

## Analysis of accumulation possibility of energy dissipated in the braking process of train driven by hybrid locomotive

*In the traditional process of braking all the kinetic or potential energy of a train driven by locomotive with internal combustion engine is dissipated into the environment in the form of thermal energy. Using the hybrid propulsion system in locomotive is possible to recover a part of this energy by passing it to the battery and reuse in the drive train. The paper presents a model of a hybrid locomotive propulsion system with an internal combustion engine, electric transmission, energy storage and a model of train movement resistance. On the basis of the assumed working conditions, the composition of the trains and selected routes, the calculations of the energy performance of the braking process of the train have been done. Using the simulation results an analysis of the impact of energy storage capacity to reduce fuel consumption has been processed.*

Key words: locomotive propulsion systems, hybrid propulsion systems, fuel consumption

### Analiza możliwości akumulacji energii rozpraszanej w procesie hamowania pociągu napędzanego lokomotywą hybrydową

*W tradycyjnym procesie hamowania cała energia kinetyczna lub potencjalna pociągu napędzanego lokomotywą z silnikiem spalinowym jest rozpraszana do otoczenia w postaci energii cieplnej. W lokomotywach hybrydowych istnieje możliwość odzyskania części tej energii przez przekazanie jej do akumulatorów i ponowne wykorzystanie do napędu pociągu. W pracy przedstawiono model układu napędowego lokomotywy hybrydowej z silnikiem spalinowym, przekładnią elektryczną i zasobnikiem energii oraz model oporów ruchu pociągu. Na podstawie przyjętych warunków pracy lokomotywy oraz składu pociągu na wybranych trasach przeprowadzono obliczenia parametrów energetycznych procesu hamowania pociągu. Wykorzystując wyniki symulacji dokonano analizy wpływu pojemności zasobnika energii na redukcję zużycia paliwa.*

Słowa kluczowe: układy napędowe lokomotyw, napędy hybrydowe, zużycie paliwa

## 1. Wprowadzenie

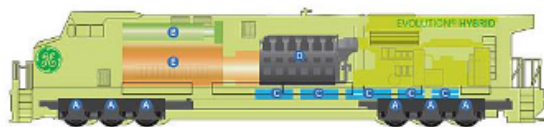
Obecnie zdecydowana większość lokomotyw liniowych i manewrowych wyposażona jest w układy napędowe z silnikami spalinowymi, szacuje się, że ok. 75% lokomotyw posiada silniki o zapłonie samoczynnym (ZS) [6]. W Europie ok. 50% lokomotyw posiada taki rodzaj napędu [6]. Jedną z rozważanych możliwości ograniczenia zużycia paliwa i redukcji emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery przez konstruktorów takich lokomotyw jest zastosowanie hybrydowych układów napędowych (rys. 1). Zainteresowanie takimi układami napędowymi sukcesywnie rośnie i szacuje się, że do roku 2020 wprowadzonych zostanie do eksploatacji ok. 500 nowych pojazdów tego typu [6].

Jednym z przykładów hybrydowego układu napędowego lokomotywy liniowej jest rozwiązanie firmy General Electric (GE) przedstawione na rys. 2. Prototypowy układ napędowy wyposażony jest w 12-cylindrowy silnik ZS o mocy ok. 3200 kW oraz akumulatory umożliwiające odbiór energii w czasie regeneracyjnego hamowania. Zakumulowana, dodatkowa energia może zostać wykorzystana do napędu lokomotywy w silnikach elektrycznych. Producent szacuje, że zastosowane rozwiązanie umożliwi 10% redukcję zużycia paliwa [7].



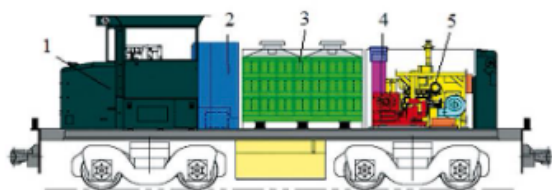
Rys. 1. Lokomotywa z hybrydowym układem napędowym [7]

Ze względu na charakter pracy lokomotyw w ruchu manewrowym, częste ruszanie i zatrzymywanie, to w ich przypadku upatruje się najszybszego upowszechnienia napędów hybrydowych. W lokomotywach manewrowych praca na biegu jałowym stanowi od 50 do 80% całkowitego czasu pracy pojazdu [13].



Rys. 2. Układ napędowy lokomotywy GE Evolution hybrid [6]: A – elektryczne silniki trakcyjne, B – rezystory hamowania, C – akumulatory, D – silnik ZS, E – prądnica główna

Przykładem takiego rozwiązania może być lokomotywa hybrydowa firmy Siemens Desiro Classic VT 642 wyposażona w dwa silnik ZS o mocy 275 kW każdy. Zastosowane rozwiązanie zdaniem producenta umożliwi oszczędności w zużyciu paliwa na poziomie 25% [6]. Kolejnym przykładem zastosowania układu hybrydowego w lokomotywie manewrowej jest rozwiązanie firmy Railpower Technologies Corp. (rys. 3). Ta lokomotywa wyposażona jest w dwa moduły baterii 700 V DC 600 Ah oraz silnik spalinowy o mocy 88 kW.



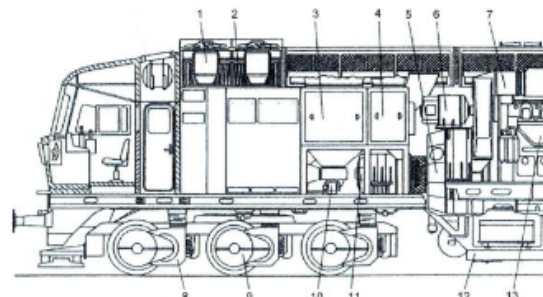
Rys. 3. Układ napędowy lokomotywy GK10B Railpower Technologies Corp. [13 ]: 1 - kabina maszynisty, 2 - wyposażenie elektryczne, 3 - moduł baterii, 4 - sprężarka powietrza, 5 - zespół napędowy (silnik-prądnica)

W dalszej części pracy omówione zostaną możliwości adaptacji klasycznych układów napędowych do hybrydowych, procedura hamowania pociągu mająca wpływ na ilość odzyskiwanej energii oraz model układu napędowego lokomotywy z systemem odzysku energii wykorzystany w obliczeniach. W pracy rozważany będzie przypadek wykorzystania hybrydowego układu napędowego lokomotywy w zastosowaniach liniowych (nie manewrowych).

## 2. Możliwości adaptacji klasycznych układów napędowych lokomotyw do hybrydowych

Współczesne lokomotywy elektryczne i spalinowe z przekładnią elektryczną oprócz zasadniczych hamulców ciernych, klockowych lub częściowo tarczowych wyposażone są w układ hamowania elektrodynamicznego. Podczas hamowania elektrodynamicznego wykorzystuje się podstawową cechę silników elektrycznych, wchodzących w skład układu napędowego, jaką jest możliwość pracy prądnicowej [11]. W przypadku lokomotyw elektrycznych wytworzona w tym procesie energia elektryczna przekazywana jest do sieci trakcyjnej.

Trzeba mieć na uwadze, że sieć trakcyjna musi być przystosowana do przyjmowania energii. W innym przypadku powstała w procesie hamowania energia elektryczna zamieniana jest na ciepło w rezystorach hamowania. Wytworzone ciepło odbierane jest przez wymuszony wentylatorami strumień powietrza. Chłodzone strumieniem powietrza rezystory hamowania stosuje się również w przypadku lokomotywy spalinowych (rys. 4).



Rys. 4. Schemat lokomotywy serii 132 [15]: 1- wentylator rezystorów hamowania, 2- rezystory hamowania, 3- szafa prostowników, 4- szafa układów ogrzewania, 5- prądnica główna, 6- prądnica dodatkowa, 7- Wentylator prądnicy głównej, 8- silnik trakcyjny, 9- przekładnia główna, 10- wentylator prostowników, 11- prądnica ogrzewania pociągu, 12- zbiornik paliwa, 13- silnik spalinowy

Na rys. 5 przedstawiono nastawniki hamulca pneumatycznego oraz elektromagnetycznego znajdujące się na pulpicie maszynisty lokomotywy elektrycznej Siemens serii 189. Przedstawione nastawniki są ze sobą połączone mechanicznie i poruszają się razem. Powoduje to jednoczesne uruchamianie obu typów hamulców. W celu osobnej regulacji siły hamowania możliwe jest rozłączenie nastawników poprzez wciśnięcie gałki nastawnika elektrodynamicznego [16].



Rys. 5. Pulpit maszynisty lokomotywy Siemens serii 189: 1- nastawnik hamulca pneumatycznego, 2- nastawnik hamulca elektrodynamicznego. [16]

Układy hamulcowe lokomotyw oprócz nastawy siły hamowania całego składu pociągu, umożliwiają wybór jednego z trzech trybów pracy układu hamulcowego samej lokomotywy. Wyboru trybów,