

Rafał Konsek*, Arkadiusz Mężyk**

* Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

** Politechnika Śląska, Gliwice

SYMULACJA CYKLU PRACY HYBRYDOWEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO GÓRNICZEJ LOKOMOTYWY SPĄGOWEJ

SIMULATION OF OPERATIONAL CYCLE OF HYBRID DRIVE SYSTEM UNIT OF FLOOR-MOUNTED RAILWAY

Streszczenie: Stosowanie pojazdów o napędzie hybrydowym ma na celu obniżenie zużycia paliwa i emisji spalin poprzez sterowanie rozplywem energii pomiędzy jego poszczególnymi elementami. Działanie układu sterowania hybrydowym można zweryfikować podczas badań w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Każdy rodzaj prac transportowych cechuje się innymi warunkami, mającymi wpływ na działanie napędu. W artykule zaproponowano napęd hybrydowy dla górniczej lokomotywy spągowej oraz dokonano jego analizy pracy.

Abstract: Hybrid drive vehicles are used to reduce fuel consumption and emission of exhaust gases by control of distribution of energy between drive components. Operation of hybrid drive control system can be verified during tests in conditions close to the real ones. Each type of transport operation has different impact on drive unit. Hybrid drive unit for floor-mounted railway is suggested and its operational cycle is analyzed.

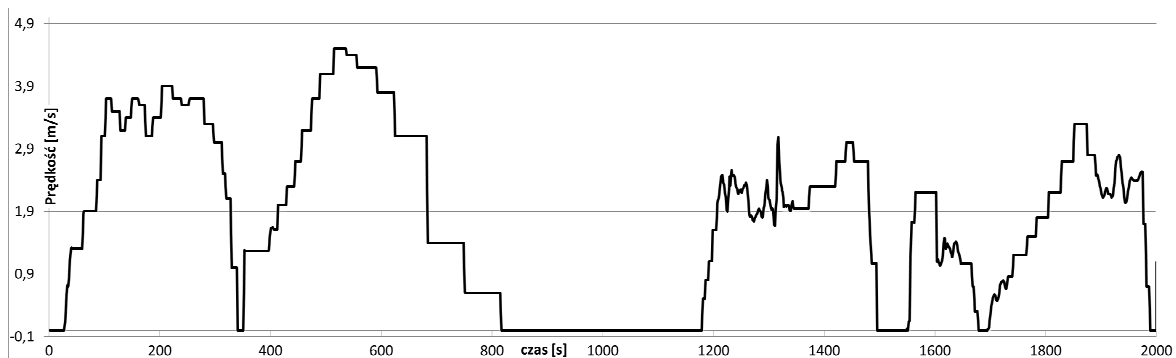
Słowa kluczowe: lokomotywa spągowa, napęd hybrydowy

Keywords: locomotive, hybrid drive

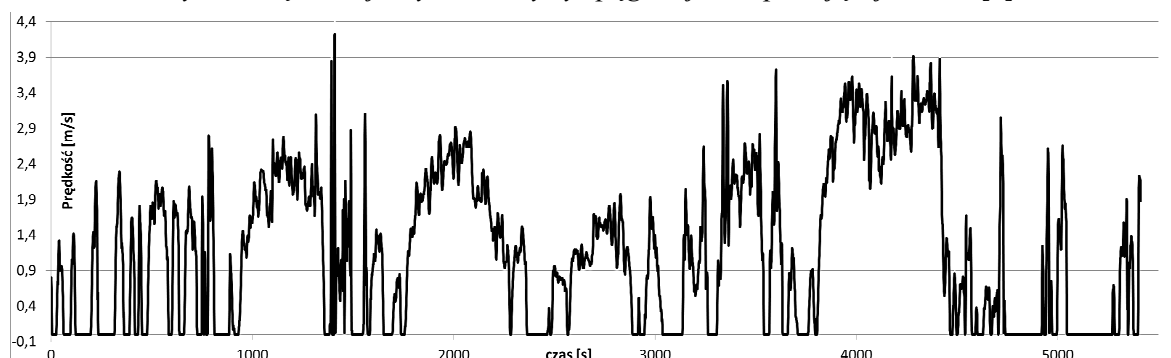
1. Wprowadzenie

Podstawowym celem stosowania napędów hybrydowych jest obniżenie zużycia paliwa oraz ograniczenie emisji substancji toksycznych do środowiska. Ma to duże znaczenie zwłaszcza w środowisku kopalnianym. Aby móc w efektywny sposób wykorzystywać hybrydowy układ napędowy, należy prawidłowo sterować rozplywem energii pomiędzy jego poszczególnymi elementami tj. silnik spalinowy, generator elektryczny, bateria akumulatorów czy silniki elektryczne. Pojazd z takim napędem sprawdza się zwłaszcza w takich warunkach, gdzie wykonuje dużo manewrów przyspieszania i hamowania (np. aglomeracja miejska), nie jest natomiast efektywny podczas jazdy ze stałą prędkością (np. autostrada) [3]. Przystępując do opracowania koncepcji hybrydowego układu

napędowego górniczej lokomotywy spągowej, poprzedzono ją przeprowadzeniem pomiarów prędkości jazdy w rzeczywistych warunkach jej pracy. Na rys.1 i 2 przedstawiono przebiegi prędkości w funkcji czasu przejazdu lokomotywy, z których wynika, że lokomotywa transportująca urobek wykonuje niewielką liczbę rozruchów, a jej czas postoju związany z załadunkiem/rozładunkiem urobku jest stosunkowo długi. Z kolei lokomotywa transportując materiały wykonuje częste manewry przyspieszania i hamowania, ze względu na warunki panujące na trasie – np. przestawianie zwrotnicy, otwieranie i zamykanie tam. Na podstawie powyższych pomiarów, można było założyć spodziewaną efektywność zastosowania napędu hybrydowego w górniczej lokomotywie spągowej.



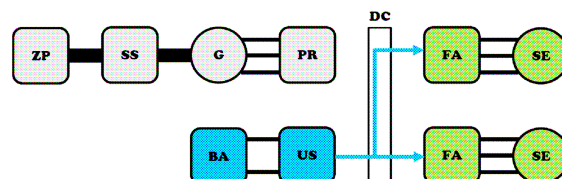
Rys. 1. Prędkość jazdy lokomotywy spągowej transportującej urobek [2]



Rys. 2. Prędkość jazdy lokomotywy spągowej transportującej materiały [2]

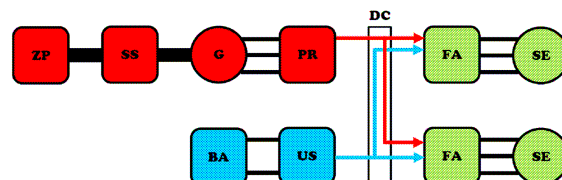
2. Napęd hybrydowy górniczej lokomotywy spągowej

Efektywna praca napędu hybrydowego lokomotywy spągowej wymaga odpowiedniego sterowania przepływem energii [2][3][4]. Jest to proces związany z ciągłą analizą wielu sygnałów, na podstawie których dobierane są parametry elementów wykonawczych. Wpływa to na poprawę sprawności energetycznej i żywotność całego układu napędowego. Silnik spalinowy pracując w optymalnym punkcie obciążenia i prędkości obrotowej posiada najwyższą sprawność i charakteryzuje się najmniejszym zużyciem jednostkowym paliwa i najniższą emisją spalin. W szeregowym napędzie hybrydowym przewidzianym do zastosowania w górniczej lokomotywie spągowej można wyróżnić kilka trybów pracy (Rys.3-8, gdzie: SS–silnik spalinowy, SE–silnik elektryczny, G–generator, BA–bateria akumulatorów, ZP–zbiornik paliwa, US–układ sterowania, FA–falownik, PR–prostownik, DC–szyna prądu stałego).



Rys. 3. Tryb EV (Electric Vehicle) [2]

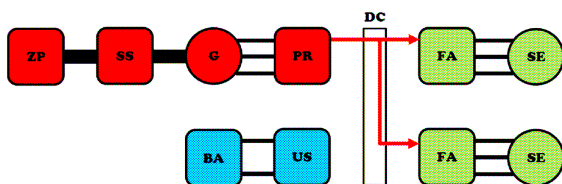
Tryb EV (Electric Vehicle) – jest to tryb pracy zeroemisyjny. W tym układzie silnik spalinowy nie jest włączony, a lokomotywa zasilana jest tylko energią pochodzącą z baterii akumulatorów. Tryb EV może być aktywowany tylko przez maszynistę lokomotywy i stosowany, gdy wymagana jest duża ilość rozruchów lokomotywy na krótkich odcinkach trasy, jak również w rejonach, w których znajdują się ludzie (generowany jest hałas).



Rys. 4. Tryb HEV (Hybrid Electric Vehicle) [2]

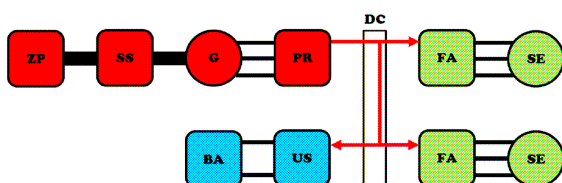
Tryb HEV (Hybrid Electric Vehicle) – moc generatora i moc pochodząca z baterii akumulatorów służą do napędzania lokomotywy. Ten tryb

pracy jest wykorzystywany podczas dużego zapotrzebowania na moc, np. podczas jazdy lokomotywy z wozami kopalnianymi załadowanymi urobkiem.



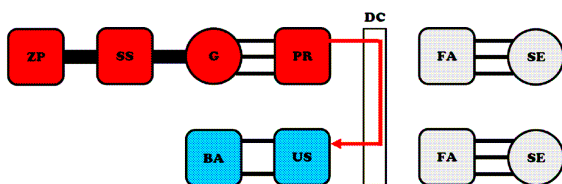
Rys. 5. Tryb spalinowo-elektryczny bez doładowywania baterii akumulatorów [2]

Tryb spalinowo-elektryczny bez doładowywania baterii – moc generatora wystarcza na pokrycie zapotrzebowania na moc układu napędowego, a bateria akumulatorów nie może gromadzić energii elektrycznej. Ten tryb jest wykorzystywany podczas niskiego zapotrzebowania na moc, np. podczas jazdy lokomotywy z pustymi wozami kopalnianymi.



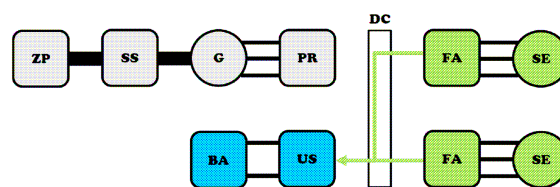
Rys. 6. Tryb spalinowo-elektryczny z doładowywaniem baterii akumulatorów [2]

Tryb spalinowo-elektryczny z doładowywaniem baterii – moc generatora wystarcza na pokrycie zapotrzebowania na moc układu napędowego, a nadwyżka wytwarzanej energii gromadzona jest w baterii akumulatorów. Ten tryb jest wykorzystywany podczas niskiego zapotrzebowania na moc, np. podczas jazdy lokomotywy z pustymi wozami kopalnianymi.



Rys. 7. Tryb ładowania baterii akumulatorów [2]

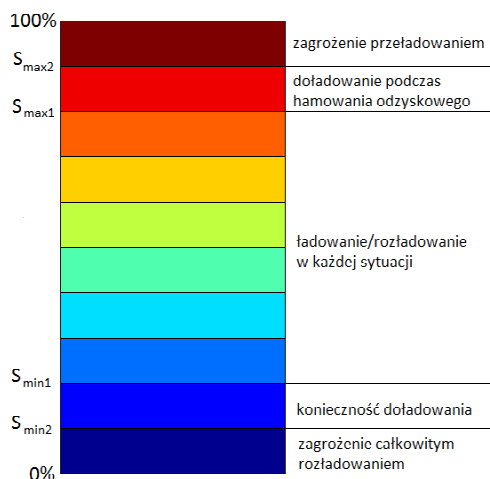
Tryb ładowania baterii – w tym trybie całkowita energia wytwarzana przez generator służy do ładowania baterii akumulatorów. Stosowany jest podczas postojów lokomotywy.



Rys. 8. Tryb hamowania odzyskowego [2]

Tryb hamowania odzyskowego – podczas hamowania lokomotywy, silniki napędowe pracują w trybie generatorowym, wytwarzając dodatkową energię, która może służyć do doładowania baterii akumulatorów.

Niezależnie od trybu pracy lokomotywy, algorytm sterowania powinien być informowany o aktualnym stanie naładowania baterii akumulatorów. Utrzymanie odpowiedniego poziomu naładowania baterii akumulatorów decyduje o płynności jazdy oraz zabezpiecza także przed uszkodzeniem, spowodowanym przeładowaniem lub nadmiernym rozładowaniem. Dopuszczalny stopień naładowania baterii akumulatorów powinien wynosić od 20% do 80% (Rys.9).



Rys. 9. Stany naładowania baterii akumulatorów [2]

Jeżeli stopień naładowania baterii akumulatorów S obniży się poniżej ustalonej wartości S_{min1} , konieczne jest jej doładowanie. Spadek stanu naładowania poniżej wartości S_{min2} jest zabroniony, ponieważ może doprowadzić do całkowitej utraty pojemności akumulatorów. Jeśli układ sterowania stwierdzi taki stan, lokomotywa powinna zostać zatrzymana.

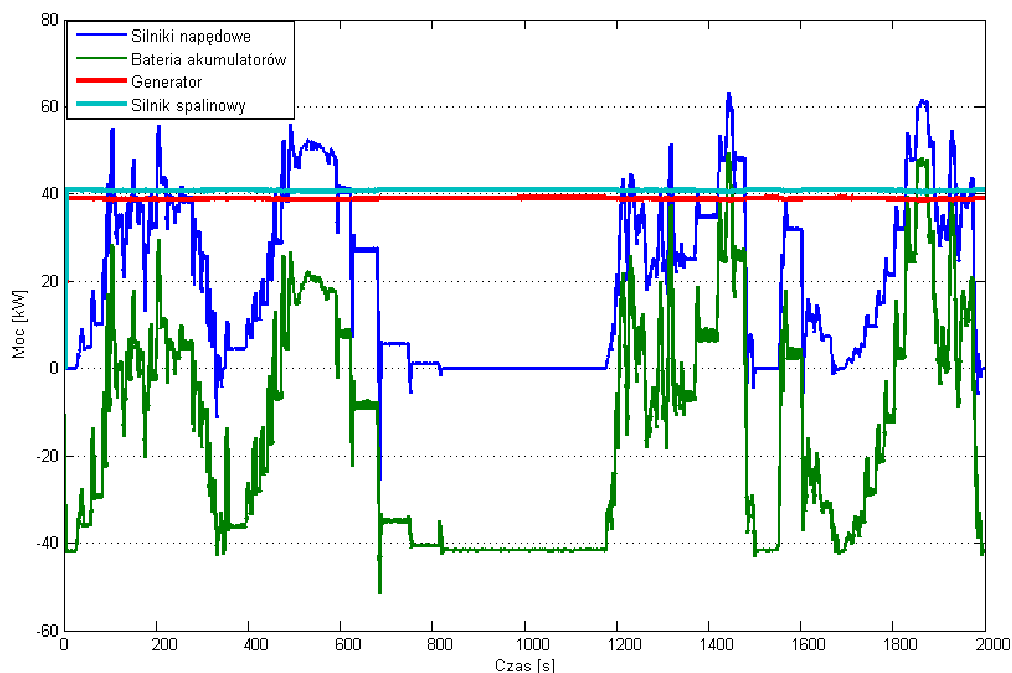
Wówczas cała energia wytwarzana przez generator posłuży do ładowania baterii akumulatorów. Jeżeli stan naładowania S będzie większy niż S_{max1} , doładowywanie baterii akumulatorów będzie możliwe z odzyskanej energii pod-

czas hamowania - układ sterowania nie zezwoli na ładowanie baterii za pomocą energii wytworzonej przez generator. Jeśli jednak stan naładowania baterii akumulatorów S będzie większy niż S_{max2} , układ sterowania powinien wyłączyć silnik spalinowy, a lokomotywa przejdzie w tryb pracy zeroemisyjnej.

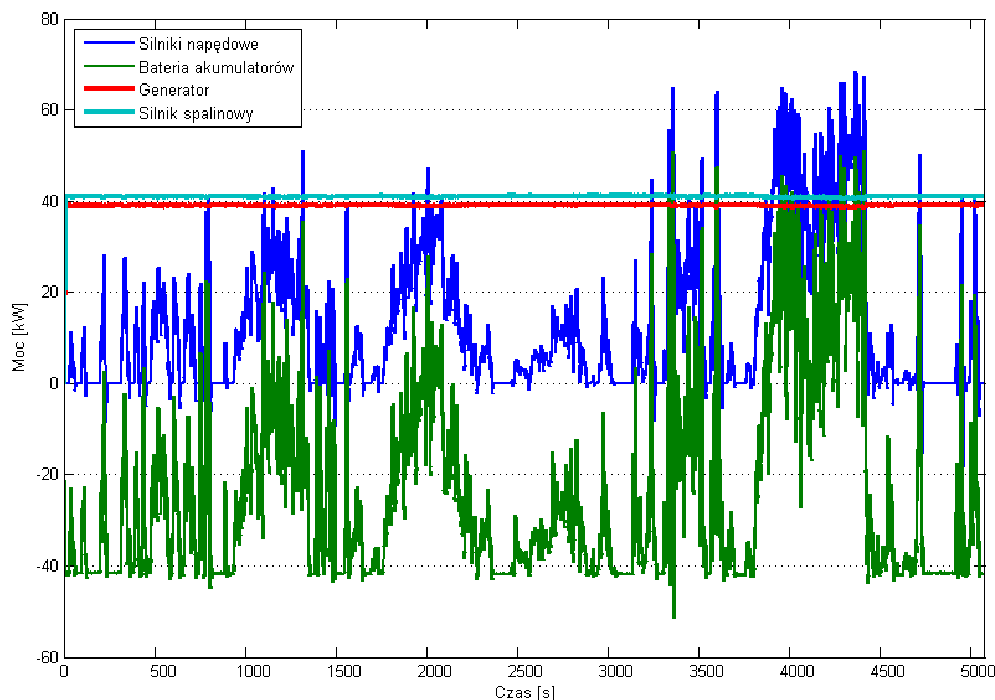
3. Badania symulacyjne hybrydowego układu napędowego górniczej lokomotywy spągowej

Analizę pracy hybrydowego układu napędowego górniczej lokomotywy spągowej przeprowadzono na podstawie badań symulacyjnych wykonanych w programie Matlab-Simulink. Polegały one na wyznaczeniu rozplywu mocy pomiędzy poszczególnymi elementami napędu hybrydowego w funkcji czasu. Podczas badań odwzorowywano rzeczywiste warunki jazdy lokomotywy (rys. 1 i 2). Rozplyw mocy w hybrydowym układzie napędowym lokomotywy przedstawiono na rys.10 i 11. Można stwierdzić, że niezależnie od warunków pracy

lokomotywy, silnik spalinowy i generator pracowały w sposób ciągły, ze stałą mocą, w zakresie najwyższej sprawności. Pokrycie zapotrzebowania na moc silników napędowych zapewniała bateria akumulatorów. Jak widać na rys.10, dla lokomotywy transportującej urobek ok. 20% całkowitego czasu przejazdu przypadało na postój, podczas którego doładowywana była bateria akumulatorów. Energia ta, wykorzystywana była następnie do rozpędzania lokomotywy oraz jazdy z dużą prędkością i obciążeniem. Jazda lokomotywy transportującej materiały charakteryzuje się ciągłymi rozruchami i hamowaniami. Lokomotywa ta porusza się jednak z małymi obciążeniami, wynikającymi z masy transportowanych materiałów, wobec czego bateria akumulatorów jest często doładowywana. Zaletą napędu hybrydowego w takich warunkach pracy, jest możliwość odzysku energii podczas częstych hamowań, wykorzystywanej następnie do przyspieszania.



Rys. 10. Rozplyw mocy w hybrydowym układzie napędowym lokomotywy transportującej urobek [2]



Rys. 11. Rozpyły mocy w hybrydowym układzie napędowym lokomotywy transportującej materiały [2]

4. Podsumowanie

Sposób pracy hybrydowego układu napędowego górniczej lokomotywy spągowej wskazuje, że należy przede wszystkim zwrócić uwagę na warunki, w jakich pracować będzie ta lokomotywa. Lokomotywa transportująca urobek nie wykonuje częstych manewrów przyspieszania i hamowania. Jej cykl jazdy można porównać do jazdy samochodem po autostradzie. Stosowanie napędu hybrydowego jest wtedy nieefektywne. Również kilkuminutowy postój lokomotywy, podczas którego bateria akumulatorów jest doładowywana, można uznać za nieuzasadniony. W lokomotywie z napędem spalinowym należy wtedy wyłączyć silnik. Natomiast napęd hybrydowy, zastosowany w lokomotywie transportującej materiały jest jak najbardziej uzasadniony. Częste manewry przyspieszania i hamowania wymagają zapasu mocy, który zapewnia bateria akumulatorów. W tym przypadku zastosowanie lokomotywy z napędem spalinowym, skutkuje pracą silnika spalinowego w najmniej korzystnym zakresie pracy.

5. Literatura

[1]. Konsek R., Mężyk A.: „Badania modelowe hybrydowego układu napędowego lokomotywy spągowej”.

Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 1/2014 s. 19-23.

[2]. Konsek R.: „Optymalizacja hybrydowego układu napędowego lokomotywy spągowej w aspekcie minimalizacji emisji substancji toksycznych”. Praca statutowa ITG KOMAG 2013-2015 (niepublikowana).

[3]. Konsek R.: *Napęd hybrydowy w pojazdach i maszynach roboczych*. Hydraulika i Pneumatyka nr 4/2014 s.12-16.

[4]. Fice M.: „Strategia zarządzania rozpyłem mocy w napędzie hybrydowym o strukturze równoległej”. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 90/2011 s.111-116.

[5]. Grzesiak L., Ufnalski B., Kaszewski A., Gąbka G., Roszczyk P.: „Power management in series hybrid drive”. Przegląd Elektrotechniczny nr 4b/2012 s.304-308.

Autorzy

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

prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk
e-mail: arkadiusz.mezyk@polsl.pl
Politechnika Śląska
Wydział Mechaniczny – Technologiczny
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice