

Rafał Setlak, Marcin Fice
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW UKŁADU START&STOP W NAPĘDZIE MILD HYBRID NA ZMNIEJSZENIE ZUŻYCIA PALIWA W TESTACH NEDC

START&STOP SYSTEM IN MILD HYBRID DRIVE AND IT'S INFLUENCE TO FUEL REDUCTION IN NEDC TESTS

Abstract: Main goal of article was design, develop and control of Stop&Go system for Mild Hybrid Drive using supercondensator and starter with permanent magnets and carrying out verification Mild Hybrid system drive in NEDC standard tests. Researches of usefulness of supercondensators' system as an energy source in process of starting an internal combustion engine were done. Usage of supercondensators as an energy source of starting led to improvement of economic indicators of the Stop & Go system. Supercondensator has a 1000 times bigger durability than PbPbO₂ battery with around 40 times smaller mass. Researchers of real tests NEDC with Suzuki Baleno car were done and calculations of air pollutions and fuel consumption in Mild Hybrid system was designed and produced for this vehicle.

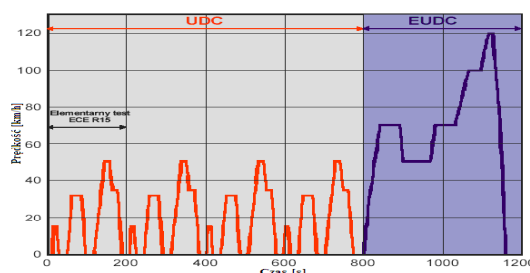
A starter, which will have NeFeB magnets built in stator instead of induction winding, was designed. Temperature IR characteristics in stator and rotor in NEDC mode and real rush traffic cycle has been carried. A modernization of the starter is necessary because of different type of working – frequent starting of the internal combustion engine. A project of the Stop & Go system was carried out in the Suzuki Baleno car and project of the Stop & Go system for Mild Hybrid drive and verification of correctness of working has been carried out in this car in standard NEDC tests.

1. Wstęp

Zastosowanie systemu Stop&Go czyli układu, który pozwala na automatyczne wyłączenie i załączenie silnika spalinowego pracującego na biegu jałowym pozwala na spełnienie coraz ostrzejszych norm czystości spalin dla nowych pojazdów. Stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne przy budowie tego systemu powodują, że takie układy w ostatnich kilku latach są chętnie montowane w coraz większej ilości samochodów. System ten najlepiej sprawdza się w mieście, gdzie specyfika ruchu wymusza częste postoje samochodów.

2. Europejski test zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń NEDC

Badania zużycia paliwa oraz emisji zanieczyszczeń samochodów o masie do 3,5t w krajach UE przeprowadza się według europejskiego cyklu jezdnego NEDC, którego schemat przedstawia rysunek 1. Cykl NEDC składa się z cyklu miejskiego UDC i pozamiejskiego EUDC. W teście NEDC czas poboru spalin zaczyna się liczyć od momentu tzw. zimnego rozruchu. Testy wykonuje się przy temperaturze otoczenia od 20°C do 30°C. Badania emisji spalin wykonuje się używając worków pomiarowych.



Rys. 1. Schemat europejskiego cyklu jezdnego NEDC

Zużycie paliwa FC w tej metodzie oblicza się metodą bilansu węgla według zależności:

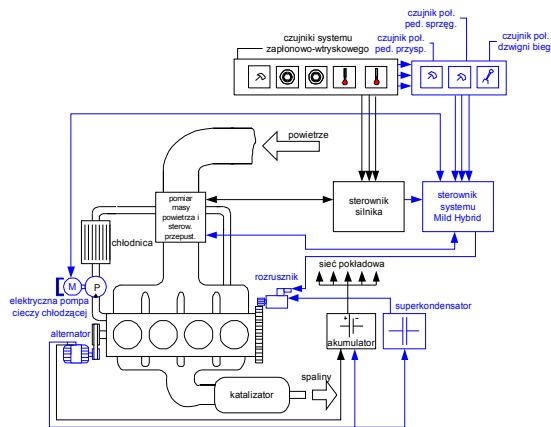
$$FC = \frac{0,1154}{\rho_F} [(0,866 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,279 \cdot CO_2)] \left[\frac{dm^3}{100km} \right] \quad (1)$$

gdzie:

HC - emisja węglowodorów [g/km],
CO - emisja tlenku węgla [g/km],
CO₂ - emisja dwutlenku węgla [g/km],
 ρ_F - gęstość paliwa [kg/dm³].

3. Budowa i działanie napędu Mild Hybrid z układem Stop&Go samochodu osobowego

Układ napędowy Mild Hybrid (rys. 2) oprócz układu autonomicznego ogrzewania cieczy chłodzącej silnik posiada układ Stop&Go.



Rys. 2. Schemat napędu Mild Hybrid

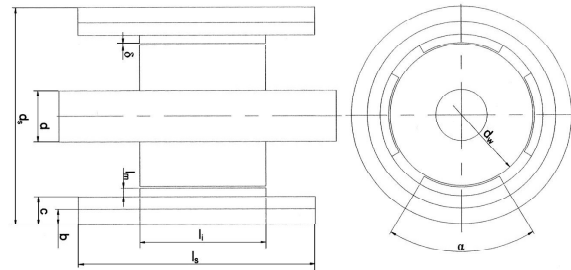
Układ napędowy Mild Hybrid realizuje:

- funkcję Stop&Go, czyli automatyczne wyłączanie silnika spalinowego po wykryciu zatrzymania pojazdu, a następnie automatyczne uruchamianie silnika napędowego samochodu. W konstrukcji tego systemu wykorzystano sygnały z sieci danych samochodu i dodano własne czujniki oraz ze względu na inny tryb pracy rozrusznika zmieniono jego obwód elektromagnetyczny. Modyfikacja rozrusznika pozwoliła zmniejszyć jego nagrzewanie.
- odzysk pewnej części energii hamowania (alternator) i uzupełnianie energii przez superkondensator. Alternator wyposażono w dodatkową przetwornicę napięcia, która pozwala na uzupełnianie energii w zasobnikach, odzysk pewnej części energii podczas hamowania oraz pozwala na odzyskanie energii podczas gwałtownego przyspieszania, dla zmniejszenia obciążenia silnika spalinowego,
- gromadzenie energii w podwójnym zasobniku akumulatora VRLA oraz superkondensatora. Zadaniem superkondensatora jest dostarczanie energii rozrusznikowi podczas pierwszego zimnego rozruchu jak i następnych częstych rozruchów (układ Stop&Go) samochodu w jeździe miejskiej.

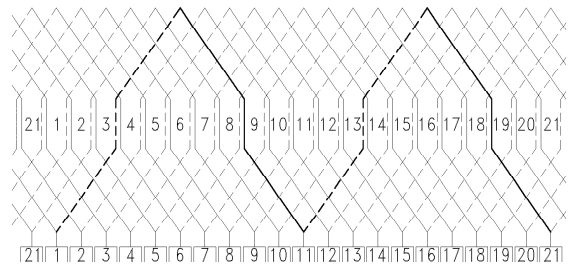
4. Budowa układu Stop&Go

Dla potrzeb układu Stop&Go wykonano projekt i modernizację rozrusznika z silnikiem prądu stałego Magnetti Marelli-Denso E80E 12 V

1,0 kW. Zrezygnowano z uzwojenia wzbudzenia tego rozrusznika i zastąpiono je magnesami trwałymi (rys. 3, 5). Celem takiej modernizacji było zmniejszenie nagrzewania rozrusznika podczas częstych rozruchów w trybie Stop&Go. Obwód wirnika pozostał niezmienny (rys. 4).



Rys. 3. Schemat obwodu elektromagnetycznego rozrusznika z magnesami trwałymi



Rys. 4. Rozwinięty schemat uzwojenia falistego prostego badanego obiektu

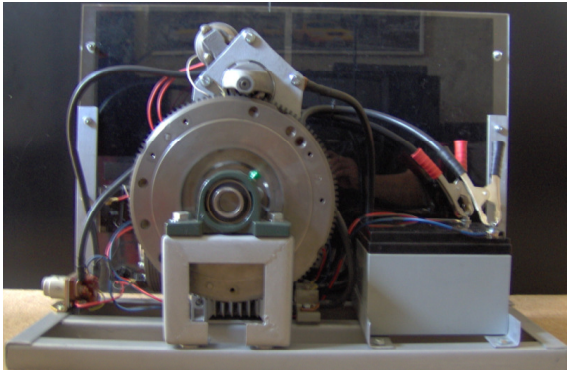


Rys. 5. Widok stojana z naklejonymi magnesami

Rozważano także możliwość zastosowania w rozruszniku silnika bezszczotkowego, ale dla zastosowań w przemyśle samochodowym cena takiego rozwiązania jest zbyt wysoka, ze względu na konieczność stosowania dodatkowego sterującego układu energoelektronicznego i problemy związane z koniecznością śledzenia położenia wirnika przez dodatkowe czujniki.

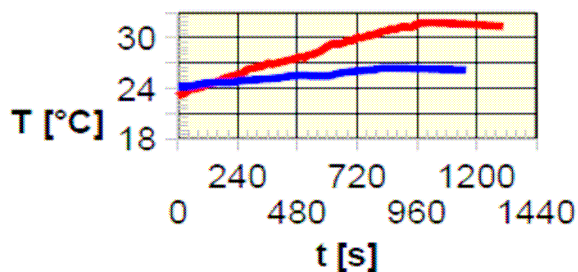
Wykorzystując zmodernizowany rozrusznik przeprowadzono badania przyrostów temperatur w porównaniu z rozwiązaniem tradycyjnym.

Do tego celu zbudowano stanowisko badawcze w którym mocowane były rozruszniki realizujące pracę w trybie Stop&Go (rys. 6).

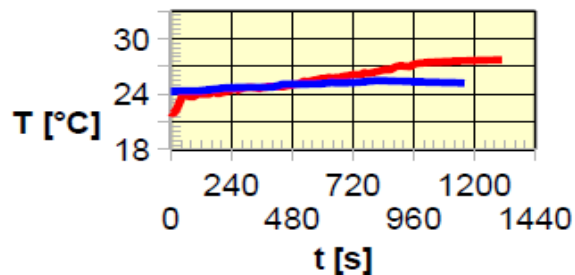


Rys. 6. Stanowisko laboratoryjne – widok tylnej części stanowiska

Rozpatrzono dwa przypadki pracy, w pierwszym teście rozruszniki realizowały pracę dorywczą zgodnie z wymaganiami testu znormalizowanego NEDC, a następnie do badań wykorzystano własne opracowane testy jezdne Stop&Go Gliwice i Stop&Go Zabrze. Na rysunku 7 pokazano temperatury obudowy stojana tradycyjnego wirnika, a na rysunku 8 temperatury rozrusznika zmodernizowanego. Kolorem czerwonym zaznaczono test Stop&Go Gliwice, natomiast niebieskim test NEDC.



Rys. 7. Temperatury obudowy stojana tradycyjnego rozrusznika podczas realizacji pracy dorywczej w teście Stop&Go Gliwice (kolor czerwony) oraz NEDC (kolor niebieski)



Rys. 8. Temperatury obudowy stojana rozrusznika zmodernizowanego podczas realizacji pracy dorywczej w teście Stop&Go Gliwice (kolor czerwony) oraz NEDC (kolor niebieski)

Podczas formułowania algorytmu działania układu Stop&Go wykonano badania reakcji kierowcy podczas realizacji opracowanych cykli jezdnych Stop&Go Zabrze oraz Stop&Go Gliwice. W ramach tych badań rejestrowano czas reakcji kilku kierowców od momentu naciśnięcia sprzęgła, włączenia biegu, aż do momentu puszczenia sprzęgła np. podczas ruszania ze światła drogowych. Celem tych badań było wybranie odpowiednich nastaw czasowych dla układu sterowania Stop&Go samoczynnego wyłączenia, jak i włączenia samochodu. Po wykonaniu serii pomiarów dla czasów reakcji od momentu naciśnięcia sprzęgła, włączenia biegu, aż do momentu 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.

Podstawowe założenia jakie przyjęto przy konstruowaniu systemu Stop & Go:

- silnik spalinowy pojazdu uruchamiany jest naciśnięciem pedału sprzęgła w taki sposób, że po wciśnięciu pedału sprzęgła, włączany jest pierwszy bieg, następnie puszczone jest sprzęgło i pojazd rusza,

- silnik spalinowy pojazdu wyłącza się po trzech sekundach postoju na biegu jałowym (pedał sprzęgła musi być puszczone),

- do wykonania rozruchu niezbędny jest włączony zapłon,

- wyłączenie silnika trwa 3 sekundy, aby kierowca mógł zdecydować czy wyłączyć silnik albo pozostawić silnik włączony na biegu jałowym (na przykład przy dojeżdżaniu do sygnalizacji świetlnej, gdy lampa sygnalizatora zmienia się z czerwonej na zieloną).

Układ nie zadziała, gdy pojazd porusza się, sprzęgło nie zostanie wciśnięte.

System Stop& Go nie uaktywnia się także w następujących warunkach:

- temperatura silnika samochodu mniejsza niż 40°C,

- skrajne temperatury zewnętrzne (poniżej -10°C, powyżej +30 °C) przy włączonej klimatyzacji,

- przy włączeniu funkcji usuwania zaparowania przedniej szyby,

- przy włączonym biegu wstecznym.

Przeprowadzone w rzeczywistym samochodzie z zabudowanym układem Stop&Go testy NEDC na hamowni podwoziowej pokazały, że

chwila załączenia systemu Stop&Go powinna także zależeć od temperatury katalizatora. Wykorzystanie do tego celu sygnału sprzężenia zwrotnego w pętli regulacji Lambda ze sterownika silnika spalinowego jest niewystarczające. Sytuacja ta będzie pokazana w końcowej części artykułu (porównanie emisji i zużycia paliwa dla KONFIGURACJI C i KONFIGURACJI D).

5. Pomiary zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń w teście NEDC samochodu z układem Stop&Go

Badawczy samochód (rys. 9), w którym zabudowano układ Mild Hybrid z układem Stop&Go poddany został wstępnie dwóm testom NEDC.



Rys. 9. Samochód badawczy z układem Stop&Go na stanowisku pomiarowym (BOSMAL)

Pierwszy z nich przeprowadzono po zamontowaniu katalizatora FUTABA, a drugi pomiar odniesienia przeprowadzono po roku aby uzyskać „ustabilizowanie” się emisji badanych zanieczyszczeń. Montaż nowego wkładu ceramiki katalizacyjnej spowodował zwiększenie zużycia paliwa i fałszowałyby wyniki pomiarów. Kolejne dwa testy NEDC przeprowadzono po zamontowaniu w badanym samochodzie układu Mild Hybrid. Badania przeprowadzono według europejskiego cyklu jezdny NEDC, a zużycie paliwa FC obliczano za każdym razem metodą bilansu węgla.

Dla lepszej przejrzystości wyników wprowadzono pojęcia Modułów części pierwszej UDC Testu NEDC pod pojęciem, których autorzy rozumieją cztery mikrocykle UDC trwające 195 sekund każdy. Oznaczone zostały one nazwami Moduł I, Moduł II, Moduł III, Moduł IV. Takie nazewnictwo zostało przyjęte, aby w łatwiejszy sposób analizować wnioski końcowe. W prezentowanych wynikach użyto następujących

nazw przeprowadzonych badań układu Mild Hybrid:

Konfiguracja 0- pierwszy pomiar odniesienia w pojeździe bez układu Mild Hybrid

Konfiguracja A- drugi pomiar odniesienia w pojeździe bez układu Start&Stop po ustabilizowaniu się oporów wewnętrznych ceramiki konwertera katalizacyjnego,

Konfiguracja B- nie był testowany układ Stop&Go, badane były inne komponenty układu Mild Hybrid.

Konfiguracja C- oznacza pomiar w pojeździe testowym wyposażonym w układ Mild Hybrid. W tej konfiguracji w module II, III i IV badano wpływ systemu Start&Stop, który uruchomił się po osiągnięciu temperatury oleju=40°C (drugie zatrzymanie w Module I Testu części pierwszej UDC). Równolegle pracował system dogrzewania po uruchomieniu silnika spalinowego, a wyłączenie grzałek nastąpiło przy temperaturze płynu chłodzącego 88°C.

Konfiguracja D- oznacza pomiar w pojeździe testowym wyposażonym w układ Mild Hybrid. Badano także wpływ systemu Start&Stop, który uruchomił się po sygnale z timera po 400 sekundach pracy silnika spalinowego (na początku Modułu III Testu części pierwszej UDC). System dogrzewania pracował także po uruchomieniu silnika spalinowego, a wyłączenie grzałek nastąpiło ponownie przy temperaturze płynu chłodzącego 88°C.

Wyniki emisji zanieczyszczeń oraz zużycia paliwa otrzymane podczas testów modalnych dla czterech konfiguracji przedstawiono w tabelach 1 oraz 2.

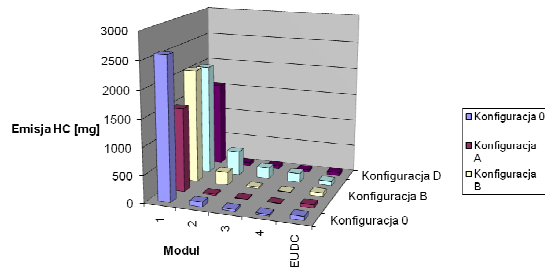
Tabela 1. Wyniki badania emisji spalin samochodu testowego-Konfiguracja A, B, C, D

Emisja [g/km]										Uwagi
Test NEDC (UDC+EUDC)			Faza UDC (miejska)			Faza EUDC (pozamiejska)				
HC	CO	NO _x	HC	CO	NO _x	HC	CO	NO _x		
0,127	0,453	0,040	0,331	1,130	0,096	0,009	0,064	0,006	Konfiguracja A	
0,187	0,501	0,126	0,494	1,271	0,337	0,009	0,056	0,005	Konfiguracja B	
0,223	1,929	0,059	0,589	4,995	0,136	0,012	0,156	0,015	Konfiguracja C	
0,140	0,535	0,072	0,368	1,285	0,196	0,009	0,103	0,001	Konfiguracja D	

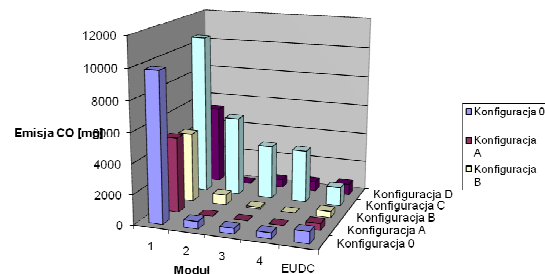
Tabela 2. Wyniki badania zużycia paliwa samochodu testowego- Konfiguracja A, B, C, D

Emisja CO ₂ [g/km]			Zużycie paliwa (l/100 km)			Uwagi
Test NEDC	Faza UDC	Faza EUDC	Test NEDC	Faza UDC	Faza EUDC	
162,7	206,2	137,7	6,92	8,83	5,82	Konfiguracja A
163,0	202,9	139,9	6,95	8,72	5,92	Konfiguracja B
154,0	184,6	136,3	6,67	8,21	5,77	Konfiguracja C
153,3	185,1	134,9	6,53	7,95	5,71	Konfiguracja D

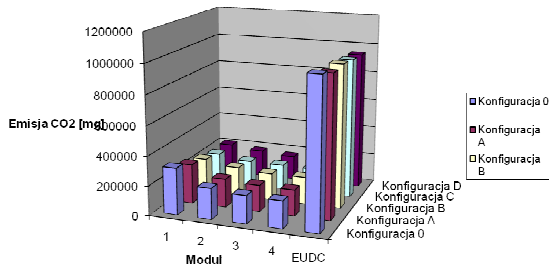
Na rysunku od 10 do 13 zaprezentowano zestawienie wyników pomiarów i porównanie ilości wydzielonych zanieczyszczeń w spalinach w konfiguracjach 0, A, B, C, D i wszystkich modułach testu NEDC.



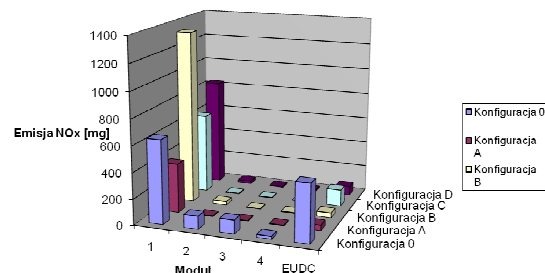
Rys. 10. Porównanie ilości wydzielonego HC w spalinach w konfiguracjach 0, A, B, C, dla testu NEDC (BOSMAL)



Rys. 11. Porównanie ilości wydzielonego CO w spalinach w konfiguracjach 0, A, B, C, dla testu NEDC (BOSMAL)

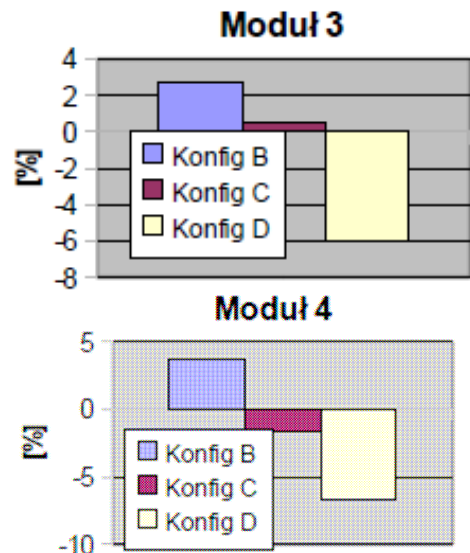


Rys. 12. Porównanie ilości wydzielonego CO₂ w spalinach w konfiguracjach 0, A, B, C, dla testu NEDC (BOSMAL)



Rys. 13. Porównanie ilości wydzielonego NO_x w spalinach w konfiguracjach 0, A, B, C, dla testu NEDC (BOSMAL)

Na rysunku 14 zaprezentowano porównanie zużycia paliwa kolejnych Konfiguracji napędu Mild Hybrid oznaczonych jako B, C, D w modułach 3, 4 w stosunku do odpowiednich Modułów Konfiguracji odniesienia A pojazdu z tradycyjnym napędem.



Rys. 14. Porównanie zużycia paliwa kolejnych konfiguracji napędu MildHybrid oznaczonych jako B, C, D w modułach 3 i 4 w stosunku do odpowiednich modułów konfiguracji odniesienia A (pojazd z napędem tradycyjnym)

6. Wnioski

Największe rejestrowane zmniejszenie zużycie paliwa o 5,64% w teście NEDC dzięki zastosowaniu napędu Mild Hybrid wystąpiło dla Konfiguracji IV. W części miejskiej UDC zarejestrowano zmniejszenie zużycia paliwa o 9,97%. W części pozamiejskiej zarejestrowane zmniejszenie zużycia paliwa wyniosło 1,89%.

W pierwszym Module I jazdy miejskiej zastosowanie podgrzewania płynu chłodzącego pozwoliło na zmniejszenie zużycia paliwa o 21,5% w stosunku do pojazdu bez napędu Mild Hybrid.

W Module II dzięki dalszemu działaniu układu podgrzewania zmniejszenie zużycia paliwa wynosi 5,36%.

W Module III dzięki włączeniu systemu Stop&Go uzyskano zmniejszenie zużycia paliwa na poziomie 6%.

Zbyt szybka inicjalizacja działania układu Stop&Go (Konfiguracja C napędu Mild Hybrid gdzie Stop&Go był inicjowany temperaturą płynu chłodzącego) powoduje zwiększenie zużycia paliwa o 0,5% (sytuacja pokazana na rysunkach 11, 12 za pomocą emisji HC). Zysk

powodowany wyłączeniem silnika podczas postojów jest niwelowany przez zbyt duże wzbogacanie dawki wtryskowej po każdym zadziałaniu systemu Stop&Go oraz problemy z jej dopaleniem w katalizatorze, co widać po nadmiarze HC w wynikach badań.

Najbardziej miarodajnym sygnałem do zezwolenia na działanie układu Stop&Go wydaje się być temperatura katalizatora, a nie temperatura płynu chłodzącego.

Współdziałanie układu Stop&Go w Module IV wraz z układem przegrzewania silnika pozwala na zmniejszenie zużycia paliwa o 6,76% w stosunku do testu odniesienia.

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

Literatura

[1]. Setlak R., Fice M., Kuś P.: *Thermal analysis in combustion engine for mild hybrid drive*. 2010 International Symposium on Electric Vehicles, II Conference of Polich Society for Ecological Vehicles, 7-8 lipiec, Warszawa 2010.

[2]. Setlak R., Fice M., Kuś P.: *Temperature electric regulation of cooling water in internal combustion engine in mild hybrid drive* - 2010 International Symposium on Electric Vehicles, II Conference of Polich Society for Ecological Vehicles, 7-8 lipiec Warszawa 2010.

[3]. Setlak R., Kuś P.: *Regulacja temperatury cieczy chłodzącej w układzie napędowym Mild Hybryd*, XIX Seminarium Techniczne-Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych, BOBRME KOMEL, Ryto 2010. Zeszyty Problemowe Nr 86/2010, str 213-219.

[4]. Setlak R., Kuś P.: *Badania cieplne silnika spalinowego samochodu osobowego w aspekcie zastosowania systemu napędowego Mild Hybryd*, XIX Seminarium Techniczne-Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych, BOBRME KOMEL, Ryto 2010. Zeszyty Problemowe Nr 86/2010, str. 219-225.