

Janusz Mysłowski

## OCENA WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH SILNIKÓW SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono problemy ekonomiczności pracy nowoczesnych silników o zapłonie iskrowym, wolnossących, turbodoładowanych oraz z doładowaniem kombinowanym. Jako przykład posłużyły silniki koncernu Volkswagen najnowszej generacji.*

### WSTĘP

Burzliwy rozwój motoryzacji spowodował konieczność ograniczenia jej szkodliwego działania na otoczenie. Związane jest to z coraz ostrzejszymi wymaganiami odnośnie do ochrony środowiska naturalnego. Zaistniała konieczność zastosowania rozwiązań, które dotychczas nie były brane pod uwagę lub były ignorowane. Uzyskano zadziwiająco dobre rezultaty. Trwające trudności paliwowo-energetyczne powodują stałe poszukiwania nowych nośników energii oraz próby ograniczenia jej zużycia, co będzie skutkowało zmniejszeniem szkodliwego oddziaływania na otoczenie.

Wymagania stawiane współczesnym silnikom są często przeciwstawne, co widać wyraźnie jeśli weźmie się pod uwagę stale rosnącą liczbę samochodów i utrudnienia w ruchu z tym związane, a z drugiej zaś strony konieczność ograniczania ilości zużywanego paliwa i wydalanych szkodliwych składników toksycznych spalin do otoczenia [1, 9]. W odniesieniu do silników zarówno napędzających samochody osobowe jak i ciężarowe sprowadza się to do uwzględnienia trzech najbardziej istotnych czynników:

- małego zużycia paliwa (ekonomiczność pracy),
- niskiej toksyczności spalin,
- dużej elastyczności (dobrych właściwości dynamicznych).

Problem ten najwcześniej został zauważony w odniesieniu do silników samochodów ciężarowych dużej ładowności, gdzie ekonomiczność przewozów ma podstawowe znaczenie.

Do rozwiązania problemu poprawy ekonomiczności oraz zmniejszenia toksyczności w przypadku tych silników również konieczne było nowe podejście odbiegające od tradycyjnych rozwiązań. O ile chodzi o silniki samochodów ciężarowych były one podatniejsze na spełnienie zaostrzonych wymogów już od lat i w ich konstrukcji dokonał się znaczący postęp wymuszony przez restrykcyjne przepisy – z jednej strony oraz konieczność obniżenia kosztów związanych ze zużyciem paliwa – z drugiej. Prosto rzecz ujmując, im mniejsze będzie zużycie paliwa przez silnik, tym globalna ilość toksycznych składników wydalanych przez silnik do atmosfery będzie mniejsza. W ten sposób kluczowym problemem pozwalającym na spełnienie dwóch pierwszych postulatów jest obniżenie zużycia paliwa przez silnik lub wyko-

rzystanie nośników energii dotychczas niestosowanych lub stosowanych w nieznacznym stopniu. W odniesieniu do silników samochodów osobowych postęp dokonał się przez wprowadzenie wtrysku bezpośredniego w silnikach o zapłonie samoczynnym stosowanych coraz częściej do ich napędu. Taki zabieg był możliwy dzięki opanowaniu problemu tworzenia mieszaniny palnej przy prędkościach większych od 3000 1/min, co było granicą przy zastosowaniu tych silników do napędu samochodów ciężarowych. Dzięki usprawnieniu procesu tworzenia mieszaniny palnej w silnikach o małej objętości skokowej i wtrysku bezpośrednim uzyskano prędkości obrotowe rzędu 5000 do 6000 1/min w pełni wystarczające dla napędu samochodów osobowych. Kolejnymi etapami postępu było zastosowanie: wtrysku bezpośredniego w silnikach o zasilaniu benzynowym i doładowania tych silników [1, 3].

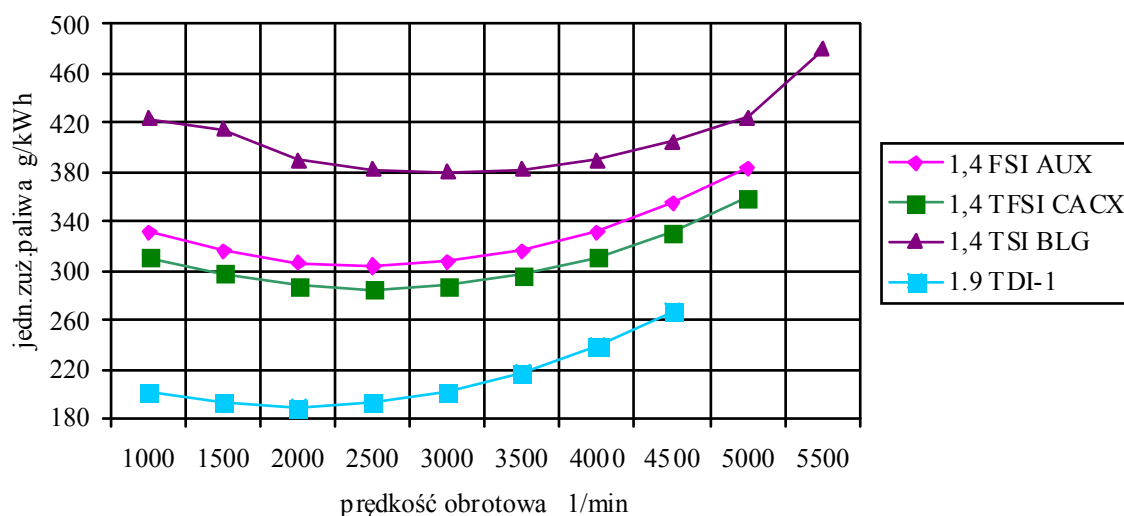
## 1. PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI ENERGETYCZNYCH SILNIKÓW O ZAPŁONIE ISKROWYM

Do porównania wybrano silniki VW o zapłonie iskrowym najnowszej generacji oraz bardzo popularny silnik o zapłonie samoczynnym tej firmy. Dane charakterystyczne ocenianych silników przedstawiono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Parametry pracy silników o wtrysku bezpośrednim koncernu Volkswagen [3]

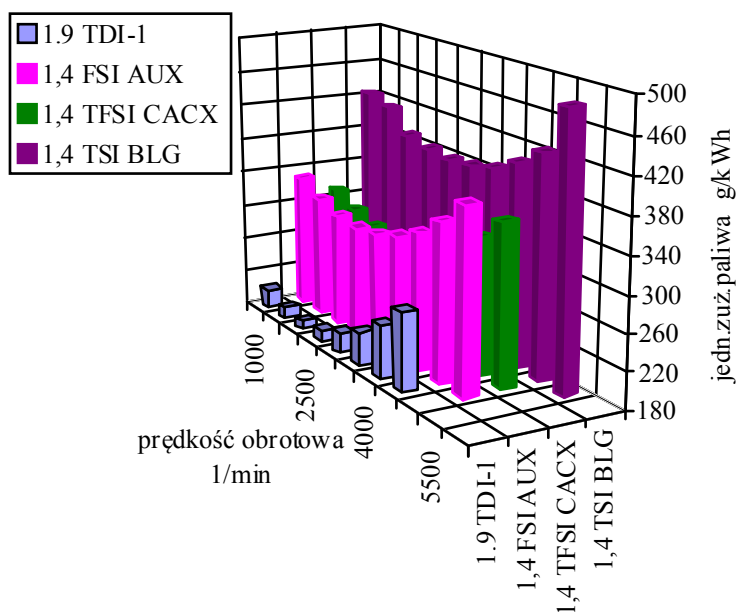
Lp.	Model	1,4FSI AUX	1,4 TFSI CAXC	1,4 TSI BLG	1.9 TDI
1.	Rodzaj	rzędowy	rzędowy	rzędowy	rzędowy
2.	Liczba cyl.	4	4	4	4
3.	D [mm]	76,5	76,5	76,5	79,5
4.	Liczba zaworów	16	16	16	8
5.	$V_{ss}$ [cm <sup>3</sup> ]	1390	1390	1390	1896
6.	$\epsilon$	12	10	10	19,5
7.	$N_e/n$ [kW]/[1/min]	63/5000	92/5000	125/6000	66/4000
8.	$M_o/n$ [Nm]/[1/min]	130/3500	200/1500	240/1750	202/1900
9.	Doładowanie	-	Turbo	Turbo + Mech Eaton	Turbo
10.	Wym. LO	95/98	95/98	98	-

Dla silników zestawionych w tabeli 1 wykonano na drodze symulacyjnej charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa przedstawione na rys. 1



**Rys. 1.** Charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa silników z w tabeli 1

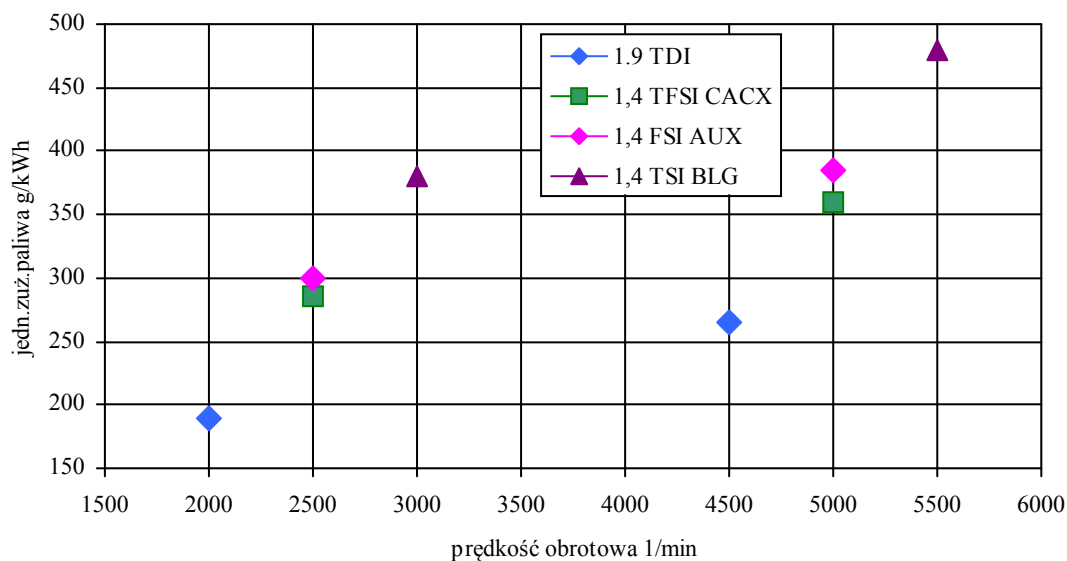
Charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa z rys. 1 przedstawiono w na rysunku 2.



**Rys. 2.** Charakterystyka słupkowa jednostkowego zużycia paliwa silników z tabeli 1

Z analizy rys. 1 wynika, że jednostkowe zużycie paliwa silnika VW 1,4 FSI AUX (bez doładowania) waha się w granicach 300 g/kWh (minimalne) do 380 g/kWh przy mocy znamionowej. Wartości te przyjęto do porównań [5, 8, 9], gdyż producenci w danych silników podają je najczęściej w danych reklamowych. Uzyskane wartości dla silnika 1,4 FSI AUX nie odbiegają od przeciętnych dla tej klasy silników. Dla silnika VW 1,4 TFSI CACX (turbodoładowany) uzyskano nieco korzystniejsze wartości, odpowiednio 285 g/kWh i 360 g/kWh, co jest w pełni zrozumiałe [3, 4]. Stanowi to spadek zużycia paliwa o 5% przy wzroście mocy znamionowej o 31%. Dla silnika 1,4 TSI BLG, w którym poza turbodoładowaniem zastosowano doładowanie mechaniczne za pomocą sprężarki Eaton minimalne – jednostkowe zużycie paliwa wynosiło 380 g/kWh, a maksymalne przy prędkości obrotowej odpowiadającej mocy znamionowej 480 g/kWh. Jest to zrozumiałe, gdyż zastosowanie sprężarki mechanicznej zawsze pogarsza wartość jednostkowego zużycia paliwa. Zastosowanie połączenia obydwu sposobów doładowania miało na celu poprawę właściwości dynamicznych silnika, a tym samym pojazdu przez ten silnika napędzanego.

