

# Szacowanie czasu pracy górnich maszyn transportowych z napędem akumulatorowym

dr inż. Rafał Konsek  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

## Streszczenie:

Artykuł prezentuje wyniki symulacji komputerowych zużycia energii ciągnika PCA-1 i dla dwóch wariantów pracy lokomotywy górniczej typu Lda-12K-EMA: transport urobku oraz transport materiałów. Zużycie energii wyznaczono uwzględniając sprawność układu napędowego. Uzyskane wyniki umożliwiają oszacowanie czasu pracy tych maszyn górniczych w odniesieniu do stanu naładowania baterii akumulatorów.

Słowa kluczowe: górnictwo, lokomotywa akumulatorowa, akumulatorowy ciągnik podwieszony, czas pracy

Keywords: mining, locomotive, suspended drivetrain, work time

## Abstract:

Computer simulations of energy consumption of suspended drivetrain PCA-1 and for two variants of operation of Lda-12K-EMA locomotive i.e. transportation of run-of-mine and transportation of people are presented. Energy consumption was calculated taking into account efficiency of the driving system. The results enable assessment of operational time of the mining machines from the state of full charged batteries to their discharge.

## 1. Wprowadzenie

Górnice maszyny transportowe z napędem akumulatorowym są projektowane w aspekcie zapewnienia uniwersalności podczas wykonywania zadań przewozowych. Czynnikiem, który decyduje o wyborze maszyny transportowej do realizowanego zadania jest przede wszystkim siła pociągowa, wynikająca z zainstalowanej mocy. Czas pracy maszyny transportowej z napędem akumulatorowym jest zatem uzależniony od mocy źródła energii – baterii akumulatorów. Podstawowym czynnikiem dla projektantów pojazdów elektrycznych staje się zatem ocena czasu pracy maszyny, w odniesieniu do stanu naładowania baterii akumulatorów. 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 podwoziowej w teście jezdnym NEDC, symulującym jazdę miejską i pozamiejską. W celu oceny zużycia energii przez pozostałe pojazdy elektryczne wykonuje się badania w testach jezdnych, odpowiadającym różnym warunkom ruchu [1, 2, 5, 6, 7]. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki symulacji komputerowych zużycia energii i czasu pracy dwóch górniczych maszyn transportowych: podwieszonoego ciągnika akumulatorowego PCA-1, służącego do prac manewrowych i lokomotywy akumulatorowej Lda-12K-EMA, podczas transportu urobku i materiałów.

## 2. Energochłonność maszyn górniczych z napędem akumulatorowym

Energochłonność napędu pojazdu określa praca, którą należy wykonać w celu pokonania oporów ruchu i sił bezwładności podczas transportu. 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. 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.

Istotnym zagadnieniem w napędach elektrycznych jest przede wszystkim prawidłowy dobór baterii akumulatorów. Wymaganą pojemność akumulatorów wyrażoną w watogodzinach można wyznaczyć 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].

### 3. Szacowanie czasu pracy podwieszoności ciągnika akumulatorowego PCA-1

Ze względu na fakt, że dotychczas nie ustalono pomiarowego cyklu jazdy górniczych kolejek podwieszonych, analizę energochłonności przeprowadzono symulując jazdę ciągnika PCA-1 według cyklu NEDC (rys. 1). Ustalono, że prędkość 100 km/h odpowiada prędkości 1 m/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 w czasie 800 s. Danymi wejściowymi były również sprawność układu napędowego, prędkość oraz siła uciągu (dla uproszczenia przyjęto, że ciągnik porusza się z maksymalną siłą uciągu). Wynikami symulacji były przebyta droga i zużyta energia ciągnika PCA-1, które przedstawiono na rysunku 2. Przebytą drogę wyznaczono na podstawie zależności (2), natomiast zużyta energię 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]

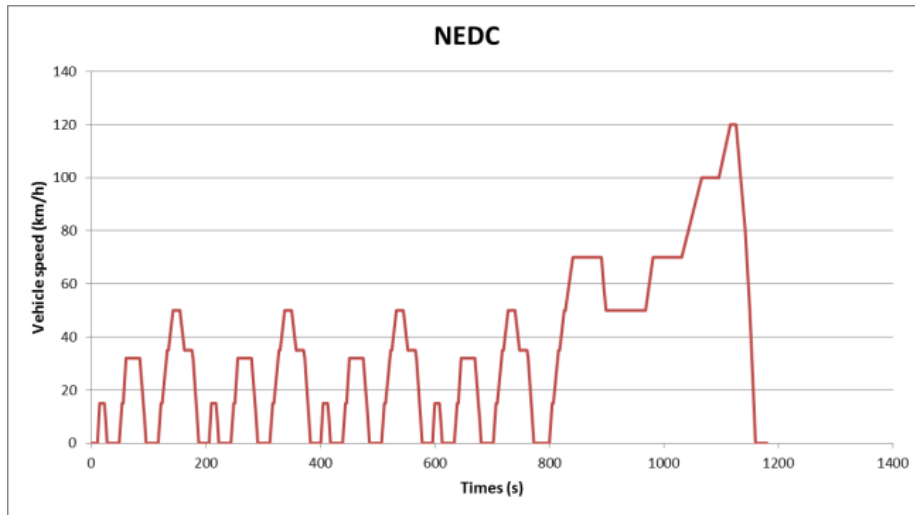
$F_p(t)$  – siła pociągowa [kN]

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

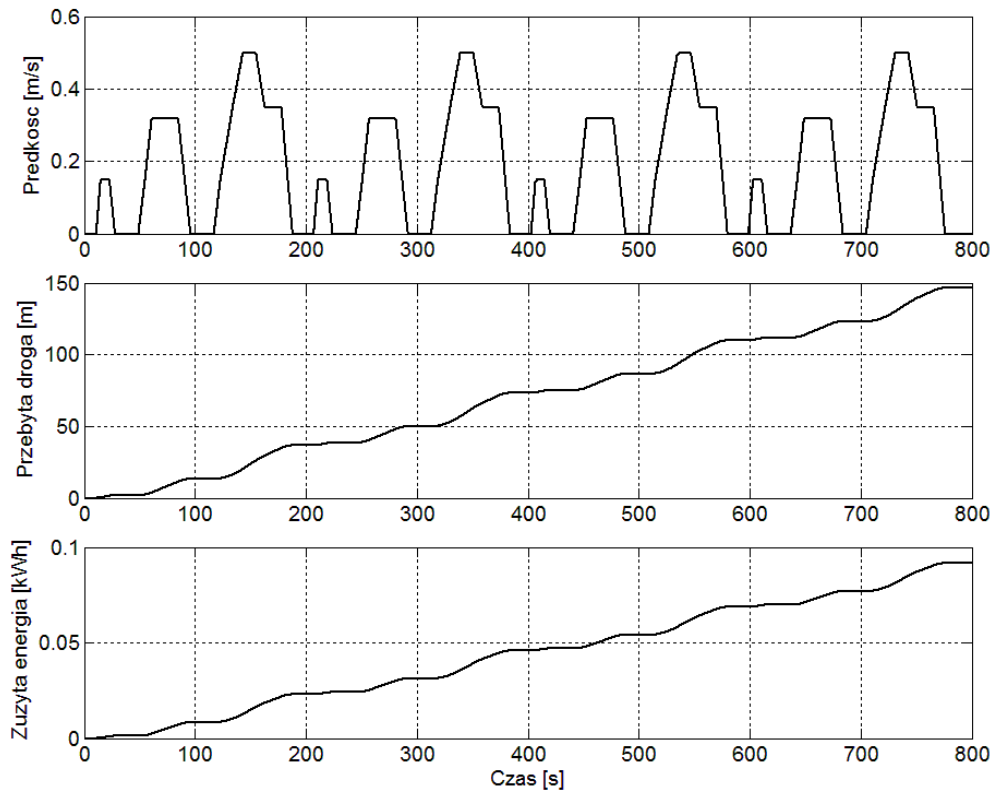
$Q_{Bz}(t)$  – energia pobierana z akumulatorów [kW]

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

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



Rys. 1. Pomiarowy cykl jazdy NEDC [3]

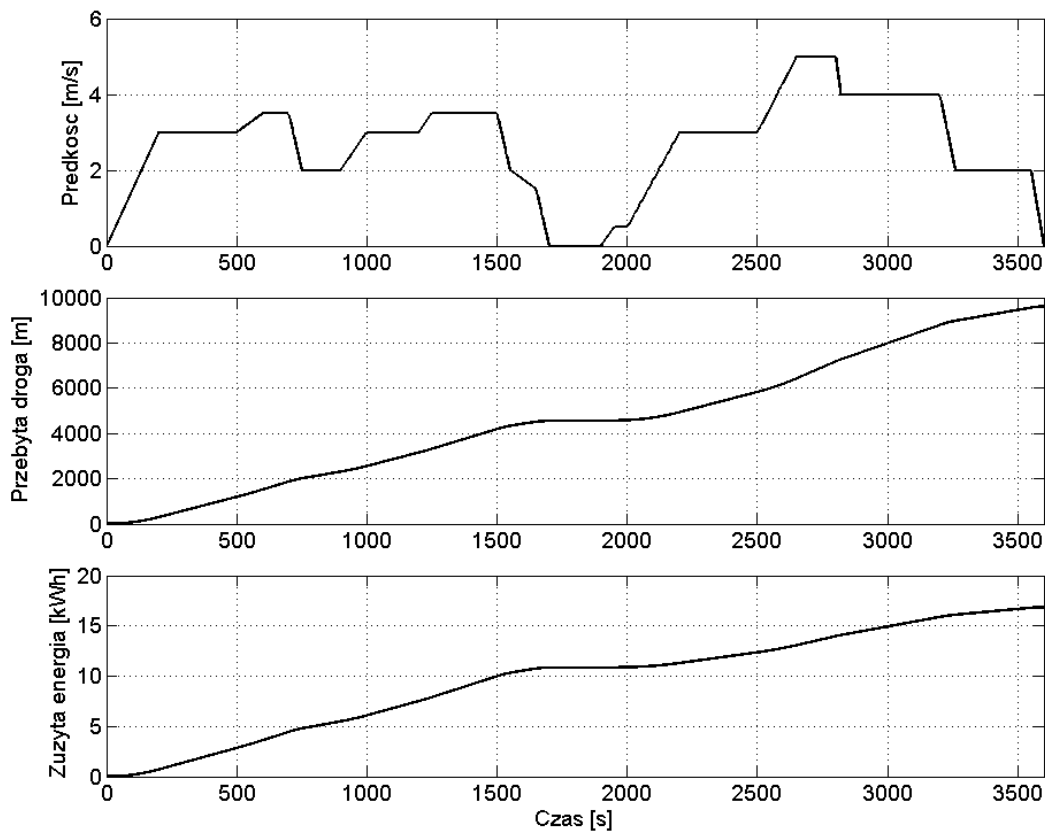


Rys. 2. Prędkość, przebyta droga i zużycie energii ciągnika PCA-1[4]

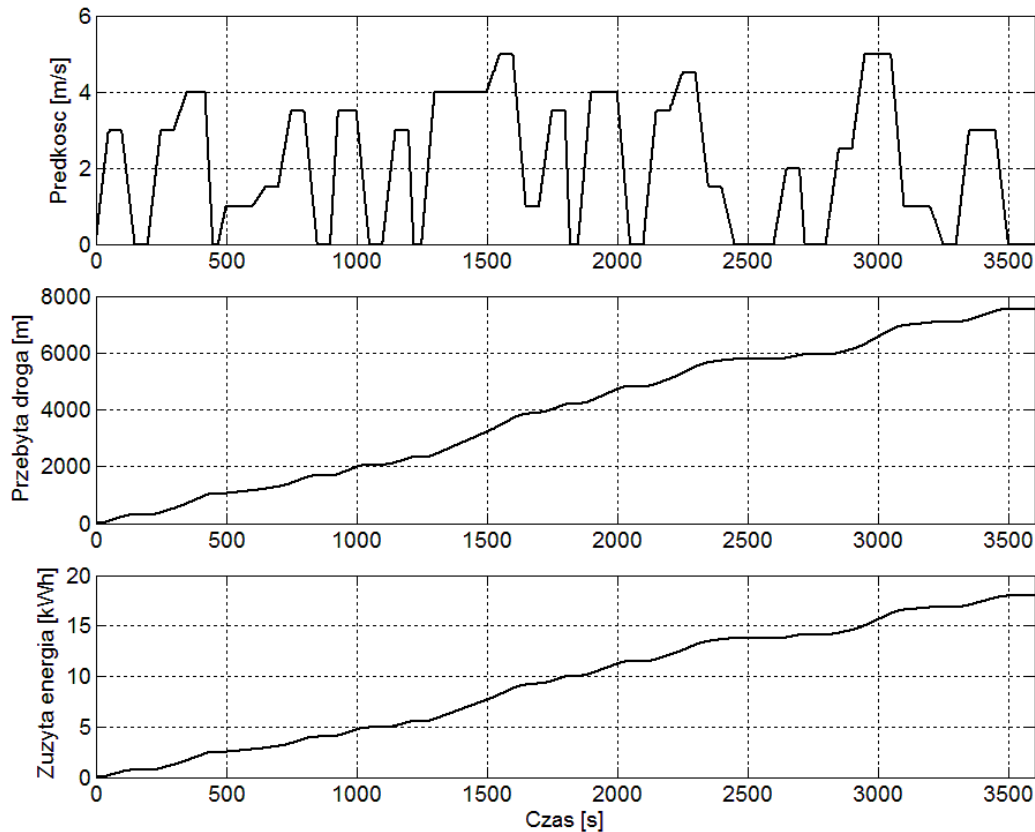
Z przeprowadzonych symulacji wynika, że ciągnik PCA-1 przebył drogę 150 m zużywając 0,08 kWh energii. Na tej podstawie wyznaczono, że zasięg podwieszonoego ciągnika akumulatorowego PCA-1 wynosił 9 km, a maksymalny czas pracy - 13 godzin.

#### 4. Szacowanie czasu pracy lokomotywy akumulatorowej Lda-12K-EMA

Zużycie energii przez lokomotywę akumulatorową Lda-12K-EMA symulowano dla dwóch wariantów pracy. Pierwsza odwzorowywała transport urobku (rys. 3), natomiast druga – transport materiałów (rys. 4). Lokomotywa transportowała 20 wozów kopalnianych o masie 3550 kg każdy. Podczas transportu urobku symulowano, że pierwszą połowę cyklu pracy lokomotywa ciągnęła pełne wozy kopalniane, podczas drugiej połowy cyklu wozy były puste. Danymi wejściowymi były: sprawność układu napędowego, prędkość oraz siła uciągu (dla uproszczenia przyjęto, że lokomotywa poruszała się po nienachylonej trasie). Wynikiem symulacji były przebyta droga i zużyta energia. Przebytą drogę wyznaczono na podstawie zależności (2). Czas każdego przejazdu wynosił godzinę.



Rys. 3. Prędkość, przebyta droga i zużycie energii lokomotywy transportującej urobek [8]



Rys. 4. Prędkość, przebyta droga i zużycie energii lokomotywy transportującej materiały [8]

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że lokomotywa Lda-12K-EMA podczas transportu urobku przebyła drogę 9500 m zużywając 17 kWh energii. Na podstawie powyższego wyznaczono, że zasięg lokomotywy wynosi 80 km, a maksymalny czas pracy 8 godzin. Podczas transportu materiałów lokomotywa przebyła drogę 7500 m zużywając 18 kWh energii. Zasięg lokomotywy wynosi 60 km, a maksymalny czas pracy 8 godzin.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone symulacje komputerowe energochłonności pozwoliły oszacować czas pracy dwóch maszyn górniczych z napędem akumulatorowym. Czas pracy tych maszyn wynosił odpowiednio 13 godzin dla ciągnika PCA-1 i 8 godzin dla lokomotywy Lda-12K-EMA. Był to czas pracy wystarczający do wykonania zadań transportowych podczas jednej zmiany roboczej.

Analiza energochłonności pozwoliła na wyznaczenie zasięgu, czasu pracy oraz wydajności maszyn górniczych z napędem akumulatorowym w zależności od prędkości jazdy, siły uciągu i sprawności układu przeniesienia napędu. Należy jednak podkreślić, że wykorzystanie pomiarowego cyklu jazdy NEDC nie odpowiada rzeczywistym cyklom pracy górniczych kolejek podwieszonych i daje jedynie przybliżony wynik. Kontynuowane będą zatem prace badawcze zmierzające do odzwierciedlenia rzeczywistych cykli jazdy.

## Literatura

- [1] Chłopek Z.: Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny. Archiwum motoryzacji, 2013 nr 3

- [2] Chłopek Z., Lasocki J.: Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny w warunkach ruchu w mieście. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2014 nr 1
- [3] Konsek R.: Optymalizacja pracy elektrycznego układu napędowego przeznaczonego do kolejek podwieszonych. Praca statutowa ITG Komag, niepublikowana, Gliwice 2016 r.
- [4] Konsek R.: Elektryczny napęd górniczych kolejek podwieszonych. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 2017 nr 1
- [5] Kwaśnikowski J., Gramza G.: Porównanie własności trakcyjno-ruchowych lokomotyw EU07 I ET22 ze składem towarowym. Problemy Eksploatacji 2009 nr 2
- [6] Moćko W., Ornowski M., Szymańska M.: Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny w czasie testów drogowych. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 2013 nr 2
- [7] Pawar S., Wagh M., Shinde N.: Development of energy balance of light weight electric vehicle in motion for energy conservation. International Journal of Science and Research, 2015 nr 12
- [8] Mechatroniczny układ napędowy do pojazdów szynowych przeznaczonych do pracy w atmosferze wybuchowej. Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju nr N R01 0009 06 w latach 2009-2012

*Czy wiesz, że ....*

*...sektor węgla kamiennego po czterech miesiącach 2017 roku miał 1,256 mld zł zysku netto, wobec 52 mln zł rok wcześniej. Jednak większość kopalń na Śląsku ma spore kłopoty produkcyjne, co może przełożyć się na wzrost importu. Kurczą się też zapasy. Na koniec kwietnia na zwalach leżało 2,15 mln ton – o 361,9 tys. ton mniej niż na koniec 2016 roku. Kopalniom sprzyjały wyższe ceny sprzedaży, które jednak nie będą aż tak korzystne w kolejnych miesiącach. Mimo trwającej restrukturyzacji, powoli idzie obniżanie kosztów produkcji węgla kamiennego. Eksport węgla w I kwartale 2017 r. wyniósł 2 mln ton – tyle samo ile rok wcześniej. Także 2 mln ton (również bez zmian) wyniósł import w tym okresie. Rosnąca dziura wydobywcza może zmienić sytuację w przyszłym półroczu, zwłaszcza gdy ceny na światowych rynkach znowu spadną. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku węgla brunatnego. Z najnowszych danych GUS wynika, że jego wydobycie wyniosło w kwietniu 4,59 mln ton, co oznacza wzrost o 4,5% rok do roku. Przez pierwsze cztery miesiące tego roku kopalnie węgla brunatnego wydobyły 20,94 mln ton surowca, co rok do roku oznacza wzrost aż o 11,1%.*

*Gazeta Prawna 2017 7 czerwca s.A4*