

Rafał Konsek
Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

ELEKTRYCZNY NAPĘD GÓRNICZYCH KOLEJEK PODWIESZONYCH

ELECTRIC DRIVE OF MINE SUSPENDED RAILWAYS

Streszczenie: Przedstawiona w niniejszym artykule analiza energochłonności pozwala na wyznaczenie zasięgu oraz wydajności górniczych kolejek podwieszonych w zależności od prędkości jazdy, siły uciążu i sprawności układu przeniesienia napędu. Analizę energochłonności przedstawiono na przykładzie podwieszanego ciągnika akumulatorowego PCA-1.

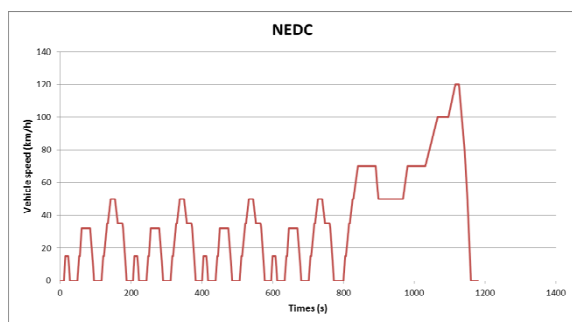
Abstract: The calculation of the drive range and the work efficiency of the PCA-1 suspended battery drivetrain based on the energy consumption analysis is presented in the paper. All of the analysis are made according to the drivetrain speed, pulling force and the drive system efficiency. Energy consumption analysis shown in the paper is based on the example of the PCA-1 suspended battery drivetrain.

Słowa kluczowe: górnicza kolejka podwieszona, napęd elektryczny

Keywords: suspended railway, electric drive

1. Wprowadzenie

Podstawowym zagadnieniem dla projektantów pojazdów elektrycznych jest ocena czasu zużycia zmagazynowanej energii [2, 3]. Przykładowo w badaniach homologacyjnych w Unii Europejskiej zużycie energii przez samochody elektryczne jest wyznaczane zgodnie z procedurą opisaną w Regulaminie EKG ONZ nr 101. Samochody są badane na hamowni podwozowej w teście jezdnym NEDC (*New European Driving Cycle*) (rys.1).



Rys. 1. Pomiarowy cykl jazdy NEDC [4]

Wyniki tych testów, takie jak zasięg i wydajność przedstawiane są potencjalnym klientom np. w kartach katalogowych. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe dane dla kilku wybranych samochodów osobowych z napędem elektrycznym.

Tabela 1. Zasięg i energochłonność samochodów

Samochód	Zasięg (NEDC)	Energochłonność
	km	kWh/100km
Renault ZOE	210	14,6
Hyundai IONIQ	280	11,5
Nissan Leaf	250	15,0
BMW i3	190	12,9

W przypadku pojazdów górniczych brak jest regulacji dotyczących określenia ich zużycia energii oraz zasięgu. W związku z tym w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG rozpoczęto prace związane z wyznaczeniem energochłonności pojazdów górniczych z napędem elektrycznym. Prace te polegają na przeprowadzeniu symulacji komputerowych. W artykule przedstawiono wyniki symulacji zużycia energii i zasięgu na przykładzie podwieszanego ciągnika akumulatorowego PCA-1.

Tabela 2. Górnicze kolejki podwieszane

Typ	Producent	Max. siła uciągu	Moc wyjściowa	Pojemność baterii (znamionowa)
		kN	kW	kWh
PCA-1	Hellfeier Sp. z o.o.	2,7	2,2	4,8
GAD-1	Nafra Sp. z o.o.	120	88	39,75
DLZA90F	Ferrit s.r.o.	180	45	132
BZ-45-2-40	SMT Scharf Sp. z o.o.	45	31	64,8
CMA-190	Becker Warkop Sp. z o.o.	20 (1 nap. cierny)	22	82
		40 (2 nap. cierny)	44	
BK-50	Braeutigam Gear & Mining Tech GmbH & Co. KG	52	50	64,8

