FIZYKOCHEMIA SPALANIA I ŚRODKI GAŚNICZE

Podręcznik dla słuchaczy kursu kwalifikacyjnego szeregowych PSP

Autorzy:

bryg. inż. Urszula Fietz-Strychalska *(SA PSP Poznań)* – „Proces spalania”
st. kpt. dr inż. Marzena Półłka *(SGSP Warszawa*)
mł. bryg. mgr inż. Krzysztof T. Kociołek *(SA PSP Kraków)* – „Środki gaśnicze”
st. kpt. mgr inż. Bernard Król *(SGSP Warszawa*)
st. kpt. mgr inż. Jan Kołdej *(CS PSP Częstochowa)* – „Pożar i jego rozwój”

CZĘŚĆ I - PROCES SPALANIA

Podstawowe pojęcia procesu spalania

Spalanie
Jest to złożony, fizykochemiczny proces wzajemnego oddziaływania materiału palnego i powietrza charakteryzujący się wydzielaniem ciepła i światła. Proces spalania ma miejsce w temperaturach znacznie wyższych od temperatur, w których przebiega proces utlenienia. Proces może przebiegać jako spalanie płomieniowe lub bezpłomieniowe.

Utlenianie
Polega ono na egzotermicznej reakcji chemicznej z tlenem, może zachodzić w różnych temperaturach i z różną szybkością. Szybkość utleniania jest to ilość substancji utlenionej w jednostce czasu.

Tlenienie
Jest to utlenianie powierzchniowe stałych produktów rozkładu termicznego materiałów palnych pochodzenia organicznego tzn. węgla lub materiałów silnie porowatych. Zjawisko tlenienia występuje zazwyczaj wtedy, gdy ogrzewana jest względnie duża masa materiału, a zasadniczą cechą palności takiego materiału jest to, że spalanie zaczyna się w głębiej położonych częściach materiału, gdzie efekty samo nagrzewania są największe. Wydzielone w procesie spalania ciepło przenoszone jest do sąsiednich części paliwa tworząc tzw. front tlenia. W czasie tlenia niebezpieczeństwo pożarowe materiału nie wynika z obecności samego materiału tlącego, lecz z miejsca jego występowania.

Żarzenie
Jest to zjawisko świecenia powierzchni palnego materiału nieorganicznego, który nie uległ rozkładowi termicznemu, lecz ogrzał się w wyniku różnych zjawisk i przemian chemicznych.

Paliwo
Paliwem nazywa się materiały, które mają zdolność do utlenienia w obecności utleniacza.

Źródło ciepła – bodziec energetyczny
Jest to dowolny impuls cieplny mający niezbędny zapas energii cieplnej do zapoczątkowania reakcji spalania materiału.

Płomień

Jest to widzialna objętość gazu, w której przebiegają procesy rozkładu termicznego, utleniania i spalania. Płomień powstaje w części przestrzeni w, której zachodzi chemiczna reakcja spalania.
Rozróżnia się dwa typy płomieni:

a) płomień dyfuzyjny – płomień powstały w wyniku zapalenia tej części objętości, w której następuje mieszanie się paliwa z powietrzem (utleniaczem). Szybkość spalania w płomieniu dyfuzyjnym jest określona szybkością dyfuzji (przenikania) powietrza do strefy spalania płomienia;
b) płomień powstały w warunkach, gdy substancja palna była już wstępnie, przed zapaleniem zmieszana z powietrzem, oznacza to, że szybkość spalania określona jest przede wszystkim szybkością przebiegu reakcji spalania;

Ciepło spalania

Jest to ilość ciepła, która wydziela się podczas całkowitego spalania jednostki masy danej substancji. Dla ciał stałych i cieczy podaje się w kilodżulach kJ w przeliczeniu na kilogram. Natomiast dla gazów w kilodżulach na metr sześcienny. Podczas całkowitego spalania paliwa otrzymuje się w produktach dwutlenek węgla (CO_2) i wodę (H_2O). W obliczaniach ciepła spalania zakłada się, że powstała w czasie spalania woda jest w stanie ciekłym.

Wartość opałowa

Wartością opałową nazywa się tą ilość ciepła w kJ, która wydziela się podczas spalania jednostki masy lub objętości, przy założeniu, że woda po spaleniu występuje w stanie pary.

Temperatura zapłonu

Jest to najniższa temperatura, przy której ciało palne jest zdolne do wyemitowania takiej ilości palnych par, które zmieszane z utleniaczem zdolne są do zapłonu na krótką chwilę od bodźca energetycznego, przesuniętego nad jej powierzchnią.

Temperatura zapalenia

Jest to najniższa temperatura materiału, który ogrzany strumieniem ciepła dostarczonym z zewnątrz w wyniku rozkładu termicznego wydziela palną fazę lotną o stężeniu umożliwiającym jego zapalenie się tzn. samoczynne pojawienia się płomienia.

Samozapalenie

Samozapaleniem nazywa się proces zapoczątkowanej reakcji spalania zachodzący w wyniku zmian biologicznych lub fizycznych i chemicznych materiałów , przy czym samo nagrzewanie się materiału i w konsekwencji ich

samozapalenie, następuje samoczynne, bez udziału zewnętrznych strumieni ciepła oraz bez udziału punktowych źródeł ciepła.
Samozapaleniu mogą ulegać:

- oleje i tłuszcze (na bazie związków nienasyconych), oleje syntetyczne nie ulegają samozapaleniu
- siarczki żelaza
- węgiel kopalniany i torf
- produkty roślinne
- chemiczne substancje i mieszaniny

CELE SZCZEGÓŁOWE
W wyniku realizacji słuchacz powinien umieć:

- zdefiniować pojęcia: utlenianie, spalanie, rodzaje i warunki tlenia, żarzenie, paliwo, źródło ciepła, płomień, zapłon, zapalenie i samozapalenie.

Metody i sposoby przerywania (neutralizowania) procesu spalania

Sposoby gaszenia pożarów są różne i zależą od wielu czynników.
Tymi czynnikami są:

- materiał palny
- Ilość materiału palnego
- właściwości pożarowe materiału palnego
- rozmieszczenie
- warunki spalania
- czas jaki upłynął od momentu powstania pożaru

Sposoby gaszenia pożarów wymuszają stosowanie określonych środków gaśniczych, gdyż powodują one przerwanie procesów spalania. Każdy środek gaśniczy posiada kilka mechanizmów przerywania procesów spalania, zazwyczaj jednak jeden z nich jest dominujący.
Do mechanizmów tych należą:

- izolacja materiału palnego od utleniacza
- obniżenie stężenia utleniacza w strefie spalania
- ochłodzenie materiałów palących się
- chemiczne zahamowanie procesów oksydo - redukcyjnych
- ochłodzenie strefy spalania
- izolacja materiału palnego przed promieniowanie cieplnym

Izolacja materiału palnego od utleniacza mogą zapewnić: piana gaśnicza, woda, szczególnie zawierająca dodatki zwiększające jej lepkość, ciężki gazy typu CO_2, halony.

Obniżenie stężenia utleniacza w strefie spalania można uzyskać przy pomocy inertycznych gazów pary wodnej i halonów.

Ochłodzenie materiałów palnych i palących się uzyskujemy przy pomocy wody – strumieni mgłowych i pian gaśniczych. Chemiczne zahamowanie procesów oksydo – redukcyjnych osiąga się przy pomocy proszków gaśniczych o właściwościach inhibicyjnych, także przy pomocy halonów.

Ochłodzenie strefy spalania – przy pomocy rozpylonej wody

Izolacja materiału palnego przed promieniowaniem cieplnym w strefie spalania osiąga się również przy pomocy pian gaśniczych i wody, zwłaszcza zagęszczonej.

CELE SZCZEGÓŁOWE

W wyniku realizacji słuchacz powinien umieć:

- stosować w praktyce metody i sposoby przerywania procesu spalania.

Zjawiska towarzyszące procesowi spalania

Wymiana cieplna w środowisku pożarniczym

Istnieją trzy podstawowe mechanizmy transportu ciepła w środowisku pożarniczym:

- przewodzenie – kondukcja
- unoszenie – konwekcja
- promieniowanie – radiacja

Wymiana cieplna – ruch ciała w danej przestrzeni zachodzący w skutek istnienia różnicy temperatury. Wymiana cieplna może być ustalona (temperatura zależy od położenia punktu w przestrzeni) i nieustalona (zależy także od czasu). Wymiana cieplna może odbywać się w wyniku przewodzenia, promieniowania, konwekcji, wnikania lub w sposób złożony np.: przenikanie.

Przewodzenie ciepła – kondukcja

Jest to wymiana ciepła polegająca na przekazywaniu energii cieplnej między punktami ośrodka, bez przemieszczania jego elementów w kierunku zmiany temperatury i bez udziału sił elektromagnetycznych w ten sposób występuje np.: w szybie okiennej lub w ścianie budynku. Przewodzone ciepło określa szybkość przewodzenia ciepła w ciałach stałych. Jest to ważny element biorąc pod uwagę zapalność i szybkość rozprzestrzeniania się płomienia po powierzchni ciał

stałych, czyli w początku pierwszej fazy pożaru. Przewodnictwo ciepła decyduje o tym jak szybko materiał ogrzewa się, rozkłada termicznie itd. Przewodnictwo ciepła jest również istotne przy obliczaniu odporności ogniowej elementów budowlanych.

Promieniowanie cieplne – radiacja

Promieniowanie jest dominującym i zasadniczym sposobem przenoszenia ciepła przy pożarach. W skutek oddziaływania na materiał strumieniem ciepła promieniowania, ulegają one ogrzaniu i w konsekwencji dalszym przemianom aż do wystąpienia zapalenia. Promieniowanie warunkuje również ciągłość spalania materiałów i jest ono odpowiedzialne za szybkość rozwoju pożarów na otwartych przestrzeniach np.: pożarów lasów oraz za ogrzewanie budynków. Powstała ilość ciepła wydzielonego w płomieniach jest przenoszona do otoczenia drogą promieniowania. Jest to wymiana cieplna polegająca na emitowaniu fal elektromagnetycznych o długości 0,8 – 40 μm (promieniowanie podczerwone). Strumień energii cieplnej wymienionej przez promieniowanie zależy od różnicy temperatury źródła promieniowania i powierzchni odbierającej ciepło.

Konwekcja – unoszenie się ciepła

Jest to wymiana ciepła polegająca na przepływie ciepła spowodowanym naturalnym lub wymuszonym przemieszczeniu się płynu (gazu lub cieczy). Konwekcja naturalna jest wywołana różnicą gęstości płynu powstały np.: wskutek różnicy temperatury w polu grawitacyjnym. Konwekcja wymuszona jest wywołana działaniem sił zewnętrznych. Konwekcyjne przenoszenie ciepła ma miejsce we wszystkich fazach pożaru, ale szczególnie istotna jest w tej fazie pożaru gdzie strumień ciepła promieniowania jest bardzo mały. Wymiana ciepła przez konwekcję naturalną występuje np.: w przestrzeni pokoju.

Wnikanie ciepła

Jest to wymiana ciepła między ciałem stałym a płynem będącym w ruchu np.: wnikanie ciepła od strony rur podgrzewacza do płynącej w nich wody.

Produkty spalania

Produktami spalania nazywamy pary, gazy i ciała stałe powstałe w wyniku procesów spalania. W warunkach pożarowych produkty spalania o różnych stanach skupienia współdziałają ze sobą w obszarze spalania i przenoszenia się ciepła. Wydzielanie się produktów spalania podczas pożaru stanowi niebezpieczeństwo ze względu na:

- ograniczenie widoczności
- utrudnienie oddychania spowodowane ich działanie toksycznym oraz występującym niedoboru tlenu

- działanie termiczne (wysoka temperatura mogąca uszkodzić układ oddechowy)

Wszystkie te czynniki ograniczają czas ewakuacji i powodują ogromne trudności podczas akcji ratowniczej. Agresywność chemiczną produktów spalania powodują także wtórne straty z samego działania ognia. Produkty spalania dzielą się na produkty całkowitego spalania i produkty niecałkowitego spalania.

Produkty całkowitego spalania

Produktami całkowitego spalania nazywa się produkty powstałe podczas spalania, nie mające zdolności do dalszego utleniania w warunkach, w których były otrzymane np.: CO_2, H_2O, SO_2, P_2O_5.

Produkty niecałkowitego spalania

Produktami niecałkowitego spalania nazywa się produkty powstałe podczas spalania przebiegającego przy ograniczonym dostępie powietrza np.: CO, P_2O_3 itp.

Dym

Dym definiuje się jako gazowe produkty spalania materiałów organicznych, w których rozproszone są małe cząsteczki gazowe i ciekłe. Sposób tworzenia się dymu jest następujący: cząstki dymu powstają w wyniku niecałkowitego spalania. Powstają one zarówno podczas spalania płomieniowego jak i bezpłomieniowego (tlenia). Dym tworzący się podczas spalanie płomieniowego składa się przede wszystkim ze stałych cząstek węgla (sadzy). Część cząstek sadzy powstaje przez oblepienie ciekłych produktów spalania w warunkach oddziaływania wysokoenergetycznego strumienia ciepła promienia. Większość jednak cząstek sadzy tworzące się w fazie gazowej powstają jako wynik niecałkowitego spalania, wysokiej temperatury. Ilość tworzącego się dymu jest zależna od wielu czynników. Najważniejszym z nich jest chemiczna budowa paliwa np.: małe ilości CO, HCHO, HCOOH,CH_3OH spalają się dając płomień nie świecący, bez cząstek dymu. Inne paliwa w identycznych warunkach dają gęstość dymu zależną od ich budowy np.: proste łańcuchowe węglowodory (alifatyczne) dają znacznie mniej dymu niż węglowodory aromatyczne. Intensywność dymienia materiały zależy również od szybkości rozkładu termicznego i szybkości zapalenia, składu chemicznego, podstawowego składnika oraz rodzaju dodatków : wypełniacz i materiał ognioodporny. Materiały, które mają w cząsteczce tlen dają podczas spalania mniejsze ilości dymu np.: drewno (stężenie tlenu ok. 40% - 50%) dają znacznie mniej dymu niż węglowodory.

Powstawanie strefy zadymienia

Podczas pożaru dym mieszając się z powietrzem może rozprzestrzeniać się na znaczne odległości i wypełniać duże pomieszczenia. Strefą zadymienia nazywamy te odcinki, w ramach których produkty spalania i rozkładu wywierają istotny wpływ na sytuację pożaru. Strefa zadymienia według definicji to przestrzeń podsufitowa, która jest zapełniona dymem aerozolowym, w takim stężeniu, które stwarza zagrożenie zdrowiu lub życiu ludzi, którzy w niej przebywają. Dym to faza produktów rozkładu termicznego i spalania materiału rozpraszającego światło, składającego się z cząstek które stanowić mają kropelki cieczy, fragmenty gazowe i ciekłe. Strefa charakteryzuje się tym, że jej temperatura jest zdecydowanie wyższa niż powietrze przy podłodze – gdzie często powietrze jest przezroczyste. Jeżeli pomieszczenie nie posiada otworów okiennych, drzwi do niego są zamknięte gazy i dym wypełniają całe pomieszczenie tłumiąc tym samym rozwój pożaru poprzez redukcje tlenu w powietrzu, ale stwarzając nowe zagrożenie jak np.: wsteczny ciąg płomieni. W warunkach pożarów zewnętrznych położenie strefy zadymienia zależy od rozmiarów powierzchni pożaru i warunków atmosferycznych. Parametrami określającymi strefę zadymienia są: - stężenie tlenu, które nie może być niższe od 12%, gdyż już tak niskie stężenie wywołuje głód tlenowy.

- ilość toksycznych produktów spalania i pirolizy
- stopień widoczności (zasięg)

Strefa oddziaływania promieniowania cieplnego

Jest to przestrzeń, w której wydzielone ciepło prowadzi do zmian stanu skupienia materiałów i wytrzymałości konstrukcji obiektu, stwarzając zarazem niebezpieczeństwo zmian w sytuacji pożarowej i zagrożenia ludzi.

Wielkość tej strefy zależy gównie od:

- rodzaju pożaru (wewnętrzny, zewnętrzny)
- wielkości strefy spalania
- ciepła właściwego pożaru
- temperatury pożaru
- sposobów rozchodzenia się ciepła (kondukcja , konwekcja, radiacja)

Strefa oddziaływania promieniowania cieplnego jest strefą różniącą się od pozostałych stref tym, że temperatura gazów w niej podczas pożaru rośnie tylko w niewielkim stopniu, w porównaniu do pozostałych stref. Strefa ta w czasie rozwoju pożaru maleje na rzecz strefy zadymienia, a gazy uciekają w niej do strefy konwekcyjnej oraz także przez otwory wentylacyjne na początku każdego pożaru, aby w trakcie jego rozwoju przez te same otwory zacząć napływać.

Ognie lotne

Są to nie spalone, rozżarzone cząstki materiału palnego przenoszone za pomocą wiatru i ruchów konwekcyjnych na znaczne odległości, mogące powodować powstanie nowych ognisk pożaru

Ognie żgące
Są to języki ognia powstające w fazie pośredniej między spalaniem a wybuchem, podczas pożaru wewnętrznego o słabej wymianie gazowej, w momencie dopływu powietrza bogatego w tlen np.: na skutek otwarcia drzwi.

CELE SZCZEGÓŁOWE
W wyniku realizacji słuchacz powinien umieć:
- scharakteryzować zjawisko dymu i strefy zadymienia
- scharakteryzować najczęściej występującą przy pożarach wewnętrznych produkty całkowitego i niecałkowitego spalania
- wymienić i zinterpretować zjawiska towarzyszące procesowi spalania: wydzielanie ciepła, oddawanie ciepła (radiacja, konwekcja, kondukcja), powstawanie strefy cieplnego oddziaływania, ognie żgące, dymy (produkty całkowitego i niecałkowitego spalania);

Proces spalania – czynniki niezbędne do zaistnienia spalania

Definicja encyklopedyczna dotycząca pożaru mówi – pożar to niszczące, niekontrolowane działanie ognia na materiały palne, wywołane egzotermicznymi procesami fizykochemicznymi, zachodzącymi między stykającymi się bezpośrednio pierwiastkami lub związkami chemicznymi o właściwościach silnie utleniających np.: tlen, chlor, nadtlenki organiczne i nieorganiczne. Zainicjowanie tych procesów jest uwarunkowane składem chemicznym i budową zmieszanych materiałów. Najczęstszą przyczyną zainicjowania procesu palenia jest odpowiednio silny, zewnętrzny bodziec cieplny.
Rozróżnia się:
a) Pożary egzotermiczne powstające w materiałach palnych w obecności gazowego utleniacza np.: tlenu z powietrza pod wpływem bodźców zewnętrznych
b) Pożary endogeniczne powstające z przyczyn wewnętrznych (samo nagrzewanie, samozapalenie), czemu sprzyja obecność bakterii wydzielających w procesach przemian biologicznych znaczne ilości ciepła.

Aby przybliżyć proces palenia należy na samym wstępie dobrze zrozumieć zjawisko utlenienia.

Utlenianie

Jest jednym z wielu procesów chemicznych powszechnie występujących w przyrodzie. Jest to reakcja chemiczna polegająca na łączeniu pierwiastków z tlenem. Utlenianie może zachodzić w różnych temperaturach z różną szybkością. Szybkość utleniania jest to ilość substancji utlenionej w jednostce czasu. W warunkach normalnych proces utleniania zachodzi z małą szybkością np.: rdzewienie metali, butwienie związków organicznych. W temperaturach wyższych szybkość utlenienia gwałtownie wzrasta. Proces utleniania można w prosty sposób przedstawić jako łączenie się pierwiastka z tlenem, co związane jest z podwyższeniem stopnia utlenienia pierwiastka chemicznego. Stopień utlenienia jest to wartościowość pierwiastka wobec tlenu. Proces utleniania może nastąpić nie tylko przez działanie samego tlenu, ale także związków bogatych w tlen, zdolnych do oddawania go. Związki te noszą nazwę utleniaczy. Do najczęściej spotykanych należą:

Nadmanganian potasu	$KMnO_4$
Dwuchromian	$K_2Cr_2O_7$
Woda utleniona	H_2O_2
Podchloryn wapnia	$Ca(CIO)_2$
Ozon	O_3
Chlor	CI_2
Nadtlenek sodu	Na_2O_2
Nadtlenek eteru	$(C_2H_2)_2O_2$
Pięciotlenek azotu	N_2O_5
Kwas azotowy	HNO_3
Powietrze	$O_2 + N_2$

Proces palenia

Całkowitym i złożonym procesem fizykochemicznym, wzajemnego oddziaływania materiału palnego zwanego paliwem i powietrza – utleniacza, charakteryzujący się wydzielaniem ciepła i światła jest to proces zwany spalaniem. Pomiędzy utlenianiem, a spalaniem jest różnica w szybkości przebiegu chemicznej reakcji utleniania. Utlenianie zachodzi w niskich temperaturach i jest również procesem egzotermicznym. Jednak ilość wydzielanego ciepła jest zbyt niska aby powstałe produkty spalania dały zjawisko świecenia. Proces spalania ma miejsce w temperaturach znacznie wyższych od temperatur, w których przebiega proces utleniania. Produkty spalania, czyli produkty powstałe w wyniku spalania mają taki zapas energii cieplnej, że wzbudzone atomy tzn. ogrzane atomy produktów spalania emitują pewne ilości (kwanty) ciepła, co oko ludzkie odbiera jako świecenie. Proces spalania przedstawiony w prostym schemacie to przekształcenie jednej substancji w inną, której własności różnią się od substancji wyjściowej np. przy

spalaniu siarki, wydziela się tlenek siarki, który fizycznymi i chemicznymi właściwościami różni się od siarki.

Spalanie

Spalaniem nazywamy chemiczny proces łączenia się ciała palnego z tlenem, podczas którego wydziela się ciepło i światło.

Spalanie posiada trzy cechy charakterystyczne:

- jest procesem chemicznym
- wydziela się ciepło
- przebiega z wydzielaniem światła

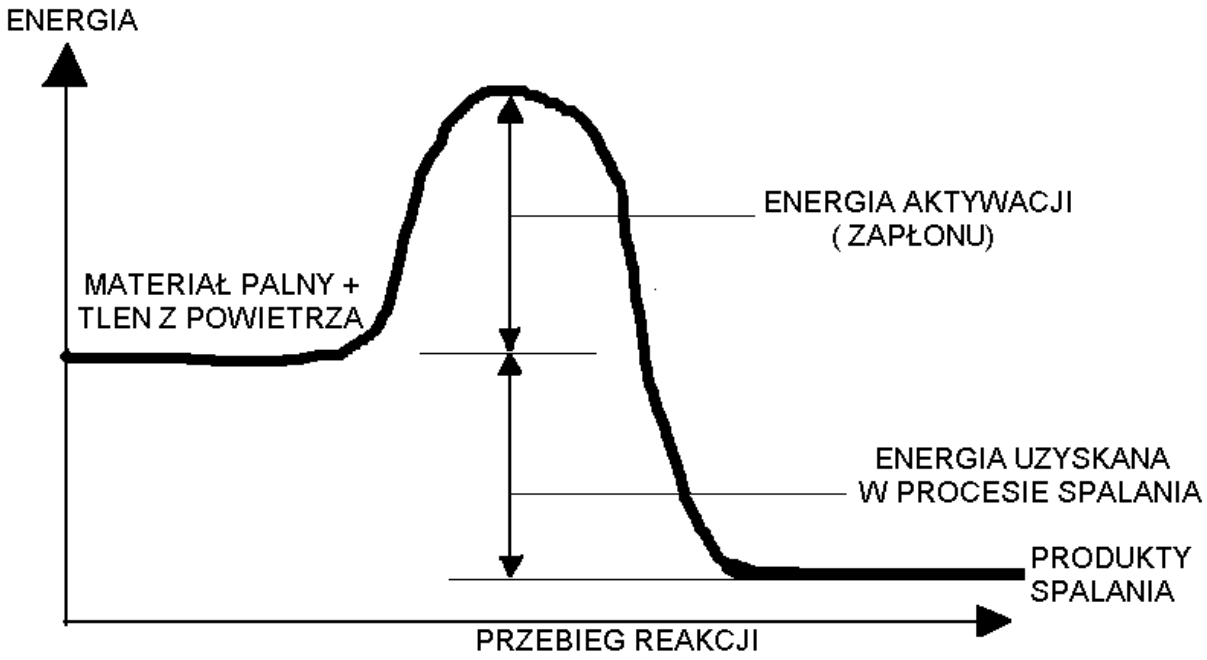
Ciała palne w momencie zetknięcia się z utleniaczem może być w stanie ciekłym lub gazowym. Jeśli ciało palne jest gazem to znaczy, jeśli układ palny (tlen + ciało palne) składa się z jednej fazy palenia nazywamy homogenicznym. W tym przypadku ciała reagujące nie mają powierzchni rozkładu. Charakterystycznym objawem palenia homogenicznego jest płomień. Natomiast, kiedy ciało palne w momencie reagowania z tlenem znajduje się w stanie stałym paliwo nazywamy heterogenicznym. Tak pali się np.: koks - węgiel drzewny. Palenie heterogeniczne zachodzi na granicy rozkładu faz tj. na powierzchni ciała stałego. Charakterystyczną cechą jest świecenie ciała stałego i obecność płomienia. W czasie pożarów powstaje zarówno spalanie homogeniczne jak i heterogeniczne.

Spalanie, przy którym czas spalania zależy tylko od szybkości reakcji chemicznej między tlenem, a ciałem palnym nazywamy spaleniem kinetycznym. W kinetyczny sposób może przebiegać spalanie homo i heterogeniczne. Przykładem homogenicznego spalanie się w sposób kinetyczny jest proces palenia mieszaniny par z powietrzem powstając nad powierzchnią cieczy w jej temperaturze zapłonu. Przykładem heterogenicznego palenia w sposób kinetyczny jest tlenie się drewna. Spalanie, które zależy tylko od czasu koniecznego dla zaistnienia fizycznego kontaktu tlenu z ciałem palnym tj. od czasu dyfuzji tlenu do strefy palenia nazywamy spaleniem dyfuzyjnym. Przykładem homogenicznego spalania w sposób dyfuzyjny jest proces palenia cieczy ze swobodnej powierzchni lub palenie gazu wychodzącego z rury. Przykładem heterogenicznego spalania w sposób dyfuzyjny jest proces spalania koksu.

- Z dyfuzyjnym paleniem spotykamy się przy spalaniu cieczy, drewna, metali i innych ciał. W czasie pożaru spalanie ma prawie zawsze charakter dyfuzyjny i bardzo rzadko zachodzi przypadek wybuchu powstałej mieszaniny par i gazów lub pyłów z powietrzem. Rozróżniamy spalanie całkowite i niecałkowite. Całkowitym nazywamy

takie spalanie w rezultacie, którego otrzymuje się produkty, które nie mogą się już palić np.: dwutlenek węgla, woda itp. Niecałkowitym nazywamy spalanie w

rezultacie, którego otrzymujemy produkty, które mogą się jeszcze palić np.: tlenek węgla (czad). Palenie niecałkowite następuje w tym przypadku, gdy w pomieszczeniu występuje niedostateczna ilość powietrza. Zdarza się to często przy pożarach w piwnicach i zamkniętych pomieszczeniach, gdzie zgromadzona jest duża ilość materiałów palnych np.: przy spalaniu drewna otrzymujemy tlenek węgla, pary alkoholu metylowego, aceton, kwas octowy i inne substancje - wszystkie drażnią śluzówkę oczu, a tym samym utrudniają gaszenie pożaru.
Sposób spalania materiałów zależy m.in. do stanu skupienia paliwa, dlatego ten proces też może przebiegać jako spalanie płomieniowe i bezpłomieniowe (tlenie).

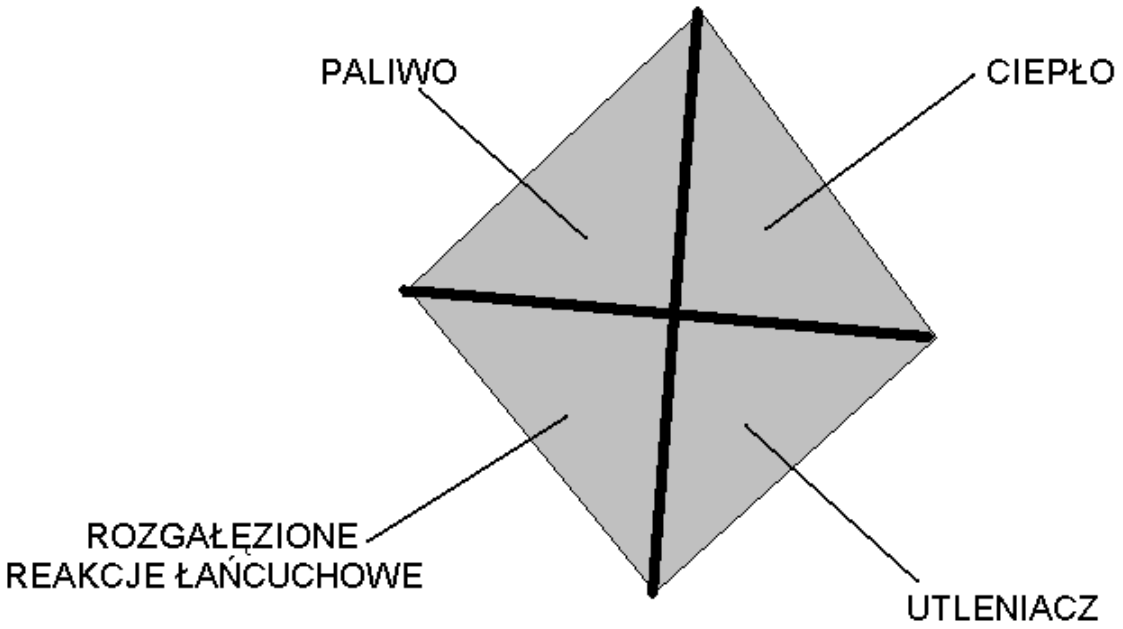


Zapoczątkowanie reakcji spalania

Spalanie płomieniowe
Jest procesem spalania palnej fazy lotnej (płomienia), występuje podczas spalania gazów, cieczy i materiałów stałych, które podczas ogrzewania przechodzą w stan lotny.
Spalanie bezpłomieniowe
Jest to typ spalania niektórych paliw stałych charakteryzujących się tym, że w czasie spalania nie występuje płomień tzn. nie tworzy się lub w minimalnej ilości palna faza lotna.
Warunki zaistnienia spalania płomieniowego
Proces spalania płomieniowego może zaistnieć w ściśle określonych warunkach; są one ze sobą związane i zamknięte w czworościanie. Czworościan przedstawia

przestrzenny obraz zależności składowych elementów niezbędnych do zapoczątkowania spalania warunkujących ciągłość tej reakcji.
Elementami tymi są:

- obecność paliwa w odpowiedniej ilości
- obecność utleniacza w odpowiednim stężeniu
- obecność źródła ciepła w odpowiedniej mocy lub temperaturze
- obecność w płomieniu pośrednich produktów (rodników) warunkujących ciągłość spalania. Produkty te w przestrzeni objętej spalaniem, co ilustruje czworościan zapalności elementów składowych (bryła przestrzenna, a nietradycyjny „trójkąt spalania" przedstawiając na płaszczyźnie graficzną zależność trzech elementów spalania – utleniacz, paliwo oraz ciepło).



CELE SZCZEGÓŁOWE

W wyniku realizacji słuchacz powinien umieć:

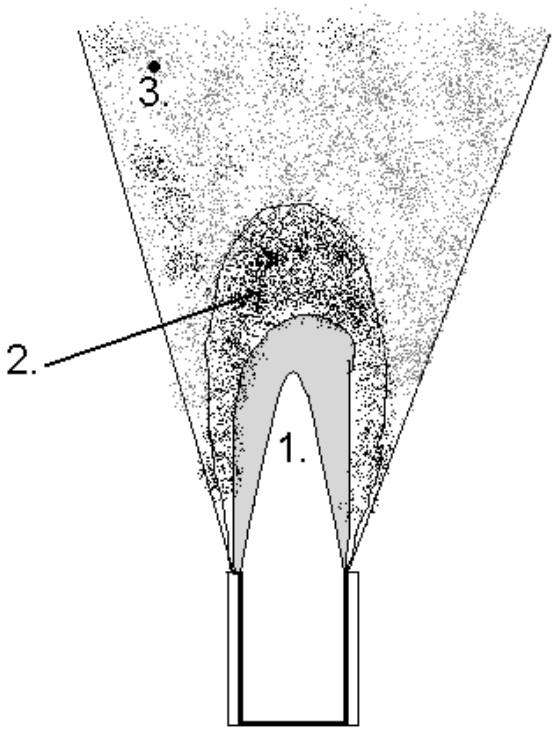
- wyjaśnić zjawisko spalania i czynności niezbędne do rozpoczęcia procesu spalania
- omówić inicjację procesu spalania
- omówić rodzaje spalania – homogeniczne, heterogeniczne, dyfuzyjne i kinetyczne

Mechanizmy spalania: gazów, cieczy i ciał stałych

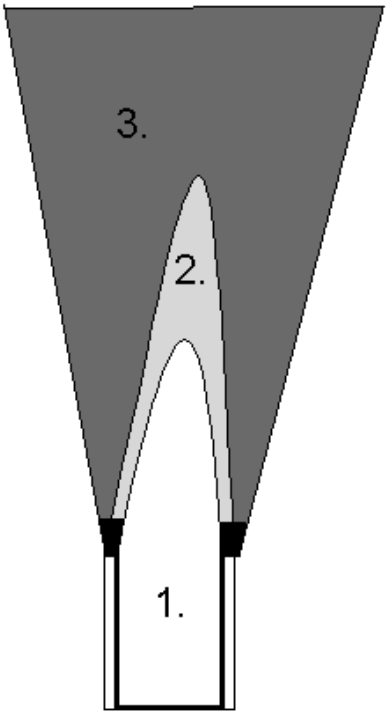
Mechanizm spalania gazów

Gazy spalać się mogą zarówno kinetycznie jak i dyfuzyjnie. Największe zagrożenie występuje wtedy, gdy gazy spalają się kinetycznie. W kinetycznym reżimie spalania, paliwo gazowe i powietrze (utleniacz) przed zapaleniem są wstępnie zmieszane.

Tworzenie się mieszaniny palnej w płomieniu w wyniku dyfuzji molekularnej



Rys. A



Rys. B

Rys. A – do chwili rozpoczęcia procesu spalania: 1) obszar, w którym stężenie składnika palnego przewyższa górną granicę zapalności; 2) obszar stężeń w zakresie wybuchowym; 3) obszar, w którym stężenie składnika palnego jest poniżej dolnej granicy wybuchowości;

Rys. B – budowa płomienia dyfuzyjnego podczas spalania: 1) strefa palnych gazów; 2) strefa spalania; 3) strefa mieszania się produktów spalania z powietrzem;

W celu zapoczątkowania reakcji spalania w mieszaninie palnej niezbędne jest dostarczenie do mieszaniny energii cieplnej w postaci np.: iskry elektrycznej. W wyniku zapalenia mieszaniny powstaje czoło płomienia przemieszczając się już samoczynnie poprzez cała pozostałość mieszaniny.
W takich warunkach spalanie przebiega z dużymi szybkościami. Są one określone przede wszystkim prędkością utleniania, a nie względnie wolnym, fizycznym procesom mieszania się paliwa z powietrzem, która to prędkość określa zachowanie się paliw podczas spalania dyfuzyjnego. Niebezpieczeństwo wybuchu gazów i par w mieszaninie z powietrzem opisuje się przez podanie:

- szybkości rozprzestrzeniania się płomienia
- temperatury zapalenia
- granice wybuchowości w powietrzu

Wybuch

Jest to zespół zjawisk towarzyszących szybkiemu przejściu układu z jednego stanu równowagi w drugi z wydzieleniem dużej ilości energii.
Wybuchy dzielimy na:

- wybuchy fizyczne – jest to taki wybuch, podczas, którego składniki układu nie ulegają reakcjom chemicznym np.: wybuch kotła parowego
- wybuchy chemiczne – jest to bardzo szybko przebiegająca egzotermiczna reakcja spalania, której towarzyszy powstanie dużej ilości gazowych produktów spalania.

Wybuchy chemiczne dzielą się na deflagtacje i detonacje.

Deflagracja

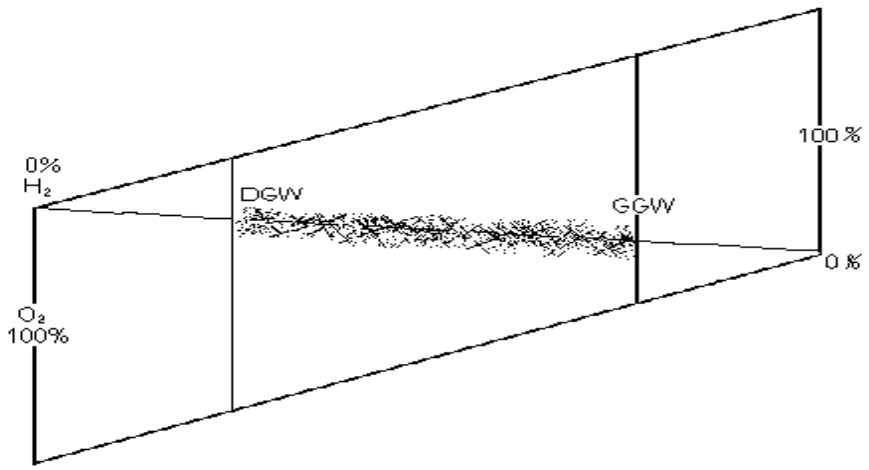
Jest to taki wybuch chemiczny, podczas, którego powstała energia cieplna, zgromadzona w produktach spalania, przekazywana jest od warstwy spalające się do warstwy nieobjętej spalaniem, w drodze przewodnictwa i promieniowania. Prędkość deflagracji zależna jest od ciśnienia zewnętrznego.

Detonacja

Jest to zjawisko wybuchu przebiegające z dużą, stałą prędkością liniową. Detonacja charakteryzuje się powstaniem tzw. fali detonacyjnej, czyli uderzeniowej, na czele, której powstaje bardzo wysokie ciśnienie i bardzo wysoka temperatura. Szybkość spalania mieszanin gazowych z tlenem lub powietrzem jest zmienna w zależności od charakteru składnika palnego i jego stężenia. Temperatury zapalania gazów mieszczą się na ogół w zakresie 400^0C– 600^0C, wyjątek stanowi m.in. acetylen (bez domieszek 305^0C)

Granica zapalności (wybuchowości)

Przez granice zapalności należy rozumieć minimalną – dolną granicę (DGW) lub maksymalną – górną granicę (GGW) zawartości składnika palnego w mieszaninie z powietrzem, przy której zapłon jest już (jeszcze) możliwy. Granica zapalności mieszanin palnych par i gazów z powietrzem oznacza się w procentach objętości (% obj.), rzadziej w g/m^3.



Przykładowy obszar wybuchu stężeń mieszaniny wodoru z powietrzem.

Aby mieszanina gazu, par – z powietrzem mogła się spalać, stężenie składnika palnego a mieszaninie musi znajdować się w wybuchowym zakresie stężeń tzn. pomiędzy wartościami odpowiadającym zakresie dolnej i górnej granicy zapalności.

Granice wybuchowości są zależne od:

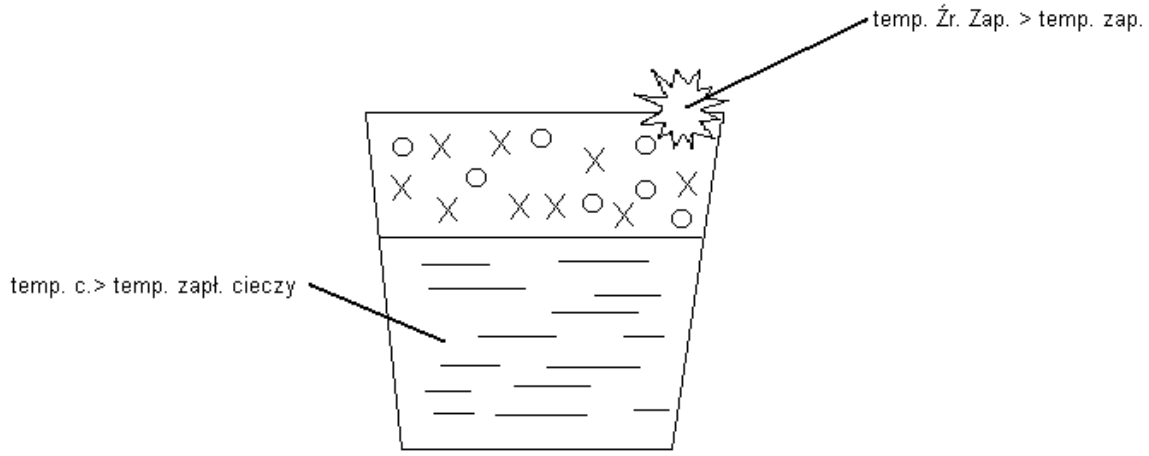
- ciśnienia
- temperatury
- bodźca energetycznego
- ilości gazu obojętnego
- składu
- miejsca zainicjowania zapłonu i kierunku rozprzestrzeniania się płomienia
- stężenie tlenu w mieszaninie

Przy ocenie zagrożenia wybuchem najważniejsza jest dolna granica wybuchowości. Stanowi ona umowne podstawowe kryterium podziału gazów na dwie grupy.

I grupa – gazy palne, których dolna granica wybuchowości znajduje się poniżej stężenia 10% objętościowych gazu palnego w mieszaninie z powietrzem np.: acetylen – 2,3%; propan- butan – 2,1% itd.
II grupa – gazy palne, których dolna granica wybuchowości leży, powyżej stężenia 10% objętościowych gazu palnego w mieszaninie z powietrzem np.: amoniak 15,5%; tlenek węgla 12,5% itd.

Mechanizm spalania cieczy

Spalanie cieczy zachodzi wtedy, gdy nad powierzchnią cieczy znajduje się zdolna do spalanie mieszanina par cieczy z powietrzem, Jeśli stężenie par jest niższe od stężenia odpowiadającego dolnej granicy zapalności lub, jeśli jest za mało powietrza np.: rozrzedzenie par gazem obojętnym, spalanie cieczy jest praktycznie niemożliwe. Aby powstała palna mieszanina par cieczy z powietrzem i zapaliła się ciecz musi mieć temperaturę nie niższą niż jej temperatura zapłonu, a ilość tlenu w mieszaninie nie może być niższa niż 12% obj. Spalanie mieszaniny może nastąpić w obecności źródła ciepła posiadającego odpowiednią energie cieplną.



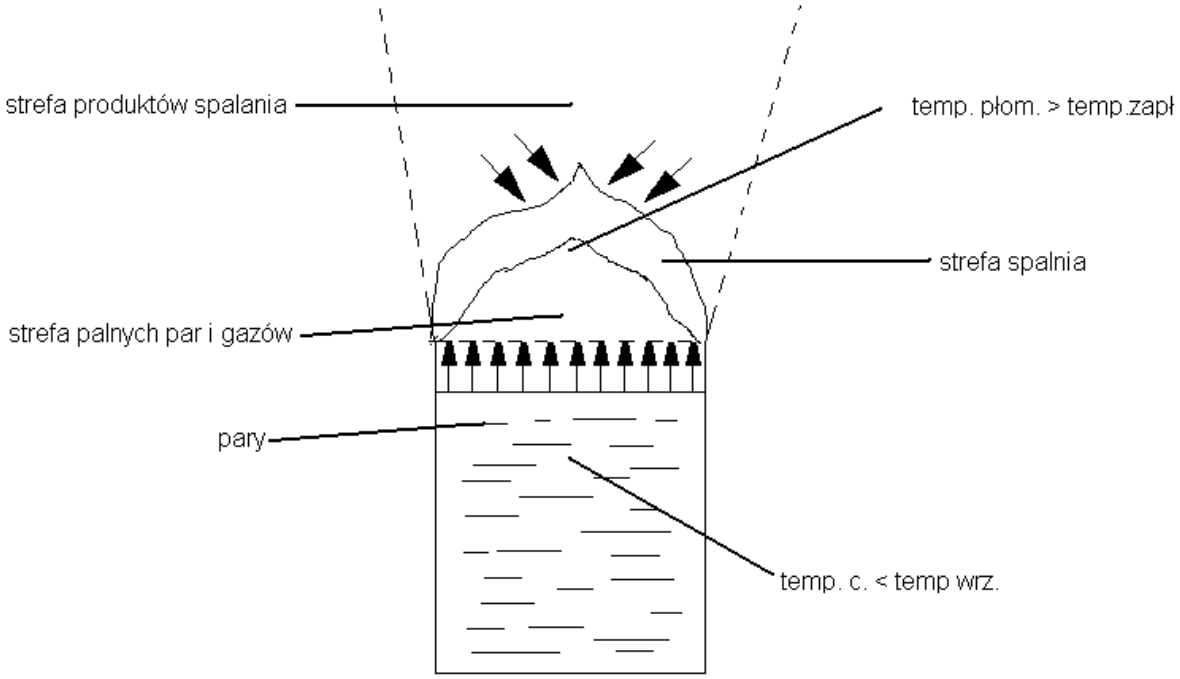
Warunki konieczne do zapalenia się cieczy w ujęciu schematycznym:

- temp. Źr. Zap. (temperatura źródła zapalenia)
- temp. zap. (temperatura zapalenia mieszaniny par z powietrzem)
- temp. c. (temperatura cieczy)
- temp. zapł. (temperatura zapłonu)

Kiedy temperatura cieczy jest równa lub wyższa od jej temperatury zapłonu mieszanina par z powietrzem istniejąca nad cieczą ulega zapłonowi przy wprowadzeniu do niej mieszaniny źródła ciepła, posiadającego niezbędny zapas do ogrzania mieszaniny do tej temperatury. Po zapaleniu, gdy temperatura

górnej warstwy cieczy jest wyższa niż temperatury zapłonu, ustala się spalanie ciągłe.
Podczas spalania cieczy powstaje płomień, w którym ma miejsce energetyczne przygotowanie pary cieczy do spalania (ogrzania, dysocjacja termiczna), a następnie mieszanie otrzymanych produktów z powietrzem, utleniono i spalono. Spalanie mieszaniny przebiega w cienkiej warstwie strefy spalania. Do strefy spalania z powierzchni cieczy dyfundują pary, a z powietrza do płomienia dyfunduje tlen. Temperatura strefy spalania w każdym produkcie strefy jest wyższa od temperatury zapalenia mieszaniny, dlatego strefa spajania jest stałym źródłem zapalnie. Konieczne by parowało ciepło jest przekazywanie drogom promieniowania od strefy spalania płomienia do powierzchni cieczy. W procesie spalania cieczy ustala się równowagę pomiędzy ilością ciepła przekazywaną drogą promieniowania ze strefy spalania do powierzchni cieczy, a ilością ciepła zużytą na powstanie par dyfundujących z spalania cieczy zostanie przerwany. Szybkość spalania cieczy określa się najczęściej jako ubytek jednostki objętości cieczy w czasie [ml/min.].

Proces ciągłego spalania cieczy w ujęciu schematycznym



- temp. płom. (temperatura płomienia)
- temp. zap. (temperatura zapalenia par cieczy z powietrzem)

- temp. c. (temperatura cieczy)
- temp. wrz. (temperatura wrzenia cieczy)

Spalanie mieszanin cieczy

Podczas pożarów najczęściej ma miejsce spalanie cieczy lub mieszanin cieczy ze swobodnej powierzchni. Spalanie cieczy ze swobodnej powierzchni charakteryzuje się tym, że oprócz górnej warstwy cieczy obserwuje się przegrzewanie głębiej położonych warstw paliwa ciekłego.

W czasie spalania cieczy jednorodnych np.: alkoholi, benzen, itp. stałą szybkość spalania określa się bardzo szybko po rozpoczęciu spalania. Górna warstwa cieczy ogrzewa się do temperatury wrzenia i nie obserwuje się znacznego przegrzewania się warstwy cieczy, położonej głębiej zbiornika. W czasie spalania w takich warunkach niewielka warstwa przegrzana znajduje się tuż pod powierzchnią, nie ulega powiększeniu i ma stałą grubość.

Ciecze niejednorodne o dużej lepkości (mazut, ropa naftowa itp.) mają niewielką szybkość spalania ze swobodnej powierzchni w porównaniu z szybkością przegrzewania się cieczy jednorodnych, dlatego też tworząca się warstwa przegrzana w czasie trwania spalania powiększa się i przesuwa w głąb. W skutek zastosowania wody w celu ugaszenia takiego pożaru może dojść do wykipienia cieczy i jej wyrzut ze zbiornika. Jeśli kropelki wody utworzą na dnie zbiornika z cieczą palną warstwy wody, wtedy po osiągnięciu przez warstwy przegrzane temp. ponad 100^{o}C woda przemienia się w parę. W wyniku ogromnego wzrostu objętościpowstałej pary w stosunku do objętości wody, następuje wrzucenie całej zawartości cieczy palnej istniejącej w zbiorniku i rozprzestrzenienie się pożaru na znacznie większą powierzchnie. Zjawisko kipienia jest prawdopodobne w przypadku cieczy o dużej lepkości, zawierającej nierozpuszczalne substancje o niskiej temperaturze wrzenia np.: woda. W warunkach pożarowych ze zbiorników np.: produktów naftowych może nastąpić zjawisko wykipienia cieczy (stopniowe zwiększenie objętości cieczy i przelewanie się jej przez krawędzie zbiornika). Najważniejszym parametrem tzw. parametrem pożarowym dla cieczy jest temperatura zapłonu. Jest ona podstawą klasyfikacji cieczy na trzy klasy niebezpieczeństwa pożarowego. Tego rodzaju podział jest niezbędny przy zapewnieniu prawidłowego magazynowania i transportu, zapewniając prawidłowe środki bezpieczeństwa.

Klasa I – ciecz o temperaturze zapłonu do 23^{o}C

Klasa II – ciecze o temperaturze zapłonu > 23^{o}C do 61^{o}C

Klasa III – ciecze o temperaturze zapłonu > 61^{o}C do 100^{o}C

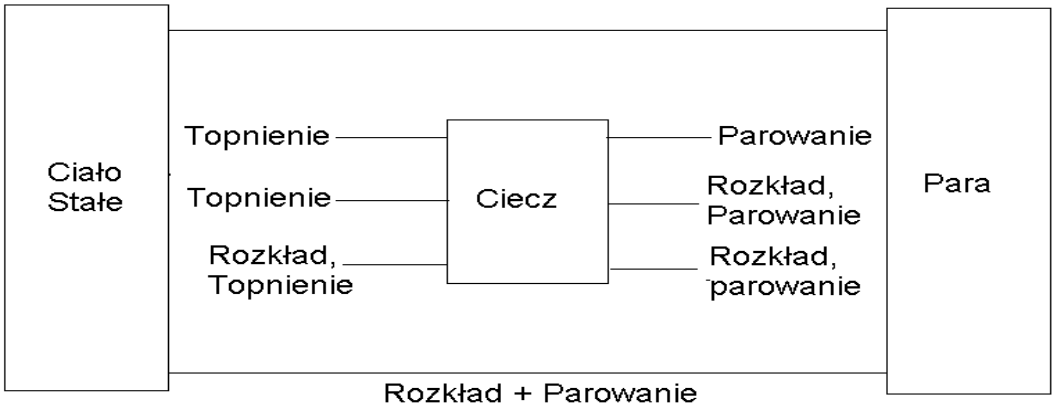
Ciecze mające temperaturę zapłonu do 61oC (I i II klasa) klasyfikowane są jako ciecze niebezpieczne pożarowo. Pod pojęciem cieczy palnej rozumie się ciecz o temperaturze Zapłonu od 61oC do 100oC. Jest to oczywiście klasyfikacja umowna. Temperatury zapalenia cieczy mieszczą się na ogół w granicach 300 – 500oC.

Mechanizm spalania ciał stałych w postaci zwartej i rozdrobnionej

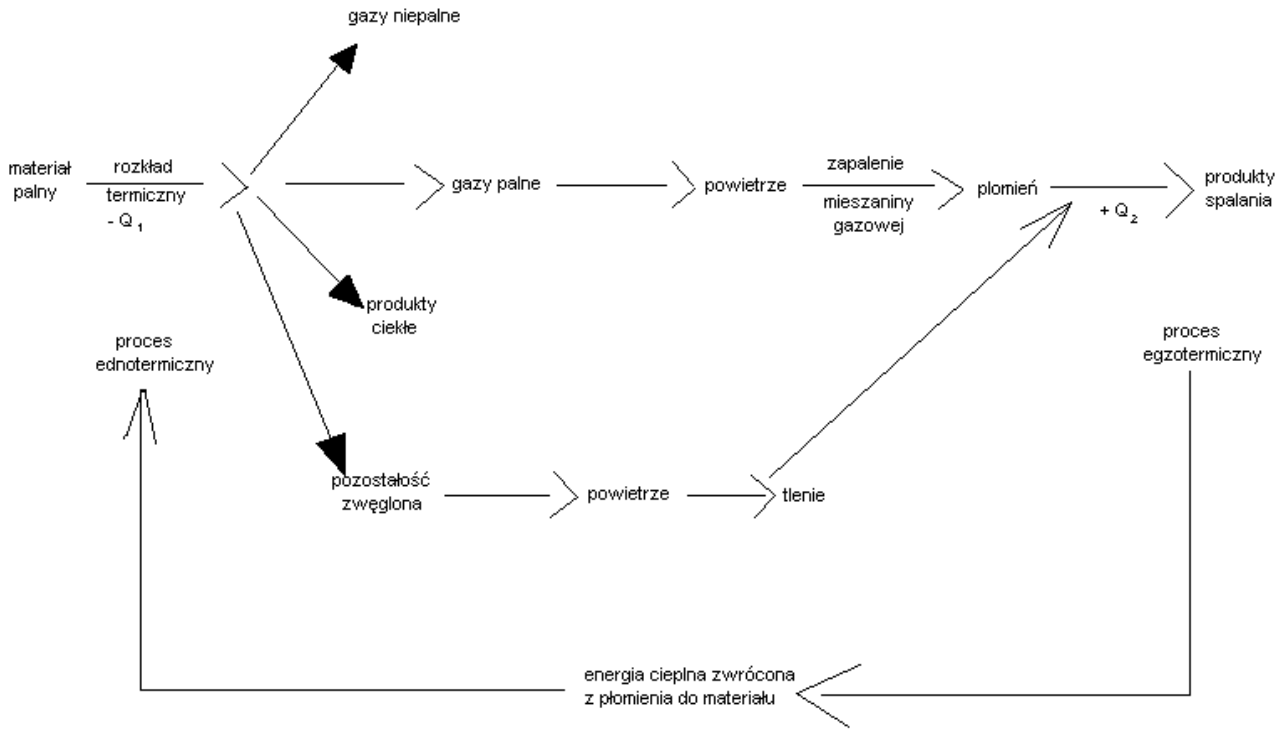
Palność ograniczonego ciała stałego jest cechą materiału, oznaczającą, iż w określonej temperaturze produkty termicznego rozkładu utleniają się aż do wystąpienia spalania. Spalanie materiałów jest poprzedzone ich rozkładem termicznym. Skład i objętość tworzącej się fazy lotnej zależy od struktury materiału i jego własności fizycznych oraz do warunków, w których przebiega rozkład termiczny (m.in. temperatura rozkładu, szybkości wzrostu temp. w materiale, zawartość tlenu w otoczeniu, szybkość przepływu powietrza w otoczeniu). Sposób przekształceń miedzy fazowych zależy od rodzaju materiału. Ogólnie ciała stałe pod wpływem ciepła mogą ulegać: rozkładowi, topnieniu, sublimacji, parowaniu, co powoduje, że w początkowym okresie ogrzewania temperatura ciała stałego wzrasta bardzo powoli. Dopiero utlenienie się powstałych produktów lotnych powoduję zmianę stanu energetycznego powstałego układu: ciało stałe – faza lotna i szybki wzrost temperatury ciała.

Sposoby tworzenia się palnej fazy lotnej ciała stałego

Sublimacja



Schemat przedstawiający kolejne zjawiska zachodzące podczas spalania materiałów stałych



Zapalenie materiałów stałych

Aby zapoczątkować reakcję spalania materiału stałego, pod wpływem ciepła, zachodzą trzy stadia:

1. ogrzewanie materiału
2. jego rozkład termiczny (piroliza)
3. zapalenie

Ad 1.

W wyniku ogrzewania ciała stałe ulegają różnorodnym przemianom: mięknięciu, topnieniu, lub od razu rozkładowi termicznemu, w wyniku, którego tworzy się warstwa węgla. Szybkość ogrzewania się materiału zależy od pojemności cieplnej materiału tzn. od iloczynu gęstości, współczynnika przewodnictwa cieplnego i ciepła właściwego. Im materiał ma niższą pojemność, tym szybciej ogrzewa się.

Ad 2.

Rozkład termiczny materiału jest procesem endotermicznym. Aby tworzywo uległo rozkładowi, dostarczona energia musi być wystarczająca do rozerwania wiązań pomiędzy poszczególnymi atomami, z których tworzywo jest zbudowane. Dla większości materiału stałych wielkości tej energii wynosi 200 – 400 kJ/mol.

Ad 3.
Zapalenie ciała stałego ma miejsce wtedy, gdy powstałe z rozkładu termicznego gazy osiągają stężenie w zakresie ich granic zapalności i temperaturę równa temperaturze zapalenia, chociaż jednego składnika.

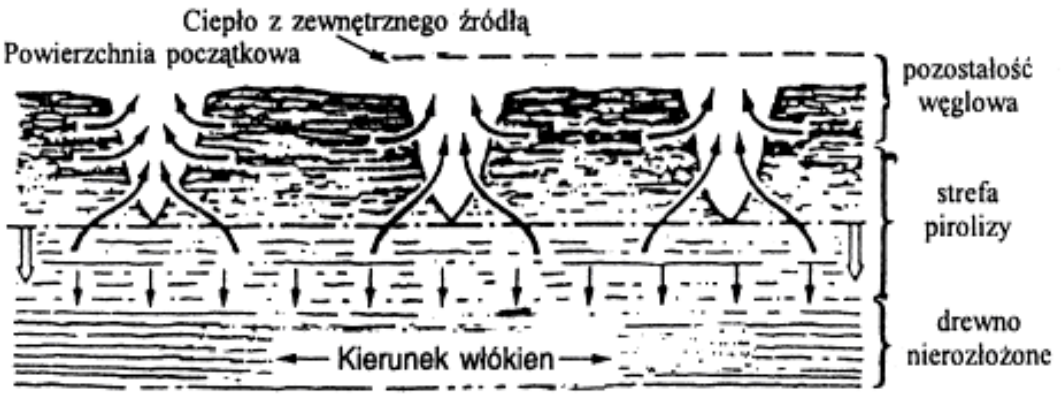
Temperatura zapalenia niektórych materiałów:

- Polietylen – 350^{o}C
- PCW – 520^{o}C
- Nylon – 450^{o}C
- Bawełna – 400^{o}C
- Pianka poliuretanowa sztywna – 415^{o}C
- Lipa – 360^{o}C
- Dąb – 450^{o}C
- Świerk – 360^{o}C

Mechanizm spalania tworzy sztucznych

Tworzywa termoplastyczne i termoutwardzalne. Mechanizm ich spalania zależy od budowy tych tworzyw. W czasie rozkładu tworzyw termoplastycznych wytwarzają się mieszaniny gazowe w wyniku przemian fizycznych (parowanie) oraz chemicznych (piroliza). Powstała faza lotna może ulec zapaleniu lub zapłonowi i w rezultacie spalać się płomieniowo. Mechanizm spalania tych tworzyw można porównać z mechanizmem spalania cieczy. Tworzywo termoutwardzalne rozkłada się pod wpływem ciepła, z wytworzeniem związków niskocząsteczkowych o różnych stanach skupienia. W chwili zapalenia palna faza lotna zapala się płomieniem, a pozostałości po pirolityczna – koksowa zaczyna spalać się bezpłomieniowo, czyli tlić na granicy rozkładu fazy stałej i lotnej (powietrza). Szczególnie niebezpieczne są w warunkach pożarów wewnętrznych tworzywa sztuczne wzbogacone chlorem, bromem, jodem, fluorem, itp., które rozkładają się przy spalaniu niepełnym emitując toksyczne gazy tj.: HCI, HCN, $COCI_2$ itp.

Kierunek ruchu substancji lotnych z drewna w warunkach pirolizy.



Mechanizm spalania materiałów strzępiastych (pyłów)

Pyły są to układy dyspersyjne, w których fazą rozproszoną jest ciało stałe, a fazą rozpraszającą gaz, najczęściej powietrze. Stopień rozdrobnienia fazy stałej wynosi z reguły od 0,001 – 1000 mikrona. Biorąc pod uwagę sposób występowania pyłów w warunkach przemysłowych, rozróżnia się:

- Pyły osiadłe – drobne cząstki ciała stałego, które zgromadziły się na powierzchni tworząc warstwy pokrywające te powierzchnię (stan statyczny)
- Pyły zawieszone w powietrzu – tworzą obłok (chmurę) pyłu – aerozol (stan dynamiczny)

Podstawowymi parametrami określającymi niebezpieczeństwo pożarowe są:

- Temperatura tlenia się pyłu
- Temperatura zapalnie pyłu

Temperatura tlenia pyłu jest najważniejszym parametrem określającym niebezpieczeństwo pożarowe pyłów, ponieważ tlenie jest często przyczyną pożaru i wybuchu pyłów nagromadzonych w warstwie.

Temperatura tlenia pyłów

Jest to temperatura gorącej poziomej powierzchni, na której swobodnie w warstwie grubość 5mm ulega zapłonowi w określonym czasie (do 2 h)

Temperatura zapalenia warstwy pyłów

Określa się ją jako najniższa temperatura gorącej powierzchni, od której następuje zapalenie się pyłu, bez udziału punktowego bodźca termicznego.

Wybuchy pyłów i gazów – wykazują pewne podobieństwo, że mieszaniny gazowo – powietrzne i pyłowo – powietrzne różnią się zasadniczo pod

względem własności fizykochemicznych. Mieszaniny pyłowe pod względem wybuchowym charakteryzuje się przez podawanie:

- DGW i GGW
- minimalnej dawki zagrożenia (MDZ)
- maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu
- minimalnej energii zapłonu

Dolna granica wybuchowości

Najmniejsze stężenie równomiernie rozproszonego pyłu w powietrzu (gazowym utleniaczu), przy którym możliwe jest realizowanie procesu spalania. Dla większości pyłów przemysłowych DGW leży pomiędzy 0,05 – 0,20 kg/m^3, GGW zalicza się w przedziale 2 – 6 kg/m^3.

Minimalna dawka zagrożenia (MDZ)

Najmniejsza masa pyłu lub włókien przypadająca na jednostkę objętości pomieszczenia, strefy lub instalacji, której wymóg, nawet lokalny może spowodować niebezpieczny przyrost ciśnienia.

Przykładowy zakres granic wybuchowości dla pyłów

Spalanie pyłów ma miejsce od minimalnej dawki zagrożenia do górnej granicy wybuchowości.

CELE SZCZEGÓŁOWE

W wyniku realizacji słuchacz powinien umieć:

- przedstawić (schematy) przebieg spalania w zależności od stanu skupienia substancji palnej
- zdefiniować pojęcie dolnej i górnej granicy wybuchowości oraz dokonać podziału gazów według tych wartości

CZĘŚĆ II – ŚRODKI GAŚNICZE

Środki gaśnicze

Skuteczność prowadzenia każdej akcji gaśniczej w dużej mierze uzależniona jest od właściwego doboru środków gaśniczych oraz ich efektywnego zastosowania.

Duży wybór środków gaśniczych dostępnych w naszym kraju wymaga od strażaków PSP i innych osób zajmujących się ratownictwem znajomości mechanizmów działania, zasad podawania, wpływu czynników zewnętrznych na skuteczność gaśniczą środków gaśniczych. Brak podstawowej wiedzy może skutkować błędami w doborze i sposobach podawania środków gaśniczych, co prowadzi do braku efektywności podczas prowadzenia działań gaśniczych.

Środkami gaśniczymi nazywamy niepalne i nie podtrzymujące palenia substancje proste lub złożone, które podane w odpowiedni sposób w strefę spalania lub na materiał palny powodują przerwanie procesu spalania.

Generalnie mechanizmy działania środków gaśniczych możemy podzielić na:
- chłodzenie materiału palnego,
- chłodzenie strefy spalania,
- izolowanie materiału palnego od utleniacza,
- obniżenie stężenia tlenu w strefie spalania,
- działanie antykatalityczne,
- inne zakłócenie procesu spalania.

