



MGR INŻ. POŻ.
SZYMON KOKOT-GÓRA

WENTYLATORY I WENTYLACJA W STRAŻY POŻARNEJ

POLECA:





25 marca 2018r., Gruczno, Powiat Świecki

Pamięci

Niniejszą książkę dedykuję pamięci Grzegorza - świetnego strażaka i wspaniałego człowieka, bez którego pomocy by nie powstała.

Do zobaczenia po drugiej stronie druhu!

Szymon Kokot-Góra

MGR INŻ.POŻ.
SZYMON KOKOT-GÓRA

**WENTYLATORY
I WENTYLACJA
W STRAŻY POŻARNEJ**



Wszelkie treści zamieszczone w niniejszym opracowaniu, zarówno teksty, zdjęcia, jak i grafiki, podlegają ochronie prawnej na podstawie przepisów ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych. Bez zgody autora zabronione jest m.in. powielanie treści, ich kopiowanie, przedruk, przechowywanie i przetwarzanie z zastosowaniem jakichkolwiek środków elektronicznych, zarówno w całości, jak i w części.

SPIS TREŚCI

- 06 WSTĘP
- 10 SPALANIE
- 14 POŻARY WEWNĘTRZNE
- 26 WENTYLATORY I SPRZĘT POMOCNICZY
- 36 WENTYLACJA TAKTYCZNA I ZARZĄDZANIE PRZEPIYWAMI
- 40 WENTYLACJA TAKTYCZNA
- 43 ANTYWENTYLACJA (IZOLOWANIE POŻARU)
- 45 WENTYLACJA GRAWITACYJNA: POZIOMA I PIONOWA
- 47 WENTYLACJA HYDRAULICZNA: PODCIŚNIENIOWA I CIŚNIENIOWA
- 49 WENTYLACJA MECHANICZNA: NADCIŚNIENIOWA I PODCIŚNIENIOWA
- 53 WENTYLACJA SEKWENCYJNA
- 56 W PRAKTYCE: NATARCIE NADCIŚNIENIOWE
- 64 PODSUMOWANIE
- 67 LITERATURA



1. WSTĘP

Wentylatory pojawiły się w strażach pożarnych na świecie już w latach 90-tych ubiegłego stulecia. Sam koncept wentylacji natomiast jest dużo starszy. Już prekursorzy zawodowych formacji strażackich na świecie, działający w drugiej połowie XIX wieku wskazywali na znaczenie wymiany gazowej dla pożaru.

W 1866 roku James Braidwood, szkocki oficer uznany za twórcę miejskich departamentów straży pisał w swej książce „Fire Prevention and Fire Extinction”: **„Kto kontroluje powietrze, ten kontroluje pożar”**. Jego następca, Sir Eyre Massey Shaw, 10 lat później opisywał zagadnienia strat pożarowych, których można byłoby uniknąć umiejętnie kontrolując dostęp powietrza do strefy spalania. William Thornton w 1917 udowodnił, że ilość tlenu docierającego do ogniska pożaru definiuje ilość ciepła wydzielanego w procesie spalania. Siedem dekad później, Clayton Hugget w amerykańskim NIST potwierdził wyniki tych badań, tworząc pojęcie Reguły Thorntona i kładąc podwaliny pod naukowe metody pomiaru mocy pożaru na podstawie zużytego tlenu. Kiedy w latach 50-tych Lloyd Layman stworzył koncept natarcia pośredniego do walki z pożarami na statkach, istotnym aspektem tej metody było pozbawienie pożaru tlenu przy jednoczesnym wypełnieniu całej kubatury parą wodną.

W latach 80-tych Szwedzi Krister Giselsson i Mats Rosander stworzyli podstawy nowoczesnego zwalczania pożarów. Borykając się z pożarami niedowietrzonymi, kontrolowanymi przez dostęp tlenu, często zagrażającymi wystąpieniem zjawiska wstecznego ciągu płomienia, zaproponowali metody postępowania oparte o koncept

chłodzenia gazów pożarowych. W tym samym czasie brytyjski strażak Paul Grimwood korespondował ze strażakami z całego świata, wymieniając się swoimi cennymi spostrzeżeniami i doświadczeniami, co zaowocowało stworzeniem definicji wentylacji taktycznej. W końcu lat 80-tych pewien entuzjasta lotów balonami na ogrzane powietrze wpadł na pomysł, aby zbudować wentylator napędzany silnikiem spalinowym, który mógłby napełniać 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. Dowiedzieli się ze swoich eksperymentów, że wentylacja nadciśnieniowa jest kilkakrotnie 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. Już od tamtych wczesnych lat amerykański oficer straży Kriss Garcia używał przez kolejne dekady natarcia nadciśnieniowego przy większości prowadzonych interwencji z dużym sukcesem.

Na przełomie milenium w Ameryce, Dan Madrzykowski z zespołem badaczy pochylał się nad zagadnieniem pożarów napędzanych wiatrem, w których coraz częściej ginęli strażacy. Jego współpracownik Steven Kerber objął nieco później kierownictwo nad UL Firefighter Safety Research Institute, prowadząc na przestrzeni ostatniej dekady badania nad wentylacją naturalną poziomą i pionową, izolowaniem pożaru i wentylacją

nadciśnieniową. Wartością dodaną stał się fantastyczny i skuteczny program prewencji społecznej „Close before you doze”, uświadamiający obywateli o tym, że zamknięte drzwi opóźniają pożar, dając szansę na przeżycie i ucieczkę. W tym czasie Dr Michael Reick prowadził w Niemczech wieloletnie badania nad urządzeniem do zarządzania przepływami, co po latach starań zaowocowało stworzeniem kurtyny dymowej. Od początku lat 2000 australijski oficer Shan Raffel podkreślał znaczenie rozpoznania podczas zdarzenia, ujmując w swym modelu czytanie z dymu i rozpoznawanie torów wymiany gazowej. Amerykański komendant straży Ed Hartin uzupełnił ten model o jakże ważny komponent wymiany gazowej: warunki budowlane. Kolejny Australijczyk, John McDonough, od lat na szkoleniach realizowanych dookoła świata powtarza o tzw. paradoksie wentylacji: wypuszczanie dymu i ciepła zazwyczaj prowadzi do napływu tlenu i produkcji jeszcze większych ilości dymu oraz ciepła, a w efekcie do rozgorzenia. Szwedzki naukowiec i strażak Stefan Svensson pisał książki i artykuły na temat wentylacji pożarowej, mocno akcentując naukową stronę swoich treści. Hiszpański oficer straży pożarnej Arturo Arnalich przez kilka ostatnich lat mówił o konieczności korzystania z elastycznego modelu 3T – połączenia korzyści płynących z wykorzystania różnych technik, taktyk i narzędzi. Natarcie nadciśnieniowe i wykorzystanie kurtyn dymowych to ważne dwa z kilku filarów tego modelu. Amerykański strażak Kevin O'Donnell od lat rozwija stworzone przez swojego ojca Jamesa urządzenie do hydrowentylacji, pozwalające na sprawne wyciąganie dymu z obiektu czyszcząc drogę natarcia dla strażaków.

Kwestia wymiany gazowej, kontroli przepływów i wentylacji pożarowej jest elementem strażackiej taktyki od bardzo dawna. Starania wielu mentorów wynalazców i wizjonerów na całym świecie dały nam dziś ogrom wiedzy i wiele sposobów na uwzględnienie tego kluczowego zagadnienia w naszym podejściu taktycznym. Jednocześnie zagadnień, kwestii, niuansów, szczegółów, urządzeń, narzędzi, taktyk i technik jest tak dużo i są tak rozsiane, że czasem trudno się w tym wszystkim połapać. Nie wiem, czy wymieniłem, wszystkich, którzy dołożyli cegiełkę do budowy tej



dziedziny, ale z pewnością starałem się wymienić wszystkich, których znam i o których wiem. W wielu miejscach na świecie, wielu wspaniałych strażaków nieustannie wykonuje wysiłki, aby doskonalić nasze rzemiosło i dzielić się z innymi swoją wiedzą i przemyśleniami. Wszystkim im składam podziękowania w imieniu nas wszystkich.

Tymczasem technologia idzie naprzód. Znane i przemyślane koncepty z zakresu wentylacji mają okazję zaistnieć w nowej rzeczywistości kreowanej przez ciągły postęp

cywilizacyjny. Technologia ułatwia nam wiele rzeczy, ale stawia też wymagania: przybywa nowych obszarów wiedzy, a te już poznane wciąż się rozrastają. Przykładowo, w sferze wentylacji, będącej tematem przewodnim tego opracowania, pojawiają się nowe wentylatory o napędzie akumulatorowym. 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. Specyfika ich działania stwarza nowe możliwości, ale też wymaga opanowania dodatkowej wiedzy. Ważnym elementem zagadnienia stały się popularne w ostatnich latach kurтины dymowe czy nowe rozwiązania w zakresie hydrowentylacji. I choć wydaje się, że wszystko już wymyślono, to doświadczenie sugeruje, że jeszcze nie raz zostaniemy zaskoczeni błyskotliwością ludzi i ich dążeniem do rozwoju.

Pomysł na to opracowanie zrodził się już dawno temu i dojrzewał powoli. Z pewnością dynamiczny rozwój dziedziny pożarów wewnętrznych, w którym grupa „instruktorów cfbt.pl” odegrała kluczową rolę, wygenerował zapotrzebowanie na tego typu publikację. Bez wątpienia nie wyczerpuje ona tematu, ale jest kolejną cegiełką dołożoną do muru. Budowanie krajowej bazy literatury branżowej jest zadaniem o niebagatelnym znaczeniu. Zapewnienie ciągłego dopływu nowej wiedzy, którą należy też nieustannie aktualizować i żmudna praca nad tworzeniem i ujednolicaniem stosowanej nomenklatury branżowej to zaledwie dwa z wielu istotnych powodów, dla których należy nieprzerwanie realizować wysiłki zmierzające do rozwoju tej dziedziny wiedzy. Wszakże, jak mawiał filozof:





Fot. Obiektiv

Πάντα ρεῖ καὶ οὐδὲν μένει.

Ta panta rhei kai ouden menei.

Wszystko płynie, nic nie stoi w miejscu.

HERAKLIT,
(540 P.N.E. - 480 P.N.E.)

Dziękuję firmom Euramco Group i Supron 1 za udostępnienie materiałów graficznych, a także jednostek sprzętowych w celu wykonania zdjęć do niniejszego opracowania.

Dziękuję strażakom z jednostek OSP Ratownik, OSP Gruczno i OSP Przechowo za pomoc w realizacji zdjęć, a JRG KP PSP w Świeciu za udział w towarzyszących ćwiczeniach.

Dziękuję moim kolegom, którzy w wolnym czasie, bezinteresownie wsparli przedsięwzięcie szkoleniowe, dzięki któremu udało się zrealizować materiał zdjęciowy.

Piotrkowi Zwaryczowi dziękuję za wspaniałe zdjęcia!

Dziękuję mojej żonie i dzieciom za nadawanie sensu mojemu życiu i ciągłe wsparcie.

”

2. SPALANIE

Proces spalania jest reakcją chemiczną przebiegającą z wydzielaniem ciepła. Z tego powodu nazywany jest reakcją **egzotermiczną**, to znaczy taką, w wyniku której owo ciepło powstaje. Reakcja zachodzi pomiędzy **paliwem**, a **utleniaczem** w obecności **energii cieplnej** oraz tworzących się **wolnych rodników**. Paliwem w procesie spalania mogą być różne materiały i substancje w każdym ze stanów skupienia (ciała stałe, ciecze i gazy). Utleniaczem jest najczęściej tlen zawarty w powietrzu atmosferycznym. Efektem spalania jest najczęściej płomień emitujący światło widzialne, chociaż występuje też czasem spalanie bezpłomieniowe (tlenie oraz żarzenie). W procesie spalania powstają produkty spalania, w tym dym. Oprócz dymu tworzą się inne pozostałości, np. popiół. W skład dymu mogą wchodzić ciała stałe, ciecze i gazy. Te ostatnie stanowią największą część dymu.

Reakcja chemiczna to proces, w którym pierwotna substancja, pierwiastek czy jon (nazywane substratami) przemienia się w inną substancję (nazywane produktami). Produkty reakcji różnią się składem chemicznym od substratów. W procesie spalania ta przemiana ma bardzo dużo etapów. Przykładowo pojedyncza cząstka gazu palnego, jakim jest metan (CH_4) ulega spalaniu przechodząc przez ponad 120 etapów głównych i wiele dodatkowych etapów pośrednich i to zaledwie w ułamku sekundy. [1] Jeśli spalają się różne przedmioty, a warunki procesu spalania nie są stabilne (zmienia się ilość dostępnego tlenu czy rodzaj spalającego się paliwa oraz inne warunki), to efektem jest bardzo zróżnicowany skład chemiczny dymu.

Aby proces spalania **rozpoczął się**, niezbędna jest pewna ilość ciepła. Po

rozpoczęciu procesu spalania pewna ilość ciepła potrzebna jest, aby ów proces **podtrzymać**. W wyniku oddziaływania ciepła na paliwo w obecności utleniacza dochodzi do wielu bardzo szybkich reakcji chemicznych, które zmieniają skład chemiczny paliwa i same wydzielają energię cieplną. W wielu przypadkach spalania (szczególnie w pożarach), ilość wytwarzanej energii cieplnej jest od kilku do kilkudziesięciu razy wyższa, niż ilość, która wymagana jest do tego, aby proces spalania sam się podtrzymywał.

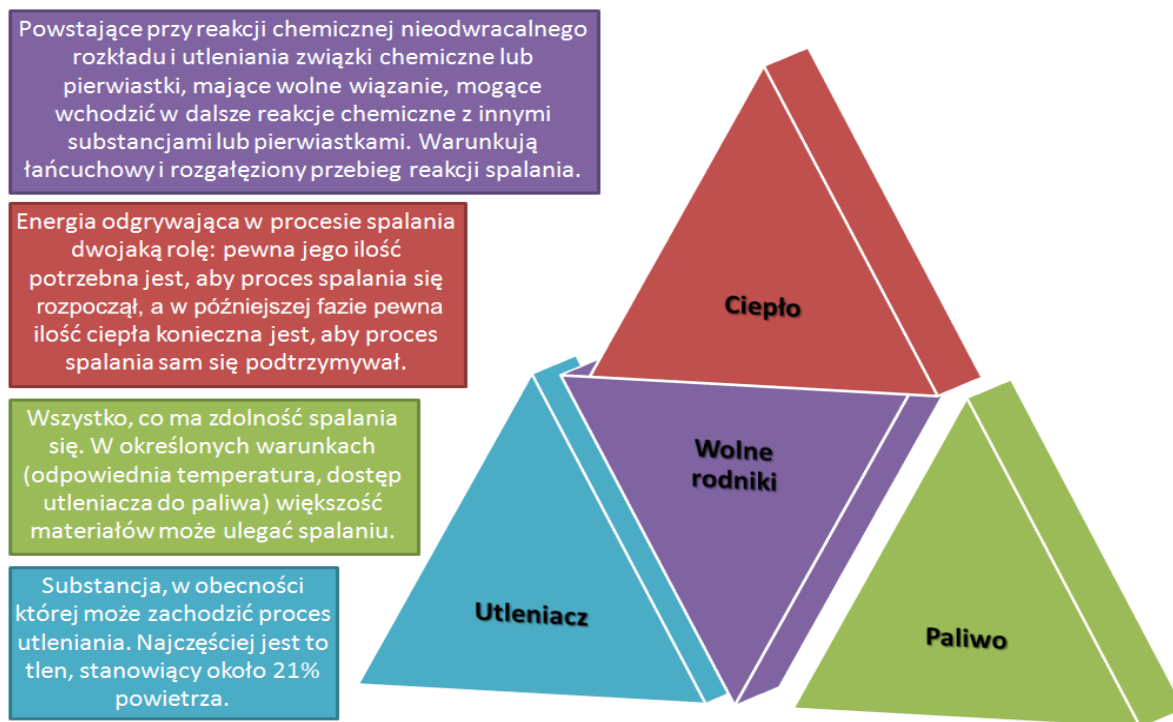
Ciepło jest energią wyrażaną w dżulach [J]. W wyniku oddziaływania tej energii materiały i substancje ogrzewają się, osiągając pewną temperaturę, wyrażoną w stopniach Celsjusza [$^{\circ}\text{C}$]. **Temperatura jest stanem**, jaki osiąga dane ciało w wyniku oddziaływania energii cieplnej. Podczas ogrzewania się materiałów, na skutek wspomnianych przemian (reakcji) chemicznych, dochodzi do powstawania substancji w stanie skupienia gazowym. Aby proces spalania miał miejsce, paliwo musi być w stanie gazowym, tak jak utleniacz. Musi być również **palne**, to znaczy musi posiadać zdolność do spalania (utleniania). Stan gazowy paliwa osiągany jest w wyniku ogrzewania (wzrostu temperatury) spowodowanego oddziaływaniem energii termalnej. **Ciała stałe** syntetyczne mogą topić się i parować, a ciała stałe organiczne zwęglają się i emitują produkty gazowe. Substancje w **ciekłym** stanie skupienia wydzielają produkty gazowe przechodząc proces parowania. Substancje w stanie skupienia **gazowym** są już gotowe do spalania.

W wyniku złożonych reakcji chemicznych, wywołanych oddziaływaniem energii cieplnej, powstają cząsteczki oraz związki, które posiadają zdolność do wchodzenia w dalsze wielokrotne rozga-

łączone reakcje łańcuchowe z kolejnymi cząsteczkami (substratami). Owe cząsteczki i związki noszą nazwę **wolnych rodników** i odpowiadają za proces **katalizy**, czyli przyspieszania i ułatwiania kolejnych rozgałęzionych reakcji chemicznych. Z tego względu proces spalania potrafi gwałtownie zwiększać swoją dynamikę przerażając się w zjawisko **pożaru**.

Zrozumienie natury procesu spalania jest kluczowe dla skutecznych działań gaśniczych. Proces spalania nie może istnieć bez występowania wspomnianych wcześniej elementów: paliwa, utleniacza, ciepła i wolnych rodników. Gaszenie pożaru polega na odebraniu jednego lub kilku tych elementów z tego procesu. Opisując proces spalania najczęściej mówi się o **trójkącie spalania**,

aczkolwiek czwarty element – czyli wolne rodniki – jest również niezbędnym komponentem tego procesu, na który można oddziaływać podejmując próby przerywania spalania. Dlatego czasem mówi się również o **czworokącie spalania**. Czwarty element, czyli wolne rodniki to efekt wzajemnego oddziaływania na siebie pozostałych trzech elementów. Wolne rodniki powstają na skutek oddziaływania ciepła na paliwo w obecności utleniacza.



Rys. 1: Elementy procesu spalania.

Aby proces spalania miał miejsce muszą wystąpić **odpowiednie proporcje** paliwa i utleniacza. Zawartość jednego gazu w drugim (w naszym przypadku zawartość paliwa w powietrzu) nazywamy **stężeniem**. Jest to zatem pewna masa lub objętość gazu palnego w mieszaninie z powietrzem. Najczęściej stosuje się stężenie wyrażane w procentach [%].

Przykładowo, stężenia procentowe służą najczęściej do scharakteryzowania składu powietrza. W skład powietrza wchodzi poniżej podane gazy o następującym stężeniu:

SKŁADNIK	STĘŻENIE	ZAKRĄGLENIE
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%	

Tab. 1: Skład powietrza w atmosferze ziemskiej. W skład powietrza wchodzi 21% tlenu, który w pożarach odgrywa rolę utleniacza. [2] W skład powietrza wchodzi też 78% azotu, który nie jest palny i służy jako **balast termalny**.

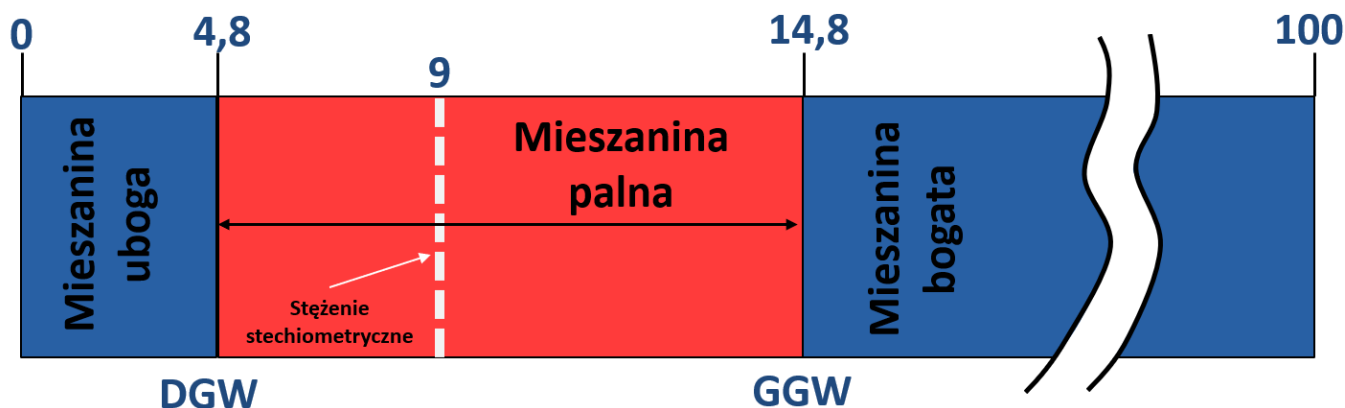
Przy okazji omawiania stężeń warto wyjaśnić pojęcie **balastu termalnego**. Balast w powszechnym rozumieniu to pewne obciążenie. Często balastem nazywa się obciążenie, które jest zbędne. W procesie spalania mówi się o balaście termalnym, czyli czymś, co nie sprzyja temu procesowi i go zakłóca. Ogólnie mówiąc będzie to każda substancja, która w danych warunkach nie ulega spalaniu (jest niepalna lub nie ma w danej chwili i w danych warunkach dostępu do 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 – również paliwo, które nie ma wystarczającej ilości utleniacza. Dlatego między innymi wysokie stężenia gazów palnych przy niskich stężeniach tlenu skutkują w braku możliwości spalania. Takie

warunki są bardzo niebezpieczne dla strażaków i zostaną omówione w rozdziale 3.

Aby gazy palne wymieszane z powietrzem mogły się spalać, ich stężenia muszą zawierać się w pewnych granicach. Dla każdego pierwiastka, związku chemicznego lub substancji te granice są inne. **Zakres palności** to takie stężenia graniczne, pomiędzy którymi możliwy jest proces spalania lub wybuchu dla danej substancji.

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. **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**

Mieszanina % (Metan: CH₄)



Rys. 2: Granice wybuchowości dla metanu.

Granica Wybuchowości/Palności – jest to najwyższe stężenie palnego składnika w mieszaninie z powietrzem, przy którym możliwy jest jeszcze zapłon i rozpoczęcie procesu spalania. [3] 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 niepalnych (tzw. „inertnych”).

Na **rysunku 2** widzimy objaśnienie granic wybuchowości dla gazu palnego (metan, CH₄). Dolna Granica Wybuchowości wynosi 4,8 %, natomiast Górna Granica Wybuchowości wynosi 14,8 %. Pomiędzy nimi znajduje się zakres palności. W nim występuje tzw. **stężenie stechiometryczne**, to znaczy takie stężenie, dla którego proces spalania przyjmie najbardziej dynamiczny charakter. Dla omawianego przykładu wynosi ono 9 %.

Jeśli występuje takie stężenie mieszaniny gazu palnego z powietrzem, wówczas proces spalania ma charakter wybuchowy. W takiej mieszaninie, zakładając że jest ona równomiernie wymieszana w całej swojej objętości, każda cząstka paliwa posiada odpowiednią liczbę cząstek utleniacza. Spalaniu ulega całe paliwo i cały utleniacz. Nie

zostaje nic, co mogłoby odebrać energię z tej reakcji poprzez nagrzanie się (wchłonięcie ciepła i podniesienie temperatury), a jednocześnie nie ulec spalaniu z wydzielaniem energii. Innymi słowami przy stężeniach stechiometrycznych nie występuje zbędny balast termalny.

W procesie spalania stężenie stechiometryczne występuje niezwykle rzadko. Częściej bywa rezultatem starannie zaplanowanego procesu technologicznego, niż spontanicznego spalania. W warunkach pożarowych dodatkowo należy pamiętać o różnorodnym składzie chemicznym dymu oraz o różnych zakresach palności dla poszczególnych gazów. Występowanie stężeń zbliżonych do stechiometrycznych jest całkowicie kwestią losową. Należy jednak pamiętać, że przy wystąpieniu sprzyjających warunków spalanie mieszaniny o stężeniu bliskim do stechiometrycznego dla danego gazu może skutkować w gwałtownej i niezwykle niszczycielskiej reakcji wybuchu.

3. POŻARY WEWNĘTRZNE

Kiedy proces spalania zaczyna zwiększać swoją dynamikę, wówczas może przerodzić się w **pożar**. Zjawisko pożaru ma wiele definicji, zależnie od źródła i sposobu spojrzenia na sprawę. Jedną z kluczowych spraw jest to, że pożar jest zjawiskiem niepożądanym. Wiąże się to z jego szkodliwym oddziaływaniem na ludzi, zwierzęta, środowisko, a także mienie i sferę ekonomiczną. Ważne jest też to, że jest to zjawisko podlegające prawom przyrody i nauki. Może być nimi opisane, jest przewidywalne i da się kontrolować odpowiednimi środkami i sposobami. [4]

Pożar można zdefiniować, jako niekontrolowany proces spalania, występujący w miejscu do tego nieprzeznaczonym, powodujący zagrożenie dla ludzi, środowiska i mienia. [5, 6]

Pożary występują w przeróżnych miejscach. Dzieli się je na pożary zewnętrzne i wewnętrzne. Pierwsze mają miejsce na otwartej przestrzeni, a drugie występują w miejscach posiadających fizyczne granice, jak mieszkania, domy, inne budynki, urządzenia, ciągi technologiczne itp. [7]

Pożary wewnętrzne, które są głównym obszarem zainteresowania w tym opracowaniu, posiadają specyficzne cechy i charakterystyczny przebieg. Rezultatem tego są pewne prawidłowości, którym one podlegają. Ten rozdział zawiera opis najważniejszych aspektów pożarów wewnętrznych i stanowi wprowadzenie do zagadnień związanych z wentylacją podczas pożarów.

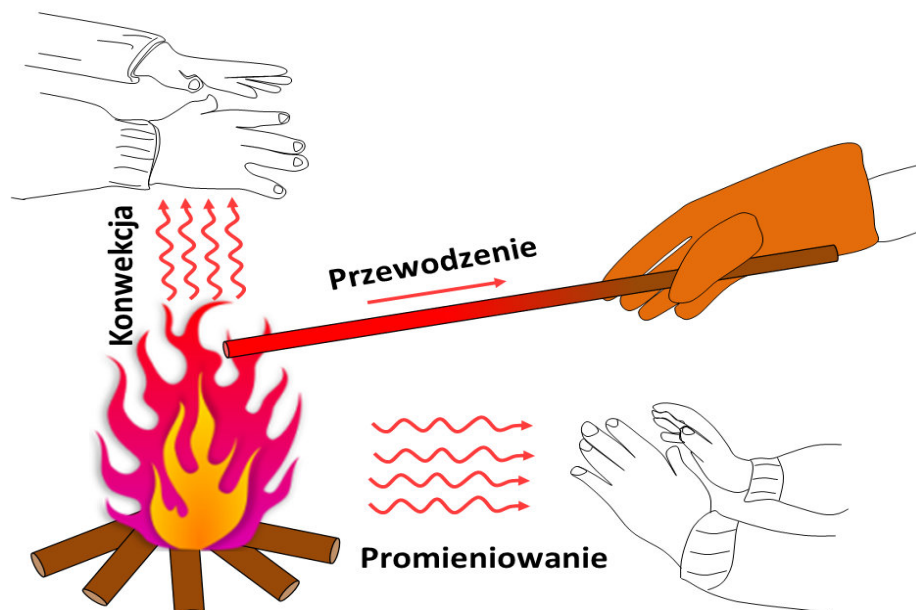
Aby dobrze zrozumieć pożar należy przeanalizować mechanizmy jego wzrostu. Kiedy pożar zwiększa swoją dynamikę spalania mówimy, że pożar **rozwija się**. Kiedy pożar powiększa swoje rozmiary mówimy, że **rozprzestrzenia się**. Zarówno wzrost, jak i rozprzestrzenianie się pożaru mają związek z występowaniem elementów „trójkąta spalania”, opisanego w poprzednim rozdziale. W pożarach wewnętrznych wiąże się to przede wszystkim z transportem ciepła. Transport ciepła w naturze następuje od obiektu posiadającego wyższą temperaturę do obiektu o niższej temperaturze.

TRANSPORT CIEPŁA NASTĘPUJE NA TRZY SPOSOBY:

- 1 Promieniowanie** – to rozchodzenie się ciepła w drodze fal elektromagnetycznych. Nie wymaga tak zwanego „ośrodka”, czyli środowiska o określonych właściwościach fizycznych i może zachodzić np. w próżni (transport ciepła ze Słońca na Ziemię). Ciepło rozchodzi się promieniście, czyli równomiernie we wszystkich kierunkach od źródła. W pożarach źródłem promieniowania termalnego jest głównie powierzchnia płomienia, ale mogą nim być wszystkie nagrzane przedmioty, jak również warstwa gazów pożarowych. Promieniowanie jest dominującym mechanizmem transportu ciepła w pożarach (kiedy średnica ogniska pożaru wzrasta powyżej wielkości około

30 cm). Promieniowanie odpowiada za około 1/3 transportu ciepła w pożarach wewnętrznych.

- 2 Przewodzenie** – to przenikanie energii cieplnej przez ciała stałe na drodze drgań, przekazywanych sobie przez cząsteczki sąsiadujące ze sobą. Przewodność termalna, czyli zdolność ciał do przewodzenia ciepła, jest różna dla różnych materiałów.
- 3 Konwekcja** – to transport ciepła wraz z masą. Ten rodzaj transportu zachodzi w cieczach oraz gazach i jest powodowany przepływem substancji w tym stanie skupienia, który z kolei wywołany jest różnicą temperatur. W wyniku tej różnicy dochodzi do różnic gęstości i to powoduje przepływanie pewnej objętości gazu lub cieczy w inne miejsce. Zgromadzona w cząsteczkach energia przepływa wraz z tą masą i tak następuje transport ciepła w drodze konwekcji. Podczas opływania obiektów (np. mebli, ścian czy nawet strażaków znajdujących się w zadymieniu) ciepło przekazywane jest do tych obiektów. Sam ten mechanizm w nauce zwany jest **przejmowaniem ciepła**. Konwekcja jest ważnym mechanizmem transportu ciepła w pożarach. W ten sposób transportowane jest około 2/3 ciepła w pożarach wewnętrznych. Ilość ciepła transportowanego w drodze konwekcji zależy w dużej mierze od prędkości przepływu gazów będących źródłem ciepła względem opływającego obiektu. Im ta prędkość jest większa, tym większa ilość ciepła przekazywanego w ten sposób. Ta droga transportu ciepła ma duże znaczenie dla tematyki wentylacji pożarowej poruszanej w niniejszym opracowaniu.



Rys. 3: Drogi transportu ciepła

¹Underwriters Laboratories Firefighter Safety Research Institute: <https://ulfirefightersafety.org/>

Oprócz transferu ciepła kolejnym istotnym zagadnieniem z punktu widzenia dynamiki rozwoju pożaru jest produkcja energii cieplnej w procesie spalania. Dlatego kluczowy jest również dostęp utleniacza. Już w 1917 roku, William Thornton udowodnił w swoich badaniach bezpośredni wpływ ilości tlenu na ilość wydzielanego ciepła, niemal niezależnie od rodzaju spalającego się paliwa. W latach 80-tych ubiegłego wieku Clayton Hugget z amerykańskiego instytutu badawczego NIST sprawdzał wyniki badań Thorntona i potwierdził je w swoich badaniach, tworząc pojęcie **Reguła Thorntona**.

Okazuje się, że po dostarczeniu do pożaru 1 kg tlenu do strefy spalania pożar wygeneruje stała ilość ciepła – około 13,1 MJ. Dla strażaka nie jest to istotne, aby zapamiętać dokładną wartość, natomiast musi pamiętać, że **dostęp tlenu do pożaru powoduje produkcję ciepła w sposób wprost proporcjonalny**. Rodzaj spalającego się paliwa prawie nie wpływa na tę wartość.

Obecne wszędzie materiały syntetyczne posiadają potencjalnie około dwukrotnie więcej energii cieplnej, która może wydzielć się w procesie spalania. Również o wiele łatwiej pod wpływem ciepła rozłożyć je na paliwa gazowe gotowe do spalania. Produkty rozkładu termicznego paliw syntetycznych ulegają też o wiele łatwiej zapaleniu, niż produkty pochodzące z paliw organicznych. **Jednak o ilości wydzielonego ciepła zdecyduje ilość tlenu biorącego udział w reakcji spalania**. Tę konkretnie zasadę kierującą dynamiką rozwoju i rozprzestrzeniania pożarów nazywa się Regułą Thorntona. [8]

Ze względu na upowszechnienie tworzyw sztucznych w miejsce materiałów pochodzenia organicznego doszło na przestrzeni ostatnich lat do zmiany dynamiki rozwoju pożarów wewnętrznych. Badania wykonane w UL FSRI pokazują, że przy

podobny dostępie powietrza, pożary rozwijają się bardziej dynamicznie i potrafią osiągać wyższe temperatury.

Jednocześnie UL FSRI zbadał wpływ **Gęstości Obciążenia Ogniowego** na przebieg pożaru. 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] [9]. Mówiąc prościej parametr ten mówi o tym, ile potencjalnej energii cieplnej może wydzielć się z masy paliw zgromadzonych na danej powierzchni podczas ich całkowitego spalania.

W celu zbadania wpływu GOO na pożar przeprowadzono pożary testowe w dwóch identycznych pomieszczeniach z zastosowaniem różnej masy spalanych paliw. W obu pomieszczeniach występował też identyczny otwór doprowadzający powietrze i odprowadzający dym. W pierwszym teście pomieszczenie umeblowano w sposób standardowy, a w drugim wykorzystano znaczną nadwyżkę mebli, którymi zastawiono znaczną część dostępnej powierzchni podłogi. Oba pożary przebiegały z podobnymi parametrami (temperatura i **moc pożaru**), jednak drugi pożar trwał dłużej. To kolejny dowód na to, że badania Williama Thorntona z 1917 roku są aktualne. [41]

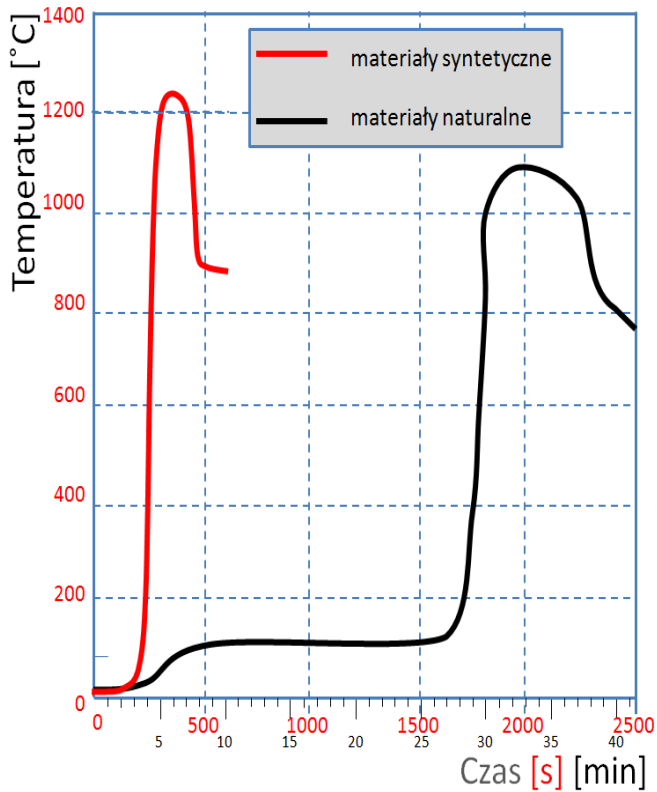
Wracając do Reguły Thorntona, ile to jest kilogram tlenu? Jest to około 50 dm³ (litrów). Kilogram powietrza to około 1,2 m³. Około 1/5 powietrza to tlen. Zatem kilogram tlenu znajduje się w około 6m³ powietrza. Dostarczając takiej ilości powietrza doprowadzimy do wydzielenia się 13,1 MJ (± 5% dla różnych rodzajów paliw).

A czy 13,1 MJ to dużo ciepła? To zależy. Jest to z pewnością znaczna ilość ciepła – kilkanaście milionów dżuli. Ale, aby móc

w pełni ocenić tę wartość trzeba najpierw nadać jej kontekst. Tym kontekstem w pożarach jest czas. Jeśli taka ilość ciepła wydzieliła się w bardzo długim czasie (np. przez jedną dobę), to efekt oddziaływania

dźwuli na sekundę [J/s]. Podczas spalania pojedynczych niewielkich przedmiotów wyposażenia wewnątrz dochodzi do osiągnięcia mocy rzędu kilkudziesięciu do kilkuset kilowatów [kW]. Większe elementy i całe pomieszczenia płoną osiągając moc od kilku do nawet kilkunastu megawatów [MW]. Płonące budynki generują moc rzędu od kilkudziesięciu do kilkuset MW.

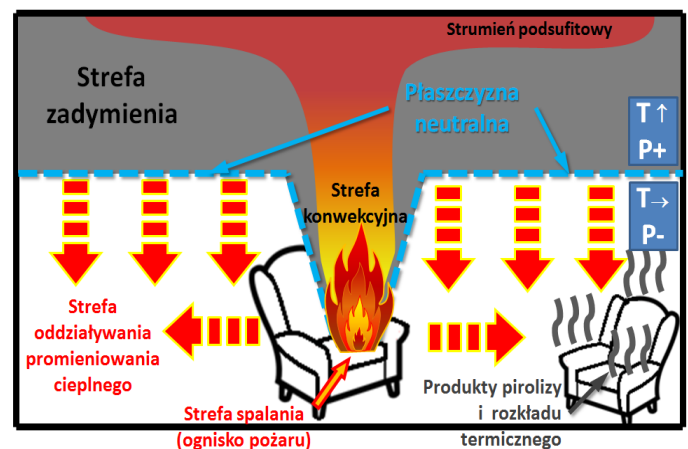
Pożary wewnętrzne opisywane są za pomocą tzw. modelu strefowego. To model pozwalający uporządkować nazewnictwo oraz wyjaśnić zjawiska zachodzące w pożarze. Został przedstawiony na poniższym rysunku.



Rys. 4: Porównanie pożarów z udziałem materiałów pochodzenia naturalnego (lata 70-te) oraz pochodzenia syntetycznego (lata obecne). (opracowanie własne na podstawie [1])

tego ciepła jest znikomy, ponieważ jest ono na bieżąco rozpraszane. Otoczenie jest w stanie odbierać i rozprawiać to ciepło bez najmniejszego problemu. Jeśli jednak taka ilość ciepła zostanie wydzieleną w krótkim czasie, wówczas efekt oddziaływania tego ciepła na otoczenie jest znaczący.

Aby trafnie opisywać dynamikę pożaru, należy zrozumieć parametr **mocy pożaru**, wspomniany kilka akapitów wcześniej. Jest to **szybkość**, z jaką dany pożar w danym momencie **wydziela energię cieplną**. Wiemy już, że energię mierzymy w dżulach [J]. Energia wydzieleną w czasie jest właśnie mocą. Mianem mocy są waty [W]. Moc można również przedstawiać, jako określoną liczbę



Rys. 5: Model strefowy pożaru pomieszczenia.

Spalanie rozpoczyna się w miejscu zwanym **ogniskiem pożaru**. Znajduje się tam **strefa spalania**. Występują w nim warunki niezbędne dla procesu spalania: obecne jest paliwo, dostęp utleniacza i ciepło oraz powstają wolne rodniki.

Nad strefą spalania znajduje się **strefa konwekcyjna**, w której występuje płomień. W niej też następuje ruch gazów i transport ciepła (konwekcji). Z tej strefy następuje transport ciepła w drodze promieniowania i wysłanie go do wszystkich obecnych paliw.

Pod sufitem występuje **strefa zadymienia**. Jest to obszar, w którym zadymienie rozplywa 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. **plaszczyną neutralną**.

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 narażone 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 płaszczyzna neutralna, a strefa oddziaływania promieniowania cieplnego zmiesza swą wysokość.

Rzeczywisty rozwój pożaru w pomieszczeniu może zależeć od wielu czynników. Z tego powodu po wstępnym rozpoczęciu procesu spalania wystąpić może wiele różnych scenariuszy przebiegu pożaru. Poniższy rysunek (**rys. 6**) pokazuje kilka możliwych scenariuszy przebiegu pożaru. Rozpatrzmy zatem sytuację zaproszenia ognia w pomieszczeniu z pojedynczym otworem wentylacyjnym (drzwi).

Jeśli nikt nie podejmie próby gaszenia ognia w zarodku, to może on przerodzić się w pożar. Na początku jest on **kontrolowany przez paliwo (KP)** co oznacza, że na dynamikę procesu spalania wpływa tylko ilość, rodzaj i charakterystyka paliwa. Występuje wystarczająca ilość tlenu w każdym momencie i w każdym miejscu tego procesu spalania. Taki stan utrzymuje się przez pewien czas, w którym spalanie przybiera na sile. Pożar wciąż zwiększa dynamikę, wytwarzając 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 tego momentu wszelkie zmiany w wentylacji będą miały istotny wpływ na dynamikę rozwoju i rozprzestrzeniania pożaru. Pamiętajmy, że to właśnie czynności wykonywane przez strażaków (otwieranie/zamykanie drzwi, wybijanie okien itd.) powodują największe zmiany w procesie wymiany gazowej w pożarach wewnętrznych.

Z jednej strony ta ważna zasada działania znana jest już od dawna. W swojej książce

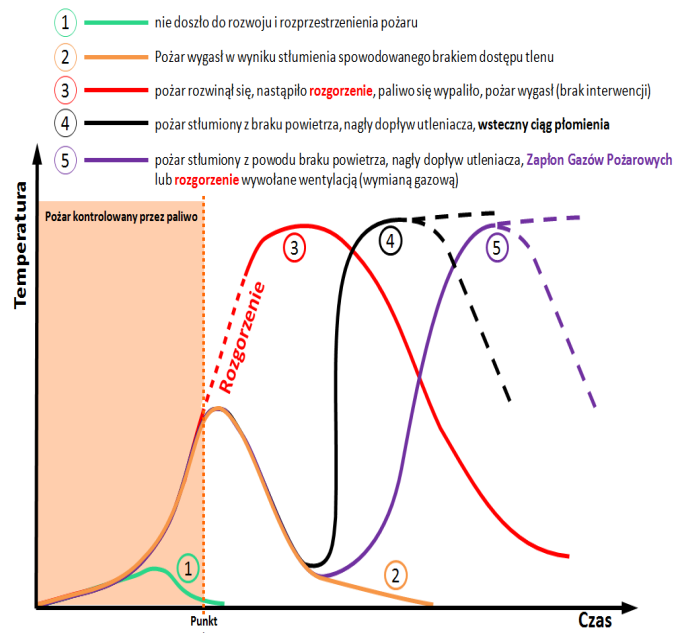
wydanej w 1866 roku, James Braidwood pisał „**Ten, kto kontroluje powietrze, kontroluje pożar.**” [12] Z drugiej strony należy nieustannie przypominać strażakom o tej ważnej zasadzie, szczególnie w erze wszechobecnych tworzyw sztucznych, które tak zasadniczo zmieniły oblicze pożarów wewnętrznych.

Kiedy pożar zwiększa swą dynamikę i objętość zaczyna potrzebować coraz więcej tlenu do podtrzymania tej dynamiki wydzielania ciepła. Podciśnienie generowane w strefie spalania zasysa powietrze z zewnątrz, a nadciśnienie w strefie podsufitowej wypycha gazy pożarowe na zewnątrz. W wyniku zwiększenia objętości strefy zadymienia obniża się płaszczyna neutralna, ograniczając jeszcze bardziej możliwość napływania powietrza. W pewnym momencie dochodzi do stanu, w którym dynamika rozwoju zaczyna być kierowana przez ilość dopływającego powietrza, a nie przez charakterystykę spalających się paliw. Mówimy wówczas o „**pożarze kontrolowanym przez wentylację**” (KW). 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.

Wzrastająca temperatura gazów pożarowych powoduje szybszy odpływ od strefy spalania na zewnątrz, co przekłada się na burzliwy przebieg wymiany gazowej i zauważalne turbulencje płaszczyny neutralnej.

Ten moment przejścia (KP/KW) i towarzyszące mu wizualne oznaki są zapowiedzią nadchodzącego zjawiska **rozgorzenia**. Jeśli nie zostanie odcięty dopływ powietrza (zatrzymanie produkcji ciepła) lub rozpoczęte działania gaśnicze (odebranie wytworzonego ciepła), to pożar będzie rozwijał się dalej stwarzając ogromne zagrożenie.

Występuje też skrajny stan pożaru kontrolowanego przez wentylację, zwany **pożarem niedowietrzonym**. Jest to taki przypadek, w którym mogą wystąpić warunki do zjawiska **wstecznego ciągu płomieni**. Jeśli owo zjawisko nie wystąpi, to nadal istnieje zagrożenie zjawiskiem **rozgorzenia wywołanego wentylacją**. Wymieniane tu zjawiska zostaną objaśnione poniżej. [13]



Rys. 6: Możliwe warianty rozwoju pożaru wewnętrznego (opracowanie własne na podstawie [14]).

Przyjrzyjmy się teraz poszczególnym scenariuszom i omówmy związane z nimi warunki przebiegu oraz generowane skutki.

1. Jeśli rodzaj paliwa, jego umieszczenie i stopień rozdrobnienia nie sprzyjają wzrostowi rozmiarów strefy spalania, to pożar może się nie rozwinąć poza stadium początkowe. Pojawi się pewna niewielka ilość ciepła i dymu, ale pożar nie rozwija się. Po wypaleniu się pewnej części paliwa zaczyna się **wygasanie**. Tego typu pożar przebiega w całości, jako **pożar kontrolowany przez paliwo**.
2. Pożar, który rozwinie się poza wstępne stadium może przejść w **pożar kontrolowany przez wentylację**. Jeśli nie nastąpi dopływ tlenu w odpowiednim czasie, to pożar może **samoczynnie wygasnąć**.
3. Pożar rozwija się w sposób nieograniczony. Stały dopływ powietrza powoduje wystąpienie zjawiska **rozgorzenia** poprzedzone osiągnięciem **punktu KP/KW** i przejściem w **pożar kontrolowany przez wentylację**. Pożar osiąga maksymalne parametry i trwa do momentu wypalenia się znacznej masy paliwa. Dochodzi do wygasania.
4. Pożar rozwija się poza wstępne stadium, a następnie wygasa z powodu braku dostępu powietrza (KW). W pewnym momencie dochodzi do napływu powietrza do strefy spalania. Następuje **wsteczny ciąg płomienia**. Pożar może przejść w pożar w pełni rozwinięty lub po wypaleniu się obecnego paliwa ponownie zmniejszyć swą intensywność.
5. Drugim wariantem przebiegu pożaru w sytuacji opisanej w punkcie 4) jest wystąpienie innego zjawiska pożarowego. Może dojść do **zapłonu gazów pożarowych** o dynamice zależnej od stężenia powietrza i gazów palnych oraz ich stopnia wymieszania (zobacz opis granic wybuchowości/palności). Jak poprzednio, to zjawisko może spowodować pożar w pełni rozwinięty lub wypalenie paliwa gazowego i ponowny spadek intensywności pożaru.

Trzeba w tym miejscu zaznaczyć, że w każdym momencie odpowiednia interwencja straży pożarnych jest w stanie zatrzymać produkcję ciepła, obniżyć temperaturę i ugasić pożar. Takie działania nie zostały pokazane na omawianym wykresie.

Z powyższych opisów łatwo wywnioskować, że w pożarach wewnętrznych kluczowym zagadnieniem jest dopływ powietrza do strefy spalania. Powietrze, zgodnie z Regułą Thorntona, odpowiada za produkcję ciepła w reakcji spalania, jak również jest niezbędne, aby mieszanina dymowo-powietrzna osiągnęła odpowiednie stężenie, aby mogła się zapalić. Dlatego strażacy wykonujący czynności ratownicze, jak i dowódcy powinni umiejętnie

rozpoznawać warunki umożliwiające napływ powietrza i odpływ dymu. Te procesy nazywane są wymianą gazową.

