

Kornel Dybich  
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

## Zasada metody oznaczania liczby cetanowej próbek paliw silnikowych na stanowisku badawczym z silnikiem Dresser Waukesha CFR (USA)

### Zasada metody badania

Liczba cetanowa oleju napędowego do silników o zapłonie samoczynnym oznaczana jest przez porównanie jego właściwości zapłonowych (zdolności do samozapłonu) z właściwościami zapłonowymi mieszanin paliw wzorcowych o znanych liczbach cetanowych w silniku badawczym pracującym w znormalizowanych warunkach, ściśle określonych przez odpowiednie normy badawcze.

Dokonuje się tego stosując metodę ujęcia odczytu wartości stopnia sprężania pozwalającego osiągnąć założone opóźnienie samozapłonu przy pracy na badanym paliwie w kłamerę analogicznych odczytów dokonanych dla paliw wzorcowych, co umożliwia interpolację liczby cetanowej (LC) w oparciu o te odczyty.

Oznaczenia liczb cetanowych paliw silnikowych wykonuje się zgodnie z normami: ASTM D613 i PN-EN ISO 5165. Normy te określają sposób oceny oleju napędowego w odniesieniu do przyjętej skali liczb cetanowych z użyciem znormalizowanego, jednocylindrowego, czterosuwowego silnika (fot. 1) o zapłonie samoczynnym, pośrednim

wtrysku paliwa do komory wstępnej i zmiennym stopniu sprężania 8:1 do 35:1.



Fot. 1. Stanowisko silnikowe Dresser Waukesha CFR (USA) do oznaczania liczby cetanowej (fot. INiG Kraków)

### Stanowisko badawcze do oznaczania liczby cetanowej olejów napędowych

Stanowisko badawcze do oznaczania liczby cetanowej olejów napędowych składa się z jednocylindrowego silnika z tłokową pompą wtryskową, cylindra z oddzielnym zespołem głowicy wraz ze wstępną komorą spalania, trzech zbiorników paliwowych, układu paliwowego, zespołu wtryskiwacza i układu wylotowego.

Silnik badawczy do oznaczania liczby cetanowej, podobnie jak w przypadku silników oktanowych, połączony

jest za pomocą przekładni pasowej z silnikiem elektrycznym odbierającym moc i utrzymującym stałą prędkość obrotową badawczego silnika po uruchomieniu na skutek zainicjowania procesu spalania.

Oprzyrządowanie silnika badawczego do oznaczania liczby cetanowej składa się z elektronicznego miernika kąta wyprzedzenia wtrysku i opóźnienia samozapłonu, czujnika spalania stukowego, termometrów do pomiarów

powietrza dolotowego, wody chłodzącej wtryskiwacz i cylinder, miernika ciśnienia oleju w skrzyni korbowej silnika

oraz dwóch grzałek elektrycznych do grzania powietrza dolotowego i oleju silnikowego.

### Zasada metody oznaczania liczby cetanowej olejów napędowych do zasilania silników o zapłonie samoczynnym

Oznaczanie liczby cetanowej oleju napędowego polega na doprowadzeniu do spalania badanego paliwa przy kącie wyprzedzenia wtrysku równym  $13^\circ \pm 0,2^\circ$  przed górnym martwym punktem (GMP), opóźnienia samozapłonu  $13^\circ \pm 0,2^\circ$  obrotu wału korbowego (OWK) od momentu wtrysku paliwa i wielkości dawki paliwa równej 13 ml/60  $\pm$  1 s.

Kąt wyprzedzenia wtrysku i wielkość dawki paliwa reguluje się na pompie za pomocą dwóch pokręteł mikrometrycznych sprzężonych z pompą wtryskową.