Skuteczny efekt gaśniczy można osiągnąć stosując jeden lub kilka z wyżej wymienionych mechanizmów.

Do środków gaśniczych zaliczamy:
- wodę,
- piany gaśnicze,
- gazy gaśnicze,
- proszki gaśnicze,
- halony, alternatywy i zamienniki halonów,
- inne.

Woda

Woda jest prawdopodobnie najbardziej rozpowszechnionym i najczęściej stosowanym środkiem gaśniczym. Woda jest związkiem chemicznym najbardziej rozpowszechnionym w przyrodzie (hydrosfera) i znajduje się w stałym obiegu (krążenie wody w przyrodzie). Występuje też w stanie związanym jako woda konstytucyjna, krystalizacyjna i zeolityczna. Środowisko wodne ma 3-krotnie większą powierzchnię od lądowych ekosystemów, żyje w nim ogromna liczba gatunków flory i fauny. W środowisku wodnym powstało życie.

Z chemicznego punktu widzenia woda jest to nieorganiczny wiązek wodoru z tlenem czyli tlenek wodoru, o wzorze chemicznym H_2O. Czysta woda jest bezbarwną cieczą (w grubych warstwach niebieskawa), bez smaku i zapachu.

Kilka ważnych właściwości fizykochemicznych wody:
- temperatura topnienia: 0°C,
- temperatura wrzenia: 100°C,
- ciepło właściwe: 4,18 J/g · K
- ciepło topnienia: 337 J/g
- ciepło parowania: 2257,1 J/g · K
- podczas krzepnięcia zwiększa swoją objętość o około 1/11 raza,
- maksymalna gęstość 1 g/cm^3 (w temperaturze 4°C, pod ciśnieniem 1013,25 hPa) - woda wykazuje anomalię rozszerzalności w zakresie temperatur 0-4°C - ogrzewana zmniejsza swoją objętość (jej gęstość rośnie do wartości maksymalnej, a następnie spada),
- woda z dodatkiem jonów przewodzi prąd elektryczny,
- woda jest bardzo dobrym rozpuszczalnikiem wielu związków chemicznych, zwłaszcza jonowych i substancji polarnych oraz takich, z którymi wchodzi w reakcje chemiczne.

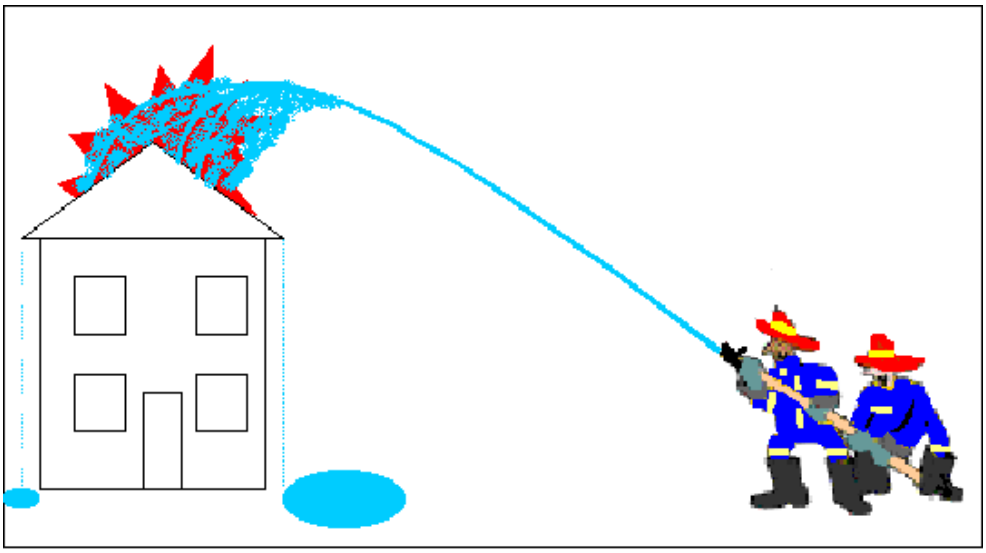
Mechanizm działania gaśniczego wody to chłodzenie, czyli odbieranie ciepła od pożaru. Dobre właściwości chłodzące wody związane są z jej wysokim ciepłem właściwym i ciepłem parowania. Podczas gaszenia wodą bardzo istotne znaczenie ma nie tylko duża ilość ciepła odebranego przez wodę ze środowiska pożaru, ale także szybkość odbierania tego ciepła.

Oprócz działania chłodzącego woda - a dokładnie powstająca w wyniku odparowania wody para wodna - posiada także zdolność obniżenia stężenia tlenu w strefie spalania poprzez jego częściowe wyparcie przez parę wodną. Przy całkowitym odparowaniu 1 dm^3 wody zwiększa swoja objętość 1720 razy.

Woda do celów gaśniczych podawana jest najczęściej w postaci prądów wody, które możemy dzielić na prądy:

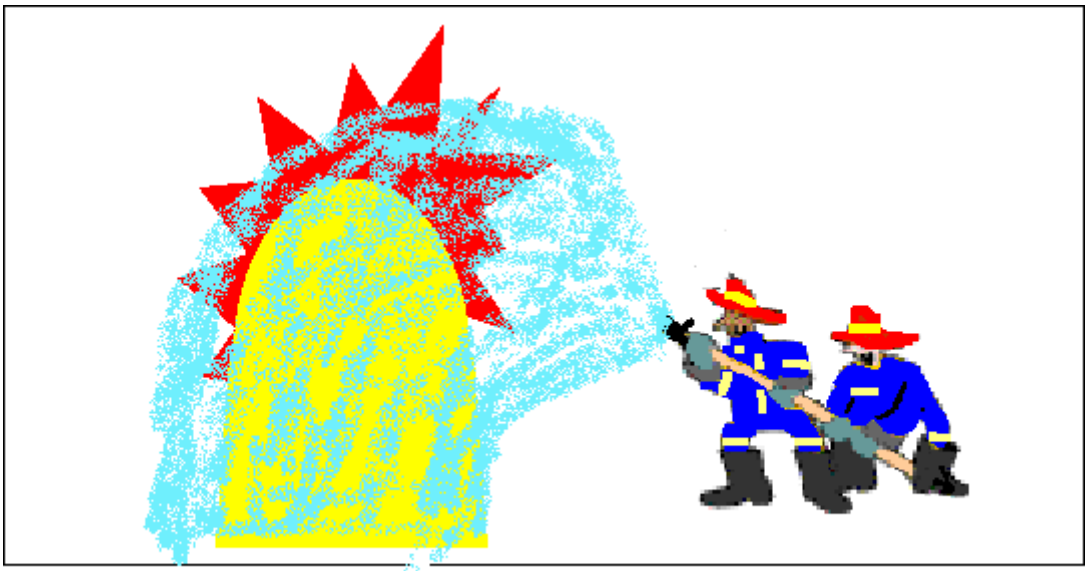
- zwarte,
- rozproszone, które dzielimy dalej na:
  - kropliste,
  - mgłowe.

Prąd zwarty charakteryzuje się tym, że woda wypływa z prądownicy w postaci jednolitego strumienia, który na około 2/3 swojej długości ma przekrój okręgu. Prąd zwarty ma duży zasięg, dużą energię kinetyczną, możliwe jest dokładne skierowanie strumienia wody i operowanie nim na duże odległości. Jednak podczas stosowania tego typu prądów występują największe straty wody (nawet do 90%). Stosowanie zwartych prądów wody powoduje zwiększenie strat popożarowych związanych z zalaniem.



Rys. . Wykorzystanie prądu zwartego

Prądy rozproszone mają bardzo różny stopień rozdrobnienia kropel. Wielkość kropel wody zależy od konstrukcji prądownicy oraz od ciśnienia wody w linii gaśniczej. Prądy kropliste mogą składać się z kropli o średnicach od 1 do 3 mm, a mgłowe z kropli o srednicach od 0,1 do 1 mm. Rozproszone prądy wody mają mniejszy zasięg niż prąd zwarty, mniejszą energię kinetyczna, lecz wykorzystanie ich podczas działań gaśniczych powoduje znaczne obniżenie strat popożarowych i zwiększenie stopnia wykorzystania wody do gaszenia (a dokładniej – odbierania ciepła od pożaru).



Rys. Wykorzystanie prądu kroplistego

Rys. . Wykorzystanie prądu mgłowego

Dla prądów kroplistych straty wynoszą tylko około 20%, a dla mgłowych nawet około 5%.

Niska cena wody, łatwość dostarczania jej do pożaru, bardzo dobre właściwości chłodzące, stosowanie jej przy gaszeniu większości pożarów sprawia wrażenie, że woda może być uniwersalnym środkiem gaśniczym. Jednak tak nie jest. Wodę możemy stosować tylko do gaszenia pożarów grupy A (ciała stałe: węgiel, drewno, materiały drewnopodobne, papier, materiały włókiennicze, słoma, siano, zboża, itp.). Z uwagi na duże ograniczenia w stosowaniu wody do celów gaśniczych pozwolę sobie wymienić najważniejsze przeciwwskazania stosowania wody do celów gaśniczych:

- pożary grupy B (pożary cieczy palnych),
- pożary grupy C (pożary gazów palnych),
- pożary grupy D (pożary metali lekkich),
- pożary materiałów reagujących chemicznie z wodą, w wyniku których to reakcji powstają pary i gazy palne,
- pożary urządzeń elektrycznych pod napięciem,
- pożary stężonych kwasów i zasad.

Podczas krzepnięcia woda zwiększa swoją objętość 1/11 raza, co ma bardzo niekorzystny wpływ na gaszenie wodą konstrukcji budowlanych w warunkach zimowych – gdy temperatura otoczenia spada poniżej temperatury krzepnięcia wody, czyli poniżej 0^{o}C. Woda dostając się w szczeliny krzepnie (ze stanu ciekłego przechodzi w stan stały) powodując zwiększenie swojej objętość i działając jak klin – rozsadza konstrukcje.

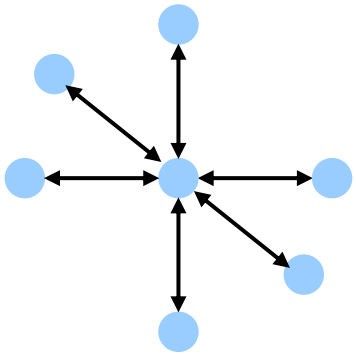
Istnieje możliwość obniżenia temperatury krzepnięcia wody poprzez dodawanie różnorodnych substancji, np. soli kuchennej NaCl. Jednak obecnie metody te nie są stosowane między innymi z powodu wzrostu korozyjności takich roztworów i wysokich kosztów ich uzyskania.

Przewodność prądu elektrycznego przez prąd wody uzależniona jest od:

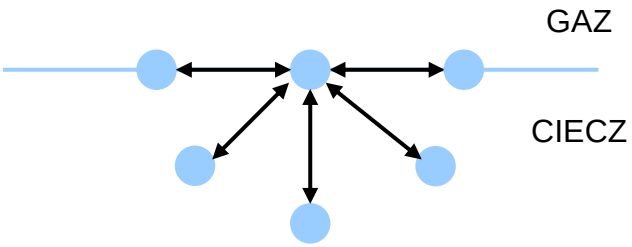
- zawartości elektrolitów w wodzie,
- długości i przekroju prądu wody,
- ciśnienia wody,
- wielkości prądu elektrycznego.

W związku z tym, że woda przewodzi prąd elektryczny - nie wolno wodą gasić pożarów urządzeń elektrycznych pod napięciem. Obecnie istnieje tak wiele środków gaśniczych którymi można gasić urządzenia elektryczne pod

napięciem, że zastosowanie wody – o którym wspominano w latach 60-tych – wydaje się nieuzasadnione i zbyt ryzykowne dla prądownika.



Rys. Oddziaływanie sił przyciągania międzycząsteczkowego wewnątrz fazy ciekłej



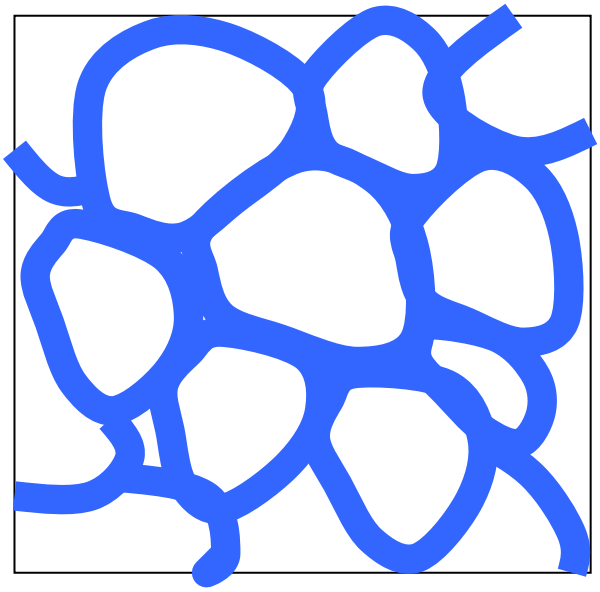
Rys. Oddziaływanie sił przyciągania międzycząsteczkowego na granicy faz ciecz-woda

Wiele ciał stałych posiada właściwości hydrofobowe, czyli jest trudno zwilżalnych przez wodę. Przykładami mogą być: słoma, zatłuszczone tkaniny, pył węglowy. Woda gaśnicza ma więc duże problemy z przedostaniem się do wnętrza tych materiałów i chłodzenia głębszych warstw płonącego materiału. Zjawisko to związane jest także z wysokim napięciem powierzchniowym wody (siłami przyciągania międzycząsteczkowego). Właściwości gaśnicze wody można poprawić dodając do wody niewielkie ilości związków powierzchniowo czynnych (ZPC) obniżających napięcie powierzchniowe wody jednocześnie poprawiając jej zwilżalność. Jako zwilżaczy można używać także środków pianotwórczych w niewielkich stężeniach (praktycznie około 1%, a nawet niższych).

Oprócz gaszenia pożarów woda ma szerokie zastosowanie podczas prowadzenia różnego rodzaju działań ratowniczych, szczególnie z zakresu ratownictwa chemicznego, gdzie wykorzystywana jest do tworzenia tak zwanych kurtyn wodnych, których zadaniem jest związanie substancji chemicznej, której niekontrolowana emisja zagrożony jest jakiś obszar, a także niedopuszczenie do rozprzestrzeniania się obłoków toksycznych. Woda wykorzystywana jest także jako rozpuszczalnik do rozlanych na gruncie substancji chemicznych, a także do zmywania sorbentów i dyspergentów z powierzchni utwardzonych. Kurtyny wodne wykorzystywane są także jako ochrona przed promieniowaniem cieplnym podczas dużych pożarów.

Piana gaśnicza

Piana jest nietrwałym układem dyspersyjny złożony z pęcherzyków powietrza lub innego gazu i błonek wytworzonych z wodnego roztworu środka pianotwórczego. Roztwór ten składa się z wody i środka pianotwórczego o stężeniu od 3 do 6 %.



Rys. Budowa piany gaśniczej

Piana jest układem koloidalnym składającym się z pęcherzyków gazu rozproszonych w cieczy - roztworze środka pianotwórczego w przypadku pian gaśniczych. W zależności od stężenia pęcherzyki mają kształt kulisty lub wielościenny. Można także nazwać pianę niestabilnym układem dyspersyjnym, gdzie fazą rozpraszającą, czyli ośrodkiem dyspersyjnym jest ciecz, a fazą rozproszoną jest gaz. Układ dyspersyjny piany ma postać trójwymiarową. Pęcherzyki gazu oddzielone są od siebie cienkimi błonkami zbudowanymi z roztworu środka pianotwórczego o grubości wahającej się od l do 10 mikrometrów. Wielkość pęcherzyków gazowych w pianach gaśniczych zawiera się w przedziale od 3 do 30 milimetrów.

Piana jest więc mieszaniną trzech składników: środka pianotwórczego, wody i gazu (najczęściej powietrza, ale może też być to gaz obojętny, np. azot, dwutlenek węgla). Mechaniczne zmieszanie tych trzech składników powoduje otrzymanie piany gaśniczej.

Wytwarzanie piany składa się z dwóch etapów:
- sporządzenie wodnego roztworu środka pianotwórczego;
- dodanie powietrza (lub innego gazu) do otrzymanego roztworu.

W wyniku mechanicznego zmieszania wodnego roztworu środka pianotwórczego z powietrzem powstaje wiele pęcherzyków wypełnionych powietrzem – dzięki temu piana jest lżejsza od jakiejkolwiek palnej cieczy i może utrzymywać się na jej powierzchni.

W zależności od ilości wprowadzanego do roztworu powietrza (różne wielkości pęcherzyków piany) otrzymuje się pianę o różnej liczbie spienienia L_s. Liczba spienienia L_s jest to stosunek objętości piany gaśniczej (V_p) do objętości roztworu środka pianotwórczego, z którego ta piana powstała (V_{rr}):

$$\mathbf{L_s = \frac{V_p}{V_{rr}}}$$

Liczba spienienia jest wartością bezwymiarową.

Piany gaśnicze możemy podzielić na kilka rodzajów:

1. pod względem struktury przestrzennej podzielić możemy na pianę
   - o budowie kulistej,
   - o budowie wielościennej.

   Budowa ta dotyczy oczywiście pęcherzyków powietrza lub gazu i kształt ten uwarunkowany jest stopniem rozproszenia gazu, czyli stosunkiem fazy ciekłej i gazowej.

2. pod względem liczby spienienia (stosunku objętości piany do objętości fazy ciekłej rozpraszającej) piany dzielimy na:
   - piana ciężka ($L_s < 20$). Jest to najczęściej stosowany rodzaj piany, ponieważ może ona być podawana na duże odległości, szybko się rozpływa i tworzy stabilną powłokę. Głównym warunkiem skutecznego zastosowania piany ciężkiej jest odpowiednia wydajność jej podawania. Wydajność musi być taka, aby zapewniała możliwie najszybsze ugaszenie pożaru i umożliwiała utworzenie odpowiedniej warstwy piany, zdolnej zabezpieczyć ciecz przed ponownym zapaleniem,
   - piana średnia ($20 < L_s < 200$). Piana średnia, przy zachowaniu równie dobrej płynności, powstaje w znacznie większych objętościach. Sprawia to, że w tym samym czasie co piana ciężka wypełnia ona znacznie większe przestrzenie. Dlatego też stosuje się ją do gaszenia pożarów zbiorników, silników, transformatorowni. Wadą piany średniej jest możliwość jej podawania tylko na niewielkie odległości,
   - piana lekka ($L_s > 200$). Piana tego typu jest głównie używana do objętościowego wypełniania zamkniętych pomieszczeń takich jak

magazyny, hangary lotnicze, ładownie i maszynownie statków, chłodnie, szyby górnicze, tunele kablowe.

3. w zależności od sposobu wytworzenia:
   - piana klasy A ,
   - piana klasy B.

4. w zależności od rodzaju środka pianotwórczego, z którego wytwarza się piany gaśnicze:
   - środki proteinowe (P),
   - środki fluoroproteinowe (FP),
   - środki fluoroproteinowe tworzące film wodny (FFFP),
   - środki syntetyczne (S),
   - środki syntetyczne tworzące film wodny (AFFF),
   - środki alkoholoodporne (AR, ATC).

Piana gaśnicza jest układem nietrwałym, czyli od momentu jej wytworzenia stale zmienia się jej struktura aż do całkowitego zniszczenia. Czynniki, które wpływaj ą na niszczenie piany gaśniczej można podzielić na dwie grupy:
- naturalne
- wymuszone.

Do czynników wymuszonych możemy zaliczyć: temperaturę pożaru, promieniowanie cieplne, agresywność produktów spalania i par samej cieczy.

Procesy, które powodują naturalne niszczenie piany to:
- wypływanie cieczy z przestrzeni międzybłonkowej (synereza) na skutek działania sił grawitacji,
- dyfuzja gazu między pęcherzykami uwarunkowana od różnicy ciśnienia gazu w pęcherzykach o różnej wielkości,
- proces rozrywania się pęcherzyków wynikający z dwóch poprzednich.

Piana gaśnicza posiada dużą skuteczność gaśniczą, a wieloletnia tradycja jej stosowania oraz dobre właściwości gaśnicze przyczyniły się do jej szerokiego stosowania. Zaletą piany gaśniczej jest także stosunkowo prosty i tani sposób jej otrzymywania w dużych ilościach oraz prosty sposób transportowania i podawania do pożaru. Obecnie piana gaśnicza odgrywa ważną rolę w gaszeniu szczególnie pożarów cieczy palnych, ale także i pożarów palnych materiałów stałych. Jednak powszechny brak wiedzy na temat zalet i wad oraz zastosowania poszczególnych rodzajów pian gaśniczych uniemożliwia pełne wykorzystanie tego dobrego środka gaśniczego

Działanie gaśnicze piany polega na:
1. odcięciu dopływu tlenu i rozgrzanych par cieczy palnych do strefy spalania,
2. chłodzeniu – zależy od ilości wody zawartej w danym rodzaju piany.

Podstawowym warunkiem, który musi być spełniony aby skuteczność procesu gaszenia była wystarczająca, jest szybkie pokrycie całej powierzchni płonącej szczelną warstwą piany.

Piany gaśnicze nadają się do gaszenia zarówno pożarów niewielkich jak i pożarów dużych. Są efektywne w przypadku pożarów grup A i B czyli pożarów cieczy palnych i ciał stałych pochodzenia organicznego, natomiast nie nadają się do gaszenia pożarów gazów i par. Piany mogą być także niebezpieczne w zetknięciu z pożarami metali (np. sód metaliczny czy potas). Piany najlepiej gaszą pożary w zakładach petrochemicznych, dużych magazynach, w zakładach przemysłowych, domach towarowych, na liniach produkcyjnych, pożarów rozlewisk cieczy płynnych. Do wypełniania magazynów pełnych towarów czy hal fabrycznych najlepiej nadaje się piana lekka ze względu na dużą intensywność podawania i szybkość rozpływania. Piana gaśnicza może także służyć do zapobiegania wybuchowi pożaru, na przykład podczas wypadku drogowego do pokrywania rozlewiska paliwa ze zbiorników samochodów.

