

## The use of piston engine brake as related to the emission of selected exhaust gas components

*The paper includes a brief description of the methodology of obtaining dynamic characteristics of four basic exhaust gas emissions:  $CO_2$ , CO, HC and  $NO_x$  based on combined data from road tests on the engine test beds NEDC and FTP-75. The characteristics developed through tests on a class C motor-car have been presented. The possible advantages thanks to the application of the dynamic characteristics developed have been indicated. The significant values of emission during engine braking have been pointed out. For a wider recognition of this area of dynamic characteristics, special chassis tests were carried out on the engine test bed, recording the emissions of the exhaust gas components listed in the modal system with 0.4 s rate in the test of full engine braking on III, IV and V gear. The results were summarized and assessed.*

Key words: driving cycle, toxic emissions, combustion engines

### Hamowanie tłokowym silnikiem spalinowym a emisja wybranych składników spalin

*W artykule opisano w skrócie metodykę uzyskiwania charakterystyk dynamicznych emisji czterech podstawowych składników spalin:  $CO_2$ , CO, HC i  $NO_x$  na bazie połączonych danych z testów jezdnych NEDC i FTP-75. Przedstawiono charakterystyki opracowane na podstawie wyników badań samochodu osobowego klasy C. Wskazano korzyści możliwe do uzyskania ze stosowania opracowanych charakterystyk dynamicznych. Zwrócono uwagę na istotne wartości emisji przy hamowaniu silnikiem. W celu szerszego rozeznania tego obszaru charakterystyk dynamicznych przeprowadzono specjalne badania na hamowni podwoziowej, rejestrując w systemie modalnym z krokiem 0,4 s emisje czterech wymienionych składników spalin w teście pełnego hamowania silnikiem na biegach: III, IV i V. Podsumowano i oceniono uzyskane wyniki.*

Słowa kluczowe: test jezdny, emisja spalin, silnik spalinowy

### 1. Introduction

As described in [1, 2, 3], while performing the road tests, most of the exhaust gas components are emitted after the engine cold start. The latest trends in the legislation directives [4, 5] anticipate reduction of engine temperature at the moment of start and reduction of the time from the engine start to the beginning of the cruise, which will further increase the emission recorded in the NEDC test.

The stress put on the emission after the cold start is to force the automotive manufacturers to consider a more efficient protection against urbanized area contamination [6, 7], with the cold start and a few kilometer cruise as the dominating traffic model.

However, in the overall mileage of the car, the condition of engine operation with faultless catalytic converter is a fraction of the total vehicle driving time. The conclusion may be drawn that the emission level results obtained in the NEDC and FTP-75 road tests improperly reflect the effect of automotive contamination in the traffic analyses on transit routes and with higher average travel speeds with nominal temperature of the catalytic converter operation [8, 9]. Therefore, it is proposed to assume such traffic conditions for the analysis as data collected from the exhaust gas components in the NEDC and FTP-75 road tests, excluding the cold phases. The areas analyzed were highlighted in Fig. 1 and 2.

If emission is assumed as a function of speed and acceleration of the car (or speed and crankshaft angular acceleration of the engine crankshaft), the distribution of the measuring

### 1. Wprowadzenie

Jak opisano w [1, 2, 3], przy realizacji testów jezdnych większość składników spalin jest emitowana po tzw. zimnym rozruchu. Najnowsze trendy w dyrektywach legislacyjnych [4, 5] przewidują obniżenie temperatury silnika w momencie rozruchu i skrócenie czasu od rozruchu silnika do początku jazdy, co jeszcze bardziej zwiększy emisję rejestrowaną w teście NEDC.

Położenie nacisku na emisję po zimnym rozruchu ma zmusić producentów samochodów do brania pod uwagę skuteczniejszej ochrony przed skażeniami obszarów zurbanizowanych [6, 7], gdzie dominującym modelem ruchu jest zimny start i przejechanie kilku kilometrów.

Jednak w ogólnym przebiegu samochodu stan pracy silnika z nienagranym reaktorem katalitycznym stanowi ułamek całkowitego czasu ruchu pojazdu. Można z tego wyciągnąć wniosek, że wyniki emisyjności uzyskane w testach jezdnych NEDC i FTP-75 niewłaściwie odwzorowują oddziaływanie skażeń pochodzenia motoryzacyjnego w analizach ruchu na trasach tranzytowych i o większych średnich prędkościach przejazdu przy nominalnej temperaturze pracy reaktora katalitycznego [8, 9]. Z tego względu w niniejszym opracowaniu proponuje się przyjąć do analizy takich warunków ruchu dane zebrane z emisji składników spalin w testach jezdnych NEDC i FTP-75 z wyłączeniem tzw. faz zimnych. Obszary przyjęte do analiz zaznaczono na rys. 1 i 2.

Jeżeli przyjmie się emisję jako funkcję prędkości i przyspieszenia samochodu (lub prędkości i przyspieszenia

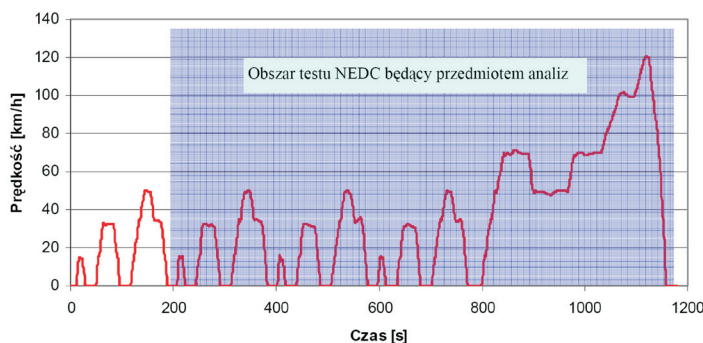
points in the coordinates may be presented as in Fig. 3. The distribution is a picture of combined measuring points during the performance of tests NEDC and FTP-75 with 1 s rate. Obviously, with this approach to the emission characteristics, Fig. 3 does not include the points excluded from the assessment (related to the cold start).

## 2. Methodology of creating approximated dynamic characteristics

This chapter presents the methodology and results of creating approximated characteristics of emissions of the said exhaust gas components and fuel consumption under dynamic conditions (in the function of speed and acceleration). The simplified definition of the characteristics obtained will be called “dynamic characteristics of emissions” [6, 10, 11]. The characteristics of this kind may be useful to characterize source emissions while considering dispersion of gas contamination of automotive origin.

The structure of such characteristics was based on the approximation methods with polynomials of combined data obtained from the NEDC and FTP-75 tests, excluding data from cold starts. The approximation questions during the making of the dynamic characteristics of emission were contained in publication [10, 6]. Paper [10] presents the proposal of combining the structure of the dynamic emission characteristics with the dynamic characteristic of a given vehicle type. This paper includes the approximations with the use of SURFER software, version 8, where the polynomial approximates a given function  $f(x)$  with the method of smallest squares [11].

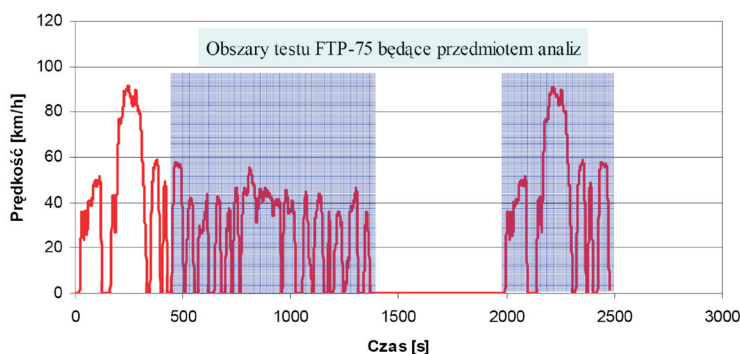
While considering the issue of approximation of dynamic characteristics of emissions and fuel consumption, the minimum numbers need to be determined of averaged data measuring cells in the coordinates: speed and acceleration. This



Legend: Speed [km/h]; time [s]

Fig. 1. NEDC road tests with highlighted ranges that were analyzed

Rys. 1. Test jezdny NEDC z zaznaczonymi zakresami, które były przedmiotem analiz

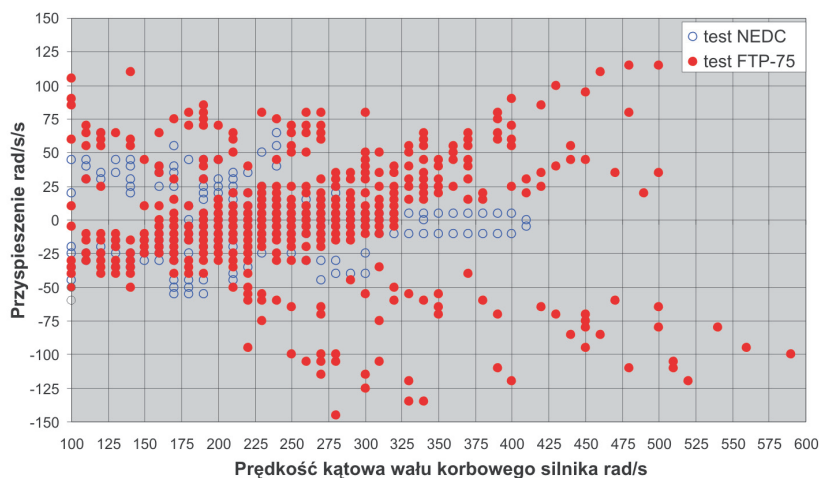


Legend: Speed [km/h]; time [s] – the FTP-75 test areas under analysis

Fig. 2. FTP-75 road test with highlighted ranges that were analyzed

Rys. 2. Test jezdny FTP-75 z zaznaczonymi zakresami, które były przedmiotem analiz

kątoowego wału korbowego silnika), to rozkład punktów pomiarowych w tych współrzędnych można przedstawić tak, jak na rys. 3. Rozkład ten jest obrazem połączonych punktów pomiarowych przy realizacji testów NEDC i FTP-75 przy kroku 1 sekundy. Oczywiście, przy przedstawionym podejściu do charakterystyk emisji, na rys. 3 nie ujęto punktów wyłączonych z oceny (dotyczących zimnego rozruchu).



Legend: acceleration rad/s/s; angular crankshaft speed of engine rad/s

Fig. 3. Location of measuring points upon the overlapping NEDC and FTP-75 tests

Rys. 3. Położenie punktów pomiarowych przy nałożeniu testów NEDC i FTP-75

## 2. Metodyka tworzenia aproksymowanych charakterystyk dynamicznych

W niniejszym rozdziale przedstawiono metodykę i wyniki tworzenia aproksymowanych charakterystyk emisji wymienionych składników spalin i zużycia paliwa w warunkach dynamicznych (w funkcji prędkości i przyspieszenia). W uproszczeniu uzyskane charakterystyki będą nazywane „dynamicznymi charakterystykami emisji” [6, 10, 11]. Charakterystyki tego typu mogą być przydatne do charakterystyki emisji źródeł przy rozpatrywaniu dyspersji zanieczyszczeń gazowych pochodzenia motoryzacyjnego.

Budowę tych charakterystyk oparto na metodach aproksymacji wielomianami

question is discussed in publication [10], and the number of cells assumed for the calculations of this paper guaranteed the obtaining of the assumed accuracies. In Fig. 3 as mentioned above, the distribution of measuring points from overlapped NEDC and FTP-75 tests has been presented.

While assessing the distribution of the measuring points shown in Fig. 3, one should notice that a significant part of the points is obtained with negative accelerations, i.e. with engine braking. It drew the author's attention to the emission results obtained in such conditions and inspired the preparation of this paper.

The proposed methodology of obtaining the dynamic characteristics of exhaust gas component emissions and fuel consumption offers wide possibilities to compare the emission source features in dynamic traffic conditions for an assumed speed profile in the function of time or distance. In paper [12] such possibilities were shown based on the example of emission assessment during vehicle travel through the city in various traffic light control patterns on more than a dozen of intersections. Only parts of the dynamic characteristics were used thereby corresponding to the positive accelerations and traffic in fixed conditions.

The dynamic characteristic may also be useful in comparisons and emission assessment while various kinds of fuel are applied in the engine. In Fig. 4 some sample emission characteristics were presented for a C class vehicle whose engine was fuelled alternatively with gasoline through the MPI (*Multi Point Injection*) system and compressed natural gas (CNG) in the multi-point sequential system. The characteristics show just a short range of negative accelerations, which resulted from the assumed use of positive accelerations only.

The characteristics presented in Fig. 4 show the possibilities of quantitative and qualitative assessment of the impact that the kind of fuel has on the emission of exhaust gas components.

Fig. 5 presents a typical isohypse dynamic characteristic of HC emissions for gasoline fuelling of a vehicle in the MPI system, made for the full range of accelerations obtained in the tests (Fig. 3). One should notice the significant emission concentration values in the area of engine braking, i.e. with negative accelerations. Similar phenomena were observed for the dynamic characteristics of emissions of other exhaust gas components. For a better examination and explanation of emissions in this range of loads, some tests were carried out and results published herein.

To determine the effect of the delays on the exhaust gas components emitted, the EUDC road test was performed, directly after the test the acceleration to 500 rad/s was applied and engine braking on gears: III, IV and V. The speed profile obtained is presented in Fig. 6–9. During the test the modal analysis of the emitted exhaust gas components was carried out. The superficial analysis of the results only suggests that emission during engine braking is a real phenomenon and is not just the result of the assumed algorithm of the dynamic characteristics approximation. It is also noticeable that such emissions fade after some time of delay.

połączonych danych uzyskanych z testów NEDC i FTP-75, z wyłączeniem danych z zimnych rozruchów. Zagadnieniom aproksymacji przy tworzeniu dynamicznych charakterystyk emisji poświęcono publikacje [10, 6]. W opracowaniu [10] przedstawiono propozycję powiązania budowy charakterystyk dynamicznych emisji z charakterystyką dynamiczną danego typu pojazdu. W niniejszym opracowaniu przeprowadzono aproksymacje przy użyciu programu SURFER wersja 8, w którym wielomian aproksymuje daną funkcję  $f(x)$  metodą najmniejszych kwadratów [11].

Podjmując zagadnienie aproksymacji charakterystyk dynamicznych emisji i zużycia paliwa, należy określić minimalne liczby komórek uśrednionych danych pomiarowych we współrzędnych: prędkość, przyspieszenie. Temu zagadnieniu poświęcono publikację [10], a liczba komórek przyjmowanych do obliczeń w niniejszym opracowaniu gwarantowała uzyskiwanie założonych dokładności. Na rysunku 3, jak wspomniano, przedstawiono rozkład punktów pomiarowych z nałożonych testów NEDC i FTP-75.

Oceniając rozkład punktów pomiarowych przedstawiony na rys. 3, należy zwrócić uwagę na to, że znaczna część punktów uzyskiwana jest przy ujemnych przyspieszeniach, a więc przy hamowaniu silnikiem. Skierowało to uwagę autora na wyniki emisji uzyskiwane w takich warunkach i było inspiracją do opracowania tego artykułu.

Zaproponowana metodyka uzyskiwania charakterystyk dynamicznych emisji składników spalin i zużycia paliwa daje szerokie możliwości porównywania cech źródła emisji w dynamicznych warunkach ruchu dla założonego profilu prędkości w funkcji czasu lub drogi. W opracowaniu [12] wykazano takie możliwości na przykładzie oceny emisji przy przejeździe samochodu przez miasto w różnych scenariuszach sterowania światłami na kilkunastu skrzyżowaniach. Wykorzystywano przy tym jedynie części charakterystyk dynamicznych odpowiadające dodatnim przyspieszeniom i ruchowi w warunkach ustalonych.

Opracowane charakterystyki dynamiczne mogą być również przydatne do porównań i oceny emisji przy zasilaniu silnika różnymi rodzajami paliwa. Na rysunku 4 przedstawiono, opracowane przez autora, przykładowe charakterystyki emisji dla samochodu klasy C, którego silnik zasilano alternatywnie benzyną w systemie MPI (*Multi Point Injection*) i sprężonym gazem ziemnym (CNG) w systemie wielopunktowym, sekwencyjnym. Na charakterystykach przedstawiono jedynie niewielki zakres przyspieszeń ujemnych, co wynikało z założonego wykorzystania tylko obszaru dodatnich przyspieszeń.

Charakterystyki przedstawione na rys. 4 ukazują między innymi możliwości ilościowej i jakościowej oceny wpływu rodzaju paliwa na emisję składników spalin i zużycie paliwa obliczane z bilansu węgla.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładową warstwicową charakterystykę dynamiczną emisji HC dla zasilania samochodu benzyną w systemie MPI, wykonaną dla pełnego zakresu przyspieszeń uzyskiwanych w testach (rys. 3). Należy zwrócić uwagę na występujące na rys. 5 znaczące wartości natężenia emisji w obszarze hamowania silnikiem, a więc



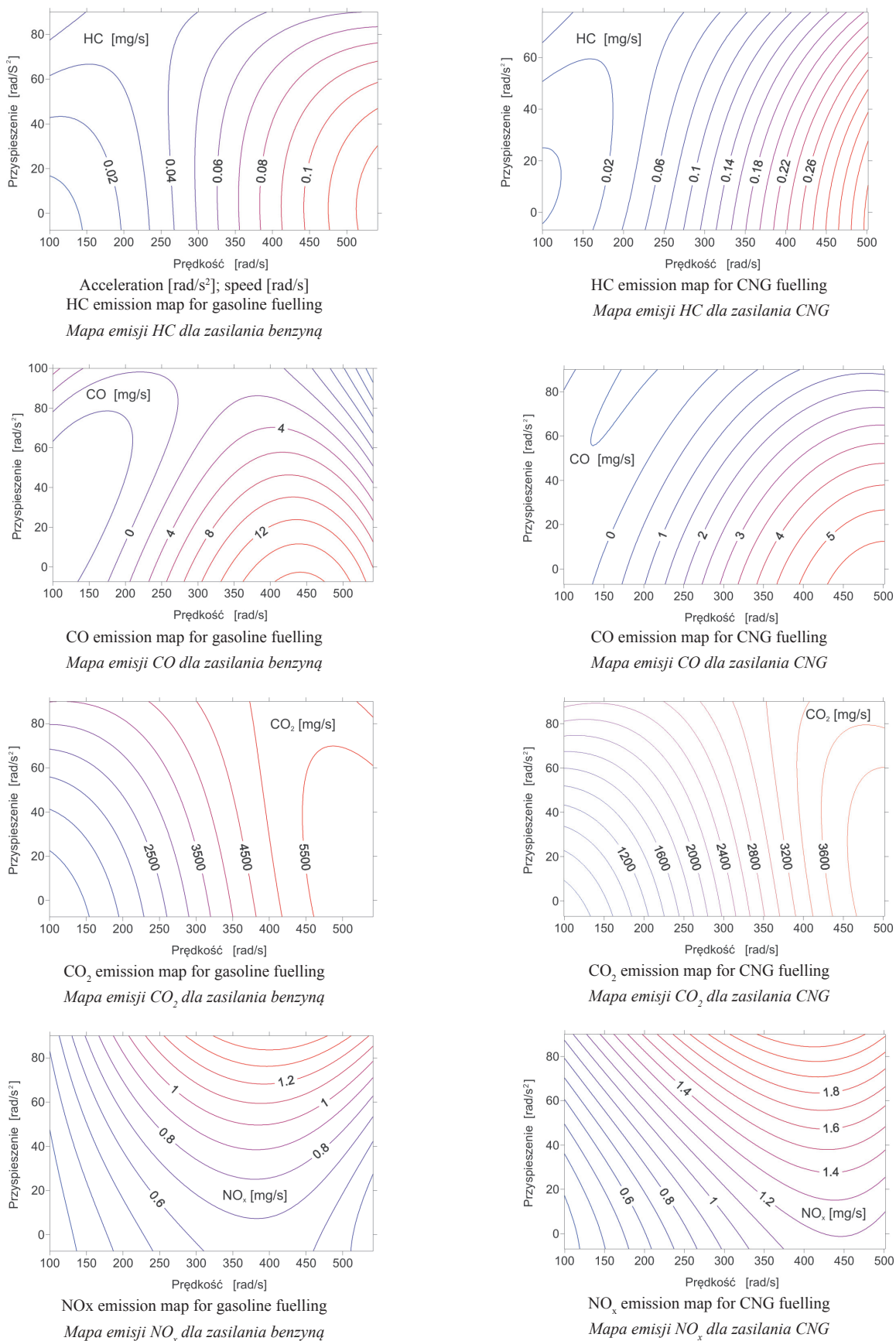
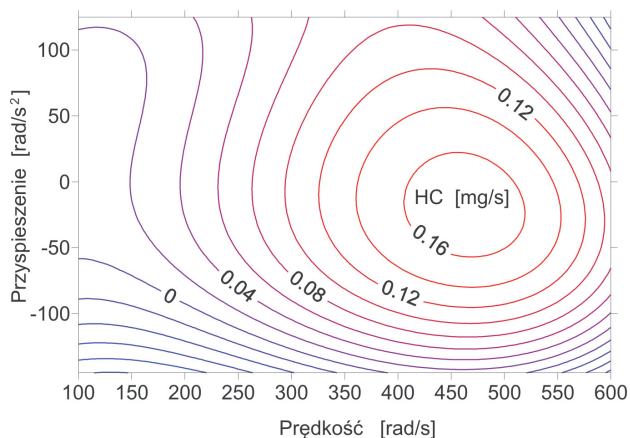


Fig. 4. Dynamic characteristics of exhaust gas components for fuelling the engine with gasoline and CNG for the vehicle examined  
 Rys. 4. Charakterystyki dynamiczne emisji składników spalin dla zasilania silnika benzyną i CNG dla samochodu przyjętego do badań



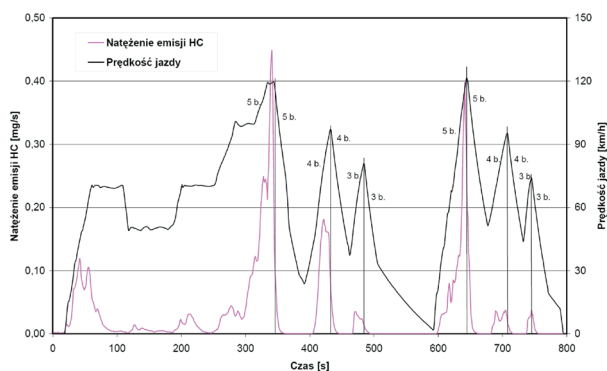
Acceleration [rad/s<sup>2</sup>]; speed [rad/s]

Fig. 5. Isohyse graph of HC emission during the NEDC and FTP-75 road tests with gasoline fuelling in the function of speed and angular acceleration of the engine crankshaft – grade III approximation

Rys. 5. Wykres warstwiczny emisji węglowodorów HC podczas realizacji testów jezdnych NEDC i FTP-75 przy zasilaniu benzyną w funkcji prędkości i przyspieszenia kątowego wału korbowego silnika – aproksymacja III stopnia

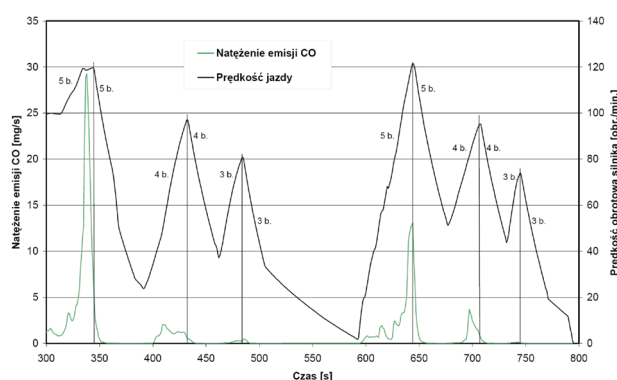
przy ujemnych przyspieszeniach. Podobne zjawiska zaobserwowano dla charakterystyk dynamicznych emisji pozostałych składników spalin. W celu lepszego poznania i wyjaśnienia emisji w tym obszarze obciążeń podjęto badania, których wyniki przedstawiono w niniejszym artykule.

Aby określić wpływ opóźnień na emitowane składniki spalin, zrealizowano test jezdny EUDC, po którym bezpośrednio przyspieszono do prędkości 500 rad/s i hamowano silnikiem na biegach: III, IV i V. Uzyskany profil prędkości przedstawiono na rys. 6–9. W trakcie testu prowadzono analizę modalną emitowanych składników spalin. Już pobieżna analiza uzyskanych wyników pozwala na stwierdzenie, że emisja przy hamowaniu silnikiem jest zjawiskiem rzeczywistym i nie wynika jedynie z przyjętego algorytmu aproksymacji charakterystyk dynamicznych. Można też zauważyć, że emisja ta zanika po pewnym czasie trwania opóźnienia. Obliczone z natężeń emisji ilości wyemitowanych składników spalin dla założonego profilu prędkości przedstawiono na rys. 10–13. Rysunki te stanowią graficzną informację ilości wyemitowanych czterech podstawowych składników spalin w [mg], w zależności od osiągniętych opóźnień od



Legend: HC emission intensity [mg/s]; cruising speed [km/h]; time [s]  
Fig. 6. HC emission intensity course in the function of time for assumed speed profile

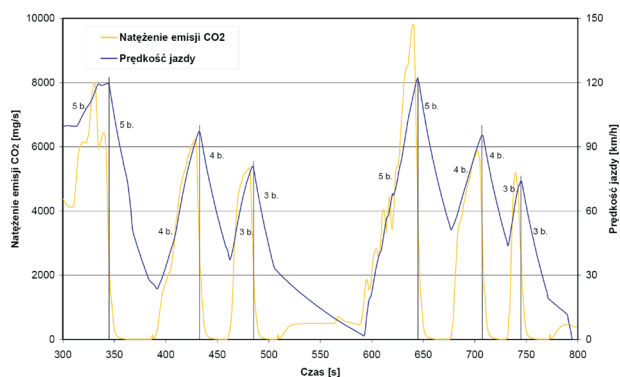
Rys. 6. Przebieg natężenia emisji HC w funkcji czasu dla założonego profilu prędkości



Legend: CO emission intensity [mg/s]; cruising speed [km/h]; engine speed [rpm]

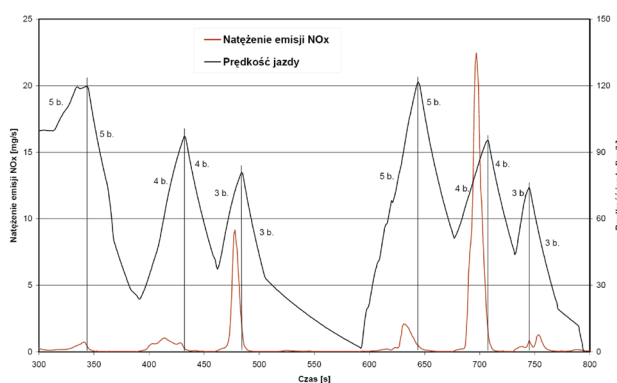
Fig. 7. CO emission intensity course in the function of time for assumed speed profile

Rys. 7. Przebieg natężenia emisji CO w funkcji czasu dla założonego profilu prędkości



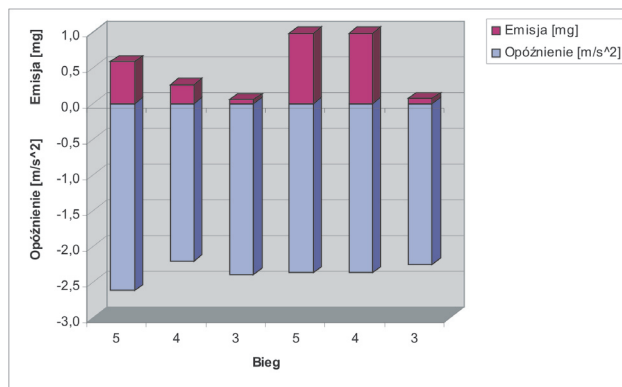
Legend: CO<sub>2</sub> emission intensity [mg/s]; cruising speed [km/h]; time [s]  
Fig. 8. CO<sub>2</sub> emission intensity course in the function of time for the assumed speed profile

Rys. 8. Przebieg natężenia emisji CO<sub>2</sub> w funkcji czasu dla założonego profilu prędkości



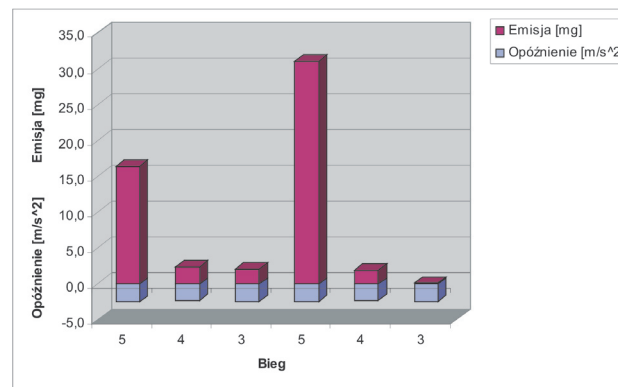
Legend: NO<sub>x</sub> emission intensity [mg/s]; cruising speed [km/h]; time [s]  
Fig. 9. NO<sub>x</sub> emission intensity course in the function of time for the assumed speed profile

Rys. 9. Przebieg natężenia emisji NO<sub>x</sub> w funkcji czasu dla założonego profilu prędkości



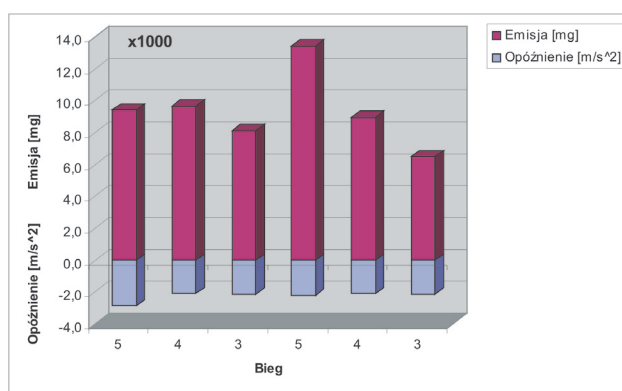
legend: delay [m/s<sup>2</sup>]; emission [mg], gear  
Fig. 10. HC emission levels in the function of delays on gears III, IV and V

Rys. 10. Poziomy emisji HC w funkcji opóźnień na biegach III, IV i V



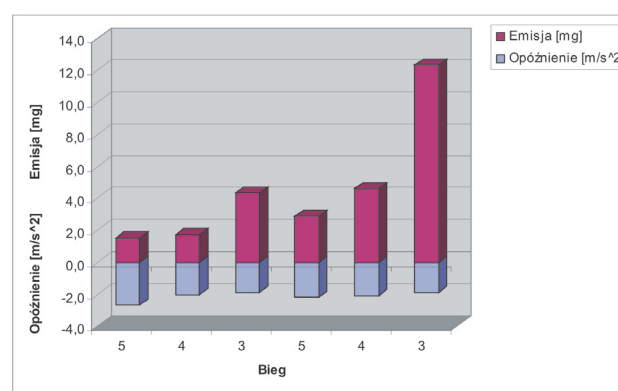
legend: delay [m/s<sup>2</sup>]; emission [mg], gear  
Fig. 11. Poziomy emisji CO w funkcji opóźnień na biegach III, IV i V

Rys. 11. Poziomy emisji CO w funkcji opóźnień na biegach III, IV i V



legend: delay [m/s<sup>2</sup>]; emission [mg], gear  
Fig. 12. CO<sub>2</sub> emission levels in the function of delays on gears III, IV and V

Rys. 12. Poziomy emisji CO<sub>2</sub> w funkcji opóźnień na biegach III, IV i V



legend: delay [m/s<sup>2</sup>]; emission [mg], gear  
Fig. 13. NO<sub>x</sub> emission levels in the function of delays on gears III, IV and V

Rys. 13. Poziomy emisji NO<sub>x</sub> w funkcji opóźnień na biegach III, IV i V

The speeds calculated from emission intensities of the quantity of exhaust gas components emitted for the assumed speed profile are presented in Fig. 10–13. The drawings represent the graphic information on the quantity of the four basic exhaust gas components [mg], depending on the delays obtained since the initiation of the engine braking (taking foot off the accelerator). The sequence of the pillars in Fig. 10–13 corresponds to that of the measurements.

### 3. Summary

The tests carried out showed that the exhaust gas component emission during engine braking is a real phenomenon, not just the result of the assumed algorithm of dynamic characteristic approximation.

The causes of this phenomenon can be found in:

- Rapid drop of the catalytic reactor efficiency during complete engine braking,
- High inertia of the exhaust gases in the combustion engine exhaust system,
- Assumed methodology of measuring of the tailpipe exhaust gas composition.

momentu rozpoczęcia hamowania silnikiem (zdjęcia nogi z pedału przyspieszenia). Kolejność słupków na rys. 10–13 odpowiada kolejności pomiarów.

### 3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że emisja składników spalin przy hamowaniu silnikiem jest zjawiskiem rzeczywistym, niewynikającym jedynie z przyjętego algorytmu aproksymacji charakterystyk dynamicznych.

Przyczyn tego zjawiska można doszukiwać się w:

- gwałtownym spadku sprawności reaktora katalitycznego przy pełnym hamowaniu silnikiem,
- dużej bezwładności spalin w układzie wylotowym silnika spalinowego,
- przyjętej metodyce pomiarów składu spalin na końcu układu wylotu spalin.

Oceniając ilości wyemitowanych składników spalin przy hamowaniu silnikiem na poszczególnych biegach, można stwierdzić, że:

- największe ilości tlenków azotu są emitowane przy hamowaniu silnikiem na III biegu, a najmniejsze na V biegu (rys. 13),

- While estimating the quantities of the emitted exhaust gas components during engine braking on the particular gear units, the following can be found:
- The highest NO<sub>x</sub> emissions occur at engine braking in the third gear and the lowest – in the fifth gear, (Fig. 13),
- The highest CO<sub>2</sub> emissions occur at engine braking in the 5th gear, while the lowest – in the third gear (Fig. 12),
- The amount of CO emitted in the fifth gear is several times higher than the emissions in the fourth and third gears,
- The amount of CO emitted during engine braking in the 5th gear exceeds the emissions in the four and the third gears (Fig. 11),
- the amount of HC emitted is the highest in the 4th and the 5th gears (Fig. 10).

The emission occurring under dynamic engine braking conditions fades after significant period of time, however, the phenomenon found distorts the calculation of the momentary fuel consumption, based on the carbon balance in the exhaust gases.

Considering the emissions during engine braking in the computer simulation, shall allow a complete simulation for the assumed course of speed profile, with the assumption that the times when acceleration occurs (either positive or negative), will be close to those appearing in the NEDC and FTP-75 tests. In the next publication, currently under preparation, the author will present the results of a computer simulation of exhaust gas component emissions and fuel consumption for the assumed vehicle cruise scenario:

- driving with assumed fixed speed,
- uphill driving with fixed speed and assumed acceleration profile,
- engine braking on a flat surface and downhill.

The said simulations will be carried out for alternative gasoline/CNG fuelling of the engine of the same vehicle. Thus, the possibilities of assessment of the impact of the type of fuel on the exhaust gas component emissions and power demand will be indicated.

- największe ilości dwutlenku węgla są emitowane przy hamowaniu silnikiem na V biegu, zaś najmniejsze na III biegu (rys. 12),
- ilość wyemitowanego tlenu węgla przy hamowaniu silnikiem na V biegu wielokrotnie przewyższa emisję na IV i III biegu (rys. 11),
- ilość wyemitowanych węglowodorów jest największa na IV i V biegu (rys.10).

Występująca emisja w dynamicznych warunkach hamowania silnikiem zanika po znacznym czasie, jednak stwierdzone zjawisko wprowadza zniekształcenia przy obliczaniu chwilowego zużycia paliwa na podstawie bilansu węgla w spalinach.

Uwzględnienie w symulacji komputerowej emisji przy hamowaniu silnikiem pozwoli na pełną symulację dla przyjętego przebiegu profilu prędkości przy założeniu, że czasy występowania przyspieszeń (zarówno dodatnich, jak i ujemnych) będą zbliżone do występujących w testach NEDC i FTP-75. W kolejnej, przygotowywanej publikacji autor przedstawi wyniki symulacji komputerowej emisji składników spalin i zużycia paliwa dla założonego scenariusza ruchu samochodu:

- jazda z założoną stałą prędkością,
- jazda pod wzniesienie ze stałą prędkością i z założonym profilem przyspieszeń,
- hamowanie silnikiem na poziomej nawierzchni i przy zjeździe ze wzniesienia.

Wspomniane symulacje będą przeprowadzone dla alternatywnego zasilania silnika tego samego samochodu benzyną i gazem CNG. Tym samym będą wskazane możliwości oceny wpływu rodzaju paliwa na emisję składników spalin i zapotrzebowanie na energię.

*Artykuł recenzowany*

## Bibliography/Literatura

- [1] Bielaczyc P., Szczotka A.: Analiza emisji związków szkodliwych spalin w początkowym okresie po rozruchu silnika ZI samochodu zasilanego alternatywnie benzyną i CNG, Zeszyty Naukowe BOSMAL nr 19 (III/2002).
- [2] Bielaczyc P., Merksiz J., Pielecha J.: Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych, 2001, Press of TU Poznań.
- [3] Haan P., Keller M.: Emission factors for passenger cars: application of instantaneous emission modeling, Atmospheric Environment, vol. 34, 2000.
- [4] Gronowicz J.: Ochrona środowiska w transporcie lądowym. Wydawnictwo Poznań- Radom 2003.
- [5] Gasper W., Koss A. et al.: Die neue Motorenbaureihe von Ford für den Einsatz in Schwellenländern, MTZ, 11/1999.
- [6] Pandit G.P.: Alternative fuels in future vehicles, Automotive Engineering nr 1/1996.
- [7] Directive 98/69/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 1998. Official Journal L 350/1, 28.12.1998.
- [8] Brzozowski K., Romaniszyn K.M.: An effective method of creating dynamic characteristics using drive tests, The Archive of Mechanical Engineering, 4/2003, vol. L.
- [9] Chłopek Z.: Sterowanie ruchu pojazdów w miastach ze względu na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń, Materiały IV Ogólnopolskiej Konferencji „Pojazd a środowisko”, Radom 2003.
- [10] Brzozowski K., Romaniszyn K.M.: Wyznaczanie charakterystyk dynamicznych zużycia paliwa i emisji związków szkodliwych spalin w oparciu o badania na hamowni podwoziowej, Materiały IV Ogólnopolskiej Konferencji „Pojazd a środowisko”, Radom 2003.
- [11] Kosma Z.: Metody numeryczne dla zastosowań inżynierskich, WNT, Warszawa 1998.
- [12] Nowak A., Romaniszyn K.M.: Analiza wpływu parametrów ruchu pojazdu na zużycie paliwa i emisję zanieczyszczeń przy przejeździe przez Bielsko-Białą, Zeszyty Naukowe BOSMAL nr 23 (I/2004).

Mr Kazimierz Maria Romaniszyn, DSc MEng – Professor at the University of Bielsko-Biala and the Automotive R&D Center Bosmal in Bielsko-Biala.

*Dr hab. inż. Kazimierz Maria Romaniszyn – profesor Akademii Techniczno-Humanistycznej i OBR Bosmal w Bielsku-Białej.*