Wymiana gazowa to dopływ powietrza do pożaru i odpływ gazów pożarowych oraz dymu od pożaru. Jej przebieg zależy od łącznej powierzchni oraz usytuowania otworów wentylacyjnych (drzwi, okien, klap itd.). W międzynarodowym środowisku badaczy zjawisk pożarowych i instruktorów ognio-wych wymiana gazowa jest synonimem z pojęciem **wentylacja**. Konkretnie warunki wymiany gazowej w danej sytuacji to profil wymiany gazowej lub **profil wentylacji**.

Tor wymiany gazowej to przestrzeń, w której przemieszczają się gazy: powietrze napływające do pożaru oraz gazy pożarowe odpływające od niego. Będą to oczywiście

również otwory umożliwiające owe przepływy.

Wentylacja pożarowa to ogólna nazwa wszelkich czynności wykonywanych przez strażaków dla zarządzania wymianą gazową. Może to być odizolowanie pożaru, stworzenie warunków do grawitacyjnej (naturalnej) wymiany gazowej, wentylacja wymuszona (nadciśnieniową lub podciśnieniową) i inne czynności z tej kategorii.

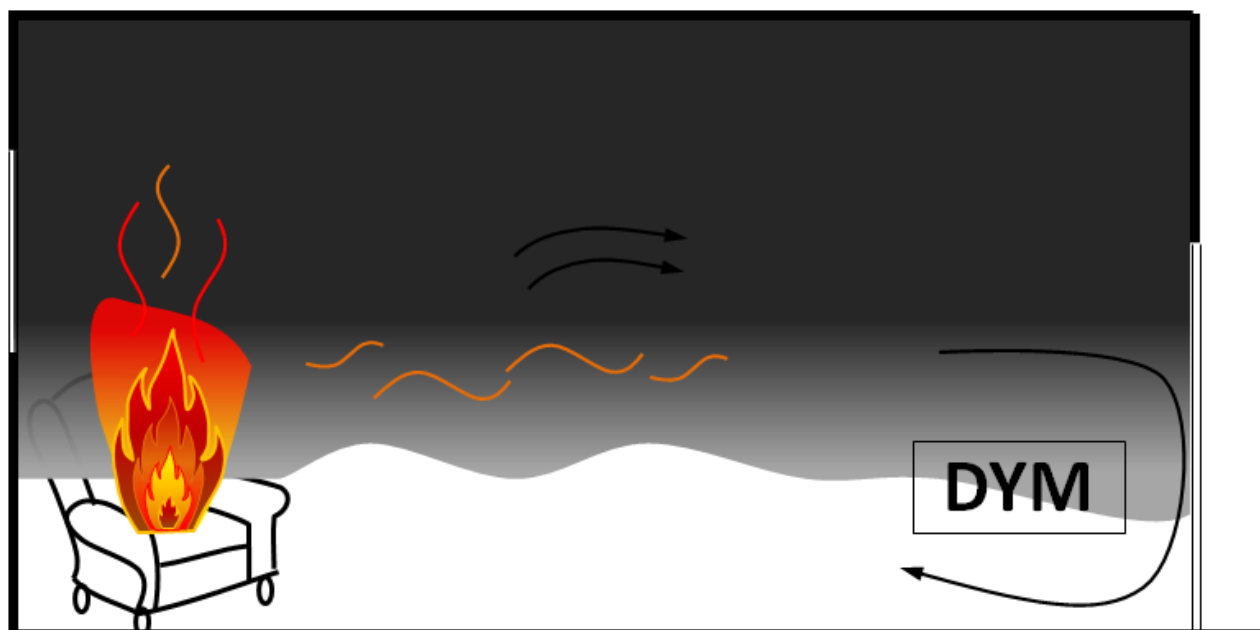
Wentylacja taktyczna to dyktowane obranym zamiarem taktycznym czynności z zakresu wentylacji pożarowej. Zagadnienie jest dokładnie opisane w **rozdziale 5**.

Pożary wewnętrzne to zjawiska oparte na przepływach i ciśnieniach. To kluczowe aspekty, niezbędne do zrozumienia dla

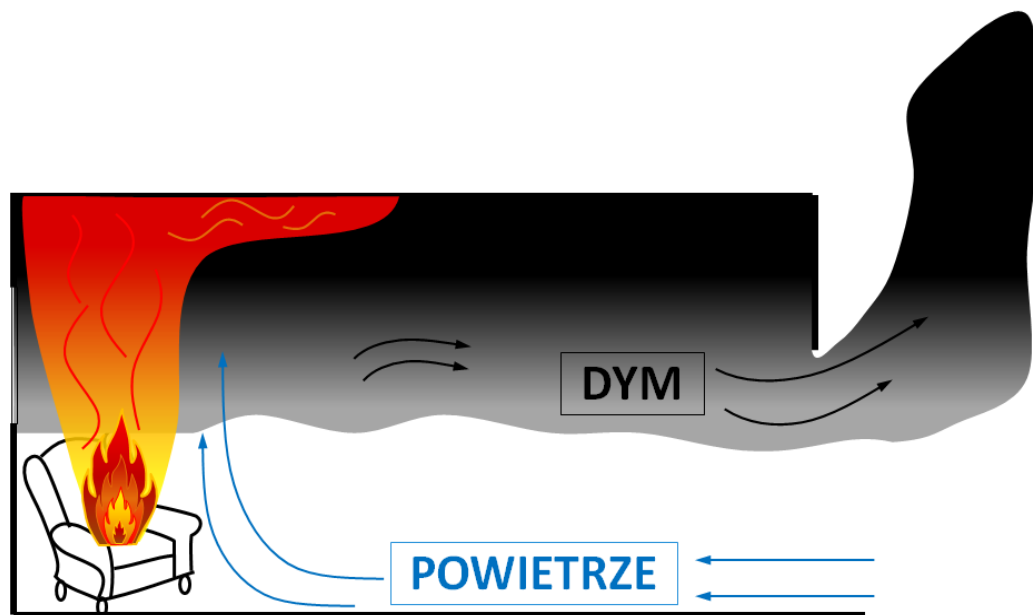
zyskania umiejętności rozpoznawania i zwalczania pożarów. Z uwagi na możliwość zobaczenia dymu, w przeciwieństwie do powietrza, często umiejętność rozpoznawania warunków pożarowych, w tym toru wymiany gazowej, nazywa się „**czytaniem z dymu**”.

Możemy wyróżnić kilka podstawowych rodzajów przepływów, wymienionych poniżej. Pamiętajmy, że w rzeczywistości mogą występować przepływy **jednotorowe i wielotorowe** przebiegające zarówno **w pionie jak i w poziomie**. Mogą również występować różne konfiguracje wymienionych poniżej przepływów. Zazwyczaj mamy do czynienia z:

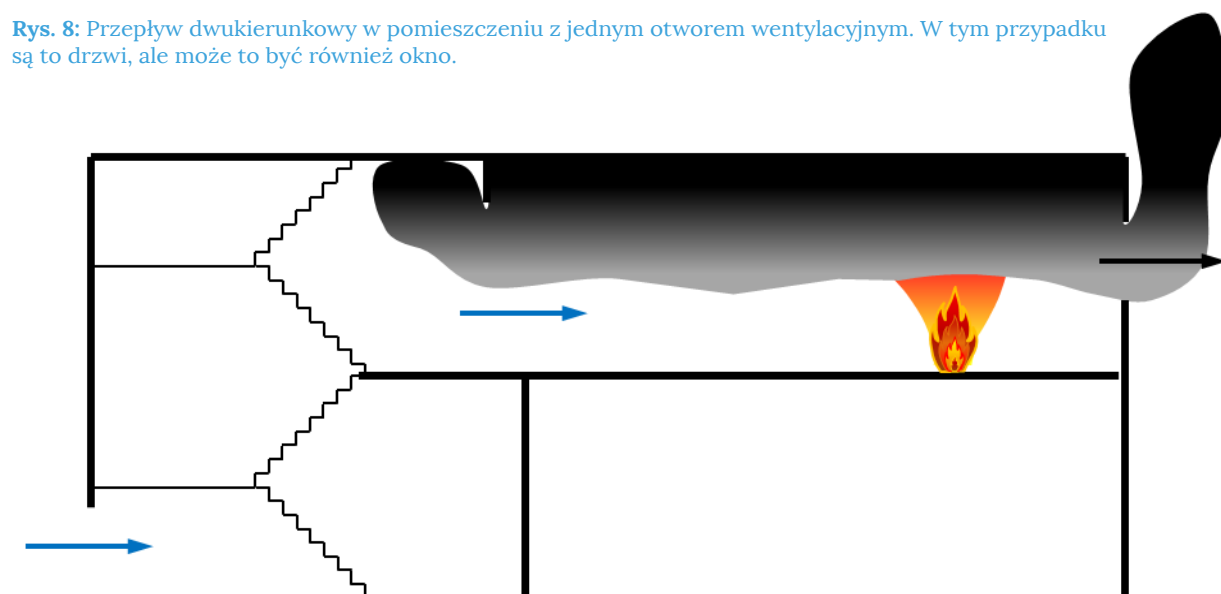
- Brakiem przepływu (odizolowane ognisko pożaru);
- Przepływem jednokierunkowym (występuje więcej, niż jeden otwór wentylacyjny);
- Przepływem dwukierunkowym (występuje jeden otwór wentylacyjny);
- Przepływem wymuszonym (przez wentylator, prąd rozproszony lub wiatr).



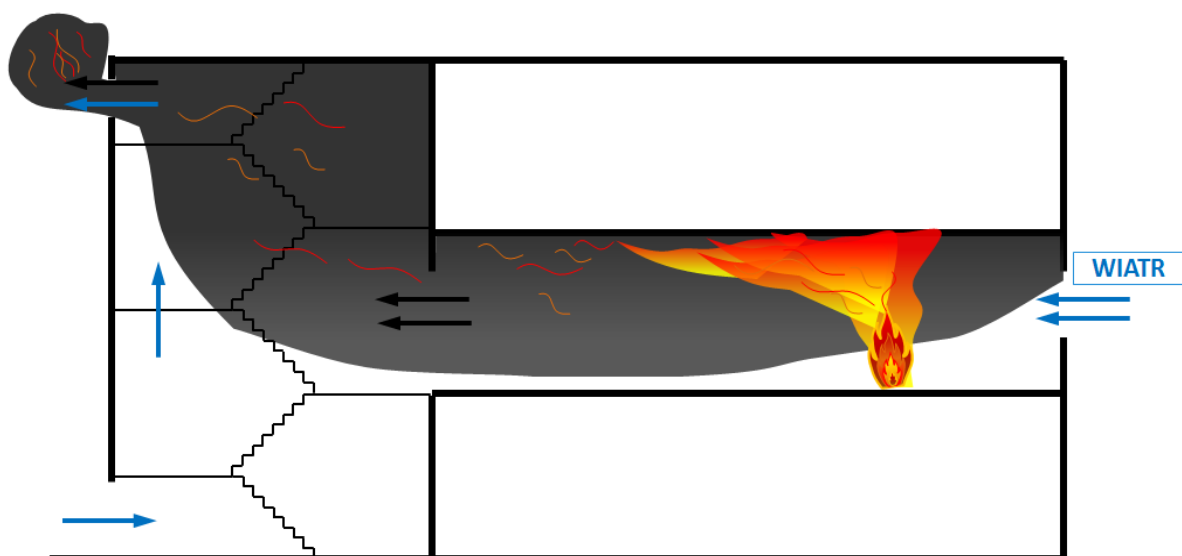
Rys. 7: Brak przepływów w zamkniętym pomieszczeniu (brak wymiany gazowej).



Rys. 8: Przepływ dwukierunkowy w pomieszczeniu z jednym otworem wentylacyjnym. W tym przypadku są to drzwi, ale może to być również okno.



Rys. 9: Przepływ jednokierunkowy w budynku z otworem wlotowym usytuowanym niżej od otworu wylotowego.



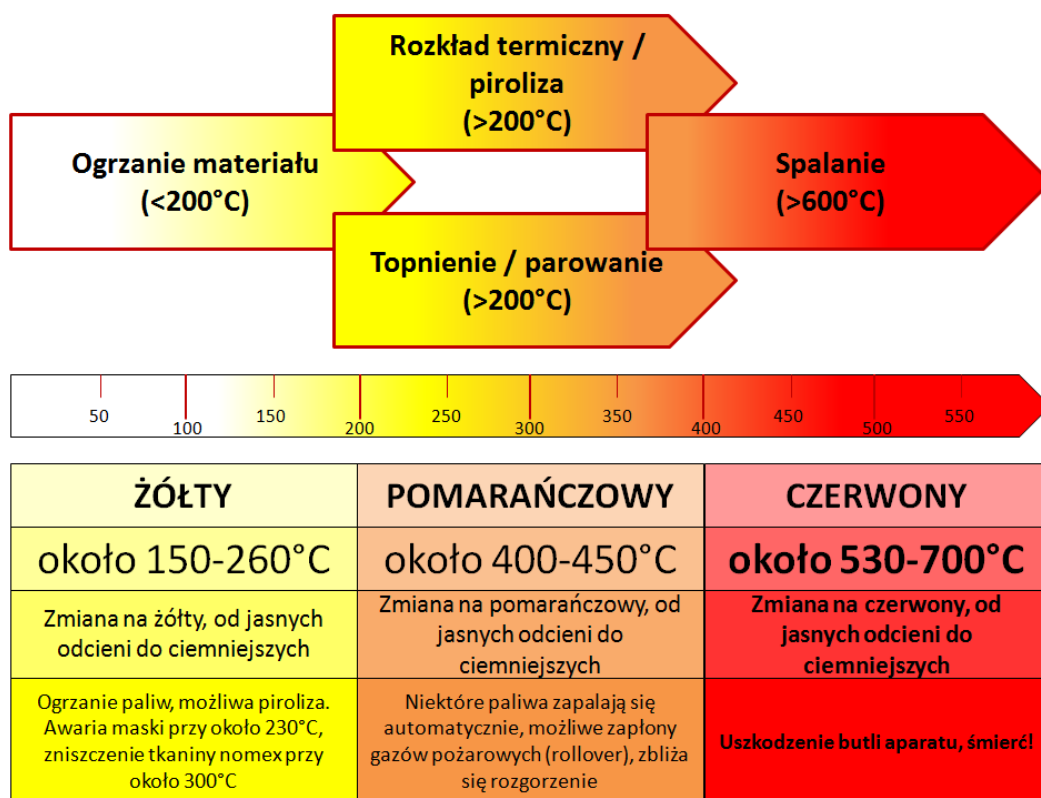
Rys. 10: Przepływ wymuszony w obiekcie w wyniku oddziaływania silnego wiatru.

Wspomniano wcześniej o zjawiskach, które mogą zachodzić podczas pożarów wewnętrznych. Mając na uwadze mechanizmy przebiegu, zjawiska pożarowe dzielimy na 3 kategorie: **rozgorzenie**, **wsteczny ciąg płomienia** oraz **zapłon gazów pożarowych** (zobacz rys. 6). Aby lepiej zrozumieć te zjawiska przyjrzyjmy się najpierw etapom spalania ciał stałych.

Na początku materiał poddany oddziaływaniu energii cieplnej (w drodze promieniowania lub konwekcji) **ogrzewa się**, czyli zwiększa swoją temperaturę – najpierw na powierzchni, a następnie w wyniku przewodzenia również w głębszych warstwach. Zależnie od swoich właściwości każdy materiał wchłonie inną ilość ciepła, aby podnieść temperaturę jednostki masy o 1°C. Tak więc nagrzewanie się różnych materiałów będzie cechą specyficzną – jedne nagrzeją się szybciej, inne wolniej. Nie wszystkie są też w stanie się zapalić: np. metal wchłania ciepło

stosunkowo łatwo, ale niemal niemożliwe jest jego zapalenie (wymaga nadzwyczajnie intensywnego nagrzewania).

Po osiągnięciu pewnej temperatury energia zgromadzona w cząsteczkach ciała stałego zaczyna zrywać wiązania między atomami. Następuje nieodwracalny rozkład chemiczny pod wpływem ciepła – lub inaczej **rozkład termiczny**. Powstają gazowe produkty rozkładu. Jeśli ten proces przebiega bez obecności tlenu, co jest możliwe, wówczas proces ten nazywamy **pirolizą**. Piroliza często zachodzi w pożarach wewnętrznych, gdzie dostęp tlenu bywa utrudniony. Dla większości ciał stałych, proces pirolizy przebiega w temperaturach od około 150°C do około 300°C. [1] Produkty pirolizy to uwolnione i nagrzane węglowodory, zawierające nadal całą energię i gotowe do spalania. **Produkty pirolizy są dużym zagrożeniem**. Te gazy są często bagatelizowane z uwagi na zazwyczaj jasną barwę myloną z parą wodną.



Rys. 11: Etapy spalania ciał stałych oraz odpowiadające im przybliżone wartości temperatur, a także uproszczona interpretacja palety barw najczęściej spotykanych na rynku kamer strażackich termowizyjnych (opracowanie własne na podstawie [1, 15, 16])

²Mowa o zasadniczym zakresie temperatur. Piroliza w niewielkim zakresie dla wybranych materiałów przebiega również poza tymi granicami temperaturowymi.

Jeśli ciała stałe ulegające nagrzaniu są pochodzenia syntetycznego, to będą miały tendencję do topienia się i parowania, a nie zwęglania, jak w przypadku ciał organicznych.

Dalsze nagrzewanie ciał powoduje osiągnięcie stanu palności. Już przy około 400-500°C gazy są w stanie zapalić się od niewielkiego bodźca energetycznego (żar, mały płomień, iskra). Od około 600°C następuje tzw. **samozapłon**, czyli samorzutne zapoczątkowanie reakcji spalania w wyniku nagromadzenia energii cieplnej i przekroczenia temperatury samozapłonu, charakterystycznej dla różnych paliw. Opisane tu 3 stadia i podane w nich wartości temperatur mają jedynie charakter orientacyjny.

Na powyższym rysunku pokazane są opisane etapy spalania ciał stałych. Kolorem zaznaczono przybliżone barwy, jakie będzie pokazywać większość dobrej jakości kamer termowizyjnych dostępnych na rynku. Dla ułatwienia dodano też skalę liczbową. Podane informacje są właściwe dla **niskiego trybu czułości** kamer termowizyjnych, posiadających więcej, niż jeden tryb. Są to **uproszczone wskazówki do szybkiej interpretacji wskazań**, a nie dokładne wartości służące do wyciągania daleko idących wniosków. Należy dokładnie przeczytać **instrukcję obsługi danego modelu** użytkowanej kamery, aby zweryfikować paletę używanych barw i orientacyjne wartości. Pamiętajmy też, że kamery termowizyjne **nie mierzą temperatury**, a jedynie szacują jej przybliżone wartości w określonym miejscu obrazu termograficznego na wyświetlaczu. Skala temperatur zależeć będzie od producenta i modelu kamery. Są to zatem wskazówki uśrednione, służące utrzymaniu orientacji sytuacyjnej przy korzystaniu z kamer termowizyjnych.

Wróćmy do zjawisk pożarowych. Jeśli w pomieszczeniu dochodzi do rozwoju pożaru poza stadium początkowe i występuje

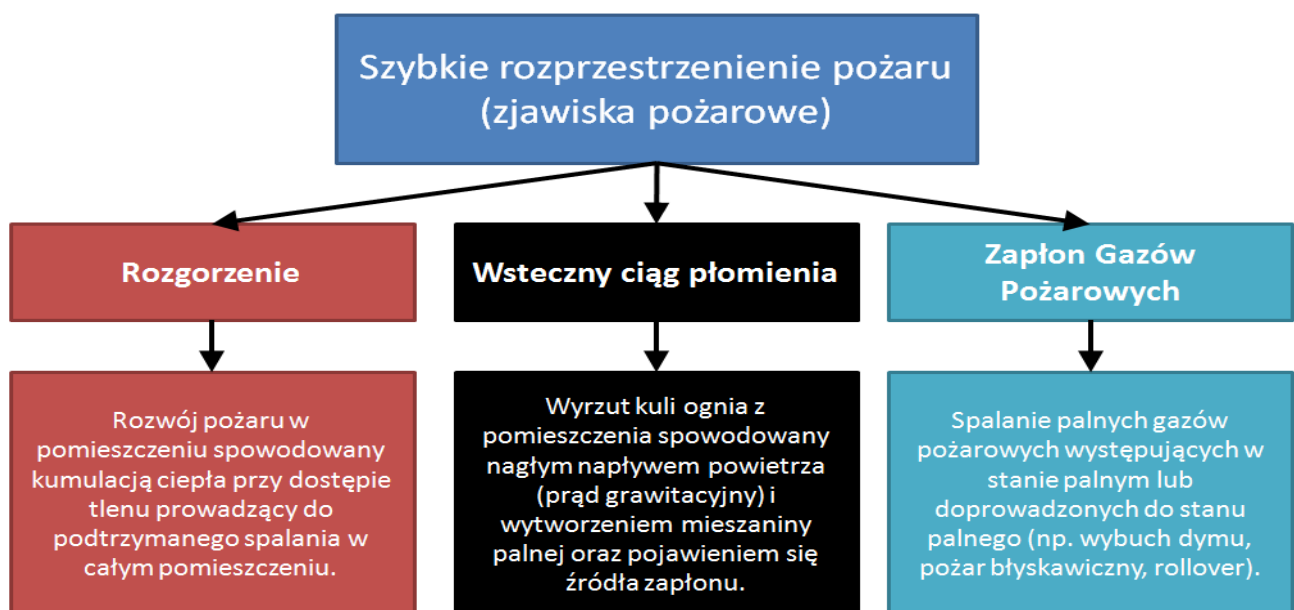
dostęp tlenu to ilość ciepła produkowanego w procesie spalania i transportowanego do zgromadzonych w pobliżu paliw będzie rosła. W pewnym momencie zacznie rosnać lawinowo, kiedy występować będzie coraz bardziej intensywna emisja produktów rozkładu termicznego i pirolizy. Lawinowy wzrost strumienia promieniowania cieplnego doprowadzi do spalania się gazów pożarowych w strefie podsufitowej, a to spowoduje błyskawicznie niemal jednoczesne zajęcie się ogniem wszystkich powierzchni palnych w pomieszczeniu. Takie zjawisko nazywamy **rozgorzeniem**, a jego przyczyną jest intensywna produkcja ciepła spowodowana ciągłym dostępem powietrza do strefy spalania (krzywa numer 3 na **rysunku 6**). Możliwe jest też, że dojdzie do stłumienia spalania (np. ewakuująca się osoba zamknie za sobą drzwi). Ich ponowne otwarcie może spowodować różne skutki. Jednym z nich może być **rozgorzenie wywołane wentylacją**. Uwaga – również nieuważni strażacy mogą doprowadzić do tego zjawiska!

W innym przypadku może dojść do znacznego nagrzania wnętrza i rozpoczęcia pirolizy większości znajdujących się w nim paliw, zanim dojdzie do braku powietrza. Ponownie może to być spowodowane zamknięciem drzwi do tego pomieszczenia, ale czasem w dużych pomieszczeniach występuje wystarczająca ilość powietrza, aby do tego stopnia nagrzać wnętrze. Inna możliwość to sytuacja małego pomieszczenia, w którym występują nieszczelności dostarczające niewielkie ilości powietrza podtrzymującego proces spalania o małej dynamice. Otwarcie drzwi do takiego pomieszczenia spowoduje wystąpienie wymiany gazowej: górą wydostawać się będą gazy pożarowe, a dołem zassane zostanie powietrze (wylatujący dym dodatkowo zwolni miejsce w pomieszczeniu wzmagając owo zassanie powietrza). Taki ruch powietrza do

wnętrza nazywamy **prądem grawitacyjnym**. Porównywany jest wyglądem do swoistego tunelu, jaki zrobiłaby w dymie kopnięta w tamtą stronę piłka. Następuje przepływ dwukierunkowy, a na styku dwóch przeciwstawnych strumieni dochodzi do turbulencji i mieszania niespalonych produktów pirolizy (węglowodorów) z powietrzem. Kiedy prąd grawitacyjny dociera w głąb pomieszczenia i napotyka źródło zapłonu, wówczas dochodzi do spalania w obszarze mieszaniny dymowo-powietrznej, która ma odpowiednie stężenie w zakresie palności (pomiędzy DGW i GGW). Płomień wędruje w stronę otworu wlotowego przyspieszając. Tuż na zewnątrz znajduje się kula mieszaniny dymowo-powietrznej, która także ulega spalaniu. Zjawisko wygląda jak wrzut kuli ognia z pomieszczenia, a jego dynamika jest duża. Nosi nazwę **wstecznego ciągu płomienia**. Zatem jego mechanizm polega na obecności dużej ilości paliw gazowych, wykonaniu otworu wlotowego i dopuszczeniu powietrza, które miesza się z paliwem, a następnie dochodzi do zapłonu i wyrzutu płomienia na zewnątrz.

