

DOBÓR PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH POJAZDU Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

CHOICE OF OPERATIONAL PARAMETERS OF ELECTRIC-DRIVE CARS

Opracowany w artykule model obliczeniowy doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu samochodowego z napędem elektrycznym pozwala na wyznaczenie jego zasięgu w zależności od: prędkości jazdy, gabarytów pojazdu, jednostkowego zużycia energii [kJ/kg], jednostkowych oporów ruchu, współczynnika obciążenia pojazdu f , sprawności układu napędowego, realnej energii jednostkowej akumulatorów [kJ/kg]. Na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych wyznaczono współczynnik $\beta=0,24$, który dla przyjętych pozostałych parametrów umożliwia wyznaczenie realnego zasięgu.

Słowa kluczowe: elektryczny pojazd miejski, zasięg eksploatacyjny, silnik elektryczny.

Thanks to the computational model of the choice of parameters for an electric drive car in this article it is possible to determine its range depending on: driving speed, car size, unit energy consumption [kJ/kg], unit resistance to motion, car load coefficient f , efficiency of the power transmission system, real unit energy of batteries [kJ/kg]. The operational experiments yielded the coefficient value of $\beta=0.24$, which for the other adopted parameters makes it possible to determine the real range.

Keywords: electric urban vehicle, operational range, electric engine.

1. Wprowadzenie

W związku z potrzebą ograniczenia zużycia nieodnawialnej energii i zagrożeń ekologicznych spowodowanych masowym transportem samochodowym intensyfikowane są prace w zakresie projektowania nowych układów napędowych pojazdów samochodowych w tym układów elektrycznych i hybrydowych.

W pracy przedstawiono projekt funkcjonalny i obliczeniowy pojazdu z napędem elektrycznym o przeznaczeniu do transportu na obszarze średniej wielkości miasta do 200 tysięcy mieszkańców o zasięgu 50 km przebiegu dziennego.

Podstawowy układ napędowy miejskiego pojazdu elektrycznego (MPEV) składa się ze źródła energii elektrycznej, silnika elektrycznego, przekładni mechanicznej i pneumatycznych kół jezdnych.

Samochody o napędzie elektrycznym projektowano pod koniec XIX wieku i konkurowały one z ówczesnymi pojazdami o napędzie parowym i spalinowym [4].

Występujący regres w rozwoju tych pojazdów był spowodowany m.in.:

- niższymi kosztami produkcji energii pozyskiwanej z paliw płynnych w stosunku do energii elektrycznej;
- mniejszą masą pojazdu z napędem spalinowym w porównaniu z elektrycznym (masą akumulatorów);
- ograniczonym zasięgiem przebiegu i maksymalnej prędkości jazdy pojazdu elektrycznego.

Obecnie ceny paliw płynnych rosną szybciej od energii elektrycznej i dostępność tej energii jest znacznie większa od energii nieodnawialnej ze względu na wykorzystanie różnych źródeł.

Obecny stan mechatroniki zastosowany w budowie i eksploatacji pojazdów o napędzie elektrycznym pozwala na porównanie takich parametrów jak zasięg, przyspieszenie, zdolność pokonywania wzniesień, prędkość maksymalna, zużycie energii, koszty eksploatacji, niezawodność i trwałość w odniesieniu do pojazdów z napędem spalinowym.

1. Introduction

As the need to cut down on the consumption of renewable energy becomes more and more urgent and it is becoming increasingly necessary to prevent environmental damage caused by common use of vehicles for transport, work is being stepped up aimed at designing new drive systems for cars, including electric-drives and hybrid-drive cars.

This paper presents the functional and computational design of an electric-drive car intended for use in transport in a medium-sized town of up to 200 thousand inhabitants, with a mileage of 50 km a day.

The basic drive system of an urban electric drive vehicle consists of a source of electric power, an electric engine, mechanical gear and pneumatic wheels.

Electric drive cars were designed at the end of the 19th century and at that time they competed with steam engine and combustion engine vehicles [4].

The factors which slowed down the development progress of such cars included:

- lower cost of production of energy from liquid fuels as compared to electric power;
- lower weight of a combustion engine car as compared to an electric drive (batteries);
- limited range and maximum speed of electric drive cars.

Currently, the prices of liquid fuels are increasing faster than those of electric power and their availability is much greater due to the use of various sources.

The current condition of mechatronics applied in the construction of electric drives allows for comparing such parameters as range, acceleration, ability to drive up hills, maximum speed, operational costs, reliability and durability as compared to combustion engines.

2. Określenie parametrów eksploatacyjnych

Podstawowymi parametrami eksploatacyjnymi pojazdu z napędem elektrycznym są: zasięg przebiegu w cyklu jazdy miejskiej, prędkość maksymalna, przyspieszenie, zdolność pokonywania wzniesień, zużycie energii na jednostkę przebiegu, odzyskiwanie energii podczas hamowania (rekuperacja), koszty eksploatacji, niezawodność i trwałość układu napędu elektrycznego.

Jak podano w pkt.1 podstawowym parametrem eksploatacyjnym pojazdu elektrycznego jest **zasięg** przebiegu (w km) definiowany drogą przebytą przez pojazd wykorzystując energię jednorazowo zmagazynowaną w akumulatorach bez doładowania. Wyróżnia się tu zasięg (Z) osiągnięty przez pojazd w przypadku jazdy:

- ze stałą prędkością $V=\text{const}$, jazda ustalona na poziomej drodze bez przyspieszeń;
- ze zmienną prędkością $V(t)$ poruszający się według powtarzalnego cyklu jazdy obejmującego następujące fazy: przyspieszanie, jazda ustalona, wybieg, hamowanie, postój.

Zasięg w przypadku $V=\text{const}$ można opisać zależnością:

$$Z=3,6 \cdot V \cdot t \quad [\text{km}] \quad (1)$$

gdzie: V - prędkość pojazdu [m/s]; t - realny czas pokonania opisanego zasięgu i jednocześnie czas wyładowania (t_b) baterii akumulatorów wyrażony w godzinach [h].

Realny czas t_b odróżnia się od znamionowego czasu wyładowania akumulatorów $t_n=1$ h. Czas t_b zależy od stanu energetycznego akumulatorów E . Jednostkowe zużycie energii przez pojazd elektryczny E może być wyrażone w kJ na km [kJ/km] lub kJ na km i kg masy pojazdu [kJ/km·kg]. Wówczas t_b zależy od stanu energetycznego (E) akumulatorów i pobieranej mocy (N) do napędu kół jezdnych [2]:

$$t_b = \frac{E}{3,6 \cdot N} \quad [\text{h}] \quad (2)$$

gdzie: N - moc jednostkowa wyładowania akumulatora w odniesieniu do masy pojazdu [W/kg]; E - jednostkowe zużycie energii [kJ/kg].

Na podstawie zależności Peuckerta można określić parametry zasobnika energii (akumulatora) [2]:

$$\frac{Q}{Q_n} = \left(\frac{I}{I_n} \right)^{-\beta} \quad (2a)$$

gdzie: Q, Q_n - realna i znamionowa (1-godzinna) pojemność akumulatorów [Ah]; I, I_n - realny i znamionowy (1-godzinny) prąd wyładowania akumulatora [A]; β - współczynnik Peuckerta.

Zatem:

$$E = E_n \cdot \left(\frac{N}{N_n} \right)^{-\beta} \quad (3)$$

Po uwzględnieniu zależności (1) i (2) zasięg pojazdu można wyznaczyć z zależności:

$$Z = 3,6 \cdot \left(\frac{E_n}{3,6 \cdot N} \right)^{1+\beta} \quad (4)$$

2. Determination of operational parameters

The basic operational parameters of an electric drive car include: the driving range of an urban drive cycle, maximum speed, acceleration, ability to drive up hills, consumption of energy per distance unit, energy recuperation when braking, operational costs, reliability and durability of an electric drive system.

As shown in item 1, **range** (in km) is the basic operational parameter of an electric drive car, defined as the distance covered by a car which uses the energy stored in batteries, without recharging. This can be divided into the range (Z) achieved by a car in driving:

- with a constant speed $V=\text{const}$, in steady driving on a horizontal road, without acceleration;
- with variable speed $V(t)$, when a car drives in a repeatable cycle, including the following phases: acceleration, constant driving, inert movement, braking, stopping.

If $V=\text{const}$, the range can be described by a relationship:

$$Z=3,6 \cdot V \cdot t \quad [\text{km}] \quad (1)$$

where: V - vehicle speed [m/s]; t - real time of covering the distance and the time (t_b) of discharging batteries, expressed in hours [h].

The actual time t_b is different than the rating time of battery discharge $t_n=1$ h. The time t_b depends on the energy state of the batteries E . The unit consumption of energy E by an electric drive car may be expressed in [kJ/km] or [kJ/km·kg]. Then t_b depends on the energy state (E) of batteries and the power (N) consumed to drive the road wheels [2]:

$$t_b = \frac{E}{3,6 \cdot N} \quad [\text{h}] \quad (2)$$

where: N - unit power of a battery discharge as related to the vehicle weight [W/kg]; E - unit consumption of energy [kJ/kg].

Based on Peuckert's relationship, the parameters of the energy storage reservoir (battery) can be determined [2]:

$$\frac{Q}{Q_n} = \left(\frac{I}{I_n} \right)^{-\beta} \quad (2a)$$

where: Q, Q_n - actual and rated (1-hour) capacity of batteries [Ah]; I, I_n - actual and rated (1-hour) battery discharge current [A]; β - Peuckert's coefficient.

Therefore:

$$E = E_n \cdot \left(\frac{N}{N_n} \right)^{-\beta} \quad (3)$$

After taking into account the relationships (1) and (2), one can calculate the range of a vehicle from the following relationship:

$$Z = 3,6 \cdot \left(\frac{E_n}{3,6 \cdot N} \right)^{1+\beta} \quad (4)$$

Zakładając, że E_n i N są parametrami określonymi na kołach napędowych, wartość tej energii i mocy obliczyć z zależności :

$$E_n = E_{n1} \cdot f \cdot h_p \quad (5)$$

gdzie: E_{n1} – realna energia jednostkowa akumulatora, która dla akumulatorów trakcyjnych wynosi 100-200 kJ/kg przy trwałości ok. 1500-3000 cykli ładowania i sprawności $\eta_a=0,8-0,9$; $f=m_a/m_p$ – współczynnik obciążenia pojazdu masą akumulatorów; η_p – sprawność układu napędowego.

Oraz:

$$N = V \cdot F_n \quad (6)$$

gdzie: F_n – siła napędowa na kołach $F_n \geq \sum_{i=1}^n O_i$; O_i – opory ruchu pojazdu.

W tym przypadku po podstawieniu do wzoru (4) zależności (5) i (6) można wyrazić zasięg Z jako:

$$Z = 3,6 \cdot V \cdot \left(\frac{E_{n1} \cdot f \cdot h_p}{3,6 \cdot V \cdot F_n} \right)^{(1+b)} \quad (7)$$

Na podstawie określonego zależnościami (7) zasięgiem pojazdu o przyjętych parametrach technicznych i eksploatacyjnych (V, F_n, O_i, m_{poj} , itp.) można dobrać moc napędu, energię jednostkową akumulatorów oraz rodzaj napędu pojazdu. Wpływ zmiennych parametrów eksploatacyjnych pojazdu na jego zasięg przedstawiono na rys. 1.

Na rys. 1 przedstawiono wykres ilustrujący zasięg pojazdu od prędkości jazdy dla przyjętych charakteryst. yk eksploatacyjnych układu napędowego pojazdu.

Dla przyjętych koncepcji elektrycznego układu napędowego pojazdu samochodowego założono następujące parametry[1]:

- masa konstrukcyjna pojazdu	580 kg
- masa akumulatorów (4 x 38 kg)	152 kg
- prędkość maksymalna	19,44m/s (70 km/h)
- przyspieszenie	0,4 m/s ²

Bazując na doświadczeniach przeprowadzonych z pojazdem miejskim o napędzie elektrycznym przyjmujemy do wyliczenia zasięgu pojazdu elektrycznego wartość współczynnika $\beta=0,24$. Po podstawieniu do zależności (7) otrzymujemy wykres zmian zasięgu w zależności od prędkości jazdy pojazdu przedstawiony na rys. 2.

Przykładowe zestawienie podzespołów do budowy elektrycznego pojazdu miejskiego na bazie taniego samochodu miejskiego Trabant przedstawiono w tabeli 1 [1].

Assuming that E_n and N are parameters determined on the driving wheels, the value of the energy and power can be calculated from the following relationship:

$$E_n = E_{n1} \cdot f \cdot h_p \quad (5)$$

where: E_{n1} – the actual unit energy of a battery, which for a traction battery ranges from 100 to 200 when the durability ranges from about 1500 to about 3000 charge-discharge cycles and the efficiency $\eta_a=0,8-0,9$; $f=m_a/m_p$ - the coefficient describing the vehicle load with the battery weight; η_p – efficiency of the power transmission system.

And:

$$N = V \cdot F_n \quad (6)$$

where: F_n – driving force on wheels $F_n \geq \sum_{i=1}^n O_i$, O_i – resistance to motion of a vehicle.

In this case, when the relationships (5) and (6) are substituted in formula (4), the range Z can be expressed as:

$$Z = 3,6 \cdot V \cdot \left(\frac{E_{n1} \cdot f \cdot h_p}{3,6 \cdot V \cdot F_n} \right)^{(1+b)} \quad (7)$$

Based on the value of the vehicle range, described by relationship (7), the vehicle having the assumed operational parameters (V, F_n, O_i, m_{poj} , etc.), the power of the drive, the unit energy of batteries and the type of the drive system can be determined. The influence of the variable operational parameters of a vehicle on its range is shown in Fig. 1.

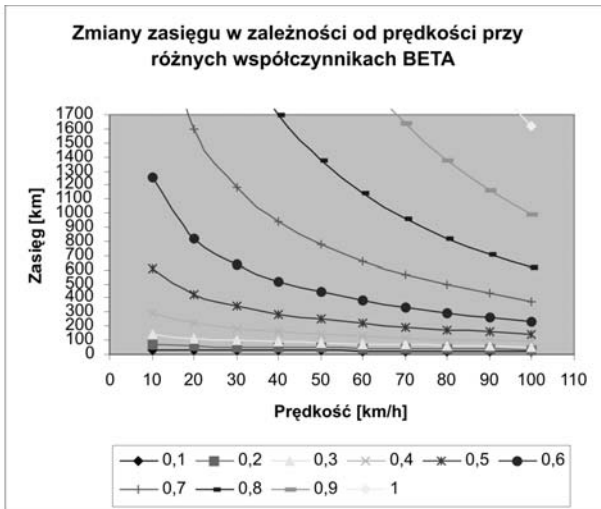
Fig.1 shows the diagram which illustrates the relationship between the vehicle range and the driving speed for the assumed operational characteristics of the vehicle power transmissions system.

The following parameters were assumed for the adopted concepts of the electric drive system of a car[1]:

- weight of a car	580 kg
- weight of batteries (4 x 38 kg)	152 kg
- maximal speed	19.44m/s (70 km/h)
- acceleration	0.4 m/s ²

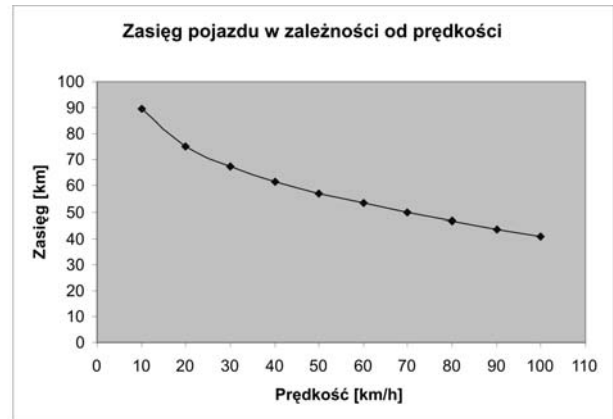
Based on the experiments with an electric drive urban car, the range of an electric drive car was calculated using the coefficient value $\beta=0.24$. Substituting to relationship (7) yields the relationship between changes of the range and the driving speed; the diagram is shown in Fig. 2.

An example list of elements of construction of an electric drive urban car, based on an inexpensive Trabant car, is shown in Table 1 [1].



Rys. 1. Wykres zależności zasięgu pojazdu od prędkości jazdy przy różnych wartościach współczynnika β





Fig. 1. Diagram of the relationship between the range of a vehicle and the driving speed at various values of coefficient β



Rys.2. Wykres zmian zasięgu pojazdu elektrycznego w zależności od prędkości jazdy przy założonym współczynniku $\beta=0,24$

Rys.2. The relationship between changes of the range and the driving speed, with the adopted value of $\beta=0.24$

Tab. 1. Przykładowe zestawienie elementów do budowy pojazdu miejskiego z napędem elektrycznym
Tab. 1. An example list of construction elements of an electric drive urban car.

Elementy przykładowego pojazdu elektrycznego / Elements of an example electric drive car	
Samochód osobowy Trabant model 1,1 A Trabant car, model 1,1	
Silnik elektryczny Etek Electric engine Etek	
Sterownik impulsowy silnika elektrycznego Alltrax AXE-7245 A pulse programmer of an electric engine Alltrax AXE-7245	
Akumulatory Trojan T-1275 Trojan T-1275 Batteries	
Inne elementy (okablowanie, styczniki itp.) / Other elements (wiring, contactors, etc.)	

3. Wnioski

Opracowany model obliczeniowy doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu samochodowego z napędem elektrycznym pozwala na wyznaczenie jego zasięgu w zależności od: prędkości jazdy, gabarytów pojazdu, jednostkowego zużycia energii [kJ/kg], jednostkowych oporów ruchu, współczynnika obciążenia pojazdu f , sprawności układu napędowego, realnej energii jednostkowej akumulatorów [kJ/kg]. Na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych wyznaczono współczynnik $\beta=0,24$, który dla przyjętych pozostałych parametrów umożliwia wyznaczenie realnego zasięgu na podstawie wzoru 7.

4. References

- [1] Janulin M., Nowacki B.: Praca magisterska: *Model fizyczny pojazdu miejskiego z napędem elektrycznym* WNT UWM 2007 wykonana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Ryszarda Michalskiego.
- [2] Michałowski K., Ocioszyński J.: *Pojazdy samochodowe o napędzie elektrycznym i hybrydowym*. WKiŁ, Warszawa 1989.
- [3] Olszowiec P.: *Elektryczne samochody, słoneczne rowery*, Energia gigawat nr 12/2003, 2003.
- [4] Szczepaniak C.: *Motoryzacja na przełomie epok*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa-Łódź 2000.

3. Conclusions

Thanks to the computational model of the choice of parameters for an electric drive car it is possible to determine its range depending on: driving speed, car size, unit energy consumption [kJ/kg], unit resistance to motion, car load coefficient f , efficiency of the power transmission system, real unit energy of batteries [kJ/kg]. The operational experiments yielded the coefficient value of $\beta=0.24$, which for the other adopted parameters makes it possible to determine the real range from formula 7.

Prof. dr hab. inż. Ryszard MICHALSKI

Mgr inż. Michał JANULIN

Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
UWM w Olsztynie

ul. Oczapowskiego 2

10-719 Olsztyn

tel.: (089) 523-34-63

e-mail: michal.janulin@wp.pl
