

## The flexibility of car the diesel engines on example of group 1,9TDi of firm the Volkswagen

*Abstract: The article presents an analysis of the coefficient of the flexibility 1.9TDi engines. Knowledge of flexibility as a whole, as well as the components of this parameter, the flexibility of the torque and speed is not only a basis for comparison, but it is the starting point in determining the characteristics of the traction vehicle. Statistical summary of the unmodified engine (factory) allowed the evaluation of the analyzed parameters and the comparison with engines modified vetch-founded the differences between them. Proposed to operate a supply of motion that a supplementary parameter.*

Key words: combustion engine, flexible engine, research

### Elastyczność samochodowych silników wysokoprężnych na przykładzie grupy 1,9TDi firmy Volkswagen

*Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę współczynnika elastyczności silników 1.9TDi. Znajomość elastyczności jako całości, jak też wartości elementów składowych tego parametru tj. elastyczności momentu obrotowego i prędkości obrotowej stanowi nie tylko podstawę w celach porównawczych, ale jest punktem wyjścia przy wyznaczaniu charakterystyki trakcyjnej pojazdu. Zestawienie statystyczne silników niemodyfikowanych (fabrycznych) pozwoliło na ocenę analizowanego parametru, a porównanie z silnikami modyfikowanymi wykazało różnice między nimi. Zaproponowano operowanie zapasem ruchu jako parametrem uzupełniającym.*

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, elastyczność silnika, badania

## 1. Wprowadzenie

Silniki 1.9TDi są najbardziej rozpowszechnioną grupą silników wysokoprężnych montowanych w samochodach osobowych w Polsce. Jego walory użytkowe, połączone z wysoką trwałością, jak też siecią wyspecjalizowanych warsztatów (ASO i poza) zajmujących obsługą i naprawą pozwoliły, na wzrost popularności konstrukcji na rynku.

Poza grupą VAG (Volkswagen, Audi, Seat, Skoda) montowano je również w samochodach marki Saab, Volvo i Ford. O ile w dwóch pierwszych przypadkach było to podyktowane obniżeniem kosztów produkcji, o tyle w trzecim wynikało z konstrukcji pojazdu bliźniaczego, jakim był Volkswagen Sharan.

Przedmiotowa jednostka napędowa występowała w wielu wariantach mocy, przy dwóch rodzajach układów zasilania (tab. 1.1).

Tab. 1.1 Warianty silników 1.9TDi

Oznaczenie	Moc maksymalna	Data produkcji
Układ zasilania z pompą wtryskową		
ALH	90 KM/67kW	05/00–10/05
AGR	90 KM/67kW	11/99–09/02
AHF	110 KM/82kW	11/99–09/02
ASV	110 KM/82kW	10/99–10/05
Układ zasilania z pompowtryskiwaczami		
AXR	101 KM/75kW	10/05–06/06
ASZ	130 KM/97kW	05/03–06/06
ARL	150 KM/112kW	09/00–12/05

Bardzo często można spotkać silniki o zmienionych parametrach roboczych, tj. poddanych „tuningowi”. Dopiero badanie wykazuje zaistniałą modyfikację, gdyż w dokumentacji fabrycznej (poza nielicznymi przypadkami) brak jest wzmianek o tego typu przeróbkach.

Ważnym wskaźnikiem świadczących o możliwościach trakcyjnych i eksploatacyjnych pojazdu jest elastyczność. W ogólnym przypadku mówi o zdolności przystosowania do zmiennych obciążeń i prędkości obrotowych.

Przy rozpatrywaniu silnika wyznacza się współczynnik elastyczności (1).

$$E = \frac{M_{\max}}{M_{N\max}} \cdot \frac{n_{\max}}{n_{M\max}} \quad (1)$$

Przy rozpatrywaniu całego pojazdu wyznacza się czasy rozpędzania na poszczególnych biegach, np. na biegu IV od 60 do 100 km/h i na biegu V od 80 do 120 km/h (przy 5-cio biegowej skrzyni biegów).