Porównując te dane ze zużyciem paliwa silnika VW 1.9 TDI, różnica między wartością minimalnego jednostkowego zużycia paliwa wynosi dla silnika 1,4 TSI BLG 50%, a dla silników 1,4 FSI AUX i 1,4 TFSI CACX odpowiednio 36,6% i 33,3%. W porównaniu tym pominięto położenie minimum jednostkowego zużycia paliwa na osi prędkości obrotowej charakterystyki zewnętrznej dla poszczególnych silników [2, 4, 7].



**Rys. 3.** Porównanie wartości minimalnego zużycia i odpowiadającej mocy znamionowej opisywanych silników, strona lewa  $g_{e,min}$ , strona prawa  $g_{e,Nz}$

## 2. PORÓWNANIE UZYSKANYCH REZULTATÓW

Dla porównania wykorzystania energii zawartej w paliwie porównywanych silników przyjęto jego wartości minimalne oraz wartości przy mocy znamionowej zgodnie z rys. 3.

Obliczenie dla minimalnego jednostkowego zużycia paliwa  $g_e$ :

- dla minimalnego jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1.9 TDI 66 kW

$$G_h = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} = \frac{190 \cdot 66}{1000} = 12,54 \quad \text{kg/h}$$

$$\text{tj.} \quad 12,54 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,82 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 15,29 \text{ dm}^3/\text{h}$$

- dla minimalnego jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1,4FSI AUX 63 kW

$$G_h = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} = \frac{300 \cdot 63}{1000} = 18,9 \quad \text{kg/h}$$

$$\text{tj.} \quad 18,9 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,76 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 24,86 \text{ dm}^3/\text{h}$$

- dla minimalnego jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1,4TFSI CACX 92 kW

$$G_h = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} = \frac{285 \cdot 92}{1000} = 26,22 \quad \text{kg/h}$$

$$\text{tj.} \quad 26,22 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,76 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 34,5 \text{ dm}^3/\text{h}$$

- dla minimalnego jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1,4TSI BLG 125 kW

$$G_h = \frac{380 \cdot 125}{1000} = 47,5 \text{ kg/h}$$

$$\text{tj. } 47,5 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,76 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 62,5 \text{ dm}^3/\text{h}$$

Obliczenie dla jednostkowego zużycia paliwa przy mocy znamionowej  $g_{eNz}$  :

- dla jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1.9 TDI 66 kW

$$G_h = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} = \frac{265 \cdot 66}{1000} = 17,49 \text{ kg/h}$$

$$\text{tj. } 17,49 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,82 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 21,32 \text{ dm}^3/\text{h}$$

- dla jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1,4FSI AUX 63 kW

$$G_h = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} = \frac{380 \cdot 63}{1000} = 23,94 \text{ kg/h}$$

$$\text{tj. } 23,94 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,76 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 31,5 \text{ dm}^3/\text{h}$$

- dla jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1,4TFSI CACX 92 kW

$$G_h = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} = \frac{360 \cdot 92}{1000} = 33,12 \text{ kg/h}$$

$$\text{tj. } 33,12 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,76 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 43,57 \text{ dm}^3/\text{h}$$

- dla jednostkowego zużycia paliwa i mocy silnika 1,4TSI BLG 125 kW

$$G_h = \frac{480 \cdot 125}{1000} = 60,0 \text{ kg/h}$$

$$\text{tj. } 60,0 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{0,76 \text{ dm}^3/\text{kg}} = 78,94 \text{ dm}^3/\text{h}$$

## PODSUMOWANIE

Jedną z trzech właściwości eksploatacyjnych wymienionych na wstępie jest ekonomika pracy silników. Przedstawione rezultaty pozwalają na wyrobienie poglądu na ile nowoczesne silniki spełniają te wymagania. Poprawa parametrów pracy w wyniku powszechnie stosowanego doładowania związana jest z określonymi kosztami. Na przykładzie silników koncernu Volkswagen o identycznych wymiarach głównych pokazano jaka współzależność łączy niektóre z wymienionych parametrów. Doładowanie turbosprężarkowe silników benzynowych w zależności od tego, który parametr ekonomiczności pracy przyjęto do porównań, wykazało, że wzrost mocy silnika o 46% powoduje wzrost zużycia paliwa od 38,3 do 39%, bez względu czy za podstawę przyjęto wartość minimalną jednostkowego zużycia paliwa czy też jego wartość przy mocy znamionowej. Doładowanie kombinowane (turbo + mechaniczne) znacznie

poprawia właściwości dynamiczne silnika. Jest ono okupione znacznie większymi nakładami ekonomicznymi, bo przyrost mocy 98,4% wymaga wzrostu zużycia paliwa od 50,0% do 51,4%. Potwierdzeniem przedstawionych wyliczeń jest fakt, że przypadku gdy przyjęto za podstawę minimalną wartość jednostkowego zużycia paliwa przyrost mocy o 62 kW wynosił 1,64 kW/dm<sup>3</sup> zużytego paliwa. W przypadku gdy za podstawę przyjęto wartość jednostkowego paliwa odpowiadającą mocy znamionowej, przyrost mocy o 62 kW wymagał 1,30 kW/dm<sup>3</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

1. Mysłowski J., Mysłowski J., *Tendencje rozwojowe silników o zapłonie samoczynnym*. Wyd. AUTOBUSY, Radom 2006.
2. Mysłowski J., *Comparative analysis of operation flexibility of direct injection diesel engines and spark-ignition engines*. TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa Vol. II. PAN oddział w Lublinie, Lublin 2002.
3. Mysłowski J., *Pojazdy samochodowe. Doładowanie silników*. WKiŁ, Warszawa 2011.
4. Mysłowski J., Mysłowski J., *A trial to improve fuel – efficiency rates of turbo-charged engine*. Journal of KONES 2008, Vol. 15, No. 3.
5. Mysłowski J., Mińko A., *Ocena zużycia paliwa silników o zapłonie iskrowym*. Nadzieńność i Effektywność technicznych Sistem. Międzynarodowy Sbornik Naucznych Trudow. Wydawnictwo FGOU WPO KGTU, Kaliningrad 2010.
6. Mysłowski J., Mysłowski J., *Simulation research of unitary fuel consumption of man engine*. TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa vol. III. PAN oddział w Lublinie, Lublin 2003.
7. Mysłowski J., *Próba oceny ekonomiczności pracy silników wysokoprężnych przeznaczonych do napędu samochodów ciężarowych*. Niezawodność i Efektywność Systemów Technicznych, Międzynarodowy Zeszyt Naukowy, Politechnika Kaliningradzka, Kaliningrad 2006.
8. Mysłowski J., Talaga K., *Ocena prawidłowości wyznaczania jednostkowego zużycia paliwa*. Ekologia pogranicza Gorzów Wielkopolski-Łagów 2004.
9. Ubysz A., *Energochłonność samochodu, a zużycie paliwa w złożonych warunkach ruchu*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.

## ASSESSMENT OF PROPERTY PERFORMANCE ENGINES FOR PASSENGER CARS

### *Abstract*

*In the article shows the problems the economics work modern spark ignition engines, naturally aspirated, turbocharged and supercharged combined. As an example, providing engines for the Volkswagen Group's latest generation.*

### **Autor:**

prof. dr hab. inż. **Janusz Mysłowski** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie