

Andrzej AMBROZIK
Tomasz AMBROZIK
Dariusz KURCZYŃSKI
Piotr ŁAGOWSKI

PTNSS–2015–3511

Modern experimental set-up for investigations into strategies for the control and fuel-ling of spark ignition engines

Internal combustion piston engines have to comply with increasingly stricter requirements which are intended to limit their detrimental effect on the natural environment. At the same time, however, those provide a stimulus for the development of internal combustion engines. For positive ignition engines, the requirements primarily concern reduction in the emissions of nitrogen oxides, carbon oxides and hydrocarbons. In those engines, decreased emissions of the harmful components of the exhaust gas are achieved, among others, by complex exhaust aftertreatment systems. In recent years, increased interest in alternative fuels, mainly LPG or CNG, is observed. That is also related to the depletion of crude oil resources.

The paper presents the results of the bench tests on Fiat 0.9 TwinAir positive ignition engine produced in Bielsko Biala by Fiat Powertrain Technologies Poland. In the tests, the engine was fuelled by regular 95-octane petrol and by LPG. The tests were performed at the bench equipped with the AMX 100 eddy current brake, constructed at the Heat Engine Laboratory of the Kielce University of Technology. The test range included the determination of economic, energy and environmental parameters of the engine, including NO_x , HC, CO i CO_2 concentrations in the exhaust gas when the engine operated at full load and had factory settings for control.

Key words: *internal combustion piston engines, engine operation parameters, bench tests, engine fuels*

Nowoczesne stanowisko do badań strategii sterowania i zasilania współczesnych silników o ZI

Tłokowym silnikom spalinowym stawiane są coraz większe wymagania, których celem jest ograniczenie ich szkodliwego wpływu na środowisko naturalne co jednocześnie stymuluje kierunki rozwoju silników spalinowych. W przypadku silników o zapłonie iskrowym dotyczy to przede wszystkim ograniczenia emisji tlenków azotu oraz tlenków węgla i węglowodorów. Ograniczenie emisji szkodliwych składników spalin przez te silniki uzyskuje się między innymi poprzez zastosowanie skomplikowanych układów oczyszczania spalin. W ostatnich latach obserwuje się zainteresowanie także paliwami alternatywnymi a przede wszystkim - gazowymi jak LPG czy CNG. Jest to związane także z malejącymi światowymi zasobami ropy naftowej.

W artykule przedstawiono wyniki hamownianych badań silnika o zapłonie wymuszonym Fiat 0.9 TwinAir produkowanego w Bielsku Białej przez Firmę Fiat Powertrain Technologies Poland. Podczas badań silnik zasilano standardową benzyną 95 oktanową oraz gazem LPG. Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym wyposażonym w hamulec elektrowirowy EMX-100/10000 zbudowanym w Laboratorium Silników Ciepłych Politechniki Świętokrzyskiej. Zakres badań obejmował wyznaczenie wskaźników ekonomiczno-energetycznych i ekologicznych silnika takich jak stężenia NO_x , HC, CO i CO_2 w spalinach przy pracy silnika według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i przy jego fabrycznych ustawieniach regulacyjnych.

Słowa kluczowe: *tłokowy silnik spalinowy, wskaźniki pracy silnika, badania hamowniane, paliwa silnikowe*

1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych kierunków rozwoju tłokowych silników spalinowych jest dążenie do minimalizacji zużycia paliwa, przez co zapewnienia się także najmniejszą emisję szkodliwych składników do atmosfery. Spełnienie tych wymogów jest możliwe poprzez racjonalną organizację cyklu pracy silnika oraz dobór właściwości paliwa zasilającego silnik.