Bardzo często w fabrycznych danych technicznych silnika znajdziemy jedynie informacje o mocy maksymalnej i maksymalnym momencie obrotowym, oraz prędkościach obrotowych im odpowiadających. W tym przypadku nie ma możliwości oceny elastyczności. Można posłużyć się opracowaniem [1], gdzie znajdują się przedziały wartości współczynnika elastyczności silników benzynowych i wysokoprężnych, lub w publikacji [2] od-

nośnie silników zasilanych alternatywnymi układami zasilania LPG.

Innym rozwiązaniem, jest wyznaczenie przybliżonej charakterystyki zewnętrznej silnika wykorzystując zależności Leidemamana [3]. Na tej podstawie możliwa jest ocena elastyczności silnika.

## 2. Procedury badawcze

W badaniach wykorzystano hamownię podwoziową LPS 3000 MAHA (rys. 2.1), z wykorzystaniem której wyznaczano charakterystyki zewnętrzne silników. Zaniechano powtarzania pomiarów,



Rys. 2.1. Pojazd Seat Toledo 1.9TDi na hamowni podwoziowej LPS 3000 MAHA

## 3. Charakterystyka obiektów badań

W badaniach analizowano w głównej mierze samochody grupy VAG, pozostałe marki z silnikiem 1.9TDi z uwagi na małą liczebność odrzucono. Każdorazowo sprawdzano oznaczenie silnika pod kątem przynależności do poszczególnej grup mocy maksymalnej.

Warianty mocy reprezentowały silniki w liczbie:

- 90 KM – 11 szt.,
- 101 KM – 7szt.,
- 110 KM – 12 szt.,
- 130 KM – 10 szt.,
- 150 KM – 5 szt.,
- poddane „tuningowi” – 9 szt.

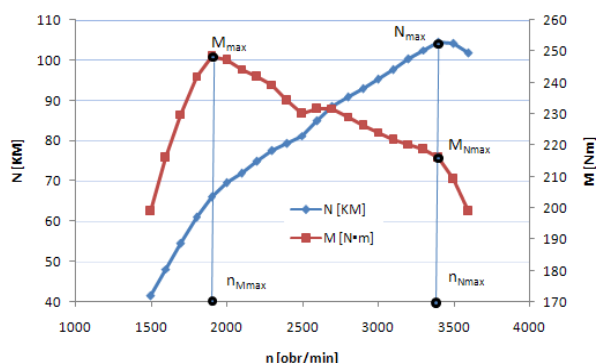
Tab. 4.1 Wartości wyznaczonej elastyczności silników 1.9TDi w wariantcie 90 KM

L.p.	Pojazd / Car	$e_M$	$e_n$	E
1	AUDI A4	1,2278	1,8355	2,2535
2	AUDI A4	1,2157	2,2040	2,6795
3	AUDI A4	1,1697	1,7711	2,0717
4	AUDI A6	1,2040	1,9426	2,3389
5	SEAT IBIZA	1,1843	1,8451	2,1851
6	SEAT LEON	1,2891	1,8279	2,3563
7	VW GOLF	1,3073	2,0551	2,6866
8	VW PASSAT	1,2891	1,9566	2,5222
9	VW PASSAT	1,1364	1,6992	1,9310
10	VW PASSAT	1,3204	1,6955	2,2386
11	VW PASSAT	1,3128	1,8684	2,4529

gdyż jak wykazało kilka prób, pomiary tego samego silnika nie różniły się między sobą powyżej 1%.

Pojedynczy pomiar ograniczał również ewentualne uszkodzenia badanych pojazdów, gdyż były to pojazdy używane grzeźnościowo. Natomiast w przypadku samochodów poddanych „tuningowi” istniała możliwość uszkodzenia jednostki napędowej.

Bazując na wyznaczonej charakterystyce zewnętrznej (rys. 2.2) można wyznaczyć współczynnik elastyczności (1).



Rys. 2.2. Charakterystyka zewnętrzna silnika pojazdu Seat Toledo 1.9TDi wyznaczona na hamowni podwoziowej

Przebadano w sumie 54 pojazdy, które stanowiły podstawę do analizy porównawczej. Oddzielnie analizowano silniki bez modyfikacji (fabryczne) i modyfikowane („tuningowane”), aby ostatecznie porównać je pod kątem elastyczności. Zakwalifikowanie do grupy poddane „tuningowi” wynikało z deklaracji właściciela pojazdu i nie można wykluczyć, iż inne pojazdy znajdujące się w rękach kolejnego właściciela były wolne od modyfikacji.

## 4. Wyniki badań i ich dyskusja

Z uwagi na obszerność wyników zarejestrowanych na hamowni podwoziowej – wartości mocy i momentu obrotowego – w poniższych tabelach zestawiono wyliczone wartości elastyczności momentu obrotowego, elastyczności prędkości obrotowej i wynikowego współczynnika elastyczności.

Tab. 4.2 Wartości wyznaczonej elastyczności silników 1.9TDi w wariantcie 101 KM

L.p.	Pojazd / Car	$e_M$	$e_n$	E
1	AUDI A3	1,3566	1,8869	2,5598
2	AUDI A3	1,2268	2,1702	2,6623
3	SEAT IBIZA	1,2058	2,1193	2,5554
4	SEAT TOLEDO	1,1660	1,7855	2,0819
5	SKODA OCTAVIA	1,3909	1,7574	2,4443
6	VW GOLF	1,3057	2,2039	2,8777
7	VW GOLF	1,3185	2,0574	2,7126

Tab. 4.3 Wartości wyznaczonej elastyczności silników 1.9TDi w wariantach 110 KM

L.p.	Pojazd / Car	$e_M$	$e_n$	E
1	AUDI A3	1,1533	1,7672	2,0380
2	SEAT IBIZA	1,3559	2,2677	3,0747
3	SEAT IBIZA	1,2562	1,9663	2,4701
4	SKODA FABIA	1,2311	1,8608	2,2909
5	SKODA OCTAVIA	1,2012	1,6620	1,9963
6	VW BORA	1,2308	1,8085	2,2260
7	VW GOLF	1,2935	1,8762	2,4269
8	VW GOLF	1,2140	1,8257	2,2164
9	VW PASSAT	1,3241	2,1089	2,7925
10	VW PASSAT	1,2617	2,0354	2,5681
11	VW PASSAT	1,1921	1,7306	2,0630
12	VW PASSAT	1,2383	1,7293	2,1413

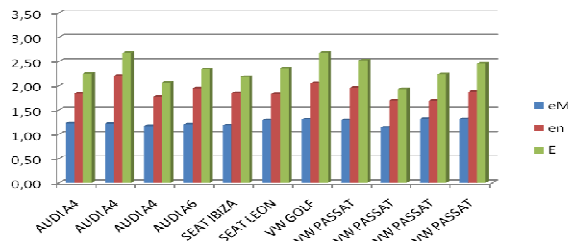
Tab. 4.5 Wartości wyznaczonej elastyczności silników 1.9TDi w wariantach 150 KM

L.p.	Pojazd / Car	$e_M$	$e_n$	E
1	AUDI A4	1,2310	2,0529	2,5272
2	AUDI A4	1,3054	2,0723	2,7052
3	SEAT ALHAMBRA	1,2585	1,6953	2,1335
4	VW GOLF	1,2784	1,8558	2,3724
5	VW PASSAT	1,3770	2,1945	3,0219

Małe liczebności w poszczególnych grupach wykluczają możliwość rozstrzygnięcia o elastyczności silników w różnych wariantach mocy, dlatego ocenę współczynnika zdecydowano się przedstawić dla ogółu przebadanych pojazdów w wariantach fabrycznym.

W dalszej części celem zobrazowania przedstawiono wyniki obliczeń w formie graficznej, na wykresach słupkowych. Widoczne są wartości mniejszej elastyczności silników poddanych „tuningowi”. Nie oznacza to, że silniki te charakteryzują się gorszymi właściwościami dynamicznymi. Na tym polega istota współczynnika elastyczności, nie opisuje on właściwości dynamicznych, lecz zdolności dostosowywania się do zmiennych warunków obciążenia. Dlatego, w przypadku silnika bez modyfikacji (rys. 2.2), występują znaczne spadki kolejnych wartości momentu obrotowego po osiągnięciu wartości maksymalnej, w odróżnieniu

a)



c)

