

Andrzej Ambrozik<sup>1</sup>, Tomasz Ambrozik<sup>1</sup>, Dariusz Kurczyński<sup>2</sup>  
Piotr Łagowski<sup>3</sup>, Andrzej Suchecki<sup>4</sup>

## CHARAKTERYSTYKI OBCIĄŻENIOWE TURBODOŁADOWANEGO SILNIKA 1.3 MULTIJET

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki hamownianych badań silnika o zapłonie samoczynnym 1.3 Multijet z wieloetapowym wtryskiem paliwa produkowanego w Polsce przez Firmę Fiat-GM Powertrain Polska. Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym zbudowanym w Laboratorium Silników Ciepłych Politechniki Świętokrzyskiej. Zakres badań obejmował wyznaczenie wskaźników ekonomiczno-energetycznych silnika oraz jego wskaźników ekologicznych takich jak stężenia  $\text{NO}_x$ , CO i  $\text{CO}_2$  oraz stopień zadymienia spalin. Podczas badań silnik pracował według charakterystyk obciążeniowych przy prędkościach obrotowych wału korbowego:  $n = 1200, 1750, 2400, 3800, 4000$  i  $4200$  obr/min. Prędkości te wybrano ze względu na realizację w badanym silniku wieloetapowego wtrysku paliwa oraz ze względu na możliwości rozwijania przez silnik maksymalnego momentu obrotowego  $M_o = 200$  Nm, przy prędkości obrotowej wału korbowego  $n = 1750$  obr/min oraz maksymalnej mocy  $N_e = 66$  kW osiąganey przy  $n = 4000$  obr/min.

**Słowa kluczowe:** tłokowy silnik spalinowy, wskaźniki pracy silnika, charakterystyki silnika, badania hamowniane.

## WPROWADZENIE

Konstrukcja i technologia wytwarzania tłokowych silników spalinowych jest rozwijana już około 150 lat. Pomimo tak długiego rozwoju silniki te stanowią konstrukcję w której nadal można wprowadzać innowacje pozwalające na ich doskonalenie. Biorąc pod uwagę bardzo szerokie zastosowanie tego typu silników, ich wpływ na rozwój gospodarczej i bytowej działalności człowieka oraz wpływ na warunki jego życia oraz funkcjonowanie globalnego ekosystemu Ziemi stanowią konstrukcję, którą człowiek jest nadal bardzo mocno zainteresowany. W początkowym etapie rozwoju silników czynnikiem stymulującym ich rozwój była niedoskonałość ich konstrukcji, dążenie do zwiększenia ich trwałości, niezawodności i możliwości

<sup>1</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Mechaniki, e-mail: silspal@tu.kielce.pl.

<sup>2</sup> j.w., e-mail: kdarek@tu.kielce.pl.

<sup>3</sup> j.w., e-mail: piotrek1@tu.kielce.pl.

<sup>4</sup> Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o.

ich zastosowania między innymi do napędu pojazdów samochodowych. Nie zwracano wówczas uwagi na skład spalin oraz zużycie paliwa. Wzrost ilości eksploatowanych silników oraz coraz większe zapotrzebowanie na paliwa do ich zasilania wymusiły wprowadzanie zmian w konstrukcji silnika, których celem było zmniejszenie zużycia paliwa. Skład spalin nie miał decydującego znaczenia dla zastosowań tych silników. Koniec dwudziestego wieku oraz czasy współczesne nazywane są epoką ekologiczną. W epoce tej człowiek próbuje zmienić swój stosunek do przyrody, a dzięki temu zapewnić rozwój współczesnych i przyszłych pokoleń. Priorytetem dla rozwoju tłokowych silników spalinowych stało się stopniowe i zdecydowane ograniczanie ich wpływu na środowisko naturalne. Obecnie silniki spalinowe podlegają bardzo intensywnemu rozwojowi wynikającemu z konieczności spełnienia kolejnych coraz ostrzejszych międzynarodowych norm emisji spalin. Pierwsze znaczące ograniczenia emisji spalin w Europie wprowadzono na początku lat dziewięćdziesiątych. Była to norma EURO 1 obowiązująca od 1992 roku. Obecnie obowiązują wymagania normy EURO 5. Tymczasem przemysł motoryzacyjny intensywnie przygotowuje się do spełnienia wymagań normy EURO 6 która będzie obowiązywać od 2014 roku. Wiąże się to z koniecznością doskonalenia konstrukcji silnika, stosowaniem w jego eksploatacji doskonalszych lub nowych płynów eksploatacyjnych, stosowaniem zawansowanych technologii oczyszczania spalin, sterowania i nadzorowania przebiegami procesów zachodzących w cylindrze oraz ograniczanie zużycia paliwa przez silnik.

## KIERUNKI ROZWOJU SILNIKÓW ZS

Współczesny tłokowy silnik spalinowy aby mógł być eksploatowany, musi spełniać określone wymagania normatywne. Warunkiem koniecznym dającym możliwość eksploatacji silników jest ich mała uciążliwość dla naturalnego środowiska człowieka. Przy projektowaniu współczesnych tłokowych silników spalinowych należy uwzględniać takie czynniki jak: małe zużycie paliwa, niską toksyczność spalin, małą hałaśliwość pracy, elastyczność silnika i wiele innych. Dążenie do spełniania kolejnych wymagań związanych z ograniczaniem emisji szkodliwych składników spalin skutkuje takimi kierunkami rozwoju tłokowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym jak [5, 6, 9, 11]:

- powszechne stosowanie wtrysku bezpośredniego,
- stosowanie nowoczesnych układów zasilania o dużych ciśnieniach wtrysku i elektronicznym sterowaniu jego przebiegiem,
- stosowanie wielozaworowych układów rozrządu z zmiennymi fazami rozrządu i sterowaniem wzniosem zaworów,
- rozwój systemów doładowania, stosowanie turbosprężarek, turbosprężarek wspomaganych elektrycznie, sprężarek napędzanych silnikiem elektrycznym,

