

Zdzisław Budzyński, Przemysław Deja
CMG KOMAG, Gliwice

NOWA GENERACJA NAPĘDÓW TRAKCYJNYCH LOKOMOTYW KOPALNIANYCH

NEW GENERATION OF TRACTION DRIVES FOR MINE LOCOMOTIVES

Abstract: Mine transportation system is one of the most important factors in technology of useful minerals mining. Mine railway system is also used for run-of-mine transportation in mine undergrounds, apart from extended belt conveyor systems. Mine production level depends to a great degree on the possibilities of run-of-mine transportation from longwall panels to the shafts. Among others, the traction locomotive, based on technological solutions developed in 1970ies, operate at present. Design and principle of operation of Ld-31EM electric locomotive, developed by KOMAG specialists, which is driven by state-of-the-art brushless motors with permanent magnets manufactured by KOMEL Research and Development Centre of Electrical Machines, were presented in the paper. The prototype of locomotive was made in collaboration with ENERGO-MECHANIK Ltd. and ENEL Ltd. Besides, the electric equipment indispensable for increase of work safety and work comfort of the operator was presented.

1. Wstęp

Trakcja elektryczna kopalniana (dołowa) jest obok transportu przenośnikowego podstawowym środkiem transportu urobku, materiałów oraz ludzi z przodków wydobywczych do podszycia. Zdolność wydobywczą kopalń jest w dużym stopniu uzależniona od kompleksowego rozwiązania transportu urobku z pól wydobywczych do szybów. Trudne warunki środowiskowe i eksploatacyjne, wysokie koszty likwidacji awarii oraz oszczędność zużycia energii elektrycznej wymuszają na konstruktorach opracowanie nowych, energooszczędnych i niezawodnych układów napędowych lokomotyw. Można to uzyskać m. in. poprzez opracowanie nowych konstrukcji silników trakcyjnych oraz zastosowanie nowoczesnych układów zasilania i sterownia lokomotyw. W kopalniach, które wykorzystują do transportu urobku transport szynowy realizowany za pomocą lokomotyw trakcyjnych (np. Zagłębie Miedziowe), dostrzeżono konieczność modernizacji obecnie eksploatowanych maszyn. Obecnie w polskich kopalniach eksploatowane są lokomotywy przewodowe oparte na rozwiązaniach technologicznych z lat 70-tych.

W artykule przedstawiono budowę oraz zasadę działania kopalnianej lokomotywy elektrycznej Ld-31EM opracowanej przez specjalistów Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG napędzaną nowoczesnymi bezszczotkowymi silnikami z magnesami trwałymi wykonanymi przez Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych KOMEL. Proto-

typ lokomotywy został wykonany przy współpracy z firmami ENERGO-MECHANIK Sp. z o.o. i ENEL Sp z o.o. Ponadto w referacie przedstawiono zastosowane wyposażenie elektryczne niezbędne dla poprawy bezpieczeństwa oraz komfortu pracy operatora lokomotywy.

2. Podstawowe parametry lokomotywy

Lokomotywa Ld-31EM (rys.1) jest konstrukcją jednobryłową z kabiną operatora usytuowaną w środkowej części maszyny (operator siedzi bokiem do kierunku jazdy).



Rys. 1. Prototyp kopalnianej lokomotywy trakcyjnej Ld-31EM

Podczas prac projektowych dużo uwagi poświęcono dostosowaniu kabiny operatora lokomotywy do obowiązujących norm i przepisów dotyczących ergonomii pracy. W tym celu

przeprowadzono wirtualną analizę ergonomiczności w środowisku 3D.

W poniższej tabeli przedstawiono podstawowe parametry lokomotywy.

Tabela 1. Podstawowe parametry techniczne lokomotywy Ld-31EM

Prędkość jazdy z obciążeniem (max)	do 6 m/s
Nominalna siła uciągu (na haku)	35 kN
Napięcie w sieci trakcyjnej	250 V /DC
Moc silników	120 kW
Najmniejszy promień krzywizny toru (huku)	19 m
Długość między zderzakami	5800 mm
Szerokość	1200 (tor 450-750) 1350 (tor 785-900)
Wysokość (od główki szyny do końca dachu kabiny)	1700 mm
Masa	do 14000 kg

Lokomotywa Ld-31EM spełnia wymagania norm:

- PN-EN 1889-2:2006 *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Podziemnie maszyny samobieżne – Bezpieczeństwo – Część 2: Lokomotywy szynowe*
- PN-G-50000:2002 *Ochrona pracy w górnictwie – Maszyny górnicze – Ogólne wymagania bezpieczeństwa i ergonomii*
- PN-EN 983:1999 *Bezpieczeństwo maszyn – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa układów hydraulicznych i pneumatycznych i ich elementów – Pneumatyka*
- PN-EN 60204-1:2004 *Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn – Część 1: Wymagania ogólne*
- PN-EN ISO 12100-2:2005 *Bezpieczeństwo maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Część 2: Zasady techniczne*

Lokomotywa Ld-31EM posiada certyfikat badania typu WE nr KOMAG/07/MD/ST/92.

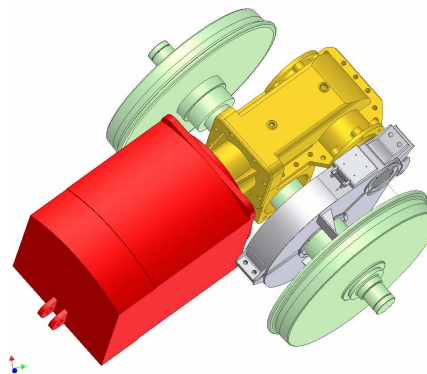
3. Wyposażenie elektryczne lokomotywy Ld-31EM

Wyposażenie elektryczne lokomotywy Ld-31EM składa się z:

- dwóch silników indukcyjnych z magnesami trwałymi,
- aparatury zasilającej usytuowanej w kadłubie lokomotywy,
- aparatury sterowniczej usytuowanej w kabinie maszynisty,
- przewodów elektrycznych.

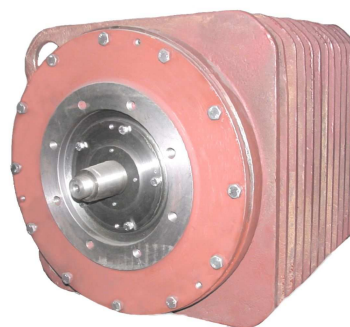
3.1 Nowoczesny napęd z silnikami z magnesami trwałymi

Napędy lokomotywy bazują na nowoczesnych bezszczotkowych silnikach z magnesami trwałymi typu PMPg 250L produkcji BOBRME KOMEL zasilanymi z przekształtnika energoelektronicznego, z którego odbywa się sterowanie kierunkiem jazdy oraz prędkością. Każdy zestaw kołowy (rys.2) napędzany jest niezależnie silnikiem o mocy 60kW. Operator ma możliwość wyboru napędu (I lub II lub I+II). Umożliwia to pracę maszyny nawet w przypadku awarii jednego z silników (napędów).



Rys. 2. Zespół napędowy kopalnianej lokomotywy trakcyjnej Ld-31EM

Silnik napędowy typu PMPg-250L [1] jest silnikiem przeznaczonym do napędu lokomotyw trakcji dołowej. Jest nowoczesnym zamiennikiem stosowanego do tej pory szeregowego silnika prądu stałego LDa 327a.



Rys. 3. Silnik PMPg-250L z magnesami trwałymi produkcji BOBRME KOMEL

Silnik PMPg 250L jest nowej generacji silnikiem z magnesami trwałymi zasilanym z przekształtnika energoelektronicznego. Dzięki zastosowaniu wysokoenergetycznych magnesów trwałych i optymalizacji konstrukcji obwodu elektroenergetycznego silnik cechuje wysoka sprawność (przewyższająca sprawność silników prądu stałego i indukcyjnych porówny-

walnych mocy) oraz duża przeciążalność mechaniczna. Silnik PMPg 250L w porównaniu do silnika LDa 327a pozbawiony jest komutatora mechanicznego, dzięki czemu uzyskuje się znaczne zwiększenie trwałości i niezawodności, skrócenie czasów przestojów, obniżenie kosztu remontów i przeglądów, a zatem znaczne obniżenie kosztów eksploatacyjnych silnika.

W porównaniu do silnika LDa 327a została podniesiona moc znamionowa z 45kW do 60kW (przy tych samym gabarytach silnika), a równocześnie obniżona została masa silnika z 645kg do 572kg. Silnik PMPg 250L posiada doskonale właściwości dynamiczne i regulacyjne:

- moment na wale liniowo zależny od prądu zasilania,
- stosunkowo nieduże momenty bezwładności przy jednocześnie dużych przeciążalnościach momentem pozwalają uzyskać nieosiągalne dotychczas przyspieszenie kątowe.

Tabela 2. Zestawienie parametrów silników PMP-250L i LDa327a

	PMPg-250L	LDa327a
Rodzaj pracy	S2-60min	
Moc znamionowa P_N	60 kW	45 kW
Napięcie znamionowe U_N	120 V	250V
Prąd znamionowy I_N	312 A	205A
Moment znamionowy T_N	550 Nm	398 Nm
Prędkość obrotowa n_N	1080 obr/min	1080 obr/min
Współczynnik mocy $\cos\phi_N$	0,96	
Sprawność η_N	93 %	87 %
Masa	572 kg	645 kg

Wysokiej jakości materiały konstrukcyjne zapewniają odporność silnika na wstrząsy i trwałość konstrukcji. Silnik nie posiada skrzynki zaciskowej, połączenia z komutatorem elektronicznym dokonuje się trzema przewodami elastycznymi o przekroju 70mm². Uzwojenie i materiały izolacyjne odpowiadają klasie izolacji H. Wysokiej jakości materiały elektroizolacyjne oraz przyrosty temperatury niższe niż dopuszczalne dla klasy izolacji B gwarantują długą i niezawodną pracę silnika przy dużych przeciążeniach dopuszczalnych trwale i chwilowo. W tarczach łożyskowych oraz uzwojeniach zastosowano po dwa czujniki termobimetalowe. Dodatkowo w uzwojeniu zainstalowano dwa czujniki termistorowe PT100 do ciągłego pomiaru temperatury uzwojenia. Silnik wyposażony jest w enkoder służący do pomiaru prędkości obrotowej silnika oraz identyfikacji położenia wirnika względem stojana [1].

3.2 Aparatura zasilająca usytuowana w kadłubie lokomotywy

W skład aparatury elektrycznej znajdującej się w kadłubie lokomotywy wchodzi:

- *moduł zasilania* w którym znajduje się aparatura zasilająca, rozdzielcza i sterownicza oraz zabezpieczenia przed skutkami zwarć i przeciążeń. W wydzielonej komorze znajduje się akumulator do zasilania urządzeń sygnalizacyjnych, diagnostyki i oświetlenia w przypadkach braku napięcia 250V,
- *odbierak prądu* wyposażony w elektropneumatyczny układ podnoszenia i opuszczania wraz z czujnikami krańcowymi,
- *dwa przekształtniki energoelektroniczne* do sterowania prędkością i kierunkiem jazdy lokomotywy oraz hamowania eksploatacyjnego i awaryjnego,
- *silnik sprężarki* wraz z czujnikami ciśnienia,
- *rezystory hamowania elektrycznego*,
- *sygnalizator akustyczny*,
- *system oświetlenia lokomotywy*.

3.3 Aparatura sterownicza usytuowana w kabine operatora lokomotywy



Rys.2 Wnętrze lokomotywy Ld31-EM

W skład aparatury usytuowanej w kabine wchodzi:

- *manipulator* przeznaczony jest do sterowania prędkością lokomotywy i hamowania,
- *pulpit sterowniczy* przeznaczony do obsługi lokomotywy,
- *pulpit sygnalizacyjny* przeznaczony do pomiarów i wizualizacji podstawowych parametrów pracy.
- *napęd wyłącznika głównego*,
- *napęd zwieraka napięcia 250V*,
- *napęd rozłącznika akumulatora*.

Opcjonalnie kabina wyposażona jest w lampę oświetlającą wnętrze.

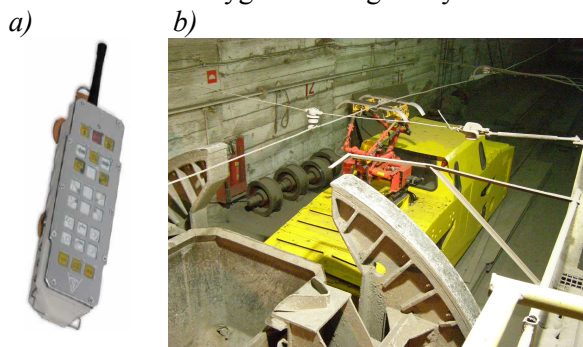
4. Sterowanie lokomotywą Ld-31EM

Operator może sterować lokomotywą:

- z kabiny operatora (lokalne) lub
- zdalnie radiowo.