Tab. 4.4 Wartości wyznaczonej elastyczności silników 1.9TDi w wariantach 130 KM

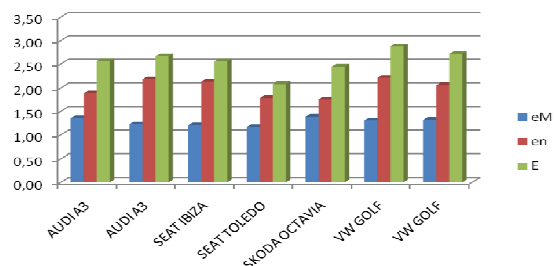
L.p.	Pojazd / Car	$e_M$	$e_n$	E
1	SEAT IBIZA	1,2195	1,9272	2,3503
2	SEAT CORDOBA	1,2545	2,0716	2,5988
3	SEAT CORDOBA	1,2556	1,7778	2,2321
4	SEAT IBIZA	1,1893	2,1108	2,5104
5	SKODA OCTAVIA	1,1944	2,0073	2,3975
6	SKODA OCTAVIA	1,1590	1,9820	2,2972
7	SKODA OCTAVIA	1,5199	1,8040	2,7420
8	SKODA SUPERB	1,1232	1,6957	1,9046
9	VW PASSAT	1,3338	1,8747	2,5003
10	VW PASSAT	1,1626	2,0027	2,3284

Tab. 4.6 Wartości wyznaczonej elastyczności silników 1.9TDi w wariantach poddany „tuningowi”

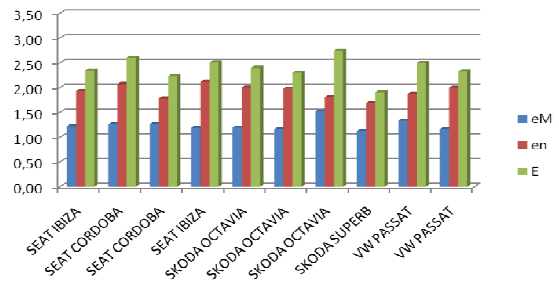
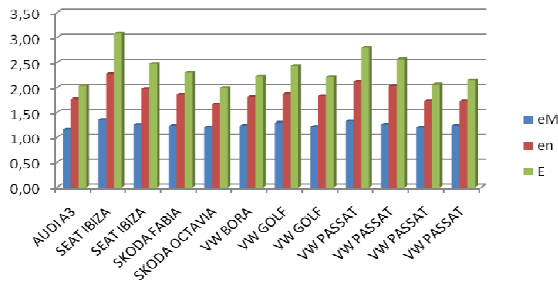
L.p.	Pojazd / Car	$e_M$	$e_n$	E
1	AUDI A4	1,1156	1,2945	1,4441
2	SEAT IBIZA	1,2115	1,4342	1,7376
3	SKODA OCTAVIA	1,1252	1,3651	1,5360
4	VW GOLF	1,1587	1,4452	1,6745
5	VW GOLF	1,1645	1,3836	1,6112
6	VW GOLF	1,1616	1,5477	1,7978
7	VW PASSAT	1,1638	1,4889	1,7327
8	VW PASSAT	1,2074	1,4789	1,7857
9	VW POLO	1,2515	1,5967	1,9984

od silników modyfikowanych, gdzie jest on mniejszy. Większy gradient świadczy o większej elastyczności. Wynika to z faktu, że w przypadku zmiany obciążenia wynikającej np. z wystąpienia wzniesienia na drodze, spowoduje w przypadku silnika o większej wartości E zmniejszenie prędkości obrotowej silnika i towarzyszący temu wzrost momentu obrotowego, pozwalający na pokonanie przeszkody. W przypadku silnika o mniejszej wartości E konieczna może być zmiana przełożenia w skrzyni przekładniowej. Jednak w przypadku silników modyfikowanych, gdzie głównie dąży się do zwiększenia mocy maksymalnej, silnik przeważnie dysponuje również większymi wartościami momentu obrotowego, stąd pokonanie tej samej przeszkody w postaci wzniesienia, wymaga w obu przypadkach różnego stopnia zasilania silnika.

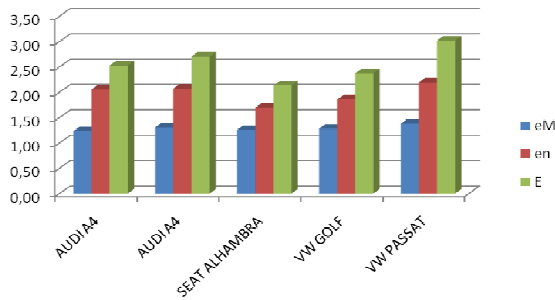
b)



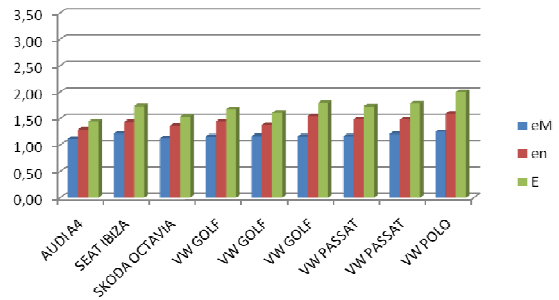
d)



e)



f)



Rys. 4.1. Zestawienie wyników obliczeń elastyczności w poszczególnych wariantach: a – 90 KM, b – 101 KM, c – 110 KM, d – 130 KM, e – 150 KM, f – poddany „tuningowi”

Otrzymane wyniki poddano obróbce statystycznej, gdzie wyznaczono podstawowe parametry (tab. 4.7). Z 95% prawdopodobieństwem można stwierdzić, że wartość średnia współczynnika elastyczności silników niemodyfikowanych wyniosła  $2,4119 \pm 0,0832$ , natomiast modyfikowanych  $1,7020 \pm 0,1243$ . W pierwszym przypadku błąd standardowy wyniósł 0,0413, natomiast w drugim 0,0539. Wartość ujemna kurtozy (-0,2383) w przypadku silników fabrycznych świadczy o niewielkim spłaszczeniu rozkładu z stosunku do normalnego, przeciwnie do silników modyfikowanych, gdzie zaobserwowano wysmuklenie (0,5567). W obu przypadkach rozkład skłania się ku wartościom większym od średniej, ponieważ skośności przyjęły wartości dodatnie (0,3010 i 0,1929).

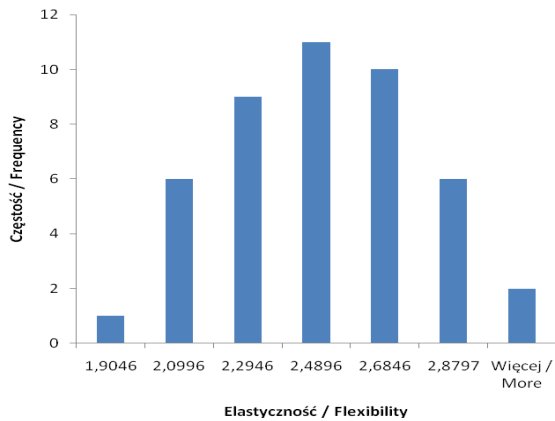
Na rys. 4.1 i 4.2 przedstawiono rozkłady empiryczne współczynnika elastyczności (histogramy) w wariancie fabrycznym i modyfikowanym. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż liczebność próbek silników modyfikowanych jest mała i służy jedynie celom porównawczym.

Wyznaczone wartości współczynnika elastyczności stawiają silniki modyfikowane poniżej silników fabrycznych, choć jak wiadomo silniki modyfikowane zapewniają większą dynamikę ruchu pojazdu. Porównując dwa silniki – fabryczny i modyfikowany (rys. 4.3) można zauważyć, że ich współczynniki elastyczności wynoszą odpowiednio 2,0819 i 1,6745 na niekorzyść silnika modyfikowa-

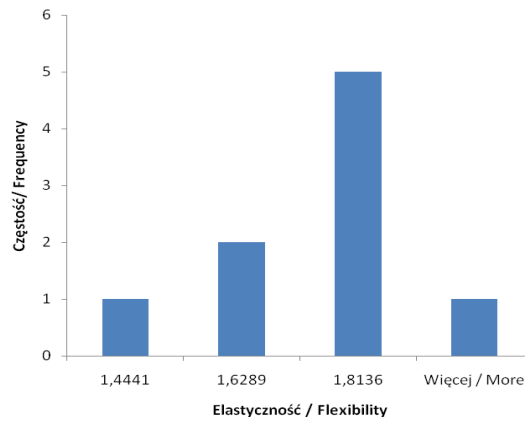
nego. Porównując ze sobą zapasy momentu obrotowego (2) bazujące na elastyczności momentu wyniosą one: fabryczny 0,1660, modyfikowany 0,1587, różnice są nieznaczne, stąd wniosek, że o wartości współczynnika elastyczności w tym porównaniu zdecydowały wartości elastyczności prędkości obrotowych.

Tab. 4.7 Wyniki obliczeń statystycznych elastyczności silników 1.9TDi

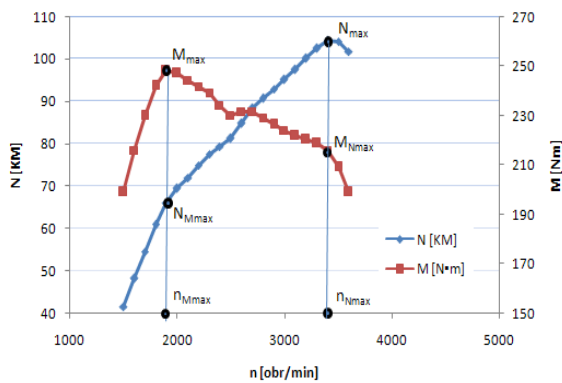
Parametr	fabryczny	„tuning”
Średnia / Average	2,4119	1,7020
Błąd standardowy / Standard error	0,0413	0,0539
Mediana / Median	2,3975	1,7327
Odczylenie standardowe / Standard deviation	0,2771	0,1617
Wariancja próbki / Variance of sample	0,0768	0,0262
Kurtoza / Kurtosis	-0,2383	0,5567
Skośność / Slant	0,3010	0,1929
Zakres / Range	1,1701	0,5542
Minimum / Minimum	1,9046	1,4441
Maksimum / Maximum	3,0747	1,9984
Suma / Total	108,5361	15,3180
Licznik / Counter	45,0000	9,0000
Największy / Extreme	3,0747	1,9984
Najmniejszy / Least	1,9046	1,4441
Poziom ufności / The confidence level (95,0%)	0,0832	0,1243



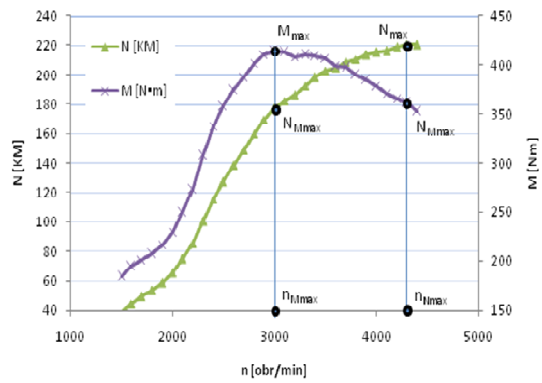
Rys. 4.1. Histogram elastyczności silników 1.9TDi w wariancie fabrycznym



Rys. 4.2. Histogram elastyczności silników 1.9TDi w wariancie „tuningowi”



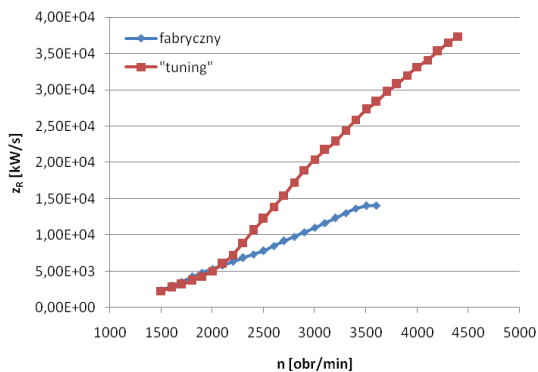
Rys. 4.3. Przykładowa charakterystyka zewnętrzna silnika fabrycznego (Seat Toledo 1.9TDI)



Rys. 4.4. Przykładowa charakterystyka zewnętrzna silnika modyfikowanego (VW Golf 1.9TDI)

Stąd też wprowadzenie parametru opisującego właściwości trakcyjne silnika w rozpatrywanym zakresie prędkości obrotowej – zapas ruchu (2).