- układów doładowujących z chłodzeniem powietrza doładowującego, doładowania impulsowego sprężonym powietrzem ze zbiornika ciśnieniowego w czasie przyspieszania samochodu, itp.,
- stosowanie elektronicznie sterowanych układów recyrkulacji spalin z ich chłodzeniem,
  - elektroniczna regulacja parametrów procesu wtrysku,
  - zastosowanie wieloetapowego wtrysku paliwa,
  - oddziaływanie na zawirowanie i turbulencję czynnika roboczego,
  - rozwój koncepcji silnika ze zmiennym stopniem sprężania,
  - rozwój technologii filtrów cząstek stałych, stosowanie katalitycznych reaktorów utleniających, reaktorów absorpcyjnych  $\text{NO}_x$ , rozwój zastosowania reaktorów katalitycznych SCR,
  - rozwój diagnostyki pokładowej,
  - stosowanie układów chłodzenia o wyższej temperaturze czynnika chłodzącego i szybszym nagrzewaniu silnika po rozruchu,
  - kształtowanie przebiegu wywiązywania ciepła podczas procesu spalania poprzez regulacje ciśnienia wtrysku oraz modulowanie przebiegu wtrysku paliwa w czasie,
  - *downsizing* czyli zmniejszenie wymiarów głównych silnika i *downspeeding* czyli zmniejszenie prędkości obrotowych silnika,
  - rozwój technologii produkcji reformulowanych olejów napędowych których skład jest komponowany pod kątem minimalizacji emisji toksycznych składników spalin.

Jednym z kierunków rozwoju tłokowych silników spalinowych przeznaczonych do napędu pojazdów samochodowych jest downsizing [7]. Polega on na dążeniu do zmniejszania głównych wymiarów silnika, a w efekcie pojemności skokowej silnika przy zachowaniu podstawowych wskaźników jego pracy. Realizacja przedstawionego zabiegu jest możliwa na drodze zwiększenia wartości wskaźników jednostkowych odniesionych np. do jednostki objętości skokowej silnika. Efektem jest zmniejszenie zużycia paliwa i emisji szkodliwych składników spalin. Downsizing może być dynamiczny lub statyczny. Pierwszy polega na wyłączaniu z pracy poszczególnych cylindrów i może być stosowany w silnikach wielocylindrowych. Drugi, stosowany częściej, polega na zmniejszeniu wymiarów głównych silnika lub zmniejszeniu liczby cylindrów. Poza zmniejszeniem wymiarów stosuje się wysokociśnieniowe układy doładowania, dobiera się materiały konstrukcyjne mogące przenieść większe obciążenia mechaniczne i cieplne [5]. Wynikiem tych zabiegów jest zmniejszenie zużycia paliwa wynikające z przeniesienia eksploatacji silnika z zakresu małych i średnich obciążeń w zakres dużych obciążeń, czego efektem jest wzrost sprawności ogólnej silnika. Zmniejszając objętość skokową silnika zmniejsza się jego straty cieplne, straty tarcia oraz wymiary i masę silnika. Innym nowym kierunkiem rozwoju tłokowych silników spalinowych jest downspeeding [4]. Polega

on na obniżeniu prędkości obrotowej silnika przez modyfikację całkowitego przełożenia skrzyni biegów. Poprzez odpowiedni dobór przełożenia przekładni głównej układu napędowego można osiągnąć podobną poprawę zużycia paliwa do takiego jak w przypadku obniżenia objętości skokowej silnika. Koncepcje downsizingu i downspeedingu zazwyczaj stosowane są równocześnie.

## OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań był silnik Fiat 1.3 Multijet produkowany przez firmę FIAT-GM POWERTRAIN Polska w Bielsku Białej, spełniający normę emisji spalin Euro IV. Silnik ten rozwija maksymalną moc 66 kW przy prędkości obrotowej 4000 obr/min i maksymalny moment obrotowy 200 N·m przy prędkości obrotowej 1750 obr/min. Silnik ten prezentuje tendencję rozwoju samochodowych silników spalinych określaną w literaturze jako „downsizing”. Kadłub silnika jest odlany z żeliwa, posiada płytę nośną wykonaną z stopu aluminium i wtopione panewki łożysk głównych wykonane z żeliwa. Rozwiązanie takie, przy ograniczonych wymiarach pozwala uzyskać wymaganą sztywność, korzystną charakterystykę hałaśliwości, drgań i wytrzymałości przy jednoczesnym zachowaniu prostoty procesu produkcyjnego [8]. W układzie rozrządu zastosowano dwa wałki rozrządu, z których jeden napędzany jest od wału korbowego jednorzędowym łańcuchem, natomiast drugi napędzany jest od pierwszego wałka przekładnią z paskiem zębatym, umieszczoną na drugim końcu wałków. Silnik wyposażono w cztery zawory na cylinder, dwa zawory dolotowe i dwa wylotowe odchylone od pionu o 3°, co pozwoliło na umieszczenie między nimi wtryskiwacza. Zawory napędzane są dwoma wałkami rozrządu usytuowanymi w głowicy. Jeden wałek napędza bezpośrednio pompę wysokociśnieniową układu zasilania a drugi pompę podciśnieniową. Zastosowanie czterech zaworów na cylinder podyktowane zostało zapewnieniem poprawnego przebiegu procesu spalania, oraz zwiększeniem współczynnika napełniania cylindra przy dużej prędkości obrotowej silnika, tak by utrzymać wysoki poziom mocy silnika do prędkości obrotowej 5000 obr/min. Silnik wyposażono w układ zasilania typu Common Rail. Elementy tego układu pochodzą z firmy Bosch, natomiast system sterowania jest firmy Magneti Marelli. Wtryskiwacze elektromagnetyczne firmy Bosch pracują przy ciśnieniu 160 MPa. Umożliwiają one podział dawki paliwa przypadającej na jeden cykl, w zależności od warunków pracy silnika, maksymalnie na trzy części. W celu spełnienia normy emisji spalin Euro 4 dla silnika pracującego przy dużych obciążeniach zastosowano nową funkcję kontroli współczynnika nadmiaru powietrza, którego wartość wyznacza się w oparciu o wskazania czujnika stężenia tlenu. W układzie wydechowym badanego silnika zastosowano zintegrowany z kolektorem wydechowym katalizator utleniający. W celu poprawy osiągnięć, w układzie dolotowym powietrza umieszczono małą turbosprężarkę o zmiennej geo-