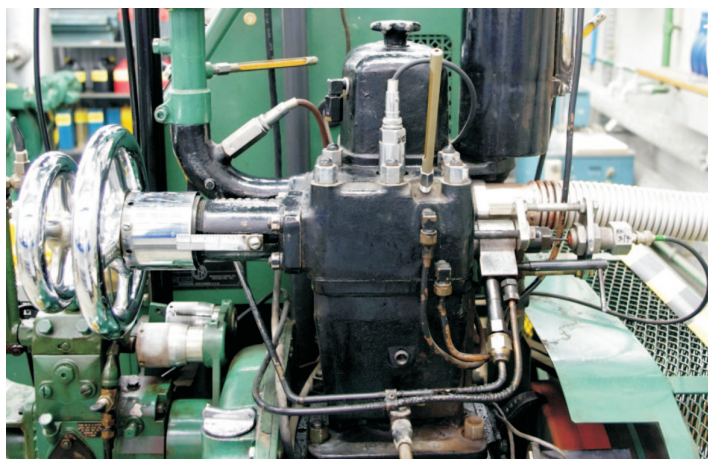
Kąt wyprzedzenia wtrysku reguluje się, działając pokrętelem mikrometrycznym na krzywkę podnoszącą tłoczek pompy wtryskowej, natomiast wymaganą wielkość dawki paliwa uzyskuje się poprzez obracanie tłoczka pompy wtryskowej drugim pokrętelem mikrometrycznym w kierunku zwiększenia lub zmniejszenia dozowania dawki paliwa.

Opóźnienie samozapłonu paliwa uzyskujemy przez zmianę objętości wstępnej komory spalania za pomocą mechanizmu ręcznej zmiany stopnia sprężania (fot. 2, rysunek 1).

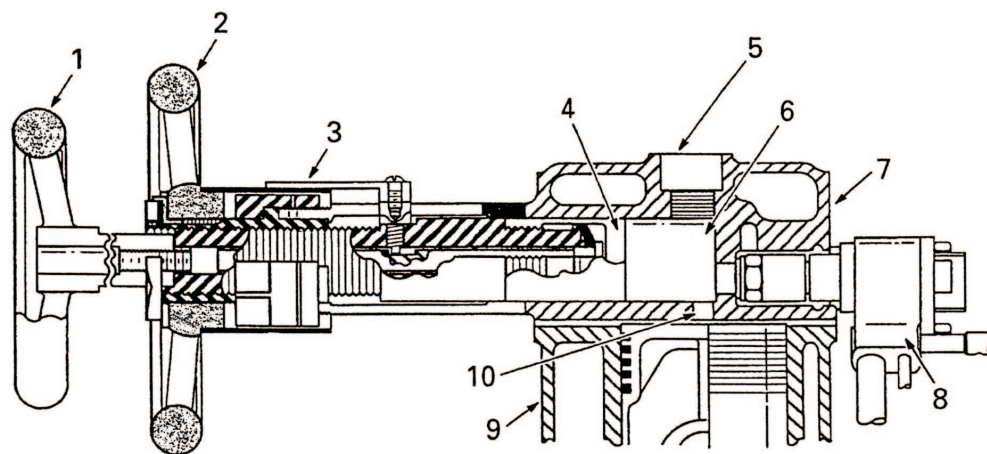
Pokrętelem do ręcznego przesuwania tłoka zmiany stopnia sprężania (rysunek 1, poz. 2), połączonym z tłokiem zmiany stopnia sprężania, zmniejszamy lub zwiększamy objętość wstępnej komory spalania do momentu uzyskania opóźnienia zapłonu (samozapłonu) wynoszącego  $13^\circ \pm 0,2^\circ$  OWK. Po

uzyskaniu stabilnych wskazań (ok. 5 min) wielkości kąta wyprzedzenia wtrysku i opóźnienia zapłonu, przy spalaniu oznaczanej próbki i dwóch paliw wzorcowych o niższej i wyższej liczbie cetanowej, odczytujemy wartości na skali mikrometrycznej zmiany stopnia sprężania (rysunek 1, poz. 3). Na podstawie tych odczytów dla badanej próbki paliwa i paliw wzorcowych obliczamy liczbę cetanową (LC), podstawiając do niżej podanego wzoru.

$$LC = LCW_n + \left( \frac{pr - ncw}{wcw - ncw} \right) \cdot (LCW_w - LCW_n)$$



Fot. 2. Głowica cylindra silnika Dresser Waukesha CFR (USA) do oznaczania liczby cetanowej wraz z mechanizmem ręcznej zmiany stopnia sprężania (fot. INiG Kraków)



Rys. 1. Przekrój głowicy cylindra silnika Dresser Waukesha CFR (USA) do oznaczania liczby cetanowej wraz z mechanizmem ręcznej zmiany stopnia sprężania

- 1 – pokrętko blokady ręcznej tłoka zmiany stopnia sprężania, 2 – pokrętko do ręcznego przesuwania tłoka zmiany stopnia sprężania, 3 – skala mikrometryczna zmiany stopnia sprężania, 4 – tłok zmiany stopnia sprężania, 5 – otwór czujnika ciśnienia spalania, 6 – wstępna komora spalania, 7 – głowica cylindra, 8 – zespół wtryskiwacza paliwa, 9 – cylinder, 10 – kanał łączący komorę wstępną z przestrzenią nad tłokiem (rysunek norma PN-EN ISO 5165:2003)

gdzie:

$LCW_n$  – liczba cetanowa paliwa wzorcowego o niższej LC („niskocetanowego”),

$LCW_w$  – liczba cetanowa paliwa wzorcowego o wyższej LC („wysokocetanowego”),

$pr$  – średnia z odczytów na skali mikrometrycznej pokrętła ręcznego dla oznaczanej próbki,

$ncw$  – średnia z odczytów na skali mikrometrycznej pokrętła ręcznego dla paliwa wzorcowego o niższej LC („niskocetanowego”),

$wcw$  – średnia z odczytów na skali mikrometrycznej pokrętła ręcznego dla paliwa wzorcowego o wyższej LC („wysokocetanowego”).

Odczyty wartości na skali mikrometrycznej dla oznaczonej próbki i paliw wzorcowych powinny być wykonywane w następującej kolejności: odczyt oznaczanej próbki paliwa, odczyt paliwa wzorcowego „niskocetanowego”, odczyt paliwa wzorcowego „wysokocetanowego”, odczyt paliwa wzorcowego „niskocetanowego”, odczyt oznaczanej próbki paliwa, odczyt paliwa wzorcowego „wysokocetanowego”.

Liczby cetanowe paliw wzorcowych należy dobrać w sposób umożliwiający ujęcie wartości będących odczytami na skali mikrometrycznej pokrętła ręcznego dla oznaczanej próbki oleju napędowego. Różnica między liczbami cetanowymi paliw wzorcowych nie powinna przekroczyć 5,5 jednostki.

Stosuje się dwa rodzaje paliw wzorcowych: pierwotne i wtórne paliwo wzorcowe.

Pierwotnym paliwem wzorcowym jest mieszanina ceta-

nu o LC równej 100 z 1-metylnaftalenem o LC równej 0, jednak ze względu na jego małą stabilność i dostępność 1-metylnaftalen zmieniono na heptametylononan (HMN) o LC oznaczonej jako równej 15. Mieszanina paliw wzorcowych cetanu i heptametylononanu definiuje skalę liczb cetanowych według wzoru:

$$LC = \% \text{ cetanu} + 0,15\% \text{ HMN}$$

Obecnie ponownie dozwolone jest stosowanie 1-metylnaftalenu, przy ścisłym zachowaniu zaleceń dotyczących warunków jego przechowywania i składowania.

Wtórny paliwem wzorcowym jest mieszanina paliwa „T” o wysokiej LC z paliwem „U” o niskiej LC, sporządzona w proporcjach objętościowych. Każdy zestaw par paliwa „T” i „U” jest ponumerowany i wzorcowany przez ASTM Diesel National Exchange Group w różnych kombinacjach, przez porównanie z mieszaninami pierwotnych paliw wzorcowych.

Liczba cetanowa paliwa „T” mieści się zazwyczaj w granicach od LC = 73 do LC = 75, a w przypadku paliwa „U” – od LC = 20 do LC = 22.

Metoda silnikowa oznaczania liczby cetanowej może być stosowana w całym zakresie skali liczb cetanowych od 0 do 100 przy zastosowaniu pierwotnych paliw wzorcowych, ale typowe oznaczenia prowadzone są w zakresie od LC = 30 do LC = 65. Oznaczenia mogą być prowadzone w przypadku niekonwencjonalnych paliw, takich jak np. paliwa syntetyczne i oleje roślinne, jednak nie oznacza się z zastosowaniem tej metody próbek paliw, których przepływ do pompy paliwowej lub rozpraszanie ich przez rozpylacz wtryskiwacza są utrudnione.

### Znormalizowane warunki oznaczania liczby cetanowej według ASTM D613

Badanie liczby cetanowej oleju napędowego przeprowadza się przy znormalizowanej prędkości obrotowej 900 ±9 obr./min. Silnik Dresser Waukesha CFR (USA) do oznaczania liczby cetanowej jest w oryginale wyposażony w mierniki temperatury wyskalowane w stopniach Fahrenheita, zgodnie z którymi według ASTM D613 temperatura powietrza dolotowego powinna być utrzymywana

w zakresie 150°F ±1°F, oleju silnikowego 135°F ±15°F, chłodziwa w płaszczu cylindra 212°F ±3°F i w kanale wtryskiwacza 100°F ±5°F.

Podane warunki pracy silnika CFR muszą być zachowane i ustalane przez operatora podczas wykonywania oznaczania, ponieważ gwarantują one właściwe działanie silnika badawczego do oznaczania liczby cetanowej.

### Kwalifikacja stanowiska badawczego do oznaczania liczby cetanowej

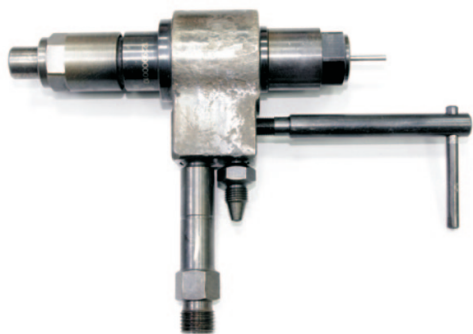
Przed przystąpieniem do oznaczania liczb cetanowych próbek paliw silnikowych (olejów napędowych) należy upewnić się czy stanowisko badawcze jest sprawne.

W tym celu należy sprawdzić wtryskiwacz paliwa konstrukcji American Bosch (fot. 3) silnika Dresser Waukesha CFR (USA) do oznaczania liczby cetanowej.

Priorytetem jest sprawdzenie jakości rozpylania paliwa przez rozpylacz, czyli ciśnienia wtrysku i kształtu rozpylanej strugi.

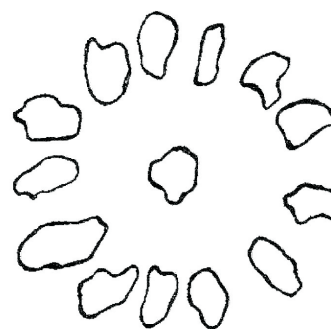
Struga rozpylona przez rozpylacz paliwa przy znormalizowanym ciśnieniu początku wtrysku (1500 ±50 psi, 10,3 ±0,34 MPa) powinna być sprawdzona pod względem

kształtu pojedynczej plamy na bibule filtracyjnej umieszczonej w odległości 76 mm od rozpylacza. Kształt plamy



Fot. 3. Wtryskiwacz paliwa silnika Dresser Waukesha CFR (USA) do oznaczania liczby cetanowej (fot. INiG Kraków)

pojedynczego wtrysku paliwa według ASTM D613 nie powinien odbiegać od przedstawionego na rysunku 2.



Rys. 2. Kształt plamy pojedynczego wtrysku paliwa według ASTM D613 (rysunek norma ASTM D613-10a)

### Sprawdzenie poprawności działania silnika i jakości prowadzonych oznaczeń liczb cetanowych

Do sprawdzenia poprawności działania silnika badawczego Dresser Waukesha CFR (USA) do oznaczania liczby cetanowej stosuje się dwa paliwa kontrolne: Diesel Cetane Check Fuel Low – o LC w zakresie od 38 do 42 i Diesel Cetane Check Fuel High – o LC w zakresie od 50 do 55. Paliwa te, wzorcowane przez ASTM Diesel National Exchange Group z udziałem 16 laboratoriów przy użyciu przyrostowych mieszanin pierwotnych paliw wzorcowych, są dostarczane do poszczególnych laboratoriów przez jedyne autoryzowanego dostawcę – Chevron Phillips Chemical Company LP, w celu sprawdzenia poprawności oznaczania liczb cetanowych na indywidualnych stanowiskach badawczych.

Jednakże uzyskanie wysokiej jakości usług badawczych, zwłaszcza w przypadku laboratorium akredytowanego, nakłada obowiązek przeprowadzania kontroli jakości wykonywanych oznaczeń, między innymi poprzez uczestnictwo w badaniach biegłości lub innych porównaniach międzylaboratoryjnych. Przykładem mogą być najbardziej rozpowszechnione i miarodajne badania porównawcze w zakresie oznaczania liczby cetanowej próbek paliw

silnikowych (olejów napędowych) Diesel Fuel Engine Correlation Scheme, organizowane przez brytyjski ośrodek badawczy Energy Institute.

Są to międzynarodowe badania okrężne, które dzięki dużej liczbie uczestników oraz długiemu czasowi trwania pozwalają na stałą i wiarygodną ocenę jakości prowadzonych oznaczeń, a zarazem na potwierdzenie opanowania warsztatu badawczego w zakresie oznaczania liczb cetanowych.

Wyniki oznaczeń prowadzonych w każdym z laboratoriów uczestniczących w badaniach są przesyłane do Energy Institute, gdzie poddaje się je analizie statystycznej i opracowuje comiesięczny raport, przesyłany następnie do poszczególnych ośrodków badawczych.

Pozwala to na bieżącą ocenę poprawności działania stanowiska badawczego i wykonywanych na nim oznaczeń oraz stanowi cenną dokumentację, zwłaszcza dla laboratoriów posiadających akredytację. Badania kończy roczny raport zawierający zebrane tabelarycznie dane, które mogą posłużyć do określenia zaleceń wykonywania dalszych oznaczeń liczb cetanowych na stanowisku badawczym z silnikiem Dresser Waukesha CFR (USA).

### Literatura

- [1] ASTM D613-10a *Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil*.
- [2] Dybich K.: *Oznaczanie liczb oktanowych (badawczej, motorowej) i liczby cetanowej w międzynarodowych badaniach porównawczych*. Dokumentacja INiG nr arch.: DK-4100-67/11.
- [3] PN-EN ISO 5165:1998 *Przetwory naftowe – Oznaczanie właściwości zapłonowych olejów napędowych – Metoda silnikowa oznaczania liczby cetanowej*.
- [4] PN-EN ISO 5165:2003 *Przetwory naftowe – Oznaczanie właściwości zapłonowych olejów napędowych – Metoda silnikowa oznaczania liczby cetanowej*.



Mgr inż. Kornel DYBICH – ukończył studia o specjalności silniki spalinowe na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Jest starszym specjalistą badawczo-technicznym w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z oceną parametrów użytkowych paliw silnikowych na stanowiskach hamownianych.