$$z_R = N \cdot \omega \left[ \frac{\text{kW}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$



Rys. 4.5. Wartości zapasu ruchu analizowanych silników z funkcji prędkości obrotowej

Jak widać (rys. 4.5) silnik modyfikowany, jedynie w zakresie prędkości obrotowych do 2200 obr/min charakteryzuje minimalnie mniejszy zapas ruchu, w zakresie powyżej 2200 obr/min znacznie przewyższa silnik fabryczny. Oczywiście modyfikacje silnika to indywidualna kwestia warsztatu dokonującego zmian, z możliwością korekty – analizowane porównanie jest przykładowym.

Bezpośrednia konfrontacja współczynnika elastyczności z zapasem ruchu pokazuje pewne niedoskonałości parametrów opisujących właściwości silnika. Z jednej strony silnik o wysokim współczynnikiem elastyczności potrafi zareagować na zmianę obciążenia, lecz jego zapas ruchu nie pozwala mu na dynamiczne rozpędzanie i odwrotnie.

## 5. Podsumowanie

W badaniach analizowano współczynnik elastyczności silników wysokoprężnych 1.9TDi firmy Volkswagen montowanej w pojazdach grupy VAG. Analiza statystyczna pozwoliła na wyznaczenie wartości  $E=2,4119 \pm 0,0832$  w grupie silników fa-

---

brycznych. Dodatkowo porównano elastyczność silników niemodyfikowanych z tzw. „tuningowanymi”, wykazując mniejszą elastyczność tych drugich. Ostatecznie zestawiono współczynnik elastyczności z zapasem ruchu wykazując różnice wpływające na interpretację poszczególnych parametrów.

W przypadku współczynnika elastyczności problem pojawia się przy wyznaczaniu z charaktery-

styki zewnętrznej silnika doładowanego o sterowanym wydatku, gdzie w pewnym zakresie prędkości obrotowej moment obrotowy utrzymuje stałą wartość. Podstawiając do zależności (1) początkowy lub końcowy punkt momentu maksymalnego otrzymamy skrajnie różne wartości współczynnika elastyczności. Stąd też propozycja, by w celach porównawczych analizować również zapas ruchu. .

---

### Nomenclature/Skróty i oznaczenia

$E$  – współczynnik elastyczności silnika [-],  
 $e_M$  – elastyczność momentu obrotowego [-],  
 $e_n$  – elastyczność prędkości obrotowej [-],  
 $M$  – moment obrotowy silnika [N·m],  
 $M_{max}$  – maksymalny moment obrotowy silnika [N·m],  
 $M_{Nmax}$  – moment obrotowy odpowiadający mocy maksymalnej [N·m],  
 $N$  – moc silnika [kW],  
 $N_{Mmax}$  – moc odpowiada silnika [kW],

$n$  – prędkość obrotowa [obr/min],  
 $n_{Mmax}$  – prędkość obrotowa maksymalnego momentu obrotowego [obr/min],  
 $n_{Nmax}$  – prędkość obrotowa mocy maksymalnej [obr/min].  
 $Z_M$  – zapas momentu obrotowego [-],  
 $Z_R$  – zapas ruchu [kW/s],  
 $\omega$  – prędkość kątowna [rad/s],

---

### Bibliography/Literatura

- [1] Mysłowski J., Kołtun J., Elastyczność tłokowych silników spalinowych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.  
[2] Szpica D., Czaban J., Ocena wskaźników zewnętrznych i operacyjnych silników zasilanych LPG, Silniki Spalinowe, Nr 3, s. 68-75, 2010;

- [3] Szpica D., Czaban J., Zależność Leidemana a współczesne konstrukcje silników spalinowych, Przegląd Mechaniczny, nr 6, s. 24-29, 2010.

Mr Dariusz Szpica, DEng. – doctor in the Faculty of Mechanical Engineering at Białystok University of Technology.

*Dr inż. Dariusz Szpica – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej.*

email: dszpica@pb.edu.pl



Mr Jarosław Czaban, DEng. – doctor in the Faculty of Mechanical Engineering at Białystok University of Technology.

*Dr inż. Jarosław Czaban – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej.*

email: jczaban@pb.edu.pl

