

# Modułowy hybrydowy układ napędowy samochodu

Barbara Kulesz, Marcin Fice, Rafał Setlak

Negatywną cechą pojazdów z silnikami spalinowymi o zapłonie iskrowym ZI i samoczynnym ZS jest bezproduktywne zużycie paliwa podczas postoju na biegu jałowym. Trzeba także pamiętać, że przeciążalność mocą silników spalinowych wynosi zero, dlatego też silniki te doбира się do pojazdów ze względu na przewidywaną moc maksymalną (prędkość maksymalna, pokonywanie maksymalnego wzniesienia lub maksymalne przyspieszenie). Jednakże w rzeczywistych warunkach jazdy (oczywiście eliminując myślowo pojazdy sportowe oraz przeciętnych kierowców z zapędami sportowymi) zapotrzebowanie na moc maksymalną jest jedynie sporadyczne (rys. 1).

Aby to unaoznić, autorzy wykorzystując pojazd elektryczny, przeprowadzili szereg jazd w ruchu miejskim. Wykorzystanie do badań napędu elektrycznego w prosty sposób pozwala na obliczenie mocy chwilowej pracy napędu podczas jazdy. Na rys. 2 przedstawiono usystematyzowany (poziomy pobieranej mocy względem czasu trwania) przebieg mocy zarejestrowanej podczas pomiarów. Średnia moc cyklu wyniosła ok. 5,5 kW, a moc

maksymalna 14,4 kW. Zapotrzebowanie na moc maksymalną trwało jedną sekundę. Patrząc na otrzymane wyniki, widać, że rzeczywista moc cyklu jazdy jest ponaddwukrotnie niższa niż moc maksymalna, a na taką musiałby być dobrany silnik spalinowy, aby zapewnić podobną dynamikę jazdy. Istnieje więc możliwość obniżenia mocy maksymalnej silnika spalinowego w pojeździe (za tym idzie także obniżenie jego masy, zwiększenie sprawności poprzez pracę przy wyższym obciążeniu), a pokrycie chwilowych mocy pojazdu można realizować dodatkowym silnikiem elektrycznym. Zasobnik energii elektrycznej w takim przypadku może mieć małą pojemność, ponieważ nie jest wymagana duża wartość jego energii – służy jedynie przeciw do chwilowego zasilania silnika elektrycznego.

Taka właśnie strategia pracy jest wykorzystywana między innymi w pojazdach hybrydowych. Ich udział w rynku europejskim jest wciąż marginalny, co jest podyktowane wysokim kosztem zakupu oraz brakiem zachęt finansowych czy podatkowych od strony rządów państw (szczególnie w Polsce). Oczywiście chęć użytkowania (lub może w przyszłości wymóg w pewnych obszarach miast) pojazdu hybrydowego obecnie wiąże się

**Streszczenie:** W artykule opisano założenia wstępne projektu Hybrydowego Modułowego układu napędowego. Tego typu napęd wykorzystuje tradycyjną instalację elektryczną zawierającą akumulator rozruchowy, rozrusznik i alternator. System ten, odpowiednio przystosowany, na przykład przez zwiększenie mocy całkowitej i uzupełnienie przez nowoczesny układ sterowania może pracować podobnie do hybrydowego układu napędowego.

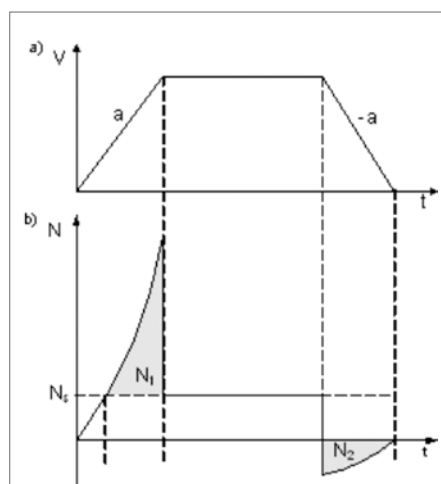
**Abstract:** The paper describes initial stages of designing Modular Hybrid drive system. This type of drive uses traditional electric unit consisting of battery, starter and alternator. This system, appropriately adapted for instance by increasing its overall rated power and supplementing it with novel energy control procedures, may operate in a manner similar to hybrid car drives.

z jego zakupem, nie są oferowane układy napędowe hybrydowe, które można zabudować do istniejących i użytkowanych samochodów. Taka właśnie alternatywa stała się motywacją dla autorów do opracowania modułowego hybrydowego układu napędowego samochodu.

