

## PROCES SPALANIA

### PODSTAWOWE DEFINICJE DOTYCZĄCE PROCESÓW SPALANIA

Elementy niezbędne dla rozpoczęcia procesu spalania – wybuchu najczęściej przedstawiane są graficznie w formie trójkąta:

- paliwo
- utleniacz
- źródło zaplonu lub zapalenia (bodziec energetyczny)



*Zapobieganie pożarom i wybuchom w praktyce związane jest z uniemożliwieniem jednoczesnego zaistnienia tych trzech czynników*

## TERMINOLOGIA

### dotyczące zjawiska spalania wg PN-ISO 8421-1

#### **Spalanie**

Egzotermiczna reakcja substancji palnej z utleniaczem, której zwykle towarzyszą płomień, żarzenie i/lub wydzielanie dymu.

#### **Proces spalania**

Wszystkie zmiany fizyczne i/lub chemiczne mające miejsce, gdy materiał, wyrób i/lub konstrukcja palą się lub są poddawane działaniu ognia.

#### **Palić się**

Ulegać spalaniu.

#### **Podpalenie**

Pożar zapoczątkowany umyślnie.

#### **Pożar i/lub ogień**

- 1) Proces spalania charakteryzujący się emisją ciepłą, któremu towarzyszy dym i/lub płomień.
- 2) Spalanie o niekontrolowanym przebiegu w czasie i przestrzeni.



## Podział pożarów

Znormalizowany system klasyfikacji pożarów w zależności od rodzaju paliwa (ISO 3491):

Grupa A:

Pożary materiałów stałych, zwykle organicznych, w których ma miejsce spalanie z tworzeniem żaru.

Grupa B:

Pożary cieczy i topliwych ciał stałych.

Grupa C:

Pożary gazów.

Grupa D:

Pożary metali.

Grupa F:

Tłuszczów i olejów w urządzeniach kuchennych.

(nowa grupa pożarów nie z tej normy Dz.U.Nr80, 563 z 2006 r.)

## Samozapłon, samozapalenie

Zapłon wywołany samonagrzewaniem.

## Temperatura samozapłonu, temp. samozapalenia

Minimalna temperatura, w której materiał zapali się samoistnie w określonych warunkach badania.

## Palny płomieniem

Zdolny do spalania płomieniem.

## Płomień

Strefa spalania w fazie gazowej, z której emitowane jest światło.

## Spalanie bezpłomieniowe

Spalanie materiału w fazie stałej bez płomienia.

## Czas spalania płomieniowego

Okres trwania płomienia.

## Żarzenie

Spalanie materiału w fazie stałej bez płomienia, lecz z emisją światła ze strefy spalania.

## Tlenie

Powolne spalanie materiału bez emisji światła widzialnego, charakteryzujące się wydzielaniem dymu i wzrostem temperatury.

## Jarzenie

Żarzenie wytworzone bez spalania lub innych chemicznych reakcji, np. żarzenie wytworzone przez elektrycznie grzane włókno wolframowe.

## Utleniacz

Pierwiastek lub związek chemiczny, który może spowodować utlenianie lub spalanie innych substancji.



## Zobojętnianie

Likwidowanie lub zmniejszanie zdolności atmosfery do podtrzymywania spalania.

## Zapłon/zapalenie

Zapoczątkowanie spalania.

## Temperatura zapłonu cieczy

Minimalna temperatura, przy której w określonych warunkach z cieczy wydziela się faza gazowa w sposób wystarczający do wytworzenia zapłonu z zastosowaniem źródła zapłonu.

## Temperatura zapłonu/zapalenia

Minimalna temperatura materiału, przy której może być zapoczątkowane ustalone spalanie w określonych warunkach badania.

## Piroliza

Nieodwracalny chemiczny rozkład materiału bez utleniania spowodowany wzrostem temperatury.

## Produkty spalania

Wszystkie gazy, cząsteczki stałe i aerozole wydzielane ze strefy spalania.

## Dym

Widzialna w atmosferze zawiesina cząsteczek stałych i cieczy powstałych w wyniku spalania lub pirolizy.

## Sadza

Bardzo drobne cząsteczki, głównie węgla, wytworzone i osadzone podczas niecałkowitego spalania materiałów organicznych.

## Reakcja na ogień

zachowanie materiału narażonego na działanie ognia w określonych warunkach badania.

## Efekt kominowy

Ciąg w górę gorących gazów i dymu spowodowany prądami konwekcyjnymi wewnątrz pionowo wydzielonej przestrzeni.

## Wybuch

Gwałtowna reakcja utleniania lub rozkładu wywołująca wzrost temperatury i/lub ciśnienia.

## Deflagracja

Wybuch rozprzestrzeniający się z prędkością poddźwiękową.

## Detonacja

Wybuch rozprzestrzeniający się z prędkością naddźwiękową, której towarzyszy fala uderzeniowa.



**Aby proces spalania mógł zaistnieć, niezbędne jest istnienie substancji palnej, utleniacza i źródła zapalenia (bodźca termicznego).**

**Substancja palna** - każdy rodzaj materii, o określonym składzie chemicznym i stanie skupienia, zdolnej do spalania się.

**Utleniacz** - w układzie palnym, jest to zazwyczaj tlen występujący masowo w powietrzu (21%), , bądź też w innych związkach.

**Bodziec termiczny** - każdy impuls cieplny, mający określoną temperaturę i zapas ciepła (energii), dostateczną do nagrzania układu palnego w stopniu wystarczającym do zainicjowania procesu spalania.

## Typy zapoczątkowania reakcji spalania płomieniowego

**Zapalenie** polega na równomiernym ogrzewaniu materiału do takiej temperatury, w której zapala się on samorzutnie w całej swej masie bez udziału tak zwanego punktowego bodźca energetycznego.

**Temperatura zapalenia** jest to najniższa temperatura materiału, który ogrzewany strumieniem ciepła dostarczonym z zewnątrz w wyniku rozkładu termicznego wydziela palną fazę lotną o stężeniu umożliwiającym jego zapalenie się to znaczy samorzutne pojawienie się płomienia.

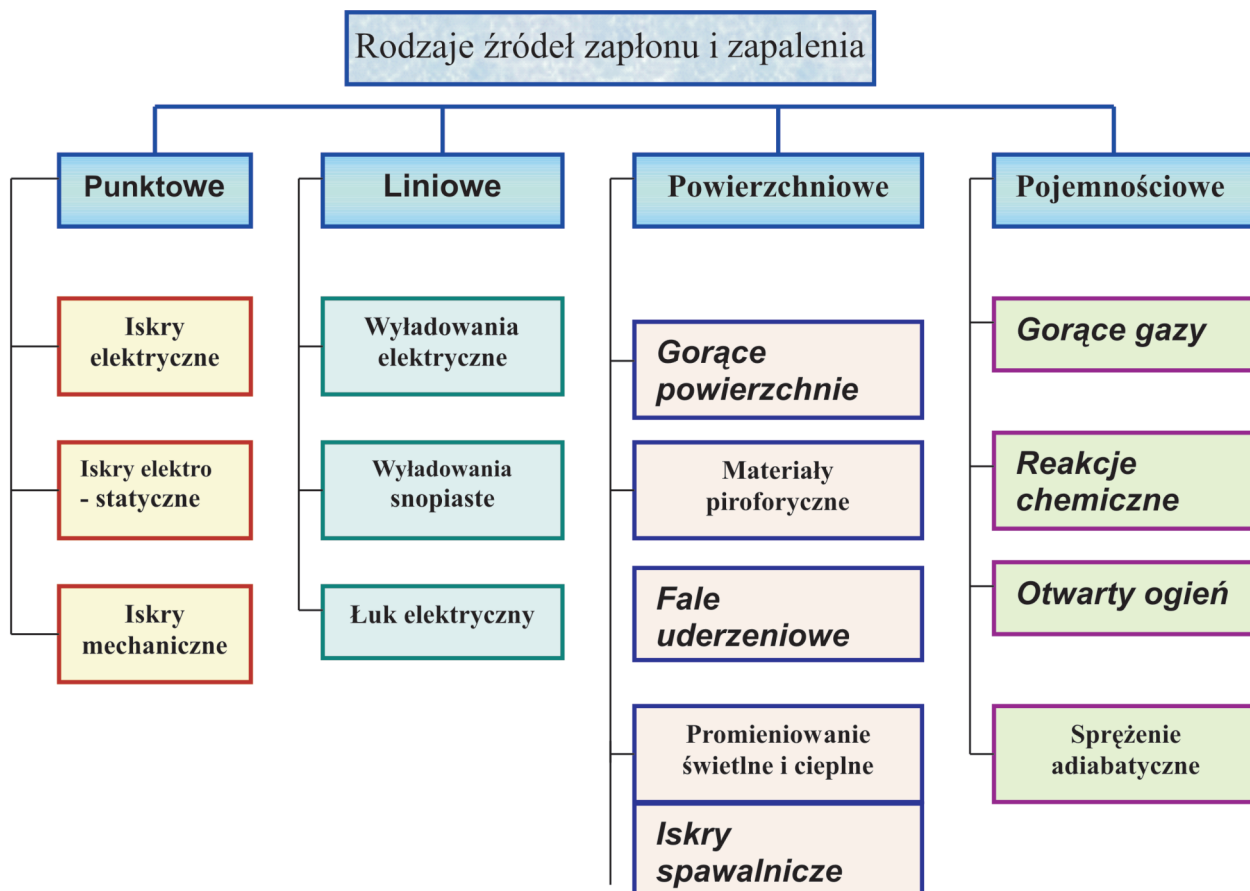
### **Wymienione definicje dotyczą ciał stałych i gazów.**

W środowiskach inżynierskich, wielkości te określa się wymiennie jako temperaturę samozapłonu i zapłnienia.

**Zapłon** polega na zapaleniu mieszaniny palnej punktowym bodźcem energetycznym, tylko w bardzo ograniczonej przestrzeni, wokół której powstaje czoło płomienia, przemieszczając się następnie już samorzutnie na całą pozostałą część mieszaniny.

**Temperatura zapłonu** jest to najniższa temperatura cieczy ogrzewanej w ściśle określony sposób, której pary tworzą z powietrzem mieszaninę zapalającą się przy zbliżeniu płomienia.

### **Wymienione definicje dotyczą cieczy palnych.**



## Jak dochodzi do zapalenia materiału?

Początkowe nagrzewanie większości materiałów (np.: papier, drewno, tkaniny naturalne i syntetyczne, gumę, benzynę, alkoholą), może być spowodowane różnymi czynnikami: iskrą elektrostatyczną, tarcieniem, przegrzaniem obwodów elektrycznych, złą pracą urządzeń grzewczych, iskrami pochodzącymi z procesów spawania lub cięcia, wyładowaniami atmosferycznymi, lub powszechnie używanymi: zapalkami, papierosami, palnikami.