Obecnie właściwości paliw silnikowych są ważnym obszarem badań ukierunkowanych na spełnianie ekologicznych wymagań stawianych

silnikom spalinowym [13]. Badania te obejmują dwa kierunki. Pierwszy związany jest z paliwami węglowodorowymi i obejmuje modyfikację składu paliw, który zapewnia bardziej ekonomiczne i efektywne ich spalanie. Stosowane są coraz bardziej skomplikowane technologie przetwarzania ropy naftowej oraz różne dodatki, które pozwalają na uzyskiwanie bardziej korzystnych właściwości paliw. Drugi kierunek rozwoju paliw silnikowych związany jest z poszukiwaniem paliw alternatywnych, które mogłyby zastępować paliwa konwencjonalne [1,2,3,4, 6, 12, 18]. Ze względu na wysoki poziom rozwoju obecnie produkowanych silników

spalinowych najkorzystniejszym rozwiązaniem byłoby stosowanie paliw alternatywnych, nie wymagające wprowadzania istotnych zmian konstrukcyjnych w tych silnikach.

Dążenie do zmniejszania emisji szkodliwych składników spalin oraz zmniejszenia zużycia paliwa powoduje, że paliwom stawiane są coraz ostrzejsze wymagania dotyczące ich jakości. Wymagania te określane są przez międzynarodowe i krajowe akty prawne oraz normy określające wartości podstawowych parametrów charakteryzujących ich jakość.

Normy te modyfikowane są w zależności od zmieniających się wymagań stawianych silnikom, głównie w zakresie zmieniających się przepisów normatywnych dotyczących toksyczności spalin. Podstawowym celem tych działań jest określenie właściwości paliwa dla których przebieg spalania będzie najbardziej racjonalny a szkodliwe oddziaływanie eksploatacji silnika na środowisko naturalne będzie jak najmniejsze.

2. Paliwa do zasilania silników ZI

Do zasilania silników o zapłonie iskrowym obecnie stosowana jest benzyna wytwarzana w procesie rafinacji ropy naftowej. Jednym z głównych powodów poszukiwania innych paliw do zasilania silników o zapłonie iskrowym jest rosnąca cena i zmniejszanie się zasobów ropy naftowej [10].

Stosowane do zasilania współczesnych tłokowych silników spalinowych paliwa można podzielić na dwa rodzaje tj. paliwa konwencjonalne oraz alternatywne. Paliwa konwencjonalne to te, które tradycyjnie stosowane są do zasilania silników. Doskonalenie konstrukcji silnika i jego układów zasilania oraz ciągle zaostrzające się normy emisji spalin powodowały że właściwości tych paliw były przez lata ciągle modyfikowane. Do paliw alternatywnych zaś, zalicza się te, które mogą zastąpić benzynę oraz oleje napędowe [15,16].

Jak wcześniej wspomniano konwencjonalnymi paliwami stosowanymi do zasilania tłokowych silników spalinowych o zapłonie iskrowym są benzyny, które stanowią mieszaninę węglowodorów o temperaturze wrzenia w zakresie od 30 do 215°C [5, 19, 20]. W skład benzyn wchodzi węglowodory aromatyczne, naftenowe, parafinowe oraz ich pochodne a także węglowodory nienasycone, którymi zazwyczaj są olefiny, przyczyniające się do tworzenia żywic i powodujące skracanie czasu ich przechowywania. Rozwój obecnie stosowanych benzyn to dążenie do zmniejszenia w nich zawartości siarki niszczącej układy oczyszczania spalin, ograniczanie zawartości w nich węglowodorów aromatycznych, olefinowych, benzenu, cięższych węglowodorów oraz zmniejszenie ciśnienia prężności ich par jak również zwiększenie zawartości w nich związków tlenowych i uszlachetniaczy [12,