2. Wyznaczanie energochłonności napędów elektrycznych górniczych kolejek podwieszonych

Energochłonność napędu pojazdu jest definiowana jako praca, którą należy wykonać do pokonania oporów ruchu i sił bezwładności podczas transportu. Opory ruchu można podzielić na zależne i niezależne od prędkości. Energochłonność zależy zarówno od cech konstrukcyjnych pojazdu, jak i od profilu trasy oraz sposobu jej pokonania. Zapotrzebowanie na energię uzależnione jest również od masy transportowanego materiału oraz od nachylenia trasy. Na energochłonność transportu mają wpływ również straty powstałe podczas zamiany energii źródła na energię mechaniczną w układzie napędowym. Straty te można jednak optymalizować w procesie projektowo-konstrukcyjnym poprzez odpowiedni dobór cech jednostki napędowej. Minimalizacja energochłonności transportu jest skomplikowanym zadaniem. Zmiennymi mogą być cechy konstrukcyjne takie jak: kształt i masa pojazdu, przełożenie oraz sposób sterowania, który w szczególności może dotyczyć prędkości chwilowej, miejsca uruchomienia i wyłączenia odpowiedniej jednostki napędowej, doboru optymalnych nastaw sterownika jednostki napędowej, np. natężenia prądu czy napięcia. W przypadku górniczych kolejek podwieszonych, sposób przemieszczania się z punktu

początkowego A do punktu końcowego B można sformułować jako zadanie optymalizacji w aspekcie energochłonności.

Istotnym zagadnieniem w napędach elektrycznych jest prawidłowy dobór baterii akumulatorów. W Tabeli 2 przedstawiono moce wyjściowe i pojemności baterii elektrycznych kolejek podwieszonych. Wymaganą pojemność akumulatorów wyrażoną w watogodzinach wyznaczyć można na podstawie zależności:

$$Q_B = w_B \cdot \frac{\sum P_w}{2} \cdot t \quad (1)$$

Q_B – pojemność baterii akumulatorów [Wh],
 w_B – współczynnik bezpieczeństwa,
 P_w – sumaryczna moc wyjściowa [W],
 t – czas [h].

Jak widać w powyższym równaniu, pojemność baterii powinna odpowiadać czasowi pracy, połowie sumie mocy odbiorników powiększonych o współczynnik bezpieczeństwa, który uwzględnia sprawność części układu napędowego pomiędzy baterią a silnikiem napędowym oraz żywotność akumulatorów, cechującą się utratą pojemności [1]. Przykładowo przyjmując, że czas pracy ciągnika PCA-1 powinien wynosić 4h i współczynnik bezpieczeństwa 1,2 obliczono, że pojemność baterii akumulatorów powinna wynosić:

$$Q_B = 1,2 \cdot 1,1 \text{ kW} \cdot 4 \text{ h} = 5,28 \text{ kWh}$$

3. Analiza energochłonności podwieszono- nego ciągnika akumulatorowego PCA-1

Analizę energochłonności górniczych kolejek podwieszonych przedstawiono na przykładzie podwieszono-ego ciągnika akumulatorowego PCA-1. Ponieważ obecnie nie ustalono pomiarowego cyklu jazdy górniczych kolejek podwieszonych, analizę energochłonności przeprowadzono symulując jazdę ciągnika PCA-1 według cyklu NEDC, ustalając proporcjonalnie, że prędkość 100km/h odpowiada prędkości 1m/s. Z uwagi na fakt, że ciągnik PCA-1 przeznaczony jest do prac manewrowych na krótkich odcinkach trasy, do symulacji wybrano część „jazda miejska” cyklu NEDC trwająca do 800 sekundy. Danymi wejściowymi były sprawność układu napędowego, prędkość oraz siła uciągu (dla uproszczenia przyjęto, że ciągnik porusza się z maksymalną siłą uciągu). Wynikiem symulacji były przebyta droga i zużyta energia ciągnika PCA-1. Wyniki te przedstawiono na rys.2. Przebytą drogę obliczano podczas symulacji na podstawie zależności (2), natomiast energię zużytą podczas jazdy za pomocą wzorów (3), (4) i (5).

$$s = \int_{t_0}^{t_1} V(t) dt \quad (2)$$

s – droga [m],

$V(t)$ – prędkość [m/s],

t_0 – czas początku jazdy [s],

t_1 – czas końca jazdy [s].

$$P_w(t) = F_p(t) \cdot V(t) \quad (3)$$

$P_w(t)$ – moc wyjściowa [kW],

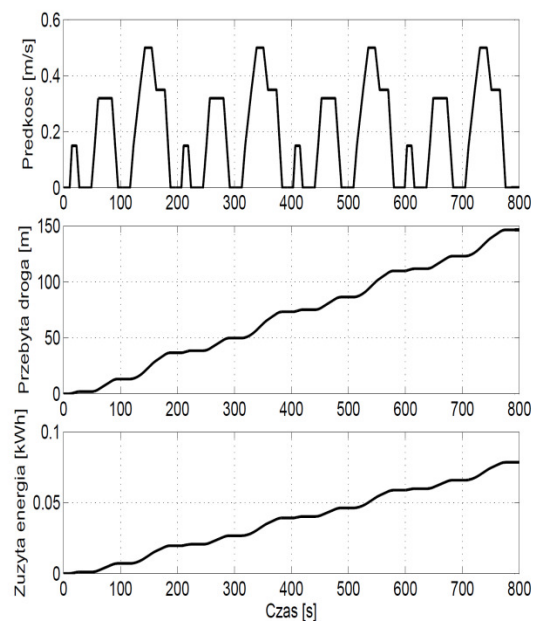
$F_p(t)$ – siła pociągowa [kN].

$$Q_{Bz}(t) = \frac{P_w(t)}{\eta_n} \quad (4)$$

$Q_{Bz}(t)$ – energia pobierana z akumulatorów [kW]

$$Q_{Bz} = \int_{t_0}^{t_1} Q_{Bz}(t) dt \quad (5)$$

Q_{Bz} – energia pobrana z akumulatorów [kWh].



Rys. 2. Prędkość, przebyta droga i zużycie energii ciągnika PCA-1[1]

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że ciągnik PCA-1 przebył drogę 150 metrów zużywając 0,08 kWh energii. Na podstawie powyższego obliczono, że zasięg podwieszono-ego ciągnika akumulatorowego PCA-1 wynosi 9 kilometrów, a energochłonność transportu 53kWh/100km.

4. Podsumowanie

Przedstawiona w niniejszym artykule analiza energochłonności pozwala na wyznaczenie zasięgu oraz wydajności górniczych kolejek podwieszonych w zależności od prędkości jazdy, siły uciągu i sprawności układu przeniesienia napędu. Należy podkreślić, że wykorzystanie pomiarowego cyklu jazdy NEDC nie do końca odpowiada rzeczywistym cyklom pracy górniczych kolejek podwieszonych, daje jedynie przybliżony wynik. Stąd dalsze kierunki prac związane będą z określeniem rzeczywistych cykli jazdy, mogących przybliżyć uzyskiwane wyniki z przeprowadzanych badań symulacyjnych do rezultatów otrzymywanych w warunkach rzeczywistych. W podobny sposób można również analizować energochłonność innych pojazdów elektrycznych, np. górniczych lokomotyw szynowych.

5. Literatura

[1]. Konsek R.: "Optymalizacja pracy elektrycznego układu napędowego przeznaczonego do kolejek podwieszonych", Praca statutowa ITG Komag 2016r, niepublikowana.

- [2]. Michalski R., Janulin M.: "Dobór parametrów eksploatacyjnych pojazdu z napędem elektrycznym", Nauka i Technika, nr 3/2008r.
- [3]. Rudnicki T.: "Pojazdy z silnikami elektrycznymi", Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 80/2008r.
- [4]. www.car-engineer.com/the-different=driving-cycles/.

Autor

dr inż. Rafał Konsek
e-mail: rkonsek@komag.eu
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice