

# System *Stop & Go* w układzie napędowym mild hybrid

Rafał Setlak, Marcin Fice, Arnold Gałązka

Zastosowanie napędów typu Mild Hybrid pozwala na spełnienie coraz ostrzejszych norm czystości spalin dla nowych pojazdów. Niskie nakłady inwestycyjne przy budowie tego systemu mogą spowodować, że takie układy będą montowane w coraz większej liczbie samochodów. System ten najlepiej sprawdza się w mieście, gdzie specyfika ruchu wymusza częste postoje samochodów.

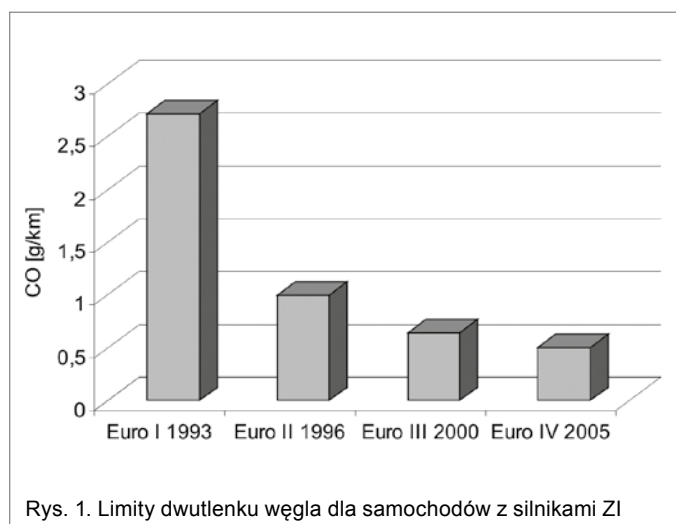
Polityka Unii Europejskiej w zakresie emisji CO<sub>2</sub> opiera się na raportach IPCC. Normy Euro ustanawiane przez Unię Europejską dla wszystkich pojazdów z silnikami spalinowymi (ZI i ZS) wymuszają kontrolę emitowanych przez nie spalin, w których wyróżnia się następujące składniki cząstek spalin: tlenek węgla CO, węglowodory i ich pochodne HC, tlenki azotu NOx, cząstki stałe PM.

## Cel projektu i metodyka badań

Celem projektu było opracowanie koncepcji i algorytmu działania systemu *Stop & Go* w napędzie Mild Hybrid dla wybranego samochodu oraz przeprowadzenie badań cykli jezdnych. Badania drogowe miały na celu wyznaczenie realnych, a następnie określenie reprezentatywnych cykli jazdy pojazdów w wybranych miastach – Gliwicach i Zabrzu.

Wykonano pomiary procesu rozruchowego (pomiary i rejestracja przebiegów prądu oraz napięcia źródła zasilania i rozrusznika) wybranego silnika spalinowego zasilanego z akumulatora PbPbO<sub>2</sub> oraz superkondensatora.

Wyznaczano rzeczywiste charakterystyki zewnętrzne silnika samochodu Fiat Palio Weekend 1,2 8 V na potrzeby budowy modelu matematycznego pojazdu. Opracowano zakres modernizacji rozrusznika do badanego samochodu i wykonano projekt systemu *Stop & Go* dla Mild Hybrid sterowanego sygnałem kontrolki ładowania, prędkościomierza i pedału sprzęgła.



Rys. 1. Limity dwutlenku węgla dla samochodów z silnikami ZI

**Streszczenie:** Głównym celem przedsięwzięcia było zaprojektowanie systemu *Stop & Go* do napędu Mild Hybrid z wykorzystaniem superkondensatorów i rozrusznika z magnesami trwałymi. Wykonano wiele testów i badań do określenia rzeczywistych i reprezentatywnych cykli jezdnych w aglomeracji śląskiej. Wykonano testy i wykreślono charakterystyki rzeczywiste samochodu Fiat Palio Weekend 1,2 8 V. System *Stop & Go* został zaprojektowany i wykonany dla tego samochodu.

**Abstract:** The main goal of a project was to design a *Stop & Go* system in Mild Hybrid Drive using supercapacitor and starter with permanent magnets. Many researches and tests were done to determine real and representative cycles of drive in Silesian agglomeration. Researchers of real characteristics of the car Fiat Palio Weekend 1,2 8 V were done. The *Stop & Go* system was designed and built for this car.

## Rzeczywiste cykle jezdne

Do badań rzeczywistych cykli jazdy został wykorzystany samochód Fiat Palio, który został wyposażony w układ rejestracji danych Data Logger z układem GPS.

Do wyznaczenia reprezentatywnych cykli jazdy w wybranych aglomeracjach śląskich przeprowadzono szereg jazd próbnych, których celem było wyznaczenie natężenia ruchu w różnych porach dnia. Ostatecznie wybrano cztery trasy badawcze:

- Gliwice – Zabrze o długości 8,2 km – osiedle Kopernika i ulice: Toszecka, Bohaterów Getta Warszawskiego;
- Traugutta, Chorzowska i początek ulicy Wolności;
- Trasa Zabrze o długości 9,4 km – ulice: Wolności, Gen. De Gaulle'a, Roosevelta F., 3 Maja, Makoszowska i początek ulicy Legnickiej;
- Trasa Gliwice – centrum o długości 9,5 km – ulice: Bolesława Krzywoustego, Akademicka, Częstochowska, Jana Śliwki, Jasnogórska, Kościuszki, Jana Pawła II, Zwycięstwa, Dworcowa;
- Trasa Gliwice o długości 16,4 km – osiedla Kopernika i ulice: Toszecka, Bohaterów Getta Warszawskiego, Traugutta, Chorzowska, Knuruwska, Sikorskiego W., Kujawska, Błonie, Pszczyńska, Wrocławska, Akademicka, Bolesława Krzywoustego.

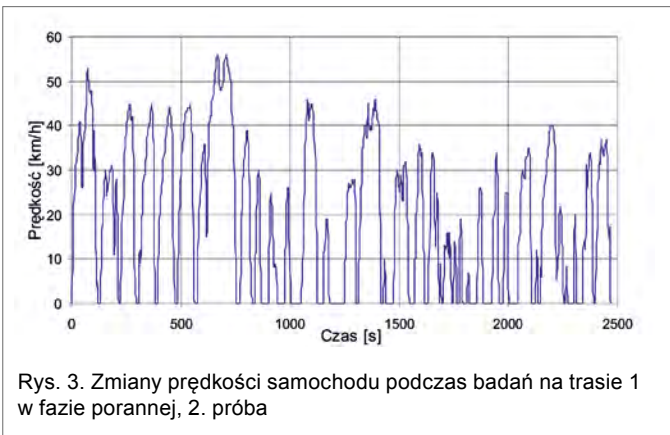
Przeprowadzono pomiary czasu jazdy, prędkości (rys. 3), długości trasy i obliczono przyspieszenia, opóźnienia i czasy postoju (rys. 4), co pozwoliło na opracowanie własnego cyklu reprezentatywnego. Pierwszy cykl opracowano dla Zabrza *Stop & Go* Zabrze, a drugi cykl został opracowany dla Gliwic *Stop & Go*



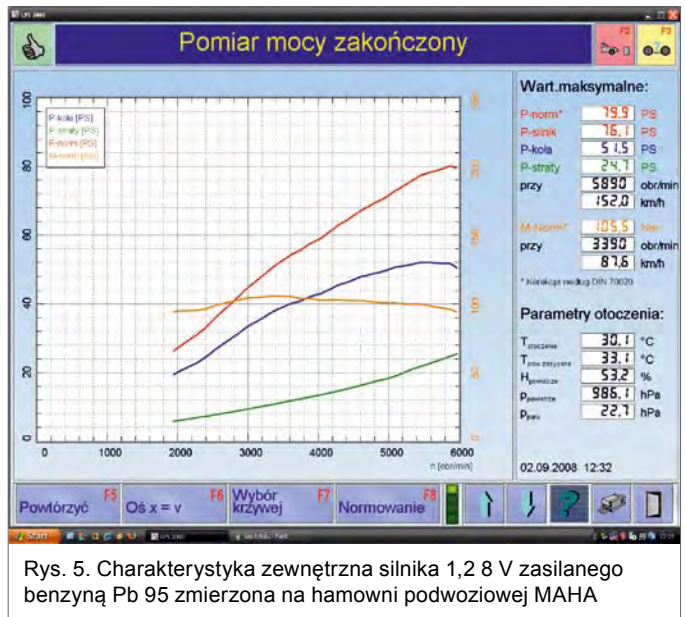
Fot. 2. Samochód wykorzystywany podczas badań cykli jazdy



