

POMIAR PARAMETRÓW PRACY SILNIKA I BADANIA DIAGNOSTYCZNE POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH NA HAMOWNI PODWOZIOWEJ VT-2

W artykule przedstawiono sposób przeprowadzenia badań na hamowni podwoziowej VT-2. Zostały zaprezentowane przykładowe wyniki badań mające na celu określenie wpływu konfiguracji pracy silnika na uzyskane wartości mierzonych parametrów. Porównano wyniki uzyskane z hamowni oraz dane odczytane za pomocą testera diagnostycznego.

WSTĘP

Współczesna diagnostyka pojazdowa wymaga wykształconego personelu oraz specjalistycznych urządzeń. Ważnym aspektem jest czas potrzebny na zweryfikowanie stanu technicznego obiektu oraz dokładna ocena jego pracy. Z ekonomicznego punktu widzenia im szybciej zostanie zweryfikowany stan techniczny oraz postawiona zostanie dokładna diagnoza tym mniejsze będą straty. Pozostałymi ważnymi aspektami są bezpieczeństwo oraz ekologia. Jazda niesprawnym pojazdem wpływa zarówno na bezpieczeństwo na drodze, jak i na emisję toksycznych związków zawartych w spalinach silników. Niejednokrotnie procedury diagnostyczne wymagają użycia nowoczesnych metod kontrolno-pomiarowych, aby określić stan techniczny badanego pojazdu. Jednym ze stanowisk badawczych, które coraz częściej jest wykorzystywane do badań pojazdu, symulując warunki drogowe, jest hamownia podwoziowa. Urządzenie to przyśpiesza proces diagnostyczny i pozwala na ocenę stanu technicznego obiektu podczas jego pracy. Szczególne znaczenie badań wykonywanych na hamowni podwoziowej dotyczy oceny pracy i diagnostyki silnika zamontowanego w pojeździe bez konieczności jego demontażu. Metoda ta jest bardzo szybka oraz miarodajna w porównaniu do innych procedur.

1. HAMOWNIA PODWOZIOWA

1.1. Ogólna charakterystyka

Hamownia podwoziowa jest urządzeniem symulującym poruszanie się pojazdu w warunkach drogowych. Wykonanie badań w warunkach zewnętrznych jest niejednokrotnie kłopotliwe, między innymi z kilku powodów:

- tor pomiarowy musi zapewniać bezpieczne wykonanie pomiarów,
- nawierzchnia musi być płaska w dobrym stanie, tor jazdy prosty,
- czynniki atmosferyczne mogą mieć wpływ na wyniki pomiaru,
- występują ograniczenia w postaci zastosowania dodatkowej aparatury badawczej.

Stosując hamownię podwoziową do wykonywania pomiarów na stanowisku badawczym można uniezależnić się od wymienionych problemów. Urządzenie to potrafi zmierzyć parametry pracy silnika i układu napędowego bez konieczności poruszania się pojazdem po drodze lub wymontowania silnika z pojazdu, a następnie jego instalacji na stanowisku hamowni silnikowej. Wiązałoby się to również z koniecznością wymontowania elementów współpracujących, tj.: wiązki elektryczne oraz sterowniki poszczególnych systemów. We

współczesnych pojazdach sterowniki są częścią systemu sieci przesyłania danych. Podzespoły posiadają zapisane w sobie zabezpieczenia unieruchamiające pojazd. W przypadku braku jednego ze sterowników posiadających takie zabezpieczenie system nie zezwoli na uruchomienie silnika. Ponadto w warunkach codziennej eksploatacji wymienione rozwiązanie byłoby nieekonomiczne. Wymagałoby to każdorazowo przeinstalowania hamowni silnikowej do konkretnego silnika, jego wymontowania z pojazdu i zamontowania na stanowisku badawczym, a następnie ponowne umieszczenie w samochodzie. Hamownie silnikowe wykorzystuje się przede wszystkim w jednostkach naukowo-badawczych do testowania i oceny pracy silników w fazach projektów i produkcji.

W codziennej eksploatacji wykorzystuje się narzędzie uniwersalne w postaci hamowni podwoziowej, które pozwala na zbadanie pracy obiektu bez konieczności demontażu pojazdu na poszczególne elementy. Wymagane jest, aby badania wykonywane były w określonych warunkach. Pomieszczenie w którym przeprowadzane jest badanie powinno być dobrze wentylowane oraz posiadać wyciąg spalin, aby nie doszło do narażenia zdrowia lub życia personelu. Pozostałe cechy dobrze przygotowanego pomieszczenia to jego wymiary oraz wygłuszenie. Praca hamowni oraz samego pojazdu powoduje generowanie hałasu, który może być uciążliwy dla otoczenia. Personel powinien być wyposażony w dźwiękoszczelne nauszники ochronne oraz przestrzegać zasad BHP podanych przez producenta podczas pracy z hamownią podwoziową. Natężenie dźwięku podczas wykonywania badań może dochodzić nawet do 120dB. Ponadto podczas wykonywania badania w pomieszczeniu w którym jest przeprowadzane powinien znajdować się tylko przeszkolony personel, bez udziału osób trzecich. Należy zwrócić szczególną uwagę na części wirujące z dużą prędkością obrotową, tzn. wszelkiego rodzaju dekle ozdobne usytuowane na felgach. Powinny być zdemontowane na czas wykonywania pomiaru. Dodatkowo wymagane jest wymuszenie przepływu powietrza w celu zapewnienia odpowiednich warunków termicznych podczas wykonywania badania. Najczęściej efekt ten otrzymuje się poprzez zastosowanie przemysłowych wentylatorów nadmuchowych o przepływie powietrza powyżej 5000m³/h i mocy powyżej 2,5kW. Przy wykonywaniu pomiarów silnik i jego elementy nagrzewają się do temperatur przekraczających 100°C. Należy więc zachować ostrożność i nie dotykać gorących elementów bez odpowiedniego zabezpieczenia.

Hamownia podwoziowa do badania standardowych pojazdów samochodowych może występować w następujących wariantach:

- hamownia jednoosiowa z pomiarem inercyjnym,

- hamownia jednoosiowa z pomiarem inercyjnym i obciążeniowym (wyposażona dodatkowo w hamulec/hamulce elektrowirowe),
- hamownia 4x4 z pomiarem inercyjnym
- hamownia 4x4 z pomiarem inercyjnym i obciążeniowym

Występują również hamownie przeznaczone do pomiarów mocy, quadów, ciężarówek, traktorów, przy czym pomiar wykonywany jest na wale odbioru mocy (WOM).

Ponadto oprzyrządowanie hamowni może zawierać czujniki i przetworniki, między innymi takie jak:

- czujniki temperatury np. EGT(exhaust gas temperature – temperatura gazów spalinowych),
- czujniki ciśnienia, np. pomiar ciśnienia doładowania w układzie dolotowym,
- sondy szerokopasmowe do pomiaru AFR (air fuel ratio – stosunek powietrza do paliwa),
- kartę pomiarową z analogowymi wejściami sygnałów pomiarowych w przypadku hamowni VT-2 (oraz innych hamowni produkcji V-tech) mogą to być sygnały analogowe w przedziale $-10V \div +10V$.

Podpięcie dodatkowych wejść pozwala na zwiększenie wielkości mierzonych, co wpływa korzystnie na proces badania i dokładną obserwację zjawisk zachodzących podczas pracy obiektu. Niektórzy producenci hamowni, jak np. V-tech oferują również możliwość zbierania danych również z sieci OBD/CANBUS pojazdu. Jest to bardzo praktyczne rozwiązanie nie wymagające jednocześnie stosowania dodatkowych urządzeń. Interpretacja otrzymanych wyników z pomiarów oraz zestawienie ich z informacjami odczytanymi przez port OBD pozwala na dokładną diagnostykę silnika oraz stwierdzenie przyczyn nieprawidłowości w jego pracy.

1.2. Zasada działania hamowni podwoziowej

Hamownia podwoziowa ma za zadanie symulować warunki drogowe na stanowisku badawczym. Jej celem jest zmierzenie momentu silnika. Następnie w wyniku kalkulacji matematycznych wyliczana jest moc. W rzeczywistości cały proces pomiaru wymaga zmierzenia momentu i mocy na kołach podczas przyspieszania oraz wartości strat podczas zwalniania pojazdu. Suma wymienionych wartości tworzy reprezentatywny wynik pomiaru. Pomiar obejmuje cały układ napędowy, a uzyskane wyniki są miarodajne do oceny stanu badanego obiektu. Głównym czynnikiem wykorzystywanym przy standardowych badaniach jest bezwładność rolek na których umieszczone są koła napędowe pojazdu. W hamowniach wykorzystujących do badania inercję rolek mierzy się prędkość i pośrednio przyspieszenie rolek w ruchu obrotowym. Przyspieszenie z definicji

jest to pochodna prędkości po czasie (2). Mierząc wymienione wartości oraz znając wymiary rolek oraz masę można obliczyć moment bezwładności (3), a następnie korzystając z drugiej zasady dynamiki Newtona opisującej ruch obrotowy można wyznaczyć wartość momentu w funkcji prędkości (1).

$$M = I \cdot \alpha \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

$$I = m \cdot r^2 \quad (3)$$

Gdzie:

- M – moment obrotowy,
- I – moment bezwładności,
- α – przyspieszenie w ruchu obrotowym,
- ω – prędkość w ruchu obrotowym,
- m – masa punktu,
- r – odległość punktu od środka obrotu,
- t – czas.

Znając moment można następnie obliczyć moc jako iloczyn momentu i prędkości obrotowej (4).

$$P = M \cdot \omega \quad (4)$$

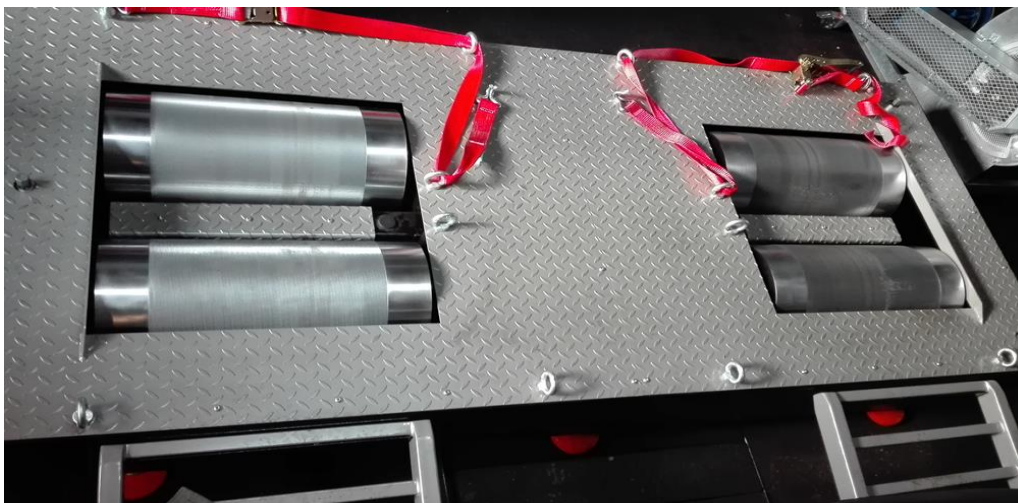
Gdzie:

- P – moc.

Pomiar inercyjny wymaga krótszego czasu pełnego obciążenia, przez co niewymagane jest stosowanie dodatkowych rozbudowanych układów chłodzących. Ponadto jest on dokładniejszy w stosunku do pomiarów z obciążeniem hamulcem elektrowirowym, gdyż nie jest obarczony błędami związanymi z pomiarem siły na tenso-metrze oraz wpływem dokładności sterowania obciążeniem.

Hamownie wykorzystujące do pomiaru tylko bezwładność mają pewne ograniczenia w postaci wymiarów oraz możliwości pomiarowych różnych typów silników. W przypadku turbodoładowanych silników dużej mocy pomiar bez zastosowania dodatkowego obciążenia może być niewykonalny. Istnieje jeszcze jedno ograniczenie w postaci braku możliwości pomiaru w trybie stałych obrotów.

Hamownie wykorzystujące dodatkowe obciążenie pozwalają na badanie pojazdu punkt po punkcie, analizę pracy w danym punkcie pomiarowym, możliwość pomiaru silników, których nie da się zmierzyć na hamowniach wykorzystujących inercję. Należy też zwrócić uwagę na fakt, iż przy wykonywaniu pomiaru w trybie inercyjnym i utrzymywaniu pojazdu w danym punkcie pomiarowym generowana jest duża ilość ciepła przez silnik. Brak monitorowania warunków termicznych może wpłynąć na wyniki pomiarów, a w najgorszym przypadku doprowadzić do uszkodzenia badanego obiektu. Hamownie z dodatkowym obciążeniem wykorzystują najczęściej ha-



Rys. 1. Hamownia podwoziowa VT-2.

mulce elektrowirowe, a moment hamujący mierzony jest przez czujnik tensometryczny umieszczony na wahliwej obudowie hamulca. Wychylenie obudowy spowodowane jest działającymi na nie siłami od układu napędowego i od momentu hamującego.

W obu typach pomiarów mierzone dane są następnie przesyłane do komputera na którym znajdują się program przeliczający otrzymane wartości i przedstawiający je w postaci liczbowej oraz graficznej w celu dalszej analizy.

1.3. Charakterystyka hamowni VT-2

Hamownia VT-2 na której zostały przeprowadzone badania znajduje się na wyposażeniu serwisu samochodowego AUTOTEC Dawid Bździuch w Biłgoraju. Jest to jednoosiowa hamownia podwoziowa widoczna na rys.1 zabudowana w wersji mobilnej, zwiększając jednocześnie możliwości jej stosowania i uproszczonego transportu.

Urządzenie składa się z:

- platformy w której umieszczone są poszczególne podzespoły takie jak:
 - 4 moletowane rolki,
 - wibroizolatory,
 - system pomiarowy,
 - kotwy pozwalające na przymocowanie pasami pojazdu do hamowni,
 - zabudowa mobilna z wysuwanymi kołami,
 - podnośnik pneumatyczny kół pojazdu wraz z hamulcem blokującym rolki,
- dostosowanych najazdów,
- laptopa wraz z oprogramowaniem VT Dyno oraz kluczem sprzętowym.

Ponadto stanowisko badawcze wyposażone jest w przemysłowy wentylator nadmuchowy odpowiedzialny za utrzymanie prawidłowych warunków termicznych o przepływie powietrza 20700m³/h napędzany silnikiem elektrycznym o mocy 2,5 kW z zasilaniem trójfazowym.

Niektóre dane charakteryzujące hamownię VT-2

- Vmax=300km/h,
- obciążenie na oś kg/oś=30kN,
- średnica rolki = 319mm,
- masa rolki 140kg,
- bezwładność rolki 2,64kg·m²,
- maksymalna wartość pomiaru mocy w trybie inercyjnym - zależy jest od typu silnika,

- zasilanie układu pomiarowego hamowni 5V DC z portu USB laptopa,
- zasilanie zaworów podnośnika pneumatycznego i hamulców rolek 230V,
- ciśnienie zasilające obwód pneumatyczny podnośnika i hamulców rolek 400kPa-700kPa,
- maksymalny błąd pomiaru 0,1% - technologia TrueForce, próbkowanie około 100000/s,
- zasilanie wentylatora 400V/25A.

Główną zaletą zastosowania dwóch rolek moletowanych na koło jest poprawienie przyczepności. W odniesieniu do systemu wykonywanego jedną rolką na koło można wskazać istotne różnice. System jedno rolkowy ma symulować płaską powierzchnię drogie efekcie czego rolki muszą posiadać dużą średnicę. W rzeczywistości nie jest możliwe pełne odwzorowanie styku koła z jezdnią, ponieważ rolka nie może mieć nieskończonej dużej średnicy. Rolki te ze względu na swoje rozmiary posiadają dużą inercję własną, przez co konieczne jest stosowanie dodatkowych środków „np. w postaci klejów do zapewnienia przyczepności. Ponadto z uwagi na mniejszą powierzchnię styku o około 1/3 w stosunku do hamowni z systemem dwu rolkowym istnieją ograniczenia co do maksymalnych mocy mierzonych na tego typu hamowniach. Dodatkowo w systemie dwu rolkowym ogranicza się ryzyko wystąpienia sytuacji niebezpiecznych, koła pojazdu znajdują się w stabilnym położeniu równowagi w stosunku do systemu jedno rolkowego, gdzie koło znajduje się w położeniu niestabilnym. Hamownie w systemie dwóch rolek na koło muszą posiadać rolki o dużej masie i odpowiedniej średnicy, aby móc zapewnić prawidłowe wykonywanie pomiarów.

Zmniejszenie wymiarów rolek i jednocześnie zwiększenie ich masy zapewnia podobną wartość momentu bezwładności, jak w przypadku hamowni z jedną rolką na koło, co wynika z prostych zależności dotyczących wyliczania momentu bezwładności, które silnie zależą od promienia i masy. System dwu rolkowy zwiększa opory toczenia, przez co można przenieść większe siły napędowe, ale powoduje to pojawienie się nieliniowości przy symulacji drogi. Nieliniowość tą można jednak potraktować jako kompensację oporu wiatru przy wyższych prędkościach występującą podczas poruszania się w warunkach zewnętrznych.

VT-2 posiada ponadto moletowane rolki o odpowiednio ukształtowanej powierzchni w celu poprawy przyczepności, ograniczenia temperatury opony podczas testów oraz obniżenia hałasu. Na trwałość rozwiązania wpływa pokrycie rolek warstwą chromu zabezpieczającą je przez nadmiernym zużyciem i wpływem warunków ze-

Type	Brand	Model	Year	Engine Type	Gearbox	Capacity	Power	Torque	Registration	Client	Creation	Comment
Car	Audi	A6 C5		Turbo Diesel	MT	1,9	1100N				17.01.02 18:00	
Car	VW	Golf V		Turbo Diesel	MT	1,9	1090N				17.01.02 15:19	
Car	Volk	560		Turbo Diesel	MT						16.12.29 11:22	
Car	Audi	A6 C6	2011	Turbo Diesel	AT	2,7	1880N				16.12.06 11:21	
Car	VW	CORRADO		LPG	MT		1500N				16.12.03 14:19	CORRADO SWAP 1.8T
Car	Lancia	Thesa		Gasoline	AT	3,0					16.11.23 13:15	
Car	BMW	320D		Turbo Diesel	MT	2,0					16.11.23 12:47	

Star	Name	Engine Power	Engine Torque	Date / Time	Type	Norm	Shift	Comment
★	Test0003	120,3HP @ 4020RPM	254Nm @ 2566RPM	17.01.02 18:12	DN	DN 70020 10°C 984Pa	73,0	
★	Seria	118,9HP @ 3976RPM	259Nm @ 2476RPM	17.01.02 18:09	DN	DN 70020 10°C 984Pa	73,0	
★	Test0001	117,3HP @ 3975RPM	253Nm @ 2546RPM	17.01.02 18:07	DN	DN 70020 10°C 984Pa	73,0	

Input status: Off OBD: Off Pressure: n/a Temp: n/a

Rys. 2. Okno główne programu VT Dyno.

wewnętrznych.

1.4. Charakterystyka oprogramowania

Za interpretację i wizualizację wyników odpowiada oprogramowanie dołączone do hamowni pod nazwą VT Dyno widoczne na rys.2. Oprogramowanie zabezpieczone jest kluczem sprzętowym bez którego nie ma możliwości uruchomienia.

Oprogramowanie posiada przejrzysty interfejs obsługowy. Po uruchomieniu programu pojawia się główne menu wraz z widoczną bazą danych z opisem pojazdów, które podlegały badaniom. Istnieje możliwość otworzenia poprzednich pomiarów ich analizy i wizualizacji. W celu wykonania pomiaru na nowym obiekcie należy stworzyć nowy projekt, gdzie uzupełniane są dane dotyczące pojazdu, jak i wybór trybu pomiaru. Dostępna jest opcja rozgrzewki, gdzie można wyznaczyć całkowite przełożenie układu napędowego, które jest potrzebne do otrzymania prawidłowych wartości mierzonych parametrów. Można również ustalić prędkość progową od której zaczyna się pomiar oraz normę dotyczącą sposobu przeprowadzania pomiaru i określenia współczynników korekcji mocy. Istotnym elementem jest tu wybór odpowiedniej normy. W Europie przyjęło się powszechnie stosować normę DIN70020 przy pomiarach wykonywanych na hamowni. Moc generowana przez silniki spalinowe zależy od temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza dostarczanego do silnika. Brak stosowania normy spowodowałoby, że pomiary wykonywane w dwóch różnych miejscach, np. na terenach górskich i nad morzem różniłyby się otrzymanymi wynikami wynikającymi z różnych wartości ciśnienia, temperatury i gęstości powietrza. W celu zapewnienia poprawnych wyników stosuje się współczynnik korekcyjny w przypadku normy DIN opisane wzorem (5).

$$cf = \left(\frac{p}{p_0} \right) \cdot \left(\frac{T_0}{T} \right)^{0,5} \quad (5)$$

Gdzie :

- cf – współczynnik korekcyjny mocy
- p – ciśnienie atmosferyczne [bar]
- p₀ – ciśnienie odniesienia 1.01325 [bar]
- T – temperatura otoczenia [K]
- T₀ – temperatura odniesienia 293 [K]

Wielkości te są mierzone za pomocą czujników zlokalizowanych w pulpicie kontrolnym, a następnie przesyłane do oprogramowania VT Dyno. W przypadku podłączenia dodatkowych czujników możemy wybrać wartości, które będą wyświetlane na podglądzie. Po rozpoczęciu pomiaru widoczne jest okno z podglądem paramet-

trów. Na tym etapie pomiarów można na bieżąco monitorować wartości rejestrowane przez oprogramowanie.

Po wykonaniu pomiaru otrzymuje się interpretację graficzną pomiaru, jak też maksymalne wartości liczbowe widoczne na rys.3. Podstawowe dane, które są wyświetlane to moment, moc i straty w postaci mocy oporów pochodzących od układu napędowego, tocznienia kół po rolkach i rolek napędowych.

2. BADANIA POJAZDU SAMOCHODOWEGO NA HAMOWNI PODWOZIOWEJ

2.1. Cel i zakres badania

Badanie zostało wykonane na pojeździe Opel Zafira 2.0 DTI z silnikiem Y20DTH. Dane katalogowe producenta moc 74kW (101KM) przy n=4300 obr/min, moment obrotowy 233Nm przy n=1950-2500 obr/min, Vmax=175km/h, masa całkowita 1560kg.

Celem badań była ocena wyników badań względem czynników powodujących zmianę wartości osiągniętych przez jednostkę napędową pojazdu. Badanie zostało przeprowadzone z uwzględnieniem normy DIN70020 do wyznaczania wartości skorygowanych. Do zakresu badań należy:

- pomiar mocy i momentu silnika oraz wyznaczenie wartości maksymalnych – pomiar wykonywany w trybie inercyjnym,
- pomiar strat generowanych przez układ napędowy,
- pomiar mocy na kołach,
- pomiar parametrów pracy silnika przez złącze diagnostyczne pojazdu za pomocą testera serwisowego,
- porównanie wyników otrzymanych z pomiarów na hamowni z wynikami otrzymanymi z odczytu przez tester diagnostyczny,
- wskazanie zależności pomiędzy pomiarami.

Badanie ma na celu pokazanie możliwości oceny stanu technicznego obiektu oraz jego diagnostyki.

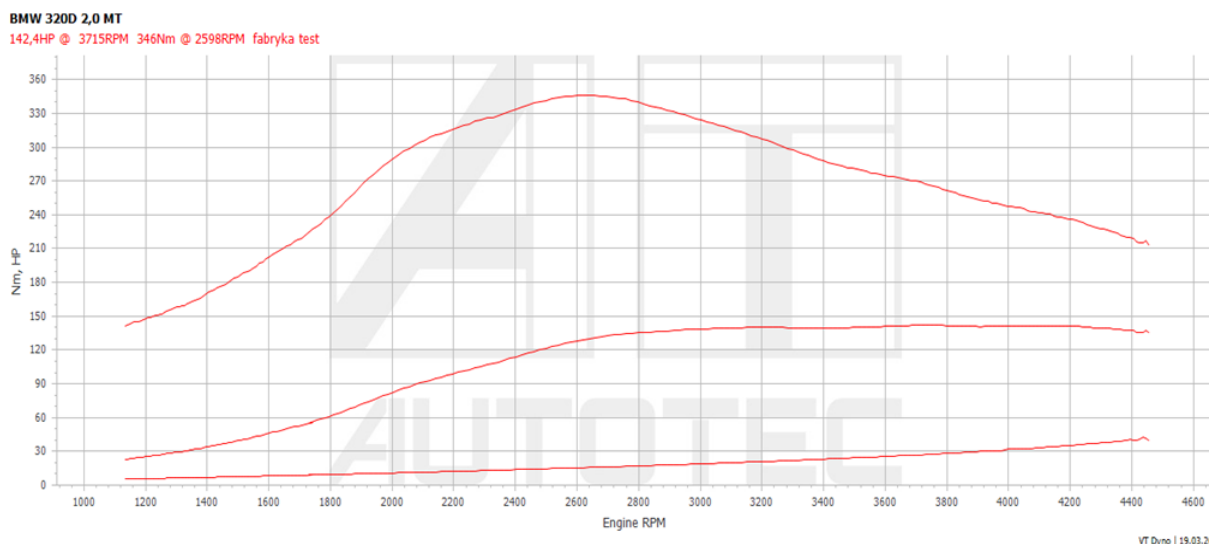
Eksperyment polegał na przeprowadzeniu badania osiągniętych silnika i porównaniu otrzymanych wyników przy różnych konfiguracjach pracy.

2.2. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko badawcze składa się z hamowni podwoziowej VT-2, przemysłowego wentylatora nadmuchiowego, pulpitu kontrolnego oraz laptopa z oprogramowaniem VT Dyno. Uproszczony schemat stanowiska pokazany jest na rys.4.

W celu wykonania badania należy przestrzegać następujących kroków postępowania:

1. Sprawdzić stan hamowni, ustawienie wibroizolatorów,



Rys. 3. Interpretacja graficzna wyniku pomiarów z podaniem maksymalnych wartości mocy i momentu.

2. Sprawdzić stan pojazdu – stan ogumienia, ciśnienie w oponach, wykonać podstawową diagnostykę silnika i układu napędowego, usunąć wykryte usterki, zdemontować dekle ozdobne kół oraz inne elementy, które podczas pomiaru mogły ulec oderwaniu się od koła i elementów wirujących układu napędowego, stanowiąc zagrożenie utraty zdrowia bądź życia,
3. Ustawić belkę podnoszącą koła w górnym położeniu, sprawdzić czy rolki zostały zablokowane hamulcem, sprawdzić położenie najazdów i ustawienie podpór,
4. Najechać pojazdem na rolki hamowni tak, aby jego koła znajdowały się w połowie ich długości,
5. Opuścić podnośnik kół,
6. Wyśrodkować pojazd poprzez włączenie niskiego biegu i nadzorowanie ruchu pojazdu,
7. Wyłączyć pojazd i zabezpieczyć pasami przed wypadnięciem z rolek w czasie testu – mocowanie wykonać zgodnie z zaleceniami zawartymi w instrukcji obsługi,
8. Podłączyć oprzyrządowanie pomiarowe i system wyciągu spalin,
9. Przed przystąpieniem do pomiaru osoby postronne powinny bezwzględnie opuścić pomieszczenie w którym znajduje się stanowisko,
10. Wykonać rozgrzewkę – doprowadzić silnik do temperatury roboczej oraz wyznaczyć w jej trakcie przełożenie.
11. Włączyć wentylator nadmuchowy,
12. Wykonać pomiar.

2.3. Proces realizacji badań

Badania zostały przeprowadzone po uprzednim sprawdzeniu stanu technicznego pojazdu. Proces realizacji pomiarów jest określony przez algorytm postępowania określony przez producenta i zastosowanego oprogramowania hamowni. Badania zostały wykonane w trybie inercyjnym, przy jednoczesnym odczytywaniu danych parametrów pracy silnika przez złącze diagnostyczne pojazdu z użyciem testera diagnostycznego. Metoda inercyjna jest najszybszą i najprostszą metodą pomiaru mocy i momentu na silniku i na kołach. Przebieg pomiaru polega na rozpędzeniu pojazdu na hamowni do określonej prędkości obrotowej na wybranym wcześniej biegu i określonym przełożeniu. Następnie po osiągnięciu zadanego progu prędkości obrotowej należy wcisnąć pedał sprzęgła i pozwolić pojazdowi na swobodne toczenie się bez napędu aż do zatrzymania. W metodzie inercyjnej obciążeniem dla silnika są: bezwładność rolek, opory toczenia oraz wszelkie opory występujące w mechanizmie przeniesienia napędu. Pomiar wymaga około 20 sekund peł-

nego obciążenia i kilku minut swobodnego toczenia się pojazdu na rolkach hamowni, aż do momentu zatrzymania się kół samochodu. Moc i moment mierzone są podczas przyspieszania pojazdu na rolkach (moc i moment na kołach) oraz podczas zwalniania (moc i moment strat). Suma powyższych wartości jest reprezentacją wyniku w postaci mocy i momentu silnika w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego.

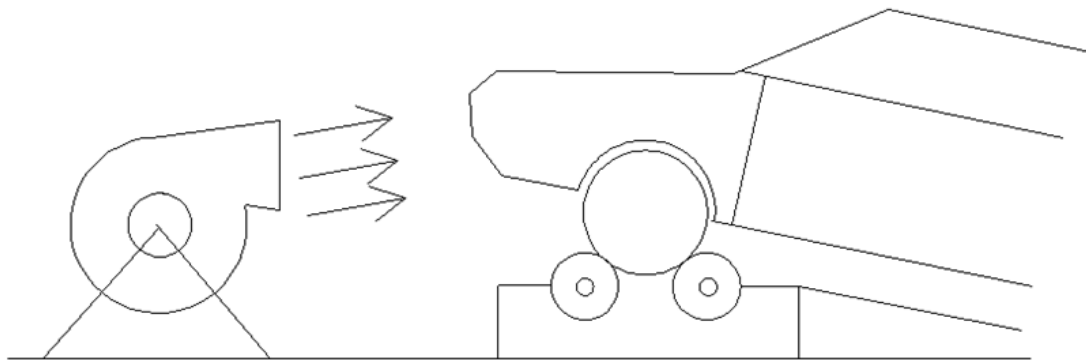
Proces wykonywania pomiaru przebiega w następujących krokach:

1. Wybór odpowiedniego trybu pomiarowego, wybrano tryb inercyjny,
2. Rozpędzanie pojazdu ze zmianą biegów przy niskich prędkościach obrotowych (około 1000obr/min), aż do osiągnięcia biegu docelowego na którym ma być przeprowadzony pomiar,
3. Wciśnięcie pedału przyspieszenia do oporu i przetrzymanie do momentu, aż silnik osiągnie maksymalną prędkość obrotową, po czym następuje wciśnięcie pedału sprzęgła i swobodne toczenie się kół pojazdu aż do samoistnego zatrzymania.
4. Po zatrzymaniu się kół następuje zakończenie testu, zgromadzone dane są wizualizowane w postaci wykresów. Istnieje również możliwość eksportu danych liczbowych w formacie csv, jak również wydruk wykresów.

Po zakończonym pomiarze należy wyłączyć silnik oraz pozostawić uruchomiony wentylator nadmuchowy w celu schłodzenia silnika. Pomieszczenie należy przewietrzyć po każdym przeprowadzonym badaniu.

Dane pomiarowe zapisywane są na dysku twardym komputera. W programie są one skatalogowane i istnieje możliwość ich odtworzenia. Do każdego badanego wcześniej pojazdu można w dowolnej chwili wykonać kolejne badania, które będą przypisane do tego pojazdu i będzie je można porównywać z badaniami wykonanymi wcześniej.

Podczas wykonywania pomiaru na ekranie komputera dostępny jest podgląd wartości chwilowych rys.5. Rodzaj i liczba wartości na podglądzie zależą od ilości podpiętych czujników i wyboru które z nich mają być prezentowane na podglądzie. Przykładowo może to być, prędkość pojazdu, prędkość obrotowa silnika, moc, ciśnienie doładowania, AFR, EGT lub inne wartości, które ze względu na charakter przeprowadzanego badania wymagają ciągłej obserwacji. Wartości te prezentowane są w formie graficznej oraz cyfrowej w polach położonych obok wykresów. Personel wykonujący badanie może skorzystać ze zdalnej kontroli oprogramowania, np. za pomocą tzw. pulpitu zdalnego. Po wykonaniu badania w celu opuszczenia stanowiska pomiarowego należy zdemontować pasy zabezpie-



Rys. 4. Uproszczony schemat stanowiska pomiarowego.

czające, podnieść koła pojazdu za pomocą podnośnika pneumatycznego oraz ostrożnie zjechać pojazdem z rolek.

2.4. Wyniki

Pomiary zostały przeprowadzone po uprzednim rozgrzaniu pojazdu w trybie rozgrzewka i ustaleniu przełożenia całkowitego. Bieg numer 4 ustalono jako bieg na którym zostanie przeprowadzone badanie. Pomiary zostały przeprowadzone w trybie inercyjnym z wykorzystaniem testera diagnostycznego w celu odczytu bieżących parametrów pracy silnika. Ze względu na charakter badania odczytano parametry, takie jak moc i moment obrotowy oraz straty w funkcji prędkości obrotowej silnika. Główne parametry odczytane za pomocą testera diagnostycznego to ciśnienie doładowania, masa powietrza zasysanego, dawka paliwa oraz kąt wtrysku. Ciśnienie doładowane jest mierzone przez czujnik ciśnienia doładowania, który jest umieszczony w kolektorze dolotowym (mierzący ciśnienie bezwzględne). Masa powietrza mierzona jest przez przepływomierz masowy umieszczony w obudowie filtra powietrza. Wartości ciśnienia i masy powietrza mają istotny wpływ na proces diagnostyczny z wykorzystaniem wyników z hamowni. Interpretacja danych uzyskanych z pomiaru na hamowni wraz z wartościami parametrów pracy zarejestrowanymi przez sterownik silnika odczytanymi za pomocą testera diagnostycznego pozwalają na powiązanie wyników i wykrycie usterki. Ze względu na silnik turbodoładowany uszkodzenie układu dolotowego ma znaczący wpływ na osiągane wartości mocy i momentu. Parametry te charakteryzują miarę obciążenia silnika i stanowią podstawę do sterowania masą paliwa, co w konsekwencji prowadzi do wielkości generowanych osiągnięć przez silnik pojazdu. Charakterystykę krzywej momentu uzyskanej na hamowni można porównać do charakterystyki krzywej współczynnika napełnienia cylindra η_v , która ma odpowiadający przebieg w funkcji prędkości obrotowej silnika. Współczynnik napełnienia cylindra świeżym ładunkiem opisany jest wzorami (6) i (7).

$$\eta_v = \frac{m_r}{m_s} \quad (6)$$

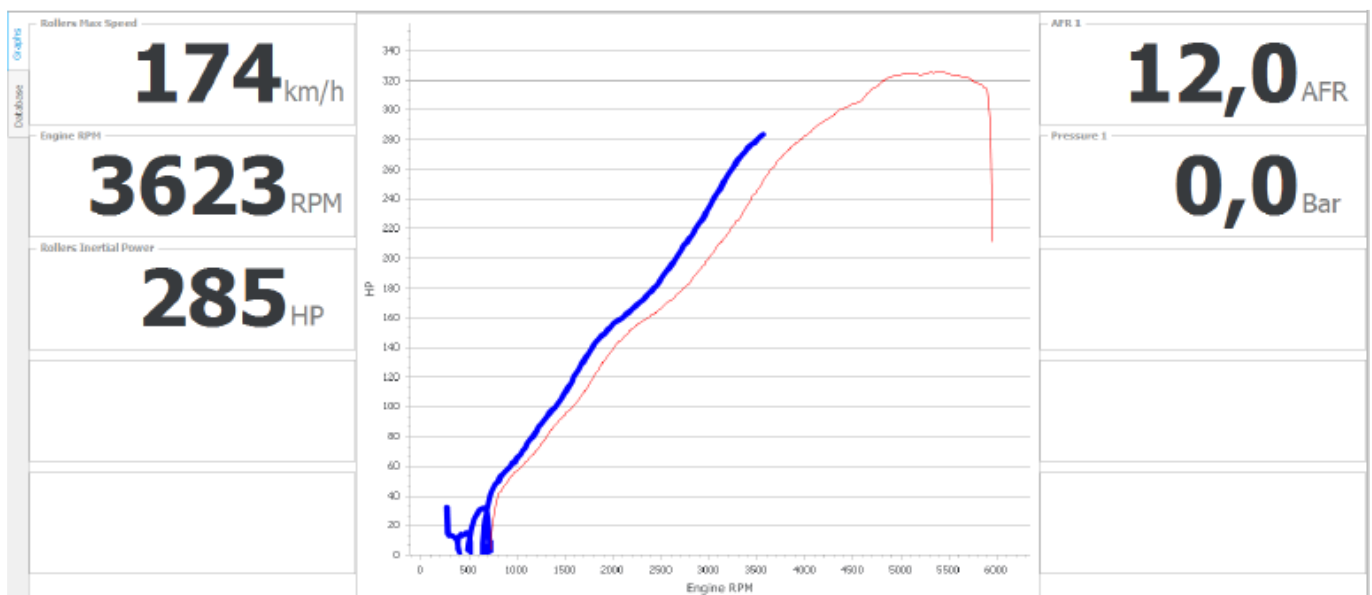
$$m_s = V_s \cdot \rho_0 \quad (7)$$

Gdzie:

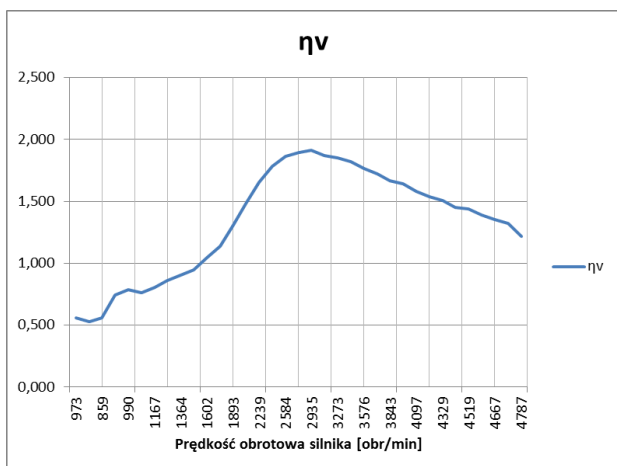
- m_r – masa ładunku rzeczywiście doprowadzona do cylindra,
- m_s – masa ładunku teoretycznego wynikająca z pojemności skokowej silnika,
- V_s – objętość cylindra,

– ρ_0 – gęstość powietrza w warunkach standardowych ($\rho_0=1,169\text{kg/m}^3$).

Znając dokładną pojemność silnika zawartą w danych technicznych pojazdu można obliczyć masę teoretyczną ładunku przy podanej gęstości w warunkach standardowych. Mierząc chwilową wartość, np. za pomocą przepływomierza masowego można obliczyć współczynnik napełnienia cylindra świeżym ładunkiem. Sterownik silnika ma zaimplementowaną wartość teoretyczną na podstawie wyliczeń, przez co może określić błąd ilości podawanego powietrza. W parametrach bieżących znajdują się wartości zadane, które są obliczone, między innymi na podstawie powyższego wzoru i uzyskanych wartości podczas fazy projektowania i testów silnika. Przebieg krzywej jest odzwierciedleniem przebiegu momentu obrotowego silnika. Na tej podstawie można powiązać wykresy uzyskane z hamowni z wartościami mierzonymi przez złącze diagnostyczne z wykorzystaniem testera diagnostycznego. Dla celów porównawczych uzyskanych danych wykonano konieczne obliczenia. Na podstawie danych katalogowych obliczono masę teoretyczną powietrza. Masę rzeczywistą odczytano za pomocą testera diagnostycznego przez złącze diagnostyczne pojazdu. Dodatkowo zgromadzono dane dotyczące dawki paliwa, kąta wtrysku oraz ciśnienia doładowania. Wyniki zaprezentowane zostały w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Pierwszy etap badań polegał na zebraniu danych z hamowni i ze złącza diagnostycznego pojazdu w pełni sprawnego. Następnie zasymulowana została usterka, która doprowadziła do wprowadzenia pojazdu w tryb awaryjny. Osiągi pojazdu zostały ograniczone przez system sterujący silnikiem. Zebrane dane oraz wyniki badań przedstawione zostały w postaci graficznej za pomocą wykresów wygenerowanych w programie VT Dyno oraz wykresów stworzonych na podstawie danych uzyskanych z odczytu parametrów pracy silnika przez złącze diagnostyczne. Wyniki pomiarów dla pojazdu sprawnego zaprezentowane są na rys.6, rys.7 i rys.8



Rys. 5. Okno z podglądem wartości chwilowych.

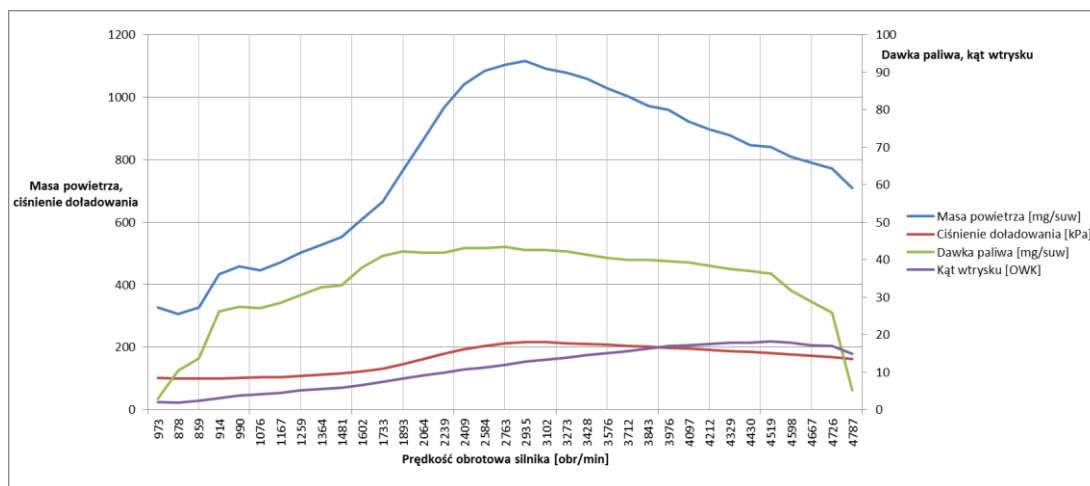


Rys. 6. Przebieg współczynnika napętnienia cylindra dla sprawnego pojazdu.

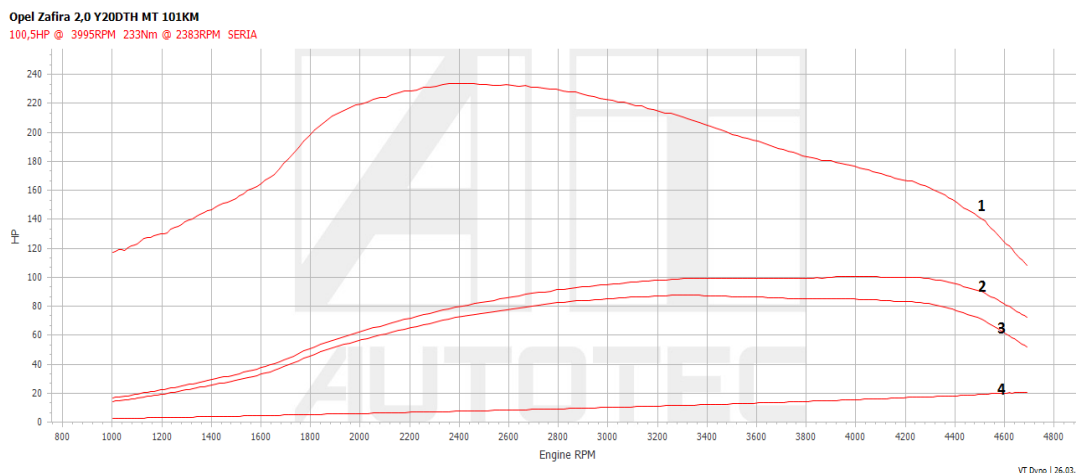
Zaobserwowano fakt dotyczący odwzorowania przebiegu krzywej momentu rys. 8 (krzywa nr.1) przez przebieg krzywej współczynnika napętnienia cylindra rys.6. Należy zauważyć, że wartość współczynnika η_v przyjmuje wartości większe od 1. Spowodowane jest to zastosowaniem turbodoładowania, co skutkuje zwiększenie ilości świeżego ładunku dostarczanego do cylindra w stosunku do ilości teoretycznej. Zaobserwowano jednocześnie podobny przebieg krzywej dawkowania paliwa w odniesieniu do przebiegu krzywej masy powietrza dostarczanego do cylindra rys.7. Dane odczytywane z przepływomierza powietrza informują sterownik o stopniu

obciążenia silnika i wymaganej ilości paliwa. W przypadku zastosowania turbodoładowania konieczne jest, aby mierzyć również ciśnienie doładowania. Ciśnienie doładowania widoczne na rys.7 jest płynnie regulowane przez sterownik silnika. Spostrzeżono, iż maksymalne wartości ciśnienia doładowania występują wówczas, gdy osiągnięty jest maksymalny moment obrotowy. W przypadku turbodoładowanych silników o zapłonie samoczynnym osiągane wartości momentu obrotowego zależą głównie od przebiegu i wartości ciśnienia doładowania. Wyznaczone krzywe są pomocne przy analizie stanu technicznego silnika i poszukiwaniu przyczyn jego niesprawności. Są też one uzupełnieniem danych otrzymanych z pomiarów na hamowni rys.8, gdzie krzywa 1 jest przebiegiem momentu obrotowego silnika, krzywa 2 jest przebiegiem mocy silnika, krzywa 3 jest przebiegiem strat w układzie napędowym. Przebieg krzywej 1 można porównywać z przebiegiem z rys.6. Analizując obie krzywe zaobserwowano ich podobny przebieg. Na tej podstawie korzystając jedynie z testera i odczytu danych oraz wykonując proste obliczenia wyznaczono przebieg momentu, a następnie zweryfikowano wyniki z pomiarami na hamowni. Przebieg krzywej mocy można wyznaczyć mnożąc otrzymane wartości przez prędkość obrotową silnika. Zauważyć należy fakt, iż ze wzrostem prędkości silnika rosną straty w układzie napędowym pojazdu. Otrzymane charakterystyki są poprawne i pozwalają stwierdzić, iż silnik pojazdu jest sprawny, a w układzie napędowym nie występują usterki powodujące zwiększenie wartości strat.

Kolejny etap badań polegał na wywołaniu usterki i porównaniu wyników. Usterka polegała na symulacji uszkodzenia czujnika ci-

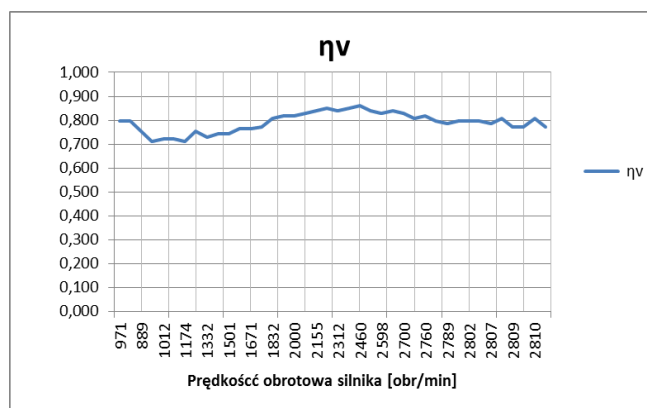


Rys. 7. Przebiegi charakterystycznych parametrów zarejestrowanych za pomocą testera diagnostycznego.



Rys. 8. Przebiegi krzywych otrzymanych z pomiarów na hamowni; 1-moment obrotowy silnika, 2-moc silnika, 3-moc na kołach, 4-straty.

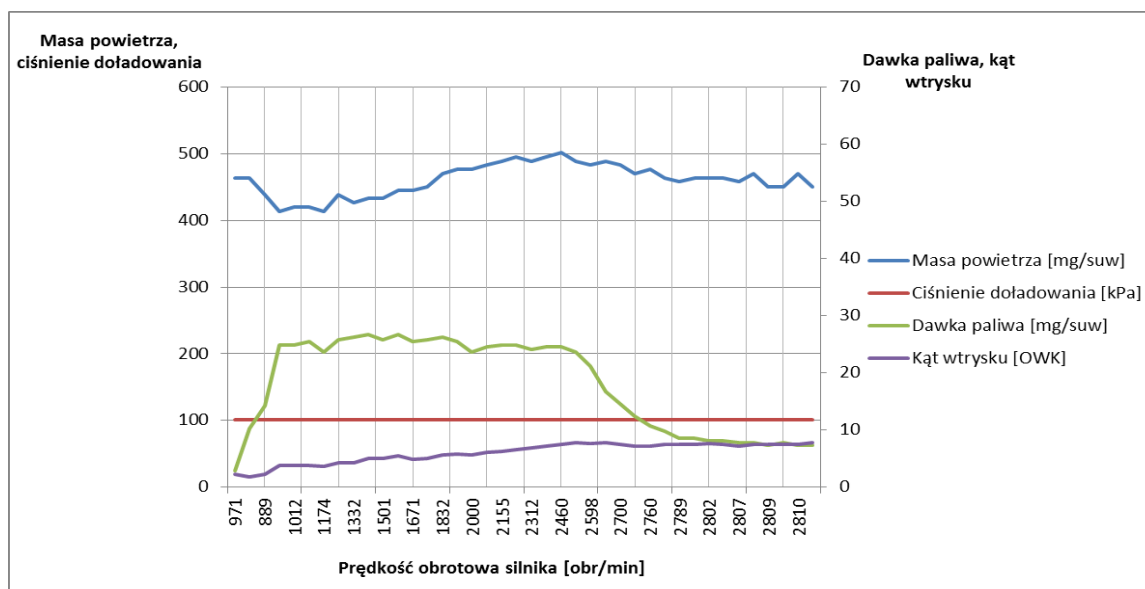
śnienia doładowania i wprowadzenia sterownika silnika w tryb awaryjny. Praca w trybie awaryjnym pozwala na bezpieczne poruszanie się pojazdem z ograniczonymi osiąganiami do stacji napraw.



Rys. 9. Przebieg współczynnika napętnienia cylindra dla pojazdu w trybie awaryjnym.

Porównując otrzymane krzywe współczynnika napętnienia cylindra o rys.9 oraz momentu obrotowego rys.11 w trybie awaryjnym

spostreżono podobieństwo w ich przebiegu. Przebieg krzywej η_v wiąże się z przebiegiem krzywej masy powietrza mierzonej przez przepływomierz. W trybie awaryjnym moc pojazdu została ograniczona ponad dwukrotnie z poziomu 100,5KM do poziomu 39,1KM. Natomiast moment obrotowy został obniżony prawie o połowę z poziomu 233Nm do poziomu 118Nm (rys.11). Jednocześnie została ograniczona maksymalna prędkość obrotowa do wartości 2700 obr/min. Zaobserwowano, że przebieg krzywej współczynnika napętnienia cylindra zmienił się podobnie jak przebieg krzywej momentu – wartości około dwukrotnie mniejsze. Przebieg krzywej momentu ma prawie stałą wartość. Natomiast przebieg krzywej mocy posiada przebieg funkcji liniowej o małym kącie nachylenia względem osi odciętych. Na rys.10 należy zauważyć stałą wartość ciśnienia doładowania. Przyczyną jest wywołana usterka i przyjęcie przez sterownik bezpiecznej wartości zastępczej. Ponadto prawie dwukrotnie została obniżona dawka paliwa. Również kąt wtrysku został zmniejszony. Otrzymane wartości są rezultatem przyjętej strategii sterowania w przypadku wystąpienia usterki rozumianej jako krytyczna ze względu na możliwość spowodowania dalszych zniszczeń. Z analizy danych na rys.10 wynika bezpośrednio, iż uszkodzenie polegało na braku odczytu przez sterownik rzeczywistego ciśnienia doładowania. Analiza krzywych otrzymanych z pomiarów

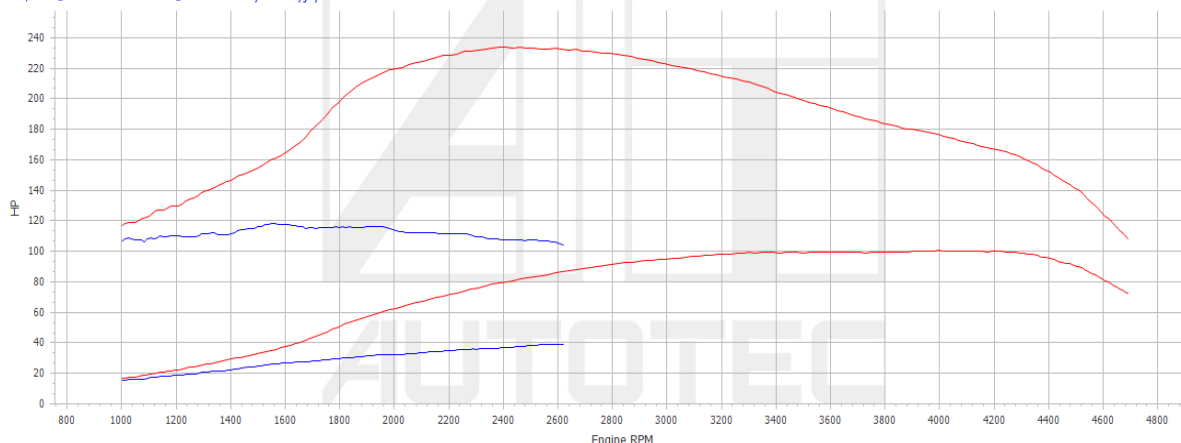


Rys. 10. Przebiegi charakterystycznych parametrów – tryb awaryjny.

Opel Zafira 2,0 Y20DTH MT 101KM

100,5HP @ 3995RPM 233Nm @ 2383RPM SERIA

39,1HP @ 2588RPM 118Nm @ 1549RPM tryb awaryjny



Rys. 11. Przebiegi krzywych mocy i momentu dla sprawnego pojazdu oraz dla pojazdu w trybie awaryjnym.

na hamowni oraz zebranie danych ze sterownika silnika pozwala na dokładne stwierdzenie przyczyny nieprawidłowej pracy silnika.

PODSUMOWANIE

Hamownia podwoziowa jest urządzeniem pozwalającym na zbadanie osiągnięć pojazdu oraz ma istotny wpływ w procesie diagnostycznym stanu technicznego obiektu. Analiza otrzymanych krzywych z hamowni pozwala na stwierdzenie poprawności przebiegu krzywych mocy, momentu oraz strat. W przypadku wystąpienia dużych strat należy sprawdzić układ napędowy pod względem generowanych przez niego oporów, np. uszkodzone łożysko w piąście koła. Ponadto przebieg krzywej momentu w przypadku silników turbodoładowanych pokazuje w przybliżeniu kształtowanie się ciśnienia doładowania w układzie dolotowym oraz przebiegu masy powietrza dostarczanego do cylindrów. Natomiast odczyty danych przez złącze diagnostyczne pojazdu oraz wykonanie prostych obliczeń matematycznych pozwala na wyznaczenie krzywej przebiegu współczynnika napełnienia cylindra, który to współczynnik w przybliżeniu odpowiada przebiegowi krzywej momentu obrotowego uzyskanego z pomiarów przeprowadzonych na hamowni. Analiza uzyskanych wyników pozwala na zaobserwowanie zależności przebiegu krzywych osiągnięć silnika od parametrów jego pracy. Zauważono zmniejszenie momentu obrotowego o 49% oraz mocy o 61% w przypadku wystąpienia trybu awaryjnego. Odczyty danych przez złącze diagnostyczne stanowią doskonale uzupełnienie wyników otrzymanych z badań przeprowadzonych na hamowni. Istotne jest zbieranie danych mających wpływ na osiągi generowane przez silnik pojazdu. Przykładem kluczowych danych jest: masa powietrza, dawka paliwa, kąt wtrysku, kąt wyprzedzenia zapłonu, ciśnienie w kolektorze dolotowym, stopień otwarcia przepustnicy. Wykorzystanie dodatkowej karty pomiarowej wiąże się z możliwością przeprowadzenia dokładnych badań, przy użyciu większej ilości czujników. Wartości takie jak AFR czy EGT są bardzo pomocne przy strojeniu sterownika silnika w przypadku przeprowadzonych w nim zmian i modernizacji. Hamownia oraz jej oprogramowania wymaga od użytkownika przeprowadzenia badania zgodnie z zaleceniami oraz przy zachowaniu zasad BHP. Dla osiągnięcia poprawnych wyników wymagane jest zweryfikowanie stanu ogumienia, ciśnienia w kołach, wyznaczenie przełożenia w układzie napędowym.

Stanowisko badawcze w postaci hamowni podwoziowej, karty pomiarowej, dodatkowych czujników oraz testera diagnostycznego pozwala na dokładną analizę pracy silnika, przeprowadzenie sekwencji testów, możliwość doboru wartości sterujących w poszczególnych punktach jego pracy, oraz wykrycie przyczyny niesprawności.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://vtechdyno.eu>
2. Sodr  J. R., Soares S. M. C., *Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions*, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering July-September 2003, Vol. XXV, No. 3.
3. Zając P., Kołodziejczyk L.M., *Silniki spalinowe*, WSiP, Warszawa 2001.
4. Merki  J., Mazurek St., *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa 2004.
5. Instrukcja obsługi hamowni podwoziowej VT-2.
6. www.dynomitedynamometer.com
7. www.explainthatstuff.com
8. www.setra.com

Measuring engine parameters and vehicles diagnostic tests on VT-2 chassis dynamometer

The article discusses the method of testing vehicles on the VT-2 chassis roller dynamometer. An example of test results was presented to determine the impact of the engine configuration on the measured values. The paper also focuses on the comparison of results obtained from the dynamometer and data read using a diagnostic tester.

Autor:

mgr inż. **Dawid B dziuch** – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii, e-mail: dawid.bzdziuch@gmail.com