17]. Paliwo LPG jest powszechnie stosowane do zasilania silników o zapłonie iskrowym. Paliwo to stanowi mieszaninę propanu C_3H_8 i butanu C_4H_{10} . Zawiera również w niewielkich ilościach takie węglowodory jak etan, izomery butanu i inne. Stosowanie tego paliwa pozwala na zmniejszenie emisji tlenku węgla CO , dwutlenku węgla CO_2 i węglowodorów HC , przez co uważane jest jako paliwo ekologiczne [11, 14]. Istotną zaletą tego paliwa jest wysoka odporność na spalanie stukowe, łatwość mieszania się z powietrzem w cylindrze silnika, brak zawartości siarki, benzenu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Wadami tego paliwa jest ich większa energia zapłonu oraz mniejsza szybkość spalania. Silniki wyposażone w dodatkowy układ zasilania paliwem LPG nie optymalizuje się pod kątem maksymalnego wykorzystania właściwości tego paliwa. Podstawowym paliwem w tych silnikach nadal pozostaje benzyna.

Drugim paliwem gazowym, które coraz częściej jest stosowane do zasilania tłokowych silników spalinowych jest gaz ziemny oznaczany skrótem CNG. Jest to paliwo naturalne występujące w samodzielnych złożach lub towarzyszy pokładom ropy naftowej. Gaz CNG w swoim składzie zawiera od 85 do 99% metanu oraz inne składniki takie jak: etan, propan, butan i inne. Zanieczyszczeniami tego paliwa są: azot, dwutlenek węgla, siarkowodór, argon [9, 19]. Paliwo to może być magazynowane w postaci gazu sprężonego CNG lub w postaci gazu ciekłego LNG. Najczęściej jednak stosowany jest gaz sprężony CNG. W Polsce jest słabo rozwinięta infrastruktura stacji tankowania gazu ziemnego co powoduje, że nie jest on powszechnie stosowany. Na Świecie jednak wzrasta liczba eksploatowanych silników zasilanych gazem ziemnym, i to zarówno samochodów ciężarowych jak i osobowych. Stosowanie CNG do zasilania silników pozwala na spełnienie rygorystycznych norm emisji spalin bez konieczności stosowania skomplikowanych układów ich oczyszczania. W przyszłości gaz ziemny może stać się jednym z podstawowych paliw stosowanych w Polsce do zasilania silników spalinowych.

2. Układy zasilania silników o zapłonie iskrowym zasilanych gazem LPG i CNG

Obecnie stosowane układy zasilania paliwami gazowymi tłokowych silników spalinowych są bardzo dobrze rozpoznane, a ich budowa i sterowanie są nadal doskonałe.

Rozwój samochodowych instalacji gazowych jest ściśle związany z rozwojem benzynowych układów zasilania, a te z kolei są pochodną ciągle rosnących wymagań odnośnie emisji spalin [7, 8].

Pierwsze układy zasilania gazowego silników powstały we Włoszech we wczesnych latach powojennych. Od tamtego czasu instalacje te uległy

znacznemu rozwojowi. Obecnie można wyróżnić pięć generacji gazowych systemów zasilania LPG. W pierwszych czterech gaz dostarczany jest do układu dolotowego w stanie odparowanym zaś w piątej generacji gaz wtryskiwany jest do układu dolotowego w stanie ciekłym [14, 21]. Układy zasilania gazem pierwszej i drugiej generacji to układy mieszalnikowe. Układy pierwszej generacji przeznaczone były do silników z układem gaźnikowym lub wtryskowym w których nie wykorzystywano sondy lambda. Można było je instalować także do silników z nowszymi układami wtrysku benzyny ale po zastosowaniu emulatora pracy sondy lambda. Druga generacja układów przeznaczona była do silników w których skład mieszanki paliwo-powietrznej regulowany jest za pomocą sondy lambda usytuowanej w układzie wydechowym silnika. Układy drugiej generacji przystosowane były do silników wyposażonych w układy jednopunktowego wtrysku paliwa SPI i wielopunktowego wtrysku MPI. W układach trzeciej generacji paliwo gazowe wtryskiwane jest w postaci lotnej do kolektora dolotowego. Układy tego typu stosowane są w silnikach sterowanych w pętli sprzężenia zwrotnego z wykorzystaniem sondy lambda. Sterowanie wtryskiem gazu podobne jest tu do układów sterowania układami wtrysku benzyny. Układy zasilania czwartej generacji również realizują wtrysk gazu do układu dolotowego. Jednak wtrysk realizowany jest tu sekwencyjnie z wykorzystaniem wtryskiwaczy elektromagnetycznych. W układach tego typu sterownik wtrysku gazu do sterowania pracą wtryskiwaczy wykorzystuje sygnał sterujący pracą wtryskiwaczy benzyny. Układy te można montować bez konieczności stosowania emulatorów. W układach piątej generacji stosowany jest sekwencyjny wtrysk gazu w fazie ciekłej. Układy te posiadają wszystkie zalety układów czwartej generacji. Ponadto umożliwiają lepsze napełnianie cylindrów, zwiększenie mocy i momentu obrotowego silnika oraz zmniejszenie objętościowego zużycia paliwa gazowego. Najnowsze układy zasilania silnika paliwem LPG przeznaczone są do określonych rozwiązań konstrukcyjnych silników o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny, w których paliwo gazowe wtryskiwane jest bezpośrednio do cylindrów za pomocą tych samych wtryskiwaczy co w przypadku wtrysku benzyny.

3. Stanowisko badawcze i aparatura kontrolno pomiarowa

Badania przeprowadzono na hamownianym stanowisku w skład którego wchodził tłokowy silnik spalinowy o zapłonie iskrowym Fiat 0.9 TwinAir i hamulec elektrowirowy Elektromex EMX-100/10000. Ponadto stanowisko wyposażone było w masowy dawkomierz paliwa firmy Automex, czujniki do pomiaru temperatur i ciśnień w różnych układach silnika oraz układ sterowania i kontroli pracą całego stanowiska. Badany silnik to

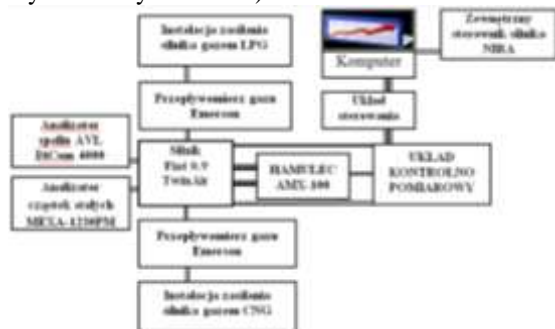
najnowocześniejsza konstrukcja silnika benzynowego Firmy Fiat produkowana w Polsce. Spełnia on obecnie obowiązujące normy emisji spalin EURO 5. Silnik i hamulec elektrowirowy oraz wszystkie elementy niezbędne do pracy stanowiska umieszczone są na wspólnej ramie [5].

Silnik Fiat 0.9 TwinAir to silnik dwucylindrowy o objętości skokowej 875 cm³. Wyposażony jest w układ zasilania z wielopunktowym, pośrednim wtryskiem paliwa do kolektora dolotowego. Zainstalowany na hamowni silnik wyposażony jest w turbosprężarkę i rozwija maksymalną moc użyteczną 62,5 kW przy prędkości obrotowej wału korbowego 5500 obr/min, oraz maksymalny moment obrotowy 145 Nm przy prędkości obrotowej wału korbowego 1900 obr/min. Oryginalnym rozwiązaniem w tym silniku jest układ sterowania zaworami. W układzie rozrządu zawory wylotowe sterowane są w sposób mechaniczny za pomocą krzywek, natomiast zawory dolotowe sterowane są za pomocą elektrohydraulicznego układu połączonego z mechanizmem krzywkowym. Krzywka przekazuje ruch tylko do układu hydraulicznego wyposażonego w zawór elektromagnetyczny. W pozycji kiedy zawór jest zamknięty, rozrząd pracuje jak typowy mechaniczny układ rozrządu. Przy otwarciu zaworu elektromagnetycznego następuje upływ oleju z komory hydraulicznej, która steruje przebiegiem otwarcia zaworów dolotowych. Ilość powietrza doprowadzanego do cylindrów silnika Fiat 0.9 TwinAir sterowana jest poprzez bezpośrednie i elastyczne sterowanie zaworami dolotowymi. Rozwiązania konstrukcyjne zastosowane w silniku na którym realizowane były badania wskazują, że tego typu silniki będą w najbliższych latach powszechnie stosowane do napędu pojazdów samochodowych. Podstawowe dane techniczne silnika Fiat 0.9 TwinAir przedstawiono w tabeli 1 [5].