Ciężkie piany gaśnicze są najczęściej stosowanymi rodzajami pian, gdyż mogą one być podawane na duże odległości, nie są podatne na działanie prądów konwekcyjnych oraz wiatru, stosunkowo szybko się rozpływają i tworzą stabilną i trudną do przebicia powłokę. Podstawowym warunkiem skuteczności działania piany gaśniczej jest odpowiednia intensywność jej podawania, która musi zapewnić odpowiednio szybkie ugaszenie pożaru oraz umożliwić utworzenie odpowiednio grubej warstwy piany zdolnej zabezpieczyć palną ciecz przed ponownym zapaleniem.

Średnie piany gaśnicze możemy podawać na niewielkie odległości, ulegają działaniu prądów konwekcyjnych, lecz mogą wypełniać większe objętości niż piany ciężkie (np. pożary komór silników, zbiorników).

Lekkie piany gaśnicze stosowane są głównie do wypełniania płonących zamkniętych pomieszczeń (magazyny, hangary, maszynownie statków, szyby górnicze).

Celem zastosowanie piany gaśniczej klasy A jest przede wszystkim obniżenie napięcia powierzchniowego wody i zwiększenie efektu zwilżania poprzez dodanie odpowiedniej ilości związków powierzchniowo-czynnych, jakimi są

środki pianotwórcze. Środki pianotwórcze stosowane do wytwarzania pian klasy A charakteryzują się następującymi cechami:

- znacznie obniżają napięcie powierzchniowe wody, dzięki czemu woda lepiej przenika w głąb substancji zaoliwionych i włóknistych o właściwościach niezwilżalnych dla czystej wody,
- środki pianotwórcze przeznaczone do wytwarzania pian tworzących film wodny (AFFF, FFFP) tworzą warstwę filmu wodnego także na powierzchni ciał stałych, odznaczając się jednocześnie mniejsza skutecznością obniżania napięcia powierzchniowego wody,
- środki pianotwórcze klasy A wyjątkowo dobrze ulegają biologicznemu rozkładowi, dzięki czemu są przyjazne dla środowiska naturalnego i mogą być wykorzystywane przy gaszeniu pożarów lasów.

Stosując pianę klasy A osiągamy następujące efekty:

- znaczne zredukowanie napięcia powierzchniowego wody – wzrost zwilżalności materiałów,
- woda przylega do powierzchni pionowych i skośnych, dzięki czemu dłużej styka się z płonącymi materiałami – zmniejszenie strat wody,
- zwiększenie skuteczności gaśniczej wody,
- podczas działania w osłonie biała powierzchnia piany dodatkowo odbija promieniowanie cieplne, a materiały palne są wilgotne i znajdują się pod warstwa piany.

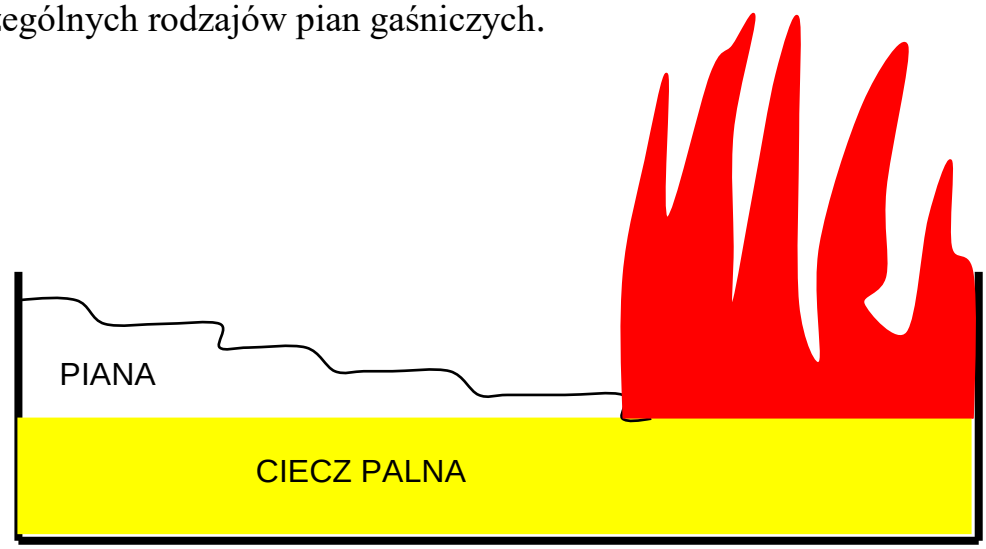
Piana gaśnicza jest układem nietrwałym i zaraz po jej wytworzeniu oddziaływuje na nią wiele czynników powodujących jej niszczenie. Do tych czynników zaliczyć możemy:

- temperaturę otoczenia,
- warunki atmosferyczne
- temperaturę pożaru,
- rodzaj palącego się materiału,
- promieniowanie cieplne,
- jakość wody użytej do wytworzenia piany (czystość, zasolenie, temperatura, inne...),
- rodzaj środka pianotwórczego,
- stężenie środka pianotwórczego w roztworze,
- sposób wytworzenia piany,
- sposób podawania piany do pożaru,
- liczba spienienia piany,
- inne.

Piana gaśnicza podana na płonącą powierzchnię cieczy palnej powinna charakteryzować się dobrą trwałością oraz odpowiednią płynnością. Trwałość piany jest to jej zdolność do zachowania swoich właściwości, które uzyskała w momencie wytworzenia. Płynność piany jest to zdolność do jej rozpływania się po powierzchniach ciał stałych lub cieczy. Szybkie rozpływanie się piany gaśniczej jest cechą pożądaną, gdyż im szybciej rozpływa się ona po powierzchni palącej się cieczy lub ciała stałego, tym krótszy jest jej kontakt z płomieniem - zmniejsza się stopień niszczenia piany w wyniku istnienia wysokiej temperatury i szybciej następuje ugaszenie pożaru.

Zastosowanie pian gaśniczych:
- gaszenie pożarów palnych ciał stałych (grupa A),
- gaszenie pożarów cieczy palnych (grupa B),
- gaszenie pożarów w zakładach przemysłowych,
- gaszenie pożarów składów węgla i innych paliw stałych,
- gaszenie pożarów płodów rolnych,
- pokrywanie odparowujących rozlewisk cieczy palnych,
- pokrywanie rozlewisk cieczy chemicznych,
- stosowanie w stałych urządzeniach gaśniczych,
- gaszenie pożarów lasów,
- wypełnianie dużych zamkniętych przestrzeni (piana lekka),
- inne...

Skuteczne gaszenie pożarów pianą gaśnicza zależy przede wszystkim od prawidłowego doboru właściwego środka pianotwórczego – odpowiedniego dla danego płonącego materiału, a także od doboru odpowiedniego sprzętu do wytwarzania i podawania piany. Szeroka gama dostępnych na rynku środków pianotwórczych pozwala na wytwarzanie pian o bardo dużym zakresie właściwości, co pozwala na ich zastosowanie do konkretnych zagrożeń. Jednak brak tej gamy środków pianotwórczych na wyposażeniu jednostek ratowniczo-gaśniczych PSP uniemożliwia w praktyce pełne wykorzystanie właściwości poszczególnych rodzajów pian gaśniczych.



Rys. Mechanizm działania gaśniczego piany ciężkiej

Podając prądy piany należy uwzględnić podstawowe zasady:

- grubość warstwy piany powinna zależeć od rodzaju płonącego materiału i orientacyjnie wynosić:
  - ♦ dla ciał stałych - do 10 cm,
  - ♦ dla cieczy (zależnie od temp. zapłonu) - od 10 do 20 cm,
  - ♦ dla działań w obronie - 5 do 7 cm.
- podobnie jak w przypadku wody, piana powinna być ułożona w natarciu w strefie spalania, w obronie zaś w pasie przyległym do czoła pożaru.
- w przypadku gaszenia cieczy palnych należy pamiętać, aby:
  - ♦ przed rozpoczęciem gaszenia uzyskać właściwą gęstość,
  - ♦ nie wbijać piany w głębsze warstwy cieczy,
  - ♦ podawać pianę na ścianki zbiornika, by następowało łagodne spływanie piany na powierzchnię cieczy.

– gasząc rozlane lub rozlewające się ciecze pianę podajemy zakosami, spychając płomienie od siebie.
– podczas gaszenia ciał stałych operujemy prądem od swojej strony tak, aby pokryć całą płonącą powierzchnię. Ściany pianowe pokrywamy pianą od dołu.
– przystępując do gaszenia pianą średnią lub lekką musimy zwrócić uwagę na bezpieczeństwo ratownika. Będzie on bowiem działał w bezpośrednim sąsiedztwie strefy spalania. Należy w tym celu wykorzystać odzież żaroodporną lub zmniejszyć np. za pomocą prądów piany ciężkiej działanie płomieni i promieniowania cieplnego.
– do gaszenia powierzchni płonących na otwartej przestrzeni nie stosuje się piany lekkiej. Wiatr, a także konwekcyjny ruch powietrza mogą powodować przemieszczanie się piany, a tym samym odsłanianie gaszonych fragmentów powierzchni i ponowne pojawianie się ognia.

Obojętne gazy gaśnicze

Obojętne gazy gaśnicze są to te gazy (*i pary*), które stosowane są w ochronie przeciwpożarowej do gaszenia pożarów oraz do profilaktycznego zastosowania w celu zabezpieczenia przed powstaniem pożaru lub wybuchu mieszanin palnych gazów, par i pyłów.

Do obojętnych gazów gaśniczych zaliczamy miedzy innymi:
- dwutlenek węgla
- azot,
- argon,
- Inergen,
- Argonite
- dwutlenek siarki,
- gazy spalinowe,
- para wodna.

Mechanizm działania gaśniczego obojętnych gazów gaśniczych polega na rozcieńczeniu tlenu znajdującego się w strefie spalania do wartości stężenia umożliwiającej zahamowanie procesu palenia (ok. 12-16%, a dla niektórych materiałów palnych nawet poniżej 10%).

Najczęściej stosowanym w pożarnictwie obojętnym gazem gaśniczym jest dwutlenek węgla CO_2. W normalnych warunkach dwutlenek węgla jest bezbarwnym gazem bez zapachu i o słabym kwaśnym smaku, około 1,5 raza cięższym od powietrza. Ta ostatnia właściwość wpływa pozytywnie na mechanizm działania gaśniczego, gdyż podany do pożaru CO_2 opada w kierunku podłoża wypełniając strefę spalania. Jednak niekorzystne działanie prądów powietrza (np. otwarta przestrzeń, przeciągi) oraz prądów konwekcyjnych powodować może usuwanie dwutlenku węgla znad materiału palnego, co może spowodować nawrót pożaru. Przy ciśnieniu około 40 atm. dwutlenek węgla skrapla się i w tej postaci jest przechowywany w butlach (np. w gaśnicach). Podawany do pożaru z gaśnic lub agregatów gaśniczych dwutlenek węgla rozprężając się obniża swoją temperaturę do około minus 78°C (rozprężenie adiabatyczne), co przy nieumiejętnej obsłudze podręcznego sprzętu gaśniczego stanowi dla obsługującego zagrożenie. CO_2 nie przewodzi prądu elektrycznego, dzięki czemu można nim gasić urządzenia elektryczne pod napięciem.

W przypadku zastosowania CO_2 w stałych instalacjach gaśniczych (SUG) należy zwracać uwagę na to, by podczas wypełniania gaszonej przestrzeni w pomieszczeniu tym nie było żadnych osób – dwutlenek węgla powoduje znaczne ograniczenie widoczności i obniżenie temperatury, a także w wyniku

rozrzedzenia tlenu może spowodować uduszenie znajdujących się w tym pomieszczeniu osób.

Dwutlenek węgla gasi wiele różnych pożarów: maszyny i urządzenia znajdujące się pod napięciem elektrycznym, wytwórnie i magazyny cieczy i gazów palnych, urządzenia elektroniczne, zajezdnie trolejbusów, tramwajów, autobusów, wózków akumulatorowych, ładownie i zbiorniki statków, maszynownie na statkach, pomieszczenia sterowni, hangarów lotniczych i samolotów, magazyny zbiorników z cieczami palnymi itp. Zaleca się stosowanie CO_2 do pożarów małych, zwłaszcza zamkniętych kubatur. Wyjątkiem jest zastosowanie gaśnic i agregatów gaśniczych śniegowych, które mogą być także stosowane na przestrzeni otwartej – jednak gasząc pożary zewnętrzne należy zwracać uwagę na możliwość nawrotu palenia podczas wywiewania CO_2 znad materiału palnego.

Jednym z niekorzystnych parametrów dwutlenku węgla jest jego temperatura krytyczna wynosząca 31,0 ^oC, co znacznie ogranicza miejsca magazynowania oraz rozmieszczenia gaśnic i agregatów gaśniczych: z dala od urządzeń grzewczych, w miejscach nie narażonych na działanie słońca i ciepła. Temperatura krytyczna jest to temperatura jednoskładnikowego układu fizycznego znajdującego się w stanie krytycznym, tj. w takim, w którym właściwości faz substancji (pary i cieczy) pozostających w równowadze stają się identyczne; jeśli temperatura jest wyższa od temperatury krytycznej, substancja może istnieć wyłącznie w fazie gazowej.

Przeciwwskazania stosowania dwutlenku węgla: nie należy gasić dużych zbiorników zlokalizowanych na otwartym powietrzu, pożarów siarki, koksu, węgla, wodorków metali, sodu, potasu, wapnia, magnezu, tytanu, cyrkonu, plutonu, uranu i toru, a także materiałów mogących palić się bez dostępu powietrza. Mimo, że dwutlenek węgla jest gazem obojętnym i trudno wchodzi w reakcje chemiczne z innymi substancjami, to jednak w wysokich temperaturach może on reagować wchodząc w reakcje egzotermiczne (z wydzielaniem się ciepła).

Dwutlenek węgla, jako gaz chemicznie obojętny, znalazł szerokie zastosowanie w urządzeniach gaśniczych. Jego powszechne stosowanie wynika z łatwości otrzymywania, a także właściwości. Jest on bowiem cięższy od powietrza, co powoduje, że nie rozprasza się zbyt szybko, lecz utrzymuje w atmosferze pożaru, jest także gazem nie przewodzącym prądu elektrycznego, co pozwala na wykorzystywanie podczas pożarów urządzeń elektrycznych.

Dwutlenek węgla posiada znaczne walory gaśnicze, a mianowicie:

- skierowany na źródło ognia wytwarza dosyć szczelną „poduszkę" gazową, która utrudnia dostęp powietrza do płonącego materiału.
- w wypełnionym nim pomieszczeniu zamkniętym znacznie spada zawartość procentowa tlenu.
- wyrzucony pod sporym ciśnieniem z prądownicy strumień CO_2 działa na ogień tłumiące.
- część skierowanego na płonący materiał dwutlenku węgla osadza się na materiale w postaci suchego śniegu i powoduje odizolowanie palącej się powierzchni od tlenu, a tym samym na powierzchni przestaje zachodzić proces spalania.
- z uwagi na niską temperaturę uzyskiwaną w chwili wylotu z butli CO_2 ochładza miejsce pożaru.

Dwutlenek węgla nie przejawia właściwości niszczących, a więc nadaje się do gaszenia materiałów i przedmiotów o dużej wartości materialnej, dokumentacyjnej, technicznej, czy kulturowej. Stosuje się go zatem z powodzeniem do gaszenia skomplikowanych urządzeń, zbiorów muzealnych, archiwalnych itp.

Niestety, mimo iż CO_2 uznawany jest za środek uniwersalny, w pewnych okolicznościach nie należy go stosować. Nie stosuje się na przykład do gaszenia materiałów, które w swej cząsteczkowej budowie zawierają tlen umożliwiający podtrzymywanie procesu palenia. Nie należy go także stosować do gaszenia metali takich jak: sód, potas, aluminium, magnez, wapń, gdyż możliwy jest wówczas rozkład dwutlenku węgla. Stosowanie CO_2; do gaszenia węgla, koksu lub siarki może także wywoływać nieprzewidziane reakcje. Niebezpieczne dla ratowników jest zetknięcie się dwutlenku węgla z cyjankami. Efektem zetknięcia może być silnie trujący cyjanowodór. Z uwagi na niską temperaturę niebezpieczne jest gaszenie za pomocą CO_2 np. płonącej odzieży na człowieku. Środek gaśniczy może wywoływać na skórze obrażenia podobne do oparzeń.

Mając na względzie zalety i wady środka powinniśmy pamiętać o głównych zasadach wymaganych przy jego stosowaniu;
- gasząc materiał stały należy podejść blisko ogniska pożaru i starać się ułożyć warstwę zestalonego gazu wokół niego. Ważne jest to przede wszystkim przy pożarach zewnętrznych, podczas których ruchy powietrza powodują szybkie ulatnianie się gazu.
- dużą skuteczność możemy uzyskać w pomieszczeniach zamkniętych poprzez wypełnienie ich wnętrza dużą ilością środka gaśniczego. Aby ugasić większość materiałów stałych, wystarczy obniżyć zawartość tlenu w atmosferze do 15 %. Chcąc uzyskać pełny efekt gaśniczy, powinniśmy wtłoczyć gazu więcej, gdyż nieszczelność otworów w pomieszczeniu wywoła pewien ruch powietrza, który sprawi, że ilość tlenu wkrótce będzie

się zwiększać. Powinniśmy pamiętać także, aby z ratowanego pomieszczenia ewakuować wcześniej wszystkich ludzi i w miarę możliwości uszczelnić otwory.
- gaszenie dwutlenkiem węgla instalacji i urządzeń elektrycznych będących pod napięciem jest w zasadzie bezpieczne. Niemniej jednak starajmy się zachować przynajmniej kilkunastocentymetrową odległość od dyszy gaśnicy do źródła prądu.
- posługując się sprzętem z CO_2 należy pamiętać o podstawowych zasadach BHP: zabezpieczenie dłoni rękawicami a oczy przyłbicą lub okularami ochronnymi.

Azot jest bezbarwnym, bezwonnym gazem bez smaku. Azot jest głównym składnikiem powietrza: występuje w nim w ilości około 78% objętościowych. Jest to gaz mało aktywny chemicznie, niepalny, nie zanieczyszcza środowiska naturalnego. Przechowywany jest w butlach stalowych w stanie sprężonym – ciśnienie robocze około 150 atm.

W ochronie przeciwpożarowej azot stosowany jest nie tylko do gaszenia pożarów (głównie w stałych urządzeniach gaśniczych SUG), ale także do wypełniania pomieszczeń w celu uniemożliwienia powstania pożaru lub wybuchu mieszanin palnych. Warunkiem koniecznym podczas jego stosowania jest stosunkowo nieduża gaszona kubatura (do ok. 100 m^3) oraz szczelność pomieszczenia. Wszelkie nieszczelności powodują zmniejszenie skuteczności gaśniczej azotu w wyniku jego ubytków. Azot stosowany jest także w proszkowych gaśnicach i agregatach gaśniczych jako gaz-wyrzutnik.

Zastosowanie azotu w ochronie przeciwpożarowej: obiekty przemysłowe, aparatura chemiczna, zbiorniki z cieczami palnymi, magazyny z palnymi cieczami i gazami, inne.

Argon jest najpospolitszym gazem szlachetnym, jego zawartość w powietrzu wynosi 0,93% obj. Jest bezbarwny, bezwonny i obojętny chemicznie (*po grecku „argon" znaczy „nieczynny").* Oczywiście jest niepalny. Argon jest używany w procesach metalurgicznych i chemicznych wymagających obojętnego środowiska oraz - w mieszaninie z azotem - do wypełniania żarówek i rur próżniowych reklam świetlnych (*neonów błękitnych, zielonych i czerwonych*). Argon nie wykazuje właściwości toksycznych w stosunku do człowieka, jednak z uwagi na obniżenie stężenia tlenu w chronionym pomieszczeniu może spowodować uduszenie. Zastosowanie podobne jak azotu.

Inergen jest mieszaniną azotu, argonu i dwutlenku węgla. Jest gazem bezbarwnym, bezwonnym i bez zapachu, obojętnym chemicznie. Jego gęstość

zbliżona jest do gęstości powietrza. Mechanizm działania gaśniczego oraz zastosowanie podobne do azotu.

Argonite jest także mieszaniną gazów obojętnych chemicznie: azotu i argonu. Jest gazem bezbarwnym, bezwonnym i bez zapachu, obojętnym chemicznie. Jego gęstość zbliżona jest do gęstości powietrza. Mechanizm działania gaśniczego oraz zastosowanie podobne do azotu.

Dwutlenek siarki jest gazem bardzo toksycznym, o ostrej i duszącej woni oraz kwaśnym smaku. Jego gęstość w stosunku do gęstości powietrza wynosi 2,26 Stosowany był dawniej do gaszenia pożarów kominowych. Obecnie brak danych na temat jego stosowania do celów gaśniczych, prawdopodobnie zaprzestano jego stosowania.

Gazy spalinowe stosowane są przy gaszeniu pożarów na statkach i w kopalniach. Otrzymywane są w specjalnych agregatach gaśniczych lub z silników Diesla, silników turboodrzutowych lub kominów a następnie schładzane i oczyszczane. Główne składniki gazów spalinowych to: azot, dwutlenek węgla, tlen, tlenek węgla, wodór, zanieczyszczenia i inne. Z uwagi na ich zróżnicowany skład są toksyczne dla człowieka. Mechanizm działania gaśniczego gazów spalinowych polega na rozcieńczaniu palnych par i gazów oraz obniżeniu stężenia tlenu w strefie spalania. Są to bardzo tanie środki gaśnicze, mogą być wytwarzane w pobliżu pożaru, a w zakładach przemysłowych, na statkach itp. są to produkty odpadowe.

Para wodna z uwagi na tan skupienia i właściwości chemiczne może być zaliczona do gazów obojętnych, pomimo swojej reaktywności chemicznej z niektórymi materiałami i w niektórych temperaturach (patrz: woda). Jest gazem bezbarwnym, lecz nieprzeźroczystym. Lżejsza od powietrza. Podczas stosowania może spowodować poparzenia człowieka, ,ogranicza widoczność oraz podwyższa wilgotność w pomieszczeniu, co znacznie wpływa na obniżenie wytrzymałości fizycznej człowieka (*szybsze zmęczenie*). Stosowana w zakładach przemysłowych, na statkach itp. Jest to tani środek gaśniczy.

Proszki gaśnicze

Proszki gaśnicze są substancjami hamującymi reakcję spalania. Działają antykatalitycznie np. poprzez wychwytywanie rodników dążących do połączenia się z węglem lub z wodorem. Są to ciała stałe w postaci sypkiego proszku. Posiadają znaczną odporność na działanie wilgoci. Małe drobiny proszku o jednorodnym kształcie mogą być zatem łatwo tłoczone i rozpylane w powietrzu

na kształt obłoku pary wodnej lub gazu. Proszki są środkami gaśniczymi o niemal uniwersalnym zastosowaniu. Mogą być stosowane nawet do gaszenia urządzeń elektrycznych będących pod napięciem (dobre właściwości dielektryczne) lub metali lekkich, które np. podczas spalania reagują z wodą.

Proszki gaśnicze są znane i stosowane w pożarnictwie od wielu lat. Praktycznie nadają się do gaszenia wszystkich typów pożarów, a w niektórych przypadkach są wręcz niezastąpione. Ich cenę rekompensuje wysoka skuteczność i szybkość działania gaśniczego, co znacznie zmniejsza straty pożarowe i popożarowe. Podawanie proszków gaśniczych do pożaru polega na wytworzeniu obłoku proszku w całej objętości strefy spalania i operowaniu prądownicą w taki sposób, aby nie było możliwości powrotu pożaru na ugaszoną już część materiału palnego. Bardzo ważny jest odpowiedni dobór proszku do danego typu pożaru, a także zastosowanie odpowiedniej intensywności podawania proszku gaśniczego do pożaru.

Proszki gaśnicze są mieszaninami ciał stałych o dużym stopniu rozdrobnienia, złożonych z jednego lub kilku składników mających właściwości gaśnicze, które stanowią bazę proszków, a także różnorodnych dodatków, których celem jest nadanie sproszkowanej bazie odpowiednich właściwości techniczno-użytkowych.

Skuteczność gaśnicza i zakres stosowania proszków gaśniczych zależy od składu chemicznego ich bazy, a także od dyspersyjności (rozdrobnienia) i zastosowanych dodatków.

Działanie gaśnicze proszków polega na dwóch podstawowych mechanizmach gaśniczych:
- działaniu inhibicyjnym,
- działaniu izolacyjnym.

Efekt działania inhibicyjnego jest zasadniczym działaniem gaśniczym proszków węglanowych (opartych na bazie węglanu sodowego i potasowego, siarczanów i chlorków) przeznaczonych do gaszenia pożarów płomieniowych, czyli pożarów cieczy palnych i gazów palnych oraz ciał stałych, które w warunkach pożaru topią się i spalają się w fazie ciekłej (np. niektóre tworzywa sztuczne). W proszkach przeznaczonych do gaszenia pożarów metali oraz pożarów ciał stałych zasadniczym mechanizmem działania gaśniczego jest izolacja powierzchni materiału palnego przed kontaktem z tlenem atmosferycznym (baza – fosforan amonowy)

Obok podstawowego działania gaśniczego proszków, jakim jest działanie antykatalityczne, wyróżniamy ich inne pozytywne walory, do których przede wszystkim należą:

- mechaniczne zdmuchiwanie płomienia wyrzuconym pod ciśnieniem strumieniem środka,
- zmniejszanie zawartości procentowej tlenu w otoczeniu płonącego materiału poprzez wypełnienie otoczenia „chmurą" proszku,
- odcinanie dopływu powietrza do płonącego materiału poprzez pokrycie go warstewką osiadającego środka gaśniczego.

Dokonując wyboru proszku jako środka gaśniczego należy kierować się nie tylko tym, jaki rodzaj pożaru dany proszek gasi, lecz także należy pamiętać o tym, że proszki gaśnicze są „brudnymi" środkami gaśniczymi – po ugaszeniu pozostaje duża ilość pyłów, które bardzo trudno usunąć szczególnie z urządzeń precyzyjnych, elektronicznych, powłok malarskich itp. Jednak mimo wszystko proszki gaśnicze należą do bardzo skutecznych środków gaśniczych o szerokiej gamie zastosowań.

Proszki gaśnicze nadają się do gaszenia pożarów urządzeń elektrycznych znajdujących się pod napięciem, co znacznie rozszerza zakres ich stosowania. Bezpieczna dla prądownika wielkość napięcia oraz natężenia prądu elektrycznego zależy od długości prądu gaśniczego, rozdrobnienia i rodzaju proszku oraz wilgotności i temperatury. Dopuszczalne zakresy napięć oraz wymagane minimalne odległości wyszczególnione są na urządzeniach gaśniczych, w których znajdują się proszki gaśnicze (gaśnice, agregaty, samochody proszkowe).

W zależności od zachowania się proszków w płomieniu można je podzielić na dwa typy:

- cząstki proszku nie wykazują zmian wielkości po wprowadzeniu ich do płomienia (proszki tradycyjne – węglanowe, fosforanowe, chlorkowe, siarczanowe).
- proszki rozpadające się w płomieniu z wytworzeniem submikronowych cząstek ciała stałego, np. proszki mocznikowo-węglanowe. Proszki rozpadając się w płomieniu zwiększają swoją powierzchnię właściwą - jest to bardzo korzystne z punktu widzenia mechanizmu inhibicji, dlatego są one znacznie skuteczniejsze niż proszki z grupy A.

Proszki gaśnicze możemy podzielić także na następujące typy:

- proszki BC – przeznaczone do gaszenia wyłącznie pożarów płomieniowych,
- proszki ABC – uniwersalne – przeznaczone do gaszenia pożarów płomieniowych i bezpłomieniowych,

– proszki specjalne D – przeznaczone do gaszenia pożarów metali lekkich.

Proszki gaśnicze maja bardzo szerokie zastosowanie. Możemy nimi gasić miedzy innymi:
– pożary palnych ciał stałych (grupa pożarów A),
– pożary cieczy palnych oraz ciał stałych topiących się (grupa pożarów B),
– pożary gazów palnych (grupa pożarów C),
– pożaru metali alkalicznych (D),
– pożary urządzeń elektrycznych pod napięciem,

Proszki gaśnicze mogą być stosowane do gaszenia pożarów bardzo małych (tzw. pożarów w zarodku) oraz do gaszenia pożarów bardzo dużych (np. pożarów dużych zbiorników z cieczami palnymi, rozlewów paliwa na lotniskach itp.). Do tego celu proszki stosowane są w:
– gaśnicach proszkowych,
– samochodach proszkowych,
– proszkowych stałych i półstałych urządzeniach gaśniczych.

Przygotowując się do działania gaśniczego proszkami warto uwzględnić, obok ich niewątpliwych zalet, także inne (niekoniecznie pozytywne) cechy, właściwości oraz niemałe koszty ponownego napełniania gaśnic. Warto też zapoznać się z podstawowymi zasadami gaszenia. Oto niektóre z nich:
– należy starać się podejść jak najbliżej źródła ognia, by wytworzyć wokół niego jak najskuteczniejszą chmurę środka.
– na otwartej przestrzeni podchodzimy do ogniska pożaru z wiatrem.
– strumień proszku kierujemy w płomień. Nie musimy zatem starać się podawać proszku bezpośrednio na płonącą powierzchnię.
– nie wolno kierować środka wprost na ludzi.
– wskazane jest, aby strażak pracował w okularach ochronnych.
– podczas gaszenia w pomieszczeniach, w których utrudnione jest odprowadzanie ciepła, może zachodzić potrzeba powtórzenia cyklu gaśniczego.
– gasząc urządzenia elektryczne będące pod napięciem należy pamiętać, by nie zbliżać wylotu prądownicy do urządzeń.

Halony gaśnicze

Halony są to chlorowcopochodne węglowodorów nasyconych w których jeden lub kilka atomów wodoru zastąpione zostały pierwiastkami z grupy chlorowców (fluor, chlor, brom, jod).

Halony posiadają wysoka skuteczność gaśniczą (działanie antykatalityczne), posiadają dużą trwałość w trakcie przechowywania, nie przewodzą prądu elektrycznego, po użyciu nie powodują żadnych zniszczeń i strat popożarowych. Proces gaszenia jest szybki, zachodzi przy małych stężeniach halonów w strefie spalania. Zakres stosowania halonów to głównie pożary grupy B i C:

- pożary cieczy palnych,
- pożary gazów palnych,
- pożary urządzeń elektrycznych pod napięciem,
- urządzenia komputerowe i mikroelektronika,
- gondole silników samolotów,
- pojazdy militarne,
- obiekty zabytkowe,
- archiwa, muzea.

Najważniejszą wadą halonów, oprócz ich toksyczności, jest ich szkodliwe oddziaływanie na warstwę ozonową powodując jej rozpad (atomy chloru uwalniające się z cząsteczki halonu rozbijają cząsteczki ozonu O_3). Przyczynia się to do zmniejszenia warstwy chroniącej Ziemię przed promieniowaniem ultrafioletowym (UV_B). W związku z rozpoznaniem szkodliwego działania halonów postanowiono rozpocząć redukcje produkcji i stosowania tych substancji - wynikiem tych działań było podpisanie w 1985 r. Konwencji Wiedeńskiej o ochronie warstwy ozonowej, a w 1987 r. Protokołu Montrealskiego w sprawie substancji zubażających warstwę ozonową.

Obecnie trwają prace nad zamiennikami halonów (majacymi podobne działanie gaśnicze, lecz nie mające działania szkodliwego jak halony) oraz nad poszukiwaniem innych alternatyw dla halonów.

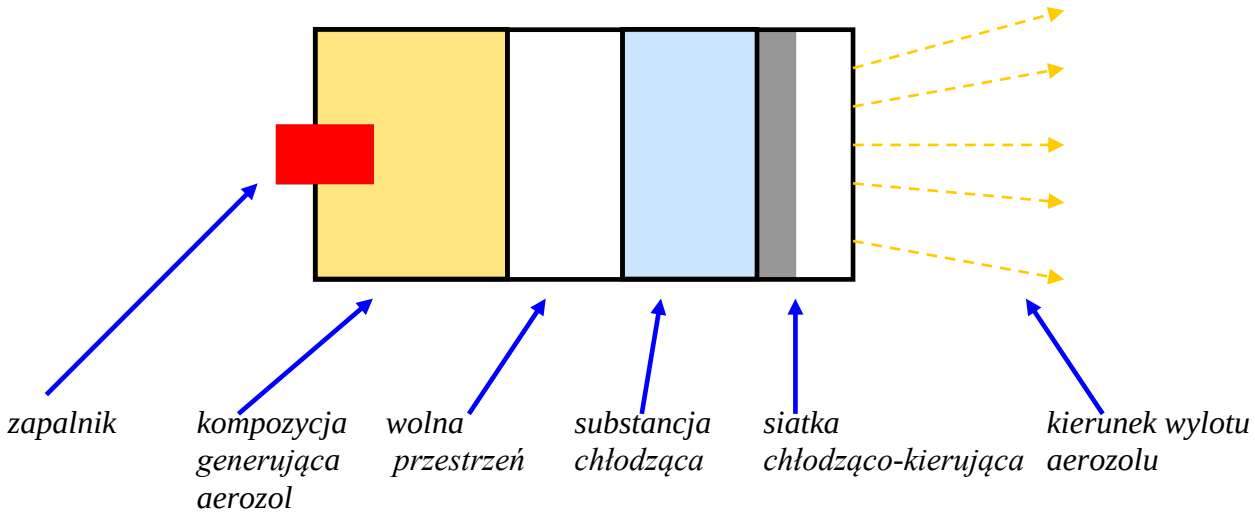
Aerozole gaśnicze

Na początku lat dziewięćdziesiątych w Rosji pojawiła się nowa technika gaszenia - pirotechnicznie wytwarzane aerozole gaśnicze. Kolejne lata przyniosły nowe rozwiązaniu, pozwalające na szersze zastosowanie aerozoli gaśniczych w postaci autonomicznych agregatów i zintegrowanych systemów gaśniczych.

Podstawowym składnikiem generatora aerozolu gaśniczego jest mieszanina utleniacza i paliwa, których reakcja powoduje powstawanie środka gaśniczego: aerozolu. Utleniacz jest to nieorganiczna sól - zwykle azotan lub nadchloran, w obu przypadkach sodu lub potasu. Paliwem jest organiczny polimer, który pełni

również rolę spoiwa, nadając mieszaninie żądaną formę w stanie stałym. Do tego celu wykorzystywane są najczęściej żywice: fenolowa, poliestrowa lub epoksydowa.

Spalanie lej mieszanki - zainicjowane przez bodziec elektryczny bądź termiczny - przebiega gwałtownie, z wydzieleniem dużej ilości ciepła prowadząc do wytworzenia chmury stałych i gazowych produktów spalaniu. Wśród nich znajdują się ważne z punktu widzenia działania gaśniczego węglany i chlorki potasu lub sodu, dwutlenek węgla, azot i para wodna. Wysoka temperatura reakcji powoduje, że wszystkie produkty spalania wydalane są w postaci gazowej, a następnie schładzane w powietrzu. W przypadku soli zmiana ich stanu skupienia z gazowego na ciekły i stały skutkuje powstaniem bardzo drobnych cząstek o dużej powierzchni właściwej, która ma szczególne znaczenie dla chemicznego działania gaśniczego tych substancji - identycznego, jak proszków gaśniczych typu BC. Aerozol wytwarzany w ten sposób łączy działanie gaśnicze fizyczne (rozrzedzenie strefy spalania przez gazy: CO_2 i N_2) i chemiczne (inbibicyjne działanie soli).



Rys. Budowa generatora aerozolu gaśniczego

Największą zaletą aerozolowych agregatów gaśniczych jest wypełnienie wolnego dotychczas segmentu na rynku zabezpieczeń przeciwpożarowych. Wypełniają one lukę między podręcznym sprzętem gaśniczym i stałymi urządzeniami gaśniczymi. Małe wymiary i prosta obsługa zapewniają możliwość ich wykorzystania w miejscach dotychczas niezabezpieczonych - ze

względu na brak odpowiednich urządzeń i rozwiązań konstrukcyjnych. Jak podają producenci - środek gaśniczy powstający w wyniku spalania nie powoduje uszkodzeń urządzeń elektrycznych, nie przewodzi prądu elektrycznego, a co najważniejsze - nie ma szkodliwego wpływu na środowisko naturalne: nie niszczy warstwy ozonowej Ziemi i nie wpływa na globalne ocieplenie.

Dzięki bardzo małym rozmiarom cząstek wytworzony obłok aerozolu utrzymuje się przez bardzo długi czas w całej objętości chronionej przestrzeni, skutecznie zabezpieczając pomieszczenie przed rozwojem pożaru czy ponownym zapaleniem.

Zaletą generatorów aerozoli gaszących jest możliwość stosowania pojedynczych sztuk lub zestawu kilku generatorów oraz wyboru sposobu inicjowania zadziałania (termiczne, elektryczne - w tym z centralki sygnalizacji pożaru).

Pomimo wielu zalet aerozole gaśnicze mają także kilka wad:
- wysokie temperatury i wydostawanie się płomieni - w wyniku zachodzącej wewnątrz obudowy generatora reakcji pirotechnicznej Zastosowane w generatorach materiały chłodzące oraz siatki kierujące wylot aerozolu powodują zmniejszenie temperatury gazów wylotowych do 200-350°C. Zagrożenie może stanowić także wysoka temperatura metalowej obudowy generatora,
- emisja produktów toksycznych - aerozole pirotechniczne na bazie azotanu potasu wytwarzają znaczne ilości tlenków azotu, co ogranicza stosowanie generatorów do przestrzeni, w których nie będą przebywać ludzie,
- ograniczenie widoczności praktycznie do zera – zawiesina aerozolu w powietrzu utrzymuje się dosyć długo z powodu bardzo małych rozmiarów cząstek.

Mimo składu medium gaszącego wytwarzanego przez generatory aerozolu (skutecznego głównie przy pożarach grup B i C) aerozole gaśnicze mogą okazać się skuteczne przy gaszeniu pożarów grupy A, zwłaszcza w pomieszczeniach zamkniętych (dzięki zdolności długiego utrzymywania się w powietrzu). Zakres zastosowania tego typu urządzeń jest bardzo szeroki, między innymi:
- komory silnikowe pojazdów, sprzętu mechanicznego,
- sterownie,
- aparatura elektroniczna,
- maszynownie statków,
- transformatory energetyczne, wyłączniki energetyczne,
- kabiny lakiernicze,
- magazyny z materiałami palnymi,

- kotłownie olejowe, gazowe itp.
- telefonia stacjonarna i komórkowa.

CZĘŚĆ III - POŻAR I JEGO ROZWÓJ

Pojęcie pożaru

Znajomość procesów spalania stanowi podstawę do zrozumienia zjawiska rozwoju pożaru, określenia sposobów zapobiegania, kontrolowania i gaszenia, opracowania odpowiednich standardów badania palności materiałów i właściwej ich interpretacji. Chcąc skutecznie radzić sobie z pewnymi zjawiskami należy je poznać a także nazwać. Nie znając charakteru procesów spalania, zjawisk towarzyszących oraz przebiegu i rozwoju pożarów nie będzie można skutecznie przeciwdziałać jego niszczycielskim skutkom. Szalejący swobodnie pożar powoduje panikę i zniszczenia oraz wyzwala strach w nas wszystkich.

Spalanie - jest to autokataliczna (samoprzyspieszająca), silnie egzotermiczna reakcja pomiędzy paliwem i utleniaczem, ze zdolnością do przemieszczania się w przestrzeni, towarzyszy jej światło (płomień lub tlenie) oraz dym (produkty rozkładu, parowania i spalania).

Pożar - to niekontrolowany w czasie i przestrzeni proces spalania, stwarzający zagrożenia dla człowieka i środowiska oraz powodujący straty dóbr materialnych (znacznej wartości) nie przeznaczonych do zniszczenia w danym czasie i w taki sposób. Jest przeciwieństwem kontrolowanych procesów spalania wykorzystywanych przez człowieka np. w przemyśle, energetyce czy w warunkach domowych.
Zjawiska towarzyszące procesom spalania
Przy ocenie szybkości z jaką może rozprzestrzeniać się pożar w określonej przestrzeni, pod uwagę należy brać następujące elementy:
- rodzaj palących się materiałów,
- wartość opałową tych materiałów,
- ich stan skupienia i rodzaj powierzchni,
- warunki dopływu powietrza.

W zależności od rodzaju materiału palnego rozróżnia się szybkość spalania:
- masową (wagową) - dla ciał stałych,
- liniową - dla cieczy
- objętościową - dla gazów.

Masowa szybkość spalania – określa szybkość, z jaką wagowa ilość materiału palnego spala się z określonej jednostki powierzchni w jednostce czasu ($kg/m^2/min$).

Liniowa szybkość spalania – określa, o ile obniży się poziom cieczy w zbiorniku w określonym czasie (mm/min).

Objętościowa szybkość spalania – określa, jaka objętość gazu spala się w jednostce czasu (m^3/min).

Rodzaje (podział) pożarów

Pożary według lokalizacji miejsca dzieli się na:

Pożary wewnętrzne – są to pożary, które przebiegają w wewnętrznych przestrzeniach (w budynkach, urządzeniach i innych obiektach).
Pożary ukryte – są to pożary, przy których nie widzimy ogniska pożaru. Przebiegają w pustych przestrzeniach stropów, ścian budynków czy też wewnątrz urządzeń i aparatur technologicznych. W obiekcie odczuwa się obecność lotnych substancji spalania, które mogą powodować błędną lokalizację miejsca przebiegu procesu spalania, z uwagi na tendencję dymu do snucia się i przemieszczania uzależnionego od istniejących w obiekcie prądów powietrza.
Pożary otwarte – rozwijają się w przestrzeni zamkniętej z widzialnym ogniskiem pożaru. Pojęcie widzialności nie może być ujmowane wprost, bowiem może być ona zakłócona przez dymy czy też znajdujące się w przestrzeni zamkniętej przedmioty i urządzenia stanowiące wyposażenie wnętrza pomieszczenia.
Pożary zewnętrzne – są to pożary, które rozwijają się i rozprzestrzeniają na otwartej przestrzeni (na zewnątrz budynków, pożary obejmujące lasy, uprawy, torfowiska, składowiska otwarte itp.). Ich cechą charakterystyczną jest oddawanie energii cieplnej w przestrzeni prawie nieograniczonej.
Pożary pojedyncze – są to pożary pojedynczych obiektów, zlokalizowanych na otwartej przestrzeni (kontenery na śmieci, wolnostojące obiekty, budynki, środki transportu itp.).
Pożary blokowe – są to pożary zewnętrzne grupy budynków, często budowanych w oparciu o wspólne ściany, lub dużych wielokondygnacyjnych obiektów. Jest to właściwie pożar przebiegający zarówno na zewnątrz jak i wewnątrz obiektu i to często na kilu kondygnacjach. Towarzyszące pożary wewnętrzne powodują wzrost zadymienia oraz strefy oddziaływania cieplnego. Z kolei zewnętrzne ognisko pożaru, powoduje zwiększoną wymianę gazową, co pociąga za sobą wzrost intensywności spalania. Pojawia się zagrożenie dla obiektów dalszych, potęgowane możliwością pojawienia się ogni lotnych.
Pożary przestrzenne – są to pożary zewnętrzne, obejmujące obiekty zlokalizowane na dużym obszarze, a także lasy i uprawy. Charakteryzują się one dużą intensywnością spalania, silnymi ruchami powietrza, które mogą utrudniać,

a nawet uniemożliwić organizowanie działań na froncie pożaru. Każdorazowo do gaszenia takich pożarów wymagany jest udział znacznej ilości sił i środków.

Pożary według wielkości dzieli się na:

1. **pożary małe** – pożary, w wyniku których zostały spalone lub zniszczone:
   a) obiekty lub ich części, ruchomości, składowiska materiałów, maszyny, urządzenia, surowce, paliwa, itp., o powierzchni do 70 m^2 lub objętości do 350 m^3 ,
   b) lasy, uprawy i torfowiska o powierzchni do 1 ha,
2. **Pożary średnie** – pożary, w wyniku których zastały spalone lub zniszczone:
   a) obiekty lub ich części, ruchomości, składowiska materiałów, maszyny, urządzenia, surowce, paliwa, itp., o powierzchni od 71 do 300 m^2 lub objętości od 351 do 1500 m^3 ,
   b) lasy, uprawy i torfowiska o powierzchni od 1 do 10 ha,
3. **Pożary duże** - pożary, w wyniku których zostały spalone lub zniszczone:
   a) obiekty lub ich części, ruchomości, składowiska materiałów, maszyny, urządzenia, surowce, paliwa, itp., o powierzchni od 301 do 1000 m^2 lub objętości od 1501 do 5000 m^3,
   b) lasy, uprawy i torfowiska o powierzchni od 10 do 100 ha,
4. **Pożary bardzo duże** – pożary, w wyniku których zostały spalone lub zniszczone:
   a) obiekty lub ich części, ruchomości, składowiska materiałów, maszyny, urządzenia, surowce, paliwa, itp., o powierzchni powyżej 1000 m^2 lub objętości powyżej 5000 m^3 ,
   b) lasy, uprawy i torfowiska o powierzchni powyżej 100 ha,

Przy ustaleni wielkości pożaru, w stosunku do których nie można zastosować kryteriów takich jak powierzchnia i kubatura (pożary odwiertów naftowych, rurociągów gazowych, urządzeń technologicznych poza budynkami, itp.), przyjmuje się następujące kryteria wielkości pożarów:

1. **Pożar mały** – jeżeli podano do 4 prądów gaśniczych,
2. **Pożar średni** – jeżeli podano od 5 do 12 prądów gaśniczych,
3. **Pożar duży** – jeżeli podano od 13 do 36 prądów gaśniczych,
4. **Pożar bardzo duży** – jeżeli podano powyżej 36 prądów gaśniczych.

Pożary cieczy w zbiornikach otwartych oraz uwolnionych ze zbiorników zamkniętych.

Pożary cieczy i gazów stanowią duże zagrożenie w przemyśle chemicznym, szczególnie petrochemicznym. Nieszczelności i uszkodzenia zbiorników mogą powodować wycieki. Trudne do opanowania są pożary płynących rozlewisk o dużej powierzchni a także pożary cieczy spływającej po powierzchniach pionowych. Wyciek pionowy po zbiorniku znacznie intensyfikuje szybkość spalania. Szybkość propagacji płomienia wzrasta na

powierzchniach pionowych do kilkudziesięciu razy w stosunku do szybkości uzyskiwanych na powierzchniach poziomych. Pożary cieczy w zbiornikach stanowią bardzo poważne zagrożenie i stwarzają duże trudności w gaszeniu. Ogrzanie cieczy w zbiorniku zamkniętym, np. w środowisku pożaru może spowodować, że wzrost ciśnienia w zbiorniku i gromadzące się pary oraz wrząca ciecz zostaną gwałtownie wyrzucone na zewnątrz i powstanie tzw. kula ognista (BLEVE).

Typy pożarów cieczy i gazów palnych :

Zdarzenie	Typ	Charakter spalania	Główna przyczyna
Pożar	Powierzchniowy	Spalanie palnej substancji ze swobodnej powierzchni	Wyciek z instalacji lub na uszczelnieniu pomp
	Strumieniowy	Zapłon gazu wypływającego ze zbiornika ciśnieniowego przez mały otwór(1-5cm^2)	Jak wyżej przy nadciśnieniu w zbiorniku
	Błyskawiczny	Deflagracja spalania mieszaniny gaz-powietrze bez wytworzenia niszczącej fali ciśnienia	Wyciek cieczy przegrzanej
	Kulisty	Spalanie obłoków paliwo-powietrze tworząc kulistą przestrzeń płomienia	Pęknięcie zbiornika z gazem skroplonym wskutek wewnętrznego pożaru typu powierzchniowego lub strumieniowego

1. Pożar powierzchniowy (spalanie cieczy ze swobodnej powierzchni).

Spalanie cieczy ma charakter dyfuzyjny i przebiega w układzie pary palne-powietrze. Dynamika spalania cieczy w zbiornikach jest zależna od:

♦ lotności cieczy,

- średnicy zbiornika,
- przebiegu nagrzewania się cieczy w głąb warstwy,
- zawartości w cieczy wody emulgowanej lub odstanej na dnie,
- warunków atmosferycznych, szczególnie siły wiatru.

2. Pożar strumieniowy.
Powstaje, gdy uwalniająca się ze zbiornika lub rurociągu ciśnieniowego ciecz palna lub gaz ulegnie zapłonowi. Powstaje wtedy długi stabilny płomień, przypominający płomień z palników do cięcia lub spawania metali. Strumień cieplny emitowany przez taki płomień jest nadzwyczaj intensywny i powoduje duże obciążenia cieplne elementów konstrukcyjnych i sprzętu. Zależy ono od długości płomienia, który jest funkcją prędkości wypływu oraz odległości elementu od miejsca wypływu.

3. Pożar gwałtowny.
Występuje wtedy, gdy chmura mieszaniny palnego gazu i powietrza ulegnie zapłonowi. Kształt płomienia przybiera postać, jaką miała chmura mieszaniny przed zapłonem. Jego wielkość zależy również od miejsca zapłonu wewnątrz chmury. Prędkość spalania jest funkcją stężenia substancji palnej w chmurze i w mniejszym stopniu zależy również od prędkości wiatru. Jeżeli w chwili zapłonu chmura uwolnień obejmuje miejsce uwolnienia to, w zależności od sposobu uwolnienia, mogą zaistnieć warunki do powstania pożaru rozlewiska lub pożaru strumieniowego. Jest również możliwe, że front płomienia osiągnie wystarczająco dużą prędkość dla powstania wybuchu.

4. Pożar kulisty.
Kula ognista może powstać przy gwałtownych uwolnieniach, którym towarzyszy również gwałtowne mieszanie i zapłon. Początkowo (przed zapłonem) chmura przybiera postać półkuli. W wyniku termicznych sił wyporu, tuż po zapłonie, szybko zamienia się w kulę. Jeżeli wypływ substancji palnej jest skierowany bezpośrednio w górę, to kula ognista tworzy się natychmiastowo po zapłonie chmury. Ważnym źródłem kul ognistych jest zespół zjawisk zwany **BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion** - eksplozja rozprężającej się pary wrzącej cieczy). Charakterystyczne są one dla palnych cieczy utrzymywanych pod ciśnieniem w temperaturze otoczenia. Zdarzenie zaczyna się od zewnętrznego pożaru, zasilanego ewentualnie przez substancję palną wypływającą ze zbiornika. Płomienie atakują powierzchnię zbiornika będącą w kontakcie z jego ciekłą zawartością. Wrzenie cieczy zwiększa ciśnienie pary, ale utrzymuje jednocześnie względnie chłodną zwilżaną część powierzchni zbiornika. Jednak w miejscach, gdzie ogień atakuje z zewnątrz, część powierzchni zbiornika kontaktuje się tylko z parą, odbiór ciepła jest mały. W wyniku tego, w tych miejscach gwałtownie rośnie temperatura powierzchni metalu. Metalowa powłoka zbiornika słabnie i przy

wzrastaniu ciśnienia w zbiorniku gwałtownie pęka. W wyniku uszkodzenia zbiornika, jego zawartość utrzymywana pod ciśnieniem zostaje gwałtownie wyrzucona na zewnątrz i rozprężając się tworzy chmurę pary z kropelkami cieczy. Płomienie na zewnątrz zbiornika powodują zapłon chmury i utworzenie się kuli ognistej olbrzymich rozmiarów (nawet do 600 m średnicy).
Przyczyny, czy też zdarzenia, które doprowadzają do wybuchu mogą być różne, najczęściej jest to:

- samonagrzewanie się cieczy,
- ogrzanie cieczy w zbiorniku lub instalacji na skutek oddziaływania pożaru,
- gwałtowny wyciek podczas wypadków komunikacyjnych.

Powstawaniu Bleve towarzyszą zwykle efekty :

- rozpryskiwanie spalające się cieczy,
- powstawanie fali uderzeniowej (wybuchowej),
- powstawanie zjawiska o nazwie fireball (płomień w kształcie kuli).
- silne promieniowanie termiczne,
- powstawanie odłamków z części zbiorników, czy instalacji

Wykipienie i wyrzut

Wykipienie i wyrzut należą do charakterystycznych zjawisk towarzyszących pożarom zbiorników z ropą naftową i produktami ropopochodnymi. Stanowią one znaczne utrudnienie akcji gaśniczej, zwiększają zagrożenia pożarowe sąsiednich instalacji przemysłowych a także mogą być przyczyną wypadków śmiertelnych.

Wykipienie jest prawdopodobne w przypadku cieczy o dużej lepkości zawierającej zemulgowane, nierozpuszczalne substancje o niskiej temperaturze wrzenia. Najczęściej substancją tą jest woda, której obecność jest związana z procesem wydobycia i nie tylko. W czasie przechowywania i w początkowym okresie spalania woda (w ilości 0,5 do 4,5 %) jest mniej lub bardziej równomiernie rozłożona w całej masie cieczy.

Podczas spalania, w wyniku zmniejszania lepkości górnej warstwy cieczy na skutek ciepła transferowanego z płomienia do powierzchni palącej się ropy, krople wody stopniowo opadają w głąb zatrzymując się tam, gdzie lepkość cieczy jest jeszcze stosunkowo duża. Jednocześnie krople te nagrzewają się i przy osiągnięciu określonej temperatury odparowują. Powstające pary powodują powstanie emulsji i w konsekwencji spienienie cieczy, która zwiększając swoją objętość i unosi się do górnych części zbiornika i przelewa się przez jego górną krawędź.

Najczęściej kipi ropa naftowa i mazut, a więc produkty o stosunkowo dużej lepkości umożliwiającej zatrzymanie zawieszonych w nich kropelek wody.Podczas spalania się zbiorników z paliwami tworzącymi strefy cieplne, bardzo często ma miejsce wyrzut cieczy, nazywany często w literaturze

wybuchem. Warunkiem umożliwiającym wybuch jest obecność warstwy wody na dnie zbiornika. Kontakt gorącej warstwy cieczy z wodą prowadzi do przegrzania wody i jej gwałtownego parowania, a konsekwencją tego jest wyrzut palącego się produktu ropy naftowej.

Wykipienie jest to przejecie w parę cząstek wody znajdujących się w ropie i powstanie piany z utworzonej emulsji "woda-ropa", która może przelewać się przez ściany zbiornika.

Wyrzut to bardzo szybkie przejście w parę znajdującej się na dnie zbiornika wody, w wyniku dojścia warstwy przegrzanej ropy do warstwy wody, wzrost ciśnienia przy przejściu międzyfazowym "woda - para" i w następstwie wyrzucenie palącej się ropy na zewnątrz zbiornika co znacznie zwiększa powierzchnię pożaru.

Warunkiem wystąpienia wyrzutu jest jednoczesne zaistnienie trzech elementów :

- pożaru otwartego zbiornika
- warstwy wody na dnie zbiornika
- utworzeniu się warstwy przegrzanej w cieczy palnej,

Postępowanie podczas gaszenia pożarów zbiorników cieczy mogących doprowadzić do wykipienia lub wyrzutu :

- należy ustalić rodzaj płonącej cieczy (możliwość jej wykipienia lub wyrzutu),
- orientacja w możliwych kierunkach rozpływania się przelanej cieczy,
- stała obserwacja płonącego zbiornika,
- określić należy kierunki i drogi ewentualnej ucieczki oraz sygnały alarmowe,
- pracującym przy ochładzaniu, nie wolno kierować wody do wnętrza płonącego zbiornika,
- wozy bojowe i pompy nie powinny znajdować się bliżej niż 100 m od płonącego zbiornika od strony nawietrznej i 150 m od strony zawietrznej,
- płonące zbiorniki zaczynamy gasić, gdy na miejscu mamy już wystarczającą ilość sił i środków.

Rozwój pożaru

Rozprzestrzenianie się płomieni po powierzchni materiałów stałych jest możliwe we wszystkich kierunkach. Należy uwzględnić, że rozprzestrzenianie w górę jest do kilkudziesięciu razy szybsze niż po powierzchniach poziomych. Dlatego pożar najszybciej rozprzestrzenia się pionowo. W pomieszczeniach objętych pożarem, w krótkim czasie od jego zainicjowania temperatura pod sufitem może osiągnąć wartości rzędu 500 - 800 °C. Wzrost płomieni w obszarze podsufitowym może odgrywać znaczącą rolę dla rozwijania się pożaru

w przestrzeni zamkniętej. Jeśli sufit ograniczy wysokość płomienia, to nastąpi pełzanie płomieni wzdłuż powierzchni sufitu. Intensywne promieniowanie wyzwala znaczną ilość palnych par i gazów, i w następnej fazie może nastąpić tzw. rozgorzenie, tj. gwałtowny zapłon w całej przestrzeni pomieszczenia objętego pożarem. Rozgorzenie jest momentem krytycznym w całym rozwoju pożaru.

Podczas pożarów ciał stałych najczęściej występuje duża emisja dymu (sadzy), a w przestrzeniach z małym dostępem tlenu do pomieszczenia - tlenku węgla (czadu). Stwarza to bardzo poważne zagrożenie dla życia i zdrowia, oraz utrudnia prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczej.

Rozdrobnienie materiałów stałych (pyły) zwiększa szybkość wydzielania części lotnych i stwarza zwiększone zagrożenie pożarami i wybuchami.

Podstawowym parametrem pożaru jest jego powierzchnia, czyli rzut strefy spalania na poziomą lub pionową płaszczyznę. Zależy ona od czasu trwania pożaru, oraz liniowej prędkości rozprzestrzeniania się pożaru (V_L). Znajomość tego parametru pozwala na prognozowanie przebiegu pożaru i ustalenia niezbędnych do gaszenia sił i środków.

Liniowa prędkość rozprzestrzeniania się pożaru (V_L) jest to prędkość przesuwania się frontu płomienia, po powierzchni materiału palnego. Zależy ona od :

- rodzaju materiału palnego,
- temperatury początkowej materiału,
- intensywności wymiany gazowej,
- stanu rozdrobnienia materiału,
- geometrycznego usytuowania materiału.

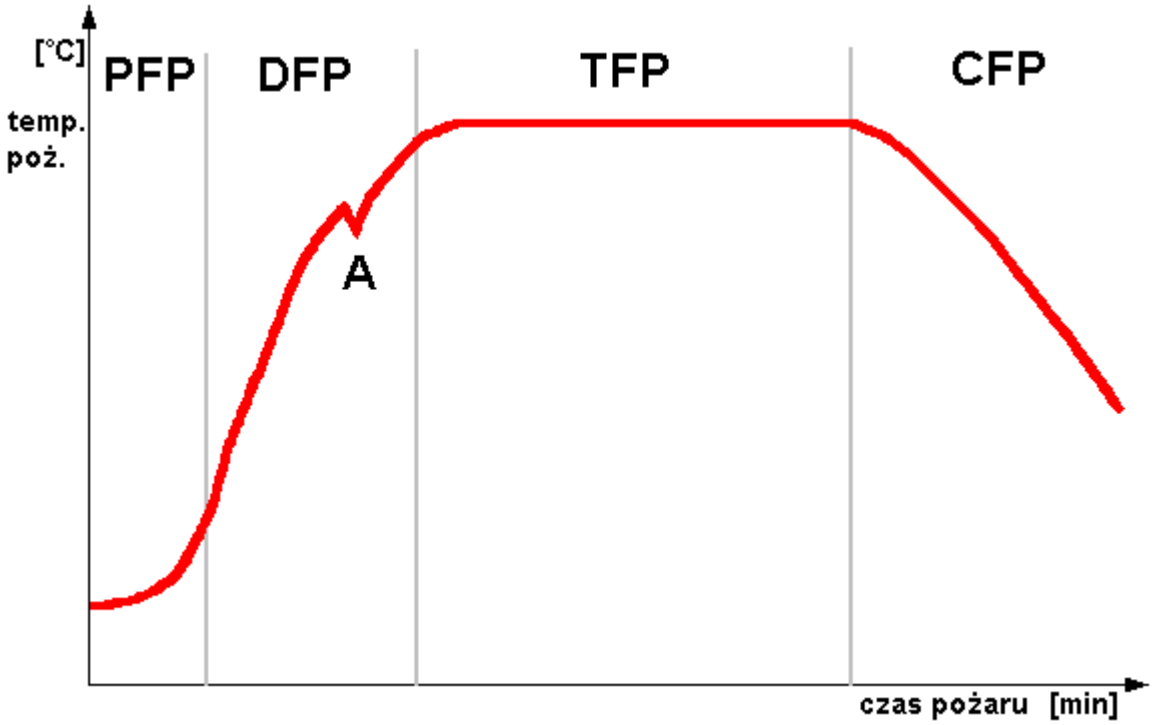
Najmniejszą prędkość rozprzestrzeniania się pożaru odznaczają się ciała stałe i w ich przypadku zależy ona głównie od ich konfiguracji geometrycznej. Rozprzestrzenianie się pożaru rozumiany jest jako wzrost powierzchni lub objętości pożaru. W praktyce występują sytuacje, w których pożar nie rozprzestrzenia się, ale obserwujemy nasilenie zjawisk charakterystycznych dla pożaru a zachodzących w strefie spalania jak: wzrost temperatury, wzrost masowej szybkości spalania, wzrost wymiany gazowej. Mówimy wówczas o rozwoju pożaru, czyli nasileniu się procesów spalania.

Fazy rozwoju pożaru

Każdy pożar, niezależnie od tego w jaki sposób został zainicjowany proces spalania materiałów palnych, ma swój początek, tak w czasie jak i konkretnej przestrzeni. Praktyka pożarnicza wskazuje, że każdy pożar ma pewne swoiste właściwości (prawidłowości) rozwoju. Chociaż z doświadczenia wynika, że

każdy pożar jest inny, to jednak dla każdego z nich można wyodrębnić pewne cechy wspólne. Innymi słowy dla każdego pożaru w czasie jego trwania można wyróżnić fazy, zwane fazami spalania (fazami rozwoju pożaru). Można rozróżnić cztery zasadnicze fazy:

PFP - pierwsza faza pożaru; **DFP** - druga faza pożaru;
TFP - trzecia faza pożaru; **CFP** - czwarta faza pożaru;
A - rozgorzenie.



Rys.1. *Przebieg rzeczywistej temperatury pożaru w różnych fazach jego rozwoju.*

Faza I (PFP) – Za początek pożaru przyjmiemy moment, w którym materiał palny zacznie spalać się otwartym płomieniem. Płomień powoli rozprzestrzenia się po powierzchni materiału palnego. Wokół niego od razu powstają prądy konwekcyjne, dzięki którym napływa nowa porcja powietrza i proces spalania jest podtrzymywany. Powierzchnia materiału palnego w sąsiedztwie ogniska pożaru ulega silnemu nagrzaniu. Zwiększa się intensywność wydzielania produktów pirolizy i spalania. Płomienie powiększają swoją objętość, pojawiają się tam, gdzie temperatura osiągnęła temperaturę zapalenia. Zwiększają się prądy konwekcyjne. Spalanie przebiega w dostatecznej ilości tlenu, a temperatura gazów w pomieszczeniu nie ulega zmianie. Faza ta nazywa się przejściem od zapalenia w pożar. Czas od zainicjowania procesu spalania do przygotowania przez niego gazowych mieszanin palnych jest bardzo różny, a zależy od szeregu parametrów, jak np.: temperatury czynnika inicjującego

proces zapalenia, rodzaju i ilości materiałów palnych, ich temperatury początkowej, stopnia wilgotności, stopnia rozproszenia materiałów oraz zawartości tlenu w powietrzu. Ogólnie przyjmuje się, że czas ten wynosi w przeciętnych pomieszczeniach, np. w budynku biurowym od 5 do 60 min., w zakładach produkcyjnych od 5 do 30 min., przy czym zależny on jest także od wytrzymałości ogniowej elementów konstrukcyjnych i wykończenia wnętrz. Gdy gazy pożarowe i masy ciepłego powietrza oraz dym wypełniają pomieszczenie do połowy jego wysokości, pożar bardzo szybko rozszerza się w kierunku poziomym, co jest funkcją ilości wywiązującego się ciepła i dopływu ogrzanej mieszaniny oraz powietrza do ogniska pożaru.

Faza II (DFP) – do zapalenia przygotowują się dalsze materiały palne. Obserwujemy wzrost temperatury pożaru, powiększa się także strefa spalania. Wyraźnie wzrasta liniowa prędkość rozprzestrzeniania się pożaru. W fazie tej narasta dynamika pożaru. Procesy te przebiegają jednak nierównomiernie, bowiem wiele zależy od wymiany gazowej i docierania powietrza zawierającego tlen do strefy spalania. Zniszczenie szyb w otworach okiennych jest istotnym czynnikiem wpływającym na obraz pożaru wewnętrznego. Skokowo ulega zmianie wymiana gazowa. Następuje gwałtowny odpływ gazów z pomieszczenia i napływ powietrza z zewnątrz. Obydwa te zjawiska mają wpływ na sytuację pożarową w pomieszczeniu. Faza ta może trwać od kilku do kilkunastu minut. Druga faza rozwoju pożaru charakteryzuje się rozgorzeniem ognia, czyli gwałtownym przejściem pożaru z fazy I do fazy II, na skutek istnienia korzystnych proporcji gazowych mieszanin palnych, oraz przekroczenia wartości krytycznych natężenia promieniowania cieplnego w pomieszczeniu. Przejście z fazy I do fazy II może odbywać się również łagodnie, bez wyraźnej fazy rozgorzenia.

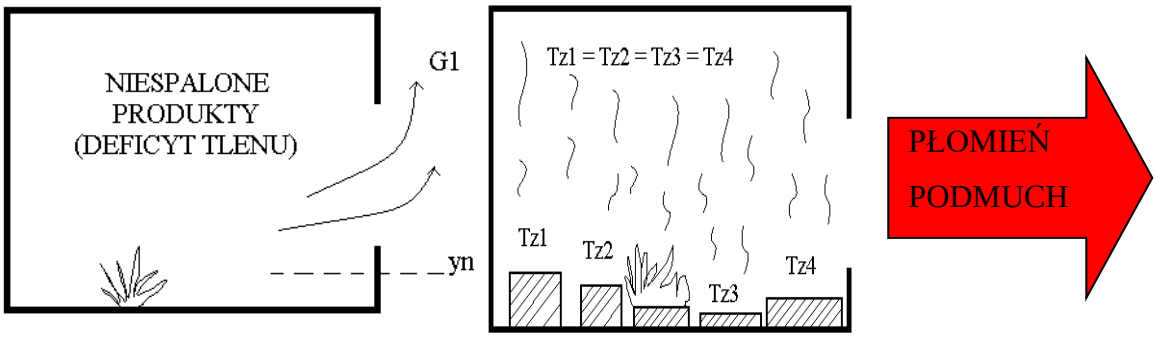
Zjawisko rozgorzenia i występujące zagrożenia

Rozgorzenie jest momentem zwrotnym dla każdego pożaru, wzrokowo uchwytnym, stwarzającym szczególne zagrożenie dla ludzi. Rozgorzenie ma miejsce, gdy maksymalne temperatury pod sufitem (stropem) osiągają wartość ok. 700 – 800 ^{0}C, a przy podłodze 350 – 500^{0}C.

Zapaleniu ulegają wówczas wydzielone w pierwszej fazie mieszaniny gazowe, a także wszystkie lub niemal wszystkie płaszczyzny, palne nagrzane przez promieniowanie cieplne. Zwane jest to, wybuchem ognia (flashover). Następuje gwałtowna zmiana liniowej prędkości rozprzestrzeniania się pożaru, gwałtowny przyrost temperatur, szybki ubytek tlenu, wzrost stężenia produktów termicznego rozkładu i spalania. Może również, nastąpić wyrzut płomieni na zewnątrz pomieszczenia. Z sufitu zaczyna odpadać tynk, a jeżeli pożar ma

miejsce w budynku jednokondygnacyjnym, izolacja dachu odkształca się i topi, a nawet ścieka płonącymi kroplami.

Mechanizm rozgorzenia związany jest z osiągnięciem temperatury zapłonu przez zgromadzone w pomieszczeniu produkty rozkładu i parowania. Źródłem dodatkowym energii może być zwrotny strumień promieniowania odbitego i emitowanego przez rozgrzane powierzchnie, np. sufit. Często obserwuje się tzw. niepełne rozgorzenie, charakteryzujące się pojawieniem płomieni w warstwie podsufitowej, gdzie panują najdogodniejsze warunki, najwyższe stężenie par oraz gazów i najwyższa temperatura. W chwili poprzedzającej pełne rozgorzenie różnica temperatury gazów pod sufitem i przy podłodze wynosi kilkaset stopni Celsjusza, nawet do 800. Pod sufitem zgromadzona jest warstwa gęstego dymu, która stopniowo obniża swój pułap. Zjawisko to trwa relatywnie krótko, w porównaniu z zasadniczymi fazami rozwoju pożaru.



Rys.2. *Ilustracja przejścia pożaru zlokalizowanego do stanu rozgorzenia oraz zjawiska wstecznego ciągu powietrza*

G1 *– strumienie palnych gazów pożarowych wydostających się z pomieszczenia objętego pożarem, wskutek panującego w nim nadciśnienia,*

Yn *- wysokość strefy zadymienia lub płaszczyzny równych ciśnień (na tej wysokości pomieszczenia – ciśnienie wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia jest jednakowe),*

Tz1,Tz2,Tz3,Tz4 *– temperatury zapalenia materiałów palnych znajdujących się w pożarze < od temperatury pożaru.*

Rozgorzenie jest szczególnie niebezpieczne i charakteryzuje go:

- gwałtowną zmianą liniowej prędkości rozprzestrzeniania się pożaru,
- skokową zmianą masowej szybkości spalania,
- gwałtownym wzrostem temperatury,
- wyrzutem płomieni na zewnątrz pomieszczenia,
- gwałtownym ubytkiem tlenu i szybkim powiększaniem się stężenia tlenku węgla i dwutlenku węgla oraz innych produktów spalania i rozkładu,
- pożar z procesu zlokalizowanego staje się procesem objętościowym.

Jeśli strażacy pojawią się na miejscu zdarzenia przed rozgorzeniem, to mogą mu zapobiec poprzez:

- ochłodzenie i obniżenie stężenia gazów w pomieszczeniu, w szczególności w warstwie podsufitowej, stosując krótkie serie rozpylonych prądów wodnych,
- nie należy przy tym otwierać pomieszczenia, lecz prowadzić akcję wprowadzając prądy wody przez minimalny otwór,
- poruszać się w pomieszczeniu jeśli to jest konieczne przyjmując postawę klęczącą lub pełzającą.

Wsteczny ciąg powietrza (ognisty podmuch)

Ciepło rozkłada wszystko co jest palne, jeśli tlen dopływa przez otwarte drzwi lub jeśli pęknie szyba w oknie cały pokój może rozgorzeć i wszystko stanie w płomieniach. Jednak jeśli pomieszczenie jest zamknięte, okna podwójne i szczelne, przez co nie ma dostępu tlenu, wówczas spada dynamika pożaru, gorący dym, bogaty w produkty niecałkowitego spalania (palne gazy i pary) wypełnia pomieszczenie i czeka na to by ktoś otworzył drzwi lub okna i dostarczył mu świeżego powietrza. W następnej chwili do pomieszczenia zaczyna napływać powietrze i tworzy się mieszanina nie spalonych produktów rozkładu i tlenu. To co się wtedy dzieje nazywa się wstecznym ciągiem powietrza inaczej też nazywanym ognistym podmuchem.

W zamkniętym pomieszczeniu, w którym znacząco wzrosła temperatura, panuje również pewne nadciśnienie. W chwili, kiedy do takiego pomieszczenia zostaną otwarte drzwi lub okna, panujące w nim nadciśnienie wypchnie palne gazy przez otwór, a napływające z drugiej strony powietrze wzbogaci mieszaninę gazów w tlen. W ten sposób powstaną warunki do rozgorzenia, czyli zapłonu w całej objętości pomieszczenia. Od strony źródła pierwotnego, w stronę otwartych drzwi zaczną się z dużą szybkością przemieszczać płomienie, powodując zapłon mieszaniny palnej w całej objętości pomieszczenia i poza nim, w przestrzeni, do której wypchnięte zostały gazy po otwarciu drzwi. Efektowi płomieni buchających z otworów towarzyszy efekt dźwiękowy, zbliżony do huku powodowanego przez wagon metra w tunelu, związany z przemieszczaniem się fali ciśnieniowej.

Możemy powiedzieć, że rozgorzenie przy pożarze nie stłumionym brakiem tlenu ma charakter termiczny, a wsteczny ciąg płomieni i ognisty podmuch ma charakter gazodynamiczny i związany jest z pewnym nadciśnieniem, jakie wytworzone jest w pomieszczeniu, w którym rozwija się pożar. Jest to zjawisko groźne i znane wielu strażakom biorącym udział w gaszeniu pożarów.

Nieostrożne lub nieprzewidziane otwarcie pomieszczenia, w którym zachodzą tego typu zjawiska - może spowodować, że wypchnięty płomień ogarnie ratowników, a fala ciśnieniowa spowoduje ich odrzucenie do tyłu !!!

Faza III (TFP) – Cechą charakterystyczną trzeciej fazy pożaru jest stabilizacja parametrów pożaru. Parametry wykazują słabszą zależność od czasu. Ich zmiana jest bardzo powolna lub nie obserwuje się w ogóle żadnej zmiany. Z tego też względu tę fazę pożaru nazywa się często quasistacjonarną (prawie stałą) lub porozgorzeniową. Podczas normalnie przebiegającego pożaru, w zasadzie wszystkie materiały palne znajdujące się w pomieszczeniu, w którym rozgorzało ognisko pożaru są już spalone lub ulegają wypaleniu, a także w zależności od odporności ogniowej elementów budowlanych, zniszczona jest także w mniejszym lub większym stopniu jego konstrukcja. Spalanie w tej fazie przybiera postać żarzenia, a temperaturę w pożarze charakteryzuje dość gwałtowny spadek. Faza ta trwa około 30 minut.

Faza IV (CFP) – Przejście od trzeciej do czwartej fazy pożaru charakteryzuje się tym, że wartości parametrów pożaru ulegają stopniowemu zmniejszeniu. Istnienie tej fazy związane jest z ilością nagromadzonego materiału palnego, a także ze zdolnością zwęglania się powierzchni. Jeżeli warstwa, która ulega zwęglaniu osiągnęła grubość 10 mm, to stanowi ona przeszkodę dla przenikania ciepła w głąb materiału, a także hamuje wyjście produktów rozkładu z wnętrza ciała palnego. Warstwa ta ogranicza również dopływ tlenu do materiału palnego. W rezultacie pojawienia się wyżej opisanych czynników strefa spalania zmniejsza swoje rozmiary. Maleją strumienie cieplne, maleje masowa szybkość spalania i w konsekwencji maleje temperatura pożaru. W czwartej fazie ilość napływającego powietrza zaczyna być bliska ilości gazów wychodzących. W przypadku gwałtownego przerwania procesu spalania ilość napływającego powietrza zaczyna przewyższać ilość wypływających gazów. Uwaga ta jest o tyle ważna, że w takim przypadku można doprowadzić do zwiększenia stężenia tlenu co może być przyczyną ponownego wzrostu dynamiki pożaru. W fazie tej temperatura jak i moc pożaru, a także wymiana gazowa ulegają stopniowemu zmniejszeniu, rośnie natomiast gęstość optyczna dymu.

Jest sprawą oczywistą, że nie każdy pożar przebiega według przedstawionego schematu, i tak np. w pomieszczeniach o małym obciążeniu ogniowym, zwykle rzadko dochodzi do całkowitego rozgorzenia. Ogień przerzuca się kolejno na różne materiały palne i te momenty charakteryzują się kilkakrotnym wzrostem i spadkiem temperatury w pomieszczeniu. Tam natomiast, gdzie jest duże obciążenie ogniowe, najwyższa temperatura pożary występuje tylko jeden raz, po całkowitym rozgorzeniu. Jeszcze innym zjawiskiem w mechanizmie rozwoju pożaru, na który trzeba zwrócić uwagę jest ten ważny szczegół, że w miarę jak pożar obejmuje coraz więcej materiałów palnych, płomienie stają się wyższe, sięgają sufitu (stropu) i tam odchylają się poziomo na boki. Wzrasta wówczas gwałtownie natężenie promieniowania cieplnego, którego źródłem są płomienie i powierzchnia nagrzanego sufitu.

Promieniowanie skierowane jest w dół i dodatkowo nagrzewa znajdujące się niżej powierzchnie materiałów palnych, co może przyspieszyć ich spalanie.

Podczas niemal każdego pożaru wewnętrznego, pomieszczenie objęte pożarem można podzielić na poszczególne strefy, o mniej więcej określonym położeniu, które będą miały znaczny wpływ na zjawiska przebiegające podczas pożaru, oraz na stopień zagrożenia ludzi przebywających w pomieszczeniu, jak i ratowników.

Integralny i strefowy model pożaru wewnętrznego

Integralny opis pożaru

Scharakteryzowanie pożaru oznacza podanie wartości parametrów tego pożaru dla danej chwili czasu nas interesującego.
Przy integralnym opisie pożaru wartości parametrów pożaru charakteryzują nam uśrednione po całej objętości lokalne wartości tych parametrów. Inaczej mówiąc, jeżeli używamy pojęcia temperatura pożaru to w tym, wypadku mamy na myśli uśrednioną po objętości temperaturę gazów w typ pomieszczeniu. To samo dotyczy, takich parametrów jak: stężenie tlenu, stężenie produktów rozkładu i spalania, gęstości zadymienia.

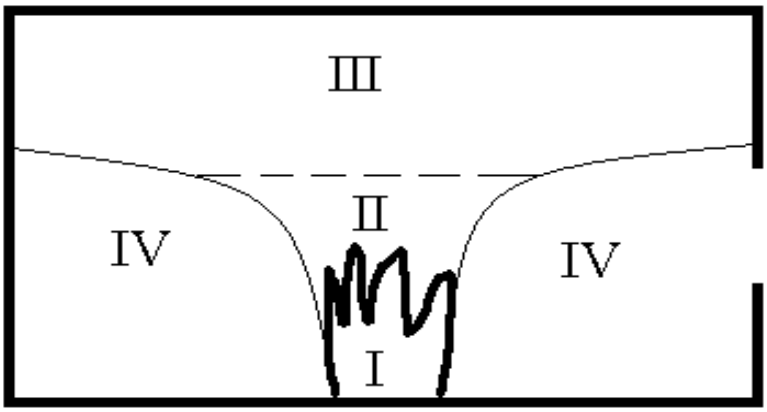
Rys.3. *Schemat integralnego opisu pożaru.*

Integralny opis pożaru jest klasycznym opisem pożaru i podział na strefy w ramach tego opisu jest następujący: Wyróżnia się strefę spalania, (na rysunku oznaczona I), strefę oddziaływania cieplnego (na rysunku oznaczoną II), oraz

strefę zadymienia III, która w pomieszczeniu dla tego opisu, pokrywa się ze strefą oddziaływania cieplnego.

Strefowy (warstwowy) opis pożaru.

Rozdział na warstwy wewnątrz pomieszczenia wynika stąd, że ciepłe powietrze unosi się do góry tworząc strefę podsufitową lub inaczej mówiąc strefę zadymienia. Strefa ta charakteryzuje się tym, że, jej temperatura jest wyższa niż powietrza przy podłodze, jej zadymienie i stężenia produktów rozkładu i spalania są tam największe. Mówiąc temperatura strefy podsufitowej lub stężenia toksycznych produktów rozkładu i spalania mamy na myśli uśrednioną temperaturę i średnie stężenia, z tym tylko, że uśrednienie ma miejsce po objętości danej strefy. Nie uśredniamy po objętości całego pomieszczenia, ale po objętości danej strefy.



Rys.4. *Schemat strefowego opisu pożaru.*

W modelu strefowym przyjmuje się, że całą przestrzeń objętego pożarem pomieszczenia można podzielić na strefy. Są to:

- strefa I lub inaczej mówiąc strefa spalania,
- strefa II - strefa konwekcyjna lub kolumna konwekcyjna,
- strefa III - strefa podsufitowa; strefa zadymienia,
- strefa IV - strefa oddziaływania promieniowania cieplnego.

1. **Strefa spalania** – przestrzeń, w której przebiega proces spalania. W przestrzeni tej, materiały palne przygotowują się do spalania przechodząc kolejne fazy rozkładu termicznego. Ze strefy tej, wydziela się ciepło i posiada ono w całym pożarze najwyższą temperaturę. W strefie spalania można wskazać na ognisko pożaru, czyli przestrzeń, w której spalanie jest

najintensywniejsze. Ognisko pożaru nie jest elementem stałym i statycznym, bowiem przemieszcza się w miarę rozprzestrzeniania się pożaru. W praktyce nader często zdarza się, że w jednym pożarze występuje kilka ognisk.

2. **Strefa konwekcyjna** – przestrzeń, w której gazowe produkty spalania unoszone są ku górze, nazywana jest też kolumną konwekcyjną ognia, która tworzy się ponad powierzchnią spalania w środowisku pożarowym i składa się z :

- par np. cieczy,
- produktów rozkładu termicznego (H_2, C_2H_2, C_2H_4, HCl, HCN, itd.),
- produktów częściowego utleniania (CO, NO, itd.),
- produktów całkowitego spalania (CO_2, H_2O),
- tlących się i żarzących cząsteczek ciał stałych (np. sadza, pary metali)

3. **Strefa zadymienia** – przestrzeń zapełniona dymem, w stopniu zagrażającym zdrowiu osób mogących w niej przebywać. Wielkość i położenie strefy zadymienia w warunkach pożarów wewnętrznych, zależy głównie od dopływu powietrza do strefy spalania (czy jest to spalanie całkowite, czy niecałkowite), oraz od wielkości i położenia otworów. Wzrastająca gęstość zadymienia powoduje większe zagrożenia toksyczne i pogorszenie widoczności.

Strefy zadymienia można określić następująco:

- **strefa zadymienia silnego** – przestrzeń, w której dym uniemożliwia obserwowanie ognia,
- **strefa zadymienia średniego** – przestrzeń, w której możliwe jest jedynie obserwowanie odblasku ognia,
- **strefa zadymienia słabego** – przestrzeń, w której jest możliwe obserwowanie zarysów płomieni.

Strefa oddziaływania promieniowania cieplnego – przestrzeń, w której wydzielane ciepło prowadzi do zmian stanu skupienia materiałów i wytrzymałości konstrukcji obiektu. Zasięg tej strefy określa się wartością temperatur oraz wartością strumienia cieplnego, determinującego czas w jakim człowiek, może w niej przebywać nie odczuwając bólu. Człowiek bez specjalnego zabezpieczenia przed ciepłem może przebywać zaledwie kilka minut w temperaturze : 80 – 100 ^oC w suchym powietrzu, 50 – 60 ^oC w wilgotnym powietrzu. Wyższa temperatura lub dłuższe przebywanie w strefie szkodliwego oddziaływania cieplnego prowadzą do oparzeń, udarów cieplnych, utraty świadomości, a nawet do wypadków śmiertelnych. Znajdujące się w tej strefie materiały palne stwarzają warunki do rozprzestrzeniania się pożaru. Podczas pożarów wewnętrznych około 8 % wydzielającego się w czasie spalania ciepła pochłaniają konstrukcje budowlane, co prowadzi do ich

przegrzania, deformacji i zawalenia wskutek utraty wytrzymałości mechanicznej.

Tabela 1. *Skutki wysokiego promieniowania cieplnego.*

Strumień cieplny kW/m^2	**Skutki dla sprzętu**	**Skutki dla ludności**
35	Uszkodzenie urządzeń instalacji procesowych; elementy zapalą się w ciągu 1 min.	Znaczne prawdopodobieństwo ofiar śmiertelnych dla grup narażonych natychmiastowo; duże prawdopodobieństwo ofiar śmiertelnych w sytuacji długotrwałej ekspozycji. 100% zgonów w ciągu 1 min. 1 % zgonów w ciągu 10 sek.
23	spontaniczne zapalenie się drewna po długim okresie ekspozycji; stal niezabezpieczona osiągnie temperaturę naprężenia termicznego mogącego spowodować uszkodzenia; należy dokonać upustów awaryjnych ze zbiorników ciśnieniowych dla zapobieżenia ich uszkodzeniu;	możliwość ofiar śmiertelnych w sytuacji ekspozycji natychmiastowych; 100% zgonów w ciągu 1 min. Znaczne urazy w ciągu 10 sek.
12.6	minimalna energia dla zapłonu drewna topienie się rur z tworzywa sztucznego cienka stal, izolowana po stronie oddalonej od źródła ciepła może osiągnąć poziom naprężeń termicznych dostatecznie wysoki, aby spowodować uszkodzenie strukturalne.	Możliwość ofiar śmiertelnych w sytuacji długotrwałej ekspozycji; Duże prawdopodobieństwo uszkodzeń ciała. 1% zgonów w ciągu 1 min. 1-szy stopień poparzenia
4.7		powoduje ból, jeżeli czas ekspozycji jest dłuższy niż 20 sek. Możliwość uszkodzenia ciała w sytuacji ekspozycji przekraczającej 30 sek.;
2.1		wartość minimalna do wywołania bólu po 1 min
1.2		nie stwarza dyskomfortu w sytuacji długich ekspozycji

Tabela 2. *Intensywność promieniowania dla różnych pożarów gazów.*

Średnie intensywności promieniowania dla różnych typów pożarów gazów i cieczy		
	l, KW/m^2	Temp. płomienia, °C
Pożary powierzchniowe LNG (gaz naturalny) LPG Benzyna/nafta Metanol	 200 100 75 150	 1300 1300 1000 1250
Pożary strumieniowe LPG/benzyna/nafta LNG/metanol	 350 200	 1300 1300
BLEVE Wszystkie ciecze palne	 250	 1200

LITERATURA: