

ECOLOGY FROM EGR

Jerzy Jaskólski

*Politechnika Krakowska
Warszawska Street 24, Kraków, Poland
tel.: +48 12 6283684
e-mail jaskolsk@usk.pk.edu.pl*

Paweł Mikoda

*Politechnika Śląska
Krasińskiego Street 8, Katowice, Poland
(032) 6709147
e-mail pawmiko@poczta.onet.pl*

Jakub Łasocha

*Politechnika Krakowska
Warszawska Street 24, Kraków, Poland*

Abstract

The systematic limitations of the emission of harmful substances and the implementation of succeeding editions of last time EURO rules, essentially, are nuisance to constructors and the producers of internal-combustion engines. Curiosity however is this, that first of all limitation of the emissions of harmful matter takes place „on paper”. At the same time since originate the succeeding intensifications of rules relative of the harmful matter emissions. Later only the hard work of the constructors and producers is begun, in order to equal this what became endowed in the law. The experience of last years permits however to express ascertainment, that the exercised work brings distinct effects and leads to a global lowering of the emission of harmful matter. But therefore activity led in this direction are most justified and necessary. During performed research was found, that the quantity of the nitrogen oxides on the exhaust recirculation application becomes essentially smaller. In accordance with the assumptions recirculation influenced also on growth of the hydrocarbon content. The unitary fuel consumption with exhaust recirculation without the cooling shows the lowering together with growth of engine torque. The unitary fuel consumption with exhaust recirculation and with the cooling proves some higher level than without the refrigeration in the whole researched range of the engine torque change. Therefore despite the application of the EGR equipment of not very complicated design the theoretical assumptions became affirmed to a large degree. However control of recirculation process is not easy and requires the adaptations of regulating parameters (injection advance angle, fuel dose).

Keywords: *reducing of polluting emission, Exhaust Gas Recirculation, EGR Valve, Diesel engine*

Streszczenie

Systematyczne ograniczanie emisji substancji szkodliwych oraz wdrażanie kolejnych edycji norm EURO ostatnimi czasy, w sposób istotny, daje się we znaki konstruktorom i producentom silników spalinowych. Ciekawostką natomiast jest to, iż w pierwszej kolejności ograniczenie emisji substancji szkodliwych odbywa się „na papierze”. Wówczas bowiem powstają kolejne obostrzenia przepisów dotyczące emisji substancji szkodliwych. Dopiero później zaczyna się ciężka praca konstruktorów i producentów, aby sprostać temu co zostało zapisane w literze prawa. Doświadczenie ostatnich lat pozwala jednak wypowiedzieć stwierdzenie, iż wykonana praca przynosi wyraźne efekty i doprowadza do globalnego obniżenia emisji substancji szkodliwych. A zatem działania prowadzone w tym kierunku są jak najbardziej uzasadnione i konieczne. Podczas przeprowadzonych badań stwierdzono, że ilość tlenków azotu po zastosowaniu recyrkulacji spalin maleje w sposób istotny. Zgodnie z założeniami recyrkulacja wpłynęła również na wzrost zawartości węglowodorów. Jednostkowe zużycie paliwa z recyrkulacją spalin bez chłodzenia wykazuje spadek wraz z wzrostem momentu obrotowego. Jednostkowe zużycie paliwa z recyrkulacją i z chłodzeniem wykazuje nieco wyższy

poziom niż bez chłodzenia w całym zakresie badanej zmiany momentu obrotowego. Zatem pomimo zastosowania urządzenia EGR o niezbyt skomplikowanej budowie w znacznej mierze potwierdzone zostały założenia teoretyczne. Jednakże sterowanie procesem recyrkulacji nie jest łatwe i wymaga dostrojenia parametrów regulacyjnych (kąt wyprzedzenia wtrysku, dawka paliwa).

Słowa kluczowe: redukcja emisji spalin, recyrkulacja spalin, zawór EGR, silnik z zapłonem samoczynnym

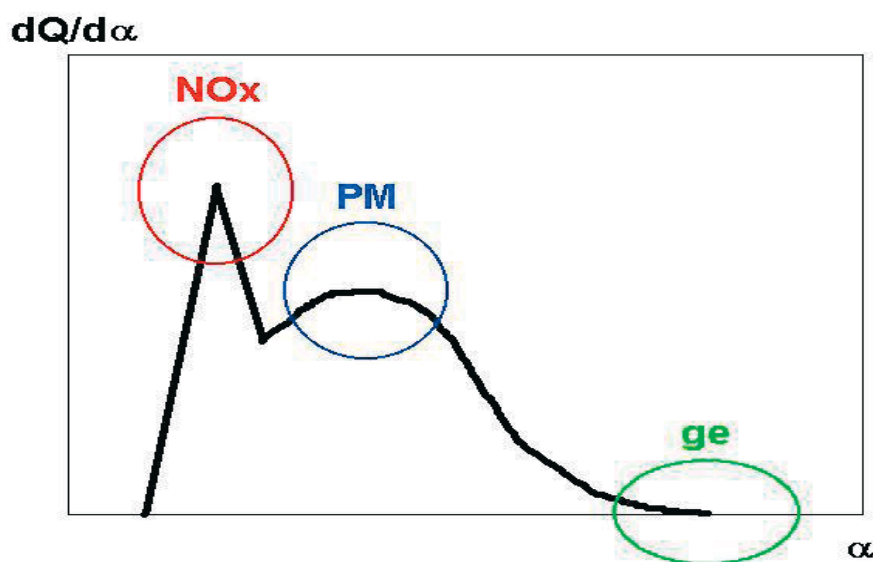
1. Podstawowe procesy zachodzące w czasie spalania w silnikach diesla

Procesy związane ze spalaniem paliwa w silniku z zapłonem samoczynnym można podzielić na dwa etapy: etap I spalanie kinetyczne i etap II spalanie dyfuzyjne.

Proces spalania kinetycznego paliwa wtrysniętego do komory spalania w czasie okresu opóźnienia samozapłonu związany jest z brakiem czasu na homogenizację paliwa z powietrzem. Konsekwencją tego jest powstawanie stref z wartościami współczynnika nadmiaru powietrza sprzyjającemu niskiej emisji sadzy, HC i CO. Jednocześnie, tak przygotowana mieszanina palna ma skłonność do spalania dynamicznego z dużą prędkością narastania ciśnienia spalania, wysokimi temperaturami, dużą ilością powstałych wówczas NO_x oraz wysokim poziomem hałasu. Natężenie tych zjawisk wzrasta z ilością paliwa dostarczonego do komory spalania w okresie opóźnienia samozapłonu.

W czasie spalania dyfuzyjnego paliwo jest sukcesywnie spalane praktycznie bezpośrednio po dostarczeniu do komory spalania. W tym etapie spalania proces utleniania paliwa odbywa się w szerokim zakresie wartości współczynnika nadmiaru powietrza. Zatem prędkością wtrysku paliwa można wówczas sterować prędkość spalania. Wzrost prędkości spalania dyfuzyjnego przyczynia się do obniżenia emisji związków niecałkowitego spalania (HC i PM) oraz, poprzez skrócenie spalania do zmniejszenia wartości jednostkowego zużycia paliwa.

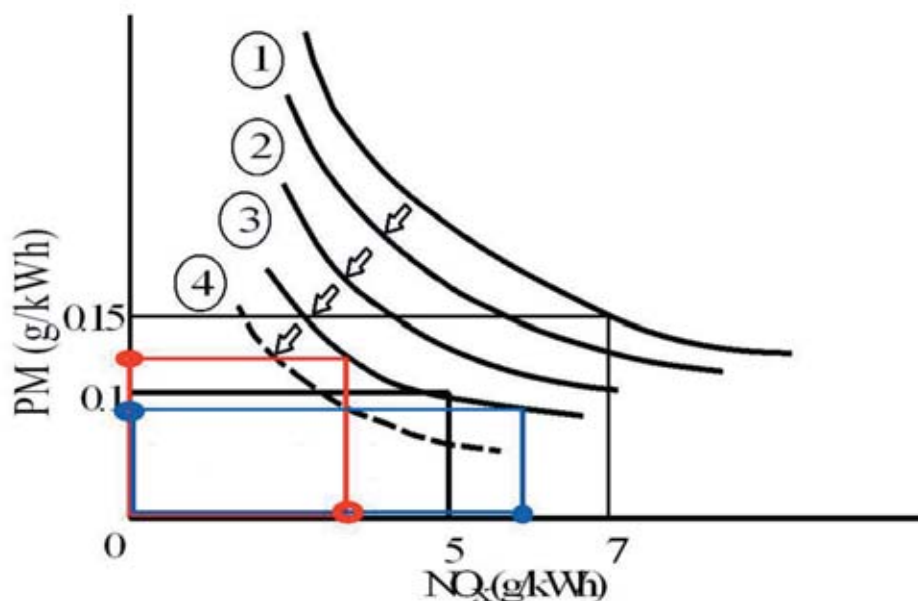
Tak więc występowanie dwóch zasadniczych faz spalania prowadzi do powstawania zarówno tlenków azotu, w okresie spalania kinetycznego, jak i CO, HC i PM w czasie spalania dyfuzyjnego (Rys. 2).



Rys. 1. Prędkość spalania paliwa w silniku z zapłonem samoczynnym z zaznaczeniem faz spalania odpowiedzialnych za kontrolę emisji NO_x, PM i jednostkowego zużycia paliwa g_e

Fig. 1. Rate of heat release in Diesel engine, with combustion phases responsible for emission of NO_x, PM and g_e

Ponadto istnieje znana w konwencjonalnych silnikach z zapłonem samoczynnym współzależność emisji NO_x i PM, zgodnie z którą obniżenie prędkości spalania kinetycznego (zmniejszenie dynamiki spalania) w celu zmniejszenia emisji NO_x powoduje jednocześnie intensyfikację przyczyn powstawania związków niecałkowitego spalania (Ryc. 2).

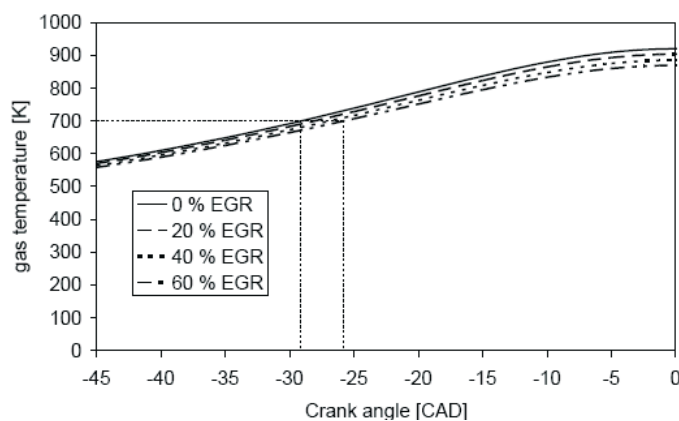


Rys. 2. Współzależność emisji tlenków azotu NO_x i cząstek stałych PM

Fig. 2. Connection between emission of nitrogen oxides NO_x and particulate matter PM

2. Recyrkulacja spalin

Recyrkulację spalin początkowo stosowano jedynie do podwyższenia temperatury ładunku w czasie rozgrzewania zimnego silnika, obecnie EGR wykorzystuje się głównie do redukcji emisji tlenków azotu - poprzez obniżenie temperatury spalania. Obojętne produkty spalania (CO_2 i H_2O) charakteryzują się bowiem większym ciepłem właściwym niż powietrze a nie biorąc udziału w procesie spalania wpływają na obniżenie temperatur obiegów (Ryc. 3).



Ryc 3. Przyrost ciśnienia w cylindrze podczas sprężania w funkcji obrotu wału korbowego przy różnym stopniu recyrkulacji spalin

Fig. 3. Influence of EGR on gas temperature during compression

Oczywistym jest, że recyrkulacja spalin może być stosowana jedynie w ograniczonym zakresie obciążeń silnika. Powodowane jest to przez zmniejszenie napełniania cylindra świeżym powietrzem w przypadku silników Diesla lub świeżym ładunkiem w przypadku silników o zapłonie iskrowym.

Zawór recyrkulacji spalin może być otwierany pneumatycznie bądź elektromagnetycznie, w obu przypadkach na ogół sygnałem ze sterownika elektronicznego, który dobiera do zakresu obciążeń i prędkości obrotowej silnika, wydatek strumienia spalin płynących do kolektora dolotowego. Doprowadzane do układu dolotowego spaliny są chłodzone, co zapobiega

podwyższeniu temperatury ładunku, co prowadziłoby do zmniejszenia współczynnika napełniania, a także jest nie korzystne, ze względu na emisje NO_x poprzez podniesienie temperatury spalania.

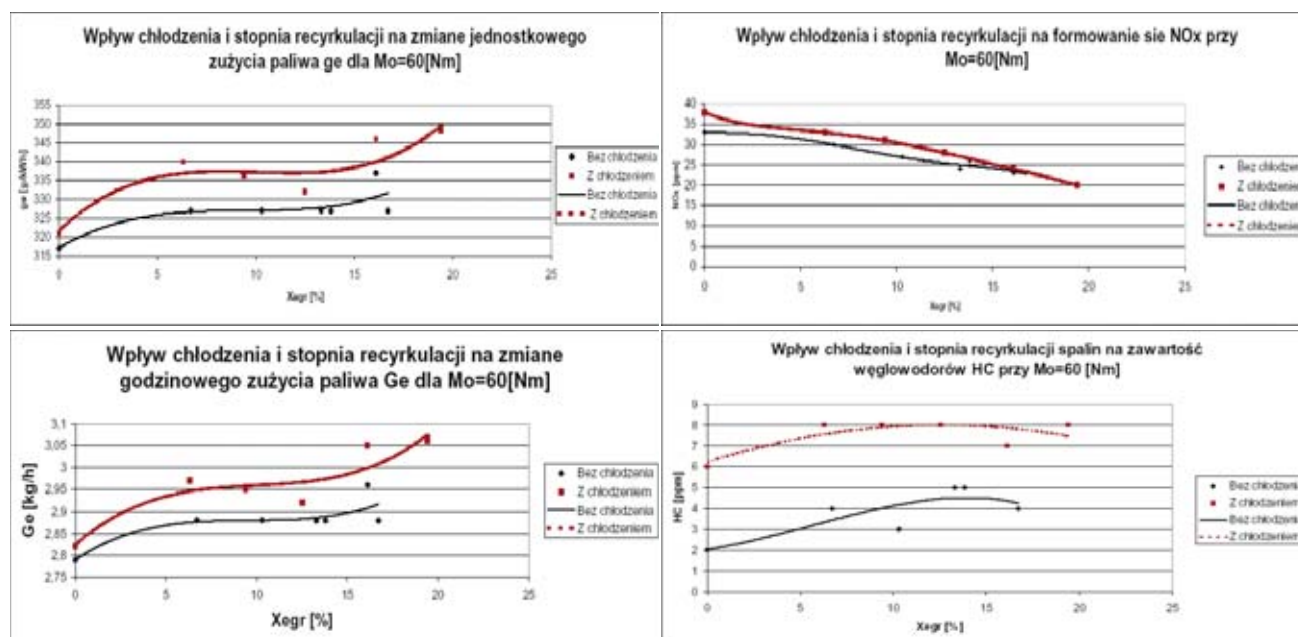
3. Badania z zaworem EGR przeprowadzone na Politechnice Krakowskiej

W kolejnej części niniejszego artykułu omówiono wyniki badań wykonanych na Politechnice Krakowskiej. Podczas przeprowadzonych badań zweryfikowano wpływ recyrkulacji spalin na pracę silnika Andoria 4CT107.

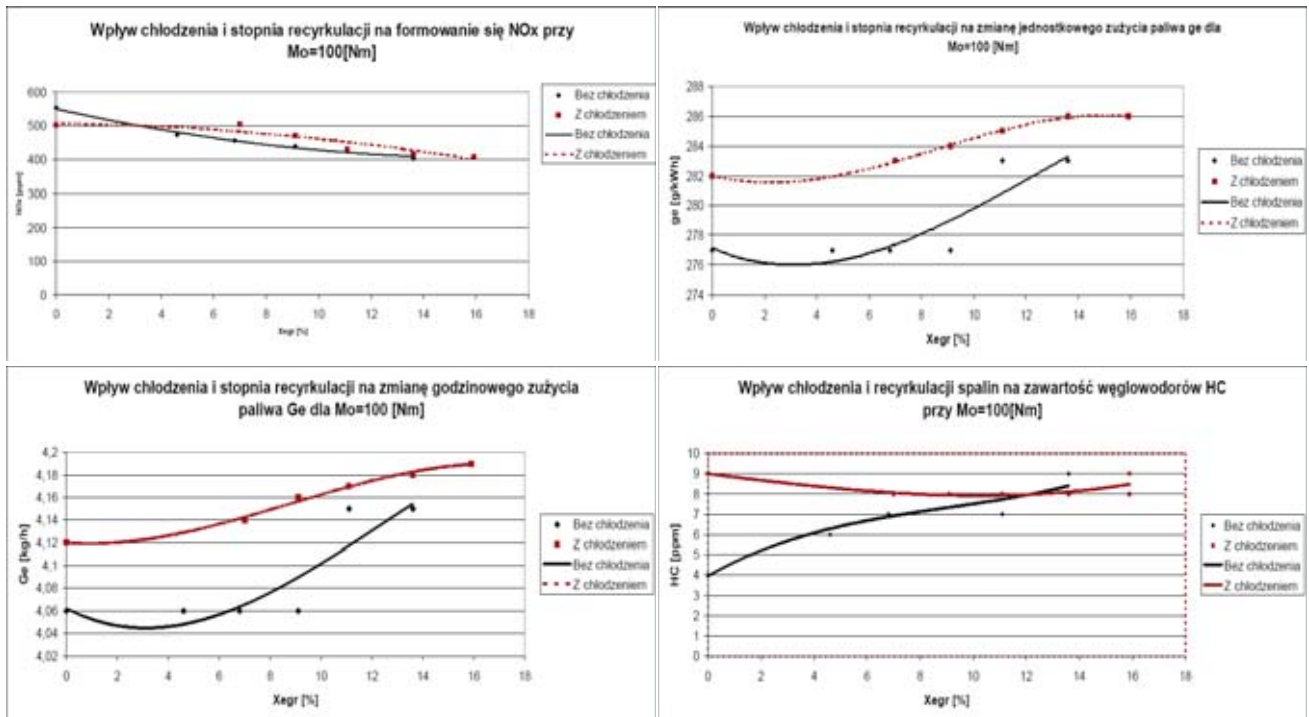
Celem przeprowadzonych badań była analiza i porównanie osiągow silnika Andoria 4CT107/A7 doładowanego turbosprężarką o symbolu GT2 ze zmienną geometrią kierownicy turbiny. Ponadto w trakcie przeprowadzonych badań dokonano analizy gazów wydechowych. Badania przeprowadzono dla silnika z zastosowaniem zaworu EGR z chłodzeniem oraz bez chłodzenia, a następnie skonfrontowano wyniki dla silnika bez recyrkulacji spalin. Analizę i porównanie przeprowadzono na podstawie charakterystyk obciążeniowych zdjętych podczas badania w kilku punktach pomiarowych.

Silnik 4CT107/A7 został wyposażony w wykonany samodzielnie układ zawracający spaliny z kolektora wydechowego do kolektora ssącego. Pomiędzy kolektorami zainstalowano chłodnice recyrkulowanych spalin (chłodnica woda-spaliny) oraz stożkowy zawór wodny służący do dozowania ilości spalin zawracanych do kolektora dolotowego. Do chłodnicy zostały zamontowane przewody elastyczne doprowadzające wodę z punktu dystrybucji oraz odprowadzające ogrzaną wodę do kratki ściekowej. Do pomiaru temperatury zastosowano termopary o zakresie pomiarowym 0-400 [°C]. Termopary zamontowane zostały w trzech punktach pomiarowych: pierwszy w kolektorze dolotowym przed kanałem recyrkulacji spalin, drugi w kanale recyrkulacji spalin, a trzeci kolektorze dolotowym za kanałem recyrkulacji spalin. Sondy pomiarowe analizy i zadymienia spalin zamocowano w układzie wylotowym. W kolektorze dolotowym zamocowano sondę pomiarową do drugiego analizatora, który wykorzystano do pomiaru stężenia CO₂.

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na poniższych charakterystykach obciążeniowych



Rys. 4. Wyniki badań silnika przy Mo = 60 [Nm] i 1400 [obr/min]
 Fig 4. Results of experiments with Torque = 60 [Nm] and 1400 [rpm]



Ry5. 5. Wyniki badań silnika przy $Mo = 100$ [Nm] i 1400 [obr/min]
 Fig. 5. Results of experiments with Torque = 100 [Nm] and 1400 [rpm]

Analizując otrzymane wyniki wstępnie można zauważyć, że wraz ze wzrostem stopnia recyrkulacji spalin maleje ilość emitowanych tlenków azotu. Otóż dzieje się tak, ponieważ część świeżego powietrza zostaje zastąpiona spalinami, co powoduje, że do cylindra dostarczony jest ładunek o mniejszej ilości tlenu. Dzięki temu obniżana jest temperatura spalania, a co za tym idzie formowanie się tlenków azotu spada.

Można zauważyć również, że wraz z otwarciem zaworu recyrkulacji wzrasta jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa. Jest to podyktowane tym, że wraz z otwarciem zaworu recyrkulacji spalin obroty silnika spadały o kilka procent. Zatem, aby utrzymać zadaną prędkość obrotową i obciążenie systematycznie wprowadzano korekty dawkowania pompy wtryskowej.

Zastanawiającym jednak był wzrost zużycia paliwa przy chłodzeniu recyrkulowanych spalin. Analizując to zjawisko można stwierdzić, że obniżając temperaturę recyrkulowanych spalin obniżamy również temperaturę strumienia powietrza zasysanego przez silnik. W związku z powyższym wzrasta ilość recyrkulowanych spalin, a nie jakby się wydawało masa świeżego ładunku. Potwierdzeniem powyższego był wzrost stopnia recyrkulacji spalin o około 15% przy chłodzeniu. Przy tak schłodzonym ładunku może występować spowolnienie procesu jego spalania. Aby to zjawisko wyeliminować powinno się wyprzedzić początek wtrysku. Z przeprowadzonych badań wynikało, iż przy znacznym schłodzeniu recyrkulowanych spalin wzrosła również emisja NO_x . Efekt powinien być jednak odwrotny. Czyli NO_x powinny spadać w miarę schładzania recyrkulowanych spalin. Na to zjawisko wpływać mogła niedokładność pomiarów oraz zastosowana aparatura. Dlatego trzeba mieć na uwadze, że osiągnięte wyniki badań powinny być wstępem do dalszej dokładnej analizy i badań.

Z charakterystyk przedstawionych powyżej wynikało również iż wraz ze wzrostem stopnia recyrkulacji nieznacznie wzrasta również ilość emitowanych węglowodorów. Można to uzasadnić lokalnym niedoborem tlenu w cylindrze.

4. Wnioski

Podczas przeprowadzonych badań stwierdzono, że ilość tlenków azotu po zastosowaniu recyrkulacji spalin maleje w sposób istotny. Zgodnie z założeniami recyrkulacja wpłynęła również

na wzrost zawartości węglowodorów. Jednostkowe zużycie paliwa z recyrkulacją spalin bez chłodzenia wykazuje spadek wraz z ze wzrostem momentu obrotowego. Jednostkowe zużycie paliwa z recyrkulacją i z chłodzeniem wykazuje nieco wyższy poziom niż bez chłodzenia w całym zakresie badanej zmiany momentu obrotowego. Zatem pomimo zastosowania urządzenia EGR o niezbyt skomplikowanej budowie w znacznej mierze potwierdzone zostały założenia teoretyczne. Jednakże sterowanie procesem recyrkulacji nie jest łatwe i wymaga dostrojenia parametrów regulacyjnych (kąt wyprzedzenia wtrysku, dawka paliwa).

Literatura

- [1] Helmantel, A., *Reducing Diesel Engine Emissions - An Experimental Investigation*, Department of Thermo and Fluid Dynamics Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden 2004.
- [2] Ogink, R., *Computer Modeling of HCCI Combustion*, Ph.D. thesis, Dissertation took place 11 June 2004.