Tab. 1. Podstawowe dane techniczne silnika Fiat 0.9 TwinAir [5]

Parametr	Wartość
Pojemność skokowa	875 cm ³
Moc silnika	62,5kW przy 5500 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	145 Nm przy 5500 obr/min
Umiejscowienie wałka rozrządu	DOHC
Liczba cylindrów	2
Układ cylindrów	rzędowy
Liczba zaworów	8
Stopień sprężania	10
Średnica cylindra	80,5 mm
Skok tłoka	86 mm

Silnik oprócz oryginalnej instalacji zasilania benzyną wyposażony jest w instalacje zasilania gazem LPG oraz instalacje zasilania sprężonym gazem ziemnym CNG. Zużycie paliwa konwencjonalnego mierzone jest za pomocą masowego dawkomierza paliwa firmy Automex, natomiast zużycie paliwa gazowego mierzone jest za pomocą przepływomierza Coriolisa firmy Emerson. Schemat blokowy stanowiska przedstawiono na rys. 1. Stanowisko oprócz fabrycznego układu sterownia wyposażone jest w badawczy zewnętrzny sterownik silnika o zapłonie wymuszonym firmy NIRA, który umożliwia dostęp do konfiguracji (regulacji, zmiany) parametrów sterowania pracą silnika, ustalanych podczas optymalizacji algorytmów sterowania ECU (sterowanie układem zapłonowym, układem zasilania tzn. czasami i fazami wtrysku paliwa, ciśnieniem wtrysku paliwa, sterowaniem układu doładowania, zmiennymi fazami rozrządu, recyrkulacją spalin oraz innymi elementami wykonawczymi silnika).



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego

Pomiar stężeń szkodliwych składników spalin realizowano analizatorem Dicom 4000 firmy AVL. Analizator ten umożliwiał pomiar stężeń takich składników spalin jak: tlenek węgla CO, dwutlenek węgla CO₂, tlenki azotu NO_x oraz węglowodory HC.

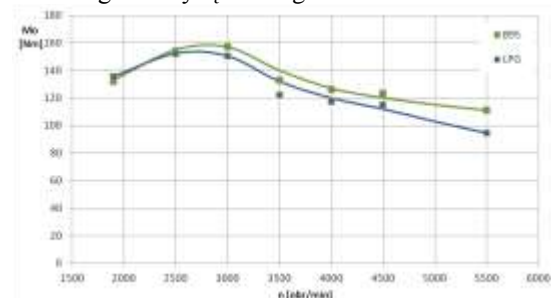
4. Metodyka badań eksperymentalnych

Badania eksperymentalne przeprowadzono na hamowni silnikowej, przy pracy silnika według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej w zakresie prędkości obrotowej od 1900 do 5500obr/min. W czasie badań dokonywano pomiarów następujących parametrów pracy silnika: momentu obrotowego, godzinowego zużycia paliwa, stężeń podstawowych składników spalin jak: tlenku węgla CO, dwutlenku węgla CO₂, węglowodorów HC oraz tlenków azotu NO_x.

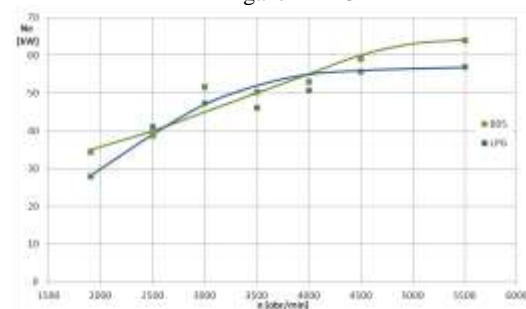
W czasie badań silnik zasilano dwoma paliwami: benzyną 95 oktanową B95 oraz gazem LPG.

5. Wyniki badań

Na rysunku 2 i 3 przedstawiono wyniki pomiarów mocy i momentu obrotowego badanego silnika zasilanego benzyną B95 i gazem LPG.

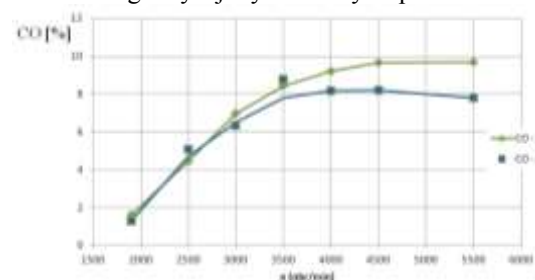


Rys.2. Charakterystyka momentu obrotowego silnika Fiat 0.9 TwinAir zasilanego benzyną B95 i gazem LPG

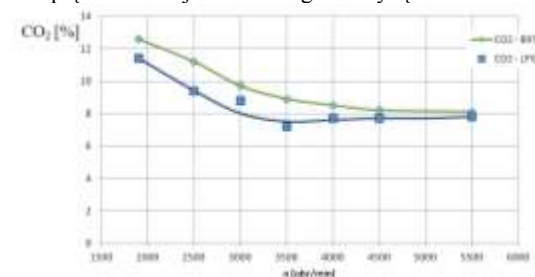


Rys.3. Charakterystyka mocy efektywnej silnika Fiat 0.9 TwinAir zasilanego benzyną B95 i gazem LPG

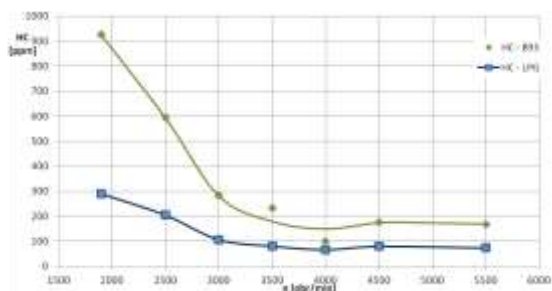
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wyniki pomiarów stężeń tlenku i dwutlenku węgla zaś na rysunkach 6 i 7 stężeń tlenków azotu i węglowodorów w spalinach badanego silnika, pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go wyżej wymienionymi paliwami.



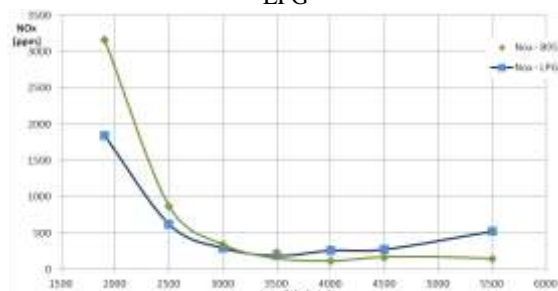
Rys. 4. Stężenie tlenku węgla w spalinach silnika Fiat 0.9 TwinAir pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go benzyną B95 oraz LPG



Rys. 5. Stężenie dwutlenku węgla w spalinach silnika Fiat 0.9 TwinAir pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go benzyną B95 oraz LPG



Rys. 6. Stężenie węglowodorów w spalinach silnika Fiat 0.9 TwinAir pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go benzyną B95 oraz LPG



Rys. 7. Stężenie tlenków azotu w spalinach silnika Fiat 0.9 TwinAir pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go benzyną B95 oraz gazem LPG

Jak wykazują powyższe wyniki badań, silnik zasilany paliwem LPG rozwijał o ok. 11% mniejszą maksymalną moc efektywną i o ok. 3% mniejszy maksymalny moment obrotowy w porównaniu z silnikiem go benzyną B95. Zasilając silnik benzyną B95 wzrosło stężenie węglowodorów HC o ok. 65% w porównaniu z zasilaniem go LPG i o ok. 20% wzrosło stężenie tlenku węgla CO w spalinach. Stężenie tlenków azotu w spalinach w zakresie prędkości obrotowych od 1900 do 3500 obr/min było większe przy zasilaniu silnika

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

CNG Compressed Natural Gas/*sprężony gaz ziemny*
 LPG Liquefied Petroleum Gas/*gaz skroplony*
 LNG Liquefied Natural Gas) /*gaz ziemny w postaci ciekłej*
 B95 95 octane petrol/*benzyna 95 oktanowa*

benzyną B95 w porównaniu z tym stężeniem przy zasilaniu silnika LPG, zaś w zakresie prędkości obrotowej od $n=3500$ do 5500 obr/min stężenie tlenków azotu NO_x było większe przy zasilaniu LPG niż przy zasilaniu silnika benzyną B95.

6. Podsumowanie

Główne kierunki rozwoju tłokowych silników spalinowych w ostatnich latach związane są przede wszystkim ze zmniejszeniem emisji toksycznych składników ze spalinami jak również ze zmniejszeniem zużycia paliwa. W konstrukcji silników oraz ich układów osiągnięto już pewne graniczne możliwości ich wysilenia i to zarówno dotyczące parametrów procesów roboczych jak i sterowania ich wielkościami. Obecne normy toksyczności spalin są już bardzo wygórowane, a w przyszłości mogą być jeszcze bardziej rygorystyczne.

Zastosowane do zasilania silnika w czasie badań paliwo gazowe oraz benzyna mają różne właściwości fizykochemiczne. Silnik jest zoptymalizowany pod kątem zasilania benzyną. W celu efektywnego wykorzystania właściwości paliw gazowych LPG i CNG do zasilania tego silnika należy dobrać odpowiednie jego parametry regulacyjne, na przykład kąt wyprzedzenia zapłonu czy też stopień doładowania. Budowa stanowiska umożliwia optymalizację zasilania silnika paliwami LPG i CNG ze względu na ekonomiczno-energetyczne i ekologiczne wskaźniki jego pracy.

Jednym z kierunków rozwoju silników jest zapewnienie ich wielopaliwowość. Jedną z możliwości zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin jest zasilanie silnika paliwami gazowymi w tym LPG, gazem ziemnym CNG i LNG, biogazem i innymi.

ECU Electronic Control Unit/ *elektroniczny moduł sterujący pracą silnika*
 SPI Single Point Injection/ *jedno punktowy wtrysk paliwa*
 MPI Multi Point Injection/*wielopunktowy wtrysk paliwa*

Bibliography/Literatura

- [1] Ambrozik A., Analiza cykli pracy czterosuwowych silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2010.
- [2] Ambrozik A., Ambrozik T., Kureczyński D., Łagowski P., Trzensik E.: Cylinder Pressure Patterns in the SI Engine Fuelled by Methane and by Methane and Hydrogen Blends. Solid State Phenomena Vol. 210 (2014), Trans Tech Publications, pp 40-49.
- [3] Ambrozik A., Ambrozik T., Kureczyński D., Łagowski P.: The Influence of Injection Advance Angle on Fuel Spray Parameters and Nitrogen Oxide Emissions for a Self-Ignition Engine Fed with Diesel Oil and FAME. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 23, No 6, 2014, s. 1917-1923. ISSN 1230-1485

- [4] Ambrozik A., Ambrozik T., Łagowski P.: Fuel impact on emissions of harmful components of the exhaust gas from the CI engine during cold start-up. „Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability”. Tom: 17, Zeszyt: 1, s. 95-99. 2015.
- [5] Ambrozik A., Ambrozik T., Kurczyński D., Łagowski P.: Conversion of Fiat 0.9 multi-air engine to multi-fuelling. Journal of Kones. Tom: 20, Zeszyt: 4, s. 9-15. 2013
- [6] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
- [7] Cho H. M., He B.Q.: Combustion and emission characteristics of a lean burn natural gas engine. International Journal of Automotive Technology, Volume 9, number 4 2008, s. 415÷422.
- [8] Gis W., Menes E., Waśkiewicz J.: Analiza możliwości zastosowania gazowych paliw w miejskim transporcie autobusowym w Polsce – część 1. Silniki Spalinowe, nr 1/2012(148), s. 82÷88.
- [9] Gruden D.: Umweltschutz in der Automobilindustrie. Vieweg+Teubner-GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008.
- [10] Grzyb R., Kotowski W.: Nowe wymagania jakościowe na paliwa silnikowe. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, nr 83/2001, s. 5÷8.
- [11] Helmers E.: Bitte wenden Sie jetzt – Das Auto der Zukunft. Wiley-VCH, Weinheim 2009.
- [12] Kruczyński S., Orliński P., Biernat K.: Olej lniankowy jako biopaliwo do silników o zapłonie samoczynnym, Przemysł Chemiczny 91/1/2012, s.111÷113.
- [13] Kurczyński D.: Wpływ paliw roślinnych i ich mieszanin z olejem napędowym na wskaźniki pracy silnika o zapłonie samoczynnym. Praca doktorska, Kielce 2007.
- [14] Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propan-butan. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.
- [15] Merksiz J.: Paliwa do silników tłokowych. Problemy spalania w silnikach spalinowych EKSPERTYZA, Wydawnictwo Polskiego Instytutu Spalania, Warszawa 2000, s. 79÷104.
- [16] Merksiz J., Kozak M.: Wymagania jakościowe stawiane benzynie przez nowe generacje silników o zapłonie iskrowym. (cz.1, cz. 2). Paliwa, Oleje i Smary w eksploatacji, nr 104/2002, s. 5÷8; nr 105/2002, s. 23÷26.
- [17] Merksiz J., Pielecha I.: Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
- [18] Orliński P., Orliński S.: Wpływ zasilania silnika rolniczego mieszaniną oleju napędowego z biobutanolem na jego efektywne wskaźniki pracy. TRANSCOMP – XV INTERNATIONAL CONFERENCE COMPUTER SYSTEMS AIDED SCIENCE, INDUSTRY AND TRANSPORT. Zakopane 2011.
- [19] Podniało A.: Paliwa oleje i smary w ekologicznej eksploatacji – Poradnik. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
- [20] Reif K., Dietsche K-H.: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2011.
- [21] Romaniszyn K.: Alternatywne zasilanie samochodów benzyną oraz gazami LPG i CNG, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007. Hountalas D. T., Kouremenos A. D.: Development of fast and simple simulation model for the fuel injection system of diesel engines. Advanced in Engineering Software vol. 26, No. I, pp.13-28, 1998.

Mr Andrzej Ambrozik, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Mechatronics and Machine Building at Kielce University of Technology.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Ambrozik – profesor na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.



Mr Tomasz Ambrozik, PhD, MEng. – doctor in the Faculty of Mechatronics and Machine Building at Kielce University of Technology.

Dr inż. Tomasz Ambrozik – adiunkt na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.



Mr Dariusz Kurczyński, PhD, MEng. – doctor in the Faculty of Mechatronics and Machine Building at Kielce University of Technology.

Dr inż. Dariusz Kurczyński – adiunkt na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.



Mr Piotr Łagowski, PhD, MEng. – doctor in the Faculty of Mechatronics and Machine Building at Kielce University of Technology.

Dr inż. Piotr Łagowski – adiunkt na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.

