

## **EXAMINATION OF POLLUTANT EMISSIONS FROM A CAR WITH HYBRID POWERTRAIN**

**Zdzisław Chłopek**

*Warsaw University of Technology  
ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Poland  
tel./fax: +48 22 8490314  
e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl*

**Wojciech Bardziński**

*Automotive Industry Institute  
ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 8111421, fax: +48 22 8116028  
e-mail: w.bardzinski@pimot.org.pl*

**Marek Jarczewski**

*Automotive Industry Institute  
ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 8111421, fax: +48 22 8116028  
e-mail: m.jarczewski@pimot.org.pl*

**Hubert Sar**

*Automotive Industry Institute  
ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 8111421, fax: +48 22 8116028  
e-mail: bls@pimot.org.pl*

**Łukasz Akszak–Okińczyc**

*TOYOTA Włochy SJ  
e-mail: Lukasz.Okinczyc@toyota.waw.pl*

### **Abstract**

*The authors have presented results of examination of emissions from the engine of Prius II with hybrid drive. The testing has been carried out on chassis dynamometer in conditions simulating real operation of the car: both official certification tests (European ECE R83 and American: FTP-75 and HWFET) and special tests (Stop and Go and Autobahn) have been carried out. Features of emissions have been determined in relation with the average speed of the car during the testing. These features have been compared to the features determined during simulation tests of a standard car from the environment friendly class EURO 4.*

*Essential elements of the paper are statements that there are apparent stabilization of working conditions of the combustion engine in condition dynamic, and in effect there is a considerable decreasing of emission level constituents of exhaust gases and fuel consumption (the most distinct effect is apparent in the case of carbon monoxide emission), very significant advantages are from of hybrid powertrain application in condition of variable driving speeds, first of all in condition of the driving with small average speeds, meeting movement in centres of municipal emissions where impurities and the fuel consumption in driving tests are dependent from the degree preliminary battery loading, whereas parameters emission of impurities can be treated or as regulatory for the degree of initial loading of the battery, or random.*

**Keywords:** *vehicles, hybrid powertrain, combustion engines, exhaust gases emission, fuel consumption*

## BADANIA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ Z SAMOCHODU Z NAPĘDEM HYBRYDOWYM

### Streszczenie

Autorzy przedstawili wynik badań emisji od silnika Prius II z hybrydą hybrydowym. Testy były wykonane na dynamometrze podwoziowym w warunkach symulujących rzeczywistą eksploatację samochodu: zarówno w oficjalnych certyfikowanych testach (europejski ECE R83 i amerykański: FTP 75 i HWFET) jak i testach specjalnych (Zatrzymaj i Jedź i Autostrada). Parametry emisji zostały określone – w stosunku do średniej prędkości samochodu w czasie testowania. Te parametry zostały porównane z parametrami określonymi podczas testów symulacji standardowego samochodu klasy EURO 4 przyjaznego środowiska naturalnemu.

Istotne elementy artykułu, to stwierdzenia, że występuje widoczna stabilizacja warunków pracy silnika spalinowego w warunkach dynamicznych, a w konsekwencji następuje znaczne zmniejszenie poziomu emisji składników spalin oraz zużycia paliwa (najbardziej wyraźny efekt jest widoczny w wypadku emisji tlenku węgla), bardzo znaczące korzyści przynosi zastosowanie napędu hybrydowego w warunkach zmiennych prędkości jazdy, przede wszystkim w warunkach jazdy z małymi prędkościami średnimi, odpowiadających ruchowi w ośrodkach miejskich, gdzie emisja zanieczyszczeń oraz zużycie paliwa w testach jezdnych są zależne od stopnia wstępnego naładowania akumulatora, natomiast charakterystyki emisji zanieczyszczeń można traktować albo jako regulacyjne ze względu na stopień wstępnego naładowania akumulatora, albo przypadkowe.

**Słowa kluczowe:** pojazdy samochodowe, napędy hybrydowe, silnik spalinowy emisja spalin, zużycie paliwa

### 1. Wstęp

Rozwój samochodów, traktowany jako środek do poprawy ich jakości, napotyka na granice związane z prawami natury. Jedną z wyraźnych konsekwencji tych granic jest trudność w osiągnięciu znaczącej poprawy sprawności napędów samochodów w warunkach dynamicznych, co ogranicza możliwość zmniejszenia zużycia paliwa i – w konsekwencji zużywania paliw kopalnych zawierających węgiel – emisji globalnej dwutlenku węgla, podstawowego gazu odpowiedzialnego za zjawisko cieplarniane w atmosferze [1].

Jedną z podstawowych możliwości poprawy sprawności napędów samochodów w warunkach dynamicznych jest zastosowanie napędów hybrydowych [1].

Napędy hybrydowe stanowią kombinacje:

- przetworników energii (z co najmniej jednym silnikiem),
- akumulatorów energii,
- układów przeniesienia energii.

Przetwornikiem energii jest urządzenie, w którym zachodzi zamiana rodzaju energii, np. w ogniwie paliwowym energia chemiczna na energię elektryczną. Silnikiem jest urządzenie zamieniające na energię ruchu (mechaniczną energię kinetyczną) inny rodzaj energii (np. silniki elektryczne, ciepłe, wiatrowe itp.).

Przetwornikami energii znajdującymi zastosowanie w napędach hybrydowych są:

- tłokowe silniki spalinowe: o zapłonie iskrowym i o zapłonie samoczynnym,
- turbinowe silniki spalinowe,
- silniki elektryczne,
- ogniwa paliwowe.

Akumulatorami energii stosowanymi w napędach hybrydowych mogą być:

- akumulatory energii kinetycznej – koła zamachowe,
- akumulatory energii potencjalnej – akumulatory:
  - elektryczne,
  - pneumatyczne,
  - hydrauliczne.

Kombinacje elementów napędu hybrydowego występują w układach:

- szeregowym,
- równoległym,
- mieszanym.

Najważniejszymi zaletami napędów hybrydowych są:

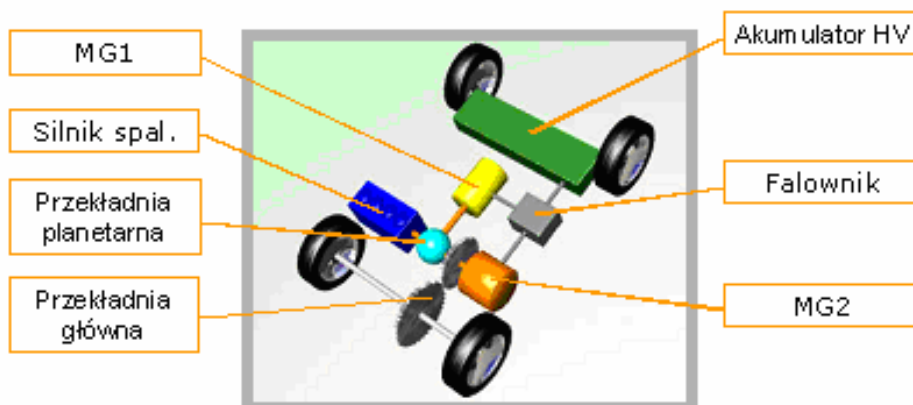
- możliwość pracy silnika w warunkach optymalnych ze względu na przewidywane cele:
  - energetyczne,
  - ekonomiczne,
  - ekologiczne.
- ograniczenie udziału stanów dynamicznych w pracy silnika spalinowego,
- możliwość odzyskiwania części energii hamowania,
- indywidualny napęd i hamowanie kół jezdnych.
- możliwość ograniczenia zespołów mechanicznych w układach przeniesienia energii.
- możliwość zastosowania różnych sposobów sterowania układu hybrydowego ze względu na różne cele:
  - tylko napęd elektryczny w obszarach chronionych ekologicznie,
  - jednoczesne wykorzystywanie mocy silnika elektrycznego i np. spalinowego w warunkach dużego zapotrzebowania na moc: przyspieszania pojazdu, jazdy z maksymalną prędkością czy jazdy pod górę itp.

W pracy podjęto zadanie zbadania emisji zanieczyszczeń z silnika samochodu z napędem hybrydowym w warunkach symulujących użytkowanie trakcyjne, a więc również w warunkach znacznie odbiegających od testów homologacyjnych.

## 2. Wyniki badań samochodu Prius na hamowni podwoziowej

Badania samochodu osobowego Prius II z napędem hybrydowym zostały wykonane na hamowni podwoziowej w Laboratorium Badań Silników Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie. Schemat napędu samochodu Prius II przedstawiono na rysunku 1 [2].

Badania samochodu przeprowadzono na hamowni podwoziowej typu EMDY 48 firmy Schenck–Komeg z jedną rolką o średnicy 48" (rysunek 2).



Rys. 1. Schemat napędu samochodu Prius II (MG – maszyna elektryczna)  
 Fig. 1. A diagram of Prius II hybrid powertrain (MG – the electric machine/engine)

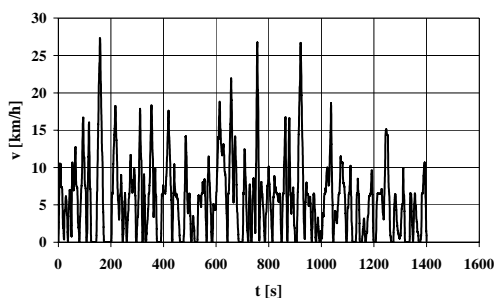


Rys. 2. Samochód Prius II z napędem hybrydowym na hamowni podwoziowej  
 Fig. 2. Prius II with hybrid powertrain on chassis dynamometer

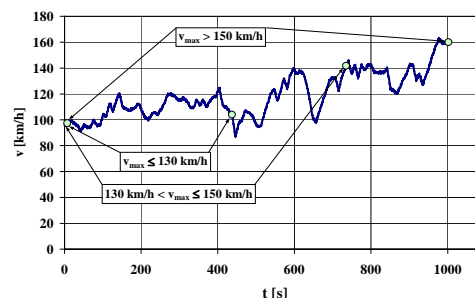
Do poboru spalin do analizy zastosowano układ CVS-7300 firmy Horiba (constant volume sampling – o stałym natężeniu przepływu). Do pomiaru stężeń rozcieńczonych powietrzem składników spalin został wykorzystany zestaw analizatorów MEXA 7200 firmy Horiba. Program badań oraz akwizycja wyników badań i ich przetwarzanie były realizowane pod nadzorem układu VETS-7000 firmy Horiba.

Badania przeprowadzono w warunkach testów homologacyjnych:

- testu europejskiego do oceny emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa – zgodnego z regulaminem ECE R 83; test ten składa się z testu jazdy w miastach UDC (urban drive cycle) oraz testu jazdy poza miastami EUDC (extra urban drive cycle) [1],
- testu federalnego Stanów Zjednoczonych FTP-75 oceny emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa [1],
- testu federalnego Stanów Zjednoczonych do oceny zużycia paliwa HWFET (highway federal extra test) [1] oraz testów specjalnych (rysunki 3 i 4):
- testu Stop and Go [1] – do oceny emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa samochodów w warunkach znacznego utrudnienia ruchu (kongestii), tzw. „korków ulicznych”,
- testu Autobahn [1] – do oceny emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa samochodów w warunkach jazdy na autostradach i trasach szybkiego ruchu.

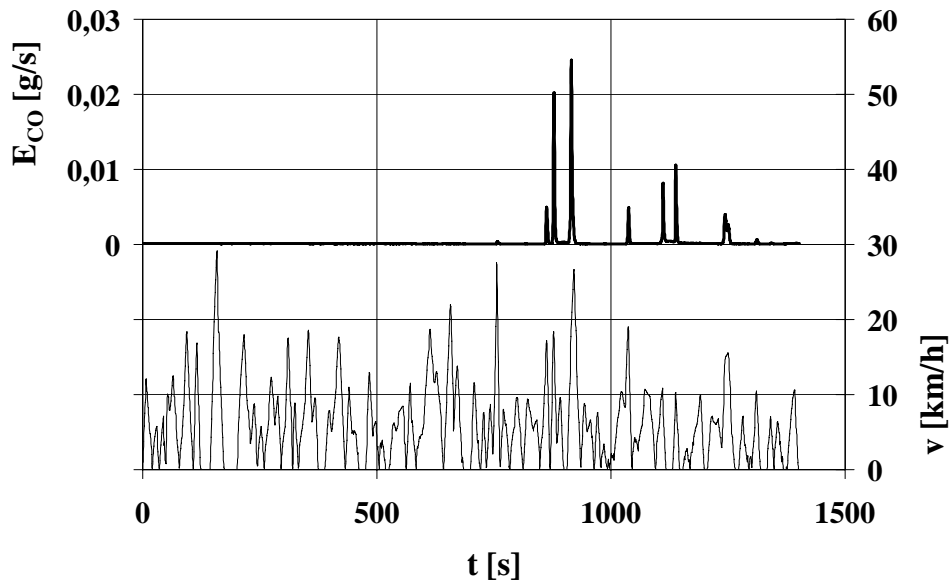


Rys. 3. Test Stop and Go  
 Fig. 3. The Stop and Go test

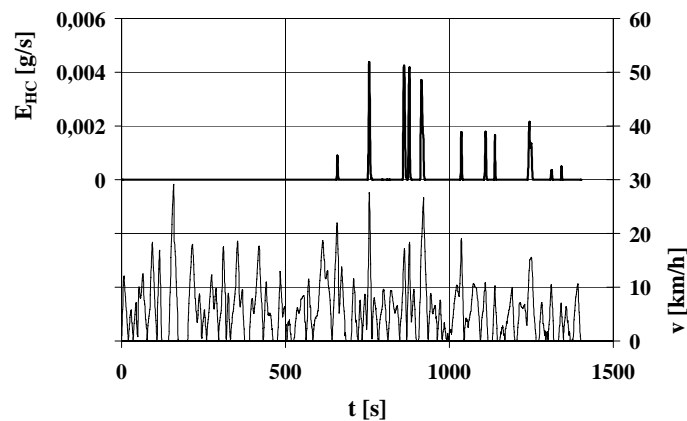


Rys. 4. Test Autobahn  
 Fig. 4. The Autobahn test

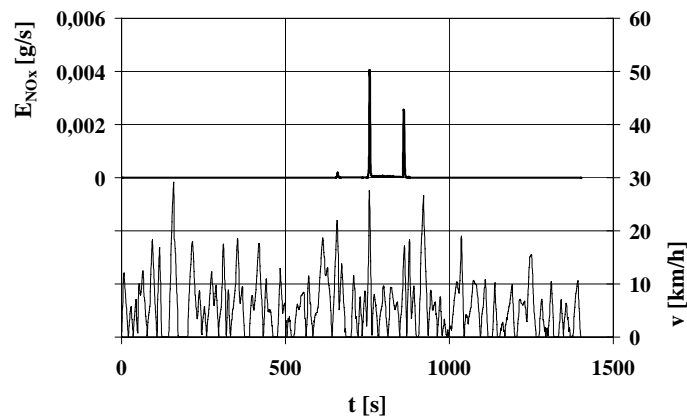
Na rysunkach 5 – 8 przedstawiono przykładowo przebiegi natężenia emisji zanieczyszczeń w teście Stop and Go na tle przebiegu prędkości.



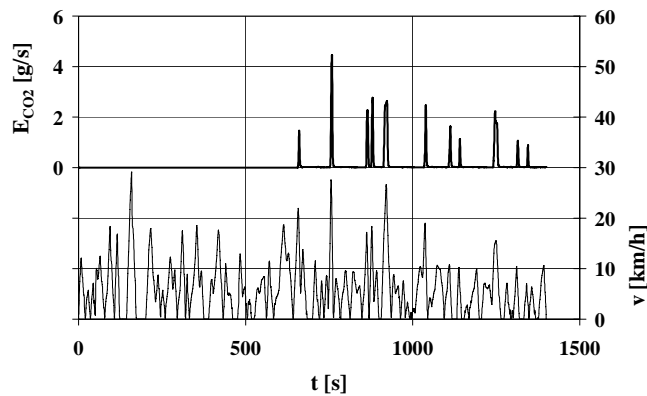
Rys. 5. Przebieg prędkości samochodu i natężenia emisji tlenku węgla w teście Stop and Go  
Fig. 5. Car speed and emission intensity of carbon monoxide during a test Stop and Go



Rys. 6. Przebieg prędkości samochodu i natężenia emisji węglowodorów w teście Stop and Go  
Fig. 6. Car speed and emission intensity of hydrocarbons during a test Stop and Go



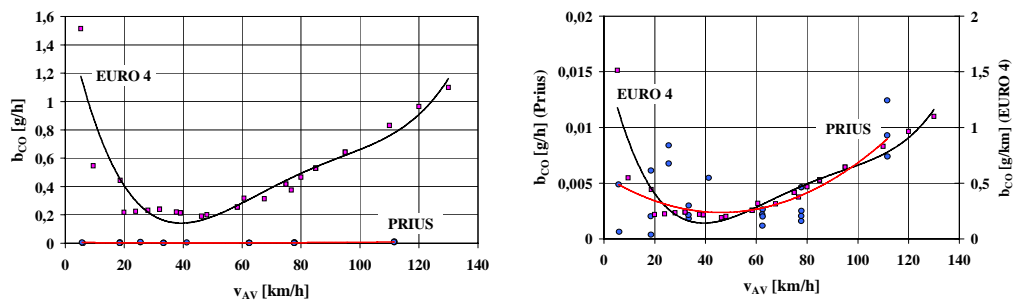
Rys. 7. Przebieg prędkości samochodu i natężenia emisji tlenków azotu w teście Stop and Go  
Fig. 7. Car speed and emission intensity of nitrogen oxides during a test Stop and Go



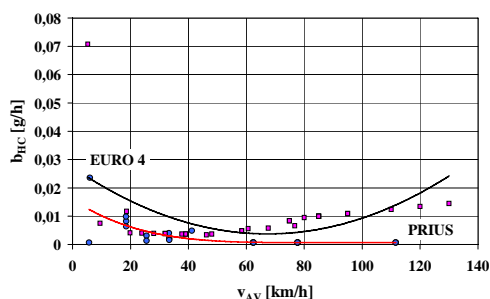
Rys. 8. Przebieg prędkości samochodu i natężenia emisji dwutlenku węgla w teście Stop and Go  
 Fig. 8. Car speed and emission intensity of carbon dioxide during a test Stop and Go

Do ilustracji zachowania się samochodu z napędem hybrydowym celowo wybrano test, w którym akumulator samochodu był w pełni naładowany. Jak widać, silnik spalinowy praktycznie dopiero po około 700 s zaczął być wykorzystywany do przyspieszania. Dla niższych stopni naładowania akumulatora efekt ten nie jest aż tak znaczny, jednak – mimo wszystko – stabilizacja warunków pracy silnika spalinowego jest wyraźna.

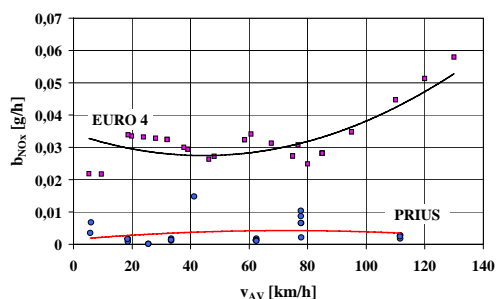
Na rysunkach 9 – 12 przedstawiono porównanie emisji drogowej zanieczyszczeń z samochodu Prius i typowego samochodu kategorii EURO 4. Zależności dla samochodu Prius otrzymano z badań w poszczególnych testach jezdnych, natomiast charakterystyki dla typowego samochodu kategorii EURO 4 zostały wyznaczone z zastosowaniem baz danych zawartych w oprogramowaniu INFRAS AG [3].



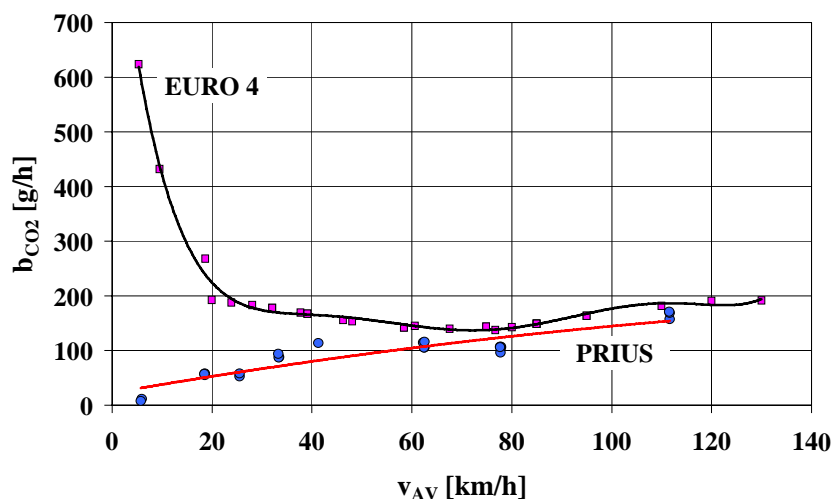
Rys. 9. Porównanie emisji drogowej tlenku węgla z samochodu Prius i typowego samochodu kategorii EURO 4 (z prawej strony z osobną skalą dla emisji drogowej tlenku węgla dla samochodu Prius)  
 Fig. 9. A comparison between specific distance emission of carbon oxide from Prius and from a standard car of the class EURO 4 (on the right hand side, a separate scale for specific distance emission of carbon oxide for Prius)



Rys. 10. Porównanie emisji drogowej węglowodorów z samochodu Prius i typowego samochodu kategorii EURO 4  
 Fig. 10. A comparison between specific distance emission of hydrocarbons from Prius and from a standard car of the class EURO 4



Rys. 11. Porównanie emisji drogowej tlenków azotu z samochodu Prius i typowego samochodu kategorii EURO 4  
 Fig. 11. A comparison between specific distance emission of nitrogen oxides from Prius and from a standard car of the class EURO 4



Rys. 12. Porównanie emisji drogowej dwutlenku węgla z samochodu Prius i typowego samochodu kategorii EURO 4

Fig. 12. A comparison between specific distance emission of carbon dioxide from Prius and from a standard car of the class EURO 4

Skutek zastosowania napędu hybrydowego do samochodu jest bardzo wyraźnie widoczny na charakterystykach 9 – 12. Szczególnie wyraźna w samochodzie Prius jest bardzo mała emisja tlenku węgla oraz ogólnie znaczna poprawa właściwości ekologicznych w zakresie małych prędkości średnich.

### 3. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań samochodu z napędem hybrydowym (również tych, których wyniki nie mogły być przedstawione w niniejszej pracy ze względu na ograniczenia objętości publikacji) można sformułować następujące wnioski:

1. Bardzo wyraźnie jest widoczna stabilizacja warunków pracy silnika spalinowego w warunkach dynamicznych w przeprowadzanych testach jezdnych. W konsekwencji tego następuje znaczne zmniejszenie się emisji składników spalin oraz zużycia paliwa. Najbardziej wyraźny efekt jest widoczny w wypadku emisji tlenku węgla.
2. Bardzo znaczące korzyści przynosi zastosowanie napędu hybrydowego w warunkach znacznego nieustabilizowania prędkości jazdy, przede wszystkim w warunkach jazdy z małymi prędkościami średnimi, odpowiadających ruchowi w centrach miejskich. Są to warunki szczególnie uciążliwe dla ludzi i ich środowiska ze względu na duże natężenia ruchu pojazdów oraz dużą gęstość przebywania ludzi.
3. Emisja zanieczyszczeń oraz zużycie paliwa w testach jezdnych są zależne od wstępnego stopnia wstępnego naładowania akumulatora. Charakterystyki emisji zanieczyszczeń można zatem traktować albo jako regulacyjne ze względu na stopień wstępnego naładowania akumulatora, albo tę wielkość uznawać za przypadkowe warunki pracy napędu hybrydowego i – w konsekwencji – stosować do badań metody stochastyczne. Ten drugi sposób potraktowania problemu odpowiada rzeczywistej eksploatacji samochodu w warunkach użytkowania trakcyjnego.

### Podziękowanie

Autorzy wyrażają podziękowanie kierownictwu Toyota Włochy SJ za udostępnienie do badań samochodu Prius.

## **Literatura**

- [1] Chłopek, Z., *Pojazdy samochodowe – Ochrona środowiska naturalnego*. WKŁ. Warszawa 2002.
- [2] *Pius – samochód z napędem hybrydowym spalinowo–elektrycznym*. Materiały firmy Toyota.
- [3] *INFRAS AG, Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs*, Version 2.1, Bern 2004.