

WSKAŹNIKI PRACY SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM ZASILANEGO OLEJEM NAPĘDOWYM, PALIWEM FAME I ICH MIESZANINAMI

Andrzej Ambrozik*, Dariusz Kurczyński**

* Instytut Modelowania Procesów, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

** Zakład Silników Spalinowych i Maszyn Roboczych, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Streszczenie. W artykule przedstawiono wybrane wyniki analizy wykresów indykatorowych zdjętych podczas hamownianych badań silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR, pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej, zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra D, estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME oraz mieszaninami wymienionych paliw. Na podstawie badań hamownianych wyznaczono efektywne wskaźniki pracy silnika, a na podstawie zdjętych wykresów indykatorowych jego wskaźniki indykowane. Wykorzystując wyznaczone wskaźniki efektywne i indykowane obliczono sprawności: indykowaną, mechaniczną i efektywną silnika.

Słowa kluczowe: tłokowy silnik spalinowy, paliwa silnikowe, wykres indykatorowy, wskaźniki pracy silnika

WSTĘP

Współczesne tłokowe silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym stanowią konstrukcję o wysokim poziomie technicznym. Ich właściwości są równoważne, a w pewnych obszarach nawet korzystniejsze niż właściwości silników o zapłonie wymuszonym. Postęp w sposobach zasilania, konstrukcji oraz technologii wytwarzania silników o zapłonie samoczynnym spowodował ich rozwój, którego efektywnym miernikiem jest ciągły wzrost liczby sprzedanych samochodów z tego typu silnikami.

Konstruktor silnika o zapłonie samoczynnym Rudolf Diesel pod koniec dziewiętnastego wieku przewidywał możliwość zasilania tego silnika paliwami roślinnymi [Croudace i Ritz 2003, Bocheński 2003]. Przeprowadził on pierwsze próby zasilania swojego silnika olejem arachidowym. Pojawienie się oleju napędowego otrzymywanego z ropy naftowej zahamowało zainteresowanie paliwami roślinnymi. Olej napędowy okazał się wówczas paliwem tanim, łatwo dostępnym i o dobrych własnościach. Z tego powodu stał się praktycznie jedynym paliwem powszechnie stosowanym do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Przez dziesiątki lat silniki te były doskonalone w aspekcie

dostosowania ich do spalania paliw węglowodorowych. Z drugiej strony technologia otrzymywania olejów napędowych była rozwijana w celu otrzymania paliwa o własnościach umożliwiających jak najbardziej efektywny przebiegu jego spalania w silniku. Aby zasilać silniki o zapłonie samoczynnym innymi paliwami, bez wprowadzania zmian w ich konstrukcji, należy dostosować własności tych paliw do własności paliw ropopochodnych.

W perspektywie najbliższych lat możliwe jest stosowanie zasilania silników o zapłonie samoczynnym estrami kwasów tłuszczowych olejów roślinnych, a w warunkach polskich estrami metylowymi oleju rzepakowego. Estry otrzymywane są w procesie transestryfikacji, polegającym na chemicznej reakcji pomiędzy trójglicerydami oleju roślinnego a alkoholem metylowym lub etylowym w obecności katalizatora. W Europie, w tym również i w Polsce surowcem do otrzymywania estrów są nasiona rzepaku. Do przetwarzania uzyskanego z nich oleju stosowana jest ze względów ekonomicznych i technicznych metoda wykorzystująca w procesie transestryfikacji alkohol metylowy [Szlachta 2002, Bocheński 2003]. Otrzymywane są wówczas estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME, które mogą być stosowane do zasilania silników o zapłonie samoczynnym w czystej postaci lub w mieszaninach z olejem napędowym.

Paliwo roślinne FAME jest mieszaniną estrów metylowych wyższych kwasów organicznych oleju rzepakowego, zawierających w cząsteczkach od 16 do 22 atomów węgla. Ilość estrów o podobnej budowie, wchodzących w skład FAME ograniczona jest do kilkunastu [Duda i in. 2003]. Olej napędowy pozyskiwany z ropy naftowej stanowi mieszaninę węglowodorów, których temperatura wrzenia jest od 150 do 380°C [Baczewski i Kałdoński 2004]. Otrzymuje się go w wyniku destylacji ropy naftowej i wtórnej przeróbki ciężkich frakcji, pozostałych po destylacji ropy naftowej. W skład olejów napędowych wchodzi przede wszystkim węglowodory parafinowe i naftenowe o zawartości od 14 do 20 atomów węgla w cząsteczce [Bocheński 2003], jak również węglowodory aromatyczne. Liczba poszczególnych grup węglowodorowych w oleju napędowym decyduje o jego właściwościach fizykochemicznych, warunkujących efektywność pracy silnika i toksyczność spalin.

Estry oleju rzepakowego i olej napędowy są paliwami pochodzącymi z odmiennych surowców i mają różny skład chemiczny, co powoduje różnice w ich własnościach fizykochemicznych. Estry zawierają mniej atomów węgla i wodoru i o około 12% więcej tlenu. Z większej zawartości tlenu wynika mniejsza wartość opałowa paliwa roślinnego. Obecność tlenu w cząsteczkach estrów sprzyja rozwojowi mikroorganizmów i w konsekwencji zmianę ich własności. Ponadto większa rozpuszczalność wody w estrach zwiększa skłonność paliw roślinnych do mikrobiologicznego rozkładu [Duda i in. 2003]. Dodatkowo obecność wiązań nienasyconych w cząsteczkach estrów jest przyczyną niskiej ich odporności na utlenianie. Korzystną cechą zawartości tlenu w biopaliwie jest jego większa skłonność do zapłonu, bardziej intensywne i pełne spalanie. Wpływa to korzystnie na zmniejszenie emisji węglowodorów, tlenku węgla oraz zadymienia spalin, ale równocześnie powoduje wzrost temperatury procesu spalania i zwiększenie emisji tlenków azotu [Pagowski 1997, Bocheński 2004b]. Estry metylowe oleju rzepakowego charakteryzują się większą gęstością i lepkością niż olej napędowy. Dzięki temu cechują je lepsze własności smarne, co korzystnie wpływa na trwałość aparatury paliwowej. Dodatek estrów do niskosiarkowych olejów napędowych poprawia ich własności smarne. Przy stosowaniu estrów może nastąpić zwiększenie ilości osadów na elementach komory spalania i wtryskiwaczach [Bocheński 2004a, Kurczyński 2004]. Estry mają gorsze własności niskotemperaturowe. Bez wykorzystania specjalnych dodatków nie jest

możliwe ich stosowanie w warunkach zimowych. FAME działa agresywnie na gumy, niektóre tworzywa sztuczne i powłoki lakiernicze [Duda i in. 2003, Kruczyński 2004]. Paliwa rzepakowe dobrze mieszają się w dowolnych proporcjach z olejem napędowym, co sprzyja ich stosowaniu do zasilania silników o zapłonie samoczynnym [Duda i in. 2003].

Podstawową ważną zaletą paliw pochodzenia roślinnego jest to, że są to paliwa odnawialne i nie przyczyniają się do globalnego wzrostu emisji dwutlenku węgla do atmosfery. W środowisku naturalnym ulegają biodegradacji, dzięki czemu są mało szkodliwe. Stanowią one uzupełnienie stosowanych obecnie paliw węglowodorowych. Rozwój ich produkcji przyczynić się może do wykorzystania nieużytków rolnych i aktywizacji obszarów wiejskich.

CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest wyznaczenie na podstawie badań hamownianych i zdjętych wykresów indykatorowych podstawowych wskaźników pracy silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR oraz określenie wpływu zasilania tego silnika różnymi paliwami na obliczone wskaźniki. Wykonana praca obejmowała badania hamowniane silnika AD3.152 UR pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilanego czterema paliwami: paliwem węglowodorowym, tj. olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME oraz dwoma mieszaninami tych paliw o zawartości estrów w mieszaninach odpowiednio 20 i 30%.

Na podstawie wyników otrzymanych z hamownianych badań wyznaczono efektywne wskaźniki pracy silnika: godzinowe zużycie paliwa, jednostkowe zużycie paliwa, moc efektywną, moment obrotowy efektywny i średnie ciśnienie efektywne. Wykorzystując uśrednione wykresy indykatorowe obliczono wskaźniki indykowane: pracę indykowaną, średnie ciśnienie indykowane, moc indykowaną, moment obrotowy indykowany i jednostkowe indykowane zużycie paliwa. Dysponując wymienionymi wskaźnikami obliczono sprawności: efektywną, mechaniczną i indykowaną silnika AD3.152 UR przy zasilaniu go różnymi paliwami i pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej.

Sprawność indykowaną obliczono jako iloraz ciepła zamienionego na pracę indykowaną L_i przez całkowitą ilość ciepła Q doprowadzonego do silnika:

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q}$$

Sprawność mechaniczną wyznaczono jako iloraz mocy efektywnej N_e i mocy indykowanej N_i :

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Sprawność efektywną zdefiniowano jako iloraz mocy efektywnej N_e (lub ciepła zamienionego na pracę efektywną L_e) do ilości energii cieplnej zawartej w doprowadzonym do silnika paliwie Q :

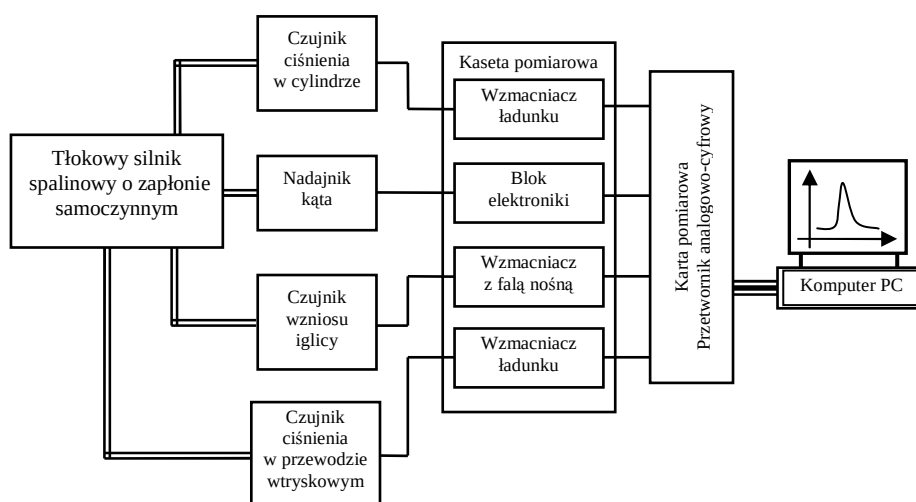
$$\eta_e = \frac{N_e}{Q} = \frac{L_e}{Q}$$

OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Obiektem badań był trzycylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR, z bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory spalania usytuowanej w denku tłoka. Badany silnik zainstalowany był na stanowisku hamownianym składającym się z hamulca wodnego i szafy kontrolno-pomiarowej służącej do sterowania stanowiskiem i pozwalającej na odczyt parametrów pracy silnika i hamulca. Stanowisko wyposażone było w układ do indykowania silnika, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1. System pomiarowy parametrów szybkozmiennych badanego silnika składa się z czterech torów pomiarowych:

- toru pomiarowego ciśnienia w komorze spalania,
- toru pomiarowego ciśnienia w przewodzie wtryskowym,
- toru pomiarowego wzniosu iglicy wtryskiwacza,
- toru dekodera kąta obrotu wału korbowego.

Tor pomiarowy ciśnienia w komorze spalania składa się z czujnika piezokwarcowego chłodzonego cieczą, przewodów łączących i wzmacniacza ładunku. Elementami toru pomiarowego ciśnienia w przewodzie wtryskowym są: czujnik piezokwarcowy, przewody łączące i wzmacniacz ładunku. W skład toru pomiarowego wzniosu iglicy wtryskiwacza wchodzi transformatorowy czujnik przemieszczeń, przewody łączące i wzmacniacz z falą nośną. Wielkości mierzone przez wymienione czujniki rejestrowano w funkcji kąta obrotu wału korbowego. Zadanie to w systemie pomiarowym umożliwia tor pomiarowy kąta obrotu wału korbowego, w skład którego wchodzi nadajnik kąta oraz blok elektroniki, który inicjuje pojedynczy impuls rozpoczynający pomiary i generujący ciąg impulsów zapewniających pomiary co pewien określony kąt $\Delta\alpha$.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego parametrów szybkozmiennych tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym wykorzystany do przeprowadzenia badań

Fig. 1. Block diagram of the measurement system for fast-changing parameters of the self-ignition piston internal combustion engine used for tests

Zadaniem wzmacniaczy w torach pomiarowych jest wzmocnienie i przetworzenie sygnałów wygenerowanych przez czujniki na sygnały napięciowe. Sygnały napięciowe są następnie przetwarzane przez przetwornik analogowo-cyfrowy na wielkości cyfrowe zapisywane w pamięci komputera.

W czasie badań eksperymentalnych silnik zasilano czterema paliwami, tj. dwoma paliwami podstawowymi: olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON) i estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME, oraz mieszaninami tych paliw. Badania przeprowadzono dla następujących mieszanin paliwa węglowodorowego i roślinnego:

- 20% paliwa roślinnego – 80% oleju napędowego → oznaczono E20,
- 30% paliwa roślinnego – 70% oleju napędowego → oznaczono E30.

Olej napędowy Ekodiesel Ultra D produkowany jest przez Polski Koncern Naftowy Orlen S.A. Jest on paliwem węglowodorowym nowej generacji, spełniającym normę PN-EN 590:2005 [PN-EN 590, 2005, Świadectwo Jakości Nr BM-101/209a/2005], opartą na najnowszej normie europejskiej, określającej wymagania jakościowe olei napędowych. Wykorzystane do badań estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME zakupiono w Rafinerii Trzebinia. Spełniają one wymagania normy PN-EN 14214 [PN-EN 14214, Sprawozdanie z badań], która jest zgodna z normą europejską określającą wymagania dla estrów metylowych kwasów tłuszczowych stosowanych jako biopaliwo lub jako dodatek do olejów napędowych.

Wykresy indykatorowe badanego silnika zdejmowano podczas jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej. W każdym punkcie pomiarowym rejestrowano pięćdziesiąt kolejnych przebiegów ciśnienia w cylindrze silnika. Do obliczeń wykorzystano wykresy uśrednione z pięćdziesięciu cykli.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki hamownianych badań silnika AD3.152 UR pracującego wg zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilanego różnymi paliwami ilustrowają tabele i wykresy. W tabeli 1 przedstawiono wskaźniki efektywne pracy badanego silnika.

Na podstawie zarejestrowanych wykresów indykatorowych w poszczególnych punktach zewnętrznej charakterystyki prędkościowej wyznaczono wskaźniki indykowane badanego silnika. Wartości tych wskaźników przedstawiono w tabeli 2.

Dysponując przedstawionymi wskaźnikami efektywnymi i indykowanymi silnika AD3.152 UR, obliczono jego sprawność indykowaną, mechaniczną i efektywną w poszczególnych punktach zewnętrznej charakterystyki prędkościowej. Uzyskane wartości tych sprawności przy zasilaniu silnika różnymi paliwami przedstawiono w tabeli 3.

Wartości sprawności indykowanej, mechanicznej i efektywnej badanego silnika przy jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go różnymi paliwami przedstawiono w sposób graficzny na rysunkach 2, 3 i 4.

Tabela 1. Wskaźniki efektywne silnika AD3.152 UR podczas jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go różnymi paliwami

Table 1. Effective parameters of AD3.152 UR engine fuelled by different oils, operating at the mode of external speed characteristics

Prędkość obrotowa obr/min	Godzinowe zużycie paliwa G_h , kg/h			
	ON	E20	E30	FAME
1000	4,120	4,010	4,489	4,236
1200	5,185	4,851	5,185	5,569
1400	6,015	5,674	6,015	6,138
1600	6,266	6,538	6,994	6,538
1800	7,335	7,161	7,335	7,914
2000	8,128	7,519	7,914	8,354
Prędkość obrotowa obr/min	Jednostkowe zużycie paliwa g_i , g/kWh			
	ON	E20	E30	FAME
1000	250,816	240,851	271,766	259,584
1200	261,435	241,286	258,364	282,632
1400	258,336	240,442	256,888	265,308
1600	236,925	243,908	263,002	248,839
1800	249,658	240,442	246,725	271,168
2000	252,155	230,113	247,362	264,344
Prędkość obrotowa obr/min	Moc efektywna N_e , kW			
	ON	E20	E30	FAME
1000	16,425	16,649	16,517	16,318
1200	19,834	20,104	20,070	19,705
1400	23,283	23,600	23,414	23,134
1600	26,445	26,805	26,593	26,274
1800	29,381	29,781	29,730	29,186
2000	32,235	32,674	31,995	31,603
Prędkość obrotowa obr/min	Moment obrotowy efektywny M_e , Nm			
	ON	E20	E30	FAME
1000	156,852	158,986	157,724	155,823
1200	157,832	159,979	159,708	156,809
1400	158,813	160,973	159,708	157,795
1600	157,832	159,979	158,716	156,809
1800	155,872	157,992	157,724	154,837
2000	153,911	156,005	152,764	150,892
Prędkość obrotowa obr/min	Średnie ciśnienie efektywne p_e , MPa			
	ON	E20	E30	FAME
1000	0,788	0,799	0,792	0,783
1200	0,793	0,804	0,802	0,788
1400	0,798	0,808	0,802	0,793
1600	0,793	0,804	0,797	0,788
1800	0,783	0,794	0,792	0,778
2000	0,773	0,784	0,767	0,758

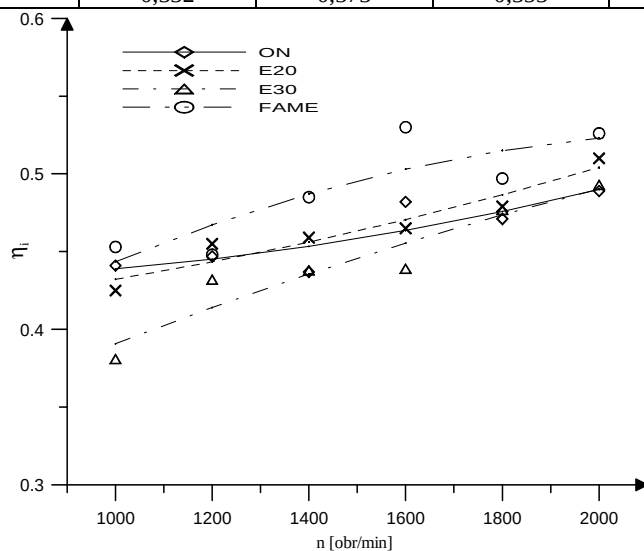
Tabela 2. Wskaźniki indykowane silnika AD3.152 UR podczas jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go różnymi paliwami

Table 2. Indicated parameters of AD3.152 UR engine fuelled by different oils, operating at the mode of external speed characteristics

Prędkość obrotowa obr/min	Praca indykowana L_i , J			
	ON	E20	E30	FAME
1000	872,062	792,923	783,621	782,125
1200	923,578	855,633	854,713	848,502
1400	897,260	865,395	862,149	867,758
1600	902,802	883,790	880,189	883,365
1800	917,033	888,173	890,325	890,448
2000	949,946	891,923	893,992	895,820
Prędkość obrotowa obr/min	Średnie ciśnienie indykowane p_i , MPa			
	ON	E20	E30	FAME
1000	1,046	0,951	0,940	0,938
1200	1,107	1,026	1,025	1,017
1400	1,076	1,038	1,034	1,040
1600	1,082	1,060	1,055	1,059
1800	1,100	1,065	1,068	1,068
2000	1,139	1,069	1,072	1,074
Prędkość obrotowa obr/min	Moc indykowana N_i , kW			
	ON	E20	E30	FAME
1000	21,802	19,823	19,591	19,553
1200	27,707	26,669	25,641	25,455
1400	31,404	30,289	30,175	30,372
1600	36,112	35,352	35,208	35,335
1800	41,266	39,968	40,065	40,070
2000	47,497	44,596	44,700	44,791
Prędkość obrotowa obr/min	Moment obrotowy indykowany M_i , Nm			
	ON	E20	E30	FAME
1000	208,189	189,296	187,076	186,719
1200	220,488	204,267	204,048	202,565
1400	214,205	206,598	205,823	207,162
1600	215,528	210,989	210,130	210,888
1800	218,925	212,036	212,549	212,579
2000	226,783	212,931	213,425	213,861
Prędkość obrotowa obr/min	Jednostkowe indykowane zużycie paliwa g_i , g/kWh			
	ON	E20	E30	FAME
1000	188,977	202,29	229,141	216,640
1200	187,135	188,983	202,212	218,778
1400	191,536	187,330	199,336	202,097
1600	173,515	184,942	198,651	185,031
1800	177,747	179,169	183,079	197,504
2000	171,125	168,602	177,048	186,511

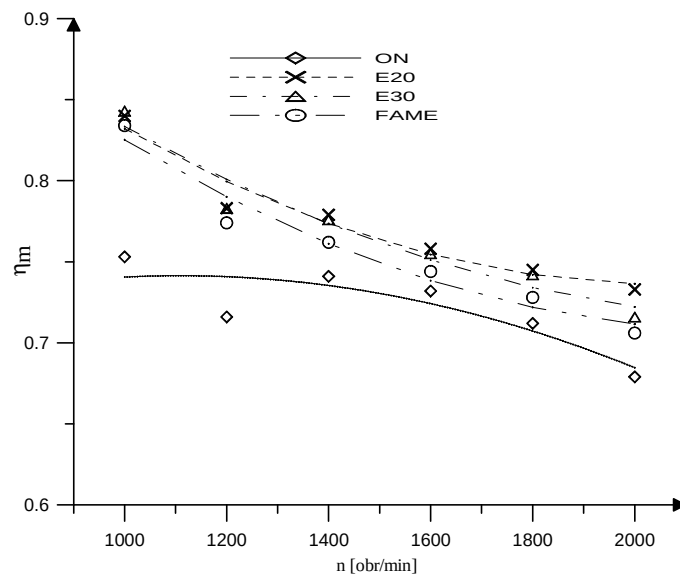
Tabela 3. Sprawności silnika AD3.152 UR podczas jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go różnymi paliwami
 Table 3. Efficiency of AD3.152 UR engine fuelled by different oils, operating at the mode of external speed characteristics

Prędkość obrotowa obr/min	Sprawność indykowana η_i			
	ON	E20	E30	FAME
1000	0,441	0,425	0,381	0,453
1200	0,447	0,455	0,432	0,448
1400	0,437	0,459	0,438	0,485
1600	0,482	0,465	0,439	0,530
1800	0,471	0,479	0,477	0,497
2000	0,489	0,510	0,493	0,526
Prędkość obrotowa obr/min	Sprawność mechaniczna η_m			
	ON	E20	E30	FAME
1000	0,753	0,840	0,843	0,834
1200	0,716	0,783	0,783	0,774
1400	0,741	0,779	0,776	0,762
1600	0,732	0,758	0,755	0,744
1800	0,712	0,745	0,742	0,728
2000	0,679	0,733	0,716	0,706
Prędkość obrotowa obr/min	Sprawność efektywna η_e			
	ON	E20	E30	FAME
1000	0,332	0,357	0,321	0,378
1200	0,320	0,356	0,338	0,347
1400	0,324	0,357	0,340	0,370
1600	0,353	0,352	0,332	0,394
1800	0,335	0,357	0,354	0,362
2000	0,332	0,373	0,353	0,371



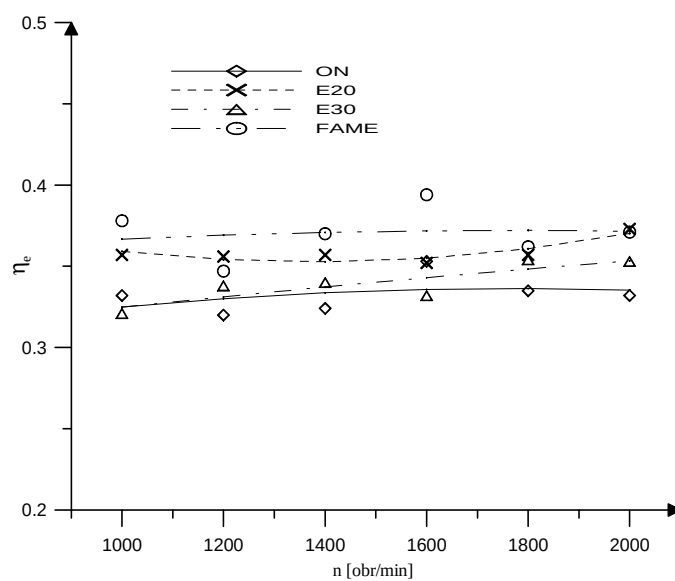
Rys. 2. Sprawność indykowana silnika AD3.152 UR przy jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 2. Indicated efficiency of AD3.152 UR engine fuelled by different oils, operating at the mode of external speed characteristics



Rys. 3. Sprawność mechaniczna silnika AD3.152 UR przy jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 3. Mechanical efficiency of AD3.152 UR engine fuelled by different oils, operating at the mode of external speed characteristics



Rys. 4. Sprawność efektywna silnika AD3.152 UR przy jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 4. Effective efficiency of AD3.152 UR engine fuelled by different oils, operating at the mode of external speed characteristics

WNIOSKI

W artykule przedstawiono wybrane wyniki hamownianych badań silnika AD3.152 UR i analizy wykresów indykatorowych wyznaczonych podczas tych badań przy pracy silnika według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D, estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i dwiema mieszaninami tych paliw o zawartości odpowiednio 20% (E20) i 30% estrów (E30). Na podstawie uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa w poszczególnych punktach zewnętrznej charakterystyki prędkościowej jest większe przy zasilaniu silnika estrami niż dla oleju napędowego. Najmniejsze godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa uzyskano przy zasilaniu silnika olejem napędowym z 20% dodatkiem estrów oleju rzepakowego.
2. Wskaźniki efektywne: moc efektywna, moment efektywny i średnie ciśnienie efektywne uzyskały największe wartości dla paliwa E20. Mniejsze wartości uzyskano dla paliwa E30 i ON, a najmniejsze dla czystych estrów metylowych oleju rzepakowego FAME.
3. Wskaźniki indykowane: praca indykowana, średnie ciśnienie indykowane, moc indykowana, moment obrotowy indykowany uzyskały największe wartości przy zasilaniu badanego silnika olejem napędowym. Dla pozostałych paliw ww. wskaźniki uzyskały nieco mniejsze, podobne wartości.
4. Jednostkowe indykowane zużycie paliwa przyjmowało mniejsze wartości dla oleju napędowego i paliwa E20, większe dla paliwa E30 i estrów oleju rzepakowego FAME.
5. Sprawność indykowana silnika AD3.152 UR podczas jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej miała największe wartości przy jego zasilaniu estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME.
6. Sprawność mechaniczna badanego silnika większe wartości przyjmowała przy zasilaniu go mieszaninami oleju napędowego i FAME (E20 i E30), nieznacznie mniejsze przy zasilaniu go czystymi estrami oleju rzepakowego, a najmniejsze dla oleju napędowego.
7. Sprawność efektywna badanego silnika największe wartości przyjmowała przy zasilaniu go estrami oleju rzepakowego FAME, a najmniejsze dla oleju napędowego.
8. Wartości obliczonych sprawności: indykowanej, mechanicznej i efektywnej silnika AD3.152 UR przy zasilaniu go wymienionymi paliwami nie różnią się znacznie.

PIŚMIENNICTWO

- Baczewski K., Kałdoński T., 2004: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Bocheński C. I. 2004: Biopaliwa do silników spalinowych. *Chemicz*, 3-4, 103–107.
- Bocheński C. I. 2004: Biodiesel – paliwo rolnicze. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 3, 17–20.
- Bocheński C. I. 2003: Biodiesel paliwa rolnicze. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Croudace M. C. Ritz G. P., 2003: Biodiesel lub FAME (Fatty Acid Methyl Ester – estry metylowe kwasów tłuszczowych): oznaczanie zawartości estrów w oleju napędowym przy użyciu spek-

- trofotometrii w zakresie średniej podczerwieni. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, 110, 24–26.
- Duda A., Łukasik Z., Skręt I., Kossowicz L. 2003: Estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego jako paliwo lub komponent olejów napędowych (cz.1, cz. 2). Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, 104, 23–24; 105, 15–19.
- Kruczyński S.W. 2004: Problemy eksploatacji silników spalinowych zasilanych paliwami zawierającymi komponenty pochodzenia roślinnego. Chemik, 3-4, 111–116.
- Pagowski Z. 1997: Paliwa alternatywne z roślin oleistych. AUTO-Technika Motoryzacyjna, 3, 17–20.
- PN-EN 590:2005 Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.
- PN-EN 14214 Paliwa do pojazdów samochodowych. Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) do silników o zapłonie samoczynnym (Diesla). Wymagania i metody badań.
- Sprawozdanie z badań 5120402 wyrobu BIODIESELA D-FAME, Zlecniodawca: Rafineria Trzebinia S.A.
- Szlachta Z. 2002: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Świadectwo Jakości Nr BM-101/209a/2005 oleju napędowego Ekodiesel Ultra D.

OPERATING PARAMETERS FOR SELF-IGNITION ENGINE FUELLED BY DIESEL OIL, FATTY ACID METHYL ESTERS FAME AND THEIR BLENDS

Summary. The paper presents selected results of an analysis of indicator diagrams taken for test stand investigations into the self-ignition AD3.152 UR engine operating at the mode of external speed characteristics, which is fuelled by Ekodiesel Ultra D, Fatty Acid Methyl Esters FAME of Rapeseed oil and blends of the afore mentioned fuels. On the basis of test stand investigations effective parameters of the engine operation were determined. The indicated parameters were obtained using indicator diagrams. The mechanical and effective efficiency of a particular engine was calculated on the basis of effective and indicated parameters.

Key words: piston internal combustion engine, engine fuels, indicator diagram, engine operating parameters

Recenzent: prof. dr hab. Eugeniusz Krasowski