Rys. 4. Procentowy udział fazy przyspieszenia, ustalonej, hamowania i postoju dla trasy 1 Gliwice – Zabrze



Rys. 3. Zmiany prędkości samochodu podczas badań na trasie 1 w fazie porannej, 2. próba



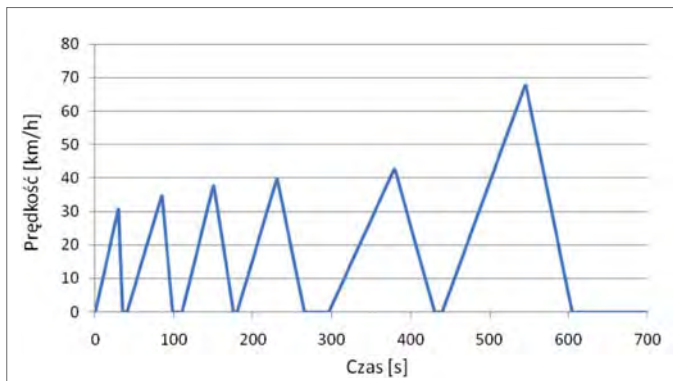
Rys. 5. Charakterystyka zewnętrzna silnika 1,2 8 V zasilanego benzyną Pb 95 zmierzona na hamowni podwoziowej MAHA

Gliwice. Na każdej z wybranych tras pomiary przeprowadzono trzykrotnie w różnych dniach i różnych porach dnia.

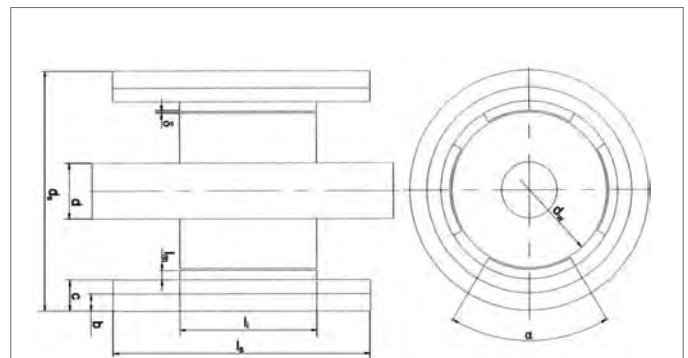
Zastosowanie systemu *Stop & Go* w napędzie Mild Hybrid pozwoli obniżyć czas pracy silnika nawet o 34% na badanej trasie nr 3, co w dalszej części pracy będzie przeliczane na ilość zaoszczędzonego paliwa, czyli opłacalność danego systemu.

Na potrzeby budowy modelu matematycznego pojazdu przeprowadzono badania charakterystyk rzeczywistych badanego samochodu. W tym celu przeprowadzono pomiary na hamowni podwoziowej MAHA dla zasilania samochodu benzyną bezołowiową Pb 95 oraz gazem LPG. Porównano następnie charakte-

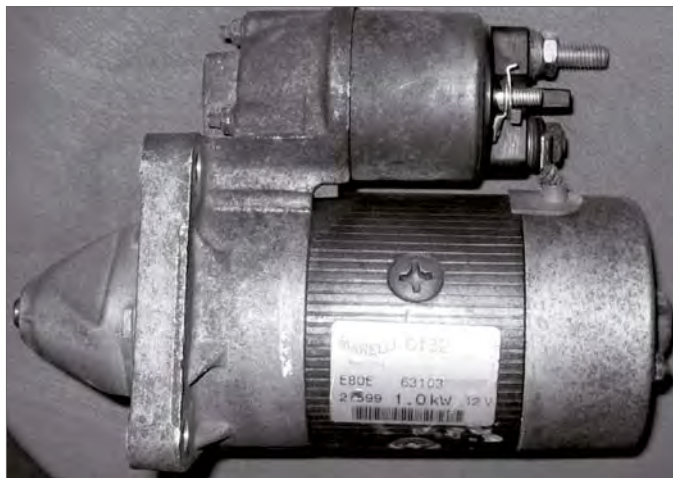
rystykę zewnętrzną silnika Fiata Palio Weekend 1,2 8 V podaną przez producenta z charakterystyką zewnętrzną otrzymaną na hamowni MAHA (rys. 5). Największy błąd względny (charakterystyki producenta i rzeczywista) otrzymano przy zasilaniu gazem LPG i wynosił 16%.



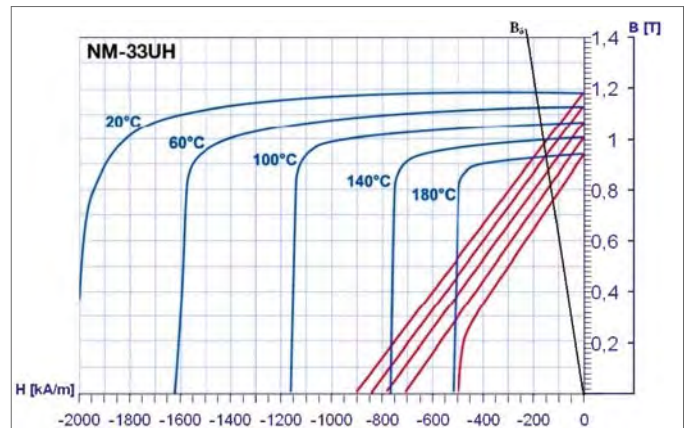
Rys. 6. Przebieg prędkości w cyklu jazdy dla Zabrza – cykl jezdny Stop&Go Zabrze



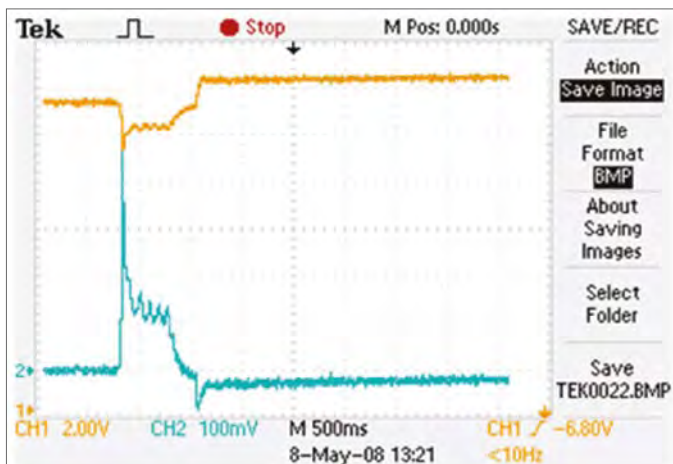
Rys. 9. Widok wirnika zmodernizowanego rozrusznika z magnesami trwałymi



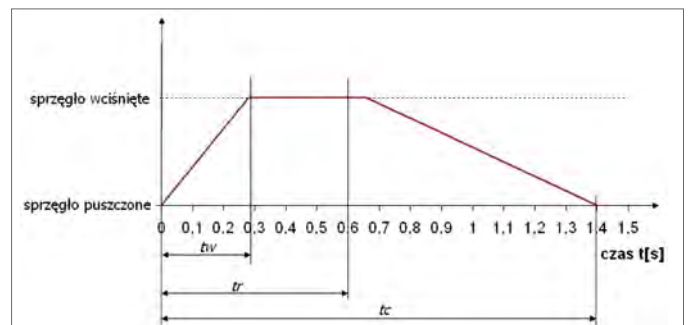
Fot. 7. Rozrusznik Magnetti Marelli-Denso E80E 12 V 1,0 kW



Rys. 10. Charakterystyka odmagnesowania magnesu neodymowego NdFeB N33UH  $B_r, J = f(H)$  oraz prosta szczeliny powietrznej



Rys. 8. Widok okna oscyloskopu podczas rozruchu silnika spalinowego z wykorzystaniem akumulatora



Rys. 11. Przebieg czasu reakcji kierowcy mierzony od momentu wciśnięcia sprzęgła ( $t = 0$  s) do jego puszczenia ( $t = 1,4$  s) dla przypadku szybkiego ruszenia samochodu z miejsca  $t_w$  – minimalny czas reakcji wciśnięcia sprzęgła;  $t_r$  – maksymalny czas rozruchu silnika;  $t_c$  – całkowity czas reakcji mierzony od momentu wciśnięcia sprzęgła, jego przytrzymania, a następnie puszczenia sprzęgła

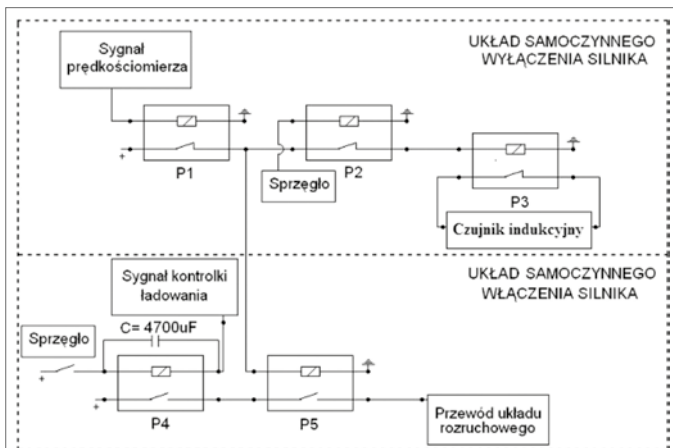
Na rysunku 6 pokazano opracowany przykładowy cykl jazdy dla Zabrza.

Cykl jezdny Stop & Go Zabrze składa się z trzech kolejno po sobie następujących faz: przyspieszanie, hamowanie, bieg jałowy.

Droga całkowita cyklu wynosi około 5,1 km, a całkowity czas przejazdu wynosi ponad 10 min, z czego 1,5 min to postój na biegu jałowym.

### Projekt systemu Stop & Go dla Mild Hybrid

Projekt systemu Stop & Go dla układu napędowego Mild Hybrid wykonano w oparciu o dane badanego samochodu Fiat Palio. Rozruszniki stosowane w samochodach, gdzie nie jest zainstalowany układ Stop & Go, są projektowane na pracę dorywczą. Dlatego też kolejnym etapem badań było przystosowanie rozrusznika do pracy w częstszych cyklach rozruch-



Rys. 12. Schemat blokowy połączeń układu Stop&Go dla Mild Hybrid

wych. Zbadano czasy rozruchu i wyliczono energię potrzebną do rozruchu rozrusznikiem szeregowym prądu stałego Magnetti Marelli-Denso E80E 12 V 1,0 kW (fot. 7).

W wyniku przeprowadzonych pomiarów dobrano superkondensator rozruchowy i dokonano serii rozruchów testowych z zasilaniem rozrusznika jedynie z superkondensatora. Celem pomiarów rozruchowych silnika było obliczenie energii zużywanej do rozruchu silnika, jak i czasów rozruchu (rys. 8).

Dla badanego rozrusznika zaproponowano modernizację polegającą na zastąpieniu uzwojenia wzbudzenia magnesami trwałymi. Dobrano magnesy trwałe NdFeB typu N33UH (grafika i oznaczenia pokazane na rys. 9).

Charakterystykę odmagnesowania dobranych magnesów pokazano na rys. 10.

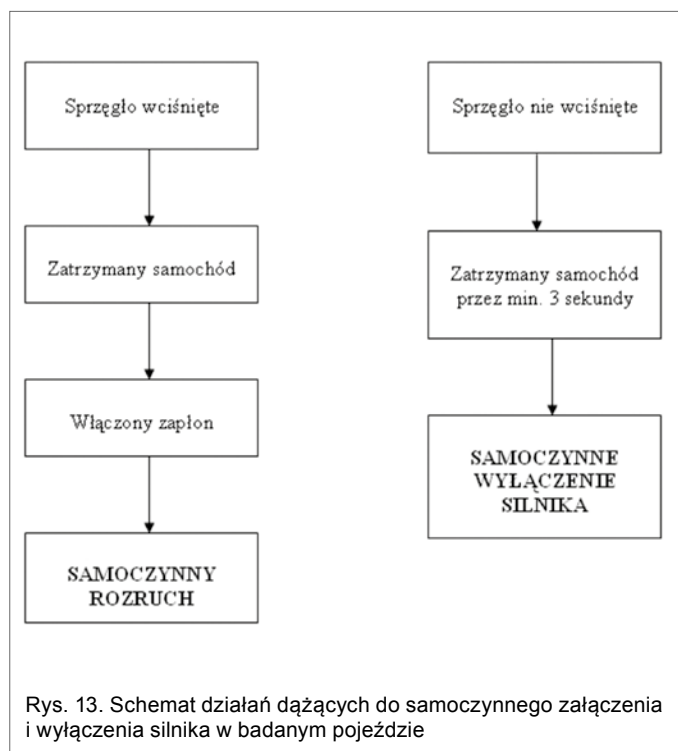
### Projekt układu Stop&Go do napędu Mild Hybrid samoczynnego wyłączenia i załączenia silnika

W ramach projektu przeprowadzono badania reakcji kierowcy podczas jazdy w mieście. W ramach tych badań zmierzono czas reakcji od momentu naciśnięcia sprzęgła, wrzucenia biegu, aż do puszczenia sprzęgła np. podczas ruszania ze światła drogowych. Celem pomiarów czasu reakcji było sprawdzenie, czy silnik w samochodzie zdąży się uruchomić, zanim kierowca puści sprzęgło przy włączonym biegu w celu ruszenia, a co za tym idzie wybranie odpowiednich sygnałów, które będą sterowały układ Stop&Go samoczynnego wyłączenia, jak i włączenia samochodu.

Po wykonaniu serii pomiarów dla czasów reakcji od momentu naciśnięcia sprzęgła, wrzucenia biegu, aż do puszczenia sprzęgła wybrano te wyniki, które mogłyby spowodować, iż samochód nie zdąży się uruchomić, czyli rozpatrzono przypadek, w którym kierowca chce jak najszybciej ruszyć, np. gdy samochód stoi na światłach drogowych i jako pierwszy w kolejce będzie musiał ruszyć z miejsca. Taki właśnie przypadek pokazuje rys. 11 i jak można zauważyć – czas rozruchu  $t_r = 0,6$  s, który jest czasem o najdłuższym rozruchu (wynikający z wcześniejszych pomiarów rozruchowych rozrusznika), wystarczy na to, aby samochód uruchomił się w odpowiednim czasie.

Schemat blokowy połączeń opracowanego układu Stop&Go dla Mild Hybrid pokazano na rys. 12.

Sygnał z prędkościomierza zastosowano w celu wyłączenia układu samoczynnego wyłączenia silnika podczas jazdy.



Sygnal kontrolki ładowania zastosowano w celu wyłączenia układu samoczynnego włączenia silnika (tak aby rozruch nie dokonywał się bez przerwy), ponieważ kontrolka ładowania gaśnie w momencie uruchomienia silnika.

System *Stop & Go* powinien nie uaktywniać się w następujących warunkach:

- zbyt niska temperatura silnika samochodu;
- skrajne temperatury zewnętrzne (poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ , powyżej  $+30^{\circ}\text{C}$ ) przy włączonej klimatyzacji;
- przy włączeniu funkcji usuwania zaparowania przedniej szyby;
- przy włączonym biegu wstecznym.

## Wnioski

System *Stop & Go* został opracowany w celu wyłączenia silnika spalinowego podczas postoju pojazdu na zakorkowanych ulicach miast. Przeprowadzone badania cykli jazdy samochodu w Gliwicach i Zabrzu pozwoliły na wyznaczenie czasu, w którym silnik badanego pojazdu może być wyłączony w czasie postoju na biegu jałowym.

Podstawowe założenia projektu systemu *Stop & Go*:

- projekt systemu *Stop & Go* musi być tani i zasada działania musi być prosta;
- silnik spalinowy pojazdu uruchamiamy, naciskając pedał sprzęgła w taki sposób, że po wciśnięciu pedału sprzęgła włączany jest pierwszy bieg, następnie puszczane sprzęgło i pojazd rusza;
- silnik spalinowy pojazdu wyłącza się po trzech sekundach postoju na biegu jałowym (pedał sprzęgła musi być puszczony);
- czas wyłączenia pojazdu w czasie postoju na biegu jałowym wynosi co najmniej 9 s;
- do wykonania rozruchu niezbędny jest włączony zapłon;
- wyłączenie silnika trwa 3 s, aby kierowca mógł zdecydować, czy wyłączyć silnik albo pozostawić silnik włączony na bie-

gu jałowym (np. przy dojeżdżaniu do sygnalizacji świetlnej, gdy lampa sygnalizatora zmienia się z czerwonej na zieloną);

- minimalny czas postoju wynosi 9 s, ponieważ wyłączenie silnika trwa aż 3 s, a rozruch silnika i włączenia pierwszego biegu trwa ok. 1 s. Całkowity czas wyłączenia silnika wynosi 5 s, a to według producentów samochodów osobowych pozwala ograniczyć zużycie paliwa.

## Literatura

- [1] Biuletyn Europejskiego Prawa Ochrony Środowiska nr 16 z dnia 26.02.2007.
- [2] Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego z dnia 07.02.2007 r. zawierający wyniki przeglądu wspólnotowej strategii na rzecz zmniejszenia emisji  $\text{CO}_2$  pochodzących z samochodów osobowych i lekkich pojazdów dostawczych.
- [3] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady: Ramy prawne podstawą dla zwiększania konkurencyjności przemysłu motoryzacyjnego w XXI w. Stanowisko Komisji w sprawie sprawozdania końcowego grupy wysokiego szczebla CARS 21.
- [4] Rozporządzenie Parlament Europejskiego i Rady z dnia 19.12.2007 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz obniżenia poziomów emisji  $\text{CO}_2$  pochodzących z samochodów dostawczych.
- [5] WAJAND A.J., WAJAND T.J.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. Wydaw. Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [6] ZĘBOWICZ J.: *Fiat Albea, Siena i Palio Weekend*. Wyd. Komunikacji i Łączności 2002.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008–2011 jako projekt badawczy.

dr inż. Rafał Setlak – pracownik naukowo-dydaktyczny Zakładu Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie. Laureat Nagrody za najlepszą pracę doktorską Koncernu FIAT: „Synchronizacja pracy czterosilnikowego napędu elektrycznego pojazdu o przeznaczeniu specjalnym” w 2005 r. Promotor prac dyplomowych, które zdobyły Nagrody Koncernu FIAT za najlepsze prace z dziedziny motoryzacji;

dr inż. Marcin Fice – pracownik naukowo-dydaktyczny Zakładu Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie. W 2010 r. obronił pracę doktorską pt. „Zarządzanie rozplywem energii w napędzie hybrydowym”. Działalność naukowa: napędy wieloźródłowe, diagnostyka w pojazdach, elektrotechnika i elektronika samochodowa;

mgr inż. Arnold Gałązka – absolwent studiów magisterskich Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Laureat Nagrody Koncernu FIAT za najlepszą pracę z dziedziny motoryzacji w 2008 r. pt. „System *Stop & Go* samochodu ekologicznego wykorzystujący rozrusznik”