

"OFF ROAD" VEHICLES IN THE ASPECT OF FUTURE EMISSION EXHAUST QUALITY STANDARDS

Jerzy Jantos, Jarosław Mamala, Andrzej Bieniek, Damian Kowalski, Mariusz Graba

Opole University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering, Department of Road and Agricultural Vehicles
Mikolajczyka Street 5, 45-271 Opole, Poland
tel./fax: +48 77 400 6272
e-mail: j.jantos@po.opole.pl, j.mamala@po.opole.pl
a.bieniek@po.opole.pl

Abstract

Current engine technology for on-road vehicles allows us to meet the existing and planned future standards for emission. Because combustion engines, especially self-igniting are being used for very different purposes like: road transport, rail-way transport, shipping, industry, military and agriculture, these engines work in different and often difficult conditions. A very significant group of vehicles used for the most difficult of the aforementioned areas of use are "Off-Road" vehicles. For those vehicles we also use rigorous regulations to govern dangerous chemical emissions such as Tier, Bin and Californian LEV. In those types of vehicles the fuel powered systems very often use mechanically controlled diesel injection pump. These pumps are characterized by high tolerance to the quality and type of petrol as well as reliability, which is very important especially in "off-road" vehicles. At work a conception was described of system of powering the engine diesel which will let for reaching of future emission exhaust quality standards. In the paper only initial outline of the idea of the injection's system for „off-road” vehicles, is introduced. This system needs follow-on in the field both interactions with the EGR valve, with the injection's system as well as in the matter of interaction with ECU of the injection's system.

Keywords: injection pump, pollutant emission, electric valves, transport, off-road

POJAZDY TYPU „OFF ROAD” W ASPEKCIE PRZYSZŁOŚCIOWYCH NORM EMISJI SPALIN

Streszczenie

Stopień zawansowania technicznego silników pojazdów drogowych pozwala na sprostanie obecnym i przyszłym normom emisji spalin. Ponieważ silniki spalinowe, zwłaszcza o zapłonie samoczynnym są wykorzystywane w różnych sferach takich jak: transport drogowy, kolejowy, morski, przemysł, wojsko oraz rolnictwo, zatem pracują one w różnych odmiennych i nierzadko trudnych warunkach. Szczególną grupę pojazdów wykorzystywanych właśnie w tych sferach gospodarki stanowią pojazdy typu „Off-Road”. Dla tych pojazdów stosowane są również uregulowania prawne w postaci norm emisji spalin takie jak Tier, Bin i kalifornijskie LEV. Stosowane w tego typu pojazdach układy zasilania paliwem bardzo często wykorzystują mechanicznie sterowaną rządową pompę wtryskową, charakteryzującą się wysoką tolerancją odnośnie jakości i rodzaju paliwa oraz niezawodnością, co ma istotne znaczenie właśnie w pojazdach „Off-Road”. W pracy przedstawiono koncepcję układu zasilania silnika o zapłonie samoczynnym, która pozwoli na spełnienie przyszłościowych limitów emisji spalin. W artykule przedstawiono tylko wstępny zarys koncepcji układu wtryskowego dla pojazdów „off-road”, który wymaga kontynuacji w zakresie współpracy zaworu EGR, z układem wtryskowym i z ECU układu wtryskowego.

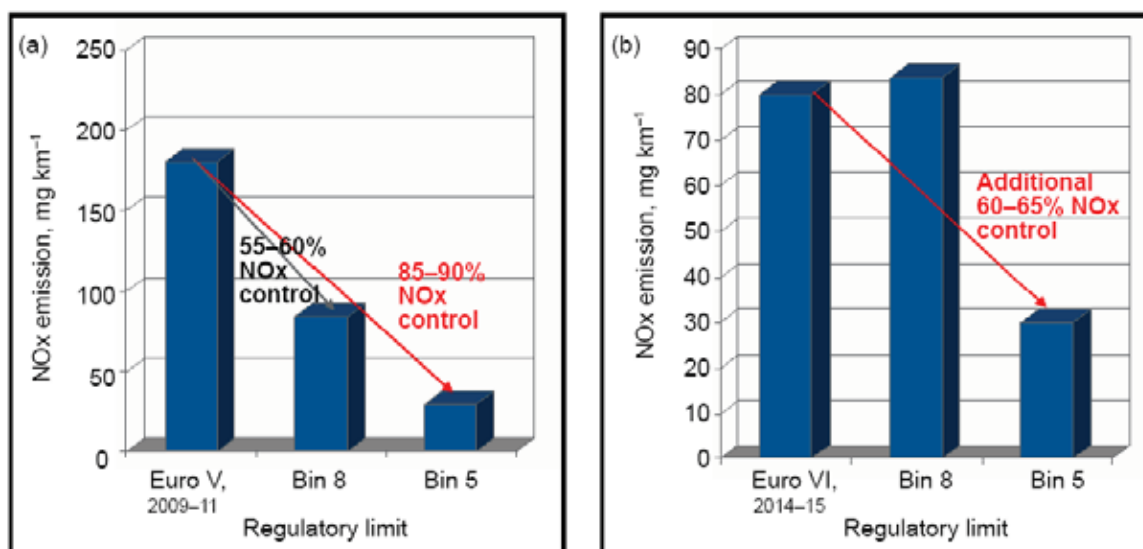
Słowa kluczowe: pompa wtryskowa, emisja substancji szkodliwych, elektrozawory, transport, pojazdy użytkowe

1. Wprowadzenie

Obowiązujące przepisy odnośnie dopuszczalnych norm emisji spalin dla silników pojazdów drogowych wymagają od producentów ciągłej modernizacji ich konstrukcji. I pomimo trudności

konstrukcyjnych związanych z dostosowaniem ich do obowiązujących norm emisji substancji szkodliwych, jest on do dnia dzisiejszego optymalnym źródłem napędu, zarówno samochodów osobowych, jak i również pojazdów wykorzystywanych w transporcie drogowym, przemyśle budowlanym, kolejowym czy też rolnictwie. W przypadku pojazdów drogowych aktualnie coraz częściej wykorzystuje się źródło napędu silnik o zapłonie samoczynnym, natomiast w pojazdach użytkowych określonych mianem „off-road” ma on prawie 100% udział. Dla tego typu pojazdów określonych w dzienniku ustaw, nr 202 pozycja 1681 z dnia 19 sierpnia 2005 jako „niedrogowa maszyna ruchoma” również opracowano przepisy, dopuszczające graniczne wartości związków toksycznych, jakie mogą one emitować do atmosfery [6]. Tej ustawy nie stosuje się do silników służących jako źródło napędu pojazdów rekreacyjnych, ciągników rolniczych, ciężarówek i autobusów [6]. Wymagania dla tej grupy pojazdów zostały określone w rozporządzeniu Unii Europejskiej znanej pod nazwą Regulamin nr 49 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – pod nazwą „Jednolite wymagania dotyczące homologacji silników wysokoprężnych, silników na gaz ziemny oraz silników z wymuszonym zapłonem napędzanych gazem płynnym, a także pojazdów wyposażonych w silniki wysokoprężne, silniki na gaz ziemny i silniki z wymuszonym zapłonem napędzane gazem płynnym w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń z silnika” [7] - Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 375/3 z dnia 27.12.2006.

W odniesieniu do przepisów Stanów Zjednoczonych jej europejskie odpowiedniki są mniej rygorystyczne [3]. Na Rys. 1a przedstawiono nowe wymagania dla normy Euro V, obowiązującej od października 2009, w zakresie emisji tlenków azotu (NO_x) w porównaniu z normą obowiązującą w Stanach Zjednoczonych. Wartości te porównano z nową normą EURO VI, obowiązującą od roku 2014 (Rys. 1b).



Rys. 1. Euro V i Euro VI dla lekkich pojazdów określające emisje tlenków azotów (NO_x) w porównaniu z normą Stanów Zjednoczonych: a) około 55 do 60% redukcja NO_x Euro V (2009) w porównaniu z Bin 8 oraz 85 do 90% NO_x z Bin 5, b) porównanie z normą Euro VI (2014) [3]

Fig. 1. Euro V and Euro VI light-duty NO_x regulatory limits compared to the U.S.: a) about 55 to 60% NO_x control will be needed for Euro V (2009) diesel to hit the U.S. Bin maximum allowable emission (45 states). For Bin 5 (50 states) nominally 85 to 90% NO_x control is needed; b) for Euro VI (2014), the requirement is 60 to 65% additional NO_x reduction

Komisja Europejska zmniejszyła również granicę emitowanych cząstek stałych do poziomu 3 mg/km, będący efektem nowej procedury pomiarowej.

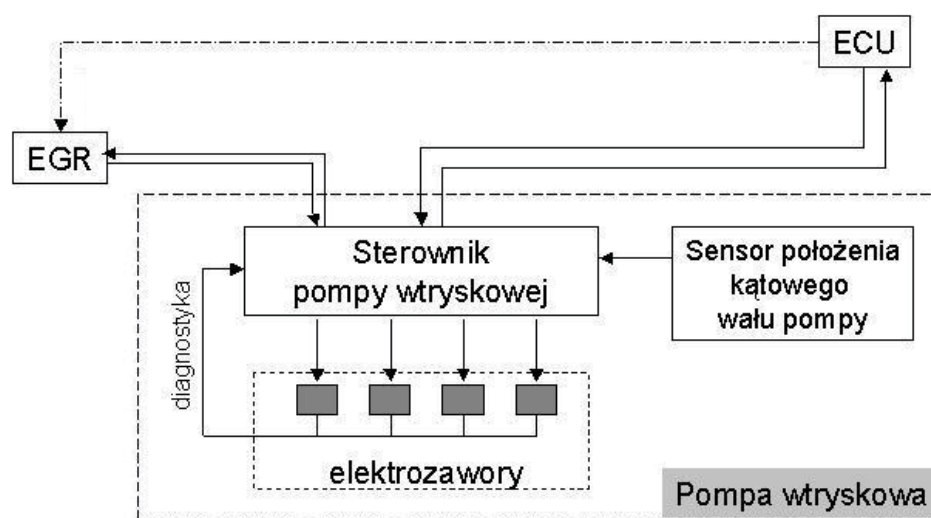
Dla pojazdów ciężkich Stany Zjednoczone oraz Japonia chcą wprowadzić na przestrzeni najbliższych 5 lat tj. do roku 2014 nowe ograniczenia, które w Europie wynoszą od 1,6 do 2,0 gkW/h dla tlenków azotu (NO_x) i od 0,025 do 0,050 gkW/h dla cząstek stałych (PM) [2, 3].

Aby osiągnąć te przyszłościowe normy emisji spalin dla grupy pojazdów „off-road”, konstrukcja ich silników powinna się rozwijać w dwóch równoległych gałęziach. Z jednej strony należy dążyć do unowocześnienia samego silnika np. przez zastosowanie nowoczesnych metod sterowania, nowoczesnych materiałów do budowy czy modyfikację układów wtryskowych. Z drugiej strony układy te ściśle muszą współpracować z układami wtórnymi oczyszczającymi spaliny, których rozwój w ostatnich latach jest bardzo dynamiczny.

Pojazdach „off-road”, które pracują w zupełnie odmiennych i nierzadko bardzo ciężkich warunkach, są stosowane często silniki wyposażone w mechanicznie sterowaną, rzędową pompą wtryskową. Rozwiązanie to jest o tyle korzystne, iż pozwala na większą tolerancję odnośnie jakości paliwa oraz możliwości wykorzystania biopaliw, jak również charakteryzuje się wysokim stopniem niezawodności. Jednak przy obecnym stanie techniki taki sposób sterowania jest daleki od optymalnego i wyklucza możliwość współpracy z układami wtórnymi oczyszczania spalin, co skutkuje przekroczeniem dopuszczalnych norm emisji spalin. Wysoka niezawodność tego typu układów z rzędową pompą wtryskową, sprawia, że celowa staje się taka ich modernizacja, aby jakość zasilania umożliwiła uzyskanie wymaganego poziomu emisji związków toksycznych. Cel ten możliwy jest do osiągnięcia przez elektronizację tego rodzaju układu wtryskowego, ściśle współpracującego z układem EGR, sterowanego w oparciu o algorytm sterujący ECU.

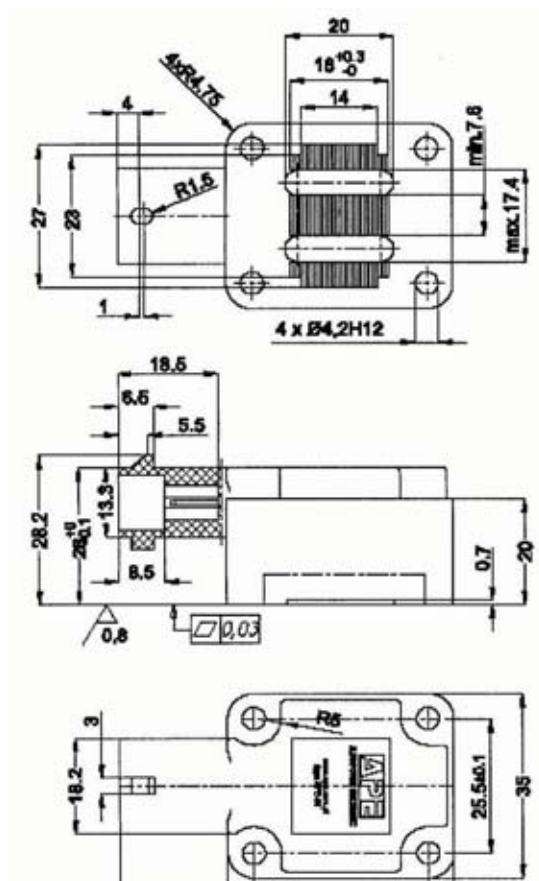
2. Elektronizacja układu wtryskowego

W rzędowych pompach wtryskowych początek tłoczenia i jego dawka odmierzana jest przy pomocy odpowiednio sterownego elementu tłoczącego. W tym rozwiązaniu, przedstawionym na Rys. 2, w miejsce sekcji tłoczących, zastosowano zawory elektromagnetyczne (Rys. 3), dostarczone przez firmę Auto Power Electronic.



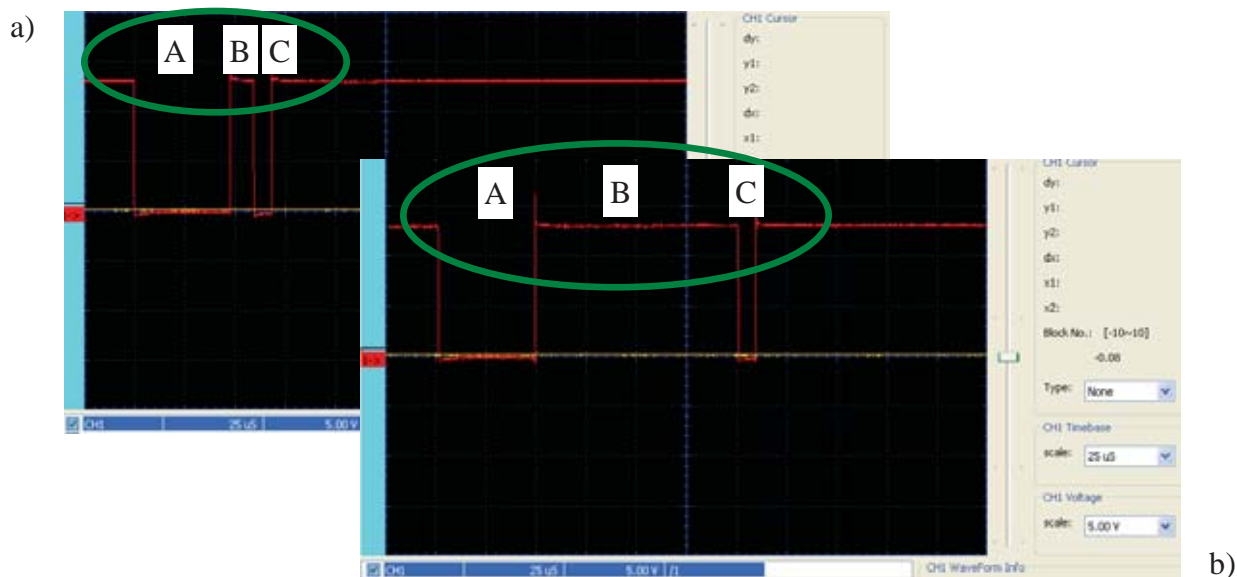
Rys. 2. Schemat ideowy zintegrowanej pompy wtryskowej z układem sterowania
Fig. 2. Arrangement plan integrated pump with master control

Zawory te, dzięki specjalnej budowie [4], umożliwiają ustawienie parametrów wtrysku zależności od chwilowego stanu pracy silnika tj. prędkości obrotowej, obciążenia. Zmiana parametrów wtrysku realizowana jest indywidualnie w każdej sekcji pompy na podstawie sygnałów użytych z czujników zamontowanych na pompie takich jak: prędkość obrotowa silnika, górne martwe położenie tłoka, obciążenie, temperatura paliwa, temperatura oleju, ciśnienie otoczenia. Natomiast sygnałami z czujników zamontowanych na silniku są: temperatura cieczy chłodzącej i masa powietrza w kolektorze dolotowym. Sygnały zarówno z czujników pompy jak i silnika, po odpowiednim przetworzeniu przez ECU układu wtryskowego, zostają wykorzystane do odpowiedniego ustawienia zaworu recyrkulacji spalin EGR o regulowanym skoku [5].



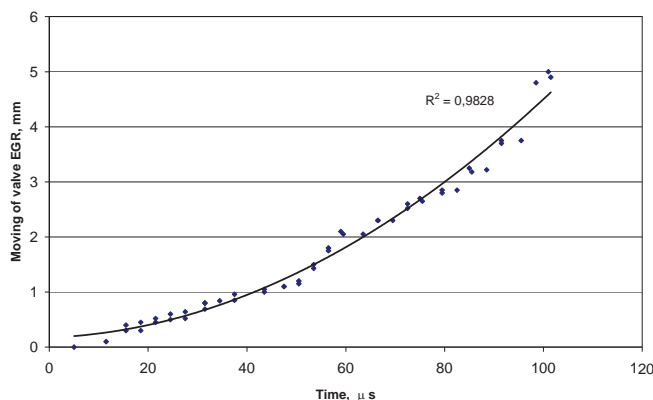
Rys. 3. Elektrozwory sekcji tłoczącej
Fig. 3. Electric Valves of pumping section

Odpowiednie otwarcie zaworu recyrkulacji spalin, korzystnie wpływa na zmniejszenie emisji związków toksycznych do atmosfery oraz zadymienie spalin. Natomiast płynna regulacja otwarcia zaworu recyrkulacji spalin oraz możliwość utrzymywania otwarcia na odpowiednim poziomie, pozwala na dalszą poprawę emisji substancji toksycznych. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w zakresie otwarcia zaworu EGR jego charakterystyka jest linowa (Rys. 4) o dużej powtarzalności i dokładności.



Rys. 4. Sygnał sterujący zaworem recyrkulacji spalin EGR dla wysunięcia zaworu: a) 0,1 mm, b) 5 mm
Fig. 4. Signal controlling the valve EGR (Exhaust Gas Recirculation) for moving of valve: a) 0.1 mm, b) 5 mm

Na Rys. 4 zaznaczono, trzy charakterystyczne obszary sterowania zaworem EGR, uruchomienie zaworu zostało przedstawione w obszarze A i trwa 50 μ s. Obszar C jest odpowiedzialny za wyłączenie zaworu i trwa 10 μ s, natomiast wysunięcie zaworu jest regulowane czasem podtrzymania napięcia w obszarze B, którego czas jest zależny od stopnia otwarcia zaworu. Na Rys. 5 przedstawiono charakterystykę otwarcia zaworu EGR.



Rys. 5. Otwarcie zaworu EGR w funkcji sygnału sterującego w obszarze B
Fig. 5. Opening the EGR valve in the function of the signal steering in B area

Wykorzystanie tego zaworu w umożliwi realizację dwóch trybów sterowania zaworem EGR:

- bezpośredniego, umożliwiającego zastosowanie go klasycznym rozwiązaniu, gdzie jest sterowany za pomocą pneumatycznego zaworu proporcjonalnego;
- pośredniego, gdzie jest sterowany za pośrednictwem ECU układu wtryskowego. W rozwiązaniu zawór recyrkulacji spalin EGR jest zintegrowany w algorytmie sterowania pompy wtryskowej. Dzięki temu możliwy jest optymalny dobór parametrów jego otwarcia w zależności od warunków pracy silnika.

3. Podsumowanie

Elektronizacja układu wtryskowego silników dla pojazdów „off-road” przez wykorzystanie opisanych wyżej układów pozwoli na kształtowanie procesu wtrysku paliwa i dostosowanie jego dawki do chwilowych warunków pracy silnika. Płynna współpraca z zaworem EGR przyczyni się do obniżenia emisji składników toksycznych. Z elektronicznym takim układem wtryskowym umożliwi wykorzystanie tego typu silników do współpracy z układami wtórnymi oczyszczania spalin np. SCR czy PDF, bez których nie możliwe będzie osiągnięcie normy Euro VI czy Bin. Umożliwi również współpracę tego typu układu z silnikami pojazdów już pracującymi w przemyśle, przez wymianę tych elementów na nowe.

W artykule przedstawiono tylko wstępny zarys koncepcji takiego układu wtryskowego dla pojazdów „off-road”, który wymaga kontynuacji w zakresie zarówno współpracy zaworu EGR z układem wtryskowym jak również w kwestii współpracy z ECU układu wtryskowego. Odpowiedni algorytm jednostki sterującej układem wtryskowym umożliwiłyby [1] m.in. szereg funkcji dodatkowych związanych np. z diagnostyką czy utrzymaniem stałej prędkości obrotowej silnika podczas różnych prac w oderwaniu od sterującego działania kierowcy.

Literatura

- [1] *Delphi Diesel Fuel Pump, Power Train*, www.delphi.com.
- [2] *Diesel Engines – Yesterday, Today and Tomorrow*, U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2003.
- [3] Johnson, T., *Diesel Engine Emissions and Their Control*, Platinum Metals Rev., 52, (1), pp. 23–37, USA 2008.

- [4] *Sposób sterowania cewką, zwłaszcza cewką siłownika elektromagnetycznego*, Auto Power Electronic, Zgłoszenie patentowe Nr P-382117 z dnia 2007-04-03.
- [5] *Sposób wytworzenia tulei cewki siłownika elektromagnetycznego i tuleja cewki siłownika elektromagnetycznego*, Auto Power Electronic, Zgłoszenie patentowe Nr P-383854 z dnia 2007-11-23.
- [6] *Szczegółowe wymagania dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki*, Dziennik Ustaw Nr 202, poz. 1681 z dnia 19 sierpnia 2005.
- [7] *Jednolite wymagania dotyczące homologacji silników wysokoprężnych, silników na gaz ziemny oraz silników z wymuszonym zapłonem napędzanych gazem płynnym, a także pojazdów wyposażonych w silniki wysokoprężne, silniki na gaz ziemny i silniki z wymuszonym zapłonem napędzane gazem płynnym w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń z silnika*”, Regulamin Nr 49 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 375/1 z dnia 27.12.2006.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009 – 2011 jako projekt badawczy.