jak widać po pierwszych pięciu próbach, zarówno kąt natarcia na sufit jak i wydajność oraz ciśnienie mają wpływ na przetłaczanie gazów do wnętrza pomieszczeń. Ostatnia próba dowiodła, że z punktu widzenia taktycznego, **podawanie prądu przy niskim ciśnieniu i wyższej wydajności** pozwala na zminimalizowanie problemu przy jednoczesnym uzyskaniu wysokiej skuteczności. Ważnym parametrem jest **energia kinetyczna** strumienia, która jest wypadkową ciśnienia i wydajności. Idealnym miejscem do zastosowania techniki natarcia prądem zwartym z zewnątrz są domy jednorodzinne i bloki (do pewnego piętra), gdzie niepalna konstrukcja i relatywnie przewidywalny układ wnętrza pozwala na opisane powyżej działanie z zachowaniem bardzo wysokiego prawdopodobieństwa osiągnięcia oczekiwanej skuteczności.

WAŻNE: W oparciu o przedstawioną wiedzę z zakresu teorii rozwoju pożaru (**ROZDZIAŁ 2**) jak również mechanizmów gaśniczych wody (**ROZDZIAŁ 4**) należy **jednoznacznie podkreślić**, że opisane powyżej działanie powinno być dopasowane do sytuacji pożarowej i nią kierowane. Zamieszczone **rysunki (93, 94)** oraz **fotografie (141, 142 i 143)** pozwalają zrozumieć, że podanie wody w ten sposób oddziałuje na pożar niemal wyłącznie w jednym pomieszczeniu. Dlatego:

- podanie wody w opisany sposób ma największy sens, jeśli z okna wychodzą płomienie lub gęsty, czarny, szybko wydobywający się dym, sugerujący rychłą możliwość wystąpienia (samo)zapłonu (zobacz **ROZDZIAŁ 3.3.**);
- z uwagi na opisaną powyżej skuteczność prądów o określonej charakterystyce należy pamiętać, że skuteczne gaszenie pomieszczenia odbywa się przez pierwsze **kilkanaście sekund** ciągłego podawania wody. Po upływie tego czasu następuje znaczne schłodzenie wnętrza i kontynuacja podawania wody powoduje straty wynikające z zalania pomieszczeń.
- zaleca się stosowanie metody polegającej na podaniu wody przez kilka sekund a następnie przerwaniu podawania i **przeanalizowaniu** efektu (i potrzeby dalszego podawania). Ponadto należy unikać znacznego przemieszczania prądu gaśniczego pomiędzy krawędziami otworu (okna), żeby nie zwiększać ilości zasysanego powietrza. Można natomiast rozpocząć z jednej strony (np. lewej) i płynnie oraz **powolnie przesunąć** w trakcie wspomnianych kilku-kilkunastu sekund prąd wody w stronę drugiej krawędzi.



Fot. 144: Pali się pomieszczenie na 1. piętrze, a pożar spowodował wypadnięcie szyby. Gęsty czarny dym wydobywa się z okna bardzo intensywnie a ponadto zaczyna pojawiać się płomień. Zastosowanie natarcia z zewnątrz przez okno poprzez rozbicie prądu zwartego o sufit płonącego pomieszczenia przyniesie znaczne korzyści taktyczne: schłodzenie gazów i zwilżenie płonących paliw, zmniejszenie dynamiki rozwoju pożaru, zubożenie gazów pożarowych mgłą wodną. Należy również zwrócić uwagę na ryzyko rozprzestrzenienia pożaru na konstrukcję dachową od spodu. (fot. KW PSP w Olsztynie)

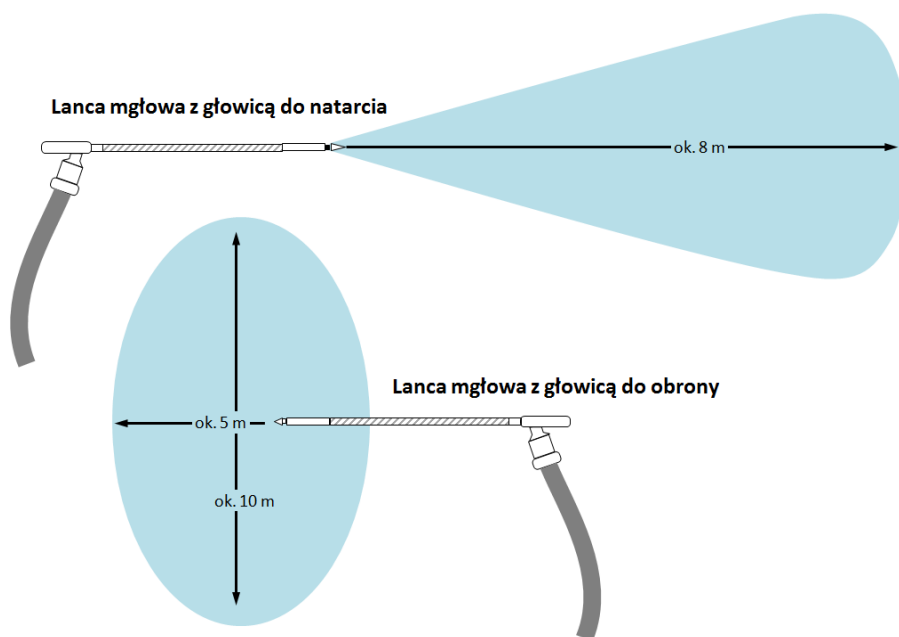
Inną formą **natarcia z zewnątrz** jest użycie **lanc**. Są to urządzenia, które stosowane są od bardzo dawna. Tuż po II Wojnie Światowej (a niewykluczone, że również przed) tworzone urządzenia w kształcie dyszy, z której końca można było podawać wodę. Pierwsze lance posiadały zwykłe nawierty a woda często podawana była zwartymi stróżkami, dookoła dyszy w kierunku prostopadłym do niej. Dziś tego typu rozwiązania używane są np. do gaszenia stogów.

Od kilku dekad producenci na świecie oferują natomiast lance mgłowe. Dzięki specjalnie zaprojektowanym głowicom, lance te podają wodę w postaci mgły o określonym kształcie strugi. Najczęściej spotyka się dwa kształty, które można umownie sklasyfikować, jako „**natarcie**” i „**obrona**”.

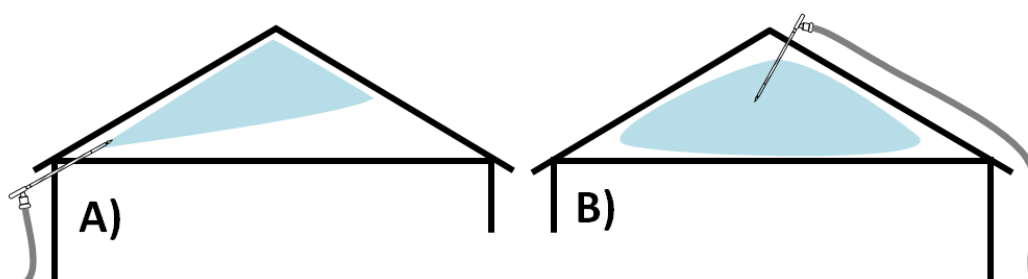
Lance produkowane są w różnych rozmiarach i konfiguracjach. Niektóre zasilane są tradycyjnymi liniami gaśniczymi i ciśnieniem 8 bar, inne mogą pracować zarówno przy 8 jak i 40 barach (na liniach szybkiego natarcia). Jeszcze inne skonstruowane są tak, że działają optymalnie jedynie na wyższym ciśnieniu (20 bar i więcej). Różnią się też ich wydajności: od 70 L/min dla lanc mniejszych do nawet 600 L/min dla bardzo dużych lanc.

W lancach o wyższej wydajności dochodzi do łączenia się wytworzonych małych kropli w większe krople, co prowadzi do niższej skuteczności mgły z powodu większej masy i energii kinetycznej kropli, uniemożliwiających skuteczne odparowanie w gazach. Z drugiej strony tego typu urządzenia mają większą skuteczność gaszenia, chłodzenia czy zwilżania paliw stałych, jednak używanie ich potęguje ryzyko powstawania strat wtórnych w wyniku zalania.

Niektóre lance, z uwagi na masywną i wytrzymałą budowę, dają się wbijać przez różnego rodzaju elementy konstrukcyjne i znoszą to prawie bez szwanku. Inne mają mniej wytrzymałą konstrukcję i wymagają wykonania otworu w inny sposób w bardziej wytrzymałych materiałach. Zaletą pierwszych jest wytrzymałość, drugich najczęściej łatwość użycia (mniejszy otwór wymagany do wprowadzenia lancy) i lepsza jakość mgły. [118] Na **rysunku 95** przedstawiono poglądowo geometrię strumieni wodnych wytwarzanych przez standardowe końcówki do natarcia i obrony. Końcówka do natarcia wytwarza strumień o kształcie stożka o dalszym zasięgu, natomiast końcówka do obrony wytwarza strumień o bliższym zasięgu w kształcie zbliżonym do spłaszczonej kuli (elipsoidy).



Rys. 95: Najczęściej spotykane rodzaje głowic w lancach mgłowych. Lanca do **natarcia** wykorzystywana jest najczęściej do chłodzenia gazów i gaszenia pożarów w przestrzeniach otwartych. Lanca do **obrony** wykorzystywana jest najczęściej do ograniczania rozprzestrzeniania pożaru w zamkniętych przestrzeniach (dachy, kanały instalacyjne, pustki konstrukcyjne itd.). (opracowanie własne na podstawie [119])



Rys. 96: Przykładowe zastosowanie różnych głowic lanc mgłowych podczas gaszenia pożaru poddasza. Wariant **A)** – wykorzystanie głowicy do natarcia od dołu. Wariant **B)** – wykorzystanie głowicy do obrony od góry. (opracowanie własne na podstawie [119])



Fot. 145: Strumień mgły wodnej z lancy z głowicą do natarcia, wydajność około 80 L/min, ciśnienie na pompie 40 bar.

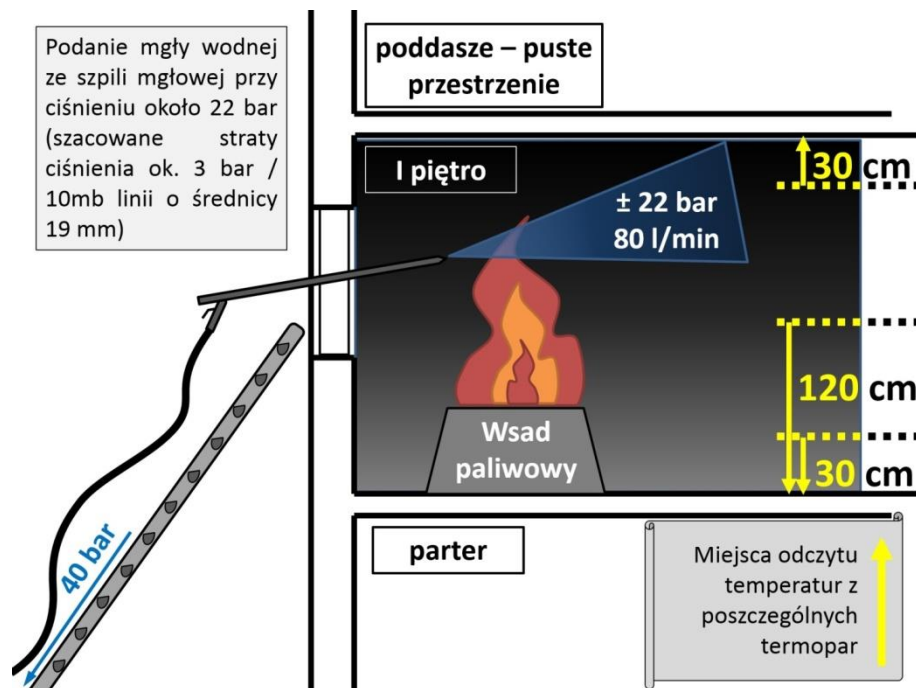


Fot. 146: Pali się pomieszczenie na 1. piętrze, w rozpoznaniu stwierdzono pożar **niedowietrzony**. Strażacy zdecydowali się wywiercić otwór i podać mgłę wodną. Na zdjęciu po prawej widać lancę o wydajności 260 L/min, zasilaną z linii gaśniczej W52 przy ciśnieniu 8 bar, z końcówką do natarcia, użytą do zabezpieczenia pustej przestrzeni dachu podczas testów. (ćwiczenia, fot. KW PSP w Olsztynie)

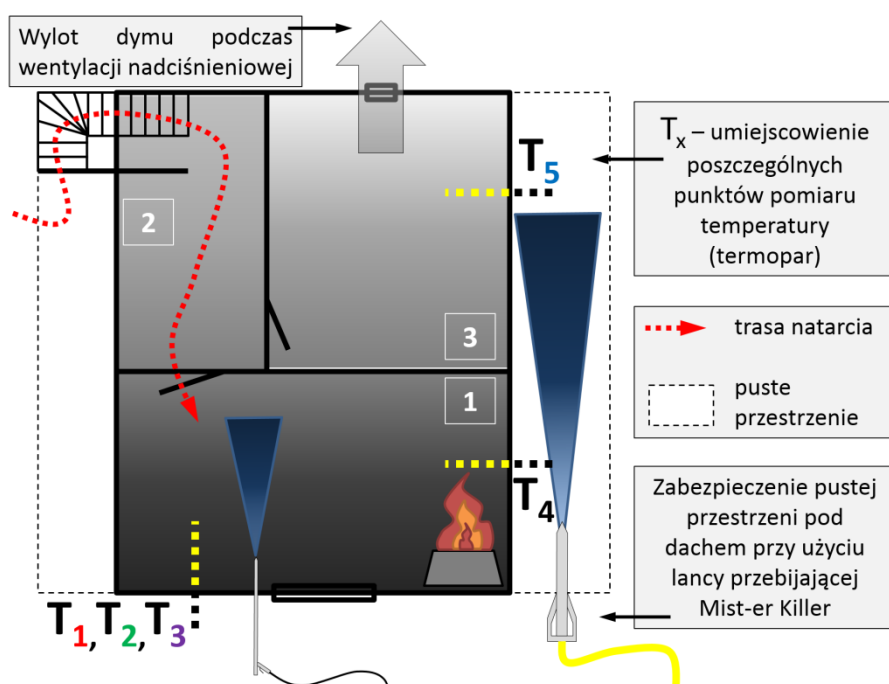


Fot. 147: Podanie mgły wodnej z lancy mgłowej przez 4 minuty z wydajnością około 80 L/min (łącznie około 320 L wody w postaci mgły wodnej) z linii szybkiego natarcia (ciśnienie na pompie równe 40 bar). Znaczna część wody odparowała schładzając gorącą i bogatą mieszaninę gazów pożarowych. Strażacy weszli następnie do natarcia wewnętrznego bez ryzyka wystąpienia niebezpiecznych zjawisk pożarowych. (ćwiczenia, fot. KW PSP w Olsztynie)

Badania nad skutecznością zastosowania mgły wodnej podawanej za pomocą lancy mgłowej pokazały, że jest to jedna ze skutecznych metod działania. Wykorzystano w tym celu lance zamontowaną na linii szybkiego natarcia (**fot. 145-147** oraz **rys. 95-98**) a dokładny opis i wyniki badań można w prasie branżowej. [120, 121] Podanie wody bez dotlenienia pożaru, wykonane w trakcie przygotowywania do natarcia wewnętrznego, daje wiele korzyści. Umiejętność rozpoznania sytuacji sprzyjającej tego typu działaniom jak również posiadanie odpowiedniego sprzętu i wyszkolenia, daje możliwość zastosowania tego rodzaju taktyki, która podnosi zarówno bezpieczeństwo, jak i skuteczność prowadzonych działań.



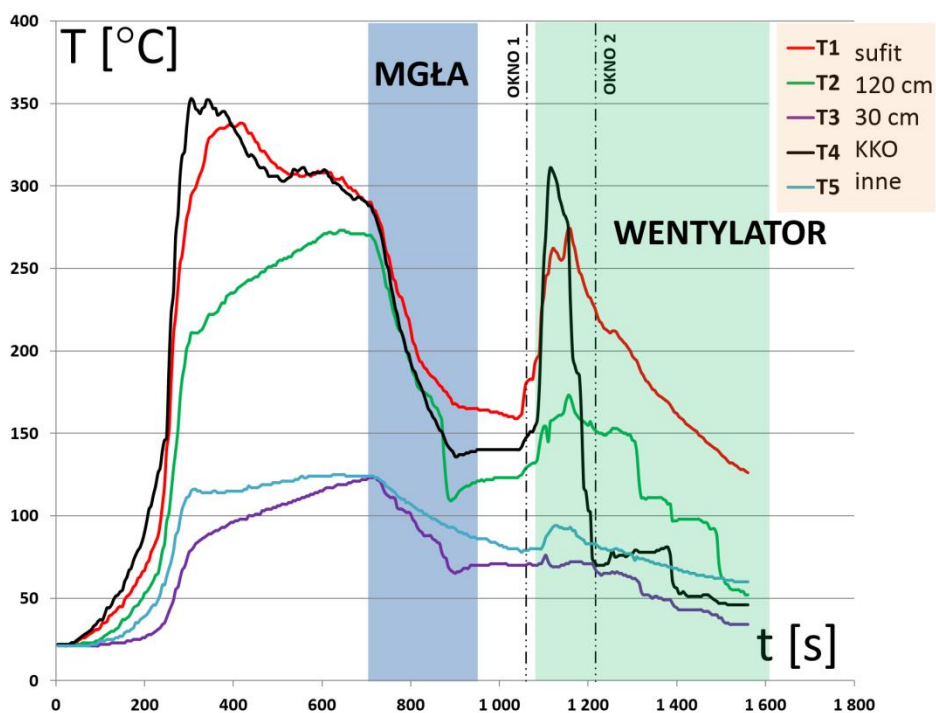
Rys. 97 a: Wyjaśnienie metody badania zastosowania mgły wodnej do natarcia wstępnego z zewnątrz. Wskazanie miejsc pomiaru oraz sposobu przeprowadzenia próby. Faktyczne ciśnienie na wylocie z lancy wynosiło około 22 bar (strata około 3 bar na 10 m przewodu o średnicy 19 mm). [120]



Rys. 97 b: Wyjaśnienie metody badania zastosowania mgły wodnej do natarcia wstępnego z zewnątrz. Wskazanie miejsc pomiaru oraz sposobu przeprowadzenia próby. [120]

W wyniku przeprowadzonego badania zarejestrowano temperatury charakteryzujące przebieg pożaru, które pokazano w sposób graficzny na **rysunku 98**. Po 10 minutach od rozpoczęcia pożaru (prognozowany czas dojazdu do miejsca zdarzenia) rozpoczęto ćwiczenie (rozwiniecie) a po upływie krótkiego czasu wykonano odwiert w ścianie i zaaplikowano mgłą wodną. Spowodowało to wyraźny spadek temperatur we wszystkich punktach pomiarowych: w pomieszczeniu objętym pożarem oraz w pomieszczeniu przyległym. Podawanie mgły wodnej trwało 4 minuty a w tym czasie strażacy przygotowali się do natarcia nadciśnieniowego (więcej na ten temat w **ROZDZIALE 5.5.4.**). Na poniższym wykresie czas podawania mgły zaznaczony jest błękitnym kolorem tła. Następnie gotowa rota przeprowadziła natarcie wewnętrzne. Z uwagi

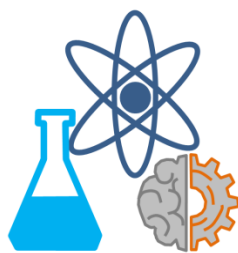
na zerową widoczność oraz obecność dużych ilości pary wodnej rota otworzyła jedno z okien w mijanym pomieszczeniu (okno 1) i zwróciła się o rozpoczęcie wentylacji nadciśnieniowej (jasnozielone tło na wykresie). Spowodowało to poprawę warunków (widoczność, temperatura), ale jednocześnie było przyczyną nawrotu spalania w pomieszczeniu objętym pożarem. Rota gaśnicza odnalazła pomieszczenie i rozpoczęła gaszenie, a następnie zwróciła się do rotacji asekuracyjnej o usunięcie drugiego okna, w pomieszczeniu objętym pożarem (okno 2). Spowodowało to natychmiastową poprawę widoczności i pozwoliło na całkowite ugaszenie pożaru.



Rys. 98: Przebieg testu natarcia wstępnego z zewnątrz z wykorzystaniem mgły wodnej. Schłodzenie bogatej mieszaniny gorących gazów pożarowych bez ich dotlenienia przed wejściem do natarcia wewnętrznego oraz zobojętnienie mieszaniny poprzez wprowadzenie mgły i pary wodnej, pozwoliły na uniemożliwienie wystąpienia niebezpiecznych zjawisk pożarowych, jak **wsteczny ciąg płomienia** czy **zapłon gazów pożarowych**. [122]



Fot. 148 a-b: Użycie lancy przebijającej podczas pożaru w budynku gospodarczym o konstrukcji z płyt. Dzięki natarciu z zewnątrz bez dotleniania pożar został szybko opanowany, dogaszenie przebiegło sprawnie, zużyto niewielką ilość wody i ograniczono straty. (fot. KM PSP w Elblągu)



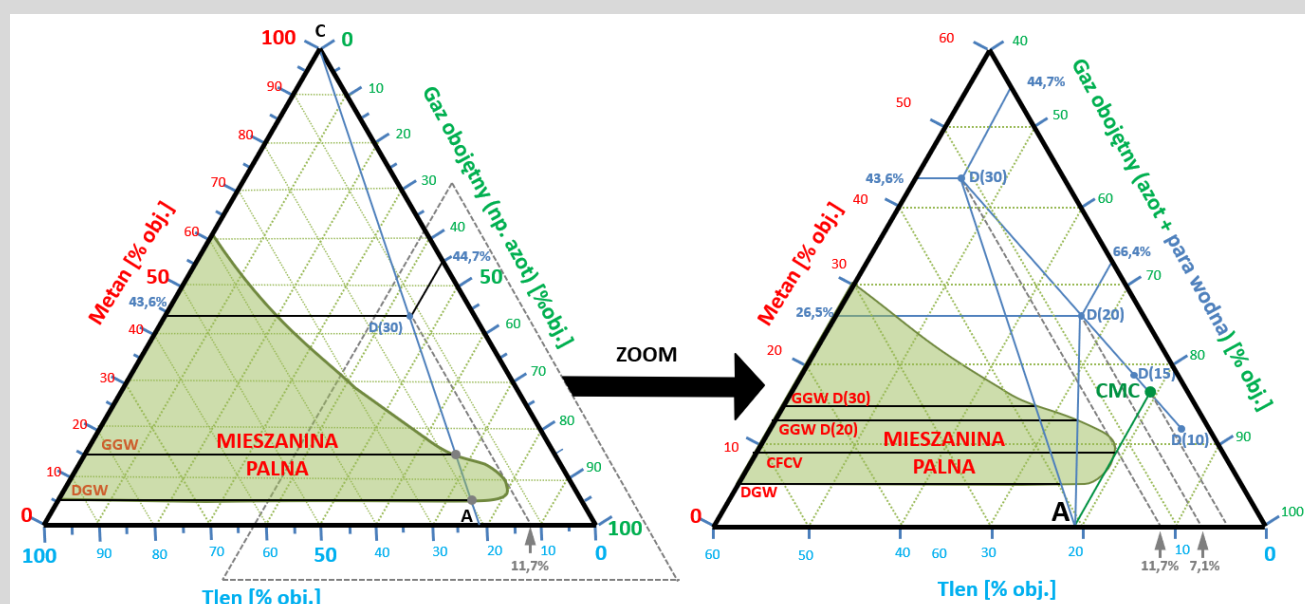
UWAGA! NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pomińnięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytaj na własne ryzyko!

Współczesne metody badawcze pozwalają nam na znacznie lepsze zrozumienie, co się dzieje w pożarach i jak należy je skutecznie gasić. Przyjrzyjmy się gaszeniu mgłą wodną za pomocą urządzeń takich jak lance, podające wodę do wnętrza bez odpowietrzania pożaru.

W tym celu musimy cofnąć się do diagramy, który znajduje się w ROZDZIALE 2.3. Na **Rys. 9** widać graficzne wyjaśnienie zagadnienia palności. Poniżej, na **Rys. 99** zestawiono ów diagram z drugim diagramem, na którym pokazano efekt użycia mgły wodnej i jej odparowania w gazach. Pod rysunkiem znajduje się objaśnienie tego efektu.



Rys. 99: Diagram palności (wybuchowości). Poszczególne linie pokazują zawartość **tłenu**, **gazu obojętnego** (azotu/pary wodnej) oraz **gazu palnego** (tu: metan). Po prawej stronie, wycinek diagramu przedstawia proces wprowadzania pary wodnej do mieszanki i towarzyszące temu zjawiska zubożenia mieszanki aż do osiągnięcia stanu niepalności. (opracowanie własne na podstawie [123])

Gottuk i inni, w swych badaniach odkryli, że mgła wodna może być wykorzystywana jako skuteczna taktyka do przeciwdziałania zjawiskom **backdraftu** podczas testów pożarowych z wykorzystaniem oleju napędowego. [51, 123] Podanie wody skutkuje w zmniejszeniu stężenia masowego paliwa, ponieważ woda zamienia się w parę. Między innymi, wytwarza to nadciśnienie, które wypycha gazy pożarowe przez nieszczelności na zewnątrz. Gottuk ze swym zespołem doszli do wniosku, że pożądany efekt zapobiegania zjawisku w dominujący sposób wynika z obniżenia stężenia masowego paliwa i rozrzedzenia atmosfery, natomiast samo chłodzenie ma mniejsze znaczenie. W przypadku oleju napędowego, zapobieganie wstęcznemu ciągłowi płomienia ma miejsce, jeśli stężenie masowe paliwa zostanie obniżone poniżej 16%. [124]

Inny badacz, Guigay, wraz ze swoim zespołem zauważył, że chłodzenie gazów zmniejszy różnicę gęstości pomiędzy dymem a powietrzem. Zmniejszy to prędkość prądu grawitacyjnego (zobacz ROZDZIAŁ 2.11.). Wydłuża to czas wytworzenia mieszanki palnej i daje strażakom więcej czasu na ugaszenie pożaru. To kolejny z mechanizmów uzasadniających podawanie wody bez dotleniania pożaru. Wykorzystując programy CFD

(*Computational Fluid Dynamics* – obliczeniowej mechaniki płynów) zespół odkrył też, że rozcieńczenie jest bardzo skuteczne, kiedy osiągnięte zostanie krytyczne stężenie masowe paliwa (*critical fuel volume fraction* – CFVF). Odpowiada mu punkt CMC, czyli krytyczny skład mieszaniny (*Critical Mixture Composition*). Kiedy mgłą wodną podaje się do środowiska pożaru a stężenie CFVF nie zostało osiągnięte, wówczas chłodzenie doprowadzi do sytuacji, w której gęstości gazów są wyrównane zanim mieszanina palna opuści pomieszczenie. Różnica temperatur między gazami pożarowymi a powietrzem jest mniejsza, zatem w takich przypadkach spada skuteczność wentylacji naturalnej i przestaje być ona skuteczną opcją.

Wracając do rysunku, przypomnijmy, że zawiera on szereg uproszczeń. Metan użyty jest jako gaz palny reprezentujący gazy palne w dymie. Jest to substancja często wykorzystywana w badaniach. W diagramie nie wykazano obecności innych gazów pojawiających się w pożarach, jak CO, CO₂ czy HCN. Ich udział w stężeniu masowym jest ograniczony, dlatego takie uproszczenie jest akceptowalne. Para wodna uznana jest za gaz obojętny (inertyzujący) i dodana jest do prawego boku trójkąta po prawej stronie (do azotu). W czystym powietrzu znajduje się około 21% objętościowych tlenu i 79% azotu. Te proporcje można zlokalizować odszukując punkt A na podstawie trójkąta. Mieszanina zawierająca 43,6% obj. metanu, 44,7% obj. azotu i 11,7% obj. tlenu zaznaczona jest niebieskimi liniami oraz indeksem D(30), ponieważ stężenie objętościowe 43,6% metanu odpowiada stężeniu masowemu 30%. Można zauważyć, że suma wszystkich tych stężeń objętościowych wynosi 100%. Chcąc rozcieńczyć mieszaninę gazu z powietrzem o danym stężeniu, można poprowadzić linię od danego punktu do punktu A. W trakcie procesu rozcieńczania skład procentowy mieszaniny będzie wyznaczany przez tę linię. Mieszanina zawierająca 100% metanu reprezentowana jest przez punkt C znajdujący się w górnym wierzchołku trójkąta. Rozcieńczenie mieszaniny następuje wzdłuż linii C-A, którą nazywa się „linią powietrza”. Każdy gaz palny posiada zakres mieszanin, w których stosunek do powietrza i gazów obojętnych pozwala owej mieszaninie na spalanie się. Wszystkie palne stężenia występują w obszarze zaznaczonym na zielono. Patrząc na linię C-A można zauważyć, że przechodzi ona przez ten obszar. Wchodzi w ów obszar przy stężeniu 15% metanu a wychodzi z niego przy 5% metanu. Owe wartości są odpowiednio Górną i Dolną Granicą Palności dla metanu. Oznacza to, że mieszanina, która nie była wcześniej palna, po wymieszaniu się z powietrzem w tym zakresie staje się palna. Oznacza to ryzyko, którego trzeba w miarę możliwości unikać.

