

Pojęcia  
podstawowe  
dotyczące  
warunków  
umożliwiających  
powstanie  
pożaru



## Typy reakcji chemicznych

Reakcja chemiczna jest to przemiana chemiczna jednych substancji w inne produkty.

Rozróżnia się następujące typy reakcji chemicznych:

synteza

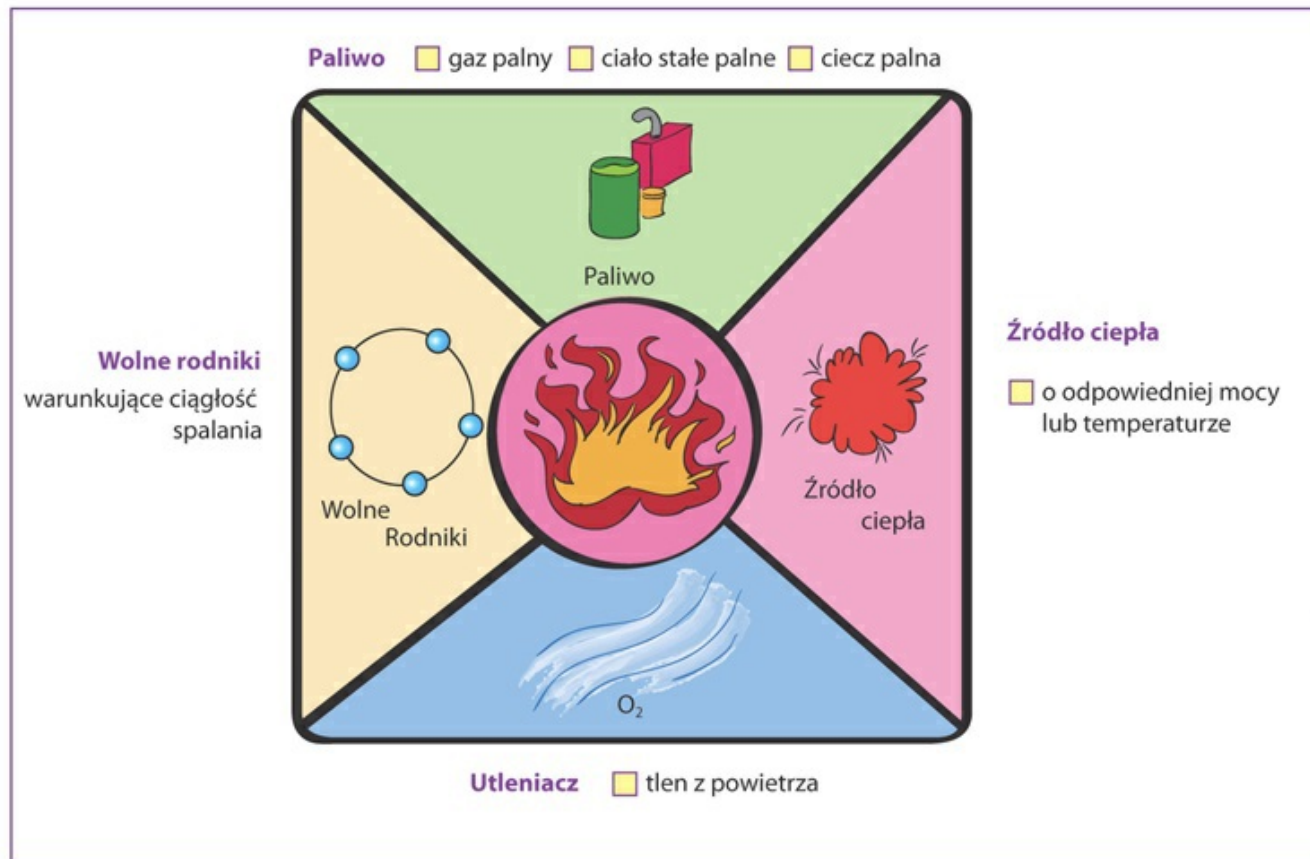
analiza

wymiana

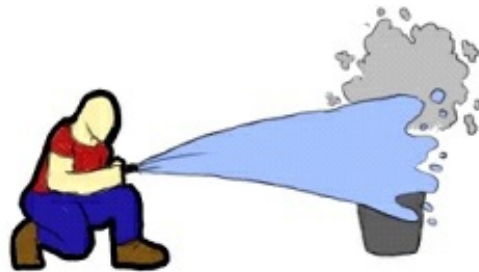
**Tabela 1. Typy reakcji chemicznych**

Lp.	Typ reakcji	Schemat	Przykład
1	Synteza	$A+B= AB$	$2H_2+ O_2 = 2H_2O$
2	Analiza	$AB= A+B$	$2H_2O = 2H_2 + O_2$
3	Wymiana	$AB+C = AC+B$	$2H_2O + 2Na = 2NaOH + H_2$

## Cztery warunki spalania



## Metody przerywania procesu spalania



Działanie chłodzące  
(np. woda)



Odcięcie dopływu  
tlenu  
(np. koc gaśniczy)

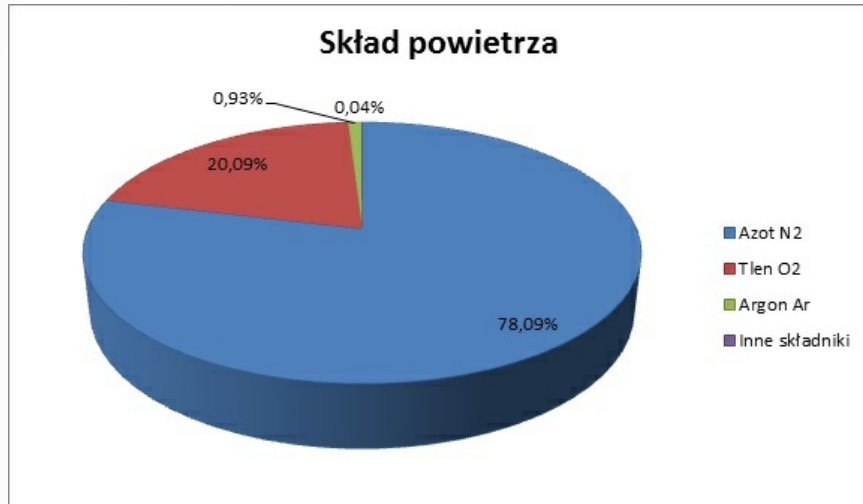


Działanie antykatalityczne  
(np. gaśnica proszkowa)



Odcięcie dopływu  
paliwa  
(zamknięcie  
zaworu)

## Skład powietrza – normalny



### Zawartość tlenu w powietrzu a spalanie

- ok. 17% – silnik samochodu nie może pracować,
- ok. 15% – wiele tworzyw sztucznych przestaje się palić,
- ok. 14% – większość rodzajów drewna nie pali się dalej,
- ok. 13% – celuloza pali się jeszcze, ale słabo,
- ok. 11% – większość substancji nie pali się

W przypadku wyższego (niż normalne) stężenia tlenu zagrożenie zapaleniem jest większe!

Gwinty zaworów butli z tlenem nie mogą być smarowane tłuszczem!

## Palność materiałów

Materiały dzieli się na:

- palne (acetylen, benzyna, drewno, węgiel)
- niepalne (dwutlenek węgla, azot, kamień, granit, beton)

### Palność – zdolność materiału do podtrzymywania ognia.

Materiały palne można podzielić na:

- samozapalne (np. fosfor biały, zaoliwione czyściwo)
  - materiały te mogą ulec zapaleniu bez oddziaływania zewnętrznego źródła ciepła dzięki energii cieplnej powstającej w wyniku procesu utleniania
- łatwo zapalne (np. acetylen, celulozoid)
  - materiały te przy niewielkim dopływie energii (iskra, żarzący się papieros, gorąca powierzchnia) mogą ulec zapaleniu.
- zapalne w normalnych warunkach (np. wióry drewniane, słoma)
  - materiały te ulegają zapaleniu od źródła zapłonu takiego jak np. paląca się zapałka
- trudno zapalne (np. twarde drewno)
  - materiały te ulegają zapaleniu tylko przy działaniu na nie silnym źródłem ciepła, takim jak np. płomień gazowy.

## Palność materiałów

Palność materiałów to zachowanie się materiału po jego zapaleniu.

W zależności od przebiegu spalania dzielimy je na:

- **trudno palne (np. wełna mineralna, twarde PCV)** – materiały te po ich zapaleniu palą się dalej, pod warunkiem, że cały czas utrzymywany jest dopływ ciepła. Po odcięciu dopływu ciepła spalanie ulega przerwaniu
- **palne (np. drewno o grubości > 2 mm, papa dachowa)** – materiały te po ich zapaleniu i usunięciu źródła ciepła palą się dalej z normalną szybkością
- **łatwo palne (np. gazy palne, papier, wióry drewniane)** – materiały te po ich zapaleniu i usunięciu źródła ciepła palą się dalej z dużą szybkością



## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Utlenianie

Utlenianie **polega na egzotermicznej reakcji chemicznej materiału z tlenem.**

Szybkość utleniania to ilość substancji utlenionej w jednostce czasu.

Proces utleniania może nastąpić nie tylko przez działanie samego tlenu, ale także związków bogatych w tlen, zdolnych do oddawania go. Są to utleniacze.

Spalanie może przebiegać jako:

- **płomieniowe**
- **bezpłomieniowe (tlenie)**



Element z żelaza po utlenieniu  
zewnątrznej warstwy



## Spalanie – pojęcia podstawowe

**Spalanie** to proces fizykochemiczny palnej substancji z utleniaczem. Spalaniu towarzyszy na ogół wydzielanie dużej ilości energii cieplnej i zazwyczaj płomień. Ilość wydzielanego ciepła zależy od właściwości spalanego materiału.

### Spalanie może przebiegać jako:

- płomieniowe (np. spalanie par ciecchy)
- bezpłomieniowe – tlenie (np. żarzący się papieros)



# Spalanie – pojęcia podstawowe

## Spalanie płomieniowe

Spalanie płomieniowe jest to spalanie palnej fazy lotnej; zachodzi podczas spalania gazów, cieczy i ciał stałych, które podczas ogrzewania przechodzą w stan lotny.

### Warunki zapoczątkowania i ciągłości spalania płomieniowego:

- paliwo w odpowiedniej ilości (stężeniu w powietrzu)
- utleniacz (tlen) w odpowiednim stężeniu
- źródło ciepła o odpowiedniej mocy (do zapoczątkowania spalania)
- obecność w płomieniu rodników warunkujących ciągłość spalania



## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Spalanie bezpłomieniowe, żarzenie

#### Spalanie bezpłomieniowe (tlenie)

Jest to utlenianie powierzchniowe stałych produktów rozkładu termicznego, materiałów palnych pochodzenia organicznego (węgiel, materiały silnie porowate).

#### Żarzenie

Zjawisko świecenia powierzchni palnego materiału nieorganicznego, który nie uległ rozkładowi termicznemu, a ogrzał się w wyniku różnych zjawisk i przemian chemicznych.



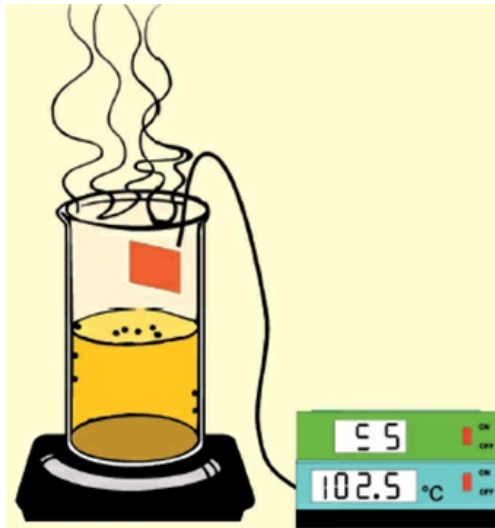
## Spalanie – pojęcia podstawowe

Zapłon i zapalenie – temperatura zapłonu, temperatura zapalenia

**Zapłon - temperatura zapłonu; zapalenie - temperatura zapalenia**

Temperatura zapłonu – najniższa temperatura, do której należy ogrzać ciecz, aby stężenie par nad jej powierzchnią osiągnęło dolną granicę wybuchowości.

**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 (samorzutne pojawienie się płomienia).



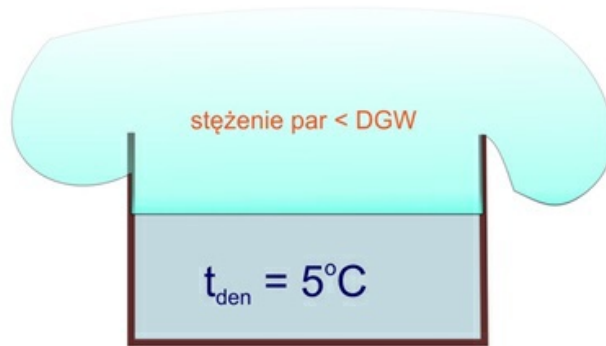
## Spalanie – pojęcia podstawowe

Zapłon i zapalenie – temperatura zapłonu, temperatura zapalenia

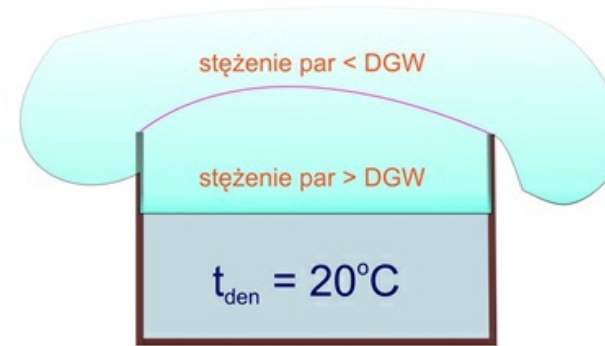
### Zapalność par cieczy palnej w zależności od jej temperatury i temperatury zapłonu na przykładzie denaturatu

Temperatura zapłonu denaturatu = 12 °C; DGW - 2,8 % obj.; GGW - 19 % obj

A - temperatura otoczenia = 5°C

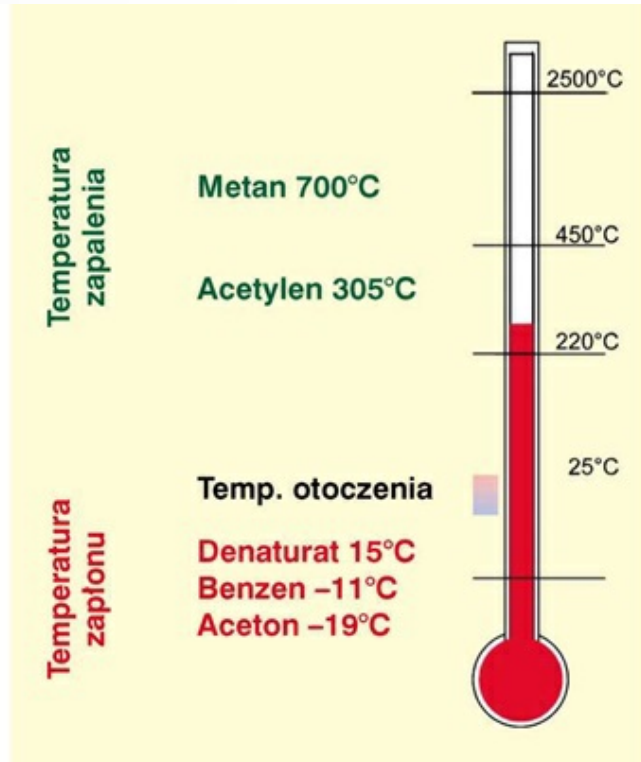


B - temperatura otoczenia = 20°C



## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Temperatury charakteryzujące właściwości pożarowe cieczy i gazów



Temperatura spalania – temperatura osiągnięta w strefie spalania materiału

Temperatura zapłonu – temperatura, w której pary cieczy w powietrzu osiągną stężenie palne

Temperatura zapalenia – najniższa temperatura gazu lub pary cieczy, w której ulegają one samozapaleniu w powietrzu

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

**Temperatura samozapłonu** – najniższa temperatura, w której substancje palne w obecności powietrza ulegają samorzutnemu zapaleniu się (wg Encyklopedii PWN Nauka).



### Temperatury charakteryzujące właściwości pożarowe cieczy i gazów

Temperatury zapalenia większości cieczy palnych zawierają się w granicach 300-600°C. Do wyjątków należą dwusiarczek węgla (102°C), eter etylowy (160°C) i aldehyd octowy (140°C). O tych wyjątkach należy pamiętać, gdyż pary tych cieczy zmieszane z powietrzem mogą ulec zapaleniu od ogrzanych powierzchni (np. rurociągów ciepłych).

#### Temperatury zapłonu i zapalenia różnych cieczy

Ciecz	Temperatura zapłonu [°C]	Temperatura zapalenia [°C]
Aceton	-19	540
Alkohol etylowy	12,8	425
Benzyna ekstrakcyjna	-6	480
Benzen	-11	540
Denaturat	15	640
Gliceryna	160	390
Nafta oświetleniowa	> 38	> 250
Tran	230	380



## Spalanie – pojęcia podstawowe

Do zapłonu mieszaniny w granicach zapalności konieczny jest bodziec termiczny (o odpowiedniej energii)



Źródło ciepła	Temperatura [°C]
Płonąca zapalka	600-800
Żar papierosa	700-800
Płomień palącego się papieru	700
Palenisko drewna	700-1100
Palenisko węgla kamiennego	do 1700
Płomień palnika gazowego	1500-1950
Płomień acetylenowo-tlenowy	do 3500
Żarówka 100-200 W	126-164
Łuk elektryczny	3500

**Płomień** – objętość gazowa,  
w której przebiegają procesy rozkładu  
termicznego, utleniania i spalania.



Płomień powstaje w części przestrzeni,  
w której zachodzi chemiczna reakcja  
spalania.

## Spalanie – pojęcia podstawowe

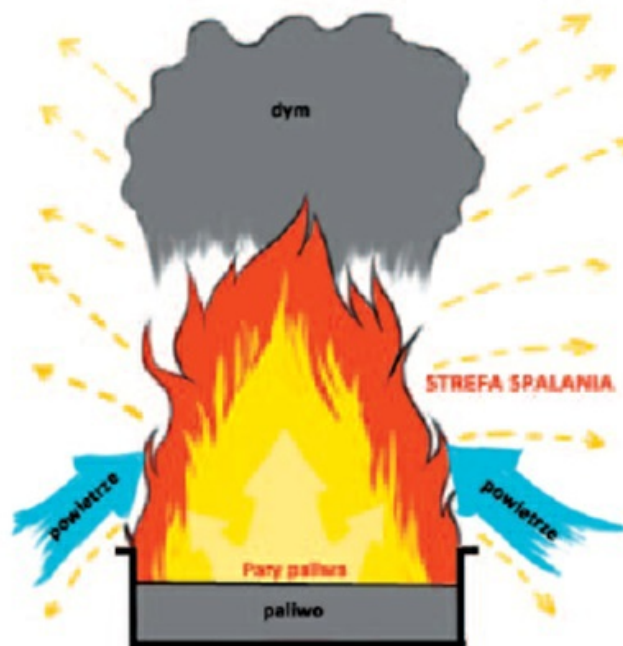
### **Ciepło spalania, wartość opałowa**

**Ciepło spalania** – ilość ciepła wydzielana podczas spalania jednostki masy danej substancji.

**Wartość opałowa** – ilość ciepła wydzielana podczas całkowitego spalania jednostki masy substancji (w MJ).

## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Spalanie cieczy ze swobodnej powierzchni



Spalanie cieczy w wannie



## Spowalnianie spalania

### Spowalnicze spalania, topnienie, toksyczność

**Spowalnicze spalania** (substancje flegmatyzujące) – specjalne dodatki do substancji palnych lub do tlenu mogące powodować opóźnienie zapłonu mieszaniny gazowej.

W przypadku małych płomieni mogą wykazywać się dużą skutecznością, zapobiegając zapłonowi i dalszemu rozprzestrzenianiu się ognia.

Substancje spowalniające można dodawać także do substancji stałych.

**Topnienie** – przemiana fazowa polegająca na przechodzeniu substancji ze stanu stałego w ciekły. Topnienie substancji jednoskładnikowej zachodzi w określonej stałej, charakterystycznej dla tej substancji temperaturze, zwanej temperaturą topnienia. Zależy ona od ciśnienia.

**Toksyczność** – właściwość substancji trująca dla żywego organizmu. Toksyczność zależy od rodzaju i ilości substancji, drogi wnikania do organizmu i od osobniczej wrażliwości organizmu.

## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Ciepło parowania, zapalność, powstawanie węgla, tworzenie się sadzy

**Ciepło parowania** – ilość ciepła pobierana przez 1 g cieczy podczas przejścia w parę w temperaturze wrzenia.

**Zapalność** – jest odwrotnie proporcjonalna do czasu, który jest konieczny, aby poprzez określony strumień cieplny – skierowany na powierzchnię górną substancji palnych – spowodować jej zapalenie.

Ta właściwość jest bardzo ważna zarówno dla zapalenia, jak i dla dalszego rozwoju ognia.

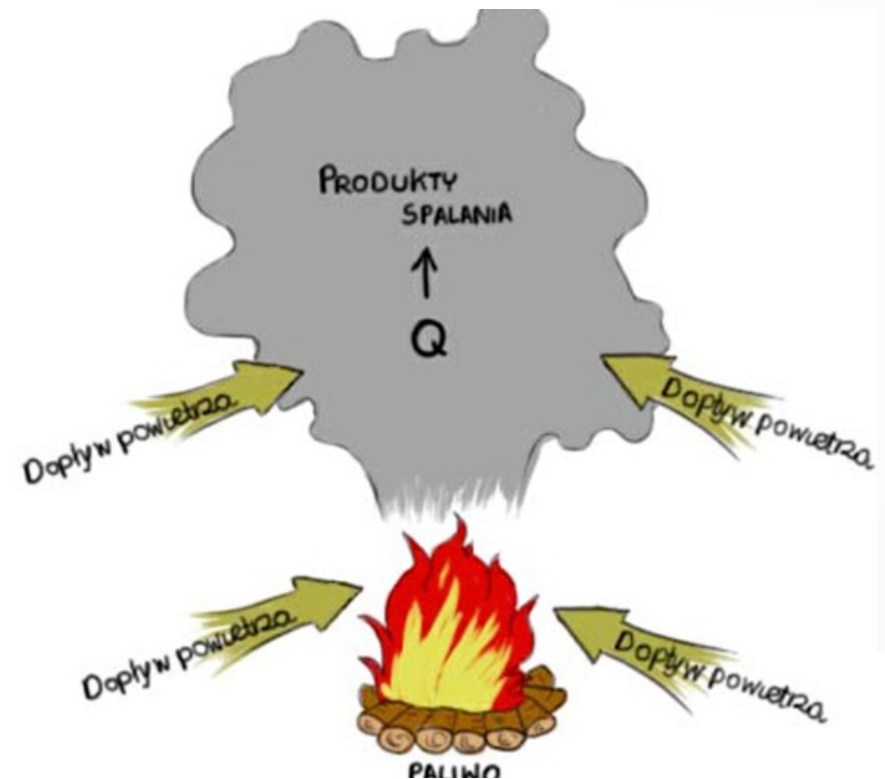
**Powstawanie zwęgleń** – węgiel tworzy porowatą czarną warstwę, powstającą podczas zjawiska pirolizy kilku substancji, jak np. drewna czy duroplastów. Powstałe zwęglenia mogą skutecznie odizolować, a tym samym znacznie spowolnić uwalnianie się gazów palnych, jak i docieranie ciepła do wnętrza materiału.

