

Wyznaczanie drogi hamowania lokomotywy górniczej na podstawie badań symulacyjnych

Rafał Konsek

1. Wstęp

Współczesne górnicze lokomotywy akumulatorowe projektowane są na długi okres eksploatacji, a konstrukcja ich układów napędowych umożliwia zazwyczaj pewną uniwersalność podczas wykonywania zadań przewozowych. Istotnym czynnikiem, który decyduje o wyborze lokomotywy do realizowanego zadania jest siła pociągowa, która wiąże się z zainstalowaną mocą. W przypadku nowoczesnych górniczych lokomotyw akumulatorowych istnieje możliwość zwrotu energii hamowania do baterii akumulatorów, która może być następnie wykorzystana do rozpędzania lokomotywy. Czas i droga hamowania zależą przede wszystkim od masy ciągniętego ładunku i stanu nawierzchni szyn. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki symulacji komputerowych dotyczące drogi i czasu hamowania lokomotywy akumulatorowej Lda-12K-EMA (rys. 1) podczas hamowania elektrycznego. Układ napędowy lokomotywy Lda-12K-EMA złożony jest z dwóch silników napędowych z magnesami trwałymi o mocy 19 kW, po jednym na każdą oś. Każdy silnik zasilany jest z osobnego przekształtnika energoelektronicznego. Lokomotywa zasilana jest z baterii akumulatorów o napięciu 144 V i pojemności 1000 Ah.

2. Parametry modelu symulacyjnego lokomotywy Lda12K-EMA

2.1. Modele – środowiska programowe

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych wykorzystano możliwość co-symulacji pomiędzy programem MSC.Adams, w którym wykonano model fizyczny lokomotywy, i programem MatLab/Simulink, w którym wykonano model układu napędowego. Przy pomocy modelu fizycznego odwzorowano warunki brzegowe, jakimi były nachylenie trasy oraz stan torowiska – przyjęto, że współczynnik przyczepności wynosi 0,2 [1]. W środowisku MatLab/Simulink zamodelowano układ napędowy lokomotywy. Przepływ sygnałów pomiędzy środowiskami MSC.Adams i MatLab/Simulink przedstawiono na rys. 2. Na koła lokomotywy działają momenty napędowe (M_1 i M_2), których wartość jest wyznaczana w modelu układu napędowego na podstawie prędkości lokomotywy określanej w modelu fizycznym (V_1).

2.2. Model obliczeniowy lokomotywy

Model obliczeniowy lokomotywy składa się z układu napędowego, wykonanego w programie MatLab/Simulink, oraz modelu fizycznego wykonanego w programie MSC.Adams (rys. 3).

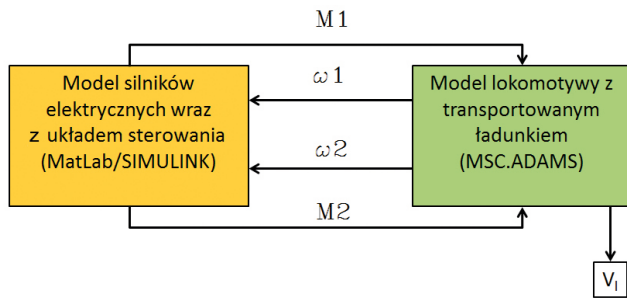
Streszczenie: Artykuł prezentuje wyniki symulacji komputerowych lokomotywy górniczej typu Lda-12K-EMA dotyczące drogi hamowania podczas hamowania rekuperacyjnego. W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych wykorzystano możliwość co-symulacji pomiędzy programem MSC.Adams, w którym wykonano model fizyczny lokomotywy, i programem MatLab/Simulink, w którym wykonano model układu napędowego.

Abstract: The results of computer simulations of Lda-12K-EMA mine locomotive's braking distance during the recuperative braking are presented. Possibility of co-simulation between MSC.Adams programme (used for creation of locomotive physical model) and MatLab/Simulink programme (used for modeling the driving system) was used in simulations.

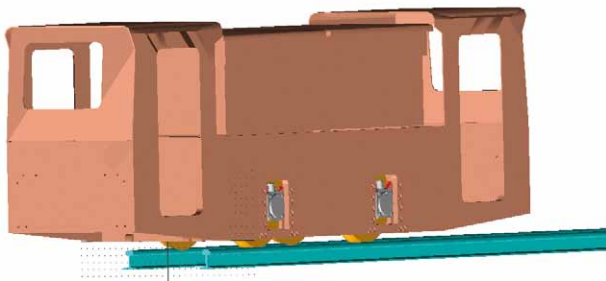
Przeprowadzenie badań symulacyjnych wymagało zdefiniowania wiązków obrotowych oraz wektorów sił działających na model fizyczny lokomotywy. Na rys. 4 a przedstawiono wiąz obrotowy łączący poszczególne koła z korpusem lokomotywy, który umożliwia obrót kół względem korpusu lokomotywy



Rys. 1. Górnicza lokomotywa akumulatorowa Lda-12K-EMA



Rys. 2. Przepływ sygnałów pomiędzy środowiskami MSC.Adams i MatLab/Simulink M1, M2 – moment generowany przez silniki 1 i 2; ω_1, ω_2 – prędkości obrotowe kół na osi 1 i 2; V_1 – prędkość liniowa lokomotywy



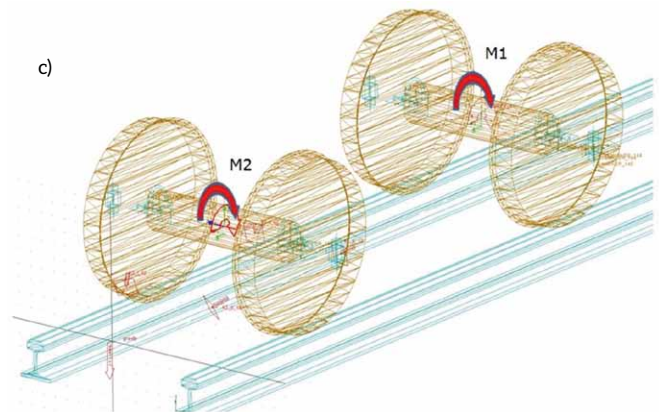
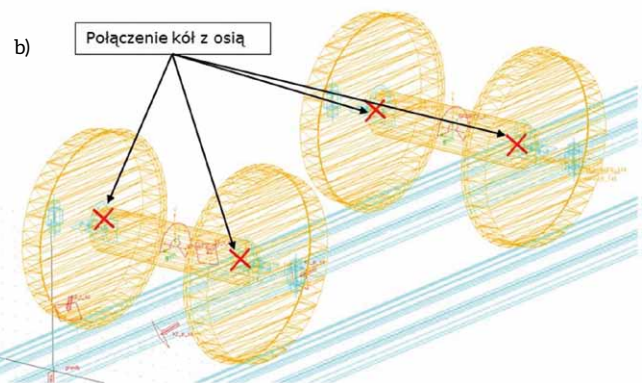
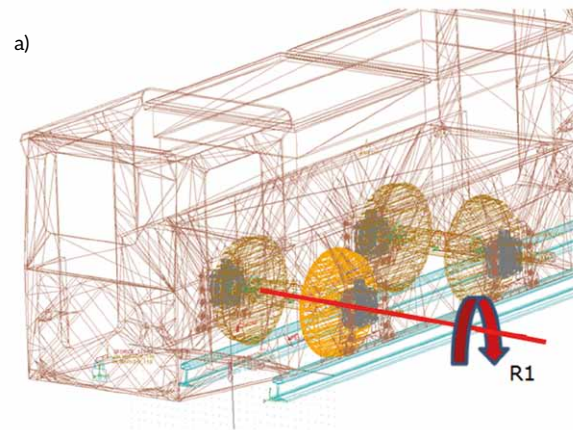
Rys. 3. Model fizyczny lokomotywy wykonany w środowisku MSC.Adams [2]

w czasie jazdy. Każde z kół zostało połączone z osią przednią lub tylną (rys. 4 b). Takie połączenie wymusza jednakową prędkość obrotową kół znajdujących się na jednej osi. W modelu fizycznym zdefiniowano modele kontaktów pomiędzy kołami a szyną, które umożliwiają przemieszczanie się lokomotywy po szynach w wyniku ruchu obrotowego kół. Zdefiniowano także dwa wektory momentu, przyłożone do każdej z osi kół lokomotywy (rys. 4 c). Wektory te stanowią siłę napędową lokomotywy.

Symulowano jazdę składów pociągów zestawionych z lokomotywy typu Ld-12K-EMA oraz 15 wozów o masie własnej 2680 kg oraz ładowności 3700 kg. Masa składu pociągu pustego wynosiła więc 52,2 t, a pociągu pełnego 107,7 t. Podczas przeprowadzania symulacji zużycia energii uwzględniono sprawność układu napędowego, którą wyznaczono na podstawie badań stanowiskowych elektrycznego układu napędowego lokomotywy Lda-12K-EMA [3]. Wyznaczona sprawność wynosi 0,72.

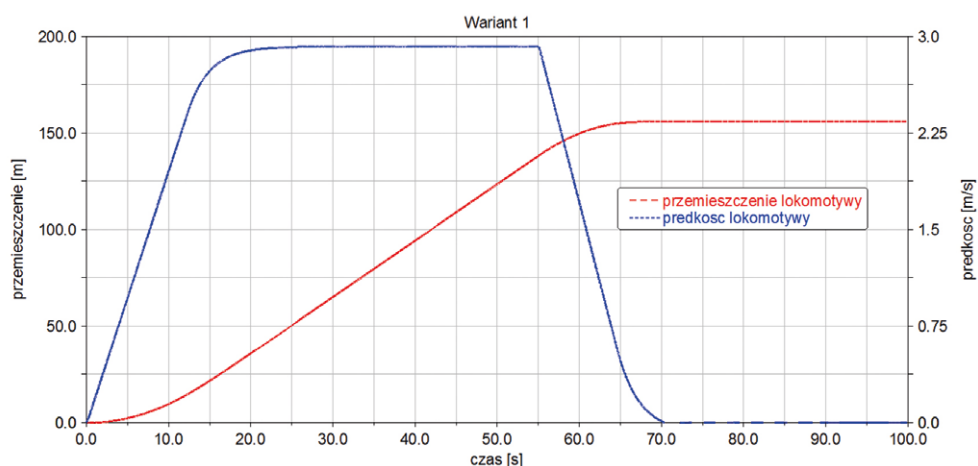
Przeprowadzono następujące symulacje:

- Rozpędzanie do prędkości 3 m/s pociągu z pustymi wozami po nienachylonej trasie, a następnie hamowanie elektryczne aż do zatrzymania.
- Rozpędzanie do prędkości 3 m/s pociągu z pełnymi wozami po nienachylonej trasie, a następnie hamowanie elektryczne aż do zatrzymania.
- Rozpędzanie do prędkości 3 m/s pociągu z pustymi wozami po wzniosie o nachyleniu 2° , a następnie hamowanie elektryczne aż do zatrzymania.
- Rozpędzanie do prędkości 3 m/s pociągu z pełnymi wozami po upadzie o nachyleniu 2° , a następnie hamowanie elektryczne aż do zatrzymania.

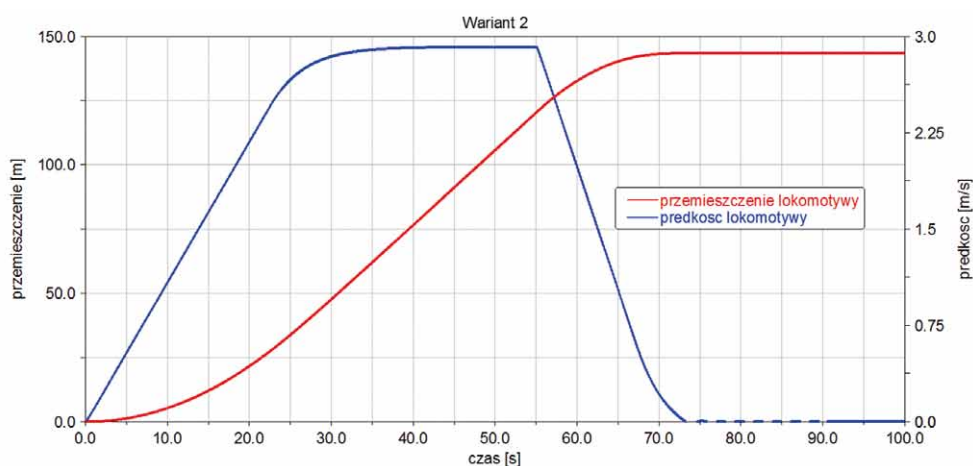


Rys. 4. Więzy obrotowe oraz wektory sił działających na model lokomotywy [2]:

- wiąz łączący koło z korpusem lokomotywy;
- wiąz łączący koła z osią;
- wektory momentów napędzających lokomotywę



Rys. 5. Jazda pociągu z pustymi wozami po nienachylonej trasie [2]



Rys. 6. Jazda pociągu z pełnymi wozami po nienachylonej trasie [2]

3. Badania symulacyjne

Na rys. 5–8 zostały przedstawione wyniki symulacji jazdy lokomotywy Lda-12K-EMA i składu pociągu. Prąd maksymalny silnika został ograniczony przez nastawy falownika do wartości 250 A, aby nie przeciążać silnika i przekładni mechanicznych. Przy tej wartości prądu moment silnika wynosi 205 Nm.

Rysunek 5 przedstawia wyniki symulacji jazdy pociągu z pustymi wozami po nienachylonej trasie. Czas rozpędzania pociągu do prędkości ustalonej 3 m/s wynosi około 25 sekund. W tym czasie lokomotywa przebędzie drogę 50 metrów. Czas hamowania wynosi 15 sekund, a droga hamowania 18 metrów.

Rysunek 6 przedstawia wyniki symulacji jazdy pociągu z pełnymi wozami po nienachylonej trasie. W tym przypadku czas rozpędzania pociągu do prędkości ustalonej 3 m/s wynosi już około 40 sekund. W tym czasie lokomotywa przebędzie drogę 75 metrów. Czas hamowania wynosi 18 sekund, a droga hamowania wydłuża się do 23 metrów.

Rysunek 7 przedstawia wyniki symulacji jazdy pociągu z pustymi wozami po wzniosie o nachyleniu 2°. Czas

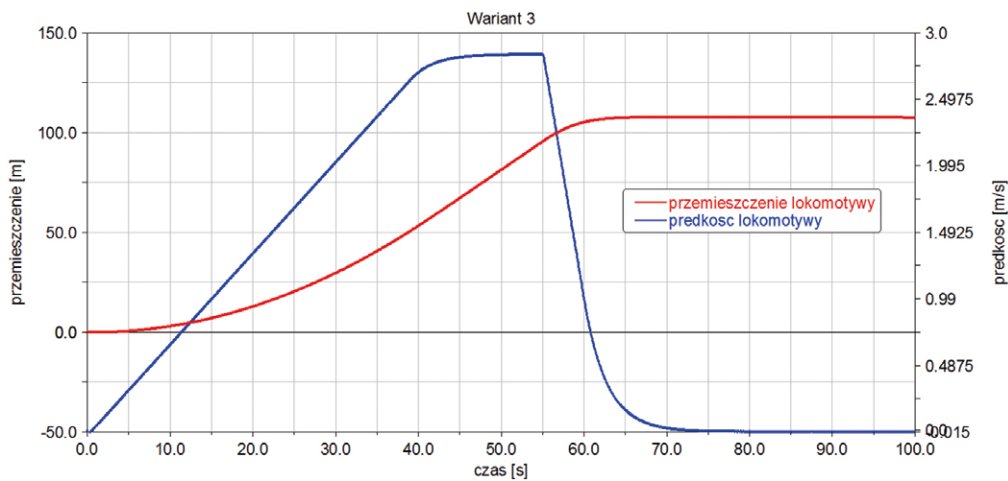
rozpędzania takiego pociągu do prędkości ustalonej 3 m/s wynosi około 50 sekund. W tym czasie lokomotywa przebędzie drogę 80 metrów. Czas hamowania wynosi 17 sekund, a droga hamowania 15 metrów.

Rysunek 8 przedstawia wyniki symulacji jazdy pociągu z pełnymi wozami po upadzie o nachyleniu 2°. W tym przypadku czas rozpędzania pociągu do prędkości ustalonej 3 m/s wynosi około 25 sekund. W tym czasie lokomotywa przebędzie drogę 50 metrów. Czas hamowania wynosi 35 sekund, a droga hamowania wydłuża się do 45 metrów.

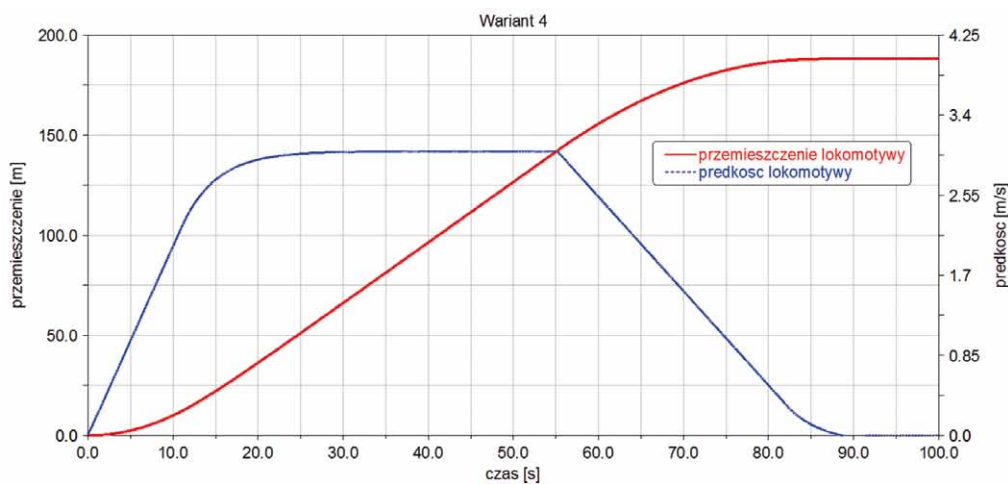
4. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych analiz i symulacji komputerowych należy stwierdzić, że w przypadku hamowania elektrycznego można zatrzymać skład pociągu składający się z 15 wozów kopalnianych, jadący z prędkością 3 m/s, na odległości krótszej niż 80 metrów, na którą pozwalają przepisy.

Efektywne wykorzystanie napędu elektrycznego zasilanego z własnego źródła energii jest zagadnieniem coraz częściej



Rys. 7. Jazda pociągu z pustymi wozami po wzniosie o nachyleniu 2° [2]




Rys. 8. Jazda pociągu z pełnymi wozami po upadzie o nachyleniu 2° [2]

poruszonym, z uwagi na coraz to większe wymagania stawiane przez użytkowników, głównie pod kątem czasu pracy maszyny bez konieczności wymiany baterii akumulatorów. W tym celu należy maksymalnie zwiększać sprawność takich układów napędowych (np. poprzez stosowanie silników z magnesami trwałymi), aby umożliwić jak największy odzysk energii w procesie hamowania elektrycznego.

Literatura

- [1] DEJA P., KONSEK R.: *Badania siły uciążu lokomotywy dolowej Ld-31EM w warunkach kopalnianych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyt Problemowy” 1/2015.

- [2] KONSEK R., SZEWERDA K.: *Optymalizacja drogi hamowania lokomotywy w aspekcie obciążeń, drogi i opóźnień*. Praca statutowa ITG KOMAG 2016 r.
- [3] *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.

 dr inż. Rafał Konsek

Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

artykuł recenzowany