

SPALANIE W NAPĘDACH LOTNICZYCH

LABORATORIUM

Ćwiczenie 5 - Granice palności paliw

Wprowadzenie

Paliwo lotnicze jest to rodzaj paliwa stosowany do napędzania silników statków powietrznych. Podział lotniczych paliw silnikowych przedstawiono w tabeli:

	Rodzaj paliwa	Zastosowanie	Typ statku powietrznego
	Benzyna lotnicza	Tłokowe silniki spalinowe ZI	Samoloty, śmigłowce
TURBINOWE	Ciężka benzyna	Silniki odrzutowe	
	Paliwa szerokofrakcyjne	Silniki odrzutowe, śmigłowcowe i śmigłowe	Samoloty, śmigłowce
	Nafta lotnicza	Silniki odrzutowe, śmigłowcowe i śmigłowe i raketowe	Samoloty, śmigłowce
	Oleje napędowe	Silniki odrzutowe i raketowe	Rakiety, samoloty
	Oleje napędowe	Lotnicze silniki tłokowe	samoloty

Paliwo lotnicze do silników odrzutowych jest frakcją nafty destylującą od 180 °C do około 300 °C. Olej napędowy jest mieszaniną węglowodorów destylującą od 180 °C do temperatury 360 °C. Oznacza to, że w paliwie lotniczym znajdują się lżejsze węglowodory niż w oleju napędowym. Nafta, czyli główny komponent paliwa lotniczego po odsiarczeniu jest jednym z komponentów oleju napędowego. Paliwo lotnicze musi mieć bardzo dobre własności niskotemperaturowe tj. temperaturę krystalizacji, która nie może być wyższa niż -47 °C i to przez cały rok. W oleju napędowym temperatura mętnienia nie jest limitowana i uwarunkowana jest porą roku (w lecie może mieć około 0 °C, w zimie około -10 °C).

Dla paliwa lotniczego oraz dla oleju napędowego są odrębne wymagania normatywne (normy), które muszą być spełnione, aby dopuścić produkt do sprzedaży. Na polskim rynku w ofercie jest paliwo lotnicze typu JET A-1 produkowane m. in. w Rafinerii Gdańskiej. Parametry paliwa JET A-1, a przede wszystkim współczynnik temperatury krystalizacji paliwa, który nie może być wyższy niż -47 °C, pozwalają na całoroczne korzystanie z jednego rodzaju paliwa lotniczego. Jednak w niektórych rejonach świata wykorzystuje się inne rodzaje paliwa lotniczego typu JET, np.: JET A – paliwo lotnicze stworzone głównie na potrzeby rynku USA, charakteryzuje się wyższą temperaturą krystalizacji -40 °C, która jest wystarczająca na tamtejsze warunki pogodowe, ale jest znacznie tańsze w produkcji od paliwa typu JET A-1. Na Kanadę i Alaskę przewidziane

„ZPR PWr – Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Wrocławskiej”

jest paliwo lotnicze typu JET B, które ze względu na panujące, ciężkie warunki pogodowe, charakteryzuje się temperaturą krystalizacji na poziomie -60 °C.

Podstawowe parametry lotniczych paliw silnikowych przedstawia tabela:

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa		Stosunek C/H	Udział wodoru
	MJ/kg	MJ/m ³		
Benzyna lotnicza	43,12-44,0	32,0-33,2	5,26-6,54	13,25-15,2
Ciężka benzyna	>43,0	30,6-32,2	5,9-6,25	13,8-14,5
Paliwo szerofrakcyjne	>42,9	32,5-33,6	5,95-6,3	13,7-14,4
Nafta lotnicza	42,5-43,12	34,0-35,9	5,99-6,35	13,6-14,3
Olej napędowy	42,5-43,1	36,0-36,5	6,1-6,52	13,3-14,1

Główne rodzaje paliw lotniczych dzieli się na: JET A, JET A-1, JET B, JET RT i JET TS (dwa ostatnie stosowane są głównie na rynku rosyjskim) dla silników turbinowych oraz benzyny lotnicze: Avgas 80 (niskoołowiowa), Avgas 100LL (ang. Low Lead, średnioołowiowa) oraz Avgas 100 (wysokoołowiowa), dla silników tłokowych. Cechami charakterystycznymi są fakty, że paliwo lotnicze ma dużo niższą liczbę cetanową niż olej napędowy, a także może mieć zawartość siarki 300 razy większą niż olej napędowy, a temperatura zapłonu w paliwie lotniczym jest niższa o około 20°C niż w oleju napędowym. Paliwo lotnicze ma niższą gęstość i lepkość, jak również zakres wrzenia.

Statki powietrzne General Aviation (GA), czyli lotnictwa ogólnego (obejmującego ruch komercyjny i prywatny z wyłączeniem lotów rozkładowych i wojskowych), w zależności od typu silnika zastosowanego do napędu, korzystają z tego samego rodzaju paliwa lotniczego co samoloty Civil Aviation (GA oraz loty pasażerskie i towarowe) – czyli JET A-1 dla silników odrzutowych i turbośmigłowych, lub benzyny lotniczej AVGAS 100LL dla silników tłokowych z zapłonem iskrowym.

Głównymi wymaganiami dotyczącymi paliw do lotniczych turbin gazowych są: niski koszt i łatwość dostępu, duża wartość opałowa, wysoka stabilność termiczna, niskie ciśnienie parowania, duże ciepło właściwe oraz małe ryzyko pożaru i wybuchu par. Z tym ostatnim związany jest wymóg oznaczania dla paliw ciekłych temperatury zapłonu, a także znajomość stężeńowych granic palności, w których może nastąpić zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej (nie każda mieszanina paliwowo-powietrzna jest palna). Dolna granica palności, to najniższe stężenie składnika palnego w mieszaninie z powietrzem lub innym utleniaczem, poniżej którego mieszanina przestaje być palna, lub wyżej którego możliwe jest samorzutne rozprzestrzenianie się płomienia w mieszaninie. Górna granica palności definiowana jest analogicznie, jako najwyższe stężenie paliwa w mieszaninie z utleniaczem, powyżej którego zapłon nie jest możliwy.

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi parametrami dotyczącymi palności paliw gazowych oraz ciekłych. Podczas ćwiczenia określone są (teoretycznie i eksperymentalnie) granice palności mieszaniny gazu palnego z powietrzem oraz minimalne temperatury zapłonu wybranych paliw ciekłych przy wykorzystaniu aparatu Martensa-Pensky'ego.

Wyznaczenie temperatury zapłonu cieczy

Ze względu na zagrożenia związane z transportowaniem i magazynowaniem cieczy palnych związanych z ich parowaniem i tworzeniem z powietrzem mieszanin palnych oznacza się w nich szereg parametrów, które pozwalają na zmniejszenie zagrożenia wystąpienia pożaru lub wybuchu. Jednym z takich parametrów, podawanych w tzw. kartach charakterystyk paliw ciekłych jest temperatura zapłonu (flash point). Wielkością tą określa się minimalną temperaturę cieczy, w której wystąpić może atmosfera wybuchowa mieszaniny par tejże cieczy z powietrzem. Jedną z możliwości określania tego parametru jest metoda z zamkniętym tygłem (ZT), przy użyciu np. półautomatycznego aparatu Pensky'ego-Martensa HFP 380, który przedstawiono na zdjęciu poniżej. Metoda ZT pozwala wyeliminować wpływ warunków zewnętrznych na wynik oznaczenia, dzięki zatrzymaniu par wewnątrz urządzenia badawczego.



Badanie polega na umieszczeniu badanej próbki w tygłu do określonego normą znaku. Następnie próbka jest podgrzewana ze stałą prędkością przy jednoczesnym mieszaniu. W określonych odstępach czasu w tygłu umieszcza się mały płomień gazowy (w tych momentach wyłączane jest mieszanie).

Podczas wykonywania ćwiczenia wykonuje się pomiar temperatury zapłonu (zgodnie z normą PN-EN ISO 2719 – procedura A stosowana dla paliw destylowanych, takich jak: olej napędowy, mieszaniny biodiesla, olej opałowy, paliwa turbinowe) dla kilku wybranych paliw ciekłych wg instrukcji aparatu HFP 380 dostępnego na stanowisku pomiarowym. W kolejnych krokach wykonać należy:

1. Pomiar ciśnienia atmosferycznego,
2. Wypełnienie tygla wybraną cieczą i zamontowanie go w aparacie,
3. Stopniowe ogrzewanie próbki wraz z mieszaniem,
4. Sprawdzanie zapłonu w określonych odstępach czasu (z wyłączonym mieszaniem),
5. Odczytanie temperatury w momencie wystąpienia wyraźnego rozbłysku.

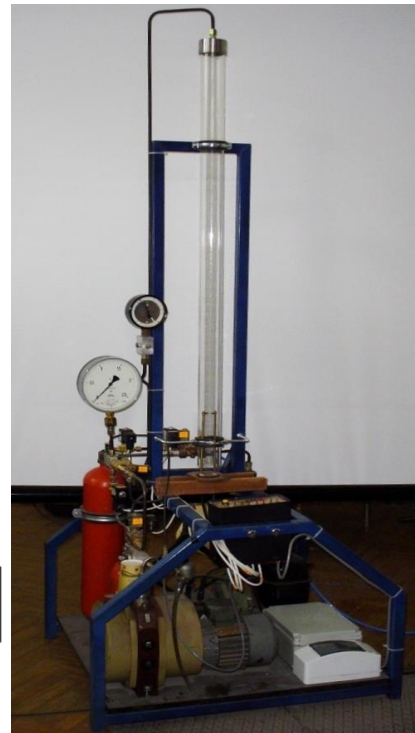
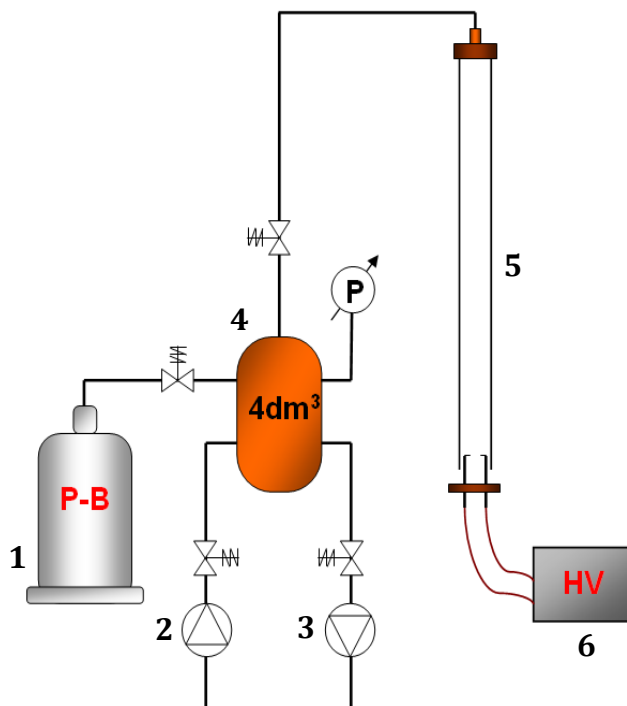
„ZPR PWr – Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Wrocławskiej”

Wyznaczenie granic palności gazów

Ćwiczenie polega na eksperymentalnym określeniu dolnej stężeniowej granicy palności (L_d) oraz sprawdzeniu, czy jest ona zgodna z wartością literaturową. W tym celu przygotowywane są mieszaniny (o kilku stężeniach) wybranego gazu palnego z powietrzem, a następnie sprawdzana jest możliwość ich zapłonu w komorze roboczej stanowiska pomiarowego.

W celu sporządzenia mieszaniny o konkretnym stężeniu do zbiornika o objętości 4 dm^3 , w którym przy ciśnieniu atmosferycznym znajdują się 4 litry powietrza, doprowadza się gaz palny, który w zbiorniku tworzy nadciśnienie. Następnie za pomocą sprężarki powietrza dopompowuje się dodatkowe powietrze celem zubożenia powstałej w zbiorniku mieszaniny. Jego ilość odpowiada zmierzonemu nadciśnieniu. Objętości dodanego gazu palnego i powietrza oblicza się przy pomocy metody ciśnień cząstkowych (Prawo Daltona), które mówi, że każdy z gazów tworzących mieszaninę można traktować tak, jakby sam zajmował całą objętość mieszaniny przy temperaturze tożsamej temperaturze całej mieszaniny, a ciśnienie jakie wywierałby wtedy jest ciśnieniem udziałowym – suma ciśnień udziałowych jest równa ciśnieniu całej mieszaniny. Po odczekaniu czasu potrzebnego na wymieszanie się obu składników mieszaninę podaje się do komory roboczej (wstępnie opróżnionej przy pomocy pompy próżniowej) i sprawdza się, czy ulega ona zapłonowi i czy nastąpiła propagacja płomienia w rurze. Każdą próbę powtarza się trzykrotnie dla kilku mieszanin i na podstawie otrzymanych wyników (wystąpienie/nie wystąpienie zapłonu) określa się przedział, w którym znajduje się dolna granica palności (L_d).

Schemat układu pomiarowego



1 – butla z gazem palnym, 2 – sprężarka powietrza, 3 – pompa próżniowa, 4 – zbiornik mieszanki palnej, 5 – przestrzeń robocza, 6 – zapalarka wysokonapięciowa

„ZPR PWr – Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Wrocławskiej”

Opracowanie wyników

1. Obliczyć dolną granicę palności badanego gazu palnego na podstawie wzoru Le Chateliera:

$$L_d = \frac{100}{\frac{a_1}{L_{d1}} + \frac{a_2}{L_{d2}}}$$

gdzie: **L_d - dolna granica palności mieszaniny,**

a_{1,2} – udział poszczególnych składników palnych, %,

L_{d1,2} – dolna granica palności poszczególnych składników, %.

2. Wyznaczyć stężenia gazu palnego w badanych mieszaninach paliwowo powietrznych na podstawie odnotowanych nadciśnień (wg podanego algorytmu opartego na Prawie Daltona).
3. Nanieść na oś stężeń rezultaty prób palności (z oznaczeniem wystąpienia zapłonu, bądź jego braku) oraz wyliczoną teoretyczną granicę palności (**L_d**).

Zestawienie mierzonych wartości

nr kolejny mieszaniny	Wartość nadciśnienia gazu palnego	wartość nadciśnienia dodanego powietrza	wystąpienie zapłonu
	bar	bar	tak / nie
1.			
2.			
...			

Literatura:

1. „Spalanie i paliwa“, pod red. W. Kordylewskiego, PWr, Wrocław 2008
2. Wykład do przedmiotu „Spalanie w napędach lotniczych“, PWr
3. Norma PN-EN ISO 2719:2016-08 – wersja polska
4. <https://www.infolotnicze.pl/>