metrii łopatek kierownicy oraz chłodnicę powietrza doprowadzanego do cylindrów. W celu ograniczenia emisji tlenków azotu silnik wyposażono w system recyrkulacji spalin z ich chłodzeniem. Elektroniczny system sterujący pracą silnika 1.3 Multijet realizuje sterowanie: wartością dawki paliwa i jej podziałem, kątem wyprzedzenia wtrysku paliwa, ciśnieniem paliwa w szynie paliwowej, ilością recyrkulowanych spalin, prędkością obrotową silnika przy jego pracy na biegu jałowym, maksymalną prędkością obrotową wału korbowego silnika oraz pracą świec żarowych [10]. W elektronicznym sterowniku ECU silnika 1.3 Multijet zastosowano specjalne funkcje sterowania zwiększające dokładność dawkowania paliwa z uwzględnieniem zużycia wtryskiwacza, co pozwala na zmniejszenie nierównomierności dawkowania paliwa pomiędzy wtryskiwaczami [8]. W ECU zastosowano specjalny algorytm umożliwiający zwiększenie równomierności dawki pilotującej. Sonda lambda umieszczona za turbosprężarką w układzie wydechowym pozwala na wyznaczanie rzeczywistego stosunku paliwa do powietrza. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane techniczne badanego silnika.

**Tabela 1.** Podstawowe dane techniczne silnika Fiat 1.3 Multijet

Parametr	Jednostka	Wartość
Układ cylindrów	-	rzędowy
Liczba cylindrów, c	-	4
Rodzaj wtrysku	-	bezpośredni, wieloetapowy
Kolejność pracy cylindrów	-	1 – 3 – 4 – 2
Stopień sprężania, $\epsilon$	-	17,6
Średnica cylindra, D	mm	69,6
Skok tłoka, S	mm	82
Pojemność skokowa silnika, $V_{ss}$	cm <sup>3</sup>	1251
Moc maksymalna silnika, $N_e$	kW	66
Prędkość obrotowa silnika dla jego mocy maksymalnej, $n_N$	obr/min	4000
Maksymalny moment obrotowy silnika, $M_e$	N·m	200
Prędkość obrotowa silnika dla jego maksymalnego momentu obrotowego, $n_M$	obr/min	1750
Prędkość obrotowa biegu jałowego, $n_{bj}$	obr/min	850±20

## STANOWISKO BADAWCZE

Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku hamownianym zbudowanym w Laboratorium Silników Ciepłych Politechniki Świętokrzyskiej. Stanowisko to składa się z następujących węzłów konstrukcyjnych [1, 2, 3]:

- silnika o zapłonie samoczynnym Fiat 1.3 Multijet,
- hamulca elektrowirowego typu EMX – 100/10 000 firmy Elektromex Centrum,
- szafy sterującej pracą silnika i hamulca z układem sterowania firmy Automex,
- systemu pomiarowego ciśnienia czynnika roboczego w cylindrze za pomocą czujnika GH13G12 firmy AVL,
- dawkomierza paliwa typu 730 Dynamic Fuel Consumption firmy AVL,
- termicznego masowego przepływomierza powietrza SENSYFOLW iG firmy ABB,
- komputera PC umożliwiającego sterowanie pracą stanowiska hamownianego za pomocą oprogramowania PARM wersja 1.7 firmy Automex oraz diagnostykę silnika przy wykorzystaniu modułu KTS 540 i oprogramowania firmy Bosch.

Szafa sterownicza stanowiska składa się z panelu mocy hamulca AMX 202, modułu AMX 211 sterującego zespołem silnik-hamulec, modułu pomiarowego AMX212 PMO umożliwiającego pomiar najważniejszych zmiennych opisujących stan silnika (prędkość obrotową wału i moment na wale łączącym silnik z hamulcem) oraz panel pomiaru temperatur i ciśnień. Ponadto w szafie sterowniczej umieszczony jest panel do sterowania dawkomierzem paliwa 730 Dynamic Fuel Consumption AVL oraz panel z regulatorami temperatury LUMEL RE43. Stanowisko wyposażone jest w przepływomierz powietrza SENSYFOLW iG firmy ABB zapewniający pomiar wydatku przepływu powietrza z dokładnością 0,1%. Ponadto stanowisko wyposażone jest w trzy wymienniki ciepła chłodzone wodą w obiegu zamkniętym, które umożliwiają chłodzenie: powietrza doładowującego, czynnika chłodzącego oraz paliwa. Każdy z wymienników ciepła na wlocie wody wyposażony jest w elektrozawór sterowany z szafy sterowniczej za pomocą regulatorów temperatury LUMEL RE43. Umożliwia to utrzymanie stałej zadanej przez użytkownika temperatury powietrza na wlocie do silnika, płynu w układzie chłodzenia oraz temperatury paliwa. Stanowisko wyposażone jest także w układ do pomiaru temperatur składający się z czujników termoelektrycznych i rezystancyjnych firmy Czah-Pomiar oraz przetworników temperatury AR592 firmy Apar. Układ ten umożliwia pomiary temperatury: przed i za wymiennikiem ciepła chłodzącym powietrze doładowujące oraz przed i za wymiennikiem chłodzącym ciecz w układzie chłodzenia, paliwa na wyjściu z listwy zasilającej, spalin przed sprężarką i za katalizatorem oraz oleju w misce olejowej i głowicy silnika. Ponadto stanowisko wyposażone jest w sześć przetworników ciśnienia S-10 firmy WIKA, które umożliwiają pomiary ciśnienia: powietrza doładowania, cieczy w układzie chłodzenia, spalin przed sprężarką i za katalizatorem oraz oleju w głowicy silnika i ciśnienia w skrzyni korbowej.