Ostatnim zjawiskiem jest **Zapłon Gazów Pożarowych**. Jest to właściwie grupa zjawisk,

które nie pasują do opisu rozgorzenia, ani wstecznego ciągu płomienia. Ogólne mówiąc ZGP to spalanie pewnej ilości gazów palnych istniejących w stanie palnym lub doprowadzonych do stanu palnego. Stan palny gazów osiągany jest przede wszystkim przez ich odpowiednie stężenie w mieszaninie z powietrzem. Zatem albo gazy pożarowe już są wymieszane z powietrzem i następuje zapłon, albo mieszają się w trakcie spalania. W pierwszym przypadku, zwanym **spalaniem kinetycznym**, dynamika jest bardzo duża, a także występują znaczne przyrosty ciśnienia, zdolne niszczyć elementy budynku i powodować poważne obrażenia u ludzi. Zjawisko ma charakter wybuchowy – np. **wybuch dymu**. W drugim przypadku dochodzi do zapłonu i wędrowki płomienia przez pewną objętość mieszaniny, w miarę jak gazy mieszają się z powietrzem. Jest to **spalanie dyfuzyjne** i przebiega z mniejszą dynamiką. Przykładem są płomienie w warstwie podsufitowej w niektórych fazach rozwoju pożaru. Słowo „dyfuzja” jest naukowym terminem oznaczającym w uproszczeniu mieszanie.



Rys. 12: Zjawiska pożarowe (szybkie rozprzestrzenienie pożaru). [17]

4. WENTYLATORY I SPRZĘT POMOCNICZY

Jak wspomniano we wstępie postęp technologiczny powoduje, że na rynku dostępnych jest coraz więcej urządzeń, a ich jakość i funkcjonalność wciąż ulega poprawie. Na początku wentylatory wykorzystywane w strażach pożarnych nie różniły się znacznie od siebie. Z czasem zaczęły się pojawiać różne wersje sprzętu, odpowiadające całemu wachlarzowi strażackich potrzeb. W tym rozdziale omówione zostaną cechy charakterystyczne różnych jednostek sprzętowych dostępnych na rynku.

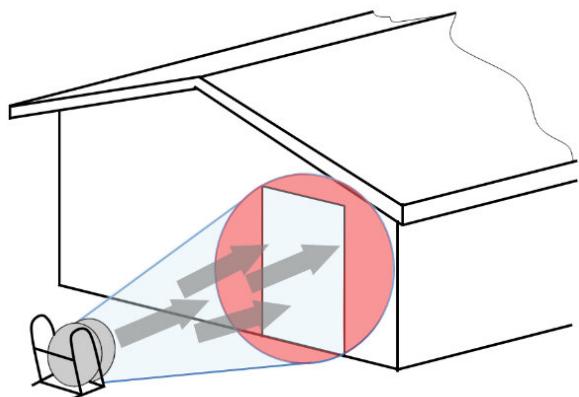
Pod koniec lat 80-tych powstały wentylatory spalinowe do napełniania balonów na nagrzane powietrze w ramach przygotowania do lotu. Wprowadzenie tej metody podniosło znacznie bezpieczeństwo i obniżyło liczbę pożarów, do jakich często dochodziło podczas takich przygotowań. Tym wynalazkiem wkrótce zainteresował się departament w Kern County w Kalifornii. Strażacy zaczęli prowadzić próby z wykorzystaniem wentylacji nadciśnieniowej po ugaszeniu pożaru, co znacznie pomogło w oddymianiu obiektu. Znane już i używane w straży były wentylatory wyciągowe. Ich potrzeba wynikała z konieczności oddymiania przestrzeni pozbawionych okien np. piwnic. Podczas swoich prób strażacy szybko doszli do wniosku, że **wentylacja nadciśnieniowa** jest kilkukrotnie bardziej skuteczna od **wentylacji podciśnieniowej**. Następnie wypróbowali technikę **natarcia nadciśnieniowego** podczas prawdziwego zdarzenia, dzięki czemu uratowali dzieci z płonącego budynku. [18] Wypada dodać, że wentylacja nadciśnieniowa jest o wiele bardziej rozpowszechniona, niż wentylacja podciśnieniowa. Od tamtej pory technika i taktyka

działania rozpowszechniła się na całym świecie, a technologia wciąż rozwija się, oferując m.in. jednostki akumulatorowe. Wprawdzie ustępują parametrami jednostkom spalinowym, ale też oferują przewagę w niektórych aspektach. Należy spodziewać się, że z upływem czasu będą to segmenty konkurencyjne. Można się wręcz spodziewać, że technologia akumulatorowa prześcignie napęd spalinowy z uwagi na korzyści, jakie oferuje.

Początkowo wentylatory wykonywane były w podobny do siebie sposób. Nazwijmy je konwencjonalnymi. Wirnik w obudowie z blachy zabezpieczonej kratką napędzany był przez silnik spalinowy, najczęściej umieszczony w jednej osi z wirnikiem, stąd wentylatory nazywano osiowymi. Czasem stosowano przełożenie pasowe, ale powodowało to zazwyczaj zwiększenie gabarytów sprzętu, co jest cechą niekorzystną. Jednak najważniejsza w wentylatorach zawsze była **generowana struga powietrza**.

Wentylatory **konwencjonalne** wytwarzały strugę o kształcie **stożka**. Zaczynała się przy wylocie z wirnika i rozszerzała w miarę oddalania od niego. Rozsądek podpowiadał, że najbezpieczniej jest unikać cofania się dymu podczas wentylacji, dlatego wentylatory ustawiano tak, aby stożek szczelnie obejmował cały otwór wlotowy (najczęściej drzwi). Zastanawiając się nad tą techniką łatwo dojść do wniosku, że w ten sposób część strugi generowanej przez wentylator nie docierała do wnętrza, a zatem faktyczna skuteczność (wydajność) była niższa od teoretycznej.

Z czasem zaczęto tworzyć wentylatory, które generowały coraz bardziej uporządkowaną strugę o większej prędkości przepływu tłoczonego powietrza. Uzyskiwano to za pomocą kształtu łopat wirnika oraz

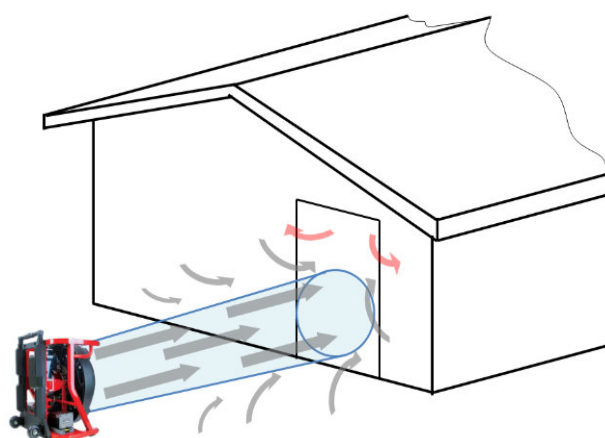


Rys. 13: Wentylatory konwencjonalne wytwarzają strugę w kształcie stożka

osłony, a także poprzez dodanie specjalnych elementów aerodynamicznych prostujących strugę (w aerodynamice zwanych kierownicami). W efekcie generowana struga zaczęła bardziej przypominać **walec**, niż stożek. Tego typu wentylatory zostały nazwane **turbowentylatorami**. Dzięki osiągnięciu większych prędkości strugi można było przeciwdziałać w pewnym stopniu cofaniu się dymu w otworze wlotowym, co jest zjawiskiem występującym praktycznie zawsze, w szczególności przy stosowaniu wentylatorów typu turbo (mniejsza średnica strugi). W porównaniu z wentylatorami konwencjonalnymi tłoczą one więcej powietrza, ale również powodują większe turbulencje i mieszanie wewnątrz pomieszczeń. Nie zawsze jest to korzystne, bowiem prowadzi na ogół do gruntownego wymieszania zadymionej strefy podsufitowej i wolnej od dymu strefy powietrza. Z drugiej strony tego typu wentylatory są na ogół bardziej wydajne (objętość powietrza w czasie [m³/h]).

Czy to oznacza, że stosowanie wentylatorów typu turbo wiąże się z ryzykiem

cofania się dymu w górnej części otworu wlotowego? I tak i nie. Cofanie się dymu występuje praktycznie zawsze, niezależnie od rodzaju użytego wentylatora i miejsca jego ustawienia. Różni się tylko intensywnością i czasem trwania. [10] Obserwując



Rys. 14: Wentylatory turbo wytwarzają strugę zbliżoną kształtem do walca.



Konstrukcja elementów aerodynamicznych powodująca ukształtowanie strugi: wirnika, obudowy i kratki zabezpieczającej, tzw. „grilla”. (fot. SKG)

charakterystykę wypływu dymu na zewnątrz z tego miejsca (górna część otworu wlotowego) oraz zmiany występujące w trakcie prowadzenia wentylacji, można wywnioskować czy prowadzone działania przynoszą skutek zamierzony czy też odwrotny od niego. Wpływ dymu w otworze

wlotowym może zatem służyć diagnostyce skuteczności prowadzonych działań i nazywany jest „barometrem” wentylacji. [19, 20]

Kolejną różnicą omawianych typów wentylatorów jest też optymalne **ustawienie**. Wentylatory konwencjonalne działają najskuteczniej, kiedy stoją blisko otworu wlotowego. Wówczas są w stanie nie tylko „zmieścić” w otworze wlotowym całą strugę, ale dodatkowo zasysają dodatkowe powietrze wokół tej strugi i tłoczą je do wnętrza znacznie podnosząc skuteczność wymiany gazowej prowadzonej w ten sposób. Utrudnieniem jednak może być mała ilość miejsca do przemieszczania się przez drzwi wykorzystywane do wentylacji. Szczelne objęcie wlotu podstawą stożka wytwarzanej strugi **nie jest warunkiem niezbędnym** skutecznej wentylacji. Tradycyjnie najczęściej wentylator **konwencjonalny** ustawiano w odległości równej wysokości drzwi lub ich przekątnej (2-2,5m). Niedawne badania pokazały, że ustawiając wentylator bliżej, to jest około 1,6 m od wlotu, uzyskuje się korzystniejsze wyniki. [20]

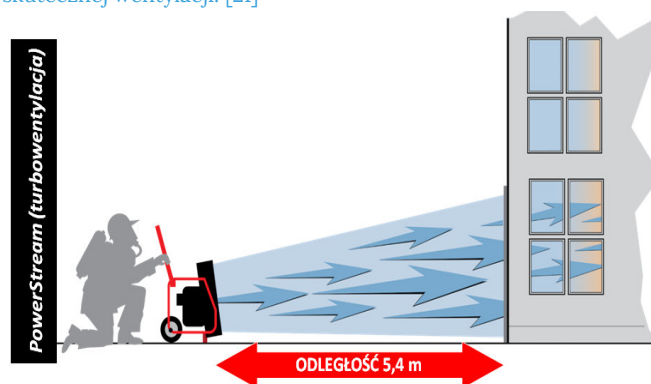
Z kolei wentylatory **typu turbo** działają optymalnie w dalszej odległości od otworu wlotowego. Generowana struga potrzebuje więcej przestrzeni na ukształtowanie przepływu. Zależnie od producenta i modelu odległość ta może wynosić pomiędzy 4, a 6 m. Należy pamiętać, że ustawienie wentylatora w tej odległości może nie zawsze być możliwe (np. przy występowaniu niewielkiego ganku). Bliższe ustawienie wentylatora da zadowalające efekty. To zdecydowana zaleta turbowentylatorów nad wentylatorami konwencjonalnymi.

Oprócz wentylatorów posiadających wirnik, jako element generujący strugę, występują też wentylatory posiadające śmigło. Stanowią one znakomitą mniejszość spotykanych na rynku jednostek sprzętowych. Najpopularniejszym napędem jest **silnik spalinowy**: oferuje zadowalającą

moc i możliwość przestawiania wentylatora w trakcie pracy. Jest natomiast głośniejszy od pozostałych wentylatorów, wymaga wyposażenia jednostki w zbiornik paliwa (dodatkowy ciężar), a także produkuje gazy spalinowe, zdolne do powodowania stężeń tlenu węgla



Rys. 15: Wentylatory konwencjonalne należy ustawiać w niewielkiej odległości od wlotu w celu podniesienia skuteczności, jednak wiąże się to z utrudnieniem komunikacji. Szczelne objęcie wlotu podstawą stożka wytwarzanej strugi nie jest warunkiem niezbędnym skutecznej wentylacji. [21]



Rys. 16: Wentylatory typu turbo, dla optymalnego efektu, należy ustawiać w większej odległości, np. powyżej 5m od wlotu. Czasem jednak może nie być wystarczającej ilości miejsca. Tegu typu wentylator sprawdza się dobrze również ustawiony bliżej otworu wlotowego. [21]

CO na poziomie około kilkudziesięciu ppm CO. Ekspozycja na ten gaz w takich stężeniach nie jest bezpośrednim zagrożeniem życia, lecz badania dowodzą związku pomiędzy przewlekłą ekspozycją na tlenek węgla, a chorobami neurodegeneracyjnymi. [22, 23, 24] Silniki stosowane w wentylatorach przenośnych mają zazwyczaj moc od około 2 koni mechanicznych (Hp) do około 6 koni mechanicznych. Mocniejsze jednostki wentylatorowe, które – z uwagi na ciężar i

rozmiary – są przewożone na specjalnych przyczepach, napędzane są silnikami o mocach rzędu około 8-18 Hp.

Innym rodzajem napędu jest **napęd elektryczny**. Można tu spotkać wentylatory zasilane z sieci o różnych napięciach (230V, 115 V), jak również zasilane z baterii akumulatorowych. Ten drugi rodzaj sprzętu jest również zasilany z sieci elektrycznej. Najbardziej uniwersalne wentylatory oferują jednoczesną możliwość napędzania wentylatora z sieci przy jednoczesnym ładowaniu baterii akumulatorowych. Do zalet sprzętu elektrycznego należy z pewnością niższy hałas generowany przez silniki elektryczne oraz brak spalin. Zazwyczaj są to jednostki o małym ciężarze i rozmiarach, co ułatwia ich stosowanie. Mogą też w przeciwieństwie do wentylatorów spalinowych pracować w atmosferze dymu. Z tego powodu bardzo często są to wentylatory łączące funkcję nadmuchową z funkcją wyciągową (zasysanie i wyrzucanie dymu wędrującego przez wirnik wentylatora). Ta funkcjonalność ma jednak pewną wadę: wentylator brudzi się i nie sposób go wyczyścić. Kolejne trudności w użytkowaniu wentylatorów elektrycznych mogą wynikać z ograniczeń czasu pracy akumulatorów, ograniczeniu mobilności w przypadku zasilania z sieci elektrycznej, jak również konieczności odpowiedniego dbania o baterie. Jak pokazuje praktyka, ten ostatni element wymaga jeszcze pewnej dozy edukacji i wysiłku w tworzeniu poprawnych nawyków.

Kolejnym spotykanym rodzajem napędu jest **napęd wodny**. Wentylator jest podłączany do odcinka linii wężowej, a płynąca woda napędza wirnik i wraca do zbiornika (lub w inne miejsce, w które zostanie skierowana). Wentylatory te są ciche i osiągają duże wydajności tłoczonego powietrza, jednak po rozpoczęciu pracy są praktycznie nie do ruszenia, aż do zakończenia pracy i opróżnienia linii wężowych.

Niezwykle istotnym parametrem wentylatorów są **rozmiary oraz waga**. Rozmiary są zależne przede wszystkim od średnicy wirnika. Najczęściej spotykane średnice wirników zawierają się w przedziale od 40 do 50 cm. Duże i mocne jednostki mają większe średnice, ale jednocześnie ich waga jest większa. Przepisy BHP podają wartości wagi ciężarów, jakie wolno przenosić ręcznie. Masa przedmiotów podnoszonych i przenoszonych przez jednego pracownika nie może przekraczać:

- dla kobiet – 12 kg przy pracy stałej oraz **20 kg przy pracy dorywczej**;
- dla mężczyzn – 30 kg przy pracy stałej oraz **50 kg przy pracy dorywczej**. [25]

Ten sam akt prawny zawiera więcej szczegółów na temat ręcznych prac transportowych.

Przez pracę dorywczą rozumie się ręczne przemieszczanie przedmiotów, ładunków lub materiałów, nie częściej niż 4 razy na godzinę, jeżeli łączny czas wykonywania tych prac nie przekracza 4 godzin na dobę. Jest to tryb pracy odpowiadający częstotliwości przenoszenia wentylatorów przez strażaków. Należy pamiętać, że jednostki cięższe niż 50 (20) kg nie powinny być przenoszone przez 1 strażaka. Niezależnie od tego trzeba zaznaczyć, że ciężar zbliżony do 50 kg, nawet jeśli dopuszczony, może spowodować kontuzję, a z pewnością nie jest ergonomiczny. Nawet jeśli strażak jest wysportowany i ma siłę, aby przenosić ważyący niespełna 50 kg wentylator, to należy pamiętać, że z pewnością nie będzie to jego jedyne zadanie ma miejscu zdarzenia, a siły przydadzą się do innych czynności. Jak mówi znane porzekadło: „**Pracuj mądrze, a nie ciężko**”.

Rozmiary i waga wentylatora są o tyle ważne, że definiują łatwość wydobycia

wentylatora ze skrytki, a zatem wpłyną na to, czy wentylator będzie mógł być używany przez strażaków już od pierwszego momentu zdarzenia, jeśli zajdzie taka potrzeba. Dlatego produkowane są coraz lepsze jednostki z doskonalszych materiałów.

Kolejnym ważnym parametrem jest **hałas**. Przebywanie w pobliżu wentylatora niemal zawsze zakłóci komunikację na miejscu zdarzenia. Hałas jest też czynnikiem uciążliwym oraz bywa przyczyną pogorszenia zmysłu słuchu, szczególnie przy długotrwałej ekspozycji. Dlatego warto analizować również ten aspekt działania sprzętu. Rozwiązania o napędzie akumulatorowym czy wodnym oferują tu znaczne korzyści nad jednostkami spalinowymi.

Na koniec – choć sprawa jest kluczowa – trzeba poruszyć kwestię **wydajności**. Jest ona nierozdzielnie powiązana z jakością elementów aerodynamicznych, czyli generujących przepływ: wirnika, obudowy i elementów dodatkowych kształtujących strugę. Skoro zadaniem wentylatorów jest generować przepływ lub nadciśnienie w danej kubaturze, to powinny być one bardzo starannie zaprojektowane. Producenci najlepszych wentylatorów zatrudniają inżynierów specjalistów od aerodynamiki i technologii materiałów, prowadzą badania naukowe, a także testy w samodzielnie tworzonych stanowiskach badawczych. W przeciwnym razie niemal niemożliwe jest stworzenie dobrej jakości wentylatora, bowiem mimo pozornej prostoty działania, zjawiska towarzyszące generowaniu przepływów do skutecznej wentylacji są niezwykle złożone. Mechanika płynów (a gazy takie jak powietrze czy dym są w fizyce traktowane jako płyny z uwagi na zdolność do przepływania) jest jedną z najbardziej złożonych dziedzin fizyki, w szczególności kiedy chodzi o przepływy turbulentne gazów o różnych składach chemicznych, temperaturach i gęstościach. A takim właśnie królestwem chaosu

i przypadkowości próbujemy zarządzać jako strażacy, stosując wentylację pożarową! Dlatego warto oceniać proponowane rozwiązania przez pryzmat profesjonalizmu, z jakim podchodzi się do ich tworzenia. Uporządkowanie przepływu w strudze i nadanie tłoczonej masie powietrza odpowiedniego pędu (pęd jest wypadkową masy i prędkości liniowej) jest zagadnieniem kluczowym dla skuteczności wentylacji. Stąd bierze się tzw. **siła ciągu** wentylatora, dzięki której jest on w stanie skutecznie przemieszczać powietrze i tłoczyć je do wnętrza, by zastępowało dym i gazy pożarowe. Całość ma znaczenie dla wydajności wentylatora.

Wydajność wentylatorów jest wypadkową kilku elementów: mocy silnika wpływającej na prędkość obrotową wirnika, średnicy wirnika, a także jakości i dbałości, z jaką zaprojektowano i wykonano elementy aerodynamiczne, które nadają strudze kierunek, a przez to – pęd. Sama wydajność nie jest parametrem, który pozwala porównać jednostki sprzętowe. Istnieją wentylatory, które posiadają teoretycznie większą wydajność deklarowaną przez producenta, niż jednostki innego producenta, a w bezpośrednim porównaniu wypadają znacznie gorzej. Dlaczego tak się dzieje? Po pierwsze przez uznaniowość, z jaką producenci podają wydajności swoich wentylatorów. Zdarza się nawet, że podając wartość powołują się na jednostkę badawczą, a wentylator nie był faktycznie w niej zbadany! Po drugie, jak wspomniano, istotna jest kwestia jakości, z jaką zaprojektowano elementy aerodynamiczne i jak dobrze generują one strugę powietrza, aby ta miała pęd to przetłaczania mas gazów. Prosty test polegający na podaniu dymu parafinowego w strugę tłoczonego przez wentylator powietrza w celu wizualizacji jej kształtu i zasięgu oraz turbulencji, lub wykorzystanie do tego trzymanej w ręku i przemieszczanej tasiemki

lub lekkiego sznurka pozwala na wyrobienie sobie zdania na temat jakości strugi. Dla nas, strażaków, struga musi mieć pęd. Inaczej „cała para idzie w gwizdek”: wentylator tworzący strugę o przepływie burzliwym, mocno wirującą wokół osi działania, generuje turbulencje, struga traci pęd i w efekcie nie jest w stanie pchnąć masy powietrza czy dymu. Dlatego do znudzenia trzeba powtarzać: **nie tylko wydajność, ale**

i technologia tworzenia strugi aerodynamicznej!

Wybierając wentylator przeznaczony do naszych konkretnych potrzeb należy brać pod uwagę wszystkie wymienione w tym rozdziale parametry i aspekty działania. W tabeli 2 zawarto zestawienie wybranych parametrów niektórych wentylatorów jednego producenta.

Model	Napęd / Moc / inne [Hp]	Rozmiary (w/s/g) / Średnica wirnik [cm]	Waga [kg]	Certyfikowana wydajność wg AMCA [m ³ /h]	Hałas (1 m) [dB]
GF 164 SE	Spalinowy 4,6	53x51x43/40	27	19810	96,1
GF 165	Spalinowy 4,8	56x51x51/40	38	21940	96,2
GX 200	Spalinowy 2,1	55x50x51/40	22	21794	91
GX 200L	Spalinowy 2,1	56x47x51/40	16	21760	91
GX 310	Spalinowy 4,8	55x55x50/46	37	28486	100
GX 350	Spalinowy 5,5	55x55x50/46	38	31799	101
GX 400	Spalinowy 6,5	63x64x56/54	40	38250	99
EX50Li	Akumulatorowy / sieciowy 0,8 / 40 V / IP 66	65x53x30/46	20-25	16370	91
EV 400	Sieciowy	57x44x47/40	31	19365	88
EX 400	Sieciowy	57x44x47/40	31	17143	88
XP 420	Sieciowy 1,5 / Ex	57x44x47/40	31	17143	97
EX 500	Sieciowy	60x53x47/46	32	22702	95
XP 500	Sieciowy 1,5 / Ex	60x53x47/46	33	22702	97
WF390L	Wodny (1,0 MPA)	58x43x41/40	27	29610	--
WF540	Wodny (1,0 MPA)	65x63x53/34	34	38154	--

Tab. 2: Zestawienie wybranych parametrów niektórych wentylatorów przenośnych firmy Ramfan (opracowanie własne na podstawie [21]).

Zwróćmy uwagę na jeden z parametrów, używanych do charakteryzowania wentylatorów, jakim jest wydajność tłoczonego powietrza w m^3/h , podawana według klasyfikacji standardu numer 240 amerykańskiej instytucji o nazwie Air Movement Control Association (stąd w kartach katalogowych pojawia się odniesienie do standardu AMCA 240). [26] Najbardziej powszechny w strażach pożarnych jest przedział pomiędzy około 20000-40000 m^3/h dla wentylatorów o napędzie spalinowym. Wiemy też, że zależnie od typu wentylatora i miejsca jego ustawienia część tłoczonego powietrza może nie dostawać się do wentylowanej kubatury (szczególnie w przypadku wentylatorów konwencjonalnych). Z kolei bliższe ustawienie wentylatora względem otworu wlotowego spowoduje zassanie dodatkowego powietrza do wnętrza (efekt Venturiego). W efekcie ilość powietrza tłoczonego do kubatury może się niemal podwoić!

Miarą skuteczności prowadzonej przez strażaków wentylacji nie będzie ilość tłoczonego powietrza – **a ilość wylatującego dymu**. Jest to argument za tym, aby wydajność wg AMCA 240 traktować, jako pewną sugestię. W dosyć prosty sposób natomiast można oszacować ilość wydostającego się powietrza (wydatek – czyli ilość w jednostce czasu). Zależna będzie ona od rozmiarów otworów wylotowych (wartość stała), współczynnika strat ciśnienia (dla konkretnego przypadku jest to również wartość stała) i prędkości gazów w wylocie (wartość zmienna). Zatem mierząc samą prędkość gazów w wylocie można wyrobić sobie zdanie odnośnie wartości bojowej różnych wentylatorów, a także wybrać najlepsze ustawienie konkretnego wentylatora. Tego typu testy przeprowadza się na zimnym powietrzu z uwagi na problemy z pomiarem gorących gazów. [27]

Analizując dostępne na rynku wentylatory różnych producentów można zauważyć, że niektóre jednostki sprzętowe były badane według normy PN-EN ISO 5801, która zawiera odmienną metodologię badania od standardu AMCA 240. [28] Z tego powodu nie można w żaden sposób porównywać wentylatorów, które były badane według tych odmiennych metod. Co więcej, niektórzy producenci podając owe wydajności często nie informują o obranej metodzie badania, co wprowadza dodatkową dezinformację.

Trzeba też podkreślić, że wiele jednostek sprzętowych nie posiada faktycznie certyfikatu z badań wykonanych w AMCA, a podaje jedynie szacowane wartości według tego standardu, wyznaczone metodą ekstrapolacji lub przyjęte uznaniowo. To niezwykle ważne zagadnienia, ponieważ często wydajność podawana jest jako kluczowy parametr przy zakupach sprzętu.

Standard AMCA 240 nie jest być może idealny do badania wentylatorów strażackich pod kątem ich przydatności podczas akcji ratowniczo-gaśniczych, niemniej jest obecnie najbardziej powszechnym badaniem niezależnej instytucji, na które powołują się producenci. Dodatkowo, zapewnia obecnie jedyną możliwość porównania jednostek

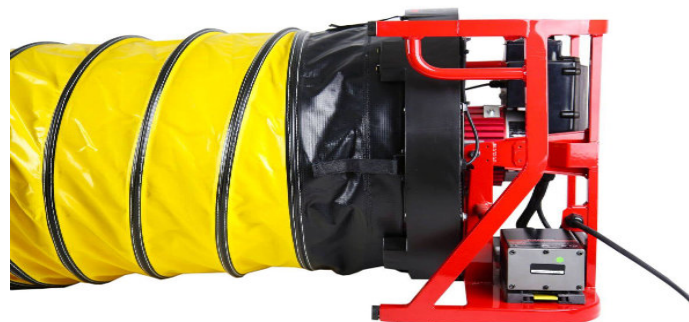


Fot. 2, 3: Wentylatory o napędzie wodnym (po lewej, model WF390L) oraz elektrycznym (po prawej, model EV420). [30]

sprzętowych różnych producentów w sposób gwarantujący spójność prowadzonych testów i uzyskiwanych wyników. Jak mawia inne porzekadło: „**nie porównujemy jabłek z gruszkami**”! Listę rzeczywiście wydanych certyfikatów z badań wentylatorów można znaleźć na www.amca.org. [29]

Wentylatory dostępne na rynku posiadają szereg przydatnych elementów wyposażenia dodatkowego. Wśród najbardziej przydatnych dodatkowych elementów wyposażenia można wymienić rękawy pozwalające na kierowanie strugi w pożądane miejsca i drążki służące do podwieszania wentylatorów posiadających funkcję wyciągu.

Ważnym elementem wyposażenia w wentylacji taktycznej stała się w ostatnich latach **kurtyna dymowa**. Jest to opatentowane urządzenie, stworzone przez Dr Michaela Reicka z Niemiec. Dokumenty



Fot. 4: Sztywny rękaw stanowiący dodatkowe akcesorium do prowadzenia wentylacji w trudno dostępnych miejscach. [21]



Fot.5: Drążek do podwieszania wentylatora z funkcją wyciągową w górnej części futryny drzwi, stanowiący dodatkowe akcesorium do prowadzenia wentylacji. [21]

patentowe opisują je w następujący sposób:

„Wynalazek związany jest z przenośnym urządzeniem do kontroli dymu i ochrony przed ogniem w budynkach oraz z metodą zapobiegania rozprzestrzenianiu się dymu i ognia w obiektach budowlanych”. [33]

Przenośne urządzenie do kontroli dymu i ochrony przed ogniem w budynkach. Urządzenie składa się z podzespołu uszczelniającego, który może być zastosowany w otworze wykonanym w ścianie, suficie lub podłodze, można go dopasować do tego otworu kształtem oraz rozmiarem i zapewnia co najmniej jedno przejście dla osób i narzędzi strażackich itp. Przejście to może być przynajmniej częściowo przykryte. [32]



Fot. 6: Drążek pozwala na łatwe umieszczenie wentylatora (tu model Ramfan EX50Li) bliżej górnej krawędzi otworu, gdzie przepływają gorące gazy. W dolnej części może swobodnie napływać powietrze.

Urządzenie składa się z ramy dopasowującej się do szerokości ościeżnicy drzwi lub okna oraz płachty z materiału niepalnego, zdolnego powstrzymać rozprzeszczenie płomienia przez co najmniej 30 minut.

Podsumowując rozdział warto zamieścić kilka wskazówek odnośnie tego, **jak wybierać wentylator** dostosowany do naszych potrzeb. Trzeba pamiętać, że nie liczy się tylko



Fot. 7: Przegląd kurtyny dymowej przed złożeniem.

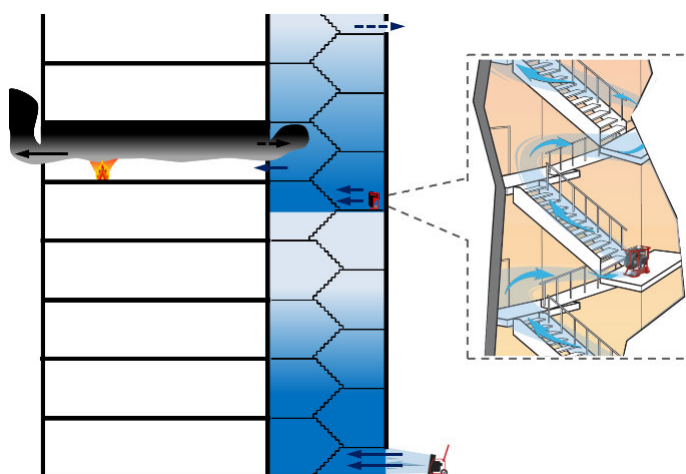


Fot. 8: Kurtyna dymowa ograniczająca wymianę gazową w pożarach wewnętrznych.

wydajność, choć jest niewątpliwie ważnym parametrem. W ślad za nią powinna iść jednak udokumentowana technologia zdolna do wytwarzania uporządkowanej strugi charakteryzującej się docieraniem do wnętrza,

kierunkowaniem przepływu i wypieraniem gazów przez otwory wylotowe.

Jeśli w danej jednostce stosuje się **natarcie naciśnieniowe**, które opisano w kolejnym rozdziale, wówczas należy pamiętać, że wentylator powinien łączyć w sobie cechy wystarczającej wydajności oraz



Rys. 17: Zastosowanie wentylatora akumulatorowego do podniesienia ciśnienia na klatce schodowej. (opracowanie własne na podstawie [21]).

stosunkowo niewielkich rozmiarów i wagi. Jak wspomniano wcześniej, wymiary i waga zdecydują o dogodnym umiejscowieniu wentylatora w samochodzie pożarniczym oraz łatwości szybkiego wyciągnięcia w początkowej fazie działań, gdzie zazwyczaj do tego celu skierowana jest jedna osoba.

Wentylatory o napędzie **elektrycznym** – w tym **akumulatorowe** – sprawdzą się świetnie tam, (ale nie tylko!) gdzie nie ma dymu i nie chcemy tłoczyć spalin do wentylowanej przestrzeni. Napowietrzanie studni to jeden z przykładów. Wentylatory akumulatorowe z uwagi na swoją lekkość, mobilność i możliwość pracy w zadymionej atmosferze, sprawdzą się jako jednostki podbijające ciśnienie na klatkach schodowych w budynkach wysokich czy na długich korytarzach np. w obiektach hotelarskich. Na marginesie, stanowić będą doskonale uzupełnienie każdej prowadzonej wentylacji naciśnieniowej. Jednostki akumulatorowe

świetnie przydadzą się do wyciągania dymu (podciśnienie) z pomieszczeń pozbawionych okien z jednym otworem drzwiowym lub kompleksów piwnicznych, jak też do wyciągu ze studni i podobnych miejsc. Ich kompaktowe rozmiary pozwalają zmieścić dwie jednostki w miejsce jednego większego wentylatora w skrytce pojazdu pożarniczego, więc mając na uwadze specyfikę swojego rejonu chronionego warto rozważyć tego typu konfigurację. Wentylatory o napędzie elektrycznym, dostępne również w wykonaniu Ex (dopuszczone do stosowania w strefach zagrożonych wybuchem), są często stosowane w działaniach ratownictwa chemicznego.

W przypadku obecności dużych kubatur (klatki wieżowców, długie korytarze, hale przemysłowe itp.), może okazać się niezbędne zainwestowanie w większe jednostki sprzę-

towe. Są to często wentylatory przewoźne, czyli jednostki, których waga wymusza ich przewożenie. Oferują ponadprzeciętną wydajność, która często jest jedynym skutecznym rozwiązaniem na odymianie lub obronę nadciśnieniem tego typu obiektów. Rozpoznanie operacyjne rejonu, dobór i rozmieszczenie sprzętu, świadomość zjawisk, umiejętność skutecznej wentylacji, odpowiednie szkolenie strażaków i **ciągle podtrzymywanie kompetencji** to niezbędne elementy skutecznego systemu. Sam zakup sprzętu nie rozwiąże żadnego problemu – natomiast może stworzyć nowe.



Fot. 9, 10: Wentylatory do obiektów wielko powierzchniowych. Po lewej Ramfan GX 500 a po prawej VX700. [21]

5. WENTYLACJA TAKTYCZNA I ZARZĄDZANIE PRZEPIYWAMI

Zarządzanie przepływami ma **taktyczne znaczenie** na miejscu każdego pożaru wewnętrznego. Pożar rozprzestrzenia się w stronę, z której napływa powietrze. W gazach pożarowych, w drodze konwekcji i przejmowania ciepła dochodzi do transportu znacznych ilości ciepła. Szybkość przepływu gazów, czy to powodowana siłami grawitacyjnymi czy też będąca wynikiem wymuszonej wymiany gazowej, wpłynie na ilość ciepła przekazywanego opływającym obiektom. Ograniczanie dopływu utleniacza do strefy spalania spowoduje zatrzymanie produkcji ciepła.

Prowadzenie skutecznej wentylacji pożarowej na miejscu pożaru wiąże się z odpowiednim zrozumieniem zachodzących procesów, tak wśród strażaków, jak i przez dowódcę. To wymusza konieczność przygotowania w formie odpowiednich ćwiczeń, wprowadzenie jasnego podziału ról oraz niezbędną dyscyplinę w realizacji powierzonych zadań. Każdy dowódca musi pamiętać, że wentylacja pożarowa musi mieć swój **jasny cel**:

- 1 Wentylacja dla życia.** Będą to wszystkie czynności z zakresu wentylacji pożarowej prowadzone w celu ułatwienia przeszukania lub uzyskania/ułatwienia dostępu do osób poszkodowanych w pożarze (zadymieniu). Będzie to wentylacja przestrzeni zarówno blisko, jak i daleko ogniska pożaru, realizowana dla zapewnienia jak najszybszej ewakuacji poszkodowanych.
- 2 Wentylacja dla pożaru (warunków pożarowych).** Tego typu działania prowadzone są dla poprawy warunków pracy wewnątrz budynku. Celem realizowanych czynności jest obniżenie temperatury i poprawa widoczności. Zasadniczo działania ukierunkowane są na jak najszybsze ugaszenie pożaru a nie ratowanie osób.
- 3 Wentylacja dla bezpieczeństwa.** Czynności prowadzone w celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy strażaków. Najczęściej zmierza do usunięcia dymu i zmniejszenia zagrożeń podczas wewnętrznych działań gaśniczych. Efektem działań jest poprawa widoczności oraz usunięcie potencjalnych gazów palnych (w tym również „zimnego” dymu).

Mając na uwadze powyższe cele dowódca może zdecydować się na użycie różnych technik w celu realizacji zamiaru taktycznego. Może stosować izolację ogniska pożaru, wentylację grawitacyjną poziomą lub pionową, wentylację wyciągową (podciśnieniową) lub nadmuchową (nadciśnieniową). Zarówno nadciśnienie, jak i podciśnienie można osiągać stosując wentylatory lub rozproszone prądy wody. W tym rozdziale zostaną omówione różne aspekty wyżej wymienionych technik.

W powyższej klasyfikacji można dostrzec 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. Strażacy również powinni rozumieć tę hierarchię i wiedzieć, jaki tryb działania został zarządzony przez dowódcę. Pozwala to utrzymać dyscyplinę w wykonywaniu poszczególnych etapów działania. 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**.

Aby działania były przemyślane i skuteczne należy podejmować decyzje w oparciu o informacje. Zdobywanie informacji podczas interwencji straży pożarnych nazywamy rozpoznaniem. Popularny na świecie model prowadzenia **rozpoznania BE-SAHF** pomaga dowódcom skupić się na najważniejszych elementach rozpoznania. Powstał na początku lat 2000 w Australii, a jego autorem był oficer straży pożarnych, Shan Raffel. Na początku model nazywał się 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”.

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. Upłynęło kilka lat zanim waga problemu została właściwie zrozumiana i przestano kojarzyć owe zdarzenia jedynie z pożarami w budynkach wysokich. **Peter McBride**, oficer z Kanady zaproponował dodanie do modelu kolejnej litery **E** od Environment (środowisko), w celu wyodrębnienia wpływu wiatru z ele-



mentu opisanego, jako tor wymiany gazowej (litera **A** w modelu). Uzasadnieniem jest niezwykle istotny wpływ wiatru na pożary oraz konieczność zwrócenia uwagi na element już od pierwszych chwil obecności na miejscu zdarzenia. [33] 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).

Należy pamiętać, 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. [34] 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, 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.).

Do **rozpoznania 360°** wykorzystywać należy w miarę możliwości kamerę termowizyjną. Pomoże ona wskazać ognisko pożaru, analizować tory wymiany gazowej, szukać osób poszkodowanych itd. 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.

Litera	Znaczenie
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	plomień: widoczność, kolor, miejsce występowania (płaszczyzna neutralna?), bliskość poszkodowanych, itd.

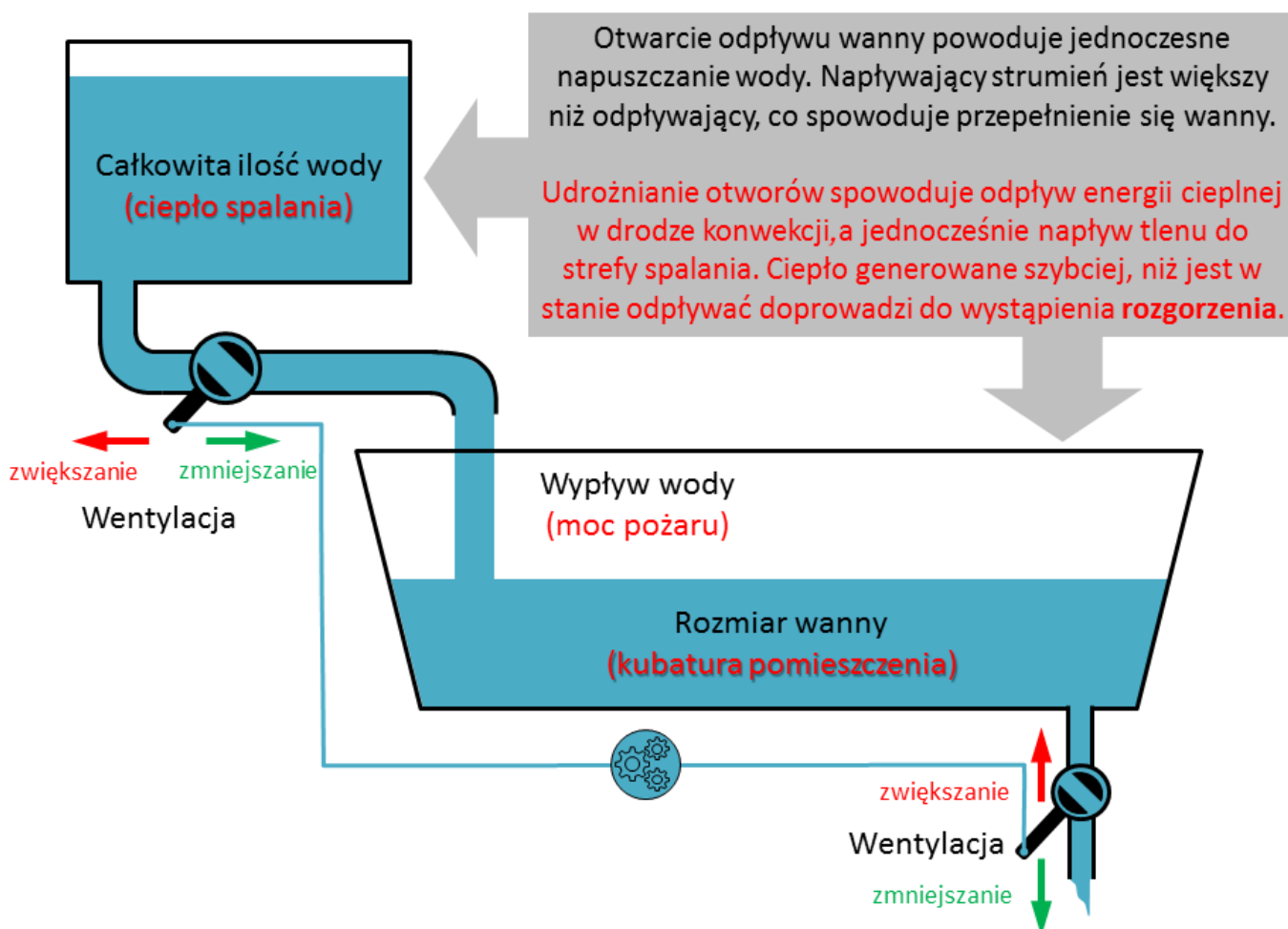
Tab. 3: Elementy procesu rozpoznania metodą BE-SAHF i ich znaczenie. [35]

Przypomnijmy sobie informacje z rozdziału 3. Według Reguły Thorntona umożliwienie dopływu powietrza do strefy spalania spowoduje wydzielanie proporcjonalnych ilości ciepła, a współczesne wnętrza, wypełnione w głównej mierze materiałami syntetycznymi, będą generować znaczne ilości ciepła w krótkim czasie i przechodzić w stan pożaru kontrolowanego przez wentylację lub pożaru nieodwietrzonego. Nie zawsze prowadzenie wentylacji daje taki sam efekt. Dowódca musi sam rozpoznać konkretną sytuację i podjąć na tej podstawie decyzję, zamiast liczyć na powtórkę pozytywnego efektu z kilku poprzednich interwencji.

Coraz częściej spotyka się sytuacje, w których wykonywana z dobrymi intencjami wentylacja pożarowa daje niepożądane skutki. Australijski oficer i instruktor cfbt John McDonough często nazywa ową prawidłowość „paradoksem wentylacji”. Światowej sławy ekspert w dziedzinie gaszenia pożarów wewnętrznych, Ed Hartin ze Stanów Zjednoczonych, na swoim znakomitym blogu naukowym opisuje owo zjawisko. W wielkim skrócie polega ono na

tym, że w pewnym momencie dostarczanie powietrza do pożaru powoduje wydzielanie się większej ilości dymu (i ciepła!) w procesie spalania, aniżeli jesteśmy go w stanie usunąć prowadząc wentylację. Trzeba powtórzyć, jest to m.in. efekt powszechnej obecności materiałów syntetycznych we wnętrzach.

Na poniższym rysunku paradoks wentylacji jest wyjaśniony za pomocą analogii. Wanna napełniana jest wodą (w pomieszczeniu kumuluje się ciepło) w wyniku udroźnienia otworu dopuszczającego wodę z dodatkowego zbiornika (dopuszczanie powietrza do ogniska pożaru i produkcja ciepła). Odpływ wody (ciepło unieszone poza pomieszczenie w drodze konwekcji) nie jest w stanie zapobiec przelaniu się wanny (zjawisko rozgorzenia). Odpływ wody jest mniejszy od dopływu. Tak samo może być z produkcją ciepła.



Rys. 18: Paradoks wentylacji: wpływ dymu i ciepła powoduje napływ powietrza i produkcję jeszcze większych ilości ciepła. (opracowanie własne na podstawie [36]).

5.1. Wentylacja taktyczna

Zrozumienie wagi wymiany gazowej dla pożarów towarzyszyło strażakom i badaczom już dawno temu. James Braidwood udokumentował to w swojej książce wydanej w roku 1866.

“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 boileru, czym otwarte drzwi wejściowe są dla płonącego budynku. W obu przypadkach dostarczają niezbędnego powietrza płomieniom.” [12]

Następca Braidwooda, Sir Eyre Massey Shaw, który kontynuował dzieło swojego poprzednika, również podkreślał znaczenie kontroli nad dostępem powietrza do pożaru:

“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.” [37] w [38]

Podobnie polski inżynier i twórca obrony przeciwpożarowej Józef Tuliszkowski w roku 1909 pisał o tym, jak dostarczanie **powietrza** do niespalonych węglowodorów zawartych w dymie powoduje powstawanie niebezpiecznych zjawisk pożarowych.

„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 dopływie świeżego powietrza łącznie wybuchają płomieniem i mogą niespodziewanie dotkliwie poparzyć niebacznego prądownika.” [39]

Owe profesjonalne spostrzeżenia zawodowych strażaków stanowiły tło badań naukowych. W 1917 r. swoje badania opublikował William Thornton. Dowiódł, że w procesie zupełnego spalania różnych gazów i cieczy pochodzenia organicznego, ilość wydzielanego ciepła jest wprost proporcjonalna do ilości tlenu dostarczonego do strefy spalania. [8] Wiemy, że w pożarach kontrolowanych przez wentylację nie występuje wystarczająca ilość tlenu do spalania. Dochodzi wówczas do spalania niezupełnego i niecałkowitego oraz do tworzenia produktów częściowego utleniania (spalania).

Pod koniec lat 40-tych minionego stulecia japoński uczoney, profesor Kawagoe

wraz ze współpracownikami, przeprowadził pierwsze systematyczne badania rozwiniętego pożaru wewnętrznego. [40] 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 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. Jego badania udowodniły, że mimo większej ilości ciepła pochodzącego ze spalania tworzyw sztucznych, szybkość wydzielania ciepła (moc pożaru) zależy będzie od dostępu tlenu. Potwierdził tym samym wyniki badań Thorntona i wprowadził do użycia pojęcie „Reguła Thorntona”. [41]

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. W obecnych czasach często używa się stwierdzenia zarządzanie ścieżkami przepływu lub zarządzanie przepływami. Owo stwierdzenie dobrze odzwierciedla sedno wentylacji taktycznej. Owe pojęcia można napotkać jako stosowane zamiennie. [38]

W podobnym czasie 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. [42, 43]

W latach 2000-ych UL FSRI (UL Firefighter Safety Research Institute – Instytut Badań nad Bezpieczeństwem Strażaków UL) rozpoczął serię najbardziej zaawansowanych dotychczas 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 z materiałów syntetycznych w miejsce przedmiotów wykonanych z materiałów naturalnych. Badania pozwoliły na dogłębne zrozumienie zjawisk mających miejsce podczas stosowania wentylacji grawitacyjnej poziomej i pionowej, wentylacji nadciśnieniowej oraz izolowania pożaru. [10, 11, 44, 45, 46]

Wszystkie wymienione powyżej „kamienie milowe” taktyki gaszenia pożarów wewnętrznych prowadzą do prostej konkluzji, że wszelkie czynności wpływające na warunki wymiany gazowej mają taktyczne znaczenie i mogą przesądzić o rezultacie całej interwencji.

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. [38]

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. [47]

Ze względu na opisane do tej pory prawidłowości rządzące rozwojem i rozprzestrzenianiem pożarów wewnętrznych, należy stosować się do następujących ogólnych zasad wentylacji taktycznej:

- 1** 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 **antywentylacji**, czyli izolowania pomieszczeń od napływu tlenu z powietrza. Również konieczność ratowania życia ludzkiego jest sytuacją, w której dopuszcza się w określonych okolicznościach odstępianie od wyżej wymienionej zasady.
- 2** Należy zawsze rozważyć **obecność wiatru** oraz jego potencjalny wpływ na wymianę gazową w obiekcie, przed udrożnieniem jakichkolwiek otworów w obiekcie (drzwi, okien itd.).
- 3** 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. Wyjątkiem są zaplanowane i spodziewane czynności, wynikające z przeciwiczonych scenariuszy działania, wdrażanych na polecenie dowódcy.
- 4** Każda wentylacja powoduje przepływy – niezbędne jest posiadanie klinów lub innych przyrządów do blokowania drzwi lub okien w pożądaney pozycji. W przeciwnym razie może dochodzić do ich zamykania przez przepływ w trakcie działań. **Nie ma wentylacji bez klinów!**

5.2. Antywentylacja (izolowanie pożaru)

Antywentylacja, określana również mianem **izolacji pożaru**, jest znaną już dosyć dawno metodą działania. Rozwój ochron osobistych wydaje się jednak usypiać czujność strażaków. Mogą o wiele łatwiej zapuszczać się dalej w głąb płonących budynków, znosić gorsze warunki oraz ratować ludzi z większych tarapatów. Jednak paradoksalnie doskonalsze ochrony powodują obniżenie poczucia zagrożenia i mogą powodować tendencję do przeoczenia lub bagatelizowania zagrożenia. Być może dlatego izolowanie pożaru trafiło globalnie do drugorzędnych technik działania, podczas gdy jest jedną z najpotężniejszych broni w walce z pożarem i powinno być stosowane wszędzie tam, gdzie to możliwe.

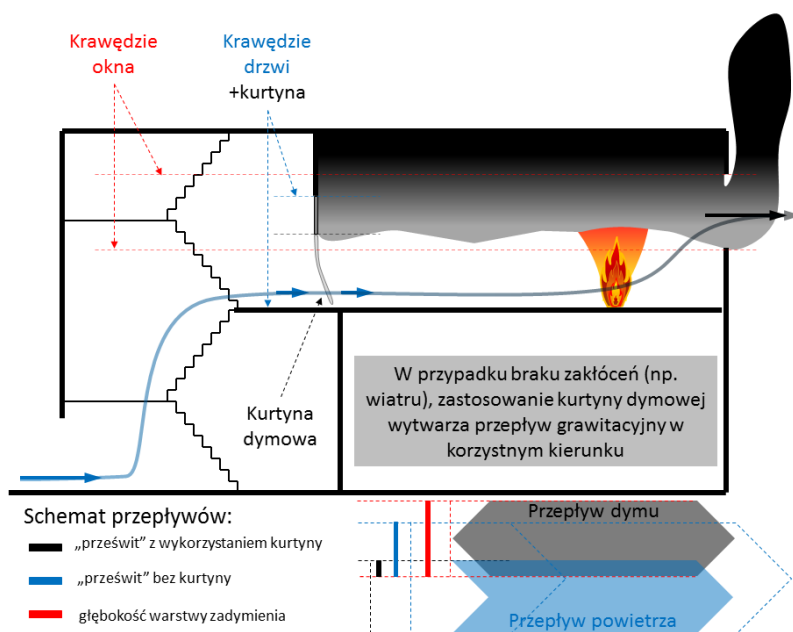
Antywentylacja oznacza kontrolę nad dopływem utleniacza do strefy spalania. Jest to taktyka pozwalająca na ustabilizowanie sytuacji, dająca możliwość oparcia dalszych decyzji o pewien poziom kontroli nad zdarzeniem. Mając na uwadze fakt, że czynności zmieniające warunki wymiany gazowej są konsekwencjami decyzji taktycznych, antywentylacja wydaje się dobrym wariantem początkowym do rozważenia podczas każdego działania. Izolacja pożaru jest też nieodłącznym elementem taktyki działania zwanej **wentylacją sekwencyjną**, która została opisana w dalszej części.

Powszechnie przyjmuje się, że nadrzędnym celem jest ratowanie życia. Równolegle należy pilnować bezpieczeństwa strażaków i podejmować rozsądne ryzyko, przynoszące prawdopodobieństwo osiągnięcia 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 KDR w czasie i na miejscu zdarzenia. Antywentylacja jest taktyką, dzięki której można osiągać wszystkie te cele. 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. Szczególnie, jeśli rota np. udaje się piętro wyżej w celu odnalezienia zgłoszonej osoby poszkodowanej – strażacy nigdy nie powinni znaleźć się między pożarem, a wylotem gazów pożarowych!

Jednym ze skutecznych sposobów prowadzenia antywentylacji jest wykorzystanie **kurtyny dymowej**. Urządzenie pozwala na komunikację przy jednoczesnym ograniczeniu dopływu tlenu. Zabezpiecza również w dużym stopniu przed wpływem dymu na korytarze, klatki schodowe czy przyległe pomieszczenia. Wykorzystanie kurtyny, ze względu na standardową geometrię przestrzeni mieszkalnych powoduje wytworzenie naturalnego (grawitacyjnego) przepływu, który jest korzystny dla prowadzonych działań. Obrazuje to **rysunek 19**. Widzimy na nim wlot (drzwi klatki schodowej) usytuowany nisko, kurtynę w drzwiach do mieszkania i wylot przez okno oraz brak wiatru zakłócającego proces. Z uwagi na usytuowanie okna względem drzwi (poziome linie przerywane na rysunku)

samoczynnie wytwarza się przepływ skierowany na zewnątrz. Przyczyną tego jest fakt, że górna krawędź okna znajduje się wyżej od górnej krawędzi drzwi, natomiast dolna krawędź okna jest na poziomie zbliżonym do dolnej krawędzi ramy kurtyny dymowej. Jest to przyczyną powstania prądu grawitacyjnego działającego na korzyść strażaków. **Objaśnienie:** na poniższym rysunku terminem „prześwit” nazwano różnicę poziomów pomiędzy krawędziami otworów wentylacyjnych.



Rys. 19: Stosowanie kurtyny dymowej jest prostą czynnością z zakresu antywentylacji znacznie usprawniającą zarządzanie przepływami.

Występowanie wiatru z niekorzystnego kierunku również może być przyczyną decyzji i użyciu kurtyny dymowej. W takim przypadku należy rozważyć wykorzystanie wentylacji nadciśnieniowej, w celu utrzymania kontroli nad kierunkiem przepływu dymu.

Izolowanie pożaru, jak wszystkie techniki stosowane przez strażaków, ma swoje korzystne, jak i niekorzystne skutki. Odizolowanie pożaru zmniejsza prędkość przepływu gazów, co zmniejsza ilość ciepła przekazywanego w drodze konwekcji. Ograniczenie tlenu spowalnia produkcję ciepła. Powstały spadek temperatury powoduje niewielkie zmniejszenie objętości obecnych gazów pożarowych. Stosowane

przez strażaków techniki chłodzenia gazów pożarowych będą miały bardziej trwały efekt z uwagi na mniejszą prędkość gazów. Gaszenie będzie skuteczniejsze, a poziom promieniowania w pobliżu ogniska pożaru mniejszy. Mniej prawdopodobne będzie też wypadnięcie okien i nieplanowane dotlenienie pożaru. Niemniej nie będzie możliwości biejącego odpływu powstającej pary, jak też izolacja doprowadzi do obniżenia poziomu płaszczyzny neutralnej. Spowoduje to uśrednienie temperatur w pomieszczeniu.

Średnia temperatura spadnie, ale temperatura w miejscu przebywania strażaków może wzrosnąć, dodatkowo potęgując nieprzyjemnie odczucia obecnością pary wodnej. Zmaleje też widoczność i zacznie rosnać stężenie gazów tworząc bogatą mieszaninę. Wzrośnie stężenie tlenku węgla, a spadnie stężenie tlenu. Izolowanie przestrzeni, w której znajdują się strażacy spowalnia produkcję ciepła i zapobiega niepożądanym zjawiskom pożarowym, niemniej na ogół pogarsza warunki pracy strażaków. Należy jednak dodać, że bardziej dotyczy to kontroli dostępu

powietrza za pomocą drzwi, niż kurtyny dymowej.



Fot. 11: Po zamknięciu drzwi pozostawionych przez uciekającego mieszkańca strażacy przygotowują się do wejścia wyciągając kurtynę dymową.

5.3. Wentylacja grawitacyjna: pozioma i pionowa

Wspomniano już, że przebiegająca samoczynnie w wyniku istniejących różnic gęstości gazów wymiana gazowa w pożarach nosi nazwę **wentylacji grawitacyjnej** lub **naturalnej**. Jest to najstarsza znana strażakom forma wentylacji pożarowej. Ma miejsce zawsze niezależnie od tego, czy jest celowym działaniem czy też skutkiem ubocznym prowadzonych działań. Otwarcie drzwi do pomieszczenia lub mieszkania objętego pożarem stanowi stworzenie warunków do wymiany gazowej, a zatem jest czynnością z zakresu wentylacji pożarowej grawitacyjnej. Jeśli wymiana przebiega na tym samym poziomie to mówi się o wentylacji poziomej, a jeśli pomiędzy różnymi poziomami to o wentylacji pionowej. Ponadto mogą istnieć konfiguracje wymiany gazowej łączące owe rodzaje wentylacji.

Wentylacja naturalna jest mniej wydajna, niż wentylacja wymuszona np. wentylacja nadciśnieniowa. Z drugiej strony nie wywiera tak znaczącego wpływu na proces spalania. Jest z pewnością przydatna techniką, która znajdzie swoje zastosowanie w różnych sytuacjach.

Podsumowując, **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. Jest to zasada odwrotna, niż w przypadku wentylacji wymuszonej, opisanej w dalszej części opracowania. Wentylacja grawitacyjna wiąże się z wytwarzaniem

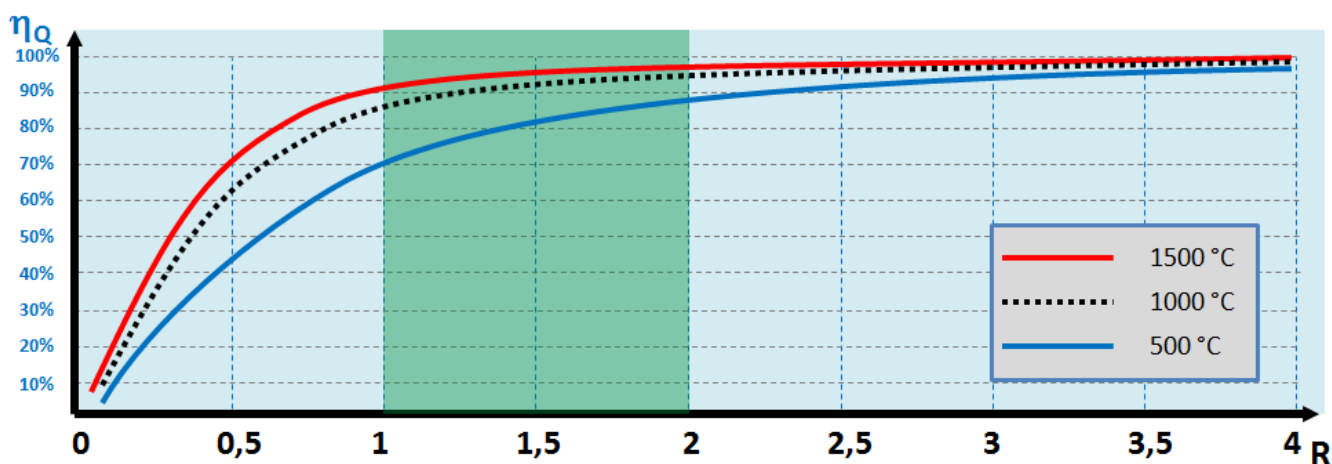
dostępu tlenu z powietrza do ogniska pożaru, co w konsekwencji doprowadzi do wzrostu dynamiki pożaru. Im dalej od wlotu powietrza znajduje się ognisko pożaru, tym dłużej zajmie wędrówka powietrza i rozpoczęcie wspomnianego wzrostu. Analogicznie, efekty takiego obrotu sytuacji będą zauważalne z zewnątrz z opóźnieniem adekwatnym do wspomnianej odległości od wlotu do ogniska pożaru. Wypada przypomnieć wspomnianą wcześniej zasadę wentylacji: czynności z tego zakresu wykonuje się po osiągnięciu gotowości do podawania prądów gaśniczych. Warto też dodać, że decydując się na udrażnianie okien w celu wykonania wentylacji należy w miarę możliwości rozważyć otwarcie, a nie wybicie, aby mieć cień szansy na skuteczne zatrzymanie przepływu.

Dosyć popularną techniką wśród niektórych strażaków jest wentylacja pionowa. Zazwyczaj realizowana jest poprzez wycinkę otworu w dachu. Jeśli nie ma napływu powietrza poniżej to technika może poprawić warunki wewnątrz poprzez upuszczenie gazów pożarowych i obniżenie stężenia. W ten sposób można zapobiegać np. zjawisku **wstecznego ciągu płomienia**. Jeśli natomiast występuje napływ powietrza to po wstępnej poprawie warunków łatwo może dojść do **paradoksu wentylacji**, czyli wytworzenia większych ilości dymu i ciepła, niż są usuwane.

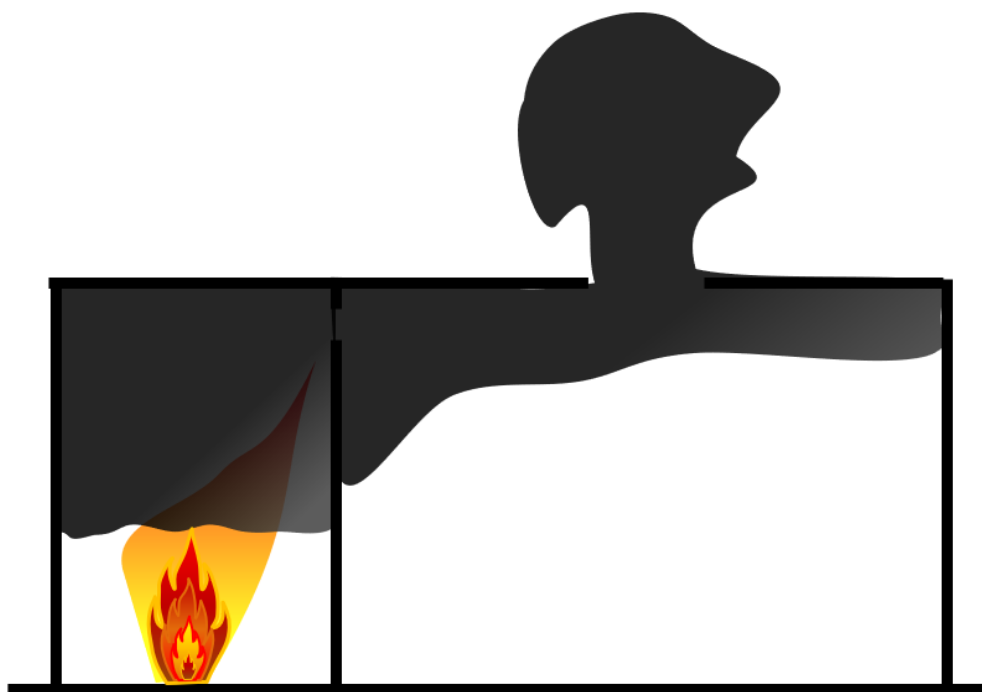
Na poniższym **rysunku 20** stosunek wlotów do wylotów został oznaczony literą R. Sprawność procesu wymiany gazowej została oznaczona literą „ η ” (grecka litera „eta”). **Sprawność** w fizyce jest to bezwymiarowa wielkość, która określa stosunek ilości energii

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**. Z tego powodu, im wyższa temperatura gazów, tym sprawność procesu będzie wyższa dla takich samych warunków wymiany gazowej (ta sama wielkość i usytuowanie otworów). [48]



Rys. 20: Zależność sprawności prowadzonej wentylacji grawitacyjnej (η_g) od stosunku powierzchni otworów wlotowych do powierzchni otworów wylotowych (R). (opracowanie własne na podstawie [48])



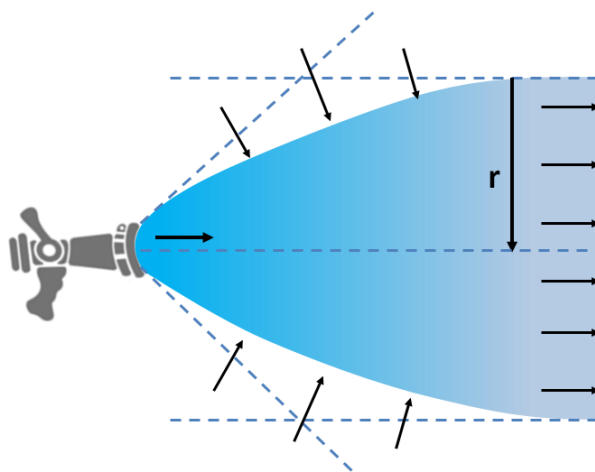
Rys. 21: Wentylacja taktyczna – naturalna (grawitacyjna), pionowa. Poprzez wypuszczenie dymu w wysokim punkcie zapobiega się tworzeniu mieszaniny palnej w pomieszczeniu sąsiadującym z pożarem (opracowanie własne na podstawie [14])

5.4. Wentylacja hydrauliczna: Podciśnieniowa i ciśnieniowa

Odkąd strażacy zaczęli stosować prądy rozproszone stało się jasnym, że za pomocą strumienia wody można przemieszczać gazy. Zjawisko bierze się stąd, że poruszające się krople wody, wędrując przez gazy mające znacznie niższą gęstość, przepychają je ze swojego toru lotu. Same wytracają przy tym pęd, ale powodują ruch gazów znajdujących się na trasie przemieszczania i w jej pobliżu, z uwagi na powstające różnice ciśnień. Przed kroplą powstaje nadciśnienie, a za nią podciśnienie i to powoduje ruch zarówno powietrza, jak i gazów pożarowych i dym. Stąd dosyć znaną techniką wśród strażaków na całym świecie jest **hydrowentylacja**.

Prądy zwarte tłoczą niewielkie ilości powietrza. Może to być zarówno zaletą, jak

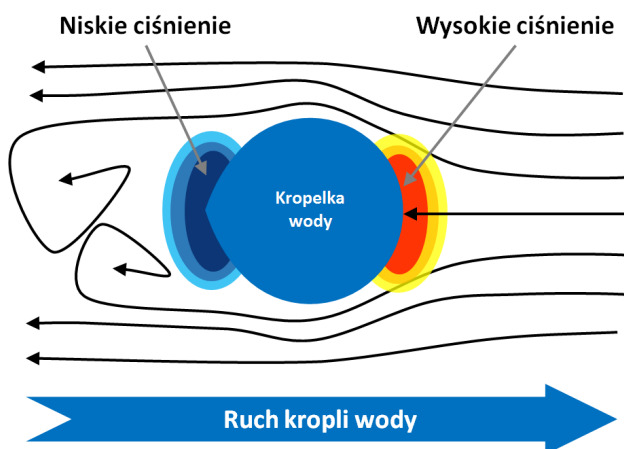
(nadciśnienie), jak i do wyciągu (podciśnienie) gazów pożarowych. Można w ten sposób doprowadzać do tzw. **odwrócenia kierunku przepływu**, co w niektórych okolicznościach może uratować życie. Najwięcej powietrza tłoczą prądy rozproszone. Zależnie od ustawienia prąd rozproszony o średnicy 1 m może tłoczyć około 13 500-23 500 m³/h (dla wydajności 100-500 L/min). [49]



Rys. 23: Zasysanie powietrza do rozproszonego prądu wody. Ilość zasysanego i tłoczonego powietrza zależy od wydajności prądu wodnego, prędkość przepływu, średnicy stożka strumienia wody oraz gęstości wody i powietrza. (opracowanie własne na podstawie [50])



Fot. 12: Wentylacja hydrauliczna podciśnieniowa (wyciągowa) w praktyce. W pokazanym przypadku strażacy wsparli wentylację nadciśnieniową prowadzoną przy użyciu wentylatora ustawionego przed obiektem.



Rys. 22: Mechanizm tłoczenia gazu przez przemieszczającą się kroplę wody. (opracowanie własne na podstawie [50])

i wadą – zależnie od sytuacji oraz świadomości strażaka operującego prądem gaśniczym. Chcąc wykorzystać ten efekt podczas operowania prądem zwartym należy poruszać prądownicą (omiatać) kreśląc okręgi. Efekt przemieszczania powietrza może być wykorzystany zarówno do nawiewu

Strażak może uznać, że prądownica to mały wentylator, który nosi ze sobą i może stosować, jako urządzenie nadciśnieniowe (nadmuch i pchanie gazów) lub też podciśnieniowe (wywiew i wyciąganie gazów). Musi tym pamiętać ponieważ:

- 1** podawanie wody może pomóc kontrolować tor wymiany gazowej (zawrót przepływu),
- 2** podawanie wody może powodować niekorzystne przemieszczanie gazów pożarowych (np. w kierunku osób poszkodowanych lub strażaków).

Chcąc unikać strat wynikających zalania częściej wybieraną formą będzie wentylacja hydrauliczna podciśnieniowa (wyciąg gazów ze środka poprzez podawanie wody w kierunku na zewnątrz budynku, najczęściej przez

okno), niż nadciśnieniowa (tłoczenie gazów podając wodę do wnętrza od wejścia). Działanie w krótkim czasie może nie robić różnicy, ale działanie wydłużone już z pewnością tak. Ustawiona wydajność plus czas działania będą wpływały na ilość zużytej wody. Podobnie, jak przy wentylacji mechanicznej z wykorzystaniem wentylatorów, nadciśnienie jest o wiele bardziej skuteczne, niż podciśnienie. Wentylację hydrauliczną można łączyć z wentylacją nadciśnieniową dla uzyskania bardzo skutecznej wymiany gazowej.



Fot. 13: Zastosowanie wentylacji hydraulicznej nadciśnieniowej do wsparcia działań podczas natarcia nadciśnieniowego. Prąd rozproszony skierowany jest w drzwi mieszkania, uchylona została kurtyna dymowa, wentylator ustawiony jest przed klatką schodową.

5.5. Wentylacja mechaniczna: Nadciśnieniowa i podciśnieniowa

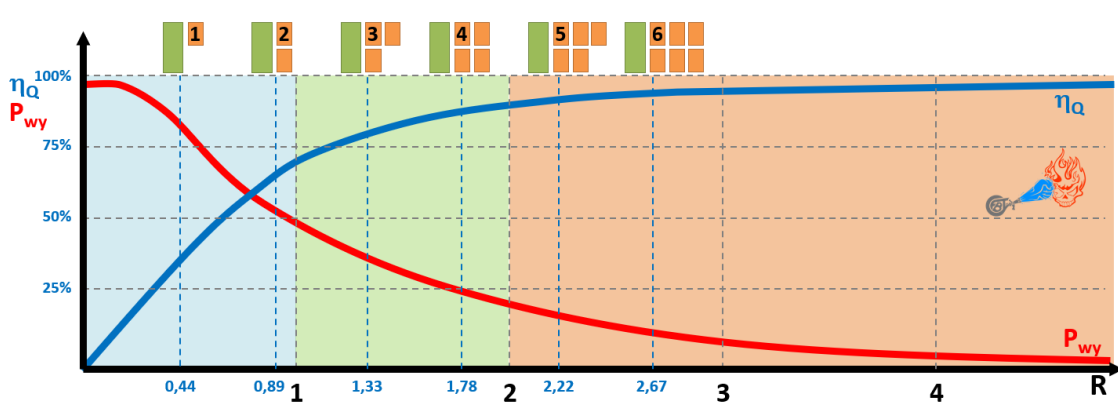
Dotarliśmy wreszcie do sedna materii, czyli tego, z czym najczęściej kojarzy się wentylacja: z wykorzystaniem wentylatorów do działania w nadciśnieniu. W tym rozdziale poświęcimy też nieco uwagi wentylacji podciśnieniowej, czyli wyciągowi dymu z pomieszczeń. Na początek usystematyzujemy pojęcia. **Wentylacja mechaniczna nadciśnieniowa** oznacza wykorzystanie wentylatorów osiowych w celu wytworzenia nadciśnienia w obiekcie, ukierunkowania przepływu gazów i wypchnięcia ich poza obiekt, zastępując je świeżym powietrzem. **Wentylacja nadciśnieniowa** (ang.: Positive Pressure Ventilation – PPV) to wykonanie wentylacji po zlikwidowaniu źródła pożaru w celu usunięcia dymu. Jako synonim tego pojęcia można podać termin „oddymianie”. **Natarcie nadciśnieniowe** (ang.: Positive Pressure Attack – PPA) to wykonanie wentylacji przed rozpoczęciem natarcia w celu poprawy warunków pracy wewnątrz obiektu. Opisując tę technikę działania będziemy mieli na myśli taktykę i technikę gaszenia pożaru. Mając wyobrażenie na temat dynamiki rozwoju pożarów, jak również rozumiejąc potencjalny wpływ wentylacji nadciśnieniowej na ich środowisko, będziemy w stanie określić, kiedy można stosować tę technikę działania, a kiedy nie jest ona wskazana. W związku z wytwarzaniem nadciśnienia i wtłaczaniem do wnętrza dużych ilości powietrza, wentylacja nadciśnieniowa nie powinna być stosowana w następujących przypadkach:

- braku możliwości obejrzenia wszystkich stron obiektu (identyfikacja otworów wlotowych i wylotowych),
- zaobserwowania warunków sprzyjających wstecznemu ciągowi płomienia (pożar niedowietrzony),
- braku możliwości stworzenia przepływu: 1 wlot – 1 wylot, (możliwe jest wykorzystanie więcej niż, jednego otworu wylotowego, jednak w celu uniknięcia przetłaczania gorących gazów pożarowych przez obiekt otwory wylotowe znajdowały się jak najbliżej ogniska pożaru, najlepiej w tym samym pomieszczeniu).
- ryzyka wtłoczenia dymu do ukrytych przestrzeni (poddasza, kanały itp.),
- obecności osób poszkodowanych lub strażaków między ogniskiem pożaru, a wylotem,
- braku gotowości linii gaśniczych w natarciu lub obronie,
- występowania silnego wiatru od strony wylotu,
- braku możliwości rozpoznania i stwierdzenia miejsca ogniska pożaru,
- obecności cieczy łatwopalnych lub pyłu.

Podobnie, jak w przypadku wentylacji grawitacyjnej, również przy wentylacji nadciśnieniowej występuje istotna zależność pomiędzy powierzchniami otworów wentylacyjnych. Jest ona jednak odwrotna, niż poprzednio: rozpatrywany jest **stosunek powierzchni otworów wylotowych do powierzchni otworów wlotowych** (R).

Jeśli przyjmiemy, że standardowe drzwi mają powierzchnię około $1,8 \text{ m}^2$ ($0,8 \times 2 \text{ m}$), a skrzydło okna około $0,8 \text{ m}^2$ ($0,65 \times 1,25 \text{ m}$) to przedstawiony poniżej wykres pokazuje warunki prowadzonej wentylacji nadciśnieniowej przy różnych konfiguracjach profilu wentylacji (liczby, powierzchni i rozmieszczenia otworów wentylacyjnych). Brane pod uwagę są dwa istotne parametry: sprawność i ciśnienie. W miarę wzrostu sprawności (wzrost R poprzez zwiększanie powierzchni wylotów) maleje ciśnienie, z jakim gazy wydostają się z pomieszczeń.

- 1** Dla wartości $R < 1$ prowadzona wentylacja nadciśnieniowa charakteryzuje się niską sprawnością (obszar błękitny). W otworach wylotowych panuje wysokie ciśnienie. Wentylacja przebiega z udziałem 1 drzwi / 1-2 okien. Istnieje prawdopodobieństwo, że oba wyloty znajdują się w jednym pomieszczeniu. Wówczas przepływ odbywa się **wzdłuż jednej ścieżki**. Jeśli otwory wylotowe występują w różnych pomieszczeniach, wówczas tor wymiany gazowej jest bardziej rozbudowany. Przedstawiono to na **rys. 25**.
- 2** Dla R pomiędzy 1-2 parametry wentylacji wydają się być optymalne (obszar zielony). Mamy do czynienia z względnie wysokim parametrem sprawności jak, też nadal korzystną wartością ciśnienia. Ten ostatni parametr ma znaczenie taktyczne, bowiem od niego zależy będzie to, czy panujący na miejscu zdarzenia wiatr będzie w stanie zakłócać przebieg wentylacji nadciśnieniowej. Takie warunki uzyskuje się dla wentylacji w układzie 1 drzwi / 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. Wzrost wartości współczynnika R powyżej wartości 2 nie powoduje znacznego wzrostu sprawności prowadzonej wentylacji.
- 3** 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.

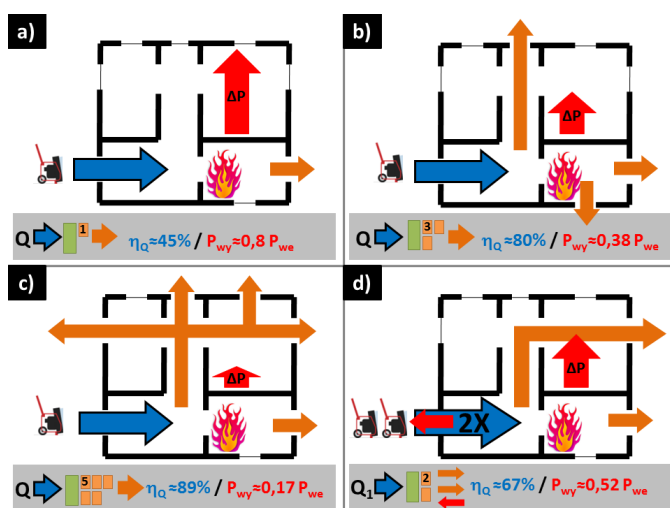


Rys. 24: Wykres pokazujący zależność między współczynnikiem R a sprawnością wentylacji (η_q) oraz ciśnieniem gazu (P_{wy}) w wylocie. [51, 52]

Na powyższym **rysunku 25** widać cztery sytuacje, które można przeanalizować wraz z prześledzeniem przebiegów na powyższym wykresie. Ważne jest zwrócenie uwagi na wartości ciśnienia i zmiany sprawności wymiany gazowej, a także konfigurację przestrzenną przepływów.

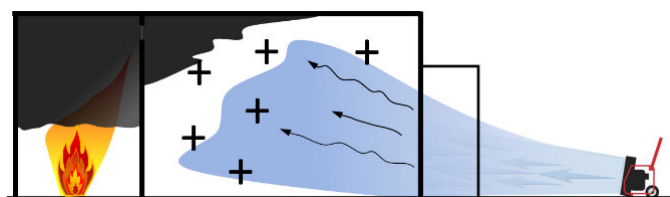
Sytuacja pokazana w części **d)** wymaga dodatkowego komentarza. Wentylacja w układzie **1 drzwi / 2 okna** towarzyszy występowaniu bardzo intensywnej wentylacji, co pokazano symbolicznie poprzez umieszczenie 2 wentylatorów. Podobna sytuacja może wystąpić, jeśli wentylowana kubatura jest względnie niewielka w odniesieniu do wydajności wentylatora. Tłoczona jest duża ilość powietrza, a kubatura nie jest w stanie jej pomieścić (powstaje duże nadciśnienie). Przepustowość otworów wylotowych jest zbyt niska, co jest kolejną przyczyną nadciśnienia i niskiej sprawności wymiany gazowej. Taki układ warunków powoduje, że gazy szukają innej drogi ujęcia i mogą ją znaleźć w otworze, który został wybrany na wlot. Może to doprowadzić np. do nieplanowanego zadymienia klatki schodowej w przypadku wentylacji mieszkania.

Na rynku dostępne są wentylatory **wyciągowe** i **nadmuchowe** oraz **łącznie te funkcje**. Dostępne są jednostki napędzane silnikami spalinowymi, prądem elektrycznym (zasilanie sieciowe lub akumulatorowe), a także turbiną wodną z linii gaśniczej. Głównym kryterium wyboru jest najczęściej



Rys. 25: Różne profile wentylacji mogą powodować powstawanie różnych torów wymiany gazowej: korzystnych lub niekorzystnych. [51, 52]

uniwersalność zastosowań. Jedną z najważniejszych – ale nie najważniejszą funkcją jest **wydajność**. Wentylatory nadmuchowe (nadciśnieniowe) mają wyższą wydajność od



Rys. 26: Wentylacja taktyczna – nadciśnieniowa, wykonywana w celu zapobiegania zjawiskom z grupy Zapłonu Gazów Pożarowych: wykorzystanie nadciśnienia (bez przepływu) w celu zabezpieczenia przestrzeni z prawej strony rysunku przed przedostawaniem się dymu z pomieszczenia przyległego. (opracowanie własne na podstawie [14]).

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 napędu, więc ich przewagą jest mobilność. 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. [23, 24]

Chcąc prowadzić **wentylację podciśnieniową** musimy – podobnie jak innych przypadkach, określić tor wymiany gazowej. Ponownie niezbędny będzie wlot powietrza oraz wylot gazów pożarowych. Wentylatory wyciągowe należy umieszczać bliżej sufitu, aby wykorzystać naturalną tendencję gorących gazów

pożarowych do przepływania (wyporność termalna, ekspansja termalna). W tym celu można wykorzystać konfigurację przestrzenną budynku lub skorzystać z dodatkowego wyposażenia. Oba sposoby zostały przedstawione na poniższych zdjęciach. Jeśli chodzi o stosunek wielkości otworów, to dla wentylacji podciśnieniowej zasada jest analogiczna do wentylacji grawitacyjnej: **wloty powinny być większe od wylotów.**



Fot. 14, 15: Wentylator nadmuchowo-wyciągowy wykorzystany do wentylacji podciśnieniowej.

Na **fot. 14** i **15** widać wentylator nadmuchowo-wyciągowy wykorzystany do wentylacji podciśnieniowej. Podwieszony w górnej części otworu drzwiowego przy użyciu specjalnego drążka wyciąga dym z piwnicy. Nawiew występuje w dolnej części otworu oraz w małym oknie piwnicznym z drugiej strony budynku. Na **fot. 16** widać ten sam wentylator pracujący, jako wyciągowy we wspomnianym oknie. Należy pamiętać, że im bliżej ogniska pożaru znajduje się wentylator wyciągowy, tym krótsza droga dymu (mniejsze zniszczenia), ale też wyższa temperatura gazów, co może wpływać niekorzystnie na wentylator.



Fot. 16: Praca wentylatora wyciągowego przy usuwaniu dymu z piwnicy przez okno piwniczne.

5.6. Wentylacja sekwencyjna

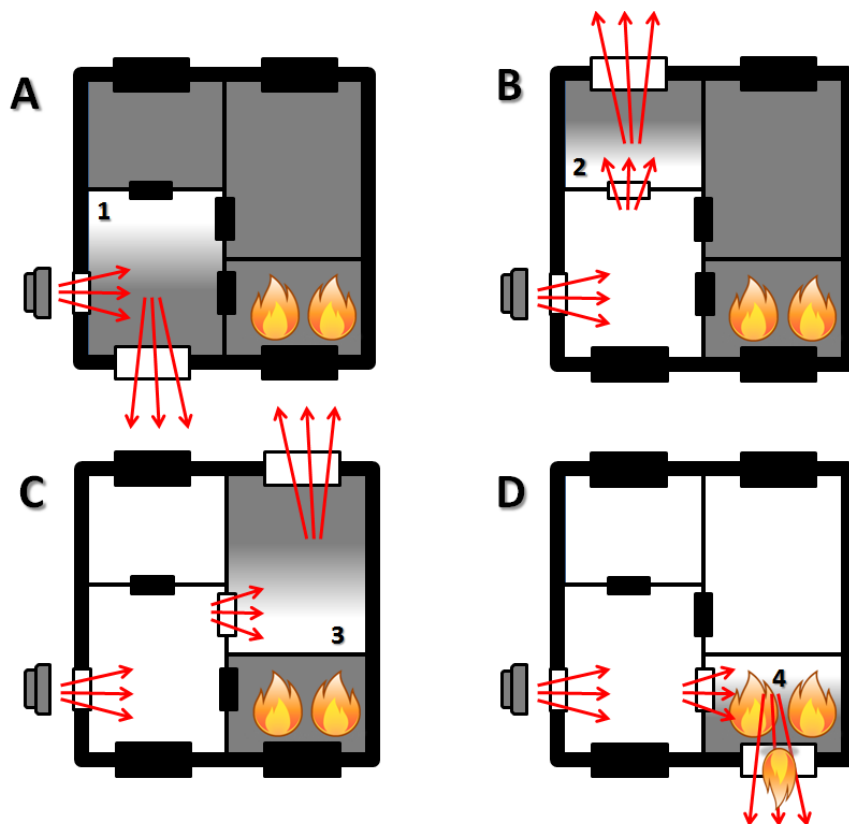
Przedstawione w opracowaniu ogólne zasady wentylacji pożarowej, muszą być stosowane w różnorodnych sytuacjach, z jakimi mierzą się na co dzień strażacy. Napotykanie przez strażaków okoliczności często dyktują im reguły gry, wymykając się poza ustalone sposoby działania. Umiejętność improwizowania w oparciu o gruntowne zrozumienie procesów towarzyszących wentylacji jest ostatecznym celem edukacji w tej dziedzinie. Na obrany zamiar taktyczny wpłynie charakterystyka budynku i warunki pożarowe, dostępne siły i środki oraz stopień wykształcenia. Często postawione cele osiągnięte są etapami w miarę tworzenia sobie do tego możliwości. Stopniowe realizowanie zadań z zakresu wentylacji realizowane jest najczęściej poprzez **wentylację sekwencyjną**.

W ogólnym ujęciu wentylacja sekwencyjna oznacza sukcesywne, zaplanowane i metodyczne czyszczenie kolejnych oddzielnych 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. Mając na uwadze przedstawione informacje dotyczące sprawności wentylacji, zarówno grawitacyjnej, jak i mechanicznej, można wywnioskować, że podzielenie obszaru na mniejsze części i kolejne oddymianie przy użyciu drzwi i okien daje lepsze rezultaty. Wentylacje sekwencyjna można realizować przy użyciu wentylacji grawitacyjnej, hydraulicznej i mechanicznej. Najskuteczniejsza jest wentylacja nadciśnieniowa.

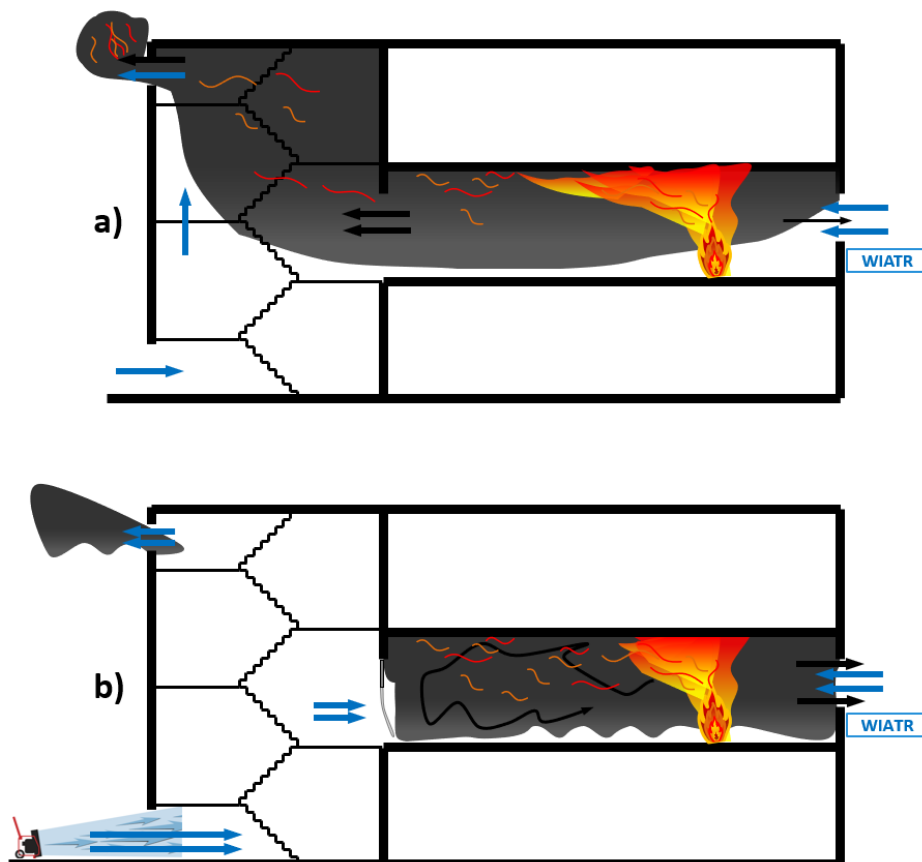
Wentylację sekwencyjną można wykonywać zarówno przed rozpoczęciem gaszenia, w jego trakcie, jak też i po ugaszeniu. Wybierając kolejność oddymiania kierujący działaniem ratowniczym powinien się kierować rozpoznaniem i oceną sytuacji dokonaną „w czasie i ma miejscu zdarzenia”, według pragmatyki zawodowej dyktowanej m.in. przepisami branżowymi. 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.

Nieodzownym elementem wentylacji sekwencyjnej będzie też **antywentylacja**, czyli **izolowanie**. Można 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



Rys. 27: 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. [53]



Rys. 28: Przeciwdziałanie negatywnym skutkom wiatru przy użyciu wentylacji nadciśnieniowej.

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 wentylację 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. [53]

Jednym z powodów stosowania wentylacji nadciśnieniowej jest przeciwdziałanie negatywnym skutkom wiatru. Na **rysunku 28 a)** widać, że otwarte drzwi do mieszkania powodują zadymianie drogi ewakuacji (klatki schodowej). Występujący wiatr dodatkowo wzmacnia ten proces. Sprzyja temu również

otwarte okno na klatce schodowej na samej górze (przepływ gazów). Pokazana na **rysunku 28 b)** wentylacja nadciśnieniowa pomaga ustabilizować sytuację poprzez: usunięcie dymu z klatki schodowej, napowietrzenie i zapobieganie zadymieniu klatki schodowej, przeciwdziałanie przepływom dymu generowanym przez wiatr, ukierunkowanie przepływów. Umieszczona w drzwiach do mieszkania kurtyna dymowa dodatkowo pomaga w zarządzaniu przepływami gazów pożarowych i powietrza. Jest to również jeden z przykładów wentylacji sekwencyjnej: po oddymieniu klatki schodowej okno na górze zostaje zamknięte, a cały pion jest zabezpieczony przed zadymieniem za pomocą nadciśnienia.



Fot. 17: Lekkie wentylatory akumulatorowe mogą być łatwo przenoszone przez jedną osobę, co ułatwia między innymi prowadzenie wentylacji sekwencyjnej.

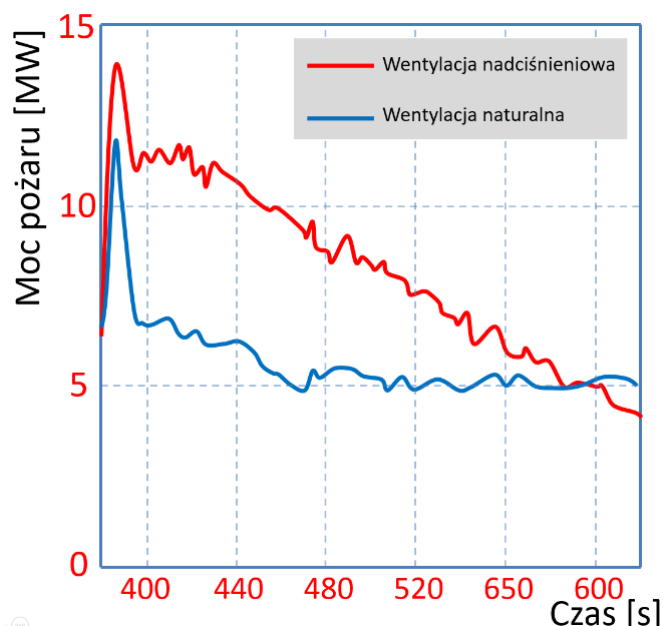
5.7. W praktyce: natarcie nadciśnieniowe

Analizując podane do tej pory informacje można zadać pytanie: jak to jest, że tlen wytwarza ciepło, a jednak strażacy stosują wentylację nadciśnieniową, tłocząc mnóstwo powietrza do pożaru i odnoszą sukcesy w walce z pożarem?

Sięgając do literatury branżowej (lub wracając do **rozdziału 3**) możemy dowiedzieć się, że blisko 30% energii cieplnej wytwarzanej w pożarze transportowane jest w drodze **promieniowania**, natomiast około **70% rozcodzi się w drodze konwekcji**, to znaczy transportowane jest w masie gorących gazów. Kiedy rozpoczynamy wentylację nadciśnieniową przed objęciem kontroli nad procesem spalania, wówczas dochodzi do rozdmuchania ogniska pożaru. Jednak wkrótce, w wyniku ukierunkowania przepływów, następuje usunięcie znacznych ilości ciepła wraz z gazami. Dlatego **natarcie nadciśnieniowe** ma tak wysoką skuteczność! Przedstawione jest to na **rysunku 29**. Pożar, przy którym wykorzystano wentylację nadciśnieniową osiągnął wyższą moc, ale jej spadek w czasie był szybszy. Z drugiej strony, stosowanie tej taktyki działania wymaga gruntownej wiedzy i doświadczenia. W przeciwnym razie łatwo nie tylko nie poprawić sytuacji, ale **można znacznie ją pogorszyć!** Jeśli w ślad za wentylacją nie pójda bezzwłoczne działania gaśnicze to nastąpi rozdmuchanie ogniska pożaru i utrata kontroli nad pożarem (paradoks wentylacji). [10, 19]

Przeszkody występujące na drodze strugi powietrza (meble, zakręty, przewężenia, **osoby**) powodują turbulencje, zakłócając skuteczność wymiany gazowej. Dla prowadzenia wentylacji nadciśnieniowej niezbędne jest utrzymanie drożności toru

wymiany gazowej, a zatem trzeba pamiętać o **klinach** do blokowania drzwi czy okien



Rys. 29: Porównanie przebiegu dwóch identycznych pożarów pomieszczenia i wpływu wentylacji nadciśnieniowej oraz naturalnej. [54]

w pozycji otwartej. Ruch powietrza jest w stanie bez problemu zamykać drzwi czy okna, niwecząc wszelkie starania. Wentylacja nadciśnieniowa może przewyżczać ciśnienia powstające w pożarze, pod warunkiem występowania odpowiednich warunków (proporcja otworów wlotowych i wylotowych, brak lub mały wiatr itd.). Im pożar ma wyższą moc, tym większa prędkość przepływu potrzebna do przewyżczenia nadciśnienia wywieranego przez gazy pożarowe. [27] Moc pożaru (intensywność spalania) zależy od stopnia dopływu tlenu do strefy spalania, a zatem od powierzchni otworów wentylacyjnych, kubatury pomieszczeń oraz od stopnia „otwarcia” wnętrza (wnętrza połączone funkcjonalnie – usunięte ściany, brak drzwi itd.).

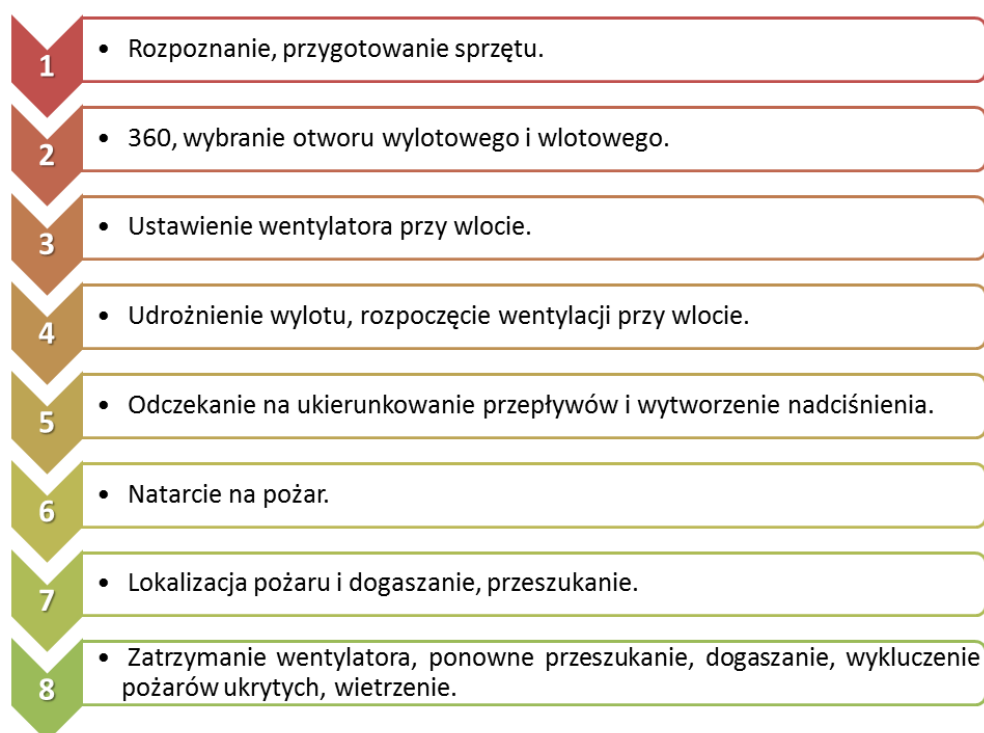
Przeanalizujmy sytuację często spotykaną w praktyce: pożar w domu jednorodzinnym.

Na miejsce przyjeżdża pierwszy samochód z jednostki OSP z 4 strażakami: kierowcą, dowódcą i dwoma ratownikami. W zgłoszeniu jest informacja o braku osób poszkodowanych w obiekcie. Informację potwierdza osoba zgłaszająca, którą dowódca spotyka po opuszczeniu samochodu gaśniczego. Budynek jest wykonany z materiałów

niepalnych i posiada prosty układ przestrzenny. Bazując na zdobytych do tej pory informacjach dowódca decyduje się na wykonanie natarcia nadciśnieniowego. Przykładowy podział zadań może wyglądać następująco:

LP	ROLA	ZADANIA
1.	Dowódca	Kierowanie zdarzeniem, rozpoznanie 360 (termowizja), ustalenie toru wymiany gazowej, wykonanie wylotu, nadzór nad warunkami pożarowymi.
2.	Przodownik	Sprawienie linii gaśniczej, narzędzia, pomoc przy wentylatorze, przeprowadzenie natarcia,
3.	Pomocnik	Wyciągnięcie i przygotowanie wentylatora oraz kurtyny dymowej, przeprowadzenie natarcia,
4.	Kierowca	Sprawienie linii głównej, zapewnienie zaopatrzenia wodnego (hydrant lub drugi samochód),

Tab. 4: Przykładowy podział zadań w zastępie czteroosobowym do przeprowadzenia szybkiego natarcia nadciśnieniowego. [19]



Rys. 30: Kolejność postępowania podczas prowadzenia natarcia nadciśnieniowego.



Fot. 18: Strażacy przygotowują sprzęt, a dowódca prowadzi rozpoznanie 360.



Fot. 19: Dowódca prowadzi rozpoznanie 360. Termowizja może znacznie ułatwić zadanie.



Fot. 20: Zewnętrzne oznaki pożaru nie zawsze są dobrze widoczne.



Fot. 21: Strażacy szykują sprzęt i zgłaszają gotowość do natarcia.



Fot. 22: Dowódca lub wyznaczona osoba wykonuje wylot gazów pożarowych.



Fot. 23: W miarę możliwości i potrzeby następuje natarcie wstępne („zmiękczenie pożaru”).



Fot. 24: Strażacy szykują się do natarcia z wykorzystaniem kurtyny dymowej.



Fot. 25: Strażacy zabezpieczają korytarz przed zadymieniem za pomocą kurtyny dymowej.



Fot. 26: Natarcie nadciśnieniowe jest wsparte przez wentylację hydrauliczną.



Fot. 27: Strażacy prowadzą natarcie w wygodnej pozycji przy dobrej widoczności.



Fot. 28: Dowódca stale nadzoruje warunki prowadzenia działań.

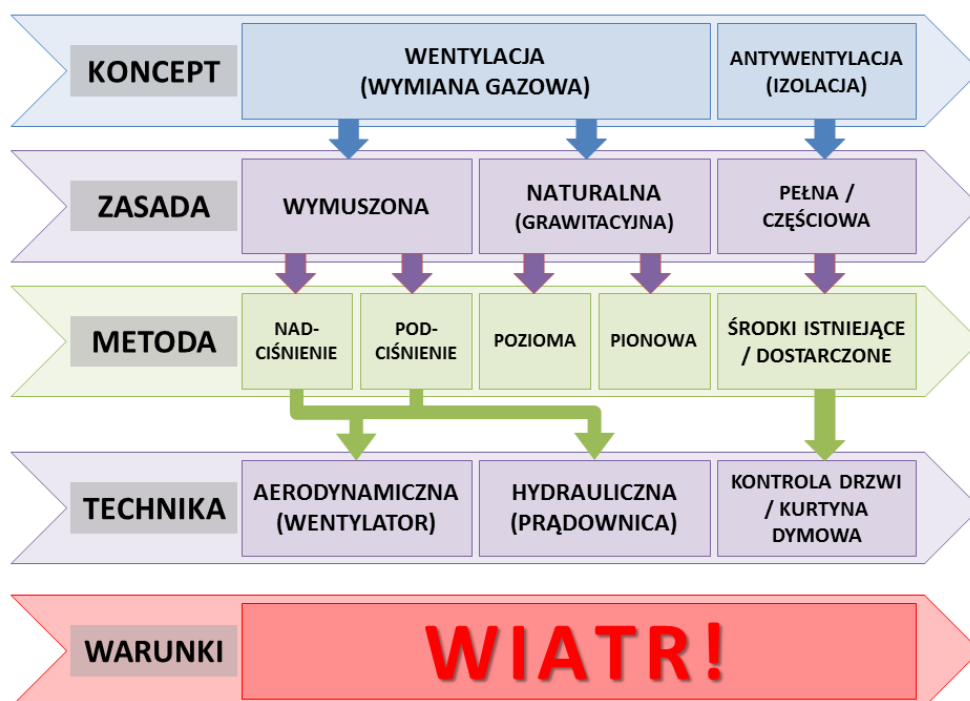
Przedstawione założenie wymaga kilka słów dodatkowego komentarza. Informacje z rozpoznania zostały przedstawione w taki sposób, aby zawczasu rozwiązać wszelkie mogące się pojawić wątpliwości. Obecność osób poszkodowanych nie jest przeciwskazaniem dla stosowania natarcia nadciśnieniowego, a w większości przypadków wspomniana taktyka działania pomoże szybciej je uratować. Z pewnością obecność tych osób między pożarem, a wylotem jest zdecydowanym przeciwskazaniem. Jeśli osoby są w odizolowanym pomieszczeniu, co może być przekazane w zgłoszeniu, to natarcie nadciśnieniowe nie pogorszy ich sytuacji. [10]. Każde inne miejsce, poza obszarem pomiędzy ogniskiem pożaru, a wylotem, również nie jest problemem. Decydując się na natarcie wstępne (**fot. 23**) jesteśmy w stanie częściowo zlikwidować również ten problem, ponieważ zmniejszamy temperaturę gazów pożarowych. Pamiętając, że osoby poszkodowane leżą na podłodze, że podajemy wodę wcześniej, niż przy klasycznym natarciu wewnętrznym oraz o tym, że w pomieszczeniu objętym pożarem panują ekstremalne warunki, obniżające niemal do zera szanse przeżycia, stosowanie natarcia nadciśnieniowego nie powinno spowodować pogorszenia warunków dla osób poszkodowanych, a zazwyczaj spowoduje ich poprawę.

Warunki budowlane mogą stanowić utrudnienie. Palna konstrukcja może zająć się ogniem, jeśli działania nie są wystarczająco sprawne. Również puste przestrzenie narażone są na rozprzestrzenianie gazów pożarowych i płomienia, ale tylko jeśli występuje w nich nieszczelność lub wylot. W przeciwnym razie nie powstanie przepływ, a to on jest odpowiedzialny za mechanizm rozprzestrzeniania się pożaru.

Natarcie nadciśnieniowe posiada ogromny potencjał skuteczności. Musi być jednak dobrze zrozumiane, gruntownie przećwiczone, oparte o doświadczenie, wsparte odpowiednim rozpoznaniem oraz wdrażane z dyscypliną i bez ociągania, a także dopasowane do sytuacji pożarowej, budowlanej i ratowniczej. Wówczas daje piorunujące efekty.

6. PODSUMOWANIE

Niniejszy materiał porusza jedynie bardzo ogólnie zagadnienia związane z wentylacją pożarową i wykorzystaniem wentylatorów w strażach pożarnych. Jest próbą usystematyzowania obecnego stanu wiedzy na temat zjawisk, sprzętu, technik i taktyki działania. Nie wyczerpuje w żaden sposób tematu, a miejscami jest odzwierciedleniem moich osobistych poglądów oraz doświadczeń i podlega merytorycznej dyskusji. Z pewnością może też być udoskonalony i taki zamiar przyświeca mi w momencie jego tworzenia. Jak zawsze moim pragnieniem jest, aby materiał był dostępny dla wszystkich, stąd formę drukowaną uzupełni wydanie elektroniczne, które będzie łatwiej aktualizować oraz wykorzystać do tworzenia materiałów dydaktycznych. Materiał oparto w znacznej mierze o udowodnione naukowo fakty, niemniej jak to zawsze ma miejsce przy badaniach naukowych ich prawdziwość można potwierdzić jedynie dla warunków, w których owe badania były prowadzone. W praktyce owe warunki bywają bardzo zmienne. Z jednej strony należy liczyć na pewne analogie nawet przy zmiennych warunkach. Z drugiej strony należy wiedzieć, kiedy zmienność warunków przestaje być gwarancją powtórzenia rezultatów. Jest to aspekt, którego nie sposób zawrzeć w formie spisanej, a dochodzenie do tego poziomu ostrzeżenia wymaga po prostu wprawy. Niech ten materiał będzie zatem drogowskazem na tej drodze.



Rys. 31: Podsumowanie zagadnień związanych z wentylacją pożarową.

Powyższa grafika zawiera skondensowany przegląd zagadnień. Każde z nich to odrębna tematyka, o której można dużo powiedzieć i dyskutować. Jest moim celem, aby to opracowanie stymulowało taką dyskusję na arenie krajowej, stąd jego ogólnodostępny charakter. Świadom swoich niedoskonałości będę wdzięczny za wszelkie uwagi i recenzje, jak również informacje o przydatności tego opracowania.

Najnowsze badania UL FSRI oferują kilka dodatkowych kwestii do przemyślenia:

- 1** Dla skutecznego stosowania wentylacji nadciśnieniowej ważne jest dobre zrozumienie zagadnień związanych z ciśnieniami i tworzeniem przepływów.
- 2** Wentylacja pozioma, pionowa i nadciśnieniowa to zupełnie odmienne taktyki działania i nie każda sprawdzi się w każdej sytuacji.
- 3** Przy wentylacji nadciśnieniowej ustawienie wentylatora, jak też wytworzenie szczelnego stożka powietrza na otworze wlotowym nie są tak istotne, jak zapewnienie odpowiedniej powierzchni otworów wylotowych.
- 4** Podczas natarcia nadciśnieniowego należy w sposób ciągły obserwować zarówno wlot jak i wylot, aby ocenić skuteczność wytworzenia przepływu oraz zmiany warunków pożarowych.
- 5** Przepływ dzieli się pomiędzy dostępne ścieżki (wyloty). Dodawanie otworów wylotowych zwiększa sprawność wymiany gazowej, obniża ciśnienie i dzieli przepływy. Nie zawsze jest to korzystne.
- 6** Natarcie nadciśnieniowe nie będzie skuteczne w dużych otwartych przestrzeniach lub w wysokich pomieszczeniach, ponieważ wentylatory nie są w stanie skutecznie wytworzyć nadciśnienia w sąsiadujących pomieszczeniach, co jest niezbędne do wypchnięcia gazów pożarowych na zewnątrz obiektu.
- 7** Gotowość prądów gaśniczych ma krytyczne znaczenie dla przeprowadzenia skutecznego natarcia nadciśnieniowego. Podanie w miarę możliwości prądu gaśniczego na ognisko pożaru (przez okno), przed rozpoczęciem wentylacji, znacznie ułatwi wykonanie natarcia nadciśnieniowego.
- 8** Właczanie gazów pożarowych i płomienia do ukrytych przestrzeni występuje tylko wtedy, gdy obecny jest ich wylot z tej przestrzeni.
- 9** Natarcie nadciśnieniowe nie wpływa negatywnie na warunki przeżycia osób w odizolowanych pomieszczeniach. [10]



Dziękuję wszystkim za wspólną przygodę i naukę.

Cytując mojego Przyjaciela (C.Ż.): „Do następnego odcinka”!

Taki z pewnością nastąpi!

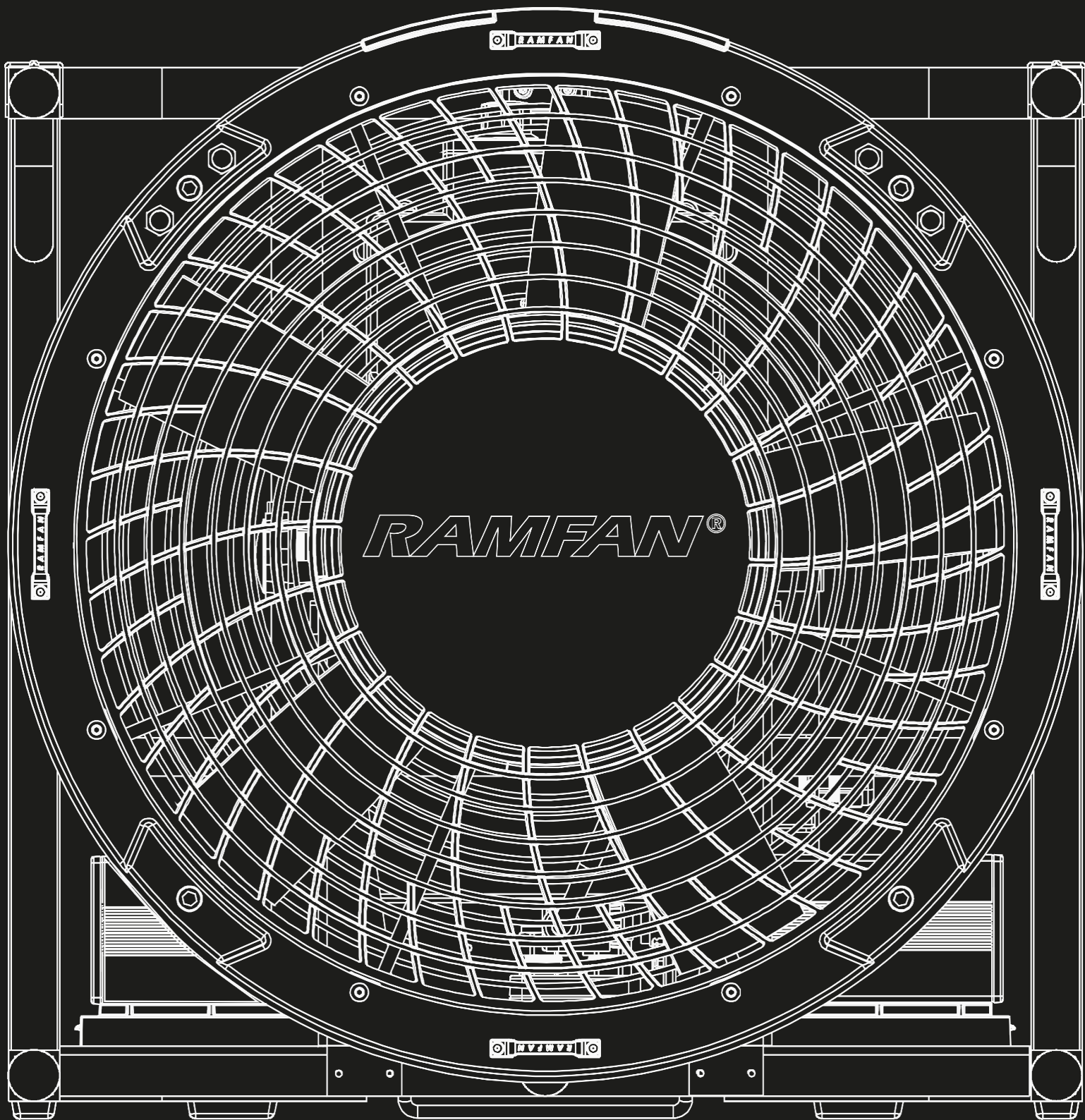
7. LITERATURA

1. Kordylewski W. (red) (2008), Spalanie i paliwa. Wrocław.
2. Encyklopedia PWN, hasło: "Atmosfera ziemski".
3. PN-EN 1127-1:2011 Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka, PKN, Warszawa.
4. Sawicki, T. (2005), Pożar w pajęczynie definicji. Przegląd Pożarniczy 1/2005, s. 22-23.
5. Pofit-Szczepańska, M. (1994), Wybrane zagadnienia z chemii ogólnej, fizykochemii spalania i rozwoju pożarów. Kraków
6. Konecki M., Król B., Wróblewski D., Nowoczesne metody działań ratowniczo-gaśniczych, SGSP Warszawa 2003,
7. Bielicki, P. (2004), Taktyka działań gaśniczych dla słuchaczy kursu kwalifikacyjnego szeregowych Państwowej Straży Pożarnej. Warszawa.
8. Thornton, W. M. (1917), The Relation of Oxygen to the Heat of Combustion of Organic Compounds, Philos. Mag., Ser. 633 , 196-203.
9. PN-B-02852:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków – Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.
10. 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.
11. Kerber, S. (2010), Impact of Ventilation on Fire Behaviour in Legacy and Contemporary Residential Construction. Chicago.
12. Braidwood, J. (1866), Fire Prevention & Fire Extinction. Bell & Daldy: London.
13. Grimwood, P. (2008), Euro Firefighter: Global Firefighting Strategy and Tactics, Command and Control and Firefighter Safety. Huddersfield.
14. Bengtsson L.-G., Enclosure fires, Swedish Rescue Services Agency, 2001
15. Półka, M. (2003), Tworzywa sztuczne w pożarze, Przegląd Pożarniczy nr 11/2003, s. 12-13.
16. Starnes, A. / Bloemker S. (2019), Max Fire Box & Insight Training Thermal Imaging Guide 2nd Edition.
17. Grimwood, P. (2003), Rozgorzenie – największy koszmar strażaka. Tłum. : Nocoń, W.
18. Coffman, D. S. (2010), Winds of Change... Using Air as a Tool. www.balloonlife.com 10.2001
19. Garcia K., Kauffmann R., Shelble R., „Positive pressure attack for ventilation and firefighting”, Fire Engineering Books & Videos, United States of America, 2006.
20. Lambert, K. / Merci, B. (2013), Experimental study on the use of positive pressure ventilation for fire service interventions in buildings with staircases. Ghent
21. www.ramfan.pl, Ramfan Ventilators 2017 Master Catalog.
22. Zagami, A. S. / Lethlean, A.K. / Mellick, R. (1993), Delayed neurological deterioration following carbon monoxide poisoning: MRI findings. Journal of Neurology, vol. 240, s. 113-116.

23. Kokot-Góra S., (2014), Poznaj swoje narzędzie pracy cz. 1, Przegląd Pożarniczy 8/2014, s. 16.
24. Kokot-Góra S., (2014), Poznaj swoje narzędzie pracy cz. 2, Przegląd Pożarniczy 9/2014, s. 32.
25. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 14 marca 2000 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy ręcznych pracach transportowych oraz innych pracach związanych z wysiłkiem fizycznym. Dz.U.2018.1139 t.j.
26. ANSI/AMCA Standard 240-15. Laboratory Methods for Testing Positive Pressure Ventilators for Aerodynamic Performance Rating.
27. Kent Fire and Rescue Service. Fire Engineering. Technical Bulletin. TB4/2010 Positive Pressure Ventilation (Offensive). (100728/TB/4/2010/TFS/FSE/PG).
28. PN-EN ISO 5801:2017-12 - wersja angielska. Wentylatory -- Badanie właściwości użytkowych z zastosowaniem stanowisk znormalizowanych.
29. www.amca.org
30. www.supron1.pl
31. European Patent Application No. 06 701 793.9
32. Mobile smoke control and fire protection device. United States Patent 7810576
33. Lambert, K. (2016), BE-SAHF a.k.a. the art of reading Fire.
34. Bielicki, P. (2004), Taktyka działań gaśniczych dla słuchaczy kursu kwalifikacyjnego szeregowych Państwowej Straży Pożarnej. Warszawa.
35. Grimwood, P. / Hartin, E. / McDonough, J. / Raffel, S. (2005), 3D Firefighting: Training, Techniques and Tactics. Stillwater.
36. Hartin, E. (2009), The Ventilation Paradox. www.cfbt-us.com
37. Shaw, E. M. (1876), Fire protection, a complete manual of the organization, machinery, discipline, and general working of the Fire brigade of London. Oxford.
38. Grimwood, P. (1992), Fog Attack – Firefighting Strategy & Tactics. An International View. Surrey.
39. Tuliszkowski, J. (1909), Walka z pożarami dla użytku miast mniejszych, gmin, dworów, wsi i osad, Warszawa.
40. Kawagoe, K. (1958). 'Fire behaviour in rooms'. Report No. 27, Building Research Institute, Tokyo.
41. Hugget, C. (1980), Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements. Fire Matter 4, 61-65.
42. Kerber, S. / Madrzykowski, D. (2009), Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Fire Conditions: 7-Story Building Experiments. Gaithersburg.
43. Barowy, A. / Madrzykowski, D. (2012), Simulation of the Dynamics of a Wind-Driven Fire in a Ranch-Style House – Texas. NIST Technical Note 1729.
44. Kerber, S. (2013), Study of the effectiveness of fire service vertical ventilation and suppression tactics in single family homes. Northbrook.
45. 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.
46. 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.

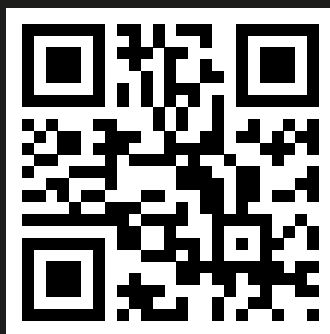
47. National Operational Guidance for the UK Fire and Rescue Service. "Control measure – Consider employing tactical ventilation."
48. Svensson, S. (2005), Fire ventilation, Karlstad.
49. Weinschenk, C. / Stakes, K. / Zevotek, R. (2017), Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival. Part II: Air Entrainment. Columbia.
50. Särndqvist, S. (2002), Water and other extinguishing agents. Sztokholm.
51. Kokot-Góra, S. (2016), Wentylatory i wentylacja w straży. Cz. 1. W Akcji 2/2016.
52. Kokot-Góra, S. (2016), Wentylatory i wentylacja w straży. Cz. 2. W Akcji 3/2016.
53. Kokot-Góra, S. (2018), Wentylatory. Przegląd Pożarniczy 1/2018
54. Kerber, S. / Walton, W. D. (2005), Effect of Positive Pressure Ventilation on a Room Fire. NISTIR 7213.

Zdjęcia: Piotr Zwarycz, obiektiv.com oprócz: 1, 12: Szymon Kokot-Góra



RAMFAN[®]

RAMFAN[®]
wentylatory



facebook.com/WentylatoryRamfan/

Przedstawiciel w Polsce:

