

Jerzy Merkisz
Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Jacek Pielecha
Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Jarosław Markowski
Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Jacek Mądry
Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

WPLYW DOŁADOWANIA SILNIKA O ZAPŁONIE ISKROWYM NA EMISJĘ ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN Z POJAZDU W WARUNKACH RZECZYWISTEJ EKSPLOATACJI

Streszczenie: Stały postęp techniczny w produkcji materiałów konstrukcyjnych, paliw i olejów oraz w technologii budowy maszyn przyczynia się do ciągłego doskonalenia silników spalinowych. Rozwój ten zmierza w kierunku zmniejszenia toksyczności emitowanych spalin, ograniczenia zużycia paliwa, podwyższenia mocy uzyskiwanej z jednego dm^3 pojemności skokowej silnika, przy jednoczesnym zmniejszaniu masy i zapewnieniu niezawodności pracy w różnych warunkach eksploatacyjnych oraz zwiększaniu trwałości. Obecnie istotną kwestią jest ograniczanie emisji toksycznych związków w spalinach, które stanowią poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego i dla zdrowia człowieka. Jednym ze sposobów ograniczenia emisji związków szkodliwych spalin jest zastosowanie doładowania silnika.

W artykule przedstawiono wyniki badań porównawczych emisji związków szkodliwych spalin z silników o zapłonie iskrowym, o tej samej konstrukcji – wolnossącego oraz silnika doładowanego, przeprowadzonych w rzeczywistych warunkach eksploatacji pojazdu.

Słowa kluczowe: doładowanie, silnik o zapłonie iskrowym, emisja, warunki drogowe

1. WPROWADZENIE

Do niedawna doładowanie w silnikach o zapłonie iskrowym było stosowane bardzo rzadko. Na ogół były to silniki przeznaczone do napędu pojazdów sportowych, w których

istotą było uzyskanie możliwie wysokich parametrów eksploatacyjnych. Silniki te charakteryzowały się krótkim okresem eksploatacyjnym, a kwestii emisji związków toksycznych zawartych w spalinach nie rozważano. Obecny rozwój silników spalinowych realizowany jest z ideą downsizingu polegającej na zmniejszeniu objętości skokowej silnika spalinowego przy jednoczesnym zachowaniu wysokich parametrów eksploatacyjnych tj. momentu obrotowego i mocy. Działanie to zmierza w kierunku uzyskania wyższej sprawności ogólnej silnika, a tym samym zmniejszenia zużycia paliwa. Przyjęte kierunki rozwoju silników spalinowych realizuje się między innymi z zastosowaniem systemów doładowania. Możliwość wykorzystania systemów doładowania w silnikach o zapłonie iskrowym, a w szczególności tych, w których wykorzystuje się turbosprężarkę, mają ścisły związek z poziomem technologicznym i materiałowym produkcji tych urządzeń. Szczególnie istotne są kwestie związane z budową i technologią produkcji turbiny turbosprężarki. Temu elementowi poświęca się dużo uwagi w pracach rozwojowych, ponieważ turbina w silniku o ZI jest szczególnie narażona na pracę w wysokich temperaturach gazów wylotowych silnika.

System doładowania silników spalinowych z turbosprężarką ma przewagę nad systemami wykorzystującymi inne urządzenia doładowujące, dzięki temu, że moc potrzebna do sprężania ładunku pochodzi bezpośrednio ze spalin wypływających z kanału wylotowego, a nie jest pobierana z wału korbowego. Fakt ten nabiera istotnego znaczenia w przypadku silników o ZI o małych pojemnościach skokowych.

Źródła literaturowe [1, 2, 3] wskazują na korzystny wpływ doładowania silników spalinowych na zmniejszenie emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach. W szczególności dotyczy to silników o zapłonie samoczynnym. Natomiast kwestie wpływu doładowania silnika o zapłonie iskrowym i jego wpływ na parametry emisyjne pojazdów napędzanych silnikami o zapłonie iskrowym w warunkach rzeczywistej eksploatacji do tej pory nie były poruszane. Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zastosowania systemu doładowania w silniku o zapłonie iskrowym na właściwości ekologiczne pojazdu.

2. METODYKA BADAŃ

W celu dokonania oceny wpływu doładowania silnika o zapłonie iskrowym na emisję związków szkodliwych zawartych w spalinach przeprowadzono pomiary emisyjności dwóch pojazdów marki Fiat Bravo. Badania przeprowadzono dla pojazdów o tej samej konstrukcji nadwozia, podwozia oraz układu przeniesienia napędu. Pojazdy te były napędzane silnikami o zapłonie iskrowym o pojemności skokowej 1383 dm³, wyposażone w układ zasilania paliwem typu MPI oraz w reaktor katalityczny potrójnego działania. Silniki badanych pojazdów różnią się wartością mocy użytecznej, co jest skutkiem zastosowania w jednym z nich o nazwie „T-jet”, systemu doładowania wyposażonym w turbosprężarkę. Charakterystykę pojazdów przedstawiono w tabelicy 1.

Badania emisji przeprowadzono w warunkach drogowych na wyznaczonej trasie, jednakowej dla badanych pojazdów. Trasa przejazdu obejmowała obszar miejski w aglomeracji Poznania i przebiegała ulicami wokół Jeziora Malta (rys. 1).

Tablica 1.

Dane techniczne badanych pojazdów

Nazwa opcji wyposażenia	Bravo Dynamic 1,4	Bravo Dynamic 1,4 T- Jet
Charakterystyka silnika		
Ilość cylindrów	4	4
Układ cylindrów	Rzędowy	Rzędowy
Średnica x skok	72 mm x 84 mm	72 mm x 84 mm
Ilość zaworów na cylinder	4	4
Pojemność skokowa	1368 cm ³	1368 cm ³
Stopień sprężania	11,0:1	9,8:1
Moc maksymalna	66 kW przy 5500 obr/min	88 kW przy 5000 obr/min
Moment obrotowy	128 Nm przy 4500 obr/min	206 Nm przy 1750-5000 obr/min
Układ zasilania paliwem	MPI	MPI
Norma emisji spalin	Euro 4	Euro 4
Rodzaj paliwa	Benzyna	Benzyna
Napęd		
Rodzaj napędu	Napęd na koła przednie	Napęd na koła przednie
Ilość biegów	6	6
Skrzynia biegów - typ	Mechaniczna	Mechaniczna

Planując eksperyment badawczy wzięto pod uwagę niejednorodność warunków ruchu miejskiego, w związku z czym dla zapewnienia większej wiarygodności wyników, pomiary emisji na trasie w obszarze miejskim wykonano w dwóch przejazdach dla każdego badanego pojazdu.



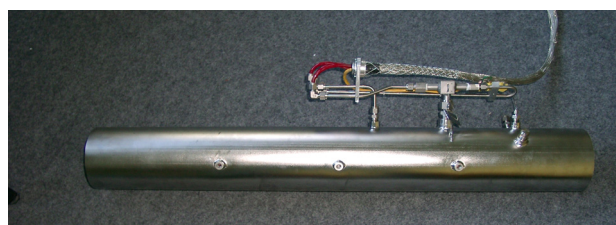
Rys. 1. Trasa przejazdu w obszarze miejskim wokół Jeziora Malta.

Badania emisyjności pojazdu polegały na pomiarze stężenia związków szkodliwych (CO, HC, NO_x oraz CO₂) i zużycia paliwa, a następnie na podstawie danych o masowym natężeniu spalin określono emisję zawartych w nich szkodliwych składników.

Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSORS Inc. (rys. 2). Analizator umożliwił pomiar stężenia związków szkodliwych (tab. 2), mierząc jednocześnie masowe natężenie spalin. Gazy spalinowe wprowadzane do analizatora za pomocą sondy pomiarowej, utrzymującej temperaturę 191°C (rys. 3), są filtrowane z cząstek stałych (w przypadku silników ZS), po czym następuje pomiar stężenia węglowodorów w analizatorze płomieniowo-jonizacyjnym. Dalej spaliny są schładzane do temperatury 4°C, następnie kolejno dokonywane są pomiary stężenia tlenków azotu (metodą niedispersyjną z wykorzystaniem promieniowania ultrafioletowego umożliwiającą jednoczesny pomiar tlenku azotu i dwutlenku azotu), tlenku węgla, dwutlenku węgla (metodą niedispersyjną z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego) oraz tlenu (analizatorem elektrochemicznym). Do jednostki centralnej analizatora można wprowadzić dane bezpośrednio przesyłane z systemu diagnostycznego pojazdu oraz wykorzystać sygnał lokalizacji GPS. Sposób zamontowania aparatury pomiarowej w pojazdach przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 2. Analizator spalin SEMTECH DS.



Rys. 3. Sonda do pomiaru masowego natężenia przepływu spalin.



Rys. 4. Umieszczenie aparatury pomiarowej.

Tablica 2.

Charakterystyka mobilnego analizatora spalin SEMTECH DS

Parametr	Metoda pomiaru	Dokładność
1. Stężenie związków w spalinach		
CO	NDIR -niedyspersyjna (podczerwień) zakres 0–10%	±3%
HC	FID – płomieniowo-jonizacyjna zakres 0–10 000 ppm	±2,5%
NO _x = (NO + NO ₂)	NDUV – niedyspersyjna (ultrafiolet) zakres 0–3000 ppm	±3%
CO ₂	NDIR – niedyspersyjna (podczerwień) zakres 0–20%	±3%
O ₂	elektrochemiczna zakres 0–20%	±1%
Częstotliwość próbkowania	1–4 Hz	
2. Przepływ spalin	masowe natężenie przepływu T _{max} do 700°C	±2,5% zakresu ±1% zakresu
3. Czas nagrzewania	15 min	
4. Czas odpowiedzi	T ₉₀ < 1 s	

2. WYNIKI BADAŃ EMISYJNOŚCI POJAZDÓW W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

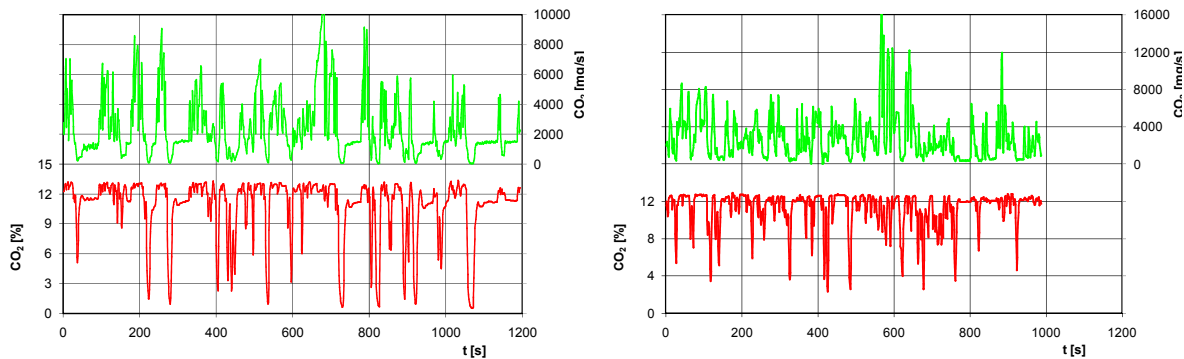
Wykorzystując mobilny system pomiarów związków szkodliwych dokonano pomiaru stężenia CO, HC, NO_x, CO₂ w spalinach podczas testu na wyznaczonej trasie przejazdu. Otrzymane dane dotyczące parametrów pracy silnika, rejestrowane na bieżąco podczas jazdy, z centrali systemu EOBD pozwoliły na sporządzenie wykresów rozkładu gęstości czasowej mierzonych parametrów: emisji dwutlenku węgla CO₂, tlenku węgla CO, węglowodorów HC, tlenków azotu NO_x, dla pojazdów Fiat Bravo 1.4 i Fiat Bravo 1.4 T-jet. Uzyskane wyniki dla poszczególnych przejazdów pojazdami przedstawiono w raportach (rys. 5), oraz na wykresach (rys. 6–13) (wykresy na rysunkach po lewej stronie dotyczą silnika wolnossącego, a po prawej stronie doładowanego).

Z porównania wyników badań przeprowadzonych dla poszczególnych pojazdów wynikają zależności. Są one szczególnie wyraźne przy przedstawieniu wyników w formie wykresów gęstości czasowej rozważanego parametru. Wskazują one na różnice warunków eksploatacyjnych silników napędzających pojazdy. Silnik wolnossący w prawie wszystkich punktach eksploatacyjnych pojazdu określonych wartościami prędkości i przyspieszeń, wykazuje większe wartości emisji CO₂ niż silnik doładowany. Potwierdza to konieczność pracy silnika w warunkach zbliżonych do obszaru charakterystyki odpowiadającego mocy maksymalnej, czyli obszaru charakteryzującego się wysokimi wartościami prędkości obrotowej wału korbowego silnika.

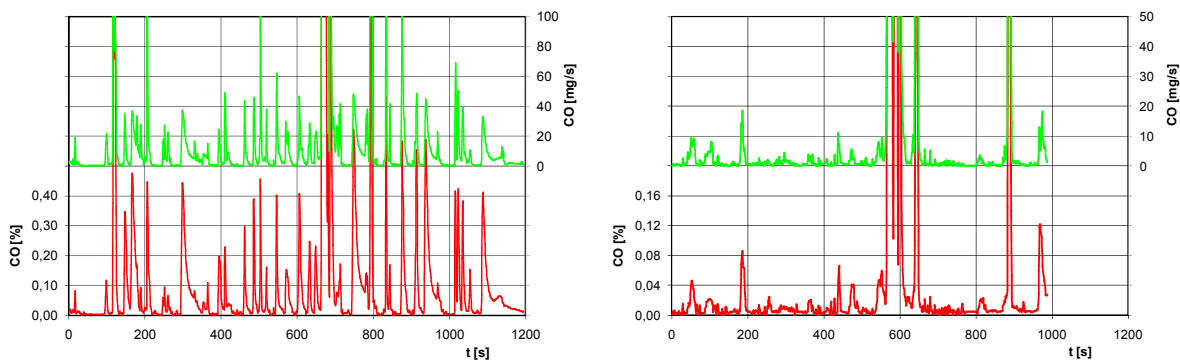
Fiat Bravo 1.4	
Raport z badań	
Typ pojazdu	Fiat Bravo
Silnik	1,4 dm ³
Rodzaj paliwa	Gasoline
Test w dniu	03.10.2009
Początek	12:19:21.915
Czas trwania	1194 s
Dystans całkowity	11,294 km
Zużycie paliwa	1,224 dm ³
Zużycie paliwa (przebiegowe)	10,838 dm ³ /100 km
Postój	20,85 %
Średnia prędkość	34,05 km/h
a < 0	37,21 %
a = 0	2,57 %
a > 0	39,37 %
Średnie przyspieszenie	0,0044 m/s ²
Masa związków szkodliwych	
CO	25,12915 g
HC	0,090352 g
NOx	0,609876 g
kNOx	0,553406 g
CO2	2899,237564 g
Emisja drogowa	
CO	2,225 g/km
HC	0,008 g/km
NOx	0,054 g/km
kNOx	0,049 g/km
CO2	256,706 g/km
Emisja jednostkowa	
CO	0 g/kWh
HC	0 g/kWh
NOx	0 g/kWh
kNOx	0 g/kWh
CO2	0 g/kWh

Fiat Bravo 1.4 T-jet	
Raport z badań	
Typ pojazdu	Fiat Bravo T-jet
Silnik	1,4dm ³
Rodzaj paliwa	Gasoline
Test w dniu	09.10.2009
Początek	12:37:44.201
Czas trwania	987 s
Dystans całkowity	11,226 km
Zużycie paliwa	1,168 dm ³
Zużycie paliwa (przebiegowe)	10,405 dm ³ /100 km
Postój	7,45 %
Średnia prędkość	40,94 km/h
a < 0	36,76 %
a = 0	9,37 %
a > 0	46,42 %
Średnie przyspieszenie	0,0061 m/s ²
Masa związków szkodliwych	
CO	34,564854 g
HC	0,123486 g
NOx	0,179616 g
kNOx	0,145938 g
CO2	2756,679012 g
Emisja drogowa	
CO	3,079 g/km
HC	0,011 g/km
NOx	0,016 g/km
kNOx	0,013 g/km
CO2	245,562 g/km
Emisja jednostkowa	
CO	0 g/kWh
HC	0 g/kWh
NOx	0 g/kWh
kNOx	0 g/kWh
CO2	0 g/kWh

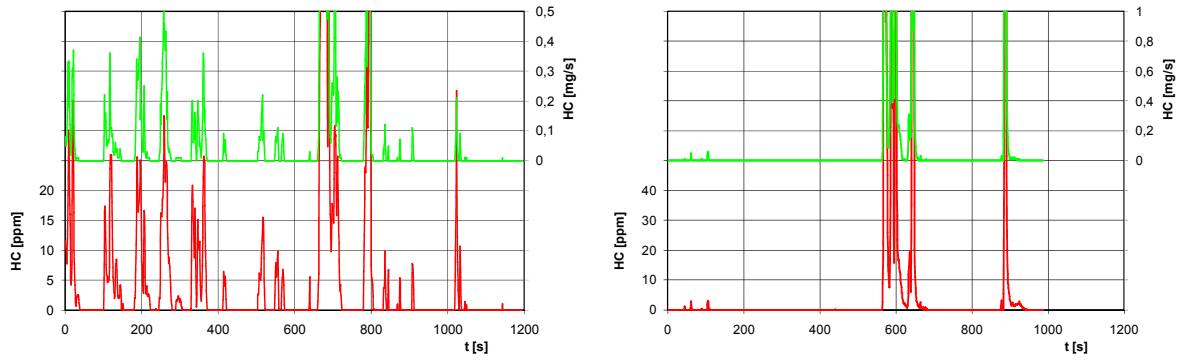
Rys. 5. Zestawienie wyników pomiarów z przejazdów dla dwóch pojazdów.



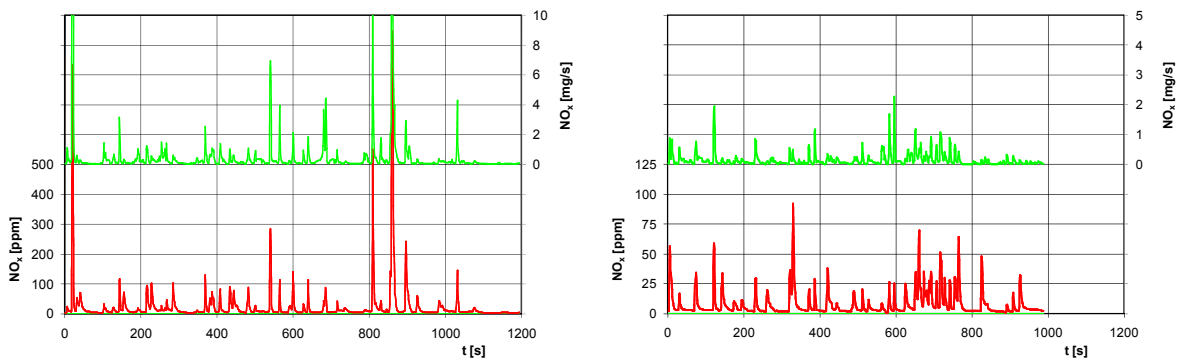
Rys. 6. Przebieg emisji i stężenia CO₂ w funkcji czasu.



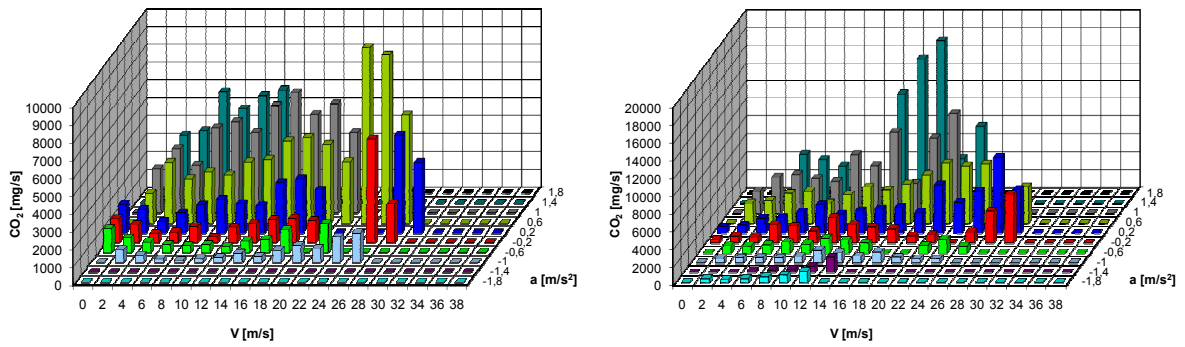
Rys. 7. Przebieg stężenia i emisji CO w funkcji czasu.



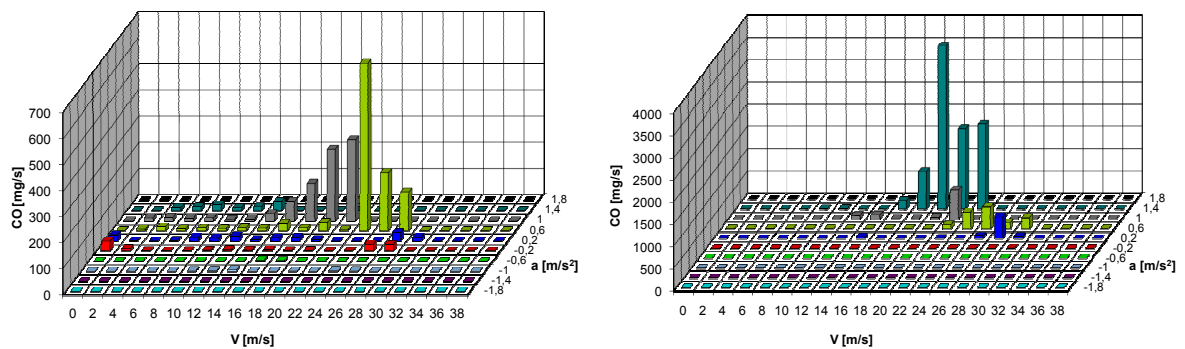
Rys. 8. Przebieg emisji i stężenia HC w funkcji czasu.



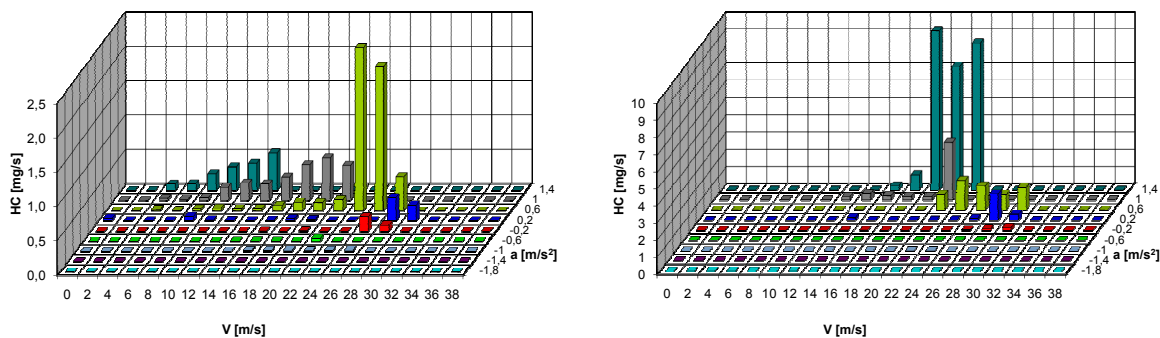
Rys. 9. Przebieg emisji i stężenia NO_x w funkcji czasu.



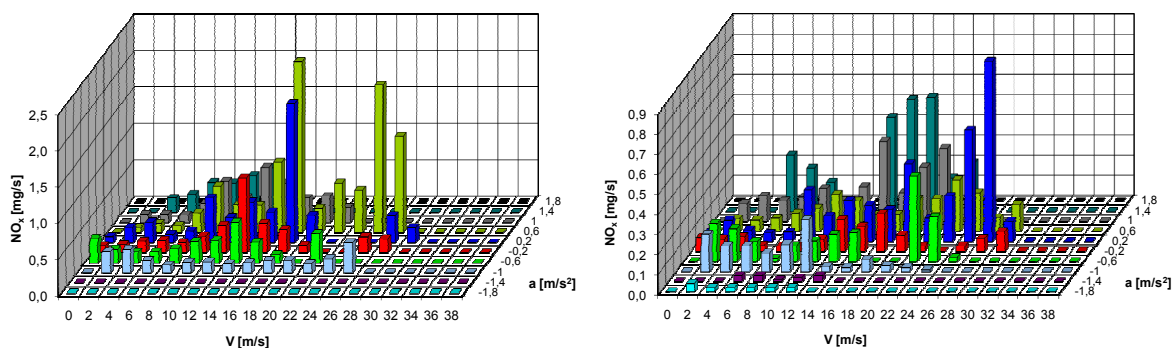
Rys. 10. Rozkład gęstości czasowej emisji CO₂.



Rys. 11. Rozkład gęstości czasowej emisji CO.

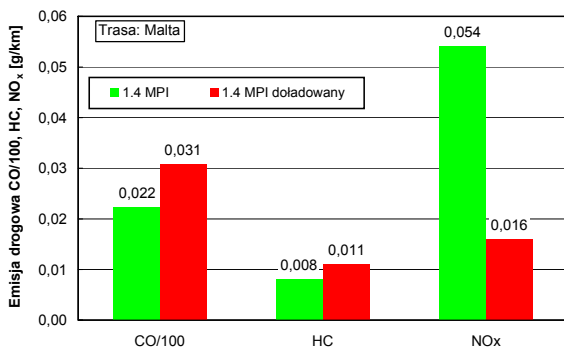


Rys. 12. Rozkład gęstości czasowej emisji HC.

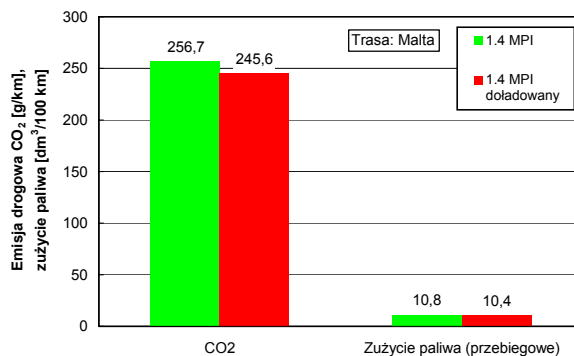


Rys. 13. Rozkład gęstości czasowej emisji NO_x.

Emisja pozostałych związków toksycznych zawartych w spalinach tj. CO, HC i NO_x podczas eksploatacji pojazdu z silnikiem wolnossącym, charakteryzuje się również, tym że występuje przede wszystkim w zakresie niższych wartości prędkości jazdy i przyspieszeń pojazdu. Porównując ze sobą sumaryczne wartości emisji poszczególnych związków z całego przejazdu (rys. 14) oraz zużycie paliwa (rys. 15), można stwierdzić, że wykorzystany do napędu pojazdu doładowany silnik o zapłonie iskrowym charakteryzuje się emisją tlenku węgla wyższą o 40%, emisją węglowodorów wyższą o 37%, emisją tlenków azotu niższą o 70% oraz mniejszą emisją dwutlenku węgla i mniejszym przebiegowym zużyciem paliwa o około 4%.



Rys. 14. Porównanie wielkości emisji substancji szkodliwych badanych silników.



Rys. 15. Porównanie wielkości emisji CO₂ oraz zużycia paliwa badanych silników.

3. PODSUMOWANIE

Zastosowanie systemu doładowania turbosprężarką w silniku o zapłonie iskrowym wykorzystywanym do napędu pojazdu osobowego przyczynia się do zmiany charakterystyki ogólnej silnika. Zmiany te umożliwiają przesunięcie punktów eksploatacyjnych silnika w zakres niskich prędkości obrotowych wału korbowego silnika i w zakres większego obciążenia. Działanie takie przyczynia się do wzrostu sprawności ogólnej silnika, co przekłada się na mniejsze wartości przebiegowego zużycia paliwa i mniejszą emisję CO₂. Dostępność wysokiej wartości momentu obrotowego silnika około 200Nm w zakresie 1750 do 5000 obr/min wału korbowego pozwala na obciążenie silnika przy niskich prędkościach obrotowych wału korbowego. Ma to szczególne znaczenie podczas eksploatacji pojazdu w ruchu miejskim związanym z częstym ruszaniem i przyspieszeniami pojazdu. Wsilenie silnika powoduje również zwiększenie wartości temperatury spalin w układzie wylotowym, co korzystnie wpływa na sprawność reaktora katalitycznego. Powoduje to zmniejszenie wartości emisji tlenków azotu.

Bibliografia

1. Kowalewicz A.: Doładowanie samochodowych silników spalinowych. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 1998.
2. Wajand J. A.: Doładowanie tłokowych silników spalinowych. WNT, Warszawa 1962.
3. Wisłocki K.: Systemy doładowania szybkoobrotowych silników spalinowych. WKŁ, Warszawa 1991.

THE INFLUENCE OF SUPERCHARGING THE SI ENGINE ON TOXIC EXHAUST COMPOUNDS UNDER ROAD OPERATING CONDITIONS OF THE VEHICLE

Abstract: The permanent technological progress of construction materials, fuels and lubricating oils results in continuous internal combustion engines evolution. The development of the combustion engines tends towards reducing the toxicity of the exhaust gases, reducing fuel consumption and increasing the power obtained from one dm³ of the engine displacement. Moreover the reduction of the engine total mass, the assurance of reliability in wide range of operating conditions and extension of durability are expected. Nowadays, because of the menace to the natural environment and to the human beings, the toxic emission reduction is the key issue. One of the possible manners of reducing exhaust gas toxic compounds is the application of supercharging.

In the paper results of the comparative test of the exhaust emission are presented. Two engines of similar construction were examined, but the first one was equipped with turbocharger and the second one was a naturally-aspirated engine. Test were made under road operating conditions of the vehicle.

Keywords: supercharging, spark ignition engine, emission, road test