Niektóre powłoki ochronne przed działaniem pożaru mają podobne działanie, tzn. pęcznieją podczas pożaru, a tym samym powodują ochronę materiału przed dopływem ciepła i rozkładem.

**Tworzenie się sadzy** – sadza składa się z drobnych stałych cząsteczek, które są rezultatem niecałkowitego spalania. Sadza powstaje głównie w tych warstwach płomieni, w których jest nadmiar substancji palnej. Przyczynia się ona do podwyższania promieniowania.

## Spalanie – pojęcia podstawowe Produkty spalania – dym

**Dym – układ koloidalny (koloid),**  
w którym fazą ciągłą (rozpraszającą)  
jest gaz, a fazą rozproszoną produkty  
spalania, takie jak cząstki materiału  
palącego się, para wodna,  
dwutlenek węgla, tlenek węgla,  
gazy toksyczne, pary powodujące korozję  
oraz powietrze.





## Toksyczne produkty spalania niektórych materiałów

Produkt spalania	Materiał
Tlenek węgla	Większość materiałów
Cyjanowodór	Wełna, bawełna, jedwab, poliuretany
Tlenki azotu	Nitroceluloza, poliamidy
Chlorowodór	Niektóre żywice poliestrowe, polichlorek winylu (PCV) Węglowodory chlorowane
Dwutlenek siarki	Związki siarki, węgiel, olej mineralny
Izocyjaniany	Poliuretany
Akroleina	Produkty naftowe
Fosgen	Polichlorek winylu
Amoniak	Poliamidy, wełna, jedwab, żywice fenolowe
Fluorowodór	Teflon (politetrafluoroetylen) i inne związki zawierające fluor
Kwas bromowy	Komponenty zawierające brom

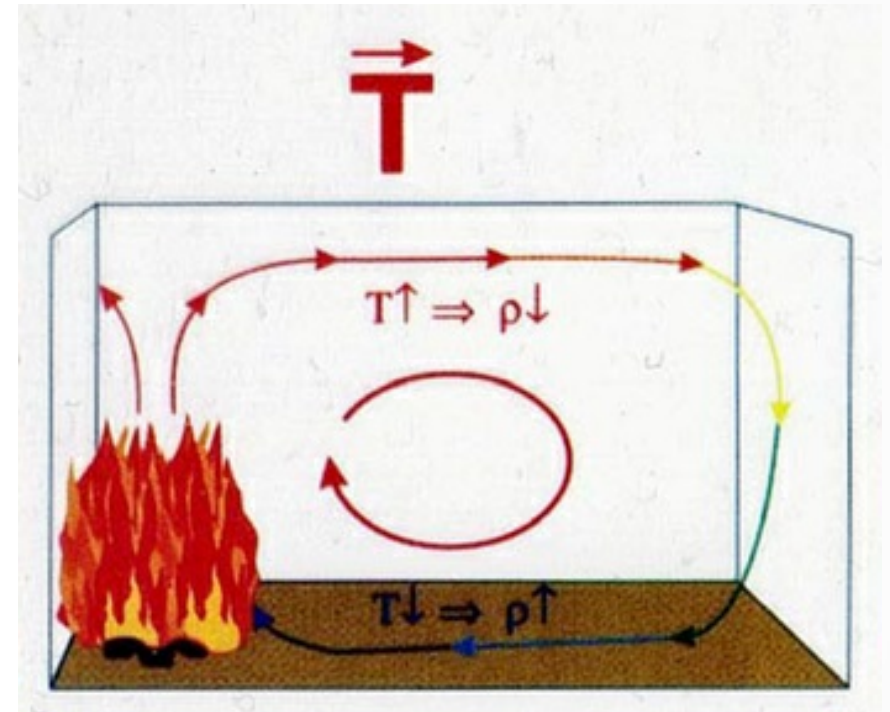
## Spalanie – pojęcia podstawowe. Sposoby przekazywania ciepła

**Przewodzenie** – cząsteczki przekazują energię innym cząsteczkom w wyniku drgań i zderzeń.



**Konwekcja – unoszenie** – przenoszenie ciepła wywołane przemieszczaniem się płynów (gazów i cieczy). W warunkach pożaru wywołwana różnicą temperatur (tzw. konwekcja swobodna).

**Promieniowanie ciepłe** – promieniowanie elektromagnetyczne wywołane ruchem cieplnym atomów lub cząsteczek jakiegoś ciała.



## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Klasy niebezpieczeństwa pożarowego cieczy palnych

**Temperatura zapłonu** cieczy jest podstawą klasyfikacji cieczy ze względu na niebezpieczeństwo pożarowe:

- q. **Klasa I** – ciecze o temperaturze zapłonu do 21°C
- q. **Klasa II** – ciecze o temperaturze zapłonu od 21°C do 55°C
- q. **Klasa III** – ciecze o temperaturze zapłony od 55°C do 100°C

## Spalanie – pojęcia podstawowe

**Wybuch** – gwałtowna reakcja utleniania bądź rozkładu, wywołująca wzrost temperatury i/lub ciśnienia.

**Rozróżnia się dwa rodzaje wybuchu:**

- **wybuch fizyczny** – wybuch, podczas którego składniki układu nie ulegają reakcji utleniania, np. wybuch kotła parowego, wybuch butli z gazem itp.
- **wybuch chemiczny** – wybuch, kiedy bardzo szybko przebiega egzotermiczna reakcja spalania, w wyniku czego wydziela się duża ilość gazowych produktów spalania powodująca znaczny przyrost ciśnienia. Wybuch chemiczny może mieć formę:
  - deflagracji – wybuch rozprzestrzenia się z prędkością poddźwiękową,
  - detonacji – wybuch rozprzestrzenia się z prędkością naddźwiękową i towarzyszy mu fala uderzeniowa.



## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Granice wybuchowości – definicje

**Granice wybuchowości** – zakresy stężeń czynnika palnego w mieszaninie z powietrzem, między którymi może dojść do wybuchu.

**Dolna granica wybuchowości (DGW)** – minimalne stężenie czynnika palnego w mieszaninie z powietrzem, przy którym może dojść do wybuchu.

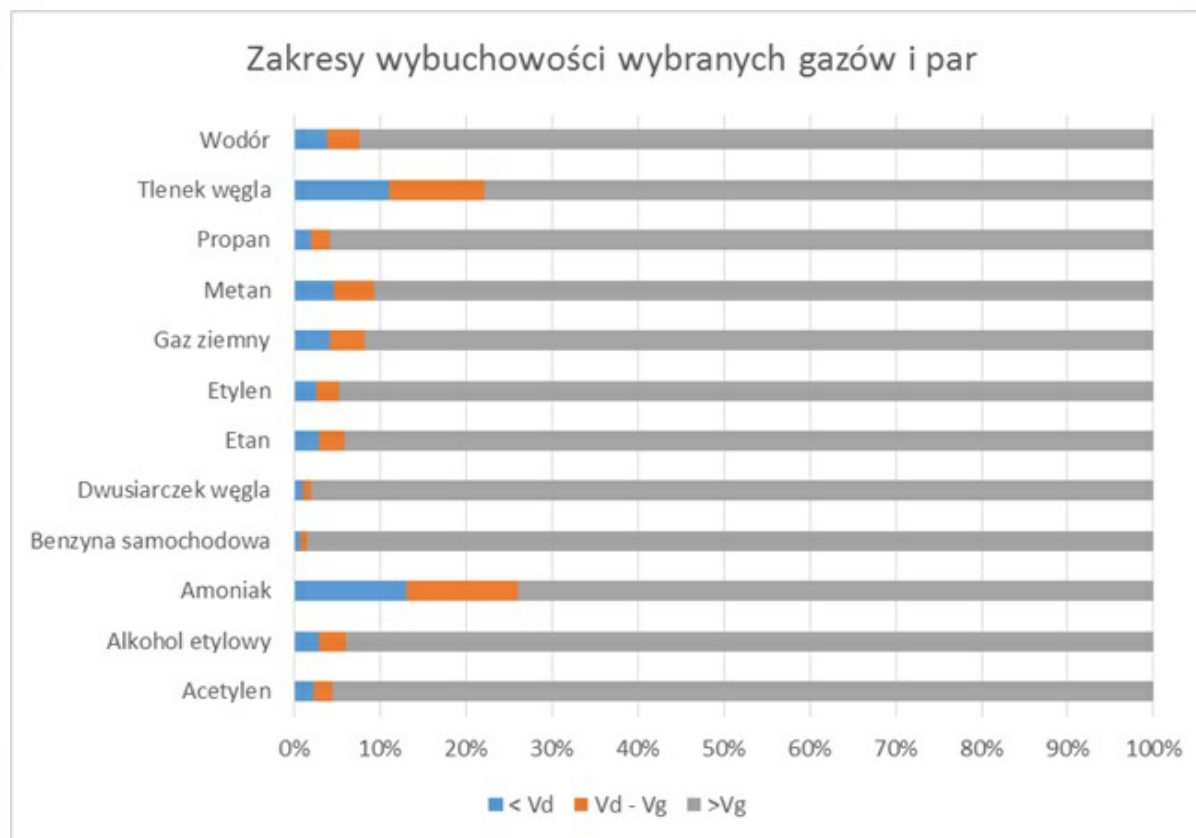
**Górna granica wybuchowości (GGW)** – maksymalne stężenie czynnika palnego w mieszaninie z powietrzem, powyżej którego mieszanina staje się niezapalna.

**Stężenie stechiometryczne** – stężenie gazu lub pary w mieszaninie z powietrzem, przy którym teoretycznie następuje spalenie całej ilości tlenu zawartego w mieszaninie.

**Graniczne stężenie tlenu** – maksymalne stężenie tlenu w mieszaninie substancji palnej, powietrza i gazu obojętnego, przy którym nie dojdzie do wybuchu.

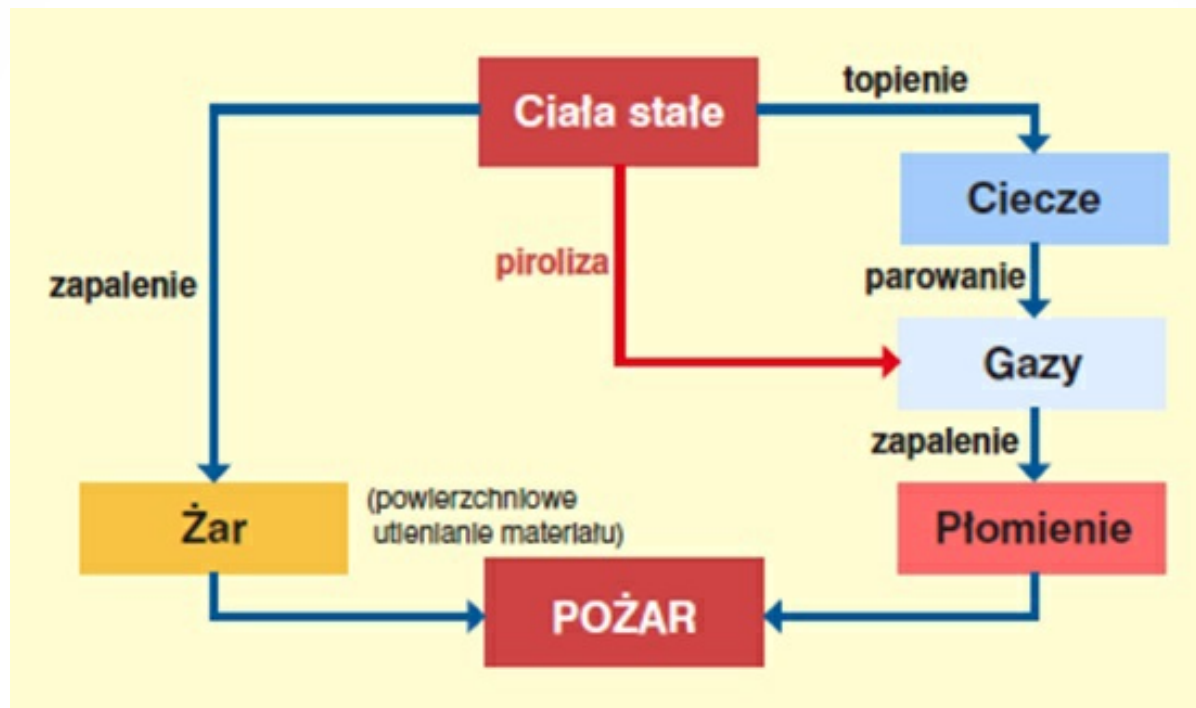
## Spalanie – pojęcia podstawowe

### Zakresy wybuchowości niektórych substancji



## Palenie się ciał stałych

Zjawiska podczas spalania ciał stałych





Palenie się ciał stałych

**Palenie się drewna**



Spalanie gazowych produktów rozkładu



Żarzenie

## Palenie się ciał stałych – piroliza palnych materiałów stałych

Temperatura drewna	Powstające produkty pirolizy
> 200 °C	Powstawanie niepalnych gazów i par, np. para wodna, CO <sub>2</sub> metan, kwas mrówkowy, kwas octowy
200 °C - 208 °C	Przeważnie endotermiczne reakcje, powstaje jeszcze tylko mała ilość pary wodnej, powstawanie małych ilości CO
208 °C - 500 °C	Reakcja egzotermiczna: powstają palne gazy i pary oraz cząsteczki stałe, równoległe do tego przebiegają reakcje i w międzyczasie tworzy się węgiel drzewny
> 500 °C	Pozostałości spalania, przeważnie węgiel drzewny, z przebiegającymi kabalicznymi reakcjami

## Krzywa temperatura – czas w pomieszczeniu objętym pożarem

### Powstanie i przebieg pożaru w czasie



