



Rozpylanie i spalanie paliw ciekłych

CEL ĆWICZENIA:

- Zapoznanie ze sposobami rozpylania paliw ciekłych;
- Poznanie zjawisk fizycznych występujących podczas rozpylania cieczy;
- Wprowadzenie w zagadnienia metodologii oceny jakości rozpylania;
- Wyznaczenie podstawowych parametrów rozpylonej strugi kropeł w zależności od parametrów rozpylania (rodzaj paliwa, temperatura, ciśnienie, typ dyszy);
- Badanie i ocena jakości spalania paliw ciekłych (pomiar temperatur oraz emisji zanieczyszczeń tj. tlenku węgla, tlenków azotu i sadzy podczas spalania oleju opałowego).

PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie trwania ćwiczenia student zapoznaje się z budową i działaniem palnika olejowego, a następnie wykonuje badania własności płomienia olejowego stopniowo zmieniając strumień powietrza dostarczanego do spalania (a co za tym idzie wartość współczynnika nadmiaru powietrza λ). Przy użyciu analizatora bada się skład spalin pod kątem zawartości tlenu i zanieczyszczeń (CO, NOx). Jednocześnie mierzy się zawartość sadzy w spalinach metodą Bacharacha (pomiar na podstawie zaczernienia filtru papierowego). Wykonuje się też pomiar temperatury płomienia i spalin z wykorzystaniem termopar.

W drugiej części ćwiczenia student zapoznaje się z techniką pomiaru rozkładu rozpylonych i swobodnie opadających kropeł cieczy w powietrzu (analizator AWKD).

1. Spalanie paliw ciekłych

1.1. Spalanie kropeł paliwa

Spalanie paliw ciekłych w większości zastosowań polega na ich rozpyleniu i spalaniu zbioru kropeł, stąd ważny jest mechanizm spalania pojedynczej kropli.

W procesie spalania paliw ciekłych należy wyróżnić dwie fazy: odparowania, a następnie spalania par. Dlatego na szybkość spalania paliw ciekłych dominujący wpływ mają następujące czynniki:

- parowanie cieczy,
- mieszanie par z utleniaczem,
- kinetyka chemiczna reagowania paliwa z tlenem.

Szybkość parowania cieczy zależy przede wszystkim od strumienia ciepła dopływającego q do paliwa ciekłego, dlatego w kwasi-ustalonych warunkach wrzenia szybkość parowania m_p można określić jako $m_p = q/L_p$, gdzie L_p jest ciepłem parowania.

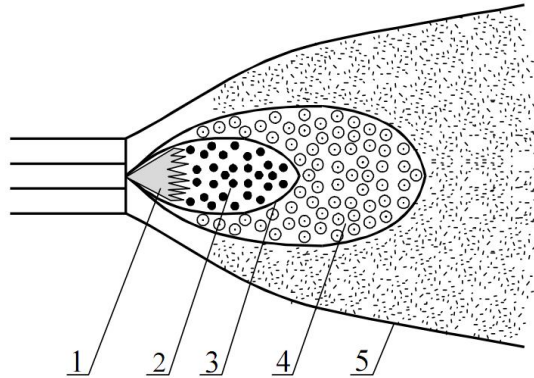
Dwa pozostałe czynniki – szybkość mieszania i kinetyka chemiczna – mają podobny wpływ na szybkość spalania, jak dla paliw gazowych.

Spalanie kropeł ciężkiego oleju jest bardziej złożone niż oleju lekkiego, ponieważ rozmiary kropeł są większe, nagrzewanie jest bardziej nierównomierne, a ponadto następuje termiczny rozkład paliwa. Najpierw z wierzchnich warstw kropli parują lekkie frakcje oleju, które spalają się

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

płomieniu wokół kropli. Następnie ulegają krakingowi ciężkie frakcje oleju, a produkty pirolizy zasilają płomień. Pozostałość koksowa, która zawiera przede wszystkim węgiel, wymaga znacznie większego czasu do spalania niż spalanie par, dlatego determinuje długość płomienia. Umownie spalanie kropelek ciężkiego oleju można podzielić na cztery etapy:

- I. czas indukcji zapłonu – zakończony zapłonem lekkich frakcji,
- II. spalanie – parowanie, kraking ciężkich frakcji oleju, formowanie się powłoki koksowej,
- III. mikroeksplozja – rozerwanie powłoki koksowej,
- IV. dopalanie cząstek koksulejowego.



Rys.1. Struktura płomienia rozpylonego oleju

- 1 – struga rozpylonej cieczy, 2 – strefa parowania, 3 – strefa zapłonu,
4 – strefa spalania indywidualnych kropelek, 5 – granice płomienia

1.2. Rozpylanie paliw ciekłych

Paliwa ciekłe spala się w postaci rozpylonej, ponieważ rozdrobnienie na krople zapewnia dużą intensywność parowania cieczy. Z tego powodu rozpylanie ma bardzo ważne znaczenie dla jakości spalania paliw ciekłych.

Istota rozpylania cieczy w strudze polega na pokonaniu napięcia powierzchniowego cieczy przez siły zewnętrzne lub wewnętrzne:

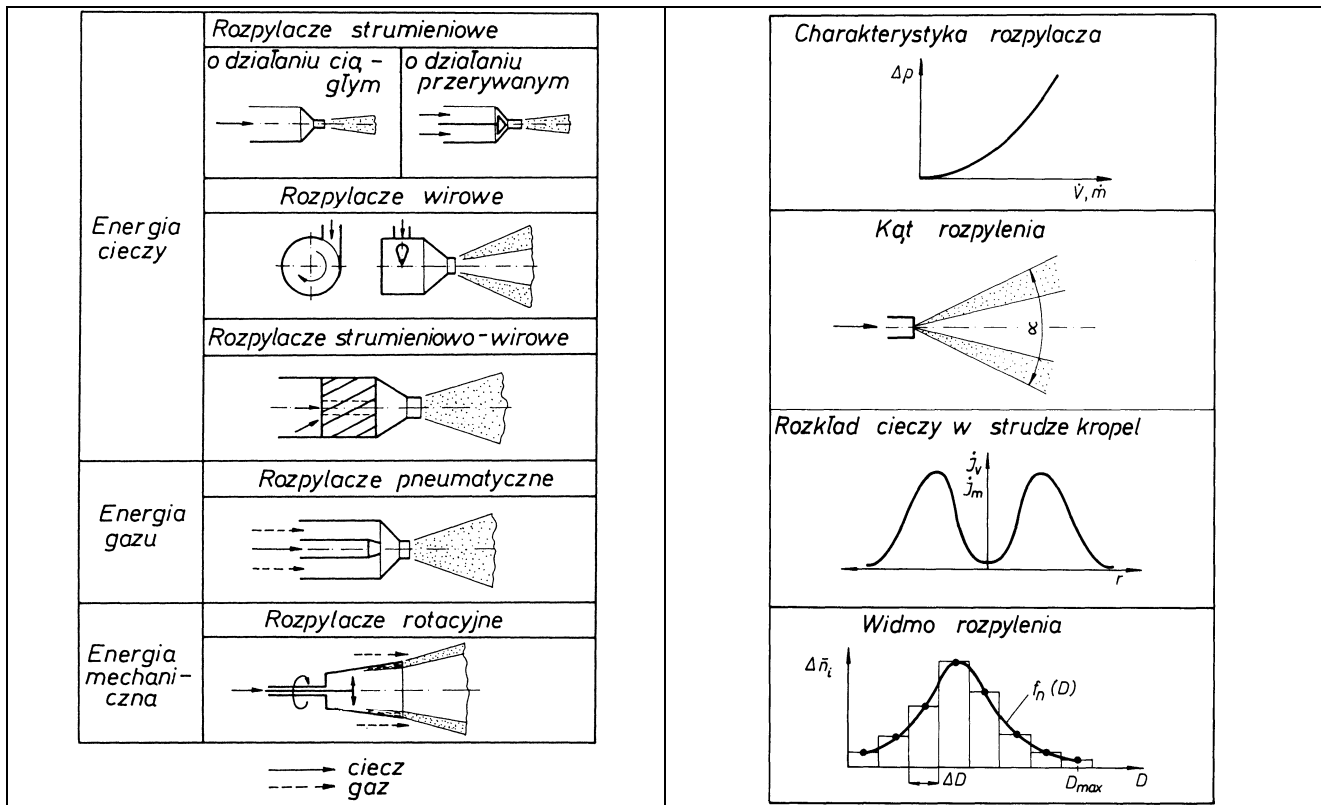
- naprężenia styczne na powierzchni strugi, wywołane różnicą prędkości między cieczą a powietrzem, które destabilizuje strugę, wywołując jej rozkład,
- siły odśrodkowe ruchu wirowego strugi, siły wywołane wzrostem ciśnienia w kropli na skutek parowania w jej wnętrzu,
- zewnętrzne siły mechaniczne, elektrostatyczne i ultradźwięków.

Na rysunku 2. przedstawiono schematycznie rozpylacze należące do wymienionych grup. W praktyce największe zastosowanie znalazły dwa pierwsze z wymienionych typów rozpylaczy.

Rozpylacz cieczy scharakteryzowany jest przez kilka parametrów, wśród których do najważniejszych należą (rys. 3.):

- wydajność,
- kąt rozpylania,
- rozłożenie kropelek,
- jakość rozpylania.

Jakość rozpylania ma zasadnicze znaczenia dla jakości oraz efektywności procesu spalania rozpylonych paliw ciekłych. W warunkach technicznych gorszemu rozpyleniu paliwa towarzyszy m.in. gorsze wypalenie objawiające się zwiększoną emisją CO oraz sadzy.



Rys. 1. Klasyfikacja rozpylaczy

Rys. 2. Wybrane parametry rozpylaczy

1.3 Parametry rozpylonej strugi cieczy

Z praktycznego punktu widzenia, pod pojęciem rozpylania cieczy należy rozumieć rozpad cieczy na małe lub bardzo małe krople. Zachodzi to najczęściej przy dużej prędkości wypływu cieczy z rozpylacza, tj. ok. 100 m/s. Rozpad cieczy na krople przebiega łatwiej, jeżeli ciecz występuje w formie podatnej na rozpad. Najbardziej podatne są cienkie strugi lub błony cieczy, gdyż w obu tych formach energia powierzchniowa jest największa, a przez to największa jest też ich niestateczność. Wynika z tego, że zadaniem rozpylaczy jest przede wszystkim wytworzenie strug lub błon cieczy. Obecnie brakuje jednolitej teorii rozpylania cieczy. Wiadomo jednak, że powinna ona opierać się na turbulencji cieczy, kawitacji w rozpylaczu i działaniu aerodynamicznym otoczenia [1].

Parametry rozpylonej strugi cieczy należy podzielić na makroparametry (zewnętrzne) i mikroparametry (wewnętrzne). Podstawowymi parametrami charakteryzującymi makrostrukturę rozpylonego strumienia kropeł są: kąt rozpylenia, zasięg strumienia, stopień jego asymetrii względem osi dyszy rozpylającej oraz intensywności zraszania w wybranym punkcie odległym od osi rozpylacza o dany promień (promieniowy rozkład gęstości zraszania). Podstawowymi parametrami charakteryzującymi mikrostrukturę strumienia są: jakość rozpylenia – zależna od rozrzutu średnic kropeł (różnicy pomiędzy maksymalną i minimalną średnicą kropli) i charakteryzująca tzw. równomierność zraszania, widmo rozpylenia czyli rozkład ilościowy kropeł wg średnic oraz wartości średnic średnic kropeł (arytmetycznej, powierzchniowej, objętościowej i Sautera).

Parametry zewnętrzne i wewnętrzne są ściśle ze sobą powiązane. Użytkownicy rozpylaczy powinni poddawać je okresowej kontroli. Kontrola nie powinna ograniczać się tylko do ogólnej oceny wyglądu rozpylaczy, lecz powinna obejmować kontrolne pomiary. Dotyczy to szczególnie rozpylaczy pracujących w skrajnie trudnych warunkach (na przykład rozpylaczy palnikowych).

Podstawowe wybrane parametry rozpylonej strugi cieczy definiuje się następująco:

Kąt rozpylenia α to kąt wierzchołkowy strugi kropeł wypływającej z dyszy do nieruchomego otoczenia. Kąt rozpylenia może być jednoznacznie określony tylko w próżni, gdzie możliwe jest

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

wyeliminowanie wpływu otoczenia. Kąt rozpylenia określa kształt zewnętrzny strugi kropeł. Rozpylacze strumieniowe z otworem o przekroju kołowym charakteryzują się bardzo małymi wartościami kąta α . Wartości większe, zależne od wewnętrznej geometrii, cechują rozpylacze wirowe i pneumatyczne. Dla rozpylaczy rotacyjnych żądany kąt rozpylenia α można uzyskać w przypadku wymuszonego odpływu rozpylacza przez gaz. Rozpylacze wirowe charakteryzują się dużym przedziałem kątów rozpylenia $\alpha \in (15 \div 120^\circ)$.

Średnie średnice kropeł są to wielkości umowne, które charakteryzują zbiór jednorodnych kropeł w zastępstwie zbioru rzeczywistego (widma rozpylenia). W zależności od metody i od sposobu obliczania, średnia średnica kropeł może określać taką wartość, jak: liczba, średnica, powierzchnia i objętość kropeł. Wybór średniej średnicy zależy od dziedziny zastosowania rozpylonej cieczy. Średnia średnica wprawdzie nie daje informacji o samym zbiorze kropeł, jest jednak najbardziej pogładową wielkością służącą do oceny jakości rozpylenia. Korzystając z odpowiednich średnich średnic kropeł, można dokonywać analizy większości zjawisk fizycznych i obliczeń dotyczących ruchu kropeł oraz wymiany ciepła i masy. Przykłady wykorzystania średnich średnic kropeł podano w tabeli 1. Posługiwanie się średnimi średnicami kropeł jest wystarczająco dokładne w obliczeniach inżynierskich.

Tabela 1. Średnie średnice kropeł

Nazwa średniej średnicy	Zastosowanie
Arytmetyczna	Porównywanie układów dyspersyjnych
Powierzchniowa	Zjawiska powierzchniowe, np. absorpcja, parowanie
Objętościowa	Zjawiska objętościowe
Sautera (objętościowo-powierzchniowa)	Zasięg kropeł, wymiana masy, wymiana ciepła
Proberta (względna objętościowa)	Parowanie, dyfuzja międzycząsteczkowa, spalanie
Masowa de Brouckere'a	Fracjonowanie kropeł, spalanie

Przyjmując do opisu parametrów rozpylonych kropeł (cząstek) następujące oznaczenia:

d - średnica cząstek (kropli),

n - liczba zmierzonych cząstek,

i - bieżący numer klasy wymiarowej (podczas pomiarów zbiór kropeł dzielimy maksymalnie na 256 klas wymiarowych wg średnic),

j - bieżący numer pomiaru,

można wyznaczyć najczęściej stosowane średnie średnice występujące w danej strefie obszaru zbioru cząstek, jak również w całym zbiorze wg zależności:

- średnia arytmetyczna średnica
$$D_n = \sum F_{ij} d_i, \quad (7)$$

- średnia powierzchniowa średnica
$$D_s = \sqrt{\sum F_{ij} (d_i)^2}, \quad (8)$$

- średnia objętościowa średnica
$$D_v = \sqrt{\sum F_{ij} (d_i)^3}, \quad (9)$$

- średnia objętościowa średnica ważona

wg powierzchni (Sautera)
$$D_a = \frac{(D_v)^3}{(D_s)^2}, \quad (10)$$

gdzie:
$$F_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum n_{ij}}.$$

W niektórych analizach wyznacza się **Medianę** (średnica cząstek wyznaczającą dokładnie 50% rozkładu) lub **Modę** (średnica cząstek najbardziej znaczących w rozkładzie).

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

Mając daną ilość cząstek w danej klasie, można obliczyć również całkowite udziały: średnicowe, powierzchniowe i objętościowe, dla danej klasy wymiarowej średnic w całym zbiorze kropeł wg zależności (11) – (13). Można wyznaczyć również tzw. średnicę geometryczną wg zależności (14).

$$\bullet \quad B_n = A_i \frac{d_i}{dn} \quad \text{– całkowity udział średnicowy } i\text{-tej klasy wymiarowej,} \quad (11)$$

$$\bullet \quad B_s = A_i \left(\frac{d_i}{ds} \right)^2 \quad \text{– całkowity udział powierzchniowy } i\text{-tej klasy wymiarowej,} \quad (12)$$

$$\bullet \quad B_v = A_i \left(\frac{d_i}{dv} \right)^3 \quad \text{– całkowity udział objętościowy } i\text{-tej klasy wymiarowej,} \quad (13)$$

$$\bullet \quad d_{geo} = \frac{\sum_i n \cdot \log(d_i)}{\sum_i n} \quad \text{– Średnica geometryczna,} \quad (14)$$

gdzie: $A_i = \frac{\sum_j n_{ij}}{\sum_j \sum_i n_{ij}}$.

Wymiary kropeł zależą zarówno od wielkości kontrolowanych (geometria rozpylacza, ciśnienie rozpylania, rodzaj cieczy, jej temperatura, itp.), jak też od wielkości niekontrolowanych (turbulencja cieczy, zakłócenia, drgania itp.). W wyniku rozpylania powstają krople o zróżnicowanych średnicach, przy czym proces ich powstawania ma charakter statystyczny. Teoretyczne ustalenie liczby i średnicy kropeł na podstawie samego mechanizmu rozpadu jest praktycznie niemożliwe. Krople tworzą zatem zbiór statystyczny, w którym zmienną losową jest średnica kropeł d . Rozkład średnic kropeł tworzy **widmo rozpylania** (widmo średnic kropeł).

1.4 Widmo rozpylania

Zgodnie z zasadą statystyki matematycznej, pod pojęciem widma średnic kropeł rozumie się rozkład liczby kropeł Δn_i przynależnej do danego zbioru średnic (klasy) o stałej szerokości Δd reprezentowanego przez średnicę d_i odpowiadającą środkowi przedziału:

$$\left\langle d_i - \frac{\Delta d}{2}, \quad d_i + \frac{\Delta d}{2} \right\rangle. \quad (11)$$

Widmo rozpylania sporządza się na podstawie pomiarów średnic kropeł. Pomiar polega na zakwalifikowaniu każdej średnicy do odpowiedniego przedziału średnic kropeł (u nas maksymalnie 256 klas). Szerokość przedziału (np. $\Delta d = 7 \mu\text{m}$) ustala się w zależności od metody pomiaru i wymaganej dokładności. Udział ilościowy kropeł ΔA_i w danym przedziale, odniesiony do całkowitej liczby kropeł n wyznacza się z zależności:

$$\Delta A_i = \frac{n_i}{n}, \quad (12)$$

gdzie n_i - liczba zmierzonych cząstek w danej klasie, n – całkowita liczba zmierzonych cząstek. Na podstawie udziału ilościowego sporządza się wykres (histogram) udziału ilościowego kropeł $\Delta A_i = f(d)$ (ciągła czarna linia na rys. 1). Można także wyznaczyć krzywą sumarycznego rozkładu

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

ilościowego kropel poprzez sumowanie odpowiednich rzędnych krzywej rozkładu ilościowego

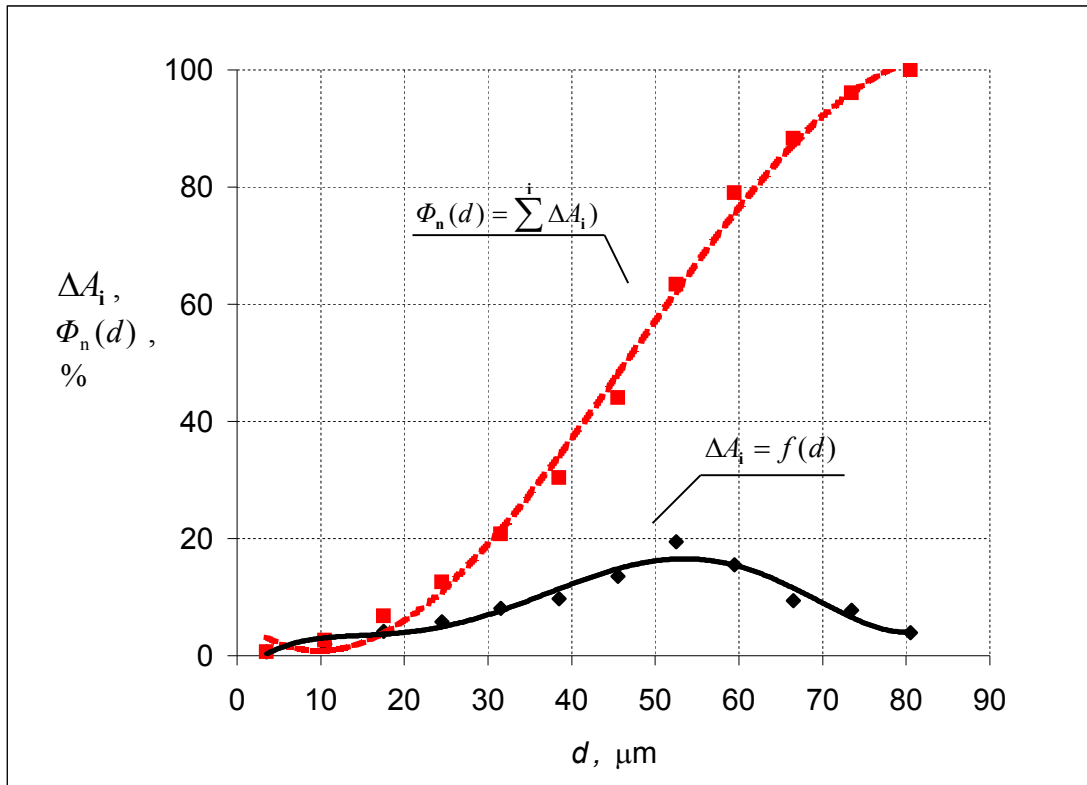
kropel ($\Phi_n(d) = \sum_1^i \Delta A_i$) (przerywana czerwona linia na rys. 1)..

Krzywa sumarycznego rozkładu ilościowego kropel powstaje w wyniku sumowania odpowiednich rzędnych krzywej (histogramu) rozkładu ilościowego kropel – punkty na obu krzywych korelują ze sobą. Krzywa sumarycznego rozkładu ilościowego kropel niesie informację jaki jest udział ilościowy (procentowy) kropel o średnicach mniejszych od średnicy wskazanej w całkowitej liczbie kropel. Poniżej w tabeli 2 przedstawiono przykład analizy wyników pomiaru widma rozpylonych kropel i uzyskane na jej podstawie wykresy (krzywe) udziału ilościowego i sumarycznego udziału ilościowego kropel przedstawione na rys. 3.

Tabela 2. Wyniki pomiarów widma rozpylonych kropel

Nr klasy pomiarowej	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zakres średnic, μm	0-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77	77-84
Środek przedziału, μm	3,5	10,5	17,5	24,5	31,5	38,5	45,5	52,5	59,5	66,5	73,5	80,5
liczba kropel w klasach	2	6	13	18	25	30	42	60	48	29	24	12
Liczba wszystkich kropel	309											
Udział ilościowy, %	0,65	1,94	4,21	5,83	8,09	9,71	13,59	19,42	15,53	9,39	7,77	3,88
Udział sumaryczny, %	0,65	2,59	6,80	12,62	20,71	30,42	44,01	63,43	78,96	88,35	96,12	100

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

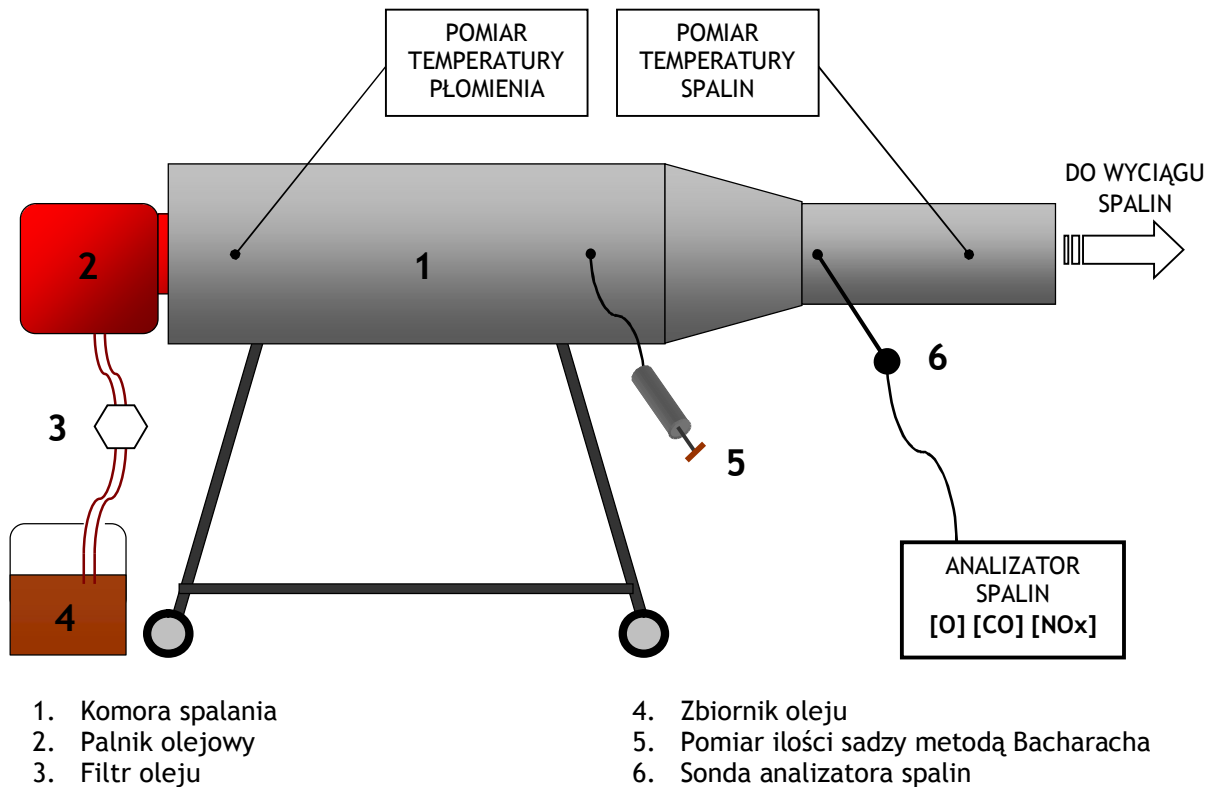


Rys. 3. Krzywa rozkładu ilościowego i krzywa sumarycznego rozkładu ilościowego kropeł

W analogiczny sposób powstają wykresy dotyczące rozkładu powierzchni, rozkładu objętości i masy kropeł. Więcej informacji na temat wyznaczania parametrów rozpylonej strugi i funkcji ilościowego rozkładu kropeł znajduje się w pracach [1-3, 6]

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

2. Schemat stanowiska do badania jakości spalania paliw ciekłych



Uwaga! Schematów z instrukcji nie wolno wykorzystywać w sprawozdaniach!

2.1 Sposób opracowania wyników

5.1. Wyznaczenie współczynnika nadmiaru powietrza λ

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_2}$$

gdzie: λ – współczynnik nadmiaru powietrza
21 – zawartość tlenu w powietrzu (procent)
 O_2 – zawartość tlenu w spalinach (procent)

5.2. Przeliczenie poziomu zanieczyszczeń na odniesiony do stałej zawartości tlenu 3%

$$CO^{3\%} = CO^{zm} \cdot \frac{21-3}{21-O_2}$$

$$NO_x^{3\%} = NO_x^{zm} \cdot \frac{21-3}{21-O_2}$$

gdzie: $CO^{3\%}$ – przeliczona zawartość CO w spalinach (ppm)
 $NO_x^{3\%}$ – przeliczona zawartość NO_x w spalinach (ppm)

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

CO – zmierzona zawartość CO w spalinach (ppm)
NO_x – zmierzona zawartość NO_x w spalinach (ppm)
21 – zawartość tlenu w powietrzu (procent)
3 – referencyjna zawartość tlenu w spalinach (procent)
O₂ – zawartość tlenu w spalinach (procent)

2.2. Wykonanie wykresów

W sprawozdaniu należy wykonać wykresy zależności: emisji zanieczyszczeń przeliczonych na 3% udział tlenu w spalinach (CO^{3%} oraz NO_x^{3%}), zawartości sadzy (S), oraz temperatury płomienia i spalin (t_p i t_s), od współczynnika nadmiaru powietrza (λ).

2.3. Zestawienie mierzonych wartości

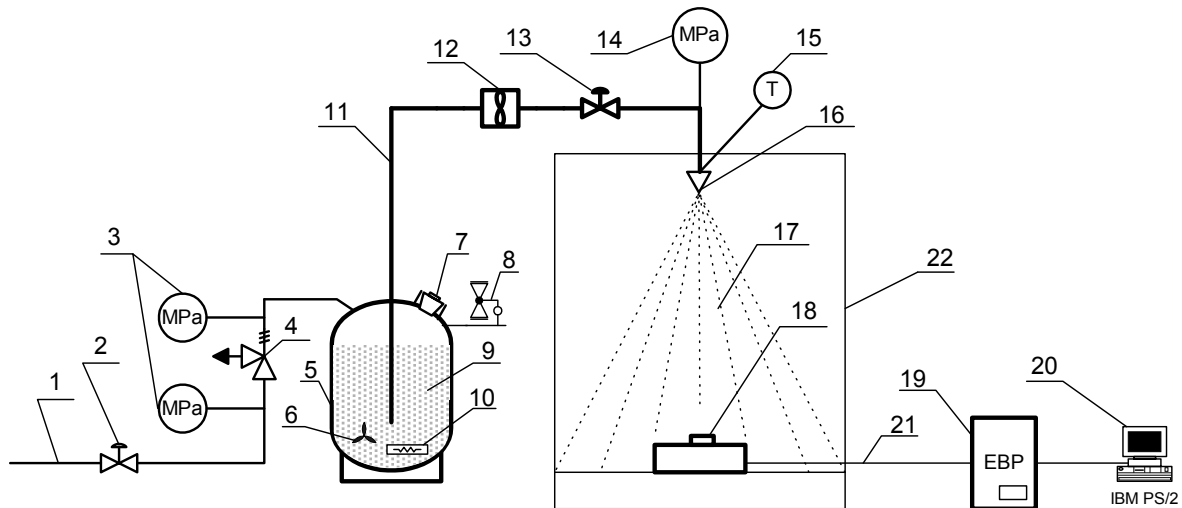
numer pomiaru	temperatura		skład spalin			ilość sadzy S
	płomie- nia t _p	spalin t _s	O ₂	CO	NO _x	
-	°C		%	ppm	ppm	°B
1						
2						
...						

3. BADANIA WYBRANYCH PARAMETRÓW ROZPYLONEJ STRUGI KROPEL

3.1. Przygotowanie układu eksperymentalnego do badania

Zidentyfikować i sprawdzić poprawność połączenia instalacji pneumatycznej i hydraulicznej stanowiska badawczego zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 5. Poprosić opiekuna dydaktycznego o kontrolę układów pneumatycznego i hydraulicznego.

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW



Rys. 5. Schemat stanowiska do badania jakości rozpylania

- 1 – instalacja sprężonego powietrza 0-0,6 MPa, 2 – pneumatyczny zawór odcinający, 3 – manometry gazowe, 4 – reduktor ciśnienia, 5 – zbiornik hydroforowy, 6 – mieszadło (opcja), 7 – otwór wlewowo-rewizyjny, 8 – zawór bezpieczeństwa, 9 – rozpylana ciecz, 10 – grzejnik (opcja), 11 – instalacja hydrauliczna, 12 – miernik przepływu (opcja), 13 – zawór spryskiwacza, 14 – manometr cieczowy (opcja), 15 – czujnik temperatury (opcja), 16 – dysza, 17 – struga rozpylonej cieczy, 18 – sonda, 19 – elektroniczny blok pomiarowy, 20 komputer z oprogramowaniem, 21 - kabel sygnałowy 20 m, 22 – komora natryskowa

Przystąpić do zidentyfikowania poszczególnych części składowych systemu pomiarowego AWKD, sprawdzić poprawność połączeń. Następnie po sprawdzeniu przez opiekuna dydaktycznego i na jego wyraźne polecenie uruchomić system. Następnie zapoznać się z praktyczną obsługą programów AWKD i COMPARE.

3.2. Procedura wykonania pomiarów

Po sprawdzeniu przez opiekuna dydaktycznego i na jego wyraźne polecenie wykonać procedurę sprawdzenia poprawności działania układu rozpylania cieczy i przystąpić do badań. Czynności sprawdzające układu badawczego do badania jakości rozpylania wykonać w kolejności:

1. Wybrać i zamontować odpowiednią dyszę do badań;
2. Uzupelnąć w zbiorniku hydroforowym (w razie konieczności lub na polecenie opiekuna dydaktycznego) czynnik do rozpylania (wskazaną ciecz);
3. Pokrętkę nastawy reduktora ustawić tak aby za reduktorem panowało niskie ciśnienie po podłączeniu do instalacji sprężonego powietrza (w pozycji wykręconej, wykręcamy w lewo);
4. Sprawdzić poprawność zamknięcia otworu wlewowo-rewizyjnego;
5. Podać ciśnienie do układu pneumatycznego przez otwarcie zaworu pneumatycznego;
6. Ustawić żądane ciśnienie za reduktorem np. 0,05 MPa;

UWAGA!!! Za reduktorem nie przekraczać ciśnienia 0,4 MPa

7. Otworzyć zawór spryskiwacza;
8. Ocenić wizualnie jakość rozpylania;
9. Zamknąć zawór spryskiwacza;
10. Uruchomić program AWKD i ustawić odpowiednie parametry pomiaru zgodnie z opisem podanym w punkcie 4.4 niniejszego opracowania;

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

11. Ponownie otworzyć zawór spryskiwacza;
12. Ustawić żądane ciśnienie za reduktorem;
13. Po ustabilizowaniu ciśnienia uruchomić rejestrację wyników (kliknięcie ikony **Pomiar**);
14. Zapisać i/lub wydrukować dane pomiarowe;
15. Przystąpić do kolejnej rejestracji pomiarów zmieniając np. ciśnienie lub inne parametry procesu rozpylania;
16. Po zakończeniu pomiarów zamknąć program AWKD, zamknąć zawór spryskiwacza, zredukować ciśnienie za reduktorem do ok. 0.05 MPa, zamknąć zawór pneumatyczny.
17. Uruchomić program COMPARE, a następnie porównać otrzymane wyniki i przeprowadzić ich analizę.

3.3. Zadania do wykonania

- Dla wybranej dyszy wykonać serię pomiarów jakości rozpylania w funkcji ciśnienia rozpylania (np. 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35 MPa) – przyjąć stałość temperatury i ciśnienia w trakcie badań;
- Określić wartość kąta rozpylania w zależności od ciśnienia rozpylania;
- Przy pomocy programu COMPARE wykonać krzywe rozkładu ilościowego i/lub krzywa sumarycznego rozkładu ilościowego kropeł i na ich podstawie przeprowadzić dyskusję dotyczącą wpływu ciśnienia na jakość rozpylania;
- Dla wybranego ciśnienia rozpylania zbadać równomierność zraszania w funkcji odległości sondy od osi rozpylacza (np. 0; 15; 30; 45 cm) – przyjąć, że rozkład intensywności zraszania jest osiowo-symetryczny;
- Przeprowadzić analizę otrzymanych wyników badań jakości rozpylania i podać wnioski.

Uwaga!!! Opiekun może na bieżąco zmodyfikować listę zadań.

Z przeprowadzonego ćwiczenia należy wykonać sprawozdanie, które jest podstawą do jego zaliczenia.

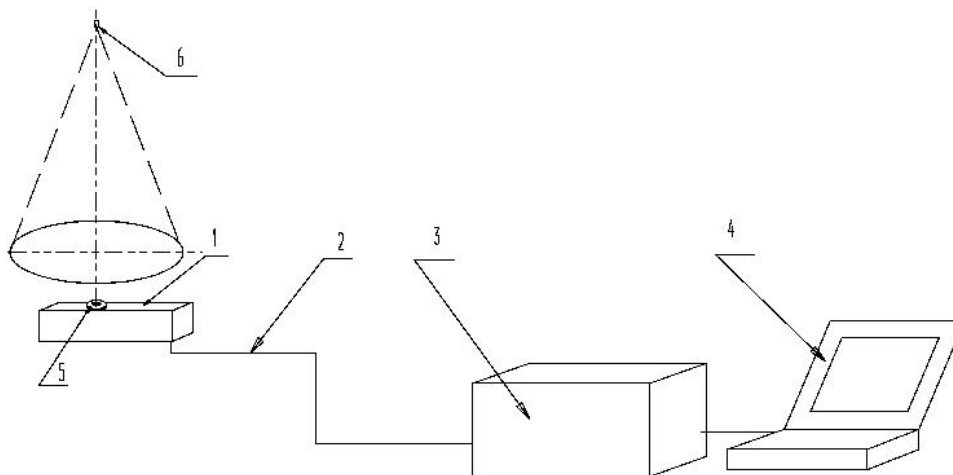
4. Opis metody badawczej realizowanej przez analizator AWK D System

Analizator AWK jest przyrządem do pomiaru rozkładu rozpylonych i swobodnie opadających kropeł cieczy w powietrzu, w zakresie od 10 μm do 1 mm. Może być stosowany w warunkach laboratoryjnych lub poligonowych.

Metoda pomiaru rozpylonych kropeł cieczy realizowana przez analizator *AWKD System* oparta jest o zjawisko fotoelektryczne. Technika pomiaru polega na tym, że strumień promieniowania podczerwonego w czujniku jest rozpraszany przez przelatujące przez strefę pomiaru krople. Każdej kropli odpowiada impuls elektryczny detektora fotoelektrycznego proporcjonalny do jej wielkości. Zbiór kropeł jest pierwotnie mierzony i przypisany do 4096 klas wymiarowych. Prędkość zliczania kropeł wynosi ok. 10 tys. na sekundę. Po pomiarze zbiór kropeł jest kalibrowany (przeliczany) na 256 klas wymiarowych, dostępnych dla użytkownika. Pomiar odbywa się automatycznie, a wyniki pomiarów z sondy pomiarowej są zdalnie pobierane przez kartę przetwornika A/C IPS i rejestrowane w pamięci komputera. W trakcie badania jest dostępna wizualizacja pomiarów on-line na monitorze. Pomiar i obróbka danych pomiarowych możliwa jest dzięki dołączonemu oprogramowaniu zawierającemu program AWK, program OSCYLOSKOP, program COMPARE i programy kalibracyjne.

4.1. Budowa systemu AWK D

Analizator AWKD (Rys.6) składa się z sondy {1}, w której znajduje się przetwornik fotoelektryczny połączony z elektronicznym blokiem pomiarowym EBP {3} kablem {2}. W EBP {3} formowane są impulsy elektryczne, proporcjonalne do średnic kropeł. EBP połączony jest przez kabel USB 2.0. do komputera {4}, gdzie analizowany jest kształt i amplituda impulsu. Wyniki pomiaru są zapisywane w pamięci komputera. Wyniki przedstawiane są na ekranie, a sterowanie przyrządem odbywa się za pomocą klawiatury. Sonda {1} ma trzy wymienne wloty kropeł {5}, których używa się w zależności od koncentracji i wielkości kropeł. Koncentracja kropeł zależna jest od natężenia przepływu cieczy w rozpylaczu i odległości badanego rozpylacza {6} od sondy {1}.



Rys. 6. Schemat budowy systemu AWK

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

4.2. Uruchamianie systemu AWK D

W celu uruchomienia systemu należy wykonać następujące czynności:

- Sprawdzić czy sonda jest prawidłowo zamontowana i ustawiona;
- Włączyć komputer i załogować się do MS Windows;
- Włączyć przycisk sieciowy z tyłu EBP i sprawdzić czy świeci się zielona dioda READY – oznaczająca, że przyrząd jest gotowy do pomiaru.
Uwaga! – świecąca czerwona dioda oznacza, że przyrząd skończył pomiar;
- Wybrać odpowiedni program obsługi analizatora AWKD.

Do obsługi Analizatora AWK służą podstawowe trzy programy komputerowe:

- OSCYLOSKOP – program do kontroli pracy analizatora, może służyć również do obserwacji pojedynczych cząstek;
- AWK D – właściwy program pomiarowo-obliczeniowy;
- COMPARE – program do porównań wyników pomiarów wykonanych przy pomocy sondy AWK D.

UWAGA! W danej chwili można używać wyłącznie jednego programu.

4.3. Pomiary przy pomocy programu AWKD

Po wybraniu programu AWKD rozpoczyna on pracę od testowania karty przetwornika A/C (A/D). Sygnalizowane są ewentualne błędy lub brak karty. W przypadku braku karty nie można wykonać pomiaru. Można natomiast wykonywać obliczenia i wydruki, oraz wczytywać zapisane wcześniej pomiary.

W przypadku błędu należy wyłączyć komputer oraz blok elektroniczny, sprawdzić gniazda wszystkich kabli i włączyć sprzęt ponownie.

Jeżeli test systemu wypadł pozytywnie na ekranie pojawi się okno główne programu AWKD.

Główne okno programu AWKD wygląda następująco:



Okno to zawiera informacje o podstawowych ustawieniach programu. Znajdują się tu informacje o aktualnych podstawowych ustawieniach i parametrach programu oraz lokalizacje katalogów, w

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

których zapisywane są dane. Widać także nazwę ostatnio zmierzonych / wczytanych wyników pomiarów, które program zapamiętał.

Poszczególne menu programu AWKD można wybrać przez kliknięcie na nim lewym klawiszem myszy lub z klawiatury po naciśnięciu klawisza Alt + podkreślona litera w każdym z menu.

4.3.1. Menu USTAWIENIA



Polecenie **Parametry Pomiaru** składa się z 2 zakładek – **Opis pomiaru** i **Parametry**.

Opis pomiaru służy do identyfikacji wykonywanego pomiaru, UWAGA! **Nazwa pliku z wynikami** musi być za każdym razem zmieniona. **Nazwa pliku z wynikami** może mieć do 8 znaków. Jeżeli nazwa pliku pozostanie taka sama, nowy pomiar zostanie nadpisany na poprzedni i wcześniejsze dane pomiarowe zostaną utracone.

Nazwa Pomiaru może być dowolnie długa i służy lepszej identyfikacji pomiaru w bazie. Pozostałe pola służą do szczegółowego opisu pomiaru.

Uwaga!!! Polecenia: **Waga całkowita**, **Waga nadziarna**, ... nie dotyczą AWKD !!!.

W zakładce **parametry** można ustalić niektóre parametry sterujące pomiarem oraz dotyczące wizualizacji pomiaru. Ważniejsze z nich to:

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

Parametry

Wykres

Histogram

Wykres liniowy

Lupa 0

Klasy 256

Zakres 1

Dmax 2866

Zakończenie pomiaru

Ilość 100000000

Czas [s] 0

Wykres - sposób wizualizacji pomiaru,

Klasy - ilość klas na jakie dzielony jest zakres pomiarowy,

Zakres - umożliwia ustawienie zakresu średnicy maksymalnej D_{max} podanej programowo,

Zakończenie pomiaru - określa warunki brzegowe, po osiągnięciu których automatycznie zostanie zakończony pomiar (do wyboru mamy ilość zliczonych kropeł lub czas pomiaru).

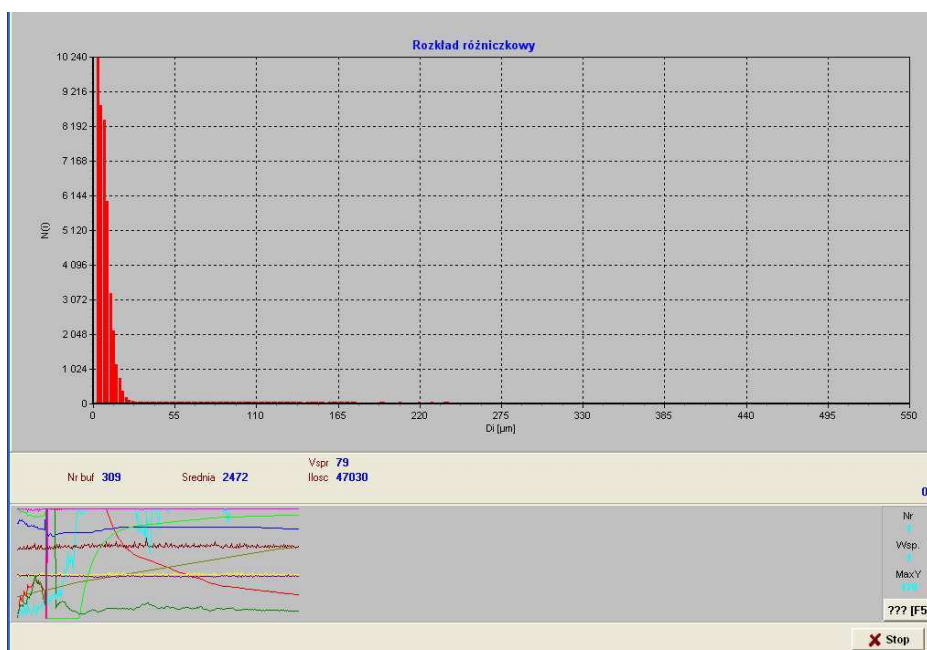
Polecenie **Zapisz parametry** umożliwia zapisanie wprowadzonych zmian do zbioru parametrów. Należy odpowiednio nazwać zbiór (plik) z parametrami. Nazwa pliku sterującego może mieć do 8 znaków.

4.3.2. Menu **POMIAR** – właściwy pomiar widma rozpylonych kropeł

Polecenie Pomiar - Ten etap stanowi właściwy pomiar. Przed jego wykonaniem powinny być przygotowane i włączone rozpylacze. Na ekranie pojawi się układ współrzędnych z podziałką **Ni[sztuk]** na osi Y oraz **Di[mm]** na osi X.

Aby rozpocząć pomiar należy kliknąć przycisk **Start**.

Podczas pomiaru w czasie rzeczywistym rysowany jest histogram wielkości cząstek.



LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

Liczby znajdujące się pod wykresem oznaczają:

Nr buf - numer bufora do którego zapisywane są w danym momencie informacje,

Średnia - średnia ilość cząstek zliczana na sekundę,

Vspr - prędkość sprężarki (maksymalna wynosi 120),

Ilość - sumaryczna ilość cząstek zliczona w czasie pomiaru.

Przez kliknięcie na klawisz F5 można rozwinąć / schować legendę opisującą poszczególne linie na wykresie parametrowa dozowania.

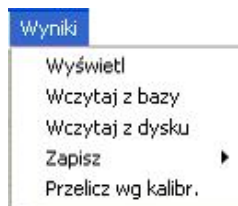
Zakończenie pomiaru - pomiar można zakończyć w następujący sposób:

- ❖ Zakończenie pomiaru automatycznie przez system na po spełnieniu warunków określonych w menu **Ustawienia** w zakładce **parametry**. Koniec pomiaru sygnalizowany jest zapaleniem się czerwonej diody na EBP.
- ❖ zakończenie wymuszone, istnieje możliwość zakończenia pomiaru klawiszem ESC lub po kliknięciu na klawisz **Stop**.

Po zakończeniu pomiaru histogram wielkości cząstek można wydrukować (ikona **Drukuj**) lub zapisać do pliku graficznego (ikona dyskiety i napis **plik**). Po kliknięciu na ikonę **OK** wyniki zostaną automatycznie zapisane. Kliknięcie na ikonę **Anuluj** oznacza rezygnację z zapisania wyników pomiarów.

4.3.3. Menu WYNIKI

Do ważniejszych poleceń menu **Wyniki** zaliczamy:



Wyświetl - polecenie to wyświetla wyniki pomiaru – aktualnie wykonanego lub wczytanego z pamięci komputera.

Wczytaj z bazy - polecenie to umożliwia wczytanie wcześniej zapamiętanych wyników pomiarowych, zapisanych w bazie, tj. w aktualnym katalogu z pomiarami.

Wczytaj z dysku - polecenie to umożliwia wczytanie wcześniej zapamiętanych wyników pomiarowych, zapisanych na 256 klas wymiarowych, w dowolnym miejscu na komputerze.

Po wczytaniu pliku z danymi pomiarowymi poleceniem **Wczytaj z bazy** lub **Wczytaj z dysku** i wyświetleniu ich poleceniem **Wyświetl** mamy do dyspozycji zakładki **Opis** (zakładka Opis zawiera dane podane w menu **Ustawienia** w poleceniu **Opis pomiaru**).

Zakładka **Tabela D** zawiera podstawowe średnie wyniki wykonanego pomiaru mianowicie:

Ilość – to ilość zliczonych cząstek ogółem

Czas – to czas trwania pomiaru

Dn – średnia wielkość cząstki w rozkładzie ilościowym [μm]

Ds – średnia wielkość cząstki w rozkładzie powierzchniowym [μm]

Dv – średnia wielkość cząstki w rozkładzie objętościowym [μm]

Da – średnia Sautera [μm] (średnia objętościowa średnica zważona wg powierzchni)

Dgeo – średnia geometryczna [μm]

Dmed – mediana (średnica cząstek wyznaczająca dokładnie 50% rozkładu ilościowego)

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

Dmod – moda (średnica cząstek najbardziej znaczących w rozkładzie ilościowym)

Opis	Tabela D	Tabela Bin	Wykres Ai	Wykres Bn	Wykres Bs	Wykres Bv
Ilość	1488060					
Czas	205,0					
Dn	9,4					
Ds	11,0					
Dv	12,6					
Da	16,4					
Dgeo	7,8					
Dmed	8,2					
Dmod	6,2					

SSC = 2.765

WK = 3.406

WObj = 245.336

Zakładka **Tabela Bin** przedstawia wyniki pomiarów rozdzielone na równe 256, 64, 32, 24, 16 lub 8 klas wymiarowych. Zawiera one następujące informacje:

Ni – liczba kropeł w danej klasie,

Ai – udział ilościowy (procentowy) kropeł z poszczególnych klas,

Bn – udział ilościowy (procentowy) kropeł względem średnicy,

Bs – udział ilościowy (procentowy) kropeł względem powierzchni,

Bv – udział ilościowy (procentowy) kropeł względem objętości.

Opis	Tabela D	Tabela Bin	Wykres Ai	Wykres Bn	Wykres Bs	Wykres Bv
No	D(i)	Ni	Ai	Bn	Bs	Bv
	[µm]		[%]	[%]	[%]	[%]
	Dmed	8,2	7,8	11,8	14,9	18,5
	Dmod	6,2	6,6	10,2	12,6	15,9
1	0.66	21649	1.45	0.20	0.02	0.00
2	1.52	45179	1.58	0.29	0.04	0.00
3	1.93	73159	1.88	0.42	0.07	0.01
4	2.33	106045	2.21	0.59	0.12	0.02
5	2.73	140831	2.34	0.73	0.17	0.03
6	3.14	181248	2.72	0.96	0.25	0.05
7	3.54	221783	2.72	1.08	0.32	0.07
8	3.94	265868	2.96	1.30	0.42	0.11
9	4.35	311733	3.08	1.49	0.53	0.15
10	4.75	359240	3.19	1.68	0.65	0.20

4.3.4. Menu OPCJE

Polecenia **Parametry** opisują parametry pomiaru.

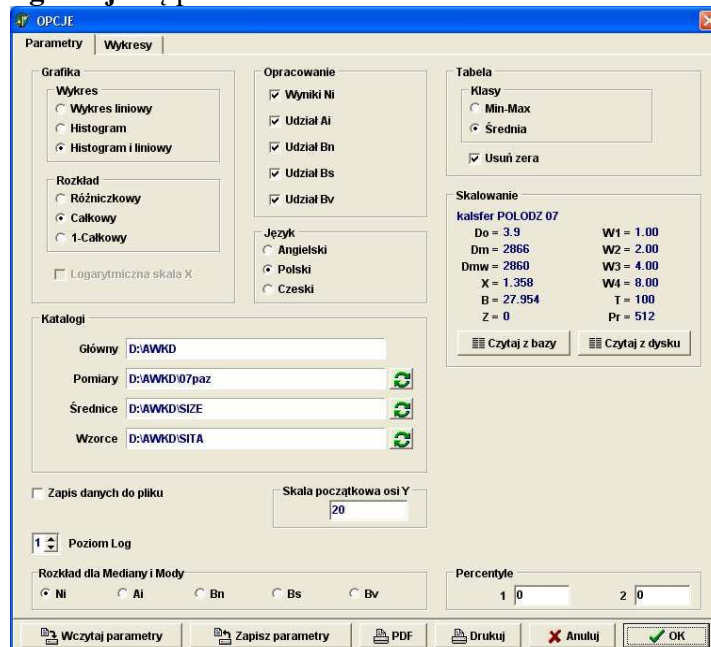
LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

Polecenie **Wykresy** pozwala zmienić wygląd i skalę wykresu i dopasować go do indywidualnych preferencji użytkownika.

UWAGA!!!

Z pozostałych funkcji menu należy korzystać po zapoznaniu się z instrukcją [7].

Funkcje **Serwis** i **Konfiguracja** są przeznaczone dla serwisu.



4.4. Analiza wyników przy pomocy programu COMPARE

Program ten umożliwi użytkownikowi:

- Umieszczenie w celu porównania w jednej tabeli lub na jednym wykresie wyników pomiarów wielu prób (ze względu na wielkość tabeli i czytelność wykresów ilość wyników do jednoczesnego porównania ograniczono do 10),
- Porównywanie wyników pomiarów wykonywanych w różnych terminach, różniące się zakresami pomiarowymi, liczbą klas oraz kalibracją,
- Kasowanie zbiorów zawierające wyniki, które po porównaniu użytkownik uzna za niepotrzebne,
- Drukowanie tabel i wykresów będących wynikiem porównań.

4.4.1. Obsługa programu COMPARE

Wywołać program COMPARE, poprzez kliknięcie na skrót umieszczony na pulpicie. Na ekranie ukaze się menu główne:

W menu głównym mamy dostępne ikony:

Dane - wybór zbiorów zawierających wyniki pomiarów oraz konfigurację sit bezpośrednio z dysku

Baza - wybór zbiorów zawierających wyniki pomiarów oraz konfigurację sit za pośrednictwem bazy danych (widać opisy zbiorów),

Opcje - wybór sposobu prezentacji w tabeli i grafice;

Tabela - prezentacja wyników w tabeli;

Grafika - prezentacja graficzna wyników;

Wyjście - zakończenie programu.

LABORATORIUM SPALANIA I PALIW

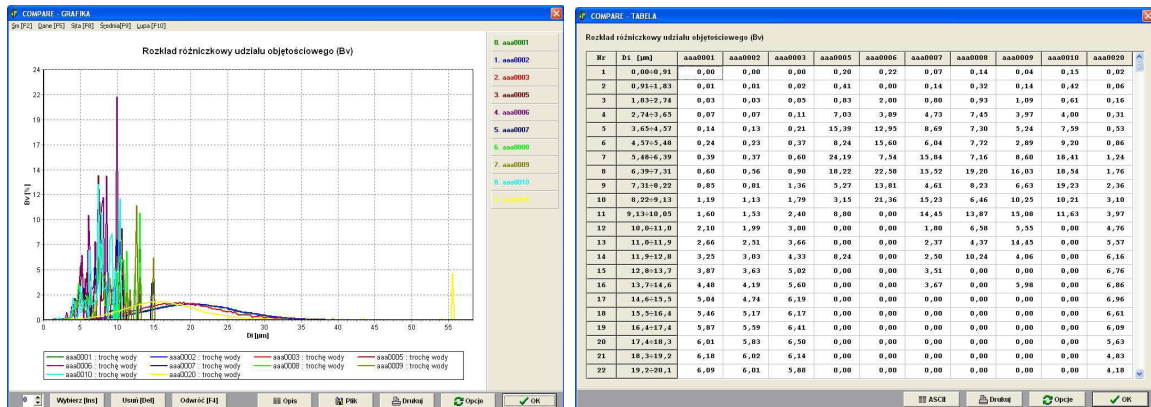
Aby rozpocząć pracę w programie należy określić katalog danych, w menu **Baza** lub **Dane** wybrać do 10 plików przeznaczonych do analizy z miejsca na dysku gdzie były zapisane (katalogu) i zapisać wybory klikając na polecenie **OK**.

Menu **Dane** pozwala na wybór zbiorów zawierających wyniki pomiarów oraz konfigurację sit bezpośrednio z dysku.

Dowolny zakres - można wybrać do porównania dowolne pomiary (tylko na wykresie);

Jeden zakres - można wybrać do porównania pomiary o tym samym Dm (zakres pierwszego wybranego zbioru z wynikami określa pozostałe), umożliwi prezentację wyników na wykresie, w tabeli oraz wyliczanie sumy i wartości średniej zbiorów.

Po wyborze wyników do analizy należy wybrać sposób prezentacji wyników z menu **Tabela** lub **Grafika**. Wyniki można wydrukować, zapisać lub obrabiać intuicyjnie wybierając ikonę z poleceniem.



Aby zakończyć program COMPARE najpierw trzeba wyjść do Menu Głównego. Pracę programu można zakończyć poprzez: kliknięcie myszą na ikonę końca (krzyżyk) naciśnięcie jednocześnie klawiszy Alt + F4 lub wybranie menu **Wyjścia**.

Bibliografia

- [1] Orzechowski Z, Prywer J., *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*, WNT, Warszawa 2008
- [2] Kordylewski W. i inni, *Spalanie i paliwa*, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008
- [3] Wilk R.K. i inni, *Laboratorium techniki spalania*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001
- [4] Pigoń K, Ruziewicz Z., *Chemia fizyczna*, PWN, Warszawa 1980
- [5] Żuczowski R. i inni, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1989
- [6] Gałąź J., Kieliszek S., Drzymała T., *Badanie wpływu zawirowania strumienia centralnego wybranej dyszy na parametry strumienia rozpylonego*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 5/2006
- [7] KAMIKA Instruments, AWKD System Analizator do pomiaru rozpylonych kropli cieczy, Instrukcja instalacji i obsługi, Warszawa 2008