Skupmy uwagę na diagramie po prawej stronie. Jest on wycinkiem diagramu po lewej stronie i przedstawia sytuację po dodaniu gazu obojętnego (podanie do wnętrza wody, która zamienia się w parę, bez dodawania powietrza, czyli np. użycie lancy gaśniczej lub urządzenia przebijająco-chłodzącego). Opisane powyżej działanie zmienia proporcje gazów w mieszaninie. Para wodna uznawana jest za gaz obojętny (niepalny, inertyzujący) i dlatego dodawana jest do prawego boku trójkąta, oznaczającego stężenie azotu.

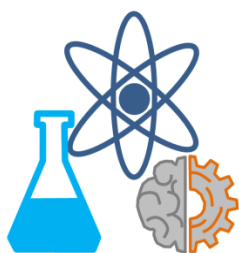
Punkt D(30), reprezentujący stężenie masowe paliwa na poziomie 30%, widoczny jest również na prawym diagramie. Z tym punktem łączy się linia biegnąca od punktu A, reprezentująca powietrze. Widać wyraźnie, że rozcieńczenie mieszaninę D30 powietrzem tworzy mieszaninę palną w pewnym momencie. Oznacza to, że dopuszczenie powietrza do pomieszczenia, w którym panują takie warunki, doprowadzi do wytworzenia mieszaniny palnej. Linia przebiega przez strefę palną, oznaczoną kolorem zielonym. Kiedy podana jest woda, zamieniająca się w parę wodną, dochodzi do zmiany bilansu stężeń masowych. Prowadzi to do wytworzenia mieszaniny D20, oznaczonej punktem D(20) na diagramie. Oznacza to, że udział masowy gazu palnego w mieszaninie wynosi teraz 20%. Trzeba pamiętać, że ilość tej substancji się nie zmieniła, jedynie dodano innej substancji zmieniającej całościowe proporcje. Linia wiodąca od tego punktu nadal przechodzi przez strefę palną, jednak zakres palności jest o wiele mniejszy (mniej możliwych stężeń, w których może nastąpić spalanie).

Dodając dalej parę wodną osiągamy punkt D15. Widzimy, że poprowadzona od niego linia do punktu A nie przechodzi w ogóle przez zakres palny. Oznacza to, że podanie wody i jej odparowanie spowodowało, że zagrożenie wynikające z palności mieszaniny zostało całkowicie zażegnane. W praktyce należy pamiętać o dwóch ważnych krokach:

1. Podanie wody zamieniającej się w parę wodną, co powoduje rozrzedzenie mieszaniny do stanu, w którym nie jest palna (groźna).
2. Wykonanie dostępu i przewentylowanie wnętrza, co w dalszym stopniu rozcieńczy mieszaninę z powietrzem. [51, 123, 124]

Urządzenia do przebijania i chłodzenia (zwane często urządzeniami do cięcia-gaszenia, z angielskiego: *cutting-extinguishing*), to sprzęt pracujący przy ultra-wysokim ciśnieniu (zobacz **Rozdział 4.2.**). Poza wodą podawaną przy bardzo wysokim ciśnieniu (zazwyczaj między **200-300 bar** na pompie) przebijanie odbywa się poprzez użycie specjalnego ścierniwa, które jest podawane wraz ze strugą wody. Po przebicium materiału konstrukcyjnego wyrzut ścierniwa jest zatrzymywany i następuje podawanie bardzo drobnej mgły, z wydajnością zazwyczaj około 20-40 L/min. Mały rozmiar kropelek i bardzo duża prędkość ich przemieszczania się powodują bardzo skuteczne schłodzenie gazów pożarowych. Należy jednak pamiętać, że z **uwagi na niską wydajność urządzenia podające mgłę wodną mają niską skuteczność chłodzenia paliw stałych i powstrzymywania procesu pirolizy**. Dotyczy to zarówno urządzeń do przebijania i chłodzenia, jak i lanc gaśniczych pracujących z wykorzystaniem średniego oraz niskiego (normalnego) ciśnienia. Prowadząc działania z wykorzystaniem urządzeń przebijająco-chłodzących należy trzymać się ustalonej kolejności działań:

- Po przybyciu na miejsce zdarzenia należy dokonać rozpoznania. (zobacz **ROZDZIAŁ 3**, szczególnie **fot. 32, 52, 60 i 63**). Wykorzystanie w tym celu kamery termowizyjnej znacznie podniesie dokładność rozpoznania i skuteczność użycia urządzenia.
- Mając na uwadze informacje z rozpoznania należy **wybrać miejsce przebicia**. Może to być **powierzchnia drzwi** lub **futryna** okna (elementy najstabsze konstrukcyjnie, łatwiejsze do naprawy czy wymiany niż np. ściana) lub **poszycie** dachu (w przypadku pożaru w tej części budynku). Przebijanie się przez powierzchnię ściany dodatkowo zwiększa prawdopodobieństwo trafienia na mebel stojący przy ścianie, który utrudni przebicie, spowolni działania i obniży skuteczność urządzenia (zobacz **rysunek 99**). Miejsce przebicia musi być usytuowane wysoko względem podłogi w budynku, aby uniknąć zranienia osób, mogących przebywać wewnątrz (zazwyczaj blisko podłogi).
- Po rozpoczęciu przebijania należy **odczekać** na moment przebicia i nie spieszyć się z przejściem do kolejnych etapów działania. Właśnie zaczęła się stabilizacja zdarzenia i poprawa warunków wewnątrz. Ten czas należy wykorzystać na upewnienie się, że istnieje **droga natarcia** po zakończeniu chłodzenia. W razie potrzeby należy **sforsonować drzwi**, dlatego sprawdzenie ich powinno odbyć się jak najszybciej, aby zapewnić odpowiednią koordynację działań.
- Większość urządzeń tego typu wytwarza strugę mgły wodnej o dosyć dużym zasięgu. Przez pierwsze około 5 metrów struga jest dosyć mocno skupiona. Na kolejnych 2-3 metrach struga zaczyna się rozpraszać i osiąga bardzo wysoką skuteczność (czyli mniej więcej **5-8 m** od wylotu z dyszy urządzenia). Zasięg mgły jest większy, bowiem badania pozwoliły stwierdzić obecność kropli nawet 15 metrów od dyszy urządzenia, niemniej w miarę oddalania się skuteczność chłodnicza spada. Tego typu charakterystyka strugi przekłada się na zalecane tu sposoby pracy z urządzeniem. urządzenie wytwarza krople o bardzo małych średnicach (w zakresie około 70-170 mikronów, porównaj z **tabelą 18**). [125]
- Po osiągnięciu zamierzonego efektu schłodzenia i zubożenia gazów pożarowych następuje przygotowanie do wejścia do działań wewnętrznych. W tym czasie należy wykonać **otwór wylotowy** we wcześniej ustalonym miejscu. Dla usprawnienia działań stosuje się zazwyczaj wentylację nadciśnieniową, która zapewnia lepsze warunki widoczności oraz termalne. Decydując się na ten wariant działań należy zachować uważność. Więcej informacji na ten temat znajduje się w **ROZDZIALE 5.5.4. W** przypadku zastosowania **natarcia nadciśnieniowego** należy odczekać pewien czas (zazwyczaj 30-60 sekund) na ukierunkowanie się przepływów i oczyszczenie ścieżki natarcia.
- Mgła wodna ma bardzo dobre właściwości **schładzania** i **inertyzowania** gazów pożarowych, niemniej nie ma wystarczającej zdolności schłodzenia i zwilżenia **rozgrzanych paliw** przechodzących pirolizę. Dlatego zastosowanie tego typu urządzeń, jak również innych lanc mgłowych, pociąga za sobą **konieczność przeprowadzenia działań wewnętrznych** w celu dogaszenia zarzewi ognia i powstrzymania procesu rozkładu termicznego.
- W przypadku korzystania z wentylacji nadciśnieniowej, po wstępnym sprawdzeniu i dogaszeniu wnętrza należy **zatrzymać wentylator** i **sprawdzić** raz jeszcze wnętrze, bowiem ta metoda działania sprzyja maskowaniu niektórych **pożarów ukrytych**. Dla zapewnienia dokładnej inspekcji wnętrza należy wykorzystać **kamerę termowizyjną**.



UWAGA! NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Urządzenia do przebijania i chłodzenia są przedmiotem wielu badań z powodu ich znacznie wyższej skuteczności w niektórych zastosowaniach od pozostałych, tradycyjnych rozwiązań technicznych. Jedno z takich badań, przytoczone poniżej, pozwala na lepsze zrozumienie charakterystyki strugi i skuteczniejsze wykorzystanie urządzenia podczas działań ratowniczo-gaśniczych.

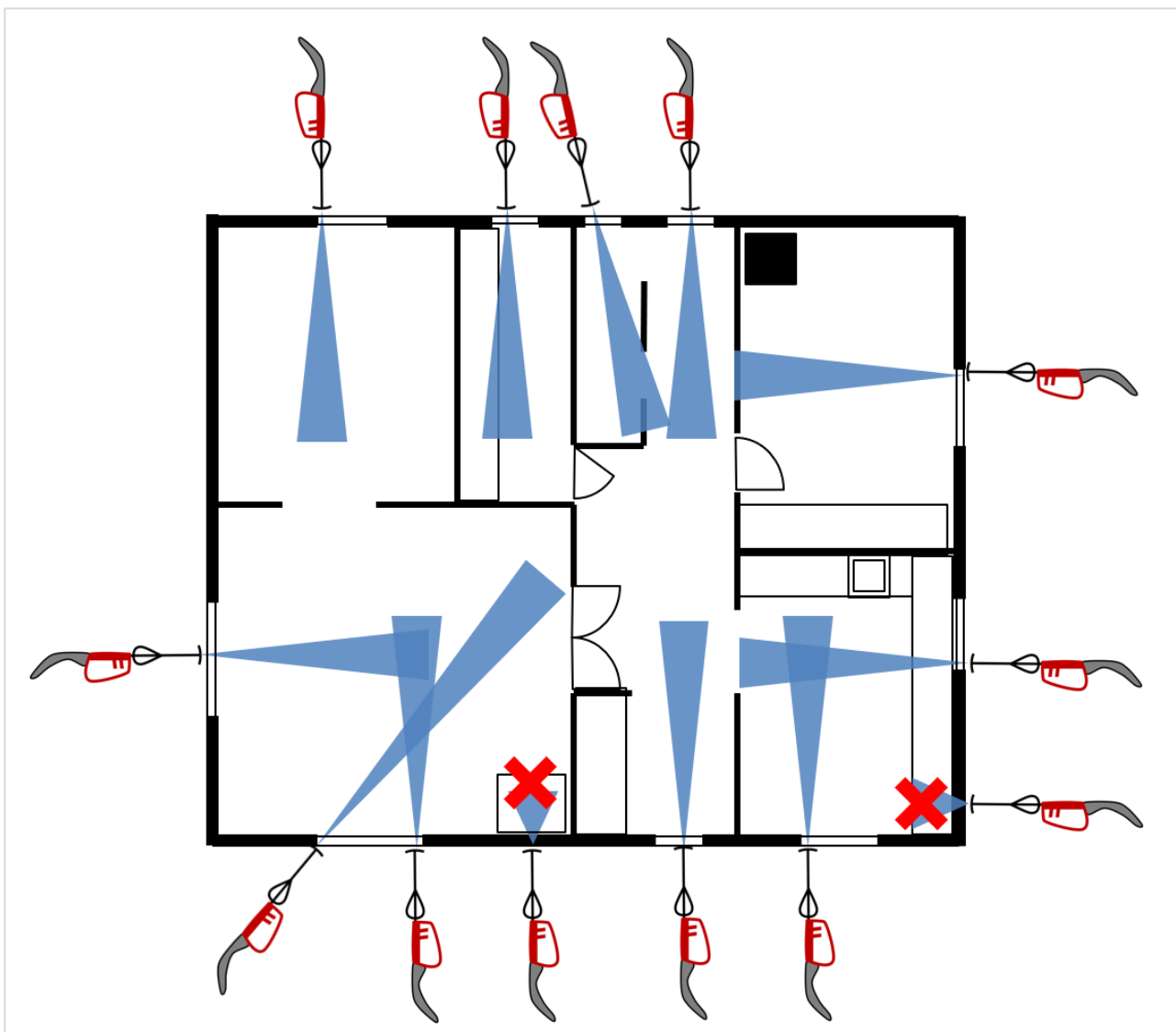
W badaniach nad jednym typem urządzenia przebijająco-chłodzącego uzyskano wyniki charakteryzujące wytwarzany strumień wodny. [125] Poniżej znajduje się streszczenie najciekawszych wyników tych badań:

- Średnia **arytmetyczna** średnica (stosunek długości do liczby, oznaczana jako D_{10}) wyniosła około 70 μm .
- Średnia **arytmetyczna** średnica (stosunek objętości do liczby, oznaczana jako D_{30}) wyniosła około 170 μm .
- Średnia średnica **Sautera** (stosunek objętości do powierzchni, oznaczana jako D_{32}) wyniosła około 110 μm .
- W przybliżeniu można przyjąć, że średnica wynosi **około 0,1 mm (100 μm)** [126]
- Badane urządzenie osiągnęło wydajność wodną 49 L/min przy ciśnieniu na wylocie dyszy 200 bar i 57 L/min przy ciśnieniu 260 bar. Pozwala to oszacować możliwy czas działania w oparciu o posiadany zapas wody. Realne wydajności są zbliżone do wydajności deklarowanych przez producenta urządzenia.
- Zarówno przy ciśnieniu 200 bar jak i 260 bar pomiary potwierdziły obecność kropelek wody w odległościach 8m, 10m i 15m od wylotu dyszy.
- Prędkości przemieszczania się kropli, przekładające się na transfer ciepła i możliwość odparowania, wyniosły dla ciśnienia 200 bar: 6 m/s w odległości 10 m i 4 m/s w odległości 15 m od wylotu dyszy.
- Prędkości przemieszczania się kropli, przekładające się na transfer ciepła i możliwość odparowania, wyniosły dla ciśnienia 260 bar: 7 m/s w odległości 10 m i 5 m/s w odległości 15 m od wylotu dyszy.

Urządzenia do przebijania i chłodzenia pracujące przy ultra wysokim ciśnieniu stwarzają zagrożenie z powodu użycia cierniwa jak również z powodu wysokiej energii kinetycznej strugi w okolicy dyszy wylotowej. Należy zachować szczególną ostrożność przy ich używaniu. Operowanie urządzeniami może być wykonywane **wyłącznie przez przeszkolonych strażaków!**

Strumień zawiera stosunkowo niewielką ilość wody, rozbitą na bardzo drobne kropelki, przemieszczające się z bardzo dużą prędkością. Ich zdolność odparowania jest z tego powodu bardzo wysoka. Przekłada się to na wysoką, bliską stuprocentowej, skuteczność wykorzystania potencjału chłodzącego wody. Należy jednak pamiętać, że strumień najlepszą wymianę ciepła osiąga pomiędzy 5 a 8 m od wylotu z dyszy, gdzie następuje znaczne rozproszenie kropelek, które wstępnie (między wylotem a 5. metrem) przemieszczają się w dosyć zwartym rdzeniu wodnym.

W miarę możliwości należy tak planować natarcie, aby maksymalnie wykorzystać potencjał urządzenia. Należy też pamiętać o **ograniczonej wydajności wodnej takich urządzeń.**

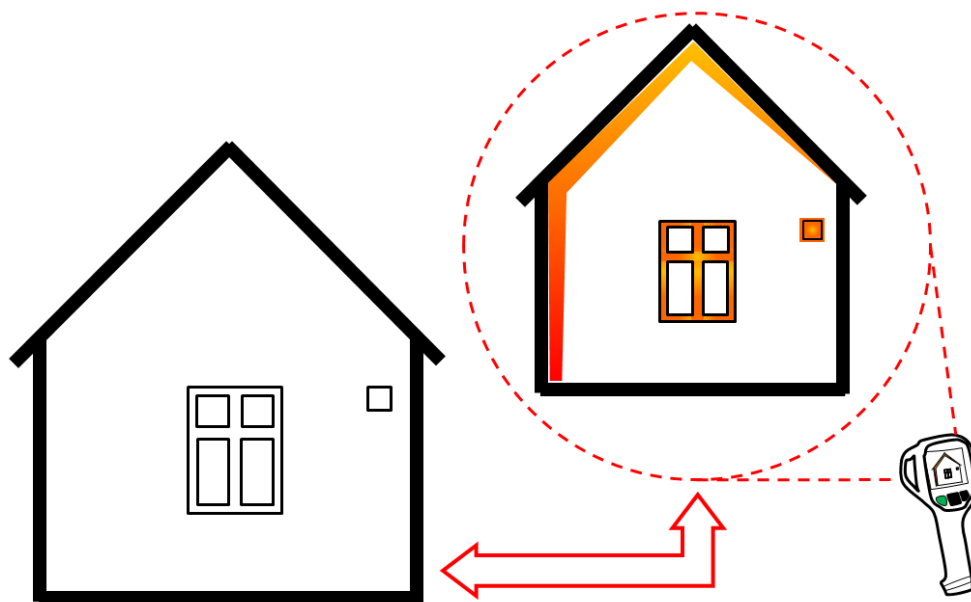


Rys. 100: Możliwe miejsca natarcia za pomocą urządzenia przebijająco-chłodzącego pracującego przy ultrawysokim ciśnieniu. Należy zwrócić uwagę na różne kąty natarcia, dające możliwość zwiększenia zasięgu mgły wewnątrz oraz na miejsca, w których mogą występować przeszkody.

Użytkowanie urządzenia przebijająco-chłodzącego wymaga gruntownego **przeszkolenia**, ponieważ niepoprawne stosowanie może zakończyć się **poważnym wypadkiem**. Ultra wysokie ciśnienie panujące w przewodach doprowadzających wodę do urządzenia samo w sobie stanowi duże **zagrożenie**. Wykorzystanie proszku ciernego do przebijania nawet najtwardszych materiałów (grubych betonowych ścian, kamieni, płyt metalowych czy nawet szyb kuloodpornych!) niesie jeszcze większe **ryzyko**. Nawet tak krótki kontakt strumienia wody i proszku jak ułamek sekundy jest w stanie przebić grube ubranie, a także skórę i tkankę ciała ludzkiego.

Strażacy wykonujący działania za pomocą urządzenia powinni być odpowiednio zabezpieczeni. Szczególnie ważna jest ochrona oczu za pomocą przyłbicy lub okularów ochronnych (wbudowanych w hełm lub autonomicznych). Do tego, w przypadku występowania zadymienia, strażaka obowiązuje ochrona układu oddechowego.

Istnieją też metody pracy wynikające ze specyfiki samego urządzenia. Z powodu ciśnienia wyrzutu powstaje siła reakcji na urządzeniu. W miarę możliwości należy pracować w pozycji zapewniającej obniżenie środka ciężkości (np. klęcząc) lub zapewnić drugiego strażaka, który pomoże utrzymać stabilność i równowagę (zobacz **Fot. 149 a-d**).



Rys. 101: Zastosowanie urządzenia do przebijania i chłodzenia wymaga odpowiedniego rozpoznania. Zdecydowanie zalecanym sposobem jest wykorzystanie **kamery termowizyjnej** do skanowania budynku z zewnątrz. Widoczne gołym okiem oznaki zewnętrzne mogą być niewystarczające do zidentyfikowania miejsca przebicia (rysunek po lewej). Sprawdzenie „sygnatury cieplnej” budynku pozwoli nie tylko na błyskawiczne potwierdzenie występowania pożaru, ale też zidentyfikowanie najlepszego miejsca przebicia (rysunek po prawej). Zobacz **ROZDZIAŁ 3.5**.



Fot. 149 a-d: Użycie lancy przebijająco-chłodzącej. Kolejne zdjęcia pokazują: **a)** (na górze po lewej) urządzenie do przebijania i chłodzenia; **b)** (na górze po prawej) zabezpieczony ratownik gotowy do użycia urządzenia; **c)** (na dole po lewej) współpraca operatora oraz jego pomocnika podczas przebijania; **d)** (po prawej na dole) moment przebicia powierzchni przegrody i zatrzymania wypływu proszku ciernego (Fot. KP PSP w Świdnicy).

Natarcie z zewnątrz może też być prowadzone na palące się elementy znajdujące się na zewnątrz obiektu (a nie w jego wnętrzu). Sytuacje pokazane na poniższych zdjęciach (**fot. 150-151**) przedstawiają pożar w budynku magazynowym. W pewnym momencie ogień pojawia się na dachu i wymaga przeprowadzenia natarcia.⁵⁰

Należy pamiętać, że najskuteczniejsze są prądy, które podaje się ze stanowisk gaśniczych usytuowanych, jako **wyższe** lub **równe** względem pożaru. Najmniej skuteczne są prądy podawane ze stanowisk niższych. Wyjątkiem może tu być podawanie prądu na powierzchnię (np. płonące poszycie dachu), a nie np. do wnętrza budynku.

Czasami podawanie wody z zewnątrz spowodowane jest zagrożeniem ze strony stabilności konstrukcji lub wystąpienia **pożaru blokowego**, czyli objęcia pożarem całego budynku: wewnątrz i na zewnątrz (szczególnie przy występowaniu palnej konstrukcji). W kolejnym przykładzie zilustrowanym na zdjęciach (**fot. 152-153**) stan konstrukcji w wyniku oddziaływania pożaru jest zdecydowanym przeciwskazaniem dla prowadzenia działań wewnętrznych.



Fot. 150: Pożar w budynku magazynowego w Olsztynie, przy ul. Lubelskiej w dniu 03.12.2014 r. Spaleniu uległo wyposażenie stolarni, maszyny do produkcji mebli, wyposażenie narzędziowe oraz gotowe produkty.
(fot. Kamil Forys, KamiFoto)

⁵⁰<https://www.youtube.com/watch?v=XNBPjie66MM> – Pożar na Lubelskiej w Olsztynie.



Fot. 151: Rozprzestrzeniający się pożar budynku magazynowego objął konstrukcję dachu, powodując konieczność przeprowadzania natarcia bezpośredniego na jego poszycie. (fot. Kamil Forys, KamiFoto)



Fot. 152: Pożar w budynku parowozowni w dniu 29.05.2016 r. w Olsztynie. W tym nieużywanym budynku zgromadzono dużą ilość różnego rodzaju odpadów. Fatalny stan techniczny oraz intensywny rozwój pożaru doprowadziły do zawalenia się części dachu i konstrukcji w trakcie działań. Strażacy prowadzili natarcie zewnętrzne m.in. z kosza podnośnika. (fot. Kamil Forys, KamiFoto)



Fot. 153: Pożar w budynku parowozowni. Podczas działań gaśniczych strażacy starali się przebywać poza strefą zawalenia. W niektórych miejscach pochYLENIE ścian budynku w stronę wnętrza pozwoliło na pewne zbliżenie się do budynku. (fot. Kamil Foryś, KamiFoto)

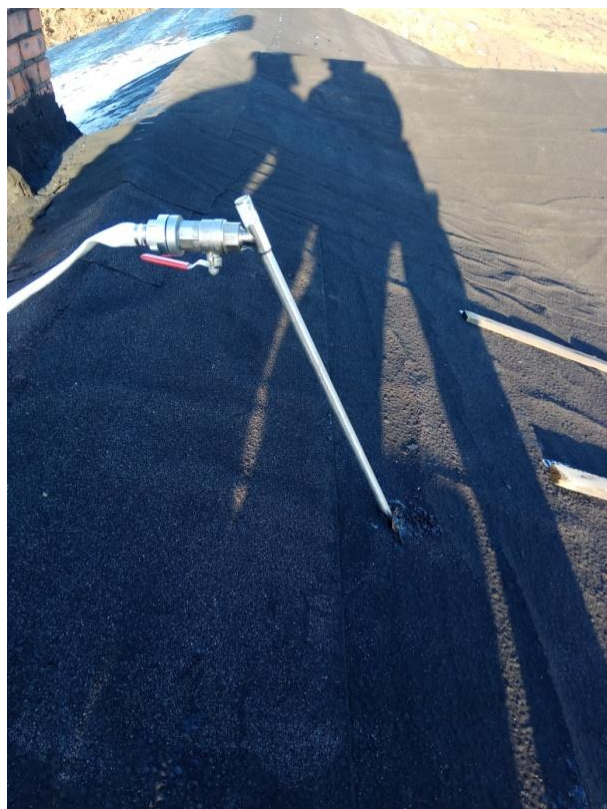
Jeśli nie dysponujemy sprzętem takim jak lance czy urządzenia przebijająco-chłodzące, można za pomocą pił, czy pilarek wyciąć niewielki otwór i podać mgłę z prądownicy turbo, pamiętając wówczas, aby wsunąć linię dosyć głęboko, by uniknąć zasysania powietrza (tlenu) wraz ze strugą wody i tłoczenia go do wnętrza (zobacz **ROZDZIAŁ 5.5.3.**). Wybór jednej z wielu technik natarcia z zewnątrz opiera się między innymi o znajomość rozwiązań z zakresu ochrony przeciwpożarowej tzn. wytrzymałości konstrukcji. Jeśli wybrana technika natarcia i gaszenia będzie dostosowana do celów prowadzonych działań gaśniczych, wówczas wybór taktyczny tego sposobu prowadzenia działań może przełożyć się na szybkie i skuteczne osiągnięcie założonych celów. Istnieje szansa na wczesną poprawę warunków przetrwania dla osób poszkodowanych, nawet bez rozpoczęcia natarcia wewnętrznego. W konsekwencji, uratowanie potencjalnych osób poszkodowanych może okazać się szybsze.

5.2.2. Obrona zewnętrzna

Celem **obrony zewnętrznej** jest przede wszystkim **ograniczenie strat**. W tym celu, strażacy będą wykonywać czynności, skierowane na:

- **powstrzymanie rozprzestrzeniania** się pożaru na tereny i obiekty przyległe, do miejsca występowania ogniska pożaru;
- **przeciwdziałanie** powstawaniu **strat** i **szkód** środowiskowych;
- **ograniczenie** negatywnych efektów oddziaływania dymu.

Obronę z zewnątrz prowadzi się najczęściej w przypadku objęcia pożarem znacznej części obiektu. W takich sytuacjach trudno jest uzyskać dostęp czy nawet namierzyć ognisko pożaru. Czasem również nie ma na miejscu zdarzenia w danym momencie wystarczających sił i środków (np. po dojeździe sił I rzutu przy pożarze mocno rozwiniętym – patrz początek **ROZDZIAŁU 5**). Często występuje **bardzo silne zadymienie**, ewentualnie może również istnieć zagrożenie ze strony **niskiej stabilności konstrukcji**. Wówczas strażacy wykonują czynności unikając przebywania w strefie zawalenia (zobacz **ROZDZIAŁ 5.2.**).



Fot. 154: Jedną z form obrony prowadzonej z zewnątrz może być wykorzystanie lancy gaśniczej wbitej w połąć dachu. W tym przypadku środek gaśniczy kierowany jest do wnętrza. Lanca zasilana w wodę przy ciśnieniu 8 bar na pompie, za pomocą odcinka W25.



Fot. 155: Pożar magazynu opon we Wrocławiu w dniu 27 marca 2018 r. Bardzo dynamiczny rozwój pożaru oraz zagrożenie ze strony niestabilnej konstrukcji spowodowały konieczność prowadzenia działań zewnętrznych. Strażacy działali m.in. w obronie na obszary nieobjęte pożarem, ale zagrożone. (fot. Łukasz Telus)

W ramach obrony realizowanej na zewnątrz budynku możliwe będzie wykonywanie następujących czynności:

- neutralizowanie wpływu promieniowania cieplnego;
- tworzenie kurtyn wodnych;
- zbijanie płomieni obejmujących obiekty bronione;
- schładzanie gazów (produktów spalania) ogrzewających obiekt;
- zamknięcie (zablokowanie) otworów, którymi pożar może się rozprzestrzeniać;
- tworzenie przerw ogniowych poprzez np. wyburzanie obiektów w całości lub w części, wycinę dachową itd.;
- ułożenie warstw izolujących z piany lub wypełnienie obiektów gazem obojętnym,
- wykorzystanie nadciśnienia do obrony obiektów zagrożonych rozprzestrzenieniem się pożaru (jest to technika działania wymagająca znacznej wprawy, dużego zgrania oraz bardzo dobrego rozpoznania, w szczególności warunków budowlanych; więcej na ten temat można przeczytać w **ROZDZIALE 5.5.4.**)

5.3. Działania połączone.

Zarówno natarcie jak i obrona prowadzone są tym samym sprzętem i tymi samymi środkami. Różna jest, jednakże ilość środka gaśniczego niezbędna do prowadzenia skutecznych działań (w natarciu trzeba zużyć go znacznie więcej). Obie formy działań rzadko występują w czystej swej postaci. Często scenariuszem, szczególnie przy większych lub rozwijających się pożarach, jest prowadzenie w tym samym czasie działań zarówno w natarciu jak i w obronie. Takie działania noszą nazwę **działań połączonych**.



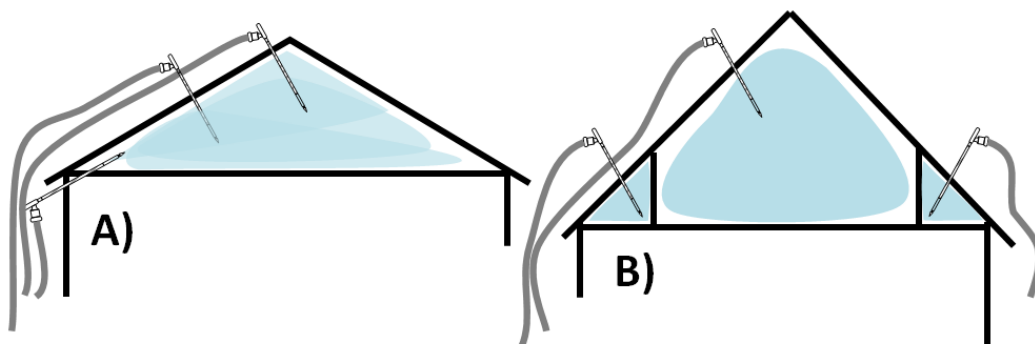
Fot. 156: Pożar magazynu ze sprzętem AGD w Olsztynie w dniu 27 lutego 2010 r. Około 1h minęło od powstania pożaru do jego zgłoszenia, jak pokazało późniejsze dochodzenie. Bardzo wysokie obciążenie ogniowe doprowadziło do całkowitego spalenia części budynku. Równoległe do natarcia, strażacy prowadzili działania w obronie przyległych skrzydeł budynku, a także ewakuowali mienie. (fot. KM PSP w Olsztynie).



Fot. 157: Pożar magazynu w Olsztynie w dniach 19-20 maja 2009 r. Natarciu na ognisko pożaru towarzyszyła obrona przyległych lokali oraz ewakuacja mienia. Zlokalizowany w obiekcie magazyn recyklingowanych butelek PET tlił się przez kolejny tydzień (fot. KM PSP w Olsztynie).

Działania połączone podejmuje się w skomplikowanych sytuacjach, gdy szybkość frontu rozprzestrzeniania się pożaru jest znaczna, a intensywność procesu spalania duża, przy jednocześnie niewystarczających siłach i środkach straży pożarnej. Jest to forma działań łączących natarcie z obroną, mająca na celu zmniejszenie szybkości rozprzestrzeniania się pożaru i obronę obiektów, najczęściej położonych **bezpośrednio przy froncie** pożaru, aż do jego lokalizacji i likwidacji. Ta forma walki z pożarem wymaga dobrej organizacji pracy stanowisk gaśniczych, co przejawiać się musi w ścisłym współdziałaniu, zapewnieniu możliwości obserwowania terenu pożaru przez wszystkie stanowiska bojowe, a także prowadzeniu ciągłego rozpoznania sytuacji pożarowej, w tym głównie na froncie pożaru.

Działania połączone polegają na tłumieniu płomieni, obniżaniu temperatury, a tym ograniczeniu rozprzestrzeniania się pożaru. Prowadzi się również ochładzanie materiałów przyległych do strefy spalania nie pozwalając na ogrzanie się ich do temperatur zapłonu czy zapalenia. Blokują się prądami gaśniczymi wszelkie otwory, nie pozwalając na przejście ognia do pomieszczeń sąsiednich. Nie zakładamy zatem, że pożar zostanie zatrzymany w swoim rozwoju, zwolnione zostaje tylko tempo jego rozprzestrzeniania się. Musi być zapewniona gotowość do udzielenia sobie wzajemnej pomocy ze strony tak prądowników, jak i innych stanowisk bojowych, a także gotowość do działań bez względu na rozwój sytuacji. [67]



Rys. 102: Przy pomocy lanc gaśniczych również można prowadzić działania połączone. Na powyższych rysunkach przedstawione są różne warianty użycia lanc zależnie od rozpoznanego typu konstrukcji. Jednoczesne wykorzystanie lanc z głowicami do natarcia oraz z głowicami do obrony może pozwolić na wysoką skuteczność działań przy jednoczesnym oszczędnym korzystaniu z zasobów wody. (opracowanie własne na podstawie [119])

5.4. Oddymianie pomieszczeń.

W trakcie prowadzonych działań, w celu poprawy warunków widoczności, strażacy prowadzić będą **oddymianie pomieszczeń**. Są to czynności polegające na wytworzeniu możliwości usuwania dymu z pomieszczeń, wykonywane w momencie, kiedy strażacy mają **kontrolę** nad pożarem. Najczęściej oddymianie prowadzi się dopiero po lokalizacji pożaru, tj. po zatrzymaniu rozwoju i rozprzestrzeniania zdarzenia. Oddymianie będzie również czynnością konieczną po ugaszeniu pożaru, ponieważ istnieje konieczność dokładnego sprawdzenia i zabezpieczenia miejsca zdarzenia przed powrotem do jednostki (zobacz **ROZDZIAŁ 4.11.**).

Usuwanie dymu może zatem być skierowane na **częściowe** lub **całkowite** oddymianie pomieszczeń. W trakcie prowadzenia działań gaśniczych częściej będzie to częściowe oddymianie, w celu poprawy warunków widoczności czy temperaturowych lub dla usunięcia nadmiaru wytworzonej pary wodnej. Otwarcie okna i wpuszczenie powietrza z zewnątrz przy niskiej widoczności może pomóc szybciej odnaleźć ognisko pożaru, szczególnie przy pracy bez kamery termowizyjnej. Może też służyć w celu sprawniejszego przeszukania pomieszczenia oddalonego od źródła pożaru, szczególnie po odizolowaniu go od źródła zadymienia poprzez np. zamknięcie prowadzących do niego drzwi. Po zakończeniu działań potrzebne będzie całkowite oddymianie. Tu najczęściej otwiera się maksymalną liczbę drzwi i okien i pozwala na usunięcie dymu, ponieważ nie występuje już zagrożenie ze strony pożaru.

Oddymianie może przebiegać w sposób **grawitacyjny** lub **wymuszony**. Pierwszy ze sposobów polega na otwieraniu okien i drzwi oraz wykorzystaniu wiatru i naturalnych ruchów powietrza (w tym np. efektu kominowego w wyższych budynkach) w celu usunięcia dymu. Drugi natomiast polega na wykorzystaniu urządzeń, najczęściej wentylatorów straży pożarnej, dla wypchnięcia (nadmuchowe) lub wysiania (wyciągowe) dymu z pomieszczeń. Najczęściej stosowana jest ta pierwsza metoda, niemniej coraz częściej strażacy wykorzystują również wentylatory wyciągowe do usuwania dymu. Konkretny sposób wykonywania wymienionych tu czynności zawarte są w **ROZDZIALE 5.5**.

5.5. Wentylacja taktyczna

Amerykański szef straży pożarnej opowiedział mi, jak wdrażał zasady wentylacji, zmuszając swoich rekrutów do gaszenia ognia w budynku "ćwiczebnym" przy całkowitym braku wymiany gazowej; mieli wówczas spore problemy. Potem dawał im podobny pożar, a budynek był wentylowany. Nigdy nie zapomnieli o lekcji. Wentylacja musi być wykonana we właściwym czasie; nie należy dopuścić do przedostania się powietrza do budynku, dopóki nie zostaną rozmieszczone linie gaśnicze i zapewniona zostanie wystarczająca ilość wody.

– Chief Aylmer Firebrace CBE, 1886 – 1972

Już w 1866 roku James Braidwood pisał w swej książce o fundamentalnym wpływie **wymiany gazowej** na dynamikę pożaru. [48] Podobnie Józef Tuliszkowski w roku 1909 pisał o tym, jak dostarczanie **powietrza** do niespalonych węglowodorów zawartych w dymie powoduje powstawanie niebezpiecznych zjawisk pożarowych. [18]

William Thornton, w roku 1917, opublikował badania dowodzące, że ilość ciepła wydzielanego w procesie zupełnego spalania różnych gazów i cieczy pochodzenia organicznego jest stała dla jednostki **tlenu** biorącego udział w tym procesie. Skoro jednak w pożarach nie występuje wystarczająca ilość tlenu do spalania, dochodzi do spalania niezupełnego i niecałkowitego oraz do tworzenia produktów częściowego utleniania (spalania). [127]

W późnych latach 40-tych, profesor Kawagoe wraz ze współpracownikami, przeprowadził pierwsze systematyczne badania rozwiniętego pożaru wewnętrznego. [128] Jego zespół zmierzył szybkość spalania się drewnianych stosów umieszczonych w pomieszczeniach z różnymi rozmiarami otworów wentylacyjnych. Wykonując badania w małej i dużej skali badacze potwierdzili, że szybkość spalania (h) zależała w dużej mierze od **kształtu i rozmiarów otworu wentylacyjnego**.

W 1980 roku, Clayton Hugget opisał metodę pomiaru wydzielanego w procesie spalania ciepła w relacji do tlenu, popularyzując tym samym metodę badawczą wykorzystującą urządzenie zwane kalorymetrem. Dziś

jest to najbardziej rozpowszechniona metoda badawcza w tej dziedzinie. Badania Huggeta pokazały, że pomimo większej całkowitej ilości ciepła wydzielanego w procesie spalania jednostki masy tworzyw sztucznych w porównaniu do materiałów pochodzenia organicznego, szybkość wydzielania ciepła (ilość ciepła w czasie) zależeć będzie od dostępu **tlenu** i będzie z niewielkimi różnicami bardzo zbliżona dla wszystkich badanych paliw. Dodatkowo, Huggett szczegółowo zbadał i potwierdził założenie stałej ilości ciepła wydzielanego przy udziale danej ilości tlenu w realnych warunkach pożarowych. [129]

W latach 90-tych brytyjski strażak Paul Grimwood, stworzył pojęcie **wentylacji taktycznej**, które zostanie wyjaśnione poniżej. Był to pierwszy przypadek użycia tego terminu w konkretnym, doprecyzowanym kontekście. Definicja, którą wówczas stworzył, podana jest w ramce. W miarę rozwoju cywilizacyjnego i pojawiania się nowych technologii, powstało wiele rozwiązań technicznych do praktycznej realizacji zadań z zakresu wentylacji taktycznej. Są one opisane w kolejnych podrozdziałach. W obecnych czasach często używa się stwierdzenia **zarządzanie ścieżkami przepływu** lub **zarządzanie przepływami**. Owo stwierdzenie dobrze odzwierciedla sedno wentylacji taktycznej. Istnieje zatem prawdopodobieństwo, że owe pojęcia można napotkać, jako pojęcia stosowane zamiennie. [33]

W swojej książce Fog Attack Paul Grimwood przedstawił kilka cytatów, które odnalazł w Archiwach Muzeum Brytyjskiego. Jeden z nich znajduje się już w niniejszym opracowaniu w **ROZDZIALE 2.13.1.1.** (James Braidwood, 1866). Kolejne z nich zamieszczone są w innych rozdziałach. Wszystkie z nich pozwalają zauważyć, jak wcześniej strażacy rozumieli znaczenie zarządzania ścieżkami przepływu.

Również w latach 90-tych intensywne badania nad pożarami prowadził amerykański NIST (National Institute of Standards and Technology – Krajowy Instytut Standardów i Technologii). Na początku lat 90-tych zdarzyło się w Stanach Zjednoczonych kilka wypadków śmiertelnych strażaków, w których istotną rolę okazał się odgrywać **wiatr**. Instytut wyznaczył sobie za cel zbadanie tego, w jaki sposób ów czynnik wpłynął na przebieg oraz tragiczny skutek danego pożaru. Okazało się wówczas, że wpływ wiatru jest zasadniczy i ma fundamentalne znaczenie dla taktyki prowadzenia działań. Badania pomogły również rozwinąć techniki i metody prowadzenia działań minimalizujące negatywne skutki lub pozwalające na ich znaczne wyeliminowanie. [62, 65]

W latach 2000-ych UL FSRI (UL Firefighter Safety Research Institute – Instytut Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków UL) rozpoczął serię najbardziej zaawansowanych badań nad środowiskiem pożaru, dodatkowo poświęcając ogromną uwagę taktyce, technikom i metodom pracy strażaków. Pozwoliło to na zrozumienie nie tylko samego zjawiska, ale też wpływu czynności wykonywanych przez strażaków. Badania niezwykle jaskrawie pokazały jak zasadniczy wpływ na zmianę dynamiki pożaru miało wprowadzenie do powszechnego użytku wyposażenia wewnątrz wykonanego z materiałów pochodzenia **syntetycznego**, w miejsce przedmiotów wykonanych z materiałów pochodzenia naturalnego. Ponadto badania pozwoliły na dogłębne zrozumienie zjawisk mających miejsce podczas stosowania wentylacji grawitacyjnej poziomej i pionowej, wentylacji nadciśnieniowej oraz izolowania pożaru. [15, 24, 34, 78, 115]

Wszystkie wymienione powyżej „kamienie milowe” taktyki gaszenia pożarów wewnętrznych prowadzą do prostej konkluzji, że kontrola dopływu powietrza do strefy spalania ma kluczowe znaczenie dla rozwoju zjawiska. Uwzględniając najnowsze badania, pokazujące obecne oblicze pożarów z przeważającym udziałem paliw syntetycznych, należy stwierdzić, że wszelkie czynności wpływające na warunki wymiany gazowej mają taktyczne znaczenie i mogą przesądzić o rezultacie całej interwencji.

Wracając do sedna rozdziału, opublikowana na początku lat 90-tych definicja wentylacji taktycznej stwierdza, że rozumie się przez to ingerencję w warunki wymiany gazowej, mająca znaczenie taktyczne dla danego zdarzenia.

Wentylacja taktyczna – to czynności zmierzające do stworzenia warunków do wymiany gazowej lub izolowania pożaru, podejmowane przez strażaków na miejscu zdarzenia, skierowane na uzyskanie od początku pożaru kontroli nad jego warunkami spalania, w celu zyskania przewagi taktycznej podczas wewnętrznych działań gaśniczych w budynkach. [33]

Istnieje obecnie kilka definicji pojęcia wentylacji taktycznej, zawartych w oficjalnych dokumentach. Przykładowo, jedna z nich brzmi następująco:

Zaplanowane i systematyczne usuwanie ciepła i dymu z budynku, w którym występuje pożar oraz zastępowanie ich świeżym powietrzem w celu umożliwienia realizacji innych priorytetów akcji gaśniczej.[130]

Mając na uwadze fakt, że przy obecnej dynamice rozwoju pożarów, znakomita większość interwencji rozpoczyna się w momencie, kiedy pożar jest **kontrolowany przez wentylację** (zobacz **ROZDZIAŁ 2.10.**), należy przyjąć poza wszelką wątpliwością, że **wszystkie czynności wpływające a warunki wymiany gazowej podczas pożarów wewnętrznych mają taktyczne znaczenie dla powodzenia danej akcji ratowniczo-gaśniczej**. Z tego powodu należy stosować się bezwzględnie do następujących ogólnych zasad prowadzenia wentylacji taktycznej:

- Decyzja o stosowaniu wentylacji taktycznej może zostać wdrożona dopiero po osiągnięciu gotowości do podawania **skutecznych prądów gaśniczych** na ognisko pożaru. Wyjątkiem od tej zasady jest stosowanie **anty-wentylacji**, czyli izolowania pomieszczeń od napływu tlenu z powietrza.
- Należy zawsze rozważyć **obecność wiatru** oraz jego potencjalny wpływ na wymianę gazową w obiekcie, przed udrożnieniem jakichkolwiek otworów w obiekcie (drzwi, okien itd.).
- Wszelkie czynności związane ze zmianą warunków wymiany gazowej mogą być wykonywane jedynie na **polecenie lub za zgodą kierującego działaniem ratowniczym** lub w uzasadnionych przypadkach (przy zdarzeniach o dużym rozmiarze i/lub rozbudowanej strukturze sił i środków) dowódcy odcinka bojowego. Czynności te powinny być również **ogłaszane** do wiadomości wszystkich stanowisk, na pracę których mogą wpłynąć.

Jednym z najbardziej krytycznych celów przy każdym pożarze wewnętrznym jest **stabilizacja sytuacji**. Wśród najbardziej fundamentalnych zasad współczesnej walki z pożarami można dziś wymienić kontrolowanie przepływów. Tor wymiany gazowej (zobacz **ROZDZIAŁ 3.4.**) w płonącym budynku, naukowo określany „prądem grawitacyjnym”, oznacza ścieżkę (lub ścieżki), którą powietrze dostaje się do wnętrza, podążając w kierunku ogniska pożaru oraz ścieżkę (lub ścieżki), którymi dym opuszcza budynek. Integralną częścią tego są otwory, które istnieją, pojawiają się w trakcie (np. wypadające okna) lub które wytwarzają strażacy w trakcie prowadzenia działań. Poniższy cytat pomaga zrozumieć, jak płynne zarządzanie przepływami daje korzyści taktyczne podczas zdarzenia.

"Gdy wczółgiwaliśmy się do pokoju, ryk ognia był nieco niepokojący. Gęsty dym ze smugi ognia spływał w dół, umiejscawiając płaszczyznę neutralną w odległości około 4 stóp od poziomu podłogi, a ciepło emitowane w dół od sufitu było wyraźnie wyczuwalne przez liczne warstwy naszej odzieży ochronnej. Spojrzałem dokładnie ponad naszą lokalizację w ciemność dymu i zauważyłem kilka żółtych języków ognia przetaczających się pod sufitem, odrywających się od kolumny płomienia, który płonął w najdalszym kącie pomieszczenia. Przemieściliśmy się na odległość około 4 stóp, gdy sięgnąłem po prądownicę naszej linii szybkiego natarcia i podałem krótki „puls” mgły wodnej nad nasze głowy.

Nie spadły na nas żadne krople wody, a seria "trzaskających" dźwięków sugerowała, że mgła "robi swoje" w rozgrzanych warstwach gazu. Języki ognia rozproszyły się na kilka krótkich sekund, po czym powróciły w swym niesamowitym „węzowym tańcu", płynąc w kierunku otwartego punktu wejścia (drzwi) znajdującego się za nami. "Zatrzymaj wodę", krzyknął Miguel przez radio wbudowane w maskę aparatu. Gdy dotarliśmy do pokoju, uświadomiłem sobie, że pokładam w tym człowieku swoje najgłębsze zaufanie.

Dym nadal opadał wokół nas i patrzyłem z podziwem, jak zapala się kilka "balonów ognia"; każdy przez krótką chwilę, przed moimi oczami, jakieś trzy stopy od podłogi. Czułem, że moment "rozgorzenia w pomieszczeniu" zbliża się szybko i instynktownie sięgnąłem po prądownicę. "CZEKAJ", krzyknął Miguel – roześmiał się i sięgnął do tyłu kopiąc drzwi wejściowe, które się zamknęły. Czułem się wyjątkowo zagrożony, ale potem, jakby przez zakręcony kran, ogień nagle stracił swój "ryk", a toczące się nad nami płomienie całkowicie się rozproszyły. Wszystko się ściemniło, ogień zaczął "trzaskać", a dym opadł do samej podłogi. W tym oślepiającym doświadczeniu była niesamowita cisza, niesamowicie znajoma "strażakowi" we mnie. Miguel wyjął mi prądownicę z rąk i wypuścił kilka krótkich "pulsów" mgły wodnej, szerokim stożkiem, w górne części pomieszczenia.

Ponownie nie spadły żadne krople wody i prawie można było wyczuć najmniejsze cząstki wody zawieszane w rozgrzanych, łatwopalnych warstwach gazu. "Nadciśnienie pary" i wilgotność były znikome, a ruch powietrza niezauważalny. Co ważniejsze, promieniowanie cieplne z góry zmniejszyło się znacznie, obniżając prawdopodobieństwo wystąpienia rozgorzenia. Potem usłyszałem głos Miguela przez radio, wzywający do zewnętrznych działań taktycznej wentylacji i niemal natychmiast warstwa dymu zaczęła się podnosić, gdy strażacy na ulicy udroznili okno w tym pomieszczeniu. Pożar w kącie pokoju znów stał się widocznie aktywny, zwiększając intensywność, jednak tym razem języki płomieni w warstwie stropu zmierzały w kierunku otwartego okna, oddalając się od naszej pozycji.

Jose Miguel Basset był komendantem straży pożarnej w Walencji w Hiszpanii. Był człowiekiem praktycznym, który nauczył się wiele na temat ognia i jego zachowania w różnych warunkach. Przez wiele lat "bawił się" ogniem, eksperymentując wraz ze swoim zaufanym zespołem strażaków, pchając parametry wentylacji do granic możliwości, próbując sprawdzić ich wpływ na dynamikę pożaru. Wewnątrz ognistych głębin tego pozyskanego do ćwiczeń obiektu dokładnie demonstrował, w jaki sposób strażacy mogą wykorzystywać taktyczne działania wentylacyjne, aby powstrzymać rozwój pożaru i że zwyczajnie zamykając drzwi lub otwierając okno na najwyższym poziomie, można zapobiec lub opóźnić wystąpienie wstecznego ciągu płomieni lub rozgorzenia. Pokazywał również, w jaki sposób strażacy mogą zredukować promieniowanie cieplne z warstwy podsufitowej, odwracając kierunek kolumny ognia od drzwi wejściowych." [35]

Mając na uwadze, że każda forma zmiany warunków wymiany gazowej jest decyzją o taktycznych konsekwencjach oraz pamiętając o fundamentalnym celu wszystkich działań, jakim jest stabilizacja zdarzenia, bardzo często najlepszym początkiem wszystkich działań będzie – w miarę możliwości – **antywentylacja**. [33] Przykład takiego działania zawiera powyższy cytat a dodatkowe informacje zostały zamieszczone w kolejnym rozdziale.

5.5.1. Antywentylacja (izolowanie pożaru)

Antywentylacja, określana również mianem **izolacji pożaru**, jest metodą działania znaną od dawna. Na przestrzeni dziejów, strażacy nieposiadający ochrony układu oddechowego, wyposażeni w niskiej jakości środki ochrony indywidualnej oraz nie dysponujący nowoczesnym sprzętem, zmuszeni byli używać kreatywnych sposobów walki z żywiołem. Dlatego metoda działania, polegająca na zamykaniu drzwi do pomieszczenia objętego pożarem, była całkiem powszechna. W miarę rozwoju ochron osobistych oraz upowszechnienia coraz lepszego sprzętu gaśniczego i pomocniczego, strażacy wydają się zapominać o tej ważnej metodzie. A przecież w świetle doniesień naukowych izolowanie dopływu tlenu do pożaru ma teraz jeszcze większe znaczenie niż kiedykolwiek! [131] Niemniej jednak, niektórzy bardziej doświadczeni strażacy są świadomi tego bezpośredniego wpływu.

Antywentylacja polega na kontrolowaniu toru wymiany gazowej i niedopuszczaniu powietrza (tlenu) do ogniska pożaru. Powoduje to, zgodnie z przedstawionymi wcześniej informacjami, zatrzymanie produkcji ciepła w ognisku pożaru, a zatem wpływa na zmniejszenie ilości ciepła transportowanego na różne sposoby (zobacz **ROZDZIAŁY 2.1.2.** oraz **2.2**). Jak wspomniano, jest to taktyka sprzyjająca stabilizacji sytuacji w kontekście dynamiki rozwoju pożaru, zatem często stanowi jeden z pierwszych wyborów kierującego zdarzeniem i punkt wyjścia do dalszych działań.

Antywentylacja (izolacja) – to kontrolowanie wymiany gazowej poprzez całkowite lub częściowe zablokowanie dopływu powietrza do strefy spalania. Powoduje zatrzymanie wydzielania nowego ciepła w pożarze i umożliwia oraz ułatwia usuwanie dymu. [33]

Z **ROZDZIAŁU 3.4.** wiemy, że jednym z kluczowych elementów rozpoznania jest zwrócenie uwagi na istniejące oraz możliwe do wystąpienia **tory wymiany gazowej** (inaczej zwane **ścieżkami przepływu**). Rozpoznanie wykonywane podczas gdy pożar jest izolowany – czy to z uwagi na zastane warunki czy też

z uwagi na pierwsze czynności na miejscu zdarzenia (np. zamknięcie drzwi frontowych do palącego się domu czy mieszkania na czas ubrania masek i przygotowania się do wejścia) – sprzyja wdrażaniu zamiaru taktycznego kierującego akcją ratowniczą, zamiast wdawania się w swoistą gonitwę z czasem i dynamiką zjawiska. Oczywiście, co podkreślono w **ROZDZIALE 3**, rozpoznanie polega na podejmowaniu informacji z wielu kategorii jednocześnie i wdrażaniu decyzji w oparciu o takie kompleksowe rozpoznanie, niemniej bardzo często wstępne odizolowanie pożaru od źródła tlenu okaże się korzystne dla ogólnego rezultatu prowadzonych działań.

Odizolowanie pożaru powinno zapewnić czas i skłonić dowódcę oraz strażaków do przeanalizowania potencjalnych scenariuszy rozwoju sytuacji w miarę dalszej ingerencji w warunki wymiany gazowej. Wiemy z poprzedniego rozdziału, że wszelkie czynności w tej materii powinny być kierowane możliwością osiągnięcia przewagi taktycznej. Nadrzędnym celem jest ratowanie życia, równolegle należy pilnować bezpieczeństwa strażaków i podejmować rozsądne ryzyko, przynoszące prawdopodobieństwo osiągania wspomnianego priorytetu taktycznego. Ochrona mienia i środowiska oraz stabilizacja i likwidacja zagrożeń będą kolejnymi ważnymi priorytetami. Wreszcie, minimalizacja strat i ergonomia działań, również muszą być wzięte pod uwagę. Kluczowym zagadnieniem będzie **korzyść taktyczna**, którą określi i zdefiniuje KAR w **czasie i na miejscu zdarzenia**.

Na poziomie strażaków wykonujących działania wewnątrz budynku w rocie gaśniczej, gdzie nie sięga wzrok kierującego akcją, również będą wykonywane czynności izolowania pożaru i tak samo mogą one mieć istotne znaczenie dla obrotu sytuacji. Zamknięcie drzwi do pomieszczenia objętego pożarem w celu szybkiego przeszukania, przy możliwości podania prądu gaśniczego z zewnątrz będzie idealnym przykładem antywentylacji wdrożonej przez rotę gaśniczą. Będzie to absolutnie konieczne, jeżeli strażacy będą musieli się udać **piętro wyżej** w celu przeszukania, chyba że zdecydują się najpierw ugasić pożar. Kolejnym będzie użycie **kurtyny dymowej** w celu ograniczenia zarówno dotleniającego pożaru jak i zadymiania klatki schodowej czy innego obszaru. Opóźnienie podawania wody na ognisko pożaru, możliwe z różnych przyczyn, powinno być również wskazaniem do wdrażania innych skutecznych metod stabilizacji zdarzenia, między innymi antywentylacji. Kolejnym czynnikiem, wpływającym na podjęcie takiej decyzji będzie **wiatr**, opisany w szczegółach w **ROZDZIAŁACH 2.13.4** oraz **3.2.**

Izolowanie pożaru ma swoje **pozytywne jak i negatywne skutki**. Przed podjęciem decyzji strażacy powinni mieć pełną świadomość potencjalnych konsekwencji, jakie przyniosą ich działania. W momencie powstania toru wymiany gazowej dochodzi do przemieszczania się mas gazów. Jeśli tor jest kręty a proste jego odcinki są względnie krótkie, to pęd (iloczyn masy i prędkości) gazów będzie względnie niewielki, z powodu braku możliwości występowania przepływów o dużej prędkości. Będzie to miało również znaczenie dla ilości ciepła transportowanego w drodze **konwekcji**. Gdy przepływ następuje w przestrzeni podłużnej, np. w korytarzu, wówczas prędkość przepływu gazów (oraz ich pęd) będzie znaczna. Ma to znaczenie dla dynamiki rozwoju pożaru. Paul Grimwood, w jednym ze swych artykułów, opisał badania Davida Birka, oparte o modelowanie komputerowe, pokazujące zmienne efekty wpływu wielkości otworów służących do wymiany gazowej (a zatem pośrednio zmienne prędkości przepływu) na dynamikę rozwoju pożaru. [38] Pożar kontrolowany przez wentylację poddawany był izolowaniu poprzez przemykanie drzwi do pomieszczenia. Zależnie od szerokości szczeliny w drzwiach zmieniały się czasy do wystąpienia rozgorzenia:

- dla szczeliny wynoszącej 36 cali (91,5 cm) czas do rozgorzenia wyniósł 2,38 minuty;
- dla szczeliny wynoszącej 12 cali (30,5 cm) czas do rozgorzenia wyniósł 2,82 minuty;
- dla szczeliny wynoszącej 6 cali (15 cm) czas do rozgorzenia wyniósł 4,28 minuty;
- dla szczeliny wynoszącej 3 cale (7,6 cm) czas do rozgorzenia wyniósł 6,97 minuty;
- dla zamkniętych drzwi rozgorzenie nie wystąpiło (zobacz **Rys. 39 i 40**).

Wszędzie tam, gdzie istnieją ścieżki przepływu pomiędzy istniejącymi otworami w budynku objętym pożarem, prędkość przepływu lub jego pęd **będą rosnać**. Tam, gdzie występuje przepływ wymuszony (wiatr), prędkość przepływu gazów będzie jeszcze większa. Oznacza to, że jeśli w obiekcie występuje już jeden otwór, to powstanie kolejnych otworów będzie zwiększać prędkość przepływów a to z kolei może prowadzić do powstawania niebezpiecznych zjawisk pożarowych. Często powstanie drugiego otworu jest katalizatorem takich negatywnych skutków, aczkolwiek często wystarcza jeden otwór do wywołania zjawisk pożarowych. Jeśli strażacy za plecami mają już jeden otwór (drzwi wejściowe) a w trakcie działań udrażniają okno, wówczas mogą uruchomić przepływ po stworzonym właśnie torze. Jeśli strażacy zamkną lub przymkną drzwi

(za sobą lub do pomieszczenia objętego pożarem), zazwyczaj będą w stanie tak ograniczyć prędkość przepływu, aby zapobiec rozwojowi pożaru poprzez lepszą kontrolę przepływów.

Do **zalet** izolowania pożaru należy zaliczyć:

- objęcie większej kontroli nad dynamiką rozwoju pożaru,
- zmniejszenie szybkości wydzielania ciepła z pożaru (mocy pożaru),
- zmniejszone oddziaływanie promieniowania cieplnego w pobliżu ogniska pożaru,
- skuteczniejsze gaszenie mniejszą wydajnością wodną,
- mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia rozgorzenia czy wstecznego ciągu płomienia,
- mniejsze ryzyko wypadnięcia okien (nieplanowanej wentylacji).

Do **wad** izolowania pożaru należy zaliczyć:

- zaburzona zostanie równowaga termalna (podział na strefy, zobacz **ROZDZIAŁ 2.9.**),
- zatrzymany zostaje przepływ a widoczność pogarsza się,
- ciepło ze strefy podsufitowej przemieszcza się w okolice podłogi,
- zwiększone prawdopodobieństwo tworzenia się bogatej mieszaniny gazów pożarowych,
- rośnie stężenie tlenu węgla (CO) i maleje stężenie tlenu (O₂),
- sytuacja i stan przebywających w tym pomieszczeniu poszkodowanych mogą się pogorszyć.

Tak więc występuje pewien konflikt, ponieważ ograniczając przepływ powietrza do pomieszczenia lub obiektu możemy zapewnić większą kontrolę nad pożarem, ale powodujemy spadek stężenia tlenu i wzrost stężenia tlenu węgla. Dodatkowo powodujemy transport ciepła ze strefy podsufitowej do miejsca przebywania strażaków i osób poszkodowanych. Taką decyzję powinien podejmować **wyłącznie dowódca**, pamiętając, aby przy wejściu **pozostawić dodatkowego strażaka**, który będzie kontrolował drzwi i pomagał we wprowadzaniu odcinka (tarcie o elementy drzwi spowoduje dodatkowe utrudnienie).



Fot. 158: Strażak kontrolujący drzwi wewnętrzne za pomocą pętli z taśmy. Dodatkowo, w razie potrzeby strażak może pomagać we wprowadzaniu odcinka. Z uwagi na zadymienie strażak korzysta z aparatu powietrznego. Zdjęcie wykonane podczas szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych (strażak korzysta z poncza ochronnego chroniącego obranie specjalne przed zniszczeniem oraz zabrudzeniem).



Fot. 159: Strażacy wykonujący izolację pożaru za pomocą kurtyny dymowej. Dzięki jej wykorzystaniu pożar nie będzie tak intensywnie dotleniany, korytarz będzie chroniony przed zadymieniem, a drożność wejścia zostanie zachowana. (fot. Piotr Zwarycz, Obiektiv.com)

5.5.2. Wentylacja grawitacyjna: pozioma i pionowa

Wentylacja grawitacyjna, zwana inaczej wentylacją naturalną, polega na wykorzystaniu różnicy gęstości gazów do usuwania dymu z pomieszczeń. Jest to najstarsza forma wentylacji pożarowej i jednocześnie taka, która niemal zawsze towarzyszyła prowadzonym działaniom. Otwarcie drzwi w celu uzyskania dostępu czy wybicie okna dla podania prądu gaśniczego powodowały migrację dymu.

Jak wiemy między innymi z **ROZDZIAŁU 2.1.3.1.** (patrz również **Rys. 8**) wraz z upowszechnieniem paliw syntetycznych **wentylacja grawitacyjna** stała się mniej skuteczna z uwagi na jednoczesne doprowadzanie tlenu do ogniska pożaru (zobacz **ROZDZIAŁ 2.1.2.1.**). Niemniej wentylacja naturalna jest nadal stosowana i może być przydatna.

Wentylacja grawitacyjna to wykorzystanie różnicy w gęstości gazów pożarowych i powietrza, wynikającej z różnicy temperatur, w celu usunięcia dymu, przy zachowaniu takich proporcji, aby powierzchnia otworu wlotowego (lub łączna powierzchnia otworów, w przypadku wykorzystania kilku wlotów powietrza) powinna być większa od powierzchni otworu (-ów) wylotowego.

Wentylacja grawitacyjna wiąże się z wytwarzaniem dostępu tlenu z powietrza do ogniska spalania, co w konsekwencji doprowadzi do wzrostu dynamiki pożaru. Im dalej od wlotu powietrza znajduje się ognisko pożaru, tym dłużej zajmie wędrówka powietrza i rozpoczęcie wspomnianego wzrostu.

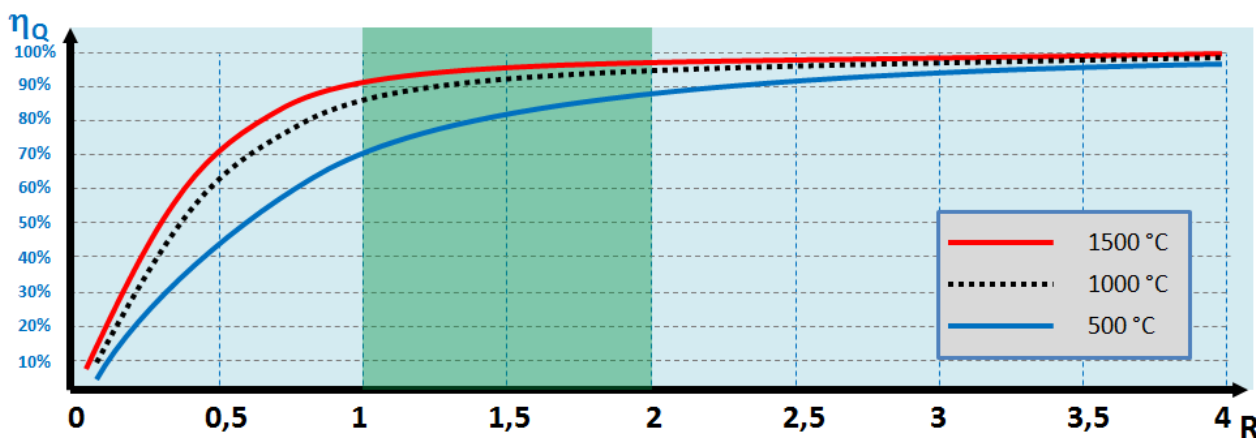
Analogicznie, efekty takiego obrotu sytuacji będą zauważalne z zewnątrz z opóźnieniem adekwatnym do wspomnianej odległości od wlotu do ogniska pożaru.

W Polsce, jak też w innych krajach europejskich, wentylacja grawitacyjna wykonywana przed podjęciem próby podania wody na ognisko pożaru nie jest raczej taktyką powszechnie stosowaną. Najczęściej ratownicy „nurkują w dymie”, często zostawiając za sobą otwarte drzwi, w celu podania wody na ognisko pożaru oraz jednoczesnego przeszukania. Najczęściej dopiero po stwierdzeniu problemu z widocznością ratownicy decydują się na wentylację poprzez np. otwarcie okna. Jest to działanie niosące znamiona poprawności, bowiem niska widoczność charakteryzuje pożar **kontrolowany przez wentylację**, który jest

w fazie wygasania. Oznacza to, że strażacy mają trochę czasu na odnalezienie źródła pożaru, zanim dojdzie do znacznej intensyfikacji procesu spalania. Dodatkowo, napływające z zewnątrz świeże powietrze, zawsze kierujące się w kierunku strefy spalania, wskaże strażakom właściwy kierunek przemieszczania się. **Potencjalny problem** rodzi się wtedy, kiedy strażacy wykonują wentylację grawitacyjną (np. otwierają i pozostawiają otwarte drzwi, wybijają okno) **bez gotowych do wprowadzania i używania linii gaśniczych!** To jak startowanie w wyścigu, kiedy po sygnale od startera pozwalamy oponentowi oddalić się z linii startu, przyglądając się jego plecom! Należy zapamiętać, że w momencie udrożnienia jakiegokolwiek otworu zegar zaczyna odliczanie. Stąd prosta zasada działania – **najpierw gotowe prądy gaśnicze, potem wytwarzanie przepływów!** Ponadto, należy mieć na uwadze, że otwarte okno można zamknąć, a wybitego już nie. Należy działać z rozważą i unikać zbędnych zniszczeń, a także działań sprzyjających utracie kontroli nad przebiegiem zdarzenia. Na **rysunkach 37** oraz **38** można przeanalizować wpływ wentylacji naturalnej na dynamikę rozwoju pożaru.

Amerykańscy strażacy bardzo często stosują wentylację pionową. Polega ona najczęściej na wycince otworów w dachu w celu wypuszczenia gazów pożarowych. O ile nie towarzyszy temu napływ powietrza poniżej, o tyle działanie takie będzie poprawne. Wystarczy natomiast otworzyć drzwi wejściowe do budynku, aby spowodować ukierunkowanie i przyspieszenie przepływu a tym samym wzrost dynamiki spalania (zobacz **Rys. 22** – obszar opisany jako „Wentylacja na dachu”, a także **ROZDZIAŁ 5.5.1.** w części opisującej prędkość przepływu i pęd masy gazów). Należy również dodać, że jak przy każdym rodzaju wymiany gazowej (poza izolacją pożaru), należy zwracać uwagę na **wiatr**: jego kierunek, prędkość i zmienność.

Skuteczność takiej wentylacji zależy będzie od kilku czynników. Przede wszystkim należy stwierdzić, że miarą owej skuteczności będzie ilość gazów opuszczająca otwór (lub otwory) wylotowy w jednostce czasu. W przypadku wentylacji grawitacyjnej, dla zapewnienia skuteczności, należy dążyć do sytuacji, w której powierzchnia otworów wlotowych będzie większa od powierzchni otworów wylotowych. Lub inaczej mówiąc, stosunek powierzchni wylotów (P_{wlot}) do powierzchni wlotów (P_{wyLOT}) będzie **1 lub więcej**. Na poniższym **rysunku 103** współczynnik ten oznaczony zostanie literą „R” na osi poziomej. Natomiast na osi pionowej oznaczona zostanie sprawność procesu wymiany gazowej za pomocą litery „ η_Q ” (grecka litera „eta”). **Sprawność** w fizyce jest to bezwymiarowa wielkość, która określa stosunek ilości energii wychodzącej z procesu do ilości energii wchodzącej do procesu. W naszym przypadku będzie to stosunek wydajności (objętości gazów w jednostce czasu) na wlocie do wydajności na wylocie. Inaczej mówiąc, ile z tego, co wlatuje do budynku w danym momencie, jednocześnie z niego wylatuje (a ile „idzie na straty”). W przypadku wentylacji grawitacyjnej należy również dążyć do tego, aby otwory wlotowe usytuowane były niżej od otworów wylotowych. Wykorzystywane jest zjawisko **wyporu termalnego**, będące podstawą zjawiska **konwekcji** (zobacz **ROZDZIAŁ 2.2.**) Z tego samego powodu, im wyższa temperatura gazów, tym sprawność procesu będzie wyższa dla takich samych warunków wymiany gazowej (ta sama wielkość i usytuowanie otworów). [132, 133]



Rys. 103: Wykres pokazujący zależność sprawności prowadzonej wentylacji grawitacyjnej (η_Q) od stosunku powierzchni otworów wylotowych do powierzchni otworów wlotowych (R). Wykres pokazuje również różnice wynikające z wartości temperatury gazów pożarowych. Im gazy mają niższą temperaturę tym sprawność wymiany gazowej jest niższa. (opracowanie własne na podstawie [132])

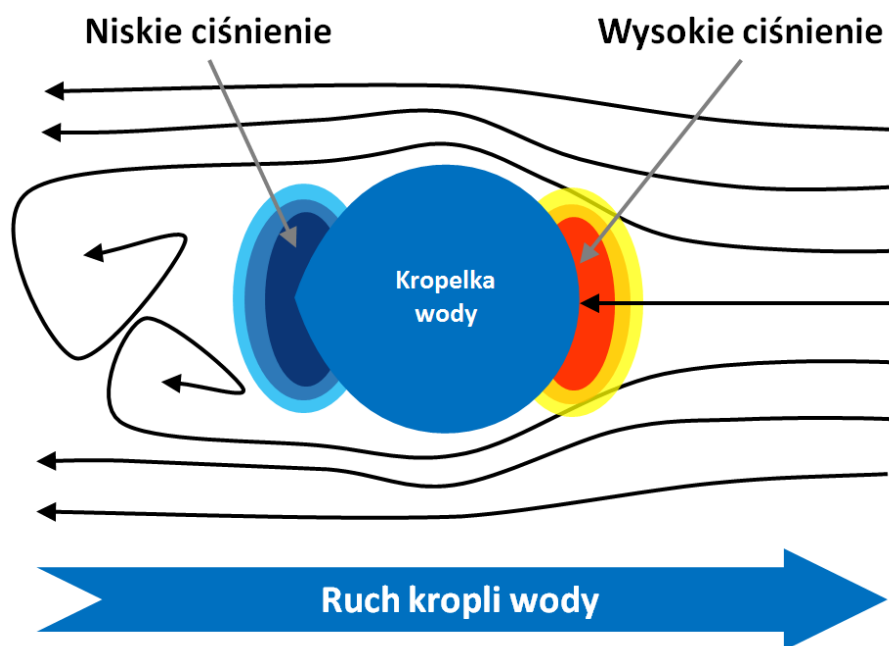
Jeśli np. otwór wlotowy jest o 1,5 razy większy od otworu wylotowego (przypomnijmy: chodzi o łączną powierzchnię wszystkich otworów wlotowych i wylotowych), to zależnie od temperatury gazów sprawność procesu wymiany gazowej będzie wynosić około 80-95%. Ogólny wniosek jest taki, że pomiędzy wartością 1 i 2 dla współczynnika R (powtórzmy: stosunek powierzchni otworów **wlotowych** do powierzchni otworów **wylotowych**) osiąga się najlepsze rezultaty przy wentylacji grawitacyjnej. Rzadko w praktyce można osiągnąć wyższą wartość tego współczynnika, jak również nie daje to znaczących korzyści, co widać na powyższym wykresie. Wypada dodać jeszcze, że mówimy o sprawności procesy. Jeśli natomiast chodzi o wydajność – czyli objętość gazu w jednostce czasu, ta będzie zależała od konkretnej wartości liczbowej powierzchni tych otworów. Im większe otwory tym większa wydajność. Im wyższy współczynnik R tym wyższa sprawność – czyli wyższy ułamek tego, co wpływa do obiektu jednocześnie z niego wypływa.

Jedną z oznak zewnętrznych pożaru, obserwowaną w praktyce i potwierdzaną od lat jest ruch dymu na zewnątrz i z powrotem do wewnątrz, co daje wrażenie, że „budynek oddycha”. Jest to, jak wspomniano wcześniej, oznaka ryzyka wystąpienia zjawiska **wstecznego ciągu płomienia**. Aby zapobiec zagrożeniom wynikającym z tej sytuacji można zdecydować się na stworzenie wylotu w wysokim punkcie (np. wycinka w dachu, jeśli pozwala na to konstrukcja obiektu), któremu musi towarzyszyć zabezpieczenie prądem gaśniczym na okoliczność zapłonu wydostających się gazów na zewnątrz. Wówczas usuwamy gazy pożarowe powodując zmniejszenie stężenia niespalonych węglowodorów, przy jednoczesnym braku dopuszczania tlenu do mieszaniny. Wysokie usytuowanie wylotu zapewnia jednocześnie brak możliwości wędrowki tlenu do wnętrza przez ten otwór z powodu powstania **przepływu jednokierunkowego**.

5.5.3. Wentylacja hydrauliczna: podciśnieniowa i nadciśnieniowa

Zdolność przetłaczania gazów (powietrza, dymu) przez prądy gaśnicze zauważona została przez strażaków (a wcześniej przez naukowców fizyków) już dosyć dawno temu. Wprawdzie przed dekadami w straży nie używano powszechnie prądów rozproszonych, mających największą zdolność przetłaczania gazów, niemniej dynamiczne ruchy wykonywane prądem zwartym również sprzyjały przemieszczaniu mas powietrza i dymu.

Przemieszczanie gazów wraz ze strumieniami wody wiąże się ze zjawiskiem, które pokazano na **rysunku 104**. Przemieszczająca się kropla wody wędruje przez gaz (a zatem ośrodek o znacznie niższej gęstości, szczególnie wtedy niższej, kiedy jego temperatura jest wysoka jak np. dla gazów pożarowych) i napotykając cząstki tego gazu przepycha je ze swojego toru lotu, sama tracąc pęd – zmniejszając prędkość w wyniku tarcia i przyciągania ziemskiego oraz masę w wyniku ewentualnego odparowania). Zanim jednak wytraci ów pęd, powoduje ruch gazów. Energia jednego ciała przekazywana jest drugiemu. Przed kropelką wytwarza się strefa nadciśnienia, natomiast za nią powstaje podciśnienie. Nadciśnienie spycha cząstki z drogi kropelki. Podciśnienie tworzy siłę ciągu, która zasysa mijane cząstki gazu i w ten sposób powstaje tłoczenie gazu przez wodę. Jeśli kropelka jest więcej wówczas efekt jest skumulowany i spotęgowany, ponieważ cząstki gazu dookoła jednej kropli zostały już wprawione w ruch przez przemieszczanie się innej, sąsiadującej kropli.

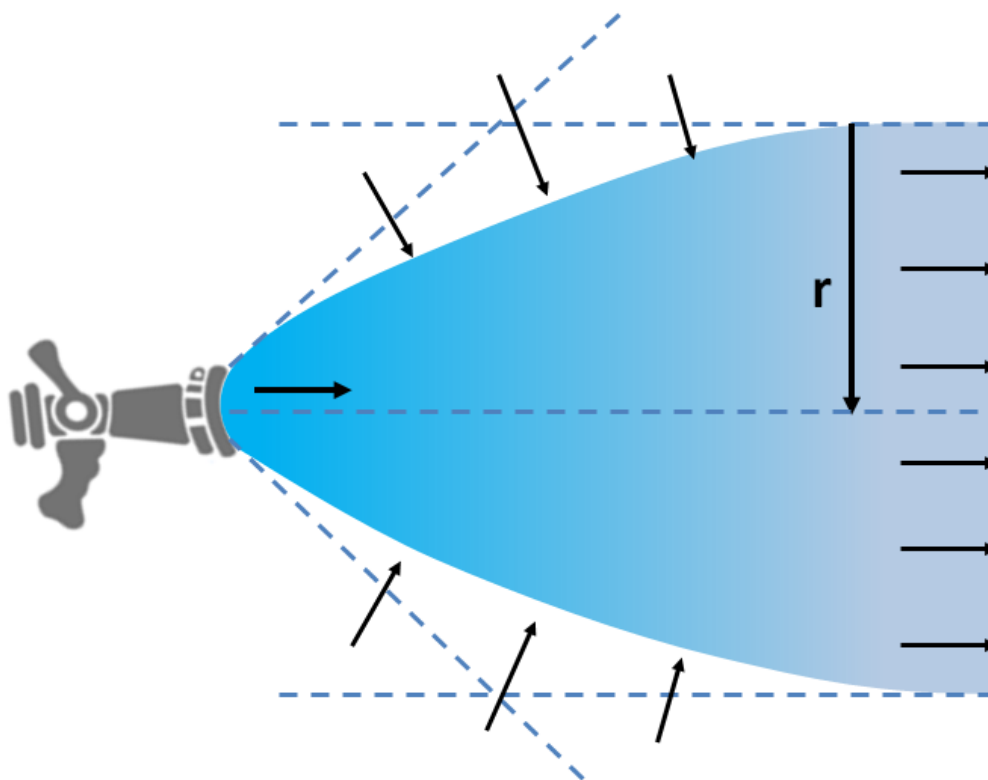


Rys. 104: Mechanizm tłoczenia gazu przez przemieszczającą się kroplę wody. (opracowanie własne na podstawie [133])

W niedawnych badaniach UL FSRI ponownie dowiódł, że prądy zwarte także wytwarzają przepływ gazów. [134] W badaniach skonkludowano między innymi, że:

- najmniej powietrza przy podawaniu prądu wodnego bez ruszania prądownicą tłoczył prąd zwarty z prądownicy prostej typu smoothbore (rzędu około $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$), nieznacznie więcej tłoczył prąd zwarty z prądownicy typu turbo a kilkakrotnie więcej (rzędu około $4 \text{ m}^3/\text{s}$) tłoczy prąd rozproszony o niewielkim kącie rozproszenia (podobny do techniki długiego pulsu). Innych prądów nie badano, niemniej pokazuje to wyraźny trend, który potwierdzają dalsze wyniki.
- Dla tych samych prądów gaśniczych zbadano przemieszczanie mas powietrza przy omiataniu prądami (kreślenie litery „O”). Pierwsze dwa prądy tłoczył około 5x więcej powietrza niż w bezruchu (rzędu około $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$) a prąd rozproszony o około 50% więcej powietrza niż w bezruchu (rzędu około $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Kreślenie różnych kształtów zwartymi prądami wodnymi („O”, „Z” czy „n”) dawało zbliżony efekt niezależnie od wybranego kształtu (rzędu około $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Badając wpływ ciśnienia (obrotów pompy) na tłoczenie powietrza skonkludowano, że prądy zwarte tłoczą mniej powietrza przy wyższym ciśnieniu, jeśli podawane są punktowo, czyli bez ruchu prądownicą (rzędu około $0,6-0,7 \text{ m}^3/\text{s}$) a więcej powietrza przy wyższym ciśnieniu, jeśli wykonuje się ruch omiatający (około $2,3-2,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Dla prądów rozproszonych podawanych punktowo i poprzez omiatanie zależność od ciśnienia jest jednolita: wraz ze wzrostem ciśnienia tłoczenie większej ilości powietrza powodują zarówno prądy podawane punktowo (rzędu około $3,9-4,7 \text{ m}^3/\text{s}$) jak i poprzez omiatanie (rzędu około $5,9-7,5 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Prędkości przepływu gazów powodowanego przez podawanie wyżej opisanych prądów gaśniczych, zawierały się w przedziale $9,6-32,2 \text{ km/h}$.
- Dla prądów zwartych stwierdzono też, że o ile podnoszenie ciśnienia zmniejsza nieznacznie ilość tłoczonego powietrza, to omiatanie prądem zwartym zwiększa zauważalnie tę ilość, nawet przy niższej wydajności. Należy zatem pamiętać, że omiatanie prądem zwartym zawsze prowadzi do tłoczenia powietrza na takim poziomie, który będzie miał znaczenie dla przepływu gazów pożarowych. Jest to bardzo praktyczna obserwacja, pozwalająca na kontrolowanie przez prądownika sytuacji pożarowej w momencie pracy z prądownicą prostą (budynki wysokie, przemysłowe czy magazynowe).
- Dla prądów rozproszonych zwiększanie kąta rozproszenia zwiększa ilość tłoczonego powietrza.
- Należy wyraźnie podkreślić, że powyższe informacje mają istotne znaczenie z punktu widzenia prowadzonych działań gaśniczych. Powodowanie przepływów gazów pożarowych jest czynnością o **znaczeniu taktycznym**. Każdorazowo strażak podając prąd gaśniczy powinien zastanowić się, czy

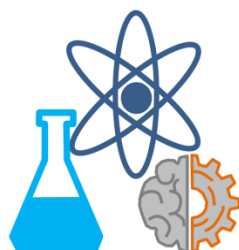
tłoczenie przez niego powietrza i gazów nie spowoduje pogorszenia sytuacji. Oczywiście jest, że doprowadzenie do sytuacji, w której osoba poszkodowana znajduje się między ogniskiem pożaru a wylotem a dodatkowo występuje tłoczenie gazów za pomocą prądu gaśniczego, jest poważnym błędem. Tego typu sytuacji należy unikać. Z drugiej strony, mając świadomość na temat aerodynamicznego oddziaływania prądów gaśniczych, można to wykorzystać dla uzyskania przewagi taktycznej (jest to kluczowy koncept wentylacji taktycznej). Przykładem takiej sytuacji będzie oddziaływanie wiatru na pożar w niekorzystnym układzie przestrzennym, to znaczy a taki sposób, że gazy pożarowe pchane są na strażaków. Jest to sytuacja analogiczna po poprzedniej – strażacy znajdują się wówczas między ogniskiem pożaru a wylotem. Zastosowanie prądów gaśniczych do **odwrócenia kierunku przepływu** może w takiej sytuacji okazać się **czynnością ratującą życie!**



Rys. 105: Zasysanie powietrza do rozproszonego prądu wody. Ilość zasysanego i tłoczonego powietrza zależy od wydajności prądu wodnego, prędkość przepływu, promienia (r) stożka strumienia wody oraz gęstości wody i powietrza. (opracowanie własne na podstawie [88])



Fot. 160: Wentylacja hydrauliczna podciśnieniowa (wyciągowa) w praktyce. W przedstawionej sytuacji strażacy wykorzystywali prąd wodny do wsparcia wentylacji nadciśnieniowej mechanicznej (nadmuchowej) wykonywanej za pomocą wentylatora osiowego.



UWAGA!
NAUKA!

Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

Badania naukowe oraz kalkulacje teoretyczne dowodzą, że wraz z prądem rozproszonym tłoczona jest znaczna ilość powietrza. Dr Stefan Särndqvist w swojej książce przedstawił metodologię dokonywania obliczeń ilości powietrza tłoczonego przez prądy rozproszone (m^3/s). [88] Zależy ona od:

- natężenia przepływu (kg/s , które konwertowane są na l/min),
- prędkości przepływu (m/s , dotyczy wody i powietrza przy prądownicy oraz na końcu podawanego prądu),
- pola powierzchni przepływu (m^2 , w praktyce wynikającego z pola powierzchni przekroju stożka wody, zobacz **Rys. 103**)
- oraz gęstości wody i powietrza.

Poniższa tabela przedstawia kalkulacje ilości tłoczonego powietrza. Obliczenia wykonano dla prądu gaśniczego o średnicy stożka wody równej 1m. Wydajność prądu wodnego podawanego z prądownicy przeliczana jest na natężenie przepływu w drugiej kolumnie. Następnie tabela zawiera obliczoną prędkość przepływu powietrza, wytwarzaną przez prąd wodny. Kolejny wynik to ilość powietrza tłoczonego w jednostce czasu, która następnie przeliczana jest na wydajność wentylacji hydraulicznej. Ta wartość podana jest w ostatniej kolumnie **pogrubionym drukiem**.

Tab. 26: Ilość powietrza, tłoczonego przez prąd rozproszony o średnicy 1m, w zależności od wydajności wodnej tego prądu gaśniczego (opracowanie własne na podstawie [88])

| Wydajność prądu wody | Natężenie przepływu | Prędkość przepływu powietrza | Wydajność wentylacji hydraulicznej | Wydajność wentylacji hydraulicznej | Wydajność prądu wody | Natężenie przepływu | Prędkość przepływu powietrza | Wydajność wentylacji hydraulicznej | Wydajność wentylacji hydraulicznej |
|----------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| L/min | kg/s | m/s | m ³ /s | m ³ /h | L/min | kg/s | m/s | m ³ /s | m ³ /h |
| 100 | 1,67 | 4,72 | 3,71 | 13347 | 300 | 5,00 | 7,29 | 5,73 | 20622 |
| 110 | 1,83 | 4,91 | 3,86 | 13891 | 310 | 5,17 | 7,38 | 5,80 | 20871 |
| 120 | 2,00 | 5,09 | 4,00 | 14402 | 320 | 5,33 | 7,47 | 5,86 | 21113 |
| 130 | 2,17 | 5,26 | 4,13 | 14885 | 330 | 5,50 | 7,55 | 5,93 | 21349 |
| 140 | 2,33 | 5,43 | 4,26 | 15343 | 340 | 5,67 | 7,63 | 5,99 | 21580 |
| 150 | 2,50 | 5,58 | 4,38 | 15778 | 350 | 5,83 | 7,71 | 6,06 | 21805 |
| 160 | 2,67 | 5,73 | 4,50 | 16194 | 360 | 6,00 | 7,79 | 6,12 | 22024 |
| 170 | 2,83 | 5,87 | 4,61 | 16591 | 370 | 6,17 | 7,87 | 6,18 | 22239 |
| 180 | 3,00 | 6,00 | 4,71 | 16971 | 380 | 6,33 | 7,94 | 6,24 | 22449 |
| 190 | 3,17 | 6,13 | 4,82 | 17336 | 390 | 6,50 | 8,01 | 6,29 | 22654 |
| 200 | 3,33 | 6,26 | 4,91 | 17688 | 400 | 6,67 | 8,08 | 6,35 | 22855 |
| 210 | 3,50 | 6,38 | 5,01 | 18026 | 410 | 6,83 | 8,15 | 6,40 | 23052 |
| 220 | 3,67 | 6,49 | 5,10 | 18353 | 420 | 7,00 | 8,22 | 6,46 | 23244 |
| 230 | 3,83 | 6,60 | 5,19 | 18668 | 430 | 7,17 | 8,29 | 6,51 | 23433 |
| 240 | 4,00 | 6,71 | 5,27 | 18973 | 440 | 7,33 | 8,35 | 6,56 | 23618 |
| 250 | 4,17 | 6,82 | 5,35 | 19269 | 450 | 7,50 | 8,42 | 6,61 | 23799 |
| 260 | 4,33 | 6,92 | 5,43 | 19556 | 460 | 7,67 | 8,48 | 6,66 | 23977 |
| 270 | 4,50 | 7,01 | 5,51 | 19834 | 470 | 7,83 | 8,54 | 6,71 | 24152 |
| 280 | 4,67 | 7,11 | 5,58 | 20104 | 480 | 8,00 | 8,60 | 6,76 | 24323 |
| 290 | 4,83 | 7,20 | 5,66 | 20366 | 490 | 8,17 | 8,66 | 6,80 | 24491 |
| | | | | | 500 | 8,33 | 8,72 | 6,85 | 24656 |

Widzimy zatem, że najczęściej używane przez strażaka narzędzie pracy, jakim jest prądownica, tłoczy znaczne ilości powietrza. Kalkulacje pokazują, że zależnie od ustawionej wydajności w zakresie 100-500 L/min, dla stożka wody o średnicy 1m **wydajność wentylacji hydraulicznej** może wynosić pomiędzy **13347 a 24656 m³/h**.

Prądownica uniwersalna (typu TURBO), podczas podawania prądu gaśniczego z wydajnościami w zakresie od 100 do 500 L/min, zasysa do stożka wody i tłoczy pomiędzy 13000 a 24000 m³/h powietrza czy też gazów pożarowych, kiedy stożek ma 1 m średnicy. Otwarcie jej i podawanie wody w sposób ciągły przemieszcza zatem znaczne ilości powietrza i może wpływać na tory wymiany gazowej. Może to być zjawisko wywołane celowo lub też nieumyślnie.

Można powiedzieć, że strażak nosi ze sobą mały wentylator, który może stosować jako urządzenie nadciśnieniowe (nadmuch i pchanie gazów) lub też podciśnieniowe (wywiew i wyciąganie gazów).

Należy o tym pamiętać z dwóch poniższych powodów:

- podawanie wody może pomóc kontrolować tor wymiany gazowej,
- podawanie wody może powodować niekorzystne przemieszczanie gazów pożarowych.

Mając na uwadze dodatkowe aspekty, takie jak straty popożarowe wynikające z zalewania pomieszczeń, częściej stosowaną formą będzie wentylacja hydrauliczna podciśnieniowa (wyciąg gazów ze środka poprzez podawanie wody w kierunku na zewnątrz budynku, najczęściej przez okno).

Wentylację hydrauliczną (wyciągową) można łączyć z wentylacją nadciśnieniową dla uzyskania bardzo skutecznej wymiany gazowej.

5.5.4. Wentylacja mechaniczna: nadciśnieniowa i podciśnieniowa

W końcówce lat 80-tych pewien entuzjasta lotów balonami na ogrzane powietrze szukał metody pozwalającej na szybsze i bezpieczniejsze przygotowanie tych statków powietrznych do lotu. Wpadł wówczas na pomysł, aby zbudować wentylator napędzany silnikiem spalinowym, który mógłby tłoczyć w krótkim czasie duże ilości powietrza i w ten sposób napełniać wstępnie balon bez ryzyka powstania pożaru od otwartego płomienia. Jego wynalazkiem wkrótce zainteresował się departament w Kern County w Kalifornii. Strażacy zaczęli prowadzić próby z wykorzystaniem wentylacji nadciśnieniowej przy pożarach, chcąc znaleźć skuteczną metodę na usuwanie zagrożenia ze strony dymu. Znane już i używane w straży były wentylatory wyciągowe. Ich potrzeba wynikała z konieczności oddymiania przestrzeni pozbawionych okien np. piwnic. Strażacy dowiedzieli się ze swoich eksperymentów, że **wentylacja nadciśnieniowa** jest kilkukrotnie bardziej skuteczna od **wentylacji podciśnieniowej**. Od tamtej pory technika i taktyka działania rozpowszechniła się na całym świecie a technologia wciąż rozwija się, oferując m.in. jednostki akumulatorowe. Daleko im jeszcze do spalinowych, jednak przy obecnych trendach rozwoju technologii zasilania akumulatorowego można spodziewać się z czasem zrównania parametrów jednostek elektrycznych ze spalinowymi a może nawet prześcignięcia tych drugich przez te pierwsze. [136, 137]

Mając na uwadze ogólną zasadę wytwarzania przepływów powodujących wymianę gazową, opisywany rodzaj wentylacji nazwiemy **wentylacją mechaniczną**, którą z kolei podzielić można na nadmuchową (nadciśnieniową) i wyciągową (podciśnieniową).

- **wentylacja nadciśnieniowa**: realizowana przy użyciu wentylatorów osiowych tradycyjnych (wytwarzających strugę o kształcie stożka) lub typu turbo (wytwarzających strugę o kształcie walca). Wentylacja nadciśnienia polega na wtłaczaniu przez otwór wlotowy powietrza w celu podniesienia ciśnienia w obiekcie i ukierunkowania przepływu gazów na zewnątrz przez obrany wcześniej wylot, wzdłuż zaplanowanej ścieżki przepływu.
- **wentylacja podciśnieniowa**: realizowana przy użyciu wentylatorów wyciągowych. Wentylacja podciśnieniowa polega na wytworzeniu podciśnienia i usuwaniu dymu na zewnątrz poprzez jego wyciąganie. Jest to metoda mniej wydajna niż wentylacja nadciśnieniowa.

W związku z występowaniem 2 rodzajów wentylatorów: wytwarzających strugę powietrza o kształcie **stożka** (zwanych **tradycyjnymi** lub **konwencjonalnymi**) oraz wytwarzających strugę powietrza o kształcie **walca** (zwanych **turbo**), należy rozróżnić również optymalną pozycję ustawienia wentylatora, zapewniającą najwyższą skuteczność wymiany gazowej. Dodajmy, że wentylację nadciśnieniową prowadzoną przy wykorzystaniu wentylatorów typu turbo nazywa się czasem **turbowentylacją**. Wentylatory tradycyjne najkorzystniej ustawiać tak, aby cała struga tłoczonego powietrza mieściła się do drzwi. Zasada obejmowania otworu wlotowego podstawą stożka nie jest konieczna do stosowania i nie zapewnia maksymalnych parametrów wentylacji, jeśli naszym celem jest **wytworzenie przepływu**. Wówczas do wnętrza tłoczone jest całe powietrze ze strugi generowanej przez wentylator, a dodatkowo powietrze zasysane na zasadzie wytwarzania podciśnienia dookoła strugi, wzdłuż jej trasy. W testach większość wentylatorów tradycyjnych osiąga maksymalne parametry pracy przy ustawieniu w **odległości 1-2m** od otworu wlotowego. W przypadku wentylatorów typu turbo niezbędne jest ustawienie w dalszej odległości ze względu na to, że zawężona

do kształtu zbliżonego do walca struga osiąga najwyższe prędkości dopiero po pokonaniu pewnej drogi. Najlepsze parametry turbowentylacji osiąga się ustawiając wentylatory w odległości zalecanej przez producentów, na **ogół zawierającej się w przedziale 4-6m**. Jeśli celem prowadzenia wentylacji jest **wytworzenie nadciśnienia**, najczęściej wykonywane w celu obrony obszarów przed zadymieniem lub rozprzestrzenieniem pożaru, wówczas próby szczelnego objęcia otworu wlotowego stożkiem tłoczonego powietrza mają sens, jednak wtedy należy upewnić się, że nie istnieją wyloty. [138, 139]

Aby zapewnić dobrą skuteczność wentylacji ważny jest również stosunek pola powierzchni otworu wylotowego (lub suma pól powierzchni w przypadku kilku otworów wylotowych) do pola powierzchni otworu wlotowego (porównaj z **ROZDZIAŁEM 5.5.2.**). Co do zasady, im większy stosunek (umownie zwany współczynnikiem R) tym skuteczniejsza wymiana gazowa (mniejsze straty ciśnienia i większy wydatek). Niemniej zwiększanie współczynnika R sprzyja spadkowi ciśnienia, przy jakim powietrze i gazy pożarowe wydobywają się z wylotu(ów). W przypadku dużej wartości współczynnika R może dojść do takiego spadku ciśnienia, że wentylacja nadciśnieniowa może być łatwo zakłócana przez wiatr. Obliczenia oraz testy wskazują, że zachowanie współczynnika R w granicach 1-2 daje najlepsze efekty. W praktyce oznacza to np. wykorzystanie 1 drzwi o standardowym rozmiarze jako wlot i 2-4 okien o standardowym wymiarze jako wylot (zobacz **Rys. 105**). [140]

Wentylacja mechaniczna nadciśnieniowa to wykorzystanie wentylatorów osiowych w celu wytworzenia nadciśnienia w obiekcie, ukierunkowania przepływu gazów i wypchnięcia ich poza obiekt, zastępując je świeżym powietrzem.



Poniższa treść jest treścią ponadprogramową. Została tu przedstawiona, aby dać Czytelnikowi lepsze zrozumienie omawianych zjawisk. Pominięcie tej części nie spowoduje niepełnej realizacji treści programowych.

Zapoznanie się z niniejszą treścią grozi dogłębnym zrozumieniem fizykochemicznych podstaw procesu spalania i pożaru. Czytasz na własne ryzyko!

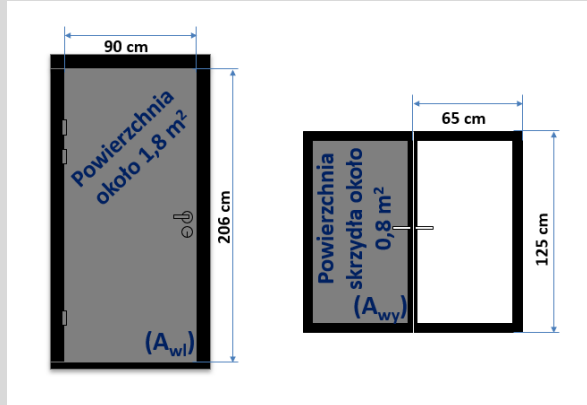
Całą niniejszą sekcja poświęcona jest wyjaśnieniu praw fizyki, jakie mają zastosowanie w sferze wentylacji nadciśnieniowej. Sekcja ta jest dosyć obszerna, niemniej złożona natura procesów i zjawisk, jakie zachodzą podczas stosowania tej techniki działania, wymaga szczegółowego omówienia kilku kluczowych obszarów. Należy jednak zaznaczyć, że jest to jedynie podsumowanie zagadnień, bowiem zakres niniejszego opracowania nie przewiduje dogłębnej analizy wspomnianej problematyki.

Zupełnie jak przy wentylacji grawitacyjnej, również przy wentylacji nadciśnieniowej, występuje zależność między skutecznością wymiany gazowej a stosunkiem powierzchni otworów wlotowych i wylotowych. Zaczniemy od tego, że dla wentylacji nadciśnieniowej wymagane jest istnienie wlotu oraz wylotu. Zauważmy, że najczęściej otwór wlotowy jest jeden i są nim drzwi, natomiast otworów wylotowych może być kilka i będą to najczęściej okna. Mając na uwadze prawa rządzące procesami aerodynamicznymi należy pamiętać, że efektywnie znaczenie dla skuteczności wymuszonego przepływu będzie miała powierzchnia ostatniego otworu, przez który następuje „wlot” powietrza – lub mówiąc bardziej praktycznie, jeśli wentylujemy pomieszczenia w mieszkaniu to na sprawność procesu wpływa powierzchnia drzwi do **pokoju** a nie do mieszkania. Oczywiście jeśli drzwi do pokoju są znacznie większe od drzwi wejściowych to te drugie będą miejscem, gdzie powstaje najwięcej ograniczeń a zatem to od ich powierzchni zależeć będzie wymiana gazowa.

Jeśli chodzi o wyloty to będzie to łączna suma pól powierzchni wszystkich otworów wylotowych. Jeśli występują one w różnych pomieszczeniach to przepływ podzieli się na kilka ścieżek, proporcjonalnie do oporów przepływu, czyli ciśnienia wynikającego z toru przepływu oraz generowanego przez pożar (zobacz **ROZDZIAŁ 2.8.**). Opisywane tu zagadnienie obrazuje **Rys. 106**.

Poniżej można prześledzić kolejne kroki służące do oszacowania sprawności procesu wentylacji nadciśnieniowej. Zaznaczmy na początek, że są to kalkulacje wykonywane dla tzw. „zimnych przepływów” czyli dla powietrza. Przy występowaniu pożaru należy pamiętać o ciśnieniach generowanych przez proces spalania (zobacz **Rys. 20**). Z uwagi na dynamikę i zmienność tego procesu niezwykle trudne i obszerne byłoby opisanie omawianych zagadnień dla „przepływów gorących”. Dlatego należy traktować poniższe wiadomości jako **orientacyjne**.

Do wykonania kalkulacji posłużą nam najczęściej spotykane wymiary drzwi oraz okien. Na ich podstawie możemy policzyć powierzchnię tych otworów. Znając ich powierzchnię, możemy wyznaczać współczynnik **R** dla szeregu różnych konfiguracji (profilu wentylacji) – zobacz **rys. 106**.



Rys. 106: Najczęściej spotykane otwory drzwiowe i okienne w budynkach mieszkalnych oraz ich orientacyjna powierzchnia. [140, 141]

Aby oszacować sprawność wymiany gazowej oraz ciśnienie gazu wydostającego się z wylotu(-ów), należy dokonać poniższych kalkulacji. Pierwszy z wzorów (**R**) pozwoli na określenie stosunku łącznej powierzchni wylotów do wlotów. Kolejny (η_Q) będzie podstawą do oszacowania sprawności generowanej przez wentylator, wymuszonej wymiany gazowej – czyli ile z tłoczonego powietrza w tym samym momencie opuszcza obiekt przez wylot(y). Ostatni z wzorów (P_{wy}) posłuży do określenia ciśnienia, pod jakim gaz wydostaje się z wylotów. [37, 99, 132]

Znając przybliżoną, często spotykana powierzchnie otworów w obiektach mieszkalnych, możemy wykonać kalkulacje dla kilku możliwych scenariuszy. Pozwoli to nam na wyrobienie sobie orientacji odnośnie zasadności stosowania wentylacji nadciśnieniowej w różnego rodzaju sytuacjach, jakie strażacy mogą zastać na miejscu zdarzenia. Da też pewna świadomość odnośnie możliwości kreowania tej sytuacji stosownie do zamiaru taktycznego kierującego działaniem ratowniczym. Na podstawie poniższych zależności powstały wykresy na **rysunku 105**.

$$R = \frac{A_{wy}}{A_{wl}} \quad \left| \quad \eta_Q = \frac{C'}{1+R^2} \quad \left| \quad P_{wy} = \frac{C \cdot R}{\sqrt{1 + R^2}}$$

gdzie:







η_Q – sprawność wydajności wentylacji;

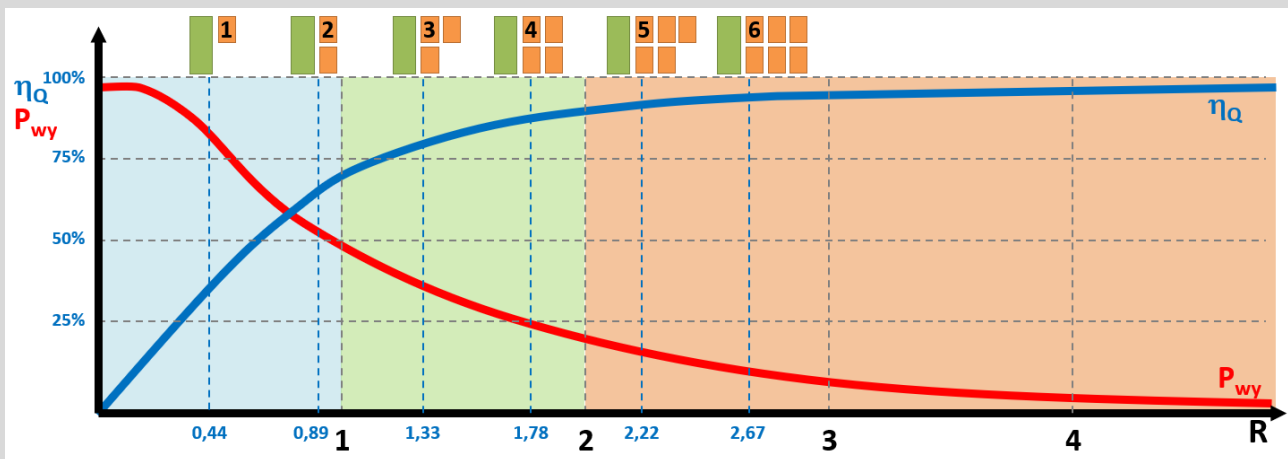
P_{wy} – ciśnienie w otworach wylotowych względem ciśnienia na wlocie;

R – stosunek powierzchni otworu wylotowego (A_{wy}) do powierzchni otworu wlotowego (A_{wl});

C/C' – zmienne zależne od czynników środowiskowych. [142, 143]

Tab. 27: Wpływ współczynnika R na sprawność wentylacji oraz ciśnienie gazów wydostających się z otworów wylotowych. Analizowano prowadzenie wentylacji w układzie 1 drzwi – 1 okno / 2 okna / / 6 okien. Graficzne przedstawienie informacji zawartych w tabeli znajduje się na **rysunku 105**.

| | |
|---|---|
|  | $R=0,44 \rightarrow \eta_Q \approx 45\% / P_{wy} \approx 0,80 P_{we}$ |
|  | $R=0,89 \rightarrow \eta_Q \approx 67\% / P_{wy} \approx 0,52 P_{we}$ |
|  | $R=1,33 \rightarrow \eta_Q \approx 80\% / P_{wy} \approx 0,38 P_{we}$ |
|  | $R=1,78 \rightarrow \eta_Q \approx 86\% / P_{wy} \approx 0,25 P_{we}$ |
|  | $R=2,22 \rightarrow \eta_Q \approx 89\% / P_{wy} \approx 0,17 P_{we}$ |
|  | $R=2,67 \rightarrow \eta_Q \approx 92\% / P_{wy} \approx 0,13 P_{we}$ |

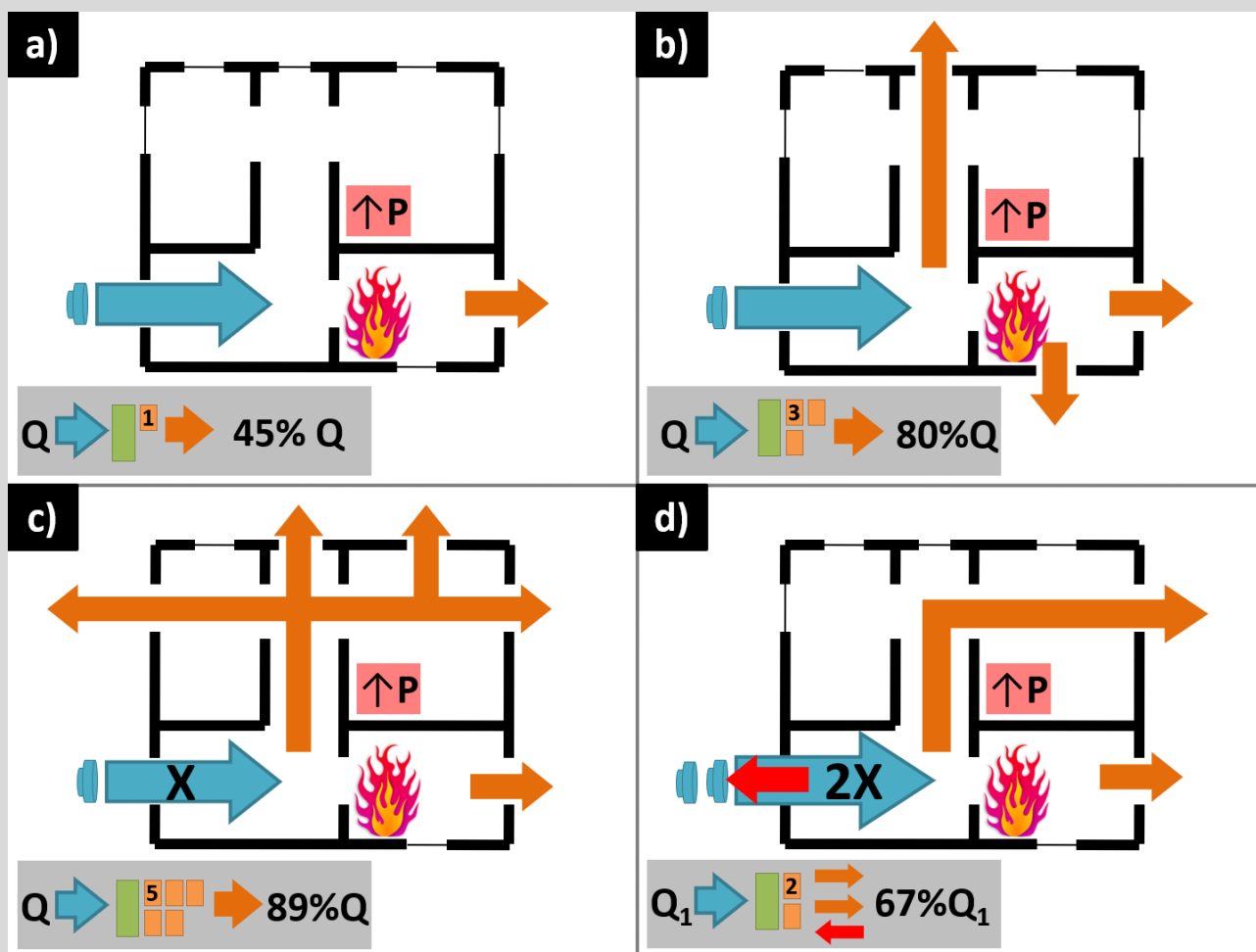


Rys. 107: Wykres pokazujący zależność między współczynnikiem R a sprawnością wentylacji (η_Q) oraz ciśnieniem gazów (P_{wy}) w wylocie. Porównaj z **Rys. 102**. [37, 99, 132, 140, 141]

Zwróćmy uwagę na występujące prawidłowości:

- Dla niskiej wartości współczynnika $R < 1$ prowadzona wentylacja nadciśnieniowa charakteryzuje się niską sprawnością (obszar błękitny na wykresie). Jednocześnie w otworach wylotowych panuje wysokie ciśnienie. Jak widać w górnej części wykresu, są to prawidłowości występujące dla sytuacji, gdzie wentylacja przebiega z udziałem 1 drzwi w charakterze wlotu oraz 1-2 okien w charakterze wylotu (-ów). Istnieje duże prawdopodobieństwo, że oba otwory wylotowe znajdują się w jednym pomieszczeniu. Wówczas mamy do czynienia z sytuacją, gdzie przepływ odbywa się wzdłuż jednej ścieżki. Jeśli otwory wylotowe występują w różnych pomieszczeniach, wówczas tor wymiany gazowej jest bardziej rozbudowany. Przedstawiono to na **rys. 108**.
- Dla wartości współczynnika R **między 1-2** parametry wentylacji wydają się być optymalne (obszar zielony na wykresie). Mamy wówczas do czynienia z względnie wysokim parametrem sprawności jak też nadal korzystną wartością ciśnienia w wylocie. Ten ostatni parametr ma znaczenie taktyczne, bowiem od niego zależeć będzie to, czy panujący na miejscu zdarzenia **wiatr** będzie w stanie zakłócać przebieg wentylacji nadciśnieniowej. Taka wartość współczynnika R osiągnąca będzie dla wentylacji prowadzonej w układzie pomiędzy 1 drzwiami a 2-5 okien (w przybliżeniu). Jest to najczęściej sytuacja, w której otwory znajdują się w różnych pomieszczeniach. Będzie to oznaczać podział toru wymiany gazowej na kilka odnóg. Zależnie od lokalizacji ogniska pożaru niektóre generowane przepływy mogą być niekorzystne, mogą bowiem tłoczyć gorące gazy pożarowe z okolicy ogniska pożaru w obszary nieobjęte spalaniem i mniej zadymione, co sprzyja pogarszaniu sytuacji. Należy również zauważyć, że wzrost wartości współczynnika R powyżej wartości 2 **nie powoduje** znacznego wzrostu sprawności prowadzonej wentylacji.

- Dla wartości współczynnika $R > 2$ sprawność wentylacji jest bardzo wysoka. Opory przepływu maleją a zatem niemal cała objętość tłoczonych gazów jednocześnie opuszcza wentylowane pomieszczenia. Następuje nieznaczny wzrost dosyć już wysokiej wartości współczynnika sprawności wymuszonej wymiany gazowej. Gdyby w pomieszczeniu nie było całej ściany (maksymalna powierzchnia wylotu) a współczynnik sprawności osiągnął wartość bliską 100%, wówczas **ciśnienie** gazów opuszczających wylot byłoby skrajnie **małe**. W takich okolicznościach prowadzenie wentylacji nadciśnieniowej byłoby skrajnie podatne na zakłócenia powodowane **wiatrem**. Obszar pokazujący opisywane w tym punkcie warunki zaznaczony jest na wykresie kolorem beżowym. Nie są to jednak łatwe do osiągnięcia warunki wymiany gazowej, ponieważ wymagają np. użycia więcej niż 5 okien jako wylotów, przy 1 standardowych drzwiach służących jako wlot.



Rys. 108 a-d: Różne profile wentylacji mogą powodować powstawanie różnych, w tym niekorzystnych, torów wymiany gazowej. [140, 141]

Na powyższym **rysunku 108** widać cztery sytuacje, które można przeanalizować wraz z prześledzeniem przebiegów na powyższym wykresie (**rys. 107**):

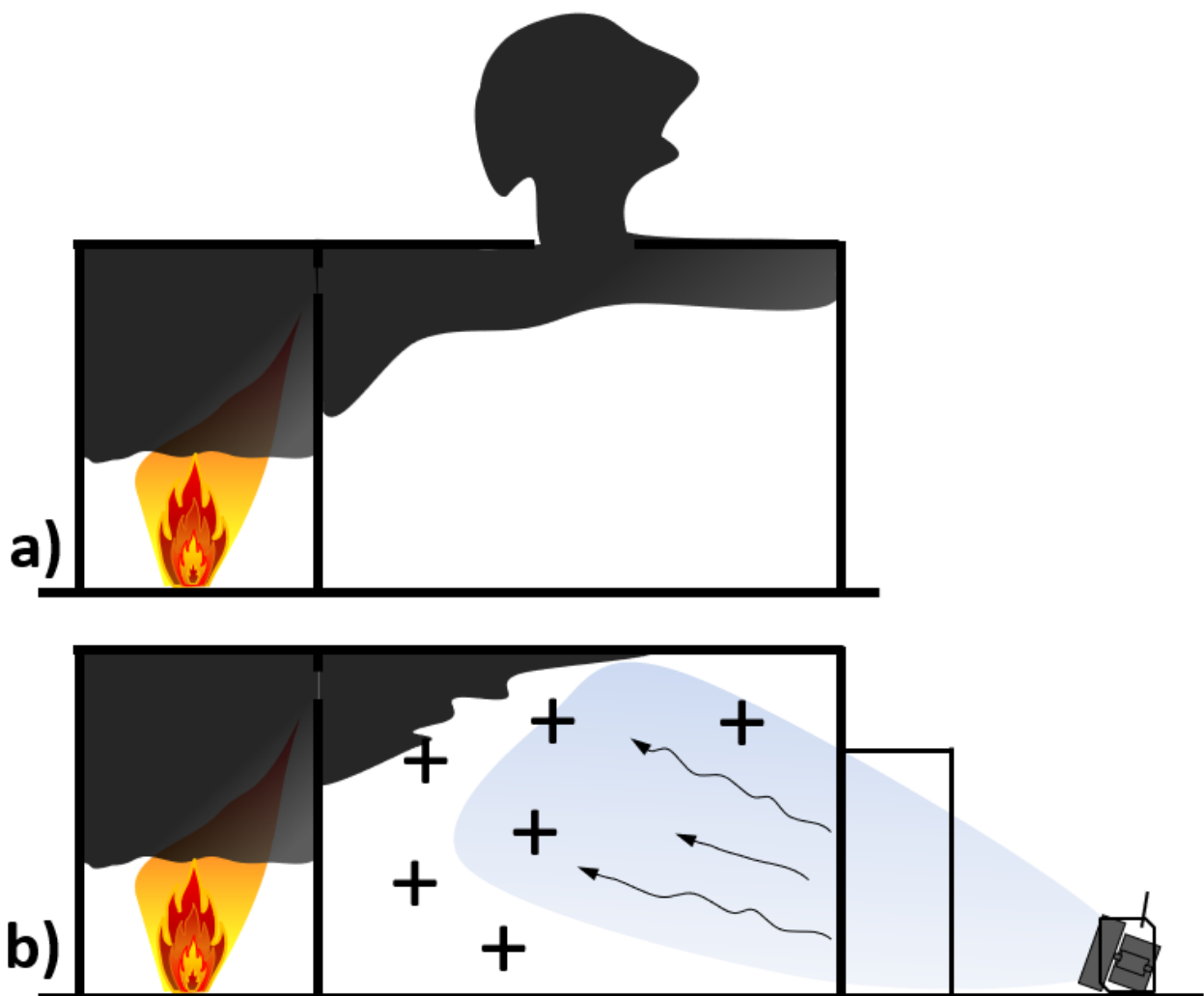
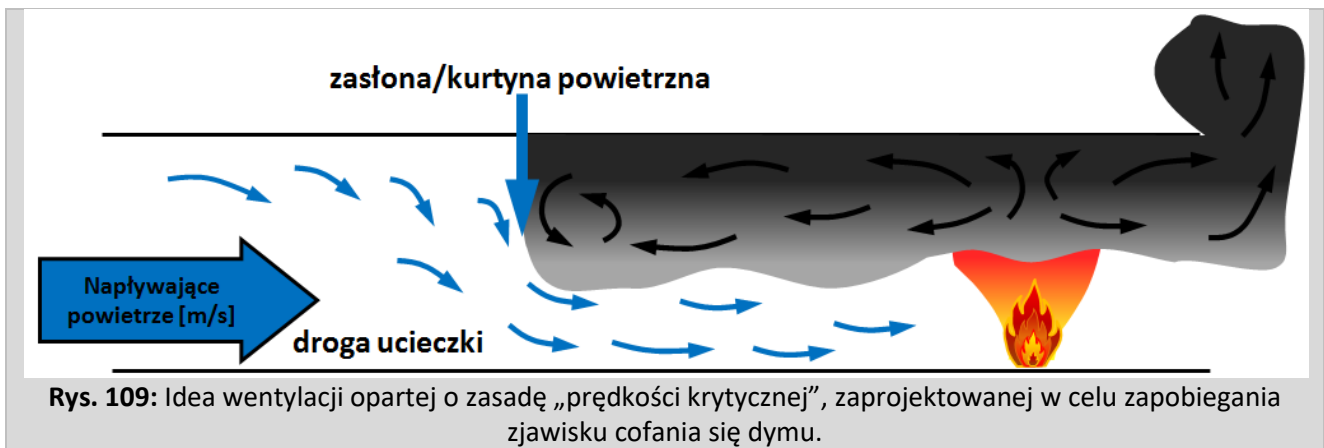
- Wentylacja następuje w układzie **1D-10** (1 drzwi do 1 okna). Daje to sprawność procesu na poziomie około 45%. Występuje dosyć duże nadciśnienie, dzięki czemu proces nie jest podatny na zakłócenia powodowane wiatrem. Przepływ następuje od wentylatora, przez drzwi, do pomieszczenia objętego pożarem, przez ognisko pożaru i do wylotu. Gazy pożarowe nie będą tłoczone do innych pomieszczeń.
- Wentylacja następuje w układzie **1D-30**. Daje to sprawność procesu na poziomie około 80%. Występujące nadciśnienie jest niższe od 50% wartości początkowej (powietrza tłoczonego przez wlot). Są to optymalne warunki prowadzenia wentylacji, mając na uwadze kompromis pomiędzy sprawnością a podatnością na zakłócenia. Przepływ następuje od wentylatora, przez drzwi, do pomieszczenia objętego pożarem, przez ognisko pożaru i do dwóch wylotów a dodatkowo przez okno na korytarzu. Łączny wypływ przez 3 okna daje wysoką sprawność niemniej obniża ciśnienie wypływu

w poszczególnych oknach. Mając na uwadze kierunek wiatru (patrz **rys. 61**) wpływ warunków zewnętrznych może być różnorodny i zmienny dla poszczególnych otworów z uwagi na ich inne usytuowanie względem stron świata. W prezentowanym układzie nie jest wykluczone, że gazy pożarowe będą tłoczone do innych pomieszczeń.

- c) Wentylacja następuje w układzie **1D-50**. Daje to sprawność procesu na poziomie około 89% czyli relatywnie niewiele większą od sytuacji w punkcie b). Występujące nadciśnienie spada do około 20% wartości początkowej (powietrza tłoczonego przez wlot). Są to niekorzystne warunki wentylacji z powodu zarówno dużej podatności na zakłócenia jak też z uwagi na rozbudowane ścieżki przepływu gazów, sprzyjające tłoczeniu gazów do pomieszczeń nieobjętych pożarem (patrz **rys. 61**). Niemniej przy niewielkim wietrze i przygaszonym pożarze, wysoka sprawność wymiany gazowej może być pożądana w celu szybkiego odymienia. Niższe ciśnienie w wylocie, wynikające z podzielonej ścieżki przepływu, oznacza też mniejsze prędkości przepływu wewnątrz, co z kolei przekłada się na mniejszą zdolność strugi do rozdmuchiwania i ponownego rozpalania istniejących zarzewi ognia.
- d) Sytuacja tu zobrazowana (wentylacja w układzie **1D-20**.) polega na występowaniu bardzo intensywnej wentylacji, co pokazano symbolicznie poprzez umieszczenie 2 wentylatorów (może to być jeden bardzo wydajny wentylator). Podobna sytuacja może wystąpić, jeśli wentylowana kubatura jest względnie niewielka w odniesieniu do mocy i wydajności wentylatora. Tłoczona jest duża ilość powietrza a kubatura nie jest w stanie jej pomieścić z uwagi na swą wielkość oraz wytwarzane wysokie nadciśnienie (tłoczone powietrze jest ściskane i wytwarzane jest nadciśnienie). Występuje też za niska wydajność czy przepustowość otworów wylotowych, co jest kolejną przyczyną nadciśnienia i niskiej sprawności wymiany gazowej. Taki układ warunków powoduje, że gazy szukają innej drogi ujścia i mogą ją znaleźć w otworze, który został wybrany na wlot.

Zjawisko **cofania się dymu**, opisane w punkcie **d)** powyżej, jest zjawiskiem znanym w wentylacji. Zapobieganie mu jest jednym z głównych wyzwań podczas tworzenia stałych systemów wentylacji np. garaży czy tuneli. [144] Z uwagi na geometrię tych miejsc niemożliwe jest stosowanie rozwiązań, które wytwarzają strugi o kształcie i rozmiarach pozwalających na pokrywanie całego przekroju (powierzchni prostopadłej do kierunku przemieszczania się powietrza w strudze). Tak szerokie strugi dodatkowo powodują powstawanie większych turbulencji i mają mniejszą siłę ciągu⁵¹. W zamian stosuje się rozwiązania techniczne pozwalające na przewyciężenie negatywnego zjawiska cofania się dymu w oparciu o wiedzę inżynierską. Jednym z kluczowych parametrów, które projektowane są w takich systemach wentylacji, jest **prędkość krytyczna** strugi powietrza tłoczonego przez wentylator. Obliczana jest w oparciu o geometrię przestrzeni, która jest wentylowana oraz o ilość energii cieplnej uwalnianej w wyniku pożaru. Analogicznie, podczas wentylacji interwencyjnej z wykorzystaniem wentylatorów osiowych używanych przez straże pożarne, zapobieganie zjawisku cofania się dymu może być osiągnięte poprzez zastosowanie jednostek sprzętowych wytwarzających duże prędkości tłoczonej strugi. To właśnie jest główna zasada towarzysząca powstawaniu wentylatorów typu TURBO. Należy jednak pamiętać ogólną zasadę projektowania stałych systemów wentylacji mówiącą o tym, że dla systemów wykorzystujących zasadę przekraczania prędkości krytycznej w celu zapobiegania występowania zjawiska cofania się dymu jest **zapewnienie usuwania napływającego powietrza z przestrzeni objętej pożarem**. [145] Jest to zasada analogiczna do wentylacji nadciśnieniowej interwencyjnej, gdzie stworzenie wylotów jest fundamentalnym elementem skutecznego działania.

⁵¹**Siła ciągu** (ang. „*thrust*”) jest pojęciem z dziedziny aerodynamiki i budowy silników lotniczych. Jest siłą wytwarzana przez zespół napędowy statku powietrznego powstającą wskutek przyspieszenia strumienia gazu. Jest w związku z tym siłą reakcji powstająca zgodnie z III zasadą dynamiki Newtona. W lotnictwie siła wykorzystywana jest do poruszania statku powietrznego. W wentylacji siła ciągu wykorzystywana jest w inny sposób – urządzenie wytwarzające ją jest nieruchome (wentylator) a struga wykorzystywana jest do wytwarzania przepływów.



Rys. 110 a-b: Wentylacja taktyczna wykonywana w celu zapobiegania zjawiskom z grupy ZGP (zobacz Rys. 54). Na rysunku a) widzimy wentylację grawitacyjną pionową polegającą na wypuszczaniu dymu przez otwór w dachu (kłapę dymową, świetlik czy wycinkę dachową). Na rysunku b) widzimy wykorzystanie nadciśnienia (bez przepływu!) w celu zabezpieczenia przestrzeni z prawej strony rysunku przed przedostawaniem się dymu z pomieszczenia przyległego. Zależnie od momentu [przybycia na miejsce zdarzenia i zastanej sytuacji, kierujący działaniem ratowniczym podejmie decyzję o formie wentylacji taktycznej dającej największą korzyść taktyczną. (opracowanie własne na podstawie [2]).

Mając na uwadze cel oraz moment stosowania nadciśnienia w celu zarządzania przepływami możemy wyróżnić dwie odmienne techniki działania z wykorzystaniem wentylatorów nadciśnieniowych:

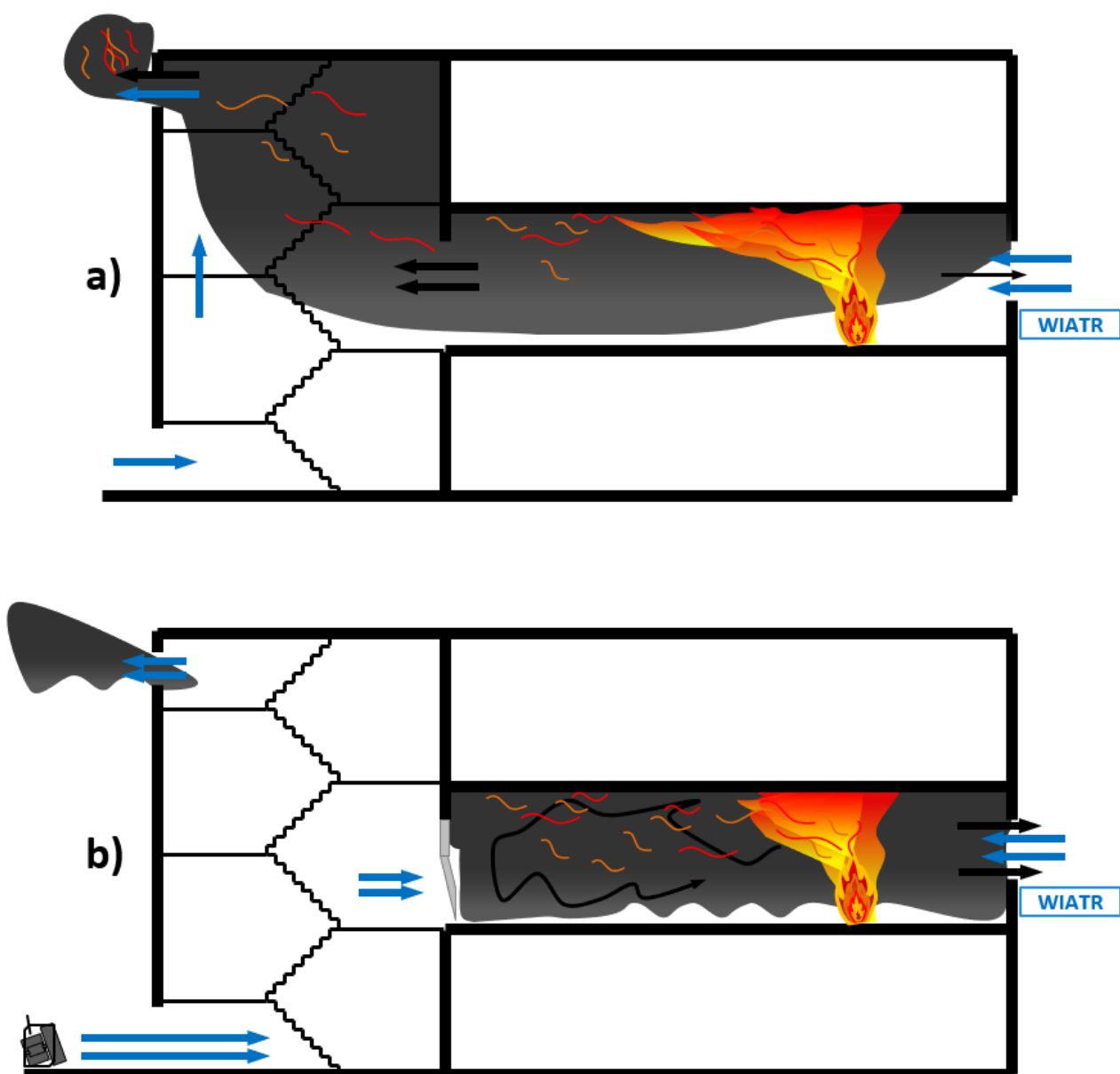
- **Wentylacja nadciśnieniowa** (ang. „*Positive Pressure Ventilation*” – PPV) – wykonanie wentylacji po zlikwidowaniu źródła pożaru w celu usunięcia dymu. Należy zatem twierdzić, że jest to **oddymianie mechaniczne**.
- **Natarcie nadciśnieniowe** (ang. „*Positive Pressure Attack*” – PPA) – wykonanie wentylacji przed rozpoczęciem natarcia w celu poprawy warunków pracy wewnątrz obiektu. Można więc skonkludować, że jest to **element techniki gaśniczej**.

Wracając do wprowadzenia do niniejszego rozdziału można zauważyć, że wspomniane wdrożenie wentylatorów, używanych wcześniej do napełniania balonów na gorące powietrze przed startem, do taktyki walki z pożarami, było natarciem nadciśnieniowym, według powyższej nomenklatury. Jako to jest, że z jednej strony dotlenianie pożaru zwiększa ilość wydzielanego ciepła (zobacz **ROZDZIAŁ 2.1.2.1.**) a z drugiej stosowanie nadciśnienia pomaga zwalczać pożar?

Sięgając do literatury branżowej możemy dowiedzieć się, że w pożarze wewnętrznym wydziela się znaczna ilość energii cieplnej i że owa energia transportowana jest na 3 sposoby (zobacz **ROZDZIAŁ 2.2.**). Okazuje się, że blisko 30% tej energii transportowane jest z drodze **promieniowania**, natomiast około **70% rozchodzi się w drodze konwekcji**, to znaczy transportowane jest w masie gorących gazów. [146] Kiedy rozpoczynamy wentylację nadciśnieniową na aktywnym pożarze, wówczas dochodzi do rozdmuchania ogniska. Jednak wkrótce, w wyniku ukierunkowania przepływów, dochodzi do usunięcia znacznych ilości ciepła wraz z gazami. Dlatego metoda ta ma tak wysoką skuteczność, niemniej jednak jej stosowanie wymaga gruntownej wiedzy i doświadczenia. W przeciwnym razie łatwo nie tylko nie poprawić sytuacji, ale **można znacznie ją pogorszyć!**

Niezależnie od tego, czy nadciśnienie stosowane jest do oddymienia czy poprawy warunków natarcia, można uzupełnić powyższe informacje o kilka uniwersalnych zasad. Trzeba pamiętać, że wszelkie przeszkody na drodze strumienia powietrza (meble, zakręty, przewężenia, strażacy) powodują turbulencję i zmniejszają skuteczność wymuszonej wymiany gazowej. Trudno też myśleć o skutecznej wentylacji bez drożności otworów, a zatem warto pamiętać o **klinach** do blokowania drzwi czy okien w pozycji otwartej (zobacz **fol. 121**). Ruch powietrza bez problemu jest w stanie zamykać drzwi czy okna, niwecząc wszelkie starania. Pamiętajmy też, że wentylacja nadciśnieniowa jest w stanie przewyższać ciśnienia powstające w pożarze, pod warunkiem występowania odpowiednich warunków (proporcja otworów wlotowych i wylotowych, brak lub mały wiatr itd.). Im pożar jest bardziej intensywny (moc pożaru) tym większa prędkość przepływu potrzebna do przewyższenia nadciśnienia wywieranego przez gazy pożarowe. Moc pożaru (intensywność spalania) zależy od stopnia dopływu tlenu do strefy spalania, a zatem:

- od powierzchni otworów wentylacyjnych,
- od wysokości pomieszczeń,
- od powierzchni pomieszczeń,
- od stopnia „otwarcia” wewnątrz (wewnątrz połączone funkcjonalnie – usunięte ściany, brak drzwi itd.).



Rys. 111 a-b: Jednym z powodów stosowania wentylacji nadciśnieniowej jest przeciwdziałanie negatywnym skutkom wiatru. Na **rysunku a)** widać, że otwarte drzwi do mieszkania sprzyjają zadymianiu klatki schodowej, będącej drogą ewakuacji dla osób z powyższych kondygnacji. Wiatr wiejący w kierunku otworu okiennego dodatkowo wzmacnia proces zadymiania klatki schodowej. Sprzyja mu również otwarte okno na klatce schodowej na samej górze (szybszy przepływ gazów). Pokazana na **rysunku b)** wentylacja nadciśnieniowa pomaga ustabilizować sytuację poprzez: usunięcie dymu z klatki schodowej, napowietrzenie i zapobieganie zadymieniu klatki schodowej, przeciwdziałanie przepływowi dymu generowanemu przez wiatr, ukierunkowanie przepływów. Umieszczona w drzwiach do mieszkania kurtyna dymowa dodatkowo pomaga w zarządzaniu przepływami gazów pożarowych i powietrza.

Istnieje wielu producentów wentylatorów używanych przez straże pożarne. Produkują oni wentylatory **wyciągowe** i **nadmuchowe** oraz **łącznie te funkcje**. Dostępne są jednostki napędzane silnikami spalinowymi, prądem elektrycznym (zasilanie sieciowe lub akumulatorowe) a także turbina wodną z linii gaśniczej. Głównym kryterium wyboru jest najczęściej uniwersalność zastosowań.

Jedną z najważniejszych – ale nie najważniejszą funkcją jest **wydajność**. Wentylatory nadmuchowe (nadciśnieniowe) mają wyższą wydajność od wentylatorów wyciągowych (podciśnieniowych). Jednostki o **napędzie** spalinowym są na ogół najmocniejsze, ale nie mogą pracować w atmosferze zadymienia, w przeciwieństwie do jednostek o napędzie elektrycznym czy wodnym. Wentylatory spalinowe nie są podłączone do źródła zasilania (prąd wodny, kabel elektryczny) więc mogą być dowolnie przenoszone.

Powodują jednak hałas i powstawanie spalin: testy w kubaturze około 263m³, w której wentylacji dokonywano za pomocą wentylatorów o napędzie spalinowym pokazywały poziomy tlenku węgla na poziomie 24-56 ppm CO po około minucie wentylacji (próby przeprowadzono dla różnych modeli wentylatorów). [136, 137]

Wśród napędów elektrycznych wyróżniamy te zasilane z baterii akumulatorów oraz za pomocą przewodów – po raz kolejny wraca kwestia mobilności takiego sprzętu. Jednostki sprzętowe z napędem wodnym wykorzystują z kolei autopompę podłączoną odcinkami węzowymi jako napęd. Ostatnie lata pokazują, że jednostki wodne osiągają dosyć dobre wydajności, zbliżone do mniejszych jednostek spalinowych. To samo można powiedzieć o wybranych wentylatorach z napędem akumulatorowym. Warto przyrzeć się owym szczegółom, jeśli wentylator spalinowy nie jest dla nas absolutną koniecznością czy też, gdy jednostka może sobie pozwolić na zakup dodatkowego sprzętu.

Przy okazji omawiania napędu trzeba przypomnieć, że jego przeniesienie na element wirujący najczęściej odbywa się bezpośrednio przez wał (wentylatory osiowe) chociaż można jeszcze spotkać sporo wentylatorów z napędem pasowym. Oczywiście wentylatory osiowe siłą rzeczy charakteryzować się będą mniejszymi gabarytami a to równie istotny parametr - wentylator musi się zmieścić w skrytce samochodu gaśniczego. Dlatego napędy pasowe zostały praktycznie całkowicie wyparte z produkcji. Również istotna jest waga. Wypada się także przyrzeć temu parametrowi, bowiem stanowił on będzie o łatwości wydobywania sprzętu z samochodu i używania.



Fot. 161: Różne konstrukcje wentylatorów spalinowych, nadciśnieniowych. Od lewej: wentylator konwencjonalny (tradycyjny, wytwarzający strugę o kształcie stożka), osiowy. Następnie wentylator tradycyjny o napędzie pasowym. Kolejny z wentylatorów to turbowentylator (wytwarzający strugę w kształcie walca dzięki „kierownikom” zawężającym i przyspieszającym strumień powietrza). Wentylator po prawej to rzadko występujący wentylator śmigłowy (pozostałe na zdjęciu to wentylatory wirnikowe), który dla poprawnej pracy czerpie powietrze nie tylko zza urządzenia, ale i dookoła śmigła, przez co zamknięty jest w klatce (a nie pierścieniu) i wymaga pracy na wysuniętych nogach w celu uniknięcia zasysania zanieczyszczeń i wyrzucania ich wraz ze strugą.



Fot. 162: Dosyć popularnym sprzętem w straży były kiedyś wentylatory wyciągowe (agregaty oddymiające) VTA-60. Wyposażone były w specjalne rękawy do kierunkowania wyciąganych gazów. Był to sprzęt produkowany w latach 60-tych i 70-tych. Praca tego agregatu była bardzo hałaśliwa. Wydajność wyciągowa sięgała rzędu 60 [m³/min] czyli około 3600 [m³/h]. Tego typu sprzęt był często stosowany przy pożarach piwnic. Łączna długość zestawu rur wynosiła 17 m (10 odcinków po 1,7 m każdy). (fot. Ośrodek Szkolenia KW PSP w Olsztynie).



Fot. 163: Dzisiejsze wentylatory akumulatorowe charakteryzują się niewielką wagą, co podnosi ich uniwersalność. Łatwe wyjęcie ze skrytki oraz transport, a także brak zakłóceń pracy w zadymieniu czyni tego typu rozwiązania techniczne niezwykle atrakcyjnymi zamiennikami wentylatorów spalinowych. Nadal jednak jednostki napędzane elektrycznie ustępują jednostkom spalinowym pod względem wydajności, niemniej widać w ostatnich latach wyraźny trend poprawy tego parametru pracy. Wypada przyglądać się temu zjawisku, bowiem przy utrzymaniu trendu wentylatory akumulatorowe mogą kiedyś wyprzeć jednostki spalinowe. (fot. Piotr Zwarycz, Obiektiv.com)



Fot. 164: Praca wentylatora wyciągowego przy usuwaniu dymu z piwnicy przez okno piwniczne. (fot. Piotr Zwarycz, Obiektiv.com)



Fot. 165: Praca wentylatora wyciągowego przy usuwaniu dymu z piwnicy poprzez podwieszenie w drzwiach przy użyciu specjalnego drążka rozporowego, podobnego do tego, który stosowany jest w kurtynach dymowych. (fot. Piotr Zwarycz, Obiektiv.com)

5.5.5. Wentylacja sekwencyjna

Sytuacje pożarowe często dyktują strażakom własne reguły gry i wymykają się z książkowych modeli sytuacji. Dlatego sztuka pewnej improwizacji, w oparciu o wiedzę, doświadczenie i posiadany sprzęt, niejednokrotnie jest właściwą, optymalną drogą postępowania. To samo można powiedzieć o wycinku działań podczas gaszenia pożarów wewnętrznych, jakim jest wentylacja. Z uwagi na różnorodność budynków i obiektów, stanu rozprzestrzenienia się pożaru i zadymienia, profilu wymiany gazowej itp. zmiennych, strażacy zaczęli wypracowywać różnorodne sposoby wpływania na wymianę gazową, gdzie aktywnie mogą kreować warunki wentylacji, tworząc z czasem pojęcie **wentylacji sekwencyjnej**.

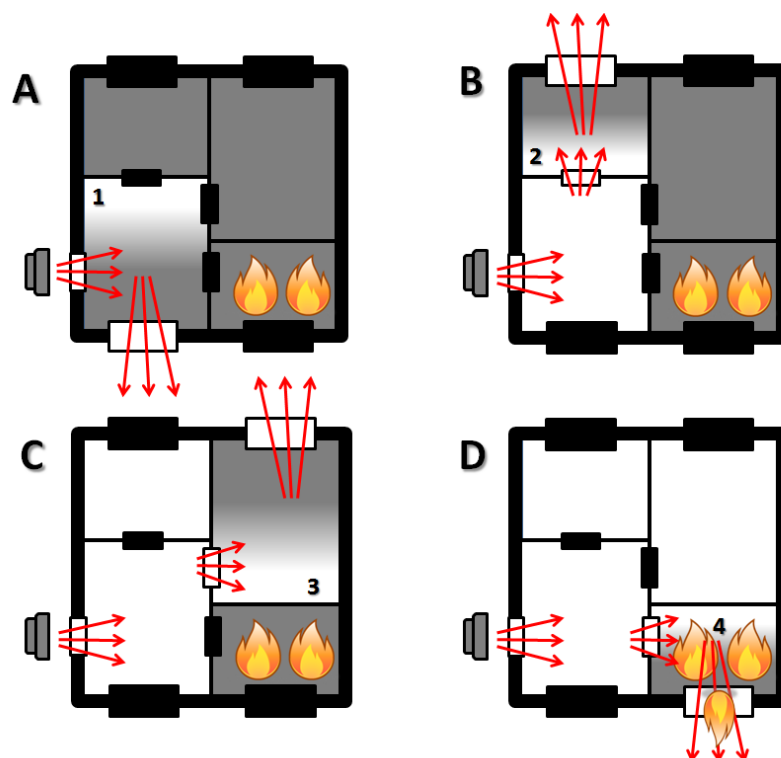
W ogólnym ujęciu wentylacja sekwencyjna oznacza, czyli kolejne, zaplanowane i metodyczne czyszczenie poszczególnych obszarów z dymu. Pozwala na wykorzystanie całego potencjału i całej mocy wentylatora lub wentylatorów, przy możliwym wsparciu wentylacji hydraulicznej, do oczyszczenia poszczególnych pomieszczeń zamiast otwierania wielu okien jednocześnie i ryzykowania niskiej wydajności naszych działań.

Wentylację sekwencyjną można wykonywać zarówno przed rozpoczęciem gaszenia, w jego trakcie jak też i po ugaszeniu. Wybierając kolejność oddymiania kierujący działaniem ratowniczym powinien się kierować rozpoznaniem i oceną sytuacji dokonaną „w czasie i ma miejscu zdarzenia”, według pragmatyki służbowej dyktowanej m.in. przepisami branżowymi. [110] Oznacza to, że nie można podać jednej recepty na realizację wentylacji sekwencyjnej – będzie to ściśle zależnie od szeregu czynników, takich jak:

- konieczność i możliwe sposoby ratowania ludzi,
- stadium rozwoju pożaru i rozprzestrzenienia dymu, w szczególności w odniesieniu do lokalizacji osoby lub osób poszkodowanych,
- geometria przestrzeni objętych pożarem i/lub zadymieniem (powierzchnia, wysokość, kubatura, konfiguracja i układ przestrzenny),
- realne możliwości kreowania profilu wentylacji (toru wymiany gazowej): możliwość zamykania i otwierania drzwi, okien, klap dymowych, świetlików itd., możliwość zastosowania kurtyn dymowych itp.

Wentylacje sekwencyjną można realizować poprzez wentylacje **grawitacyjną**, **hydrauliczną** i **mechaniczną**. Jej nieodzownym elementem będzie też **antywentylacja**, czyli **izolowanie**. Można też łączyć różne techniki działania i jest to na ogół najskuteczniejsza metoda działania – przykładowo wentylatorem nadciśnieniowym można wykonywać nadmuch z zewnątrz, kurtyną dymową izolować częściowo wybrane obszary budynku a przy użyciu prądownicy wyciągać dym z poszczególnych pomieszczeń od środka. Na marginesie, łączenie wentylacji mechanicznej nadciśnieniowej z hydrauliczną podciśnieniową jest możliwe niemal przy **każdym zdarzeniu** a do tego nadzwyczaj skuteczne.

Realizując wentylacje w trybie sekwencyjnym trzeba też pamiętać, żeby po oddymieniu danego pomieszczenia należy odizolować je od reszty budynku, zamykając do niego drzwi, co zapobiegnie jego ponownemu zadymieniu. [147]



Rys. 112: Wentylacja sekwencyjna oznacza kolejne czyszczenie pomieszczeń z dymu. Można wykonywać ją w różnej kolejności, zależnie od decyzji kierującego akcją. Wykonując sekwencję A, B, C, D izolujemy pożar i usuwamy dym z reszty obiektu (np. wiedząc, że w pomieszczeniach jest obecna osoba poszkodowana). Możemy też zacząć od natarcia na pożar w pomieszczeniu 4 a następnie usunąć dym kolejno z pozostałych pomieszczeń. [141, 147]

5.5.6. Wentylacja – podsumowanie

Na tym etapie lektury nie powinno ulegać wątpliwości, że zarządzanie przepływami ma **znaczenie taktyczne** na miejscu każdego pożaru wewnętrznego. Dlatego gruntowne zrozumienie zagadnień, doświadczenie z ćwiczeń i działań, jasny i wdrażany z dyscypliną podział ról i zadań to niezbędne elementy skutecznego działania. Każdy dowódca musi pamiętać, że jakakolwiek wentylacja pożarowa musi mieć swój **jasny cel**:

- **Wentylacja dla życia.** Ogólnie będzie to wentylacja prowadzona w celu uzyskania lub ułatwienia dostępu/przeszukania do osób poszkodowanych w pożarze (zadymieniu). Wykonywana będzie wentylacja przestrzeni zadymionych w oddaleniu lub w bezpośrednim sąsiedztwie pożaru, prowadzona w celu jak najszybszego dotarcia do osób poszkodowanych i ewakuacji poza strefę zagrożenia.
- **Wentylacja dla pożaru** (warunków pożarowych). Ogólnie ujmując, będzie to wentylacja prowadzona w celu poprawy warunków pracy wewnątrz obiektu poprzez obniżenie temperatury i poprawę widoczności. Ten tryb taktyczny wdrażany jest w celu poprawy warunków pracy – zasadniczo skierowany jest na priorytetowe ugaszenie pożaru a nie ratowanie osób.
- **Wentylacja dla bezpieczeństwa** Ogólnie będzie to wentylacja prowadzona w celu poprawy bezpieczeństwa pracy strażaków. Jej nadrzędnym celem jest usunięcie dymu i zwiększenie bezpieczeństwa (zmniejszenia ryzyka) pracy wewnątrz obiektu, głównie poprzez poprawę widoczności, ale też poprzez usunięcie potencjalnych gazów palnych (w tym również „zimnego” dymu).

Można zauważyć pewną gradację: wentylacja dla życia często poprawi warunki pożarowe oraz ogólne bezpieczeństwo (ale nie zawsze!). Wentylacja dla pożaru zwiększy na ogół bezpieczeństwo. Taki proces myślowy musi być prowadzony przed rozpoczęciem przez dowódcę. Idealnie jest, kiedy strażacy również rozumieją tę hierarchię i wiedzą jaki tryb działania został wybrany przez dowódcę. Pozwala to utrzymać dyscyplinę w realizacji poszczególnych czynności na miejscu zdarzenia. Pamiętajmy zatem, że opisane tu tryby działania są często łączone w ramach realizacji decyzji kierującego działaniem ratowniczym: ratując życie, chcemy poprawiać warunki pożarowe a tym samym zwiększać bezpieczeństwo. Niezależnie od tego jedna rzecz pozostaje bezdyskusyjna – wentylacja pożarowa musi mieć jasno określony cel i **nie może być dziełem przypadku**.

5.6. Zabezpieczanie wydzielonej przestrzeni (strefy) oraz zabezpieczenie bezpośredniego otoczenia strażaka (obszaru)

Dotychczasowa lektura materiału z pewnością pozwala na postrzeganie pożaru jako zjawiska **trójwymiarowego**. W przeciwieństwie do dawnych lat, gdzie myślano głównie o dotarciu z punktu A (drzwi) do punktu B (ognisko pożaru), dziś patrząc na pożar myślimy (powinniśmy!) przestrzennie i skupiamy uwagę na sprawach takich, jak między innymi:

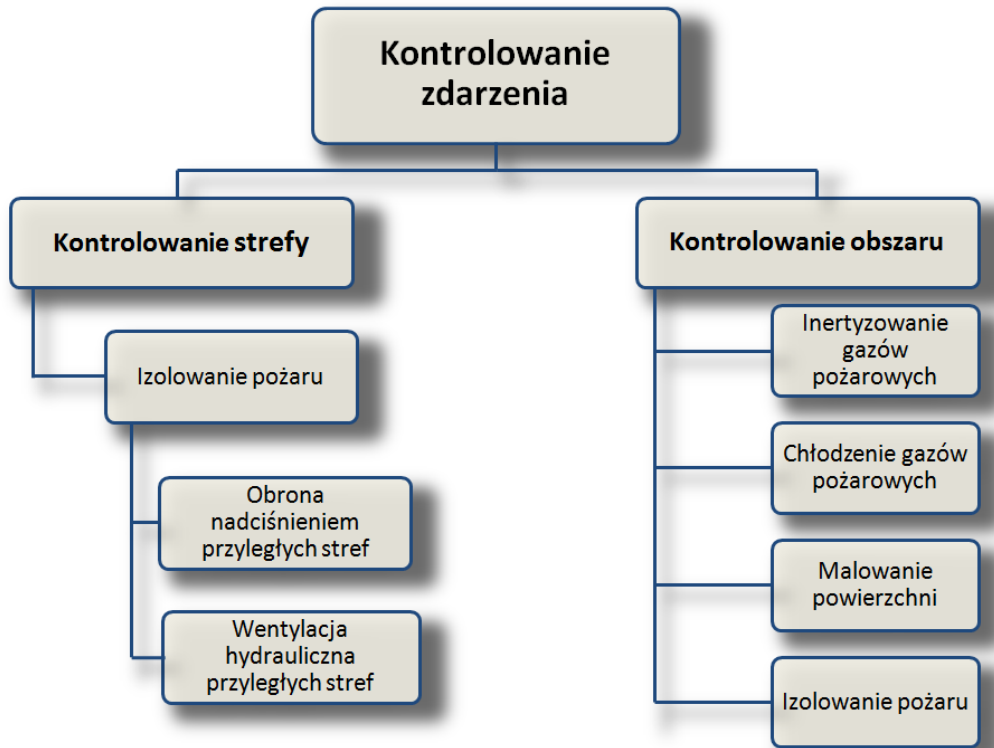
- ciśnienia i przepływy gazów pożarowych i powietrza (tory wymiany gazowej),
- paliwa występujące wzdłuż tych ścieżek przepływu ich temperatura i zdolność do przechodzenia pirolizy,
- konstrukcja budynku oraz występujące w niej przestrzenie otwarte i ukryte, w których rozprzestrzeniać się mogą spalanie oraz gazy pożarowe. [35]

Tworzy to złożoną rzeczywistość, w której strażacy muszą błyskawicznie i na podstawie niepełnych informacji wypracować skuteczny zamiar taktyczny i cele pośrednie, przyjąć priorytety i wdrożyć działania zmierzające do ratowania życia, mienia i środowiska. Realizując wspomniane działania strażacy będą dążyli do wdrażania szeregu elementów zapewniających im bezpieczeństwo i podnoszących skuteczność. Patrząc na zagadnienie systemowo, można podzielić je na zabezpieczanie strefy, rozumianej jako jakaś wydzielona przestrzeń, lub na zabezpieczenie otoczenia, czyli obszaru w bezpośredniej bliskości miejsca przebywania strażaka. Owo zabezpieczanie się strażaków poprzez szeregów różnych czynności wspomnianych poniżej, stanowi koncept z dziedziny bezpieczeństwa funkcjonujący w różnych krajach, szczególnie tych anglojęzycznych.

Wykonywanie czynności zmierzających do tworzenia bezpiecznych warunków w większych lub mniejszych przestrzeniach ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa oraz możliwości wykonywania zaplanowanych czynności wynikających z zamiaru taktycznego. Celem **zabezpieczenia strefy** jest zasadniczo ograniczenie rozwoju pożaru i zatrzymanie rozprzestrzeniania poza miejsca, w których pożar występuje w momencie rozpoczęcia działań. Można to osiągnąć poprzez zamknięcie drzwi do pomieszczenia (lub pomieszczeń), następnie taktyczną wentylację pomieszczeń nieobjętych pożarem przy wykorzystaniu wentylacji nadciśnieniowej lub hydraulicznej.

Zabezpieczanie obszaru oznacza wykorzystanie różnych technik do wytworzenia tymczasowych i bardziej lokalnych bezpiecznych przestrzeni dla strażaków do wykonywania działań. Tego typu działania oferują mniejszy poziom zabezpieczenia niż zabezpieczenie strefy. Pierwszym krokiem jest próba odizolowania miejsc nieobjętych pożarem w pomieszczeniu od miejsc, w których występuje pożar. Powstrzymuje to pożar przed rozprzestrzenieniem do momentu, kiedy kolejne rotory gotowe są wentylowania i natarcia na pomieszczenia. Daje to czas niezbędny na wprowadzenie sił do natarcia na pożar i pozwala na przeszukanie miejsc, w których można spodziewać się odnalezienia osób poszkodowanych. W miarę przemieszczania się przez obiekt strażacy mogą stosować różne techniki do zabezpieczania obszaru swojej pracy. Muszą jednak pamiętać, że ich działania, pomimo poprawy bezpieczeństwa, będą miały ograniczoną skuteczność. Kluczowym elementem w poprawie bezpieczeństwa będzie usuwanie dymu. Są jednak sytuacje, w których nie będzie możliwe natychmiastowe wentylowanie pomieszczeń. Wówczas rozwiązaniem będzie podawanie mgły wodnej w celu zinertryzowania oraz schłodzenia gazów pożarowych. Podanie niewielkiej ilości wody na powierzchnie w celu ich schłodzenia i/lub zwilżenia pomoże lepiej zabezpieczyć dany obszar. Zamknięcie drzwi do pomieszczenia bez usunięcia dymu jest również jedynie zabezpieczeniem obszaru.

Pamiętając, że dym obniża widoczność, może zawierać energię cieplną, ma zdolność do spalania się lub wybuchania a przede wszystkim uniemożliwia z uwagi na swą toksyczność oddychanie i wymusza stosowanie ochrony układu oddechowego – nie można traktować zadymionego pomieszczenia jako bezpiecznego, nawet jeśli jest fizycznie odizolowane od pożaru.



Rys. 113: Techniki kontrolowania zdarzenia (opracowanie własne na podstawie [35])

„Jeżeli nie potrafisz czegoś prosto wyjaśnić – to znaczy, że niewystarczająco to rozumiesz.”

– Albert Einstein (1879 – 1955)

Na tym kończy się lektura tego branżowego opracowania. W trakcie jego tworzenia przyświecała mi myśl, która otwiera niniejsze postówie. Dlatego starałem się prezentować opisywane zagadnienia opisowo, aby ułatwić przyswojenie toku rozumowania a skomplikowane zagadnienia rozkładać na czynniki pierwsze i logiczne kroki oraz etapy. Żywię nadzieję, że udało mi się tego dokonać. Z pewnością dowiem się tego od Was, szanowni Czytelnicy i na to szczerze liczę.

Uważam również, że otwierający cytat jest maksymą, która winna przyświecać wszystkim instruktorom, realizującym proces dydaktyczny w tej dziedzinie, jak też w każdej innej. Właśnie dlatego opracowanie zawiera wiele treści specjalistycznych, przeznaczonych dla dobrze orientującego się w tematyce odbiorcy, a z drugiej strony język narracji starałem się utrzymywać w stylu przystępnym i zjadliwym.

Lektura niniejszego opracowania z pewnością pozwoli Czytelnikowi zauważyć, że w pożarach wewnętrznych kluczowe zagadnienia związane są z **przepływami** gazów i powietrza, różnicami **ciśnień** i rozkładem **temperatur**, będących wynikiem oddziaływania **ciepła**. Te fundamentalne prawa fizyki, obecne wokół nas w życiu codziennym, a poza naszym centrum uwagi, niemniej z identyczną konsekwencją zarządzające zwyczajnymi sprawami, stanowią klucz do zrozumienia tej dziedziny, jaką jest Gaszenie Pożarów Wewnętrznych.

Opracowanie nie wyczerpuje opisywanej tematyki, mimo swej obszerności i – miejscami – dużej dawki specjalistycznych detali. Świat pędzi naprzód, rozwijają się technologie i rośnie zbiór dostępnej rodzajowi ludzkiemu wiedzy z wszelkich dziedzin – w tym z dziedziny gaszenia pożarów wewnętrznych. W swojej książce „Pożary i Straż Pożarna” (1889) **Sir Erie Massey Shaw** zapisał jedno z najbardziej pamiętnych stwierdzeń:

„Mówiono, że istnieje tak duża różnica między człowiekiem, który nie wyszkolił i nie rozwinął swojego intelektu, a tym, który to uczynił, jak pomiędzy martwym człowiekiem a żywym, i ten sam kontrast można wskazać między tymi, którzy nie kształcili się w pracy straży pożarnej, a tymi, którzy to czynili.”

Dlatego strażacy:

idźcie, walczcie, rozwijajcie się i czerpcie nieskończoną satysfakcję z niesienia pomocy bliźniemu.

Najgłębszy szacunek wszystkim ratownikom.

Szymon Kokot.

Bibliografia

1. Rozporządzenie MSWiA z dnia 16 września 2008 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej ([Dz.U. 2008 nr 180 poz. 1115](#))
2. Bengtsson L.-G., Enclosure fires, Swedish Rescue Services Agency, 2001 [LINK](#)
3. Kordylewski W. (red) (2008), Spalanie i paliwa. Wrocław.
4. Andersson J.T. / Achten C. Time to Say Goodbye to the 16 EPA PAHs? Toward an Up-to-Date Use of PACs for Environmental Purposes. Polycyclic Aromatic Compounds Journal. 2015 Mar 15; 35(2-4):330-354. Epub 2015 Jun 17.
5. LeMasters et. A., Cancer Risk Among Firefighters: A Review and Meta-analysis of 32 Studies, 2006 [LINK](#)
6. Kales S. N. / Smith D. L. Firefighting and the Heart: Implications for Prevention. Circulation. 2017 Apr 4;135 (14):1296-1299. [LINK](#)
7. Jopek, T. (2013) Postępowanie podczas zdarzeń z udziałem butli acetylenowych poddanych działaniu ognia, ciepła lub wielokrotnym uderzeniom. Józefów.
8. Hostikka, S. / Kallada Janardhan, R. (2017), Pressure management in compartment fires.
9. Baumberg, I. (2016) Zagrożenia dla strażaka w akcji – wybrane aspekty. Seminarium KNDG SGSP, [LINK](#)
10. Program szkolenia z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych. [LINK](#).
11. Nocoń, W. / Kokot-Góra, S. Cytawa, A. / Grzyb, P. (2011), Podstawy zabezpieczenia i ratowania strażaków. Kraków. [LINK](#).
12. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów ([Dz.U. 2010 nr 109 poz. 719](#))
13. Kokot-Góra S. (2016), Teoria spalania i pożaru: najnowsze badania i stare prawdy. Cz. 1., W Akcji, 5/2016
14. PN-B-02852:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków – Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.
15. Kerber, S. (2010), Impact of Ventilation on Fire Behaviour in Legacy and Contemporary Residential Construction. Chicago. [LINK](#)
16. Kokot-Góra, S. (2016), Teoria spalania i pożaru – najnowsze badania i stare prawdy. Cz. 2, W Akcji 6/2016.
17. Drysdale D., (1999), An introduction to fire dynamics. Second edition, John Wiley & Sons, England.
18. Tuliszkowski, J. (1909), Walka z pożarami dla użytku miast mniejszych, gmin, dworów, wsi i osad, Warszawa.
19. Encyklopedia PWN, hasło: “Atmosfera ziemską”. [LINK](#)
20. PN-EN 1127-1:2011 Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka, PKN, Warszawa.
21. Hurley, M. J. (red.) (2016), SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fifth Edition. Greenbelt.
22. Kokot-Góra, S. (2017), Teoria spalania i pożaru – najnowsze badania i stare prawdy. Cz. 3, W Akcji 1/2017. [LINK](#)
23. Kim, H. J. / Lilley, D. G. (2000), Heat Release Rates of Burning Items in Fires. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 38th Aerospacelogy Meeting and Exhibit, 10-13 January 2000, Reno, NV
24. Zevotek, R. / Kerber, S. (2016), Study of the Effectiveness of Fire Service Positive Pressure Ventilation During Fire Attack in Single Family Homes Incorporating Modern Construction Practices. Chicago. [LINK](#)
25. Kokot-Góra, S. (2016), Modele do pokazów w małej skali. [LINK](#)
26. Weewer R. / Baaij, S. / Huizer, E. / de Witte, L. (2018), The Renewed View on Firefighting. An evidence-based approach. Arnhem. [LINK](#)
27. Drysdale, D. (1999), An introduction to fire dynamics. Second edition. Chichester / Weinheim / New York / Brisbane / Singapore / Toronto.
28. Kokot-Góra, S. (2012), O Pożarach wewnętrznych po nowemu. Olsztyn. [LINK](#)
29. Grimwood, P. (2008), Euro Firefighter: Global Firefighting Strategy and Tactics, Command and Control and Firefighter Safety. Huddersfield. [LINK](#)

30. Grimwood, P. (2017), EuroFirefighter 2: Firefighting Tactics and Fire Engineer's Handbook. Huddersfield. [LINK](#)
31. Basiński, A. / Bielański, A. / Gumiński, K. (1996), Chemia fizyczna. Warszawa.
32. Hostikka, S. / Janardhan, R. K. (2017), Pressure management in compartment fires. W: Science + Technology 1/2017, Aalto. [LINK](#)
33. Grimwood, P. (1992), Fog Attack – Firefighting Strategy & Tactics. An International View. Surrey. [LINK](#)
34. Kerber, S. (2013), Study of the effectiveness of fire service vertical ventilation and suppression tactics in single family homes. Northbrook. [LINK](#)
35. Grimwood, P. / Hartin, E. / McDonough, J. / Raffel, S. (2005), 3D Firefighting: Training, Techniques and Tactics. Stillwater.
36. Słownik pojęć związanych z pożarami wewnętrznymi www.cfbt-us.com podstrona: [LINK](#)
37. Arnalich, A. (2015), Incendios de interior. Ventilacion de incendios.
38. Grimwood, P. (2000), Rozgorzenie i techniki operowania prądami wodnymi. (tłum. Nocoń, W.)
39. Gorbett, G. E. / Hopkins R. (2007), The Current Knowledge & Training Regarding Backdraft, Flashover, and Other Rapid Fire Progression Phenomena, NFPA.
40. Norma ISO 13943:2017 Fire safety – Vocabulary
41. National Fire Protection Association. NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigation. Quincy, MA: NFPA, 2004.
42. Custer, R. (1997), Rozdział 1-7 — Dynamika rozwoju pożaru w pomieszczeniu, Fire Protection Handbook, wydanie 18, red. Arthur E. Cote, Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1997.
43. Lawson, J. R. (2009), Fire Fatcs. NIST Special Publication 1102. [LINK](#)
44. Grimwood, P. (2018), Flashover velocity. Training Notes April 2018 [LINK1](#), [LINK2](#)
45. Madrzykowski, D. / Vettori, R. (2000), Simulation of the Dynamics of the Fire at 3146 Cherry Road NE Washington D.C., May 30, 1999 (NISTIR 6510), [LINK](#)
46. Hartin, E. (2012), Influence of Ventilation in residential Structures: Tactical Implications Part 2. [LINK](#)
47. Hartin, E. (2012), Influence of Ventilation in residential Structures: Tactical Implications Part 8. [LINK](#)
48. Braidwood, J. (1866), Fire Prevention & Fire Extinction. Bell & Daldy: London.
49. Steward, P. D. C. (1914), Dust and Smoke Explosions, NFPA Quarterly 7 s. 424-428.
50. Porowski, R. / Lesiak, P. / Rudy, W. / Strzyżewska, M. (2013), Zjawisko ciągu wstecznego – backdraft. W: Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Vol. 30, cz. 2, 2013, s. 41-50. [LINK](#)
51. Lambert, K. (2015), Backdraft: fire science and firefighting, a literature review. [LINK](#)
52. Chen, A. / Zhou, L. / Liu, B. / Chen, W. (2011), Theoretical analysis and experimental study on critical conditions of backdraft. W: Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24 (2011) 632-637.
53. Bukowski R. W., Modelling Backdraft: The Fire At 62 Watts Street, National Fire Protection Association Journal, 89, 1995.
54. Krauze, A. / Krasuski, A. / Ślęczkowski B. (2016), Studium teoretyczne przewidywania ryzyka wystąpienia rozgorzenia, wstecznego ciągu płomienia oraz zapalenia gazów pożarowych. W: Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Vol. 42, cz. 2, 2016, s. 87-94. [LINK](#)
55. Grimwood, P. (2003), Rozgorzenie – największy koszmar strażaka. Tłum. : Nocoń, W.
56. Lesiak, P. / Porowski, R. (2011), Ocena skutków awarii przemysłowej w instalacjach procesowych, w tym efektu domino – część 1. W: Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, 2013, Nr 3, s. 13-26. [LINK](#)
57. Harris, R. J. (1983), The investigations and control of gas explosions in buildings and heating plant, London. W: [2].
58. Raffel, S. (2014), Zapłon gazów pożarowych – ukryty zabójca, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 11. [LINK](#)
59. Fleischman, C. M. / Chen, Z. J. (2013), Defining the difference between backdraft and smoke explosions. Procedia Engineering 62 (2013) 324 – 330.
60. Lambert, K. / Baaij, S. (2015), Fire Dynamics. Technical approach, tactical application. Haga.
61. Wolanin, J. (1997), Groźny pomruk uderzenia aerodynamicznego, Przegląd Pożarniczy, 6/1997, s. 14.
62. Kerber, S. / Madrzykowski, D. (2009), Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Fire Conditions: 7-Story Building Experiments. Gaithersburg. [LINK](#)
63. Ahmed, S. / Bharat, A. (2012), Wind Field Modifications in Habitable Urban Areas. Curr World Environ 2012; 7(2):267-273.

64. Hosker, R. P. (1979), Empirical estimation of wake cavity size behind block-type structures. Preprints, Fourth Symp. on Turbulence, Diffusion and Air Pollution, Reno, NV, Amer. Meteor. Soc., 603–609.
65. Barowy, A. / Madrzykowski, D. (2012), Simulation of the Dynamics of a Wind-Driven Fire in a Ranch-Style House – Texas. NIST Technical Note 1729. [LINK](#)
66. Lambert, K. (2016), BE-SAHF a.k.a. the art of reading Fire. [LINK](#)
67. Bielicki, P. (2004), Taktyka działań gaśniczych dla słuchaczy kursu kwalifikacyjnego szeregowych Państwowej Straży Pożarnej. Warszawa.
68. Lambert, K. (2018), Situational Awareness. [LINK](#)
69. Raffel, S. (2013), Bądź bezpieczny, myśl B-SAHF. Przegląd Pożarniczy, 7/2013, s. 20. [LINK](#)
70. Barnett, C. / Grimwood, P. (2015) Firesys – Fire Safety Engineering Programme 8-E.
71. Izydorek, M. S. / Zeeveld, P. A. / Samuels M. D. / Smyser, J. P. (2008), Report on Structural Stability of Engineered Lumber in Fire Conditions. UL FSRI, Northbrook. [LINK](#)
72. Kerber, S. / Madrzykowski, D. / Dalton, J. / Backstrom, B. (2012), Improving Fire Safety by Understanding the Fire Performance of Engineered Floor Systems and Providing the Fire Service with Information for Tactical Decision Making. FSRI, Northbrook. [LINK](#)
73. Garcia K. (2011), Wind Driven Structure Fires: Adjusting Tactics and Strategies. W: Wind Driven Structure Fires. NFPA presentation. [LINK](#)
74. Raffel, S. (2017), Understanding the Language of Fire: Be Safe. Think, 'Be SAHF'. [LINK](#)
75. Raffel, S. (2018), Reading the Fire and Assessing Risk. [LINK](#)
76. Structural Firefighting – Fire Assessment. VP = BE + SAHF. Module FA204. [LINK](#)
77. Shaw, E. M. (1876), Fire protection, a complete manual of the organization, machinery, discipline, and general working of the Fire brigade of London. Oxford.
78. Zevotek, R. / Stakes, K. / Willi, J. (2018), Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival. Part III: Full Scale Experiments. Columbia. [LINK](#)
79. Utech, H. (1973), Status Report on Research Programs for Firefighters Protective Clothing. In 45th Annual Fire Department Instructors Conference Proceedings, pages 156–166. International Society of Fire Service Instructors. Cytowane w: [78]
80. Chmielowski, B. J. (1745), Nowe Ateny. Lwów.
81. Bielicki, P. / Kamiński, A. (red) (1998), Taktyka działań ratowniczych. Zasady postępowania. Działania gaśnicze. Częstochowa.
82. Bielicki, P. (2000), Działania gaśnicze cz. 2: Organizacja pracy w zastępie gaśniczym. Częstochowa.
83. Bielicki, P. (2001), Działania gaśnicze cz. 3: Rozpoznanie pożaru. Częstochowa.
84. Bielicki, P. (2004), Taktyka działań gaśniczych dla słuchaczy kursu kwalifikacyjnego szeregowych Państwowej Straży Pożarnej. Warszawa.
85. Gierski, E. (1997), Efektywność dowodzenia. Warszawa.
86. Kokot-Góra S. (2015), Techniki operowania prądami gaśniczymi. Opole. (w treści wykorzystano całe fragmenty opracowania, za zgodą właściciela praw autorskich, firmy Air Press sp.z o. o. z Opola).
87. Barnett, C. (2004), SFPE (NZ) TECHNICAL PUBLICATION – TP 2004/1 Calculation methods for water flows used for fire fighting purposes.
88. Särndqvist, S. (2002), Water and other extinguishing agents. Sztokholm.
89. Grimwood, P. (2015), A study of 5401 UK building fires 2009-2012 comparing firefighting water deployments against resulting building fire damage. Praca doktorska. Glasgow.
90. Grimwood, P. (2018), Early firefighting water cuts resources. LinkedIn. [LINK](#)
91. Grimwood, P. (2018), BS 9999 - UK Rising Main/Standpipes. LinkedIn. [LINK](#)
92. Ołdakowski H. (1967), Dostarczanie wody na duże odległości. KGSP, Warszawa.
93. Herterich, O. (1960). Wasser al Löschmittel, Anwendung und Technik im Brandschutz. Heidelberg.
94. Extinguishing with Fogfighter, TA Incentive Group. [LINK](#)
95. Grimwood, P. / Desmet, K. (2003), Tactical firefighting. A comprehensive guide to compartment firefighting & live fire training (CFBT). [LINK](#)
96. Kamiński, A. (1998), Sytuacje pożarowe, siły i środki niezbędne w działaniach taktycznych. Warszawa.
97. McDonough, J. / Lambert, K. (2013), Skuteczne techniki gaśnicze. Przegląd Pożarniczy 07/2013, str. 18-22. PP: [LINK](#)

98. Hartin, E. (2010), Gas cooling. www.cfbt-us.com, part 1: [LINK](#), part 2: [LINK](#), part 3: [LINK](#), part 4: [LINK](#), part 5: [LINK](#).
99. Arnalich, A. (2016), Fire Ventilation, Positive Pressure Attack, Transitional Attack, Combined Fire Attack (3T firefighting). Version 7 – Sept 2016.
100. Van de Veire, M. (2018), International Exchange: Understanding Gas Cooling. Firehouse Magazine, Kwiecień 2018, [LINK](#)
101. Layman, L. (1953), Fire fighting tactics. NFPA Boston.
102. Layman, L. (1955), Attacking and extinguishing interior fires. NFPA Boston.
103. Gaviot-Blanc, F. (2007), Application offensive de brouillard d'eau tridimensionnel. Tłumaczenie na jęz. francuski Gaviot-Blanc, F. / Lamballais, P.-L.
104. Lambert, K. (2012), Insights concerning the door entry procedure. [LINK](#)
105. Raffel, S. (2001), Taking Action: The Art of "Reading Fire". Fire Engineering. [LINK](#)
106. Grimwood, P (2002), W pierwszej kolejności zajmij się pożarem! Przegląd celów taktycznych. Tłum.: Nocoń, W.
107. NFPA 1801 Standard on Thermal Imagers for the Fire Service
108. www.killtheflashover.com
109. Pruss, W. (2016), Zastosowanie kamer termowizyjnych w działaniach ratowniczych. Wyd.: Supron1
110. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 4 lipca 1992 r. w sprawie zakresu i trybu korzystania z praw przez kierującego działaniem ratowniczym. [Dz.U. 1992 nr 54 poz. 259](#)
111. Jackowska, A. (2011), Badanie geometrii powierzchni gaszenia wybranych stanowisk gaśniczych, praca magisterska, SGSP.
112. Adeler, H. (1947), Deductions from Research on the Use of Water. NFPA Quarterly April 1947; Vol. 40/4.
113. Hagen, R. / Hendriks, A. / Molenaar, J. (2014), Quadrant Model for Fighting Structure Fires. 2.0. [LINK](#)
114. Oleksiak, E. / Fabisiak, A. (2014), Funkcjonowanie osób z niepełnosprawnością wzroku. Jak pomagać w sytuacji zagrożenia. Wystąpienie podczas konferencji pt. „Ewakuacja osób z dysfunkcją wzroku w aspekcie przepisów i rozwiązań praktycznych”, 02.12.2014 r.: KW PSP w Olsztynie; Polski Związek Niewidomych; Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Pożarnictwa, oddział w Olsztynie. [LINK](#)
115. Weinschenk, C. / Stakes, K. / Zevotek, R. (2017), Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival. Part I: Water Mapping. Columbia. [LINK](#)
116. Boj, P. (2017), Offensive fire attack – Variables that interfere with the fire gases outlet: Part 1. [LINK](#)
117. Boj, P. (2017), Offensive fire attack – Variables that interfere with the fire gases outlet: Part 2. [LINK](#)
118. Kokot-Góra, S. (2016), Lanca mgłowa w nowej odsłonie. Przegląd Pożarniczy 7/2016, s. 12. [LINK](#)
119. Hartin, E. (2013), Fognails. www.cfbt-us.com, [LINK](#)
120. Kokot-Góra, S. (2016), Warsztat ratownika. Czasem mniej znaczy więcej. Cz. 1. Przegląd Pożarniczy 10/2016, s. 12. [LINK](#)
121. Kokot-Góra, S. (2016), Warsztat ratownika. Czasem mniej znaczy więcej. Cz. 2. Przegląd Pożarniczy 11/2016, s. 20. [LINK](#)
122. Kokot-Góra, S. (2017), International Exchange: Sometimes Less Means More. Firehouse 1/2017. [LINK](#)
123. Gottuk, D. T. / Williams, F. W. / Farley, J. P. (1999), The Development and Mitigation of Backdrafts: a Full-scale Experimental Study. Fire Safety Journal, Vol. 33, 261-282.
124. Guigay, G. / Eliasson, J. / Gojkovic, D. / Bengtsson, L.-G. / Karlsson, B. (2009), The Use of CFD Calculations to Evaluate Fire-Fighting Tactics in a Possible Backdraft Situation. Fire Technology, Vol. 45. 287-311.
125. Försth, M. / Ochoterena, R. / Lindström, J. (2012), Spray characterization of the cutting extinguisher. Borås.
126. Zbrozek, P. / Prasuła, J. (2009), Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie. W: Bezpieczeństwo i Technika pożarnicza, 2009, nr 3, s. 113-148.
127. Thornton, W. M. (1917), The Relation of Oxygen to the Heat of Combustion of Organic Compounds, Philos. Mag., Ser. 633, 196-203.
128. Kawagoe, K. (1958). 'Fire behaviour in rooms'. Report No. 27, Building Research Institute, Tokyo.
129. Hugget, C. (1980), Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements. Fire Matter 4, 61-65.

130. National Operational Guidance for the UK Fire and Rescue Service. "Control measure – Consider employing tactical ventilation." [LINK](#)
131. <https://closeyourdoor.org/>
132. Svensson, S. (2005), Fire ventilation, Karlstad.
133. Svensson S. (2014), Wentylacja to nie panaceum, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 8 [LINK](#)
134. Weinschenk, C. / Stakes, K. / Zevotek, R. (2017), Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival. Part II: Air Entrainment. Columbia. [LINK](#)
135. Coffman, D. S. (2010), Winds of Change... Using Air as a Tool. www.balloonlife.com 10.2001
136. Kokot-Góra S., (2014), Poznaj swoje narzędzie pracy cz. 1, Przegląd Pożarniczy 8/2014, s. 16. [LINK](#)
137. Kokot-Góra S., (2014), Poznaj swoje narzędzie pracy cz. 2, Przegląd Pożarniczy 9/2014, s. 32. [LINK](#)
138. Kokot-Góra, S., (2014), Testing Time for PPV, Fire & Rescue, International Independent Intelligence, 1st Quarter 2014. Hemming Group. [LINK](#)
139. Garcia K., Kauffmann R., Shelble R., „Positive pressure attack for ventilation and firefighting”, Fire Engineering Books & Videos, United States of America, 2006;
140. Kokot-Góra, S. (2016), Wentylatory i wentylacja w straży, cz. 1, W Akcji 2/2016.
141. Kokot-Góra, S. (2016), Wentylatory i wentylacja w straży, cz. 2, W Akcji 3/2016.
142. Gomng, G. / Bai, L. / Li, H. / Han, B. (2006), Resistance Property and Ventilation Rate Calculation of Buildings with Large Openings, China
143. Ingason, H. (2002), Positive Pressure Ventilation in Single Medium-Sized Premises. Fire Technology, 38, 213-230.
144. Mizieliński, B. / Kubicki, G. (2012), Wentylacja Pożarowa. Oddymianie. Warszawa.
145. PN-EN12101-6:2007. Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła -- Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień -- Zestawy urządzeń
146. Kociołek, K. (red) (2005), Fizykochemia spalania i środki gaśnicze dla słuchaczy kursu kwalifikacyjnego szeregowych Państwowej Straży Pożarnej. Warszawa.
147. Kokot-Góra, S. (2018), Wentylatory. Przegląd Pożarniczy 1/2018 [LINK](#)

Literatura dodatkowa:

148. Drysdale, D. (1999), An introduction to fire dynamics. Second edition. England;
149. Fabian, T., et al., Firefighter Exposure to Smoke Particulates, Underwriters Laboratories, Inc., Northbrook, IL, 2010
150. Hartin E., Jakie szkolenie jest skuteczne, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 24
151. Hilado, C. J. (1998), Flammability Handbook for Plastics, Pennsylvania;
152. Karlsson B., Quintiere J. G., Enclosure fire dynamics, CRC Press LCC, 2000
153. Kerber S., Z nauką na ulicę, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 27
154. Kerber S., Study of the effectiveness of fire service vertical ventilation and suppression tactics in single family homes, UL FSRI, 2013,
155. Kokot-Góra S., Obserwacje warte rozważenia, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 6
156. Kokot-Góra S., Praktycznie o CFBT, Przegląd Pożarniczy 7/2013, s. 34
157. Kokot-Góra S., Standardy szkolenia i rzeczywistość, Przegląd Pożarniczy 7/2013, s. 26
158. Kokot-Góra S., Szkolenie z zakresu gaszenia pożarów wewnętrznych w Polsce, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 33
159. Konecki M., Król B., Wróblewski D., Nowoczesne metody działań ratowniczo-gaśniczych, SGSP Warszawa 2003,
160. Maczkowski M., Na żywo z żywiołem, Przegląd Pożarniczy 7/2013, s. 30
161. McDonough J., Lambert K., Skuteczne techniki gaśnicze, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 18
162. McDonough J., Rozwój pożaru a zachowanie strażaka, Przegląd Pożarniczy 7/2013, s. 23
163. Mizieliński, B., Kubicki, G. (2012), Wentylacja pożarowa. Oddymianie. Warszawa;
164. Quintiere J. G., Fundamentals of fire phenomena, John Wiley & Sons, England, 2006;
165. Reick M., Kontrola przepływu gazów pożarowych, Przegląd Pożarniczy 7/2014, s. 14
166. Saleta D., Podpatrywanie pożaru, Przegląd Pożarniczy 7/2013, s. 16
167. <http://www.highrisefirefighting.co.uk/wind.html>
168. <http://www.nist.gov/fire/wdf.cfm>

169. Wind Driven Fires: Tactical Problem [LINK](#)
170. Kerber, S. (2013), Study of the Effectiveness of Fire Service Vertical Ventilation and Suppression Tactics in Single Family Homes, Steve Kerber, 2013, [LINK](#);

Spis zdjęć, rysunków i tabel

Spis zdjęć:

1. Ulotka akcji przeciwnowotworowej
2. Maseczki i rękawice nitrylowe
3. Rękawice bawełniane
4. Seria zdjęć sygnały gestowe (a-i)
5. Mata sprzętowa RIT
6. Seria zdjęć rozbieranie po pożarze (a-h)f
7. Budowa Płomienia
8. Budowa płomienia 2
9. Geometryczne czynniki – pożar w rogu pomieszczenia
10. Spalanie płomieniowe, tlenie i żarzenie
11. Płomień turbulentny i laminarny
12. Ograniczenie HRR przez dostęp tlenu, UL FSRI (a-f)
13. Rollover
14. Puste przestrzenie pod dachem
15. Symulacja FDS z NIST bez wiatru
16. Symulacja FDS z NIST z wiatrem.
17. Pożar Rejczuchy
18. Uszkodzone ŚOI Rejczuchy
19. Porównanie symulacji pożaru izolowanego i nieizolowanego
20. Konstrukcja palna dachu
21. Konstrukcja jw. po remoncie
22. Spalone elementy konstrukcji dachu, płytka kolczasta
23. Puste przestrzenie w konstrukcji dachu spadzistego
24. Konstrukcja palna dachu pożar gimnazjum
25. Konstrukcja palna wnętrza pożar szkoła muzyczna
26. Rozpoznanie apteka duże szyby
27. Rozpoznanie dwa lokale obok siebie
28. Rozpoznanie przedszkole
29. Rozpoznanie sklep
30. Rozpoznanie tekstylia
31. Rozpoznanie rzędy okien, kraty
32. Rozpoznanie z termowizją
33. Rozpoznanie budowa
34. Rozpoznanie, obiekt o palnej konstrukcji
35. Rozpoznanie garaż podziemny
36. Rozpoznanie – skomplikowane układy przestrzenne kompleksów budynków
37. Rozpoznanie piwnice
38. Rozpoznanie szeregowce jednorodzinne
39. Rozpoznanie szeregowce wielorodzinne
40. Rozpoznanie utrudniony dostęp i korzystanie z drabin
41. Pożar napędzany wiatrem, doświadczenia NIST
42. Pomiary prędkości wiatru oraz oznaki wizualne.
43. Nieosłonięty wieżowiec biurowy i mieszkalny
44. Skomplikowane i niesymetryczne układy przestrzenne w nowoczesnym budownictwie.
45. Piroliza – biały dym i zapłon od płonącej deski

46. Pożar w hali produkcyjnej Złotów, pierwsze minuty
47. Września, przemysłowy, ognisko
48. Września, kolory, wiatr
49. Września, ugaszone, piroliza i para
50. Nowy Tomyśl, ślady na ścianie
51. Płaszczyzna neutralna w komorze
52. Pulsowanie dymu w drzwiach
53. Pożar w szkole muzycznej magazynek
54. Pożar w szkole muzycznej sala gimnastyczna
55. Pożar w szkole muzycznej magazynek otwory
56. Pożar w szkole muzycznej materiały palne
57. Pożar w szkole muzycznej szyb wentylacyjny
58. Pożar w szkole muzycznej uście w sali koncertowej
59. Pożar w szkole muzycznej zniszczenia w sali koncertowej
60. Odbarwienia farby na ścianie od ciepła
61. Odbarwienia na dachu od ciepła
62. Termowizja widzi ciepło
63. Ciepło zapowiada rozprzestrzenienie pożaru
64. Widoczny płomień jako wyraźny sygnał
65. Budowa prądownic TURBO – wytwarzanie mgły
66. Prądownica FogFighter
67. Przekrój prądownicy automatycznej z zaworem kulowym
68. Przekrój prądownicy automatycznej z zaworem ślizgowym
69. Ustawienia prądownicy Turbo: 115 i flush na rozproszonym
70. Ustawienia prądownicy Turbo: 115 i flush na zwartym
71. Chwyt prądownicy Turbo za rękojeść
72. Chwyt prądownicy Turbo za odcinek
73. Nieprawidłowy chwyt prądownicy Turbo trzymanej zbyt blisko ciała.
74. Pozycja prądownika z nogą do przodu
75. Wyprostowany odcinek za prądownikiem
76. Krótki puls, etapy
77. Krótki puls - wykonanie
78. Długi puls, pozycja
79. Długi puls, zasięg mgły
80. Długi puls na tle hali
81. Ołówkowanie
82. Malowanie
83. Omiatanie
84. Prąd zwarty o dużej wydajności, prądownica Turbo
85. Prądownica smoothbore playpipe stacked tips
86. Prądownica smoothbore
87. Playpipe, chwyt stojąc
88. Playpipe, chwyt klęcząc
89. Omiatanie prądem zwartym
90. Technika „bat”
91. Harmonijka i rozdzielacz w skrytce
92. Linia główna 40 m w kasetonie
93. Linia gaśnicza 3 x 42 w kasetonie
94. Kaseton plus pakiet w skrytce samochodu
95. Przygotowanie pakietu
96. Gotowy pakiet
97. Transport pakietu i kasetonów
98. Sprawianie

99. Przenoszenie spirali
100. Węzeł krawatowy na klamce drzwi
101. Postępowanie przy drzwiach lewych otwieranych do wnętrza
102. Postępowanie przy drzwiach prawych otwieranych do wnętrza
103. Postępowanie przy drzwiach lewych otwieranych na zewnątrz
104. Postępowanie przy drzwiach prawych otwieranych na zewnątrz
105. Ocenianie temperatury warstwy podsufitowej
106. Wprowadzanie linii w pojedynkę lub przy znacznym oporze
107. Unikanie załamania na linii wprowadzanej w pojedynkę
108. Praca zbyt blisko, będąca błędem i utrudniająca operowanie prądem
109. Zachowanie odległości pomiędzy strażakami w rocie przy linii gaśniczej
110. Pozycja pracy przy korzystaniu z prądownicy smoothbore
111. Przemieszczanie się z otwartą prądownicą o dużej wydajności typu smoothbore
112. Wprowadzanie linii gaśniczej
113. Wycofywanie linii gaśniczej
114. Ocena kształtu pomieszczenia z zewnątrz
115. Inne pomieszczenia na różnych kondygnacjach.
116. Obejrzenie pomieszczenia przy podłodze przed przeszukaniem
117. Pomieszczenia o nieregularnych kształtach
118. Sprawdzenie podłogi przy przeszukaniu
119. Sprawdzenie przestrzeni za drzwiami przy przeszukaniu
120. Oznaczenie i zabezpieczenie przed zamknięciem sprawdzonych drzwi.
121. Zabezpieczenie i oznaczenie drzwi za pomocą klina
122. Przeszukanie pod meblami
123. Przeszukanie mebli: za, przed, pod, nad i wewnątrz.
124. Przeszukanie dyktowane przeznaczeniem mebli
125. Przeszukanie łóżeczka dziecięcego, postępowanie po odnalezieniu dziecka
126. Wypływ gazów pożarowych widoczny w termowizji
127. Przełączanie trybów czułości w termowizji
128. Efekt ducha w termowizji
129. Skanowanie termowizją, współpraca w rocie
130. Przeszukanie z linią, wydłużenie zasięgu
131. Kotwiczenie dla wydłużenia zasięgu przeszukania
132. Etapy przeszukania metodą wahadłową
133. Wykorzystanie autorolki w przeszukaniu
134. Przeszukanie bez linii gaśniczej
135. Wydłużenie zasięgu podczas przeszukania bez linii gaśniczej
136. Natarcie wewnętrzne
137. Obrona wewnętrzna
138. Badania NIST nad prądami podawanymi z zewnątrz: widok ogólny
139. Badania NIST nad prądami podawanymi z zewnątrz: podanie prądu zwartego
140. Badania NIST nad prądami podawanymi z zewnątrz: podanie prądu rozproszonego
141. Warianty natarcia zewnętrznego – z bliska i z daleka. Rozbicie wody
142. Natarcie zewnętrzne z 4 m
143. Natarcie zewnętrzne z 1,5 m
144. Warunki pożarowe, w których natarcie zewnętrzne przyniesie korzyści taktyczne
145. Strumień wody z lanc z głowica do natarcia
146. Pożar niedowietrzony i wiercenie otworu
147. Pożar niedowietrzony i podanie wody
148. Natarcie lancą Elbląg
149. Użycie lancy przebijająco-chłodzącej
150. Pożar magazynu
151. Pożar magazynu, gaszenie dachu

152. Pożar parowozowni, gaszenie z kosza
153. Pożar parowozowni, strefa zawalenia
154. Obrona przestrzeni poddasza przy użyciu lancy przebijającej
155. Pożar magazynu opon we Wrocławiu, obrona zewnętrzna
156. Pożar magazynu AGD w Olsztynie, działania połączone
157. Pożar magazynu w Olsztynie, działania połączone
158. Strażak kontrolujący drzwi za pomocą pętli z taśmy
159. Izolacja pożaru za pomocą kurtyny dymowej
160. Wentylacja hydrauliczna wyciągowa
161. Różne konstrukcje wentylatorów spalinowych
162. Stary wentylator wyciągowy
163. Wentylator akumulatorowy, nadmuchowo-wyciągowy
164. Wentylator akumulatorowy, nadmuchowo-wyciągowy, wentylacja podciśnieniowa w oknie
165. Wentylator akumulatorowy, nadmuchowo-wyciągowy, wentylacja podciśnieniowa w drzwiach

Spis rysunków:

1. Podział terenu ćwiczeń na strefy
2. Trójkąt spalania
3. Czworóścian spalania
4. Proces spalania – cząsteczki i wiązania
5. Różnica między ciepłem a temperaturą
6. Nagrzewanie się materiałów palnych o różnym stanie skupienia
7. Gęstość obciążenia ogniowego a czas pożaru
8. Porównanie pożaru starego i nowego
9. Diagram zakresu wybuchowości/palności.
10. Zależność DGW od temperatury
11. Wpływ temperatury na zakres palności.
12. Budowa płomienia
13. Geometryczne czynniki
14. Etapy spalania ciał stałych
15. Porównanie szczytowej HRR
16. Wpływ wentylacji na szczytową HRR
17. Mechanizmy samozapłonu gazów pożarowych
18. Wpływ zmian ciśnienia na zmiany temperatury
19. Model strefowy pożaru
20. Obecność tlenu, paliwa oraz poziomy ciśnienia i temperatury w pożarze
21. Możliwe scenariusze pożaru
22. Porównanie krzywych pożaru
23. Wymiana gazowa – pożar nieodwietrzony
24. Wymiana gazowa – przepływ dwukierunkowy
25. Wymiana gazowa – przepływ jednokierunkowy
26. Przepływ dwukierunkowy w układzie przestrzennym
27. Przepływ jednokierunkowy w układzie przestrzennym
28. Przepływ złożony z udziałem wiatru w układzie przestrzennym
29. Prąd grawitacyjny
30. Zmiany różnych parametrów w trakcie rozwoju pożaru w pomieszczeniu.
31. Zmiany parametrów, porównanie dawny i współczesny
32. Pożar w zarodku
33. Pożar rozwija się
34. Pożar w punkcie KP/KW
35. Rozgorzenie
36. Schemat przebiegu rozgorzenia na podstawie 21
37. Rozgorzenie wywołane wentylacją. Otwarcie drzwi, różne budynki.

38. Rozgorzenie wywołane wentylacją. Takli sam budynek, różny profil.
39. Kontrola drzwi vs wentylacja dom jednokondygnacyjny.
40. Kontrola drzwi vs wentylacja dom dwukondygnacyjny.
41. Schemat przebiegu rozgorzenia wywołanego wentylacją na podstawie 21
42. Schemat przebiegu wstecznego ciągu płomienia, na podstawie 21
43. Pożar w zamkniętym pomieszczeniu
44. Pożar niedowietrzony
45. Otwarcie drzwi
46. Prąd grawitacyjny
47. Tworzenie się mieszaniny palnej na styku przepływów
48. Zapłon i wędrówka płomienia
49. Wsteczny ciąg płomienia i przyspieszanie
50. Wyrzut kuli ognia
51. Udział HC i CO w zjawisku backdraftu
52. Schemat przebiegu ZGP
53. Szare obszary
54. Wybuch dymu
55. Efekt kominowy
56. Uderzenie aerodynamiczne
57. Zjawiska związane z wiatrem w zabudowie miejskiej
58. Wykresy porównanie PNW i bez PNW
59. Rozpoznanie 360 i strony budynku
60. Różnice w oznakach zewnętrznych pożaru napędzanego wiatrem
61. Wpływ kierunku wiatru na sytuację pożarową
62. Wpływ drożności toru wymiany gazowej na ścieżkę przepływu
63. Płaszczyzna neutralna w drzwiach
64. Płaszczyzna neutralna w oknach
65. Warunki termalne środowiska strażackiego
66. Widok z dwóch stron obiektu – podsumowanie BE-SAHF
67. Wykres zdolności chłodzenia wody
68. Stopień rozdrobnienia a powierzchnia wymiany ciepła
69. Szczytowa moc pożaru i minimalna wydajność linii
70. Przekrój prądownicy TURBO i podawanie różnych prądów
71. Podawanie wody do pożaru i mechanizmy gaśnicze
72. Końcowa objętość gazowa zależnie od stopnia odparowania
73. Zjawiska podczas chłodzenia gazów
74. Uprozczone objaśnienie teorii chłodzenia gazów pożarowych
75. Krótki puls
76. Długi puls
77. Pułapka wodna: inwersja warstw
78. Pułapka wodna: odparowanie wody w ognisk pożaru
79. Algorytm postępowania przy drzwiach
80. Nieregularny kształt pomieszczeń
81. Metoda lewej/prawej ręki przy przeszukaniu
82. Pięć ścian w czworokątnym pomieszczeniu
83. Uproszczony schemat interpretacji wskazań kamery termowizyjnej
84. Schemat przemieszczania się i rozpoznania z termowizją
85. Schemat przeszukania z linią gaśniczą
86. Schemat przeszukania z linią gaśniczą – całość pomieszczenia
87. Przeszukanie wahadłowe
88. Zmodyfikowany sposób przemieszczania się w metodzie wahadłowej
89. Formuły do obliczania zapotrzebowania wodnego.
90. Model kwadrantowy

91. Miejsce modelu kwadrantowego w procesie podejmowania decyzji
92. Podawanie wody w natarciu z zewnątrz pod różnymi kątami
93. Dystrybucja wody podawanej z daleka
94. Dystrybucja wody podawanej z bliska
95. Rodzaje prądów podawanych przez lance: natarcie i obrona
96. Przykładowe zastosowanie lanc
97. Metoda badania lancy – rzut z boku i z góry
98. Przebieg pożaru eksperymentalnego gaszonego z użyciem lancy przebijającej
99. Diagram palności z uwzględnieniem pary wodnej
100. Natarcie za pomocą urządzenia przebijająco-chłodzącego
101. Skanowanie budynku kamerą termowizyjną w celu ustalenia lokalizacji przebiecia
102. Działania połączone przy użyciu lanc
103. Wykres sprawności wentylacji grawitacyjnej
104. Mechanizm tłoczenia gazu przez krople wody
105. Zasysanie powietrza do rozproszonego prądu wody
106. Szacowanie wydajności wentylacji nadciśnieniowej – powierzchnie otworów
107. Wykres sprawności wentylacji nadciśnieniowej: wydajności oraz ciśnienia
108. Przepływy w obiekcie zależnie od profilu wentylacji
109. Zasada prędkości krytycznej podczas wentylacji
110. Wentylacja taktyczna zapobiegająca ZGP: grawitacyjna pionowa oraz nadciśnieniowa
111. Wentylacja nadciśnieniowa podczas pożarów napędzanych wiatrem w blokach
112. Wentylacja sekwencyjna
113. Techniki kontrolowania zdarzenia

Spis tabel:

1. Praca instruktorów
2. Charakterystyka palności materiałów
3. Ciepło spalania różnych materiałów pochodzenia naturalnego oraz syntetycznego
4. Skład powietrza
5. Przykładowe wartości DGW i GGW
6. Porównanie pożaru tradycyjnego i przeładowanego
7. Etapy obliczeń zależności szybkości wydzielania ciepła od warunków wentylacji.
8. Gęstość promieniowania i rezultat
9. Odporność elementów konstrukcyjnych budynku na nadciśnienie
10. Prędkość wiatru i wywołany efekt.
11. Potencjalna moc pożaru
12. Wymagana skuteczność chłodzenia vs. skuteczność chłodzenia linii gaśniczych
13. Wydajność krytyczna, taktyczna i optymalna a powierzchnia gaszenia
14. Szacowanie wymaganej wydajności prądów wody zależnie od dopływu tlenu do pożaru
15. Parametry katalogowe wybranej prądownicy prostej o dużej wydajności przeliczone na jednostki układu SI
16. Wydajności prądownic prostych, dane z 1967 r.
17. Wydajności nominalne i realne węży pożarniczych.
18. Rozmiary kropelek wodnych w prądach rozproszonych
19. Objętość pary wodnej w zależności od temperatury
20. Wydajności, pulsy wody, czas pulsu
21. Pułapka wodna: inwersja warstw
22. Podział zadań w rocie podczas otwierania drzwi
23. Tabela kalkulacji wydajności wodnej
24. Szacowanie wydajności w zależności od mocy pożaru i rodzaju użytej linii
25. Efekty natarcia z zewnątrz w zależności od rodzaju linii, ciśnienia i wydajności
26. Ilość powietrza tłoczonego przez prąd rozproszony
27. Sprawność wentylacji i ciśnienie w wylocie w zależności od wartości współczynnika R