W niektórych przypadkach możliwe jest samozapalenie materiału spowodowane jego samonagrzewaniem.



## Typy spalania

### **Spalanie bezpłomieniowe**

Jest to utlenianie powierzchniowe stałych produktów rozkładu termicznego materiałów palnych pochodzenia organicznego tzn. węgla lub materiałów silnie porowatych. Zasadnicza różnica między spalaniem płomieniowym a bezpłomieniowym polega na tym, że tlenie przebiega na ogół w niższych temperaturach, z mniejszą szybkością, z przewagą ilościową produktów częściowego utleniania węgla tzn. tlenku węgla.

W czasie tlenia niebezpieczeństwo pożarowe materiału nie wynika z obecności samego materiału tłącego, lecz z miejsca jego występowania. Przykładowo: tłący się papieros nie przedstawia sam dużego zagrożenia pożarowego, lecz w układzie np. papieros tłący się - palne wyposażenie mieszkania np. tapicerka, jako źródło o przedłużonym działaniu ciepła, może być niebezpieczny pożarowo.

### **Spalanie płomieniowe**

jest procesem spalania fazy lotnej. Dlatego też ma miejsce podczas spalania gazów, cieczy i materiałów stałych, które podczas ogrzewania przechodzą w stan lotny.

Materiały, które mogą spalać się zarówno płomieniowo jak i bezpłomieniowo wykazują bardzo duże różnice w szybkości spalania. Dużo szybciej następuje spalanie płomieniowe.

### **Płomień**

jest to widzialna objętość gazowa, w której przebiegają procesy rozkładu termicznego, utleniania i spalania. Płomień powstaje w części przestrzeni, w której zachodzi chemiczna reakcja spalania.

Rozróżnia się dwa typy płomienia:

- a) płomień dyfuzyjny jest to płomień powstały w wyniku zapalenia tej części objętości, w której następuje mieszanie się paliwa z powietrzem (utleniaczem); szybkość spalania w płomieniu dyfuzyjnym jest stosunkowo mała.

### **Spalaniem dyfuzyjnym**

nazywamy reakcję spalania, której szybkość zależy od dyfuzji powietrza do paliwa. W ten sposób spalają się ciała stałe i cieczy parujące ze swobodnej powierzchni oraz czyste gazy wypływające z przewodu. Jest to klasyczny pożar.

- b) płomień kinetyczny jest to płomień powstały w warunkach, gdy substancja palna była już wstępnie przed zapaleniem zmieszana z powietrzem, oznacza to że szybkość spalania określana jest przede wszystkim szybkością przebiegu reakcji spalania i jest ona znacznie większa od szybkości spalania dyfuzyjnego.

### **Spalaniem kinetycznym**

nazywamy reakcję spalania mieszaniny palnej (paliwo z powietrzem zmieszane). W objętości wypełnionej mieszaniną palną następuje wybuch chemiczny.

**Spalanie całkowite (pełne)** następuje przy dostatecznym dopływie tlenu do strefy spalania, produktami całkowitego spalania nazywa się produkty powstałe podczas spalania, nie mające zdolności do dalszego utleniania w warunkach w których były otrzymane, np. dwutlenek węgla, pięciotlenek fosforu itp.

**Spalanie niecałkowite (niepełne)** następuje przy ograniczonym dostępie tlenu do strefy spalania, produktami niecałkowitego spalania jest np. tlenek węgla, trójtlenek fosforu itp., są to związki zdecydowanie bardziej trujące



## Własności wybuchowe palnych gazów par i pyłów

**Wybuch** jest to najczęściej bardzo szybka reakcja spalania, podczas której wydziela się ciepło oraz wykonywana jest praca mechaniczna poprzez rozprężające działanie gazów spalinowych powstałych w wyniku wybuchu. Efektem tej pracy jest poza ciepłem wzrost ciśnienia. Wybuchy dzielą się na fizyczne (bez spalania) i chemiczne.

**Wybuch fizyczny** to taki, podczas którego składniki układu (materiał palny - utleniacz) nie ulegają reakcjom chemicznym, np. wybuch butli ze skroplonym gazem spowodowany promieniowaniem cieplnym. Po wybuchu substancja, w wyniku której wybuch nastąpił, jest tą samą substancją. Podczas wybuchu fizycznego butli ze skroplonym gazem gaz pozostaje takim samym gazem jak przed wybuchem.

**Wybuch chemiczny** to bardzo szybko przebiegająca reakcja spalania, której towarzyszy powstanie dużej ilości gazowych produktów spalania lub wydzielanie się bardzo dużej ilości ciepła. Wybuchy pyłów to przykład wybuchów typu chemicznego.

Niebezpieczeństwo wybuchu pyłów w mieszaninie z powietrzem charakteryzuje się przez podanie dolnej granicy wybuchowości pyłu.

*Dolna granica wybuchowości* określa najmniejszą ilość pyłu w mieszaninie z powietrzem, przy której zapłon jest już możliwy. Dolną granicę wybuchowości mieszanin pyłowo-powietrznych *oznacza* się w g/m<sup>3</sup>, rzadko w % obj.

W warunkach przemysłowych górnej granicy wybuchowości pyłów nie uwzględnia się, gdyż jest ona praktycznie trudno osiągalna. Stężenie pyłu odpowiadające górnej granicy wybuchowości jest tak duże, że widoczność w pomieszczeniu, w którym występuje mieszanina pyłowo-powietrzna spada do zera.

**Spalanie deflagacyjne** związane jest z wymianą ciepła i masy w obszarze spalania. Znajdująca się przed frontem płomienia świeża mieszanina jest ogrzewana ciepłem wywiązującym się w strefie spalania. Wymiana ciepła następuje w wyniku przewodnictwa cieplnego, promieniowania i konwekcji. Jednocześnie do świeżej mieszaniny dyfundują wolne rodniki, a do strefy spalania cząsteczki świeżej mieszaniny palnej. Przy spalaniu deflagacyjnym płomień może mieć charakter laminarny lub turbulentny.

Spalanie deflagacyjne przebiega z prędkościami mieszczącymi się w zakresie od kilku cm/s do prędkości dźwięku. Spalanie detonacyjne przenosi się ze stałą prędkością naddźwiękową mieszczącą się w granicach 1400 = 3000 m/s. Detonacja w mieszaninach węglowodorów z powietrzem przemieszcza się z prędkością 1600 m/s.

Wybuchy heterogeniczne charakteryzują się rozdzielaniem strefy reakcji od strefy nie reagującej poprzez front reakcji (płomień), który przemieszcza się przez mieszaninę palną z określoną prędkością. Jeśli prędkość ta jest mniejsza niż prędkość dźwięku, to wybuch ten jest nazywany deflagacją, a mechanizm propagacji oparty jest o wymianę ciepła.

Typowe prędkości przemieszczania się płomienia zmieniają się w szerokich granicach od 10 do 100 m/s i proces jest stosunkowo wolny. Ponieważ mechanizm propagacji płomienia jest identyczny do tego jaki występuje w pożarze, stąd deflagacja zwana jest również "wybuchowym spalaniem". Przemieszczający się front reakcji i wydzielające się ciepło powodują powstawanie przed frontem fali ciśnienia, która przemieszcza się z prędkością poddźwiękową. Wzrost ciśnienia jest stosunkowo niewielki i może dochodzić do 7 = 10 barów (dla zamkniętych przestrzeni) natomiast temperatura płomienia dochodzi do 2000, a nawet 3000 K (spalanie metali). Fale ciśnienia wykorzystywane są jako sygnały aktywujące urządzenia przeciwybuchowe do dławienia inicjacji wybuchu.



Szybkość propagacji płomienia przez gazową mieszaninę palną jest uwarunkowana głównie jej reaktywnością i warunkami początkowymi (ciśnienia i temperatury). Wpływ tych czynników jest opisany przy omawianiu granic wybuchowości. Jeśli w obszarze zagrożonym znajduje się zwiększona ilość tlenu (np. nieszczelności butli tlenowych w szpitalach, przy procesach technologicznych, itp.) należy liczyć się ze wzrostem zagrożenia, ze względu na wzrost szybkości propagacji spalania. Innym, istotnym czynnikiem dla szybkości propagacji spalania w mieszaninach gazowych jest turbulencja, której obecność w gazach nie spalonych powoduje wzrost szybkości propagacji płomienia. Ze wzrostem powierzchni pożaru pojawia się turbulencja wywołana własnym, nie wymuszonym transportem masy (średnica pożaru > 0.3 m). Turbulencja wzmacnia gwałtowność pożaru i wybuchu i odgrywa znaczącą rolę w szybkości jego rozwoju. Geometria układu może być czynnikiem znacznie zwiększającym szybkość propagacji spalania. W przestrzeniach zamkniętych lub ograniczonych z dużą ilością przegród i otworów (np. elementów urządzeń i instalacji, drzwi itp.) propagujący proces spalania będzie wywoływał własną turbulencję przyspieszającą spalanie. Gwałtowny wzrost ciśnienia przy zapłonie mieszaniny palnej od strony zamkniętego końca rurociągu lub tunelu może w pewnych warunkach spowodować gwałtowny wzrost szybkości propagacji płomienia i wywołać detonację, tzn. proces, w którym fala uderzeniowa i płomień poruszają się z tą samą szybkością, większą od szybkości dźwięku. Wzrost długości tunelu (w praktyce istotny jest stosunek długości do średnicy) oraz istnienie przegród i przewężeń sprzyjają przejściu ze spalania deflagacyjnego do detonacji.

## Detonacja

**Detonacja** może powstać w mieszaninach palnych gazów i par z powietrzem lub z tlenem o stężeniu mieszczącym się w przedziałach węższych niż granice wybuchowości.

W czasie wybuchu detonacyjnego, strefa reakcji przemieszcza się z prędkością od 1000 3000 m/s, a dla cieczy, czy ciał stałych nawet może osiągnąć 8000 m/s. Mechanizm polega na gwałtownym adiabatycznym sprężaniu występującym w fali uderzeniowej, co powoduje ogrzanie reagentów powyżej ich temperatury zapłonu powodując dalsze spalanie. Uwolnione ciepło służy do dalszej propagacji procesu wybuchu (sprężanie uderzeniowe). W detonacji zachodzącej w bardzo krótkim czasie nie występuje zjawisko wyprzedzania strefy reakcji przez falę ciśnienia, stąd nie ma możliwości użycia tej fali jako sygnału ostrzegającego o nadchodzącym zagrożeniu.

Przed nadejściem frontu fali uderzeniowej ciśnienie jest na poziomie ciśnienia atmosferycznego. Z chwilą nadejścia frontu ciśnienie gwałtownie rośnie, aż do wartości maksymalnej, zwanej szczytowym dodatnim nadciśnieniem. Następnie ciśnienie opada do wartości ciśnienia atmosferycznego w okresie czasu zwanym okresem fazy dodatniej. Okres dalszego spadku ciśnienia i ewentualnego jego powrotu do ciśnienia atmosferycznego nazywamy okresem fazy ujemnej. Ważnymi parametrami całego procesu są: wartość maksymalna nadciśnienia i pole pod funkcją opisującą zależności ciśnienia od czasu w okresie fazy dodatniej (rysunek poniżej).

## Skutki wybuchu

Innymi parametrami charakteryzującymi materiały palne i wybuchowe są:

- szybkość rozprzestrzeniania płomienia po powierzchni,
- masowa szybkość spalania,
- maksymalna szybkość wzrostu ciśnienia wybuchu,
- maksymalny przyrost ciśnienia.





Trzy pierwsze parametry charakteryzują dynamikę rozwoju pożaru i/lub wybuchu. Ostatni parametr charakteryzuje możliwe skutki działania fali ciśnieniowej dla konstrukcji i urządzeń otaczających.

W praktyce parametry spalania nie zależą wyłącznie od reakcji chemicznej, lecz są wynikiem wielu złożonych procesów towarzyszących spalaniu związanych z transportem ciepła i masy.

Wybuchy charakteryzują się falą uderzeniową, która może być słyszana jako huk i może powodować niszczenie budynków, pękanie szyb okiennych jak również miotać różnymi przedmiotami na odległości dochodzące od kilku metrów do kilku kilometrów. Obrażenia i zniszczenia powoduje przede wszystkim fala uderzeniowa. Chociaż skutki nadciśnienia mogą być przyczyną śmierci, to jednak najbardziej prawdopodobne okazuje się to jedynie w przypadku osób pracujących w bezpośrednim sąsiedztwie wybuchu.

## **Zagrożenie wybuchowe**

Wybuchy charakteryzują się falą uderzeniową, która może być słyszana jako huk i może powodować niszczenie budynków, pękanie szyb okiennych jak również miotać różnymi przedmiotami na odległości dochodzące od kilku metrów do kilku kilometrów. Obrażenia i zniszczenia powoduje przede wszystkim fala uderzeniowa. Chociaż skutkinadciśnienia mogą być przyczyną śmierci, to jednak najbardziej prawdopodobne okazuje się to jedynie w przypadku osób pracujących w bezpośrednim sąsiedztwie wybuchu.

Historia wybuchów przemysłowych wskazuje, że skutki pośrednie w postaci zawaleń budynków, pękającego szkła i gruzu są przyczyną dużo większej liczby poważnych obrażeń ciała i utraty życia.

Skutki fali uderzeniowej różnią się w zależności od charakterystyki materiału, jego ilości i stopnia ograniczenia (zamknięcia) chmury oparów. Szczytowe ciśnienie podczas eksplozji może wahać się od lekkiego nadciśnienia do kilkuset kilopaskali (kPa). Bezpośrednie obrażenia u ludzi występują przy nadciśnieniu 5-10 kPa, utrata życia generalnie przy wyższym nadciśnieniu, podczas gdy domy mieszkalne są demolowane, a okna i drzwi wyłamywane przy nadciśnieniach tak niskich jak 3-10 kPa. Ciśnienie fali uderzeniowej spada gwałtownie wraz ze wzrostem odległości od źródła wybuchu. Przykładowo wybuch zbiornika zawierającego 50 ton propanu powoduje powstanie ciśnienia 14 kPa w odległości 250 m. /as w odległości 500m 5 kPa.

Objętość gazów powstających w trakcie wybuchu przewyższa od siedmiuset do dziewięciuset razy objętość materiału wybuchowego w stanie wyjściowym. Gazy te nagrzewają się do temperatury 2-4 tys. K, co jeszcze bardziej zwiększa ich ciśnienie. Starający się rozszerzyć we wszystkie strony gaz stanowi podstawową siłę uderzeniową wybuchu, zdolną zniszczyć znajdujące się w zasięgu jego działania przeszkody o dużej wytrzymałości. Wytwarza on w różnych ośrodkach fale uderzeniowe, poruszające się z prędkościami większymi od prędkości dźwięku w tych ośrodkach. Dla przykładu, powietrzna fala uderzeniowa jest wynikiem działania silnie ściśniętych i nagranych gazowych produktów wybuchu, które szybko rozszerzając się, rozpychają otaczające powietrze. Powoduje to ściskanie powietrza do bardzo dużych ciśnień wraz z jednoczesnym przemieszczaniem ściśniętego obszaru we wszystkie strony od centrum wybuchu. Wartość ciśnienia w gazowych produktach wybuchu w miarę ich rozszerzania się maleje. W pewnym momencie od gazów wybuchowych odrywa się fala uderzeniowa i dalej porusza się samodzielnie, aż do wytłumienia jej energii.

## **Wybuch gazów i pyłów**

Rozróżnienie pomiędzy wybuchem gazu lub pyłu odbywa się na podstawie fizycznego określenia eksplodującego materiału. Katastroficzne wybuchy gazu na ogół zdarzają się, gdy znaczne ilości materiału palnego zostają uwolnione i rozproszone w powietrzu, formując wybuchowe chmury oparów, zanim nastąpi ich zapalenie się. Wybuchy pyłu mają miejsce wtedy, gdy palne materiały są intensywnie mieszane z powietrzem. Rozproszony materiał stały występuje w postaci proszku



# SZKOLENIE INSPEKTORÓW OCHRONY PRZECIWPÓŻAROWEJ

Przedmiot: PODSTAWOWE POJĘCIA DOTYCZĄCE SPALANIA I POŻARÓW

Wykładowca: mł. bryg. Jan Kotłdej

o bardzo małej wielkości cząsteczek. Wybuch następuje po wydarzeniach inicjujących, np. pożar lub niewielka eksplozja, które powodują, że proszek osiadły na powierzchni zostaje rozproszony w powietrzu. W wyniku mieszaniny z powietrzem zachodzi wtórna eksplozja, która w rezultacie powodować może kolejne eksplozje, jedna po drugiej.

## Dolna i górna granica wybuchowości

Aby mieszanina gazu lub pary z powietrzem mogła się spalać, stężenie składnika palnego w mieszaninie musi znajdować się w wybuchowym zakresie stężeń, tzn. pomiędzy górną a dolną granicą wybuchowości (zapalności).

Poniżej dolnej granicy wybuchowości mamy do czynienia ze znacznym nadmiarem powietrza, co oznacza, że uzyskane temperatury spalin są zbyt niskie dla ogrzania następnych warstw mieszaniny powyżej temperatury zapalenia w dostatecznie krótkim czasie.

Powyżej górnej granicy wybuchowości składnik palny jest w tak dużym nadmiarze, co oznacza, że w tym przypadku efekt cieplny reakcji i temperatura spalin jest zbyt mała dla podtrzymania procesu spalania.

**Dolna granica wybuchowości (DGW)** jest to najmniejsza ilość materiału palnego w mieszaninie z powietrzem, przy której może już nastąpić zapłon.

**Górna granica wybuchowości (GGW)** jest to najwyższa ilość substancji palnej w mieszaninie z powietrzem, przy której może jeszcze nastąpić zapłon.

Granice wybuchowości mieszanin z powietrzem oznacza się w procentach objętościowych (% obj.) lub rzadziej, w gramach na metr sześcienny ( $\text{g/m}^3$ ). Wartości granic wybuchowości są wielkościami zmiennymi i zależą między innymi od ciśnienia, temperatury, składu, ilości gazu obojętnego w mieszaninie oraz stężenia tlenu.

## ZWIĄZKI TWORZĄCE MIESZANINY WYBUCHOWE

Oprócz materiałów wybuchowych istnieje wiele substancji, które same nie wybuchają, ale tworzą mieszaniny wybuchowe. Mechanizm wybuchowości tych mieszanin określony jest stanem skupienia (fazą) składnika palnego w mieszaninie.

### **Mieszaniny gazowe**

Wybuchowość mieszanin gazowych zależy od chemicznej struktury gazu zmieszanego z powietrzem. Im większa reaktywność gazu tym większe niebezpieczeństwo wybuchu. Reaktywność gazu (substancji) ma miejsce w określonych stężeniach (granice wybuchowości). Przykłady wysoce reaktywnych gazów:  $\text{C}_2\text{H}_2$  (ciepło tworzenia + 220 kJ/mol), nitrometan (ciepło tworzenia + 240 kJ/mol).

### **Ciecze, których pary są łatwo zapalne i wybuchowe**

Z wyjątkiem niektórych substancji niestabilnych ciecze same nie wybuchają. Ażeby ciecz spalała się lub wybuchowała, musi przejść w stan lotny i dopiero pary łączą się w powietrzu w mieszaninę, która może dać zjawisko wybuchu. Reaktywność cieczy uzależniona jest od jej lotności, tzn. od zdolności powstania pary, a ryzyko wybuchu jest wyrażone przez wielkość zwaną temperaturą zapłonu. Najniższe temperatury mają ciecze o dużej prężności par w warunkach normalnych. W temperaturze zapłonu stężenie par cieczy jest równe stężeniu odpowiadającemu dolnej granicy wybuchowości tej cieczy.



## Ciała stałe

Wybuchają tylko ciała stałe (z wyjątkiem substancji niestabilnych) w postaci rozdrobnionej, czyli w postaci pyłów rozproszonych w powietrzu. O ile wybuchowość mieszanin homogenicznych jest łatwa w ocenie, ponieważ może być opisana ściśle określonymi wielkościami, o tyle wybuchowość chmur pyłowych, zawieszonych w powietrzu jest trudna do scharakteryzowania z następujących powodów:

- 1) zmiennych właściwości pyłów w stanie dyspersji, zróżnicowanych składów chemicznych, różnic w zawartości wilgoci,
- 2) ich niestabilności w przestrzeni, co powoduje zmienność stężenia pyłu w określonej objętości i określonym czasie,
- 3) złożoności wybuchu pyłu (mieszanin heterogenicznych) w porównaniu z wybuchami mieszanin gazowych (homogenicznych). Wybuch pyłu jako proces heterogeniczny zachodzi na granicy faz.