Do pomiaru stężenia w spalinach tlenków azotu  $\text{NO}_x$  i tlenu  $\text{O}_2$  zastosowano analizator EXSA-240-CL firmy Horiba. Wykorzystana w tym analizatorze metoda detekcji chemiluminescencji zapewnia bardzo wysoką czułość oraz pozwala na minimalizację oddziaływania na wynik pomiaru innych substancji. Do pomiaru stężenia w spalinach badanego silnika tlenku węgla, dwutlenku węgla i węglowodorów

zastosowano wielogazowy analizator spalin typu Tecnotest 488 plus. Pomiar realizowany jest przy wykorzystaniu zjawiska pochłaniania promieniowania podczerwonego w środowisku gazowym. Analizator mierzy stężenie tlenu węgla, dwutlenku węgla i węglowodorów w gazach spalinowych na podstawie selektywnej absorpcji promieniowania podczerwonego przez każdy z wyżej wymienionych składników. Do pomiaru zadymienia spalin wykorzystano dymomierz MK-3 Hartridge'a. Dymomierz ten działa na zasadzie porównania przezroczystości spalin z przezroczystością czystego powietrza.

## WYBRANE WYNIKI BADAŃ

Podczas badań eksperymentalnych silnik Fiat 1.3 Multijet zainstalowany na hamowni silnikowej pracował według charakterystyk obciążeniowych dla wybranych prędkości obrotowych wału korbowego silnika wynoszących  $n = 1200, 1750, 2400, 3800, 4000$  i  $4200$  obr/min. W trakcie realizacji badań rejestrowano wartości mocy użytecznej silnika  $N_e$ , momentu obrotowego użytecznego  $M_o$ , godzinowego zużycia paliwa  $G_h$ , wartość ciśnienia paliwa w zasobniku paliwa układu zasilania silnika  $p_w$ , godzinowego zużycie powietrza  $G_{pow}$ , ciśnienie doładowania  $p_d$ . Dysponując wymienionymi zarejestrowanymi wartościami obliczono jednostkowe zużycie paliwa  $g_e$ , dawkę paliwa przypadającą na jeden cykl pracy silnika, dawkę powietrza przypadającą na pojedynczy cykl pracy silnika. Wykorzystując wyżej wskazane analizatory rejestrowano stężenie w spalinach tlenu węgla CO, dwutlenku węgla CO<sub>2</sub>, tlenków azotu NO<sub>x</sub>, tlenu O<sub>2</sub> i stopień zadymienia spalin. Wartości wymienionych powyżej wskaźników pracy badanego silnika przedstawiono w tabelach od 2 do 7.

**Tabela 2.** Wybrane wskaźniki pracy silnika Fiat 1.3 Multijet pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej  $n = 1200$  obr/min i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel

Lp.	$M_o$ [N·m]	$N_e$ [kW]	$G_h$ [kg/h]	$g_e$ [g/kW·h]	$g_c$ [mg/cykl]	$p_w$ [MPa]	$G_{pow}$ [kg/h]	$g_{pow}$ [mg/cykl]	$p_d$ [hPa]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	D [%]
1	10	1,13	0,86	761,06	5,97	35,0	28	194,44	984	0,09	4,9	13,6	19	0
2	20	2,65	1,05	396,23	7,29	38,2	32	222,22	994	0,06	6,1	12,1	38	0
3	30	3,66	1,29	352,46	8,96	39,0	36	250,00	1008	0,04	7,0	10,7	59	0
4	40	5,05	1,61	318,81	11,18	39,4	39	270,83	1027	0,04	8,1	9,5	88	3
5	50	6,19	1,78	287,56	12,36	40,9	40	277,78	1049	0,03	9,0	7,9	133	9
6	60	7,70	2,15	279,22	14,93	45,4	44	305,56	1079	0,02	10,0	6,6	234	11
7	70	8,84	2,37	268,10	16,46	49,2	49	340,28	1116	0,0	10,5	6,0	376	9
8	80	9,98	2,63	263,53	18,26	48,6	53	368,06	1162	0,07	10,4	5,5	522	7
9	88	11,00	3,00	272,73	20,83	57,1	57	395,83	1182	0,08	10,7	5,0	730	5



**Tabela 3.** Wybrane wskaźniki pracy silnika Fiat 1.3 Multijet pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej  $n = 1750$  obr/min i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel

Lp.	$M_o$ [N·m]	$N_e$ [kW]	$G_h$ [kg/h]	$g_e$ [g/kW·h]	$g_c$ [mg/cykl]	$P_w$ [MPa]	$G_{pow}$ [kg/h]	$g_{pow}$ [mg/cykl]	$p_d$ [hPa]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	D [%]
1	10	1,84	1,00	543,48	4,76	41,8	40	190,48	1011	0,20	5,0	13,3	40	0
2	21	3,86	1,40	362,69	6,67	46,0	42	200,00	1027	0,27	7,0	10,3	29	0
3	30	5,52	1,71	309,78	8,14	50,4	44	209,52	1054	0,17	8,0	8,9	28	0
4	41	7,55	2,08	275,50	9,90	56,0	51	242,86	1105	0,08	8,6	8,1	38	2,5
5	49	9,02	2,37	262,75	11,29	62,1	58	276,19	1155	0,04	8,9	7,8	69	5,0
6	59	10,87	2,68	246,55	12,76	67,3	62	295,24	1206	0,03	9,4	7,1	98	6,0
7	70	12,89	3,10	240,50	14,76	76,3	68	323,81	1276	0,02	10,0	6,3	124	6,0
8	80	14,74	3,49	236,77	16,62	82,1	72	342,86	1353	0,02	10,2	5,9	167	5,5
9	90	16,58	3,86	232,81	18,38	85,1	80	380,95	1440	0	10,3	5,8	216	5,0
10	99	18,24	4,26	233,55	20,29	86,3	89	423,81	1536	0	10,2	5,9	281	4,0
11	110	20,26	4,68	231,00	22,29	89,1	96	457,14	1624	0	10,3	5,8	346	4,0
12	120	22,11	5,08	229,76	24,19	88,1	104	495,24	1720	0	10,2	6,0	427	3,5
13	131	24,15	5,45	225,67	25,95	89,7	119	566,67	1855	0	9,5	7,0	670	4,0
14	140	25,81	5,76	223,17	27,43	88,9	118	561,90	1808	0	9,7	6,7	763	3,5
15	150	27,63	6,04	218,60	28,76	88,9	125	595,24	1880	0	10,1	6,0	805	3,5
16	160	29,49	6,38	216,34	30,38	89,9	129	614,29	1923	0	10,5	5,5	835	4,0
17	170	31,34	6,83	217,93	32,52	90,3	133	633,33	1988	0,02	10,8	5,0	847	4,0
18	180	33,16	7,27	219,24	34,62	89,7	137	652,38	2065	0,02	11,1	4,6	875	4,5
19	190	35,00	7,67	219,14	36,52	90,3	142	676,19	2109	0,04	11,6	3,94	833	6,0
20	202	37,22	8,21	220,58	39,10	90,1	142	676,19	2131	0,08	12,2	3,04	815	9,0

**Tabela 4.** Wybrane wskaźniki pracy silnika Fiat 1.3 Multijet pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej  $n = 2400$  obr/min i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel

Lp.	$M_o$ [N·m]	$N_e$ [kW]	$G_h$ [kg/h]	$g_e$ [g/kW·h]	$g_c$ [mg/cykl]	$P_w$ [MPa]	$G_{pow}$ [kg/h]	$g_{pow}$ [mg/cykl]	$p_d$ [hPa]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	D [%]
1	10	2,52	1,48	587,30	5,14	55,2	69	239,58	1132	0,09	4,1	14,8	60	1
2	20	5,05	1,87	370,30	6,49	61,1	69	239,58	1150	0,10	5,4	13,1	58	1
3	30	7,57	2,29	302,51	7,95	67,5	69	239,58	1172	0,09	6,5	11,2	57	1
4	41	10,36	2,79	269,31	9,69	79,9	75	260,42	1211	0,07	7,5	9,8	65	2
5	50	12,63	3,27	258,91	11,35	84,9	80	277,78	1261	0,05	8,2	8,8	75	3,5
6	60	15,16	3,73	246,04	12,95	90,9	86	298,61	1315	0,04	8,1	7,7	83	6,5
7	69	17,43	4,21	241,54	14,62	100,7	99	343,75	1392	0,02	9,4	7,4	127	7
8	80	20,21	4,78	236,52	16,60	103,9	101	350,69	1452	0,02	9,9	6,3	131	8



c.d. tabeli 4.

9	90	22,74	5,25	230,87	18,23	105,1	110	381,94	1527	0,02	10,1	6,1	150	8
10	100	25,25	5,67	224,55	19,69	106,3	117	406,25	1614	0,02	10,1	6,1	180	8
11	110	27,78	6,14	221,02	21,32	107,7	129	447,92	1699	0	10,2	6,1	221	6
12	120	30,32	6,59	217,35	22,88	108,1	139	482,64	1784	0	10,1	6,2	269	6
13	130	32,83	7,12	216,87	24,72	108,5	146	506,94	1851	0	10,1	6,1	334	5
14	140	35,39	7,58	214,18	26,32	107,9	157	545,14	1912	0	10,2	6,2	407	4
15	150	37,88	8,02	211,72	27,85	108,5	168	583,33	2037	0	10,1	6,2	472	3,5
16	160	40,43	8,39	207,52	29,13	107,9	186	645,83	2099	0	9,4	7,1	798	3
17	169	42,70	8,89	208,20	30,87	107,7	189	656,25	2143	0	9,9	6,5	843	3
18	180	45,48	9,50	208,88	32,99	108,1	192	666,67	2174	0	10,4	5,8	872	3
19	190	48,01	10,10	210,37	35,07	108,5	194	673,61	2215	0,02	10,9	5,1	881	4
20	200	50,53	10,70	211,76	37,15	108,5	197	684,03	2255	0,03	11,4	4,3	846	8
21	204	51,61	10,93	211,78	37,95	107,7	198	687,50	2255	0,04	11,7	3,96	847	7,5

Tabela 5. Wybrane wskaźniki pracy silnika Fiat 1.3 Multijet pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej  $n = 3800$  obr/min i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel

Lp.	$M_o$ [N·m]	$N_e$ [kW]	$G_h$ [kg/h]	$g_e$ [g/kW·h]	$g_c$ [mg/cykl]	$p_w$ [MPa]	$G_{pow}$ [kg/h]	$g_{pow}$ [mg/cykl]	$p_d$ [hPa]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	D [%]
1	9	3,60	3,17	880,56	6,95	81,3	216	473,68	1617	0,02	2,7	16,8	170	1
2	20	8,00	3,72	465,00	8,16	85,5	218	478,07	1628	0,02	3,3	15,9	199	1
3	30	12,00	4,30	358,33	9,43	91,5	221	484,65	1642	0	3,8	15,2	228	1
4	40	16,00	4,89	305,63	10,72	99,3	225	493,42	1645	0	4,4	14,5	267	1,5
5	50	20,00	5,49	274,50	12,04	105,3	219	480,26	1611	0	5,0	13,4	314	2
6	60	24,01	6,17	256,98	13,53	109,9	222	486,84	1623	0	5,7	12,5	370	3
7	69	27,60	6,84	247,83	15,00	114,7	221	484,65	1622	0	6,4	11,5	425	4
8	80	32,01	7,68	239,93	16,84	122,1	237	519,74	1751	0	6,6	11,3	487	4
9	90	36,00	8,47	235,28	18,57	127,5	248	543,86	1889	0	6,8	10,9	574	3
10	100	40,02	9,30	232,38	20,39	135,1	262	574,56	1989	0	7,1	10,4	667	3
11	111	44,41	10,10	227,43	22,15	143,9	273	598,68	2057	0	7,6	9,7	765	2
12	120	48,01	10,90	227,04	23,90	144,1	273	598,68	2059	0	8,2	8,9	787	2,5
13	130	52,01	11,55	222,07	25,33	149,5	278	609,65	2085	0	8,8	8,0	862	2
14	141	56,41	12,72	225,49	27,89	149,4	282	618,42	2114	0	9,5	7,0	889	3
15	151	60,41	13,79	228,27	30,24	150,9	283	620,61	2136	0,02	10,2	6,0	905	5
16	160	64,01	14,83	231,68	32,52	150,7	286	627,19	2150	0,04	11,0	5,0	899	10

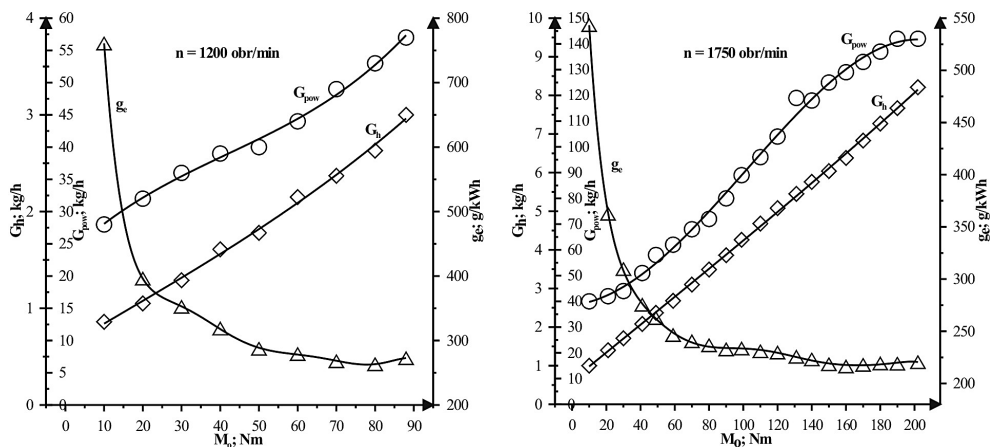
**Tabela 6.** Wybrane wskaźniki pracy silnika Fiat 1.3 Multijet pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej  $n = 4000$  obr/min i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel

Lp.	$M_o$ [N·m]	$N_e$ [kW]	$G_h$ [kg/h]	$g_e$ [g/kW·h]	$g_c$ [mg/cykl]	$p_w$ [MPa]	$G_{pow}$ [kg/h]	$g_{pow}$ [mg/cykl]	$p_d$ [hPa]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	D [%]
1	10	4,55	3,65	802,20	7,60	83,9	237	493,75	1708	0	2,4	16,8	246	1
2	20	8,28	4,11	496,38	8,56	87,7	243	506,25	1735	0	2,7	16,3	252	1
3	30	13,25	4,75	358,49	9,90	93,7	248	516,67	1772	0	3,0	15,7	360	1
4	40	16,56	5,34	322,46	11,13	98,7	255	531,25	1807	0	3,4	15,1	412	1,5
5	50	20,73	5,70	274,96	11,88	103,3	229	477,08	1601	0	4,1	13,8	493	3
6	60	25,26	6,44	254,95	13,42	109,3	235	489,58	1628	0	4,4	13,0	567	4
7	70	28,99	7,08	244,22	14,75	114,1	235	489,58	1629	0	5,0	12,4	629	4
8	80	33,11	7,89	238,30	16,44	122,1	246	512,50	1706	0	5,3	11,5	719	4
9	90	37,69	8,73	231,63	18,19	129,3	264	550,00	1862	0	5,4	11,3	844	3
10	100	41,79	9,52	227,81	19,83	137,5	276	575,00	1973	0	5,7	10,9	979	2
11	110	45,52	10,21	224,30	21,27	148,7	285	593,75	2031	0	6,2	10,3	1087	3
12	120	50,13	11,13	222,02	23,19	151,3	286	595,83	2046	0	6,7	9,4	1150	3
13	130	54,57	11,78	215,87	24,54	159,3	290	604,17	2083	0	7,1	8,6	1178	4
14	140	58,40	13,12	224,66	27,33	158,7	293	610,42	2104	0	7,7	7,3	1224	4,5
15	150	62,56	14,20	226,98	29,58	159,3	294	612,50	2127	0,02	8,1	6,5	1238	7
16	158	65,04	14,89	228,94	31,02	158,3	296	616,67	2124	0,03	8,6	5,6	1235	11

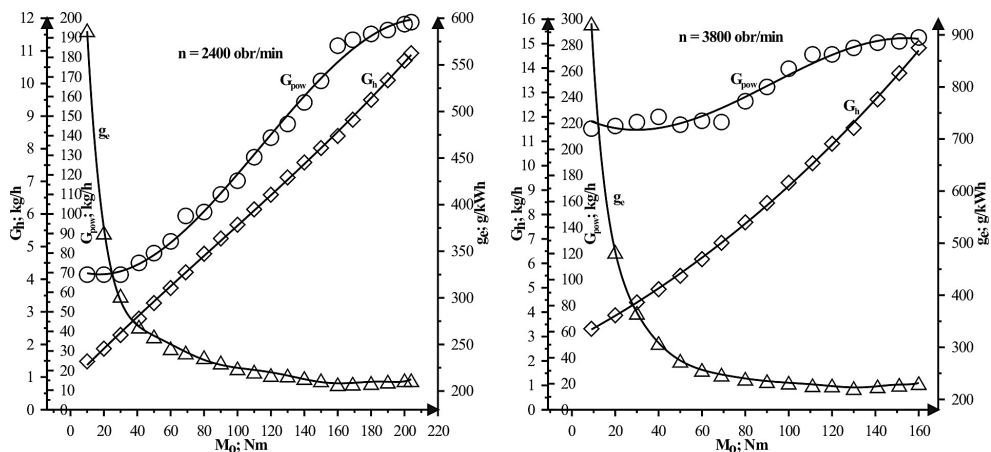
**Tabela 7.** Wybrane wskaźniki pracy silnika Fiat 1.3 Multijet pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej  $n = 4200$  obr/min i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel

Lp.	$M_o$ [N·m]	$N_e$ [kW]	$G_h$ [kg/h]	$g_e$ [g/kW·h]	$g_c$ [mg/cykl]	$p_w$ [MPa]	$G_{pow}$ [kg/h]	$g_{pow}$ [mg/cykl]	$p_d$ [hPa]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	D [%]
1	10	4,42	3,44	778,28	6,83	82,1	205	406,75	1429	0,04	3,1	16,2	178	0
2	20	8,84	4,00	452,49	7,94	86,1	215	426,59	1497	0,03	3,7	15,5	208	0
3	30	13,26	4,83	364,25	9,58	92,1	225	446,43	1562	0,02	4,2	14,7	254	2
4	39	17,24	5,74	332,95	11,39	98,3	240	476,19	1679	0	4,6	13,9	285	2
5	50	22,11	6,54	295,79	12,98	105,9	258	511,90	1793	0	5,1	13,2	328	2,5
6	60	26,52	7,16	269,98	14,21	109,3	239	474,21	1624	0	6,0	11,9	376	4
7	70	30,95	8,09	261,39	16,05	116,1	240	476,19	1641	0	6,8	10,8	437	5
8	80	35,36	9,00	254,52	17,86	122,7	247	490,08	1693	0	7,4	9,9	489	6
9	90	39,79	9,84	247,30	19,52	130,5	265	525,79	1850	0	7,6	9,7	565	5
10	100	44,23	10,78	243,73	21,39	138,1	276	547,62	1968	0	7,8	9,3	683	5
11	110	48,65	11,59	238,23	23,00	150,1	289	573,41	2028	0	8,5	8,4	822	4
12	120	53,07	12,43	234,22	24,66	159,1	294	583,33	2069	0,02	9,2	7,1	937	5
13	131	57,94	14,08	243,01	27,94	156,9	297	589,29	2086	0,04	10,1	6,0	945	8
14	138	61,04	15,27	250,16	30,30	156,1	298	591,27	2102	0,06	10,7	5,1	923	14

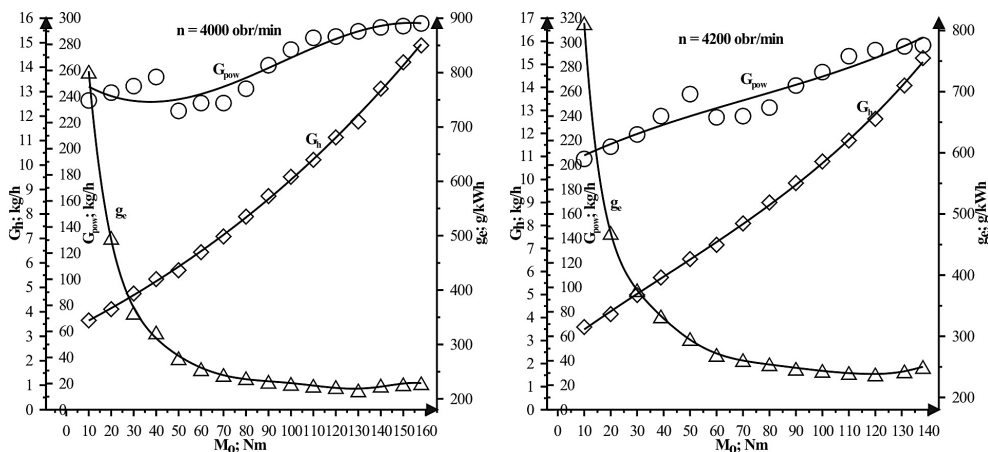
Na rysunkach od 1 do 3 przedstawiono sporządzone na podstawie wyników badań eksperymentalnych charakterystyki obciążeniowe badanego silnika Fiat 1.3 Multijet dla prędkości obrotowych  $n = 1200, 1750, 2400, 3800, 4000$  i  $4200$  obr/min. Na charakterystykach tych, w funkcji zmiany obciążenia silnika wyrażonego użytecznym momentem obrotowym  $M_o$ , pokazano przebiegi zmian godzinowego zużycia paliwa  $G_h$ , jednostkowego zużycia paliwa  $g_c$  i godzinowego zużycia powietrza  $G_{pow}$ .



Rys. 1. Charakterystyka obciążeniowa silnika Fiat 1.3 Multijet sporządzona dla prędkości obrotowej  $n = 1200$  i  $1750$  obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel



Rys. 2. Charakterystyka obciążeniowa silnika Fiat 1.3 Multijet sporządzona dla prędkości obrotowej  $n = 2400$  i  $3800$  obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel



Rys. 3. Charakterystyka obciążeniowa silnika Fiat 1.3 Multijet sporządzona dla prędkości obrotowej  $n = 4000$  i  $4200$  obr/min, przy zasileniu go olejem napędowym Ekodiesel

## PODSUMOWANIE

Silnik Fiat 1.3 Multijet, będący obiektem badań jest jednym z najnowocześniejszych silników o zapłonie samoczynny, który stanowi modernizację silnika o mocy 51 kW i momencie obrotowym 180 Nm. Zwiększenie mocy do 66 kW i momentu obrotowego do 200 N·m osiągnięto drogą doskonalenia systemu spalania, zwiększenia ciśnienia wtrysku paliwa do 160 MPa oraz przez zastosowanie turbosprężarki o zmiennej geometrii łopatek kierownicy. Ponadto w wersji wyposażonej w filtr cząstek stałych zwiększono ilość etapów wtrysków przypadających na cykl pracy silnika z trzech do maksymalnie pięciu, co związane jest z regeneracją filtra cząstek stałych.

Otrzymane wyniki badań hamownianych silnika 1.3 Multijet potwierdzają wysokie osiągi badanego silnika przy niewielkiej emisji szkodliwych składników spalin. Silnik charakteryzuje się dobrą elastycznością dzięki wysokiemu momentowi obrotowemu, którego wartość większą od  $M_0 = 200$  N·m uzyskano przy pracy silnika według charakterystyk obciążeniowych przy prędkościach obrotowych  $n = 1750$  obr/min i  $n = 2400$  obr/min. Minimalne jednostkowe zużycie paliwa  $g_c = 207,52$  g/kW·h silnik uzyskał przy prędkości obrotowej  $n = 2400$  obr/min. Uzyskana wartość momentu obrotowego w tych warunkach pracy silnika to  $M_0 = 160$  N·m. Największe znaczenie ze względu na ochronę naturalnego środowiska człowieka w przypadku silników o zapłonie samoczynnym ma emisja tlenków azotu i cząstek stałych. Dla przeprowadzonego zakresu badań największe wartości stężenia tlenków azotu uzyskano przy pracy silnika według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej  $n = 4000$  obr/min. Ponadto z wyników pomiarów widać, że silnik charakteryzuje się minimalną emisją tlenku węgla. Wynika to z tego, że silnik pracuje ze znacznym nadmiarem powietrza podczas procesu spalania, a paliwo wtryskiwane

jest pod wysokim ciśnieniem do komory spalania umieszczonej w denku tłoka i łatwo ulega wymieszaniu z powietrzem. Zastosowanie bezpośredniego wtrysku paliwa, wysokociśnieniowego układu zasilania Common Rail, turbosprężarki z sterowanym wydatkiem, układu recyrkulacji z chłodzeniem recyrkulowanych spalin, katalizatora z sondą lambda w układzie wydechowym oraz zaawansowanego systemu sterowania wymienionymi układami i podzespołami pozwoliło na spełnienie przez niego wysokich wymagań dotyczących wskaźników ekonomiczno-energetycznych i ekologicznych.

## LITERATURA

1. Ambrozik A., Ambrozik T., Kurczyński D., Łagowski P.: Examination of fast-changing quantities in engine with common rail injection system. *Journal of KONES Powertrain and transport*, vol. 17, no.3, Warsaw 2010.
2. Ambrozik A., Ambrozik T., Kurczyński D., Łagowski P.: External speed characteristics in engine with multi-stage fuel injection. *Journal of KONES Powertrain and transport*, vol. 17, no.1, Warsaw 2010.
3. Ambrozik A., Ambrozik T., Kurczyński D., Łagowski P.: Ocena parametrów pracy wieloetapowo zasilanego silnika 1.3 Multijet. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów* 1(82)/2011.
4. Basshuysen R.: *Ottomotor mit Direkteinspritzung*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag - GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2007.
5. Brzeżański, M., Śliwiński, K., Downsizing – nowy kierunek rozwoju silników samochodowych. *Silniki Spalinowe*, nr 2/2004 (119).
6. Golloch, R.: *Downsizing bei Verbrennungsmotoren*. Springer Verlag, 2005.
7. Golloch, R.; Merker, G. P.: Downsizing bei Verbrennungsmotoren – Grundlagen, Stand der Technik und zukünftige Konzepte. In: *MTZ 66* (2005), nr. 2.
8. Imarisio, R., Giardina-Papa, P., Siracusa, M., The new 1.3 L 90 PS diesel engine. *Silniki Spalinowe*, nr 3/2005 (122).
9. Merkisz, J., Rozwój silników spalinowych w aspekcie ich ekologii. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów* 2(78)/2010.
10. Pietras, D., Świątek, P., Dobór kalibracji sterowania silnika 1,3 Multijet w aspekcie jego osiągnięć i składu spalin. *Silniki Spalinowe*, nr 2/2008 (133).
11. Rokosch U.: *Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów OBD*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2007.

## LOAD CHARACTERISTICS OF TURBOCHARGED 1.3 MULTIJET ENGINE

### Abstract

The paper presents the results of test bench investigations into compression ignition 1.3 Multijet engine with multistage fuel injection, which is manufactured in Poland by Fiat-GM Powertrain Polska Company. The tests were conducted at the stand constructed at the Heat Engines Laboratory of the Kielce University of Technology. The scope of investigations included determining

economic and energetic parameters of the engine work, and also environmental parameters, such as the concentration of nitrogen oxides  $\text{NO}_x$ , carbon monoxide CO and carbon dioxide  $\text{CO}_2$  in exhaust gases and exhaust gas smokiness. During the tests, the engine operated under load conditions at the crankshaft rotational speed:  $n = 1200, 1750, 2400, 3800, 4000$  and  $4200$  rpm. Such values of speed were selected because of the multi-stage fuel injection and the engine's being able to reach the maximum torque  $M_o = 200$  Nm at the crankshaft rotational speed  $n = 1750$  rpm and the maximum power output  $N_e = 66$  kW, delivered at  $n = 4000$  rpm.

**Key words:** piston internal combustion engine, engine characteristics, engine work parameters, test bench investigations.