

Ryszard WOŁOSZYN¹

GAZOWE UKŁADY ZASILANIA DO SILNIKÓW Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM

W artykule przedstawione zostały wybrane zagadnienia samochodowych instalacji gazowych przeznaczonych do silników z zapłonem samoczynnym. Zaprezentowano autorską koncepcję dwupaliwowego zasilania gazem ziemnym i olejem napędowym w silniku doładowanym z układem Common Rail. Przeanalizowano niektóre aspekty sterowania dwoma układami zasilania, pozwalające na optymalny dobór proporcji paliwa gazowego i oleju napędowego.

POWER SYSTEMS FOR GAS ENGINES WITH COMPRESSION IGNITION

The article presents selected issues in the field of automotive gas for compression ignition engines. Presented and developed his own concept of dual fuel engine supply with natural gas and diesel oil in a turbocharged common-rail system with. Examined some aspects of controlling two power supply systems, allowing for optimal proportions of gaseous fuel and diesel.

1. WSTĘP

Istotnym czynnikiem pozwalającym na rozwój i promocję czystych oraz sprawnych energetycznie środków transportu są wytyczne Unii Europejskiej. Komisja Wspólnot Europejskich przedstawiła 19 grudnia 2007 r. zmieniony wniosek dotyczący dyrektywy Parlamentu Europejskiego w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów w transporcie drogowym.

Jako jeden z nadrzędnych celów przedstawionych w dokumencie *Czyste powietrze dla Europy* (Clean Air for Europa) z 2005 r., Komisja Europejska wskazała osiągnięcie 25-50% spadku emisji składników toksycznych spalin (tlenków azotu, tlenku węgla, węglowodorów oraz cząstek stałych), regulowanych normami EURO na przestrzeni lat 2000-2020. Rzecz w tym, że znane wszystkim normy nie ograniczają emisji dwutlenku węgla, nie mówią o sprawności jednostki napędowej pojazdu, nie zajmują się sprawnością układu napędowego ani cechami konstrukcyjnymi pojazdu, które mają wpływ na zużycie paliwa. Czynniki te są tymczasem ściśle związane ze sprawnością przetwarzania energii zawartej w paliwie na pracę pojazdu. Obecnie najważniejszym dla producenta pojazdów bodźcem do prac nad ograniczeniem zużycia paliwa jest rynek, który wymaga przede

¹Politechnika Radomska 26-600 Radom ul. Chrobrego 45 tel. 48 48 361 76 30

wszystkim pojazdu oszczędnego w eksploatacji, który będzie spełniał obowiązujące limity czystości spalin.

W lutym 2007 roku Komisja Komunikacji Parlamentu Europejskiego określiła producentom samochodów osobowych cel dotyczący ograniczenia emisji dwutlenku węgla. Poziom emisji dwutlenku węgla z samochodu osobowego powinien być ograniczony do 120 g/km. Tak więc z jednej strony producenci mobilizowani są do konstruowania aut oszczędnych w eksploatacji, z drugiej strony prawodawca unijny chce pojazdu ekologicznego, zasilanego zróżnicowanymi paliwami. Pozornie są to zbieżne cele. Silnik o zapłonie samoczynnym byłby bardzo sprawny bez układu SCR, który oczyszcza spaliny, ale nie spełniałby norm dotyczących emisji składników toksycznych spalin. Klient więc musi zapłacić za rozwiązanie zapewniające czystsze powietrze. Pytanie, jak dużo jest skłonny za to płacić. Odpowiedź wydaje się prosta – tyle ile musi, gdyż w swoich decyzjach kieruje się głównie doraźnymi korzyściami wynikającymi z oszczędności w zużyciu paliwa, czy też niższymi opłatami za eksploatacją pojazdów spełniających standardy EURO.

Kontynuując i rozwijając ten temat, przedstawione zostaną ogólnoeuropejskie tendencje dotyczące wtkorzystania paliw alternatywnych, a szczególnie paliw gazowych.

2. ZASILANIE SILNIKÓW PALIWAMI GAZOWYMI W KONTEKŚCIE PRZEPISÓW I WYMOGÓW UNIJNYCH

Samochodowe instalacje gazowe (CNG i LNG) to alternatywne systemy zasilania silników z zapłonem iskrowym i samoczynnym ściśle współpracujące z oryginalnym systemem zasilania. Bez względu na to, jaki rodzaj układu zasilania podstawowego został zastosowany, instalacja gazowa musi odpowiadać swoim poziomem oryginalnym rozwiązaniom, zarówno pod względem zaawansowania technicznego, jak i wymogów bezpieczeństwa czy poziomu emisji spalin. Naturalnym jest więc, że to rozwój motoryzacji wyznacza kierunki rozwoju instalacji gazowych. Bardzo dobrze widać to w ostatnich latach. Mnogość nowych rozwiązań w konstrukcjach silników z zapłonem iskrowym i samoczynnym oraz coraz ostrzejsze normy emisji spalin wymusiły na producentach instalacji gazowych podjęcie prac nad rozwojem nowoczesnych samochodowych systemów oraz komponentów wraz z ich dostosowaniem do surowych norm i przepisów.

Nie jest zaskoczeniem fakt, że uwaga ośrodków badawczych i producentów instalacji gazowych skupiła się na rozszerzeniu grupy pojazdów przystosowanych do zasilania gazem. Pojawiające się nowe rozwiązania są odpowiedzią na rozwój systemów zasilania samochodów, z których na pierwszy plan wysuwa się układ bezpośredniego wtrysku benzyny i układ Common Rail. Dostępne komponenty i możliwości techniczne pozwalają na zastosowanie gazowych układów zasilania do takich właśnie jednostek napędowych. Istnieją skuteczne rozwiązania dotyczące trwałości wtryskiwaczy benzynowych i Common Rail, zapewniające prawidłową współpracę gazowego układu zasilania do nowoczesnych jednostek napędowych. Odbywa się to kosztem zmniejszenia udziału paliwa gazowego, ale daje pewność prawidłowego i długotrwałego funkcjonowania pojazdu.

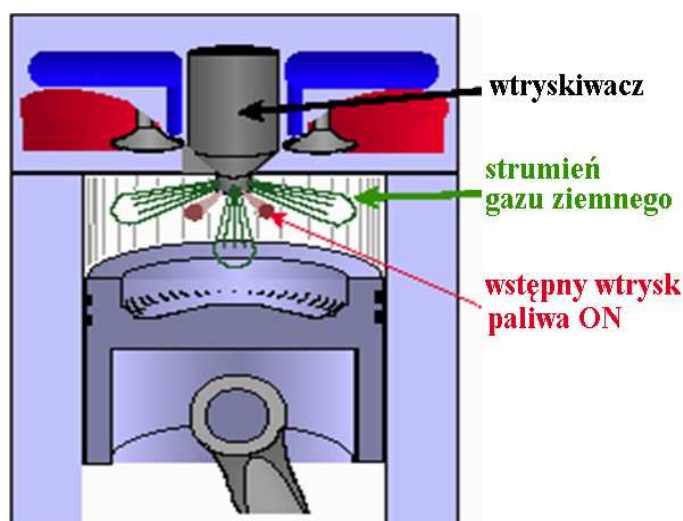
Analizując rozwiązania wtrysku (wdmuchu) gazu do silników z zapłonem samoczynnym, nie sposób uciec od analogii z układami:

- centralnego wtrysku (wdmuchu) gazu przed sprężarkę silnika doładowanego,
- indywidualnego wtrysku (wdmuchu) gazu nad zawory ssące w cyklu napełniania,

- bezpośredniego wtrysku (wdmuchu) gazu do cylindra silnika (indywidualnym wtryskiwaczem, lub dwudrożnym wtryskiwaczem).

Rozwiązania stosowane w układach Common Rail znalazły zastosowanie również w silnikach ZI (zapłon iskrowy) z wtryskiem bezpośrednim. Istnieje wiele ciekawych rozwiązań połączenia zasilania olejem napędowym z paliwem gazowym. Rozwiązania te znacznie wykraczają poza ogólnie standardy występujące w konwencjonalnych układach zasilania przewidzianych do silników z zapłonem iskrowym.

Zasilanie dwupaliwowe silnika o zapłonie samoczynnym daje możliwość wykorzystania alternatywnych paliw o niskiej liczbie cetanowej, w tym m.in. gazu ziemnego. Najbardziej znane rozwiązanie dwupaliwowego układu zasilania opracowane zostało przez firmę Westport. Jest ono rozwijane przez firmę Cummins, która wdrożyła koncepcję dwupaliwowego zasilania silnika gazem ziemnym i olejem napędowym w silnikach stosowanych również do pojazdów trakcyjnych. Przykładem jest silnik DFNG 10 umożliwiający wtrysk dawki pilotującej oleju napędowego tuż przed wtryskiem gazu bezpośrednio do cylindra. Takie rozwiązanie układu zasilania zapewnia także smarowanie paliwem elementów końcówki wtryskiwacza. Ta sama koncepcja dwupaliwowego zasilania silnika z zapłonem samoczynnym jest także rozwijana przez koncern MAN.



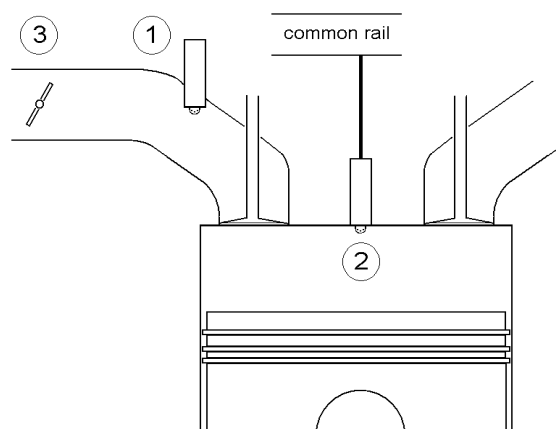
Rys. 1. Układ dwupaliwowy w opracowaniu Westport i MAN HPDI (wtrysk bezpośredni o wysokim ciśnieniu)

3. OPRACOWANA KONCEPCJA DWUPALIWOWEGO ZASILANIA SILNIKA GAZEM ZIEMNYM I OLEJEM NAPĘDOWYM

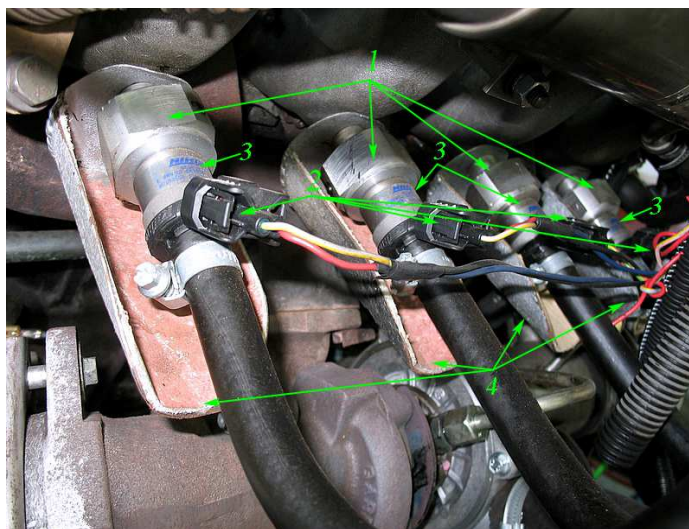
Na podstawie analizy literatury i badań własnych zaprojektowany i wykonany został na Wydziale Mechanicznym Politechniki Radomskiej układ zasilania gazem ziemnym i olejem napędowym do silnika doładowanego z układem zasilania Common Rail. Dwupaliwowy układ zasilania wykorzystuje dwa niezależne układy paliwowe. Współpraca tych układów realizowana jest przy zastosowaniu dwóch modułów sterujących zapewniających dostarczanie obu paliw w wyznaczonych proporcjach do aktualnego zapotrzebowania silnika. W przypadku systemu sterowania wtryskiem gazu CNG zastosowano sterownik Zenit 4 cyl. radomskiej firmy Auto-Gaz Centrum w kompletacji z wtryskiwaczami Keihin. Oprogramowanie sterownika opracowane zostało w dziale technicznym Auto-Gaz Centrum, natomiast dobór map sterownia realizowany był przy pomocy dwóch współpracujących modułów sterowania wykonanych w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn. Takie rozwiązanie oprócz badań hamownianych zostało dodatkowo zweryfikowane w czasie badań trakcyjnych systemu dwupaliwowego zamontowanego w samochodzie Fiat Multipla z układem Common Rail. Wymogiem prawidłowej pracy silnika była realizacja biegu jałowego oraz zakresu maksymalnych obciążeń jedynie na zasilaniu olejem napędowym. Zastosowany sterownik systemu gazowego stwarzał duże możliwości modyfikacji udziałów mieszanki paliwowej CNG+ON spalanej przez silnik.

Podstawowym problemem jaki należy rozwiązać w układzie dwupaliwowego zasilania silnika o zapłonie samoczynnym jest opracowanie metody uzyskania mocy z silnika w różnych stanach jego pracy z wykorzystaniem dwóch paliw. Dotyczy to szczególnie ustalenia wzajemnej proporcji paliw podawanych do cylindra w stanach różnych obciążeń silnika. Istnieje wiele możliwości konfiguracji proporcji podawanych paliw. Pierwszym rozwiązaniem może być dostarczanie stałej dawki pilotującej oleju napędowego i wzrost mocy silnika poprzez zwiększanie dawki gazu. Dawka pilotująca może być ustalona na poziomie ok. 10-35% wartości energetycznej obydwu paliw, a wzrost mocy silnika uzyskiwany jest poprzez zwiększenie udziału gazu w mieszance palnej (*rozwiązanie raczej zalecane do jednostek napędowych pracujących przy stałych obciążeniach, np. agregaty prądowe*). W tym rozwiązaniu, ze względu na granice palności gazu należy ograniczyć ilość powietrza, jaka dostaje się do cylindra silnika poprzez zastosowanie przepustnicy powietrza w układzie dolotowym silnika. Można to także zrealizować poprzez zmianę sterowania turbosprężarki, którą można wyposażyć w dodatkowy lub zmodyfikowany układ upustu spalin lub upust powietrza za sprężarką.

Kolejny sposób sterowania i dobierania udziału obu paliw w całym zakresie prędkości obrotowych i obciążeń wymaga ustalenia wzajemnych proporcji dla różnych punktów pracy (obciążeń prędkości obrotowych silnika) oraz zaprogramowania tych procedur (map) sterujących układami zasilania. Jest to metoda, która obecnie poddawana jest szczegółowej analizie ze względu na możliwość wykorzystania procedur sterowania wtryskiem oleju napędowego i sterowania dawkowaniem paliwa gazowego. Umożliwia ona optymalne wykorzystanie energii (paliwa gazowego i oleju napędowego) dostarczonej do spalania w silniku dwupaliwowym. W przypadku systemów paliwowych Common Rail zastosowanie układu dwupaliwowego nie stwarza większych trudności, gdyż dawkowanie gazu może być precyzyjnie realizowane w oparciu o wartość obciążenia silnika. Ma to zastosowanie w wielu rozwiązaniach praktycznych.



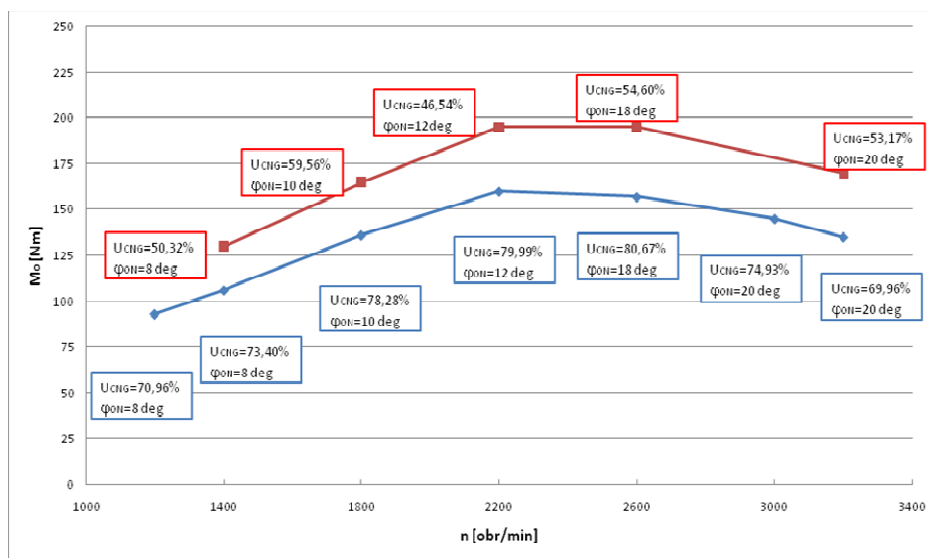
Rys. 2. Wykonana adaptacja silnika ADCR (z układem wtrysku Common Rail) do zasilania dwupaliwowym gazem ziemnym i olejem napędowym, gdzie: 1 – przepustnica, wtryskiwacz gazu ziemnego w kolektorze dolotowym, 3 – wtryskiwacz Common Rail oleju napędowego



Rys. 3. Wtryskiwacze gazu ziemnego zamontowane w kolektorze ssącym w silniku ADCR, gdzie: 1 – tuleje wprowadzające paliwo, 2 – złącza elektryczne wtryskiwaczy gazowych, 3 – wtryskiwacze gazu, 4 – osłony termiczne wtryskiwaczy od strony kolektora wydechowego

W ramach prowadzonych badań sporządzono m.in. charakterystykę prędkościową silnika przy przyjętych w jej charakterystycznych punktach dwu głównych parametrów:

udział energetycznego gazu CNG w obu paliwach oraz kąta wtrysku dawki oleju napędowego. Charakterystykę tę przedstawiono na rys. 4 w dwu wersjach: dla ograniczonego i maksymalnego udziału gazu.



Rys. 4. Zewnętrzna charakterystyka prędkościowa silnika dwupaliwowego: a) – moment maksymalny uzyskany w wyniku ograniczenia udziału gazu ziemnego w łącznym paliwie, b) – moment graniczny M_{gr} (wyznaczony dla maksymalnego udziału gazu w łącznym paliwie)

4. PODSUMOWANIE

Systemy dwupaliwowe są naturalną kontynuacją działań długofalowych, których celem jest osiągnięcie kompromisu pomiędzy oszczędnością a ekologią, z wykorzystaniem do zasilania silników gazu ziemnego zaklasyfikowanego jako paliwo alternatywne. Obserwując rozwój tych systemów można zakładać, że wkrótce zasilanie silnika jednocześnie dwoma paliwami stanie się standardowym rozwiązaniem. Prowadzone prace dotyczące takich układów m.in. przez firmy Cummins, Volvo, MAN są potwierdzeniem możliwości i kierunku prac rozwijanych w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Politechniki Radosmkiej.

Obecnie konieczne wydaje się podejmowanie prac, które pozwolą na uniezależnienie się od paliw konwencjonalnych i spowodują, że dotychczasowe konstrukcje silników staną się elastycznie dostosowane do zasilania paliwami alternatywnymi dostępnymi w coraz większym zakresie na rynku. Taką możliwość daje przystosowanie silnika o zapłonie samoczynnym do zasilania dwupaliwowego, w tym przypadku olejem napędowym i gazem ziemnym, którego produkcja i dostępność będzie wzrastać. Wykonanie badań silnika zasilanego dwupaliwowo według przedstawionych koncepcji pozwoli na znalezienie

optymalnego sposobu zasilania turbodoładowanego silnika o zapłonie samoczynnym gazem ziemnym i olejem napędowym.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Stelmasiak Z.: *Studium procesu spalania gazu w dwupaliwowym silniku o zapłonie samoczynnym zasilanym gazem ziemnym i olejem napędowym*. Wydawnictwo ATH, Bielsko-Biała 2003.
- [2] Wołoszyn R.: *Dual fuel turbocharged CI engine equipped with common rail system fuelled with natural gas and diesel oil*. Kones 2008, Vol. 15, No.4. Stare Jabłonki 2008.
- [3] Wołoszyn R.: *Gazowe układy zasilania w silnikach*. Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2009, nr 3.
- [5] Kowalewicz A., Wołoszyn R.: *Dwupaliwowy turbodoładowany silnik wysokoprężny zasilany gazem ziemnym i olejem napędowym*, [w:] *Silniki gazowe – wybrane zagadnienia* pod red. nauk. Adama Dużyńskiego. Seria monografie nr 183. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2010.
- [6] Wołoszyn R.: *Gazowe układy zasilania w silnikach spalinowych*. Mechanika Ekologia Bezpieczeństwo Mechatronika. Zeszyty naukowe Instytutu Pojazdów 2(78)2010 Warszawa 2010.
- [7] Pawlak G.: *The Concept of a Dual Fuel Highly Efficient Internal Combustion Engine*. SAE 2010-01-1480.
- [8] Volvo Trucks first to run diesel engines on gas in compliance with Euro 5 - *Volvo Trucks press information*, December 15, 2009.