

**Jakub Bernatt, Maciej Balkowiec**  
Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

## WPLYW WYBORU PRZEŁOŻEŃ NA ZUŻYCIĘ ENERGII ELEKTRYCZNEJ SAMOCHODU ELEKTRYCZNEGO

### INFLUENCE OF GEAR SELECTION ON ENERGY CONSUMPTION OF THE ELECTRIC CAR

**Streszczenie:** Artykuł przedstawia wyniki przeprowadzonych prób drogowych małego samochodu elektrycznego pod kątem obserwacji zużycia energii w zależności od przyjętego trybu jazdy. Przeprowadzono jazdy wraz z rejestracją parametrów (zużycie energii elektrycznej, moc chwilowe, prędkość jazdy itp.) dla ruchu pojazdu tylko z wykorzystaniem trzeciego biegu, a także klasycznym, tzn. ze zmianą biegów i użyciem sprzęgła. Jako pojazd testowy wykorzystano skonstruowany do wersji elektrycznej samochód Fiat Panda. Konwersję pojazdu wykonano w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL.

**Abstract:** Article presents the results of test rides of the small electric car in the aspect of energy consumption based on the ride mode. Several rides were performed with parameters registration (energy consumption, power, velocity etc.) in two modes: mode in which only 3rd gear is used and mode in which all 5 gears are used. For test rides there was used Fiat Panda which was converted to electric car in the Institute of Electrical Drives and Machines KOMEL.

**Słowa kluczowe:** pojazd elektryczny, napęd elektryczny, E-Kit

**Keywords:** electric vehicle, electric drive, E-Kit

#### 1. Wstęp

Samochody elektryczne, w obecnym stanie techniki, znakomicie nadają się do użytkowania w ruchu miejskim, aglomeracyjnym i podmiejskim. Jest to związane z ich ograniczonym zasięgiem (zazwyczaj 70-150 km) i mimo tego, że naładowanie baterii w ciągu 15 minut (do 80% pojemności) jest technicznie możliwe, to nawet przy gęstej sieci stacji szybkiego ładowania, podróże na długie, kilkusetkilometrowe dystanse pojazdami elektrycznymi jeszcze przez wiele lat nie będą popularne. Natomiast w ruchu miejskim, gdy samochodem pokonuje się od kilkunastu do stukilkudziesięciu kilometrów w ciągu 24 godzin, samochód elektryczny sprawdza się znakomicie. Jego zalety to przede wszystkim brak emisji spalin, znacznie zredukowana emisja pyłów z układu hamulcowego (dzięki możliwości hamowania regeneracyjnego silnikiem elektrycznym), dużo niższy poziom emitowanego hałasu, a także, co ma niebagatelne znaczenie dla użytkownika, kilkukrotnie niższy koszt przejechania 1 km niż miałyby to miejsce samochodem spalinowym. Dla samochodów elektrycznych koszt energii niezbędnej na przejechanie dystansu 100 km oscyluje w granicach 4-8 zł.

Koncerny samochodowe, jak również producenci niszowi, ośrodki badawcze i naukowe prowadzą szereg prac zmierzających do zwiększenia zasięgu samochodów elektrycznych. Jedną z takich prac było sprawdzenie zużycia energii elektrycznej samochodu z napędem elektrycznym przy różnych trybach korzystania z zamontowanej fabrycznie skrzyni biegów.

#### 2. Samochód testowy

Jako pojazd testowy posłużył zelektryfikowany Fiat Panda. Samochód zelektryfikowano zestawem E-Kit opracowanym w Instytucie KOMEL [2,6]. Jednym z założeń tej konwersji była minimalizacja kosztów, co wiązało się z pozostawieniem standardowej 5-cio stopniowej skrzyni biegów, sprzęgła oraz koła zamachowego. Zestaw E-Kit składa się z:

- silnika z magnesami trwałymi umieszczonymi wewnątrz wirnika (IPMSM) [5],
- falownika firmy SEVCON model Gen4Size8,
- trzech modułów baterii trakcyjnej firmy A123 i układu ładowania firmy Eltek.

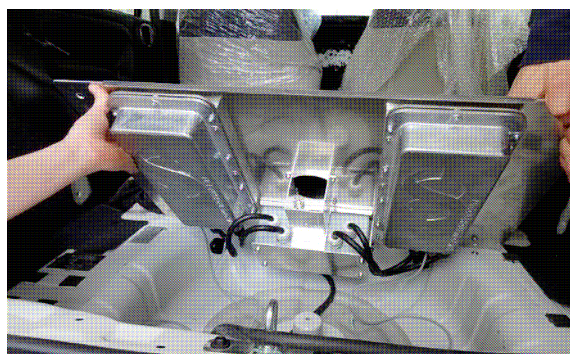
Rozmieszczenie niektórych elementów zestawu E-Kit przedstawiono na Rys.1-3.



Rys. 1. Widok komory silnika zelektryfikowanego Fiata Panda z nbudowanym modulem bateryjnym



Rys. 2. Widok komory silnika zelektryfikowanego Fiata Panda. Widoczne są silnik IPMSM, falownik oraz skrzynia biegów



Rys. 3. Widok przestrzeni bagażnika. W przestrzeni koła zapasowego zamontowano ładowarkę baterii trakcyjnej o łącznej mocy 6kW



Rys. 4. Widok zelektryfikowanego Fiata Panda

Podstawowe dane napędu elektrycznego Fiata Panda:

Dane silnika elektrycznego IPMSM:

- moc znamionowa 41 kW,
- moment znamionowy 119 Nm,
- prąd znamionowy 182 A,
- prędkość bazowa [4] sterowania dwustrefowego 3300 obr./min,
- moc maksymalna przy prędkości bazowej 62 kW,
- moment maksymalny 180 Nm,
- prąd maksymalny 280 A,
- typ chłodzenia: ciecz.

Dane falownika Gen4Size8:

- moc znamionowa 60 kW,
- moc maksymalna 100 kW,
- zakres napięcia stałego  $U_{DC}$ : 128 ÷ 400 V,
- znamionowy prąd fazowy silnika 200A,
- prąd chwilowy 2-min. 300 A,
- typ chłodzenia: ciecz.

Dane baterii trakcyjnej:

- energia 15 kWh (3 moduły po 5kWh każdy),
- napięcie baterii 257,4 V (85,8V każdy moduł).

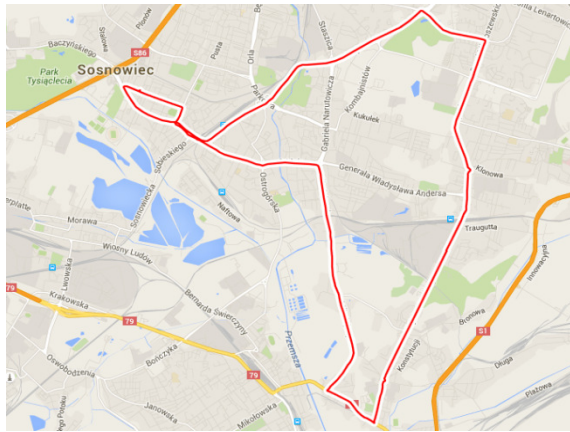
Badania eksploatacyjne przedstawione w [3] wykazały, że zasięg takiego samochodu wynosi od ok. 116 km przy średniej prędkości 70,5 km/h (prędkość maksymalna 90 km/h) do nawet 174 km przy średniej prędkości 47,8 km/h (prędkość maksymalna 50 km/h).

### 3. Przeprowadzone jazdy testowe

Jak wspomniano w rozdziale 2 w skonwertowanym samochodzie pozostawiono fabryczną, 5-biegową skrzynię przekładniową. Jednakże, z uwagi na dużą elastyczność silnika elektrycznego (silniki z magnesami trwałymi mogą rozwijać pełny, tzn. maksymalny moment obrotowy nawet przy zerowej prędkości obrotowej) w ruchu miejskim można używać dwóch, trzech biegów albo korzystać tylko z jednego, czyli biegu trzeciego, co pozwala poruszać się w zakresie prędkości 0-90 km/h. Celem badań było określenie, który z trybów jazdy jest bardziej korzystny ze względu na ograniczenie zużycia energii. W publikacji [1] przedstawiono wyniki testów zużycia energii elektrycznej dla zadanych prędkości jazdy na poszczególnych biegach na hamowni, z kolei w [3] przedstawiono wyniki testów silnika przy jeździe ze zmianą biegów i z ograniczeniem prędkości samochodu w warunkach rzeczywistych.

Po zamontowaniu rejestratorów parametrów napędu wykonano 4 przejazdy w ruchu miejskim na terenie miasta Sosnowiec (woj. Ślą-

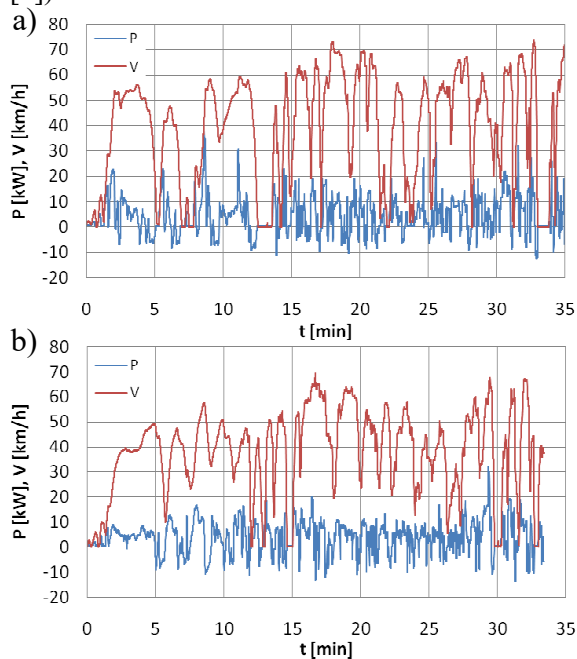
skie). Przed rozpoczęciem pomiarów pojazd przejechał ok. 15 km celem "rozgrzania" i ustabilizowania jego parametrów. Wszystkie jazdy testowe przeprowadzono na tej samej trasie o długości 20,9 km. Mapa z zaznaczoną trasą przejazdu widoczna jest na Rys. 5.



Rys. 5. Mapa z zaznaczonym przebiegiem trasy testowej

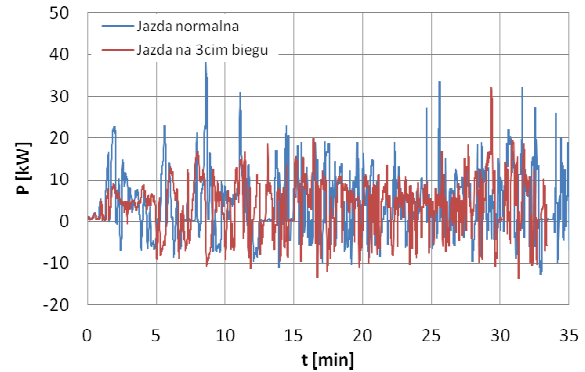
#### 4. Uzyskane wyniki

Zestawienie wyników z 4 jazd testowych zawarto na Rys. 6-13. Jako tzw. "przejazd normalny" należy rozumieć tryb jazdy ze zmianą biegów, w taki sposób, by nie przekraczać prędkości obrotowej silnika ok. 2500 obr/min (w tym zakresie dla stosunkowo niewielkich obciążeń napęd ma maksymalną sprawność [3]).

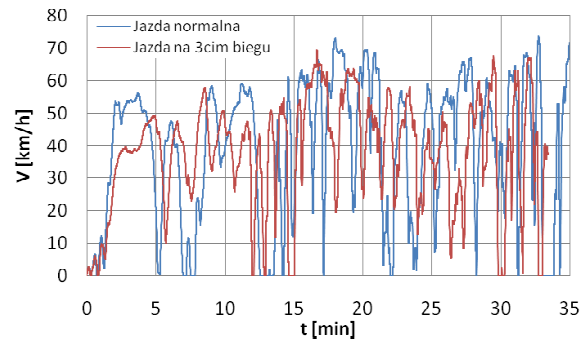


Rys. 6. Przebiegi mocy i prędkości zarejestrowane w dniu 07.04.2016r a) przejazd ze zmianą

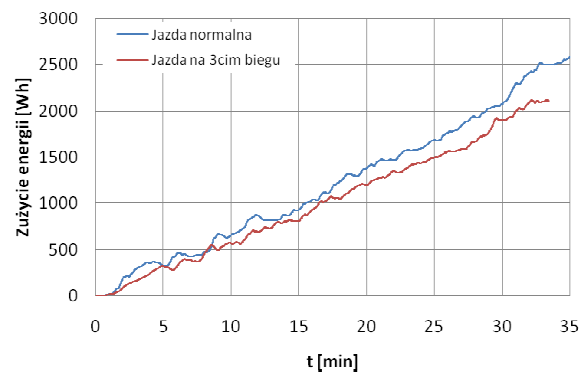
biegów; b) tylko trzeci bieg w całym zakresie prędkości



Rys. 7. Moc pobierana z baterii w czasie jazd w dniu 07.04.2016r (wartości ujemne mocy oznaczają hamowanie regeneracyjne)

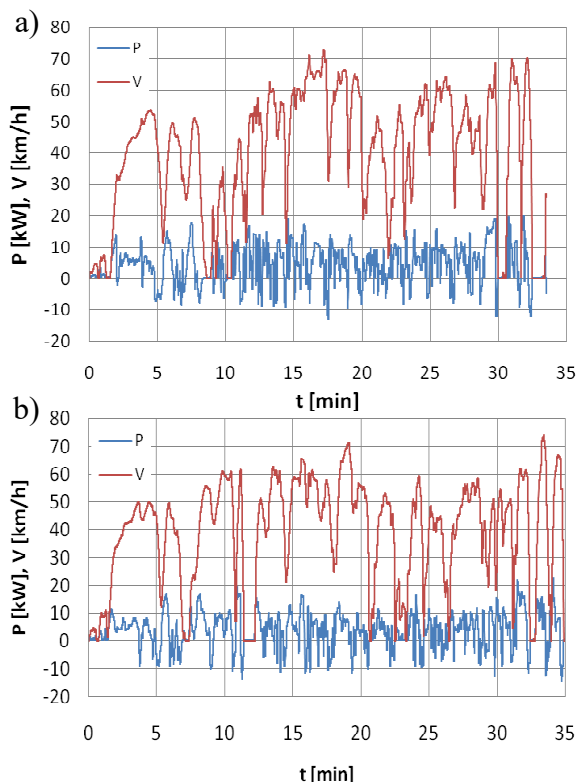


Rys. 8. Porównanie prędkości pojazdu w czasie jazd 07.04.2016r

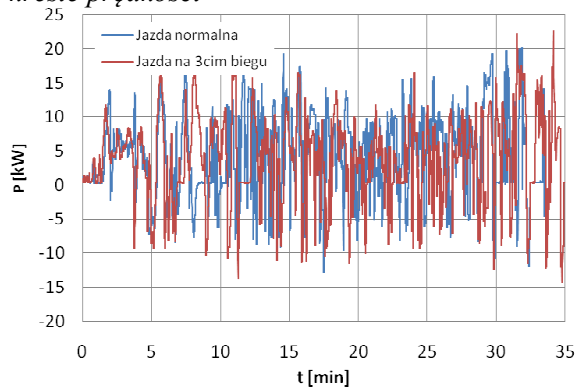


Rys. 9. Całkowite zużycie energii (uwzględniające odzysk energii w czasie hamowania) 07.04.2016r

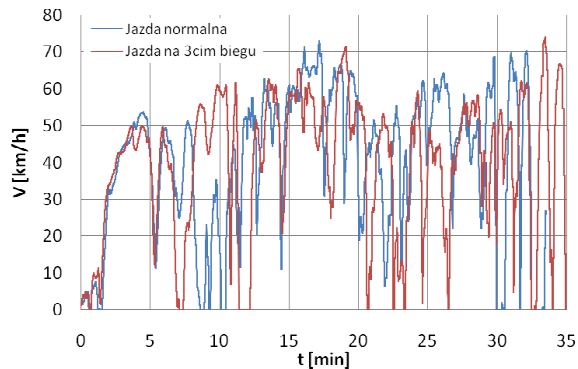
Teoretycznie korzystając ze zmiany przełożeń i tym samym dostosowując prędkość obrotową silnika do optimum jego sprawności powinno się uzyskiwać nieco niższe zużycie energii. Założenia tego nie potwierdziły wyniki przeprowadzonych pomiarów. W celu weryfikacji otrzymanych wyników przeprowadzono kolejną serię pomiarów na tej samej trasie w dniu 13.04.2016r.



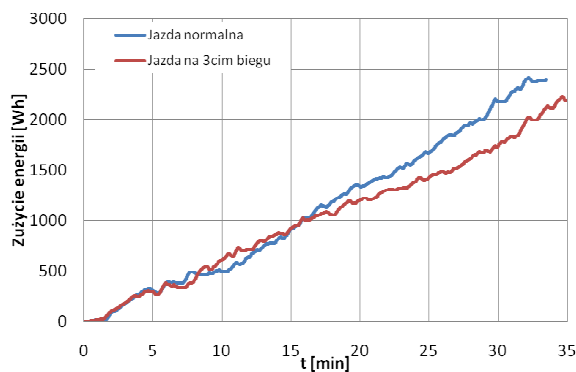
Rys. 10. Przebiegi mocy i prędkości zarejestrowane w dniu 13.04.2016r. a) przejazd ze zmianą biegów; b) tylko trzeci bieg w całym zakresie prędkości



Rys. 11. Moc pobierana z baterii w czasie jazdy w dniu 13.04.2016r



Rys. 12. Porównanie prędkości pojazdu w czasie jazdy 13.04.2016r



Rys. 13. Całkowite zużycie energii (uwzględniające odzysk energii w czasie hamowania) 13.04.2016r

Obydwa przejazdy potwierdzają, że bardziej ekonomiczną jazdą jest jazda tylko na trzecim biegu. Wyniki przejazdów przedstawiono w poniższej tabeli, w której zestawiono również wyniki z przejazdów opisanych w [3].

Tabela 1. Zestawienie wyników poszczególnych przejazdów

	Jazda mieszana, Tychy - Gliwice [3]	Jazda mieszana, Gliwice - Sosnowiec [3]	Przejazd normalny z 07.04.2016r.	Przejazd tylko na 3-im biegu z 07.04.2016r.	Przejazd normalny z 13.04.2016r.	Przejazd tylko na 3-im biegu z 13.04.2016r.
Dystans [km]:	32,0	39,0	20,9	20,9	20,9	20,9
Maksymalna prędkość [km/h]:	70,00	90,00	73,64	69,30	72,87	73,99
Czas przejazdu [min]:	46,3	33,2	34,95	34,1	32,95	34,2
Średnia prędkość [km/h]:	41,50	70,50	35,87	36,71	37,97	36,66
Energia pobrana z baterii [kWh]:	3,74	5,14	3,18	2,76	2,91	2,89
Energia oddana do baterii [kWh]:	0,33	0,13	0,59	0,64	0,51	0,70
Bilans energii [kWh]:	-3,41	-5,01	-2,59	-2,11	-2,40	-2,19
Zużycie energii na 100 km [kWh]:	10,64	12,84	12,39	10,11	11,47	10,48
Zasięg teoretyczny [km]:	141,0	116,8	121,0	148,4	130,8	143,1

## 5. Podsumowanie i dyskusja uzyskanych wyników

Obie serie jazd testowych wskazują, iż za każdym razem dla skrzyni przekładniowej zablokowanej na 3-cim biegu, w ruchu miejskim uzyskuje się nieco niższe zużycie energii, niż ma to miejsce przy aktywnym zmienianiu przełożeń. Następuje to najprawdopodobniej z dwóch powodów:

- przy aktywnej zmianie biegów występują straty mechaniczne w sprzęgle,
- przy korzystaniu ze zmiany biegów pojazd porusza się nieco bardziej dynamicznie i tym samym wartości mocy chwilowych pobierane przez silnik są wyższe. Zwiększa to straty w torach prądowych (baterii, w okablowaniu, a także w falowniku).

Mimo trwałego ustawienia 3-go biegu pojazd uzyskuje zadowalające przyspieszenia i prędkości, a jednocześnie zużywa nieco mniej energii elektrycznej. Taki sposób korzystania z samochodu z napędem elektrycznym podnosi komfort jazdy, gdyż kierowca ma wrażenie jakby jechał samochodem z automatyczną skrzynią biegów. Korzystanie ze sprzęgła jest całkowicie zbyteczne, nawet w trakcie postoju.

Opracowany w Instytucie KOMEL, w ramach projektu nr NR01-0084-10 system E-Kit umożliwia przeprowadzanie konwersji pojazdów spalinowych na elektryczne. Jak wykazano powyżej, korzystanie z takiego pojazdu w ruchu miejskim jest bardzo wygodne, gdyż można całkowicie zrezygnować ze zmiany biegów. W ramach w/w projektu wykonano konwersje dwóch samochodów, każdy z nich pokonał już dystans ok. 30 tys. km.

## 6. Literatura

- [1]. E. Król, R. Rossa: "Badanie napędu elektrycznego "E-Kit" w małym samochodzie osobowym w aspekcie zwiększenia zasięgu jazdy", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 2, str. 257 - 261, 2015.
- [2]. R. Rossa: "Zaawansowane rozwiązania techniczne w napędzie elektrycznym "E-Kit" dla miejskiego samochodu osobowego", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 2, str. 145 -149, 2014.
- [3]. R. Rossa "Badania eksploatacyjne samochodu osobowego zelektryfikowanego zestawem "E-Kit"", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 2, str. 151 -155, 2014.
- [4]. Morimoto S., Sanada M., Takeda Y.: "Wide-Speed Operation of Interior Permanent Magnet Synchronous Motors with High-Performance Current

Regulator", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol.30, No. 4, pp. 920-926, July/Aug. 1994.

[5]. Jahns T.M., Kliman G.B., Neumann T.W.: "Interior Permanent-Magnet Synchronous Motors for Adjustable-Speed Drives", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol. 22, No. 4, pp. 738-747, July/Aug. 1986.

[6]. A. Białas, W. Radwański: "Rozwiązanie koncepcyjne układu przeniesienia momentu obrotowego w miejskim samochodzie elektrycznym z napędem "E-Kit"", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 2, str. 59-61, 2014.

## Autorzy

dr hab. inż. Jakub Bernatt

mgr inż. Maciej Bałkowiec

Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych  
KOMEL

40-203 Katowice, al. Roździeńskiego 188