

MEASUREMENT OF EMISSION FROM ENGINE USED IN DIFFERENT POWERTRAINS

Andrzej Żółtowski

Motor Transport Institute Jagiellońska Street 80
tel.: +48 22 811 32 31 ext. 518, fax: +48 22 811 09 06
e-mail: andrzej.zoltowski@its.waw.pl

Abstract

In the article compared emissions of pollutants measured on the same engine operating in different type approval cycles, derived from international regulations, with cycles created as a result of real engine parameter registration in different vehicles. There was tested an engine used alternatively in bus and off-road mobile machinery. It demonstrates and compares emission test results measured on the bench applying different test cycles simulating steady state and transient engine conditions. There were used following test cycles: European Transient Cycle used in European type approval testing, Heavy Duty Diesel Transient Cycle used in USA and Non Road Transient Cycle used in type approval testing for off-road engines, as well as typical steady state cycle. Though homologation tests originated as the reflection effect of real conditions of the engine performance, not less the conditions of engine performance recreated in them can differ much more from conditions met in the selected applications of engine. The article contains discussion about emission test results. The author of this paper wanted to find answer to following question: is it possible to replace with one another emission test cycles and can we expect similar emission test results for different kind of cycles as well how much emission measured in real road condition differs to the emission measured in type approval cycles?

Keywords: transport, internal combustion engines, emission of pollutants, engine testing

BADANIA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ Z SILNIKA WSPÓLPRACUJĄCEGO Z RÓŻNYMI ODBIORNIKAMI MOCY

Streszczenie

W niniejszym artykule porównano wyniki badań emisji zanieczyszczeń silnika pracującego w wybranych cyklach homologacyjnych opisanych w różnych międzynarodowych przepisach, z cyklami opracowanymi na podstawie rejestracji rzeczywistych parametrów pracy silnika zastosowanego w wybranych odbiornikach mocy (pojazdach). Przebadano zastosowanie silnika w autobusie miejskim oraz maszynie roboczej przeznaczonej do robót ziemnych. Przedstawiono i porównano wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń zmierzone na stanowisku hamownianym przy zastosowaniu różnych cykli badawczych odtwarzających statyczne i dynamiczne warunki pracy silnika. Użyte w badaniach cykle pomiarowe to European Transient Cycle, stosowany w homologacji europejskiej silników pojazdów samochodowych, Heavy Duty Transient Cycle, stosowany w USA oraz Non Road Transient Cycle, stosowany w homologacji silników maszyn ruchomych, oraz cykle opracowane dla potrzeb prac badawczych. Choć testy homologacyjne powstawały jako efekt odwzorowania rzeczywistych warunków pracy silnika, tym niemniej odtwarzane w nich warunki pracy silnika mogą znacznie odbiegać od warunków spotykanych w wybranych zastosowaniach silnika. Przeprowadzono dyskusję nad otrzymanymi wynikami emisji zanieczyszczeń. Praca stanowi próbę odpowiedzi na pytanie, na ile jest możliwe zamienne stosowanie cykli badawczych do wyznaczania wskaźników charakteryzujących właściwości emisyjne silnika oraz na ile emisja rzeczywistych warunkach pracy silnika odbiega od tej wyznaczonej w czasie badań homologacyjnych?

Słowa kluczowe: transport, silniki spalinowe, emisja zanieczyszczeń, badania silników

1. Wstęp

Masa zanieczyszczeń emitowanych z układu wydechowego silnika spalinowego jest proporcjonalna do masowego natężenia przepływu spalin, a to z kolei zależy od przede wszystkim

od prędkości obrotowej silnika i godzinowego zużycia paliwa. Do określania dobroci ekologicznej silników przyjęło się używać wskaźników w postaci emisji jednostkowej, wyrażających masę emisji zanieczyszczenia odniesioną do jednostki pracy wykonanej przez silnik.

Warunki pracy silnika zdeterminowane zapotrzebowaniem mocy odbiornika sprzęgniętego z wałem korbowym silnika mają istotny wpływ na masę wyemitowanych zanieczyszczeń. Łatwo sobie wyobrazić, że w obszarach pracy silnika gdzie moment obrotowy zbliża się do zera, zwłaszcza przy większym natężeniu wypływu spalin (prędkość obrotowa silnika zbliżona do znamionowej), wartość emisji jednostkowej zanieczyszczeń będzie rosła. I przeciwnie, można znaleźć takie obszary w polu pracy silnika, gdzie przy umiarkowanym wzroście mocy silnika nie następuje jeszcze zbyt szybki wzrost stężeń zanieczyszczeń, co w efekcie powoduje niską jednostkową emisję zanieczyszczeń. W silnikach o zapłonie samoczynnym najkorzystniejszy pod tym względem jest obszar odpowiadający 60-90% maksymalnego obciążenia.

Omawiając problem emisji zanieczyszczeń z silnika można wyróżnić dwa aspekty tego zagadnienia:

- spełnieniem przez silnik wymagań formalnych w postaci zakończonego sukcesem procesu homologacji silnika, prowadzonego zgodnie z wymaganiami prawa zapisanego np. w postaci dyrektyw UE,
- problemem emisji z silnika w rzeczywistych warunkach pracy i dążenie do tego, aby dzięki umiejętnemu doborowi warunków pracy lub odpowiedniej konstrukcji zapewnić względnie niską emisję.

Trudno się dziwić producentom silników, że ci w trosce o swój partykularny interes skupiają się głównie na pierwszym z powyższych zagadnień. Stosując wyłącznie komercyjne podejście do zagadnienia wielkości szkodliwej emisji, silnik powinien przejść z sukcesem wymagane przez prawo badania i na tym powinna się kończyć rola producenta w postrzeganiu silnika jako elementu ogólnego ekosystemu. W celu porównania wpływu warunków pracy silnika na emisję zanieczyszczeń wykonano pomiary emisji z silnika zainstalowanego na stanowisku dynamometrycznym używając do tego różnych cykli badawczych odwzorowujących różny charakter pracy silnika. Były to zarówno testy homologacyjne jak i pochodzące z rejestracji pracy silnika w jego różnych zastosowaniach.

2. Testy homologacyjne emisji

O masie zanieczyszczeń wyemitowanych przez silnik decydują warunki, w jakich on pracuje. Warunki te mogą znacznie odbiegać od cyklu badawczego użytego podczas badań homologacyjnych, gdyż homologacyjne cykle badawcze są odwzorowaniem umownych warunków pracy zawartych w przepisach homologacyjnych. Współczesne przepisy homologacyjne obowiązujące w państwach Unii Europejskiej identyfikują między innymi dwa rodzaje zastosowań silników:

- silniki stosowane w pojazdach o masie większej niż 3500 kg, homologowane zgodnie z dyrektywą 2005/55/WE,
- silniki przeznaczone do stosowania w ruchomych maszynach niedrogowych, homologowane zgodnie z dyrektywą 97/68/WE.

Każda z wymienionych dyrektyw przewiduje inny zestaw cykli badawczych. Z uwagi na szasłość historyczne [1] są to cykle w warunkach statycznych oraz cykle dynamiczne, takie jak European Transient Cycle (ETC) czy Non Road Transient Cycle (NRTC). Wydaje się, że obecne przepisy będą ewoluować w kierunku odejścia od testów statycznych na rzecz testów dynamicznych, lepiej odwzorowujących pracę silnika w warunkach rzeczywistych.

Na Rys. 1 przedstawiono parametry pracy badanego silnika w wybranych dynamicznych cyklach homologacyjnych. Dodatkowo rysunek ten uzupełniono o amerykański test Heavy Duty Diesel Transient Cycle. W Tab. 1 przedstawiono podstawowe dane techniczne badanego silnika. Silnik ten był używany jako obiekt badań we wszystkich opisanych w niniejszej pracy testach.

Tab. 1. Dane badanego silnika
Tab. 1. Specification of the tested engine

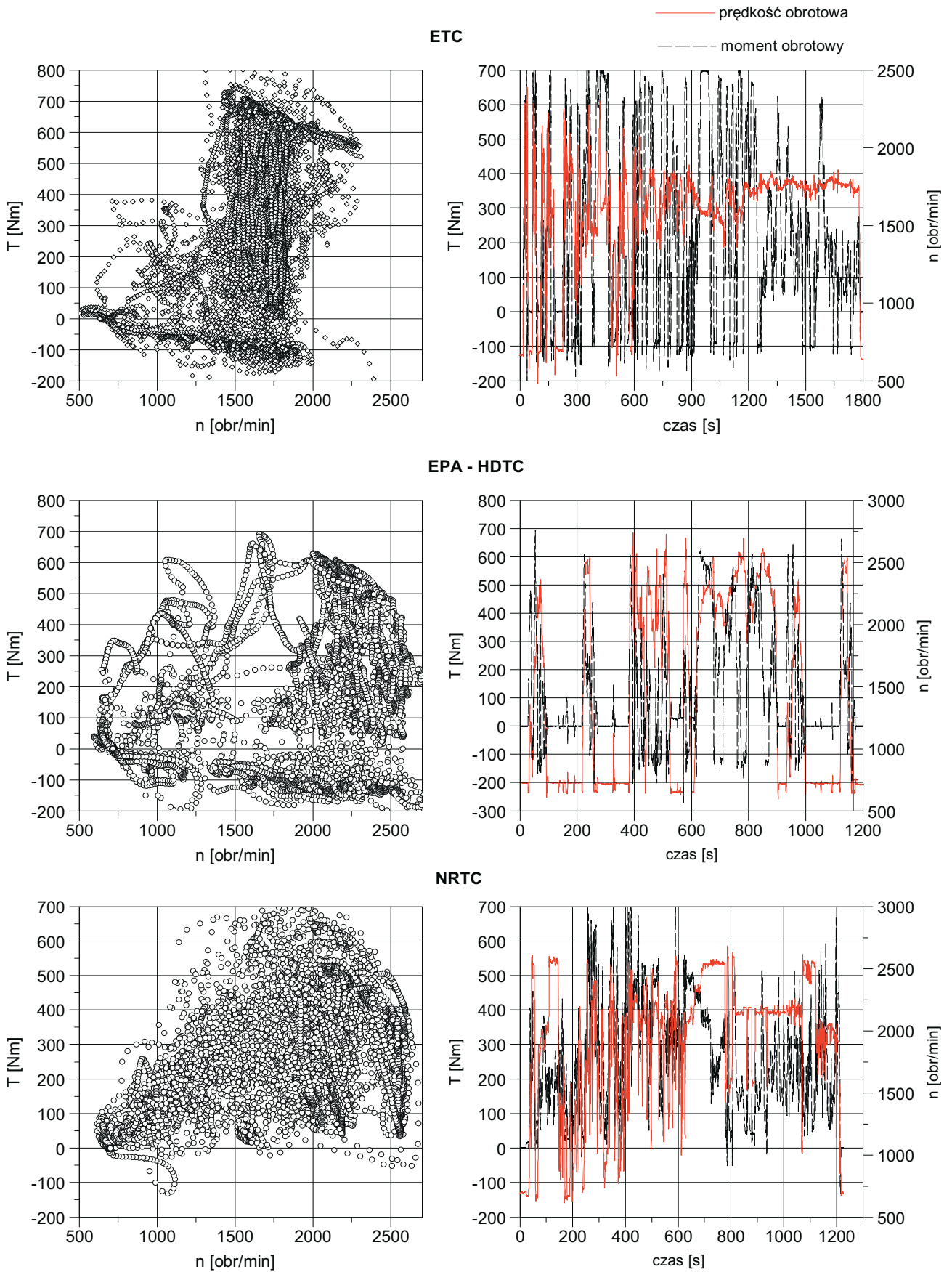
Pojemność skokowa [dm ³]:	8,27
Liczba cylindrów:	6
Moc maksymalna [kW]:	120
Prędkość znamionowa [obr/min]:	2500
Maksymalny moment obrotowy [Nm]:	628
Rodzaj zapłonu:	zapłon samoczynny
Urządzenia zmniejszające emisję zanieczyszczeń:	brak

Tab. 2. zawiera wyniki pomiarów jednostkowej emisji w wybranych testach homologacyjnych, przy czym zamieszczone wyniki dotyczą zarówno homologacyjnych testów dynamicznych, których większość pokazano na Rys. 1., jak i testów statycznych. Badania wykonano w Instytucie Transportu Samochodowego na stanowisku pomiarowym przeznaczonym do badań homologacyjnych silników w warunkach statycznych i dynamicznych, zgodnie z dyrektywą 2005/55/WE.

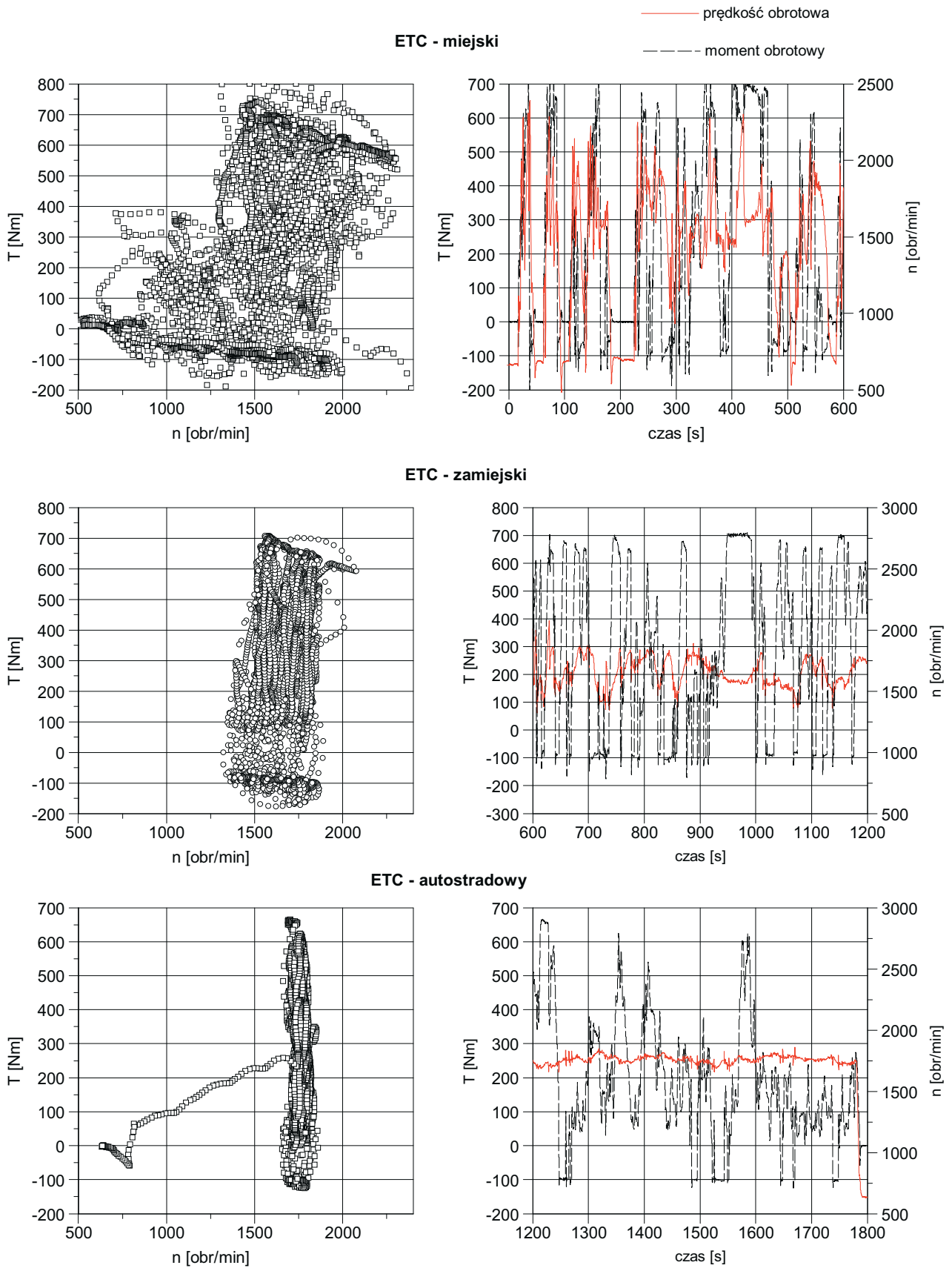
Trwający 1800 sekund cykl ETC składa się z trzech 600-sekundowych faz odwzorowujących kolejno trzy różne typy jazdy (Rys. 2.): jazdę miejską, zamiejską i autostradową. W Tab. 3 przedstawiono wyniki pomiarów emisji jednostkowych w każdej z wymienionych faz. Na podstawie danych zawartych w Tab. 3 widać jak silny wpływ na wartość emisji mają warunki pracy silnika. Najniższą emisją silnik charakteryzuje się w jeździe zamiejskiej, gdzie praca silnika charakteryzuje się umiarkowanym obciążeniem i względnie małą zmiennością parametrów silnika. Zdecydowanie największa emisja występuje przy jeździe po autostradzie, gdzie w wyniku większego obciążenia silnika następuje wzrost emisji wszystkich mierzonych składników spalin. Rzeczą ciekawą jest fakt, że poziom emisji zanieczyszczeń (Tab. 3.) jest zależny od zmian jednostkowej emisji CO₂, a więc pośrednio od jednostkowego zużycia paliwa przez silnik. Tam gdzie średnie jednostkowe zużycie paliwa jest najmniejsze (jazda zamiejska), również najmniejsze są jednostkowe emisje wszystkich mierzonych toksycznych składników spalin. W badanym silniku spokojna, mało dynamiczna jazda sprzyja ograniczeniu jednostkowej emisji zanieczyszczeń.

Tab. 2. Wyniki pomiarów emisji w wybranych testach badawczych
Tab. 2. Emission test results

Cykl badawczy	CO [g/kWh]	THC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
NRTC	1,54	1,84	11,54	0,265
NRSC	1,05	1,22	9,89	0,32
ETC	1,21	1,32	11,31	-
ESC	1,1	1,04	12,06	0,15
EPA - HDTC	2,31	2,03	12,49	-
WHTC	2,16	1,47	14,07	0,167



Rys. 1. Przebieg momentu obrotowego i prędkości obrotowej w wybranych testach homologacyjnych
 Fig. 1. Engine torque and speed in different type approval cycles



Rys. 2. Przebieg momentu obrotowego i prędkości obrotowej silnika w kolejnych fazach cyklu ETC
 Fig. 2. Engine torque and speed in successive stages of ETC cycle

Analizując wartości jednostkowych emisji przedstawionych w Tab. 3. możemy zauważyć, że w cyklach, w których udział pracy silnika przy niskim obciążeniu jest względnie duży (HDTC, WHTC) [1] obserwujemy zwiększoną emisję CO i THC. Rzeczą ciekawą jest fakt, że chociaż w cyklu NRTC silnik pracował ze zdecydowanie największym obciążeniem ze wszystkich badanych cykli dynamicznych, tym niemniej emisja NO_x w tym cyklu była względnie mała. Pamiętać należy, że badany silnik nie był wyposażony w układ recyrkulacji spalin.

Tab. 3. Wyniki pomiarów emisji w poszczególnych fazach testu ETC
Tab. 3. Emission test results in modes of ETC cycle

	CO [g/kWh]	THC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	CO ₂ [g/kWh]
jazda miejska	1,22	1,17	11,52	696
jazda zamiejska	0,85	1,01	10,43	651
jazda autostradowa	1,76	2,00	12,47	829

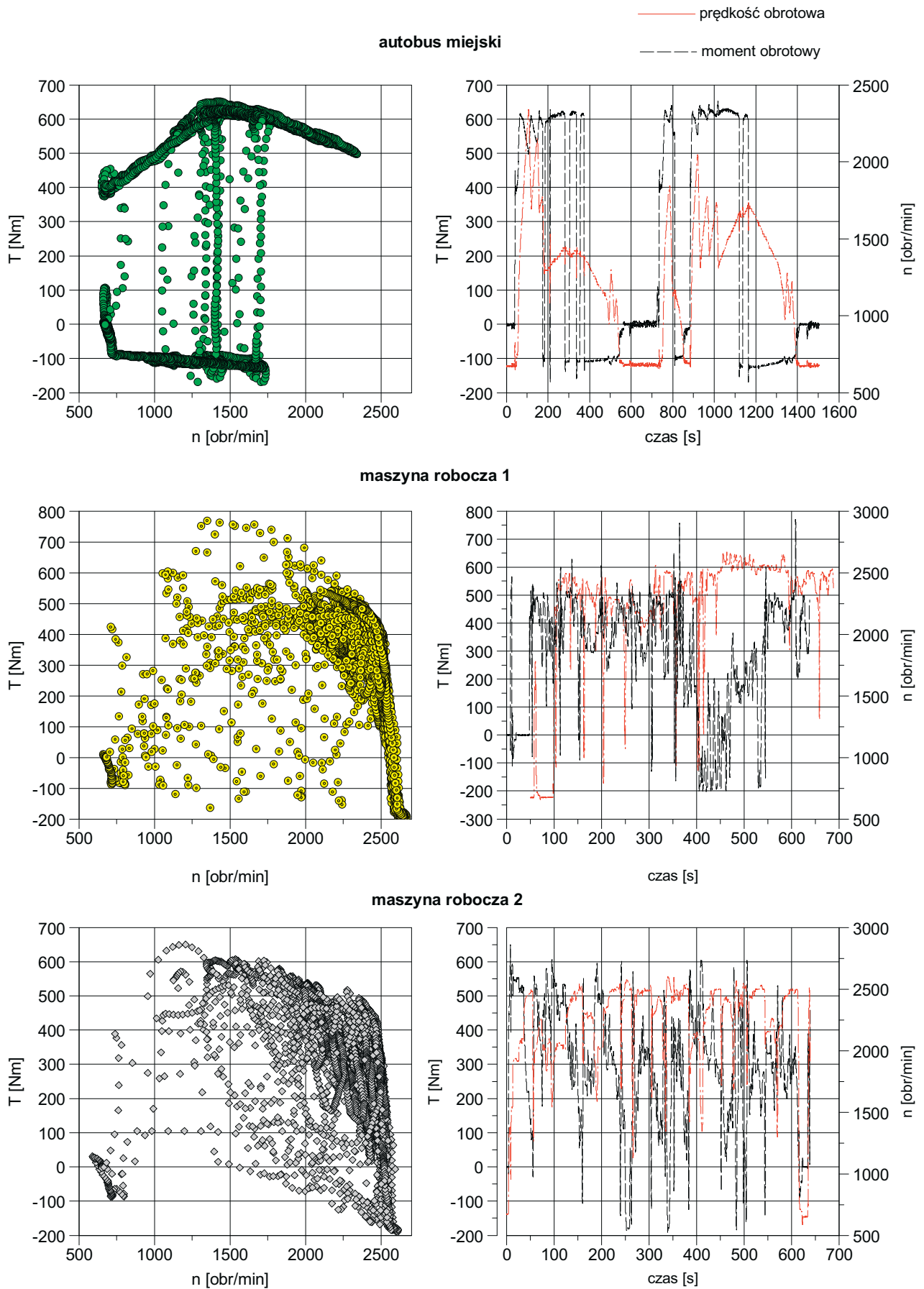
3. Cykle odwzorowujące rzeczywiste warunki pracy

Choć testy homologacyjne powstawały jako efekt odwzorowania rzeczywistych warunków pracy silnika, tym niemniej odtwarzane w nich warunki pracy silnika mogą znacznie odbiegać od warunków spotykanych w wybranych zastosowaniach silnika. Na Rys. 3. przedstawiono przebiegi trzech dynamicznych testów badawczych opracowane na podstawie zarejestrowanych parametrów pracy silnika w autobusie komunikacji miejskiej oraz w maszynie roboczej z zainstalowanymi dwoma różnymi urządzeniami przeznaczonymi do robót ziemnych.

Na Tab. 4. przedstawiono wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń w powyższych cyklach dynamicznych oraz dołączono wyniki badań w testach statycznych (ośmio- i siedmifazowych), opracowanych wspólnie z omawianymi cyklami dynamicznymi dla potrzeb badawczych badanych pojazdów.

Szczególnie ciekawy jest tu przebieg pracy silnika autobusu. Mamy tu do czynienia z dwoma przeważającymi stanami pracy silnika: biegiem jałowym (postój na przystankach) oraz rozpędzaniem pojazdu przez biegi przy pełnym dawkowaniu paliwa (wciśniętym do oporu pedałem przyspiesznika). Jest to styl jazdy charakterystyczny dla kierowców chcących ograniczyć eksploatacyjne zużycie paliwa. O dziwo, ten styl jazdy na tle wyników testów homologacyjnych (Tab. 2.), w szczególności zaś na tle testu ETC daje całkiem poprawne wyniki. Emisje CO i PM w tym teście w porównaniu z innymi testami układają się na średnim poziomie, zaś emisje THC i NO_x są zdecydowanie najniższe.

W przypadku maszyny roboczej przedstawionej na Rys. 3., we wszystkich przypadkach - poza emisją PM - zmierzone jednostkowe emisje zanieczyszczeń były nieznacznie niższe w stosunku do wartości uzyskanych w testach NRTC i NRSC, stąd też można powiedzieć, że w zakresie CO, THC i NO_x cykle badawcze zawarte w dyrektywie 97/68/WE odzwierciedlają charakter pracy badanej maszyny roboczej. Nie można jednak tego powiedzieć o emisji PM, bowiem ponad dwukrotny wzrost emisji PM w testach dynamicznych maszyny roboczej w stosunku do cyklu NRTC oznacza, że mamy do czynienia z odmiennymi warunkami pracy mogącymi w istotny sposób wpłynąć na wzrost emisji tego szczególnie niebezpiecznego składnika spalin, jakimi są cząstki stałe.



Rys. 3. Przebieg momentu obrotowego i prędkości obrotowej w warunkach rzeczywistych
 Fig. 3. Engine torque and speed in real condition cycle

Tab. 4. Wyniki pomiarów emisji w testach odwzorowujących rzeczywiste warunki pracy silnika
 Tab. 4. Emission test results in cycles reproducing real engine operating conditions

Cykl badawczy	CO [g/kWh]	THC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
maszyna robocza 1 - test dynamiczny	1,32	1,54	10,93	0,687
maszyna robocza 2 - test dynamiczny	1,28	1,61	11,82	0,634
autobus miejski- test dynamiczny	1,53	0,851	9,39	0,277
maszyna robocza 1 - test statyczny	0,90	0,79	8,54	0,17
maszyna robocza 2 - test statyczny	0,90	0,82	9,49	0,24
autobus miejski- test statyczny	1,68	0,76	9,28	0,38

4. Wnioski

Maksymalny rozrzut jednostkowych emisji z silnika badanego w wybranych dynamicznych cyklach homologacyjnych wyniósł 23% dla NO_x, 91% dla CO i 53% dla THC.

Maksymalny rozrzut jednostkowych emisji zanieczyszczeń zmierzonych w dynamicznych cyklach, opracowanych na podstawie obserwacji pracy silnika w pojeździe, wyniósł 16% dla NO_x, 21% dla CO i 81% dla THC.

Emisje zmierzone w dynamicznym teście autobusu miejskiego były dla CO o 26% większe, dla THC o 35% mniejsze, a dla NO_x o 16% mniejsze niż w teście ETC.

Emisje zanieczyszczeń gazowych zmierzone w dynamicznym teście maszyny roboczej były nieznacznie mniejsze od wartości uzyskanych w teście NRTC; emisje PM w tym teście były przeszło dwukrotnie większe niż w teście NRTC.

Literatura:

- [1] Żółtowski, A., *Comparison of Pollutant Emissions Test Cycles For IC Engines*, Kones 2007, Journal of KONES Vol. 14, No. 2, pp. 591-598.

Użyte skróty:

- ETC - European Transient Cycle,
 ESC - European Steady Cycle,
 NRTC - Non Road Transient Cycle,
 NRSC - Non Road Steady Cycle,
 EPA - Environmental Protection Agency,
 HDTC - Heavy Duty Transient Cycle,
 WHTC - World Harmonized Transient Cycle.
 PM - cząstki stałe

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2009 jako projekt badawczy Nr N502 012 31/1534

