

# Zastosowanie hamowni drogowej do wyznaczenia parametrów operacyjnych silnika

Wawrzyniec Gołębiewski, Konrad Prajowski

## Streszczenie

W publikacji zaprezentowano możliwości hamowni drogowej do wyznaczania parametrów operacyjnych silnika do których należały: moment obrotowy, prędkość obrotowa oraz moc użyteczna jednostki napędowej. W artykule wykazano przydatność tej aparatury badawczej oraz porównano jej dokładność z dokładnością pomiarową urządzenia rolkowego hamowni podwoziowej.

**Słowa kluczowe:** hamownia drogowa, moment obrotowy silnika, moc użyteczna silnika.

## Wstęp

Kompleksowe badania eksploatacyjne pojazdów zakładają sprawdzenie poprawności funkcjonowania poszczególnych ich układów. Jednym z nich jest układ napędowy. Podstawowym zespołem napędowym pojazdu jest jego silnik, a parametrami operacyjnymi opisującymi jego pracę jest moment obrotowy, prędkość obrotowa i moc użyteczna.

Moment obrotowy silnika jest jego zdolnością do wykonywania pracy. W warunkach stacjonarnych wielkość ta jest uzyskiwana przy obciążeniu silnika momentem hamującym przy pomocy hamulca silnikowego.

Prędkość obrotowa silnika jest liczbą obrotów wału korbowego silnika w danym okresie czasu.

Moc użyteczna jest to zdolność silnika do wykonywania pracy w czasie i jest obliczana jest na podstawie formuły [3]:

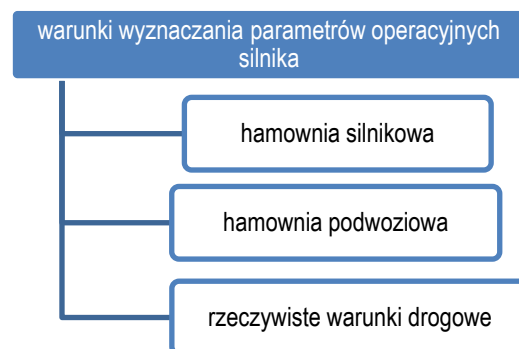
$$P^d = \frac{T_{iq} \cdot n}{9554.14} \quad (1)$$

gdzie:

- $P^d$  - moc użyteczna silnika [kW],
- $T_{iq}$  - moment obrotowy silnika [Nm],
- $n$  - prędkość obrotowa silnika [ $\text{min}^{-1}$ ].

Wyznaczanie tych wskaźników operacyjnych jednostki napędowej przeprowadza się z reguły w warunkach stacjonarnych przy zastosowaniu hamowni silnikowej (badanie samego silnika napędzającego pojazd) lub hamowni podwoziowej (badanie momentu obrotowego i mocy na kołach pojazdu i na jego podstawie określenie momentu obrotowego i mocy użytecznej silnika). Istnieje również możliwość określenia tych parametrów w warunkach pracy silnika innych niż stacjonarne [4]. Przenośna hamownia drogowa Dynomet pozwala na wyznaczenie tych wielkości w rzeczywistych warunkach ruchu pojazdu, a więc na drodze [5]. Można więc powiedzieć o wyznaczaniu parametrów operacyjnych silnikach

przy wykorzystaniu hamowni silnikowej bądź podwoziowej oraz w warunkach ruchu pojazdu po drodze – rys.1.



Rys. 1. Metody wyznaczania momentu i mocy użytecznej silnika

## 1. Cel pracy

Celem publikacji jest zaprezentowanie możliwości hamowni drogowej do określania parametrów operacyjnych silnika (momentu obrotowego, prędkości obrotowej oraz mocy użytecznej).

## 2. Stanowisko badawcze, obiekt badań i aparatura badawcza

Stanowiskiem badawczym była sucha, równa, płaska i prosta droga o dobrej nawierzchni asfaltowej, położona w terenie pozamiejskim, charakteryzująca się małym natężeniem ruchu pojazdów (długość odcinka pomiarowego – około 1000 metrów). Aparaturą badawczą było urządzenie hamownia przenośna – drogowa firmy Dynomet zakładana na wybrane tylne koło pojazdu. Przyrząd był wyposażony w firmowe oprogramowanie (rys.2) zainstalowane w komputerze pomiarowym. Schemat stanowiska badawczego, obiektu badań oraz aparatury pomiarowej został przedstawiony na rys.2.

## eksploatacja i testy

Obiektem badań był samochód osobowy marki Rover 75 wyposażony w jednostkę napędową 2.0 CDTi (tab. 1) oraz w hydromechaniczną przekładnię automatyczną firmy Jatco. Dane techniczne pojazdu zostały zebrane w tab. 2.



Rys. 2. Widok menu głównego oprogramowania hamowni drogowej Dynomet

Tab. 1. Dane techniczne silnika Rover 75 2.0 CDTi [1]

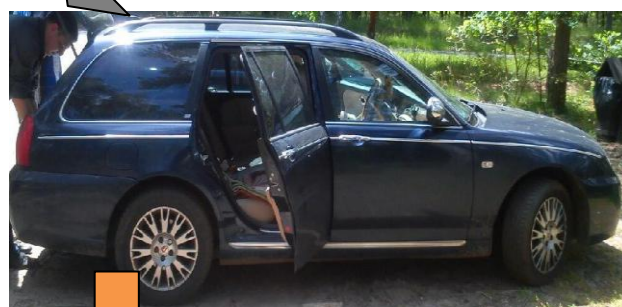
Ilość cylindrów/ zaworów	4/16
Pojemność skokowa [cm <sup>3</sup> ]	1951
Moc maksymalna [KM] przy [obr/min]	131/ 3500
Maksymalny moment obrotowy [Nm] przy [obr/min]	300/ 1900
Rodzaj sterowania (box)	Sterowanie wydłużeniem czasu wtrysku
Doładowanie	Turbosprężarka TD025L3-08T-3.3
Rok produkcji	2005
Przebieg [km]	181 045

Tab.2. Dane techniczne pojazdu Rover 75 [1]

Masa całkowita pojazdu	2000 kg
Przełożenie - trzeci bieg	1.364
Przełożenie - przekładnia główna	3.65
Przełożenie całkowite	4.979
Średnica zewnętrzna koła $d_z$	64.26 cm
Obwód koła ( $\pi \cdot d_z$ )	201.8 cm



a) droga o dobrej nawierzchni



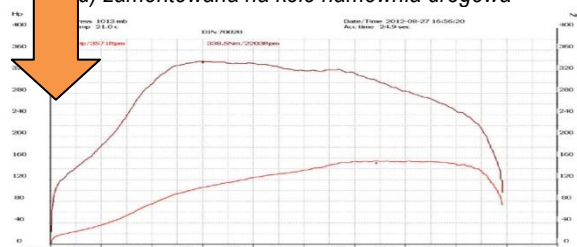
b) pojazd samochodowy Rover 75



c) walizkowa hamownia przenośna



d) zamontowana na koło hamownia drogowa



e) wykresy charakterystyk uzyskane na podstawie pomiarów (oprogramowanie Dynomet)

Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego, obiektu badań oraz aparatury pomiarowej (opracowanie własne)

### 3. Model matematyczny

Oprogramowanie hamowni podwoziowej Dynomet zakładało wykorzystanie relacji do obliczenia momentu obrotowego, prędkości obrotowej oraz mocy użytecznej silnika. Rzeczywistym parametrem mierzonym był moment obrotowy na kole samochodu. Moment obrotowy silnika był parametrem pośrednim wyznaczonym na podstawie tej wielkości [2]:

$$T_{tqK} = F_N \cdot \frac{d_z}{2} = m_c \cdot a \cdot \frac{d_z}{2} = m_c \cdot \frac{v}{t} \cdot \frac{d_z}{2} = m_c \cdot \frac{s}{t^2} \cdot \frac{d_z}{2} \quad (2)$$

$$s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n = \pi \cdot d_z \cdot n \quad (3)$$

$$T_{tqK} = m_c \cdot \frac{\pi \cdot d_z \cdot n}{t^2} \cdot \frac{d_z}{2} = m_c \cdot \frac{\pi \cdot d_z^2 \cdot n}{2t^2} \quad (4)$$

$$T_{tq} \cdot \eta \cdot i_c = m_c \cdot \frac{\pi \cdot d_z^2 \cdot n}{2t^2} \quad (5)$$

$$T_{tq} = m_c \cdot \frac{\pi \cdot d_z^2 \cdot n}{2 \cdot \eta \cdot i_c \cdot t^2} \quad (6)$$

gdzie:

- $T_{tqK}$  – moment obrotowy na kołach [Nm],
- $F_N$  – siła napędowa [N],
- $d_z$  – średnica zewnętrzna koła [m],
- $m_c$  – masa całkowita samochodu [kg],
- $a$  – przyspieszenie samochodu [m/s<sup>2</sup>],
- $v$  – prędkość samochodu [m/s],
- $t$  – czas pomiaru [s],
- $s$  – droga [m],
- $r$  – promień koła [m],
- $n$  – liczba obrotów koła,
- $\eta$  – sprawność układu napędowego,
- $i_c$  – przełożenie całkowite układu napędowego,
- $T_{tq}$  – moment obrotowy silnika [Nm].

Prędkość obrotowa silnika została wyznaczana na podstawie obrotów koła z następującej relacji [2]:

$$n_s = n_k \cdot i_c = \frac{n}{t} \cdot i_c \quad (7)$$

gdzie:

- $n_s$  – prędkość obrotowa silnika [obr/s],
- $n_k$  – prędkość obrotowa koła [obr/s].

Aby zamienić jednostki prędkości obrotowej silnika z [obr/s] należało wynik przemnożyć przez 60.

Moc użyteczna silnika została określona na podstawie następującej formuły:

$$P^d = T_{tq} \cdot n_s = T_{tq} \cdot n_k \cdot i_c = T_{tq} \cdot \frac{n}{t} \cdot i_c = m_c \cdot \frac{\pi \cdot d_z^2 \cdot n^2}{2 \cdot \eta \cdot t^3} \quad (8)$$

$P^d$  – moc silnika [W],

$T_{tq}$  – moment obrotowy silnika [Nm],

Aby zamienić jednostki mocy użytecznej silnika z [W] na [KM] otrzymany wynik podzielono przez 1000 i pomnożono przez 1.36.

Pozostałe nieopisane oznaczenia i jednostki we wzorach (6) i (7) były takie same jak we wcześniejszych wzorach (1), (2), (3), (4), (5).

### 4. Metodyka badań

Metodyka badań empirycznych zakładała wykorzystanie obiektu badań, stanowiska oraz aparatury badawczej do pomiaru momentu obrotowego, prędkości obrotowej i mocy użytecznej silnika.

Przed wykonaniem powyższej próby wykonano następujące czynności:

- uzupełniono ciśnienie w ogumieniu do wartości podanej przez producenta,
- zamknięto szyby boczne,
- obciążono samochód zgodnie z instrukcją fabryczną,
- próbę zrealizowano przy bezwietrznej pogodzie.

Przed pomiarem urządzenie (hamownię drogową) zamontowano na tylnym kole pojazdu, podłączono przewody do komputera przenośnego i wprowadzono do programu wstępne dane warunków pomiaru i obiektu badań (lewa strona rys. 2 - rys. 4).

Speed	Nm/hp
DIN 70020	60 0.2%
Air press	1008
Air temp	18.5
Total ratio	4.979
Weight	2000.0
Diff.	3.650
Wheel circ.	201.8
Puls/km	29732
Road Wheel	201.8

**Rys. 4.** Dane wejściowe oprogramowania Dynomet: - Air Press (ciśnienie zewnętrzne podawane w hPa), - Air temp (temperatura zewnętrzna podawana w °C), - Total ratio (przełożenie całkowite układu napędowego), - Weight (masa całkowita badanego pojazdu w kg), - Diff. (przełożenie przekładni głównej), - Wheel circ. To samo co Road Wheel (obwód koła). Pozostałe dane nie były wprowadzane do programu (system przeliczał je automatycznie).

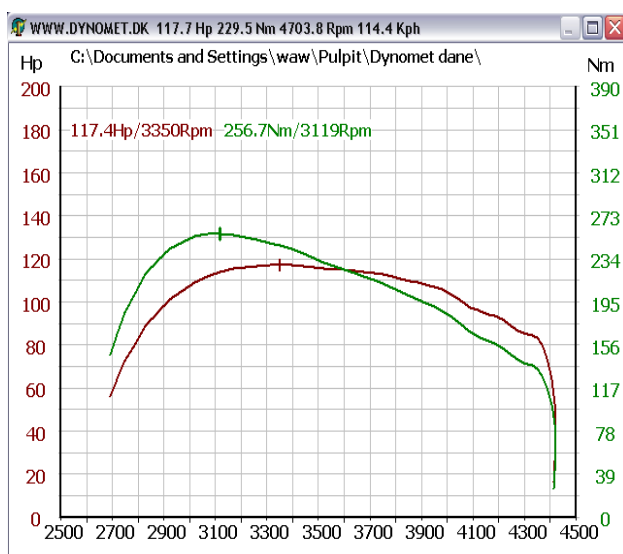
Po wprowadzeniu danych naciskając na ikonę hamowani zamontowanej na kole (rys.2- czwarta ikona na górze) i wybraniu z następnego pola dialogowego opcji „collect” program był przygotowany do pomiaru. Prędkość pojazdu i prędkość obrotowa silnika na polu dialogowym zgadzała się z prędkością pojazdu i prędkością obrotową silnika (dla biegu trzeciego). Po stwierdzeniu zgodności tych parametrów poprzez naciśnięcie „spacji” zaczęto dokonywać próbę.

Rozpędzanie pojazdu następowało z wykorzystaniem biegu trzeciego przy maksymalnie wciśniętym pedale przyspieszenia

od prędkości obrotowej pracy silnika ok. 1000 -1200 obr/min do maksymalnej prędkości obrotowej jednostki napędowej.

## 5. Wyniki

Przeprowadzona próba dała możliwość uzyskania charakterystyki zewnętrznej parametrów operacyjnych silnika (rys.5). Program sprowadzał wartości momentu obrotowego i mocy użytecznej do normalnych warunków odniesienia wg normy DIN 700020 (w zależności od panujących warunków otoczenia - ciśnienia i temperatury zewnętrznej).



**Rys. 5.** Charakterystyka zewnętrzna silnika 2.0 CDTi

Powyższa charakterystyka prezentowała zależność mocy użytecznej silnika podanej w KM (HP- oś rzędna lewa strona) oraz momentu obrotowego podanego w Nm (oś rzędna prawa strona) od prędkości obrotowej wału korbowego silnika podanej w obr/min (oś odciętych). Sporządzona została dla pełnej dawki paliwa (przy maksymalnie wciśniętym pedale przyspieszenia). Krzywa momentu obrotowego silnika była zaznaczona kolorem zielonym, a krzywa mocy użytecznej jednostki napędowej kolorem brązowym. Pojazd osiągnął maksymalny moment obrotowy wynoszący 256.7 Nm przy prędkości obrotowej równej 3119 obr/min oraz maksymalną moc użyteczną wynoszącą 117.4 KM przy prędkości obrotowej 3350 obr/min.

**Tab.3.** Porównanie momentu obrotowego silnika

	Maksymalny moment obrotowy [Nm]	Procentowy udział	Prędkość obrotowa momentu maksymalnego [obr/min]
Hamownia podwoziowa	274.5	91.5 %	2900

Hamownia drogowa	256.7	85.5 %	3119
Producent	300	100 %	1900

Porównując dokładność parametrów operacyjnych silnika z danymi uzyskanymi przy wykorzystaniu hamowni podwoziowej [1] oraz według danych producenta, dla pojazdu wyposażonego w ten sam silnik, procentowa różnica została przedstawiona w tab.3 i tab.4.

**Tab. 4.** Porównanie mocy użytecznej silnika

	Maksymalna moc użyteczna [KM]	Procentowy udział	Prędkość obrotowa maksymalnej mocy użytecznej [obr/min]
Hamownia podwoziowa	117.0	89.3 %	3800
Hamownia drogowa	117.4	89.6 %	3350
Producent	131	100 %	3500

Różnice pomiędzy pomiarami wskaźników pracy jednostki napędowej (hamownia podwoziowa i drogowa a dane podane przez producenta) wynikają z określonego przebiegu pojazdu.

## 6. Wnioski

Hamownia drogowa firmy Dynomet jest dobrym narzędziem do określania parametrów pracy jednostki napędowej pojazdu (moment obrotowy, prędkość obrotowa, moc użyteczna). Wykonywany pomiar z wykorzystaniem tej aparatury badawczej jest realizowany w warunkach drogowych, a więc w rzeczywistych warunkach ruchu samochodu. Niedokładność urządzenia dla określania momentu obrotowego wynosi 6% i 0.3 % dla określenia mocy użytecznej w stosunku do pomiarów przeprowadzanych z wykorzystaniem hamowni podwoziowej. Koszt hamowni drogowej jest zdecydowanie niższy w porównaniu z hamownią podwoziową.

## Bibliografia

1. Prajowski K.: Impact of an external, so called Box, module on gases composition of the ROVER 2.0 CDTi engine. Journal Of KONES. Warsaw 2013.
2. Prochowski L.: Mechanika ruchu. WKiŁ. Warszawa 2008.
3. PN-ISO 15550 standard, 2009: Combustion piston engines, Determination and method of engine power measurement, General requirements, PKN, Poland.
4. Sitek K., Syta S.: Badania stanowiskowe i diagnostyka. WKiŁ. Warszawa 2011.
5. <http://www.dynomet.dk/> Dostęp: 04.02.2014.

## The use of road dynamometer to determine engine operating parameters

### Abstract

*The paper presents abilities of a road dynamometer to determine engine operating parameters which included: torque, speed and power output of the drive unit. The article shows the usefulness of this test equipments and compared its accuracy with precision measuring devices roller chassis dynamometer.*

**Key words:** road dynamometer, engine torque, engine power output.

### Autorzy:

Dr inż. **Wawrzyniec Gołębiowski** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Dr inż. **Konrad Praiwowski** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie