

Jan BOROŠKA
Uniwersytet Techniczny, Koszyce
Stanislav KUČERA
Uniwersytet Techniczny, Žyľina

NAPĘD HYBRYDOWY LOKOMOTYW PODWIESZONYCH I JEGO WPŁYW NA ŚRODOWISKO KOPALNIANE

Streszczenie. W artykule omówiono zalety i wady podwieszonych lokomotyw z napędem spalinowym. Przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne nowoczesnych lokomotyw typu LZDEA z napędem hybrydowym.

A HYBRID DRIVE OF SUSPENDED LOCOMOTIVES AND ITS EFFECT ON THE MINE ENVIRONMENT

Summary. The paper deals with advantages and disadvantages of diesel powered suspended locomotives. A design solution of modern locomotives type LZDEA furnished with a hybrid drive has been presented.

1. Wstęp

W słowackich kopalniach węgla szeroko stosowane są podwieszone szynowe lokomotywy z napędem spalinowym. Zalety i wady tych lokomotyw w porównaniu z innymi rodzajami napędów stosowanych w maszynach i urządzeniach górnictwa podziemnego przedstawiono w tablicy 1. Dane z tablicy 1 wykazują, że napędy z silnikami spalinowymi są korzystne z uwagi na nakłady inwestycyjne. Ich wadami są głównie głośność (hałas) oraz zawartość szkodliwych czynników w spalinach wylotowych. Ten problem jest szczególnie ważny przy stosowaniu silników spalinowych w podziemiach kopalń i można go rozwiązać dwoma sposobami [4]:

- poprzez zwiększenie sprawności wentylacji i klimatyzacji podziemnych wyrobisk,
- poprzez zastosowanie rozwiązań technicznych eliminujących bądź zmniejszających emisję czynników szkodliwych.

Tablica 1

Porównanie różnych typów napędów

Rodzaj napędu	Nakłady inwestycyjne	Zużycie energii	Dostępność paliwa	Czynniki szkodliwe w gazach wylotowych	Hałas	Stan rozwoju
pneumatyczny	1	4	-	1	2	1*
benzynowy	1	3	3	4	3	1*
Diesla	2	2	2	3	4	1*
elektryczny	3	1	-	1	1	3*
hybrydowy	4	2	2	2	2	4*
stirlinga	3	4	-	1	2	3*

Oznaczenia: 1 - bardzo korzystny, 2 – korzystny, 3 - mniej korzystny, 4 - niekorzystny, 1* - szeroko stosowany, 3* - średnio stosowany, 4* - mało stosowany * (prototypy)

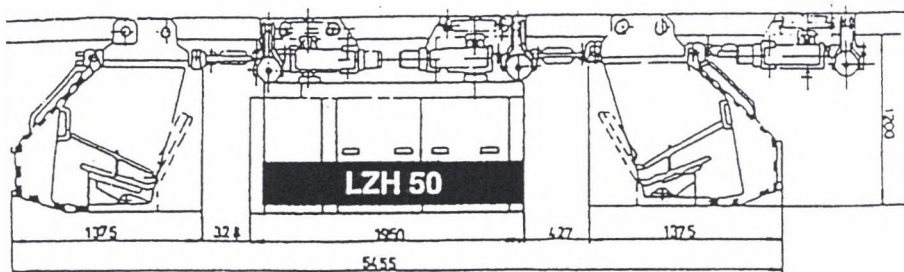
Ponieważ pierwszy sposób jest energetycznie i ekonomicznie kosztowny, wygodniejszy jest sposób drugi, tj. odpowiednie rozwiązanie techniczne. Z uwagi na dotychczasowy stan rozwoju techniki oraz koszty ekonomiczne niekorzystne są napędy hybrydowe. Jednak ostatnie ich opracowania wykazują, że posiadają one wiele zalet. Było to podstawą do przeprowadzenia studiów dotyczących zamiany obecnie stosowanego w lokomotywach podwieszonych typu LZH-50 napędu dieslowo-hydraulicznego (produkcja słowacka) na lokomotywy z napędem dieslowo-elektryczno-akumulatorowym (hybrydowym).

2. Rozwiązanie konstrukcyjne przebudowy lokomotywy LZH-50

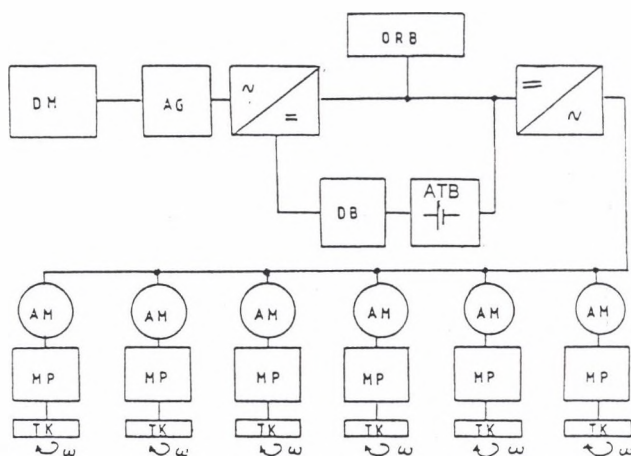
Na Słowacji lokomotywy z napędem hybrydowym elektryczno-spalinowym (silniki benzynowe i Diesla) były stosowane już przed około 70 latami w górnictwie podziemnym [2]. Polegały one na połączeniu silnika benzynowego lub silnika Diesla z dynamem. Ta zasada została wykorzystana przy opracowaniu koncepcji przebudowy lokomotywy podwieszanej LZH-50 (rys.1) z napędem spalinowo-hydraulicznym na lokomotywę z napędem spalinowo (silnik Diesla)-elektryczno-akumulatorowym typu LZDEA.

Podstawowe parametry techniczne lokomotywy podwieszanej typu LZH-50 są następujące [5]:

- silnik spalinowy Zetor 6901,
- moc silnika 38,5 kW,
- masa własna lokomotywy 2800 kg,
- siła pociągowa lokomotywy 45 kN,
- prędkość jazdy 9 km/h (2,5 m/s).



Rys.1. Schemat lokomotywy podwieszanej typu LZH-50 produkcji słowackiej
Fig.1. Diagram of a suspended locomotive type LZH-50 manufactured in Slovakia



Rys.2. Schemat blokowy hybrydowej lokomotywy typu LZDEA: DM - silnik Diesla, AG - elektrogenerator, ATB - akumulatorowa trakcyjna bateria, DB - zasilanie baterii, AM-silnik asynchroniczny, MP - przekładnia mechaniczna, TK - koło napędowe trakcyjne

Fig.2. Block diagram of a hybrid locomotive type LZDEA: DM - diesel motor, AG - electro-generator. ATB - automotive storage battery, DB - battery supply, AM - asynchronous motor, MP - mechanical transmission, TK - traction drive wheel

Projekt lokomotywy hybrydowej był realizowany na podstawie następujących parametrów:

- masa zestawu pociągu 52 t,
- maksymalna prędkość 1,34 m/s,
- średnie opory jazdy 25 N/kN,
- nachylenie trasy $\pm 2,5\%$.

Stosowaną obecnie w lokomotywie podwieszanej LZH-50 jednostkę z napędem spalinowo-hydraulicznym zastąpiono jednostką z napędem spalinowo-elektryczno-akumulatorowym, której schemat blokowy przedstawiono na rysunku 2 [4,5]. Przebudowa lokomotywy pozwoli na obniżenie mocy obecnie stosowanego silnika Diesla na silnik o mocy 12-18 kW. W celu obniżenia czynników szkodliwych w spalinach zastosowano ścisłą koordynację pomiędzy silnikiem diesla, alternatorem i trakcyjną baterią akumulatorów, aby

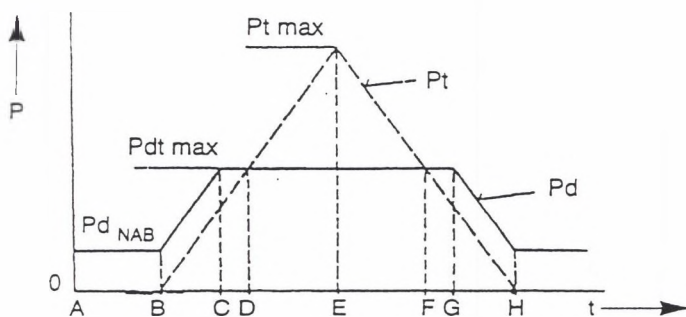
osiągnąć maksymalną moc silników trakcyjnych. Silnikami trakcyjnymi są trójfazowe silniki asynchroniczne, a wymagana moc trakcyjna została osiągnięta przez zastosowanie układu silników asynchronicznych AM. Parametry jednego silnika asynchronicznego AM są następujące [3]:

- moc nominalna $P_m = 5 \text{ kW}$,
- maksymalne obroty silnika $n = 1070 \text{ min}^{-1}$,
- nominalne obroty silnika $n = 386 \text{ min}^{-1}$,
- liczba biegunów $p = 4$,
- nominalne napięcie fazowe $U_m = 220 \text{ V}$,
- prąd nominalny $I_m = 10 \text{ A}$,
- częstotliwość nominalna $f_m = 12,88 \text{ Hz}$,
- częstotliwość maksymalna $f_{\text{max}} = 35,68 \text{ Hz}$.

W celu zapewnienia niezawodności pracy lokomotywy LZDEA wszystkie zastosowane w niej silniki muszą mieć zgodne charakterystyki [3].

3. Działanie napędu lokomotywy podwieszanej LZDEA

Podczas badań symulacyjnych działania i mocy napędu hybrydowego wychodzono z założenia, że silniki trakcyjne powinny dawać moc maksymalną przy założonych parametrach wstępnych. Przebieg czynności napędu hybrydowego lokomotywy LZDEA przy spełnieniu wymogu osiągnięcia maksymalnej mocy trakcyjnej podczas jednego cyklu pracy przedstawiono na rys. 3 [4].



Rys.3. Przebieg mocy trakcyjnej napędu hybrydowego: P_t - moc pobierana przez silniki trakcyjne, P_d - moc silnika Diesla, $P_{t,max}$ - maksymalna moc trakcyjna, $P_{dt,max}$ - maksymalna moc dostarczana silnikiem trakcyjnym, P_{dNAB} - nastawiona moc silnika diesla do ładowania akumulatorów

Fig.3. Run of traction power of a hybrid drive: P_t - power absorbed by traction motors, P_d - diesel motor power, $P_{t,max}$ - maximum traction power, $P_{dt,max}$ - maximum power supplied to traction motors, P_{dNAB} - adjusted power of diesel motor for charging a battery

Odcinki na osi czasu t oznaczają poszczególne czynności napędu hybrydowego lokomotywy podwieszanej LZDEA [4]:

- A-B – alternator trakcyjny ładuje trakcyjną baterię akumulatorów, przy czym silnik Diesla wykonuje stałą moc P_{dNAB} ,
- B-C – wzrasta moc trakcyjna, rozpoczynają się obroty silnika Diesla i wzbudza się alternator trakcyjny, który otrzymał impuls do zwiększenia wymaganej wielkości prądu,
- C – silnik Diesla osiąga moc maksymalną P_{dtmax} potrzebną dla traksji,
- C-D – przy stałej mocy silnika Diesla obniża się moc ładowania,
- D-E – moc silnika jest stała i stopniowo wzrasta do P_{tmax} mocy pobieranej z baterii akumulatorów trakcyjnych (punkt E). W tym momencie silnik Diesla razem z alternatorem i baterią akumulatorów trakcyjnych są zdolne podawać moc maksymalną do silników trakcyjnych,
- E-F – moc trakcyjna spada, a razem z nią wymagana moc z alternatorowej baterii trakcyjnej,
- F-G – moc silnika Diesla jest maksymalna i rozpoczyna się ładowanie baterii akumulatorów,
- G-H – bateria akumulatorów trakcyjnych jest ładowana wymaganym prądem, moc silnika Diesla maleje razem z mocą trakcyjną. Moc pozostaje jednak na wielkości potrzebnej do ładowania baterii akumulatorów.

Regulacja napędu hybrydowego lokomotywy LZDEA realizowana jest w zakresie uzyskania minimalnego wydzielania gazów silnika Diesla, co przyczynia się do minimalnego zanieczyszczenia środowiska kopalnianej.

W przedstawionym cyklu pracy szynowego zestawu (pociągu) podwieszono zakłada się osiągnięcie mocy średniej silników trakcyjnych $P_{STR} = 8,53\text{kW}$. Przy zakładanej sprawności $\tau = 0,92$ należy potem osiągnąć moc do $9,27\text{kW}$. Moc średnią silnika Diesla wymaganą na potrzeby trakcyjne można obliczyć ze wzoru [4]:

$$P_{STRDM} = \frac{P_{STR} + P_{PP}}{\eta_p} = \frac{9,21 + 1}{0,8} = 12,83 \text{ kW},$$

gdzie P_{pp} - napędy pomocnicze,

η_p - sprawności przenoszenia (przekładni).

4. Zakończenie

Przedstawiony kierunek przebudowy lokomotywy podwieszanej LZH-50 z napędem Diesla na napęd dieslowo-elektryczno-akumulatorowy ma wiele zalet. Po pierwsze uzyskuje się obniżenie o 55-70% zawartości czynników szkodliwych w spalinach wydzielanych do atmosfery kopalnianej. Obniżenie to osiągnięto przy zastosowaniu silnika Diesla o mniejszej mocy i zmianą reżimu cyklu jego pracy przez zastosowanie silnika elektrycznego, który jednak ma również wpływ na ilość gazów szkodliwych. Obniżenie szkodliwych spalin w

atmosferze kopalnianej wpływa na koszty energetyczne eksploatacji wyrobisk z uwagi na niższe wymagania dotyczące wentylacji wyrobisk, w których pracować będą lokomotywy podwieszane LZDEA z napędem hybrydowym.

Silnik Diesla o mniejszej mocy ma mniejsze zapotrzebowanie na paliwo, a przez to potrzebne są mniejsze magazyny na składowanie paliwa oraz mniejsze środki do jego transportu. Oszczędności energetyczne wynikają również z dogodnego wyboru dystrybucji mocy trakcyjnej lokomotywy LZDEA i zastosowania rekuperacji.

LITERATURA

1. Boroška J.: Banská doprava. Edičné stredisko VŠT v Košiciach, Košice, 1988
2. Kladivík E.: Historia lokomotívovej dopravy v podzemí slovenských baní do roku 1945. Banský výskum Prievidza, Spravodaj 1998/6, s.331-346
3. Kučera S a kol.: Výskum možnosti zníženia ekologického zat'azenia životného prostredia efektívnym využitím elektrickej trakcie v aplikáciách konvenčnej a nekonvenčnej dopravy. Výskumná správa VŠDS Žilina, 1996
4. Kučera S., Boroška J.: Distribúcia trakčného výkonu lokomotivy a jej vlyv na pracovné prostredie. Uhlí, rudy, geologický průzkum. ZSD a NP. a M166P Praha, 1998/7, s.223-225
5. Zajac O., Boroška J., Gondek H.: Hlbinné dobývacie stroje a dopravné zariadenia. Alfa Bratislava, 1991

Recenzent: Dr hab.inż. Aleksander Lutyński
Profesor w Politechnice Śląskiej

Abstract

The paper deals with advantages and disadvantages of diesel powered suspended locomotives. A design solution of modern locomotives type LZDEA furnished with a hybrid drive has been presented. Diesel drives have been finding application in underground workings of mines in Slovakia for about 70 years. Such drives are profitable as regards investment outlays but bring a number of disadvantages. These consist mainly in the noise level and in emission of noxious elements contained in exhaust gases. It is possible to reduce this emission and to abate its harmfulness through increasing of the effectiveness of ventilation and air conditioning of underground workings or through the application of diesel drives capable to reduce the emission of noxious gases. This assumption served as the basic for developing a prototype of the suspended locomotive furnished with a hybrid drive (diesel –electric and battery power). From the preliminary analysis and tests of the prototype it has appeared that the application of such locomotives is advisable because of many advantages and mainly because of reduction of the emission of noxious elements contained in exhaust gases by 55-70%.