## KLASYFIKACJA OGNIOWA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

Z ogniowego punktu widzenia materiały budowlane klasyfikowane są z uwagi na:

- **niepalność,**
- **stopień palności,**
- **właściwości dymotwórcze,**
- **właściwości toksyczne produktów rozkładu i spalania.**

### KLASYFIKACJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH Z UWAGI NA NIEPALNOŚĆ

Z uwagi na niepalność materiały budowlane dzielą się na:

- **niepalne,**
- **palne.**

**Materiał niepalny** jest to materiał, który podczas badań w określonych warunkach nie ulega procesowi spalania zdefiniowanemu przez określone kryteria:

Materiał budowlany, poddany w piecu działaniu temperatury zbliżonej do 750°C, należy uznać za **niepalny**, jeżeli:

- średnie przyrostów temperatury pieca i powierzchni próbki nie przekroczy 50°C,
- średni czas trwania utrzymującego się płomieniowego spalania próbek nie przekroczy 20 sekund,
- średni ubytek masy próbek po badaniu nie przekroczy 50%.

**Materiał palny** jest to materiał, który podczas badań w określonych warunkach ulega procesowi spalania zdefiniowanemu przez określone kryteria.

Materiał budowlany, poddany w piecu działaniu temperatury zbliżonej do 750°C, należy uznać za **palny**, jeżeli spełni przynajmniej jeden z poniższych warunków:

- średnie przyrostów temperatury pieca i powierzchni próbki przekroczy 50°C,
- średni czas trwania utrzymującego się płomieniowego spalania próbek przekroczy 20 sekund,
- średni ubytek masy próbek po badaniu przekroczy 50%.

### KLASYFIKACJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH Z UWAGI NA STOPIEŃ PALNOŚCI

**Stopień palności** jest to właściwość pożarowa palnego materiału budowlanego określana na podstawie **wskaźnika zapalności** i **wskaźnika spalania**.

Rozróżnia się trzy stopnie palności:

- I stopień palności (materiał niezapalny),
- II stopień palności (materiał trudno zapalny),
- III stopień palności (materiał łatwo zapalny).



Przedmiot: PODSTAWOWE POJĘCIA DOTYCZĄCE SPALANIA I POŻARÓW  
Wykładowca: mł. bryg. Jan Kołdej

## KLASYFIKACJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH Z UWAGI NA WŁAŚCIWOŚCI DYMOTWÓRCZE

Klasa dymotwórczości jest to określenie przyporządkowujące materiał do odpowiedniej grupy ze względu na dymotwórczość w określonych warunkach badania i według umownego podziału. Podstawę klasyfikacji materiałów w tej metodzie stanowią:

- maksymalna wartość współczynnika osłabienia kontrastu  $Y_m$  [ $m^2/kg$ ],
- maksymalna szybkość zmian współczynnika osłabienia kontrastu [ $m^2/kg \cdot s$ ].

Wg Normy ustanawia się cztery klasy dymotwórczości:

- 1) materiały *o małej intensywności dymienia*  $Y_m \leq 800$ ;  $7$ ,
- 2) materiały *o średniej intensywności dymienia*  $800 < Y_m \leq 1400$ ;  $7 < 20$ ,
- 3) materiały *intensywnie dymiące*  $Y_m > 1400$ ;  $> 20$ ,
- 4) materiały *łzawiące* których produkty rozkładu termicznego i spalania pozostałe w niewielkich ilościach w przewentylowanej komorze (50 wymian powietrza) powodują podrażnienie oczu.

## KLASYFIKACJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH Z UWAGI NA WŁAŚCIWOŚCI TOKSYCZNE PRODUKTÓW ROZKŁADU I SPALANIA

Materiały klasyfikuje się w zależności od wielkości wskaźnika toksymetrycznego jako:

- materiały *bardzo toksyczne*  $W_{LC50SM} \leq 15$ ,
- materiały *toksyczne*  $15 < W_{LC50SM} \leq 40$ ,
- materiały *umiarkowanie toksyczne*  $40 < W_{LC50SM}$ .

### Euroklasy

**KLASY GŁÓWNE A1, A2, B, C, D, E, F.**

Charakteryzują wyrób pod względem:

- ilości i szybkości wydzielania energii podczas spalania się wyrobu
- czasem do zapalenia wyrobu przy kontakcie z płonącym przedmiotem
- szybkości i zasięgu rozprzestrzeniania płomieni



## Produkty spalania.

Produkty spalania są to substancje otrzymane w wyniku procesu spalania materiałów palnych. Ze względu na stan skupienia dzielą się na gazowe, ciekłe i stałe.

W warunkach pożarowych produkty spalania o różnych stanach skupienia współistnieją ze sobą w obszarze spalania i przemieszczania się ciepła, czyli w tzw. kolumnie konwekcyjnej ognia.

Wydzielanie się produktów spalania podczas pożaru stanowi niebezpieczeństwo ze względu na:

- ograniczenie widoczności,
- utrudnianie oddychania spowodowane ich działaniem toksycznym oraz występującym niedoborem 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 wynikające z samego działania ognia.

Produkty spalania dzielą się na produkty całkowitego spalania i produkty niecałkowitego spalania.

Produktami całkowitego spalania nazywa się produkty powstałe podczas spalania, nie mające zdolności do dalszego utleniania w warunkach, w których były otrzymane, np.: dwutlenek węgla, woda, dwutlenek siarki, pięciotlenek fosforu itd.

Produktami niecałkowitego spalania nazywa się produkty powstałe podczas spalania przebiegającego przy ograniczonym dopływie powietrza np.: tlenek węgla, trójtlenek fosforu itd;

## Dym

Dym definiuje się jako gazowe produkty spalania materiałów organicznych, w których rozproszone są małe cząsteczki gazowe i ciekłe.

Zgodnie z normą PN-89/B-02856 „Metoda badania własności dymotwórczych materiałów”. Dymem określa się „fazę produktów rozkładu termicznego i spalania materiału rozpraszającą światło, składającą się z cząsteczek, które stanowią mogą kropelki cieczy, fragmenty ciała stałego lub fragmenty ciała stałego oblepione cieczą lub smolistą substancją.

Sposób tworzenia się dymu jest następujący: Cząstki dymu powstają w wyniku niecałkowitego spalania. Powstaje on zarówno podczas spalania płomieniowego jak i bezpłomieniowego (tlenia) chociaż sposób tworzenia się dymu w obu typach spalania i rodzaj tworzących się cząstek jest bardzo różny. Dym tworzący się podczas spalania bezpłomieniowego jest podobny do dymu tworzącego się podczas spalania węglowodorów, które w warunkach spalania są ogrzewane do temperatur, przy których następuje ich termiczny rozkład oraz tworzenie się związków lotnych. Ogrzane wysoko cząsteczkowe frakcje lotne węglowodorów, szczególnie wielopierścieniowe, mieszają się z zimnym powietrzem i wytrącają się w postaci kropelek smoły i cieczy o wysokich temperaturach wrzenia. Rozproszone w przestrzeni cząsteczki o średnicy średniej około 1 mikrona w warunkach statycznych (tzn. bez przepływu powietrza) tworzą chmurę zawiesiny, która osiadając daje pozostałość olejową.

Dym tworzący się w warunkach spalania płomieniowego składa się przede wszystkim ze stałych cząstek węgla (sadzy). Część cząstek sadzy powstaje przez oblepianie ciekłych produktów spalania w warunkach oddziaływania wysokoenergetycznego strumienia ciepła płomieni. Większość jednak cząstek sadzy tworząca się w fazie gazowej powstaje jako wynik niecałkowitego spalania, wysokiej temperatury pirolizy i niskich stężeń tlenu.

Ilość tworzącego się dymu jest zależna od wielu czynników. Najważniejszym jest chemiczna budowa paliwa. Np. małe ilości tlenu węgla, formaldehydu, kwasu mrówkowego, alkoholu metylowego spalając się dają płomień nieświecący, bez cząstek dymu. Inne paliwa w identycznych warunkach dają gęstość dymu zależną od ich budowy. W przypadku paliw będących węglowodorami, które



w warunkach pożarowych produkują największą ilość gęstego czarnego dymu, gęstość tworzącego się dymu wzrasta wraz ze wzrostem ciężaru cząsteczkowego. Proste, łańcuchowe węglowodory alifatyczne dają znacznie mniej dymu niż węglowodory aromatyczne, wielopierścieniowe.

Intensywność dymienia materiału zależy również od szybkości rozkładu termicznego i szybkości zapalenia, składu chemicznego podstawowego składnika oraz rodzaju dodatków: plastyfikatorów, wypełniaczy, środków ognioodporniających.

Materiały, które mają w cząsteczce tlen dają podczas spalania mniejsze ilości dymu np. drewno (stężenie tlenu w drewnie równa się 40-50%) daje znacznie mniej dymu niż węglowodory. Właściwości dymotwórcze materiału charakteryzowane są w różny sposób m.in. przy pomocy tzw. właściwej i masowej gęstości optycznej dymu oraz przy pomocy tzw. zdolności dymotwórczej materiału.

## Lotne produkty spalania

Wydzielanie się produktów spalania podczas pożaru stanowi niebezpieczeństwo ze względu na:

- ograniczenie widoczności,
- utrudnieniu oddychania spowodowane ich działaniem toksycznym oraz występowaniem niedoboru tlenu,
- działanie termiczne - wysoka temperatura mogąca uszkodzić układ oddechowy

Za podstawowe związki toksyczne występujące w pożarze uznane są:

- Tlenek węgla CO
- Dwutlenek węgla CO<sub>2</sub>
- Cyjanowodór HCN
- Chlorowodór HCl
- Dwutlenek siarki SO<sub>2</sub>
- Akroleina C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O
- Tlenki azotu NO i NO<sub>2</sub>



## Wymiana ciepła w środowisku pożarowym

Zrozumienie zasad przenoszenia ciepła i przepływu płynów jest niezbędne dla zrozumienia zjawisk występujących przy pożarze. Są trzy podstawowe mechanizmy transportu ciepła: przewodzenie, konwekcja, promieniowanie.

W warunkach pożarowych przenoszenie ciepła przypuszczalnie zachodzi przy pomocy wszystkich trzech typów, jednak jeden typ transportu ciepła jest dominujący w danej fazie rozwoju pożaru lub w danej lokalizacji spalania.

I tak **przewodzenie ciepła** określa szybkość przepływu ciepła w ciałach stałych. Jest to ważny problem, 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, czyli czasu, po upływie którego w temperaturze pożaru, element budowlany traci wytrzymałość, ponieważ przy określaniu odporności ogniowej wymagana jest znajomość szybkości przepływu ciepła przez otaczające pomieszczenie przegrody itd.

