

**Rafał SETLAK, Marcin FICE**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI PRZEMYSŁOWEJ I INFORMATYKI

**Struktura Mild Hybrid w napędzie samochodu osobowego****Dr inż. Rafał SETLAK**

Adiunkt w Zakładzie Inżynierii Elektrycznej w Transporcie na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Prowadzi prace badawcze nad elektrycznymi napędami 4WD w pojazdach specjalnych, energooszczędny napędami pojazdów trakcyjnych oraz samochodami elektrycznymi i hybrydowymi.



e-mail: rafal.setlak@polsl.pl

**Mgr inż. Marcin FICE**

Doktorant w Zakładzie Inżynierii Elektrycznej w Transporcie na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Uczestniczy w pracach badawczych związanych z hybrydowymi układami napędowymi samochodów miejskich, energoelektrycznymi układami sterowania i zasilania napędów elektrycznych oraz diagnostyką układów elektrycznych i elektronicznych samochodów.



e-mail: marcin.fice@polsl.pl

**Streszczenie**

W artykule opisano początkowy etap konstrukcji napędu hybrydowego samochodu o strukturze Mild Hybrid. System ten pozwoli m.in. na automatyczne wyłączenie silnika spalinowego podczas postoju (w korku, na czerwonym świetle) a następnie ponowne szybkie załączenie. Zaprezentowano wybrane wyniki badań procentowych udziałów podstawowych faz cykli ruchu jazd testowych miastach śląska. Pomiar przeprowadzono na trasie Gliwice – Zabrze, w Zabrze oraz Gliwicach. Przedstawiono badania superkondensatora w procesie rozruchu silnika spalinowego.

**Słowa kluczowe:** napęd hybrydowy, Mild Hybrid, superkondensator.

**Mild Hybrid structure for car drive system****Abstract**

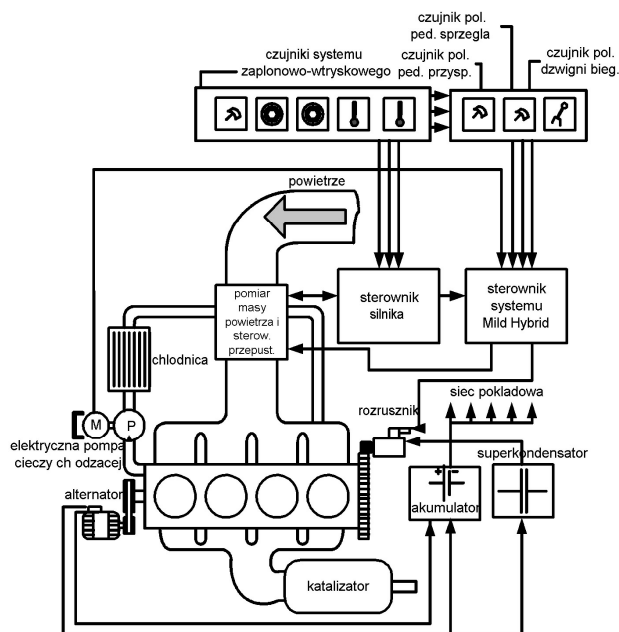
The paper describes initial stages of Mild Hybrid drive system design. This type of drive uses a traditional electric unit consisting of a battery, a starter and an alternator. This system, appropriately adapted, for instance by increasing its overall rated power and supplementing it with novel energy control procedures, can operate in a manner similar to hybrid car drives. Mild Hybrid system utilises standard components used in cars – i.e. starter and alternator. A supercapacitor will be introduced as a new component. Its role is to operate as energy accumulator for IC engine start-ups. A traditional car battery will also assume a new function, that of heating IC engine. Automobile Stop & Go System makes it possible to switch off the IC engine automatically when a vehicle stops (e.g. at red light or in traffic hold-ups) and then to switch it on quickly again. This results in decreasing the fuel consumption and carbon dioxide emission, particularly in towns. Within the framework of this study, there were taken the road measurements whose aim was to determine the real driving cycles. The results of supercapacitor performance during IC engine start-ups are presented in the paper. Several tens of IC engines start-ups were conducted, with the starter supplied from a traditional standard lead-acid battery (Centra Futura 055 290, C20=55Ah); next, similar tests were run using the supercapacitor (MAXWELL BPAK 15V 58F). The energy consumption at start-up and the start-up time were calculated.

**Keywords:** hybrid drive system, Mild Hybrid, supercapacitor.

**1. Wstęp**

Celem działań państw Unii Europejskiej w ostatnich kilku latach jest walka z tzw. zjawiskiem globalnego ocieplenia. Główną uwagę przykładają się do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla w sektorze transportu samochodowego, co według raportów IPCC ma wpływ na ocieplenie klimatu obserwowanego na świecie w ciągu ostatnich 15 lat. Wymóg zmniejszania zużycia paliwa przełożył się na szybki rozwój systemów zasilania i sterowania silników spalinowych (np. CR, FSI, TFSI, TCCI, DiesOtto) oraz systemów oczyszczania spalin (dla uzyskania obowiązujących norm emisji tzw. Norm EURO). Zwiększana jest dokładność rozpylania paliwa (np. zwiększenie ciśnień wtrysku, sterowanie strugami paliwa) czy zwiększania sprawności (turbodoładowanie, TwinTurbo). Nadal jednak negatywną cechą pojazdów z silnikami ZI jak i ZS jest bezproduktywne zużycie paliwa na biegu jałowym

czy wzbogaceni mieszanek podczas nagrzewania silnika. Zdaniem autorów pewne rezerwy w zmniejszeniu zużycia energii w samochodzie wykazuje zespół akumulator-rozrusznik-alternator, który po modernizacji komponentów i opracowaniu nowych metod zarządzania energią może w pewnych zakresach pracować podobnie do napędów hybrydowych samochodów. Zaletą systemu Mild Hybrid jest stosowanie typowych lecz zmodyfikowanych podzespołów rozrusznika i alternatora. Poddanie ich pewnym zmianom konstrukcyjnym umożliwi uzyskanie napędu o cechach hybrydowych.

**2. Układ napędowy Mild Hybrid**

Rys. 1. Uproszczonego schematu ekologicznego układu Mild Hybrid  
Fig. 1. Simplified ecological Mild Hybrid system

Budowany w Zakładzie Inżynierii Elektrycznej w Transporcie Politechniki Śląskiej napęd Mild Hybrid będzie zawierał w swojej strukturze następujące podsystemy:

- układ automatycznego wyłączenia a następnie szybkiego rozruchu silnika spalinowego wykorzystujący zmodernizowany rozrusznik umożliwiający częsty rozruch silnika spalinowego,
- układ ładowania zasobnika energii i zasilania sieci pokładowej samochodu wykorzystujący alternator z nowym układem sterowania oraz nowym układem rozdziału energii i regulacji napięcia. Opracowane algorytmy pozwolą na sterowanie przepływem energii do akumulatora i superkondensatora w zależności od zgromadzonej w nich energii. Układ sterowania będzie regulował wzbudzenie alternatora, aby podczas hamowania można było odzyskać część energii w superkondensatorze,

- zasobnik energii z bezobsługowym akumulatorem VRLA oraz modulem superkondensatora dla rozruchu silnika spalinowego.
- układ wstępnego podgrzewania bloku silnika i elektrycznej regulacji temperatury cieczy chłodzącej. Automatyczne podgrzanie wstępne pozwoli na nagrzewanie czynników chłodzącego i smarującego silnika spalinowego podczas postoju pojazdu przy wyłączonym silniku. W trakcie jazdy samochodu układ będzie umożliwiał regulację wydajności chłodzenia za sprawą elektrycznej pompy cieczy chłodzącej.

Zaletą systemu typu Mild Hybrid jest to, że mogłyby znaleźć zastosowanie w samochodach zasilanych zarówno klasycznymi paliwami jak i paliwami syntetycznymi, gazowymi LPG, CNG czy biopaliwami.

Uproszczony schemat blokowy proponowanego systemu Mild Hybrid pokazano na rysunku 1.

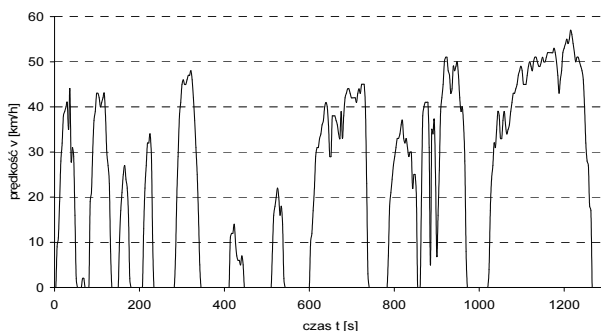
### 3. Badania cykli jazdy w wybranych miastach Śląskich

Celem badań było wyznaczenie częstotliwości zatrzymań, ruszeń oraz przyspieszeń w wybranych miastach aglomeracji śląskiej. Był to pierwszy etap prac nad systemem Mild Hybrid. Wyniki badań w dalszych etapach pracy pozwolą na opracowanie i wykonanie modernizacji rozrusznika czy dobór pojemności superkondensatora rozruchowego.

Do wyznaczenia reprezentatywnych cykli jazdy wybrano dwa miasta Gliwice oraz Zabrze. Następnie przeprowadzono serie jazd (w dniach roboczych w różnych porach dnia), których celem było wyznaczenie parametrów ruchu. Wybrano cztery trasy:

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

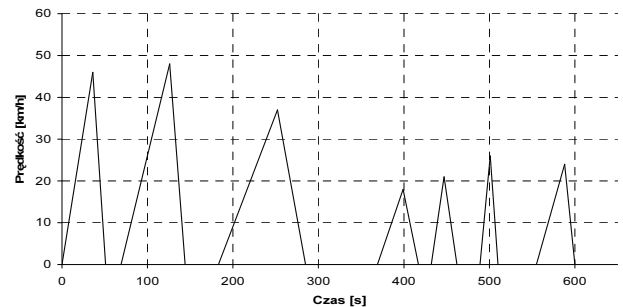
Podczas badań rejestrowano: czas jazdy, prędkość, długość trasy, wysokość nad poziomem morza oraz współrzędne geograficzne. Zarejestrowane dane pozwoliły obliczyć przyspieszenia i opóźnienia samochodu czy czasy postojów. Na każdej z wybranych tras pomiary przeprowadzono trzykrotnie w różnych dniach i różnych porach dnia. Na rysunku 2 pokazano wybrane wyniki pomiarów na trasie 1.



Rys. 2. Wykres prędkości samochodu podczas badań na trasie Gliwice – Zabrze  
Fig. 2. Velocity car waveform during tests on route Gliwice-Zabrze

Czas przejazdu tej trasy wynosił średnio 21 minut, a długość trasy wynosi 8,2 km. Najdłuższy czas przejazdu uzyskano w porze porannej i w tej właśnie porze przez ok. 6,5 minuty, (co daje około 31% czasu przejazdu) silnik spalinowy samochodu można było by

wyłączać w celu zmniejszenia zużycia paliwa i emisyjności spalin. Przeprowadzone pomiary pozwoliły na opracowanie własnych cykli reprezentatywnych. Pierwszy cykl został opracowany dla miejscowości Zabrze i nazwano go „Stop & Go Zabrze”, a drugi cykl został opracowany dla miejscowości Gliwice o nazwie „Stop & Go Gliwice” (rys. 3).



Rys. 3. Przebieg prędkości dla reprezentatywnego cyklu jazdy Stop & Go Gliwice  
Fig. 3. Velocity car waveform for representative drive cycle Stop & Go Gliwice

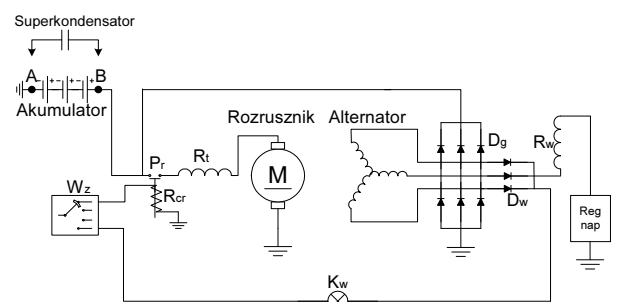
Opracowane dla czterech tras reprezentatywne cykle jazdy w dalszych etapach badań wykorzystywane będą hamowni podwozowej do porównania własności napędu Mild Hybrid ze zwykłym napędem ze silnikiem spalinowym.

### 4. Badania rozruchu silnika spalinowego przy zasilaniu z superkondensatora

W celu wyznaczenia energii pobieranej przez rozrusznik podczas rozruchu silnika spalinowego wykonano pomiary rozruchowe podczas których rozrusznik zasilany był albo z akumulatora kwasowo-olowiowego albo superkondensatora. Badano układ rozruchu silnika 178 B5.000 (samochód Fiat Palio Weekend 1242cm<sup>3</sup>, 8V, 54kW) z rozrusznikiem Magnetti Marelli-Denso E80E 12 V 1,0 kW. Podczas badań rozrusznika przeprowadzono kilkadziesiąt rozruchów silnika spalinowego przy zasilaniu z akumulatora kwasowo-olowiowego Centra Futura 055 290, C20=55Ah, jak i superkondensatora MAXWELL BPAK 15V 58F.

Podczas badań rejestrowano czasy rozruchu, prąd pobierany z akumulatora, napięcia na akumulatorze i superkondensatorze co następnie pozwoliło na obliczenie parametrów energetycznych rozruchu. Rozruchy silnika spalinowego (zimnego oraz ciepłego) przeprowadzono w temperaturze otoczenia  $t=26^{\circ}\text{C}$ .

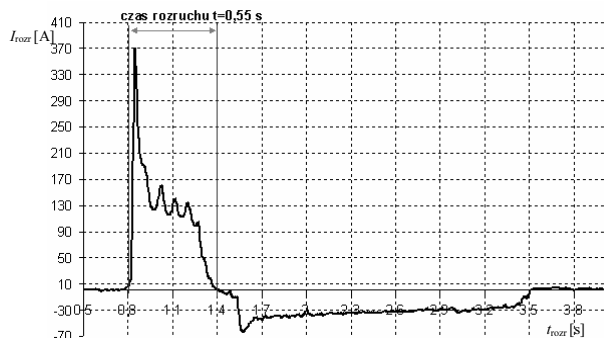
Schemat układu pomiarowego pokazano na rysunku 4. W miejsce akumulatora (zaciski A, B na rysunku 5) włączany w trakcie badań był superkondensator.



Rys. 4. Uproszczony schemat obwodu ładowania i rozruchu badanego samochodu:

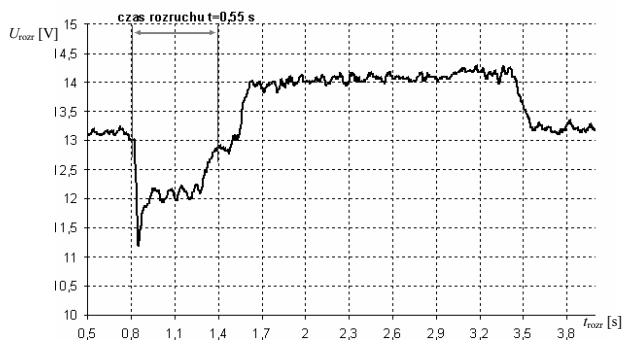
- Wz- wyłącznik zapłonu, Pr- wyłącznik elektromagnetyczny rozrusznika, Dg- diody obwodu głównego, Dw- diody obwodu wzbudzenia, Rcr- cewka wyłącznika elektromagnetycznego, Rt- uzwojenie wzbudzenia rozrusznika, Rw- uzwojenie wzbudzenia alternatora
- Fig. 4. Simplified Fiat Palio Weekend charging and starting system, Wz- ignition switch, Pr- starter switch, Dg- main circuit diodes, Dw- excitation circuit diodes, Rcr- electromagnetic switch coil, Rt- starter excitation winding, Rw- alternator excitation winding

Przykładowy przebieg prądu na akumulatorze (pomiar realizowany był na tzw. przewodzie masowym) podczas rozruchu pokazano na rysunku 5 natomiast przebieg napięcia (na zaciskach A, B) na rysunku 6. Po podjęciu pracy przez silnik spalinowy zmienił się kierunek prądu akumulatora, co wynikało ze wzbudzenia alternatora do napięcia większego niż napięcie akumulatora. Silnik spalinowy po procesie rozruchu wyłączany był przez operatora z opóźnieniem rzędu 2-3 sekund.



Rys. 5. Prąd akumulatora (przewód masowy instalacji) podczas rozruchu silnika spalinowego oraz po jego zakończeniu

Fig. 5. Starter current waveform (chassis wire) during and after engine starting



Rys. 6. Napięcie na zaciskach A, B akumulatora podczas rozruchu oraz po jego zakończeniu

Fig. 6. Starter voltage waveform at A, B battery terminals during and after engine starting

W tabeli 1 porównano średnie parametry serii rozruchów silnika spalinowego realizowanych za pomocą superkondensatora i akumulatora.

Tab. 1. Porównanie parametrów rozruchów silnika spalinowego za pomocą superkondensatora i akumulatora

Tab. 1. Comparison of starting parameters when supplying from lead-acid battery and supercapacitor

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

## 5. Zakończenie

Dla czterech badanych tras wyliczono średnie procentowy udziały poszczególnych faz cykli jazdy. Największy udział postaju uzyskano dla trasy 3 – Gliwice centrum. Dla trasy: 1 uzyskano 30% wartości procentowej czasu postaju, 2 uzyskano 27,7% wartości procentowej czasu przejazdu, 3 uzyskano 37,9% wartości procentowej czasu przejazdu, 4 uzyskano 28,9% wartości procentowej czasu przejazdu. Przeprowadzone pomiary czasu jazdy, prędkości, długości trasy i obliczenia przyspieszeń, opróżnień i czasów postaju pozwoliły na opracowanie własnego cyklu reprezentatywnego. Pierwszy cykl został opracowany dla miejscowości Zabrze i nazwano go „Stop & Go Zabrze”, a drugi cykl został opracowany dla miejscowości Gliwice o nazwie „Stop & Go Gliwice”.

Jak pokazały pomiary wykorzystanie superkondensatora do zastąpienia akumulatora, jako źródła zasilania rozrusznika w samochodzie wydaje się być realne. Energia zgromadzona w superkondensatorze (bez doładowywania alternatorem) wystarcza na przeprowadzenie trzech rozruchów silnika spalinowego. Żywotność wynosząca ponad 500 000 cykli ładowania/rozładowania jest o wiele większa (w porównaniu do 1500 dla akumulatora PbPbO<sub>2</sub>). Cena jednego modułu superkondensatora o pojemności wystarczającej do niezawodnego rozruchu silnika spalinowego odpowiada cenie akumulatora rozruchowego.

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

## 6. Literatura

- [1] Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1999,
- [2] Gałązka A.: Projekt systemu Stop & Go do ekologicznego samochodu osobowego. Praca Magisterska, Gliwice 2008.
- [3] 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.
- [4] 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”.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Nowa Strategia Zrównoważonego Rozwoju UE, Rada Unii Europejskiej z 8.6.2006.
- [8] Rezolucja Parlamentu Europejskiego w sprawie „zwyństwa w walce ze zmianami klimatycznymi” (2005/2049).
- [9] CE Delft na Europejską Konferencję Ministrów Transportu OECD „Efektywność kosztowa ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> w sektorze transportu-sytuacja i porównanie ze środkami stosowanymi w innych sektorach”.