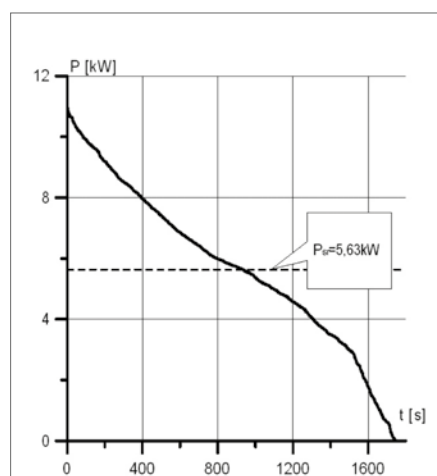
## Cel i motywacja badań

Celem projektu jest opracowanie modułowego hybrydowego układu napędowego samochodu, który będzie pozwalał na redukcję emisji CO<sub>2</sub> (zużycia paliwa) i będzie miał zastosowanie w pojazdach z silnikami zasilanymi benzyną, olejem napędowym czy paliwami gazowymi (LPG, CNG).

Według wiedzy autorów na rynku nie są oferowane modułowe hybrydowe układy napędowe do samochodów osobowych i lekkich ciężarowych. Modułowy układ napędowy składający się z nowoczesnego silnika elektrycznego, przekładni me-

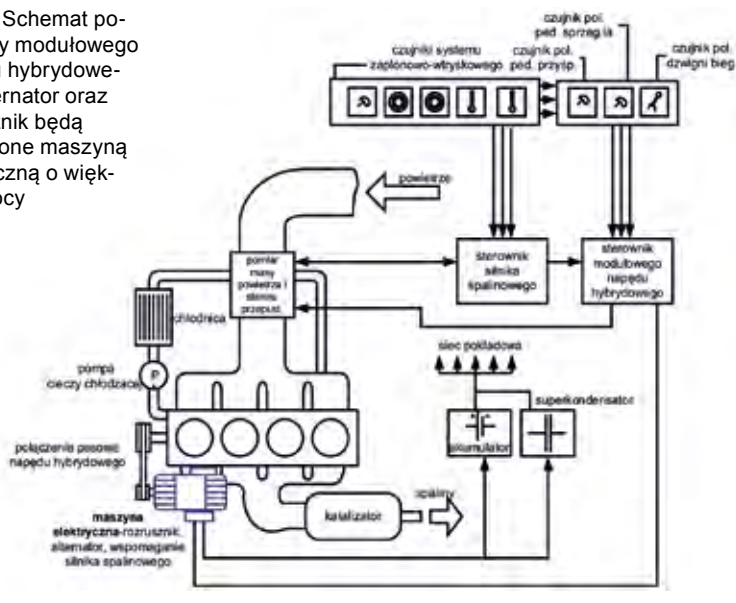


Rys. 1. Cykl jazdy pojazdu: a) przebieg prędkości, b) zapotrzebowanie na moc.  $N_s$  – moc średnia potrzebna do utrzymania stałej prędkości,  $N_1$  – moc potrzebna do przyspieszenia pojazdu do zadanej prędkości,  $N_2$  – moc tracona w postaci ciepła podczas hamowania



Rys. 2. Przebieg mocy uporządkowanej pobieranej przez silnik podczas jazdy samochodem o napędzie elektrycznym

Rys. 3. Schemat poglądowy modułowego napędu hybrydowego. Alternator oraz rozrusznik będą zastąpione maszyną elektryczną o większej mocy



reklama

chanicznej (np. pasowej-wielorowkowej lub z pasem uzębionym), superkondensatorów i nowatorskiego algorytmu zarządzania energią umożliwi prostą zabudowę napędu na użytkowanym silniku spalinowym samochodzie, a montaż takiego układu ograniczy się do prostych prac związanych ze zmianą koła pasowego wału korbowego czy mocowaniem silnika elektrycznego do korpusu silnika spalinowego.

Modułowy system napędowy może pracować podobnie do napędów hybrydowych samochodów. Ideę budowy modułowego układu napędowego samochodu zaprezentowano na rys. 3.

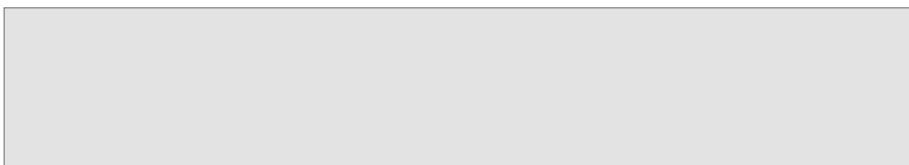
Autorom znane są układy Stop & Go oferowanych na rynku samochodów. W ich konstrukcji wykorzystano typowe podzespoły, to jest alternator samochodowy, który dzięki dodaniu układu energoelektronicznego i odpowiedniemu sterowaniu może pracować jako silnik elektryczny. Zdaniem autorów takie rozwiązanie ma dwie zasadnicze wady, mianowicie samochodowa prądnica synchroniczna (alternator) ma małą moc (np. niewystarczającą do wspomaganie silnika spalinowego podczas przyspieszania czy ruszania z miejsca) oraz bardzo małą sprawność rzędu jedynie 50–60% (co wynika ze specyficznej budowy uzębionego wirnika alternatora). Zastosowanie we wnioskowanym pro-

jektie maszyny elektrycznej o małych gabarytach i dużych mocach będzie wynikać z wykorzystania magnesów neodymowych, co pozwoli na osiągnięcie sprawności do 94% (najwyższej spośród wszystkich maszyn elektrycznych).

Maszyna elektryczna będzie spełniała zarówno funkcję alternatora, rozrusznika i silnika wspomagającego (w określonych warunkach) silnik spalinowy, np. przyspieszanie. Podczas postoju silnik spalinowy będzie wyłączany, co ograniczy hałas i zużycie paliwa. Zasilanie silnika pracującego jako rozrusznik realizowane będzie układem energoelektronicznym z superkondensatorów (trwałość ok. 1000 razy większa niż akumulatorów kwasowo-ołowiowych).

Porównanie wybranych parametrów elektrycznych (sygnały zmierzone w Laboratorium Elektrotechniki i Elektroniki Samochodowej Zakładu Inżynierii Elektrycznej w Transporcie Politechniki Śląskiej) podczas rozruchu silnika spalinowego przy wykorzystaniu tradycyjnego rozrusznika zasilanego z akumulatora lub kondensatora pokazano w tabeli 1. Badany był silnik samochodu o symbolu 178 B5.000, rozrusznik Magneti Marelli-Denso E80E 12 V 1,0 kW ze sterowaniem elektromagnetycznym, akumulator kwasowo-ołowiowy Centra Futura 055 290, C20 = 55 Ah, superkondensator MAXWELL BPAK 15V 58F.

reklama





Rys. 4. Porównanie wymiarów tradycyjnego akumulatora i superkondensatora o pojemności 58 F, napięciu 15 V i masie 0,3 kg i (samochód Honda Civic, akumulator o pojemności poniżej 50 Ah)

### Działanie modułowego hybrydowego układu napędowego

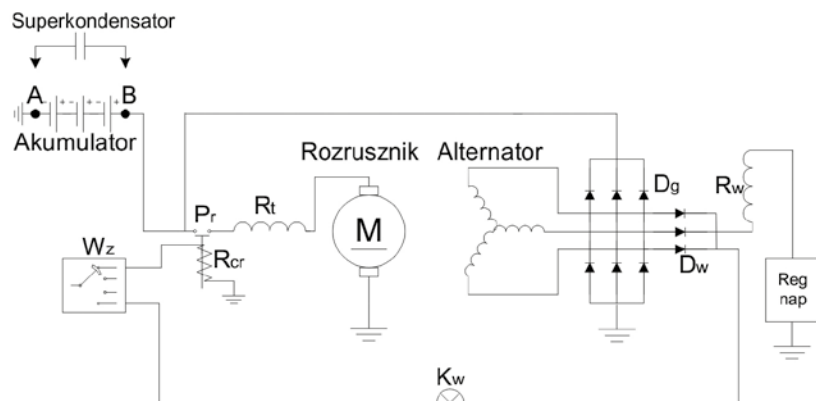
Maszyna elektryczna z magnesami trwałymi (planowana moc maksymalna rzędu 8–12 kW) będzie pracowała w modułowym układzie napędowym zarówno jako alternator, jak i rozrusznik. Dzięki temu będzie realizowała automatyczny i wielokrotny rozruch silnika spalinowego (np. podczas postoju na światłach, w korku itp.), co przełoży się na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> w ruchu miejskim. Energia wymagana do rozruchu będzie w tym systemie pobierana z superkondensatora, a nie jak w układach tradycyjnych (nawet w pojazdach hybrydowych) z akumulatora, co pozwoli na wydłużenie żywotności ogniwa Pb-PbO<sub>2</sub>. Na rys. 5 pokazano uproszczony schemat układu rozruchowego badanego silnika spalinowego.

Podczas pomiarów procesu rozruchu silnika spalinowego z wykorzystaniem superkondensatora włączonego w miejsce akumulatora kwasowo-ołowiowego, superkondensator był krótkotwale ładowany przez alternator (podobnie jak w przypadku akumulatora). Do zakończenia serii badań superkondensator nie był wyjmowany z pojazdu i doładowywany z obcego źródła. Na rys. 6 porównano przebiegi prądu rozruchowego podczas pierwszego i szóstego rozruchu, a na rys. 7 odpowiadające im przebiegi napięcia.

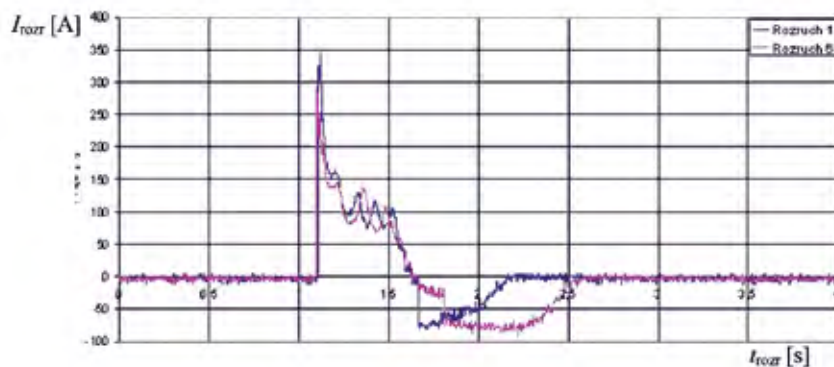
Podczas jazdy w mieście często występują fazy pracy silnika spalinowego, gdy pracuje on z bardzo małą sprawnością i niepotrzebnie zużywa paliwo i emituje CO<sub>2</sub>. Na rys. 8 pokazano przykładowy przebieg prędkości pojazdu osobowego poruszającego się na trasie Gliwice–Zabrze. Czas jazdy wynosił średnio 21 mi-

Tabela 1. Porównanie charakterystycznych wartości z serii badań rozruchowych silnika spalinowego za pomocą superkondensatora i akumulatora

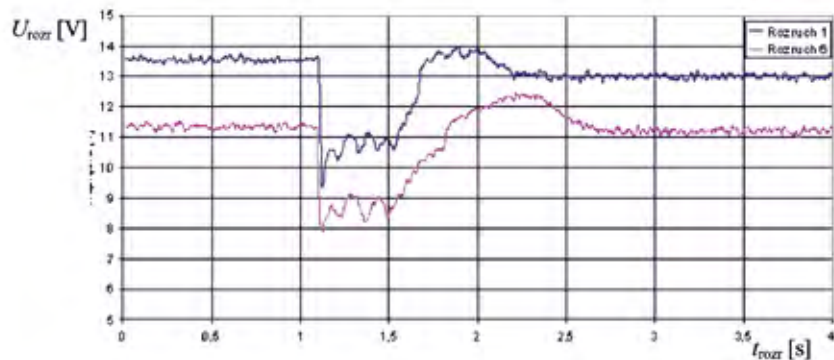
	Superkondensator	Akumulator
Czas rozruchu [s]	0,54	0,55
Prąd maksymalny [A]	315	375
Napięcie przy prądzie zwarciovym [V]	9,1	9,6
Moc maksymalna rozruchowa [W]	989	1509
Energia rozruchu [Ws]	534	830



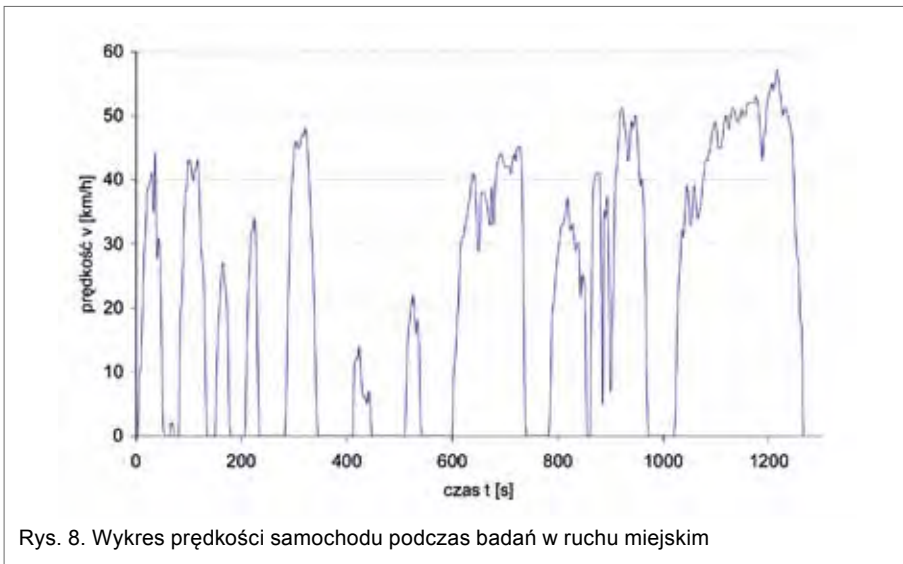
Rys. 5. Uproszczony schemat obwodu ładowania i rozruchu badanego samochodu, Wz – wyłącznik zapłonu, Pr – wyłącznik elektromagnetyczny rozrusznika, Dg – diody obwodu głównego, Dw – diody obwodu wzbudzenia, Rcr – cewka wyłącznika elektromagnetycznego, Rt – uzwojenie wzbudzenia rozrusznika, Rw – uzwojenie wzbudzenia alternatora



Rys. 6. Przebieg prądu akumulatora podczas pierwszego i szóstego rozruchu z wykorzystaniem superkondensatora Maxwell



Rys. 7. Przebieg napięcia superkondensatora Maxwell podczas pierwszego i szóstego rozruchu silnika spalinowego



Rys. 8. Wykres prędkości samochodu podczas badań w ruchu miejskim

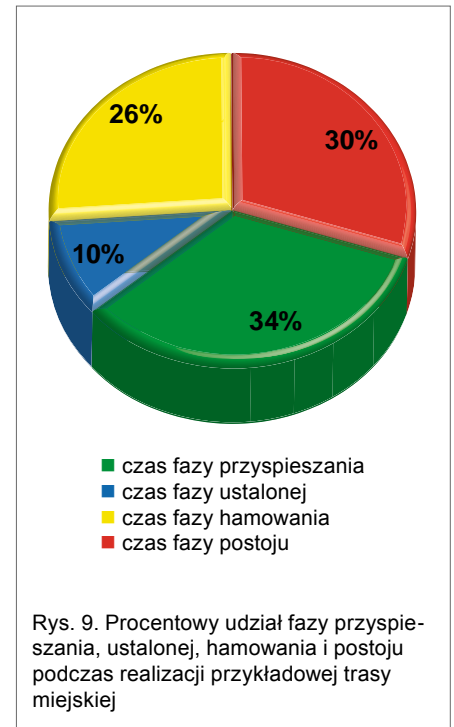
nut, a długość trasy 8,2 km. Dla tej próby pokazano także na rys. 9 średni procentowy udział fazy przyspieszania, jazdy ustalonej, hamowania i postoju.

System będzie realizował następujące funkcje:

- automatyczne wyłączenie silnika spalinowego (np. podczas postoju na światłach, w korku itp.), a następnie wielokrotne i automatyczne (silnik zasilany z superkondensatorów pracujący w trybie rozrusznika) uruchamianie silnika napędowego samochodu. Podobną zasadę pracy wykorzystują niektóre napędy hybrydowe samochodów;
- odzysk i uzupełnianie energii w akumulatorze i superkondensatorach. Maszyna elektryczna pracująca jako alternator będzie sterowana w taki sposób,

aby szybko uzupełnić energię w zasobnikach energii czy odzysk pewnej części energii podczas hamowania samochodu. Możliwy będzie także tryb pracy maszyny elektrycznej bez wzbudzenia np. dla zmniejszenia obciążenia silnika spalinowego (energia elektryczna niezbędna do zasilania oświetlenia, urządzeń pokładowych, ECU silnika spalinowego, układu wtryskowego, zapłonowego, pompy paliwa będzie pobierana z zasobników energii);

- gromadzenie energii w podwójnym zasobniku (akumulator VRLA oraz bateria superkondensatorów). Zadaniem superkondensatorów będzie dostarczanie maszynie energii elektrycznej rozruchu podczas częstych rozruchów samochodu w jeździe miejskiej.



Rys. 9. Procentowy udział fazy przyspieszania, ustalonej, hamowania i postoju podczas realizacji przykładowej trasy miejskiej

### Podsumowanie

Modułowy hybrydowy układ napędowy samochodu będzie różnił się od znanych napędów hybrydowych czy systemów Stop & Go tym, że będzie wykorzystywał zaprojektowany silnik elektryczny z magnesami trwałymi (pracujący jako rozrusznik i alternator) o większej niż znane systemy mocy. Silnik elektryczny będzie połączony z wałem korbowym silnika spalinowego za pomocą przekładni pasowej (dla celów projektu, ze względu na koszty przewiduje się jedynie za-

reklama

adaptowanie gotowych części samochodowych, to jest kół pasowych i pasów wielorowkowych czy pasków zębatych, podwójny zasobnik energii o bardzo wysokiej gęstości mocy (superkondensator i akumulator VRLA). Zasilaniem silnika oraz instalacji samochodowej (podczas pracy generatorowej) będzie zarządzał sterownik energoelektroniczny i układ nadzoru mocy.

Modułowy hybrydowy układ napędowy będzie miał tę przewagę nad znanymi systemami napędów hybrydowych czy systemów Stop & Go, że dzięki zastosowaniu stosunkowo tanich i masowo produkowanych podzespołów będzie dużo tańszy niż pojazd. W stosunku do układów Stop & Go będzie wykazywał dużo większą sprawność około 94% (maszyna z magnesami trwałymi) zamiast 50–60% (alternator z wirnikiem kłowym) oraz kilkukrotnie większą moc niż oferowane na rynku Systemy Stop & Go. Duża moc silnika z magnesami trwałymi pozwoli na realizację odzysku energii hamowania, ruszanie pojazdem w trybie czysto elektrycznym i chwilowe wspomaganie silnika spalinowego – co jest nowością w tego typu rozwiązaniach.

Modułowy hybrydowy układ napędowy będzie mógł realizować podobne strategie, co znane napędy hybrydowe (wyłączenie silnika spalinowego na postoju, odzysk energii hamowania, wspomaganie hamowania silnikiem spalinowym) oraz wnosił nową jakość dzięki zastosowaniu jeszcze bardziej zaawansowanych strategii oszczędzania energii przy zapewnieniu dużej sprawności konwersji energii.

## Literatura

- [1] BACZEWSKI K., KALDOŃSKI T.: *Paliwa do silników o zapłonie iskrowym*. WKŁ 2005.
- [2] GÓRSKI W.: *Współczesne silnikowe paliwa alternatywne*. Świat Paliw 2004.
- [3] MERKISZ J.: *Ekologiczne problemy silników spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1999.
- [4] VENTURI M.: *Power distribution in HEV equipped with ICE of fuel cell*. Rozprawa doktorska, Warszawa 2005.
- [5] Decyzja Rady 2002/358/WE (Dz.U.L 130 z 15.05.2002) z dnia 25 IV 2002 dotycząca zatwierdzenia przez Wspólnotę Europejską Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu i wspólnej realizacji wynikających z niego zobowiązań.
- [6] Decyzja 1230/2003 (Dz.U.L 176 z 15.07.2003) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 VI 2003 przyjmująca wieloletni program działania w dziedzinie energii: „Inteligentna Energia-Europa”.
- [7] Decyzja nr 1513/2002/WE (Dz.U.L 232 z 29.08.2002) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 VI 2002 dotycząca szóstego programu ramowego Wspólnoty Europejskiej w dziedzinie badań, rozwoju technologicznego i demonstracji, przyczyniającego się utworzenia europejskiej przestrzeni badawczej i innowacji.
- [8] Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego z dnia 7.02.2007 zawierający wyniki przeglądu wspólnotowej strategii na rzecz zmniejszenia

emisji CO<sub>2</sub> pochodzących z samochodów osobowych i lekkich pojazdów dostawczych.

- [9] Nowa Strategia Zrównoważonego Rozwoju UE, Rada Unii Europejskiej z 8.6.2006, Rezolucja Parlamentu Europejskiego w sprawie „zwycięstwa w walce ze zmianami klimatycznymi” (2005/2049).

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 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 czterosiłnikowego 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. Barbara Kulesz – adiunkt na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej, pracownik naukowo-dydaktyczny Zakładu Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie. Działalność naukowa: diagnostyka maszyn elektrycznych, elektrotechnika i elektronika samochodowa, układy zasilanie trakcji elektrycznej;

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

artykuł recenzowany