Sterowanie z kabiny operatora realizowane jest poprzez wychylenie manipulatora w kierunku jazdy z naciśniętym czuwakiem. Powoduje to wzrost prędkości maszyny, a zmniejszenie prędkości (hamowanie elektryczne) przez wychylenie manipulatora w przeciwnym kierunku. Dzięki zastosowaniu łącznika umożliwiającego wybór napędu możliwa jest jazda lokomotywy w przypadku uszkodzenia jednego układu napędowego.

Oprócz sterowania lokalnego (z kabiny operatora), sterowanie lokomotywą może się odbywać również zdalnie radiowo za pomocą pilota (rys.6). To innowacyjne rozwiązanie pozwala operatorowi lokomotywy na sterowanie lokomotywą z bezpiecznej odległości. Ma to szczególne znaczenie podczas załadunku oraz rozładowywania urobku. Operator może równocześnie nadawać sygnał ostrzegawczy.



Rys. 6 a) Pilot sterowania radiowego,
b) próby ruchowe lokomotywy w ZG Polkowice-Sieroszowice (poziom 810m)

Lokomotywa Ld-31EM wyposażona jest w elektryczny hamulec manewrowy o działaniu proporcjonalnym, sprężynowy hamulec awaryjno-postojowy, jak również w system kontrolujący sprawność maszynisty, tzw. czuwak. W przypadku wykrycia przez system nieprawidłowości lub naciśnięcie przycisku „STOP” następuje hamowanie realizowane w dwóch etapach: najpierw układ hamuje za pomocą elektrycznego hamulca manewrowego (hamowanie silnikami), a po zredukowaniu prędkości do bliskiej zeru włącza się hamulec postojowy. Po naciśnięciu przycisku awaryjnego wyłączenia (wyłącznik bezpieczeństwa znajdujący się na pulpicie), następuje awaryjne hamowanie za

pomocą hamulca manewrowego z równoczesnym załączeniem hamulca postojowego.

5. Kierunki dalszego rozwoju

W oparciu o uwagi użytkowników prowadzone są przez specjalistów CMG KOMAG dalsze prace doskonalące. Między innymi przy współpracy z firmą SOMAR Sp. z o. o. z Katowic powstaje nowoczesny pulpit sygnalizacyjno-sterowniczy, który zastąpi obecnie zastosowane dwa niezależne pulpity. Nowo zaprojektowany pulpit sterowniczy będzie wyposażony w sterownik centralny zaprogramowany do współpracy z pozostałymi układami. Zastosowanie oprócz pulpitu koncentratora sygnałów w znaczny sposób zmniejszy liczbę przewodów sterowniczych prowadzonych od elementów sygnalizacyjnych i wykonawczych do pulpitu. Próby z nowym pulpitem planowane są na pierwszy kwartał br.

6. Podsumowanie

Lokomotywa Ld-31EM przeznaczona jest do prac transportowych i przewozowych w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla, rud i soli niezagrożonych wybuchem pyłu węglowego oraz w wyrobiskach podziemnych ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu, w których prędkość prądu powietrza nie jest mniejsza niż 1 m/s. Nowoczesny układ napędowy lokomotywy Ld-31EM zapewni niezawodność pracy maszyny oraz zapewni wytrzymałość na zwarcia i przeciążenia występujące w stanach dynamicznych oraz spełni wymagania energooszczędności. Zdolność wydobywca kopalń jest w dużym stopniu uzależniona od możliwości przewozu urobku z pól wydobywczych do szybów. Głównym celem wdrożenia do eksploatacji lokomotywy Ld-31EM jest wzrost bezpieczeństwa. Wdrożenie do praktyki ruchowej lokomotywy dołowej Ld-31EM pozwoli ponadto na wzrost wydobywania w kopalniach oraz prowadzenie eksploatacji pokładów znacznie oddalonych od szybów. Zastosowane w lokomotywie wyposażenie elektryczne podnosi bezpieczeństwo oraz komfort pracy maszynisty. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań technicznych, w tym silników z magnesami trwałymi uzyskano poprawę parametrów ruchowych lokomotywy.

7. Literatura

[1]. Karta katalogowa CG4-34001 silnika typu PMPg 250L do napędu lokomotyw trakcji kopalnianej, BOBRME KOMEL.

[2]. Strona internetowa BOBRME KOMEL
www.komel.katowice.pl

Autorzy

mgr inż. Zdzisław Budzyński
CMG KOMAG tel. 032-2374-624
zbudzynski@komag.eu
mgr inż. Przemysław Deja
CMG KOMAG tel. 032-2374-480
pdeja@komag.eu