

*silniki wozów bojowych, testy drogowe,  
rzeczywiste warunki ruchu,  
zużycie paliwa*

Jerzy MERKISZ<sup>1</sup>  
Ireneusz PIELECHA<sup>2</sup>  
Jacek PIELECHA<sup>3</sup>  
Maciej SZUKALSKI<sup>4</sup>

### **ZUŻYCIE PALIWA PRZEZ SILNIKI POJAZDÓW BOJOWYCH W RZECZYWISTYCH WARUNKACH RUCHU**

*W artykule przedstawiono rezultaty z badań wpływu warunków pracy silnika spalinowego kołowego transportera opancerzonego Rosomak na zużycie paliwa w warunkach drogowych. Pomiarów dokonano na odcinku kilkudziesięciu kilometrów podczas jazdy na odcinkach drogi o różnej charakterystyce. Porównano wpływ pracy standardowej i trybu overboost silnika na macierze udziału czasu pracy silnika oraz zużycia paliwa. Na podstawie uzyskanych wyników dokonano analizy warunków pracy pojazdu bojowego w aspekcie ograniczania zużycia paliwa.*

### **FUEL CONSUMPTION CHARACTERISTIC IN REAL ROAD OPERATING CONDITIONS OF COMBAT VEHICLES ENGINE**

*The paper presents the results of the investigations of the influence of the real road operating conditions of an armored modular vehicle (Rosomak) fitted with a diesel engine. Under the said conditions it is possible to obtain information on the actual vehicle fuel consumption. The tests were carried out on road portions of several kilometers each of different characteristics (urban cycle, extra urban cycle, combat cycle – combat simulation). The influence of standard operation and the operation in the overboost mode on the matrices of the time share of engine operation, fuel consumption have been compared as determined by the coordinates engine speed-load (or vehicle speed-acceleration) characterizing the dynamic engine or vehicle properties. Based on the obtained results an analysis of the operating conditions of the combat vehicle (and its engine) in the emission and fuel economy related aspect has been performed.*

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3.  
Tel. +48 61 665-22-07, Fax. +48 61 665-22-04. E-mail: Jerzy.Merkisz@put.poznan.pl

<sup>2</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3.  
Tel. +48 61 665-21-18, Fax. +48 61 665-22-04. E-mail: Ireneusz.Pielecha@put.poznan.pl

<sup>3</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3.  
Tel. +48 61 665-21-18, Fax. +48 61 665-22-04. E-mail: Jacek.Pielecha@put.poznan.pl

<sup>4</sup> Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, 51-150 Wrocław, ul. Czajkowskiego 109.  
Tel. +48 71 765-81-06, Fax: +48 71 765-82-91. E-mail: Maciej-Szukalski@wp.pl

## 1. WSTĘP

Ograniczanie zużycia paliwa przez silniki pojazdów typu *heavy-duty* jest obecnie zagadnieniem często podejmowanym zarówno przez producentów tych silników, jak i całych pojazdów. Pomiary certyfikacyjne przeprowadzane na hamowni silnikowej dotyczą samego silnika, jednak nie przedstawiają żadnej informacji o zużyciu paliwa podczas rzeczywistych warunków ruchu takiego pojazdu [4]. Biorąc pod uwagę specjalne zastosowania pojazdów (w tym przypadku wozów bojowych) brak jest badań w tym zakresie. Przeprowadzone przez Autorów badania pozwalają więc na ocenę zużycia paliwa podczas rzeczywistych warunków ruchu. Warunki te określono jako jazdę miejską, pozamiejską oraz warunki poligonowe, w których możliwe było wykorzystanie zwiększonej mocy silnika (tzw. *overboost*).

Wskaźnikiem ekonomiczności pracy silnika (ekonomiczności pojazdu) jest zużycie paliwa mierzone w  $\text{dm}^3/100 \text{ km}$ . Jest to wskaźnik bardzo popularny, jednak w zdecydowanej większości przypadków wyznaczany w warunkach symulacyjnych na hamowni podwoziowej w ustalonych testach jezdnych. Testy te pozwalają tylko na częściową symulację rzeczywistych warunków drogowych. W przypadku wozów bojowych brak jest możliwości symulowania warunków drogowych (lub poligonowych), zarówno w czasie pokoju, jak i w warunkach bojowych. Jednakże w odniesieniu do silników istnieje wskaźnik bardziej dokładny – jednostkowe zużycie paliwa, który również bywa podawany w opisach technicznych, szczególnie samochodów ciężarowych dużej ładowności, co bez znajomości warunków pracy silnika nie pozwala na szacowanie przebiegowego zużycia paliwa.

Ze względu na specyfikę użytkowania wozów bojowych podjęto próbę oceny sposobu eksploatacji wozu bojowego i jej wpływu na zużycie paliwa. Znajomość tych wielkości pozwala na ocenę zużycia paliwa oraz sposobu użytkowania wozów bojowych. Celem opracowania jest odpowiedź na pytanie: w jakim stopniu zmiana warunków eksploatacji wpływa na zużycie paliwa przez silnik spalinowy pojazdu bojowego. Analiza literatury wskazuje na badania drogowe zużycia paliwa i emisji składników toksycznych prowadzone na pojazdach osobowych [5, 7], dostawczych [3, 6] i ciężarowych [1, 2]. Dotychczas w Polsce nie prowadzono takich badań na pojazdach bojowych – Politechnika Poznańska wraz Wyższą Szkołą Oficerską Wojsk Lądowych we Wrocławiu są pierwszymi ośrodkami naukowymi w Polsce, które zajęły się tym problemem.

## 2. METODYKA BADAWCZA

Badaniom poddano kołowy transporter opancerzony, którego podstawowe dane techniczne i widok przedstawiono na rys. 1. Charakterystyka gęstości czasowej [1] będzie służyła do określenia średniego przebiegowego zużycia paliwa pojazdu. Charakterystyka ta będzie zastępowała cały cykl drogowy kilkunastoma punktami pomiarowymi na charakterystyce pracy silnika i umożliwiała wyznaczenie średniego przebiegowego zużycia paliwa.

Do pomiarów warunków pracy silnika oraz informacji o zużyciu paliwa wykorzystano diagnostyczną sieć pokładową pojazdu (CAN J1939); uzyskane dane posłużyły do opracowania macierzy pracy silnika (i pojazdu) dla różnych aspektów prowadzonych badań.

Charakterystyki gęstości czasowej i zużycia paliwa wyznaczono w następujących fazach badawczych: jazda miejska, jazda pozamiejska – określona przejazdami po drogach poza terenem zabudowanym i drogach dwujezdniowych, jazda poligonowa – wykorzystano

tu oprócz standardowej charakterystyki silnika, możliwość chwilowego zwiększenia momentu obrotowego, tzw. trybu pracy *overboost*.

Typ silnika	Scania DI1249A03P
Liczba cylindrów/układ	6/rzędowy
Max moc silnika	294 kW/ 2100 obr/min
Max moment obrotowy	1688 N·m/ 1500 obr/min
Max moc silnika – <i>oveboost</i>	360 kW/ 2100 obr/min
Max moment obrotowy – <i>overboost</i>	1974 N·m/ 1500 obr/min
Masa pojazdu	22 000 kg



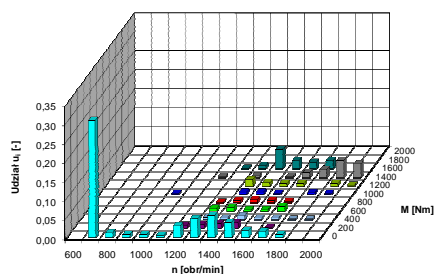
Rys. 1. Podstawowe dane techniczne silnika i widok pojazdu wykorzystanego do badań

### 3. ANALIZA WARUNKÓW PRACY I ZUŻYCIA PALIWA SILNIKÓW POJAZDÓW BOJOWYCH

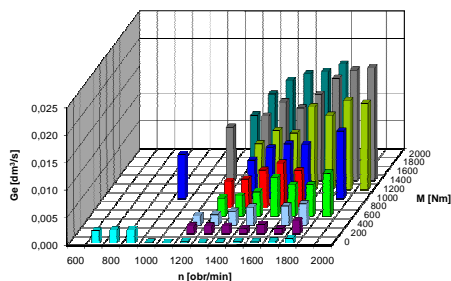
#### 3.1. Jazda miejska

Charakterystyki gęstości czasowej dla poszczególnych faz badawczych skonstruowano w taki sposób, aby wartości momentu obrotowego dla poszczególnych prędkości obrotowych przedstawiały rzeczywiste wartości obciążeń. Normowanie (do 100%) uzyskiwane z odczytu sieci CAN transponowano do wartości rzeczywistych silnika spalinowego. Takie postępowanie pozwala na uszczegółowienie zakresów oraz wyeksponowanie rzeczywistych obszarów pracy silnika.

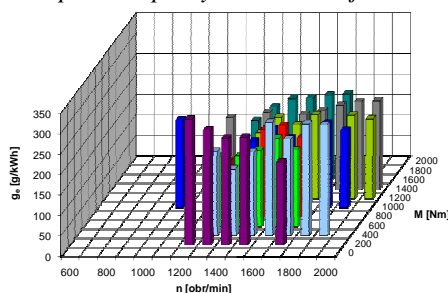
Jazda miejska charakteryzuje się znacznymi czasami udziału czasu pracy silnika na biegu jałowym oraz w zakresie biegu luzem (zmienne prędkości obrotowe bez obciążenia). Największy udział – 30% dotyczy pracy silnika podczas biegu jałowego – typowego dla warunków miejskich (rys. 2). Stany częściowego obciążenia (poza nielicznymi przypadkami pełnego obciążenia) występują sporadycznie. Jednakże największe sekundowe zużycie paliwa przypada na duże wartości obciążenia i prędkości obrotowej (rys. 3). Jednostkowe zużycie paliwa wynoszące 200-250 g/kWh uzyskiwane jest przy wysokich wartościach prędkości obrotowej i dużym obciążeniu (rys. 4). Warunki jazdy miejskiej pomimo znacznego udziału czasu pracy na biegu jałowym wymagają wykorzystania – do przyspieszania pojazdu bojowego – całego pola pracy silnika spalinowego (rys. 5).



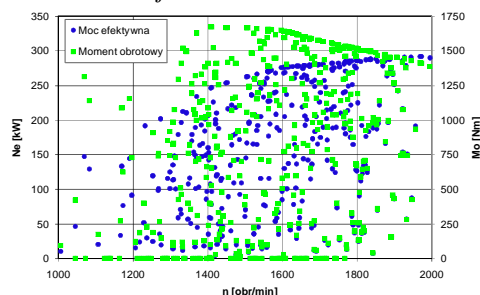
Rys. 2. Charakterystyka gęstości czasowej silnika podczas pracy w ruchu miejskim



Rys. 3. Sekundowe zużycie paliwa w ruchu miejskim



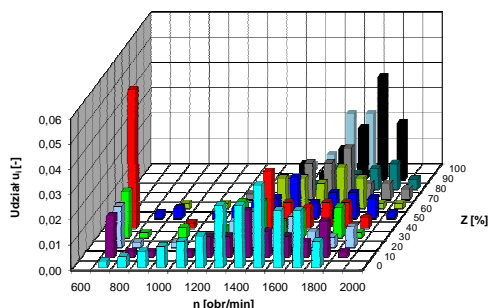
Rys. 4. Jednostkowe zużycie paliwa w ruchu miejskim



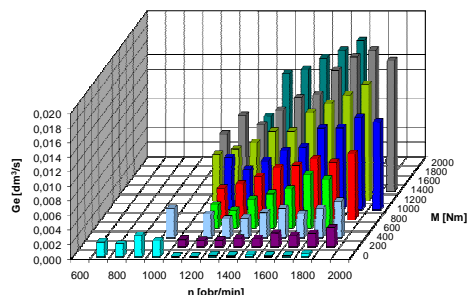
Rys. 5. Punkty pracy na charakterystyce ogólnej podczas jazdy miejskiej

### 3.2. Jazda pozamiejska

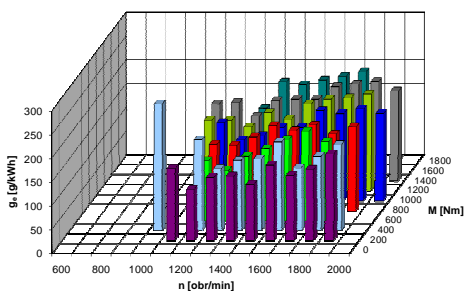
Warunki jazdy pozamiejskiej charakteryzują się nieco odmiennymi parametrami pracy silnika spalinowego (rys. 6). Dominują udziały czasów pracy przy częściowych obciążeniach i wysokich wartościach prędkości obrotowych. Drugą grupę warunków pracy stanowi bieg luzem silnika (zmiennie prędkości obrotowe z minimalnym obciążeniem silnika). Pomimo, że maksymalny udział czasu pracy silnika podczas jazdy pozamiejskiej przypada na  $n = 600$  obr/min (udział jego wynosi tylko 6%), to punkt ten nie jest istotny przy analizie sekundowego zużycia paliwa (rys. 7). Średnie wartości jednostkowego zużycia paliwa podczas tej fazy ruchu pojazdu zawierają się w granicach 300-400 g/kWh dla biegu luzem; oraz 250-300 g/kWh podczas pracy z większymi wartościami obciążenia. Świadczy to o niezbyt wysokich sprawnościach silnika spalinowego w danych punktach jego pracy (rys. 8). Charakterystyka pracy silnika spalinowego wskazuje na częstą pracę z mocą maksymalną w zakresie 1400-2000 obr/min (rys. 9). W punktach tych należało spodziewać się największej sprawności silnika (co znajduje swoje odzwierciedlenie w wartościach jednostkowego zużycia paliwa).



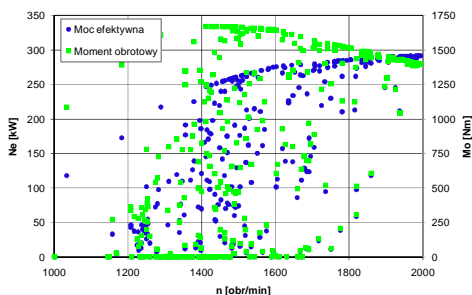
Rys. 6. Charakterystyka gęstości czasowej podczas pracy w ruchu pozamiejskim



Rys. 7. Sekundowe zużycie paliwa przez silnik w ruchu pozamiejskim



Rys. 8. Jednostkowe zużycie paliwa przez silnik w ruchu pozamiejskim

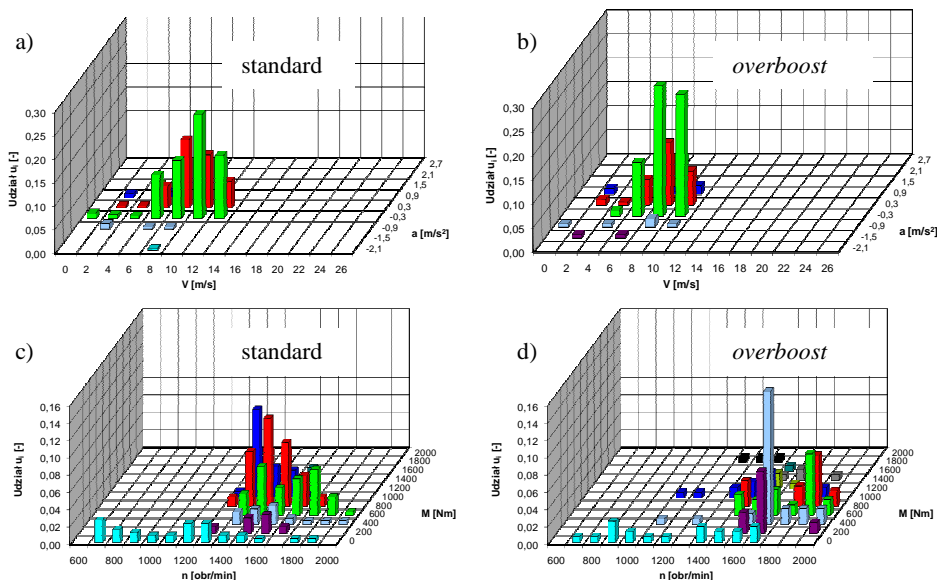


Rys. 9. Punkty pracy na charakterystyce ogólnej na trasie jazdy pozamiejskiej

### 3.3. Jazda poligonowa

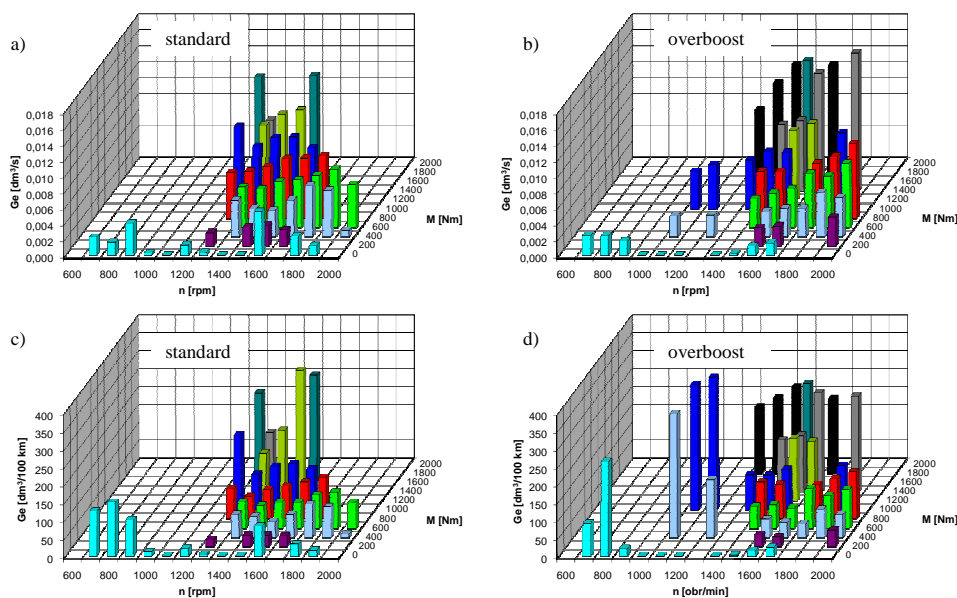
Charakterystykę pracy silnika podczas jazdy poligonowej podzielono na dwa etapy: przejazd w warunkach mocy standardowej oraz zwiększonej – *overboost*.

Podczas przejazdu poligonowego uwzględniono zmiany przyspieszenia pojazdu wyznaczone na podstawie zmian prędkości jazdy. Z charakterystyki tych przejazdów (rys. 10a i b) wynika, że zmiana warunków pracy silnika z trybu standard do *overboost* nie wpływa istotnie na profil prędkości i przyspieszenia transportera kołowego Rosomak. Zmiana trybu pracy silnika wpływa znacząco na charakterystykę jego gęstości czasowej (rys. 10c i d).



Rys. 10. Charakterystyka podczas jazdy poligonowej: a) pojazdu w trybie standard, b) pojazdu w trybie overboost, c) silnika w trybie standard, d) silnika w trybie overboost  
Tryb *overboost* znacznie zawęża pole pracy silnika spalinowego. Wykorzystywany jest zakres większych prędkości obrotowych silnika (1600-2000 obr/min – tryb *overboost*; 1400-1800 obr/min – standard), a także ich udział czasowy znacznie się zwiększa.

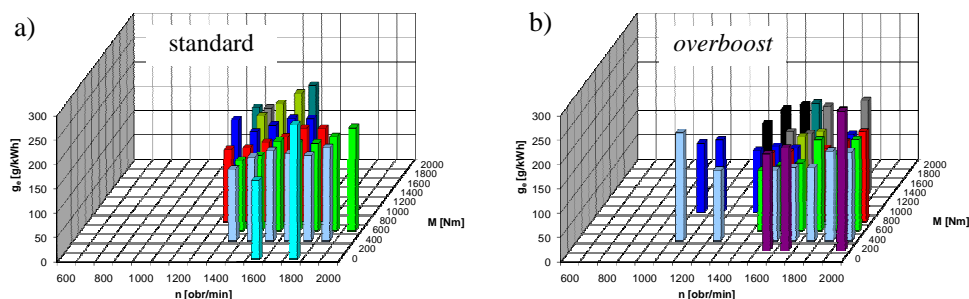
Standardowy tryb jazdy poligonowej cechuje się mniejszym sekundowym zużyciem paliwa (rys. 11a i b) w porównaniu do trybu *overboost*: różnice w podobnych punktach pracy wynoszą około 25% (np. punkt pracy we współrzędnych  $n$ - $M$ : 1400-1400 w trybie standard zużycie wynosi  $0,010 \text{ dm}^3/\text{s}$ , natomiast w *overboost* –  $0,014 \text{ dm}^3/\text{s}$  – wzrost wartości o 40%). Niewielkie różnice lub ich brak można zaobserwować dla biegu luzem silnika (wartości sekundowego zużycia paliwa w tym przedziale prędkości obrotowych nie przekraczają  $0,004 \text{ dm}^3/\text{s}$ ). Tryb *overboost*, jak wspomniano wcześniej, wykorzystuje zakres większych wartości prędkości obrotowej i obciążenia; stąd wynikają różnice w sekundowym zużyciu paliwa. Dzięki temu przebiegowe zużycie paliwa również jest zdecydowanie wyższe w trybie *overboost* (rys. 11b i c). Chwilowe wartości tego zużycia osiągają  $250\text{-}280 \text{ dm}^3/\text{h}$  w trybie standardowym, natomiast w trybie *overboost* wartości te przekraczają  $350 \text{ dm}^3/\text{h}$ . Znacznie większe wartości zużycia paliwa nie pozostają bez wpływu na moc i moment maksymalny silnika. Jak przedstawiono w tab. 1 przyrost wartości momentu obrotowego w trybie *overboost* wynosi 17%, natomiast moc wzrasta o 22%.



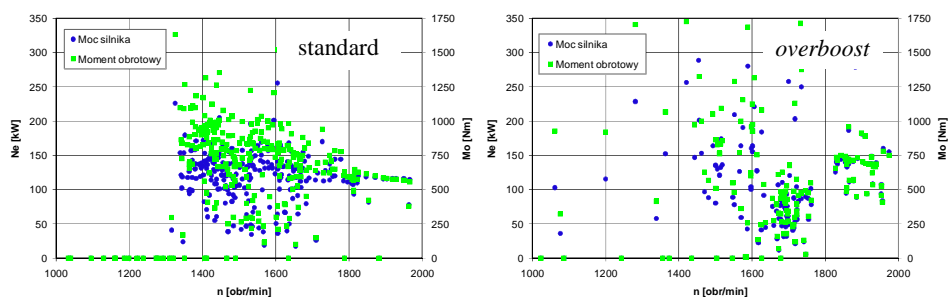
Rys. 11. Zużycie paliwa podczas jazdy poligonowej: a) sekundowe w trybie standard, b) sekundowe w trybie overboost, c) przebiegowe w trybie standard, d) przebiegowe w trybie overboost

Analiza jednostkowego zużycia paliwa potwierdza mniejszy przyrost zużycia paliwa w stosunku do przyrostu mocy, gdyż wskaźnik ten ulega wyraźnemu zmniejszeniu podczas pracy silnika w trybie *overboost*. Średnie wartości jednostkowego zużycia paliwa w trybie pracy standardowej wynoszą 250-300 g/kWh (rys. 12a), natomiast w trybie *overboost* wartości te nie przekraczają 250 g/kWh (rys. 12b).

Wyraźne zróżnicowanie punktów pracy silnika w jednym i drugim trybie pracy poligonowej widoczne jest na rys 13a i b. Znacznie węższe pole pracy silnika spalinowego w trybie *overboost* z przesuniętymi wartościami prędkości i momentu obrotowego w stronę wyższych wartości prędkości obrotowych, a przy tym niższych obciążeniach. Drugim polem jest obszar o średnich obciążeniach i wysokich wartościach prędkości obrotowej.



Rys. 12. Jednostkowe zużycie paliwa podczas jazdy poligonowej: a) w trybie standard, b) w trybie overboost



Rys. 13. Punkty pracy silnika podczas jazdy poligonowej: a) w trybie standard, b) w trybie overboost

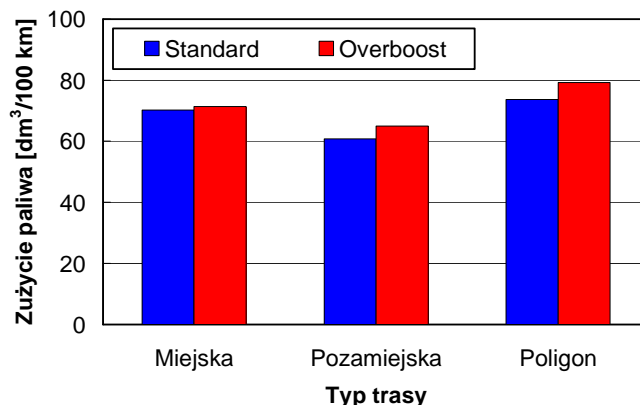
#### 4. WNIOSKI

Wnioski szczegółowe na podstawie uzyskanych wyników:

1. Zmienne warunki ruchu pojazdu wpływają na wykorzystanie odmiennych zakresów pracy silnika, określonych parametrami prędkości obrotowej i momentu obrotowego. Podczas jazdy miejskiej wykorzystuje się znaczny obszar pola pracy silnika spalinowego. Znaczna część pola pracy przypada na prędkość obrotową biegu jałowego oraz niskie wartości prędkości obrotowej bez obciążenia.
2. Jazda pozamiejska wykorzystuje częściowe obciążenie silnika. Najczęstsze przedziały prędkości obrotowej to 1400-2000 obr/min przy wykorzystaniu maksymalnego obciążenia. Jednostkowe zużycie paliwa w warunkach jazdy pozamiejskiej mieści się w granicach 250-300 g/kWh.
3. Jazda poligonowa w trybie standardowym powoduje wykorzystanie częściowych obciążeń silnika. Jazda w trybie *overboost* powoduje wykorzystanie niewielkiego fragmentu pola pracy silnika: duże wartości prędkości obrotowych w średnim zakresie obciążeń. Zmiana sposobu sterowania silnika ze standardowej do trybu *overboost*



skutkuje około 10-procentowym wzrostem zużycia paliwa niezależnie od warunków ruchu pojazdu (rys. 14).



Rys. 14. Wartości zużycia paliwa dla różnych warunków pracy pojazdu w trybie standardowym i overboost

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Czerwinski J., Zimmerli Y., Mayer A.: *Experiences about Retrofitting of City Busses with DPF's*. Combustion Engines 1, 2006 (124).
- [2] Ensfield C., Bachman L.J., Erb A., Bynum C.: *Evaluating Real-World Fuel Economy on Heavy Duty Vehicles using a Portable Emissions Measurement System*, SAE Technical Paper 2006-01-3543, 2006.
- [3] Gao, Y., Checkel, M.D., *Emission Factors Analysis for Multiple Vehicles Using an On-Board, In-Use Emissions Measurement System*. SAE Technical Paper, 2007-01-1327, 2007.
- [4] Merkisz J., Pielecha J.: *Analysis of Particle Concentrations and Smoke in Common-Rail Diesel Engine*, SAE Technical Paper 2008-01-1743, 2008.
- [5] Merkisz J., Pielecha J., Gis W.: *Gaseous and Particle Emissions Results from Light Duty Vehicle with Diesel Particle Filter*, SAE Technical Paper 2009-01-2630, 2009.
- [6] Rykowski R.A., Nam E.K., Hoffman G.: *On-road Testing and Characterization of Fuel Economy of Light-Duty Vehicles*, SAE Technical Paper 2005-01-0677, 2005.
- [7] Shahinian, V.D., *SENSORS tech-ct Update Application Software for SEMTECH Mobile Emission Analyzers*. Sensors 4th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, 2007.