



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



*Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego
w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Opolskiego na lata 2007 – 2013
"Inwestujemy w Twoją przyszłość"*

**Stanowiskowe testy eksploatacyjne i wdrożeniowe
hybrydowego układu napędowego
(rozwój konstrukcji na bazie samochodu Fiat PANDA
we współpracy z firmą Auto Power Electronic)**

OPOLE 2014

WPROWADZENIE

Hamownia podwoziowa jest urządzeniem, które jest nieodłącznie związane z pomiarem mocy w układzie napędowym samochodu osobowego czy też hybrydowego.

Hamownie podwoziowe są dość uniwersalne, jeśli chodzi o możliwości ich zastosowania. Znajdziemy hamownie dla pojazdów z napędem tylko na jedną oś (zdecydowana większość samochodów ma napęd tylko na jedną oś) jak i z napędem na obie osie. Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie, aby samochodem np. przednionapędowym wjechać na hamownię 4x4, ponieważ umożliwia ona nie tylko pomiar samochodów czteronapędowych. W budowie hamowni podwoziowej rozróżniamy jeszcze dwa typy sposobu napędu. Mianowicie występują konstrukcje jedno i dwurolkowe. Jednorolkowe mają większą dokładność, z racji lepszego odwzorowania kontaktu koła samochodu z nawierzchnią. Dwurolkowe z kolei są łatwiejsze w obsłudze i tańsze w produkcji. Samochód podczas pomiaru na hamowni jednorolkowej musi być bardzo dobrze zabezpieczony linami, ponieważ siła napędowa powoduje wyjeżdżanie samochodu do przodu. W przypadku dwurolkowej problem ten jest o wiele mniejszy, ponieważ koło jest niejako przyblokowane z racji tego, że znajduje się pomiędzy rolkami.

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów na hamowni podwoziowej samochodu hybrydowego Fiat PANDA, który powstał we współpracy z firmą APE. Stanowiskowe testy eksploatacyjne i wdrożeniowe tego układu napędowego mają dać odpowiedź co do sposobu sterowania silnikiem spalinowym w różnych warunkach ruchu samochodu. Wyniki badań pozwolą na wyznaczenie krzywej sterowania w warunkach statycznych i dynamicznych w zależności od stopnia wciśnięcia pedału przyspieszenia.

Praca ta wykonywana jest w ścisłej współpracy z studentami studiów magisterskich, którzy realizowali na obiekcie badań i hamowni podwoziowej pracą magisterską, są to Piotr Chmiel i Tomasz Blania.

Można tu porównywać wpływ stopnia wciśnięcia gazu na pomiary, jak i powtarzalność wyników. Wszystkie pomiary wykonywane będą w tych samych warunkach, aby uniknąć różnic wynikających z np. innej temperatury, czy ciśnienia powietrza podczas pomiaru.

1. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko do pomiaru mocy, jakim dysponujemy na naszej uczelni to hamownia Maha MSR 500. Jest to jedno z bardziej nowoczesnych i dokładnych urządzeń tego typu. MSR jest najwyższym pozycjonowanym stanowiskiem spośród oferowanych przez firmę MAHA hamowni, które to dzięki swojej dopracowanej technice pomiarów pojazdów z napędem na wszystkie koła i technologiami zaczerpniętymi z działów przemysłowych zapewnia profesjonalistom najlepsze możliwości pomiarów przy ciągłym obciążeniu, które umożliwiają precyzyjną modyfikację pojazdu. Zastosowanie silników dopędzających w połączeniu z hamulcami elektrowirowymi umożliwia perfekcyjną synchronizację osi przedniej i tylnej. Dzięki temu możliwa jest kontrola pojazdów wyposażonych we wszelkie rodzaje napędów na cztery koła, jak i napędów na jedną oś. Stanowisko wyposażone jest też w wydajny wentylator, dzięki któremu możliwe jest odpowiednie chłodzenie mierzonego pojazdu. Na tabeli nr.1 przedstawiono dane techniczne stanowiska pomiarowego.

Tabela.2.1 Dane techniczne hamowni Maha MSR 500

Maksymalny nacisk na jedną oś	2500 kg
Rozstaw kół – min/max	700 mm/2200 mm
Rozstaw osi	2200 mm – 3200 mm
Średnica rolki	504 mm
Obwód toczny	1583 mm
Długość rolki	750 mm
Grubość ścianek rolki	12 mm
Mechaniczna masa zamachowa	2x 280 kg
Maksymalna prędkość	300 km/h
Maksymalna moc pomiar dynamiczny	>1000 kW
Maksymalna moc pomiar statyczny	260 kW/ na oś
Siła pociągowa osi przedniej/tylnej	ok.7000 N/ok.7000 N
Dopędzający silnik elektryczny	22 kW
Dokładność pomiaru na kołach	+/- 2%
Zasilanie	3x400V/ 32A
Waga całkowita zestawu rolkowego	4130 kg

Oprogramowanie umożliwia:

- Pomiar mocy ciągi (dynamiczny) i dyskretny (statyczny),
- Symulacja obciążenia przy stałej prędkości, prędkości obrotowej, sile pociągowej,
- Graficzna i numeryczna prezentacja mocy na kołach, silniku, strat oraz momentu obrotowego,
- Obliczanie mocy silnika zgodnie z DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, JIS D 1001, SAE J 1349,
- Program testujący prędkościomierze,
- Symulacja jazdy,
- Możliwość pomiaru cykli jezdnych,
- Ocena krzywych mocy za pomocą funkcji kursora,
- 5 krotne zbliżenie dla dokładnej oceny strat na krzywych mocy,
- Graficzna prezentacja wartości pomiarowych,
- Funkcja stopera podczas pomiarów przyspieszenia, pomiędzy dowolnymi prędkościami,
- Zapisywanie i wczytywanie krzywych mocy,
- Import i eksport danych,
- Dowolnie programowalne symulacje obciążenia,
- Czytelny wydruk DIN A 4 (diagramy i tabele),
- Szerokie możliwości odczytywania zewnętrznych wartości pojazdu: ciśnienia, temperatury, OBD, napięcia / prądu,
- Możliwość podłączenia analizatorów spalin MAHA,

Programy pomiarowe możliwe do wyboru wraz z krótkim ich opisem:

Symulacja obciążenia - pozwala na zasymulowanie w zależności od potrzeb, różnych warunków drogowych tzn. zasymulowanie różnych obciążeń, ich wzrostu itp. W zależności od potrzeb możemy zasymulować stałą siłę pociągową, stałą prędkość obrotową lub stałą prędkość jazdy

Pomiar mocy – za pomocą tej funkcji programu możemy dokonać pomiaru mocy silnika w trybie pomiaru ciągłego lub dyskretnego. Przy pomiarze ciągłym zostaje zbadana maksymalna moc silnika zgodnie z normami DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, SAE J439 lub JIS D1001, zależnie od tego, jakie ustawienia zostały wybrane w punkcie korekcja mocy. Krzywe mocy na kołach, siły pociągowej i silnika

prezentowane są w formie graficznej. Za pomocą dyskretnego pomiaru mocy możliwe jest, w zależności od prędkości pojazdu lub prędkości obrotowej, osiągnięcie zdefiniowanych punktów i chwilowe przytrzymanie.

Pomiar elastyczności – za pomocą tej funkcji programu możliwe jest sprawdzenie elastyczności pojazdu w wyznaczonym przez diagnostę zakresie. Po wywołaniu tej funkcji należy podać warunki, w których chcemy sprawdzić elastyczność.

Pomiar prędkości i drogi – ta funkcja programu umożliwia przeprowadzenie kontroli wskazań tachografu pojazdu, porównując ją ze wskazaniami na hamowni.

Dopasowanie obciążenia – to możliwość dopasowania bądź określenia współczynników oporów działających na samochód w ruchu, według norm ECE i SAE.



Rys.1.1. Stanowisko do pomiaru

Pojazd, który był obiektem badań to Fiat Panda, wyprodukowany w roku 2003r, ze skrzynią automatyczną CVT. Jego dane techniczne umieszczono w tabelce poniżej:

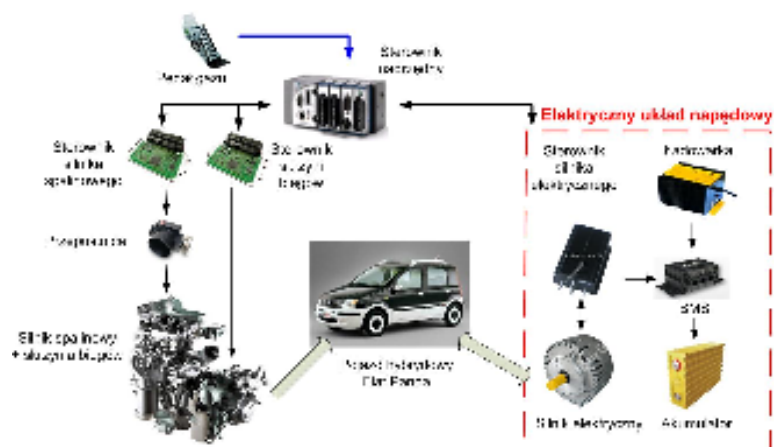
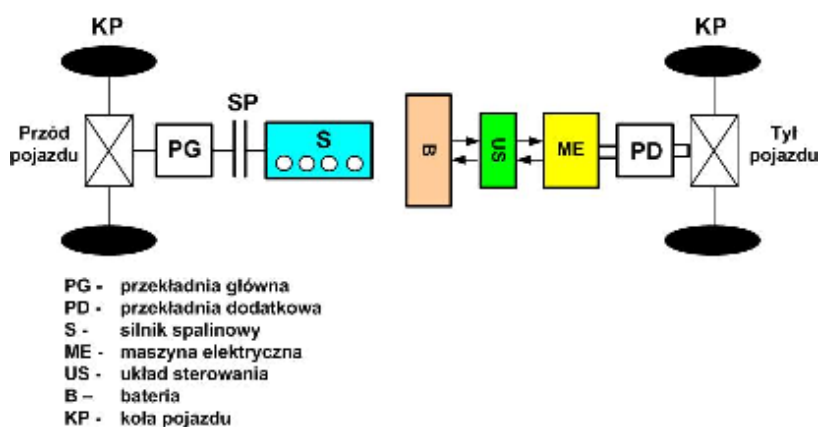
Tabela 2. Dane mierzonego pojazdu

Pojemność skokowa	1242 cm ³
Typ silnika	benzynowy
Moc silnika	60 KM przy 5000 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	102 Nm przy 2500 obr/min
Montaż silnika	z przodu, poprzecznie
Umiejscowienie wałka rozrządu	SOHC (OHC)
Liczba cylindrów	4
Układ cylindrów	rzędowy
Liczba zaworów	8
Stopień sprężania	9,8 : 1
Średnica cylindra × skok tłoka	70,8 x 78,9 mm
Typ wtrysku	wielopunktowy (MPI)



Rys.1.2. Fiat Panda użyty do pomiarów mocy i momentu.

Samochód ten został fabrycznie wyposażony w bezstopniową skrzynię automatyczną CVT. Nie jest to jednak tradycyjna skrzynia bezstopniowa, gdyż została wyposażona w elektronikę, która umożliwia sekwencyjną zmianę biegów. W praktyce można wybrać dwa typy zmiany biegów, czyli automat, który sam dostosowuje bieg do prędkości, oraz tryb manual, w którym kierowca sam wybiera obecne przełożenie. Brak tradycyjnego sprzęgła jest elementem, który utrudnia pomiary na hamowni. Problemem jest tutaj wyznaczenie strat napędu, ponieważ nie można rozłączyć napędu skrzyni od silnika, tak jak to ma miejsce w tradycyjnej skrzyni podczas wciskania sprzęgła. Właśnie z tego powodu niektóre krzywe strat odbiegają lekko od pozostałych, bądź są miejsca, w którym linia się załamuje.



Rys. 1.2. Hybrydowy układ napędu

Hybrydowy układ napędowy powstał przez dołożenie tylnej osi napędowej połączonej z silnikiem elektrycznym. Hybrydowy układu napędowego opracowano dla pojazdu FIAT Panda. Pojazd ten, wyposażony jest w silnik spalinowy o pojemności 1200 cm³ i mocy 41 kW oraz układ napędowy 4x4 z automatyczną skrzynią biegów. Zaproponowane rozwiązanie łączy ze sobą tradycyjny układ napędowy napędzający przednią oś oraz elektryczny układ napędowy połączony do kół tylnej osi pojazdu. Ze względu na brak elementów łączących te układy mogą one pracować niezależnie. Sprężenie tych układów występuje jedynie poprzez nawierzchnię drogi. Największą zaletą takiego układu jest prosta konstrukcja i łatwość doposażenia go do istniejących już na rynku pojazdów.

Proponowany układ (rys 2.), składa się z silnika spalinowego (S) połączonego za pomocą sprzęgła (SP) i przekładni głównej (PG) z kołami pojazdu przedniej osi (KP). Natomiast maszyna elektryczna połączona jest przez jednostopniową przekładnię dodatkową z kołami pojazdu osi tylnej. Maszyna elektryczna sterowana jest za pomocą układu sterowania (US), który zasilany jest z akumulatora (B). Sumowanie mocy obu tych jednostek występuje jedynie przez przebytą drogę w czasie, gdy obie osie są napędzane. Jazda w trybie elektrycznym i odzysk energii hamowania odbywa się za pośrednictwem maszyny elektrycznej umieszczonej na tylnej osi pojazdu. Układ ten ma jeszcze jedną bardzo ważną zaletę. Jeżeli układy napędowe obu osi są aktywne poprawiają się właściwości trakcyjne pojazdu. Elektroniczny sterownik nadzorczy układu napędowego, w zależności od wymaganej mocy, prędkości pojazdu oraz poziomu naładowania akumulatora, umożliwia sterowanie napędem w trzech trybach: elektrycznym, hybrydowym i spalinowym.

W ruchu miejskim najczęściej wykorzystywany jest tryb elektryczny. W trybie tym silnik spalinowy jest wyłączony, a przekładnia silnika spalinowego znajduje się w położeniu neutralnym. Do napędu wykorzystywana jest jedynie maszyna elektryczna, która zamienia energię elektrochemiczną przechowywaną w akumulatorze na energię mechaniczną. Tryb ten, pozwala na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń, ponieważ emitujący spaliny silnik jest unieruchomiony. W czasie przyspieszania lub jazdy w zakresie średnich prędkości, które są najczęściej wykorzystywane w ruchu drogowym do napędu pojazdu wykorzystywane są obie jednostki napędowe. W zależności od stopnia naładowania akumulatora oraz warunków drogowych maszyna elektryczna może być wykorzystywana jako silnik lub generator. Osiągany w ten sposób, szeroki zakres sterowania układu napędowego, umożliwia sterowanie pracą jednostki spalinowej, w zakresie największej sprawności, co skutkuje zmniejszeniem zużycia

paliwa oraz emisji związków toksycznych. Dodatkowo, gdy silnik spalinowy wspomagany jest przez maszynę elektryczną pojazd osiąga znacznie lepsze przyspieszenie.

SYSTEM ZARZĄDZANIA ENERGIĄ W POJEŹDZIE

Mimo, że w ostatnich latach nastąpił znaczny postęp w kwestii akumulatorów, to dostępne ogniwa wymagają odpowiedniego użytkowania. W tym celu zaprojektowano, zintegrowany system sterowania (rys.2), który odpowiedzialny jest za sterowanie energią w całym pojeździe.

Na podstawie sygnałów odczytywanych ze sterowników podrzędnych oraz poziomu naładowania akumulatora system steruje pracą poszczególnych jednostek napędowych w różnych trybach pracy. System sterowania pojazdu obejmuje, cztery różne sterowniki. Elektroniczny sterownik silnika spalinowego kontroluje pracę silnika spalinowego, we współpracy z elektronicznie sterowaną przepustnicą. Sterownik skrzyni biegów, który odpowiedzialny jest za przełożenie, dobiera je w zależności od prędkości pojazdu oraz położenia pedału gazu. Sterownik maszyny elektrycznej steruje prędkością silnika, poprzez zmianę napięcia zasilania. Wyposażony jest on dodatkowo w tryb odzysku energii, co pozwala również na pracę silnika w roli generatora. Kontroluje on prąd oraz temperaturę silnika, nie dopuszczając do jego przeciążenia.

Do monitorowania parametrów ogniw akumulatora, wykorzystano sterownik zarządzający energią zestawu ogniw BMS (Battery Management System) (rys. 2), który odczytuje prąd pobierany z ogniw, napięcie oraz temperaturę każdego ogniwa. Na podstawie tych informacji kontroluje on stan naładowania oraz prąd ładowania i rozładowania każdego z nich tak, aby nie dopuścić do przeładowania lub głębokiego rozładowania akumulatora. Zestaw zainstalowany w pojeździe FIAT Panda obejmuje 22 ogniw o łącznym napięciu 72 V i pojemności 100Ah. Szacuje się, że taki zestaw wystarczy na przejechanie w trybie elektrycznym ok. 70 km.

Taki system, zapewnia bezpieczne użytkowanie akumulatora oraz zwiększa żywotność zawartych w nim ogniw. Wszystkie dane pomiędzy sterownikami, przekazywane są poprzez sieć lokalną sterownika nadzorczego (CAN lub RS-232). Niezawodna praca baterii podczas użytkowania jest bardzo ważna. Podczas przeciążenia, przekroczenia granic stanu naładowania akumulatora albo przegrzania układu BMS chroni ogniwa przez ograniczenie chwilowej mocy lub nawet całkowite odłączenie akumulatora od układu.

2. Procedura pomiaru

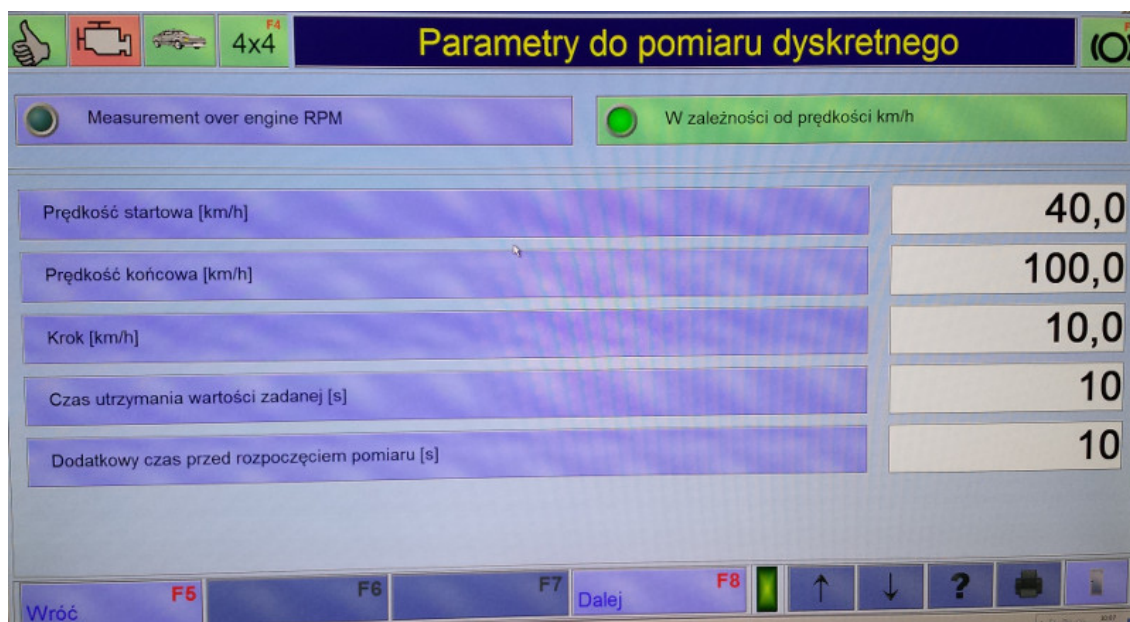
Pomiar mocy na hamowni podwoziowej musi odbywać się przez wykwalifikowany personel, według ścisłych wytycznych. Każda niedokładność w jego wykonaniu ma wpływ na dokładność wyników. Proces pomiaru przedstawiono poniżej.

- U uruchomienie stanowiska
 - włączenie hamowni włącznikiem głównym
 - ustawienie przełącznika trybu pracy w pozycję 2
 - nacisnąć klawisz „W1”
- Najazd na stanowisko i mocowanie pojazdu
 - zablokowanie rolek pomiarowych
 - wjazd pojazdem na stanowisko
 - umieszczenie przedniej osi pojazdu na szczycie przedniego zestawu rolkowego
 - zaciągnięcie hamulca postojowego
 - zamocowanie pojazdu, z przodu pasami mocującymi, z tyłu łańcuchami
 - zwolnienie hamulca postojowego
 - przestawienie tylnego zestawu rolkowego, tak, aby tylna oś znalazła się na szczycie zestawu rolkowego
 - skontrolowanie naciągu pasów i ewentualne dociągnięcie
 - zwolnienie blokady rolek
- Przygotowanie urządzeń do pomiaru
 - podłączenie modułu OBD do pojazdu
 - podłączenie sondy temperatury oleju, w celu kontroli temperatury podczas pomiaru
 - założenie odciągu spalin na rurę wydechową
 - umiejscowienie wentylatora przed chłodnicą pojazdu
- Doprowadzenie pojazdu do temperatury roboczej
- Wybór parametrów pomiaru z menu oprogramowania

W przypadku pomiaru mocy mamy do wyboru dwie opcje pomiaru, a mianowicie pomiar ciągły i dyskretny.

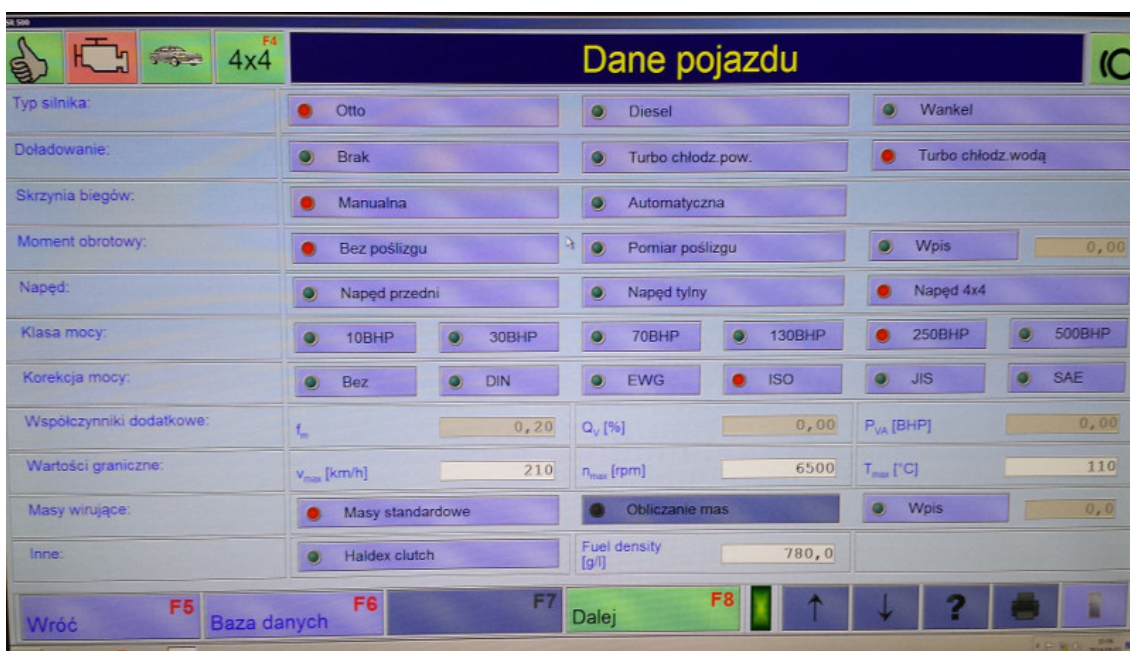
POMIAR STATYCZNY

Pomiar statyczny to wybór pomiaru dyskretnego. Należało, więc wybrać opcję z menu Pomiar mocy. Następnie ukaże się ekran, w którym można zadać wartości prędkości, przy których ma zostać rozpoczęta i zakończona próba dyskretna, oraz ustawić krok. Krok, to wartość prędkości, przy której wielokrotności pomiar będzie przytrzymywany, aby ustabilizować parametry.



Rys.2.1 Wybór parametrów pomiaru dyskretnego

Kolejnym krokiem jest wprowadzenie danych na temat badanego pojazdu. Są to m.in. rodzaj silnika, typ napędu czy klasa mocy. Możliwe ustawienia pokazano na rysunku 2.2.



Rys.2.2 Wprowadzenie danych mierzonego pojazdu

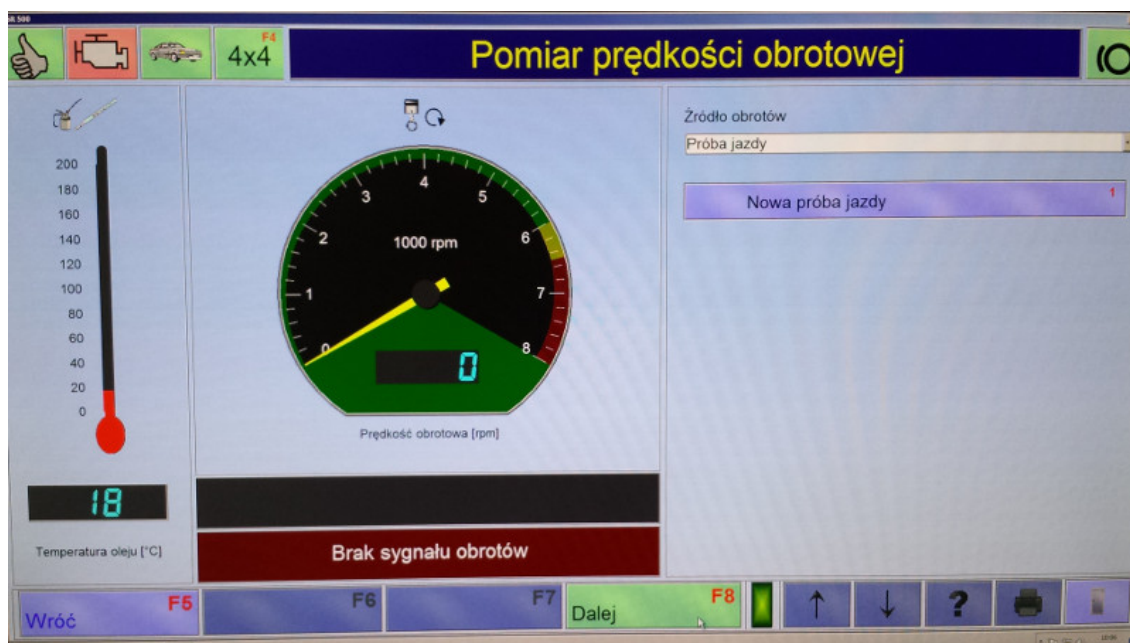
Wprowadzone parametry muszą odpowiadać stanowi faktycznemu, gdyż według nich program dobiera odpowiedni algorytm pracy. Inaczej mierzony jest pojazd ze skrzynią tradycyjną, a inaczej ze skrzynią automatyczną. Różne są również normy obliczania mocy dla silników benzynowych i silników diesla.

W naszym wypadku wybrano

- Typ silnika – Otto (czyli benzynowy)
- Doładowanie – brak (silnik wolnossący)
- Skrzynia biegów – automatyczna
- Moment obrotowy – bez poślizgu
- Napęd – Napęd przedni
- Klasa mocy – 70BHP
- Korekcja mocy – ISO (norma, według której zostanie przeliczana moc)

Pozostałe parametry pozostawiono domyślnie.

Przedostatni z ekranów, jaki należy wybrać prezentuje się na rysunku nr. 2.3.



Rys.2.3 Wybór źródła pomiaru prędkości obrotowej

Pomiar prędkości obrotowej jest niezbędnym elementem pomiarów na hamowni. Tylko dzięki niemu możliwe jest przedstawienie graficzne mocy i momentu obrotowego. W nowszych samochodach ze złączem OBD, jest możliwość pobierania tego sygnału właśnie z wtyczki diagnostycznej. W przypadku pojazdów, które takiego

systemu nie mają, należy wykonać tzw. próbę jazdy. Przy wybraniu tego programu, stanowisko pomiarowe rozpocznie proces przeliczania prędkości rolek pomiarowych i kół jezdnych. W ten sposób wyznacza przełożenie szybkobieżności na danym biegu pomiarowym.



Rys.2.4 Ekran końcowy przed rozpoczęciem pomiaru.

Końcowy ekran (rys.2.4) ukazuje parametry prędkości obrotowej, prędkości pojazdu jak i temperaturę oleju silnikowego. Na pozostałej części ekranu będzie w trakcie rysowany wykres mocy, a w drugiej fazie wykres strat napędu. Dalszy przebieg procesu pomiaru przedstawiono poniżej:

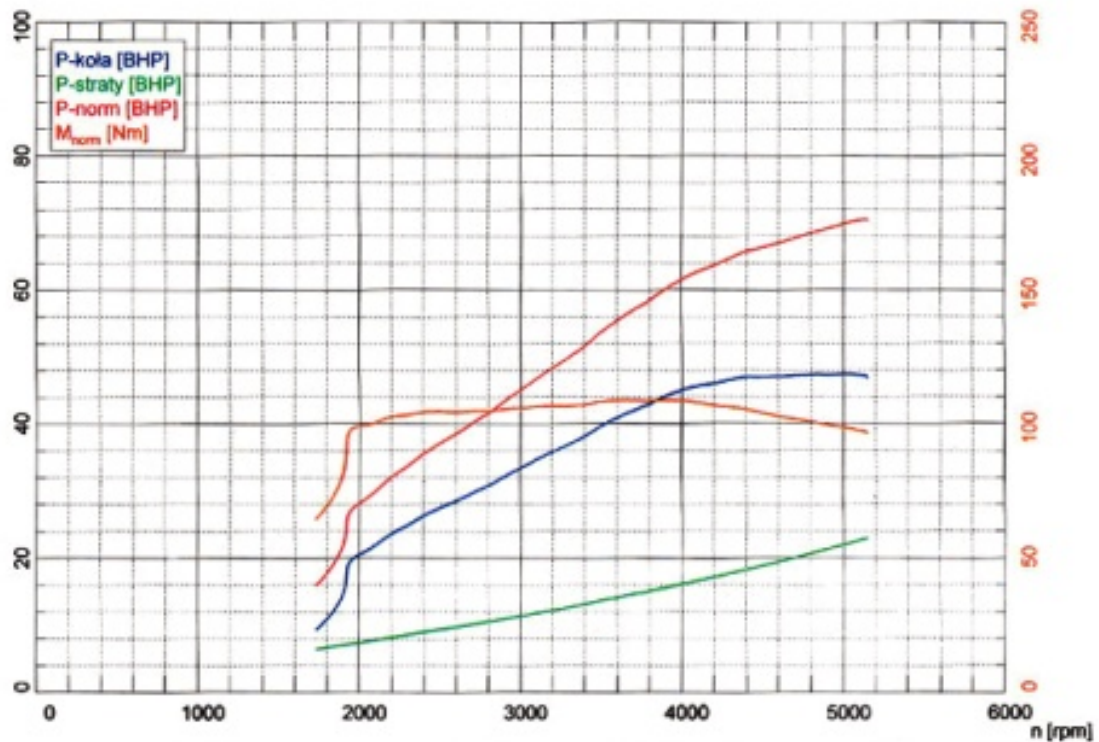
- Ruszenie pojazdem
- Delikatne i równomierne przyspieszanie do wybranej prędkości startowej, na odpowiednim przełożeniu kontrolnym
- Po jej osiągnięciu nacisnąć i trzymać gaz wciśnięty do oporu

Stanowisko rozpocznie pomiar parametrów. Przy maksymalnie wciśniętym pedale mocy zostanie osiągnięty pierwszy punkt pomiarowy. Hamulec elektrowirowy ma za zadanie utrzymać wybrane wcześniej warunki pomiaru. W praktyce wygląda to tak, rozpędzamy samochód z wciśniętym pedałem mocy. Hamownia odpowiednio obciąża układ napędowy pojazdu, aby silnik nie mógł rozpędzić się powyżej prędkości zadanej jako pierwszy punkt pomiarowy. Gdy pojazd osiągnie daną prędkość rozpoczyna się stabilizacja obrotów, a po jej ukończeniu pomiar właściwy. Każdy z

nich trwa tak długo, jak wcześniej zostało zadane w wyborze menu.. Następnie hamulce elektrowirowe są popuszczane, aby silnik był w stanie rozpędzić się do następnego punktu. Osoba mierząca musi przez cały czas trwania badania mieć wciśnięty pedał przyspieszenia do oporu. Kiedy wszystkie punkty kontrolne zostaną zaliczone, na ekranie wyświetli się informacja o tym, aby wcisnąć sprzęgło. Oznacza to koniec pomiaru i rozpoczęcie procesu wybiegu, w którym mierzone są straty napędu.

- Puszczanie gazu i jednoczesne wciśnięcie sprzęgła
- Trzymanie wciśniętego sprzęgła aż do zatrzymania pojazdu
- Zakończenie pomiaru, prezentacja wyników na ekranie

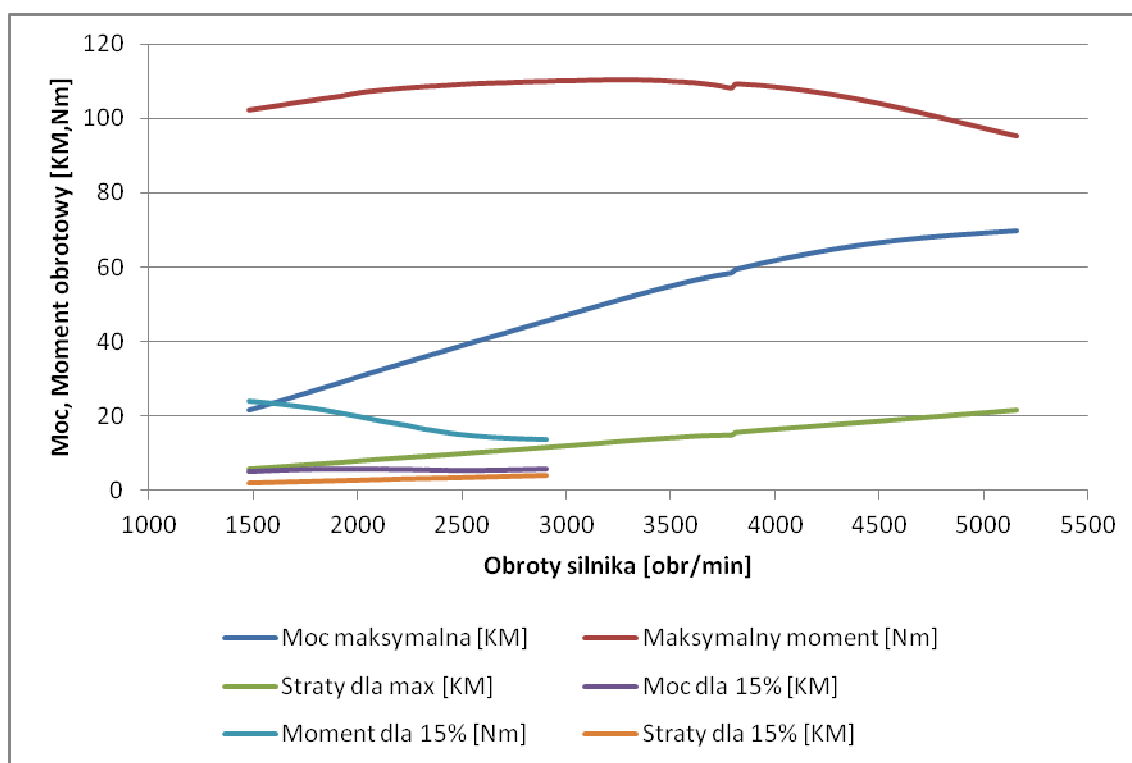
Gotowy wykres mocy i momentu obrotowego, przedstawia się jak na rysunku nr 2.5. Oprócz graficznego przedstawienia charakterystyk, otrzymujemy również wyniki liczbowe, takie jak maksymalne wartości mocy i momentu, wraz z prędkością obrotową, przy której one występowały. Na wydruk naniesione są również parametry otoczenia, przy których miał miejsce pomiar. Jest to ważne w przypadku stwierdzenia różnic podczas porównywania kilku wykresów np. tego samego pojazdu. Wystarczy spojrzeć czy nie różniły się zbytnio te parametry na obu pomiarach i już można wnioskować czy to wpływ czynników zewnętrznych, czy coś nie tak z jednostką napędową.



Parametry pomiaru mocy		Parametry otoczenia	
Moc według normy ¹⁾	P_{norm} 70,4 BHP / 51,8 kW	Temperatura otoczenia	$T_{otoczenie}$ 25,5 °C
Moc na silniku	P_{silnik} 69,8 BHP / 51,4 kW	Temp. powietrza zasysanego	$T_{powietrza\ zasysanego}$ 25,7 °C
Moc na kołach	P_{kola} 47,1 BHP / 34,6 kW	Wilgotność powietrza	$H_{powietrza}$ 44,2 %
Straty mocy	P_{straty} 22,8 BHP / 16,8 kW	Cisnienie atmosferyczne	$p_{powietrza}$ 998,9 hPa
Maksymalna moc przy	5115 rpm / 139,5 km/h	Cisnienie pary	p_{para} 14,4 hPa
Moment obrotowy ¹⁾	M_{nom} 108,5 Nm	Temperatura oleju	T_{olej} 108,0 °C
Maks moment obrotowy przy	3910 rpm / 106,5 km/h	Temperatura paliwa	T_{paliwo} --- °C
Maks. osiągnięta pr. obrotowa	5150 rpm / 140,0 km/h		
¹⁾ Korekcja według ISO 1585			
Współczynniki korekcji: $Q_v = 0,00 \%$, $P_{va} = 0,00$ BHP			

Rys.2.5 Gotowy wykres mocy/momentu

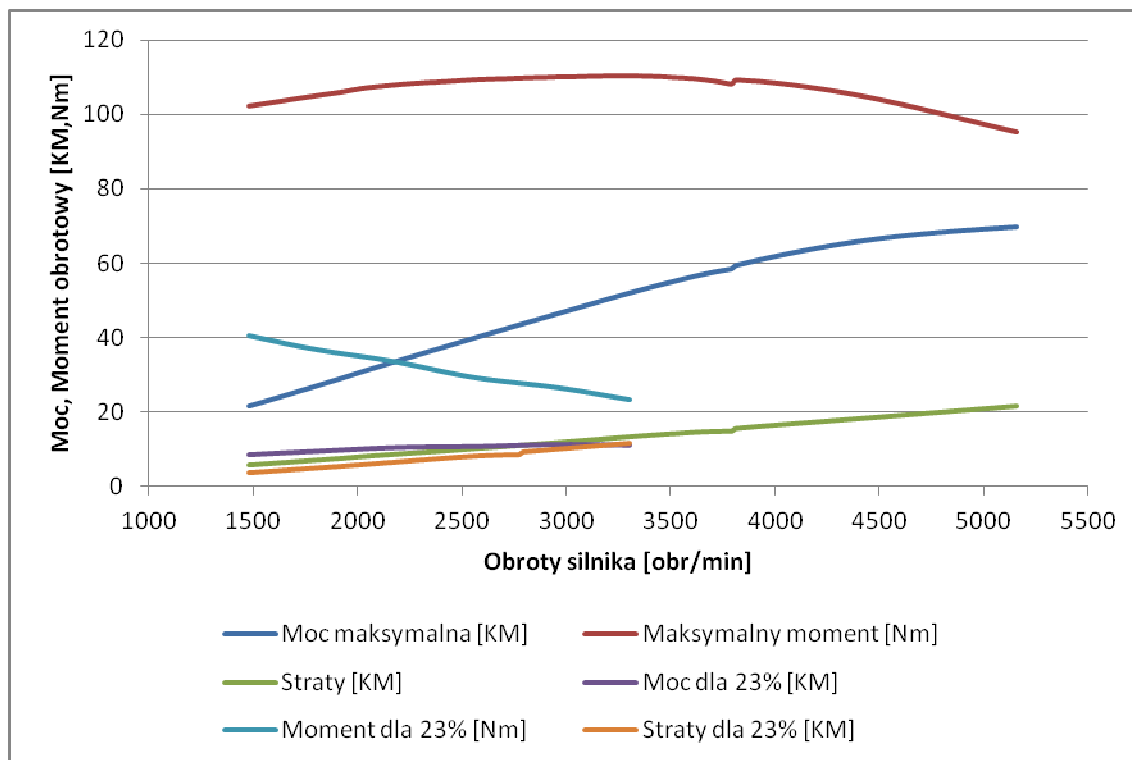
Przedstawione wykresy, są efektem długich pomiarów, wykonywanych w możliwie najbardziej zbliżonych do siebie warunkach, aby wyeliminować wpływ czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów. Dane te zostały pobrane ze stanowiska pomiarowego, w celu dalszej obróbki. Istotą badania było wykazanie różnic zachowania układu napędowego w zależności od stopnia wciśnięcia pedału przyspieszenia. Nie od dziś wiadomo, że producenci podający parametry swoich pojazdów, podają ich moc maksymalną, która jest możliwa do wykorzystania tylko w przypadku osiągnięcia odpowiednich obrotów silnika, przy maksymalnie wciśniętym pedale mocy. W tym wypadku jest możliwość porównania charakterystyk w całym zakresie obrotów pracy silnika, w zależności od tego jak mocno naciśnięty zostanie pedał przyspiesznika. Poniższe wykresy przedstawiają przebiegi mocy i momentu, dla maksymalnego uchylenia w porównaniu z każdym stopniem wciśnięcia pedału po kolei. Należy tutaj zauważyć, iż wspomniany wyżej stopień wciśnięcia pedału mocy nie jest równoznaczny z kątem uchylenia przepustnicy, gdyż o tym parametrze decyduje sterownik silnika.



Rys.2.6 Charakterystyka mocy i momentu obrotowego dla 15%

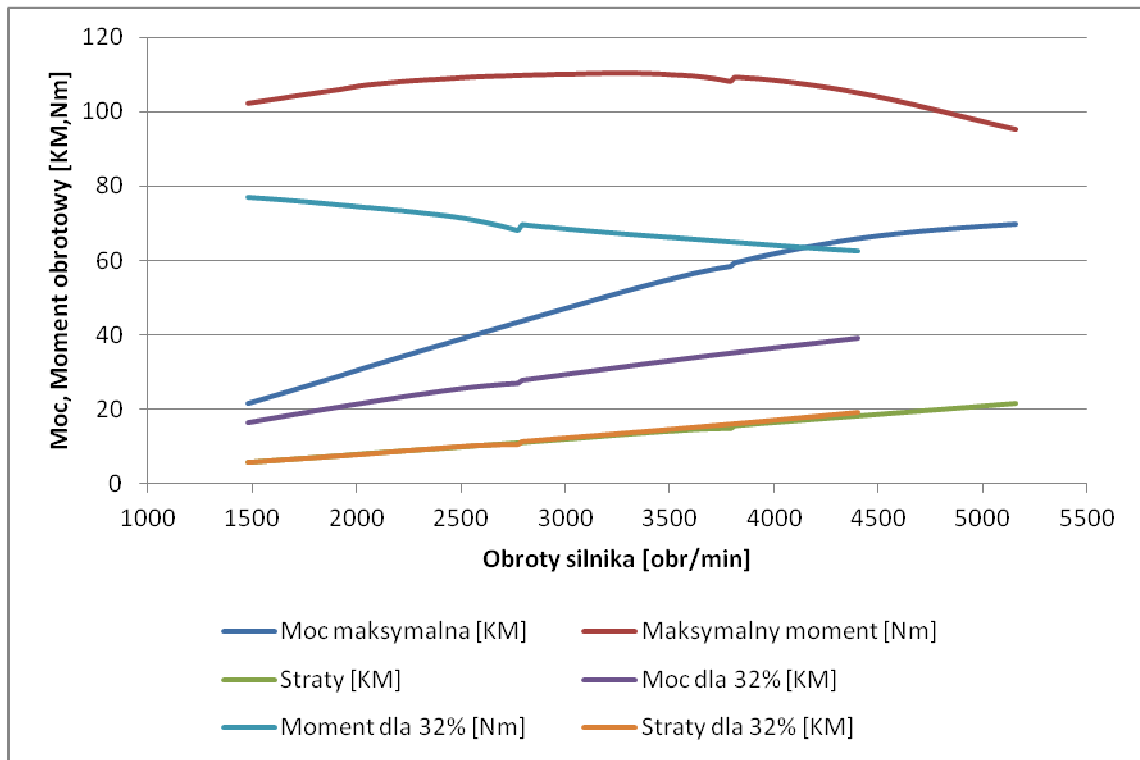
Na rysunku 2.6 widzimy, że dla pełnego uchylenia pedału mocy, wykres przebiega bardzo łagodnie, bez załamań. Silnik rozwija moc płynnie, osiąga również wartość taką, jaką zadeklarował producent pojazdu. Wartość momentu obrotowego jest równa normatywnej dla tego silnika. Można stwierdzić, że jednostka napędowa jest w

pełni sprawna. Natomiast przebieg dla 15% wciśnięcia pedału, nie osiąga nawet połowy obrotów. Wszystko za sprawą tego, że przy takim uchyleniu gazu, silnik osiąga bardzo małą moc, której wartość wynosi tyle, co straty napędu. W związku z tym nie potrafi pokonać oporów ruchu i osiągnąć wyższych obrotów.



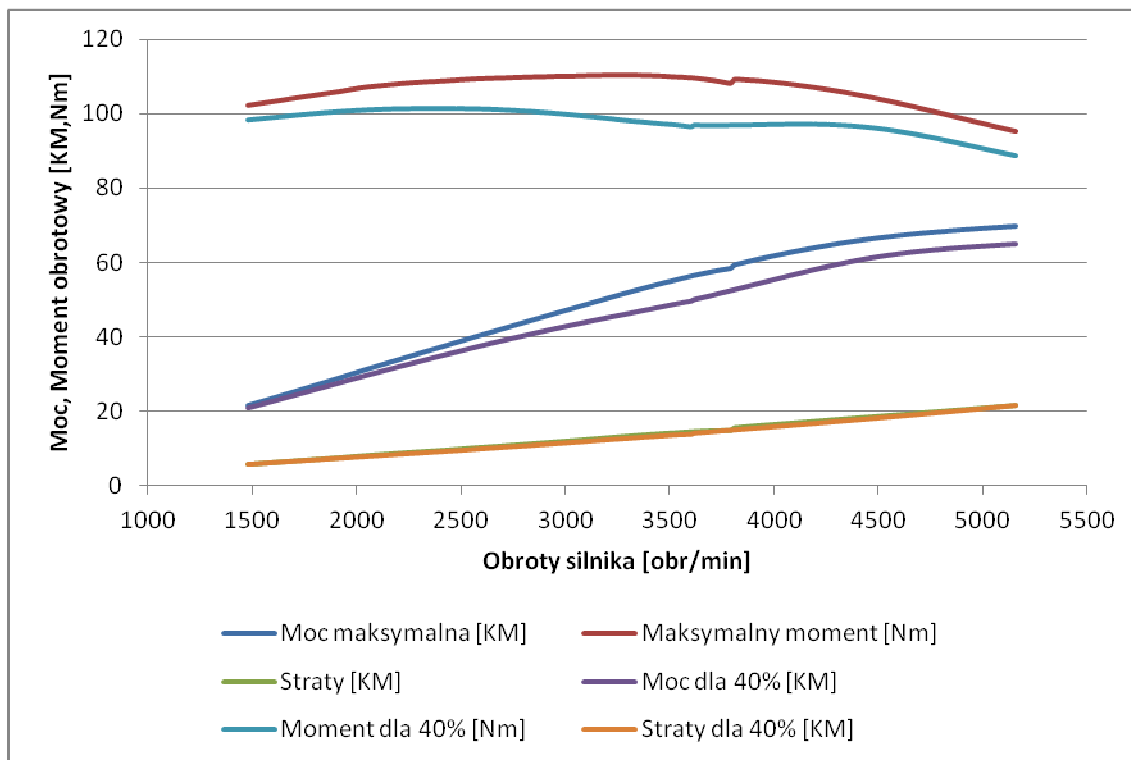
Rys.2.7 Charakterystyka mocy i momentu obrotowego dla 23%

Rysunek 2.7 przedstawia przebieg mocy i momentu przy wciśnięciu pedału przyspieszenia do 23%. W tym wypadku silnik zdołał osiągnąć wyższe obroty niż wcześniej. Ale mniej więcej w połowie zakresu obrotów silnika, straty napędu osiągnęły wartość mocy i dalsze rozpędzenie pojazdu było niemożliwe.



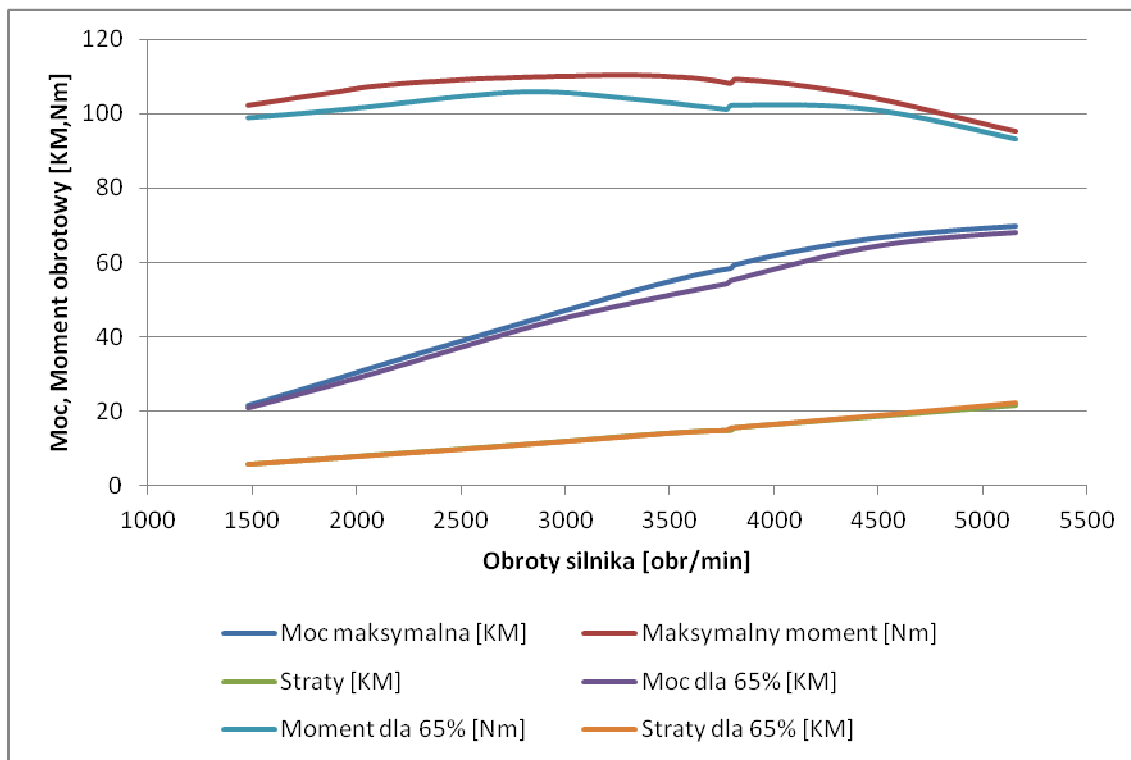
Rys.2.8 Charakterystyka mocy i momentu obrotowego dla 32%

Przy takim stopniu wciśnięcia pedału mocy (rys.2.8), silnik osiąga ponad połowę swojej mocy maksymalnej. Jak widać nie jest to wartość proporcjonalna do tego jak mocno został wciśnięty pedał przyspieszenia. Z bliżej nieznanых przyczyn pomiar zakończył się wcześniej niż powinien, ponieważ moc silnika była wystarczająco wysoka, żeby pokonać opory ruchu.



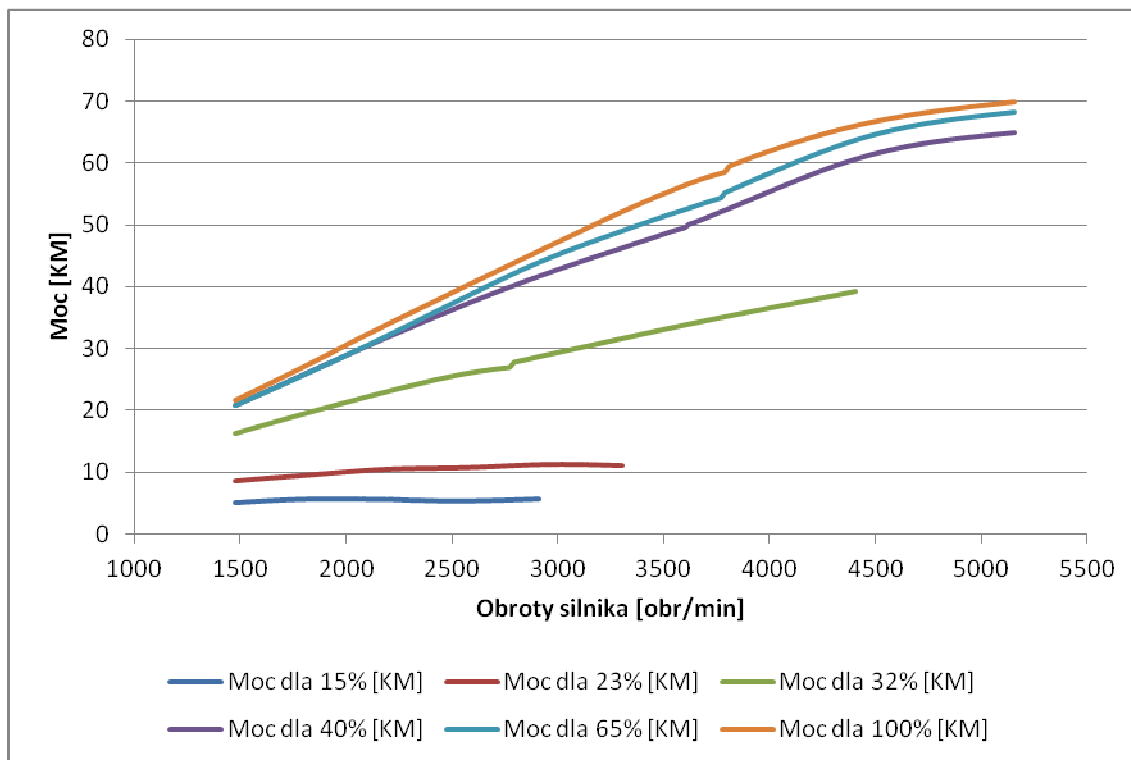
Rys.2.9 Charakterystyka mocy i momentu obrotowego dla 40%

Wciśnięcie pedału przyspieszenia wynosi dopiero 40%, a przebieg mocy i momentu jest już bardzo bliski swojej maksymalnej wartości (rys.2.9). Moment obrotowy przebiega nieznacznie niżej niż maksymalny i wcześniej zaczyna opadać. Krzywa mocy przebiega prawie w identyczny sposób, ma jedynie niższą wartość. Wyznaczona linia strat pokrywa się idealnie dla obydwu pomiarów. Można więc przyjąć, że oba pomiary były wykonane poprawnie, dlatego straty zostały wyznaczone identycznie.



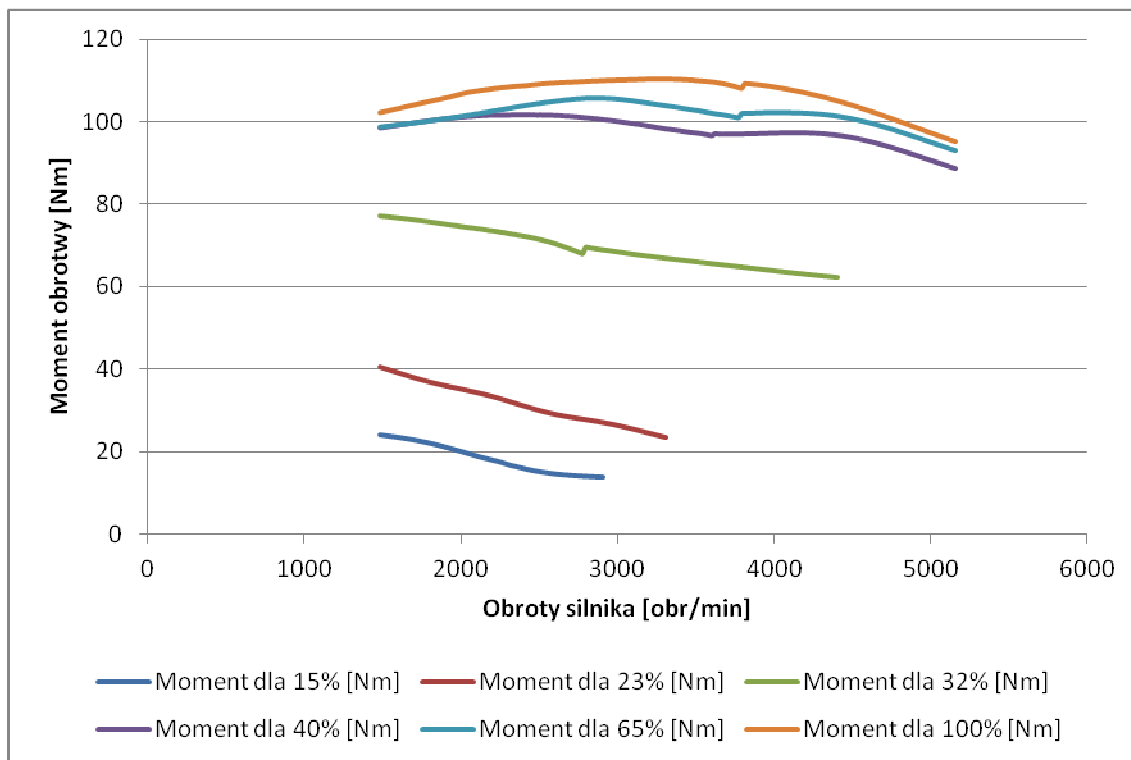
Rys.2.10 Charakterystyka mocy i momentu obrotowego dla 65%

Przebieg mocy już praktycznie się pokrywa, mimo, że to dopiero 2/3 uchylenia pedału przyspieszenia (rys.2.10). Moment obrotowy w środkowym przedziale jest minimalnie niższy. Mogą być różne tego powody, jak chociażby minimalnie niższe straty. Z powyższego wykresu widać, że dla tego silnika nie trzeba wciskać pedału w podłogę aby osiągnąć jego maksymalną moc. W wolnossącym silniku benzynowym, powyżej 30stopni uchylenia przepustnicy nie ma już wielkich zmian mocy. Największe zmiany można zaobserwować w zakresie 5 do 30 stopni. W tym przypadku kierowca nie ma bezpośredniego wpływu na kąt uchylenia przepustnicy. Decyduje o tym sterownik silnika, który analizuje wszystkie pozostałe parametry pracy i według tego odpowiednio otwiera przepustnicę.



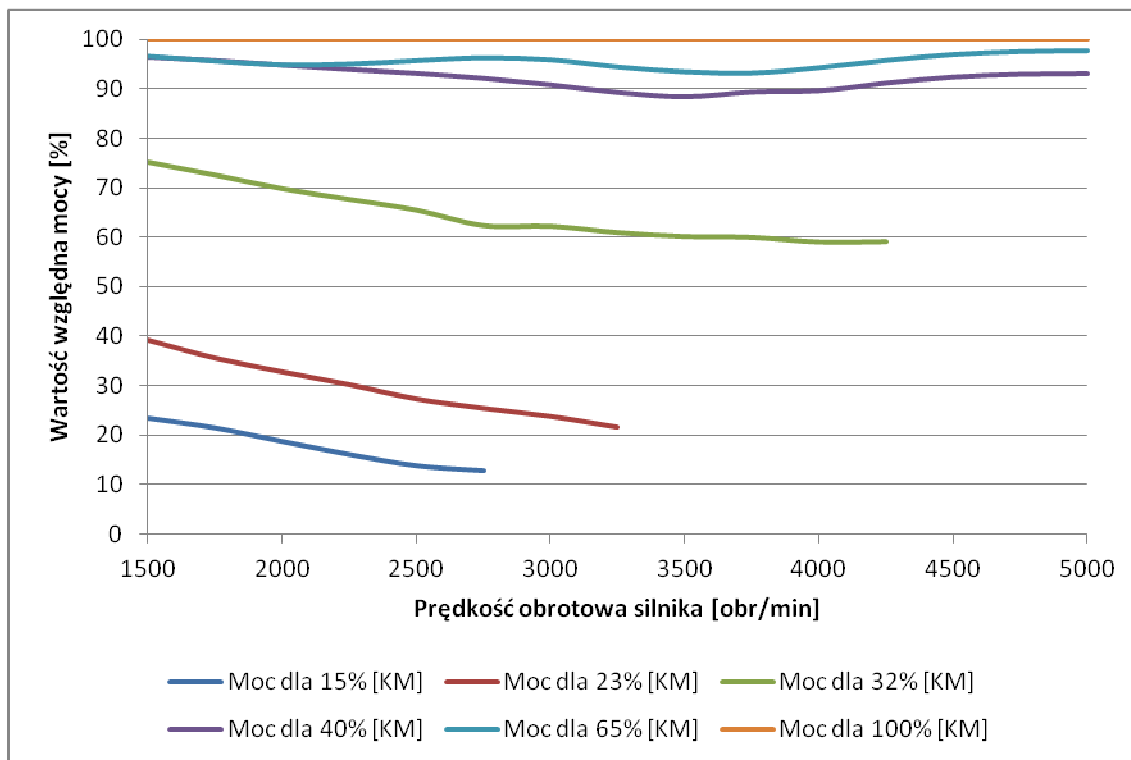
Rys.2.11 Porównanie przebiegów mocy dla każdego uchylenia pedału mocy

Dla łatwiejszego porównania przebiegów mocy dla każdego ze stopnia wciśnięcia pedału przyspieszenia utworzono wykres (rys.2.11), w którym zamieszczono wszystkie krzywe mocy. Maksymalna wartość mocy dla każdej z linii rośnie zgodnie z uchyleniem gazu. Od 40% przebieg jest już bardzo zbliżony do tego przy maksymalnym wciśnięciu.



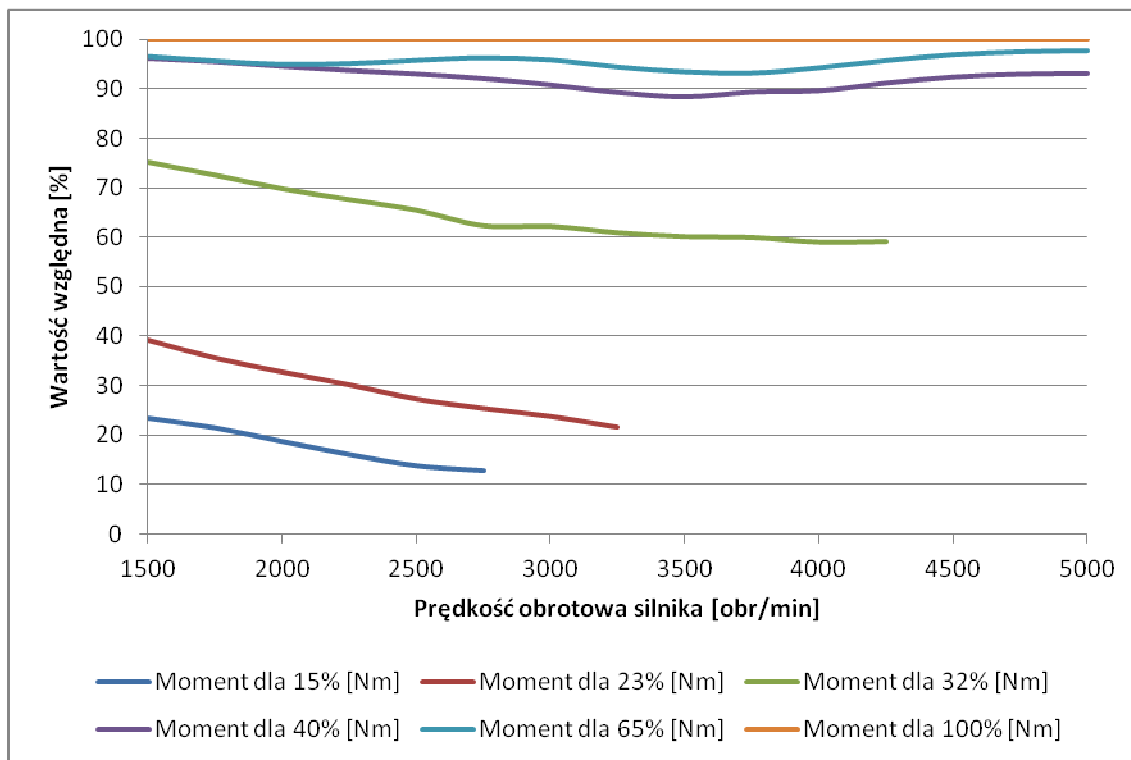
Rys.2.12 Porównanie przebiegu momentu obrotowego od wciśnięcia pedału mocy

Zauważalną różnicę w przebiegu krzywych momentu obrotowego widać między tymi dla 15,23 i 32 %. W tym przypadku moment obrotowy ma swoją maksymalną wartość na początku pomiaru. W miarę wzrostu obrotów silnika moment obrotowy spada. Natomiast w pozostałych przypadkach, mamy do czynienia z delikatnym wzrostem momentu do około połowy obrotów silnika, potem następuje powolny jego spadek. Dla wciśnięcia gazu 40% i więcej, przebieg momenty jest bardzo zbliżony do tego z maksymalnie wciśniętym gazem.



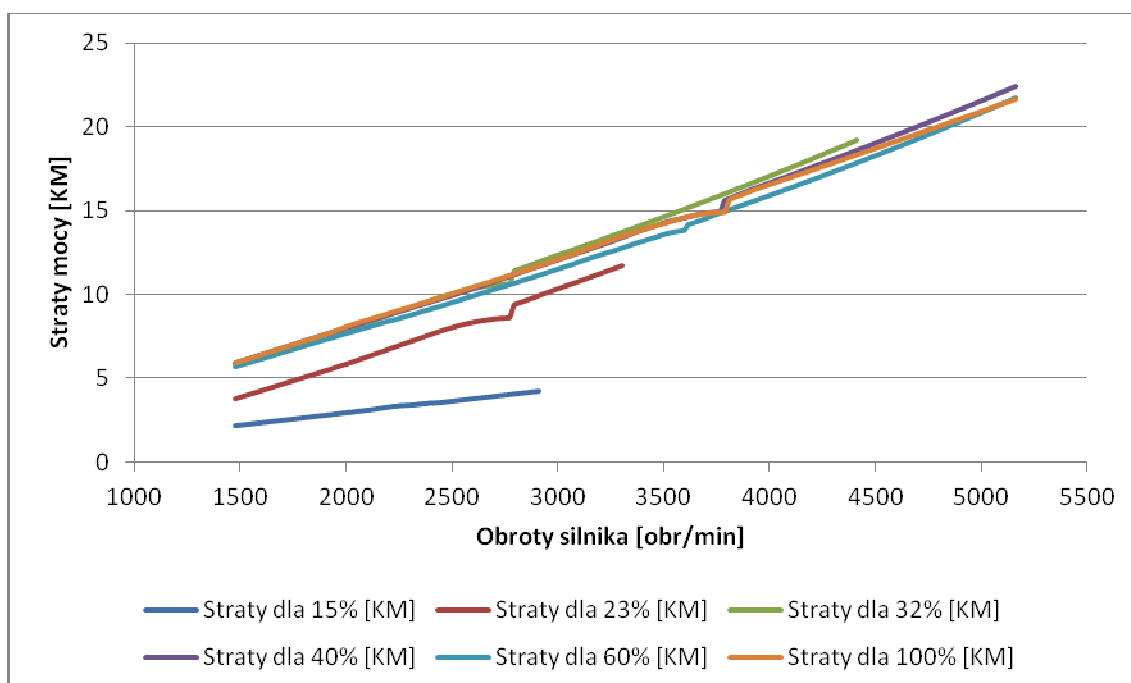
Rys. 2.13 Wykres wartości względnej mocy silnika dla każdego z uchyień.

Aby było jeszcze łatwiej określić jak zachowują się względem siebie przebiegi dla konkretnych uchyień pedału przyspieszenia wykonano charakterystyki względne dla wszystkich przebiegów mocy (rys.2.13) i osobno przebiegów momentu obrotowego (rys.2.14). Zostało to wykonane w ten sposób, że moc dla 100% wciśnięcia pedału gazu była wartością odniesienia, czyli 100%. Dla każdego z uchyień wykonano odniesienie do pełnej wartości, jakim procentem jest dana wartość. Tak powstała charakterystyka względna.



Rys.2.14 Wykres wartości względnej momentu obrotowego

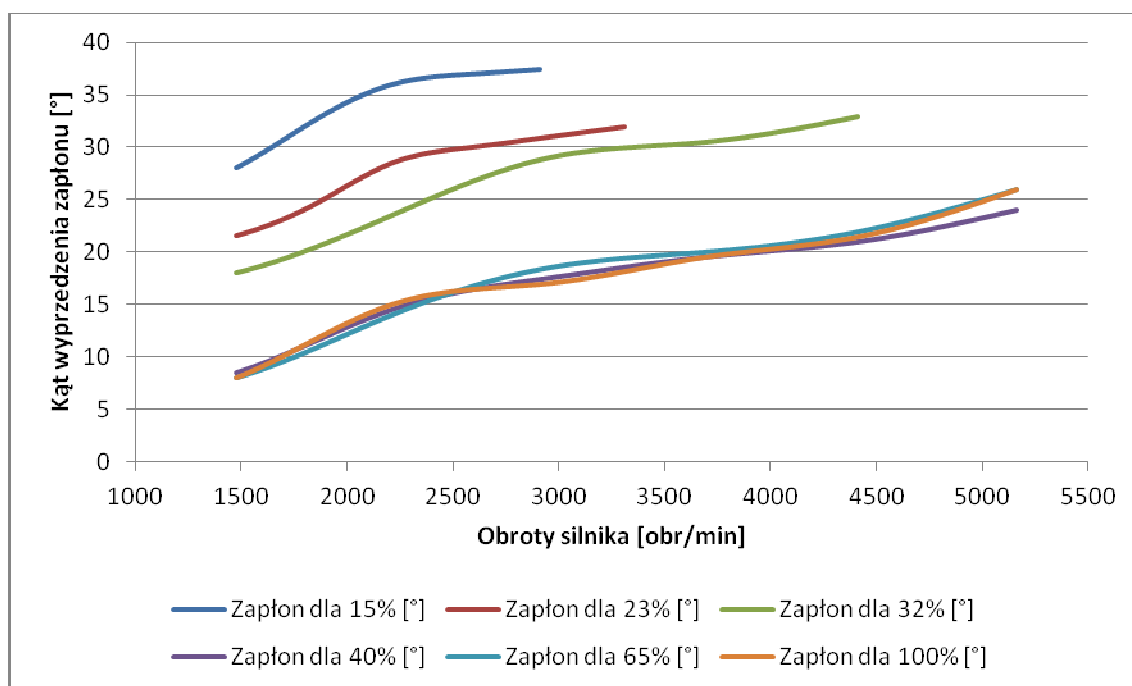
W identyczny sposób powstała charakterystyka względna dla każdego z przebiegów momentu obrotowego (rys.2.14).



Rys.2.15 Porównanie strat napędu

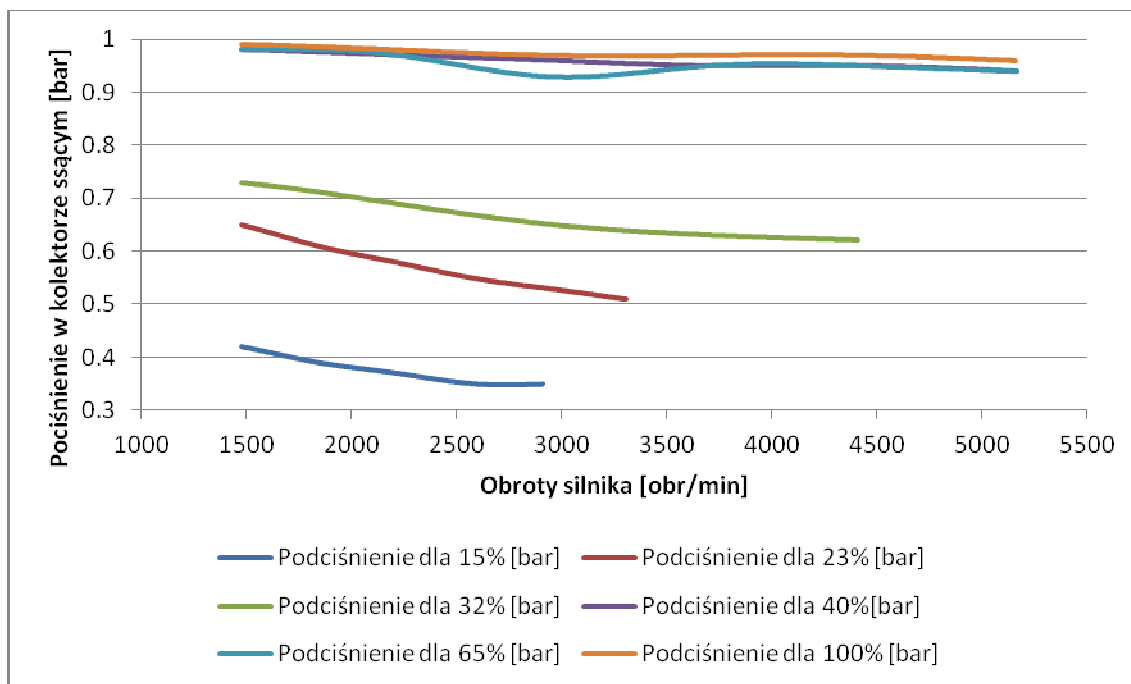
Straty mocy wynikają z oporów wewnętrznych skrzyni biegów, oporów toczenia kół napędowych oraz oporów ruchu elementów pośrednich układu napędowego.

Najniższe wartości wynikają z małej prędkości pomiaru, w związku z tym straty te były niższe. Dla pomiarów, które rozpędziły się do pełnej prędkości, wartości strat są prawie identyczne. Świadczy to o powtarzalności pomiarów, oraz o zachowaniu identycznych warunków pomiaru, dzięki czemu wyniki są miarodajne. Załamania pojawiające się na przebiegach strat napędu wynikają z charakterystyki pomiaru pojazdu ze skrzynią automatyczną. Próba wybiegu przebiega tu inaczej niż podczas pomiaru pojazdu wyposażonego w skrzynię manualną. Problem polega na niemożności pełnego wysprężenia automatycznej skrzyni. W związku z tym hamownia nie zdąży rozpocząć pomiaru strat. Na ekranie pojawia się komunikat o tym, aby zmienić bieg na wyższy i rozpędzić się do wyższej prędkości od tej, która była uzyskana podczas tego pomiaru. Na wyższym biegu straty te minimalnie się różnią, stąd ten uskok na wykresie (rys.2.15).



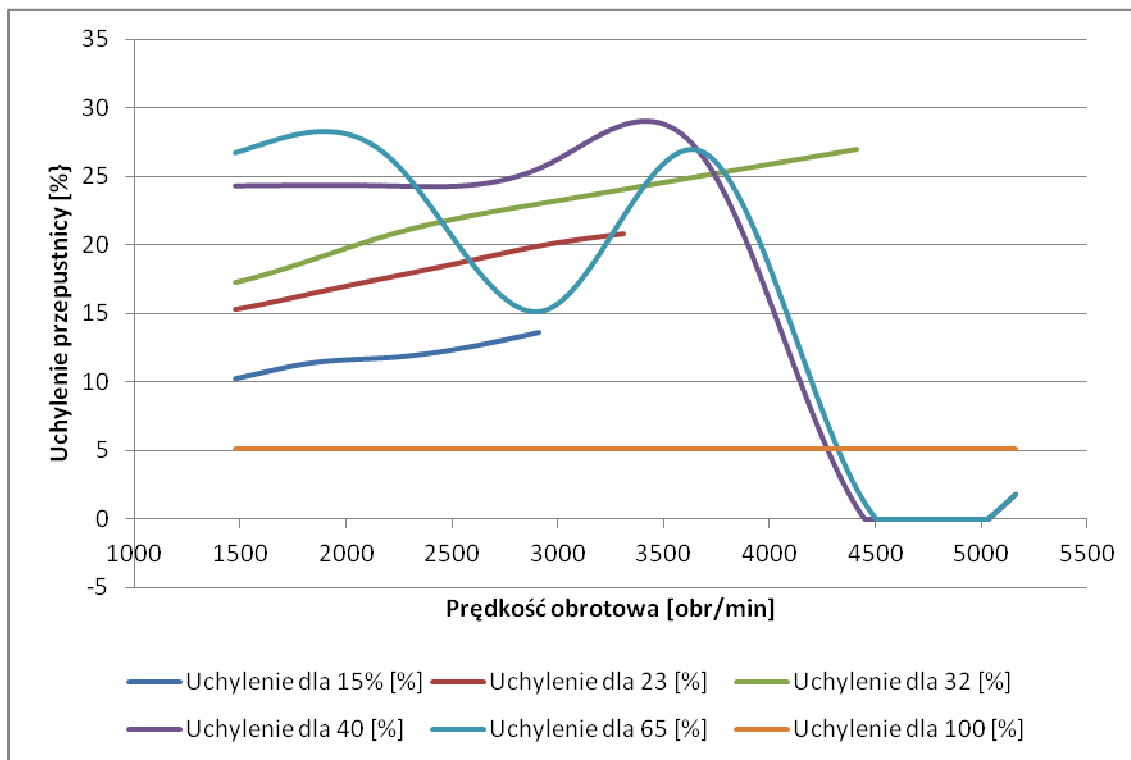
Rys. 2.16 Porównanie przebiegu kąta wyprzedzenia zapłonu, dla każdego z uchylenia pedału gazu

Kąt wyprzedzenia zapłonu jest jednym z głównych parametrów mających wpływ na pracę silnika z zapłonem iskrowym. Przebiegi są bardzo podobne do siebie, różnią się między sobą wartością (rys.2.16). Dla dużego obciążania kąt wyprzedzenia zapłonu jest mniejszy.



Rys. 2.17 Zestawienie krzywych podciśnienia w kolektorze ssącym od stopnia wciśnięcia pedału przyspieszenia

Rysunek 2.17 przedstawia przebieg zmian podciśnienia w kolektorze ssącym. Podciśnienie to, dla małego uchylenia gazu jest niższe. Jest to spowodowane tym, że silnik w trakcie swojej pracy zasysa powietrze atmosferyczne, kiedy zostanie mu ten wlot przysłonięty, podciśnienie wzrośnie. Tak dzieje się w sytuacji lekko uchylonej przepustnicy, która to działa, jako taka przysłona. W miarę wzrostu obrotów silnika podciśnienie to wzrośnie z racji większego zasysania powietrza przez silnik. Analogicznie, dla dużego uchylenia przepustnicy, wartość podciśnienia spadnie z racji nieograniczonej ilości powietrza możliwej do zassania.



Rys.2.18 Przebieg wartości uchylenia przepustnicy

Przy pomiarze na hamowni istnieje możliwość, jak wcześniej wspomniano pobierania parametrów pracy silnika, poprzez złącze OBD pojazdu. Aby mieć pogląd na to, co dzieje się z silnikiem, wybrano parametry mające kluczowy wpływ na jego pracę. Są to wcześniej przedstawione kąt wyprzedzenia zapłonu, podciśnienie w kolektorze ssącym oraz widoczne na rysunku 2.18, uchylenie przepustnicy. Ograniczenie programowym stanowiska jest możliwość wyboru tylko 3 takich parametrów. Niestety, dopiero po analizowaniu wyników pomiarów okazało się, że charakterystyki uchylenia przepustnicy nie wyglądają poprawnie. Po kilkakrotnym sprawdzeniu, czy podczas tworzenia wykresu nie wkraść się gdzieś błąd, okazało się, że to wina komunikacji stanowiska pomiarowego z pojazdem. Być może wpływ na to miała zbyt duża ilość informacji, jaką trzeba było pobrać ze sterownika pojazdu. Widzimy, że na początku z każdego z pomiarów przedstawiony przebieg wygląda w miarę realnie. Dla uchylenia 40 i 65% otwarcie przepustnicy w miarę wzrostu obrotów spada, co jest niemożliwe. Na ostatnim pomiarze, dla wartości 100% widzimy, że otwarcie przepustnicy ma niezmienną wartość, co również wskazuje na problem z komunikacją.

3. Wnioski z wyników badań.

Po wykonaniu pomiarów, można stwierdzić, że przebiegły one poprawnie. Wyniki poddane dalszej analizie okazały się w niektórych miejscach trudne do przewidzenia. Pierwszym z takich anomalii jest charakterystyczny uskok, widoczny na każdej z charakterystyk. Konsultacja z innymi osobami wskazywała na możliwą zmianę parametrów pracy silnika, akurat w tym momencie. Byłoby to całkiem możliwe, gdyby nie fakt, iż na każdym wykresie strat mocy, towarzyszącemu każdej z charakterystyk również taki uskok występuje. Głębsza analiza tematu pomiaru mocy pojazdu z automatyczną skrzynią biegów wykazała możliwą przyczynę takiego stanu rzeczy. Mianowicie po zakończeniu pomiaru właściwego i osiągnięciu ostatniego punktu pomiarowego rozpoczyna się proces wybiegu, w którym to stanowisko kontrolne mierzy straty mocy w układzie napędowym. Aby móc je wyznaczyć należałoby odciąć układ napędowy od silnika, tj. włączyć sprzęgło. Niestety, w przypadku zautomatyzowanej skrzynki przekładniowej nie ma takiej możliwości. W związku z czym, po zakończeniu pomiaru należy zdjąć nogę z pedału przyspieszenia. Za każdym razem, kiedy mierzono pojazd, po tej czynności ukazywał się komunikat na pulpicie sterującym hamowni, aby wrzucić wyższy bieg i przyspieszyć do prędkości wyższej, niż ta, przy której miał miejsce ostatni punkt pomiarowy. Ta nieoczekiwana zmiana przełożenia ma widoczne odzwierciedlenie w przebiegu wykresu strat mocy. Jako, że wartość strat napędu jest brana pod uwagę przy wyliczaniu mocy pojazdu, również na wykresie mocy można zauważyć owy uskok. Kolejna z ciekawostek w przypadku analizy wyników pomiaru miała miejsce przy porównaniu charakterystyk dla 40,65 i 100% uchylenia pedału mocy. Mianowicie przebiegi mocy i momentu okazały się być bardzo do siebie zbliżone. Na pierwszy rzut oka wydawałoby się to niemożliwe, przecież w pierwszym przypadku uchylenie pedału nie sięga nawet połowy, a tymczasem wartości mocy i momentu są bliskie maksymalnej swojej wartości. Po porównaniu owych wyników z pomiarami dynamicznymi studenta Piotra Chmiel, z którym toczona była współpraca, okazało się, że w tamtym przypadku nie ma takiej sytuacji. Dynamiczne pomiary zaowocowały we w miarę regularne przyrosty mocy i momentu. Trudno było wyjaśnić taki stan rzeczy. Należało się zapoznać z charakterystyką pracy silnika spalinowego z zapłonem iskrowym. Po przewertowaniu literatury oraz końcowej konsultacji z promotorem, stwierdzono, iż w przypadku pomiarów statycznych jest taka możliwość. Wiąże się to z bardzo dużym obciążeniem układu napędowego pojazdu, które uniemożliwia silnikowi rozpedzenia się do wyższej prędkości na czas trwania pomiaru. Co owocuje w ingerencje sterownika na rzecz parametrów pracy silnika. Sterownik silnika widząc bardzo duże zapotrzebowanie na siłę napędową, jest w stanie ją zadysponować, poprzez odpowiednią zmianę parametrów mających wpływ na moc pojazdu. Są to m.in. czas trwania wtrysku, kąt wyprzedzenia zapłonu i kąt otwarcia przepustnicy. Na żadną z tych wartości kierowca pojazdu nie ma bezpośredniego wpływu. Na rysunkach 19 i 20 można doskonale zaobserwować prawie identyczne parametry pracy silnika, mimo 3 różnych uchyień pedału przyspieszenia. Niestety, nie można było analizować jeszcze jednego, ważnego parametru, jakim jest czas wtrysku. Wynika to z ograniczeń oprogramowania stanowiska pomiarowego. Jednak mimo tego, można powiedzieć, że wartość mocy i momentu musiały być podobne, z racji bardzo zbliżonych parametrów pracy. Widać

tutaj, że żądanie kierowcy, jakim jest wciśnięcie pedału mocy nie jest bezpośrednio związane z osiąganymi parametrami układu napędowego. To sterownik silnika, poprzez analizę wielu wartości, w tym także obciążenia jednostki napędowej decyduje, jaką mocą aktualnie zadysponować. Ma to swoje dobre strony, ponieważ dobrze zestrojony sterownik nie tylko będzie wiedział lepiej, kiedy należy użyć pełnej mocy, ale również jak zmniejszyć spalanie, kiedy nie jest potrzebna duża moc silnika. Ostatnia ciekawostka dała o sobie znać dopiero po utworzeniu wykresu z przebiegami parametru uchylenia przepustnicy. Został on wybrany do analizy, aby móc zaobserwować zależność między uchyleniem pedału mocy a otwarciem przepustnicy. W starszych pojazdach kierowca miał bezpośredni wpływ na ten parametr, z racji napędu przepustnicy na linkę. Poprzez linkę zamocowaną do pedału przyspieszenia, sterowało się przepustnicą, a więc i mocą pojazdu. Niestety takiej zależności nie udało się wyznaczyć. Powodem tego były problemy komunikacyjne podczas pomiarów. Co można zaobserwować na rysunku 21. Co dziwne, przy niższych uchyleniach parametry te zostały zapisane w miarę poprawnie. W miarę, ponieważ po głębszej analizie stwierdzono, że owe wartości są zdecydowanie za niskie. Być może jest to spowodowane tym, że ten parametr nie jest podawany bezpośrednio do odczytu. Możliwe, że należy go wcześniej poddać stosownemu przeliczeniu, aby wartość ta była wskazywana prawidłowo. Jest to temat do dalszej analizy, np. na pracę badawczą. Ponieważ wtedy można by wyznaczyć bezpośrednią zależność między uchyleniem pedału przyspieszenia, a otwarciem przepustnicy. Wyniki mogłyby być zaskakujące.

Nazwa projektu: „Utworzenie nowoczesnego stanowiska badawczego do badania układów napędowych pojazdów drogowych i rolniczych spełniającego wymogi określone w PN oraz w certyfikacie TUV na Politechnice Opolskiej,,

Nr ewidencyjny wniosku: WND-RPOP.01.03.01-16-010/12

Nr umowy o dofinansowanie projektu: RPOP.01.03.01-16-010/12-00

Nazwa programu: Regionalny Program Operacyjny Województwa Opolskiego na lata 2007 – 2013

Oś priorytetowa: RPOP.01.00.00 – Wzmocnienie atrakcyjności gospodarczej regionu

Działanie: RPOP.01.03.00 – Innowacje, badania, rozwój technologiczny

Poddziałanie: RPOP.01.03.01 – Wsparcie sektora B+R oraz innowacji na rzecz przedsiębiorstw

Jednostka organizacyjna/wydział – Wydział Mechaniczny