

samochód elektryczny, modelowanie, symulacja

Dominik ADAMCZYK*, Michał MICHNA*,
Mieczysław RONKOWSKI*

UNIWERSALNY MODEL SYMULACYJNY UKŁADU NAPĘDOWEGO PROTOTYPU SAMOCHODU ELEKTRYCZNEGO „ELV001”

W artykule zaprezentowano uniwersalny model symulacyjny układu napędowego prototypu samochodu elektrycznego „ELV001”. Opracowany model implementowano do programu Synopsys/Saber. Przedstawiono wybrane wyniki symulacji zużycia energii elektrycznej przez samochód „ELV001” dla przykładowego przejazdu w ruchu miejskim.

1. WSTĘP

Aktualnie, większość czołowych producentów samochodów o napędzie spalinowym uruchamia produkcję samochodów elektrycznych. Publikowane są liczne prace dotyczące zagadnień struktury, projektowania, modelowania i symulacji oraz sterowania systemów napędu samochodów elektrycznych [1, 2, 8]. Również w Polsce prowadzone są badania w zakresie tej problematyki. W ramach projektu „Budowa rynku pojazdów elektrycznych, infrastruktury ich ładowania – podstawą bezpieczeństwa energetycznego”, konsorcjum Electric Car zaprojektowało i zbudowało prototyp samochodu elektrycznego oznaczonego symbolem „ELV001” [6]. Rozwiązania zastosowane w prototypie „ELV001” nie są optymalne w aspekcie synergii, w związku z czym prowadzone są dalsze badania mające na celu opracowanie zintegrowanego (synergicznego) układu napędowego. Koncepcję układu napędowego i założenia modelu symulacyjnego pojazdu „ELV001” przedstawiono w pracy [5]. Celem prowadzonych obecnie prac jest:

- rozszerzenie i pogłębienie wiedzy na temat zachodzących zjawisk elektromagnetycznych i elektromechanicznych w układzie wielosilnikowego napędu samochodu elektrycznego,

* Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, dadamc@ely.pg.gda.pl, mmichna@ely.pg.gda.pl, m.ronkowski@ely.pg.gda.pl

- rozwinięcie metodologii modelowania za pomocą podejścia energetycznego (metody grafów wiązań),
- opracowanie modeli obwodowych adekwatnych do zastosowania w algorytmach sterowania i symulatorach obwodowych.

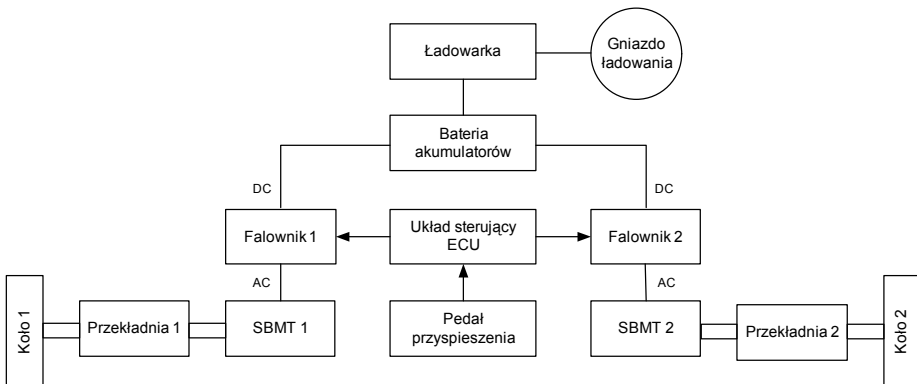
Kontynuując badania [5], opracowano uniwersalny model układu jezdnego samochodu „ELV001”, z uwzględnieniem możliwości oddzielnego napędu każdego z kół, oraz zadawania warunków przejazdu, takich jak prędkość, kierunek, poziom wniesienia. Opracowany model implementowano do programu Synopsys/Saber [9]. W niniejszej pracy przedstawiono wybrane wyniki symulacji zużycia energii elektrycznej przez samochód „ELV001” dla przykładowego przejazdu w ruchu miejskim.

2. MODEL SYMULACYJNY UKŁADU NAPĘDOWEGO

Model symulacyjny układu napędowego samochodu „ELV001” zbudowano w środowisku pakietu Synopsys/Saber, wykorzystując modele biblioteczne oraz opracowując własne modele w języku MAST pakietu [9].

2.1. OGÓLNA STRUKTURA UKŁADU NAPĘDOWEGO

Prototyp samochodu elektrycznego „ELV001” napędzany jest za pomocą dwóch silników bezszczotkowych z magnesami trwałymi (SBMT). Moment przenoszony jest na przednie koła za pomocą podwójnej przekładni pasowej (dla każdego silnika). Układ sterujący silnikami realizuje, m.in., funkcję elektronicznego mechanizmu różnicowego. Ogólną strukturę modelowanego układu napędowego przedstawiono na rysunku 1. Dane dotyczące zastosowanych elementów przedstawiono w pracy [5].

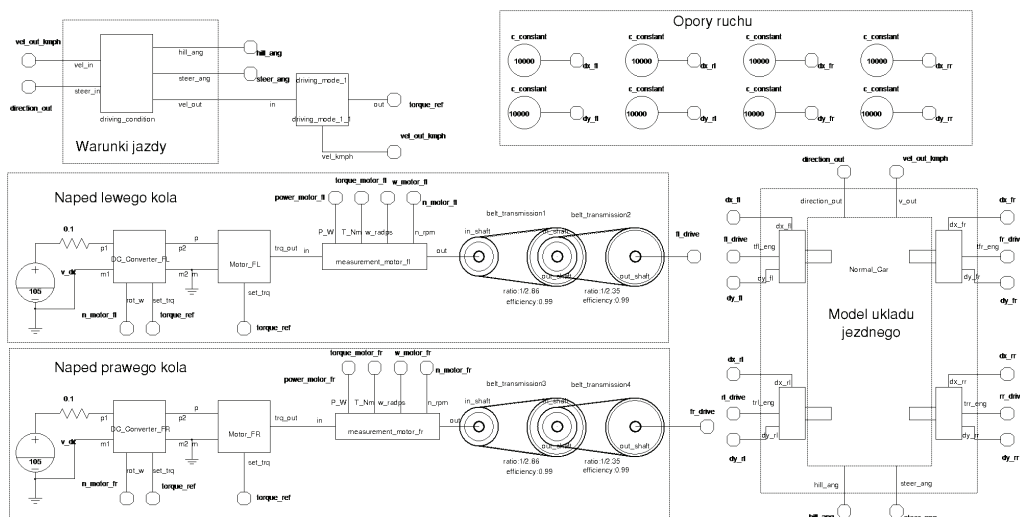


Rys. 1. Ogólna struktura układu napędowego prototypu samochodu elektrycznego „ELV001”

Fig. 1. A general structure of the drive system of the prototype electric vehicle „ELV001”

2.2. OGÓLNA STRUKTURA MODELU SYMULACYJNEGO

Model symulacyjny układu napędowego (rys. 2) składa się z następujących bloków: zadawania warunków jazdy (prędkość, kierunek, wzniesienie), sterowania pracą napędu (wybór trybów jazdy: *Eco*, *City*, *Load*, *Sport*), napędu kół (modele funkcjonalne falownika, silnika, przekładni pasowych), modelującego układ jezdny (opory ruchu, poślizg kół itp.).



Rys. 2. Model symulacyjny układu napędowego prototypu samochodu elektrycznego „ELV001”

Fig. 2. The simulation model the drive system of the prototype electric car „ELV001”

2.3. MODEL UKŁADU JEZDNEGO

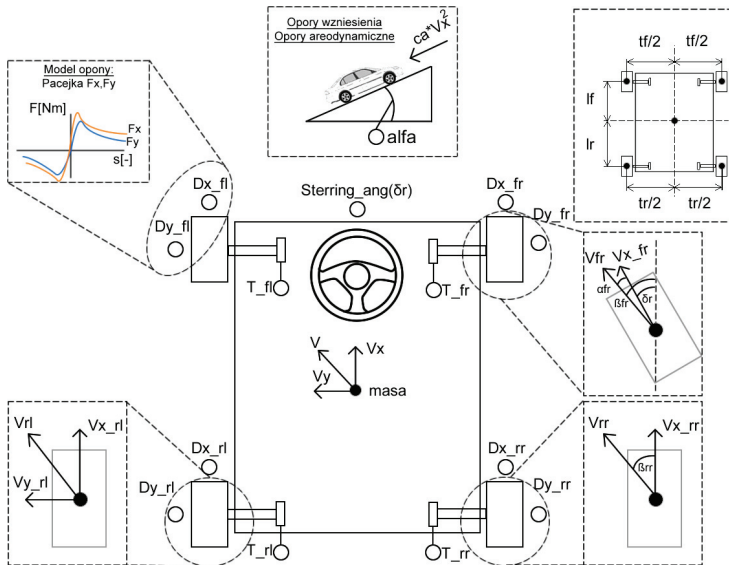
Opracowano uniwersalny model układu jezdnyego samochodu elektrycznego, którego koncepcję zaprezentowano na rysunku 3. Model opracowano na podstawie prac [3, 4], dokonując odpowiednich modyfikacji w celu:

- uwzględnienia zmiennej przyczepności każdego z kół,
- napędu – z opcją napędu na dwa lub cztery koła,
- prawidłowego obliczania oporów aerodynamicznych,
- możliwości zadawania własnych warunków jazdy, takich jak, prędkość, kierunek oraz poziom wzniesienia.

Równania modelu pojazdu zapisano w języku MAST symulatora Synopsys/Saber [9]. Siły działające na opony pojazdu wyznaczono w oparciu o model opisany w pracy [7].

2.4. MODEL SILNIKA I FALOWNIKA

Przy opracowywaniu modelu symulacyjnego części elektrycznej napędu zastosowano uproszczone modele energetyczne silnika i falownika. Podstawą do opracowania modeli były – uzyskane z badań laboratoryjnych – mapy zależności sprawności silnika i falownika od prędkości obrotowej silnika oraz momentu obciążenia. Dane zostały zapisane w postaci dwuwymiarowej tablicy i wykorzystane w symulacji z użyciem narzędzia TLU (ang. *Table Look-Up*) [9]. W każdym kroku obliczeniowym informacja o sprawności silnika lub falownika jest określana na podstawie aktualnej prędkości obrotowej oraz momentu obciążenia silnika.



Rys. 3. Koncepcja modelu układu jezdnego samochodu elektrycznego „ELV001”
Fig. 3. A conception of the electric vehicle “ELV001” powertrain model

3. WYBRANE WYNIKI SYMULACJI

Celem badań symulacyjnych była analiza zużycia energii w czasie jazdy samochodem „ELV001”. Opracowany model symulacyjny posiada możliwość zadawania warunków jazdy (prędkość, kierunek, wzniesienie) w oparciu o bibliotekę standardowych (znormalizowanych) cykli przejazdów (np. ECE) lub własnych danych zapisanych w plikach tekstowych. Poniżej przedstawiono wyniki symulacji, w których dane wejściowe uzyskano na podstawie zarejestrowanego, przy pomocy urządzenia GPS, przejazdu samochodem w ruchu mieszanym (dystans 15 km, czas przejazdu 929 sekund) (rys. 4, rys. 5).

Rys. 4. Trasa przejazdu opracowana na podstawie danych z GPS i odtworzona w symulacji
 Fig. 4. Travel route based on the GPS data and reconstructed in the simulation

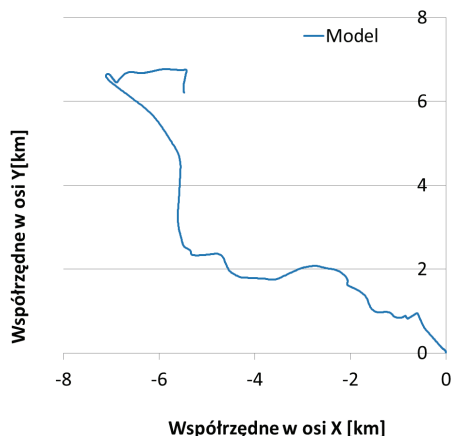
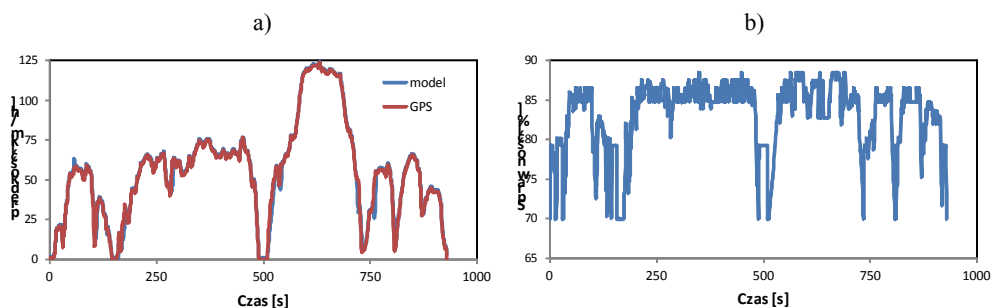


Tabela 1. Analiza zużycia energii samochodu elektrycznego w trakcie przejazdu testowego
 Table 1. Analysis of energy consumption of the electric car for the tested ride

Tryb przejazdu	Energia pobrana z akumulatorów [kWh]	Sprawność układu napędowego [%]
CITY	1,59	86,55
LOAD	1,63	86,19
ECO	1,60	86,45
SPORT	1,63	86,13



Rys. 5. Przykładowy przebiegi przejazdu testowego samochodu elektrycznego „ELV001” (tryb jazdy *Sport*): a) prędkość [km/h], b) sprawności [%]

Fig. 5. Example plots of the tested drive for electric car “ELV001” (ride in *Sport* mode): a) speed [km/h], b) efficiency [%]

Wybór trybu jazdy samochodu wpływa na dynamikę jazdy (przyspieszenie), lecz nie wpływa to znacząco na całkowite zużycie energii (tabela 1). Przez większość część

przejazdu (tryb jazdy *Sport*) napęd trakcyjny pracuje z optymalną sprawnością około 86% (rys. 5). Zużycie energii przez samochód elektryczny wyniosło około 1,6 kWh, co daje koszt około 1 zł. Przejazd samochodem spalinowym Renault Megan jest znacznie droższy – na podstawie wskazań komputera oszacowano: zużycie paliwa około 1,2 litra oraz koszt około 7 zł.

4. WNIOSKI

Wyniki badań symulacyjnych dotyczą analizy zużycia energii w czasie przejazdu samochodem „ELV001” (tryb jazdy *Sport*) w ruchu mieszanym. Wybór trybu jazdy wpływa na dynamikę jazdy (przyspieszenie) – nie wpływa jednak znacząco na całkowite zużycie energii. Przez większość część jazdy napęd trakcyjny pracuje z optymalną sprawnością około 86% (trasa 15 km, czas 929 s, zużycie energii około 1,6 kWh).

Opracowany model symulacyjny będzie wykorzystany do badania obecnego układu napędowego prototypu samochodu elektrycznego „ELV001”. Wyniki badań będą stanowić punkt wyjścia do opracowania bardziej wydajnych sposobów przeniesienia napędu – opracowania koncepcji zintegrowanego (synergicznego) układu napędowego.

Opracowanie w programie Synopsys/Saber pakietu do symulacji nowoczesnych układów napędowych samochodów elektrycznych, może stanowić wartościową ofertę dla projektantów i producentów samochodów elektrycznych.

LITERATURA

- [1] DRABEK T., MIKUŁA S., *Synteza układu sterowania pojazd samochodowego z napędem elektrycznym*, Przegląd Elektrotechniczny, R. 87, nr 4, 2011, 203–206.
- [2] GAO D.W., MI Ch., EMADI A., *Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles*, Proceedings of the IEEE, Vol. 95, Iss. 4, 2007, 729–745.
- [3] GUILLESPIE T.D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Soc. of Automotive Engineers SAE, 1992.
- [4] MARINO R., STEFANO S., FABIO C., *A Nonlinear Semiactive Rear Differential Control in Rear Wheel Drive Vehicles*, Chinese Control Conference, 2007, 597–602.
- [5] MICHNA M. i inni, *Koncepcja, modelowanie i symulacja układu napędowego prototypu samochodu elektrycznego „ELV001”*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, nr 92, 2011, 17–22.
- [6] MIELECKA AGENCJA ROZWOJU REGIONALNEGO MARR S.A., *Innowacyjna Gospodarka Działanie 5.1 – Dyfuzja Innowacji*, projekt: *Budowa rynku pojazdów elektrycznych, infrastruktury ich ładowania – podstawą bezpieczeństwa energetycznego*, www.marr.com.pl/poig/
- [7] PACEJKA H.B., *Tyre and Vehicle Dynamics*, Elsevier – Butterworth Heinemann, 2004.
- [8] RITCHIE E., TUTELEA L., *An Overview of Electric Vehicle In-wheel Drive Systems*, 39th International Symposium on Electrical Machines SME’2003, 9–11 June 2003, Gdańsk, Poland, 1–21.
- [9] Symulator Synopsys/Saber: www.synopsys.com

UNIVERSAL SIMULATION MODEL OF DRIVE SYSTEM
OF THE PROTOTYPE ELECTRIC VEHICLE “ELV001”

In this paper an universal simulation model for drive system of the prototype electric vehicle “ELV001” build by consortium Electric Car have been presented. The model has been developed using the system simulator Synpsys/Saber software. Chosen simulation results of the electric vehicle “ELV001” for the city ride have been presented.