



## Struktura kinetycznego płomienia gazowego

### 1. Wprowadzenie

#### 1.1. Podstawowe definicje

**Spalanie** – egzotermiczna reakcja chemiczna przebiegająca między paliwem a utleniaczem.

**Mieszanina palna** – mieszanina paliwa i utleniacza w której płomień rozprzestrzenia się nieograniczenie także po zaprzestaniu działania źródła zapłonu.

**Zapłon** - zapoczątkowanie procesu spalania w mieszaninie palnej. Można wyróżnić dwa rodzaje zapłonu:

- **zapłon wymuszony** – spowodowany przez lokalnie wprowadzone źródło zapłonu, np. iskra elektryczna, płomień pilotujący itp.;
- **samozapłon** – spowodowany równomiernym podgrzewaniem całej masy mieszaniny palnej aż do przekroczenia temperatury samozapłonu.

**Płomień** – strefa, w której zachodzi proces spalania. Ze względu na sposób przygotowania mieszaniny palnej można wyróżnić dwa rodzaje płomienia:

- **płomień kinetyczny**, w którym paliwo i utleniacz zostały wymieszane przed osiągnięciem strefy spalania, a szybkość spalania zależy od kinetyki reakcji chemicznej;
- **płomień dyfuzyjny**, w którym paliwo i utleniacz mieszają się dyfuzyjnie w warstwie granicznej pomiędzy nimi a szybkość spalania ograniczana jest szybkością dyfuzji.

#### 1.2. Struktura płomienia kinetycznego

W płomieniu kinetycznym wstępna strefa podgrzewania i inicjacji utleniania paliwa sytuuje się przed czołem płomienia. Dalej położona jest główna strefa reakcji – czoło płomienia, a za nią strefa popłamienna

Za koniec strefy podgrzewania i inicjacji reakcji przyjmuje się ten punkt, w którym przebiega samoistnie proces utleniania paliwa, bez dostarczania ciepła z głównej strefy reakcji, co w przybliżeniu odpowiada punktowi przegięcia na krzywej rozkładu temperatury.

W głównej strefie reakcji, w czole płomienia, zachodzą intensywne reakcje utleniania paliwa, o czym świadczą duże gradienty temperatury i stężenia. W głównej strefie reakcji powstają produkty pośrednie i końcowe utleniania paliwa, w tym rodniki dyfundujące do strefy podgrzewania i inicjacji reakcji, początkujące reakcje utleniania paliwa.

W płomieniu kinetycznym, przy niedomiarze utleniacza, wytwarza się drugi zewnętrzny stożek typu dyfuzyjnego. Dopalają się w nim produkty częściowego utleniania paliwa, jak np. tlenek węgla.

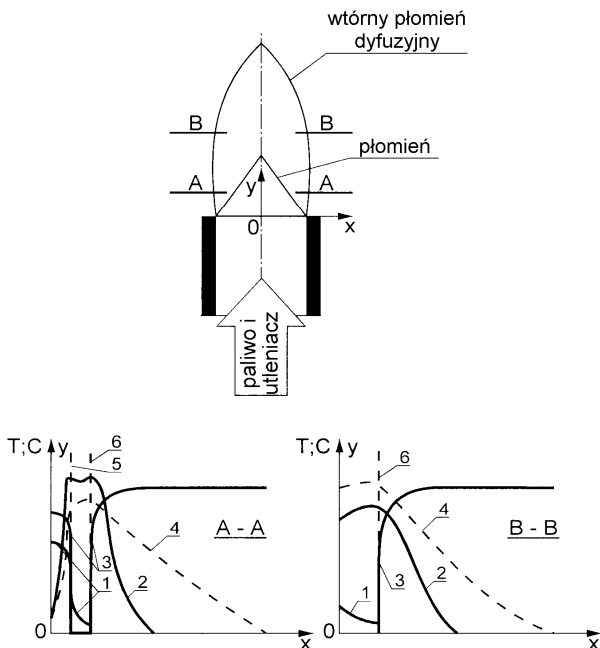
#### 1.3. Struktura płomienia dyfuzyjnego

Płomień dyfuzyjny powstają w warstwie granicznej między strumieniami gazu palnego i gazowego utleniacza lub pomiędzy strumieniem gazu palnego a otaczającym go nieruchomym utleniaczem. Obszar intensywnej reakcji chemicznej, widoczny jako świecąca powierzchnia, znajduje się w miejscu, w którym stosunek dyfundującego strumienia paliwa do strumienia utleniacza przyjmuje wartość stechiometryczną.

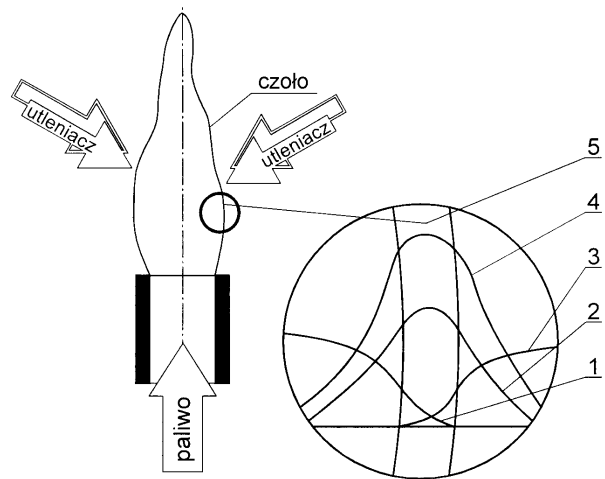
W płomieniu dyfuzyjnym chemiczna reakcja spalania jest więc zawsze poprzedzona czysto fizycznym procesem mieszania, który zależy od praw rządzących dyfuzją w strumieniach gazowych. Ze względu na te prawa, płomień dyfuzyjny dzieli się na laminarne i turbulenty; w pierwszym dyfuzja ma charakter czysto molekularny, w drugim – turbulenty.

# LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

Uwarunkowanie mechanizmu spalania w płomieniach dyfuzyjnych procesami przenoszenia uwidacznia się wyraźnie w zewnętrznym wyglądzie tych płomieni. Płomień laminarny mają poprzeczny wymiar niewiele większy od wymiaru wylotowego otworu dyszy paliwowej, a ich zewnętrzna powierzchnia jest gładka i wyraźnie zarysowana. W płomieniach turbulentnych natomiast wymiar poprzeczny znacznie przewyższa wymiar dyszy paliwowej, a powierzchnia płomienia nie ma określonego kształtu i podlega ciągłym zmianom, takim jak drgania i falowanie.



Rys. 1. Rozkłady stężenia i temperatury w płomieniu kinetycznym: 1 – paliwo, 2 – spaliny, 3 – utleniacz, 4 – temperatura, 5 – płomień kinetyczny, 6 – wtórny płomień dyfuzyjny



Rys. 2. Rozkłady stężenia i temperatury w płomieniu kinetycznym: 1 – paliwo, 2 – spaliny, 3 – utleniacz, 4 – temperatura, 5 – płomień

## 1.4. Palniki gazowe

Do podstawowych funkcji palników gazowych należy: przygotowanie w palniku lub na wylocie z niego mieszaniny palnej paliwa z powietrzem w określonym stosunku, zapewnienie ciągłego zapłonu mieszaniny palnej, całkowitego i zupełnego spalania, ustabilizowanie czoła płomienia na wylocie z palnika, zapewnienie określonej aerodynamicznej struktury płomienia, odpowiednie ukierunkowanie płomienia w komorze spalania i zabezpieczenie projektowanej wydajności cieplnej komory spalania.

Według sposobu działania, palniki dzieli się na:

- palniki zewnętrznego mieszania (dyfuzyjne), w których paliwo i powietrze są podawane oddzielnie, a mieszanie następuje dopiero w dyszy wylotowej palnika lub w komorze spalania na wylocie z dyszy palnika);
- palniki wstępnie zmieszanych gazów (kinetyczne), w których zapewnione zostaje zmieszanie paliwa z odpowiednią ilością powietrza przed podawaniem do komory spalania);
- palniki z niepełnym wstępnym mieszaniem (kinetyczno-dyfuzyjne), w których gaz miesza się z częścią powietrza koniecznego do spalania przed dyszą wylotową palnika, a pozostała część powietrza jest podawana oddzielnie i miesza się ze wstępnie przygotowaną mieszaniną paliwa oraz powietrza w komorze spalania na wylocie z palnika).

# LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

Pod względem konstrukcyjnym palniki dzieli się na:

- palnik gazowy inżektorowy (atmosferyczny), ze wstępnym zmieszaniem paliwa i powietrza, które jest zasysane przez gaz wypływający z dyszy paliwowej palnika,
- palnik gazowy nadmuchowy, w którym powietrze jest podawane przez urządzenie nadmuchowe, z pełnym i niepełnym wstępnym mieszaniem oraz bez wstępnego zmieszania paliwa i utleniacza.

Ze względów konstrukcyjnych i sposobu organizacji przepływu strumieni paliwa i utleniacza na wylocie z palnika palniki można podzielić na palniki wirowe i o przepływie niezawioranym.

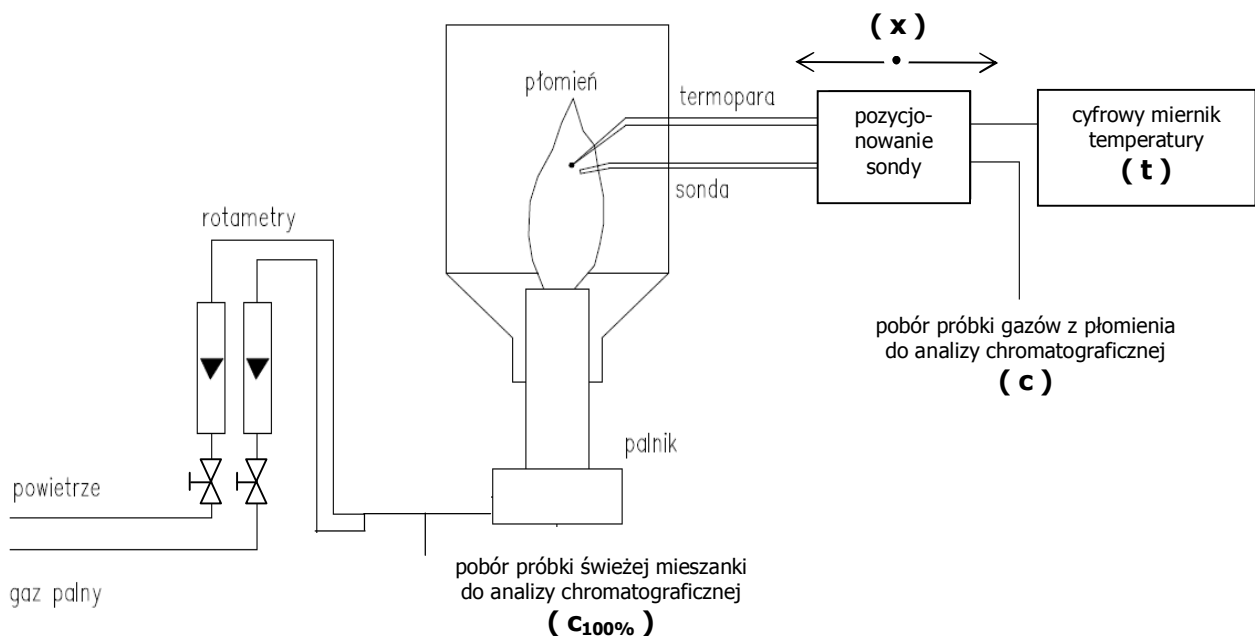
## 2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem spalania paliw gazowych, obserwacja działania palnika gazowego oraz pomiar rozkładu temperatury i składu mieszanki wewnątrz płomienia.

## 3. Przebieg ćwiczenia

W trakcie trwania ćwiczenia zapoznaje się z budową i działaniem palnika gazowego oraz obserwuje się wytwarzany przezeń płomień. Określone są proporcje mieszanki gazowo-powietrznej oraz pobierana jej próbka do analizy. Następnie wykonuje się badanie rozkładu temperatury i zawartości gazu palnego wewnątrz płomienia. Sonda oraz termopara są przemieszczane na ustalonej wysokości od środka do zewnątrz płomienia wzdłuż jego promienia. W określonych punktach (co 1mm) pobierana jest próbka gazów oraz mierzona temperatura. Zawartość gazu palnego w próbce jest określana przy użyciu chromatografu gazowego i podawana w jednostkach umownych (amperach).

## 4. Schemat stanowiska



**Uwaga! Schematów z instrukcji nie wolno wykorzystywać w sprawozdaniach!**

## 5. Opracowanie wyników

### 5.1. Określenie składu mieszanki gazowo-powietrznej

$$r = \frac{q_{gaz}}{q_{gaz} + q_{pow}}$$

gdzie: **r** – udział gazu w mieszaninie

$q_{gaz}$  - strumień objętości gazu palnego (dm<sup>3</sup>/h)

$q_{pow}$  - strumień objętości powietrza (dm<sup>3</sup>/h)

Ponieważ strumień objętości gazu mierzony jest rotametrem wyskalowanym dla powietrza, należy dokonać korekty wyniku wg poniższego wzoru:

$$q_{gaz} = q'_{gaz} \sqrt{\frac{\rho_{pow}}{\rho_{gaz}}}$$

gdzie:  **$q_{gaz}$**  – strumień objętości gazu palnego (dm<sup>3</sup>/h)

$q'_{gaz}$  – zmierzony rotametrem dla powietrza strumień objętości gazu (dm<sup>3</sup>/h)

$\rho_{pow}$  – gęstość powietrza (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{gaz}$  – gęstość gazu (kg/m<sup>3</sup>)

Na podstawie tabeli w skrypcie należy sprawdzić czy wyznaczony udział gazu mieści się wewnątrz granic palności.

### 5.2. Wyznaczenie stopnia wypalenia gazu

$$w = \left( 1 - \frac{c}{c_{100\%}} \right) * 100 \%$$

gdzie: **w** – stopień wypalenia

**c** – zawartość gazu palnego, zmierzona chromatograficznie w próbce pobranej w danym punkcie płomienia

**$c_{100\%}$**  – zawartość gazu palnego w świeżej mieszaninie paliwowo-powietrznej, zmierzona chromatograficznie

### 5.3. Wykonanie wykresów

W sprawozdaniu należy wykonać wykresy zależności stopnia wypalenia gazu (**w**) oraz temperatury płomienia (**t**) w funkcji odległości od środka palnika (**x**).

## 6. Zestawienie mierzonych wartości

1. Strumień objętości gazu palnego (zmierzony rotametrem dla powietrza)  **$q'_{gaz}$** , dm<sup>3</sup>/h
2. Strumień objętości powietrza  **$q_{pow}$** , dm<sup>3</sup>/h
3. Zawartość nieopalonego gazu w świeżej mieszance  **$c_{100\%}$**

## LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

4. Wyniki sondowania płomienia:

odległość sondy od środka palnika	zawartość niespalonego gazu	temperatura płomienia
<b>x, mm</b>	<b>c</b>	<b>t, °C</b>
0		
1		
...		