**Konwekcyjne** unoszenie ciepła polega na wymianie ciepła pomiędzy gazem lub cieczą a ciałem stałym powoduje ruch np. ruch ogrzanego powietrza przepływającego nad powierzchnią ogrzanego materiału. Konwekcyjne przenoszenie ciepła ma miejsce we wszystkich fazach rozwoju pożaru, ale szczególnie istotne jest w tej fazie pożaru gdzie strumień ciepła promieniowania jest bardzo mały. O ile przewodnictwo i konwekcyjne przenoszenie ciepła jest to wymiana ciepła w materiałach o różnych stanach skupienia lub pomiędzy różnymi ośrodkami gazowymi, o tyle transport ciepła na drodze promieniowania nie wymaga ośrodka gazowego pomiędzy źródłem ciepła a obiektem, który otrzymuje ciepło, ponieważ w przenoszeniu ciepła na drodze promieniowania biorą udział fale elektromagnetyczne, które jako światło widzialne mogą być absorbowane, przenoszone lub odbijane przy powierzchni i mogą być częściowo zatrzymywane przez obiekt np. ekran.

**Promieniowanie** jest dominującym, zasadniczym sposobem przenoszenia ciepła w pożarach. Właśnie wskutek oddziaływania na materiały strumieni ciepła promieniowania, ulegają one ogrzewaniu 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 się budynków. Podstawowa ilość ciepła wydzielonego w płomieniach jest przenoszona do otoczenia drogą promieniowania. Większość tego promieniowania jest emitowana przez cząsteczki sadzy, które tworzą się w płomieniach dyfuzyjnych, powodując jego świecenie. Efekt termicznego promieniowania płomienia do otoczenia lub z nagranych obiektów na sąsiadujące z nim powierzchnie, może być zbadany na drodze obliczeń analitycznych. Takie właśnie analizy przeprowadza się, aby wyjaśnić jak szybko materiał palny, eksponowany na promieniowanie cieplne osiąga stan, w którym może się on zapalić i spalać stacjonarnie tzn. ze stałą szybkością spalania.



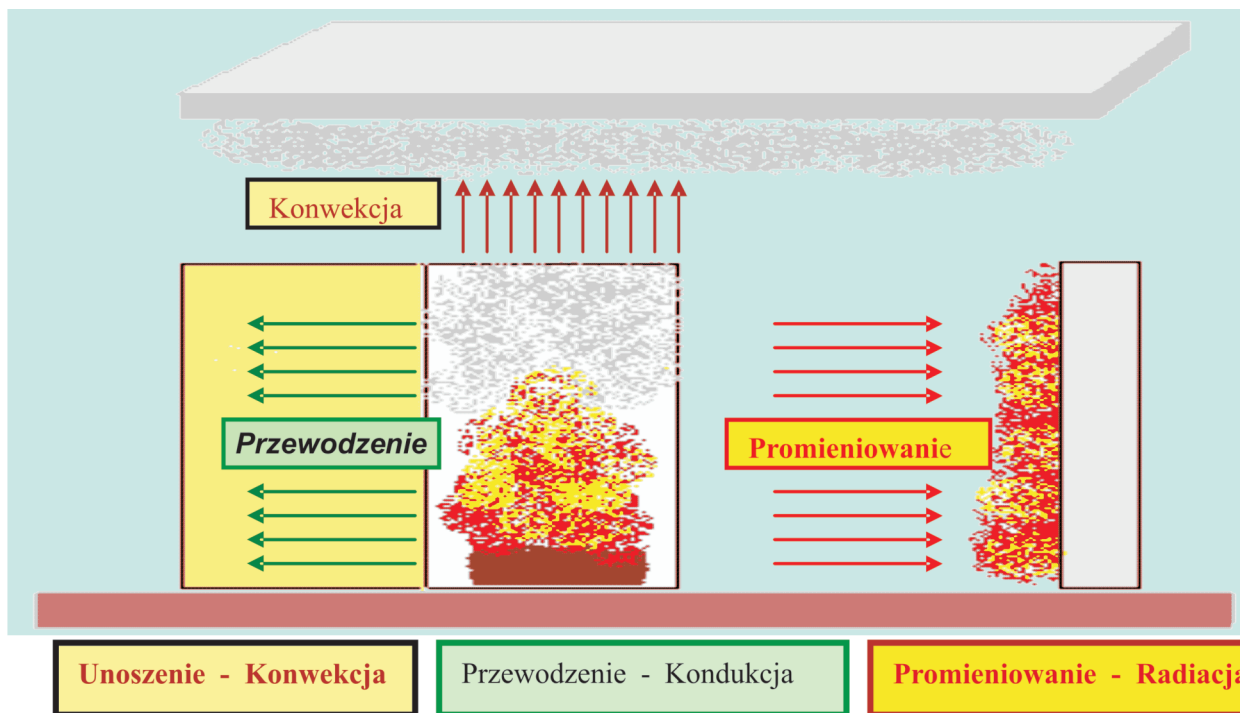


# SZKOLENIE INSPEKTORÓW OCHRONY PRZECIWPÓŻAROWEJ

Przedmiot: PODSTAWOWE POJĘCIA DOTYCZĄCE SPALANIA I POŻARÓW

Wykładowca: mł. bryg. Jan Kołdej

## Sposoby wymiany ciepła w środowisku pożarowym





## Rozwój pożaru. Rodzaje pożarów

### 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 wyzwała strach w nas wszystkich.

**Spalanie** według PN-ISO 8421-1 jest to egzotermiczna reakcja substancji palnej z utleniaczem, której zwykle towarzyszą płomień (żarzenie i/lub dym).

**Pożar** - to niekontrolowany w czasie i przestrzeni proces spalania, charakteryzujący się emisją ciepła, któremu towarzyszy dym i/lub płomień. Pożar stwarza zagrożenie dla człowieka i środowiska oraz powoduje 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. Pożar jest sumą niekontrolowanych reakcji spalania i na jego rozwój oddziałuje układ palny i otoczenie. Pożary substancji palnych ciekłych lub stałych są procesami dyfuzyjnymi zachodzącymi na powierzchni palnego materiału w strefie gazowo-parowej bezpośrednio przylegającej do tej powierzchni. Jeżeli stężenie substancji palnej w mieszaninie z powietrzem jest zawarte między dolną a górną granicą palności to mieszanina ta jest zdolna do rozprzestrzeniania płomienia.

Przy ocenie szybkości z jaką może rozprzestrzeniać się pożar w określonej przestrzeni, pod uwagę należy brać następujące elementy:

- rodzaj i ilość palących się materiałów,
- wartość opałowu tych materiałów,
- ich stan skupienia,
- warunki dopływu powietrza.

Zazwyczaj w zależności od rodzaju materiału palnego rozróżnia się następujące szybkości spalania:

- masową (wagową) - dla ciał stałych,
- liniową - dla cieczy,
- objętościową - dla gazów.

**Masowa szybkość spalania z jednostki powierzchni materiału** oznacza szybkość, z jaką określona masa materiału palnego przypadająca na jednostkę powierzchni materiału spala się w danej jednostce czasu [ $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$ ] lub [ $\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$ ].

**Liniowa szybkość spalania** określa, o ile [mm] obniży się poziom lustra cieczy w zbiorniku w określonym czasie [mm/min].

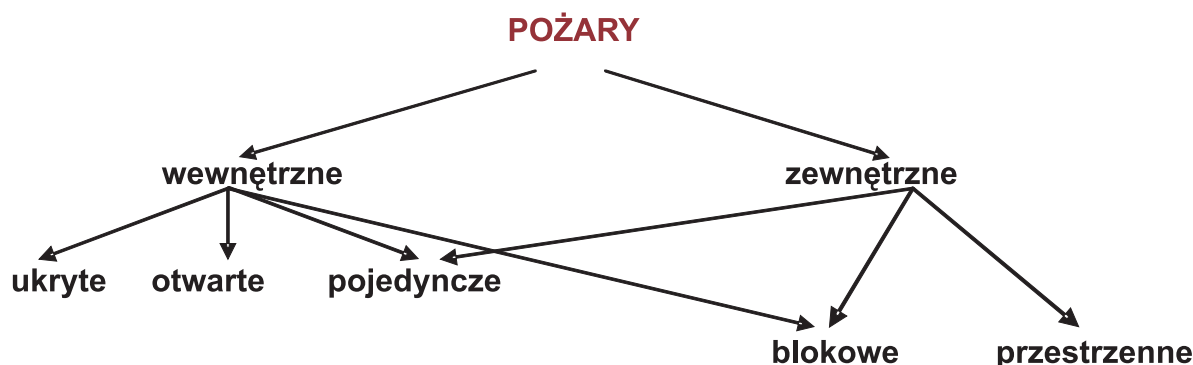
**Objętościowa szybkość spalania** określa, jaka objętość gazu spala się w danej szybkość jednostce czasu [ $\text{m}^3/\text{min}$ ].

Jednym z podstawowych parametrów pożaru jest jego **temperatura**, szybkość wydzielania ciepła, szybkość rozprzestrzeniania się pożaru, czas trwania itp. Znajomość tych parametrów pozwala na prognozowanie przebiegu pożaru i oszacowanie niezbędnych sił i środków do jego gaszenia.



## Rodzaje (podział) pożarów

Pożary według lokalizacji miejsca jego przebiegu dzieli się na:



**Pożary wewnętrzne** są to pożary, które przebiegają w wewnętrznych, zamkniętych 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 kilku 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.



## Podział pożarów w zależności od rodzaju palącego się materiału :

Grupa pożaru	Rodzaj palącego się materiału i sposób jego spalania
A	Pożary ciał stałych pochodzenia organicznego, przy spalaniu których występuje zjawisko tlenia, np. : drewno, papier, węgiel, tworzywa sztuczne termoutwardzalne, tkaniny, słoma, itp.
B	Pożary cieczy palnych i substancji stałych topiących się wskutek ciepła wytwarzającego się przy pożarze, np. : benzyna, alkohole, aceton, eter, oleje, lakiery, tłuszcze, parafina, stearyna, pak, naftalen, smoła, tworzywa sztuczne termoplastyczne, itp.
C	Pożary gazów, np. : metan, acetylen, propan, wodór, gaz miejski
D	Pożary, metali np. : magnez, aluminium, sód, uran
F	Tłuszczów i olejów w urządzeniach kuchennych.

## Rozwój pożaru w pomieszczeniu

Rozprzestrzenianie się płomieni po powierzchni materiałów stałych jest możliwe we wszystkich kierunkach. Należy uwzględnić, że rozprzestrzenianie się płomienia w górę jest do kilkudziesięciu razy szybsze niż po powierzchniach poziomych (konwekcja gorących gazów, rozkład termiczny). Dlatego pożar najszybciej rozprzestrzenia się pionowo. W pomieszczeniach objętych pożarem w zależności od jego wyposażenia w materiały palne, w stosunkowo krótkim czasie od zainicjowania pożaru temperatura pod sufitem może osiągnąć wartości rzędu 500 - 800 °C. Wzrost płomieni w obszarze podsufitowym może odgrywać znaczącą rolę w procesie rozwoju pożaru w przestrzeni zamkniętej pomieszczenia. Jeśli sufit ograniczy wysokość płomienia, to nastąpi pełzanie płomieni wzdłuż powierzchni sufitu. Intensywne promieniowanie wyzwala znaczną ilość palnych par i gazów z materiału palnego, i w następnej fazie może nastąpić tzw. rozgorzenie, tj. gwałtowny zapłon palnych produktów gazowo-parowych w całej przestrzeni pomieszczenia objętego pożarem. Rozgorzenie jest momentem krytycznym w całym rozwoju pożaru.

Podczas pożarów ciał stałych najczęściej występuje duża emisja dymu (czyli rozproszonych w gorących gazach spalinowych rozkładu termicznego cząstek stałych lub ciekłych), 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 (w postaci pyłu) zwiększa szybkość wydzielania części lotnych i stwarza zwiększone zagrożenie na wypadek pożaru i wybuchu.

Jednym z podstawowych parametrów 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, jego składu chemicznego, gęstości itp.,
- temperatury początkowej materiału,

Przedmiot: PODSTAWOWE POJĘCIA DOTYCZĄCE SPALANIA I POŻARÓW  
Wykładowca: mł. bryg. Jan Kołdej

- intensywności wymiany gazowej,
- stanu rozdrobnienia materiału,
- geometrycznego usytuowania materiału.

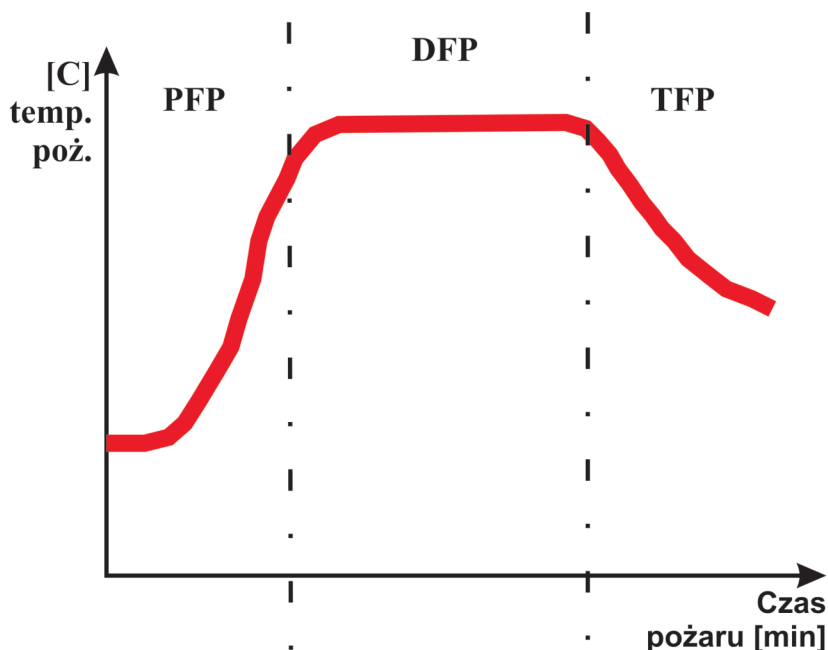
## Fazy rozwoju pożaru w pomieszczeniach budynków

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 w pomieszczeniu ma pewne swoiste właściwości (prawidłowości) rozwoju. Chociaż z doświadczenia wynika, że każdy pożar w pomieszczeniu budynku 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 trzy zasadnicze fazy rozwoju pożaru w pomieszczeniu wskazując, że jego przebieg może być opisywany zmianą średniej temperatury pożaru (czyli temperatury gazów spalinowych) w funkcji czasu:

**PFP** - pierwsza faza pożaru,

**DFP** - druga faza pożaru,

**TFP** - trzecia faza pożaru,



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

**Faza I (PFP)** Pożar rozpoczyna się w momencie zapalenia materiału.

Z różnych przyczyn, np. niedopałek papierosa, jeden z materiałów palnych wchodzi w kontakt z bodźcem energetycznym i zapala się. Płomień powoli rozprzestrzenia się po powierzchni materiału palnego. Wokół niego od razu powstają prądy konwekcyjne, dzięki którym dopływa nowa porcja powietrza i proces spalania jest podtrzymywany. Powierzchnia materiału palnego w sąsiedztwie ogniska pożaru ulega silnemu nagrzaniu. Zwiększa się intensywność wydzielania produktów rozkładu termicznego i spalania.

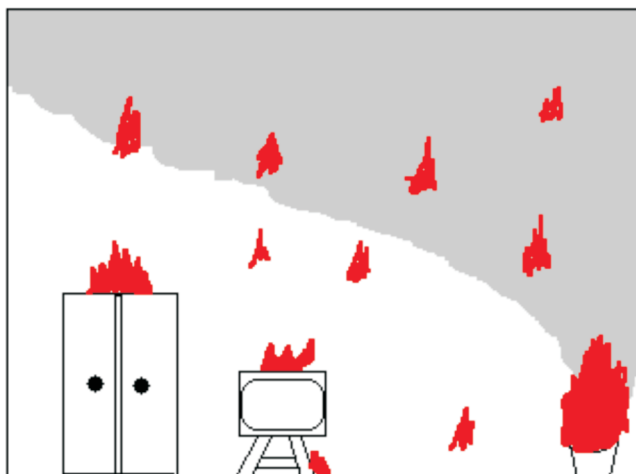
## Zjawisko rozgorzenia i występujące zagrożenia

Przejście z I fazy rozwoju pożaru do pożaru w pełni rozwiniętego (faza II) definiowane jest jako rozgorzenie (z angielskiego flashover). Rozgorzenie jest momentem zwrotnym dla każdego pożaru, wrokowo uchwytym, stwarzającym szczególne zagrożenie dla ludzi.

Rozgorzenie wg ENISO13943:2000 przejście pożaru do stanu, w którym całkowita powierzchnia palnych materiałów wewnątrz przestrzeni jest objęta ogniem.

Rozgorzenie to również szybkie rozprzestrzenianie się płomienia z obszaru miejscowego spalania do spalania w całej objętości, wszystkich materiałów w pomieszczeniu.

Rozgorzenie ma miejsce, gdy maksymalne temperatury pod sufitem (stropem) osiągają wartość ok. 500-700°C, a przy podłodze 300-400°C (ok. 20 kW/m<sup>2</sup>). Zapaleniu ulegają wówczas wydzielone w pierwszej fazie mieszaniny gazowe, a także wszystkie lub niemal wszystkie płaszczyzny, palne nagrzane przez promieniowanie cieplne. 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.



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 tlenu węgla i dwutlenku węgla oraz innych produktów spalania i rozkładu,
- pożar ze spalania powierzchniowego staje się spalaniem powierzchniowo-objętościowym.

**Faza II (DFP)** Cechą charakterystyczną drugiej fazy pożaru jest osiągnięcie przez pożar temperatury maksymalnej (800-1000 °C) i pożar przechodzi w stan quasistacjonarny. Parametry pożaru w małym stopniu zależą od czasu. Ich zmiana jest bardzo powolna lub nie obserwuje się w ogóle żadnej zmiany. W tej fazie pożar kontrolowany jest przez wentylację. W wyniku wyczerpania się paliwa lub braku powietrza maleje szybkość spalania i obniża się temperatura pożaru. Jeżeli temperatura pożaru w pomieszczeniu obniży swoją wartość co najmniej o jedną piątą jej maksymalnej wartości pożar przechodzi do fazy trzeciej.



**Faza III (TFP)** Przejście od drugiej do trzeciej fazy pożaru charakteryzuje się tym, że wartości parametrów pożaru ulegają stopniowemu zmniejszeniu. Strefa spalania zmniejsza swoje rozmiary. Maleją strumienie ciepłe, 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.

### **Strefy w pożarze wewnętrznym**

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.

- 1. Strefa spalania** przestrzeń, w której przebiega proces spalania. W przestrzeni tej materiały palne przekształcają się w paliwo gazowe przechodząc kolejne etapy rozkładu termicznego. Ze strefy tej wydziela się strumień ciepła i posiada on największą intensywność w całym pożarze. Pole temperaturowe tej strefy jest największe. 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 pożaru.
- 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,
  - gazowych produktów rozkładu termicznego ( $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $HCl$ ,  $HCN$ , itd.),
  - produktów częściowego utleniania ( $CO$ ,  $NO$ , itd.),
  - produktów całkowitego spalania ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ),
  - stałych produktów rozkładu termicznego i spalania (np. sadzy) .
- 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.
- 4. 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 :  $80 - 100\text{ }^\circ\text{C}$  w suchym powietrzu,  $50 - 60\text{ }^\circ\text{C}$  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.



## Przyczyny powstawania pożarów

Zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem proces wstępnego ustalania przyczyn i okoliczności powstania i rozprzestrzenienia się pożaru rozpoczyna kierujący akcją ratowniczo-gaśniczą ustalając przypuszczalną przyczynę zdarzenia.<sup>[1]</sup> Proces badania przyczyny pożaru jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym, wymagającym znajomości:

- podstawowych zasad rządzących rozprzestrzenianiem się pożaru,
- warunków wpływających na jego rozwój,
- oceny możliwości zainicjowania spalania w układzie: bodziec inicjujący materiał palny ujawniania i prawidłowej interpretacji śladów ujawnionych w pogorzelisku umiejętności ujawnienia ogniska pożaru,
- zdolności tworzenia i weryfikacji wersji o przyczynie powstania pożaru,

Z wymienionych powyżej czynników wpływających na prawidłowość określenia przyczyny pożaru wynika, że jest to proces skomplikowany, wymagający podstawowej wiedzy teoretycznej z różnych dziedzin nauki, takich jak:

- chemia i fizyka, a w szczególności fizykochemia spalania,
- materiałoznawstwo uwzględniające zachowanie się materiałów w warunkach pożaru i następującej w późniejszym okresie akcji gaśniczej,
- analizę zdolności do zapalenia materiałów palnych pod wpływem wystąpienia określonego bodźca,
- mechanizmów tworzenia śladów pożarowych,

Poniżej zamieszczono stosowany w badaniach kryminalistycznych schemat klasyfikacji przyczyn pożarów, następnie większość z tych przyczyn omówiono pod kątem możliwości zainicjowania procesu spalania od określonego bodźca energetycznego.

## **ZJAWISKA FIZYCZNE (Wyładowania atmosferyczne)**

Wyładowanie atmosferyczne jest silnym wyładowaniem elektrycznym naturalnego pochodzenia. Natężenie prądu elektrycznego przy uderzeniu pioruna może dochodzić do 250000 A. Skutki wyładowań atmosferycznych mogą wystąpić w postaci zniszczeń mechanicznych lub termicznych. Przepływ prądu przez materiał palny powoduje wytworzenie ciepła w ilości wystarczającej do jego zapalenia.

<sup>[1]</sup> Rozporządzenie MSW i AZ DNIA 29 grudnia 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad i organizacji KSRG.





## **Elektryczność statyczna**

Powstawanie ładunków elektrostatycznych związane jest najczęściej z wykonywaniem czynności o charakterze dynamicznym.

Z ogólnie znanych czynności wywołujących elektryzowanie materiału wymienić można:

- rozdrabnianie, przesiewanie, mielenie, pneumatyczny transport substancji stałych w stanie rozdrobnionym,
- przepływy, przelewanie, napełnianie i opróżnianie zbiorników cieczy nieprzewodzących, rozbryzgiwanie cieczy,
- lakierowanie przy użyciu sprężonego powietrza,
- walcowanie, powlekanie, przewijanie wyrobów z gumy, tworzyw sztucznych, papieru,
- tarcie odzieży z włókien syntetycznych o ciało, chodzenie w nieprzewodzących obuwia po posadzce wykonanej również z materiałów nieprzewodzących

## **Instalacje i urządzenia elektryczne**

W obiektach, w których znajdowały się czynne instalacje i odbiorniki energii elektrycznej, jako jedną ze wstępnych wersji przyczyny powstania pożaru zakłada się wadliwość działania urządzeń lub instalacji elektroenergetycznych. Przyjęcie takiego założenia jest słuszne, ponieważ w pracujących urządzeniach elektroenergetycznych może zaistnieć szereg szkodliwych zjawisk, będących wynikiem: ich niewłaściwego montażu, konserwacji lub nieprawidłowej eksploatacji. Wadliwie działające lub niewłaściwie użytkowane instalacje i urządzenia elektryczne są bardzo częstą przyczyną pożarów.

Ogólnie występujące w nich zjawiska niebezpieczne pożarowo podzielić można na:

- przeciążenia
- zwarcia
- łuki
- iskrzenie
- ciepło wydzielane przez odbiorniki energii elektrycznej

## **Przeciążenia**

Przeciążenie jest to przepływ prądu elektrycznego większego od prądu znamionowego, który powoduje wzrost temperatury elementów przewodzących. Stan taki może doprowadzić do uszkodzenia izolacji urządzeń elektroenergetycznych i stworzyć zagrożenie pożarowe.

Dla przewodów elektrycznych danego typu i o danym przekroju określana jest obciążalność prądowa długotrwała. Jest to skuteczna wartość prądu, który przepływając w czasie nieskończenie długim spowoduje podwyższenie się temperatury przewodu pozostającego w niezmienionych warunkach chłodzenia do wartości dopuszczalnej długotrwałej. Przekroczenie obciążalności długotrwałej prądowej powoduje wzrost temperatury i nagrzewanie się żył przewodów, co doprowadzić może do uszkodzeń termicznych izolacji lub bezpośrednio do jej zapalenia.

## **Zwarcia**

Zwarcie elektryczne jest to zakłóceniewe połączenie bezpośrednie przez łuk elektryczny lub przez przedmiot o bardzo małej oporności dwóch punktów obwodu elektrycznego należących do różnych faz albo połączenie jednego lub większej liczby takich punktów z ziemią.

Zwarcia mogą pojawiać się w sieciach i instalacjach elektrycznych, maszynach i innych urządzeniach elektrycznych. Większość zwarć powstaje na skutek uszkodzenia izolacji i ma charakter łukowy.



W sieciach elektroenergetycznych rozróżnia się zwarcia:

- trójfazowe, występujące w przypadku bezpośredniego połączenia ze sobą trzech różnych faz układu trójfazowego,
- dwufazowe, powstające w wyniku bezpośredniego połączenia dwóch różnych faz układu trójfazowego,
- jednofazowe, spowodowane bezpośrednim połączeniem jednej fazy z przewodem zerowym lub ziemią.

W maszynach elektrycznych powstają zwarcia:

- międzyzwojowe: na skutek uszkodzenia izolacji wewnątrz uzwojeń i metalicznego połączenia jednego lub kilku zwojów,
- międzyfazowe: w wyniku uszkodzenia izolacji pomiędzy cewkami i metalicznego połączenia uzwojeń różnych faz,
- do masy: spowodowane uszkodzeniem izolacji zwojów i cewki oraz metalicznym połączeniem uzwojeń z metalowym kadłubem maszyny.

## **Łuk elektryczny**

Łuk elektryczny jest groźniejszym efektem zwarcia. Powstaje on w miejscu zwarcia i objawia się działaniem termicznym i dynamicznym. Temperatura łuku elektrycznego waha się w granicach 3000-6000 °C. Łuk elektryczny powoduje rozprysk stopionego metalu, który zapalić może znajdujące się obok materiały palne.

Łuk elektryczny powstaje najczęściej w czasie przerywania pracy obciążonych prądem obwodów elektrycznych, np.:

- podczas otwierania i załączania łączników pod obciążeniem,
- w wyniku przetopienia elementu topikowego bezpiecznika,
- na skutek rozdzielenia żyły przewodu będącego pod obciążeniem,

W praktyce szczególnie niebezpieczny jest łuk elektryczny powstający na jednej fazie, np.: przy rozdzieleniu przewodu będącego pod dużym obciążeniem, w wyniku złego styku w sprzęcie elektrotechnicznym, na skutek złego stanu technicznego łączników.



## **Ciepło wydzielane przez odbiorniki energii elektrycznej**

Zagrożenie powodowane jest głównie przez urządzenia ogrzewcze. Należą do nich wszelkiego rodzaju płytki grzejne, ogrzewacze wewnętrzne, grzałki, piece i suszarki oporowe. Temperatura otwartej spirali grzejnej wynosi ok. 1000 °C i powoduje duże zagrożenie pożarowe.

W urządzeniach, w których spirala grzejna osłonięta jest płytką metalową lub osłoną ceramiczną temperatura powierzchni grzejnych nie przekracza na ogół 500 °C, a pieców oporowych 1250 °C.

Przyczynami pożarów powodowanych przez urządzenia grzejne są najczęściej: nieostrożność osób posługujących się grzejnikami, ustawianie ich w pobliżu materiałów palnych lub na podłożu palnym, wadliwe działanie na skutek zużycia lub niefachowo wykonywanych napraw.

## **Promieniowanie ciepłe**

Ciepło rozchodzące się przez promieniowanie może spowodować zapalenie się występujących zbyt blisko materiałów palnych.

Pod wpływem działania promieni słonecznych niektóre substancje ulegają rozkładowi się a produkty ich rozkładu następnie zapalają się lub wybuchają. Należą do nich między innymi: niskowartościowy celulozoid, fosfor biały, niektóre gazy i nieliczne materiały wybuchowe.

## **Żarzące i palące się ciała otwarty płomień**

Temperatury płomieni najczęściej spotykanych źródeł ognia otwartego na podstawie danych literaturowych szacowane są na:

- płonąca zapalka 600 800 °C
- płonące drewno 700 1000 °C
- palenisko z węglem kamiennym do 1700 °C
- płomień palnika gazowego 1500 1950 °C
- płomień palnika spirytusowego 1600 1700 °C
- płomień acetylenowy do 3500 °C

Porównanie z temperaturami płomieni temperatur zapłonu i samozapalenia powszechnie występujących palnych gazów par i cieczy temperatur zapalenia ciał stałych prowadzi do wniosku, że źródła otwartego płomienia zdolne są do zapalenia każdego materiału palnego w postaci cieczy, gazu oraz ciała stałego.

## **Żarzące się cząstki**

Są to niewielkie fragmenty palących się ciał stałych. Powstają najczęściej podczas palenia ognisk, a także w przewodach kominowych, rurach wydechowych pojazdów itp. Przenoszone są w powietrzu na odległość do kilkunastu metrów.

Temperatura tych iskier zawiera się w granicach 500 700 °C, jednak ich pojemność cieplna jest niewielka. Dlatego też nie są one w stanie zapalić materiałów palnych w formie zwartej (np. desek, belek drewnianych, większości tworzyw sztucznych itp.).

## **Niedopałki papierosów**

Uznawane są za przyczynę znacznej ilości pożarów. Temperatura żaru papierosowego w zależności od źródła literaturowego, z którego pochodzą dane określana jest na 500-700 °C. Zapaleniu od niedopałka papierosa ulegają materiały zdolne do rozprzestrzeniania pożaru



w formie spalania bezpłomieniowego (tlenie), takie jak: trociny, wióry, pyły, papier, słoma, siano, ściółka leśna, włókna i tkaniny. Żar papierosowy może być również źródłem zapłonu par cieczy i gazów.

Od niedopałków papierosa nie ulegają zapaleniu (z nielicznymi wyjątkami) materiały palne topiące się pod wpływem ogrzania w tym większość tworzyw i włókien sztucznych.

## **Iskry spawalnicze**

Są to krople stopionego metalu lub tlenków metali powstające podczas spawania gazowego i elektrycznego. Posiadają one zdolność do zapalenia wszelkich materiałów palnych. Początkowa temperatura kropli metalu lub powstających podczas spawania gazowego tlenków może przekraczać 2000 °C. Rozrzut cząstek dochodzi do 10 metrów. Przy czym po uderzeniu o podłoże lub przedmioty zasięg rozrzutu może być zwiększony. Średnica rozżarzonych cząstek jest bardzo zróżnicowana i zawiera się w zakresie od 10<sup>4</sup> mm do kilku milimetrów.

Szczególnie niebezpieczne w przypadku pożarów wywołanych na skutek spawania jest to, że nawet przez bardzo długi okres czasu (do kilkunastu godzin) mogą się one rozwijać w formie tlenia.

Przy czym generacja dymu jest na tyle niewielka, że mogą one być niezauważone aż do momentu zapalenia płomieniowego. Uwaga ta dotyczy rozwoju wszystkich pożarów, w których spalanie w początkowej fazie odbywa się w formie bezpłomieniowej.

## **Iskry mechaniczne**

Powstają podczas szlifowania, ostrzenia itp. operacji technologicznych. Zdolne są do zapalenia materiałów włóknistych w luźnej masie, pyłów osiadłych lub zapłonu mieszanin wybuchowych.

## **Tarcie**

Podczas przesuwania jednego przedmiotu po drugim powstają siły przeciwdziałające temu ruchowi tarcie. Zawsze towarzyszy mu nagrzewanie się ciał trących, powstające kosztem pracy niezbędnej do pokonania oporów tarcia. W urządzeniach mechanicznych wytworzenie dużej ilości ciepła występuje na skutek zwiększenia współczynnika tarcia, co spowodowane może zostać przez brak smaru na trących się powierzchniach, obecnością między tymi powierzchniami ciał obcych, takich jak: piasek, pył itp., wadliwy montaż elementów urządzenia. W konsekwencji trące powierzchnie mogą nagrzać się do temperatur rzędu 600–800 °C, a nawet temperatur płynięcia stopów. Ciepło powodowane przez tarcie może być również przyczyną zapłonów mieszanin wybuchowych gazów, par cieczy oraz pyłów.

## **Iskrzenie**

Iskrzenie stanowi duże niebezpieczeństwo w pomieszczeniach, w których występują mieszaniny wybuchowe palnych par, gazów i pyłów z powietrzem.

Przy odpowiednich stężeniach tych substancji w powietrzu (zawierających się między dolną a górną granicą wybuchowości) może spowodować wybuch. Intensywne iskrzenie na elementach urządzeń elektroenergetycznych prowadzi do niszczenia tych elementów, a w sprzyjających warunkach może doprowadzić do zapalenia materiałów palnych znajdujących się w pobliżu.



## ***W instalacjach i urządzeniach ogrzewczych nielektrycznych przewody kominowe***

Wśród wielu okoliczności, w jakich piece i kominy mogą spowodować pożar wyróżnić należy najczęściej występujące zdarzenia:

- wypadanie iskier i płonących materiałów palnych przez otwarte drzwiczki paleniskowe, wyciorowe lub popielnikowe,
- wydobywanie się iskier lub palących się cząstek przez szpary uszkodzonego komina,
- nagrzanie się do temperatury samozapalenia materiałów łatwo zapalnych znajdujących się w pobliżu komina.

## **REAKCJE CHEMICZNE**

Analiza danych statystycznych prowadzi do wniosku, że pożary spowodowane bezpośrednio na skutek przeprowadzanych procesów technologicznych występują stosunkowo rzadko. Jako podstawowe czynniki mogące spowodować pożar należy w tej grupie wymienić: zmianę proporcji substratów w stosunku do założonej technologii, dozowanie niewłaściwych surowców, nadmierne skrócenie lub wydłużenie czasu określonej operacji technologicznej, awarie w pracy aparatury kontrolno pomiarowej, nieprzestrzeganie tabeli wykluczeń przy magazynowaniu materiałów, zbyt słabe odprowadzanie ciepła od regulującego układu itp. Za stwarzające duże zagrożenie pożarowe uznać należy wszelkie badania i eksperymenty badawcze prowadzone w laboratoriach chemicznych.

## **PODPALENIA**

Ustalenie przyczyny pożaru w przypadku podpaień należy do czynności niezmiernie trudnych. Planując podpalenie sprawca często dobiera takie miejsca i środki, aby ślady podpalenia uległy całkowitemu zniszczeniu. Działanie takie zmniejsza możliwość ujawnienia i badania śladów przez organy ścigania. W wielu przypadkach trudno jest odróżnić podpalenie od zaprószenia ognia czy celowego uszkodzenia urządzeń w sposób sugerujący spowodowanie pożaru od nie zamierzonej awarii.

## **SAMOZAPALENIA**

Samozapalenie jest końcowym etapem procesów samonagrzewania. Polega ono na wzroście temperatury w składowanym materiale następującej w wyniku procesów chemicznych lub biologicznych bez dopływu ciepła z zewnątrz.

### ***Samozapalenie biologiczne***

Niewłaściwie składowane i magazynowane produkty roślinne mogą ulegać procesowi samonagrzewania, a następnie samozapaleniu na skutek zainfekowania materiału roślinnego bakteriami termofilnymi. Najczęściej notowane są przypadki samozapalenia siana. Oprócz niego samonagrzewać mogą się: tytoń, ziarna zbóż, rośliny oleiste, włókniste, torf w hałdach. Warunkami koniecznymi dla przebiegu tego procesu jest składowanie wilgotnych, niedosuszonych produktów roślinnych w sposób ograniczający odprowadzanie ciepła (sterty, stogi, przymy)



## ***Samozapalenie chemiczne***

Powstają w układach, w których przebiegają silnie egzotermiczne reakcje. Najbardziej znanym przykładem jest samozapalenie układów włóknistych lub porowatych nasyconych olejami roślinnymi. Do samozapalenia dojść może w trakcie procesów sieciowania (stabilizacji struktury) pianki poliuretanowej, gumy, metakrylanu metylu. Do materiałów ulegających samonagrzewaniu należą węgiel składowany w hałdach o wysokości powyżej 2 m, sadze w zbiornikach i na hałdach, mączka rybna i kostna, nawozy sztuczne.

Nawozami, które najłatwiej ulegają procesom rozkładu chemicznego i samozapaleniu są nawozy azotowe, a w szczególności saletra amonowa. Inicjatorami reakcji rozkładu nawozów są zanieczyszczenia pochodzenia naturalnego. W wyniku reakcji niektórych nawozów sztucznych z wodą (np. wapno palone, saletra amonowa, saletrzak, tomasyna, azotniak) temperatura układu wzrosnąć może do wartości, przy których zapaleniu ulegają znajdujące się w pobliżu materiały łatwo zapalne.

## ***Samonagrzewanie pod wpływem zjawisk fizycznych***

Zjawiska fizyczne odgrywają istotną rolę w pierwszym okresie samonagrzewania się kopalin: różnego typu węgla, rud itd. Najczęściej samozapala się w wyniku zachodzących fizycznych zjawisk powierzchniowych węgla, szczególnie ten typ węgla kamiennych, które zawierają mało węgla-pierwiastka, a dużo „domieszek” w postaci siarczków i tlenków żelaza. Wzrost samonagrzewania węgla w pierwszym okresie do temperatury 60 °C ma miejsce w wyniku adsorpcji czyli powierzchniowego pochłaniania gazów istniejących w powietrzu. Następnie rozpoczyna się proces utleniania węgla, ponieważ szybkość utleniania wzrasta wraz z temperaturą. Jeśli szybkość utleniania jest bardzo duża, węgiel samonagrzewa się i samozapala. Proces samonagrzewania węgla zależy od różnych czynników a przede wszystkim od: typu węgla, jego stopnia rozdrobnienia, początkowej temperatury otoczenia i węgla, stężenia tlenu w otoczeniu itp.

## ***Przyczyny rozprzestrzeniania się pożarów***

Spalanie naturalnych tworzyw i paliw o strukturze organicznej oraz zwęglających się tworzyw sztucznych (bakelit, żywice epoksydowe i in.) jest procesem wieloetapowych przemian fizykochemicznych, do których należy wstępne podgrzewanie, wydzielanie części lotnych, rozkład termiczny (piroliza) połączony z wydzieleniem lotnych produktów palnych, spalanie tych produktów i w końcu spalanie koksowej pozostałości. Poszczególne etapy w pierwszej fazie po zapaleniu przebiegają kolejno po sobie, a następnie nakładają się na siebie.

Tworzywa i paliwa stałe charakteryzują się małym ciepłem właściwym i złym przewodzeniem ciepła, co przyczynia się do szybkiego nagrzewania ich powierzchni i powolnych przemian warstw położonych głębiej. Jeżeli jednak spalony materiał ma dużą powierzchnię właściwą wówczas o szybkości spalania decyduje głównie nagrzanie powierzchniowe. Dlatego najbardziej pożarowo niebezpieczne są:

- materiały włókniste i inne w stanie rozdrobnionym (np. bawełna, wełna drewno, wióry),
- materiały spienione i gąbczaste (np. gąbki lateksowe, pianki),
- materiały w postaci folii, arkuszy, płyt, itp., składowane w stanie zapewniającym obustronny dostęp powietrza.



Zawartość wodoru w organicznych materiałach palnych ma duży wpływ na ich odporność termiczną i palność. Im zawartość wodoru jest mniejsza, tym materiał podczas ogrzewania wytwarza mniej palnych produktów lotnych, jest bardziej odporny na działanie płomienia, a pozostałość popirolityczna (zwęglenia) jest większa.

Szybkość spalania materiału można obniżyć przez zastosowanie środków ogniochronnych nakładanych na powierzchnię lub wbudowanie w strukturę tworzywa związków/cząsteczek nadających im własność samogaśnięcia lub utrudniających palność (retardantów). Działanie tych środków polega na:

- ograniczeniu dostępu tlenu oraz izolacji termicznej materiału palnego przez tworzenie spienionej warstwy izolacyjnej,
- modyfikacji przebiegu pirolizy w kierunku zwiększenia udziału pozostałości stałej i ograniczenia ilości wydzielanych gazów palnych,
- wpływniu na przebieg reakcji spalania przez wytwarzanie lotnych inhibitorów - katalizatorów ujemnych, zwalniających reakcję spalania.

W pożarach ciał stałych można wyodrębnić dwa typy spalania:

- spalanie płomieniowe zachodzące w fazie gazowej oraz
- spalanie żarowe, w materiale stałym.

W zależności od typu ciała stałego możliwe jest istnienie jednego procesu lub obu równocześnie. Większość tworzyw sztucznych podczas pożaru topi się i spala płomieniowo. Tworzywa termoutwardzalne spalają się żarowo. Tworzywa naturalne (np. celuloza - drewno i pochodne) spalają się zarówno płomieniowo jak i żarowo.

Spalanie żarowe substancji stanowi duże zagrożenie ze względu na "utajony" charakter. Żar wewnątrz materiału stałego często może pozostawać "ukryty" przez dłuższy czas. Innym parametrem decydującym dla rozwoju pożaru jest szybkość propagacji płomienia i szybkość spalania. Prędkość generowania ciepła jest bardziej istotna niż jego ilość wydzielania z jednostkowej masy.

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 = 600 °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.

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



Ogólnie czynniki mające wpływ na przyczyny szybszego rozprzestrzeniania się pożarów można podzielić na:

- Palna konstrukcja, wyposażenie i wystrój budynków.
- Niewłaściwe składowanie materiałów niebezpiecznych.
- Nie zachowane wymagane odległości między budynkami.
- Niewłaściwa konstrukcja i zabezpieczenie przeciwpożarowe instalacji technologicznych i użytkowych.
- Brak lub niewystarczająca ilość gaśnic i środków gaśniczych oraz nieumiejętne ich użycie w razie pożaru.
- Zbyt późne zauważenie pożaru.
- Zbyt późne powiadomienie straży pożarnej o powstałym pożarze.